



บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยงาน ฝ่ายธุรการ สถาบันวิจัยและพัฒนา โทรศัพท์ / โทรสาร 4750
 ที่ ศธ 5621/ 235 วันที่ - 6 มี.ค. 2550
 เรื่อง นำส่งหลักฐานค่าใช้จ่ายของโครงการวิจัยและเงินโอนเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย

เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี

สถาบันวิจัยและพัฒนาขอส่งหลักฐานค่าใช้จ่ายของโครงการวิจัยที่ดำเนินการแล้วเสร็จและหลักฐานการโอนเงินเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2546-2547 ของสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 1 โครงการ ดังนี้

โครงการ	หัวหน้าโครงการ	งบประมาณที่ได้รับจัดสรร	ค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของโครงการ	จำนวนเงินคงเหลือ	ดอกเบี้ย	เงินที่โอนเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย (วันที่โอนเงิน)
Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland	อ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร	565,000.00	546,702.79	18,297.21	2,060.82	20,358.03
โอนเงินในส่วนที่เกินไม่ขอรับคืน						โอน 22 พ.ค. 49
						2.27
						โอน 22 พ.ค.49

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป

(ศาสตราจารย์ น.ท. ดร. สราวุธ สุจิตธร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

สำเนาเรียน อาจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร



บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยงาน ฝ่ายธุรการ สถาบันวิจัยและพัฒนา โทรศัพท / โทรสาร 4750
 ที่ ศธ 5621/ 239 วันที่ - 6 มี.ค. 2550
 เรื่อง นำส่งหลักฐานค่าใช้จ่ายของโครงการวิจัยและเงินโอนเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย

เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี

สถาบันวิจัยและพัฒนาขอส่งหลักฐานค่าใช้จ่ายของโครงการวิจัยที่ดำเนินการแล้วเสร็จและหลักฐานการโอนเงินเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2546-2547 ของสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 1 โครงการ ดังนี้

โครงการ	หัวหน้าโครงการ	งบประมาณที่ได้รับจัดสรร	ค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของโครงการ	จำนวนเงินคงเหลือ	ดอกเบี้ย	เงินที่โอนเข้าบัญชีมหาวิทยาลัย (วันที่โอนเงิน)
Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland	อ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร	565,000.00	546,702.79	18,297.21	2,060.82	20,358.03
โอนเงินในส่วนที่เกินไม่ขอรับคืน						โอน 22 พ.ค. 49
						2.27
						โอน 22 พ.ค. 49

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป

(ศาสตราจารย์ น.ท. ดร. สราวุธ สุจิตกร)
 ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

สำเนาเรียน อาจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร

รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report

1. โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์

3. ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 ทั้งสิ้น 250,000 บาท

โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☒ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000.00 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	153,634.35 บาท
☐ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	20,000.00 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท
☐ งวดที่ 2 ได้รับเงิน	บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท
รวมใช้งวด 1 และ งวด 2 ทั้งสิ้น			153,634.35 บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ยอดคงเหลือยกมาจากรายปี 2546 หมวดค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ 33,316.70 บาท

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ
	ได้รับจัดสรรตลอดปี	เบิกจ่ายแล้วในงวดก่อน	เบิกจ่ายในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่ายครั้งต่อไป	
ค่าจ้างชั่วคราว					
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- Indicate degree obtained, number of months	72,000.00		88,000.00	16,000.00	
รวม	72,000.00	0.00	88,000.00	16,000.00	
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ					
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)					
- obtaining data & information	30,000.00		3,554.60	26,445.40	
- transportation and compensation	40,000.00		52,466.00	12,466.00	
- report production	8,000.00		6,202.00	1,798.00	
- non-renewable material expenses	80,000.00		3,411.75	76,588.25	
รวม	158,000.00	0.00	65,634.35	92,365.65	
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- portable temperature and pH meter, portable DO meter, water pumps, flow meter	20,000.00			20,000.00	As we could borrow these equipment from FS till now, we did not buy from project. But we will buy some equipment in and installment budget of the project this year.
รวม	20,000.00	0.00	0.00	20,000.00	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	250,000.00		153,634.35	96,365.65	

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

หัวหน้าโครงการ

R. Jindal
10/2/05

รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report

- โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
- ชื่อหัวหน้าโครงการ (Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal) สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์
- ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 ทั้งสิ้น 315,000 บาท โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☐ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	94,040.50 บาท
☐ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	80,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	89,880.00 บาท
☒ งวดที่ 2 ได้รับเงิน	120,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	97,762.80 บาท
รวมใช้งวด 1 และ งวด 2 ทั้งสิ้น			281,683.30 บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ
	ได้รับจัดสรรตลอดปี	เบิกจ่ายแล้วในงวดก่อน	เบิกจ่ายในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่ายครั้งต่อไป	
ค่าจ้างชั่วคราว					
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
Research Assistant	72,000.00	48,000.00	48,000.00	24,000.00	
รวม	72,000.00	48,000.00	48,000.00	24,000.00	
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ					
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)					
- obtaining data & information	20,000.00	4,556.90	5,857.00	9,586.10	
- transportation, compensation, etc.	40,000.00	3,700.00	12,200.00	24,100.00	
- report production	25,000.00			25,000.00	
- non-renewable material expenses	78,000.00	37,783.60	31,705.80	8,510.60	
- composters					
รวม	163,000.00	46,040.50	49,762.80	67,196.70	
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- portable temperature and pH meter	30,000.00	89,880.00		59,880.00	อนุมัติ ๗๕ 5614 (16) 81 ๖๘ ๓.๑- AC ตรวจสอบแล้ว ก/ว ๖๐
- Portable DO meter	30,000.00			30,000.00	
- Water pumps	10,000.00			10,000.00	
- Flow meters	10,000.00			10,000.00	
รวม	80,000.00	89,880.00	0.00	-9,880.00	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	315,000.00	183,920.50	97,762.80	33,316.70	

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

หัวหน้าโครงการ

11.05.07

18 ส.ค. 2547



ศอ 5621/ว. 52.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

- 2 มี.ค. 2549

เรื่อง ขอมอบรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรียน ผู้อำนวยการศูนย์ข้อเสนอเทศการวิจัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 3 โครงการ

ด้วยสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้รวบรวมรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยที่ดำเนินการแล้วเสร็จในช่วง
เดือนกุมภาพันธ์ 2549 (เพิ่มเติม) จำนวน 3 โครงการ คือ

- โครงการวิจัย เรื่อง "การเร่งกระบวนการแปรรูปน้ำปลา"
- โครงการวิจัย เรื่อง "การส่งออกและการผลิตเบต้ากลูโคซิเดส โดย *Pichia pastoris*"
- โครงการวิจัย เรื่อง "Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland" 46-28

เพื่อเป็นการเผยแพร่ผลงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา จึงขอมอบรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ดังกล่าวมาเพื่อใช้ประโยชน์
ตามเห็นสมควรต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และพิจารณาดำเนินการ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สุราวุฒิ สุจิตจร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ฝ่ายเผยแพร่ผลงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา

โทรศัพท์ (044) 22-4756 โทรสาร (044) 224750

ลำเนาแจ้ง - บรรณารักษ์หอสมุดแห่งชาติ

บรรณารักษ์หอสมุด สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 223000 โทรสาร (044) 224070

S U R A N A R E E U N I V E R S I T Y O F T E C H N O L O G Y
111 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND Tel. (044) 223000 Fax. (044) 224070



บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฝ่ายประสานงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา โทร. 4753 โทรสาร 4750

หน่วยงาน

ศษ 5621/๑๗

ที่

วันที่

๑ กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง

แจ้งผลการพิจารณารายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของอาจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร

เรียน หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ตามที่อาจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร ได้ส่งร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง *Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland* เพื่อเสนอคณะกรรมการพิจารณาก่อนการลงมติและจัดสรรงบประมาณโครงการวิจัยนั้น ผลการพิจารณาของคณะกรรมการฯ มีมติรับรองรายงานโดยไม่มีข้อแก้ไขเพิ่มเติม

ในการนี้สถาบันวิจัยและพัฒนาจึงขอความร่วมมือจากท่านในการแจ้งหัวหน้าโครงการวิจัยดังกล่าว ส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องให้สถาบันวิจัยและพัฒนา ภายในวันที่ 9 มีนาคม 2549 ตามรายการดังนี้

1. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 25 เล่ม (เพื่อนำไปเผยแพร่ให้หน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อไป กรณีที่มีข้อจำกัดในการเผยแพร่ โปรดแจ้งให้สถาบันวิจัยและพัฒนา ทราบโดยด่วนด้วย)
2. diskette ที่ copy file ข้อมูลบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จำนวน 1 แผ่น
3. รายงานการใช้จ่ายเงินงวดสุดท้าย (ตามแบบ สวพท.-ง-02)
4. หลักฐานใบเสร็จรับเงินที่เกิดจากการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ
5. กรณีที่มีการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัยในการซื้อครุภัณฑ์ หรือหนังสือ ต้องส่งครุภัณฑ์หรือหนังสือดังกล่าวคืนสถาบันวิจัยและพัฒนาด้วย
6. สำเนาบัญชีเงินฝากของโครงการวิจัยเฉพาะหน้าที่มีการเคลื่อนไหวของเงิน (เพื่อตรวจสอบเบื้องต้น โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา จะแจ้งให้หัวหน้าโครงการวิจัยทราบอีกครั้งเพื่อดำเนินการโอนเงินคงเหลือและ ดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นทั้งหมดให้มหาวิทยาลัยต่อไป)

(สำหรับรายละเอียดในข้อ 3-6 โปรดสอบถามเพิ่มเติมที่ฝ่ายธุรการของสถาบันฯ โทร.4750)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและโปรดแจ้งให้หัวหน้าโครงการวิจัยดำเนินการต่อไปด้วยจกขอขอบคุณ

ปิง พร้อมนี้สถาบันวิจัยและพัฒนา ได้ส่งคืนร่างรายงานฯ จำนวน 6 เล่ม มาด้วยแล้ว

(รองศาสตราจารย์ น.ท. ดร.สราวุฒิ สุจิตกร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

สำเนาเรียน ฝ่ายธุรการ สถาบันวิจัยและพัฒนา



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฝ่ายประสานงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา โทรศัพท์ 4753 โทรสาร 4750

ที่ ศธ 5621/ ๑๘๕

วันที่ ๑๘ พฤศจิกายน 2548

เรื่อง รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของอาจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร

เรียน หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ตามที่อาจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร ได้ส่งร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง *Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland* ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546-2547 นั้น บัดนี้ร่างรายงานดังกล่าวได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องแล้ว โดยมีความเห็นว่า “โดยภาพรวมงานวิจัยนี้มีรายละเอียดและเป็นไปได้ตามแบบแผนการวิจัยที่ดีและมีคุณภาพสูง” พร้อมทั้งให้ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมตามเอกสารแนบท้าย

สถาบันวิจัยและพัฒนาจึงใคร่ขอความร่วมมือในการแจ้งให้หัวหน้าโครงการวิจัยทราบผลการพิจารณาของ Reader และขอให้จัดส่งร่างรายงานการวิจัยที่ได้ดำเนินการตามข้อเสนอแนะ และ/หรือ ชี้แจงข้อสังเกตของ Reader (ถ้ามี) จำนวน 6 ชุด ให้สถาบันฯ ภายในวันที่ 29 ธันวาคม 2548 เพื่อนำเสนอคณะกรรมการพิจารณากลับกรองและจัดสรรงบประมาณโครงการวิจัย พิจารณารับรองรายงานต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา พร้อมนี้ได้ส่งคืนร่างรายงานการวิจัยมาด้วยแล้ว ทั้งนี้การแก้ไขปรับปรุงรายงานการวิจัยให้อยู่ในดุลยพินิจของหัวหน้าโครงการวิจัย

(รองศาสตราจารย์ น.ท. ดร.สราวุธ สุจิตร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

Project Code: SUT7-715-46-36-28²⁴



Research Report

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

Funding by

Suranaree University of Technology

Research results are the researcher's sole responsibility

Project Code: SUT7-715-46-²⁴~~36~~-28



Research Report

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

Dr. Boonchai Wichitsathian

Asst.Prof.Dr. Ranjna Jindal

School of Environmental Engineering

Institute of Engineering

Suranaree University of Technology

Funding by Suranaree University of Technology 2003-2004 Fiscal Budget

Research results are the researcher's sole responsibility

October 2005

Acknowledgements

The principle investigators of this study wish to express acknowledgement to the Research Institute, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology and the National Research Council of Thailand (NRCT) for providing the necessary funding to conduct this research.

The research assistants, Withit Khorsantiwiwat, Chalermpon Chungtragunwong, Natthiya Deeying, Sermisiri Chawongwattana and Parita Pimpan, all deserve thanks for their help and assistance during the course of this project.

Boonchai Wichitsathian

Ranjna Jindal

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดแคะเมียม ของพื้นที่ชุ่มน้ำ ประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิวและไหลใต้ดิน โดยมีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน และเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิว สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชุมชนและ อุตสาหกรรม โดยใช้พืชสองชนิดและค่าความเข้มข้นของแคะเมียมที่แตกต่างกัน การศึกษาแบ่งเป็น สองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งประกอบด้วยบ่อดูด 4 บ่อสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบน พื้นผิวและไหลใต้ดินตลอดการทดลอง 4 ช่วงเวลา ทั้งสองระบบปลูกธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) และน้ำเสียที่ใช้คือน้ำเสียสังเคราะห์ชุมชนผสมด้วยแคะเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 1, 5, 10, และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า S-COD, TKN, TP, TSS, VSS และแคะเมียมของน้ำเข้าและน้ำออกได้ทำการ วิเคราะห์ตลอดการทดลอง ^{ปริมาณ}ค่าแคะเมียมในดินทำการวิเคราะห์เมื่อจบการทดลองในแต่ละช่วงเวลา ส่วนค่าแคะเมียมในพืชจะทำการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ประสิทธิภาพในการบำบัด S-COD ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้งสองระบบอยู่ในช่วง 78-92% ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5.5 วัน ประสิทธิภาพ ในการบำบัด TKN, TP, TSS และ VSS อยู่ในช่วง 64-91%, 62-90%, 68-91% และ 50-84% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของแคะเมียมในน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.02-0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการ บำบัดแคะเมียมมีค่า 98.6-99.4% และ 99.3-99.9% สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิว และไหลใต้ดิน ตามลำดับ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ดินมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลภาวะ ต่างๆ ได้ดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิวเพียงเล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพในการบำบัด แคะเมียมของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกัน ในส่วนที่สองประกอบด้วยบ่อดูด 5 บ่อ ที่ปลูกกก กลม (*Cyperus corymbosus* Roib.) ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิว น้ำเสียสังเคราะห์ อุตสาหกรรมผสมด้วยแคะเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 5, 10, 25, และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ถูก ปล่องเข้าสู่ระบบตลอดการทดลอง 3 ช่วงเวลา ที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 5, 7 และ 10 วัน ค่า S-COD และแคะเมียมของน้ำเข้าและน้ำออก รวมทั้งในดินและพืช ได้ทำการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง ประสิทธิภาพในการบำบัด S-COD อยู่ในช่วง 72-91% ค่าเฉลี่ยของแคะเมียมในน้ำออกมีค่าระหว่าง 0.17-12.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดแคะเมียมมีค่าระหว่าง 75-97% แคะเมียม มีปริมาณการสะสมในดิน 56-76% และในพืช 14-23% ของปริมาณแคะเมียมทั้งหมดในน้ำเข้า ปริมาณการสะสมแคะเมียมในดินและพืช มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแคะเมียมในน้ำเข้าของแต่ละ ช่วงเวลาของการทดลอง ระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดแคะเมียมคือ 10 วัน ?

จากการเปรียบเทียบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิว สำหรับบำบัดน้ำเสีย สังเคราะห์ชุมชนและอุตสาหกรรมผสมด้วยแคะเมียมความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปลูก ธูปฤาษีและกกกลม ที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 5.5 และ 5 วัน ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด

S-COD ที่ความเข้มข้นแคลเมียม 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า 86.9% และ 85.5% สำหรับบ่อที่ปลูกธูปฤาษี และ 75.5% และ 73.9% สำหรับบ่อที่ปลูกกกกกลม ประสิทธิภาพในการบำบัดแคลเมียม มีค่า 99.5% และ 99.4% สำหรับบ่อที่ปลูกธูปฤาษี และ 81.9% และ 80.8% สำหรับบ่อที่ปลูกกกกกลม ที่ค่าความเข้มข้นแคลเมียม 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัด S-COD และแคลเมียมของพืชทั้งสองที่ค่าความเข้มข้นแคลเมียม 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลบนพื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัดแคลเมียมสูงทั้งน้ำเสียสังเคราะห์ชุมชนและอุตสาหกรรม บ่อที่ปลูกธูปฤาษี(น้ำเสียสังเคราะห์ชุมชน) มีประสิทธิภาพสูงกว่าบ่อที่ปลูกด้วยกกกกลม(น้ำเสียสังเคราะห์อุตสาหกรรม)

Abstract

This study was conducted to investigate the cadmium removal in the free water surface (FWS) and subsurface flow (SF) constructed wetland systems under different environmental conditions and to compare the performance of FWS for domestic and industrial wastewaters using two different plants and at different cadmium loadings. The investigations were done in two parts. Part 1: Two simultaneous experiments were carried out in four laboratory scale units for the FWS and SF wetland systems during the four runs. Cattail plants (*Typha angustifolia*.) were used in the constructed wetland units. The synthetic domestic wastewater mixed with cadmium concentrations of 1, 5, 10, and 20 mg/L was fed to the wetland units. Concentrations of some monitored parameters, soluble chemical oxygen demand (S-COD), total kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP), total suspended solid (TSS), volatile suspended solid (VSS), as well as Cd were determined in the influent and effluent at frequent intervals during the four runs. The cadmium content in the soil were determined at the end of each run, while in plants, it was only measured at the end of the fourth run. Removal efficiencies of the S-COD were found to be in the range of 78-92% for two wetland systems at HRT 5.5 days. The removal efficiencies for TKN, TP, TSS, and VSS were in the range of 64-91%, 62-90%, 68-91%, and 50-84%, respectively. The mean effluent cadmium concentrations varied between 0.02-0.16 mg/L. Cadmium removal efficiencies were 98.6-99.4% in FWS, and 99.3-99.9% in the SF wetland systems. The subsurface flow wetland showed slightly better performance than the free water surface wetland in terms of various pollutants' removal. However, the two systems had the similar performance in the cadmium removal. Part 2: Four simultaneous experiments were carried out in five laboratory scale units for FWS wetland system. Bulrush plants (*Cyperus corymbosus* Rottb.) were used in the constructed wetland units. A synthetic wastewater resembling a typical industrial wastewater mixed with cadmium concentrations of 5, 10, 25 and 50 mg/L was fed to the wetland units during the three experimental runs. Concentrations of S-COD, and cadmium concentrations in influent and effluent, as well as in soil and plants were determined at frequent intervals during the experimental run. The performance of the FWS constructed wetland system was evaluated for three hydraulic retention times (HRT) 5, 7 and 10 days. Removal efficiencies of S-COD were found to be in the range of 72-91% during the experimental period. The mean effluent cadmium concentrations varied between 0.17-12.73 mg/L. The overall average cadmium removal efficiency during the

three runs ranged between 75-97%. Most of the cadmium was accumulated in soils (56-76% of total influent cadmium). Of the total cadmium uptakes, about 14 to 23% of the total cadmium intake was accumulated in bulrush plants. The accumulation in soil and in plants increased with influent loading during each run. The optimum HRT for efficient Cd removal from wastewater appears to be 10 days.

The FWS constructed wetlands for synthetic domestic and industrial wastewater mixed with Cd concentrations of 5 and 10 mg/L was compared for cattail and bulrush plants at HRT 5.5 and 5 days, respectively. Mean S-COD removal efficiencies for influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L were 86.9% and 85.5% for wetland with cattail plants and 75.5% and 73.9% for wetland with bulrush plants. The average Cd removal efficiencies were 99.5% and 99.4% for FWS wetland system with cattail plants and 81.9% and 80.8% for FWS wetland system with bulrush plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L, respectively. Mean S-COD and Cd removal efficiencies were only slightly different for the two wetland systems with two different plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L. High removal efficiencies were observed for synthetic domestic and industrial wastewater and were higher in the FWS constructed wetlands with cattail plants (synthetic domestic wastewater) as compared to the wetlands with bulrush plants (synthetic industrial wastewater).

Table of Contents

	Page
Acknowledgements.....	i
Abstract (Thai).....	ii
Abstract (English).....	iv
Table of Contents.....	vi
List of Tables.....	vi
List of Figures.....	ix
List of Symbols and Abbreviations.....	xi
 Chapter I Introduction	
1.1 Introduction.....	1
1.2 Research objectives.....	2
1.3 Scope and limitations of study.....	2
 Chapter II Literature Review	
2.1 Characteristics of cadmium (Cd).....	4
2.2 Sources of cadmium.....	4
2.3 Harmful effects of cadmium (Cd) and its compounds.....	5
2.4 Wetlands.....	5
2.5 Pollutant removal mechanisms.....	8
2.6 Removal mechanisms and pathways of heavy metals transformation in constructed wetlands.....	10
2.7 Previous research work.....	14
 Chapter III Material and Methodology	
3.1 Experimental site.....	22
3.2 Experimental set-ups.....	22
3.3 Source of wastewater influent to constructed wetland units.....	27
3.4 Sampling and analysis.....	30
 Chapter IV Results and Discussion	
Part 1.....	33
4.1 Tracer study.....	33

Table of Contents (Cont.)

	Page
4.2 Influent and effluent concentrations of monitored parameters....	35
4.3 Cadmium removal in wastewater.....	36
4.4 Cadmium removal by soil.....	37
4.5 Cadmium removal by plant uptake.....	38
4.6 Mass balance.....	40
Part 2.....	41
4.7 Tracer study.....	41
4.8 Influent and effluent concentrations of monitored parameters....	42
4.9 Cadmium removal in wastewater.....	42
4.10 Cadmium removal by soil.....	44
4.11 Cadmium removal by plant uptake.....	44
4.12 Mass balance.....	46
4.13 Comparison of FWS constructed wetlands under difference environmental conditions.....	47
Chapter V Conclusions and Recommendations	
5.1 Conclusions.....	49
5.2 Recommendations	51
References.....	52
Curriculum Vitae.....	56

List of Tables

Table	Page
Table 2.1 Some physical properties of cadmium.....	4
Table 3.1 Plan of experimental runs (Part 1).....	29
Table 3.2 Plan of operating conditions (Part 1).....	29
Table 3.3 Plan of experimental runs (Part 2).....	31
Table 3.4 Plan of operating conditions (Part 2).....	31
Table 3.5 Plan of sampling and analysis (Part 1).....	31
Table 3.6 Plan of sampling and analysis (Part 2).....	32
Table 4.1 Actual hydraulic retention time (HRT) and dispersion numbers of constructed wetlands by tracer study (Part 1).....	34
Table 4.2 Overall average removal efficiencies for S-COD, TKN, TP, TSS and VSS during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4).....	36
Table 4.3 Mass density and moisture content of the cattail plants in four wetlands units (Part 1).....	39
Table 4.4 Actual hydraulic retention time (HRT) and dispersion numbers of constructed wetlands by tracer study (Part 2).....	41
Table 4.5 Mass density and moisture content of bulrush plants in three experimental runs (Part 2).....	45

List of Figures

Figure	Page
Figure 2.1 Free water surface wetland system (FWS).....	7
Figure 2.2 Subsurface flow wetland system (SF).....	7
Figure 2.3 Geochemical speciation of heavy metals (all of these processes are prone to concurrent reactions with other cations, including H^+).....	10
Figure 2.4 Schematic trends in the mobility of some metals as influenced by soil pH.....	11
Figure 3.1 Laboratory scale constructed wetland units near the Center For Scientific and Technological Equipments (F5) at SUT.....	23
Figure 3.2 Reactors R1 and R2 (Free water surface wetland system)-Part 1.....	24
Figure 3.3 Reactors R3 and R4 (Subsurface flow wetland system)-Part 1.....	25
Figure 3.4 Head tanks and four reactors of constructed wetlands-Part 1.....	26
Figure 3.5 Reactors R5-R9 (Free water surface wetland system)-Part 2.....	28
Figure 3.6 Experimental setup of constructed wetlands-Part 2.....	29
Figure 4.1 Average cadmium removal efficiencies of two wetland systems during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4).....	37
Figure 4.2 Total cadmium accumulation in soil in two wetland systems during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4).....	38
Figure 4.3 Total cadmium in various parts of plants in two wetland systems at the end of run 4 of Part 1.....	39
Figure 4.4 Cadmium mass balance in Free water surface wetland system-Part 1.....	40
Figure 4.5 Cadmium mass balance in Subsurface flow wetland system-Part 1.....	41
Figure 4.6 Average removal efficiency of S-COD during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7).....	43
Figure 4.7 Average cadmium removal efficiencies of wetland units during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7).....	43

List of Figures (Cont.)

Figure	Page
Figure 4.8 Total cadmium accumulation in soil bed in the FWS wetland system during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7).....	45
Figure 4.9 Total cadmium accumulation in roots and stems of plants in FWS wetland system at the end of each experimental run in Part 2.....	46
Figure 4.10 Cadmium mass balance in three experimental runs (Part 2).....	47

List of Symbols and Abbreviations

HRT	=	Hydraulic retention time
L	=	Basin length
W	=	Basin width
D	=	Depth of basin
n	=	Porosity of the bed, as a decimal fraction
Q	=	Average flow through the unit
d_m	=	Media depth
d_w	=	Water depth from media surface
D	=	Axial dispersion coefficient characterizing the degree of back mixing during flow
u	=	Flow velocity
L_f	=	Length of fluid travel path from influent to effluent
d	=	Dispersion number
AAS	=	Atomic adsorption spectrometry
FWS	=	Free water surface system
SF	=	Subsurface flow systems
ppm	=	Part per million
COD	=	Chemical oxygen demand
TSS	=	Total suspended solid
VSS	=	Volatile suspended solid
TKN	=	Total kjeldahl nitrogen
TP	=	Total phosphorus
DO	=	Dissolved oxygen
Cd	=	Cadmium
g	=	Gram
mg	=	Milligram
mL	=	Milliliter
mg/L	=	Milligram/Liter
m	=	Meter
cm	=	Centimeter

Chapter I

Introduction

1.1 Introduction

Through mining, industrial activities and fossil fuels combustion, people each year, spew thousands of tons of metallic pollutants into air and water. Toxic metal pollution is not only a problem for exposed workers, but is one of the global problems that concern us (Delgado et al., 1993). Many industries including electroplating, foundries, electronics, mining, smelting, tanning, photo processing, pulp and paper and metal finishing can be a significant source of wastewater containing heavy metal pollutants such as nickel (Ni), cadmium (Cd), chromium (Cr), zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), and mercury (Hg), etc. Heavy metals are ubiquitous environmental pollutants that arise from a variety of industrial, commercial, and domestic activities. Furthermore, studies show that heavy metals can be found in municipal sewage treatment plants receiving little or no industrial discharge (Gersberg et al., 1984). Heavy metals constitute a serious form of pollution since they do not degrade as organic pollutants do (Delgado et al., 1993). Heavy metals concentrate in the food chains and they can accumulate poison to plants, animals and human. Especially, cadmium is an environmental pollutant that accumulates in the body and has biological half-life of greater than 10 years in humans (Khosraviani et al., 1998). Therefore, these pollutants must be removed in the effective way before the effluents are discharged from the wastewater treatment plants to the receiving water bodies.

There are many techniques available for the removal of heavy metals from wastewater such as chemical precipitation, reverse osmosis, electrolysis, and ion exchange but these methods require high capital, operation and maintenance costs. The new alternative for improving effluent wastewater containing heavy metal is wetlands. Wetlands are one of the least expensive treatment systems that require minimum energy and technology, and no chemicals are necessary. Wetland treatment systems use either the natural wetlands or constructed wetlands for treatment of wastewater. Wetlands have been used as convenient wastewater discharge sites for more 100 years in some regions. When monitoring was initiated at some of the existing wetland discharges, an awareness of the water purification potential of wetlands began to emerge. Significant advances have since been made in the engineering knowledge of creating constructed wetlands that can closely imitate the specialized treatment functions that occur in the natural wetland ecosystems.

Among the natural treatment systems, the many advantages such as simplicity of design, and lower costs of installation, operation, and maintenance offered by constructed wetlands make them an appropriate alternative for both developed and developing countries.

Many varieties of wetland plant species are tolerant of high concentrations of heavy metals, perhaps because of the protective effect of the iron plaque, which can develop around the roots. Hence, wetlands can be designed and built for heavy metals removals. In fact, many constructed wetlands specifically built for heavy metal removal are in operation in Australia (Vigneswaran and Sundaravadivel and 2001).

1.2 Research objectives

The main objectives of this study were:

1. To investigate the fate of cadmium in wastewater effluents in constructed wetland systems under different environmental conditions.
2. To compare the efficiency of cadmium removal through laboratory scale experiments in free water surface (FWS) and subsurface flow (SF) wetland systems using cattail plants and bulrush plants.
3. To compare the performance of FWS for the treatment of domestic and industrial wastewaters using two different plants and at different cadmium loadings.

1.3 Scope and limitations of study

In order to achieve first two objectives, following work was conducted:

1. Two simultaneous experiments were carried out in four laboratory scale units for the two wetland systems during the four runs.
2. Cattail plants (*Typha angustifolia*.) were used in the constructed wetland units.
3. A synthetic wastewater resembling a typical domestic wastewater was prepared in the laboratory. The synthetic wastewater mixed with cadmium concentrations of 1, 5, 10, and 20 mg/L was fed to the wetland units during four experimental runs.
4. Concentrations of some monitored parameters, soluble chemical oxygen demand (S-COD), total kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP), total suspended solid (TSS), volatile suspended solid (VSS), as well as Cd were determined in the

influent and effluent at frequent intervals during the four runs. The cadmium content in the soil were determined at the end of each run, while in plants, it was only measured at the end of the fourth run.

5. Performance of free water surface (FWS) and subsurface flow (SF) wetland systems were evaluated and compared for different influent cadmium concentrations.

In order to achieve the third objective, following work was done:

1. Four simultaneous experiments were carried out in five laboratory scale units for FWS wetland system.
2. Bulrush plants (*Cyperus corymbosus* Rottb.) were used in the constructed wetland units.
3. A synthetic wastewater resembling a typical industrial wastewater was prepared in the laboratory. The synthetic wastewater mixed with cadmium concentrations of 5, 10, 25 and 50 mg/L was fed to the wetland units during the three experimental runs.
4. Concentrations of some monitored parameters, soluble chemical oxygen demand (S-COD), and heavy metals concentrations in influent and effluent, as well as in soil and plants were determined at frequent intervals during the experimental run.
5. Performance of free water surface (FWS) for the treatment of domestic and industrial wastewater were evaluated and compared for two different plants and at different cadmium loadings.

Chapter II

Literature Review

2.1 Characteristics of cadmium (Cd)

Cadmium is a rare element and is derived exclusively from zinc ores. It is most often found in combination with other elements, such as oxygen (cadmium oxide), chlorine (cadmium chloride), or sulfur (cadmium sulfide). The mineral greenokite, CdS, is widely dispersed but is of no chemical value. Pure cadmium (Cd), a soft, silver-white metal, is quite ductile. It is not attacked in dry air but is slowly oxidized forming protective film of oxide and carbonate in moist air. The main physical properties of cadmium are reported in Table 2.1 (Townshend, 1995).

Table 2.1 Some physical properties of cadmium

Atomic Weight	112.41
Atomic Number	48
Oxidation State	2
Melting Point (S.T.P)	320.9 °C
Boiling Point (S.T.P)	765 ± 2 °C
Density (20°C)	8.65 g/cm ³

2.2 Sources of cadmium (Cd)

Cadmium (Cd) can be found in electrodeposited and dipped coatings on metals, bearing and low-melting alloys, brazing alloys, fire protection systems, nickel-cadmium storage batteries, power transmission wire, and TV phosphorescence. Cadmium is also used as the basis of pigments in ceramic glazes, machinery enamels, fungicide photography and lithography, selenium rectifiers, electrodes for cadmium-vapor lamps, and photoelectric cell. Cadmium may enter water as a result of industrial discharges or the deterioration of galvanized pipe. Mining industries provide precious and semiprecious minerals including iron, gold, silver, tin, cadmium and nickel to the wastewater discharges. Electroplating is the electrochemical process of applying metal coatings

to metallic objects for corrosion protection and for decorative finishing. Cadmium is one of heavy metals that are the pollutants from this process (Metcalf & Eddy, 1991). Cadmium is also used in the manufacture of photovoltaic devices such as photometers and solar cells and for the automatic control of camera apertures (Mcketta, 1993).

2.3 Harmful effects of cadmium (Cd) and its compounds

The harmful effects of cadmium to humans and environment include: it is flammable in powder form, toxic by inhalation of dust or fume, and is a carcinogen. Soluble compounds of cadmium are highly toxic. Long term-concentrates in the liver, kidneys, pancreas, and thyroid cause hypertension (Metcalf & Eddy, 1991). Short-term health effects include a flu-like illness with chills, headache, aching and/or fever. High exposures can cause rapid and serve lung damage, with shortness of breath, chest pain, cough and a buildup of fluid in the lungs. High exposure to cadmium may cause nausea, salivation, vomiting cramps, and diarrhea (National Safety Council, 2000). The famous "itai-itai" or "ouch-ouch" bone disease of the Japanese in Toyama Inlet was the result of chronic exposure to Cd waste. The disease furthers progress to borne weakness that results in multiple stress fractures in the back and legs (Buzzi, 1992). For this result, the World Health Organization has recommended a maximum intake of 0.4-0.5 mg/week (Wase, 1997). The main target organs for cadmium are the kidney and liver, with critical effects occurring when a content of 200 µg Cd/g (wet weight) is reached in the kidney cortex (O'Neill, 1993).

2.4 Wetlands

Wetlands are areas that are inundated or saturated soil by surface or groundwater at a frequency or duration sufficient to maintain saturated conditions and growth of related vegetation (Polprasert, 1996). Wetlands occur in a wide range of physical settings at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. The natural wetlands are referred to as marshes, swamps, bogs, cypress domes and strands, etc. Constructed wetlands are planned systems designed and constructed to employ wetland vegetation to assist in treating wastewater in a more controlled environment than occurs in natural wetlands. The many advantages of constructed wetlands include site location flexibility, optimal size for anticipated waste load, potential to treat more wastewater in smaller areas than with in natural wetlands, less rigorous preapplication treatment (Bastian et al., 1989). Two types of constructed wetland systems have been developed for wastewater treatment:

1. Free Water Surface System (FWS) consists of parallel basins or channels with relatively impermeable bottom. Soil or suitable media and rock layers to support the emergent vegetation, and water flowing velocity over the top of the soil media and through wetland vegetation in shallow basins or channels. The water depth is maintained at 0.1-0.6 m above the soil surface. Cattails, bulrushes, and various sedges are emergent plants used commonly in free water surface wetlands (Figure 2.1).
2. Subsurface Flow Systems (SF) is called 'root zone', 'rock bed filter' or 'reed beds', consists of channels or trenches with impermeable bottom and soil and rock layers to support the emergent vegetation but the water depth is maintained at or below the soil surface (Figure 2.2) (Polprasert, 1996).

Aquatic plants that use in wetlands may be divided into several forms. Three types of aquatic plants are the major and typical component of the wetlands system.

1. Floating type: there are two subtypes of floating aquatic.
 - Floating unattached plants: the roots hang in the water and are not attached to the soil. The leaves and stems are above the water for receiving sunlight directly. The submerged roots and stems are good habitat for bacteria responsible for waste stabilization. The floating plants such as water hyacinth, duckweed, and water lettuce.
 - Floating attached plants: they have their leaves floating on the water surface, but their roots are anchored in the sediment such as water lilies (Polprasert, 1996).
2. Submerge type: plants that grow below the water surface are called submerged. Submerged species can only grow where there is sufficient light and they may be adversely affected by turbidity and excessive populations of planktonic algae, which decrease the penetration of light into the water. Many submerged plants are known such as hydrilla and water milfoil (Polprasert et al., 1986).

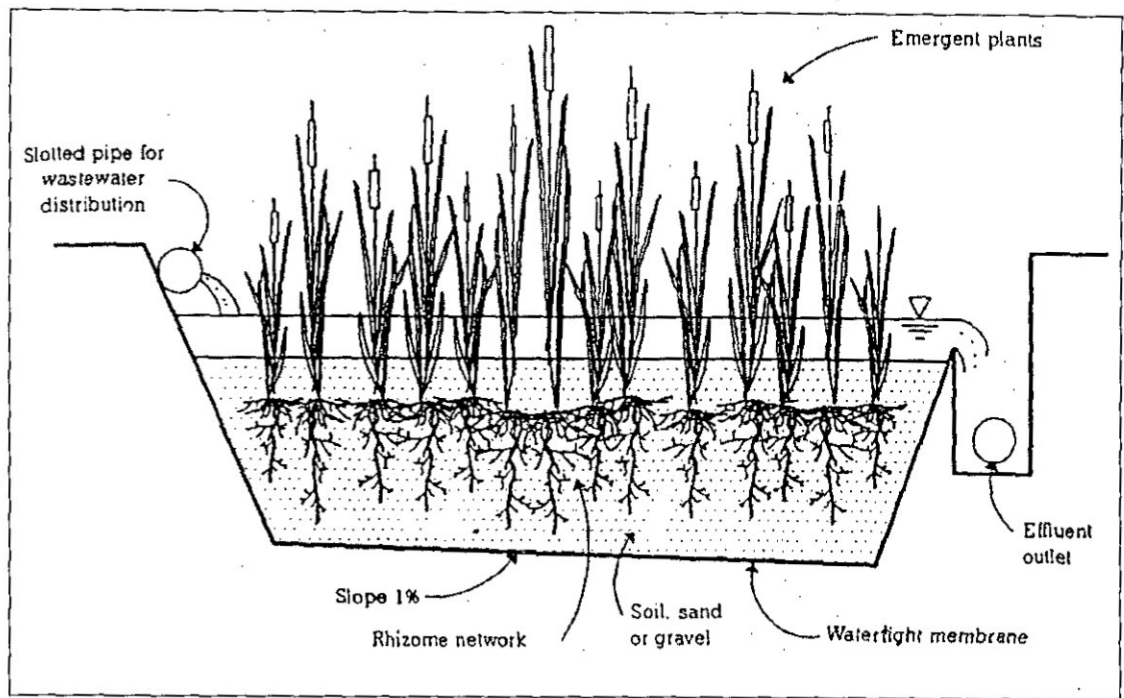


Figure 2.1 Free water surface wetland system (FWS)

(Source Lim and Polprasert, 1996)

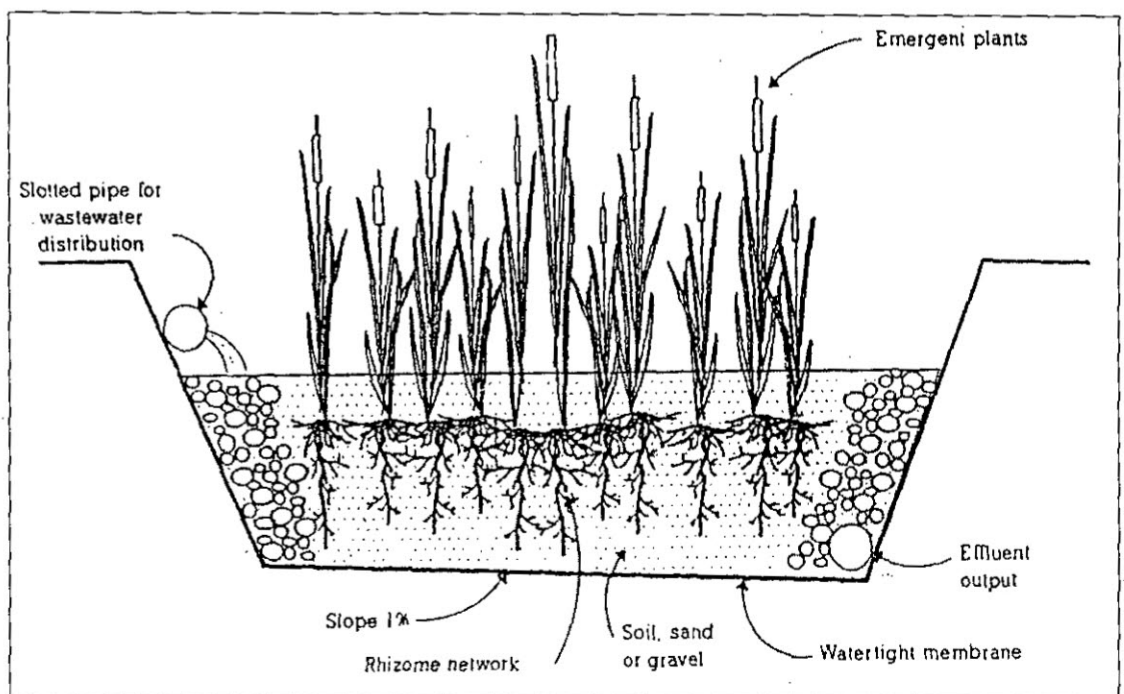


Figure 2.2 Subsurface flow wetland system (SF)

(Source Lim and Polprasert, 1996)

3. Emergent type: they produce aerial stems and leaves, and an extensive root and rhizome system. They have the capability to grow in a wide range of substrate and in rapid or extensive fluctuations in water level occur. Emergent types in wetlands system include cattails, bulrushes and reeds.

Wetlands have a high rate of biological activity; they can transform of the common pollutants into harmless byproducts or essential nutrients that can be used for additional biological productivity. These transformations are accomplished by virtue of the wetland's land area, with its inherent natural environment energies of sun, wind, soil, plants, and animals. These pollutant transformations can be obtained for the relatively low cost of earthwork, piping, pumping, and a few concentrate structures (Kadlec and Knight, 1996)

2.5 Pollutant removal mechanisms

Many monitoring and studies for constructed wetlands have shown the significant removal of organic matter (BOD), suspended solids (SS), nutrients (N and P), and pathogens. In wetlands treatment processes, the pollutants are removed from wastewater through a combination of physical, chemical, and biological processes including sedimentation, precipitation, and adsorption to soil particles, assimilation by the plant tissue, and microbial transformations.

2.5.1 Organic matter removal

BOD removal is due to microbial growth attached to plant roots, stems, and leaves that are submerged in the wastewater and the quiescent condition is attributed for the removal in free water surface wetland system. In subsurface wetlands system, the major BOD removal mechanism is deposition and filtration. The major oxygen source is the transmission by the emergent plants from atmosphere through the root zone and to leakage of some oxygen to the surrounding sediment. In surface flow wetlands, the major oxygen source for these reactions is reaeration at the water surface.

2.5.2 Solids removal

Suspended soils removal is very effective in both types of constructed wetlands due to the long HRT, shallow depth, and quiescent condition. Colloids are removed by attachment of bacteria, and by collisions (inertial and Brownian) with an adsorption to other solids such as plants, pond bottom, and suspended solids.

2.5.3 Nitrogen removal

Nitrogen is removed by a number of mechanisms such as plant uptake, ammonia volatilization, nitrification, and denitrification. Although plant uptake of nitrogen occurs, only plants can remove a minor fraction. Nitrification/denitrification are the most effective removal of nitrogen. Ammonia is oxidized to nitrate by nitrifying bacteria in aerobic zones, and nitrates are converted to free nitrogen in anoxic zones by denitrifying bacteria. In subsurface flow systems, oxygen required by the nitrifiers is supplied by leakage from plant roots. Oxygen mass transfer limits nitrification in attached growth systems. The factors important to the nitrification process are (1) minimizing carbonaceous oxygen demand, so slower growing nitrifiers can compete with the heterotrophic organisms; (2) maintaining pH within the optimum range of 7 to 8; (3) establishing adequate retention time (at least 5 days based on available data); and (4) limiting toxics (certain heavy metals and organic compounds inhibit nitrifiers) (Watson et al., 1989).

2.5.4 Phosphorus removal

The mechanisms of phosphorus removal are plant uptake, and several chemical adsorption and precipitation reactions (occurring primarily at the sediment/water column interface). A significant clay content and iron, aluminum, and calcium will enhance phosphorus removal (Lim and Polprasert, 1996).

2.5.5 Heavy metals removal

Heavy metals can be removed from wastewater in wetlands system by plant uptake, precipitation as oxides, hydroxides, carbonates, phosphates, and sulfides; and also remove by ion exchange with and adsorption to sedimented clay and organic compounds (Polprasert et al., 1986, Sintumongkolchai, 1996).

The three main wetland processes, which remove heavy metals, are:

- Binding to soils, sediments and particulate matter
- Precipitation as insoluble salts; and
- Uptake by bacteria, algae, and plants

Major proportion of heavy metal removal is accounted to binding processes within wetlands. Because of their positive charge, the heavy metals are readily adsorbed, complexed and bound with suspended particles, which subsequently settle on the substrate. Precipitation of heavy metals as insoluble salts such as carbonates, bicarbonates, sulfides and hydroxides is another process that leads to their long-term removal. These salts forms by the

reaction of heavy metals with other chemicals present in water column are insoluble, and hence precipitate to the bottom to become fixed within the wetland substrate.

