

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งผลของการวิจัยเป็น ก) ประมาณการปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในกระบวนการเรียนการสอนของห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ข) การออกแบบระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ค) ประสิทธิภาพของระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ง) ความเข้มข้นสีแสงอาทิตย์ จ) อุณหภูมิระเหยและผิวกลั่นตัวกับความเข้มข้นสีแสงอาทิตย์และอัตราการกลั่น

#### **ปริมาณของเสียอันตราย**

จากการสำรวจปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในกระบวนการเรียนการสอนของห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มีการใช้สารเคมี และเกิดปริมาณของเสียอันตรายที่รวบรวมเก็บไว้ในปฏิบัติการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และ ตารางที่ 4-2 โดยสำรวจ ณ วันที่ 17 กันยายน 2553

จากการสำรวจสามารถประมาณการได้ว่า ใน 1 ปีการศึกษา จะมีปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเรียนการสอนในวิชาต่าง ๆ เช่น ปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ปฏิบัติการมูลฝอย ปฏิบัติการจุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และกิจกรรมอื่น ๆ โดยประมาณ 120 ลิตร

#### **การออกแบบระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**

##### **แบบที่ 1**

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 (ภาพที่ 4-1) ทำด้วยกระจกขนาด  $0.25 \times 0.25$  เมตร ด้านหน้าสูง 0.15 เมตร ด้านหลังสูง 0.215 เมตร วางกระจกใสปิดด้านบนลาดระเหย หนา 5 มิลลิเมตร เอียงเป็นมุม 14 องศา ของกระจก แผ่นพลาสติกสีดำสำหรับรองที่ก้นถาด และเป็นตัวนำความร้อน ฉนวนใช้โฟมหนา 1 นิ้ว บุบริเวณรอบนอกของถาดระเหยเพื่อป้องกันมิให้ความร้อนถ่ายเทออกด้านข้างและด้านล่างของตัวถาดระเหย

**ตารางที่ 4-1** สารเคมีที่ใช้ในการทดลองห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อการทดลอง	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
1. ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen)	แมงกานีสซัลเฟต Alkali- iodide-azide, กรดซัลฟูริก, โปตัสเซียมไดโครเมต, โซเดียมไฮโอซัลเฟต, โปตัสเซียมฟลูออไรด์
2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	โปตัสเซียมไดโครเมต, กรดซัลฟูริก, เฟอร์โรอิน, แอมโมเนียฟอร์รัสซัลเฟต, ปรอกซัลเฟต, กรดซัลฟามิก
3. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	ฟอตเฟตบัพเฟอร์, แมกนีเซียมซัลเฟต, แคลเซียมคลอไรด์, เฟอร์ริกคลอไรด์, กรดซัลฟูริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมซัลไฟด์, กลูโคส, กรดกลูตามิก
4. แอมโมเนียไนโตรเจนและอินทรีย์สารไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen and Organic Nitrogen)	บอเรตบัพเฟอร์, โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมซัลไฟด์, กรดบอริก, ซัลฟูริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์, ซิงซัลเฟต, Stabilizer reagent, อีดีทีเอ, Rochellesalt, เนสเลอร์, สต็อกแอมโมเนีย, แอมโมเนียฟินอล, ไนโตรปริสไซค์, ไฮโปคลอไรต์, กรดซัลฟูริก, เมอร์คิวริกซัลเฟต, โปตัสเซียมซัลเฟต, คอปเปอร์ซัลเฟต
5. ไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจน (Nitrite Nitrogen and Nitrate Nitrogen)	ซัลฟานิลไมด์, เนฟธิลเอทิลลินไดอามีนไฮโดรคลอไรด์, สต็อกไนไตรต์, กรดไฮโดรคลอริก, กรดไนตริก, คอปเปอร์ซัลเฟต, สต็อกไนเตรต, เม็ดแกลเมียมที่หุ้มด้วยคอปเปอร์, อีดีทีเอ 4%, แอ็คติเวตคอลลัมน์
6. ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and Phosphate)	ฟินอล์ฟทาลีน, กรดซัลฟูริก, โปตัสเซียมแอนติโมนิลล์ทาร์เตต, แอมโมเนียโมลิบเดต, กรดแอสคอร์บิก, สต็อกฟอสเฟต, ฟอสเฟต, โซเดียมไฮดรอกไซด์, แอมโมเนียเปอร์ซัลเฟต, กรดไนตริก
7. น้ำมันไขมัน (Oil and Grease)	กรดไฮโดรคลอริก, เฮกเซน, ผลึกโซเดียมซัลเฟต
8. กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile acids)	กรดซัลฟูริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์, ฟินอล์ฟทาลีน, กรดอะซิติก

ตารางที่ 4-2 ปริมาณของเสียอันตรายที่รวบรวมไว้ในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม (สำรวจเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2553)

รูปถ่าย	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวน (ใบ)	รวมปริมาตร (ลิตร)
	20	1	20
	20	1	20
	20	1	20
	20	1	20
	20	1	20
	2.5	4	10
	10	1	10
<b>รวมปริมาตรทั้งหมด(ลิตร)</b>			<b>120</b>



(ก)

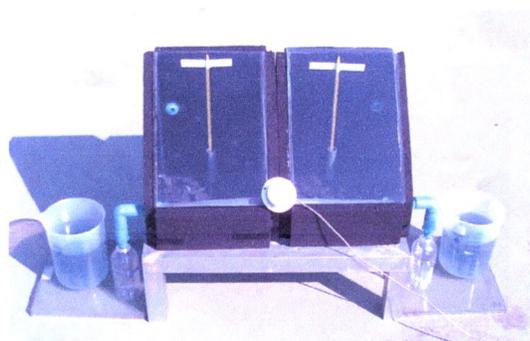


(ข)

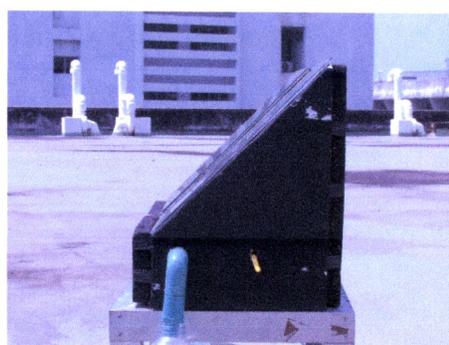
ภาพที่ 4-1 เครื่องระเหยระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1

