

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

#### 4.1 การรายงานผลการทดลอง

การรายงานผลการทดลองแบ่งออกเป็นสี่หัวข้อใหญ่คือ หัวข้อ 4.2 เป็นผลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาพื้นฐานของกลไกการดูดติดของน้ำมันบนผิวตัวกลาง หัวข้อ 4.3 เป็นผลการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชัน เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ หัวข้อ 4.4 เป็นผลการทดลองที่ใช้น้ำเสียจากโรงงานต่าง ๆ และหัวข้อ 4.5 เป็นผลการทดลองการประยุกต์ใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ในการกำจัดความขุ่น

#### 4.2 การศึกษาพื้นฐานของกลไกการดูดติดของน้ำมันบนผิวตัวกลาง

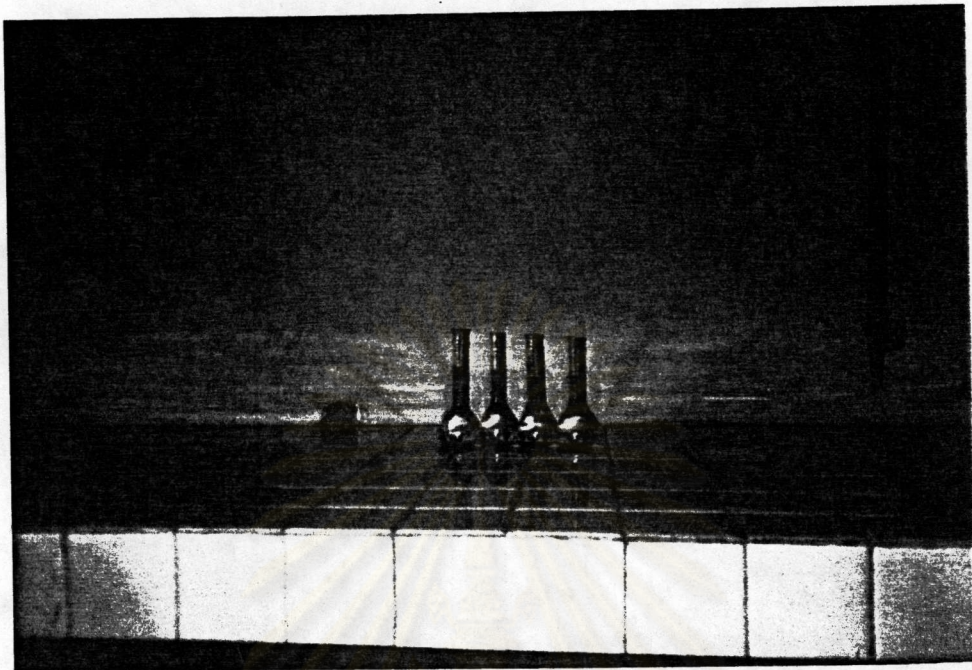
กลไกการดูดติดของน้ำมันบนผิวตัวกลางชนิดต่าง ๆ โดยใช้กล้องถ่ายภาพและกล้องจุลทรรศน์ ได้ผลดังแสดงในภาพ 4.1 - 4.6

ภาพ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่า การจับน้ำมันของตัวกลางชนิดต่าง ๆ เมื่อตัวกลางมีลักษณะสมบัติเปียกได้ด้วยวิฎภาคกระจาย (น้ำมัน) จะจับน้ำมันได้ดีกว่าตัวกลางที่มีลักษณะสมบัติเปียกได้ด้วยวิฎภาคต่อเนื่อง (น้ำ)

ภาพ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การดูดติดของน้ำมันบนผิวทรายที่เปียกน้ำจะมีมุมสัมผัสมากกว่า  $90^\circ$  ( $\theta_{dc} > 90^\circ$ )