2.5.6 Pathogens removal

Bacteria and viruses are removed from the waste stream by: (1) physical processes such as aggregate formation, followed by sedimentation, filtration and adsorption; and (2) actual die-off as a result of prolonged exposure to hostile environmental conditions such as temperature, and unfavorable water chemistry (Phanuwan, 1999, Kadlec and Knight, 1996).

2.6 Removal mechanisms and pathways of heavy metals transformation in constructed wetlands

The mobility of heavy metal pollutants in wetland plants and medium depends on a more or less complex network of interactions between aqueous and heterogeneous chemical reactions as well as particle coagulation and flocculation phenomena. Hydrolysis and dissolved complexation tend to increase the solubility of heavy metals while precipitation and adsorption will delay heavy metals availability and transport as shown in Figure 2.3 (Bourg, 1995).

The most mobile fractions of ions occur at a lower range of pH, which is illustrated in Figure 2.4.

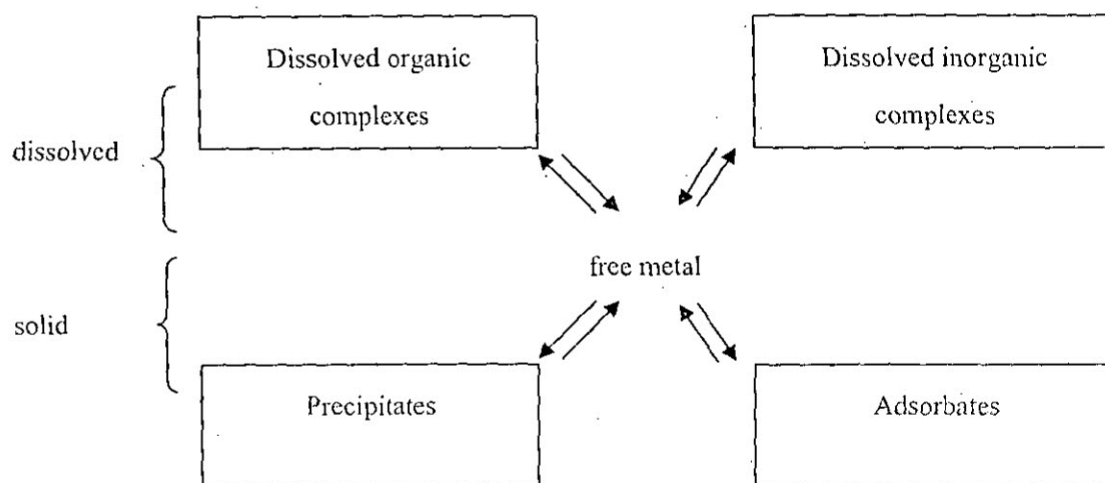


Figure 2.3 Geochemical speciation of heavy metals (all of these processes are prone to concurrent reactions with other cations, including H^+)

(Source Bourg, 1995)

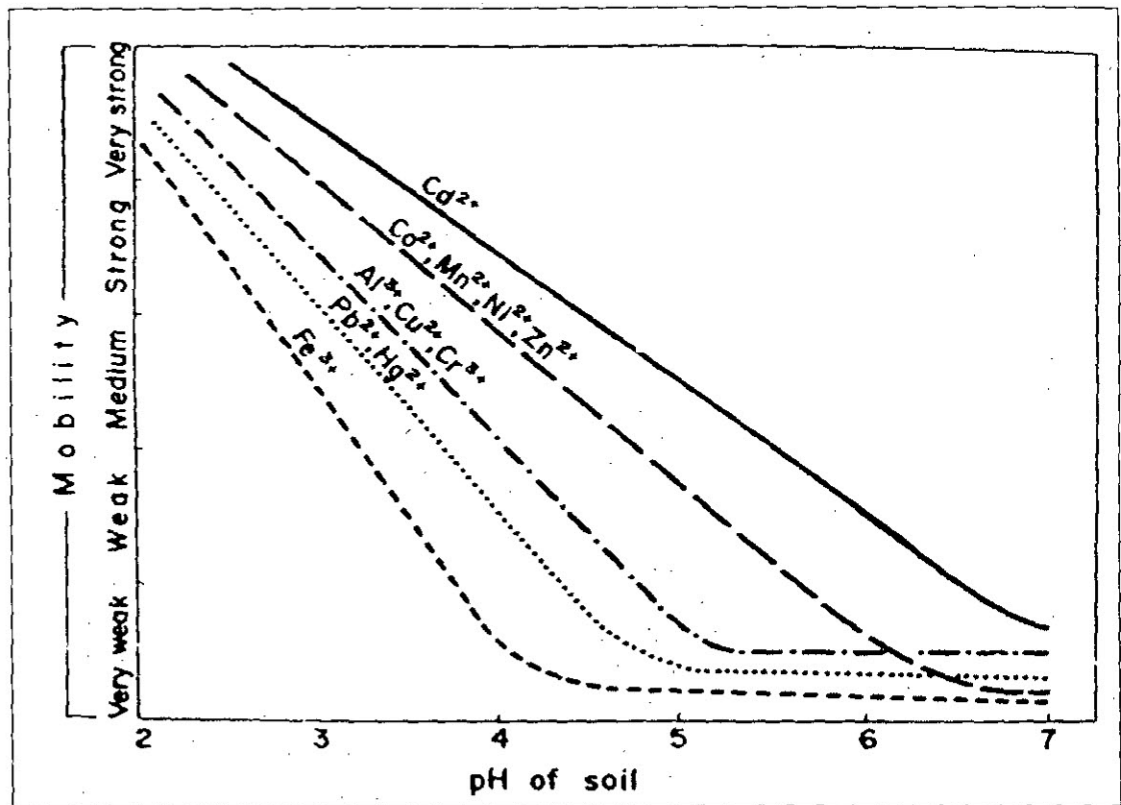


Figure 2.4 Schematic trends in the mobility of some metals as influenced by soil pH

(Source Pendis and Pendias, 1992)

The major mechanisms of heavy metals removal in constructed wetlands are:

2.6.1 Plant Uptake

Plants can accumulate heavy metals, in or on their tissues due to their great ability to adapt to variable chemical properties of the environment, thus plants are intermediate reservoirs of heavy metals from soils, and waters. The uptake by roots is the main pathway of heavy metals to plants. Nonmetabolic uptake is the diffusion of ions from the external solution into the root endodermis. Metabolic uptake requires metabolic energy and takes place against a chemical gradient. Several data support the suggestion that, at the concentration generally present in soil solutions, the adsorption of heavy metals by plant roots is controlled by metabolic processes within roots.

Roots and associated microorganisms are known to produce various organic compounds, which are very effective in releasing the heavy metals from firmly fixed species in soils. The heavy metals most readily available to plants are, in general, those that are adsorbed on clay minerals, while those fixed by oxides and bound onto microorganisms have much less readily

available rate of their uptake by roots than mass-flow and diffusion mechanisms in certain soils. The mechanisms of heavy metals uptake by roots involve several processes:

1. Cation exchange by roots
2. Transport inside cells by chelating agents or other carriers
3. Rhizosphere effects

Cation oxidation states around roots are believed to be of great importance in these processes. Changes in the pH of the root ambient solution may play an especially significant role in the rate of availability of certain heavy metals.

Heavy metals entering plant tissues reactive in metabolic processes, but also can be stored as inactive compounds in cells and on the membranes. In each case, however, they may affect the chemical composition of plants without causing easily visible injury.

2.6.2 Adsorption

The term “adsorption” is commonly used for the process of sorption of chemical elements from solutions by soil particles. Adsorption is thus the kinetic reaction based on thermodynamic equilibrium rules. The forces involved in the adsorption of ionic species at charged surfaces are electrostatic and can be explained by coulomb’s law of attraction between unlike charges and repulsion between like charges. Soils are considered as heavy metals’ sinks, and for that reason, they play an important role in environmental cycles of these elements. They also have a great ability to fix many species of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992). Soil components involved in adsorption of heavy metals are:

1. Oxides (hydrous, amorphous) mainly of iron and manganese and, to much lesser extent, aluminum and silicon
2. Organic matter and biota
3. Carbonates, phosphate, sulfides, and basic salts
4. Clays

Of all these components, clay minerals, hydrated metal oxides, and organic matter are considered to be the most important group in contributing to and competing for adsorption of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992).

At metal equilibrium concentrations, either the Langmiur or the Freundlich equations for adsorption isotherms can describe the mechanism of the adsorption by soil particles. Langmiur's Isotherm is normally used in explanation of adsorption mechanism that can be shown in Eq. 1 (Sintumongkolchai, 1996).

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{abc} \quad (1)$$

where; x = mass of heavy metal adsorbed, mg

m = mass of wetland bed media, g

a = constant

b = maximum heavy metal adsorption capacity, mg/g

c = solution concentration at equilibrium

2.6.3 Precipitation

Every soil component is active and affects soil solution ion concentration either by precipitation-dissolution reaction or by ionic interactions with phase surfaces. In the soil aqueous phase organic compounds and water are the most abundant ligands, therefore, hydrolysis and organic complexing are the most common reactions in soil solutions. These reactions are pH sensitive and can be corrected with the size and charge of the cations. Higher ionic potentials usually indicate higher degree of hydration in the solution, resulting an easier precipitation (Pendis and Pendias, 1992). From the basic physical chemistry, it is known that heavy metals precipitate as the result of changes in pH, oxidation and other changes of their chemical composition (Novotny, 1995).

The organic sediments are good cation exchange sites for heavy metals, and hence these are found bound to sediments in preference to the dissolved forms. Further, the anaerobic zones of the wetland-soils can generate sulfide ions which precipitate the insoluble sulfides of heavy metals (Kadlec and Knight, 1996).

2.6.4 Complexation

When heavy metals are added to soils and water (sediments), they undergo complexation with ligands. Ligands are chemical constituents, both organic and inorganic, that combine with the heavy metals in a chemical complex (Novotny, 1995). Organic matter of soils consists of a mixture of plant and animal products in various stages of decomposition and of substances that are synthesized chemically and biologically. This complex material, greatly simplified, can be divided into humic and nonhumic substances. The major portion of the organic matter in most soils results from biological decay of the biota residues. The end products of this degradation are humic substances, organic acids of low molecular and high molecular weights, carbohydrates, proteins, peptides, amino acids, lipids, waxes, polycyclic aromatic hydrocarbons, and lignin fragments. In addition, the excretion products of roots, composed of a wide variety of simple organic acids, are present in soils.

Presence of compounds that will react with the heavy metal ion and cause its precipitation or adsorption on solids will reduce the toxicity of the heavy metals and makes them less bio-available for organisms. The colloidal and ionic compounds which combine with in a complex with the heavy metal ion are called ligands which include organic acid and humic substances; dissolved sulfides; chloride and OH^- ions.

Hence, the adsorbing and complexing compounds for toxic metals include:

- particulates: sulfides, particulate organic matter, and clays
- dissolved: sulfides, humic compounds, organic acids, chloride ion, hydroxyl ion (Novotny, 1995).

2.7 Previous research work

The heavy metals removal has been studied for a long time. Constructed wetland is biological wastewater treatment that is one effective process to remove heavy metals from wastewater. The uptake of metals by the plant from soils and solutions has been investigated for a variety of species. Most of these studies involve the phytotoxic effects of heavy metals on crop species over a relatively long-term exposure period (30 days) (Delgado et al., 1993). Many researchers have used cattail plants that use to remove heavy metals in wetland systems. Mungur et al. (1997) investigated the removal of some metals by a wetland system. This study complemented the research on the performance of a subsurface flow system treating runoff being carried out by

the Urban Pollution Research Centre, Bounds Green Road, London. The system was planted with *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* and *Iris pseudacorus*. The wetland system was dosed with various concentrations (1, 5 and 10 mg/l) of Cu, Pb and Zn, respectively. Finally shocked load of metals (concentration 20 mg/l) was introduced to simulate a storm event. In each experiment water samples collected from outlet at timed intervals were analyzed and loadings calculated in order to assess the metal removal efficiency of the system. The removal efficiencies and rates for these different doses ranged from 81.7% to 91.8 % and 36.6 to 372.7 mg/m²/d for Cu, 75.8% to 95.3% and 30.8 to 387 mg/m²/d for Pb and 82.8% to 90.4% and 33.6 to 362.1 mg/m²/d for Zn, respectively.

Heavy metals can also be removed by floating plants in a wetland system. David et al. (1984) studied about cadmium uptake by the water hyacinth. Their results clearly demonstrated that the water hyacinth was able to remove cadmium effectively from solutions over a wide concentration in the sub-ppm range cadmium could be almost completely removed from water with 24 hr. This ability to remove cadmium and, in fact, to survive high exposure concentrations (up to 100 ppm) showed that the water hyacinth could be reasonable alternative to conventional wastewater treatment systems. Concentrations above 100 ppm were acutely toxic to the plants. A biphasic rate of uptake was observed with a fast phase of about 4 hours and a slow phase of at least 72 hours. Stirring the solution enhanced uptake in the fast phase, suggesting that uptake was in part diffusion limited. Increasing the pH from 2 to 5 enhanced the uptake rate.

Gersberg et al. (1984) reported that at the hydraulic application rate of 4.7 cm per day (residence time equal to about 5.5 days) Cu, Zn and Cd removal efficiencies in the wetland units were 99%, 97% and 99% respectively. In their experimental study, the predominant removal mechanisms in the artificial wetlands were attributed to precipitation-adsorption phenomena. Precipitation was enhanced by wetland metabolism, which increased the pH of inflowing acidic waters to near neutrality.

Blake et al. (1987) studied the incorporation of cadmium by water hyacinth. Water hyacinth was grown in plastic tanks for batch system or continuous flow system. Different concentrations of cadmium (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were used and toxic effects were obvious at 1.00 ppm concentration. The distribution of metals was followed in the medium and different parts of the plant. As expected, the roots accumulated the major part (73-86%) of the

incorporated cadmium. The removal of cadmium from the solution by the water hyacinth could be predicted by the empirical equation:

$$C_t = C_0 \left(1 + \frac{t}{a} \right)^n \quad (2)$$

Where, C_t is the cadmium concentration at time t , C_0 is the cadmium concentration in solution at time zero, t is the time (hour) and a , n are the constants. From the results, the constants a and n of different cadmium concentrations (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were 2.956, 2.213, 6.972, 4.044 for constant a , respectively and -0.698, -0.514, -0.543, -0.281 for constant n , respectively.

Sinha and Chanda (1990) conducted a study to show that cadmium could be removed from water by *Bacopa monnieri*, a common aquatic plant found all over India. Plants showed a capability to accumulate both metals in single and mixed metal treatments. Copper accumulation was stimulated by the presence of Cd whereas Cu inhibited uptake of Cd. The plants showed high concentration factors for both metals. The results suggested the possibility of using this plant for mitigating Cu and Cd pollution in the aquatic environment.

Delgado et al. (1993) conducted a study in green house to determine the phytotoxic effect and uptake capacity of Zn, Cr and Cd by water hyacinth. Results showed that among the three elements tested, Cd was most phytotoxic, showing up some necrosis in the plant when the concentration was greater than 2.5 ppm. In the case of Cr and Zn, the phytotoxicity produced the appearance of chlorosis in the aerial part of the plant. Cr (maximum 9 ppm) caused no reduction of productivity, whereas in the case of Zn the concentration of 9 ppm in solution caused a 30% reduction in the plant weight. It was proved that after 24 days of growth, the heavy metals were totally depleted from the nutritive solution suggesting complete absorption of these metals by the plants.

Shutes et al. (1993) investigated the use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban subsurface wetlands system. Removal of Cd, Cu, Pb and Zn from wastewater was studied in their experiments. The heavy metal uptake patterns of *Typha* plants were more in the roots than leaves. They suggested that the use of a gravel substrate, which would allow adequate root growth but also support high hydraulic loading, might provide a more suitable substrate for

emergent macrophytes with in urban retention basins. Additionally, the subsurface introduction of effluent into the basin through submerged inlets would also maximize the purification potential.

Thayalakumaran (1994) reported the removal efficiencies of heavy metal (Cr and Ni) in subsurface flow systems (SFS) by cattail plants to be more than 99%. The removal mechanisms were mainly precipitation and adsorption. About 15% of these heavy metals were found that be removed by soil adsorption; the extents of heavy metal adsorption decreased along the bed length of the wetland units. Heavy metal accumulation was more in the roots than in the leaves and stem of the cattail plants. The removal efficiency for COD, TSS and TKN were 64, 89 and 85%. The mechanisms for removing COD, TSS and TKN are filtration, flocculation, sedimentation, and biological process also chemical reaction such as nitri-denitrification reaction.

Kananidhinan (1996) studied the efficiency of constructed wetlands to remove chromium in electroplating wastewater with four emergent plants, *Cyperus corymbosus* (bulrush), *Typha angustifolia* (cattail), *Phragmites australis* (reed), and *Eleocharis dulcis* (spikerushes). During experimental period, influent chromium concentrations were in the range of 2.82-20.93 mg/l and the average was 7.61 mg/l. The best efficiency was found in *Cyperus*, as high as 98.21%, while the efficiencies of *Eleocharis*, *Typha* and *Phragmites* were 95.96%, 95.90%, and 94.87%, respectively. And the lowest efficiency was found in control unit (no plants), 89.13%, which was 9.1% lower than the highest efficiency, *Cyperus*. Accumulation of chromium in soil and plants were also studied and were found to tend to increase with passage of time. Average accumulation of chromium in soil in each pilot unit was slightly different and the highest mean was 29.16 µg/g dry weight. In plants, *Eleocharis dulcis* showed the maximum chromium concentration, 397.15 µg/g dry weight, at the end of the experiments, but had the lowest weight per unit. Mass balance showed that more than 90% of total chromium that disappeared from the water was found in the soil.

Sintumongkolchai (1996) observed the removal of cadmium in free water surface (FWS) system with cattail plants to be in the range of 73-98%. The results showed that pH is an important factor, and at pH of 4.26-5.35, Cd removal by plant uptake was 58.83% of total Cd in sand layer, while at pH of 7.42-8.03, Cd uptake by the plants was 35.24% of total Cd. The average removal efficiencies of COD, TSS, TKN and TP were approximately 61.84, 74.18, 85.09 and 77.83%, respectively. The main mechanism of COD removal was biodegradation by the attached and suspended microorganisms. TSS was effectively removed by sedimentation to the wetland beds

and some could be attached to the stems and roots of cattail plants. TKN removal efficiency was high at HRT long. The effects of TP removal relate with snails in wetland units because snails could uptake P and also release P when they died.

Hansen et al (1998) conducted a study on Selenium (Se) removal by constructed wetlands. One environmental friendly way of cleaning up Se from oil refinery effluents was by plant and microbial Se volatilization using constructed wetlands. The results showed that 89% of influent Se was removed in constructed wetlands. Inflow Se concentration of 20-30 $\mu\text{g/l}$ decreased to $<5 \mu\text{g/l}$ in the outflow. Most of the Se was removed by immobilization into sediments and plant tissues where Se concentration reached 5 and 15 mg/kg , respectively. Biological volatilization may have accounted for as much as 10-30% of Se removed. The highest rates of Se volatilization for vegetated sites were 190, 180 and 150 $\mu\text{g of Se/m}^2\text{-d}$ for rabbitfoot grass, cattail, and saltmarsh bulrush, respectively.

Scholes et al., (1999) reported the removal of urban pollutants during wet weather by constructed wetlands developed by the Environment Agency for England and Wales. The systems were monitored for a range of determinants including heavy metals, suspended solids and BOD. Initial analysis of the data indicated that during dry weather, removal efficiencies vary greatly. However, during storm events removal efficiencies were higher with mean values of 71% for Zn, 72% for Cd, 69% for Pb, 66% for Cu, 34% for Ni, and 81% for Cr at Dagenham wetland. Mean removal efficiencies of 20% for Cd, 40% for Pb, 36% for Cu, 34% for Ni, and 38% for Cr were observed during storm conditions at the Brentwood wetland, but an overall increase in Zn was measured. Removal of BOD was greater at both sites during storm events with mean removal efficiencies of 24% and 29% at Dagenham and Brentwood, respectively. Suspended solids were reduced on passing through both wetlands during dry weather, but during storm events there was an overall increase.

Treerattanaporn (1999) evaluated efficiency of cadmium removal from wastewater using subsurface flow constructed wetland and cadmium accumulation in wetland at Chulalongkorn University, Bangkok. In addition, cadmium in various parts of the systems, which consisted of varied mediums -sand, sand and soil, and soil, respectively, and also in the plants (*Typha* spp.) was studied. Cd concentration in wastewater was varied at 1, 5, 10, and 20 mg/l . Retention time (HRT) was 5 days, and flow rates were varied at 4, 4.4, and 5 l/d for wetlands with sand, sand and soil, and soil medium, respectively. Constructed wetlands could remove cadmium

from wastewater according to industrial effluent standards in Thailand (< 0.03 mg/l), when $[Cd]_{inf}$ was not more than 5 mg/l. When $[Cd]_{inf}$ increased (10 and 20 mg/l), efficiency in cadmium removal was still more than 99%.

Richer et al. (2002) conducted a study on baseline hydraulic performance of the constructed wetlands subsurface flow system at Heathrow Airport in UK. A constructed wetland treatment system was commissioned by BAA (formerly the British Airports Authority) in order to attenuate airfield runoff contaminated with de-icant and other potentially polluting materials from Heathrow Airport. Airfield runoff containing de-icants has the potential to impose significant oxygen demands on water bodies. The site consists of a number of integrated treatment systems, including a 1ha rafted reed bed canal system and a 2ha subsurface flow gravel reed bed. This research project was concerned with the performance of the subsurface flow reed bed, though attention would be paid in this paper to the operation of the whole system. Prior to the planting of the subsurface flow reed beds, flow-tracing experiments were carried out on the three different types of subsurface beds, so that the baseline performance of the system could be quantified. In association, data regarding the soil organic matter content was also collected prior to the planting of the beds. As expected, soil organic matter content was observed to be negligible within the bed, though a small amount of build up was observed in localized areas on the surface of the beds. This was attributed to the growth of algae in depressions where standing water persisted during the construction phase.

In a similar study, hydraulics of sub-superficial flow constructed wetlands in semi arid climate conditions were investigated in Italy by Ranieri (2002). He reported the evaluation of the hydraulics of two constructed wetland (CWs) plants located in Apulia (South Eastern Italy region characterized by semi arid climate conditions). These fields were planted with *phragmites australis* hydrophytes and were supplied with local secondary wastewater municipal treatment plant effluent. Each plant – Kickuth Root-Zone method based – covers an area of approx. 2,000 m². Evapotranspiration phenomenon was evaluated with in perforated tubes fixed to the filed bottom and very high values – up to 40 mm/d – were found. Hydraulic conductivity was evaluated by in situ measurements in different field points. Hydraulic gradient and the piezometric curve within the field are also reported.

There have been few more reported research studies on application of constructed wetlands for wastewater treatment conducted in various parts of the world. Meutia (2002)

evaluated the application of subsurface constructed wetland to treat dormitory wastewater in Rural Indonesia. The aim of his research was to examine the capability of constructed wetland to treat dormitory wastewater and to investigate the efficiency of wetland use system in which fish rearing and agriculture were integrated. Dormitory wastewater from bathroom and septic tank flow into the first bed containing gravel and sand planted with mix population of aquatic plants such as *Typha spp.*, Water Spinach (*Pometia*), Water Hyacinth (*Etchornia crassipes*), etc. Water flow from the bottom of the bed. The outflow was located near the top of the bed. After the first bed, wastewater flow into second bed containing the same substrate with floating plant *Lemna minor* and *Hydrilla*. Treated water then flow into clarifier with three chambers intended to separate the fine sediment and water. Finally, treated water was kept in a pond containing several kinds of fishes such as *Tilapia spp.*, and *Clarias batrachus*. Water from fishpond was used for watering several kinds of vegetables. During first year of operation, several parameters were monitored in order to evaluate the efficiency of the system. The results showed that removal efficiencies based on concentration were found to be BOD₅ 15-95%, COD 15-75%, and TOC 34-95%. Total nitrogen (T-N) and phosphorus (T-P) removal varied between 10-73% and 10-40%, respectively. Bacterial pathogen such as total coli and E.coli decreased 14-100% and 68-100%. The results showed that the constructed wetland is capable enough to treat the dormitory wastewater in the integrated system.

Lund (2002) presented the results of his research in designing constructed wetlands for removal of filterable reactive P from storm/groundwater in a Mediterranean climate in the Western Australian city of Perth. Three replicate experimental periods (15 × 5 m), were constructed to present at a 1:1 scale a single cell form a repeating 16 cell design proposed in 1997. Three 5 m zones of each pond were sampled, shallow (0.3 m) vegetated (*Schoenoplectus validus*) inflow and outflow zones and a deeper (1 m), V-shaped central zone. The V-shape was designed to increase hydraulic residence time, control the spread of plants and provide a pool of water to support the plant communities in summer. In 1998/99, inflows and outflow water were intensively sampled and analyzed for FRP. In addition, all major pools of P (plants, interstitial water, sediment) within the ponds, and important P removal processes (benthic flux, uptake by biofilm and *S. validus*) were quantified. A removal efficiency of 5% (1998) and 10% (1999) was obtained for FRP. When scaled to operational size this indicates a removal rate of approximately 40-60% for FRP. Initial uptake was mainly in plant biomass, although the sediment became an increasing important sink.

The highly colored wastewaters (DOC concentrations of 50 mg/l) were believed responsible for the very low biofilm biomass recorded ($<1 \text{ g/m}^2$). This project has demonstrated that constructed wetlands can be effective in this type of the environment, although the high water table does pose particular design challenges.

Chapter III

Material and Methodology

3.1 Experimental site

Laboratory scale experimental set-up was located at a site near the Center for Scientific and Technological Equipment (F5) at the Suranaree University of Technology (SUT) as shown in Figure 3.1.

3.2 Experimental set-ups

Part 1: First experimental set-up consisted of four reactor units designated as R1, R2, R3 and R4 made of zinc plate, with dimension of $L \times W \times D = 2 \times 0.5 \times 1$ m. Details of these units are as follows:

- Reactor R1 was used for the free water surface wetland system, fed with the synthetic domestic wastewater (used as a control unit).
- Reactor R2 was used for the free water surface wetland system, fed with the synthetic domestic wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.
- Reactor R3 was used for the subsurface wetland system, fed with the synthetic domestic wastewater (used as a control unit).
- Reactor R4 was used for the subsurface wetland system, fed with the synthetic domestic wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.

All four units consisted of:

- (a) sand (0.1 cm diameter particles) of 10 cm depth at the top.
- (b) the medium layer of 25 cm depth with small gravels (1.2-2.5 cm diameter).
- (c) large gravels (2.5-5.0 cm diameter) of 25 cm depth at the bottom.

A depth of 30 cm of water was maintained in reactors 1 and 2 as shown in Figure 3.2. For reactors 3 and 4, the flow of wastewater was maintained approximately 15-30 cm below the bed surface as illustrated in Figure 3.3. Cattail plants (*Typha angustifolia*) were cultured in the wetland beds at approximately 0.15 m intervals.

Effective Size
UC.

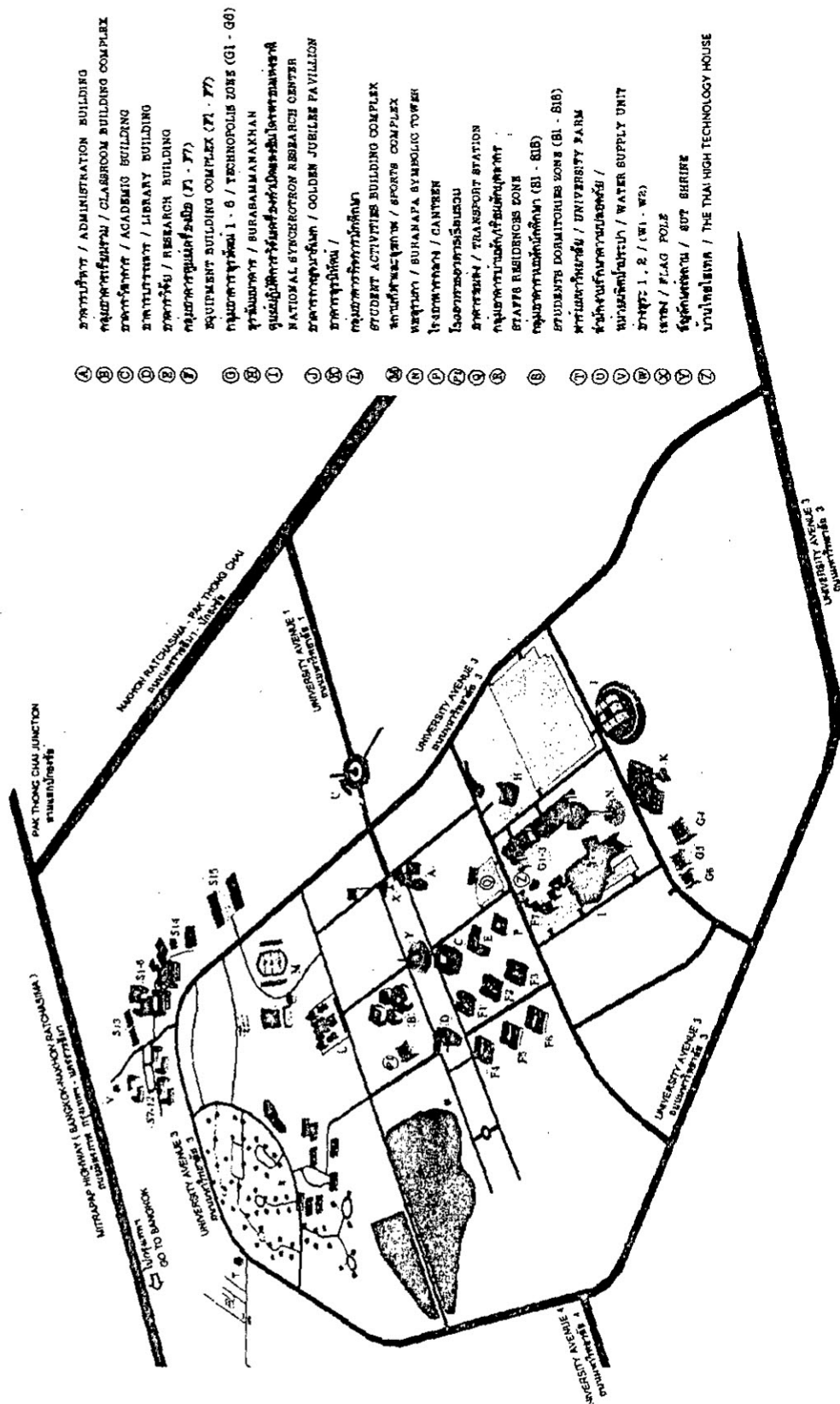
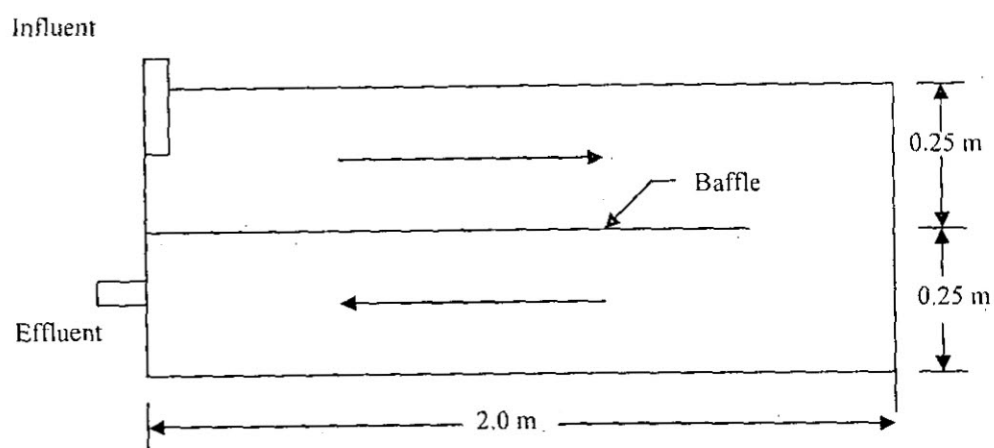
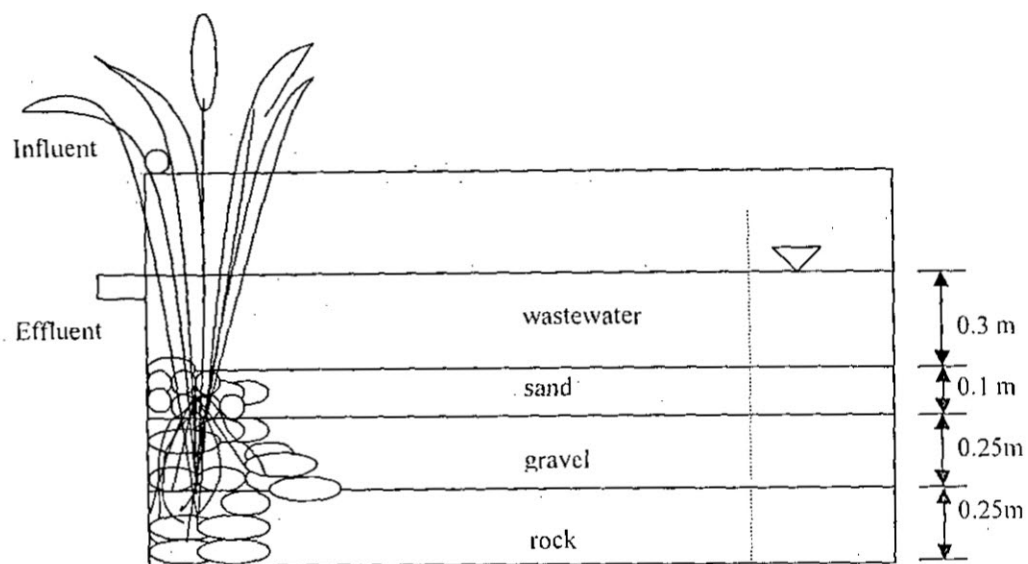


Figure 3.1 Laboratory scale constructed wetland units near the Center for Scientific and Technological Equipments (F5) at SUT

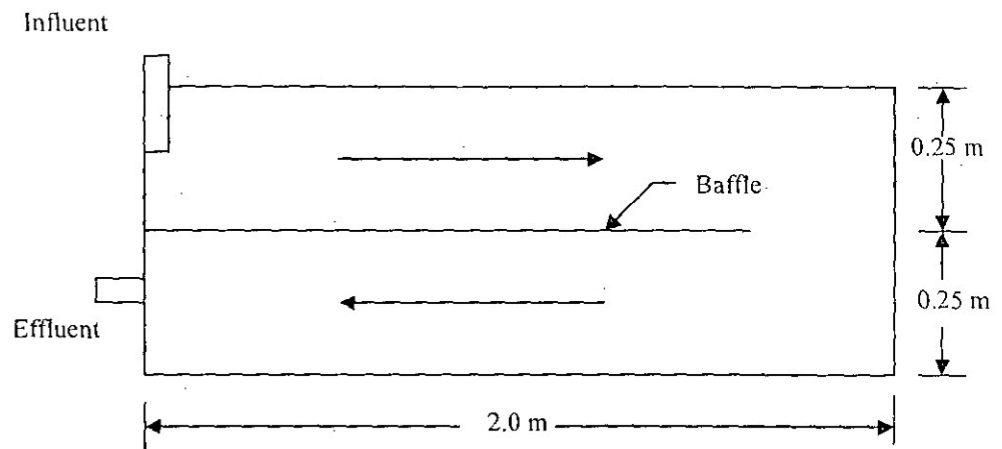


Top View of reactors R1 and R2

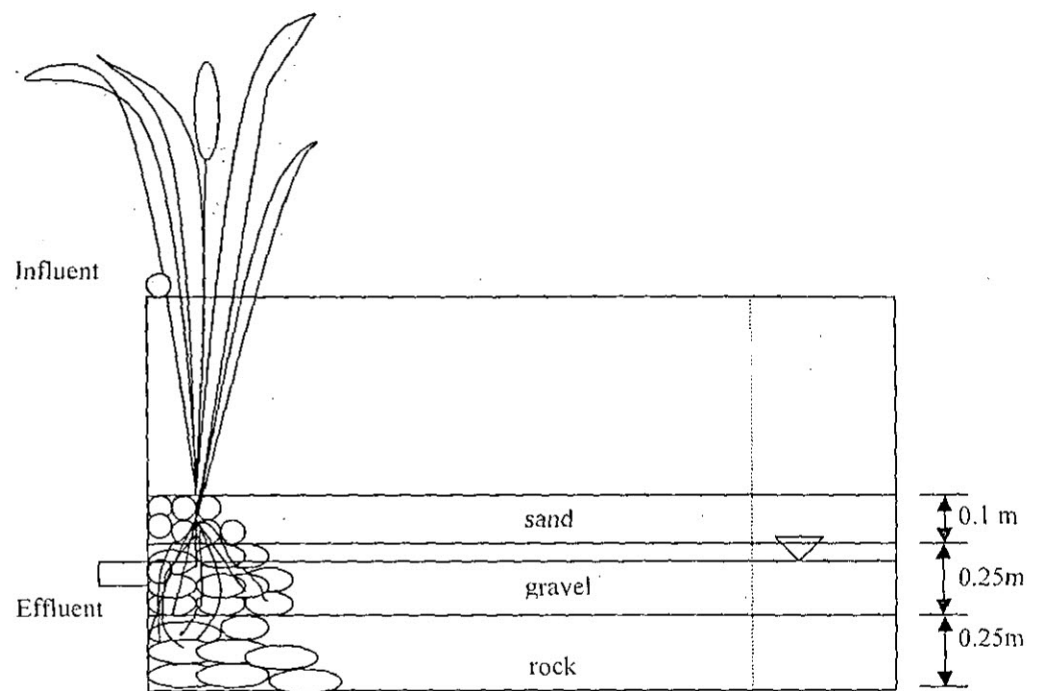


Side View of reactors R1 and R2

Figure 3.2 Reactors R1 and R2 (Free water surface wetland system)-Part 1



Top View of reactors R3 and R4



Side View of reactors R3 and R4

Figure 3.3 Reactors R3 and R4 (Subsurface flow wetland system)-Part 1

Two head tanks (200 L each) were used for feeding the synthetic domestic wastewater to the four constructed wetland units. Head tank no. 1 was used for control reactors R1 & R3. Head tank no. 2 was used for feeding the synthetic wastewater to reactors R2 and R4 after mixing with known concentrations of the heavy metals in a storage/mixing tank. From the head tanks, the influents were fed into the reactors by peristaltic pumps (505S, Watson Marlow). Figure 3.4 shows the four reactor units and head tanks used in Part I of this study.

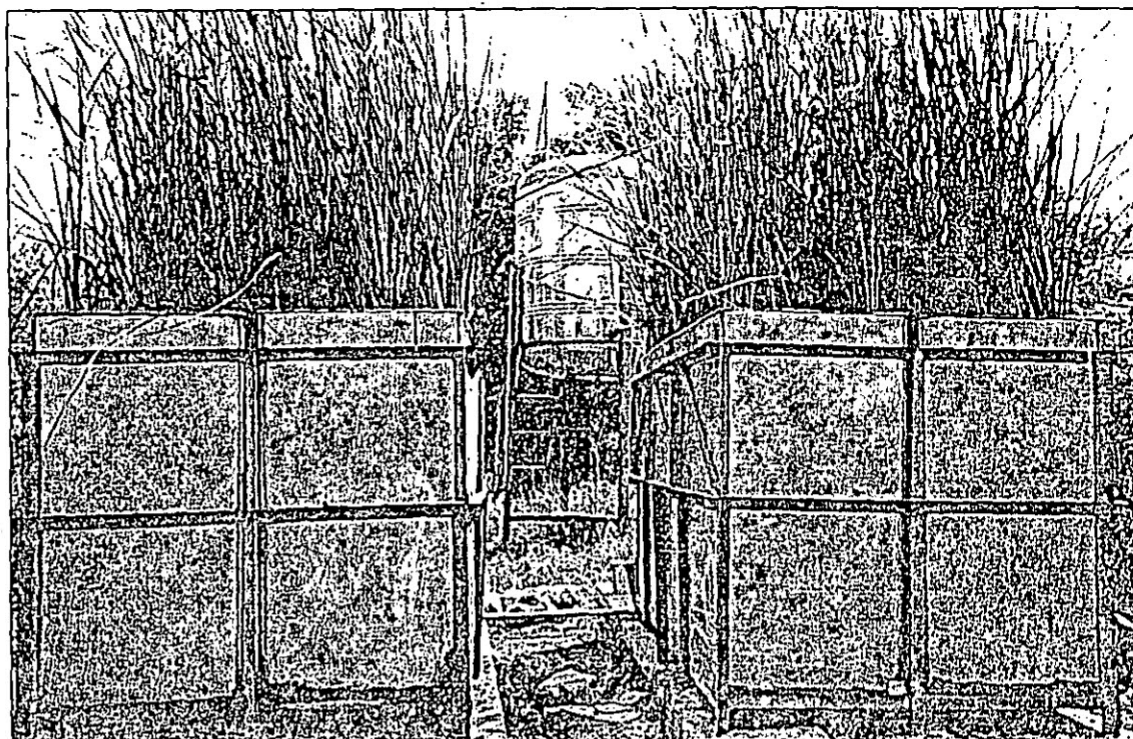


Figure 3.4 Head tanks and four reactors of constructed wetlands-Part I

Part 2: Second experimental set-up consisted of five reactor units designated as R5, R6, R7, R8 and R9 made of zinc plate, with dimension of $L \times W \times D = 2.5 \times 0.25 \times 0.85$ m. Details of these units are as follows:

- Reactor R5 was used for the free water surface wetland system, fed with the synthetic industrial wastewater (used as a control unit).
- Reactors R6-R9 were used for the free water surface wetland system, fed with the synthetic industrial wastewater having four cadmium concentrations of 5, 10, 25, and 50 mg/L, respectively.

All five units consisted of:

Bed characteristics / mixed

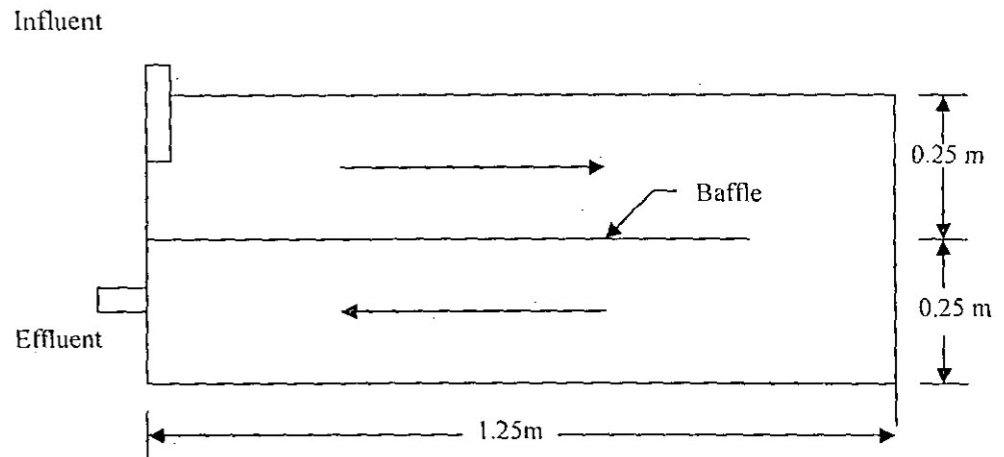
- (a) sand and soil mixture with the ratio of 1:3 of 40 cm depth at the top.
- (b) sand (0.1 cm diameter particles) of 20 cm depth at the bottom.

A depth of 15 cm of water was maintained in FWS wetland systems shown in Figure 3.5. Bulrush plants (*Cyperus corymbosus* Rottb.) were cultured in the wetland beds at approximately 0.15 m intervals.

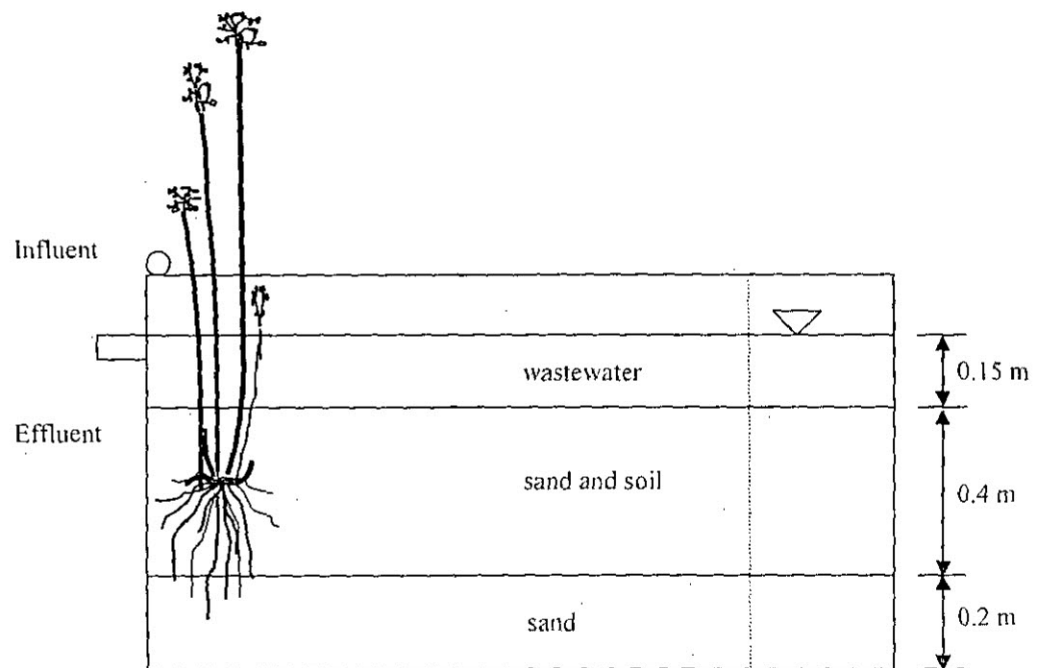
Five head tanks (200 L each) were used for feeding the synthetic industrial wastewater to the five constructed wetland units. Head tank no. 3 was used for control reactor R5. Head tank no. 4-7 were used for feeding the synthetic wastewater to reactors R6-R9 after mixing with known concentrations of the heavy metals in a storage/mixing tank. Five peristaltic pumps (505S, Watson Marlow) were used to feed wastewater to constructed wetland units. Side view of the experimental setup for Part 2 is shown in Figure 3.6.