## แบบที่ 2

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 2 (ภาพที่ 4-2) ขนาด  $0.25 \times 0.25$  เมตร ด้านหน้าสูง 0.15 เมตร เป็นลักษณะคล้ายรูปกล่องซึ่งมีกระจกปิดทับด้านบน ด้านข้างทั้งสามด้านใช้เป็นวัสดุทึบแสง (แผ่นพลาสติกสีดำ) ประกอบขึ้นรูปด้วยซีทีคอน ความสูงด้านหน้าและด้านหลังที่แตกต่างกันเพื่อให้กระจกมีความลาดเอียง ประมาณ 45 องศาเพื่อให้ น้ำสามารถไหลลงรางด้านหน้าได้สะดวก มีความหนา 3 มิลลิเมตร ส่วนกระจกด้านหลังจะมีจุกยางสามารถปิด-เปิด ใช้สำหรับเติมน้ำเสีย



(ก)



(ข)

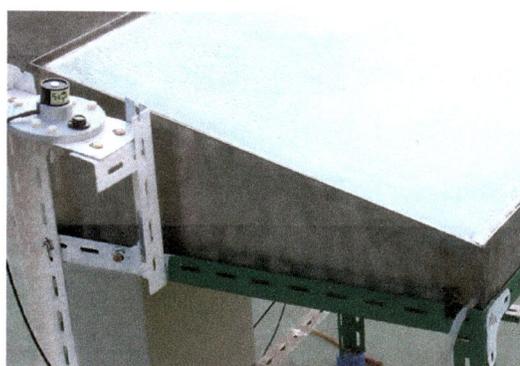
ภาพที่ 4-2 เครื่องระเหยระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 2

### แบบที่ 3

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 (ภาพที่ 4-3) ระบบนี้มีลักษณะเป็นถาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $0.5 \times 2.00$  เมตร สูง 0.15 เมตร ตัวถาดทำด้วยสแตนเลส กระจกใสด้านบนของถาดมีความหนาของถาดระเหยหนา 4 มิลลิเมตรและเอียงทำมุม 14 องศา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-3 เครื่องระเหยระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3

### แบบที่ 4

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4 (ภาพที่ 4-4) ระบบนี้มีลักษณะเป็นถาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $0.40 \times 0.65$  เมตร สูง 0.15 เมตร ตัวถาดทำด้วยสแตนเลส กระจกใสด้านบนของถาดมีความหนาของถาดระเหยหนา 3 มิลลิเมตรและเอียงทำมุม 20 องศา สามารถถอดแยกส่วนกระจกออกได้เพื่อความสะดวกในการทำความสะอาด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-4 เครื่องระเหยระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4

## ประสิทธิภาพของระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

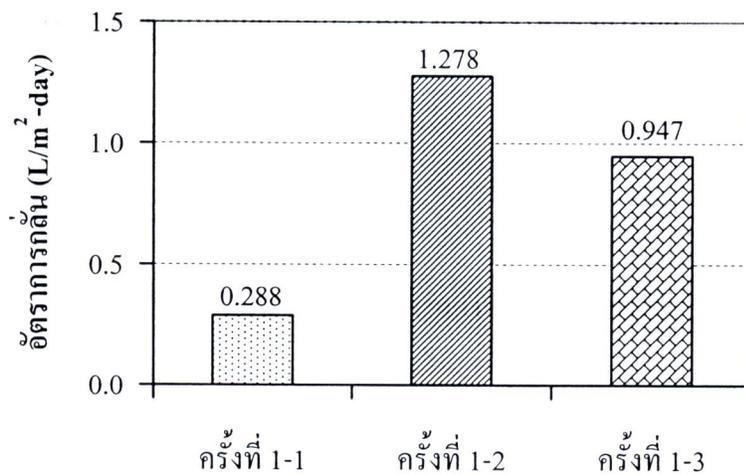
### แบบที่ 1

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 ได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 4-5 ดังนี้

ครั้งที่ 1-1 กระจกเหนือถาดใช้กระจกหนา 5 มิลลิเมตร ใช้โฟมหุ้มรอบถาดระเหย สามารถกลั่นได้ 0.288 ลิตร/ตารางเมตร-วัน มีประสิทธิภาพการกลั่น 4.25 %

ครั้งที่ 1-2 เมื่อเปลี่ยนความหนากระจกจากความหนา 5 มิลลิเมตร เป็น 2 มิลลิเมตร และใส่ถาดไม้สีดำเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบความร้อน ไม่ใช้โฟมหุ้มรอบถาดระเหย ทำให้สามารถกลั่นได้ 1.278 ลิตร/ตารางเมตร-วัน มีประสิทธิภาพการกลั่น 18.86 % ช่วงทำการทดลองวัดความเข้มแสงดวงอาทิตย์ได้ 47.43 กิโลวัตต์/ตารางเมตร-วัน

ครั้งที่ 1-3 ใช้ถาดไม้สีดำ หุ้มโฟมรอบถาดระเหย สามารถกลั่นได้ 0.947 ลิตร/ตารางเมตร-วัน มีประสิทธิภาพการกลั่น 14.00 %



ภาพที่ 4-5 อัตราการกลั่นจากระบบกลั่นแบบที่ 1

### แบบที่ 2

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 2 ได้ปรับปรุงระบบกลั่นน้ำเสีย จากแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4-3

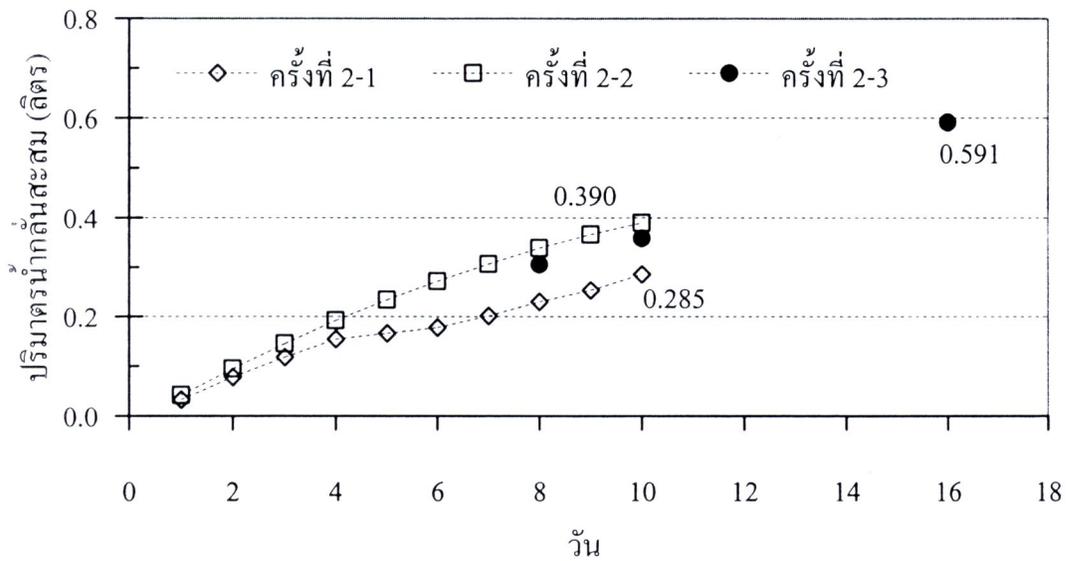
ปริมาณน้ำกลั่นที่รวบรวมได้ในแต่ละการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-6 มี 3 ช่วงการทดลองคือ ช่วงที่ 2-1 ระหว่างวันที่ 7-16 มกราคม 2547 เป็นเวลา 10 วัน สามารถรวบรวมน้ำกลั่นได้ 0.285 ลิตร ช่วงที่ 2-2 ระหว่างวันที่ 11-20 กุมภาพันธ์ 2547 เป็นเวลา 10 วัน สามารถรวบรวมน้ำ

กลั่นได้ 0.390 ลิตร และช่วงที่ 2-3 ระหว่างวันที่ 8-23 มีนาคม 2547 เป็นเวลา 16 วัน สามารถรวบรวมน้ำกลั่นได้ 0.591 ลิตร เมื่อคำนวณในหน่วยของ ลิตรต่อตารางเมตรต่อวันระบบสามารถกลั่นน้ำได้อยู่ในช่วง 0.456-0.590 L/ m<sup>2</sup>-day ส่วนปริมาณน้ำที่กลั่นเฉลี่ยได้ 0.557 L/ m<sup>2</sup>-day ดังแสดงในภาพที่ 4-6

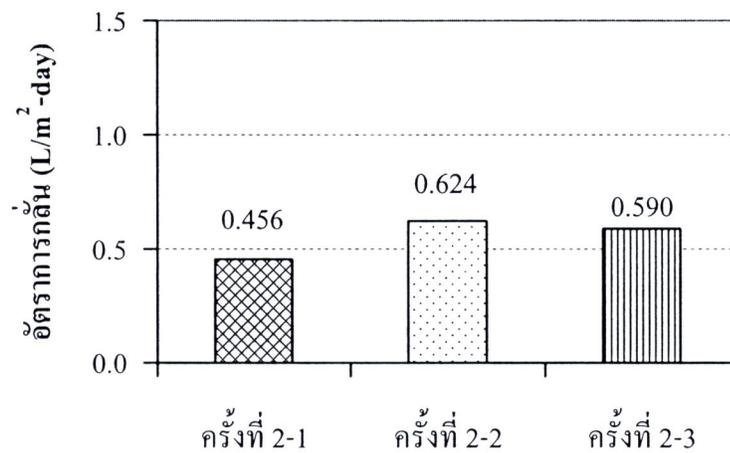
น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่นำมากำจัดด้วยเครื่องกลั่นมีสมบัติของค่าความเป็นกรดค่าเป็น 0.97 ซึ่งเป็นกรดอย่างแรง มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็น 1,486.70 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และมีปริมาณ โครเมียมทั้งหมดเป็น 44.74 mg/L ภายหลังจากการกลั่นแล้วได้เป็นน้ำกลั่น ให้ค่าความเป็นกรดค่าเป็น 1.95 ปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยมา ส่วนปริมาณ โครเมียมทั้งหมดไม่สามารถตรวจพบ ดังปรากฏข้อมูลในตารางที่ 4-4

#### ตารางที่ 4-3 ข้อปรับปรุงระบบจากแบบที่ 1

ข้อปรับปรุงของแบบที่ 1	วิธีการปรับปรุง
1. ตัวถาดและกระจกทำให้ไม่มีการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์	เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำถาดและเครื่องให้เป็นพลาสติกสีดำเพื่อให้อุดซับแสง
2. กระจกที่ใช้เป็นฝามีความหนา 5 ม.ม.	เปลี่ยนกระจกให้มีความหนา 3 ม.ม.
3. ฝาปิดมีความลาดน้อยเกินไปทำให้น้ำไม่สามารถไหลลงมารองรับน้ำแต่กลับหยดลงไปที่ถาด	ปรับความเอียงของกระจกให้มีความลาดเอียงเป็น 45° เพื่อให้น้ำสามารถไหลได้
4. ถาดน้ำมีความสูง 15 ซม ทำให้ระยะห่างผิวน้ำกับกระจกมาก ทำให้อิอน้ำกลั่นตัวก่อนถึงผิวกระจก	ลดความสูงของถาดน้ำลงให้เหลือ 10 ซม เพื่อลดความห่าง
5. การบันทึกผลการทดลองไม่ละเอียด เช่น สภาพอากาศขณะทำการทดลอง ปริมาณที่ได้ในแต่ละวัน	บันทึกผลการทดลองให้ละเอียดเพื่อใช้เป็นผลอ้างอิง
6. การทดลองทั้ง 3 ครั้งมีระยะเวลาห่างกันมากเกินไปผลที่ได้จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้เนื่องจากความเข้มของแสงต่างกันมาก	ทำการทดลองอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน
7. เกิดการสูญเสียแรงดันเนื่องจากข้ออและความยาวของท่อรับน้ำจากราง	ลดความยาวของท่อและลดแรงดันบริเวณขวดรับน้ำเพื่อให้แรงดันน้ำสูงกว่าภายในขวด



ภาพที่ 4-6 ปริมาณน้ำกลั่นสะสมที่รวบรวมได้ในแต่ละวันของการทดลองระบบแบบ 2



ภาพที่ 4-7 อัตราการกลั่นจากระบบกลั่นแบบที่ 2

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณของค่าตัวแปร และประสิทธิภาพการกำจัด แบบที่ 2

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	TS (mg/L)	โครเมียมทั้งหมด (mg/L)
น้ำเสีย	0.97	1,486.70	44.74
น้ำกลั่น	1.95	0.09	ตรวจไม่พบ
ประสิทธิภาพการกำจัด		99.99%	100%

ตารางที่ 4-5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำกลั่นที่รวบรวมในวันที่ 8-23 มีนาคม 2547\*

โลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนักน้ำกลั่น (mg/L)			มาตรฐานน้ำทิ้ง และน้ำดื่ม (mg/L)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
Ag	0.0567	0.0442	0.0700	0.05 <sup>2</sup>
Al	0.0676	0.0030	0.3394	
B	0.6969	0.0677	1.8957	
Ba	0.0048	0.0001	0.0124	1.00 <sup>1</sup>
Bi	0.0232	0.0021	0.0584	
Ca	1.5289	0.0273	4.3007	
Cd	0.0026	0.0004	0.0148	0.03 <sup>1</sup>
Co	0.0021	0.0002	0.0071	
Cr	0.0034	0.0008	0.0163	0.25 <sup>1</sup>
Cu	0.0025	0.0002	0.0103	2.00 <sup>1</sup>
Fe	0.0295	0.0028	0.0849	0.5 <sup>2</sup>
K	0.1593	0.0023	0.7056	
Li	0.0042	0.0003	0.0263	
Mg	0.0653	0.0111	0.1439	
Mn	0.0054	0.0012	0.0143	5.00 <sup>1</sup>
Na	0.2604	0.1119	0.6760	
Ni	0.0041	0.0010	0.0136	1.00 <sup>1</sup>
Pb	0.0659	0.0022	0.2446	0.20 <sup>1</sup>
Zn	0.0208	0.0007	0.0334	5.00 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