3.3 Source of wastewater influent to constructed wetland units

Part 1: A synthetic wastewater resembling the domestic sewage was prepared for this study in the laboratory. A 10 ml solution having 15 mg/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 mg/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 mg/L ZnSO_4 , 0.5 mg/L MnSO_4 and 2 mg/L CaCl_2 was mixed with another solution having 131.58 mg/L of glucose, 73.68 mg/L NH_4Cl and 13.15 mg/L KH_2PO_4 (Laboratory Instruction Sheet No. ED082313, 2001). Influent was prepared by mixing the synthetic wastewater with $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ at concentrations of 1, 5, 10, and 20 mg/L for each of the four experimental runs designated as Runs 1-4, respectively. Hydraulic retention time (HRT) of 5.5 d was used for the two wetland systems (Gersberg et al., 1984). The designed flow rates (Q) were 90.5 L/d for the FWS and 27 L/d for the SF. The four simultaneous experiments in the wetland units during the four runs were designated as R11, R12, R13, R14; R21, R22, R23, R24; R31, R32, R33, R34; and R41, R42, R43, R44, respectively. The four runs were conducted consecutively by only changing the Cd concentrations in the influent. Each experiment was run for 1.5 months. Influent and effluent points and analyzed for S-COD concentration until steady-state conditions were reached at 40 days. The plans of experimental runs and operating conditions during Part 1 are illustrated in Tables 3.1 and 3.2, respectively.



Top View of reactors R5-R9



Side View of reactors R5-R9

Figure 3.5 Reactors R5-R9 (Free water surface wetland system)-Part 2

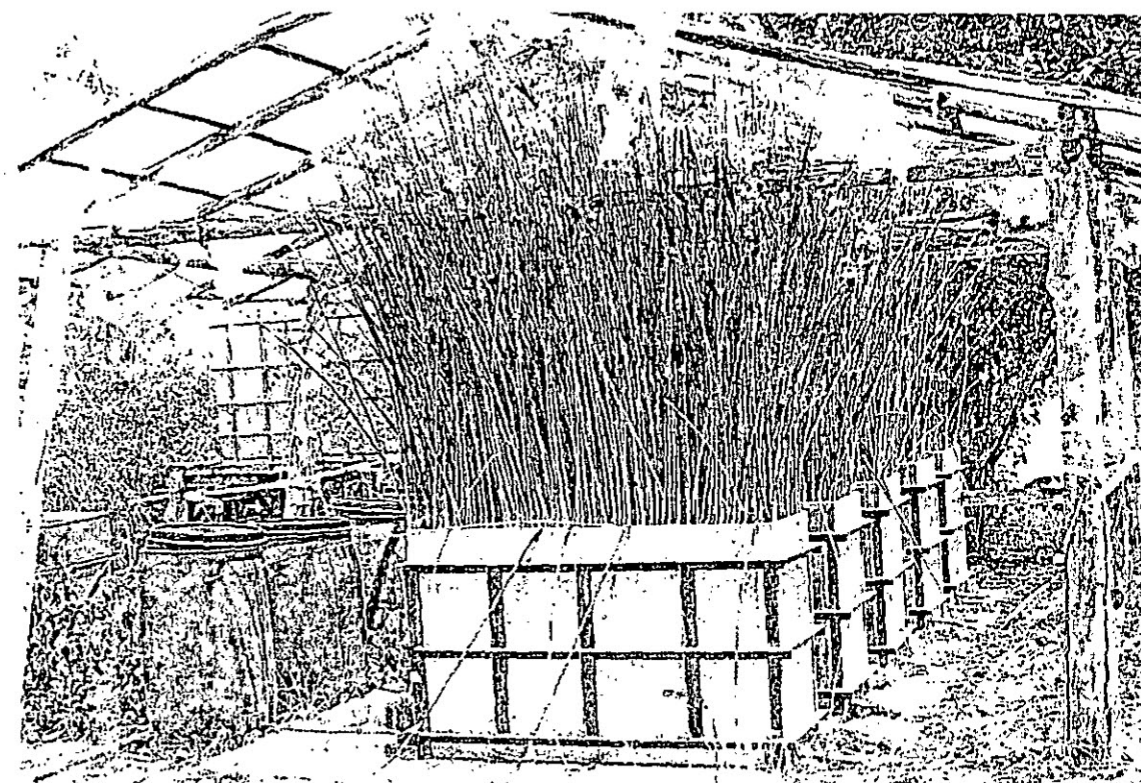


Figure 3.6 Experimental setup of constructed wetlands-Part 2

Table 3.1 Plan of experimental runs (Part-1)

Run	Free Water Surface System		Subsurface Flow System	
	R1	R2	R3	R4
	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)
Run 1	-	1	-	1
Run 2	-	5	-	5
Run 3	-	10	-	10
Run 4	-	20	-	20

Table 3.2 Plan of operating conditions (Part 1)

Run	Hydraulic Retention Time (HRT) (d)	Flowrate (Q) (L/d)	
		Free Water Surface System	Subsurface Flow System
Run 1	5.5	90.5	27
Run 2	5.5	90.5	27
Run 3	5.5	90.5	27
Run 4	5.5	90.5	27

Part 2: A synthetic wastewater resembling some industrial effluents was prepared in the laboratory having 600-900 mg/L of soluble chemical oxygen demand. A 10 ml solution having 15 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and 2 g/L CaCl_2 was mixed with another solution having 93.8 g/L of glucose, 120 g/L NH_4Cl , 160 g/L KH_2PO_4 , and 320 g/L K_2HPO_4 (Laboratory Instruction Sheet No. ED082313, 2001). Influent were prepared by mixing the synthetic wastewater with $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ at concentrations of 5, 10, 25, and 50 mg/L for each of the four simultaneous experiments during three runs designated as Runs 5-7, respectively. The performance of the wetland system was evaluated for three hydraulic retention times (HRT) 5, 7 and 10 days. The four simultaneous experiments in the wetland units during the three runs were designated as R51, R52, R53, R54, R55; R61, R62, R63, R64, R65; and R71, R72, R73, R74, R75, respectively. The three runs were conducted consecutively by changing the HRT 5, 7 and 10 days, respectively. Each experiment was run for 2 months and 22 days. Influent and effluent points and analyzed for S-COD concentration until steady-state conditions were reached at 50 days. The plans of experimental run and operating condition during Part 2 are summarized in Tables 3.3 and 3.4, respectively.

3.4 Sampling and analysis

The synthetic wastewater was prepared daily to feed to the experimental units. Influent and effluent S-COD concentrations were determined until the steady state conditions reach. Subsequently, the following parameters were analyzed in influent and effluent wastewater samples during first part: pH, DO, S-COD, TSS, TKN and heavy metal concentrations. During second part: pH, DO, S-COD, and heavy metal concentrations. Samples from soil and plants were also analyzed for heavy metals' concentrations. Analysis in the influent, effluent, soil, and plants samples were carried out according to the procedures mentioned in the Standard Methods (APHA, AWWA, and WFE, 1995), Chemical Analysis of Ecological Materials (Allen, 1974), and Soil Testing Sorbed Metals (Westerman, 1990), respectively. The details of analysis schedule are shown in Table 3.5 and 3.6.

Table 3.3 Plan of experimental runs (Part 2)

Run	Free Water Surface System				
	R5	R6	R7	R8	R9
	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)	Cd conc. (mg/L)
Run 5	-	5	10	25	50
Run 6	-	5	10	25	50
Run 7	-	5	10	25	50

Table 3.4 Plan of operating conditions (Part 2)

Run	Hydraulic Retention Time (HRT) (d)	Flowrate (Q) (L/d)
Run 5	5	51.75
Run 6	7	36.96
Run 7	10	25.88

Table 3.5 Plan of sampling and analysis (Part 1)

Parameters	Frequency	Method of Analysis
Cl ⁻	Beginning of the experiments	Argentometric method
S-COD	3/week	Open Reflux
TSS	3/week	Filtration/Evaporation (103-105°C)
TKN	3/week	Digestion/Distillation
TP	3/week	Digestion with Nitric Acid-Sulfuric Acid
pH	3/week	pH Meter
DO	3/week	DO Meter
Cadmium in wastewater	3/week	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Cadmium in soil	End of each run	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Cadmium in plants	End of the experiments	Digestion with HNO ₃ , HClO ₄ , H ₂ SO ₄ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)

Plant Mass. (Weight)

— before
— after

} zones?

Table 3.6 Plan of sampling and analysis (Part 2)

Parameters	Frequency	Method of Analysis
Cl ⁻	Beginning of the experiments	Argentometric method
S-COD	2/week	Closed Reflux
pH	2/week	pH Meter
DO	2/week	DO Meter
Cadmium in wastewater	2/week	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Cadmium in soil	2/month and end of each run	Digestion with HNO ₃ , HCl, H ₂ O ₂ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Cadmium in plants	2/month and end of each run	Digestion with HNO ₃ , HClO ₄ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)

Plants used

Chapter IV

Results and Discussion

Part 1

4.1 Tracer study

A solution of NaCl in tap water was used to perform a tracer study for each of the constructed wetlands. The effluent was analyzed for chloride concentration when the flowrates were 83.0 L/h for the FWS and 24.75 L/h for the SF. With equations 4.1-4.6 given below, data of tracer study were used to find out the dispersion number and actual HRT (Levenspiel, 1972).

Porosity of the media bed was taken to be 0.33. The values of actual HRT and dispersion number are shown in Table 4.1.

Subsurface flow wetland system

$$HRT = \frac{LWnD}{Q} \quad (4.1)$$

Where	HRT	=	hydraulic retention time, days
	L	=	basin length, m
	W	=	basin width, m
	D	=	depth of basin, m
	n	=	porosity of the bed
	Q	=	average flow through the unit, m ³ /days

Free water surface wetland system

$$HRT = \frac{LW(d_m n + d_w)}{Q} \quad (4.2)$$

Where	HRT	=	hydraulic retention time, days
	L	=	basin length, m
	W	=	basin width, m
	d _m	=	media depth, m
	d _w	=	water depth from media surface, m
	n	=	void fraction in the media (as a decimal fraction)
	Q	=	average flow through the unit, m ³ /days

Mean HRT (actual), $t = \frac{\sum t_i C_i}{\sum C_i}$ (4.3)

Standard Deviation, $\sigma^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i}{\sum C_i} - t^2$ (4.4)

Then $\sigma_0^2 = \frac{\sigma^2}{t^2} = 2d + 8d^2$ (4.5)

Table 4.1 Actual hydraulic retention time (HRT) and dispersion numbers of constructed wetlands by tracer study (Part 1)

Reactors	HRT (days)	Actual HRT (days)	Dispersion Number
R1	6.0	5.78	0.14
R2	6.0	5.86	0.14
R3	6.0	5.66	0.13
R4	6.0	5.67	0.12

The flow was characterized using the dispersion number, d , defined as (Levenspiel, 1972)

$$d = \frac{D}{uL_t} \quad (4.6)$$

Where, D = the longitudinal or axial dispersion coefficient characterizing the degree of back mixing during flow

u = the flow velocity

L_t = the length of fluid travel path from influent to effluent

The condition of dispersion number (D/uL_t) can be characterized as follows:

$D/uL_t = 0$, is plug flow condition (negligible dispersion)

$D/uL_t = 0.002$, is small amount of dispersion

$D/uL_t = 0.025$, is intermediate amount of dispersion

$D/uL_t = 0.2$, is large amount of dispersion

$D/uL_t = \infty$ is mixed flow condition (large dispersion)

In view of the low dispersion number (d), the flow characteristic of all of four reactors could be classified as approaching plug flow pattern.

4.2 Influent and effluent concentrations of monitored parameters

During the experimental period (6 months), the DO in the influent was in the range of 0.3-0.5 mg/L. The mean effluent DO concentrations during the four experimental runs varied between 4.4-6 mg/L. The mean ambient, as well as influent and effluent temperatures during the experimental period varied between 25 and 31 °C. The optimum water temperature for growth of cattails is 30 °C. The pH of the prepared synthetic wastewater was in the range of 6.5-6.66, while the pH of synthetic wastewater mixed with different cadmium concentrations varied between 6.46 and 6.57. The mean effluent pH of four experimental runs varied between 6.96 and 7.35. These pH values were favorable for plant growth, as the suitable range for naturally occurring cattails is between 4.7 and 10. At this pH range, precipitation seems to be the predominant mechanism for cadmium removal in wetlands. The effluent pH was higher than the influent pH, effect that could have been a result of plant metabolic activities and cycling of organic substrates associated with the wetland (Haraguchi, 1996; Hutchins and Merrick, 2004).

In wetland systems, microbial degradation plays a dominant role in the removal of soluble/colloidal biodegradable organic matter (BOD or COD) present in wastewater. Settable organics are rapidly removed in wetland systems by quiescent conditions, deposition, and filtration. Mean S-COD removal efficiencies in the two types of wetland systems were in the range of 78.4 to 92.2% during the experimental period. The overall average removal efficiencies for S-COD, TKN, TP, TSS, and VSS during the four experimental runs in FWS and SF wetland systems are shown in Table 4.2.

The average TKN removal efficiencies during the four experimental runs ranged from 64.7 to 91.3%. The potential rate of nutrient uptake is limited by the growth rate of the plants and the concentration of nutrients in the plant tissues. In view of overall removal of nitrogen from wastewater, plants that have rapid growth rates and capability to attain a high standing crop (biomass per unit area) can influence the rate of removal (Vigneswaran and Sundaravadivel, 2001).

The average phosphorus removal efficiencies were in the range of 61.6-90.5%, and were low in Run 1 and increased in Run 2, 3 and 4 in both wetlands. The high removal efficiencies could be due to the increased adsorption and precipitation in the longer operations.

Table 4.2 Overall average removal efficiencies for S-COD, TKN, TP, TSS and VSS during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4)

Parameters	Run 1		Run 2		Run 3		Run 4	
	FWS (%)	SF (%)	FWS (%)	SF (%)	FWS (%)	SF (%)	FWS (%)	SF (%)
S-COD	79	88	87	91	86	92	85	90
TKN	65	85	75	87	84	91	83	88
TP	62	75	80	87	85	90	86	90
TSS	70	80	76	85	81	87	82	91
VSS	51	63	64	69	73	80	74	82

Wetlands are capable of achieving a high efficiency of suspended solids removal from the water column. Settleable solids are removed easily via gravity sedimentation as wetland systems generally have long hydraulic retention times. Nonsettling/colloidal solids are removed via various mechanisms that include: straining (if sand media is used); sedimentation and biodegradation (as a result of bacterial growth); and collisions (inertial and Brownian) with adsorption (van der waals forces) of other solids (plants, soil, sand and gravel media etc.). For SF, gravel media is an important component for the TSS removal. The average TSS removal efficiencies during four experimental runs were in the range of 68.3-90.9%. The average VSS removal efficiencies during four experimental runs were in the range of 50-84%.

Based on the results of mass removal efficiencies of S-COD, TKN, TP, TSS, and VSS, it was concluded that the control and experimental units of both systems showed a similar performance. Hence, the various concentrations of cadmium in influent (1, 5, 10 and 20 mg/L) did not affecting the treatment mechanisms for the above parameters in the wetland systems studied.

4.3 Cadmium removal in wastewater

Removal of cadmium in wetlands may occur through a number of processes, including plant uptake and soil adsorption (binding to soil particles). Chemical reactions between substances, especially metals, can lead to their precipitation from the water column as insoluble compounds.

The average cadmium removal efficiencies in the two wetland systems during the four experimental runs are shown in Figure 4.1. High removal efficiencies were obtained in both

wetland systems and were slightly higher in subsurface flow wetlands as compared to the free water surface wetland system. The average removal efficiencies of FWS wetland during the experimental period ranged between 98.6-99.6%. For SF wetland, the average removal efficiencies were in the range of 99.3-99.9%.

For the FWS wetland, cadmium loadings in effluent were 27.21, 28.41, 74.32, and 90.76 mg/d for Run 1, 2, 3, and 4, respectively. These loadings represented 0.5% of the influent cadmium loading. For the SF wetland, cadmium loadings in effluent were 4.13, 4.04, 6.21, and 9.92 mg/d for Run 1, 2, 3, and 4, respectively. These loadings represented 0.18% of the influent cadmium loading.

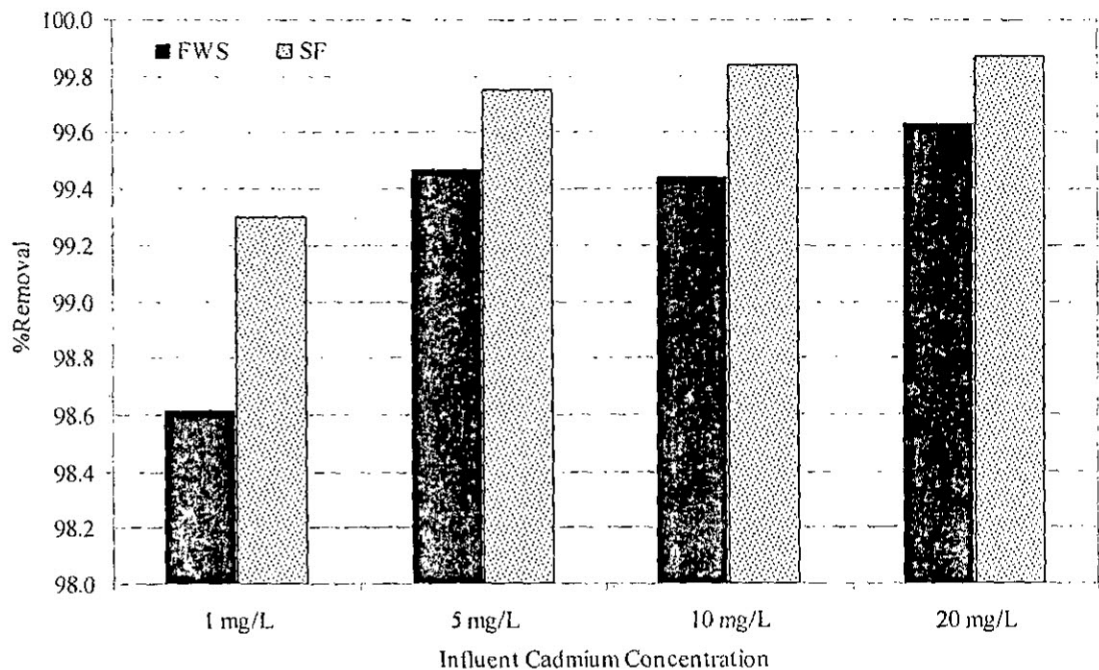


Figure 4.1 Average cadmium removal efficiencies of two wetland systems during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4)

4.4 Cadmium removal by soil

Wetland soils are potentially effective traps or sinks for metals, due to the relative immobility of most metals in such soils. Cadmium forms nearly insoluble compounds with sulfides under anaerobic conditions in wetland soils.

Soil samples were collected at the end of each run along reactor lengths at distances of 0.5, 1.5, 2.5, and 3.5 m from the inlet, and at depths of 15, and 25 cm of the soil bed. The total accumulation of cadmium in the soil was determined at the end of Run 4. The results showed a

high concentration of cadmium at the inlet that decreased along the reactor length for both wetland systems. Concentrations at the depth of 15 cm were higher than at the depth of 25 cm. This could have been because of a greater adsorption of cadmium in sand (Eriksson, 1988). The total cadmium accumulation in soil in the two wetland systems during four runs is shown in Figure 4.2.

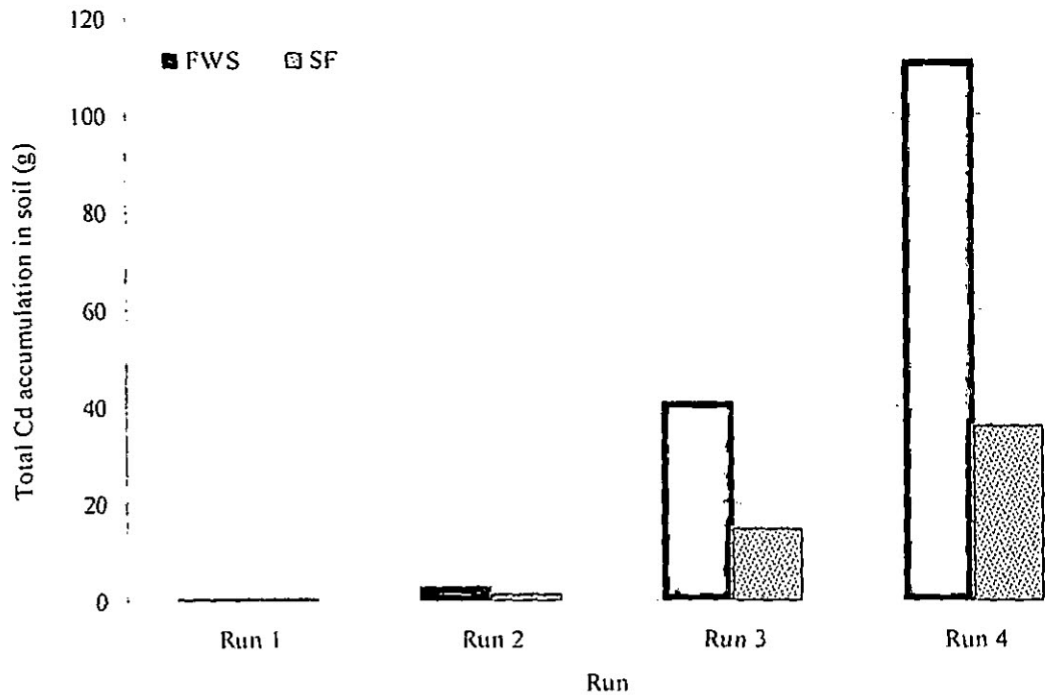


Figure 4.2 Total cadmium accumulation in soil in two wetland systems during four experimental runs of Part 1 (Run 1-4)

4.5 Cadmium removal by plant uptake

Plant uptake rates and tolerance of metals vary considerably among plant species. Some terrestrial plant species are known to be capable of storing high concentrations of metals in roots and other issues. Metals may also tend to accumulate on the root surfaces, rather than being taken up into the plant (Vigneswaran and Sundaravadival, 2001).

Table 4.3 shows the mass density and moisture content of cattail plants in the four reactors at the end of Run 4. Table 4.3 shows that the yield for cattail plants was less for the SF than for the FWS, probably because of a reduced water level in the SF wetland, since the roots were reaching approximately 30 cm from the medium top.

The concentration of cadmium accumulated in each section of the plant until the end of Run 4 as shown in Figure 4.3. It can be seen that cadmium accumulated in the roots was higher than in the stems and leaves in both wetland systems.

Table 4.3 Mass density and moisture content of the cattail plants in four wetlands units (Part 1)

Reactor	Wet weight (kg/m ²)	Moisture (%)
R1	24.0	54.64
R2	19.8	53.49
R3	12.6	48.80
R4	13.0	45.03

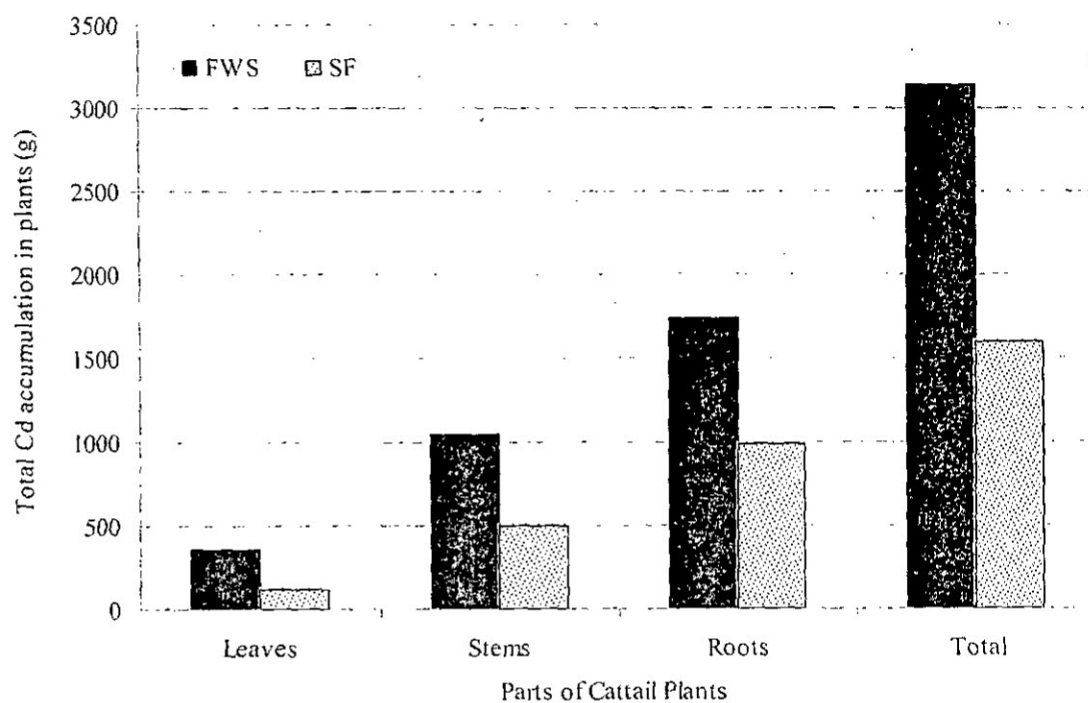


Figure 4.3 Total cadmium in various parts of plants in two wetland systems at the end of run 4 of Part 1

Cadmium accumulation in roots was about 55.2% in the FWS and 61.6% in the SF with respect to the total accumulation in the whole plant. Cadmium could have been chelated by organic acids and amino acids present in higher concentration in the roots (Thayalakumaran, 1994). Since

the cattails were able to accumulate up to 3200 ppm in the FWS and 2800 ppm in the SF, these plants can be classified as cadmium hyperaccumulators. However, as the roots accounted for more than 50% of Cd uptake by plants, it is difficult to dispose of these plants after they are used for heavy metals' removal in wetlands.

4.6 Mass balance

For removal of cadmium, the overall performance of the wetlands was very good. Both, the soil and plants were the sinks for the accumulation of cadmium. In subsurface flow wetland, cadmium was removed mainly by the media acting as filter beds. The adsorption of cadmium by the media was very effective because of the wastewater flowing through the soil bed. In the FWS, cadmium was not sorbed by the soil bed as much since the water level was maintained above it. Thus some of the cadmium was not attached to the soil bed. In addition to the soil bed, the stems of cattail plants could also act as filters for cadmium removal. Chemical precipitation of cadmium could also have occurred in both systems.

Figures 4.4-4.5 show the mass balance for cadmium in each wetland system. Relative to the total intake, the cadmium present in the effluent was only about 0.5% in the FWS and 0.2% in the SF and the greater accumulation occurred in the soil with values of 84.5% for the FWS and 91.3% for the SF. The lost Cd via other sinks (e.g. precipitation) were about 12.5% and 4.5% of total cadmium uptake for FWS and SF system, respectively.

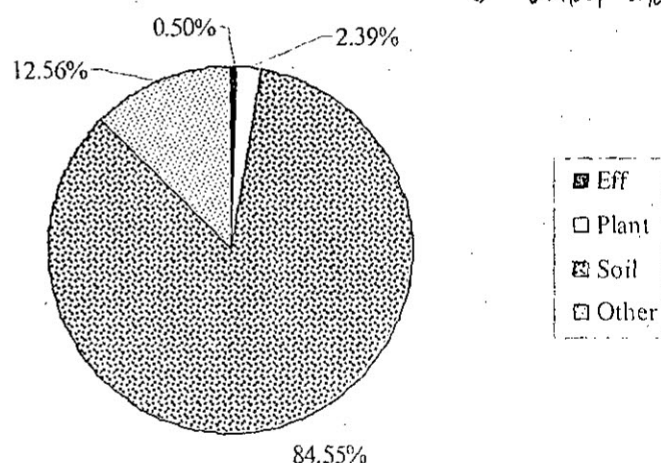


Figure 4.4 Cadmium mass balance in Free water surface wetland system-Part 1

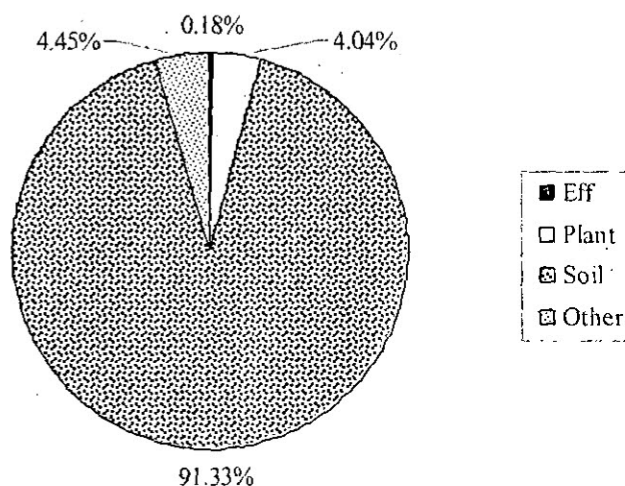


Figure 4.5 Cadmium mass balance in Subsurface flow wetland system-Part I

Part 2

4.7 Tracer study

At the onset of Part 2 of this research, a tracer study was carried out to evaluate the flow pattern in three of the five experimental wetland units. A sodium chloride (NaCl) solution was prepared with tap water at a concentration of 5 g/L and fed into the constructed wetlands. The effluent was analyzed for chloride concentration for the three flowrates used as 51.75 L/d (HRT = 5 days), 36.96 L/d (HRT = 7 days) and 25.88 L/d (HRT = 10 days), respectively. Porosity of the media bed was determined in laboratory (ASTM, 1992) and was found to be 0.44. Chloride (Cl⁻) concentration in the effluent was analyzed at the sampling intervals of 12 hrs during the three HRTs. The values of actual HRT and dispersion number are shown in Table 4.4.

Table 4.4 Actual hydraulic retention time (HRT) and dispersion numbers of constructed wetlands by tracer study (Part 2)

HRT (days)	Actual HRT (days)	Dispersion Number
5	4.78	0.1951
7	6.57	0.1852
10	9.27	0.1855

In view of the moderate dispersion numbers (d), the flow characteristics of these constructed wetlands could be classified as approaching plug-flow pattern.

4.8 Influent and effluent concentrations of monitored parameters

During the experimental period (1 year and 6 months), the DO in the influent was in the range of 0-0.3 mg/L. The effluent DO concentrations in the five reactors during three experimental runs varied between 1.6-6.1 mg/L. The ambient, as well as influent and effluent temperatures during the experimental period, varied between 20 and 32 °C. Desirable temperatures for growth of bulrush are 16-27 °C (Reed et al., 1988; USEPA, 1988). The pH of the prepared synthetic wastewater was in the range of 4.2-5.45, while the pH of synthetic wastewater mixed with different cadmium concentrations varied between 4.04 and 5.72. The mean effluent pH during three experimental runs varied between 5.76 and 7.58. Bulrush plants are found to be growing well in a pH range of 4-9 (Reed et al., 1988; USEPA, 1988).

Figure 4.6 shows average removal efficiency of S-COD during three experimental runs. Mean S-COD removal efficiencies in the FWS wetland systems were in the range of 71.58-90.89%. It can be seen in Figure 4.6 that S-COD removal in the wetland units was only slightly affected by the influent Cd concentrations. There was a reduction in S-COD removal with increased influent loading during each run (3.92% in Run 5, 5.12% in Run 6, and 2.76% in Run 7, respectively). With respect to HRT, the removal increased (15.24% on average) in Run 6 (HRT = 7 days) compared to in Run 5 (HRT = 5 days), but slightly decreased (4.95% on average) in Run 7 (HRT = 10 days). Therefore, 7 days seems to be the optimum HRT for S-COD removal in the FWS wetland systems with bulrush plants in this study.

4.9 Cadmium removal in wastewater

Figure 4.7 shows cadmium removal efficiency of wetland units with four different Cd concentrations in influent during the three experimental runs. The overall average cadmium removal efficiency during the three runs ranged between 75-97% (74.6-81.9% in Run 5 at HRT = 5 days, 82.6-90.8% in Run 6 at HRT = 7 days, and 92.7-96.5% in Run 7 at HRT = 10 days, respectively).

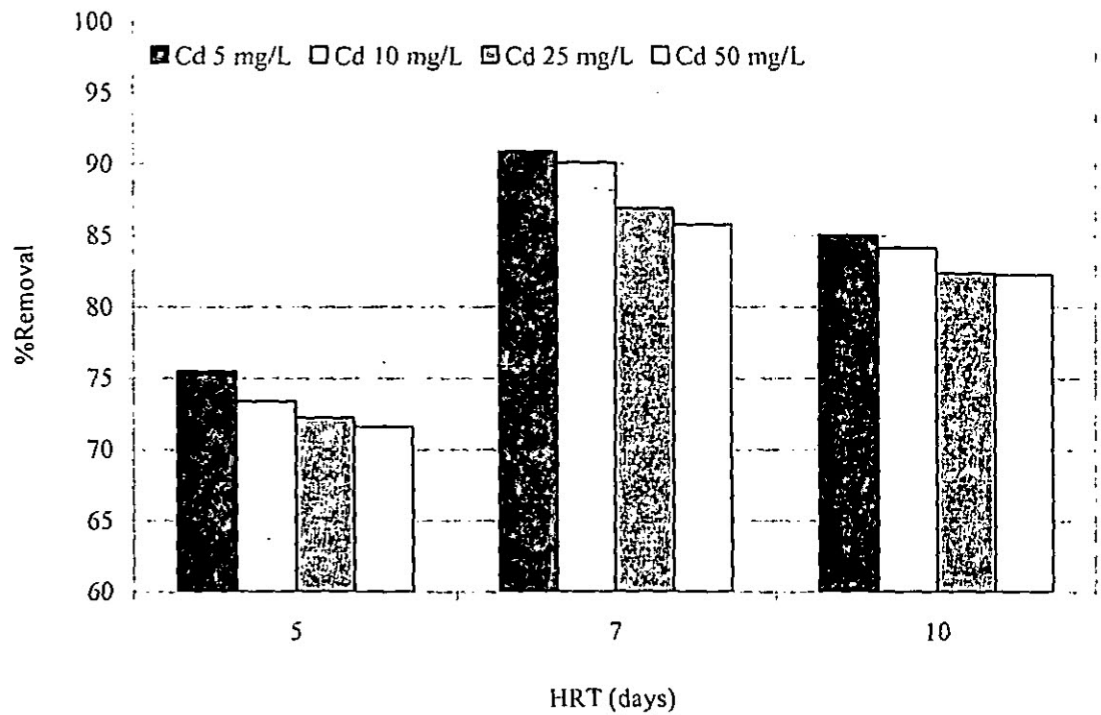


Figure 4.6 Average removal efficiency of S-COD during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7)

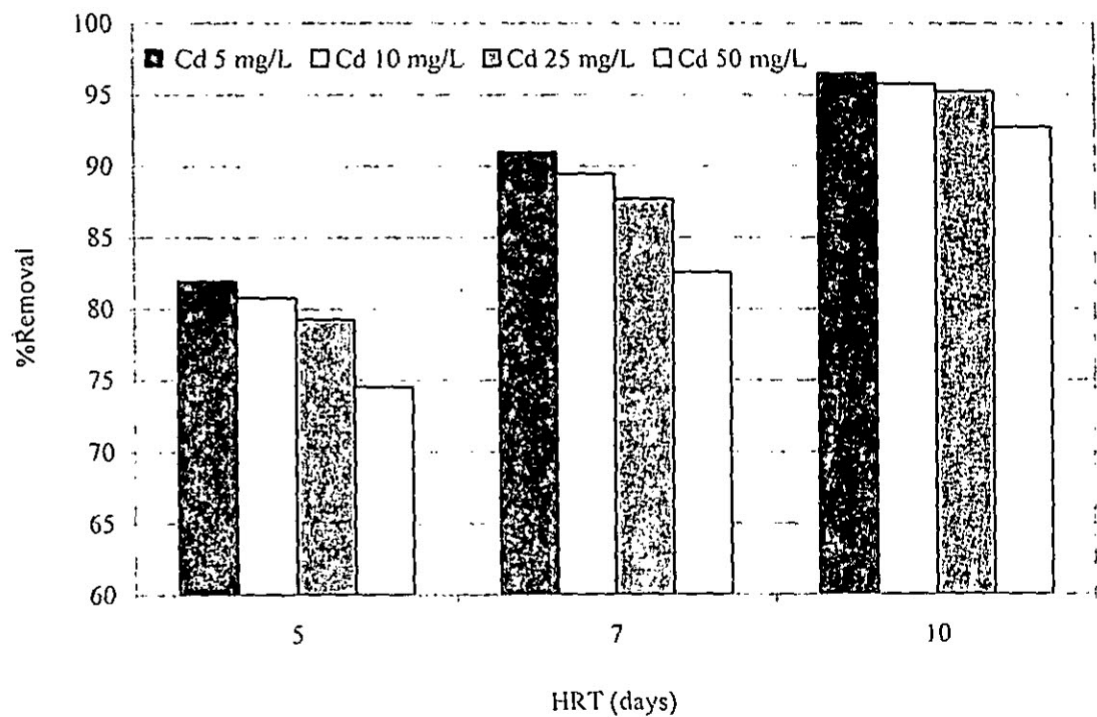


Figure 4.7 Average cadmium removal efficiencies of wetland units during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7)

For HRT 5 days, influent and effluent cadmium loadings were 258.8, 517.5, 1,293.8, 2,587.5 mg/d, and 46.6, 99.4, 267.9, 658.5 mg/d, for reactors R6, R7, R8, and R9, respectively. In Run 6, influent and effluent cadmium loadings were 184.8, 369.6, 924, 1,848 mg/d, and 16.7, 38.9, 113.4, 322.3 mg/d, for R6, R7, R8, and R9, respectively. For HRT 10 days, cadmium loadings were 129.4, 258.8, 647, 1,294 mg/d in the influent and 4.5, 10.9, 37.3, 93.9 mg/d in the effluent for R6, R7, R8, and R9, respectively.

It can be seen in Figure 4.7, that cadmium removal was affected by higher influent loading in each run. Removal decreased with increased loading. However, the removal efficiency for cadmium increased with HRT. Maximum removal occurred at HRT 10 days. Thus, in terms of Cd removal from wastewater in FWS constructed wetlands with bulrush plants, HRT of 10 days seems to be optimum for this study.

4.10 Cadmium removal by soil

Soil samples were collected at the end of each run along reactor lengths at distances of 0.05, 0.65, 1.25, 1.9, and 2.45 m from the inlet, and at depths of 0, 15, 30, and 45 cm from the top of the soil bed. The total accumulation of cadmium in the soils was determined at the end of each run. The results showed a high concentration of cadmium at the inlet that decreased along the reactor length in three experimental runs. Concentrations at the top were higher than at the depth of 15, 30 and 45 cm. The porosity of sand (0.49) being higher than that of the mixture of soils and sands (0.41) could have been the cause of a higher adsorption of cadmium at the top of soil bed. The total cadmium accumulation in soils during three experimental runs is shown in Figure 4.8.

It can be seen in Figure 4.8, that total cadmium accumulation in soil bed increased with influent loading during each run. Also, the accumulation decreased with HRT for all influent concentration.

4.11 Cadmium removal by plant uptake

Table 4.5 shows the mass density and moisture content of bulrush plants in three experimental runs. It can be seen that the yield for bulrush plants in FWS wetland increased with cadmium concentration during three experimental runs.

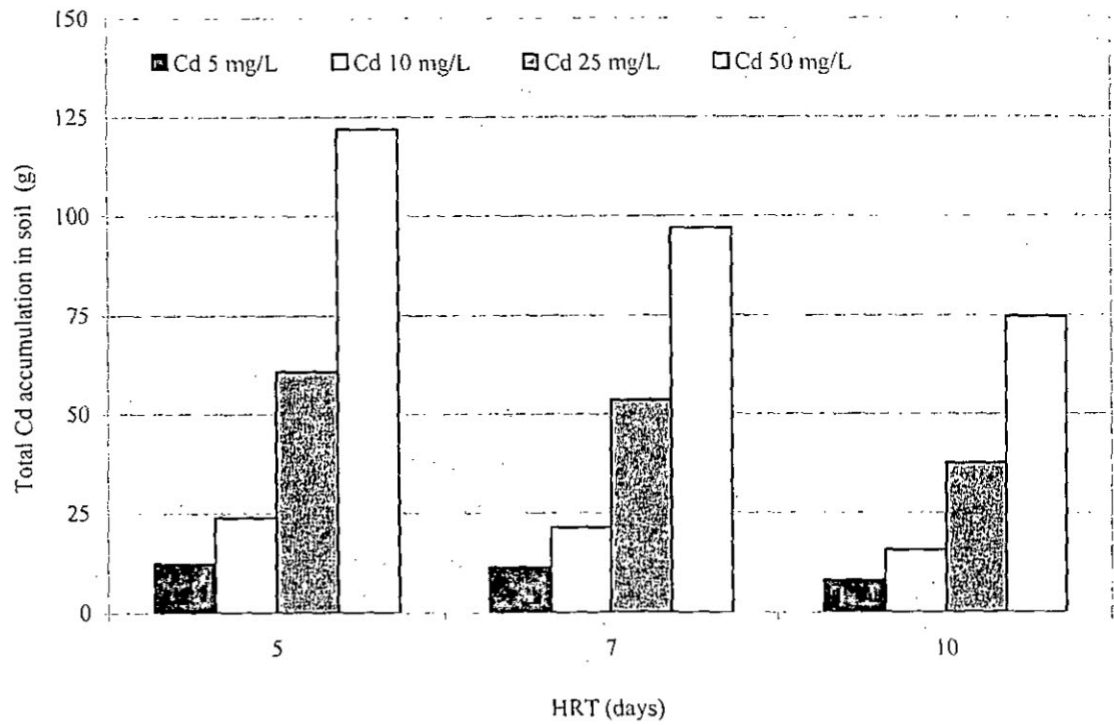


Figure 4.8 Total cadmium accumulation in soil bed in the FWS wetland system during three experimental runs of Part 2 (Run 5-7)

Table 4.5 Mass density and moisture content of bulrush plants in three experimental runs (Part 2)

Run	Reactors	Wet Weight (kg/m ²)	Moisture (%)
5	R6	45.93	83.97
	R7	47.44	82.66
	R8	53.86	84.75
	R9	71.58	84.88
6	R6	48.15	87.25
	R7	45.29	85.34
	R8	51.72	86.37
	R9	74.54	86.36
7	R6	40.03	87.69
	R7	50.97	87.23
	R8	50.86	85.66
	R9	73.05	86.66

Cadmium accumulations in roots and stems of the bulrush plants until the end of each experimental run are shown in Figure 4.9. It can be seen that total Cd accumulation in the stems was higher than in the roots for all four wetland units. It should be also be noted that the cadmium concentration in the roots (mg/g) was found to be higher than in the stems. However, as the dry weight of the roots of bulrushes was only 25% of the stems, the actual mass accumulation of Cd in stems was higher than in the roots.

It can be seen in Figure 4.9 that, during all the runs cadmium accumulations in stems and roots were higher at high influent loadings. However, the cadmium accumulations in stems and roots at higher HRT (lower loading for each concentration) decreased as compared to those at lower HRT (higher loadings).

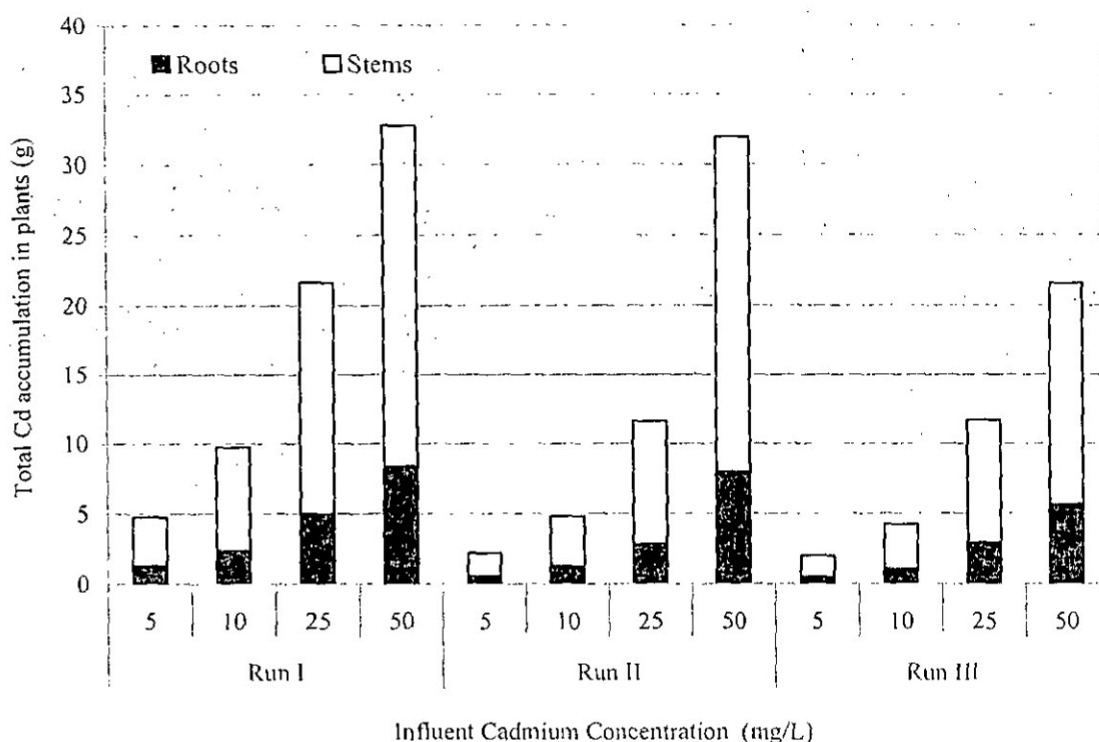


Figure 4.9 Total cadmium accumulation in roots and stems of plants in FWS wetland system at the end of each experimental run in Part 2

4.12 Mass balance

Figure 4.10 shows the mass balance for cadmium during each experimental runs. Relative to the total intake, the cadmium present in the effluents were in the range of 18.1-25.5, 9.1-13.2, and 3.5-7.4% in Run 5, 6, and 7, respectively. The maximum cadmium removal occurred

through the accumulation in the soils with mass fraction values of 56.3-57.9, 63.9-74.8, and 69.9-75.5% for HRT = 5 days, 7 days, and 10 days, respectively. The lost Cd via other sinks ranged between 1.5-1.6, 1.7-1.9, and 2.1-2.3% of total cadmium uptake in Run 5, 6, and 7, respectively. Mass fraction of cadmium accumulated in plants ranged between 15.4 and 22.9, 14.4 and 21.1, and 18.9 and 21.9, during Run 5, Run 6, and Run 7, respectively.

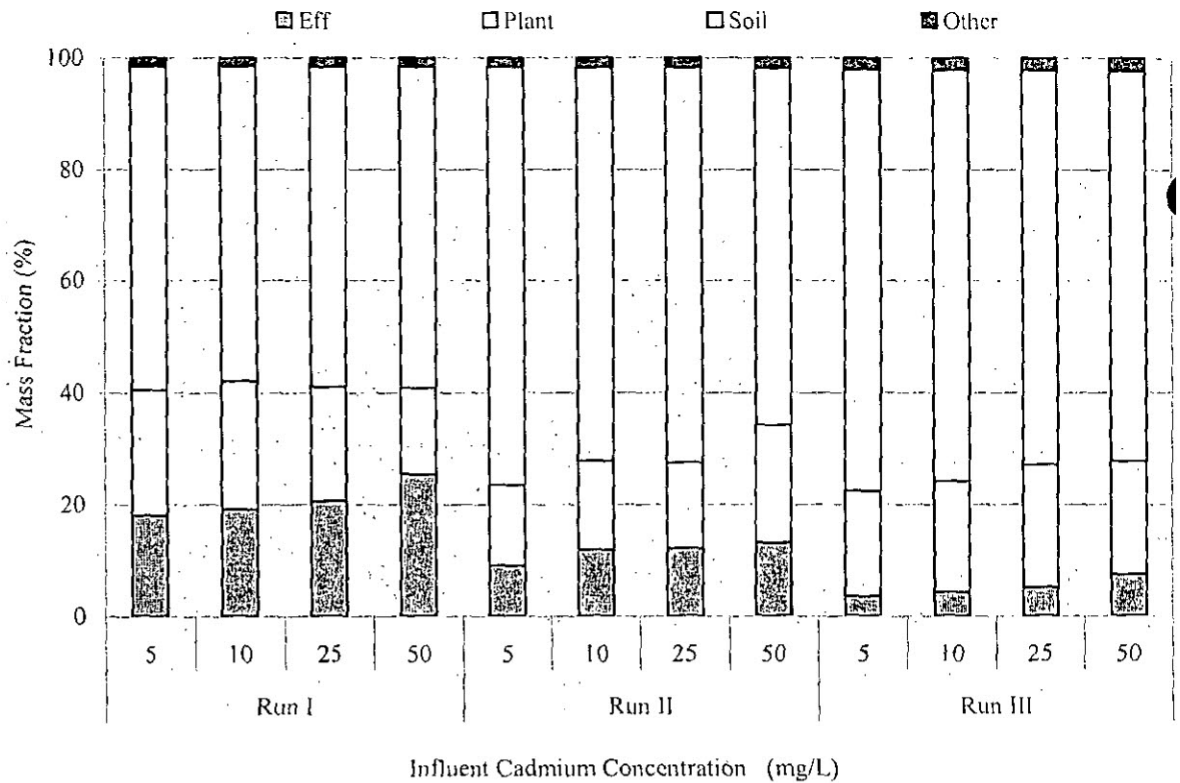


Figure 4.10 Cadmium mass balance in three experimental runs (Part 2)

4.13 Comparison of FWS constructed wetlands under difference environmental conditions

The FWS constructed wetlands for synthetic domestic and industrial wastewater mixed with Cd concentrations of 5 and 10 mg/L was compared for cattail and bulrush plants at HRT 5.5 and 5 days, respectively. Mean S-COD removal efficiencies for influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L were 86.9% and 85.5% for wetland with cattail plants and 75.5% and 73.9% for wetland with bulrush plants. The average Cd removal efficiencies were 99.5% and 99.4% for FWS wetland system with cattail plants and 81.9% and 80.8% for FWS wetland system with bulrush plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L, respectively. Mean S-COD and Cd removal efficiencies were only slightly different for the two wetland systems with two different

plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L. High removal efficiencies were observed for synthetic domestic and industrial wastewater and were higher in the FWS constructed wetlands with cattail plants (synthetic domestic wastewater) as compared to the wetlands with bulrush plants (synthetic industrial wastewater)

Chapter V

Conclusions and Recommendations

5.1 Conclusions

Part 1: Treatment performance of Free water surface and Subsurface constructed wetland systems with cattail plants was investigated by determining removal efficiencies of several monitored parameters including cadmium concentrations in synthetic domestic wastewater. The removal efficiencies of the monitored parameters were not significantly different in the control and experimental reactor units of the two constructed wetlands. For free water surface (FWS) wetland, the overall removal efficiencies ranged between 78-88%, 65-85%, 62-86%, 69-83%, 50-74% for COD, TKN, TP, TSS, and VSS, respectively. The removal efficiencies of these parameters in subsurface flow (SF) wetland were in the range of 88-92%, 85-91%, 74-91%, 78-91%, 62-84%, respectively. Overall cadmium removals of 98.6-99.6% and 99.3-99.9% were achieved for free water surface (FWS) and subsurface flow (SF) wetland, respectively. Most of the cadmium was removed by soil (85-91% of total influent cadmium). Cattail plants could uptake Cd through the roots to stems and leaves' tissues. Of the total cadmium intakes, about 2 to 4% of the total cadmium intake was accumulated in plants. Cattail plants can be classified as heavy metals hyperaccumulators since the concentration of cadmium accumulated in the plant tissue was relatively high. More than 50% of the plant uptake was located in the root tissue.

Part 2: The three FWS constructed wetlands with bulrush plants were used to treat synthetic industrial wastewater with 600-900 mg/L of S-COD. The performance of the wetland system was evaluated for three hydraulic retention times (HRT) 5, 7 and 10 days. The flow characteristics of these constructed wetlands could be classified as approaching plug-flow pattern. The overall average cadmium removal efficiency during the three runs ranged between 75-97% (74.6-81.9% in Run 5 at HRT = 5 days, 82.6-90.8% in Run 6 at HRT = 7 days, and 92.7-96.5% in Run 7 at HRT = 10 days, respectively). Most of the cadmium was accumulated in soils (56-76% of total influent cadmium). Total accumulation of Cd in soil bed was found to be higher in Run 5 (HRT 5 days) and decreased with HRT for all influent concentration. Also, the accumulation increased with influent loading during each run. The cadmium accumulation in soil decreased along the reactor lengths. Cadmium accumulations at the top of soil bed were higher than at the

depth of 15, 30 and 45 cm. The porosity of sand (0.49) being higher than that of the mixture of soils and sands (0.41) could have been the cause of a higher adsorption of cadmium at the top of soil bed. Amount of total Cd uptake by the stems of bulrush plants were higher than roots for all four wetland units fed with synthetic wastewater at different influent loading during the three runs. Of the total cadmium uptakes, about 14 to 23% of the total cadmium intake was accumulated in bulrush plants. During all the runs, cadmium accumulations in stems and roots were higher at high influent loadings. However, the cadmium accumulations in stems and roots at higher HRT (lower loading for each concentration) decreased as compared to those at lower HRT (higher loadings).

The FWS constructed wetlands for synthetic domestic and industrial wastewater mixed with Cd concentrations of 5 and 10 mg/L was compared for cattail and bulrush plants at HRT 5.5 and 5 days, respectively. Mean S-COD removal efficiencies for influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L were 86.9% and 85.5% for wetland with cattail plants and 75.5% and 73.9% for wetland with bulrush plants. The average Cd removal efficiencies were 99.5% and 99.4% for FWS wetland system with cattail plants and 81.9% and 80.8% for FWS wetland system with bulrush plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L, respectively. Mean S-COD and Cd removal efficiencies were only slightly different for the two wetland systems with two different plants at influent cadmium concentrations of 5 and 10 mg/L. High removal efficiencies were observed for synthetic domestic and industrial wastewater and were higher in the FWS constructed wetlands with cattail plants (synthetic domestic wastewater) as compared to the wetlands with bulrush plants (synthetic industrial wastewater).

Based on the results of this study, it could be concluded that cadmium at the low concentrations in wastewater may be efficiently removed by using free water surface (FWS) and subsurface flow (SF) wetland systems with cattail plants. The FWS constructed wetland system with bulrush plants may also be effective in cadmium removal from industrial wastewater even at high influent loadings. The optimum HRT for efficient Cd removal from wastewater appears to be 10 days. Thus wetland systems can be used to improve the quality of final effluents from industrial wastewater treatment plants before their disposal into receiving water bodies.

5.2 Recommendations

Based on the results of this study, some recommendations for further research are suggested as follows:

- 5.2.1 The feasibility study on the reuse/remediation of cattail plants, bulrush plants and soil after the treatment runs in the wetland systems should be conducted in order to avoid public health problems resulting from toxicity of accumulated cadmium in them.
- 5.2.2 Evaluation of long-term performance of wetlands for treatment of wastewater containing heavy metals, as well as their environmental impact should be investigated.

References

- Allen, S. E. (1974). Chemical analysis of ecological materials. Black-well Scientific. London.
- American Public Health Association (APHA). the American Water Works Association (AWWA). and the Water Environment Federation (WEF). (1995). Standard methods for the examination of the water and wastewater. 19th Edition. Washington. D.C.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1992). Annual book of ASTM standards. ASTM D 854-91: Standard test method for specific gravity of soils. Vol. 04.08. Philadelphia. Pa.
- Bastian, R.K., Sanaghan, P.E. and Thompson, B.P. (1989). Use of Wetlands for Municipal Wastewater Treatment and Disposal-Regulatory Issue and EPA Policies. In Hammer, D.A: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and agricultural. Lewis publishers. Michigan.
- Blake, G., Kaigate, B., Fourcy, A. and Boutin, C. (1987). Incorporation of Cadmium by Water Hyacinth. Water Science&Technology. Vol. 19. No. 10. pp. 123-128.
- Bourg, A. C. M. (1995). Speciation of Heavy Metals in Soils and Groundwater and Implications for Their Natural and Provoked Mobility. In Salomons, W., Forstner, U. and Marder, P. Heavy Metals Problems and Solutions. Springer. Germany.
- Buzzi, R.A. (1992). Chemical Hazardous at Water and Wastewater Treatment Plants. Lewis publishers. Michigan.
- David H. O., James K. H. and Rao A. R. (1984). Cadmium Uptake by the Water Hyacinth: Effects of Solution Factors. Environmental Pollution. Vol. 34. pp. 133-147.
- Delgado, M., Bigcriego, M. and Guardiola, E. (1993). Uptake of Zn, Cr and Cd by Water Hyacinths. Water Research. Vol. 27. No. 2. pp. 269-272.
- Eriksson, J.E. (1988). The Effects of Clay, Organic Matter and Time on Adsorption and Plant Uptake of Cadmium to the Soil. Water, Air, and Soil Pollution. Vol. 40. pp.359-373.
- Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R. and Goldman, C. R. (1984). The Removal of Heavy Metal by Artificial Wetlands, Proceedings of the Water Reuse Symposium III, San Diego, California. Future of Water Reuse. Vol. 2. pp. 639-648.

- Hansen, D., Duda, P. J., Zayed, A. and Terry, N. (1998). Selenium Removal by Constructed Wetlands: Role of Biological Volatilization. Environmental Science & Technology. Vol. 32. pp. 591-597.
- Haraguchi, A. (1996). Effect of pH on photosynthesis of five sphagnum species in mires in Ochiishi, Northern Japan. Wetlands: The Journal of the Society of Wetlands Scientists. Vol. 16. pp. 10-14.
- Hutchins, S., and Merrick, G. (2004). Teaching about the effect of pH on aquatic organisms(Online). Available URL: <http://www.waterontheweb.org/curricula/bs/teacher/pH/teaching.html>
- Kadlec, R. H. and Knight, R.L. (1996). Treatment Wetlands. CRC Press Inc. Florida.
- Kananidhinan, L. (1996). Efficiency of Cyperus Corymbosus, Typha Angustifolia, Phragmites Australis, and Eleocharis Dulcis in Constructed Wetlands for Chromium Treatment of Electroplating Industrial Wastewater. Master Thesis, Chulalongkorn University. Thailand.
- Khosraviani, M., Pavlov, A. R., Flowers, G. C. and Blake, D. A. (1998). Detection of Heavy Metals by Immunoassay of a Rapid, Portable Assay for Ionic Cadmium. Environmental Science & Technology. Vol. 32. pp. 137-142.
- "Laboratory Instruction Sheet No. ED 082313." (2001). Urban environmental engineering and management program, School of environment, resources and development, Asian Institute of Technology. Thailand.
- Levenspiel, O. (1972). Chemical reaction engineering. 2nd Edition. Wiley International. New York.
- Lim, P.E. and Polprasert, C. (1996). Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Resource Recovery. Environmental Systems Reviews. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Lund, M.A. (2002). Designing Constructed Wetlands for Removal of Filterable Reactive P from Storm/Groundwater in a Mediterranean Climate. In Enviro 2002 & IWA 3rd World Water Congress, Convention & Exhibition. Melbourne. Australia.
- Mcketta, J. J. (1993). Inorganic Chemical Handbook. Marcel Dekker Inc. New York.
- Metcalf & Eddy Inc. (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. 3rd Edition. McGraw-Hill International Edition. New York.
- Mungur, A.S., Shutes, R. B. E., Revitt D. M. and House M.A. (1997). An Assessment of Metal Removal By a Laboratory Scale Wetland, Water Science & Technology. Vol. 35. No. 5. pp. 125-133.

- Meutia, A. (2002). The Application of Subsurface Constructed Wetland to Treat Dormitory Wastewater in Rural Indonesia. In Enviro 2002 & IWA 3rd World Water Congress, Convention & Exhibition. Melbourne. Australia.
- National Safety Council. (2000). Cadmium Chemical Background (Online). Available:<http://www.crossroads.nsc.org/chemicaltemplate.cfm?id=878chempath=chemicals>.
- Novotny, V. (1995). Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters. In Salomons, W., Forstner, U. and Mader, P. Heavy Metals Problems and Solutions. Springer. Germany.
- O' Neill, P. (1993). Environmental Chemistry. 2nd Edition. Chapman&Hall. London.
- Pendis, A. K. and Pendias, H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition. CRC Press Inc. London.
- Phanuwan, C. (1999). Plug-flow Model for Organic Removal in Constructed Wetlands. Master Thesis. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Polprasert, C. (1996). Organic Waste Recycling. 2nd Edition. John Wiley & Sons. London.
- Polprasert, C., Sikka, B. and Tchobanoglous, G. (1986). Aquatic Weeds and their Uses-An Overview of Perspectives for Developing Countries. Environmental Sanitation Reviews. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Ranieri, E. (2002). Hydraulic of Sub-Superficial Flow Constructed Wetlands in Semi Arid Climate Conditions. In Enviro 2002 & IWA 3rd World Water Congress, Convention & Exhibition. Melbourne. Australia.
- Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., and Crites, R. W. (1988). Natural systems for waste management and treatment. McGraw-Hill. New York.
- Richter, K.M., Margetts, J.R., Saul, A.J., Guymer, I., and Worrall, P. (2002). Baseline Hydraulic Performance of the Heathrow Constructed Wetlands Subsurface Flow System. In Enviro 2002 & IWA 3rd World Water Congress, Convention & Exhibition. Melbourne. Australia.
- Scholes, L.N.L., Shutes, R.B.E., Revitt, D.M., Purchase, D., and Forshaw, M. (1999). The Removal of Urban Pollutants by Constructed Wetlands during Wet Weather. Water Science and Technology. Vol. 40. No. 3. pp. 333-340.

- Shutes, R. B., Ellis, J. B., Revitt, D. M. and Zhang, T. T. (1993). The Use of *Typha latifolia* for Heavy Metal Pollution Control in Urban Wetlands. In Moshiri, G.A. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. CRC Press Inc. Florida.
- Sinha, S. and Chandra, P. (1990). Removal of Cu and Cd from Water by *Bocopamonniari* L. Water, Air, and Soil Pollution. Vol. 51. pp. 271-276.
- Sintumongkolchai, S. (1996). Operational Strategy in the Removal of Cadmium for Constructed Wetlands. Master Thesis. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Thayalakumuran, N. (1994). Application of Constructed Wetlands to the Treatment of a Heavy Metal. Master Thesis. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Treerattanaporn, R. (1999). Treatment of Cadmium from Wastewater using Subsurface-Flow Constructed Wetlands. Master Thesis. Chulalongkorn University. Thailand.
- Townshend, A. (1995). Encyclopedia of Analytical Science. Academic Press Inc. San Diego.
- USEPA (1988). Design manual: Constructed wetlands and aquatic plants systems for municipal wastewater treatment. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. EPA 625/1-88/022.
- Vigneswaran, S. and Sundaravadivel, M. (2001). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. Vol. 31. No. 4. pp. 351-409.
- Wase, J. (1997). Biosorbents for Metal Ions. Taylor&Francis Ltd. London.
- Watson, J. T. and Hobson, J. A. (1989). Hydraulic Design Consideration and Control Structures for Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. In Hammer, D.A. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and agricultural. Lewis publishers. Michigan.
- Westerman, R. L., ed. (1990). Soil testing and plant analysis. 3rd Edition. Soil Science Society of America Book Series No.3. SSSA. Madison. Wis.

Curriculum Vitaes

Name: Dr. Boonchai Wichitsathian

Home Address: 897/177 Soi Pracha-Utid 59, Pracha-Utid Road
Bangmod, Thungkhru, Bangkok 10140

Current Position: Lecturer of the School of Environmental Engineering
School of Environmental Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology, Amphor Mueang
Nakhon Ratchasima 30000
Tel: (+66) 4422-4457 Fax: (+66) 4422-4220
E-mail: boonchai@sut.ac.th

EDUCATION:

D.Tech.Sc.	Environmental Engineering. Asian Institute of Technology, Thailand.
M.Sc.	Environmental Technology. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Thailand.
B.Sc.	Industrial Chemistry. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Thailand.

WORK EXPERIENCES:

January 1997 – Present	Lecturer of the School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.
March 1993 – Dec1996	Environmental engineer of Engineering Consultant and Supply Co., Ltd. and Thai-Euro Plastic Industrial Co., Ltd.
July 1991 – Feb 1993	Project coordinator officer of the Asian-Canada Project.
April – June 1991	Process engineer of the Pacific-Thai Electric Wire and Cable Co., Ltd.

RESEARCH WORKS:

1. Application of Dissolved Air Floatation System for Tuna Cannery Industry, 1994.
2. Self-burning Incinerator with Air Pollution Control, 1999.
3. Application of Membrane Bioreactor Systems for Landfill Leachate Treatment, 2004.
4. Application of Chemical Processes for Landfill Leachate Treatment, 2004.

5. Cleaner Technology in A Metal Finishing Industry in Thailand, 2005-2006.
6. A Novel Wastewater Treatment System Using A UASB Reactor and a Downflow Hanging Sponge (DHS) Post Treatment Unit, 2005-2007.

PATENT:

1. “เตาเผาขยะขนาดเล็กประสิทธิภาพสูง” ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2547 เลขที่คำขอ 093761

PUBLICATION:

1. Wichitsathian, B., Sindhuja, S., Visvanathan, C., and Ahn, K. H., 2004. Landfill Leachate Treatment by Yeast and Bacteria Based Membrane Bioreactors. *Journal of Environmental Science and Health, Part A—Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 39(9), 2391 – 2404.
2. Wichitsathian, B., Sindhuja, S., Visvanathan, C., and Ahn, K. H., 2004. Landfill Leachate Treatment by Yeast and Bacteria Based Membrane Bioreactors. *The Fourth AIT-KIST International Joint Symposium*, Asian Institute of Technology, Thailand, 20 May.
3. Wichitsathian, B., Sindhuja, S., Visvanathan, C., and Ahn, K. H., 2004. Biokinetic Parameters As an Indicator to Ammonia Toxicity in Leachate Treatment Using Membrane Bioreactors. *Asian Journal of Microbiology Biotechnology Environmental Science*, 6(1), 1-6.
4. บุญชัย วิจิตรเสถียร และ นเรศ เชื้อสุวรรณ, 2548. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในขั้นต้นด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ. การสัมมนาการพัฒนางานวิจัยในเครือข่ายอุดมศึกษานครราชสีมา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 24 มิถุนายน 2548.
5. บุญชัย วิจิตรเสถียร และ พชรินทร์ ราโช, 2548. การศึกษาสถานการณ์และปัญหาในการจัดการขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในประเทศไทย. การสัมมนาการพัฒนางานวิจัยในเครือข่ายอุดมศึกษานครราชสีมา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 24 มิถุนายน 2548.
6. บุญชัย วิจิตรเสถียร, 2548. การใช้เทคโนโลยีสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แต่งหน้าขนม. การประชุมเครือข่ายกลุ่มศึกษาและวิจัยด้านเทคโนโลยีสะอาด ประจำปี 2548, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 9 กันยายน 2548.

EXTRA CURRICULUM AND SPECIAL TRAINING:

Work Type	Description	Capacity
- Design of wastewater treatment system	- On site system for residential	80 – 1,050 m ³ /d
	- Prefabricated system for industry	
	- Central treatment system for villages and condominiums	30 – 600 m ³ /d
	- Treatment plants for textile, frozen food, food, used oil treatment industries, and semi-conductor	
- Design of landfill	- Waste management industry	40 tons/d
- Consultant and control of wastewater treatment system	- Frozen food industry	1,000 m ³ /d
	- Tapioca starch industry	1,600 m ³ /d
	- Hospital	150 m ³ /d
- Training	- Hospital wastewater treatment plant	-
- Environmental impact assessment (EIA)	- Condominium	-
- Project	- Self-burning incinerator with air pollution control	-
	- Initial environmental review for industries in Tha-chin river	-
	- Cleaner technology	-
	- Water quality	-

Name: Ranjna Jindal (Mrs.)
Nationality: Indian
Current Position: Visiting Assistant Professor
 Environmental Engineering and Management Field
 School of Environment, Resources and Development
 Asian Institute of Technology
 P.O. Box 4, Klong Luang, Pathumthani 12120
 Tel: 0-2524-5457; 0-2524-5907 (Home), 0-1329-2091 (Mobile)
 Fax: 0-2524-6200, E-mail: jindal@ait.ac.th

PROFESSIONAL SPECIALIZATION AND INTERESTS:

- Water quality management
- Wastewater treatment processes
- Computer modeling of water and wastewater treatment processes
- Solid waste management in Asian countries
- Air pollution control

EDUCATION:

D.Tech.Sc.	1995.	Environmental Engineering. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
M.Sc.	1982.	Environmental Engineering. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
M.Sc.	1973.	Nuclear Physics. Meerut University, Meerut, India.
B.Sc. (Hons.)	1970.	Physics, Maths, and Statistics. Meerut University, Meerut, India.

OTHER SKILLS:

Languages: **English:** Excellent;
Hindi: Excellent;
Thai: Good speaking abilities;
French: Some knowledge.

WORK EXPERIENCE:

- October 04 – Sep 05: Visiting Assistant Professor
Environmental Engineering Program
Asian Institute of Technology (AIT), Thailand
- January 01 – April 05: Assistant Professor
School of Environmental Engineering
Suranaree University of Technology (SUT), Thailand
- May 03 – Oct 03 Adjunct Assistant Professor
Environmental Engineering Program
Asian Institute of Technology (AIT), Thailand

Course Taught:

- ED24.07: Solid Waste Management *Graduate level*
- July 99 – January 01 Lecturer
School of Environmental Engineering
Suranaree University of Technology (SUT)

Courses Taught:

- 503 506: Water and Wastewater Analysis *Graduate level*
- 503 515: Water Engineering Design *Graduate level*
- 503 513: Air Pollution Control *Graduate level*
- 503 504: Atmospheric Environment *Graduate level*
& Dispersion Modeling

Supervising masters and doctoral students' theses research.

- Has supervised 8 Masters students.
- Currently, supervising 1 doctoral student.

List of Masters Theses Supervised:

- 1) Domestic Wastewater Treatment Using Rock-bed Filtration Process.
- 2) Anaerobic Composting of Solid Waste in Batch-Loading Digesters.
- 3) A Study of Heavy Metals in Bottom Ash From Medical Waste Incinerators in Nakhon Ratchasima Municipality.
- 4) A Study of the Fate of Cadmium in Wastewater Effluents in Constructed Wetland System.

- 5) Heat Generation and Temperature Distribution in an Anaerobic Composting process.
- 6) Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption Using Chitosan.
- 7) Reducing Exhaust Emission from Passenger Cars by Using Three-way Catalytic Converter.
- 8) Strategies for Municipal Solid Waste Management in Suranaree Military Camp.

Sponsored Research Projects:

- 1) Principal Investigator: A preliminary study of arsenic contamination in southern Thailand. Funded by National Research Council of Thailand (NRCT)
Baht 182,500 (Oct 2000 – Sept 2001) Completed
- 2) Principal Investigator: Temperature distribution and heat generation in an aerobic composting process. Funded by National Research Council of Thailand (NRCT)
Baht 210,500 (Oct 2001 – Sept 2002) Completed
- 3) Principal Investigator: Investigations on the heavy metals' removal from wastewater using constructed wetlands. Funded by National Research Council of Thailand (NRCT)
Baht 815,000 (Oct 2002 – Sept 2005) Ongoing
- 4) Principal Investigator: A Novel Wastewater Treated System Using A UASB Reactor and A Downflow Hanging Sponge (DHS) Post Treatment Unit. Funded by National Research Council of Thailand (NRCT)
Baht 550,000 (Oct 2004 – Sept 2006) Ongoing

Royal Golden Jubilee Ph.D. Scholarship Grants – Thailand Research Fund

- 1) Principal Advisor: Removal of Heavy Metals from Wastewater in Constructed Wetlands.
Baht 1.59 million (2001 – 2004)
Co-advisor/Collaborator: Prof. Hideki Harada
Environmental Systems
Engineering
Nagaoka University of
Technology Nagaoka, Japan

- 2) Have been awarded the second RGJ PhD Scholarship Grant to be the principal advisor for research title: "Occurrence and Fate of Antibiotics in Municipal Wastewater"
Baht 1.59 million (2005 – 2008)
Co-advisor/Collaborator: Dr. Ching-Hua Huang
School of Civil and Environmental Engineering
Georgia Institute of Technology, USA
- 3) Have been awarded the third RGJ PhD Scholarship Grant to be the principal advisor for research title: "Toxic and Hazardous Residues in Medical Waste Incinerators' Bottom Ash"
Baht 1.59 million (2005 – 2008)
Co-advisor/Collaborator: Dr. Y.P. Ting
Department of Chemical and
Environmental Engineering
National University of Singapore, Singapore

Jan 99 – April 99	Guest Lecturer, Suranaree University of Technology for teaching a graduate level course - 503 515: Water Engineering Design.
June 96 - March 00	Associated Faculty, Sirindhorn Institute of Technology (SIIT) – Thammasat University, Pathumthani, Thailand for teaching the following Environmental Engineering courses: CE 342: Environmental Studies (Semester 1 & 2, 1996) CE 496: Water and Wastewater Engineering (City Planning) (Semester 2, 1996) IE 353: Pollution Control and Waste Treatment (Semester 1, 1996; Semester 2, 1997, 1998, 1999) Also served as the co-advisor of a senior project of final year civil engineering students entitled "Wastewater Treatment Using Rock-bed Filtration Method" in academic year 1996.

Sept 96 - Aug 98	Consultant in a research project "Investigation of Canal Water Quality Improvement by Filtration Through Different Contact Media" funded by Sumitomo Heavy Industries Ltd., Japan under the UNITWIN / UNESCO Chairs Programme, SIIT, Thammasat University.
July 97 - Aug 98	Consultant, Environmental Systems Information Center (ENSIC), Asian Institute of Technology, Bangkok.
Nov 90 - Dec 95	Research Associate in Environmental Engineering Program, Asian Institute of Technology, Bangkok.
Jul 90 - Oct 90	Program Officer, School of Management, AIT, Bangkok.
Sep 88 - May 89	Research Associate, Biological & Agricultural Engineering Department, University of Arkansas, Fayetteville, AR, U.S.A.
Nov 82 - Feb 83	Research Assistant, ENSIC, AIT, Bangkok.
Feb 74 - Oct 75	Research Fellow, Council of Scientific and Industrial Research, India.

PUBLICATIONS:

Theses:

Jindal, Ranjna (1995). Development and modelling of a water treatment system using the rock-bed filtration method. D.Tech.Sc. Dissertation, No. EV-95-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Jindal, Ranjna (1982). A statistical analysis of some sediment components Accumulated in the reservoirs and lakes. M.Sc. Thesis No. EV-82-28, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Published/Presented:

Jindal, R. and N. Samorkhom (2005). "Investigations on Cadmium removal from Wastewater in Constructed Wetland." *ASCE Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, Vol. 9, No. 3, pp. 173-178.

Racho, P. and R. Jindal (2004). "Heavy Metals in Bottom Ash from a Medical Waste Incinerator in Thailand." *ASCE Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, Vol. 8; No.1, pp. 31-38.

- Kriangkasem, S. and R. Jindal (2003). "Anaerobic Composting of Municipal Solid Wastes in Batch-loading Digesters." *Journal of Environmental Systems*, Vol. 29, No. 3, pp. 193-206.
- Jindal, R. and C. Srisa-ard (2003). "Removal of Lead and Zinc from Wastewater by Adsorption using Chitosan." Proc. of the ASIAN WATER QUAL2003-IWA Asia-Pacific Regional Conference, Bangkok, Thailand during 20-22, October 2003
- Jindal, R. and P. Ratanamalaya (2003). "Investigations on the Status of Arsenic Contamination in Southern Thailand." Proc. of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Asian Institute of Technology (AIT), October 2003.
- Jindal, R. and P. Ratanamalaya (2003). "Modeling of Heat Generation and Temperature Distribution in an Aerobic Composting Process." Proc. of the Symposium on Suranaree University of Technology (SUT) Research and Cooperation between Association of Higher Education Institutes in Nakhon Ratchasima, 18-19 August 2003.
- Somorkhom, N., R. Jindal and P. Pimpan (2002). "Investigation of Heavy Metals Removal from Wastewater in Constructed wetlands." *Proc. of the International Conference on Water and Wastewater: Perspectives of Developing Countries*, New Delhi, India, 11-13 December.
- Jindal, R. and S. Kriengkasem (2002). "Anaerobic Composting of Solid Waste in Batch-Loading Digesters." *Proc. of the EVVIRO 2002/IWA World Water Congress*, Melbourne, Australia, 7-12 April.
- Samorkhom, N, R. Jindal and P. Pimpan (2002). "A Study of the Fate of Cadmium in Wastewater Effluents in Constructed Wetland System." *Proc. of the Third National Symposium on Graduate Research*, Suranaree University of Technology, Thailand, 18-19 July, pp. 321-322.
- Sookramoon, K. and R. Jindal (2002). "Reducing Exhaust Emission from Passenger Cars by Using Three-way Catalytic Converter." *Proc. of the Third National Symposium on Graduate Research*, Suranaree University of Technology, Thailand, 18-19 July, pp. 271-272.

- Hussadee, K. and R. Jindal (2002). "Strategies for Municipal Solid Waste Management in Suranaree Military Camp." *Proc. of the Third National Symposium on Graduate Research*, Suranaree University of Technology, Thailand, 18-19 July, *paper No. SI0-218-ENG-ENV-7*.
- Racho, P and R. Jindal (2002). "A Study of Heavy Metals in Bottom Ash from Medical Waste Incinerators in Nakhon Ratchasima Municipality." *Proc. of the Third National Symposium on Graduate Research*, Suranaree University of Technology, Thailand, pp. 625-626.
- Jindal, R. and P. Pimpan (2001). "Rock-bed Filtration Performance Evaluation for Wastewater Treatment", *Suranaree J. Sci. Technol.* Vol. 8, No. 1-2, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. pp. 42-49.
- Jindal, R. and S. Fujii (2001). "Comparison of Experimental and Simulated Results of a Rock-Bed Filtration Model." in *Innovative Methods in Support of Bioremediation -6(2)* (eds. V.S. Magar, T. Vogel, M. Aelion, and A. Leeson), *Proc. of the Sixth International Symposium on In Situ and On-Site Bioremediation*, San Diego, CA, USA, 4-7 June.
- Jindal, R. and P. Pimpan (2001). "Rock-bed Filtration for Domestic Wastewater Treatment." *Proc. of The Seventh National Convention of Civil Engineers*, Bangkok, Thailand, 18-19 May.
- Jindal, R. and P. Ratanamalaya (2001). "Heat Generation and Temperature Distribution in An Aerobic Composting Process." *Proc. of the 8 th Tri-University International Joint Seminar and Symposium*, Chiang Mai, Thailand, 30 October-2 November.
- Jindal, R. and J. Srisard (2001). Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption Using Chitosan. *Proc. of The XI th National Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference*, held at Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 9-10 November.
- Jindal, R. and H. Harada (2000). Comparative Review of Solid Waste Disposal Methods In Some Asian cities. *Proc. of the International Symposium on Solid Waste Management in Asian Cities*, Hong Kong, 23-27 October.

- Jindal, R. and S. Fujii (1999). Pilot Plant Experiments on Rock-bed Filtration for Improving Canal Water Quality. *Environmental Technology*, Vol. 20, pp. 343-354.
- Jindal, R. and S. Fujii (1998). Modelling of Rock-bed Filtration Process. *Environmental Technology*, Vol. 19, pp. 273-281.
- Fujii, S., C. Niwa, M. Mouri and R. Jindal (1997). Pilot Plant Experiments for Improvement of Polluted Canal/klong Water by Rock-bed Filtration. *Water Science and Technology*, Vol. 35, No. 8, pp. 83-90.
- Jindal, R., U. Weesakul, C. Sripadungtham, and P. Soparat (1997). Wastewater Treatment by Rock-bed Filtration. *Proc. of the Third National Convention on Civil Engineering*, 12-14 November, Phuket, Thailand, pp. ENV 2-1 – 2-7.
- Jindal, R., H. Harada and S. Shikura (1997). Solid Waste Management in Some Asian Countries: A State-of-the-art Review. *Environmental Sanitation Reviews*, No. 42/43, ENSIC, AIT, Bangkok, 126p.
- Jindal, R. (1996). Application of Rock-bed Filtration for Canal Water Treatment: A pilot-Plant Study in Thailand. *ENFO News* (ENSIC, AIT, Bangkok), Vol. 18, No.3, pp. 2-3.
- Jindal, R., S. Fujii, C. Niwa, and M. Mouri (1995). Pilot-plant Experiments for Improvement of Polluted Canal/klong Water by Rock-bed Filtration Method. *Proc. of the IAWQ Asian Regional Conference on Water Quality and Pollution Control*, Manila, Philippines, 7-9 February, pp. 707-730.
- Lohani, B. N., G. Todino, and R. Jindal (1984). Recycling of Solid Wastes. *Environmental Sanitation Reviews*, No. 13/14, ENSIC, AIT, Bangkok, 140p.
- Rabbani, K.R., R. Jindal, and H. Kubota (1983). Composting of Domestic Refuse. *Environmental Sanitation Reviews*, No. 10/11, ENSIC, AIT, Bangkok, 107p.
- Jindal, R., P.S. Mahesh and Sneh (1975). Vibrational Properties of CsCl by Shell Model. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, Vol. 13, pp. 823 - 825.
- Rani, R. and P.S. Mahesh (1975). Debye-Waller Factors of Molybdenum by Kreh's Model. *Proc. of the 44th Annual Symposium of National Academy of Sciences*, held at the Bhagalpur University, Bhagalpur, India.

Reports:

- Jindal, R. (2002). "Heat Generation and Temperature Distribution in An Aerobic Composting Process." A project report submitted to National Research Council of Thailand (NRCT).
- Jindal, R. (2001). "A Preliminary Study of Arsenic Contamination in Southern Thailand." A project report submitted to National Research Council of Thailand (NRCT).
- Joshi, D.L., Chaisak Sripadungtham, and R. Jindal (1998). Investigation of Canal Water Quality in Bangkok Area. A project report submitted to the Sumitomo Heavy Industries Ltd., Japan (The UNITWIN/UNESCO Chairs Programme).
- Sripadungtham, Chaisak and R. Jindal (1997). Rock-bed Filtration - A New Technique for Wastewater Treatment. A project report submitted to the Sumitomo Heavy Industries Ltd., Japan (The UNITWIN/UNESCO Chairs Programme)

Papers Accepted / Under Review:

- Pimpan, P. and R. Jindal. "Investigations of Cadmium Removal in Laboratory-Scale Constructed Wetlands." Accepted for presentation at *The Eighth International In-Situ and On-Site Bioremediation Symposium*, 6-7 June 2005 in Baltimore, USA.

Professional Contributions:

Have served as a "Reviewer" for the following International and Regional Journals:

1. "Immobilization Technologies" by J.N. Meegoda, A.S. Ezeldin, Hsai-Yang Fang and H.I. Inyang, for the *ASCE Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive waste Managemnet*.
2. "Efficiency of Arsenic Removal from Soil by *Vetiveria zizanioides* (Linn.) and *Vetiveria nemoralis* (Balansa) A. Camus" by T. Srisatit, T. Kosakul and D. Dhitivara, for the *Science Asia: Journal of the Science Society of Thailand*.
3. "Effect of Temperature Shock on activities of Phosphorus-Accumulating Organisms" by Thongchai Pansawad, Apiradee Doungchai, and Jin Anotai for the *Science Asia: Journal of the Science Society of Thailand*.

แบบแจ้งผลการพิจารณาว่ารายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
(โปรดส่งคืนสถาบันวิจัยและพัฒนาภายใน 29 พฤศจิกายน 2548 ด้วย จักรขอบคุณยิ่ง)

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ข้าพเจ้าได้พิจารณาสาระทางวิชาการของร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “ Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland ” เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และขอแจ้งผลการพิจารณาพร้อมทั้งแนบเอกสาร ดังนี้

1. ร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 1 ชุด (โปรดส่งคืนสถาบันฯ ด้วยจักรขอบคุณยิ่ง)
2. ผลการพิจารณาว่าร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน ๕ หน้า (เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการคัดลอกข้อความ ขอความกรุณาพิมพ์ข้อความแทนการเขียนด้วยลายมือด้วย จักรขอบคุณยิ่ง)
3. อื่น ๆ (ระบุ)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์ โสภำจารย์)
วันที่ 16 พฤศจิกายน 2548

สำหรับเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา

1) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติให้ฝ่ายธุรการดำเนินการเบิกจ่ายค่าตอบแทนให้แก่ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาว่ารายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เป็นเงิน 1,000 บาท (หนึ่งพันบาทถ้วน) พร้อมค่าธรรมเนียมในการจัดส่งเงินดังกล่าว (ถ้ามี) (นางพรประภา ช้อนสูง) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ฝ่ายประสานงานการวิจัย 18/11/48	2) อนุมัติ (รองศาสตราจารย์ น.ท. ดร.สราวุฒิ สุจิตกร) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา /...../.....
---	--

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

โดยภาพรวมงานวิจัยนี้มีรายละเอียดและเป็นไปตามแบบแผนการวิจัยที่ดีและมีคุณภาพสูง ซึ่งข้อมูลและผลการวิจัยนอกจากจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้แล้ว ยังเป็นแนวทางในการเสริมสร้างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องได้อย่างมีศักยภาพ ซึ่งผู้ประเมินขอแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้คือ

หัวข้อทั่วไป

1. ควรแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทั้งชุมชนหรือน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (Effluent Quality) ของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาเพื่อจะได้ทราบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานด้วย เช่น Cd เป็นต้น
2. ในบทคัดย่อภาษาไทยควรใช้คำว่า ปริมาณ Cd แทนคำว่า ค่า Cd
3. ในการสรุปความแตกต่างของประสิทธิภาพการทำงานของสองระบบว่าแตกต่างกันควรจะใช้การทดสอบทางสถิติ เช่น ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกัน เป็นต้น

Chapter 1

การเปรียบเทียบในข้อ 1.3 (5) น่าจะใช้พจน์ที่เหมือนกันเช่น cadmium loadings เป็นต้น

Chapter 2

1. Figure 2.4 ไม่ควรมีเส้นขอบรอบรูป ควรรักษา Consistency
2. Equation ควรใช้รูปแบบเดียวกับ chapter 4 ซึ่งเป็นแนวเดียวกันกับการใช้หมายเลขรูป

Chapter 3

1. section 3.2: การกำหนดขนาดของmedium ต่างๆ น่าที่จะใช้คุณสมบัติใน term ของ Effective size, Uniform or Non-uniform coefficient เนื่องจากการบอก size range อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของการไหล การวางตัวของตัวกลาง ซึ่งมีผลต่อกลไกในการบำบัด Cd ได้ (adsorption, Precipitation, so on)
2. น่าจะมีการหาค่าความสามารถในการซึมของน้ำในชั้นตัวกลางก่อนและหลังการเดินระบบ เพื่อจะได้ช่วยในการอภิปรายผลการวิจัยอีกทางหนึ่ง
3. สถานที่ตั้งของ Part 1 และ Part 2 ถ้าเป็นคนละที่กันควรอธิบายประกอบเพราะการมีหลังคาคลุมจะช่วยให้การควบคุมปริมาณน้ำฝนได้ ทำให้การทำ Mass Balance ได้ดีกว่าที่ไม่มีหลังคาคลุม (นอกจากนี้ยังมีผลต่ออัตราการ Uptake ของพืช)
4. Table 3.5 และ 3.6 ควรระบุการเก็บเกี่ยวพืชทดลองและการหาน้ำหนักจากส่วนต่างๆของพืชด้วย
5. คำผิดและสูตรทางเคมี

Chapter 4

1. รายละเอียดข้อมูลการทำ Tracer Test น่าจะใส่ไว้ใน Appendix เพื่อจะได้พิจารณาหา mean HRT และค่าอื่นๆก่อนนำมาแสดงในตารางที่ 4.1
2. ผลการทดลองต่างๆน่าจะแสดงไว้ใน Appendix เพื่อจะได้รู้ที่มาของตัวเลขในตารางหรือรูปที่สรุป

3. การอภิปรายผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างน่าจะใช้การทดสอบทางสถิติเพราะปัจจัยบางตัวอยู่นอกเหนือการควบคุมระหว่างการทดลอง
4. ควรจะอธิบายเหตุผลที่ทำให้ได้ข้อสรุปจากการทดลองว่ากลไกใดน่าจะมีผลต่อการบำบัดในแต่ละ Conditions โดยเฉพาะใน section 4.13

Chapter 5

1. Recommendations ทั้งสองข้อนี้น่าจะบอกแนวทางที่ได้มีปรากฏในการทบทวนวรรณกรรมว่าโดยทั่วไปแล้วในระบบ Wetland มีการกำจัด หรือจัดการกับพืชที่ได้จากการเก็บเกี่ยวอย่างไร
 2. ควรเสนอแนะความเป็นไปได้ในการนำระบบไปใช้งานจริงพร้อมทั้งข้อจำกัดของระบบ
-

ลับ

ศธ 5621/ 864



สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี
อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

3/ ตุลาคม 2548

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ (Reader)

เรียน รองศาสตราจารย์ ดร. ขจรศักดิ์ โสกาจารย์

- | | | |
|------------------|--|--------------|
| สิ่งที่ส่งมาด้วย | 1. แบบตอบรับเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจรายงานการวิจัย | จำนวน 1 หน้า |
| | 2. แบบแจ้งผลการพิจารณาร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | จำนวน 1 หน้า |
| | 3. แบบเสนอโครงการวิจัย | จำนวน 1 ชุด |
| | 4. ร่างรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | จำนวน 1 ชุด |

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในฐานะหน่วยงานกลางที่ทำหน้าที่บริหารจัดการเกี่ยวกับงานวิจัยของคณาจารย์ในมหาวิทยาลัย พิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยเรื่อง “ Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland ” เป็นอย่างดี (โดย อาจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร สังกัดสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เป็นหัวหน้าโครงการ) จึงขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจรายงานการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ (Reader) ทั้งนี้ มหาวิทยาลัยกำหนดอัตราค่าตอบแทนในการพิจารณารายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องละ 1,000 บาท (หนึ่งพันบาทถ้วน)

ในการนี้ จึงขอความอนุเคราะห์จากท่าน ดังนี้

1. โปรดส่งแบบตอบรับเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจรายงานการวิจัยให้สถาบันฯ ภายในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2548
2. โปรดแจ้งผลการพิจารณาโครงการวิจัยดังกล่าวข้างต้น พร้อมส่งเอกสารคืนให้สถาบันฯ ภายในวันที่ 29 พฤศจิกายน 2548

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ น.พ. ดร.สุราวุฒิ สุจิตจร)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ฝ่ายประสานงานการวิจัย

โทรศัพท์ (044) 224753

โทรสาร (044) 224750

E-mail : kitkosol@ccs.sut.ac.th

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 223000 โทรสาร (044) 224070

S U R A N A R E E U N I V E R S I T Y O F T E C H N O L O G Y

111 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND Tel. (044) 223000 Fax. (044) 224070

ลับ



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา	
รับที่	๙๘๖๖/๔๘
วันที่	๑๐ ต.ค. ๒๕๔๘
เวลา	๑๐:๓๐ น.