<sup>2</sup> ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521

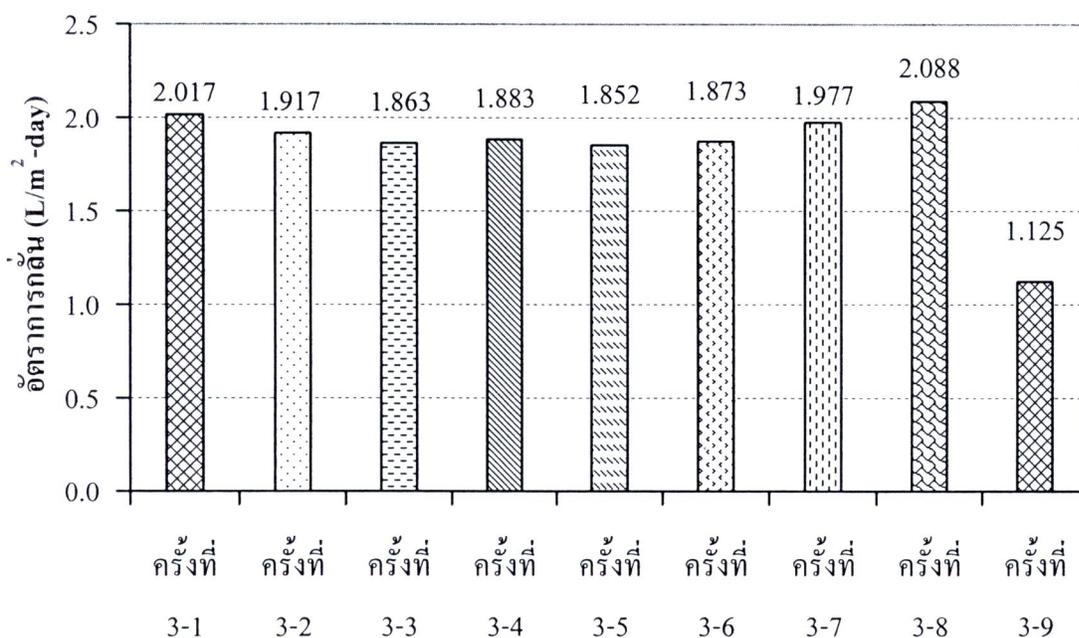
\* ตรวจวิเคราะห์จากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย โดยใช้เครื่องอินดักทีฟพลาสมา (Inductively Coupled Plasma, ICP)

สำหรับน้ำกลั่นที่รวบรวมได้ในช่วงระหว่างวันที่ 8-23 มีนาคม 2547 ได้นำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 19 ชนิด และได้ปริมาณโลหะหนักทั้ง 19 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4-5 โดยโลหะหนักที่ถูกควบคุมโดยมาตรฐาน จะไม่เกินมาตรฐาน เช่น Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn ดังแสดงในตารางที่ 4-5 คอลัมน์สุดท้าย แสดงให้เห็นว่าน้ำกลั่นที่ได้มาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

### แบบที่ 3

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 ตัวถาดเป็นสแตนเลส ซึ่งได้ปรับปรุงระบบกลั่นน้ำเสียจากแบบที่ 1 และ 2 ที่วัสดุถาดทำจากพลาสติก ทำให้ระบบกลั่นน้ำเสียจากแบบที่ 1 และ 2 มีข้อจำกัดในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกลั่น

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 ได้ทำการทดลอง 9 ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 4-8 (5-13 ม.ค. 2548 และ 18 ม.ค. 2552)

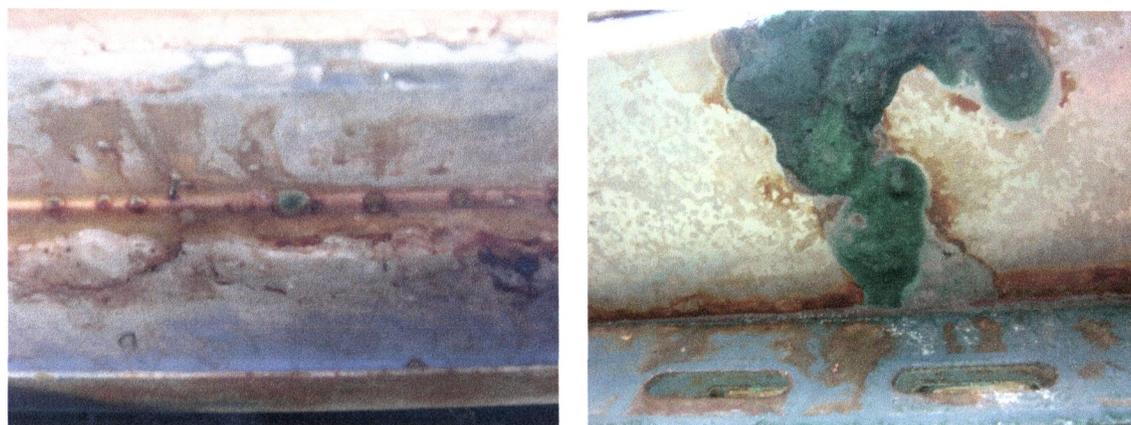


ภาพที่ 4-8 อัตราการกลั่นจากระบบกลั่นแบบที่ 3

ตารางที่ 4-6 แสดงข้อมูลการตรวจวัดปริมาณค่าตัวแปรของน้ำเสีย และน้ำกลั่นที่ได้จากการระเหย และคำนวณเป็นประสิทธิภาพ โดยโลหะหนัก ประเภท Cr<sup>6+</sup> ตรวจไม่พบในน้ำกลั่นที่ได้

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณของค่าตัวแปร และประสิทธิภาพการกำจัด ระบบแบบที่ 3

สารมลพิษ (mg/L)	น้ำเสีย	น้ำกลั่น	ประสิทธิภาพ
TS	1,229.60	73.33	94.03 %
TSS	27.90	4.00	85.66 %
TDS	1,708.90	69.33	95.94 %
COD	357.5	44	87.69 %
Cr <sup>6+</sup>	3.14	ตรวจไม่พบ	100.00 %



ภาพที่ 4-9 ความเสียหายของระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3

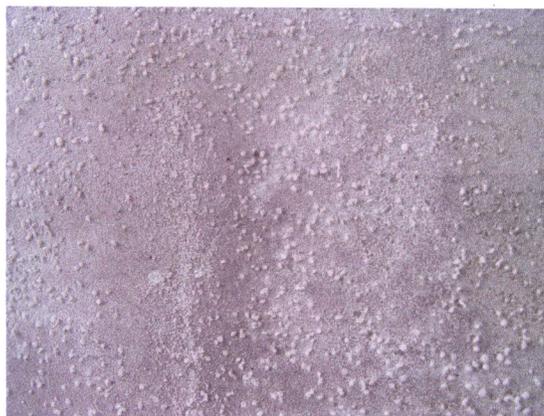
ตารางที่ 4-7 การปรับค่าความเป็น กรด-เบสและเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็น กรด-เบส

ครั้งที่	ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	พีเอช (pH)					ปริมาตรของสารละลายด่างที่ใช้ปรับ (ml)
		น้ำเสีย	น้ำเสียหลังจากปรับพีเอช	น้ำกลั่น	ความต่าง	สารละลายด่าง (NaOH)	
1	5	0.62	0.62	1.90	1.28	-	-
2	5	0.67	3.05	4.53	1.48	12.25	1,746.2
3	5	0.72	5.01	5.25	0.24	12.26	1,725.3
4	5	0.60	6.43	7.04	0.61	12.24	1,885.4





(ก) ตะกอนเกิดจากการปรับค่า pH



(ข) ตะกอนจากน้ำเสียไม่ปรับค่า pH

#### ภาพที่ 4-10 เปรียบเทียบการเกิดตะกอนจากน้ำเสียในการปรับค่า pH

น้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ต่ำกว่า 1 (0.60-0.72) ดังแสดงในตารางที่ 4-7 โดยที่ความแรงของความเป็นกรดในน้ำเสียทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 ซึ่งสร้างจากแสดนเลส ดังแสดงในภาพที่ 4-9 จึงทำการปรับค่า pH ด้วย สารละลายด่าง (NaOH) เป็น pH 3.05 5.01 และ 6.43 เมื่อนำน้ำเสียที่ปรับค่า pH ไปกลั่นในระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 ทำการตรวจวัดค่า pH ของน้ำกลั่นได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-7 pH 1.90 4.53 5.25 และ 7.04 ซึ่ง ค่า pH ของน้ำกลั่น จะเพิ่มขึ้น 0.61-1.48 จากค่า pH เดิมที่นำน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 3 และเมื่อระเหยจนแห้งแล้วเกิดตะกอนขึ้นในปริมาณมากกว่าน้ำเสียที่ไม่ได้ปรับค่า pH ดังแสดงในภาพที่ 4-10

น้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณโลหะหนักได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4-8 ส่วนน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักที่ปรับค่า pH แล้ว มีปริมาณโลหะหนักดังแสดงในตารางที่ 4-8

**ตารางที่ 4-8** ค่าปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่ว และ โครเมียมของน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก (วันที่ 16 ธันวาคม 2552)

โลหะหนัก	pH น้ำเสีย			ปรับ pH			น้ำกลั่น		
	0.75	0.62	0.67	5.01	6.43	3.00	7.04	5.25	4.53
Cd (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	ND	ND	ND
Pb (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	ND	ND	ND
Cr (mg/L)	86.72	63.88	75.13	31.77	61.23	4.79	0.01	ND	ND

ตารางที่ 4-9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำกลั่นที่รวบรวมในวันที่ 12 ธ.ค. 2552 ถึง 18 ม.ค. 2553 \*

ชนิดโลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนักน้ำกลั่น(mg/L)	มาตรฐานน้ำทิ้งและน้ำดื่ม(mg/L)
Ag	0.079984	0.05 <sup>2</sup>
Al	ND	-
B	1.3837	-
Ba	ND	1.00 <sup>1</sup>
Bi	ND	-
Ca	ND	-
Cd	ND	0.03 <sup>1</sup>
Co	ND	-
Cr	0.010661	0.25 <sup>1</sup>
Cu	ND	2.00 <sup>1</sup>
Fe	ND	0.5 <sup>2</sup>
Ga	ND	-
In	ND	-
K	ND	-
Li	ND	-
Mg	0.055623	-
Na	0.10877	-
Ni	0.016567	1.00 <sup>1</sup>
Pb	ND	0.20 <sup>1</sup>
Sr	ND	-
Ti	ND	-
Zn	ND	5.00 <sup>1</sup>

\* ตรวจวิเคราะห์จากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย โดยใช้เครื่องอินดักทีฟพลาสมา (Inductively Coupled Plasma, ICP)

<sup>1</sup> ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

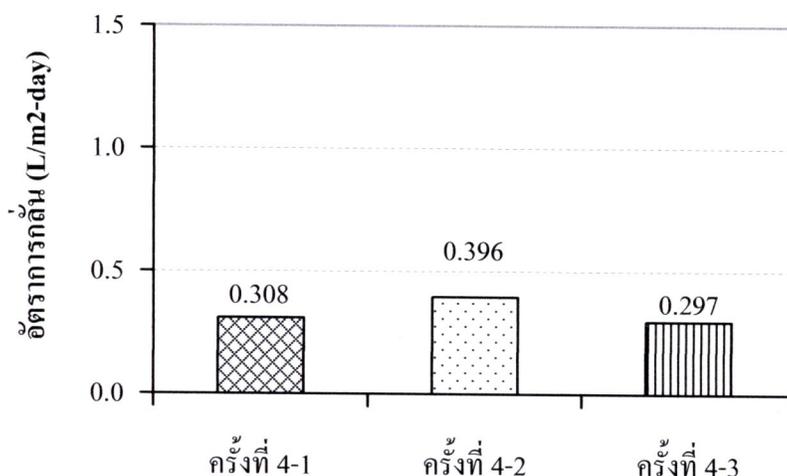
<sup>2</sup> ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ดีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521

สำหรับน้ำกลั่นที่รวบรวมได้ในช่วงระหว่างวันที่ 12 ธันวาคม 2552 ถึง 18 มกราคม 2553 ได้นำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนัก 22 ชนิด และได้ปริมาณ โลหะหนักทั้ง 22 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4-9

#### แบบที่ 4

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4 แตกต่างจาก แบบที่ 3 คือ สามารถเปิดฝาด้านหน้าของระบบได้เพื่อสามารถที่จะทำความสะอาดสแตนเลสได้ โดยใช้ตัวลือกเหมือน หนูบินโต ดังแสดงในภาพที่ 4-12