หน่วยงาน... สถาบันวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์... โทรศัพท์ ๔๒๒๙ โทรสาร ๔๒๒๐
ที่... ศธ ๕๖๑๔(๒๒)/๓๕๑... วันที่ ๑๗ ตุลาคม ๒๕๔๘
เรื่อง... ส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับร่าง)

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

สถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (ฉบับร่าง) ซึ่งได้รับจัดสรร
ในงบประมาณ ๒๕๔๖-๒๕๔๗ ของ อ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร ชื่อโครงการ Fate of Cadmium in
Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland เพื่อเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา จำนวน ๑ เล่ม
ตามแนบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

① ๖๕๔๘ ดูการลงนาม
ให้ตรงตามต้นฉบับ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ปฏิบัติการแทนคณบดี

๒๖ ต.ค. ๔๘

รศ.น.ท.ดร. सरาวุฒิ สุตติชัย
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

๑) สิริชัย แสงอาทิตย์
๒๖ ต.ค. ๔๘

② รับเมื่อ ๒๖ ต.ค. ๔๘
ทศพร

(โปรดส่งคืนที่

ฝ่ายประสานงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 หรือ

โทรสาร 044-224750 ภายในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2548 ด้วย จักรกมล กิ่ง

แบบตอบรับเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจรายงานการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ (Reader)

ข้าพเจ้าขอแจ้งความประสงค์ในการรับเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจรายงานการวิจัยและให้
ข้อเสนอแนะต่างๆ (Reader) ของโครงการวิจัยเรื่อง " Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in
Constructed Wetland " ดังนี้

☒ ยินดีรับเป็น Reader ในเรื่องนี้ และประสงค์ให้ส่งค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิโดยการ

☐ ส่งสภาพตั้งเงิน 1,000 บาท ตั้งจ่าย ปณ.

☐ โอนเงินวงเงิน 970 บาท (โดยอนุญาตให้หักค่าธรรมเนียมในการโอน

เงินผ่าน ATM จำนวน 30 บาท ออกแล้วเพื่อเข้าบัญชีเงินฝาก

ธนาคารไทยพาณิชย์ เลขที่บัญชี 566-2-39261-5

ชื่อบัญชี งาม ขจรศักดิ์ โสภจรรย์

☐ ไม่สะดวกในการรับเป็น Reader ในเรื่องนี้ และขอแนะนำให้ติดต่อ

หน่วยงาน.....

ลงนาม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์ โสภจรรย์)

วันที่ พฤศจิกายน 2548

โทรศัพท์ 053-944192 ต่อ 116 หรือ 09-2669493

โทรสาร 053-210328

E-mail : pompoon@eng.cnu.ac.th



บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถานที่วิจัยและพัฒนา	รับที่ 601/48
วันที่ 1-3 พ.ค. 2548	
เวลา 15.30 น.	

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทร

ที่ ศร. 601/48

วันที่ 2 พฤษภาคม 2548

เรื่อง ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 งวดที่ 2

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ตามที่ข้าพเจ้า อ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร สังกัด สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปี
งบประมาณ พ.ศ. 2547 เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater
Effluents Treated Constructed Wetland
เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 250,000 บาท นั้น

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อดำเนินงานวิจัยโครงการดังกล่าว ประจำปี
จำนวนเงินทั้งสิ้น 115,000 บาท (หนึ่งแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน)
) ตามประมาณการรายจ่าย ดังนี้

1. ค่าจ้างชั่วคราว ประกอบด้วย

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ (M. Eng.)	อัตราเดือนละ 6,000	บาท
ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน	เป็นเงิน 36,000	บาท
ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ	อัตราเดือนละ	บาท
ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน	เป็นเงิน	บาท
ค่าจ้างคนงานรายเดือน อัตราเดือนละ	บาท	
ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน	เป็นเงิน	บาท
ค่าจ้างคนงานรายวัน อัตราวันละ	บาท	
ระยะเวลา 6 วัน จำนวน 1 คน	เป็นเงิน	บาท
รวม	36,000	บาท

2. ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ ประกอบด้วย

Obtaining data and information	เป็นเงิน 15,000	บาท
Transportation and compensation	เป็นเงิน 20,000	บาท
Report production	เป็นเงิน 4,000	บาท
Non-renewable material expenses	เป็นเงิน 40,000	บาท
	เป็นเงิน 79,000	บาท

.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	รวม	บาท

3. ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย

.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	รวม	บาท

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

.....
 (.....)
 หัวหน้าโครงการวิจัย
 26 / เม.ย. / 48

.....
 (.....)
 หัวหน้าสถานวิจัย
 26 / เม.ย. / 48

.....
 (ส.ดร.วุฒิ ผ่านกิตติคุณ)
 รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยี
 มจรบุรีรัมย์
 2 / 60. / 2548

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะทำงานฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้ งบประมาณฯ งวดที่ แล้ว ☒ เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติค่าใช้จ่ายงวดที่ <u>2</u> / <u>49</u> ไตรมาส ที่ <u>1</u> ของ บาท (<u>หนึ่งแสน เก้าหมื่น บาท</u>) มท. ก. ๒๔ ☐ ไม่ถูกต้อง เนื่องจาก..... (นางศุวิมล ประกันเกียรติ) (นางสาว) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา ๕/๔/๒๕๔๘	(3) ☒ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการ และ เว้นใจข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ..... (ผศ.ดร. สิริรัชชย์ แสงอาทิตย์) รักษาการแทนผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 6/๗/๔๖
(4.1) ☒ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัย จำนวน <u>115,000</u> บาท <u>หนึ่งแสน ห้าหมื่น บาท</u> ) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาซอย มทส. ชื่อบัญชี <u>รศ. สิริรัชชย์</u> <u>Metal Removal</u> เลขที่บัญชี <u>707-2-15482-3</u> ด้วย จักขอขอบคุณ ผศ.ดร. สิริรัชชย์ แสงอาทิตย์ รักษาการแทนผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 6/๗/๒๕๔๘	(4.2) เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวท. ขอส่งสำเนาบันทึกขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการ วิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติฉบับจริง ได้ส่งให้ส่วนการเงินเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการ โอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป (นางสาว สิริรัชชย์) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา 6/๗/๒๕๔๘



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
รับที่ 563/48
วันที่ 22 เม.ย. 2548
เวลา 15.30 น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4451 โทรสาร 4220
ที่ ศร 5641(15)/16 วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2548
เรื่อง ขออนุมัติโอนเงินหมวดค่าตอบแทนใช้สอยและวัสดุมาใช้ในหมวดค่าจ้างชั่วคราว

1

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และหัวหน้าสถานวิจัย)

ตามที่ข้าพเจ้า ได้รับจัดสรรเงินอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2547 เรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland จำนวนเงินทั้งสิ้น 250,000 บาท (สองแสนห้าหมื่นบาทถ้วน) นั้น รายละเอียดตามตารางข้างล่าง

รายการ	จำนวนเงิน	เงินที่ใช้จ่ายจริง	คงเหลือ	หมายเหตุ
- ค่าจ้างชั่วคราว	72,000	88,000	-16,000	ได้รับอนุมัติตามหนังสือที่ ศร 5614(15)/35 วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2548
- หมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุ	158,000	65,634.35	92,365.65	
- ค่าครุภัณฑ์	20,000	-	20,000	
รวมเป็นเงิน	250,000	153,634.35	96,365.65	

เนื่องจากการวิจัย-ประจำงวดที่ 1 ได้ว่าจ้างผู้ช่วยวิจัยเกินงบประมาณที่ขออนุมัติไว้ เพราะมีการทำการทดลองมากกว่า 8 ชั่วโมง จึงส่งผลให้ไม่สามารถว่าจ้างผู้ช่วยวิจัย ประจำงวดที่ 2 ได้ จึงมีความประสงค์จะขอโอนเงินจากหมวดค่าตอบแทนใช้สอยมาใช้หมวดค่าจ้างชั่วคราว เป็นเงินจำนวน 72,000 บาท (เจ็ดหมื่นสองพันบาทถ้วน) คือ ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิปริญญาโท อัตราเงินเดือน 12,000 บาท ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

2) โฉนด และซอง
ถ้าหากข้าพเจ้าได้งบประมาณประจำปีงบประมาณ 2547 เมื่อถึงวันที่ 22 เมษายน 2548 ข้าพเจ้าได้ไปขอรับเงินจากท่านอธิการบดี 100,000 บาท ในนามของข้าพเจ้า และข้าพเจ้าได้ไปขอรับเงินจากท่านอธิการบดี 100,000 บาท ในนามของข้าพเจ้า

(ผศ. ดร. สิริวิชัย แสงอาทิตย์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
(อ.ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร)
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย ฤทธิชัย
นักการยมนาวิเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

(อ.ดร.วุฒิ คำนกิตติกุล)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี
26 เม.ย. 2548

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวิชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สจ 5614(15)/415

22 March 2005



สถาบันวิจัยและพัฒนา
รับที่ 449/43
วันที่ 28 มี.ค. 2548
เวลา

TO: Director
Institute of Research and Development

FROM: Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal *R. Jindal*
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering

THROUGH: Dean,
Institute of Engineering *V. Khompel*

Chairman,
School of Environmental Engineering *Dr. Wichitsathian*

SUBJECT: Transferring Research Projects

① Dear Sirs,

Effective 1 April 2005, I will not be working at SUT. Currently, I have 2 on-going research projects funded by SUT:

1. Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland
2. A Novel Wastewater Treatment System Using A UASB Reactor and A Downflow Hanging Sponge (DHS) Post Treatment Unit

The first project is in the last phase and would be finishing in about 5 months from now. The second one has just started in December 2004 and only some preliminary work has been done in design of the experiments.

Through this memo, I want to inform you that effective 1 April 2005, Dr. Boonchai Wichitsathian has agreed to be the principal investigator of the above 2 research projects. We both have discussed the details of the future activities of the research projects. Moreover, I will still be assisting Dr. Boonchai as a co-investigator until the completion of both the projects. Therefore, I request for the transferring of these two projects to Dr. Boonchai Wichitsathian. Thank you very much for your support and understanding.

Sincerely,

③ *รังนา จินดัล*
เพื่อโปรดท่าน

② *Dr. Wichitsathian*

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

March 25, 2005

R. Jindal
(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology

B. Wichitsathian
(Dr. Boonchai Wichitsathian)
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 223000 โทรสาร (044) 224070

S U R A N A R E E U N I V E R S I T Y O F T E C H N O L O G Y

111 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND Tel. (044) 223000 Fax. (044) 224070

④ HCl 溶液

[illegible]

18 id. 48.

⑥ 9-25

✓

16 12.5 46

(ผศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

๗๖ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา



SC 7-715-46-36-29

บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา สวพ.-ง-01	
วันที่	27/6
วันที่	14 ก.ย. 2548
เวลา	15.30

หน่วยงาน ... สวพ. (วิจัย) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

โทร ... 4275

ที่ ... ศว. ๕๔๔ (๖๖) / ๑๐๐

วันที่ ... 11 กุมภาพันธ์ ๒๕๔๘

เรื่อง ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 งวดที่ 2

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ตามที่ข้าพเจ้า Ass. Prof. Dr. Ranjna Jindal สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated Constructed Wetland เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 250,000 บาท นั้น

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อดำเนินงานวิจัยโครงการดังกล่าว ประจำปีงวดที่ 2 จำนวนเงินทั้งสิ้น 115,000 บาท (หนึ่งแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน) ตามประมาณการรายจ่าย ดังนี้

1. ค่าจ้างชั่วคราว ประกอบด้วย

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ (M.Eng) อัตราเดือนละ 6,000 บาท

ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน เป็นเงิน 36,000 บาท

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ..... อัตราเดือนละ..... บาท

ระยะเวลา.....เดือน จำนวนคน เป็นเงิน บาท

ค่าจ้างคนงานรายเดือน อัตราเดือนละ..... บาท

ระยะเวลา.....เดือน จำนวน.....คน เป็นเงิน บาท

ค่าจ้างคนงานรายวัน อัตราวันละ..... บาท

ระยะเวลา.....วัน จำนวน.....คน เป็นเงิน บาท

รวม 36,000 บาท

2. ค่าตอบแทน วัสดุ และวัสดุ ประกอบด้วย

Obtaining data and information เป็นเงิน 15,000 บาท

Transportation and compensation เป็นเงิน 20,000 บาท

Report production เป็นเงิน 4,000 บาท

Non-renewable material expenses เป็นเงิน 40,000 บาท

รวม 79,000 บาท

3. ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย

.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
	รวม	บาท

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ



(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

หัวหน้าโครงการวิจัย

31.2.05


 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัทชัย แสงอาทิตย์)
(หัวหน้าสถานวิจัย สวทช.ชีววิทยาศาสตร์
หัวหน้าสถานวิจัย

10.1 Feb. 2005


 (อ.ดร.วุฒิ ด่านกตัญญู)

(รองคณบดีฝ่ายบริหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ปฏิบัติหน้าที่แทน

10.1.0.2548

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะทำงานฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้ งบประมาณฯ งวดที่ <u>1</u> แล้ว ☐ เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติค่าใช้จ่ายงวดที่ <u>1</u> ใน วงเงิน <u>115,000</u> บาท (<u>นายกฤษฎาภรณ์ นันทนันทน์</u>) ☐ ไม่ถูกต้อง เนื่องจาก..... (นางสุวิมล มะลันเทียะ) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา - 2 มี.ค. 2548	(3) ☒ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการ และ เงื่อนไขข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ..... (นาง.ดร. สันติสุข นเรศวร) ผอ. ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา - 2 มี.ค. 2548
(4.1) ☐ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัย จำนวน <u>115,000</u> บาท (<u>นายกฤษฎาภรณ์ นันทนันทน์</u>) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาบ่อ มทส. ชื่อบัญชี <u>Sci Heavy Metal Removal</u> เลขที่บัญชี <u>707-2-15882-3</u> ด้วย จักขอขอบคุณ (นาง.ดร. สันติสุข นเรศวร) ผอ. ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา - 2 มี.ค. 2548	(4.2) ☐ เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวพ. ขอส่งสำเนาบันทึกขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการ วิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติฉบับจริง ได้ส่งให้ส่วนการเงินเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการ โอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป (นาง.ดร. สันติสุข นเรศวร) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา - 2 มี.ค. 2548

รายละเอียดเพิ่มเติมประกอบการพิจารณารับรองรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย
(ตามที่ระบุในแบบเสนอโครงการ)

ชื่อโครงการวิจัย Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สังกัด สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. To investigate cadmium removal from waster by constructed wetlands under different environmental conditions.
2. To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface and subsurface wetland systems.

ระยะเวลาดำเนินการตลอดโครงการ 3 ปี (2546-2548)

วงเงินที่ได้รับจัดสรรตลอดโครงการ

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 จำนวน 315,000 บาท

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 จำนวน 250,000 บาท

ขออนุมัติเบิกจ่ายไปแล้ว

งวดที่ 1/2546 (รวมครุภัณฑ์) จำนวน 195,000 บาท ใช้จ่ายจริง ณ วันที่รายงาน 183,920.50 บาท

งวดที่ 2/2546 จำนวน 120,000 บาท ใช้จ่ายจริง ณ วันที่รายงาน 97,762.80 บาท

งวดที่ 1/2547 (ไม่รวมครุภัณฑ์) จำนวน 115,000 บาท ใช้จ่ายจริง ณ วันที่รายงาน 153,634.35 บาท

ยื่นเสนอขออนุมัติครั้งนี้ งวดที่ 2/2547 จำนวน 115,000 บาท

เอกสารประกอบการพิจารณาอื่น ๆ

1. แบบรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย จำนวน 3 หน้า

2. รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินประจำงวดที่ 1/2547 จำนวน 1 หน้า

รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report

1. โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
2. ชื่อหัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์
3. ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 ทั้งสิ้น 250,000 บาท
 โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☐ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000.00 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	153,634.35 บาท
☐ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	20,000.00 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท
☐ งวดที่ 2 ได้รับเงิน	บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท
รวมใช้งวด 1 และ งวด 2 ทั้งสิ้น			153,634.35 บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ขอดคงเหลือจากงบปี 2546 หยอดค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ 33,316.70 บาท

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ
	ได้รับจัดสรร ตลอดปี	เบิกจ่ายแล้ว ในงวดก่อน	เบิกจ่าย ในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่าย ครั้งต่อไป	
ค่าจ้างชั่วคราว					
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- Indicate degree obtained, number of months	72,000.00		88,000.00	16,000.00	
รวม	72,000.00	0.00	88,000.00	16,000.00	
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ					
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)					
- obtaining data & information	30,000.00		3,554.60	26,445.40	
- transportation and compensation	40,000.00		52,466.00	12,466.00	
- report production	8,000.00		6,202.00	1,798.00	
- non-renewable material expenses	80,000.00		3,411.75	76,588.25	
รวม	158,000.00	0.00	65,634.35	92,365.65	
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- portable temperature and pH meter, portable DO meter, water pumps, flow meter	20,000.00			20,000.00	As we could borrow these equipment from FS till now, we did not buy from project. But we will buy some equipment in 2nd installment budget of the project this year.
รวม	20,000.00	0.00	0.00	20,000.00	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	250,000.00	-	153,634.35	96,365.65	

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

R. Jindal
 9 2 05
 หัวหน้าโครงการ

ตรวจสอบแล้ว
 กปชบ

16 ก.พ. 2548

**รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัย
เพื่อประกอบการพิจารณาอนุมัติเงินงวดที่ 2/2547**

ผลการดำเนินงานระหว่างวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ.2547 ถึงวันที่ 31 มกราคม พ.ศ.2548

1. ชื่อโครงการ : Fate of cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland

2. หัวหน้าโครงการ : Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal

3. หน่วยงาน : School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima

4. วัตถุประสงค์ของโครงการ :

4.1 To investigate cadmium removal from wastewater by constructed wetlands under different environmental conditions.

4.2 To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface (FWS) and subsurface (SF) wetland systems.

5. แผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ

Activities	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sept.	2 nd yr.	3 rd yr
1. Literature review	←			→										
2. Site preparation and preliminary investigations			←			→								
3. Experimental runs						←						→		
4. Data Analysis												←		→
5. Final Report														←

6. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่วางแผนว่าจะทำในช่วงที่รายงานนี้

Activities: Experimental runs, Data analysis and writing report

7. ผลการดำเนินงานวิจัยที่ทำได้จริง : This study was conducted to investigate the fate of cadmium in wastewater effluents by constructed wetland systems under different environmental conditions, and to compare the efficiency of cadmium removal through lab scale experiments in free water surface and subsurface flow wetland systems. The

results showed that, the precipitation seemed to be predominant in present study. The subsurface flow wetland showed slightly better performance than free water surface flow wetland in terms of various pollutants' removal. However, there was no significant difference in the cadmium removal efficiencies of the two wetland systems.

8. ความก้าวหน้าตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยจนถึงปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 80%
9. การถ่ายทอดเทคโนโลยี การเผยแพร่ผลงานวิจัย การจดสิทธิบัตร ผลตอบแทนทางธุรกิจ เป็นต้น
Investigations on Cadmium Removal from Wastewater in Constructed Wetlands. Jindal and Samorkhom.
ASCE: practice periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive waste Management.
* Submitted
10. ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข
- ไม่มี -
11. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่จะทำในช่วงต่อไป
2nd year experiments run with higher concentration of Cadmium in wastewater.
12. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ
- ไม่มี -



Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management

Alok Bhandari, Ph.D., P.E.
Associate Editor
Dept of Civil Engineering (2118 Fiedler Hall)
Kansas State University
Manhattan, KS 66506-5000
Phone: 785 532 1578
E-mail: bhandari@ksu.edu

Rao Surampalli, Ph.D., P.E., D.E.E.
Editor-in-Chief
U.S. E.P.A.
7806 Rene Street
Lenexa, KS 66216
Phone: 913 551 7453
E-mail: surampalli.rao@epamail.epa.gov

November 9, 2004

Dr. Ranjana Jindal
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
111 University Avenue
Nakhon Ratchasima 30000
THAILAND

Title: Investigations on Cadmium Removal from Wastewater in Constructed Wetlands.
Author: Jindal and Samorkhom
MS #: HZ/04/022327

Dear Dr Jindal:

Congratulations! Your revised manuscript referenced above has been accepted for publication in the Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Management. You will be receiving further correspondence directly from the ASCE Journals Division (Journal-Services@asce.org). Thank you for considering the Periodical as an avenue to disseminate the results from your research.

Warm regards,

Alok Bhandari, Ph.D., P.E.
Associate Editor



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
รับที่ 230/๕๘
วันที่ 14 ก.พ. 2548
เวลา 15.3๐ น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4451 โทรสาร 4220
ที่ ศร.5614(15)/๕๖ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548
เรื่อง ขออนุมัติโอนเงินหมวดค่าตอบแทนใช้สอยและวัสดุมาใช้ในหมวดค่าจ้างชั่วคราว

1

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และหัวหน้าสถานวิจัย)

ตามที่ดิฉัน ได้รับจัดสรรเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2547 เรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland จำนวนเงินทั้งสิ้น 250,000 บาท (สองหมื่นห้าหมื่นบาทถ้วน) ได้รับจัดสรรเงิน และรายการค่าใช้จ่ายตามรายการต่อไปนี้

รายการ	จำนวนเงิน	เงินที่ใช้จ่ายจริง	คงเหลือ
- ค่าจ้างชั่วคราว	72,000	88,000	-16,000
- หมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุ	158,000	65,634.35	92,365.65
- ค่าครุภัณฑ์	20,000	-	20,000
รวมเป็นเงิน	250,000	153,634.35	96,365.65

เนื่องจากระยะเวลาในการทำ lab แต่ละวันต้องใช้เวลามากกว่า 8 ชั่วโมง ต่อวัน จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยจากวงเงินที่ขอไว้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลการทดลอง ดิฉันจึงมีความประสงค์จะขอโอนเงินจากหมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุมาใช้หมวดค่าจ้างชั่วคราวจำนวนเงิน 16,000 บาท (หนึ่งหมื่นหกพันบาทถ้วน)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

2

เรียน ผอ.สอ.พ.

ข้าพเจ้าที่ประชุมคณะกรรมการประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ วันที่ 2/2548. นั้น การเสนอแปลงสภาพของค่าจ้างตอบแทน
หมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุ ผู้ช่วยวิจัย จาก 62,000
บาท เป็น 78,000 บาท ในงบทำงาน
จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

15 ก.พ. 2548
คณบดี
15 ก.พ. ๕๖

R. Jindal

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

10/2/2005

ฐ. ๕๖

(อ.ดร.วุฒิ ด้านกิตติคุณ)

รองคณบดีฝ่ายบริหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบ ตบพ. 1-01
สอ FORM IRD-B-01

วันที่ 524/17
วันที่ 2 เม.ย. 2547
เวลา 10.30 น.

หน่วยงาน คณาจารย์ สำนักวิชาสิ่งแวดล้อมศาสตร์ โทร. 4334
School /Institute Tel/Fax.
ที่ ทศ ๕๖1A (22) / 11A วันที่ 1 เมษายน 2547
เรื่อง ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 งวดที่ 1
Subject : Request the payment of research allocation for fiscal year Installment no,

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
To : Director of Institute of research and development

ตามที่ข้าพเจ้า Asst. Prof. Dr. Ranjana Jinda) สังกัด สำนักวิชา
As I, a member of Institute of

สิ่งแวดล้อมศาสตร์ ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปี
was allocated university research funding for fiscal

งบประมาณพ.ศ. 2547 เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง
year for the expenditures of project (name)

Pake of Cadmium in Wastewater Effluent from Paper Mill Construction Wetland (The 2nd year)

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 250,000 บาท นั้น
for the amount of baht,

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อดำเนินงานวิจัยโครงการ ดังกล่าว ประจำปีงวดที่ 1...
I request the payment of research allocation monies for the installment no.

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 135,000 บาท (หนึ่งแสนสามหมื่นบาทถ้วน)
for the amount of baht

ตามประมาณการรายจ่าย ดังนี้
as the following expense estimates:

1. ค่าจ้างชั่วคราว ประกอบด้วย
Temporary Wages Consisting of:

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ. ป.โท อัตราเดือนละ 6,000 บาท
Research assistant Wages (degree) amount per month.

ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน เป็นเงิน 36,000 บาท
for duration of months No. of employees total amount per month

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ. - อัตราเดือนละ - บาท
Research assistant Wages (degree) amount per month.

ระยะเวลา - เดือน จำนวน - คน เป็นเงิน - บาท
for duration of months No. of employees total amount per month

ค่าจ้างคนงานรายเดือน อัตราเดือนละ - บาท
Monthly employee at per month

ระยะเวลา - เดือน จำนวน - คน เป็นเงิน - บาท
for duration of months No. of employees total amount baht

ค่าจ้างคนงานรายวัน อัตราวันละ - บาท
Daily employee at... per day

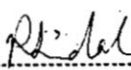
ระยะเวลา - วัน จำนวน - คน เป็นเงิน - บาท
for duration of days No. of employees total amount baht

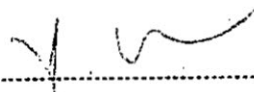
รวม (1) 36,000 บาท
Totaling baht

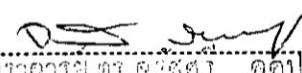
2. ค่าตอบแทนใช้สอยและวัสดุ ประกอบด้วย
Compensation, service contracting and nonrenewable materials expenses

2.1 obtaining data and information	เป็นเงิน	15,000	บาท
	total amount		baht
2.2 transportation and compensation	เป็นเงิน	20,000	บาท
	total amount		baht
2.3 report production	เป็นเงิน	4,000	บาท
	total amount		baht
2.4 non-renewable material expenses	เป็นเงิน	40,000	บาท
	total amount		baht
รวม (2)	เป็นเงิน	79,000	บาท
	total amount		baht
3. ค่าอุปกรณ์ อุปกรณ์ (Equipment)	เป็นเงิน	-	บาท
	total amount		baht
- portable temperature and pH meter, portable DO meter	เป็นเงิน	20,000	บาท
	total amount		baht
water pumps flow meter	เป็นเงิน	-	บาท
	total amount		baht
-	เป็นเงิน	-	บาท
	total amount		baht
รวม (3)	เป็นเงิน	20,000	บาท
Totaling			baht

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ
Your approval is hereby requested.


(Asst. Prof. Dr. Rajina Jindal)
หัวหน้าโครงการวิจัย
Head of project


()
หัวหน้าสถานวิจัย
Head of research Department
30 March 2024


(รองศาสตราจารย์ ดร. จรุงพร ดอดประยา)
()
รองคณบดีฝ่ายบริหาร คณบดี
Dean
ปฏิบัติหน้าที่คณบดี
11 Jan. 2547

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ☐ คณะอนุกรรมการฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้จ่ายเงินฯ งวดที่.....แล้ว ☒ เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติค่าใช้จ่ายงวดที่.....ในวงเงิน 135,000 บาท (หนึ่งแสนสามหมื่นห้าพันบาทถ้วน) ☐ ไม่ถูกต้องเนื่องจาก..... (นางสุวิมล มะสันเทียะ) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา 7 มิ.ย. 2547	(3) ☒ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการและเงื่อนไขข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ..... (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 7 มิ.ย. 2547
(4.1) ☒ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัยจำนวน 135,000 บาท (หนึ่งแสนสามหมื่นห้าพันบาทถ้วน) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาย่อย มทส. ชื่อบัญชี SUB Heavy Metals Removal เลขที่บัญชี 707-2-15882-3 ด้วย จักขอบคุณยิ่ง (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 7 มิ.ย. 2547	(4.2) ☒ เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวท. ขอส่งสำเนาบันทึกขออนุมัติเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติฉบับจริง ได้ส่งให้ส่วนการเงินและบัญชีเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการโอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป (นางสาวดารณี ขำแจ้ง) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา 7 มิ.ย. 2547

23/12/02 14:53 1059K*2350 707-215882 BY BR707
NEW P/B NO.-00002959961

(สมุดเล่มนี้สามารถตรวจสอบยอดคงเหลือได้โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องมาขอรับ)

ชื่อบัญชี SUT.Heavy Metals Removal

NAME

ธนาคารแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน)
THE SIAH COMMERCIAL BANK PUBLIC COMPANY LIMITED

สาขาย่อย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

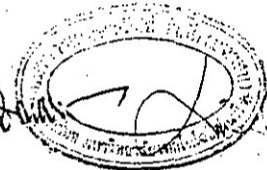
บัญชีเงินฝากออมทรัพย์

707-2

-15082-3

SAVINGS ACCOUNT

2959961





สัญญาแก้ไขเพิ่มเติม

สัญญารับเงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เลขที่ 33/2546 ลงวันที่ 28 มกราคม 2547

สัญญาฉบับนี้ทำขึ้น ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 ระหว่าง มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี โดย ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด รักษาการแทนผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งได้รับมอบอำนาจจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตามคำสั่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 117/2546 ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2546 และ ที่ 633/2540 ลงวันที่ 10 ตุลาคม 2540 ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า “ผู้ให้ทุน” ฝ่ายหนึ่ง กับ Asst. Prof. Dr. Ranjina Jindal สังกัดสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า “ผู้รับทุน” อีกฝ่ายหนึ่ง

คู่สัญญาได้ตกลงแก้ไขเพิ่มเติมสัญญารับเงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 33/2546 ลงวันที่ 28 มกราคม 2547 มีข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ผู้ให้ทุนตกลงขยายเวลาและให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเพิ่มเติม สำหรับโครงการวิจัย เรื่อง “Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland” ตามเอกสารหมายเลข 1 ออกไปอีก มีกำหนดระยะเวลาประมาณ 14 เดือน นับตั้งแต่วันที่ 28 เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง วันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 เป็นจำนวนเงิน 250,000 บาท (สองหมื่นห้าพันบาทถ้วน) โดย ผู้ให้ทุน จะจ่ายให้แก่ ผู้รับทุน เป็นงวดตามรายละเอียด ดังนี้

งวดที่ 1/2546 จ่ายให้เป็นเงินไม่เกินร้อยละ 50 ของเงินอุดหนุนการวิจัยทั้งโครงการ ทั้งนี้ จ่ายให้เป็นเงิน 115,000 บาท (หนึ่งแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน) ภายใน 2 สัปดาห์ นับแต่วันลงนามในสัญญา

และจะจ่ายให้เป็นเงิน 20,000 บาท (สองหมื่นบาทถ้วน) ภายใน 2 สัปดาห์ นับแต่วันที่ ผู้รับทุนได้รับอนุมัติจากผู้ให้ทุนเพื่อใช้ในการจัดซื้อครุภัณฑ์

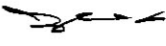
งวดที่ 2/2546 จ่ายส่วนที่เหลือของเงินอุดหนุนการวิจัยทั้งโครงการ ทั้งนี้ จ่ายให้เป็นเงิน 115,000 บาท (หนึ่งแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน) ภายหลังจากที่ ผู้รับทุน ส่งรายงานความก้าวหน้าของโครงการ พร้อมรายงานการเงินงวดที่ 1/2546 โดยรายงานดังกล่าวผ่านการพิจารณาและได้รับการรับรองจากคณะกรรมการประจำสถาบันวิจัยและพัฒนาเรียบร้อยแล้ว

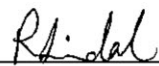
ข้อ 2. ผู้รับทุนจะนำส่งผลงานเพิ่มเติม ดังนี้

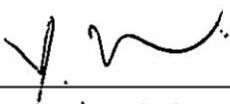
- (1) รายงานความก้าวหน้าของการวิจัยตามที่ผู้ให้ทุนกำหนดเป็นคราวๆ ไป
- (2) รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์พร้อมรายงานการเงินงวดที่ 2/2547 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548

ข้อ 3. เงื่อนไขอื่นๆ ซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ในสัญญา ให้เป็นไปตามเดิมทุกประการ

สัญญานี้ทำขึ้นสองฉบับมีข้อความตรงกัน คู่สัญญาได้อ่านและเข้าใจข้อความในสัญญานี้โดยตลอดแล้ว จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน และต่างเก็บไว้ฝ่ายละหนึ่งฉบับ

(ลงชื่อ)  ผู้ให้ทุน
(ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ผู้รับมอบอำนาจจากอธิการบดี

(ลงชื่อ)  ผู้รับทุน
(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)
หัวหน้าโครงการวิจัย

(ลงชื่อ)  พยาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

(ลงชื่อ)  พยาน
(นางพรประภา ช้อนสุ)
เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา

Research Proposal Form

To request for research budget for fiscal year 2547

(Duration for research project: 2 years, this fiscal year is the 2nd year, research project number.....)

Research Direction No. 3 Research Leading to Better Environment and Higher Quality of Life

Research Plan No. 3 Research on Pollution control and Clean Technology

สถานภาพของข้อเสนอโครงการวิจัย

เป็นโครงการวิจัยอิสระ (โครงการวิจัยที่ไม่อยู่ในชุดโครงการวิจัยของสำนักวิชา)

Characteristic of Research Proposal : in accordance with the 6th National Research Policy and Direction

2003-2006 (พ.ศ. 2545-2549)

Part 1 National research project series for country development (34 project series)

☐ This project is a part of another project

☐ This project is a single project

☒ **Part 2** Applied research (7 items)

Part 3 Basic research (4 item)

Part 1 : Details of research project

1. Name of project : Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
2. Responsible organization and address (indicate name of school, institute, and university, together with telephone and facsimile numbers)

School of Environmental Engineering

Institute of Engineering

Suranaree University of Technology

Nakhon Ratchasima

Tel. (044)-224451, 224454

Fax. (044)-224220, 224165

3. Names of researchers and expected work load (as percentage) of each researcher

3.1 Principal investigator: Dr. Ranjna Jindal 70%

3.2 Research Assistant 30%

4. Type of research : Applied research

(please indicate: basic research / or applied research / or research and development)

5. Academic field in which the project belongs

[Please select from the NRCT classification as follows :

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1) Physical science and mathematics | 2) Medical science and technology |
| 3) Chemistry and pharmaceutical science | 4) Agriculture and biological science |
| →5) Engineering and industrial research | 6) Philosophy |
| 7) Law | 8) Politics and public administration |
| 9) Economics | 10) Social sciences |
| 11) Information Technology and
Communication Arts | 12) Educational sciences] |

6. Keywords in research project

heavy metals / constructed wetland / free water surface wetland system / subsurface wetland system / effluents quality

7. Background and literature survey and Related work and similar studies

Through mining, industrial activities and fossil fuels combustion, people each year, spew thousands of tons of metallic pollutants in to air and water. Toxic metal pollution is not only a problem for exposed workers, but is one of the global problems that concern us (Delgado et al., 1993). Many industries including electroplating, foundries, electronics, mining, smelting, tanning, photo processing, pulp and paper and metal finishing can be a significant source of wastewater containing heavy metal pollutants such as nickel (Ni), cadmium (Cd), chromium (Cr), zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), and mercury (Hg), etc. Heavy metals are ubiquitous environmental pollutants that arise from a variety of industrial, commercial, and domestic activities. Furthermore, studies show that heavy metals can be found in municipal sewage treatment plants receiving little or no industrial discharge (Gersberg et al., 1984). Heavy metals constitute a serious form of pollution since they do not degrade as organic pollutants do. (Delgado et al., 1993). Heavy metals concentrate in the food chains and they can accumulate poison to plants, animals and human. Especially, cadmium is an environmental toxin that accumulates in the body and has biological half-life of greater than 10 years in humans (Khosraviani et al., 1998). Therefore, these pollutants must be removed in an effective way before the effluents are discharged from the wastewater treatment plants to the receiving water bodies.

There are many techniques available for the removal of heavy metals from wastewater such as chemical precipitation, reverse osmosis, electrolysis, and ion exchange but these methods require high

capital, operation and maintenance costs. The new alternative for improving effluent wastewater containing heavy metal is wetlands. Wetlands are one of the least expensive treatment systems that require minimum energy and technology, and no chemicals are necessary.

Previous studies

The heavy metals removal has been studied for a long time. Constructed wetland is biological wastewater treatment that is one effective process to remove heavy metals from wastewater. The uptake of metals by the plant from soils and solutions has been investigated for a variety of species. Most of these studies involve the phytotoxic effects of heavy metals on crop species over a relatively long-term exposure period (30 days) (Delgado et al., 1993). Many researchers have used cattail plants that use to remove heavy metals in wetland systems. Mungur et al. (1997) investigated the removal of some metals by a wetland system. Laboratory scale wetland was conducted as subsurface flow system. The system was planted with *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* and *Iris pseudacorus*. The wetland system was dosed with various concentrations (1, 5 and 10 mg/l) of Cu, Pb and Zn, respectively. Finally shocked load of metals (concentration 20 mg/l) was introduced to simulate a storm event. In each experiment water samples collected from outlet at timed intervals were analyzed and loadings calculated in order to assess the metal removal efficiency of the system. The removal efficiencies and rates for these different doses ranged from 81.7% to 91.8 % and 36.6 to 372.7 mg/m²/d for Cu, 75.8% to 95.3% and 30.8 to 387 mg/m²/d for Pb and 82.8% to 90.4% and 33.6 to 362.1 mg/m²/d for Zn, respectively.

Hansen et al (1998) conducted a study on Selenium (Se) removal by constructed wetlands. One environmental friendly way of cleaning up Se from oil refinery effluents was by plant and microbial Se volatilization using constructed wetlands. The result found that 89% of Se was removed in constructed wetlands. Inflow Se concentration of 20-30 µg/l decreased to <5 µg/l in the outflow. Most of the Se was removed by immobilization into sediments and plant tissues where Se concentration reached 5 and 15 mg/kg, respectively. Biological volatilization may have accounted for as much as 10-30% of Se removed. The highest rates of Se volatilization for vegetated sites were 190, 180 and 150 µg of Se/m²-d for rabbitfoot grass, cattail, and saltmarsh bulrush, respectively.

Cadmium can be removed by floating plant such as David et al. (1984) studied about cadmium uptake by the water hyacinth. Their results clearly demonstrated that the water hyacinth was able to remove cadmium effectively from solutions over a wide concentration in the sub-ppm range cadmium could be almost completely removed from water with 24 hr. This ability to remove cadmium and, in fact, to survive high exposure concentrations (up to 100 ppm) showed that the water hyacinth could be reasonable alternative to conventional wastewater treatment systems. Concentrations above 100 ppm

were acutely toxic to the plants. A biphasic rate of uptake was observed with a fast phase of about 4 hours and a slow phase of at least 72 hours. Stirring the solution enhanced uptake in the fast phase, suggesting that uptake was in part diffusion limited. Increasing the pH from 2 to 5 enhanced the uptake rate.

Delgado et al. (1993) conducted a study in green house to determine the phytotoxic effect and uptake capacity of Zn, Cr and Cd by water hyacinth. Results showed that among the three elements tested, Cd was most phytotoxic, showing up some necrosis in the plant when the concentration was greater than 2.5 ppm. In the case of Cr and Zn, the phytotoxicity produced the appearance of chlorosis in the aerial part of the plant. Cr (maximum 9 ppm) caused no reduction of productivity, whereas in the case of Zn the concentration of 9 ppm in solution caused a 30% reduction in the plant weight. It was proved that after 24 days of growth, the heavy metals were totally depleted from the nutritive solution suggesting complete absorption of these metals by the plants.

Sinha and chanda (1990) conducted a study to show that cadmium could be removed from water by *Bacopa monnieri*, a common aquatic plant found all over India. Plants showed a capability to accumulate both metals in single and mixed metal treatments. Copper accumulation was stimulated by the presence of Cd whereas Cu inhibited uptake of Cd. The plants showed high concentration factors for both metals. The results suggested the possibility of using this plant for mitigating Cu and Cd pollution in the aquatic environment (Sinha and chanda, 1990).

Gersberg et al. (1984) reported that at the hydraulic application rate of 4.7 cm per day (residence time equal to about 5.5 days) Cu, Zn and Cd removal efficiencies in the wetland units were 99%, 97% and 99% respectively. In their experimental study, the predominant removal mechanisms in the artificial wetlands were attributed to precipitation-adsorption phenomena. Precipitation was enhanced by wetland metabolism which increased the pH of inflowing acidic waters to near neutrality.

Shutes et al. (1993) researched the use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban subsurface wetlands system. Cd, Cu, Pb and Zn were the heavy metal that used in their experiment. The heavy metal uptake patterns of *Typha* plant was more in the root than leaves. The suggested that the use of a gravel substrate, which would allow adequate root growth but also support high hydraulic loading, might provide a more suitable substrate for emergent macrophytes with in urban retention basins. Additionally, the subsurface introduction of effluent into the basin through submerged inlets would also maximize the purification potential.

Thayalakumaran (1994) reported the removal efficiencies of heavy metal (Cr and Ni) in subsurface flow systems (SFS) by cattail plants to be more than 99%. The removal mechanisms were mainly precipitation and adsorption. About 15% of these heavy metals were found that be removed by soil

adsorption; the extents of heavy metal adsorption decreased along the bed length of the wetland units. Heavy metal accumulation was more in the roots than in the leaves and stem of the cattail plants. The removal efficiency for COD, TSS and TKN were 64, 89 and 85%. The mechanisms for removing COD, TSS and TKN are filtration, flocculation, sedimentation, and biological process also chemical reaction such as nitri-denitrification reaction.

Sintumongkolchai (1996) reported on the removal of cadmium in free water surface system (FWS) were 73-98% by cattail plants that removed by sorption to the sand media and 1-6% by plant uptake. The results found that pH is an important factor, at pH of 4.26-5.35 Cd in form of plant uptake was 58.83% of total Cd in sand layer, while pH of 7.42-8.03, Cd was found 35.24% in the plant uptake from total Cd. The removal efficiency of COD, TSS, TKN and TP were approximately 61.84, 74.18, 85.09 and 77.83% respectively. The main mechanism of COD removal was biodegradation by the attached and suspended microorganisms. TSS was effectively removed by sedimentation to the wetland beds and some could be attached to the stems and roots of cattail plants. TKN removal efficiency was high at HRT long. The effects of TP removal relate with snails in wetland units because snails could uptake P and also release P when they died.

Blake et al. (1987) studied the incorporation of cadmium by water hyacinth. Water hyacinth was grown in plastic tanks for batch system or continuous flow system. Different concentrations of cadmium (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were used and toxic effects were obvious at 1.00 ppm concentration. The distribution of metals was followed in the medium and different parts of the plant. As expected, the roots accumulated the major part (73-86%) of the incorporated cadmium. The removal of cadmium from the solution by the water hyacinth could be predicted by the empirical equation:

$$C_t = C_0 \left(1 + \frac{t}{a} \right)^n \quad (2)$$

Where, C_t is the cadmium concentration at time t , C_0 is the cadmium concentration in solution at time zero, t is the time (hour) and a , n are the constants. From the results, the constants a and n of different cadmium concentrations (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were 2.956, 2.213, 6.972, 4.044 for constant a , respectively and -0.698, -0.514, -0.543, -0.281 for constant n , respectively.

8. Objective of research project

The objectives of this study are:

- 8.1 To investigate cadmium removal from wastewater by constructed wetlands under different environmental conditions.

- 8.2 To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface (FWS) and subsurface (SF) wetland systems.

9. Expected benefits from research project and End users from the results of research project

The research findings of this study will be useful for industrial wastewater treatment containing heavy metals. Constructed wetland is a low cost treatment method for heavy metals' removal, which could be accomplished naturally. Fate of heavy metals in wastewater by using free water surface and subsurface wetland systems can be determined. The results can be used to improve the quality of final effluents from industrial wastewater treatment plants before their disposal into receiving water bodies. This could be beneficial to the concerned municipal authorities, e.g., local and central environmental management administration.

10. Theory or Conceptual Framework

Theoretical aspects of the wetland systems

Wetlands are areas that are inundated or saturated soil by surface or groundwater at a frequency or duration sufficient to maintain saturated conditions and growth of related vegetation (Polprasert, 1996). Wetlands occur in a wide range of physical settings at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. The natural wetlands are referred to as marshes, swamps, bogs, cypress domes and strands, etc. Constructed wetlands are planned systems designed and constructed to employ wetland vegetation to assist in treating wastewater in a more controlled environment than occurs in natural wetlands. The many advantages of constructed wetlands include site location flexibility, optimal size for anticipated waste load, potential to treat more wastewater in smaller areas than with in natural wetlands, less rigorous preapplication treatment (Bastian et al., 1989). Two types of constructed wetland systems have been developed for wastewater treatment:

1. Free Water Surface System (FWS) consists of parallel basins or channels with relatively impermeable bottom. Soil or suitable media and rock layers to support the emergent vegetation, and water flowing velocity over the top of the soil media and through wetland vegetation in shallow basins or channels. The water depth is maintained at 0.1-0.6 m above the soil surface. Cattails, bulrushes, and various sedges are emergent plants used commonly in free water surface wetlands.
2. Subsurface Flow Systems (SF) is called 'root zone', 'rock bed filter' or 'reed beds', consists of channels or trenches with impermeable bottom and soil and rock layers to support the

emergent vegetation but the water depth is maintained at or below the soil surface (Polprasert, 1996).

Aquatic plants that use in wetlands may be divided into several forms. Three types of aquatic plants are the major and typical component of the wetlands system.

1. Floating type: there are two subtypes of floating aquatic.
 - Floating unattached plants: the roots hang in the water and are not attached to the soil. The leaves and stems are above the water for receiving sunlight directly. The submerged roots and stems are good habitat for bacteria responsible for waste stabilization. The floating plants such as water hyacinth, duckweed, and water lettuce.
 - Floating attached plants: they have their leaves floating on the water surface, but their roots are anchored in the sediment such as water lilies (Polprasert, 1996).
2. Submerge type: plants that grow below the water surface are called submerged. Submerged species can only grow where there is sufficient light and they may be adversely affected by turbidity and excessive populations of planktonic algae, which decrease the penetration of light into the water. Many submerged plants are known such as hydrilla and water milfoil (Polprasert et al., 1986).
3. Emergent type: they produce aerial stems and leaves, and an extensive root and rhizome system. They have the capability to grow in a wide range of substrate and in rapid or extensive fluctuations in water level occur. Emergent types in wetlands system include cattails, bulrushes and reeds.

Wetlands have a high rate of biological activity; they can transform of the common pollutants into harmless byproducts or essential nutrients that can be used for additional biological productivity. These transformations are accomplished by virtue of the wetland's land area, with its inherent natural environment energies of sun, wind, soil, plants, and animals. These pollutant transformations can be obtained for the relatively low cost of earthwork, piping, pumping, and a few concentrate structures (Kadlec et al., 1996).

Many monitoring and studies for constructed wetlands have shown the significant removal of organic matter (BOD), suspended solids (SS), nutrients (N and P), and pathogens. In wetlands treatment processes, the pollutants are removed from wastewater through a combination of physical, chemical, and biological processes including sedimentation, precipitation, adsorption to soil particles, assimilation by the plant tissue, and microbial transformations.

The mobility of heavy metal pollutants depends on a more or less complex network of interactions between aqueous and heterogeneous chemical reactions as well as particle coagulation and flocculation phenomena. Hydrolysis and dissolved complexation tend to increase the solubility of heavy metals while precipitation and adsorption will delay heavy metals availability and transport that can be shown in figure 1 (Bourg, 1995).

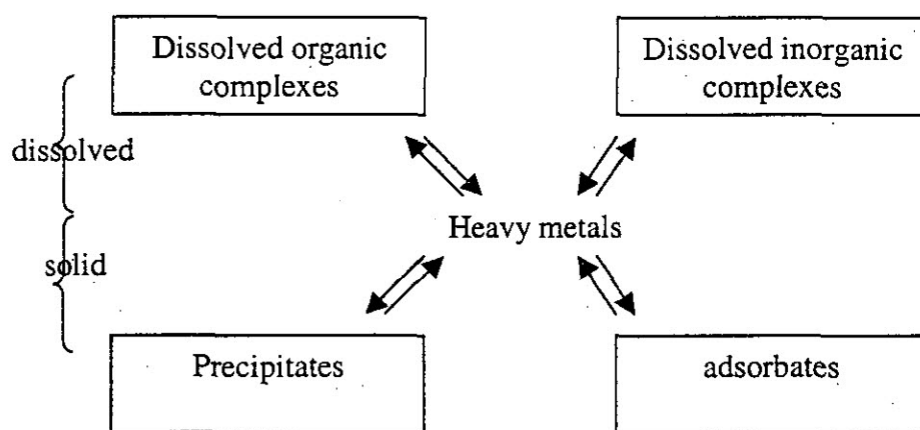


Figure 1 The mobility of heavy metals

The most mobile fractions of ions occur at a lower range of pH and at a lower redox potential, which is illustrated in Figure 2.

The major mechanisms of heavy metals removal in constructed wetlands are:

- **Plant Uptake**

Plants can accumulate heavy metals, in or on their tissues due to their great ability to adapt to variable chemical properties of the environment, thus plants are intermediate reservoirs of heavy metals from soils, and waters. The uptake by roots is the main pathway of heavy metals to plants. Nonmetabolic uptake is the diffusion of ions from the external solution into the root endodermis. Metabolic uptake requires metabolic energy and takes place against a chemical gradient. Several data support the suggestion that, at the concentration generally present in soil solutions, the adsorption of heavy metals by plant roots is controlled by metabolic processes within roots.

Roots and associated microorganisms are known to produce various organic compounds which are very effective in releasing the heavy metals from firmly fixed species in soils. The heavy metals most readily available to plants are, in general, those that are adsorbed on clay minerals, while those fixed by oxides and bound onto microorganisms have much less readily available rate of their uptake by roots than mass-flow and diffusion mechanisms in certain soils. The mechanisms of heavy metals uptake by roots involve several processes:

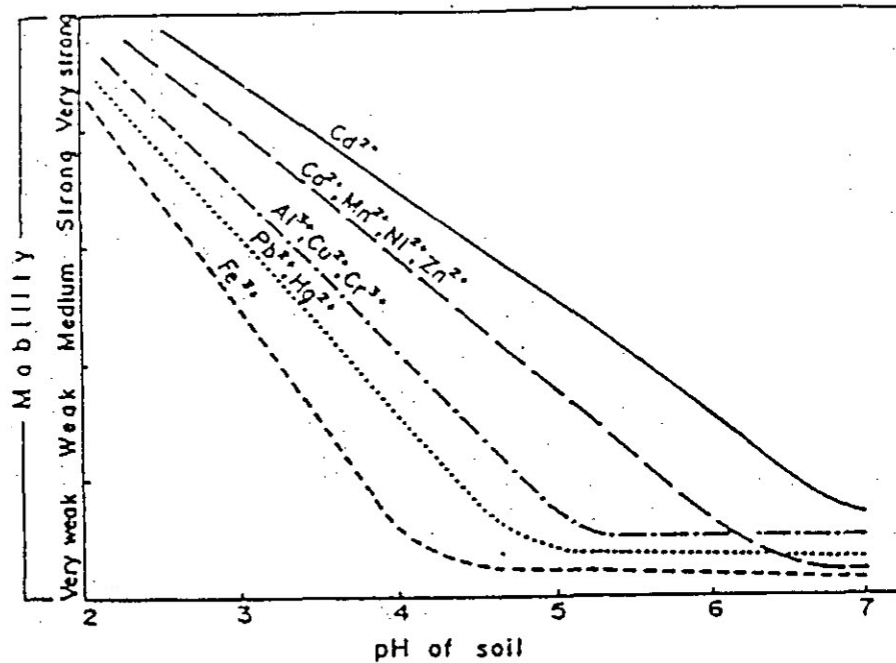


Figure 2 Schematic trends in the mobility of metals as influenced by soil pH

1. Cation exchange by roots
2. Transport inside cells by chelating agents or other carriers
3. Rhizosphere effects

Cation oxidation states around roots are believed to be of great importance in these processes. Changes in the pH of the root ambient solution may play an especially significant role in the rate of availability of certain heavy metals.

Heavy metals entering plant tissues reactive in metabolic processes, but also can be stored as inactive compounds in cells and on the membranes. In each case, however, they may affect the chemical composition of plants without causing easily visible injury.

● Adsorption

The term "adsorption" is commonly used for the process of sorption of chemical elements from solutions by soil particles. Adsorption is thus the kinetic reaction based on thermodynamic equilibrium rules. The forces involved in the adsorption of ionic species at charged surfaces are electrostatic and can be explained by coulomb's law of attraction between

unlike charges and repulsion between like charges. Soils are considered as heavy metals' sinks, and for that reason, they play an important role in environmental cycles of these elements. They also have a great ability to fix many species of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992). Soil components involved in adsorption of heavy metals are:

1. Oxides (hydrous, amorphous) mainly of iron and manganese and, to much lesser extent, aluminum and silicon
2. Organic matter and biota
3. Carbonates, phosphate, sulfides, and basic salts
4. Clays

Of all these components, clay minerals, hydrated metal oxides, and organic matter are considered to be the most important group in contributing to and competing for adsorption of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992).

At metal equilibrium concentrations, the mechanism of the adsorption by soil particles can be described by either the Langmuir or the Freundlich equations for adsorption isotherms. Langmuir's Isotherm is normally used in explanation of adsorption mechanism that can be shown in Eq. 1 (Sintumongkolchai, 1996).

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{abc} \quad (1)$$

where;

- x = mass of heavy metal adsorbed, mg
- m = mass of wetland bed media, g
- a = constant
- b = maximum heavy metal adsorption capacity, mg/g
- c = solution concentration at equilibrium

● Precipitation

Every soil component is active and affects soil solution ion concentration either by precipitation-dissolution reaction or by ionic interactions with phase surfaces. In the soil aqueous phase organic compounds and water are the most abundant ligands, therefore, hydrolysis and organic complexing are the most common reactions in soil solutions. These reactions are pH sensitive and can be corrected with the size and charge of the cations. Higher ionic potentials usually indicate higher degree of hydration in the solution, resulting an easier precipitation (Pendis and Pendias, 1992). From the basic physical chemistry, it is known that heavy metals

precipitate as the result of changes in pH, oxidation and other changes of their chemical composition (Novotny, 1995).

The organic sediments are good cation exchange sites for heavy metals, and hence these are found bound to sediments in preference to the dissolved forms. Further, the anaerobic zones of the wetland-soils can generate sulfide ions which precipitate the insoluble sulfides of heavy metals (Kadlec et al., 1996).

● Complexation

When heavy metals are added to soils and water (sediments), they undergo complexation with ligands. Ligands are chemical constituents, both organic and inorganic, that combine with the heavy metals in a chemical complex (Novotny, 1995). Organic matter of soils consists of a mixture of plant and animal products in various stages of decomposition and of substances that are synthesized chemically and biological. This complex material, greatly simplified, can be divided into humic and nonhumic substances. The major portion of the organic matter in most soils results from biological decay of the biota residues. The end products of this degradation are humic substances, organic acids of low molecular and high molecular weights, carbohydrates, proteins, peptides, amino acids, lipids, axes, polycyclic aromatic hydrocarbons, and lignin fragments. In addition, the excretion products of roots, composed of a wide variety of simple organic acids, are present in soils.

Presence of compounds that will react with the heavy metals ion and cause its precipitation or adsorption on solids will reduce the toxicity of the heavy metals and makes them less bio-available for organisms. The colloidal and ionic compounds which combine with in a complex with the heavy metal ion are called ligands which include organic acid and humic substances, dissolved sulfides, chloride and OH^- ions.

Hence, the adsorbing and complexing compounds for toxic metals include:

- particulates: sulfides, particulate organic matter, and clays
- dissolved: sulfides, humic compounds, organic acids, chloride ion, hydroxyl ion (Novotny, 1995).

11. References

- 1) Allen, S.E., 1974, **Chemical Analysis of Ecological Materials**, Blackwell Scientific Publications, London.

- 2) APHA, AWWA, and WFE.,1995, **Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater**(19th edition), American Public Health Association. USA.
- 3) Bastian, R.K., Sanaghan, P.E., and Thompson, B.P., 1989, Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal-regulatory issue and EPA policies, In Hammer, D.A., **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and agricultural**, Lewis publishers, United States of America.
- 4) Blake, G., Kaigate, B., Fourcy, A., and Boutin, C., 1987, Incorporation of cadmium by water hyacinth, **Water Science&Technology**, Vol.19, No. 10, pp. 123-128.
- 5) Bourg, A. C. M., 1995, Speciation of Heavy Metals in Soils and Groundwater and Implications for Their Natural and Provoked Mobility, In Salomons, W., Forstner, U., and Marder, P., **Heavy Metals Problems and Solutions**, Springer, Germany.
- 6) David H. O., James K. H., and Rao A. R., 1984, Cadmium uptake by the water hyacinth: effects of solution factors, **Environmental Pollution**, 34, pp. 133-147.
- 7) Delgado, M., Bigeriego, M., and Guardiola, E.,1993, Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths, **Water Research**, Vol.27, No. 2, pp. 269-272.
- 8) Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R., and Goldman, C. R., 1984, The removal of heavy metal by artiscial wetlands, proceedings of the Water Reuse Symposium III, San Diego, California, **Future of Water Reuse**, Vol.2, pp 639-648.
- 9) Hansen, D., Duda, P. J., Zayed, A., and Terry, N., 1998, Selenium removal by constructed wetlands: Role of biological volatilization, **Environmental Science & Technology**, Vol. 32, pp. 591-597.
- 10) Kadlec, R. H., and Knight, R.L., 1996, **Treatment Wetlands**. CRC Press Inc., United State of American.
- 11) Khosraviani, M., Pavlov, A. R., Flowers, G. C., and Blake, D. A., 1998, Detection of heavy metals by immunoassay of a rapid, portable assay for ionic cadmium, **Environmental Science & Technology**, Vol. 32, pp. 137-142.
- 12) Mungur, A.S., Shutes, R. B. E., Revitt D. M., and House M.A., 1997, An assessment of metal removal By a laboratory scale wetland, **Water Science & Technology**, Vol.35, No.5, pp. 125-133.
- 13) Novotny, V., 1995, Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters, In Salomons, W., Forstner, U., and Marder, P., **Heavy Metals Problems and Solutions**, Springer, Germany.
- 14) Pendis, A. K., and Pendias, H., 1992, **Trace Elements in Soils and Plants**, 2nd Edition, CRC Press Inc., London.

- 15) Polprasert, C., 1996, **Organic Waste Recycling** (2nd edition), John Wiley & Sons, London
- 16) Polprasert, C., Sikka, B., and Tchobanoglous, G., 1986, Aquatic weeds and their uses-An overview of perspectives for developing countries, **Environmental Sanitation Reviews**, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- 17) Shutes, R. B., Ellis, J. B., Revitt, D. M., and Zhang, T. T., 1993, The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban wetlands, In Moshiri, G.A., **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**, CRC Press Inc., United States of America.
- 18) Sinha, S., and Chandra, P., 1990. Removal of Cu and Cd from water by *Bocopamonnieri* L., **Water, Air, and Soil Pollution**, 51, pp. 271-276.
- 19) Sintumongkolchai, S., 1996, Operational Strategy in the Removal of Cadmium for Constructed Wetlands, **Master Thesis**, EV 96-34, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- 20) Thayalakumuran, N., 1994, Application of Constructed Wetlands to the Treatment of a Heavy Metal, **Master Thesis**, EV 94-31, Asian Institute of Technology, Bangkok.

12. Research methodology

Experimental Set-up: experimental set-up would consist of four reactor units made of zinc plate, with dimension of $L \times W \times D = 2 \times 0.5 \times 1$ m. Details of these units are as follows:

- Unit 1 will be the free water surface wetland system, fed with the wastewater (used as a control unit).
- Unit 2 will be the subsurface wetland system, fed with the wastewater (used as a control unit).
- Unit 3 will be the free water surface wetland system, fed with the wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.
- Unit 4 will be the subsurface wetland system, fed with the wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.

All four units will consist of:

- (a) sand (0.1 cm diameter particles) of 10-cm depth at the top.
- (b) the medium layer of 25 cm depth with small gravels (1.2-2.5 cm diameter).
- (c) large gravels (2.5-5.0 cm diameter) of 25 cm depth at the bottom.

A depth of 30 cm of water will be maintained in units 1 and 3 as shown in Figure 3. For units 2 and 4, the flow of wastewater will be maintained approximately 15-30 cm below the bed surface that are illustrated in Figure 4. Cattail plants will be cultured in the wetland beds at approximately 0.15 m intervals.

Head Tank Unit: two head tanks (200 L each) will be used for feeding the wastewater to the four constructed wetland units. Head tank no. 1 will be used for control units 1 & 2. Head tank no. 2 will be used for feeding the synthetic wastewater to units 3 and 4 after mixing with known concentrations of the heavy metals in a storage/mixing tank.

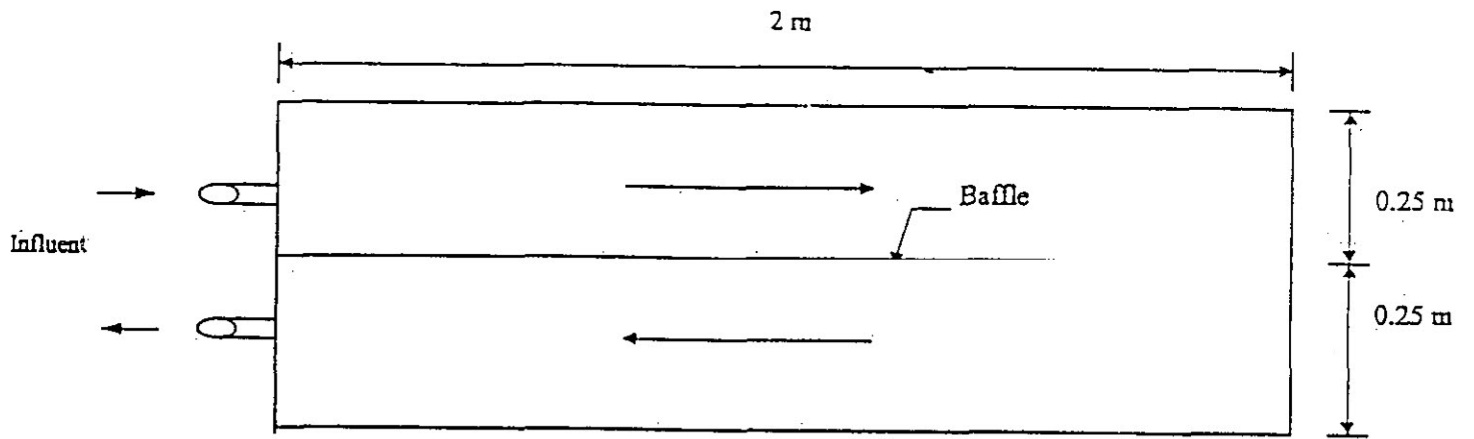
Source and characteristics of wastewater influent to constructed wetland units: synthetic wastewater will be prepared daily in both head tanks. Synthetic wastewater will be prepared by mixing the tap water with various heavy metals at concentrations of 1, 5 and 10 mg/l, respectively in the head tank units and will be fed to constructed wetland units through some pumps at the various flow rates, Q , during several experimental runs. The plan of experimental runs and plan of operating conditions during phase 1 (2002-2003) are illustrated in Tables 1 and 2, respectively.

Table 1 Plan of experimental runs for phase 2 (2003-2004)

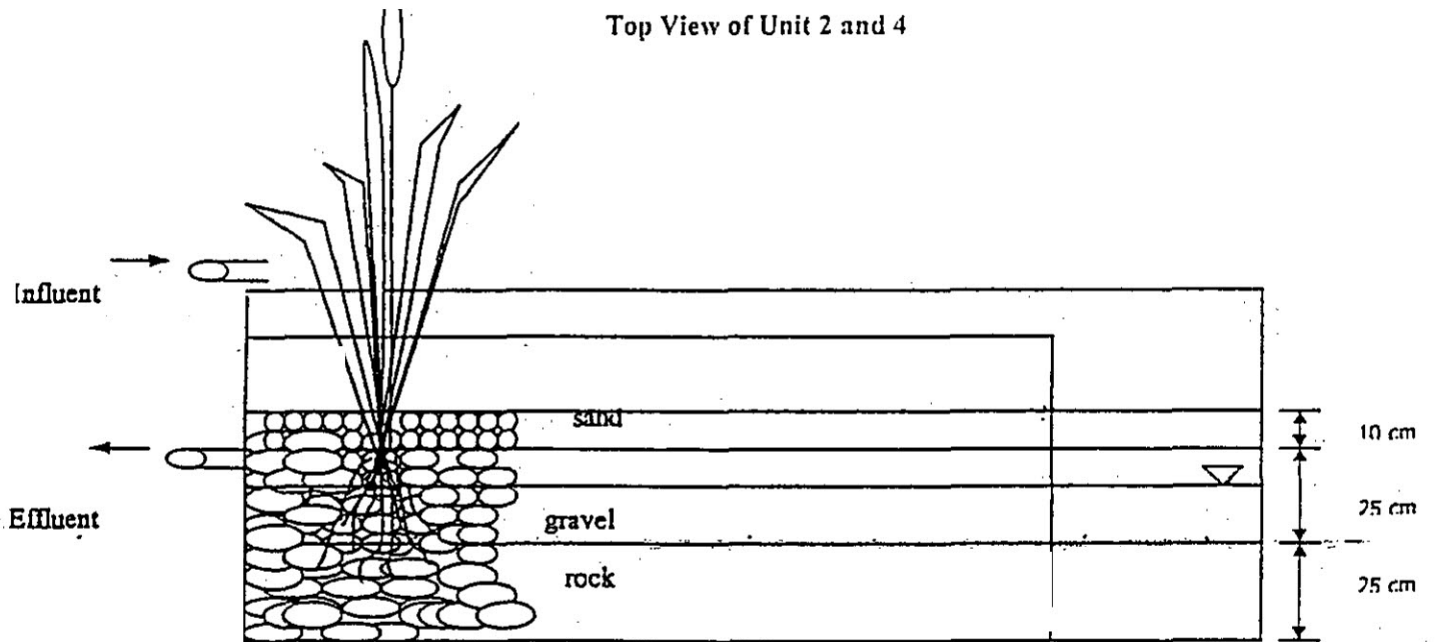
Run	Subsurface System	
	Unit 3	Unit 4
	Cd concentration (mg/L)	Cd concentration (mg/L)
Run 1	-	1
Run 2	-	5
Run 3	-	10

Table 2 Plan of operating conditions for phase 2 (2003-2004)

Run	Hydraulic Retention Time (HRT) (d)	Flow rate (Q) (L/d)
		Subsurface System
Run 1	5.5	27
Run 2	5.5	27
Run 3	5.5	27



Top View of Unit 2 and 4



Side View of unit 2 and 4

Figure 4 Unit 2 and 4 (Subsurface wetland system)

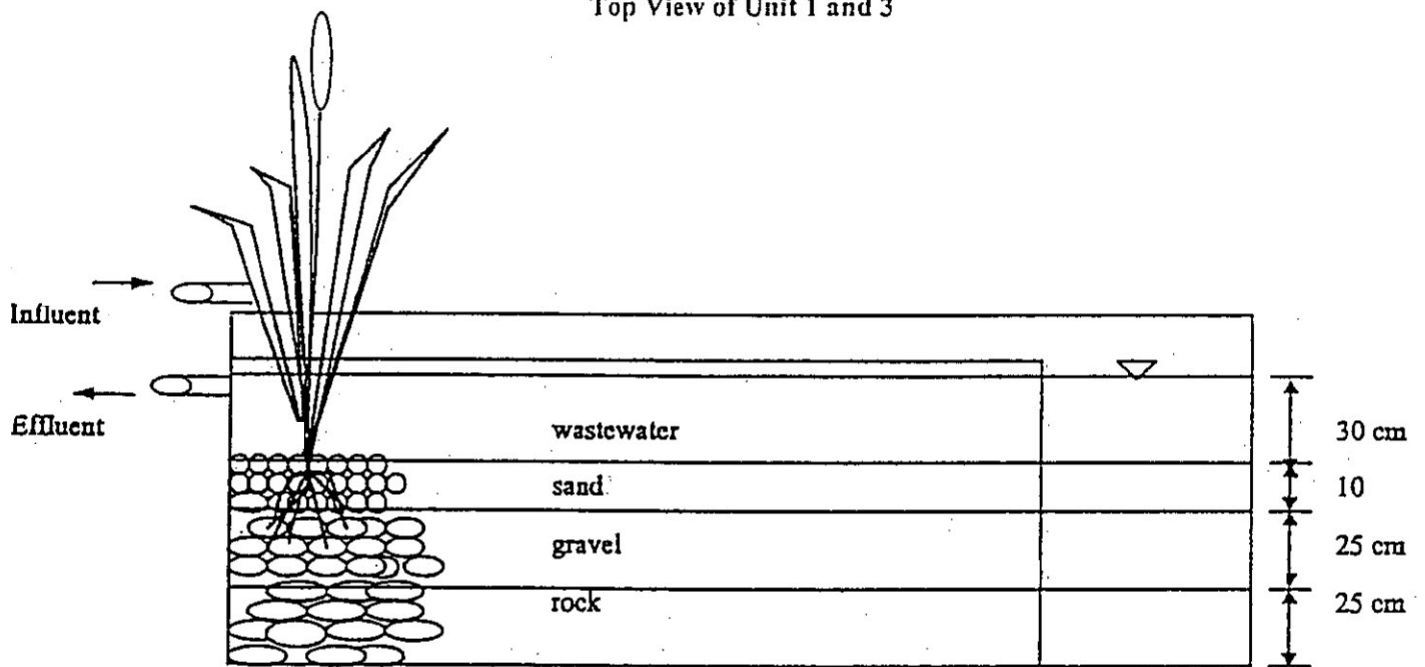
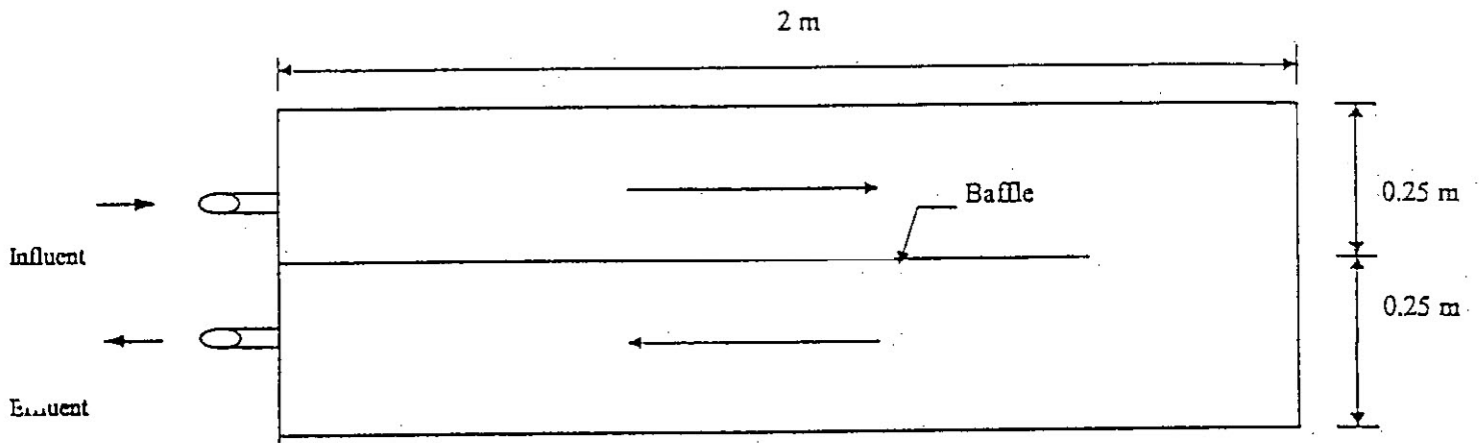


Figure 3 Unit 1 and 3 (free water surface wetland system)

Sampling and Analysis: the synthetic wastewater will be prepared daily to feed to the experimental units. Influent and effluent COD concentrations would be determined until the steady state conditions reach. Subsequently, the following parameters would be analyzed in influent and effluent wastewater samples: COD, TSS, TKN, TP, pH, DO, and heavy metal concentrations. Samples from soil and plants would also be analyzed for heavy metals' concentrations. Analysis in the influent, effluent, soil, and plants samples will be carried out according to the procedures mentioned in the Standard Methods (APHA, AWWA, and WFE.,1995), Chemical Analysis of Ecological Materials(Allen,1974), and Soil Testing Sorbed Metals (Westerman, 1990), respectively. The details of analysis schedule are shown in Table 3.

Table 3 Plan of individual experiments

Parameters	Frequency	Method of Analysis
COD	3/week	Open Reflux
TSS	3/week	Filtration/Evaporation (103-105°C)
TKN	3/week	Digestion/Distillation
TP	3/week	Digestion with Nitric Acid-Sulfuric Acid
PH	3/week	pH Meter
DO	3/week	DO Meter
Heavy metals in wastewater	3/week	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Heavy metals in soil	Once/month	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Heavy metals in plants	End of the experiments	Digestion with HNO ₃ , HClO ₄ , H ₂ SO ₄ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)

13. Scope of research

10.1 The study will be carried out in four lab-scale/pilot-scale experimental units.

10.2 Cattail plants (*Typha angustifolia*.) will be used in the constructed wetland units.

10.3 Performance of free water surface wetland system and subsurface wetland system will be evaluated and compared under different environment conditions.

10.4 Heavy metals' concentrations in the influent and effluent, as well as, in the soil and plants would be determined.

14. Research location and/or data collected location

Experimental Site: laboratory scale / pilot-scale experiments will be conducted at a site near F5 of Suranaree University of Technology (SUT).

15. Workplan : Please detail activities for this funding year in the phasing chart below.

Activities	Fiscal year 2003-2004/ month												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	2 nd yr
1. Literature review	←		→										
2. Site preparation and preliminary investigations			←		→								
3. Experimental runs						←						→	
4. Data Analysis												←	→
5. Final Report													→

16. Technology and Transfer (Planning)

Results of this research would be submitted to a National or International Symposium/Conference. So the target group audience of such events may be benefited by applying the research results of heavy metals removal techniques in designing an appropriate constructed wetland systems.

17. Research equipment specification

17.1 Existing equipment

- computer
- atomic absorption spectrometer (AAS)
- spectrophotometer

17.2 Equipment to be procured

- portable temperature and pH meter
- portable DO meter
- water pumps
- flow meters

18. Itemization of funds requested for this funding year, according to the type and rate of expenditure: temporary wages, compensation / service contracting costs, non-renewable materials costs and equipment

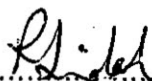
Expenditures	Budget requested for fiscal year 2004(Baht)
1. Temporary wages for research assistant Indicate degree obtained ,number of months, rate per month, Number of assistants - 1 (50%) M.Engr., 12 months, 6,000 Baht/mo.	72,000
2. Services contracting expenses : - obtaining data and information - transportation and compensation - report production	78,000
3. non-renewable materials expenses :	80,000
- equipment : portable temperature and pH meter, portable DO meter, water pumps, flow meters	20,000
total	250,000

19. Itemization of research funds for future years (if this is a multi-year project). If the project is continuing, please indicate the budget allocated in previous years

Expenditures	Budget requested for fiscal year 2004(Baht)
1 st year expenditure	315,000
2 nd year expenditure	250,000
-	-
-	-
-	-
-	-
TOTAL	565,000

20. Progress report in summary (in case of a project continuing from the previous year).

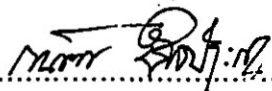
21. Other information (if any)

(signed) 

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

Principal Investigator

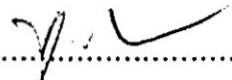
Date ...11.../...03.../...04...

(signed) 

(Assoc. Prof. Capt. Dr. Kontorn Chamniprasart)

Acting Chair, School of Environmental Engineering

Date ...10.../...03.../...04...

(signed) 

(Asst. Prof. Dr. Sittichai Seangatith)

Institute of Engineering

Head, Research Department

Date ...15.../...03.../...04...

Part 2 : Personal details of the principal investigator, co-investigator and project consultant

Principal Investigator

1. Name (Mr/Mrs/Miss)

Dr. (Mrs.) Ranjna Jindal

2. Researcher code issued by the National Research Council (If any)

4. Current position

Lecturer, Environmental Engineering

4. Educational background

Year of Graduation	Degrees obtained (Bachelor's degree and above)	Abbreviation of degree title	Field of study	Major	Name of degree granting institution	Country
1970		B. Sc. (Hons.)	Physics, Maths, Statistics	Physics	Meerut University	India
1973		M. Sc.	Nuclear Physics	Physics	Meerut University	India
1982		M. Sc.	Environmental Technology Management	Environmental Engineering	Asian Institute of Technology	Thailand
1995		D. Tech. Sc.	Environmental Technology Management	Environmental Engineering	Asian Institute of Technology	Thailand

5. Fields of specialization (should be different from field of study above)

- Water and wastewater engineering
- Water quality management in reservoirs and canals
- Computer modeling of water and wastewater treatment processes
- Air pollution control
- Solid waste management in Asian countries

6. Research experience in Thailand and abroad. Indicate if you are principal or co-investigator in each case

6.1 List of completed research projects : title, year of publication and status of each project

- 1) **A Preliminary Study of Arsenic Contamination in Southern Thailand (2000-2001)**
National Research Council of Thailand (NRCT)
Principal investigator
Status: Completed
- 2) **Canal Water Quality Improvement by Rock-bed Filtration (1996-98)**
Sumitomo Heavy Industries Ltd., Japan funded project sponsored under the
UNITWIN/UNESCO Chairs Programme.
Co-investigator
Status: Completed
- 3) **Development of a Water Treatment System Using Rock-bed Filtration (1992-95)**
Shimidzu Corporation, Ltd., Japan funded project.
Co-investigator
Status: Completed
- 4) **Solid Waste Management in Asian Countries (1990-91)**
Japan International Cooperation Agency (JICA) funded project
Co-investigator
Status: Completed

6.2 Current research projects : title and duration of each project

Removal of heavy metals from wastewater in constructed wetlands (2001 – 2004)

TRF – Royal Golden Jubilee, Principal Advisor, Ph.D.Scholarship, Baht 2 million

23/12/02 14:53 1059K*2350 707-215882 BY BR707
NEW P/B NO.-00002959961

(สมุดเล่มนี้สามารถตรวจสอบยอดคงเหลือโดยเครื่องปรับยอดสมุดอัตโนมัติได้)

ฝาก-ถอน
ได้ทุกสาขาทำประเทศที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ ON -LINE

ชื่อบัญชี SUT.Heavy Metals Removal

NAME

ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน)
THE SIAM COMMERCIAL BANK PUBLIC COMPANY LIMITED

สาขาย่อย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บัญชีเงินฝากออมทรัพย์ เลขที่

SAVINGS ACCOUNT NO.

707-2

-15882-3

2959961



ผู้มีอำนาจลงนาม
AUTHORIZED SIGNATURE

แผนการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2547

โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland (The 2nd year)

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)		
	งวดที่ 1 *	งวดที่ 2	รวม
1. ค่าจ้างชั่วคราว Temporary wages for research assistant ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด) - Indicate degree obtained, number of months, rate per month, Number of assistants – 1 (50%) 6,000 Baht/mo., 12 months	36,000	36,000	72,000
รวม (1)	36,000	36,000	72,000
2. ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ Nonrenewable material ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด) - obtaining data and information - transportation and compensation - report production - non-renewable material expenses	15,000 20,000 4,000 40,000	15,000 20,000 4,000 40,000	30,000 40,000 8,000 80,000
รวม (2)	79,000	79,000	158,000
2. ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย Equipment (โปรดแสดงรายละเอียด) - portable temperature and pH meter, portable DO meter, water pumps, flow meter	20,000	-	20,000
รวม (3)	20,000	-	20,000
รวมทั้งสิ้น	135,000	115,000	250,000

(ลงชื่อ)

R. Jindal
(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

หัวหน้าโครงการฯ

11 / 08 / 04

๓ 8 ส.ค. 2547

หมายเหตุ * ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของงวดที่ 1 เบิกได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายทั้งโครงการในแต่ละปี ยกเว้นกรณีที่

1. มีความจำเป็นต้องตั้งเบิกกว่านี้ให้ทำบันทึกแจ้งเหตุผลความจำเป็นเสนอขออนุมัติจากผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนาแนบมาด้วย
2. มีรายการค่าครุภัณฑ์ ให้หักค่าครุภัณฑ์ทั้งหมดออกจากเงินอุดหนุนการวิจัยทั้งโครงการก่อน ส่วนบงฯ ที่เหลือให้เบิกจ่ายในรายการค่าจ้างชั่วคราว ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ รวมกันแล้วไม่เกินร้อยละ 50

การเปิดบัญชีเงินฝากโครงการวิจัย

เอกสารประกอบสัญญาเลขที่ 33 / 2546

โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

ชื่อบัญชี

SOI: Heavy Metal Removal

เลขที่บัญชี

707 - 2 - 15882 - 3

ธนาคาร

ไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สาขาซอย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายนามผู้มีอำนาจสั่งจ่าย

1. ผศ.ดร. อรุณรัตน์ ขำจิตต์

คณบดี

2. อศ.ดร. สุทธิชัย นวลอโศก

หัวหน้าสถานวิจัย

3. อศ.ดร. อัมมจักษ์ จันทะ

หัวหน้าโครงการวิจัย

เงื่อนไขการสั่งจ่าย

ผู้มีอำนาจสั่งจ่าย 2 ใน 3

ลงนาม

Rindat
(Assistant Prof. Dr. Ranyra Jindat)

ผู้รับทุน

รายละเอียดเพิ่มเติมประกอบการพิจารณารับรองรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย
(ตามที่ระบุในแบบเสนอโครงการ)

ชื่อโครงการวิจัย

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal

สังกัด สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. To investigate cadmium removal from waste by constructed wetlands under different environmental conditions.
2. To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface and subsurface wetland systems.

ระยะเวลาดำเนินการตลอดโครงการ

3 ปี (2546-2548)

ทำสัญญารับเงินอุดหนุนการวิจัย

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 เมื่อ 29 มกราคม 2546

วงเงินที่ได้รับจัดสรรตลอดโครงการ

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 จำนวน 315,000 บาท

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 จำนวน 250,000 บาท

ขอบคุณที่เบิกจ่ายไปแล้ว

งวดที่ 1/2546 (รวมกรณีพิเศษ) จำนวน 195,000 บาท ใช้จ่ายจริง ณ วันที่รายงาน 183,920.50 บาท

งวดที่ 2/2546 จำนวน 120,000 บาท ใช้จ่ายจริง ณ วันที่รายงาน 97,762.80 บาท

ยื่นเสนอขออนุมัติครั้งนี้ งวดที่ 1/2547 จำนวน 135,000 บาท

เอกสารประกอบการพิจารณาอื่น ๆ

- | | |
|---|--------------|
| 1. แบบรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย | จำนวน 2 หน้า |
| 2. รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินประจำงวดที่ 2/2546 | จำนวน 1 หน้า |

รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report

- โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
- ชื่อหัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์
- ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 ทั้งสิ้น 315,000 บาท
โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☐ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	94,040.50 บาท
☐ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	80,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	89,880.00 บาท
☒ งวดที่ 2 ได้รับเงิน	120,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	97,762.80 บาท
รวมใช้งวด 1 และ งวด 2 ทั้งสิ้น			281,683.30 บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ
	ได้รับจัดสรร ตลอดปี	เบิกจ่ายแล้ว ในงวดก่อน	เบิกจ่าย ในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่าย ครั้งต่อไป	
ค่าจ้างชั่วคราว					
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- 1 Research Assistant	72,000.00	48,000.00	48,000.00	24,000.00	อนุมัติ ๑๘. ๕๓๒๙๖/๖๗
รวม	72,000.00	48,000.00	48,000.00	24,000.00	๑๑. ๑๖๖๖. ๔๗
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ					
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)					
- obtaining data & information	20,000.00	4,556.90	5,857.00	9,586.10	
- transportation, compensation, etc.	40,000.00	3,700.00	12,200.00	24,100.00	
- report production	25,000.00			25,000.00	
- non-renewable material expenses	78,000.00	37,783.60	31,705.80	8,510.60	
- composters					
รวม	163,000.00	46,040.50	49,762.80	67,196.70	
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- portable temperature and pH meter	30,000.00	89,880.00		59,880.00	อนุมัติ
- Portable DO meter	30,000.00			30,000.00	๑๘ ๕๔๑๔ (๑๖) / ๘๑
- Water pumps	10,000.00			10,000.00	๑๘ ๓. ๑. ๕๘
- Flow meters	10,000.00			10,000.00	ตรวจสอบแล้ว
รวม	80,000.00	89,880.00	0.00	-9,880.00	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	315,000.00	183,920.50	97,762.80	33,316.70	กฏบัตร

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลความดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

หัวหน้าโครงการ

11/03/04

18 มี.ค. 2547

รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัย
เพื่อประกอบการพิจารณาอนุมัติเงินงวดที่ 1/2547

ผลการดำเนินงานระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2546 ถึงวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2547

1. ชื่อโครงการ Fate of cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland

2. หัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal

3. หน่วยงาน
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima

4. วัตถุประสงค์ของโครงการ

4.1 To investigate cadmium removal from wastewater by constructed wetlands under different environmental conditions.

4.2 To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface (FWS) and subsurface (SF) wetland systems.

5. แผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ

Activities	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sept.	2 nd yr.	3 rd yr
1. Literature review	←	→												
2. Site preparation and preliminary investigations			←	→										
3. Experimental runs						←	→							
4. Data Analysis												←	→	
5. Final Report														←

6. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่วางแผนว่าจะทำในช่วงที่รายงานนี้

Activities: Experimental runs, Data analysis

7. ผลการดำเนินงานวิจัยที่ทำได้จริง : Continue experiments

8. ความก้าวหน้าตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยจนถึงปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 60%

9. การถ่ายทอดเทคโนโลยี การเผยแพร่ผลงานวิจัย การจดสิทธิบัตร ผลตอบแทนทางธุรกิจ เป็นต้น

One paper submitted for publication in an international journal.

10. ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

- ไม่มี -

11. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่จะทำในช่วงต่อไป

2nd year experiments

12. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

- ไม่มี -



ด่วนที่สุด

บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนาแบบ สวพ.-ง-01

วันที่ 1589/14

วันที่ 19 มิ.ย. 2546

เวลา 9.30 น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ที่ ทบ. 9614 (15) / 52

โทร

วันที่ 4 มิ.ย. 2546

เรื่อง ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 งวดที่ 2

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ตามที่ข้าพเจ้า Ass. Prof. Dr. Ranjna Jindal สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated Constructed Wetland เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 315,000 บาท นั้น

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อดำเนินการวิจัยโครงการดังกล่าว ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 120,000 บาท (หนึ่งแสนสองหมื่นบาทถ้วน) ตามประมาณการรายจ่าย ดังนี้

1. ค่าจ้างชั่วคราว ประกอบด้วย

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ (M.Eng) อัตราเดือนละ 6,000 บาท

ระยะเวลา 6 เดือน จำนวน 1 คน เป็นเงิน 36,000 บาท

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ..... อัตราเดือนละ..... บาท

ระยะเวลา.....เดือน จำนวน.....คน เป็นเงิน บาท

ค่าจ้างคนงานรายเดือน อัตราเดือนละ..... บาท

ระยะเวลา.....เดือน จำนวน.....คน เป็นเงิน บาท

ค่าจ้างคนงานรายวัน อัตราวันละ..... บาท

ระยะเวลา.....วัน จำนวน.....คน เป็นเงิน บาท

รวม 36,000 บาท

2. ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ ประกอบด้วย

Obtaining data and information เป็นเงิน 10,000 บาท

Transportation and compensation เป็นเงิน 20,000 บาท

Report production เป็นเงิน 15,000 บาท

Non-renewable material expenses เป็นเงิน 39,000 บาท

รวม 84,000 บาท

3. ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย

.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
.....	เป็นเงิน	บาท
	รวม	บาท

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

.....
R. Jindal
 (Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal....)
 หัวหน้าโครงการวิจัย
 4 / 11 / 03

.....
Y. W.
 (.....)
 หัวหน้าสถานวิจัย
 10 / พ.ย. / 06

.....
[Signature]
 (.....)
 คณบดี
 / /

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะทำงานฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้จ่ายเงินฯ งวดที่ 1/2546 แล้ว ☐ เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติค่าใช้จ่ายงวดที่ 2/46 ในวงเงิน 20,000 บาท (... งบแผ่นดินในบทกวี ...) ☐ ไม่ถูกต้อง เนื่องจาก (นางสาววิมล มะลิพันธ์) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา ... 3 ... 3 ... 2546	(3) ☒ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการ และเงินใจข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ (อาจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ... 3 ... 3 ... 2546
(4.1) ☒ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัยจำนวน 20,000 บาท (... งบแผ่นดินในบทกวี ...) ...) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาซอย มทส. ชื่อบัญชี Sut. Heavy Metals Removal เลขที่บัญชี 701-2-15882-3 ด้วย จักขอขอบคุณยิ่ง (อาจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ... 3 ... 3 ... 2546	☐ (4.2) เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวพ. ขอส่งสำเนาบันทึกขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติเบิกจริงได้ส่งให้ส่วนการเงินเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการโอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป (น.ร. อรุณ งาม) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา ... 3 ... 3 ... 2546

ด่วนมาก

ที่ ศร 5614(15)/110



สถาบันวิจัยและพัฒนา
วันที่..... 16/39/46
วันที่..... ๒3 S.A. 2546
เวลา..... 10.00 น.