ระบบกลั่นน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4 ได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง ได้แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำกลั่นที่สามารถรวบรวมได้ ครั้งที่ 4-1 (28 ก.ค. – 8 ก.ย. 2553) ครั้งที่ 4-2 (25 ก.ย. – 1 ต.ค. 2553) ครั้งที่ 4-3 (1 ต.ค. – 1 พ.ย. 2553) ดังแสดงในภาพที่ 4-11

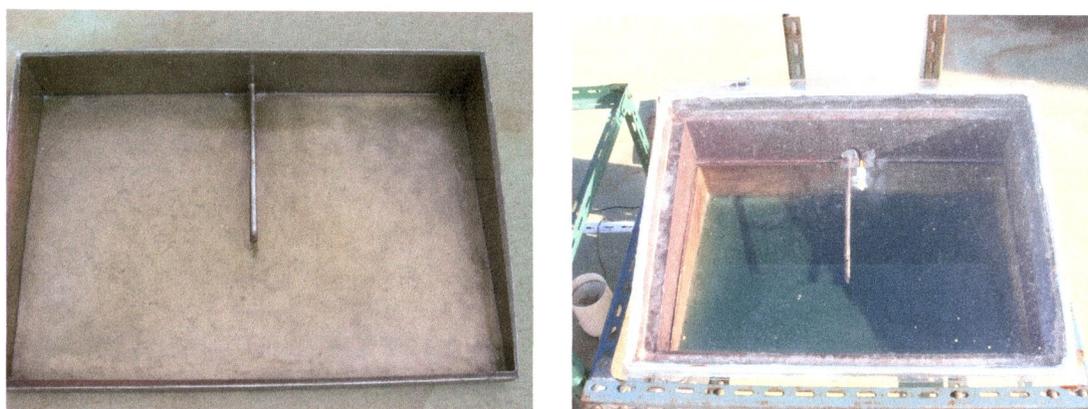


ภาพที่ 4-11 อัตราการกลั่นจากระบบกลั่นแบบที่ 4



ภาพที่ 4-12 ความเสียหายของระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4-1

น้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ต่ำกว่า 1 (0.60-0.72) โดยที่ความแรงของความเป็นกรดในน้ำเสียทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4 เช่นเดียวกับกับ แบบที่ 3 ซึ่งสร้างจากสแตนเลส ดังแสดงในภาพที่ 4-12 จึงได้ดำเนินการเคลือบระบบแบบที่ 4 ด้วยโพลิเมอร์ (Polymer) ดังแสดงในภาพที่ 4-13 แล้วนำไปทดลองระเหยน้ำเสีย เป็นการทดลองที่ 4-2 และ 4-3 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-13 การเคลือบโพลิเมอร์ของระบบกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 4-2

เมื่อนำค่าปริมาณน้ำกลั่นจากระบบการกลั่นทั้ง 4 แบบมาเปรียบเทียบกัน (ดังแสดงในตารางที่ 4-10) พบว่า ระบบการกลั่นแบบ 3 ให้ค่าปริมาณน้ำกลั่นที่มากที่สุด จากจำนวนระบบที่ออกแบบมาทั้งหมด เนื่องจาก ระบบแบบที่ 3 เป็นระบบปิด สร้างด้วยสแตนเลส ส่วนระบบการกลั่นแบบที่ 4 เป็นระบบที่สามารถเปิดกระจกด้านหน้าได้เพื่อความสะดวกในการทำความสะอาด ทำให้ไม่เป็นระบบปิด อาจทำให้มีการรั่วไหลของ ไอน้ำกลั่นสู่ภายนอกได้ หรือไม่สามารถเก็บความอุณหภูมิไว้ได้ ทำให้รวบรวมน้ำกลั่นได้ในปริมาณที่น้อย

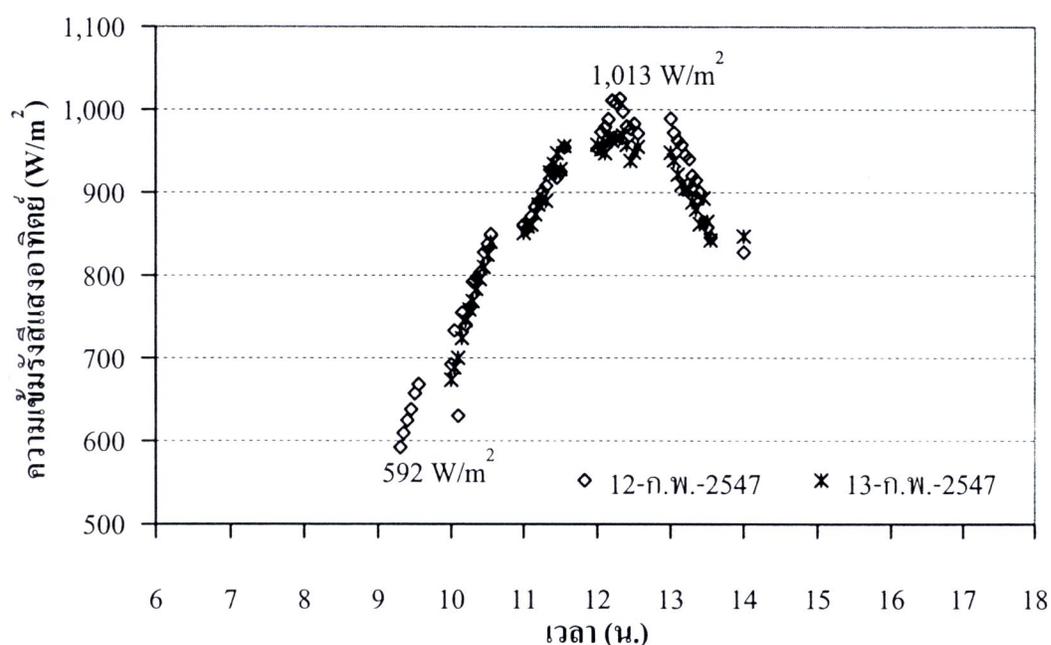
ส่วนปริมาณน้ำกลั่นที่รวบรวมนได้น้อยที่สุด เป็นแบบที่ 1 การทดลอง 1-1 เนื่องจากเป็นระบบที่สร้างจากพลาสติก ไม่สามารถเก็บความร้อนภายในระบบได้ การทดลองที่ 1-2 และ 1-3 มีค่าที่สูงกว่าการทดลองที่ 1-1 เนื่องจากได้ใส่ถ่านไม้สีกาเข้าไปในระบบ ทำให้เป็นตัวดูดซับความร้อนไว้ เป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวระเหย ให้มีความแตกต่างกับอุณหภูมิผิวกระจก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ของ สำราญและคณะ ปี พ.ศ. 2550