MEMORANDUM

DATE: 1 December 2003

TO: Prof.Dr.Nantakon Boonkerd
Direct of IRD, SUT

FROM: Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal
School of Environmental Engineering

SUBJECT: Clarification about not buying the water pumps and
flow meter for my NRCT Project

Dear Sir,

This is to clarify the reason of my not buying the two equipments, water pumps and flow meters, for my NRCT project "Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetlands". As these equipments were available in our Environmental Engineering Laboratory at F5, I could borrow and use them for my project. Therefore, there was no need to buy these two equipment in this project.

If you need any more clarification and information on this matter, please let me know.

Thank you very much for your kind consideration.

Sincerely yours,

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)
School of Environmental Engineering
Institute of Engineering
Tel: 66 44 22 4454
Fax: 66 44 22 4220

อนุมัติ

ดร. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์
รักษาการแทนหัวหน้าสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

(ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

Dec 2, 2003
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

หัวหน้าสภานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 223000 โทรสาร (044) 224070
ปฏิบัติกรแทนคณบดี

SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

111 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND Tel. (044) 223000 Fax. (044) 224070



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา

ที่ 1561/46

วันที่ 19 พ.ย. 2546

ลง ๗.30 น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4451 โทรสาร 4220

ที่ ศร 5614(15)/95

วันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546

เรื่อง การขอชี้แจงเหตุผลเพิ่มเติมเรื่องการขออนุมัติจัดซื้อครุภัณฑ์

①

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านหัวหน้าสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ตามที่ข้าพเจ้าได้รับอนุมัติโอนหมวดเงินอุดหนุนโครงการวิจัยเรื่อง "Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland" เป็นจำนวนเงิน 9,880 บาท (เก้าพันแปดร้อยแปดสิบบาทถ้วน) ตามหนังสือ ศร 5614(15)/81 ลงวันที่ 28 ตุลาคม 2546 นั้น และคณะกรรมการพิจารณากันกรองและจัดสรรงบประมาณโครงการวิจัย ให้ชี้แจงเหตุผลว่าสาเหตุที่ไม่จัดซื้อ water pumps และ flow meters ขอให้เหตุผลดังนี้

I decided not to buy flow meters and water pumps because the money allotted for equipment in my project was not sufficient. Even to buy DO meter and pH meter, I had to spend more than allotted amount.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

R. Jindal

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

②

สืบ ผอ. ลวพ
เพื่อโปรดพิจารณา
ตามหนังสือ
✓

18 Nov. 2006

(ฉบับที่ 1561/46, ลงวันที่ 15/11/2546)

③

The committee want to know that why you did not want to buy flow meter. Please give technical reason not just say not enough money.

Nontakorn Boonkerd

(Prof. Dr. Nontakorn Boonkerd)

รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report

- โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
- ชื่อหัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์
- ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 ทั้งสิ้น 315,000 บาท โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☒ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	94,040.50 บาท
☒ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	80,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	89,880.00 บาท
☐ งวดที่ 2 ได้รับเงิน		บาท ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ
	ได้รับจัดสรรตลอดปี	เบิกจ่ายแล้วในงวดก่อน	เบิกจ่ายในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่ายครั้งต่อไป	
ค่าจ้างชั่วคราว					
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- 1 Research Assistant	72,000.00		48,000.00	24,000.00	
รวม	72,000.00	0.00	48,000.00	24,000.00	
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ					
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)					
- obtaining data & information	20,000.00		4,556.90	15,443.10	
- transportation, compensation, etc.	40,000.00		3,700.00	36,300.00	
- report production	25,000.00			25,000.00	
- non-renewable material expenses	78,000.00		37,783.60	40,216.40	
- composters				-	
รวม	163,000.00	0.00	46,040.50	116,959.50	
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)					
- portable temperature and pH meter	30,000.00	}	89,880.00	59,880.00	อนุมัติ 06/06/21/ว. 79 10 พ.ย. 46
- Portable DO meter	30,000.00			30,000.00	
- Water pumps	10,000.00			10,000.00	
- Flow meters	10,000.00			10,000.00	
รวม	80,000.00	0.00	89,880.00	-9,880.00	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	315,000.00	-	183,920.50	131,079.50	

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลความดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

Ranjna Jindal

หัวหน้าโครงการ

4 11 03



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
ที่ 1561/46
วันที่ 19 พ.ย. 2546
เวลา 9.30 น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4451 โทรสาร 4220
ที่ ศร 5614(15)/95 วันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546
เรื่อง การขอชี้แจงเหตุผลเพิ่มเติมเรื่องการขออนุมัติจัดซื้ออุปกรณ์

①

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านหัวหน้าสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ตามที่ข้าพเจ้าได้รับอนุมัติโอนหมวดเงินอุดหนุนโครงการวิจัยเรื่อง "Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland" เป็นจำนวนเงิน 9,880 บาท (เก้าพันแปดร้อยแปดสิบบาทถ้วน) ตามหนังสือ ศร 5614(15)/81 ลงวันที่ 28 ตุลาคม 2546 นั้น และคณะอนุกรรมการพิจารณากลับกรองและจัดสรรงบประมาณโครงการวิจัย ให้ชี้แจงเหตุผลว่าสาเหตุที่ไม่จัดซื้อ water pumps และ flow meters ขอให้เหตุผลดังนี้

I decided not to buy flow meters and water pumps because the money allotted for equipment in my project was not sufficient. Even to buy DO meter and pH meter, I had to spend more than allotted amount.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

R. Jindal

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

②

รับ ผอ. ลวพ
เพื่อโปรดพิจารณา
ตามหนังสือ

V. L.

18 พ.ย. 2546

(ต่อที่จดหมายหมายเลข ๑๕๖๑/๒๕๔๖)

③

The committee want to know that why you did not want to buy flow meter. Please give technical reason not just say not enough money.

N. Boonkerd

(Prof. Dr. Nontakorn Boonkerd)
Head of the Committee
1 Dec. 2003

**รายงานแสดงการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Research Expenditure Report**

- โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Construction Wetland
- ชื่อหัวหน้าโครงการ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์
- ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546 ทั้งสิ้น 315,000 บาท
โดยได้รับเงินจากมหาวิทยาลัยครั้งล่าสุดและใช้จ่ายไปแล้ว ดังนี้

☒ งวดที่ 1 ได้รับเงิน	115,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	94,040.50 บาท
☒ ค่าครุภัณฑ์ ได้รับเงิน	80,000 บาท	ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	89,880.00 บาท
☐ งวดที่ 2 ได้รับเงิน		บาท ใช้จ่ายจริงไปทั้งสิ้น	บาท

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

รายการค่าใช้จ่าย	งบประมาณ (บาท)				หมายเหตุ	
	ได้รับจัดสรร ตลอดปี	เบิกจ่ายแล้ว ในงวดก่อน	เบิกจ่าย ในงวดนี้	คงเหลือเบิกจ่าย ครั้งต่อไป		
ค่าจ้างชั่วคราว						
ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)						
- 1 Research Assistant	72,000.00		48,000.00	24,000.00		
รวม	72,000.00	0.00	48,000.00	24,000.00		
ค่าตอบแทน ใช้สอย และวัสดุ						
ประกอบด้วย (โปรดแสดงรายละเอียด)						
- obtaining data & information	20,000.00		4,556.90	15,443.10		
- transportation, compensation, etc.	40,000.00		3,700.00	36,300.00		
- report production	25,000.00			25,000.00		
- non-renewable material expenses	78,000.00		37,783.60	40,216.40		
- composters				-		
รวม	163,000.00	0.00	46,040.50	116,959.50		
ค่าครุภัณฑ์ ประกอบด้วย (แสดงรายละเอียด)						
- portable temperature and pH meter	30,000.00	}	}	89,880.00	59,880.00	อนุมัติ 046 0621/ว.79 10 พ.ย. 46
- Portable DO meter	30,000.00				30,000.00	
- Water pumps	10,000.00				10,000.00	
- Flow meters	10,000.00				10,000.00	
รวม	80,000.00	0.00	89,880.00	-9,880.00		
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	315,000.00	-	183,920.50	131,079.50		

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลความดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

I certify that the above is true in all respects.

(ลงชื่อ).....

Ranjna Jindal

หัวหน้าโครงการ

4 / 11 / 03

หัวข้อรายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัย
เพื่อประกอบการพิจารณาอนุมัติเงินงวดที่ 2 / 2546

ผลการดำเนินงานระหว่างวันที่ 29 เดือน มกราคม พ.ศ. 2546 ถึงวันที่ 31 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2546

1. ชื่อโครงการ

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated Constructed Wetland

2. หัวหน้าโครงการ

Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal

3. หน่วยงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

4. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. To investigate cadmium removal from wastewater by constructed wetlands under different environmental conditions.
2. To compare the efficiency of cadmium removal trough lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface and subsurface wetland systems.

5. แผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ

กิจกรรม Activities	ปีงบประมาณ พ.ศ. ...2546... /เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Preparation to start experiments												
Start up experiments												
Start up experiments												

6. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่วางแผนว่าจะทำในช่วงที่รายงานนี้

Start up experiments

7. ผลการดำเนินงานวิจัยที่ทำได้จริง 50%

8. ความก้าวหน้าตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยจนถึงปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 50

9. การถ่ายทอดเทคโนโลยี การเผยแพร่ผลงานวิจัย การจดสิทธิบัตร ผลตอบแทนทางธุรกิจ เป็นต้น

-

10. ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

-

11. แผนการดำเนินงานหรือกิจกรรมที่จะทำในช่วงต่อไป

Experiments

12. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

-

หมายเหตุ

1. งดให้ระบุงวดเงินตามปีงบประมาณที่ได้รับการสนับสนุน
2. ผลการดำเนินงานให้ระบุระยะเวลาตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติเบิกเงินงวดที่ผ่านมาจนถึงวันที่รายงานเพื่อขอเบิกเงินในงวดนี้
3. ใช้รายงานทั้งโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจาก มทส. (ผ่าน วช.) ทุนวิจัยระหว่างปี และจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยฯ มทส.



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
รับที่..... 1464/46
วันที่..... 4 พ.ย. 2546
ณ..... 16.30

หน่วยงาน..... สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท 4229 โทรสาร 4220

ที่..... ศธ.5614(10)/81 วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2546

เรื่อง..... ขออนุมัติเงินหมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุมาใช้หมวดครุภัณฑ์

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านหัวหน้าสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ตามที่ข้าพเจ้า Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal ได้รับจัดสรรเงินอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2546 เรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland จำนวนเงินทั้งสิ้น 315,000 (สามแสนหนึ่งหมื่นห้าพัน บาท) โดยได้รับจัดสรรเงิน ในหมวดค่าครุภัณฑ์เป็นเงิน 80,000 บาท (แปดหมื่นบาทถ้วน) และได้ใช้จ่ายตามรายละเอียดดังนี้

รายการครุภัณฑ์	ได้รับอนุมัติ	จัดซื้อ	คงเหลือ
- portable temperature and pH meter	30,000	29,000	1,000
- Portable DO meter	30,000	55,000	- 22000
- Water pumps	10,000	-	10,000
- Flow meters	10,000	-	10,000
จำนวนเงิน		84,000	-9,880
ภาษี 7%		5,880	
จำนวนเงินรวม		89,880	

ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดซื้อครุภัณฑ์เป็นเงินทั้งสิ้น 89,880 บาท สาเหตุที่ราคาครุภัณฑ์เกินมาเนื่องจาก ราคาที่สืบไว้เมื่อปี 45 กับปีนี้ได้เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะเศรษฐกิจ และได้การจัดซื้อครุภัณฑ์ชุดนี้ก็เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นกว่าเดิม

คิดเงินจึงขออนุมัติโอนเงินจากหมวดค่าตอบแทนใช้สอยวัสดุมาใช้ในหมวดครุภัณฑ์เป็นจำนวนเงิน 9,880 บาท (เก้าพันแปดร้อยแปดสิบบาทถ้วน)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

2

ในนาม ผอ.สวท

เพื่อทบทวน และโปรดพิจารณาอนุมัติ

วันที่ 4 พ.ย. 2546

2

คุณพรพรหม

เพื่อพิจารณาอนุมัติ

(ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

R. Jindal
(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

หัวหน้าโครงการวิจัย

3 พ.ย. 46

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจัย เทวฤทธิ์
นายกสภาวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



2991/18 อาคารชัยชัย วิสุทธิธานี ถนนลาดพร้าว แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
โทร. 0-23703161-4 โทรสาร : 0-23702455-6
เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 3101754513

เล่มที่ 86

เลขที่ 4256

ใบเสร็จรับเงิน

ได้รับเงินจาก บริษัท ๒๕๖๓ จำกัด วันที่ ๑๑ ๒๕๖๓ ๑๕ ๒๕๖๓
ชำระค่า ค่าน้ำประปา ๑๕ ๒๕๖๓

โดย ☒ เงินสด ๘๙๕๖ บาท

☐ เชื้อชนาการ.....

สาขา _____

เลขที่.....

ลงวันที่

จำนวนเงิน.....บาท

ใบส่งของเลขที่	ลงวันที่	จำนวนเงิน	
		บาท	สต.
๐๐4382		89,880	-
รวมเงิน		89,880	-

ได้รับเงินไว้แล้วด้วยความขอบคุณ

กมลสิทธิ์ วัฒนกุล

๒๒
สุรมเงิน

ได้รับสืบค้นตามรายการถูกต้องแล้ว

๙. *Rt del* คุ้มครองรับผิด

...ព្រះធានាទាំង

James A. N.

๒๒
ผู้จัดการ

ใบเสร็จรับเงินฉบับนี้จะสมบูรณ์เมื่อมีลายมือชื่อของทั้งผู้รับเงินและผู้จัดการ การชำระเงินด้วยเช็คจะสมบูรณ์ต่อเมื่อบริษัทได้เรียกเก็บเงินตามเช็คเรียบร้อยแล้ว

บริษัท ชัยรีย โฮลดิ้ง จำกัด

2991/18 อาคารชัยรีย วิสุทธิธานี ถนนลาดพร้าว แขวงคลองจั่น
เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

☎ 0-2370-3161-4, 0-2370-2498-9, 0-2370-2276

โทรสาร : (082) 370-2455

เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 3 10 1 754513



CHATCHAREE HOLDING Co., Ltd.

2991/18 CHATCHAREE BUILDING VISUTTHANEE, LADPRAO ROAD,
KLONGCHAN, BANGKAPI, BANGKOK 10240, THAILAND.

☎ 0-2370-3161-4, 0-2370-2498-9, 0-2370-2276

FAX : (662) 370-2455

สำเนาใบส่งของ/สำเนาใบกำกับภาษี
INVOICE COPY / TAX INVOICE COPY

เลขที่

004382

นามผู้ซื้อ NAME	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	วันที่ DATE	
ที่อยู่ ADDRESS	111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ.เมือง ข.นครราชสีมา	เงื่อนไขการชำระเงิน CREDIT (DAYS)	
		วันถึงกำหนด DUE DATE	

จำนวน QTY	รายการสินค้า DESCRIPTION	ราคาต่อหน่วย UNIT PRICE	จำนวนเงิน AMOUNT (ไม่รวมภาษี)
3 ชิ้น	PORTABLE pH METER รุ่น C532X - พร้อม EPOXY ELECTRODE FOR WASTE WATER รุ่น SP11K	29,000.00	29,000.00
เครื่อง	PORTABLE DO-METER รุ่น Z921T	55,000.00	55,000.00
รวมราคาสินค้า TOTAL			84,000.00
จำนวนภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT		7 %	5,880.00
รวมเงินรวมทั้งสิ้น TOTAL AMOUNT			89,880.00

ได้รับสิ่งของตามรายการข้างบนนี้ไว้ครบถูกต้องเรียบร้อยแล้ว
Received the above mentioned goods in good order and condition.

ผิด และ ตก ยก เว้น
E. & O. E.

ในนาม บริษัท ชัยรีย โฮลดิ้ง จำกัด
FOR CHATCHAREE HOLDING Co., Ltd.

ผู้รับสินค้า
Received by

ผู้ส่งสินค้า
Consigner

ผู้รับมอบอำนาจ
Authorized Signature

โปรดชำระหนี้ด้วยเช็คสั่งจ่ายในนาม บริษัท ชัยรีย โฮลดิ้ง จำกัด เท่านั้น กรุณาขีดคร่อมเช็ค ห้ามเปลี่ยนมือ หรือ A/C Payee และ ชิดผู้ถือออก

บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบ สปช. 4-01

สถาบันวิจัยและพัฒนา

รับที่.....106/45.....
วันที่.....22 มี.ค. 2546.....
เวลา.....10.30 น.....

หน่วยงาน.....สภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....โทร.....4229.....
School /Institute.....Tel/Fax.....
ที่ ทน.....ดว(๑๑)132.....วันที่.....21 มี.ค. พ.ศ. 2546.....
เรื่อง.....ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546.....งวดที่.....1.....
Subject : Request the payment of research allocation for fiscal year.....Installment no.....

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
To : Director of Institute of research and development

ตามที่ข้าพเจ้า.....Asst. Prof. Dr. Ranjira Jindal.....สังกัด สำนักวิชา.....
As I,.....a member of Institute of

Engineering

ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปี
was allocated university research funding for fiscal

งบประมาณ พ.ศ. 2546.....เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง.....Fate of Cadmium in.....
year.....for the expenditures of project (name)

Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น.....315,000.....บาท นั้น
for the amount of.....baht,

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อดำเนินงานวิจัยโครงการ ดังกล่าว ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546
I request the payment of research allocation monies for the Installment no.

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น.....115,000.....บาท (one hundred and fifteen thousand baht)
for the amount of.....
thousand baht.....*Rindal*

ตามประมาณการรายจ่าย ดังนี้
as the following expense estimates:

1. ค่าจ้างชั่วคราว ประกอบด้วย
Temporary Wages Consisting of:

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ.....B.S.....อัตราเดือนละ.....6,000.....บาท
Research assistant Wages (degree).....amount.....*Rindal*.....per month.

ระยะเวลา.....6.....เดือน จำนวน.....1.....คน.....เป็นเงิน.....36,000.....บาท
for duration of.....months No. of employees.....total amount.....per month

ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัยคุณวุฒิ.....อัตราเดือนละ.....บาท
Research assistant Wages (degree).....amount.....per month.

ระยะเวลา.....เดือน จำนวน.....คน.....เป็นเงิน.....บาท
for duration of.....months No. of employees.....total amount.....per month

ค่าจ้างคนงานรายเดือน อัตราเดือนละ.....บาท
Monthly employee at.....per month

ระยะเวลา.....เดือน จำนวน.....คน.....เป็นเงิน.....บาท
for duration of.....months No. of employees.....total amount.....baht

ค่าจ้างคนงานรายวัน อัตราวันละ.....บาท
Daily employee at...per day

ระยะเวลา.....วัน จำนวน.....คน.....เป็นเงิน.....บาท
for duration of.....days No. of employees.....total amount.....baht

รวม.....36,000.....บาท
Totalling.....baht

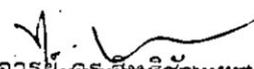
2. ค่าตอบแทนใช้สอย และวัสดุ ประกอบด้วย

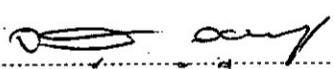
Compensation, service contracting and nonrenewable materials expenses

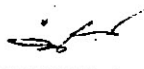
Obtaining data and information	เป็นเงิน	10,000	บาท
	total amount		baht
transportation and compensation	เป็นเงิน	20,000	บาท
	total amount		baht
report production	เป็นเงิน	10,000	บาท
	total amount		baht
nonrenewable materials expenses	เป็นเงิน	39,000	บาท
	total amount		baht
	เป็นเงิน		บาท
	total amount		baht
	เป็นเงิน		บาท
	total amount		baht
	เป็นเงิน		บาท
	total amount		baht
	เป็นเงิน		บาท
	total amount		baht
รวม		79,000	บาท
Totaling			baht

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ
Your approval is hereby requested.


(Asst Prof Dr. Ranyha Jindal)
หัวหน้าโครงการวิจัย
Head of project


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
หัวหน้าสถานวิจัย
Head of research Department
20/20/ 46


(รองศาสตราจารย์ ดร.จรูญ ดอประยูร)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
Dean
ปฏิบัติกรแทนคณบดี
22 ส.ค. 2566

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ☐ คณะอนุกรรมการฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้จ่ายเงินฯ งวดที่.....แล้ว ☒ เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติค่าใช้จ่ายงวดที่ <u>1 / 2546</u> ในวงเงิน <u>115,000</u> บาท (<u>๒๙,๐๐๐ บาท (เงินค่าจ้างเหมา)</u>) ☐ ไม่ถูกต้องเนื่องจาก.....  (นางสุวิมล มะสันเทียะ) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา <u>29</u> ส.ค. 2546	(3) ☒ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการและเงื่อนไขข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ.....  (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา <u>29</u> ส.ค. 2546
(4.1) ☒ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัยจำนวน <u>115,000</u> บาท (<u>๒๙,๐๐๐ บาท (เงินค่าจ้างเหมา)</u>) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาย่อย มทส. ชื่อบัญชี <u>SUT Heavy Metals Removal</u> เลขที่บัญชี <u>709-2-15482-3</u> ด้วย จักขอบคุณยิ่ง (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา <u>29</u> ส.ค. 2546	(4.2) ☒ เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวพ. ขอส่งสำเนานันทกขอนุมัติเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติฉบับจริง ได้ส่งให้ส่วนการเงินและบัญชีเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการโอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป (นางสาวดารณี ขำแจ้ง) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา <u>29</u> ส.ค. 2546

บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
แบบฟอร์ม IRD-B-01.1
วันที่ 12.2 ค.ศ. 2546
เวลา 10.40 Lr

หน่วยงาน สทนวิจัย อากาศและสิ่งแวดล้อม โทร. 4229
School /Institute Tel/Fax.
ที่ ทม ๑๗ (๑๖) / 33 วันที่ ๑1 มิ.ย.ค.ศ. ๒๕๔๖
เรื่อง ขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัย (ค่าครุภัณฑ์) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๔๖
Subject : Request the payment of research allocation (equipment expenditure) for fiscal year.....

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
To : Director of Institute of research and development

ตามที่ข้าพเจ้า Asst. Prof. Dr. Ruayna Jindal สังกัด สำนักวิชา
As I, a member of Institute of

Engineering

ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย ประจำปี
was allocated university research funding for fiscal

งบประมาณ พ.ศ. 2546 เพื่อใช้จ่ายในโครงการวิจัยเรื่อง Fake of Cadmium in
year for the expenditures of project (name)

Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 315,000 บาท นั้น
for the amount of baht,

ข้าพเจ้าขออนุมัติเบิกเงินอุดหนุนการวิจัยสำหรับเป็นค่าครุภัณฑ์เพื่อใช้ในโครงการวิจัย ดังกล่าว
I request the payment of research allocation monies for the equipment expenses used

เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 80,000 บาท (eighty - thousand baht -
in the above project for the amount of baht

๑) ตามรายการที่เสนอในแบบเสนอโครงการ ดังนี้
as detailed in the project proposal as follows :

1. portable temperature and pH meter	จำนวน		
(name of equipment)	No.		
	เป็นเงิน	30,000	บาท
	total amount		baht
2. portable DO meter	จำนวน		
(name of equipment)	No.		
	เป็นเงิน	30,000	บาท
	total amount		baht
3. water pumps	จำนวน		
(name of equipment)	No.		
	เป็นเงิน	10,000	บาท
	total amount		baht
4. flow meters	จำนวน		
(name of equipment)	No.		
	เป็นเงิน	10,000	บาท
	total amount		baht
	รวมทั้งสิ้น	80,000	บาท
	Totaling		baht

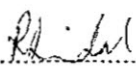
โดยขออนุมัติให้ผู้มีรายนามต่อไปนี้เป็นกรรมการจัดซื้อครุภัณฑ์
I request the following as the equipment purchase committee

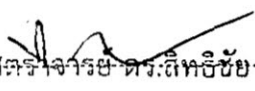
1. อ.ดร. รุ่งจิตา กระจุก..... ประธานกรรมการ
Chair
2. อ.ดร. สิทธิชัย นพรัตนกิจ..... กรรมการ
committee
3. อ.วิฑูรย์ เกียรติคุณ..... กรรมการ
committee

และขออนุมัติให้ผู้มีรายนามต่อไปนี้เป็นกรรมการตรวจรับครุภัณฑ์
And request the following as the receiving committee :

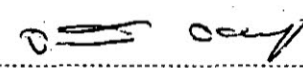
1. Asst. Prof. Dr. Ranyha Jindal..... ประธานกรรมการ
Chair
2. อ. สันติ นพรัตน์..... กรรมการ
committee
3. อ.ดร. สิทธิชัย นพรัตนกิจ..... กรรมการ
committee

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ
Your approval is hereby requested.

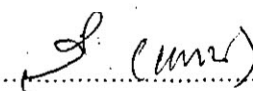

(Asst. Prof. Dr. Ranyha Jindal)
หัวหน้าโครงการวิจัย
Head of project


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
Head of research Department

20 / 2561 46


(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัสศรี ตอประเสริฐ)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร คณบดีวิชาวิศวกรรมศาสตร์
Dean
ปฏิบัติกรแทนคณบดี

22.1 ส.ค. 2546

(2) เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ☐ คณะอนุกรรมการฯ ได้รับรองรายงานความก้าวหน้าและรายงานการใช้จ่ายเงินฯ งวดที่.....แล้ว ☒ ถูกต้อง ครบถ้วน เห็นสมควรอนุมัติค่าครุภัณฑ์ตามรายการที่เสนอในวงเงิน <u>80,000</u> บาท (แปดหมื่นบาทถ้วน) ☐ ไม่ถูกต้องเนื่องจาก.....  (นางสุวิมล มะสันเทียะ) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา 29 มิ.ย. 2546	(3) ☐ อนุมัติให้เบิกเงินอุดหนุนการวิจัยตามรายการและเงื่อนไขข้างต้นได้ ☐ โปรดแก้ไขตามข้อ (2) และ.....  (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 30 มิ.ย. 2546
(4.1) ☒ เรียน หัวหน้าส่วนการเงินและบัญชี เพื่อโปรดดำเนินการโอนเงินอุดหนุนการวิจัยจำนวน <u>80,000</u> บาท (แปดหมื่นบาทถ้วน)) เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ธนาคารไทยพาณิชย์สาขาย่อย มทส. ชื่อบัญชี <u>Sut. Heavy Metals Removal</u> เลขที่บัญชี <u>707-2-15882-3</u> ด้วย จักขอบคุณยิ่ง (ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด) ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา 30 มิ.ย. 2546	(4.2) ☐ เรียน หัวหน้าโครงการวิจัย สวพ. ขอส่งสำเนารับบันทึกขออนุมัติเงินอุดหนุนการวิจัยเพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน สำหรับบันทึกขออนุมัติฉบับจริง ได้ส่งให้ส่วนการเงินและบัญชีเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินการโอนเงินเข้าบัญชีโครงการวิจัยแล้ว เพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป  (นางสุวิมล มะสันเทียะ) เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป สถาบันวิจัยและพัฒนา 30 มิ.ย. 2546



ต้นฉบับ

สัญญารับเงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัญญาฉบับนี้ทำขึ้น ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบล
สุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่ 29 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ระหว่าง มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี โดย ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งได้รับมอบ
อำนาจจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตามคำสั่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ 1 / 2542 ลงวันที่
26 กุมภาพันธ์ 2542 และ ที่ 633 / 2540 ลงวันที่ 10 ตุลาคม 2540 ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า “ผู้ให้ทุน”
ฝ่ายหนึ่ง กับ Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal สังกัดสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งต่อไปในสัญญานี้เรียกว่า
“ผู้รับทุน” อีกฝ่ายหนึ่ง

คู่สัญญาได้ตกลงกันมีข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ผู้ให้ทุนตกลงให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัย เรื่อง “Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland” ตามเอกสารหมายเลข 3 ตั้งแต่วันที่ 29 เดือน มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง วันที่ 28 เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 เป็นจำนวนเงิน 315,000 บาท (สามแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน) โดยผู้ให้ทุนจะจ่ายให้แก่ผู้รับทุนเป็นงวดตาม รายละเอียดดังนี้

งวดที่ 1 จ่ายให้เป็นเงินไม่เกินร้อยละ 50 ของเงินอุดหนุนการวิจัยทั้งโครงการ ทั้งนี้ จ่ายให้ เป็นเงิน 115,000 บาท (หนึ่งแสนหนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน) ภายใน 2 สัปดาห์ นับแต่วันลงนามในสัญญา

และจะจ่ายให้เป็นเงิน 80,000 บาท (แปดหมื่นบาทถ้วน) ภายใน 2 สัปดาห์ นับแต่วันที่ ผู้รับทุน ได้รับอนุมัติจากผู้ให้ทุนเพื่อใช้ในการจัดซื้อครุภัณฑ์

งวดที่ 2 จ่ายส่วนที่เหลือของเงินอุดหนุนการวิจัยทั้งโครงการ ทั้งนี้ จ่ายให้เป็นเงิน 120,000 บาท (หนึ่งแสนสองหมื่นบาทถ้วน) ภายหลังจากที่ผู้รับทุนส่งรายงานความก้าวหน้าของโครงการพร้อมรายงานการเงิน งวดที่ 1 โดยรายงานดังกล่าวผ่านการพิจารณาและได้รับการรับรองจากคณะกรรมการประจำสถาบันวิจัยและพัฒนาเรียบร้อยแล้ว

ข้อ 2. เอกสารอันเป็นส่วนหนึ่งของสัญญา ได้แก่

- (1) คำสั่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ 1 / 2542 ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2542
- (2) คำสั่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ 633 / 2540 ลงวันที่ 10 ตุลาคม 2540
- (3) โครงการวิจัยเรื่อง “Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland”

- (4) ระเบียบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีว่าด้วยเงินอุดหนุนการวิจัย พ.ศ. 2539
- (5) หลักเกณฑ์การใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย
- (6) หมายเลขบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ ชื่อบัญชีโครงการวิจัย ธนาคารไทยพาณิชย์ (มหาชน) จำกัด สาขาออมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พร้อมรายชื่อผู้มีอำนาจสั่งจ่ายเงิน และสำเนาหน้าแรกของสมุดบัญชีดังกล่าว

ข้อ 3. **ผู้รับทุน**จะดำเนินการตามวัตถุประสงค์และรายละเอียดของโครงการวิจัยที่กำหนดไว้ให้ครบถ้วนสมบูรณ์ ตามเอกสารหมายเลข 3 หากเกิดอุปสรรคไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยประการใดก็ตาม**ผู้รับทุน**จะรีบรายงานให้ผู้ให้ทุนทราบทันทีเพื่อพิจารณาหาทางแก้ไขหรือดำเนินการตามที่เห็นสมควรต่อไป

ข้อ 4. รายชื่อหัวหน้าโครงการ ผู้ร่วมทำการวิจัย และรายละเอียดของโครงการตามที่ปรากฏแนบท้ายสัญญา **ผู้รับทุน**จะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ นอกจากจะได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจาก**ผู้ให้ทุน**ก่อน

ข้อ 5. **ผู้รับทุน**จะปฏิบัติตามระเบียบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ว่าด้วย เงินอุดหนุนการวิจัย พ.ศ. 2539 รวมทั้งหลักเกณฑ์และวิธีปฏิบัติในการขอรับเงินอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งกำหนดขึ้นใช้ในขณะนี้และจะกำหนดขึ้นใช้ในภายหน้า

ทั้งนี้ โดยถือว่าระเบียบรวมทั้งหลักเกณฑ์และวิธีปฏิบัติข้างต้นนั้น เป็นส่วนหนึ่งของสัญญา

ข้อ 6. **ผู้รับทุน**จะควบคุมการใช้จ่ายเงินให้เป็นที่น่าพอใจและจัดเตรียมหลักฐานบัญชีการจ่ายเงินเพื่อให้**ผู้ให้ทุน**ตรวจสอบได้ทุกโอกาส

ข้อ 7. **ผู้รับทุน**ยินยอมให้ **ผู้ให้ทุน** หรือผู้ที่ให้ทุนมอบหมายเข้าไปในสถานที่ทำงานของ**ผู้รับทุน** หรือสถานที่ที่**ผู้รับทุน**ทำการวิจัยอยู่ เพื่อประโยชน์ในการติดตามและประเมินโครงการได้

ข้อ 8. **ผู้รับทุน**จะนำส่งผลงานดังนี้

- (1) รายงานความก้าวหน้าของการวิจัยพร้อมรายงานการเงินงวดที่ 1/2546
- (2) รายงานความก้าวหน้าของการวิจัยพร้อมรายงานการเงินงวดที่ 2/2546
เดือน มกราคม พ.ศ. 2547
- (3) เอกสารสรุปผลงานวิจัย ในรูปแบบและภาษาที่เหมาะสมสำหรับการประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ต่อประชาชนทั่วไป โดยส่งพร้อมกับรายงานฉบับสมบูรณ์และตามที่**ผู้ให้ทุน** กำหนดเป็นคราว ๆ ไป
- (4) การเสนอผลงานด้วยวาจา(Oral Presentation) ตามที่**ผู้ให้ทุน**กำหนดเป็นคราว ๆ ไป

ข้อ 9. กรรมสิทธิ์ในผลงานวิจัย เป็นกรรมสิทธิ์ของ**ผู้ให้ทุน**(เว้นแต่จะมีการตกลงเป็นอย่างอื่นในภายหลัง) ส่วนผลประโยชน์ซึ่งเกิดจากการนำผลการวิจัยและพัฒนาไปใช้ในเชิงพาณิชย์ให้แบ่งกัน ระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กับ **ผู้รับทุน**

ข้อ 10. ในการเผยแพร่ข้อมูล ข่าวสารอันเกี่ยวกับผลงานวิจัย ในสิ่งพิมพ์ใดหรือสื่อใดในแต่ละครั้ง **ผู้รับทุน**ต้องระบุข้อความว่า “ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี” หรือข้อความอื่นที่มีความหมายเหมือนกัน

ข้อ 11. ในกรณีที่มีผู้ร่วมวิจัยหลายคน ผู้รับทุนจะต้องเป็นผู้ตรวจสอบดูแลผู้ร่วมวิจัยทุกคนให้ปฏิบัติตามระเบียบ หลักเกณฑ์และวิธีปฏิบัติที่เกี่ยวข้องของผู้ให้ทุนอย่างเคร่งครัด

ข้อ 12. การระงับงานชั่วคราวและการบอกเลิกสัญญา

- (1) ผู้ให้ทุนมีสิทธิระงับงานชั่วคราวหรือบอกเลิกสัญญาได้ ถ้าผู้ให้ทุนเห็นว่าผู้รับทุนไม่ได้ปฏิบัติงานด้วยความชำนาญหรือด้วยความเอาใจใส่ในวิชาชีพเท่าที่พึงคาดหมายได้จากนักวิจัยในระดับเดียวกัน หรือมิได้ปฏิบัติตามข้อสัญญาและเงื่อนไขที่กำหนดในสัญญา ในกรณีเช่นนี้ ผู้ให้ทุนจะมีหนังสือแจ้งให้ผู้รับทุนทราบ และการระงับงานชั่วคราวหรือบอกเลิกสัญญาดังกล่าวจะมีผลในเวลาไม่น้อยกว่า 60 วัน นับตั้งแต่วันที่ผู้รับทุนได้รับหนังสือบอกกล่าวนั้น
- (2) ผู้รับทุนมีสิทธิบอกเลิกสัญญาได้ ถ้าผู้ให้ทุนมิได้ปฏิบัติหน้าที่ความรับผิดชอบตามที่สัญญาระบุไว้ ในกรณีเช่นนี้ ผู้รับทุนจะต้องมีหนังสือถึงผู้ให้ทุน ระบุรายละเอียดถึงสาเหตุและเหตุผลในการขอเลิกสัญญา ถ้าผู้ให้ทุนมิได้ดำเนินการแก้ไขให้เป็นที่พอใจในระยะเวลา 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ผู้รับทุนได้รับหนังสือบอกกล่าวนั้น ผู้รับทุนมีสิทธิบอกเลิกสัญญาได้
- (3) ในกรณีที่ผู้รับทุนไม่สามารถทำการวิจัยให้เสร็จตามที่ได้ตกลงไว้ ผู้รับทุนยินยอมคืนเงินอุดหนุนการวิจัยพร้อมทั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์ที่รับไปแล้วทั้งหมดหรือบางส่วนทั้งนี้ให้อยู่ในดุลพินิจของผู้ให้ทุน

ข้อ 13. ผู้ให้ทุนเป็นเจ้าของเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือครุภัณฑ์ใด ๆ ที่ผู้รับทุนได้จัดซื้อโดยทุนทรัพย์ของผู้ให้ทุน จนกว่าจะมีการตกลงเป็นอย่างอื่น

ข้อ 14. ผู้รับทุนจะใช้และบำรุงรักษาครุภัณฑ์การวิจัยของผู้ให้ทุนให้อยู่ในสภาพดี ใช้การได้อยู่เสมอ และผู้รับทุนยินยอมให้ผู้ให้ทุนหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายจากผู้ให้ทุนตรวจตราครุภัณฑ์การวิจัยซึ่งเป็นทรัพย์สินของผู้ให้ทุนได้ทุกขณะและทุกโอกาส และเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยตามโครงการแล้ว ผู้รับทุนจะส่งคืนครุภัณฑ์ให้แก่ผู้ให้ทุนทันที นอกจากนี้จะมีการตกลงกันเป็นอย่างอื่น

ข้อ 15. การบอกกล่าว

บรรดาคำบอกกล่าวหรือการให้ความยินยอมหรือความเห็นชอบใด ๆ ตามสัญญานี้ต้องทำเป็นหนังสือและจะถือว่าได้ส่งไปโดยชอบแล้ว หากได้จัดส่งทางหนึ่งทางใดดังต่อไปนี้ คือ

- (1) ส่งมอบโดยบุคคลแก่ผู้แทนที่ได้รับมอบหมายของคู่สัญญาแต่ละฝ่าย
- (2) ทางไปรษณีย์ลงทะเบียน
- (3) ทางโทรเลข โทรพิมพ์ หรือโทรสาร แล้วยืนยันเป็นหนังสือโดยเร็วไปยังชื่อและที่อยู่ของคู่สัญญา ดังต่อไปนี้

ก. ที่อยู่ของผู้ให้ทุน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี

อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

ข. ที่อยู่ของผู้รับทุน

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี

อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

สัญญาฉบับนี้ทำขึ้นสองฉบับมีข้อความตรงกัน คู่สัญญาได้อ่านและเข้าใจข้อความในสัญญา โดย
ตลอดแล้ว จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน และต่างเก็บไว้ฝ่ายละหนึ่งฉบับ

(ลงชื่อ) _____ ผู้ให้ทุน

(ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ผู้รับมอบอำนาจจากอธิการบดี

(ลงชื่อ) _____ ผู้รับทุน

(Asst. Prof. Dr. Ranjina Jindal)

หัวหน้าโครงการวิจัย

(ลงชื่อ) _____ พยาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)

หัวหน้าสถานวิจัย

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

(ลงชื่อ) _____ พยาน

(นางพรประภา ช้อนสุข)

เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา

Research Proposal/Request for Funding in Fiscal Year 2003

Research Direction Environmental Research

Research Plan Clean Technology Leading to Better Environment and Higher Quality of Life

Part 1 : Details of research project

1. Name of project

Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

2. Responsible organization and address (indicate name of school, institute, and university, together with telephone and facsimile numbers)

School of Environmental Engineering

Institute of Engineering

Suranaree University of Technology

Nakhon Ratchasima

Tel. (044)-224451, 224454

Fax. (044)-224220, 224165

3. Names of researchers and expected work load (as percentage) of each researcher

3.1 Principal investigator: Dr. Ranjna Jindal 70%

3.2 Research Assistant 30%

4. Type of research : Applied research

(please indicate: basic research / or applied research / or research and development)

5. Academic field in which the project belongs

[Please select from the NRCT classification as follows :

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1) Physical science and mathematics | 2) Medical science and technology |
| 3) Chemistry and pharmaceutical science | 4) Agriculture and biological science |
| 5) Engineering and industrial research | 6) Philosophy |
| 7) Law | 8) Politics and public administration |
| 9) Economics | 10) Social sciences |
| 11) Information Technology and
Communication Arts | 12) Educational sciences] |

6. Keywords in research project

heavy metals / constructed wetland / free water surface wetland system / subsurface wetland system / effluents quality

7. Statement of the problem and significance

Through mining, industrial activities and fossil fuels combustion, people each year, spew thousands of tons of metallic pollutants in to air and water. Toxic metal pollution is not only a problem for exposed workers, but is one of the global problems that concern us (Delgado et al., 1993). Many industries including electroplating, foundries, electronics, mining, smelting, tanning, photo processing, pulp and paper and metal finishing can be a significant source of wastewater containing heavy metal pollutants such as nickel (Ni), cadmium (Cd), chromium (Cr), zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), and mercury (Hg), etc. Heavy metals are ubiquitous environmental pollutants that arise from a variety of industrial, commercial, and domestic activities. Furthermore, studies show that heavy metals can be found in municipal sewage treatment plants receiving little or no industrial discharge (Gersberg et al., 1984). Heavy metals constitute a serious form of pollution since they do not degrade as organic pollutants do. (Delgado et al., 1993). Heavy metals concentrate in the food chains and they can accumulate poison to plants, animals and human. Especially, cadmium is an environmental toxin that accumulates in the body and has biological half-life of greater than 10 years in humans (Khosraviani et al., 1998). Therefore, these pollutants must be removed in an effective way before the effluents are discharged from the wastewater treatment plants to the receiving water bodies.

There are many techniques available for the removal of heavy metals from wastewater such as chemical precipitation, reverse osmosis, electrolysis, and ion exchange but these methods require high capital, operation and maintenance costs. The new alternative for improving effluent wastewater

containing heavy metal is wetlands. Wetlands are one of the least expensive treatment systems that require minimum energy and technology, and no chemicals are necessary.

8. Objective of research project,

The objectives of this study are:

- 8.1 To investigate cadmium removal from wastewater by constructed wetlands under different environmental conditions.
- 8.2 To compare the efficiency of cadmium removal through lab-scale/pilot-scale experiments in free water surface and subsurface wetland systems.

9. Expected benefits from research project and end users

The research findings of this study will be useful for industrial wastewater treatment containing heavy metals. Constructed wetland is a low cost treatment method for heavy metals' removal, which could be accomplished naturally. Fate of heavy metals in wastewater by using free water surface and subsurface wetland systems can be determined. The results can be used to improve the quality of final effluents from industrial wastewater treatment plants before their disposal into receiving water bodies. This could be beneficial to the concerned municipal authorities, e.g., local and central environmental management administration.

10. conceptual framework and methodology

Theoretical aspects of the wetland systems

Wetlands are areas that are inundated or saturated soil by surface or groundwater at a frequency or duration sufficient to maintain saturated conditions and growth of related vegetation (Polprasert, 1996). Wetlands occur in a wide range of physical settings at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. The natural wetlands are referred to as marshes, swamps, bogs, cypress domes and strands, etc. Constructed wetlands are planned systems designed and constructed to employ wetland vegetation to assist in treating wastewater in a more controlled environment than occurs in natural wetlands. The many advantages of constructed wetlands include site location flexibility, optimal size for anticipated waste load, potential to treat more wastewater in smaller areas than with in natural wetlands, less rigorous preapplication treatment (Bastian et al., 1989). Two types of constructed wetland systems have been developed for wastewater treatment:

- 1. Free Water Surface System (FWS) consists of parallel basins or channels with relatively impermeable bottom. Soil or suitable media and rock layers to support the emergent

vegetation, and water flowing velocity over the top of the soil media and through wetland vegetation in shallow basins or channels. The water depth is maintained at 0.1-0.6 m above the soil surface. Cattails, bulrushes, and various sedges are emergent plants used commonly in free water surface wetlands.

2. Subsurface Flow Systems (SFS) is called 'root zone', 'rock bed filter' or 'reed beds', consists of channels or trenches with impermeable bottom and soil and rock layers to support the emergent vegetation but the water depth is maintained at or below the soil surface (Polprasert, 1996).

Aquatic plants that use in wetlands may be divided into several forms. Three types of aquatic plants are the major and typical component of the wetlands system.

1. Floating type: there are two subtypes of floating aquatic.
 - Floating unattached plants: the roots hang in the water and are not attached to the soil. The leaves and stems are above the water for receiving sunlight directly. The submerged roots and stems are good habitat for bacteria responsible for waste stabilization. The floating plants such as water hyacinth, duckweed, and water lettuce.
 - Floating attached plants: they have their leaves floating on the water surface, but their roots are anchored in the sediment such as water lilies (Polprasert, 1996).
2. Submerge type: plants that grow below the water surface are called submerged. Submerged species can only grow where there is sufficient light and they may be adversely affected by turbidity and excessive populations of planktonic algae, which decrease the penetration of light into the water. Many submerged plants are known such as hydrilla and water milfoil (Polprasert et al., 1986).
3. Emergent type: they produce aerial stems and leaves, and an extensive root and rhizome system. They have the capability to grow in a wide range of substrate and in rapid or extensive fluctuations in water level occur. Emergent types in wetlands system include cattails, bulrushes and reeds.