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบอัตราการกลั่นเฉลี่ยของระบบกลั่นทั้ง 4 แบบ

ระบบกลั่น	การทดลอง	อัตราการกลั่นเฉลี่ย (L/m <sup>2</sup> -day)	หมายเหตุ
แบบที่ 1	1-1	0.288	
	1-2	1.278	ใส่ถ่านไม้สีดำ
	1-3	0.947	ใส่ถ่านไม้สีดำ
แบบที่ 2	2-1	0.456	
	2-2	0.624	
	2-3	0.590	
แบบที่ 3	3-1	2.017	
	3-2	1.917	
	3-3	1.863	
	3-4	1.883	
	3-5	1.852	
	3-6	1.873	
	3-7	1.977	
	3-8	2.088	
	3-9	1.125	
แบบที่ 4	4-1	0.308	
	4-2	0.396	เคลือบโพลีเมอร์
	4-3	0.297	เคลือบโพลีเมอร์
ปริมาณน้ำกลั่นสูงสุด		<b>2.088</b>	ระบบกลั่นแบบที่ 3
ปริมาณน้ำกลั่นต่ำสุด		<b>0.288</b>	ระบบกลั่นแบบที่ 1

### ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ทำการวัดในช่วง 2 วันของการทดลอง (12 ก.พ. 2547 และ 13 ก.พ. 2547) ดำเนินการทดลองกับระบบแบบที่ 2 การทดลองที่ 2-2 (11-20 กุมภาพันธ์ 2547) โดยเริ่มตอนสาย วัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่  $1,013 \text{ W/m}^2$  ค่าต่ำสุดที่  $592 \text{ W/m}^2$  ดังแสดงในภาพที่ 4-14

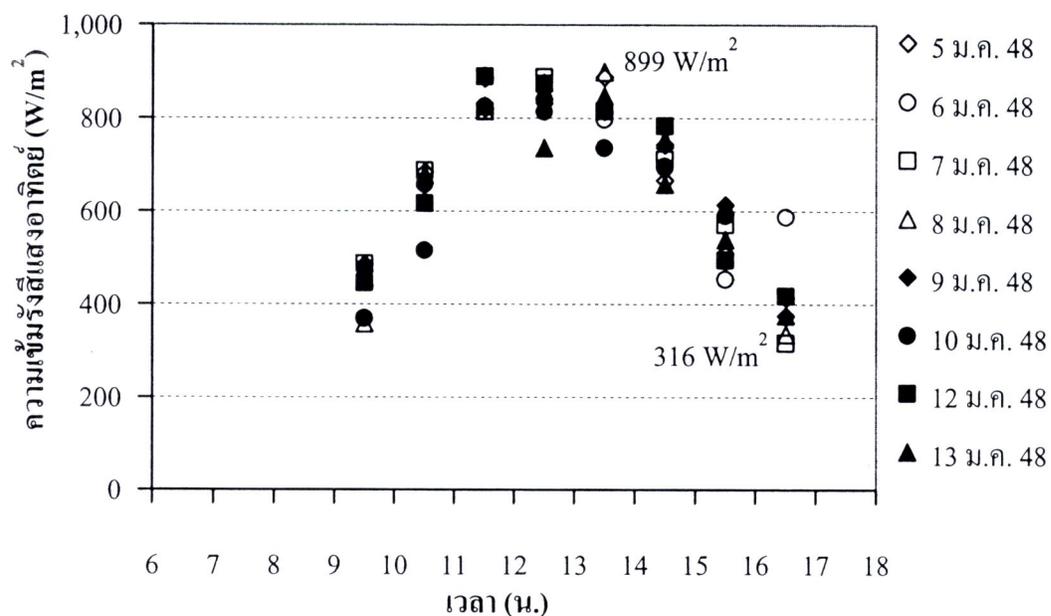


ภาพที่ 4-14 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในหน่วย  $\text{W/m}^2$  (12 ก.พ. 2547 และ 13 ก.พ. 2547)

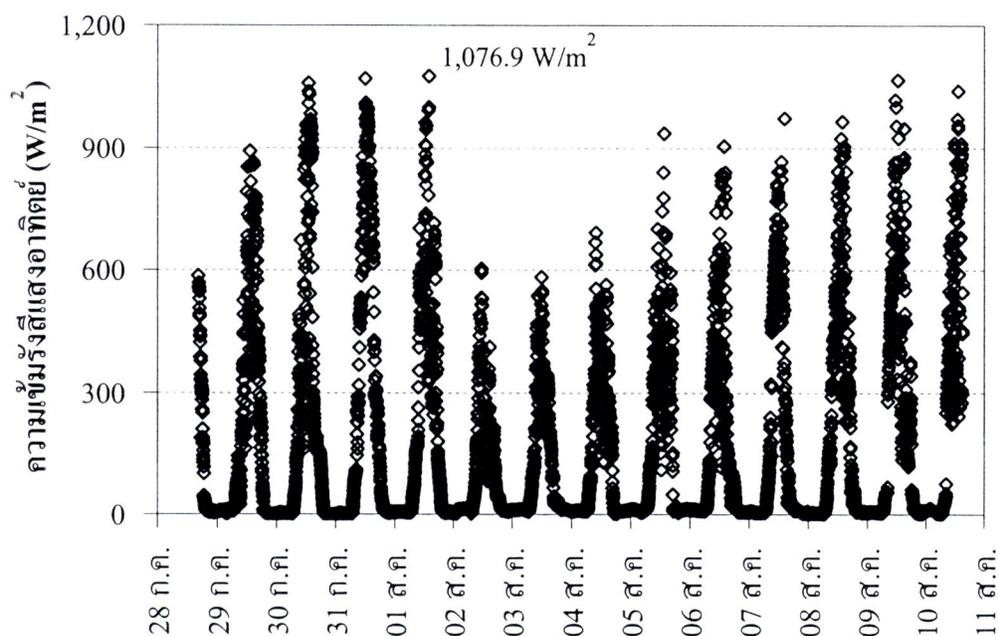
ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ทำการวัดในช่วง 5 – 13 ม.ค. 2548 ในการดำเนินการทดลองใช้ระบบแบบที่ 3 วัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่  $899 \text{ W/m}^2$  ค่าต่ำสุดที่  $316 \text{ W/m}^2$  ดังแสดงในภาพที่ 4-15

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ทำการวัดในช่วง 28 ก.ค. – 11 ส.ค. 2553 ในการดำเนินการทดลองใช้ระบบกลั่นแบบที่ 4 วัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดที่  $1,076.9 \text{ W/m}^2$  ในวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2553 ดังแสดงในภาพที่ 4-16