Wetlands have a high rate of biological activity; they can transform of the common pollutants into harmless byproducts or essential nutrients that can be used for additional biological productivity. These transformations are accomplished by virtue of the wetland's land area, with its inherent natural environment energies of sun, wind, soil, plants, and animals. These pollutant

transformations can be obtained for the relatively low cost of earthwork, piping, pumping, and a few concentrate structures (Kadlec et al., 1996).

Many monitoring and studies for constructed wetlands have shown the significant removal of organic matter (BOD), suspended solids (SS), nutrients (N and P), and pathogens. In wetlands treatment processes, the pollutants are removed from wastewater through a combination of physical, chemical, and biological processes including sedimentation, precipitation, adsorption to soil particles, assimilation by the plant tissue, and microbial transformations.

The mobility of heavy metal pollutants depends on a more or less complex network of interactions between aqueous and heterogeneous chemical reactions as well as particle coagulation and flocculation phenomena. Hydrolysis and dissolved complexation tend to increase the solubility of heavy metals while precipitation and adsorption will delay heavy metals availability and transport that can be shown in figure 1 (Bourg, 1995).

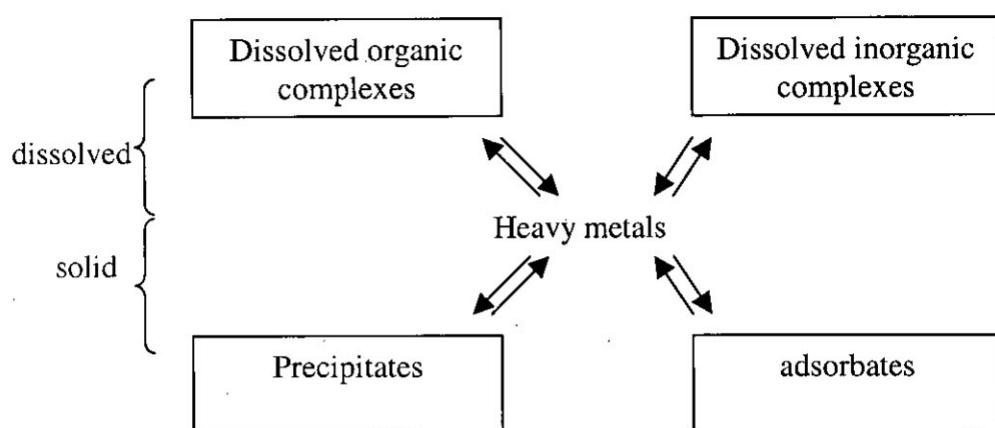


Figure 1 The mobility of heavy metals

The most mobile fractions of ions occur at a lower range of pH and at a lower redox potential, which is illustrated in Figure 2:

The major mechanisms of heavy metals removal in constructed wetlands are:

- **Plant Uptake**

Plants can accumulate heavy metals, in or on their tissues due to their great ability to adapt to variable chemical properties of the environment, thus plants are intermediate reservoirs of heavy metals from soils, and waters. The uptake by roots is the main pathway of heavy metals to plants. Nonmetabolic uptake is the diffusion of ions from the external solution into the root endodermis. Metabolic uptake requires metabolic energy and takes place against a chemical gradient. Several data support the suggestion that, at the concentration generally present in soil

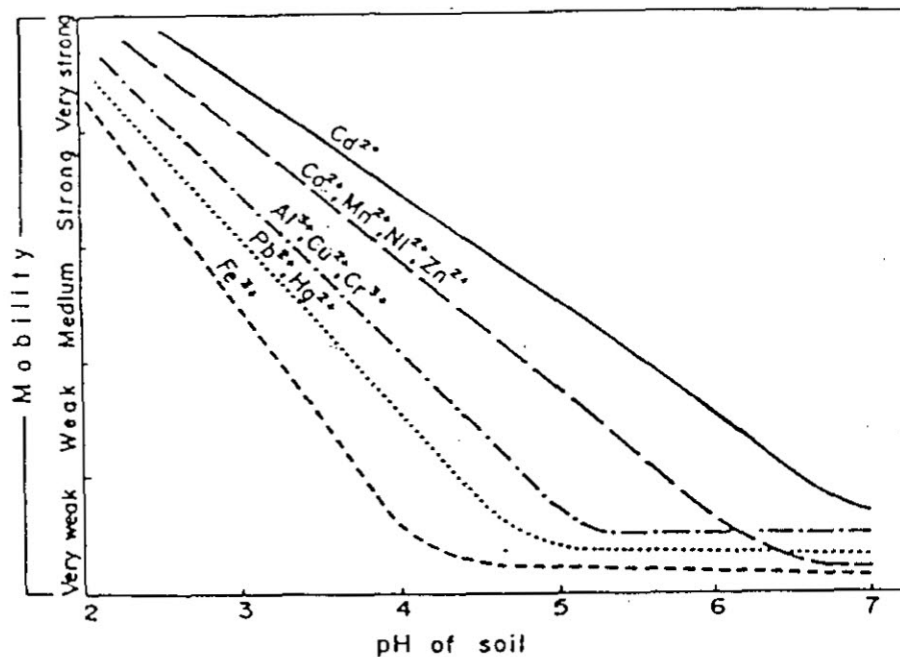


Figure 2 Schematic trends in the mobility of metals as influenced by soil pH

solutions, the adsorption of heavy metals by plant roots is controlled by metabolic processes within roots.

Roots and associated microorganisms are known to produce various organic compounds which are very effective in releasing the heavy metals from firmly fixed species in soils. The heavy metals most readily available to plants are, in general, those that are adsorbed on clay minerals, while those fixed by oxides and bound onto microorganisms have much less readily available rate of their uptake by roots than mass-flow and diffusion mechanisms in certain soils. The mechanisms of heavy metals uptake by roots involve several processes:

1. Cation exchange by roots
2. Transport inside cells by chelating agents or other carriers
3. Rhizosphere effects

Cation oxidation states around roots are believed to be of great importance in these processes. Changes in the pH of the root ambient solution may play an especially significant role in the rate of availability of certain heavy metals.

Heavy metals entering plant tissues reactive in metabolic processes, but also can be stored as inactive compounds in cells and on the membranes. In each case, however, they may affect the chemical composition of plants without causing easily visible injury.

● Adsorption

The term “adsorption” is commonly used for the process of sorption of chemical elements from solutions by soil particles. Adsorption is thus the kinetic reaction based on thermodynamic equilibrium rules. The forces involved in the adsorption of ionic species at charged surfaces are electrostatic and can be explained by coulomb’s law of attraction between unlike charges and repulsion between like charges. Soils are considered as heavy metals’ sinks, and for that reason, they play an important role in environmental cycles of these elements. They also have a great ability to fix many species of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992). Soil components involved in adsorption of heavy metals are:

1. Oxides (hydrous, amorphous) mainly of iron and manganese and, to much lesser extent, aluminum and silicon
2. Organic matter and biota
3. Carbonates, phosphate, sulfides, and basic salts
4. Clays

Of all these components, clay minerals, hydrated metal oxides, and organic matter are considered to be the most important group in contributing to and competing for adsorption of heavy metals (Pendis and Pendias, 1992).

At metal equilibrium concentrations, the mechanism of the adsorption by soil particles can be described by either the Langmiur or the Freundlich equations for adsorption isotherms. Langmiur’s Isotherm is normally used in explanation of adsorption mechanism that can be shown in Eq. 1 (Sintumongkolchai, 1996).

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{abc} \quad (1)$$

where;

- x = mass of heavy metal adsorbed, mg
- m = mass of wetland bed media, g
- a = constant
- b = maximum heavy metal adsorption capacity, mg/g
- c = solution concentration at equilibrium

● Precipitation

Every soil component is active and affects soil solution ion concentration either by precipitation-dissolution reaction or by ionic interactions with phase surfaces. In the soil aqueous phase organic compounds and water are the most abundant ligands, therefore, hydrolysis and organic complexing are the most common reactions in soil solutions. These reactions are pH sensitive and can be corrected with the size and charge of the cations. Higher ionic potentials usually indicate higher degree of hydration in the solution, resulting an easier precipitation (Pendis and Pendias, 1992). From the basic physical chemistry, it is known that heavy metals precipitate as the result of changes in pH, oxidation and other changes of their chemical composition (Novotny, 1995).

The organic sediments are good cation exchange sites for heavy metals, and hence these are found bound to sediments in preference to the dissolved forms. Further, the anaerobic zones of the wetland-soils can generate sulfide ions which precipitate the insoluble sulfides of heavy metals (Kadlec et al., 1996).

● Complexation

When heavy metals are added to soils and water (sediments), they undergo complexation with ligands. Ligands are chemical constituents, both organic and inorganic, that combine with the heavy metals in a chemical complex (Novotny, 1995). Organic matter of soils consists of a mixture of plant and animal products in various stages of decomposition and of substances that are synthesized chemically and biological. This complex material, greatly simplified, can be divided into humic and nonhumic substances. The major portion of the organic matter in most soils results from biological decay of the biota residues. The end products of this degradation are humic substances, organic acids of low molecular and high molecular weights, carbohydrates, proteins, peptides, amino acids, lipids, axes, polycyclic aromatic hydrocarbons, and lignin fragments. In addition, the excretion products of roots, composed of a wide variety of simple organic acids, are present in soils.

Presence of compounds that will react with the heavy metals ion and cause its precipitation or adsorption on solids will reduce the toxicity of the heavy metals and makes them less bio-available for organisms. The colloidal and ionic compounds which combine with in a complex with the heavy metal ion are called ligands which include organic acid and humic substances, dissolved sulfides, chloride and OH^- ions.

Hence, the adsorbing and complexing compounds for toxic metals include:

- particulates: sulfides, particulate organic matter, and clays
- dissolved: sulfides, humic compounds, organic acids, chloride ion, hydroxyl ion (Novotny, 1995).

Previous studies

The heavy metals removal has been studied for a long time. Constructed wetland is biological wastewater treatment that is one effective process to remove heavy metals from wastewater. The uptake of metals by the plant from soils and solutions has been investigated for a variety of species. Most of these studies involve the phytotoxic effects of heavy metals on crop species over a relatively long-term exposure period (30 days) (Delgado et al., 1993). Many researchers have used cattail plants that use to remove heavy metals in wetland systems. Mungur et al. (1997) investigated the removal of some metals by a wetland system. Laboratory scale wetland was conducted as subsurface flow system. The system was planted with *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* and *Iris pseudacorus*. The wetland system was dosed with various concentrations (1, 5 and 10 mg/l) of Cu, Pb and Zn, respectively. Finally shocked load of metals (concentration 20 mg/l) was introduced to simulate a storm event. In each experiment water samples collected from outlet at timed intervals were analyzed and loadings calculated in order to assess the metal removal efficiency of the system. The removal efficiencies and rates for these different doses ranged from 81.7% to 91.8 % and 36.6 to 372.7 mg/m²/d for Cu, 75.8% to 95.3% and 30.8 to 387 mg/m²/d for Pb and 82.8% to 90.4% and 33.6 to 362.1 mg/m²/d for Zn, respectively.

Hansen et al (1998) conducted a study on Selenium (Se) removal by constructed wetlands. One environmental friendly way of cleaning up Se from oil refinery effluents was by plant and microbial Se volatilization using constructed wetlands. The result found that 89% of Se was removed in constructed wetlands. Inflow Se concentration of 20-30 µg/l decreased to <5 µg/l in the outflow. Most of the Se was removed by immobilization into sediments and plant tissues where Se concentration reached 5 and 15 mg/kg, respectively. Biological volatilization may have accounted for as much as 10-30% of Se removed. The highest rates of Se volatilization for vegetated sites were 190, 180 and 150 µg of Se/m²-d for rabbitfoot grass, cattail, and saltmarsh bulrush, respectively.

Cadmium can be removed by floating plant such as David et al. (1984) studied about cadmium uptake by the water hyacinth. Their results clearly demonstrated that the water hyacinth was able to remove cadmium effectively from solutions over a wide concentration in the sub-ppm range cadmium could be almost completely removed from water with 24 hr. This ability to remove cadmium and, in fact, to survive high exposure concentrations (up to 100 ppm) showed that the water hyacinth could be

reasonable alternative to conventional wastewater treatment systems. Concentrations above 100 ppm were acutely toxic to the plants. A biphasic rate of uptake was observed with a fast phase of about 4 hours and a slow phase of at least 72 hours. Stirring the solution enhanced uptake in the fast phase, suggesting that uptake was in part diffusion limited. Increasing the pH from 2 to 5 enhanced the uptake rate.

Delgado et al. (1993) conducted a study in green house to determine the phytotoxic effect and uptake capacity of Zn, Cr and Cd by water hyacinth. Results showed that among the three elements tested, Cd was most phytotoxic, showing up some necrosis in the plant when the concentration was greater than 2.5 ppm. In the case of Cr and Zn, the phytotoxicity produced the appearance of chlorosis in the aerial part of the plant. Cr(maximum 9 ppm) caused no reduction of productivity, whereas in the case of Zn the concentration of 9 ppm in solution caused a 30% reduction in the plant weight. It was proved that after 24 days of growth, the heavy metals were totally depleted from the nutritive solution suggesting complete absorption of these metals by the plants.

Sinha and chanda (1990) conducted a study to show that cadmium could be removed from water by *Bacopa monnieri*, a common aquatic plant found all over India. Plants showed a capability to accumulate both metals in single and mixed metal treatments. Copper accumulation was stimulated by the presence of Cd whereas Cu inhibited uptake of Cd. The plants showed high concentration factors for both metals. The results suggested the possibility of using this plant for mitigating Cu and Cd pollution in the aquatic environment (Sinha and chanda, 1990).

Gersberg et al. (1984) reported that at the hydraulic application rate of 4.7 cm per day (residence time equal to about 5.5 days) Cu, Zn and Cd removal efficiencies in the wetland units were 99%, 97% and 99% respectively. In their experimental study, the predominant removal mechanisms in the artificial wetlands were attributed to precipitation-adsorption phenomena. Precipitation was enhanced by wetland metabolism which increased the pH of inflowing acidic waters to near neutrality.

Shutes et al. (1993) researched the use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban subsurface wetlands system. Cd, Cu, Pb and Zn were the heavy metal that used in their experiment. The heavy metal uptake patterns of *Typha* plant was more in the root than leaves. The suggested that the use of a gravel substrate, which would allow adequate root growth but also support high hydraulic loading, might provide a more suitable substrate for emergent macrophytes with in urban retention basins. Additionally, the subsurface introduction of effluent into the basin through submerged inlets would also maximize the purification potential.

Thayalakumaran (1994) reported the removal efficiencies of heavy metal (Cr and Ni) in subsurface flow systems (SFS) by cattail plants to be more than 99%. The removal mechanisms were

mainly precipitation and adsorption. About 15% of these heavy metals were found that be removed by soil adsorption; the extents of heavy metal adsorption decreased along the bed length of the wetland units. Heavy metal accumulation was more in the roots than in the leaves and stem of the cattail plants. The removal efficiency for COD, TSS and TKN were 64, 89 and 85%. The mechanisms for removing COD, TSS and TKN are filtration, flocculation, sedimentation, and biological process also chemical reaction such as nitrification-denitrification reaction.

Sintumongkolchai (1996) reported on the removal of cadmium in free water surface system (FWS) were 73-98% by cattail plants that removed by sorption to the sand media and 1-6% by plant uptake. The results found that pH is an important factor, at pH of 4.26-5.35 Cd in form of plant uptake was 58.83% of total Cd in sand layer, while pH of 7.42-8.03, Cd was found 35.24% in the plant uptake from total Cd. The removal efficiency of COD, TSS, TKN and TP were approximately 61.84, 74.18, 85.09 and 77.83% respectively. The main mechanism of COD removal was biodegradation by the attached and suspended microorganisms. TSS was effectively removed by sedimentation to the wetland beds and some could be attached to the stems and roots of cattail plants. TKN removal efficiency was high at HRT long. The effects of TP removal relate with snails in wetland units because snails could uptake P and also release P when they died.

Blake et al. (1987) studied the incorporation of cadmium by water hyacinth. Water hyacinth was grown in plastic tanks for batch system or continuous flow system. Different concentrations of cadmium (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were used and toxic effects were obvious at 1.00 ppm concentration. The distribution of metals was followed in the medium and different parts of the plant. As expected, the roots accumulated the major part (73-86%) of the incorporated cadmium. The removal of cadmium from the solution by the water hyacinth could be predicted by the empirical equation:

$$C_t = C_0 \left(1 + \frac{t}{a} \right)^n \quad (2)$$

Where, C_t is the cadmium concentration at time t , C_0 is the cadmium concentration in solution at time zero, t is the time (hour) and a , n are the constants. From the results, the constants a and n of different cadmium concentrations (0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 ppm) were 2.956, 2.213, 6.972, 4.044 for constant a , respectively and -0.698, -0.514, -0.543, -0.281 for constant n , respectively.

Methodology

Experimental Site: laboratory scale / pilot-scale experiments will be conducted at a site near F5 of Suranaree University of Technology (SUT).

Experimental Set-up: experimental set-up would consist of four reactor units made of zinc plate, with dimension of $L \times W \times D = 2 \times 0.5 \times 1$ m. Details of these units are as follows:

- Unit 1 will be the free water surface wetland system, fed with the wastewater (used as a control unit).
- Unit 2 will be the subsurface wetland system, fed with the wastewater (used as a control unit).
- Unit 3 will be the free water surface wetland system, fed with the wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.
- Unit 4 will be the subsurface wetland system, fed with the wastewater containing known concentrations of the selected heavy metals.

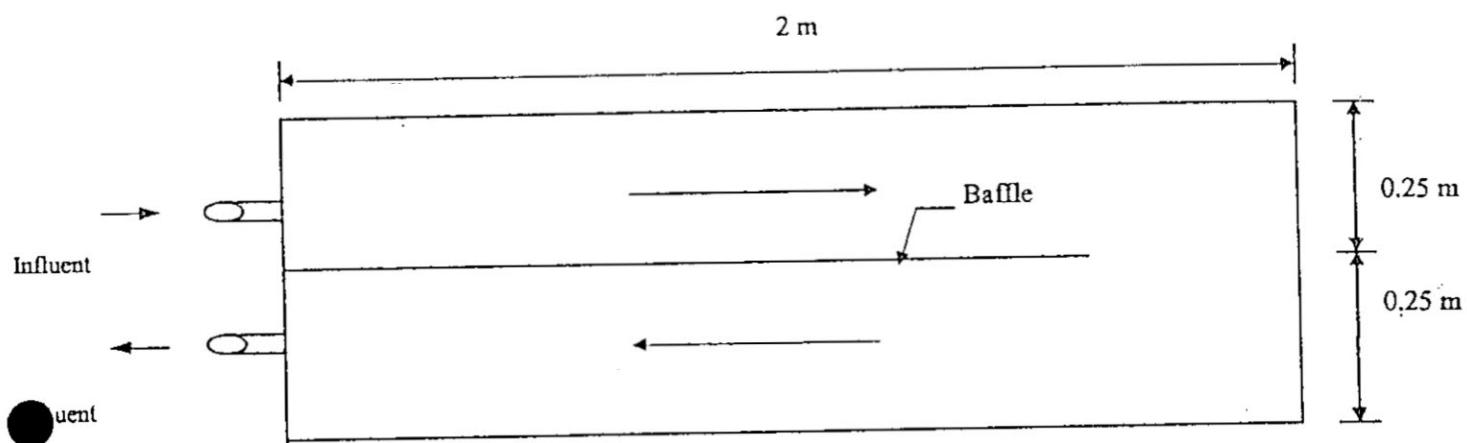
All four units will consist of:

- (a) sand (0.1 cm diameter particles) of 10-cm depth at the top.
- (b) the medium layer of 25 cm depth with small gravels (1.2-2.5 cm diameter).
- (c) large gravels (2.5-5.0 cm diameter) of 25 cm depth at the bottom.

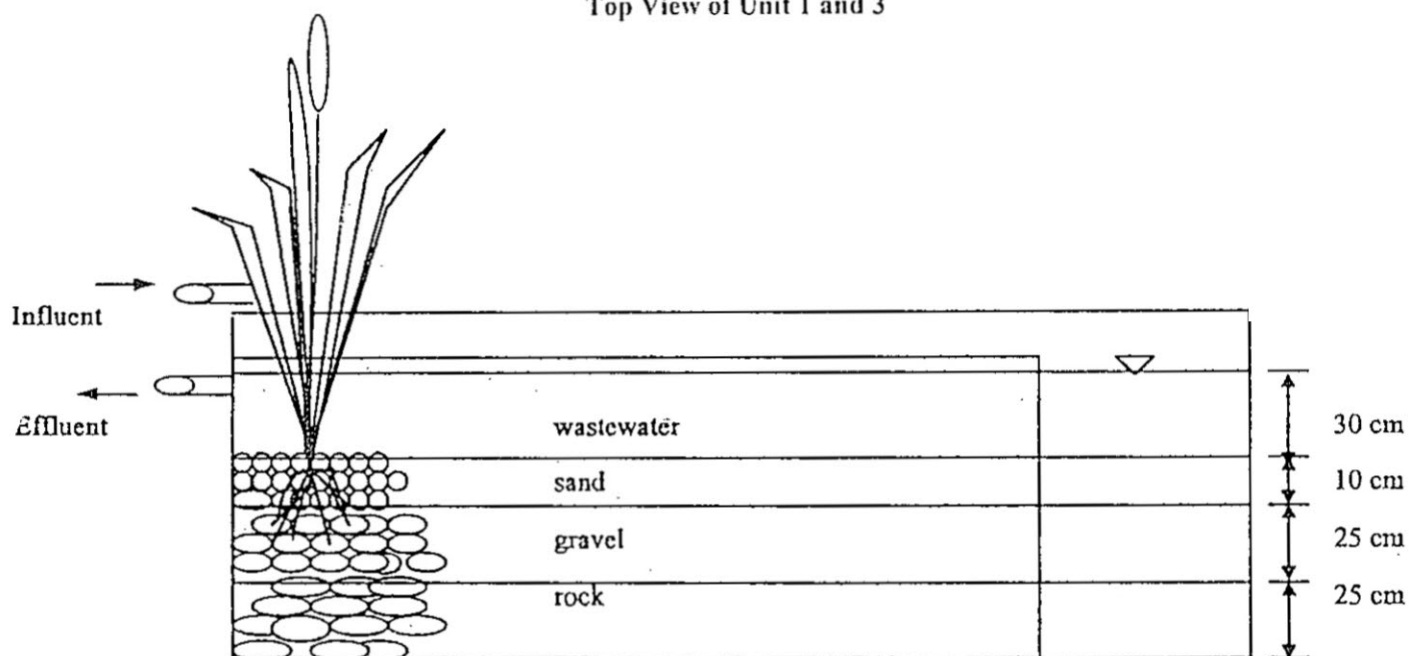
A depth of 30 cm of water will be maintained in units 1 and 3 as shown in Figure 3. For units 2 and 4, the flow of wastewater will be maintained approximately 15-30 cm below the bed surface that are illustrated in Figure 4. Cattail plants will be cultured in the wetland beds at approximately 0.15 m intervals.

Head Tank Unit: two head tanks (200 L each) will be used for feeding the wastewater to the four constructed wetland units. Head tank no. 1 will be used for control units 1 & 2. Head tank no. 2 will be used for feeding the synthetic wastewater to units 3 and 4 after mixing with known concentrations of the heavy metals in a storage/mixing tank.

Source and characteristics of wastewater influent to constructed wetland units: synthetic wastewater will be prepared daily in both head tanks. Synthetic wastewater will be prepared by mixing the tap water with various heavy metals at concentrations of 1, 5 and 10 mg/l, respectively in the head tank units and will be fed to constructed wetland units through some pumps at the various flow rates, Q , during several experimental runs. The plan of experimental runs and plan of operating conditions during phase 1 (2002-2003) are illustrated in Tables 1 and 2, respectively.



Top View of Unit 1 and 3



Side View of unit 1 and 3

Figure 3 Unit 1 and 3 (free water surface wetland system)

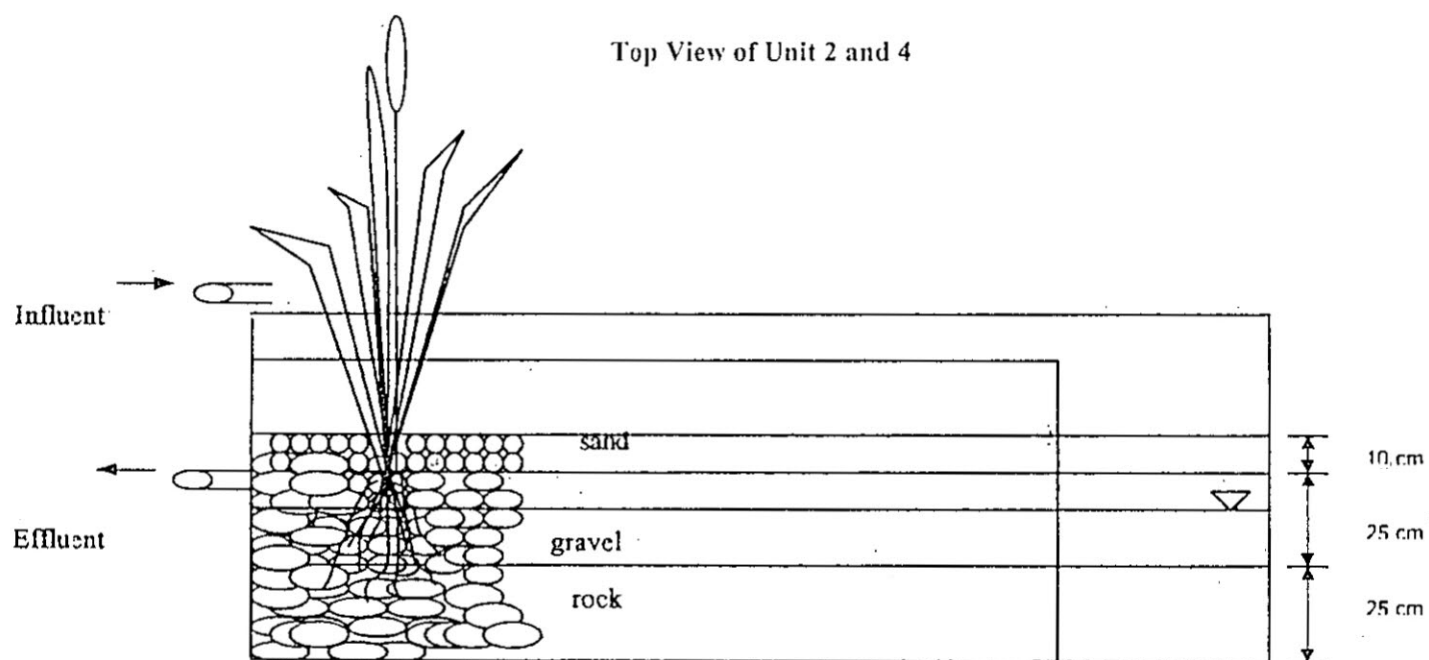
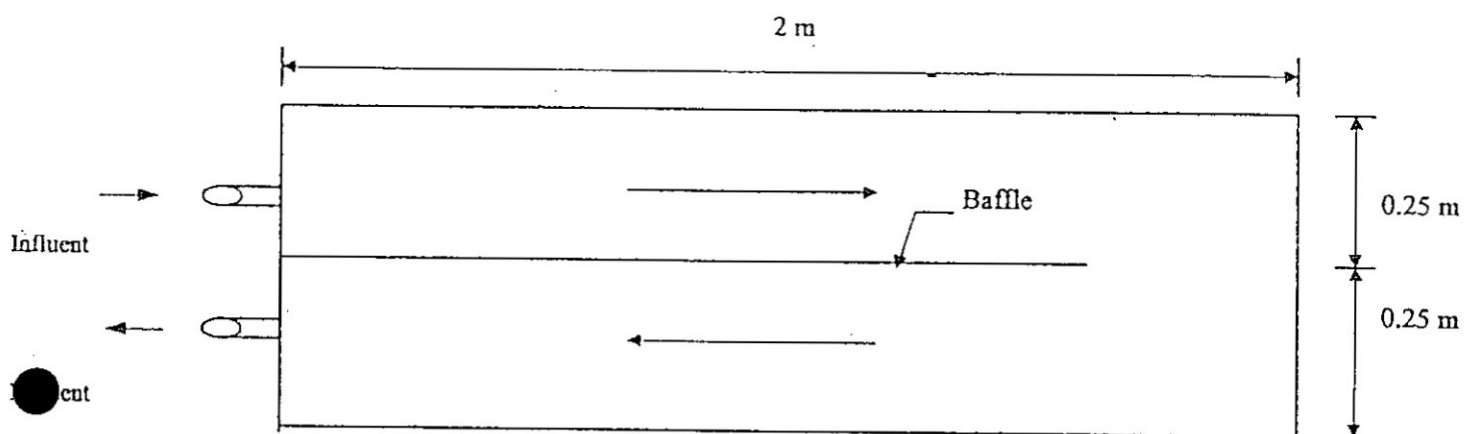


Figure 4 Unit 2 and 4 (Subsurface wetland system)

Table 1 Plan of experimental runs phase 1 (2002-2003)

Run	Free Water Surface System		Subsurface System	
	Unit no.1	Unit no. 2	Unit no.3	Unit no.4
	Heavy metal concentration (mg/L)	Heavy metal concentration (mg/L)	Heavy metal concentration (mg/L)	Heavy metal concentration (mg/L)
Run 1	-	1	-	1
Run 2	-	5	-	5
Run 3	-	10	-	10

Table 2 Plan of operating conditions phase 1 (2002-2003)

Run	Hydraulic Retention Time (HRT) (d)	Flow rate (Q) (L/d)	
		Free Water Surface System	Subsurface System
Run 1	5.5	90	27
Run 2	5.5	90	27
Run 3	5.5	90	27

Sampling and Analysis: the synthetic wastewater will be prepared daily to feed to the experimental units. Influent and effluent COD concentrations would be determined until the steady state conditions reach. Subsequently, the following parameters would be analyzed in influent and effluent wastewater samples: COD, TSS, TKN, TP, pH, DO, and heavy metal concentrations. Samples from soil and plants would also be analyzed for heavy metals' concentrations. Analysis in the influent, effluent, soil, and plants samples will be carried out according to the procedures mentioned in the *Standard Methods* (APHA, AWWA, and WFE.,1995), *Chemical Analysis of Ecological Materials*(Allen,1974), and *Soil Testing Sorbed Metals* (Westerman, 1990), respectively. The details of analysis schedule are shown in Table 3.

Table 3 Plan of individual experiments

Parameters	Frequency	Method of Analysis
COD	3/week	Open Reflux
TSS	3/week	Filtration/Evaporation (103-105°C)
TKN	3/week	Digestion/Distillation
TP	3/week	Digestion with Nitric Acid-Sulfuric Acid
PH	3/week	pH Meter
DO	3/week	DO Meter
Heavy metals in wastewater	3/week	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Heavy metals in soil	Once/month	Digestion with HNO ₃ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)
Heavy metals in plants	End of the experiments	Digestion with HNO ₃ , HClO ₄ , H ₂ SO ₄ and use Atomic Adsorption Spectrometry (AAS)

11. References

- 1) Allen, S.E., 1974, **Chemical Analysis of Ecological Materials**, Blackwell Scientific Publications, London.
- 2) APHA, AWWA, and WFE.,1995, **Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater**(19th edition), American Public Health Association. USA.
- 3) Bastian, R.K., Sanaghan, P.E., and Thompson, B.P., 1989, Use of wetlands for municipal wastewater treatment and disposal-regulatory issue and EPA policies, In Hammer, D.A., **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and agricultural**, Lewis publishers, United States of America.
- 4) Blake, G., Kaigate, B., Fourcy, A., and Boutin, C., 1987, Incorporation of cadmium by water hyacinth, **Water Science&Technology**, Vol.19, No. 10, pp. 123-128.
- 5) Bourg, A. C. M., 1995, Speciation of Heavy Metals in Soils and Groundwater and Implications for Their Natural and Provoked Mobility, In Salomons, W., Forstner, U., and Marder, P., **Heavy Metals Problems and Solutions**, Springer, Germany.
- 6) David H. O., James K. H., and Rao A. R., 1984, Cadmium uptake by the water hyacinth: effects of solution factors, **Environmental Pollution**, 34, pp. 133-147.
- 7) Delgado, M., Bigeriego, M., and Guardiola, E.,1993, Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths, **Water Research**, Vol.27, No. 2, pp. 269-272.
- 8) Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R., and Goldman, C. R., 1984, The removal of heavy metal by artissical wetlands, proceedings of the Water Reuse Symposium III, San Diego, California, **Future of Water Reuse**, Vol.2, pp 639-648.
- 9) Hansen, D., Duda, P. J., Zayed, A., and Terry, N., 1998, Selenium removal by constructed wetlands: Role of biological volatilization, **Environmental Science & Technology**, Vol. 32, pp. 591-597.
- 10) Kadlec, R. H., and Knight, R.L., 1996, **Treatment Wetlands**. CRC Press Inc., United State of American.
- 11) Khosraviani, M., Pavlov, A. R., Flowers, G. C., and Blake, D. A., 1998, Detection of heavy metals by immunoassay of a rapid, portable assay for ionic cadmium, **Environmental Science & Technology**, Vol. 32, pp. 137-142.
- 12) Mungur, A.S., Shutes, R. B. E., Revitt D. M., and House M.A., 1997, An assessment of metal removal By a laboratory scale wetland, **Water Science & Technology**, Vol.35, No.5, pp. 125-133.

- 13) Novotny, V., 1995, Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters, In Salomons, W., Forstner, U., and Marder, P., **Heavy Metals Problems and Solutions**, Springer, Germany.
- 14) Pendis, A. K., and Pendias, H., 1992, **Trace Elements in Soils and Plants**, 2nd Edition, CRC Press Inc., London.
- 15) Polprasert, C., 1996, **Organic Waste Recycling** (2nd edition), John Wiley & Sons, London.
- 16) Polprasert, C., Sikka, B., and Tchobanoglous, G., 1986, Aquatic weeds and their uses-An overview of perspectives for developing countries, **Environmental Sanitation Reviews**, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- 17) Shutes, R. B., Ellis, J. B., Revitt, D. M., and Zhang, T. T., 1993, The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban wetlands, In Moshiri, G.A., **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**, CRC Press Inc., United States of America.
- 18) Sinha, S., and Chandra, P., 1990. Removal of Cu and Cd from water by *Bocopamonneri* L., **Water, Air, and Soil Pollution**, 51, pp. 271-276.
- 19) Sintumongkolchai, S., 1996, Operational Strategy in the Removal of Cadmium for Constructed Wetlands, **Master Thesis**, EV 96-34, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- 20) Thayalakumuran, N., 1994, Application of Constructed Wetlands to the Treatment of a Heavy Metal, **Master Thesis**, EV 94-31, Asian Institute of Technology, Bangkok.

12. Scope of research

12.1 The study will be carried out in four lab-scale/pilot-scale experimental units.

12.2 Cattail plants (*Typha angustifolia*.) will be used in the constructed wetland units.

12.3 Performance of free water surface wetland system and subsurface wetland system will be evaluated and compared under different environment conditions.

12.4 Heavy metals' concentrations in the influent and effluent, as well as, in the soil and plants would be determined.

13. Duration of project (Indicate the first and last month/year. If this is a continuing or multi-year project, indicate the year (2nd, 3rd etc.) of the project for which you are requesting funds)

October 2002 – September 2005

14. Workplan : Please detail activities for this funding year in the phasing chart below.

Activities	Fiscal year 2001-20002/ month															
	Oct.	Nov	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug	Sept.	2 nd yr	3 rd y		
1. Literature review	←		→													
2. Site preparation and preliminary investigations			←				→									
3. Experimental runs						←									→	
4. Data Analysis											←				→	
5. Final Report													←		→	

15. Technology transfer plan

Results of this research would be submitted to a National or International Symposium/ Conference. So the target group audience of such events may be benefited by applying the research results of heavy metals removal techniques in designing an appropriate constructed wetland systems.

16. Research equipment specification

16.1 Existing equipment

- atomic absorption spectrometer (AAS)
- Spectrophotometer

16.2 Equipment to be procured

- computer
- portable temperature and pH meter
- portable DO meter
- water pumps
- flow meters

17. Itemization of funds requested for this funding year, according to the type and rate of expenditure: temporary wages, compensation / service contracting costs, non-renewable materials costs and equipment

Expenditures	Budget requested for fiscal year 2003(Baht)
1. Temporary wages for research assistant Indicate degree obtained ,number of months, rate per month, Number of assistants - 1 (50%) M.Engr., 12 months, 6,000 Baht/mo.	72,000✓
2. Services contracting expenses :	
- obtaining data and information	20,000✓
- transportation and compensation	40,000✓
- report production	25,000✓
3. non-renewable materials expenses :	78,000✓
4 equipment :	
- portable temperature and pH meter	30,000✓
- Portable DO meter	30,000✓
- Water pumps	10,000✓
- Flow meters	10,000✓
total	315,000

18. Itemization of research funds for future years (if this is a multi-year project). If the project is continuing, please indicate the budget allocated in previous years

Expenditures	Budget requested for fiscal year 2003(Baht)
1 st year expenditure	315,000
2 nd year expenditure	
1. Temporary wages for research assistant Indicate degree obtained ,number of months, rate per month, Number of assistants - 1 (50%) M.Engr., 12 months, 6,000 Baht/mo.	72,000
2. Services contracting expenses :	78,000
3. non-renewable materials expenses :	80,000
4 equipment :	20,000
Total of 2nd year expenditure	250,000
3 rd year expenditure	
1. Temporary wages for research assistant Indicate degree obtained ,number of months, rate per month, Number of assistants - 1 (50%) M.Engr., 12 months, 6,000 Baht/mo.	72,000
2. Services contracting expenses :	78,000
3. non-renewable materials expenses :	80,000
4 equipment :	20,000
Total of 3rd year expenditure	250,000
TOTAL	815,000

19. Other information (if any)

(signed)



(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

Principal Investigator

Date 24/12/02

(signed)



(Dr. Wut Dankittikul)

Acting Chair, School of Environmental Engineering

Date 25/12/2002

(signed)



(Asst. Prof. Dr. Sittichai Seangatith)

Institute of Engineering

Head, Research Department

Date 14/01/2003

Part 2 : Personal details of the principal investigator, co-investigator and project consultant

Principal Investigator

1. Name (Mr/Mrs/Miss)

Dr. (Mrs.) Ranjna Jindal

2. Researcher code issued by the National Research Council (If any)

4. Current position

Lecturer, Environmental Engineering

4. Educational background

Year of Graduation	Degrees obtained (Bachelor's degree and above)	Abbreviation of degree title	Field of study	Major	Name of degree granting institution	Country
1970		B. Sc. (Hons.)	Physics, Maths, Statistics	Physics	Meerut University	India
1973		M. Sc.	Nuclear Physics	Physics	Meerut University	India
1982		M. Sc.	Environmental Technology Management	Environmental Engineering	Asian Institute of Technology	Thailand
1995		D. Tech. Sc.	Environmental Technology Management	Environmental Engineering	Asian Institute of Technology	Thailand

5. Fields of specialization (should be different from field of study above)

- Water and wastewater engineering
- Water quality management in reservoirs and canals
- Computer modeling of water and wastewater treatment processes
- Air pollution control
- Solid waste management in Asian countries

6. Research experience in Thailand and abroad. Indicate if you are principal or co-investigator in each case

6.1 List of completed research projects : title, year of publication and status of each project

1) **A Preliminary Study of Arsenic Contamination in Southern Thailand (2000-2001)**

National Research Council of Thailand (NRCT)

Principal investigator

Status: Completed

2) **Canal Water Quality Improvement by Rock-bed Filtration (1996-98)**

Sumitomo Heavy Industries Ltd., Japan funded project sponsored under the

UNITWIN/UNESCO Chairs Programme.

Co-investigator

Status: Completed

3) **Development of a Water Treatment System Using Rock-bed Filtration (1992-95)**

Shimidzu Corporation, Ltd., Japan funded project.

Co-investigator

Status: Completed

4) **Solid Waste Management in Asian Countries (1990-91)**

Japan International Cooperation Agency (JICA) funded project

Co-investigator

Status: Completed

6.2 Current research projects : title and duration of each project

Removal of heavy metals from wastewater in constructed wetlands (2001 – 2004)

TRF – Royal Golden Jubilee, Principal Advisor, Ph.D.Scholarship, Baht 2 million

แผนการใช้จ่ายเงินอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

Research Expenditure for Fiscal Year 2003

โครงการวิจัยเรื่อง Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland

Expenditures	Budget requested for fiscal year 2002 (Baht)		
	1 st Installment	2 nd Installment	Total
1. Temporary wages for research assistant			
1 assistant (M.Eng.),12 months, 6,000 Baht/mo.	36,000 ✓	36,000 ✓	72,000 ✓
Total	36,000 ✓	36,000 ✓	72,000 ✓
2. Compensation,Services contracting and nonrenewable materials expenses :			
- obtaining data and information	10,000 ✓	10,000 ✓	20,000 ✓
- transportation and compensation	20,000 ✓	20,000 ✓	40,000 ✓
- report production	10,000 ✓	15,000 ✓	25,000 ✓
- non-renewable materials expenses	39,000 ✓	39,000 ✓	78,000 ✓
Total	79,000 ✓	84,000 ✓	163,000 ✓
3. Equipment :			
- portable temperature and pH meter	30,000	-	30,000 ✓
- Portable DO meter	30,000	-	30,000 ✓
- Water pumps	10,000	-	10,000 ✓
- Flow meters	10,000	-	10,000 ✓
Total	80,000 ✓	-	80,000 ✓
Total	195,000 ✓	120,000 ✓	315,000 ✓

(signed) R. Jindal Head of Project

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)

Date 27/12/02

รณจนา จินดล
7 12 02

การเปิดบัญชีเงินฝากโครงการวิจัย

เอกสารประกอบสัญญาเลขที่ 33/2546

โครงการวิจัยเรื่อง State of Cadmium in the Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland and Constructed Wetland

ชื่อบัญชี มทส โครงการ Heavy Metals Removal using Constructed Wetland

เลขที่บัญชี 707 - 2 - 15882 - 3

ธนาคาร ไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สาขาย่อย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายนามผู้มีอำนาจสั่งจ่าย

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1. <u>ดร.นงนุช อรรถพลค์ จำปิต</u> | คณบดี |
| 2. <u>ดร.อ. สิทธิชัย นวลอทิมา</u> | หัวหน้าสถานวิจัย |
| 3. <u>ดร.อ. อัมพร จิระสุ</u> | หัวหน้าโครงการวิจัย |

เงื่อนไขการสั่งจ่าย

ผู้มีอำนาจสั่งจ่าย 2 ใน 3

ลงนาม Rindal
 (Assistant Prof. Dr. Ranjira Firdel)
 ผู้รับทุน

23/12/02 14:53 1059K*2350 707-215882 BY BR707
NEW P/B NO.-00002959961

ฝาก-ถอน
ได้ตลอดเวลาทั้งระบบอัตโนมัติและ On -LINE

ข้อบัญญัติ SLT.Heavy Metals Removal

NAME

ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน)
THE SIAM COMMERCIAL BANK PUBLIC COMPANY LIMITED

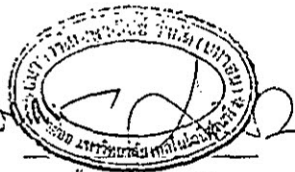
สาขาย่อย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บัญชีเงินฝากออมทรัพย์ เลขที่
SAVINGS ACCOUNT NO

707-2

-15882-3

2959961



ผู้มีอำนาจลงนาม
AUTHORIZED SIGNATURE



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
รับที่ 65/46
วันที่ 15 ส.ค. 2546
เวลา 10.30 น.

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4423 โทรสาร 4220
ที่ ทบ.3117(15)/7 วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2546
เรื่อง ขอลเปลี่ยนชื่อโครงการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผ่านหัวหน้าสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ตามที่ดิฉันได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เป็นทุนประจำปีงบประมาณ 2546 ชื่อทุน **Heavy Metals Removal from Wastewater Using Constructed Wetland**

ดิฉันมีความประสงค์จะเปลี่ยนชื่อโครงการจากเดิม เป็น **Fate of Cadmium in Wastewater Effluents Treated in Constructed Wetland** ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ในข้อเสนอโครงการวิจัยยังเหมือนเดิมทั้งหมด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

อ. 65/46 จุฬาลงกรณ์
เพื่อหัวหน้าสถานวิจัย

(ศาสตราจารย์ ดร. นันทกร บุญเกิด)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
15 ส.ค. 2546

(Asst. Prof. Dr. Ranjna Jindal)
หัวหน้าโครงการวิจัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์)
หัวหน้าสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

③ อ. 65/46 จุฬาลงกรณ์
mdu
15 ส.ค. 46.

รับฝาก
ทพพร
15/01/46

④ อ. 65/46 จุฬาลงกรณ์ (กน. 2015)
กน
16 ส.ค. 46.