เมื่อนำอัตราการกลั่นรายวันเทียบค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ได้ค่าเฉลี่ยของระบบกลั่นแต่ละแบบ คือ ระบบกลั่นแบบ 2 ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.639 \text{ mL/W}$  ระบบกลั่นแบบ 3 ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $2.806 \text{ mL/W}$  ระบบกลั่นแบบ 4 ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.974 \text{ mL/W}$



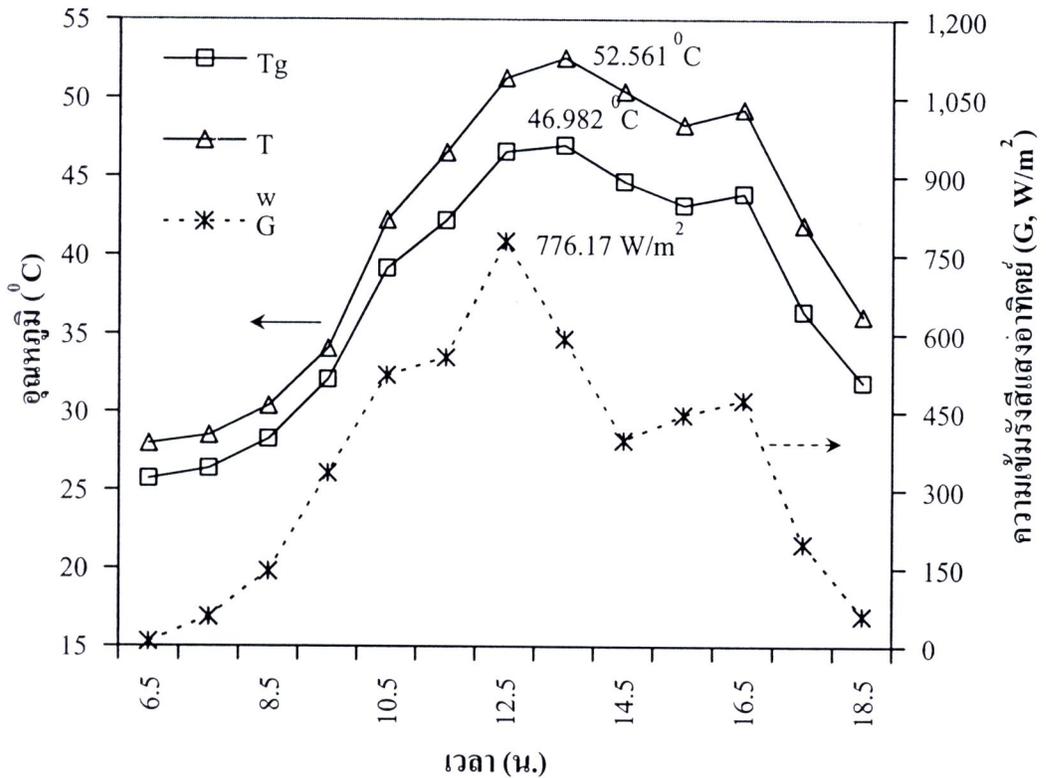
ภาพที่ 4-15 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในหน่วย  $W/m^2$  (5 – 13 ม.ค. 2548)



ภาพที่ 4-16 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในหน่วย  $W/m^2$  (28 ก.ค. – 11 ส.ค. 2553)

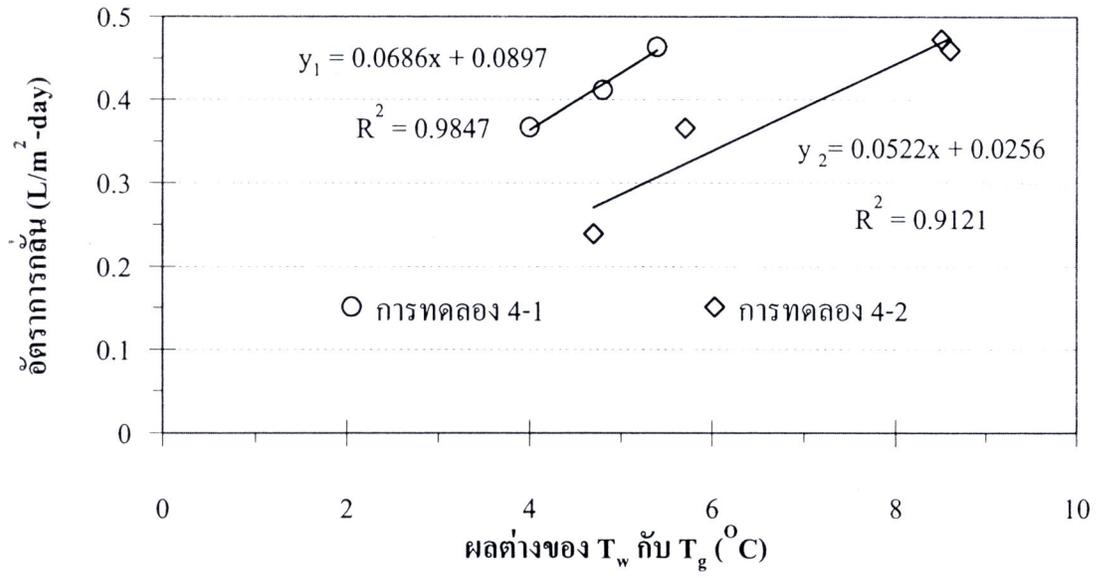
### อุณหภูมิผิวระเหยและผิวกลับตัวกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอัตราการกลั่น

ภาพที่ 4-17 อุณหภูมิผิวระเหย ( $T_w$ ) และผิวกลับตัว ( $T_g$ ) กับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ผลการทดลองวันที่ 1 ส.ค. 2553 มีความสอดคล้องกัน ได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวระเหย และอุณหภูมิผิวกลับตัว เท่ากับ  $41.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นของระบบกลั่นแบบที่ 4



ภาพที่ 4-17 อุณหภูมิผิวระเหยและผิวกลับตัวกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (1 ส.ค. 2553)

ภาพที่ 4-18 ระบบกลั่นแบบที่ 4 การทดลองที่ 4-1 (ภาพที่ 4-11) คือ ระบบกลั่นที่ยังไม่ได้เคลือบโพลีเมอร์ ส่วนระบบแบบที่ 4 การทดลองที่ 4-2 (ภาพที่ 4-11) เป็นระบบที่ทำกรเคลือบโพลีเมอร์แล้ว ซึ่งค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวระเหย และอุณหภูมิผิวกลับตัวมีความแปรผัน โดยตรงกับอัตราการกลั่นตัว เมื่อค่าความแตกต่างมากจะทำให้อัตราการกลั่นตัวสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สำรวยและคณะ ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิผิวระเหยและผิวกลั่นตัวกับอัตราการกลั่น