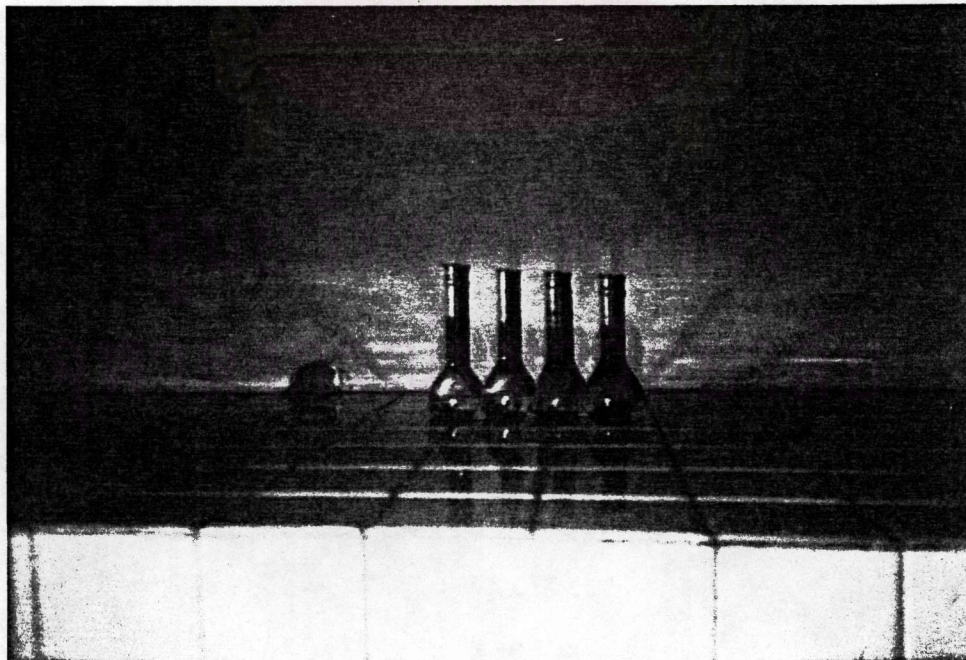
ภาพ 4.4 แสดงให้เห็นว่า การดูดติดของน้ำมันบนผิวทรายที่ไม่เปียกน้ำจะมีมุมสัมผัสน้อยกว่า  $90^\circ$  ( $\theta_{dc} < 90^\circ$ )

ภาพ 4.5 และภาพ 4.6 แสดงให้เห็นว่า การดูดติดของ Oleophilic Resin ชนิดที่เคลือบผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวมีมุมสัมผัสน้อยกว่า  $90^\circ$  ( $\theta_{dc} < 90^\circ$ ) และ Oleophilic Resin ที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวมีมุมสัมผัสมากกว่า  $90^\circ$  ( $\theta_{dc} > 90^\circ$ )



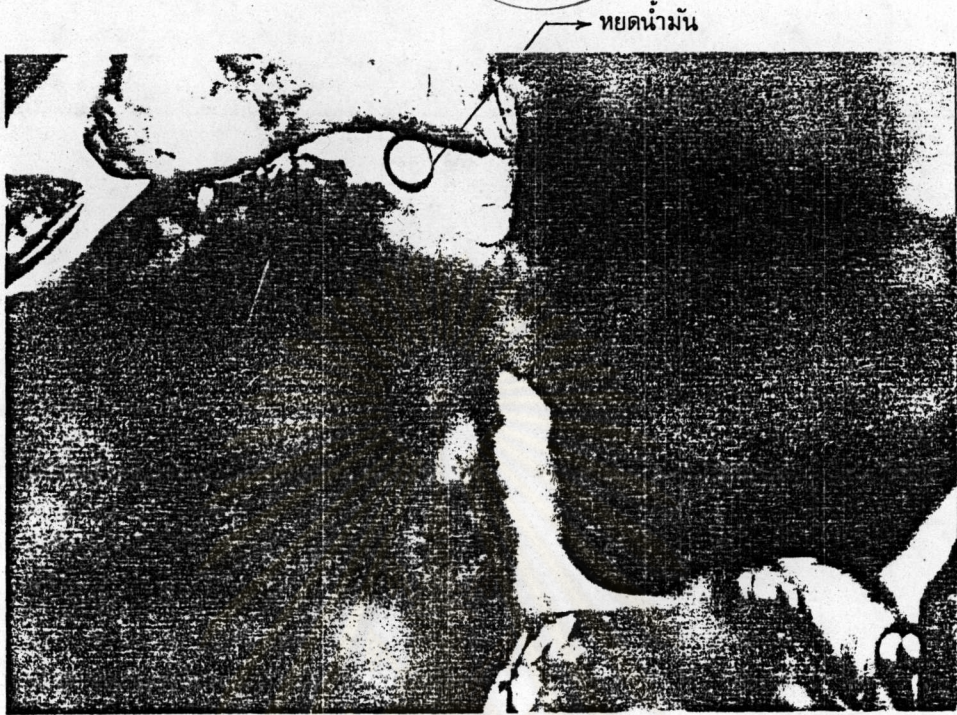
1. ทราวยเปียกน้ำ 2. ทราวยเปียกน้ำมัน 3. Cation Resin 4. Oleophilic Resin

ภาพ 4.1 ลักษณะตัวกลางก่อนเขย่าขวด



1. ทราวยเปียกน้ำ 2. ทราวยเปียกน้ำมัน 3. Cation Resin 4. Oleophilic Resin

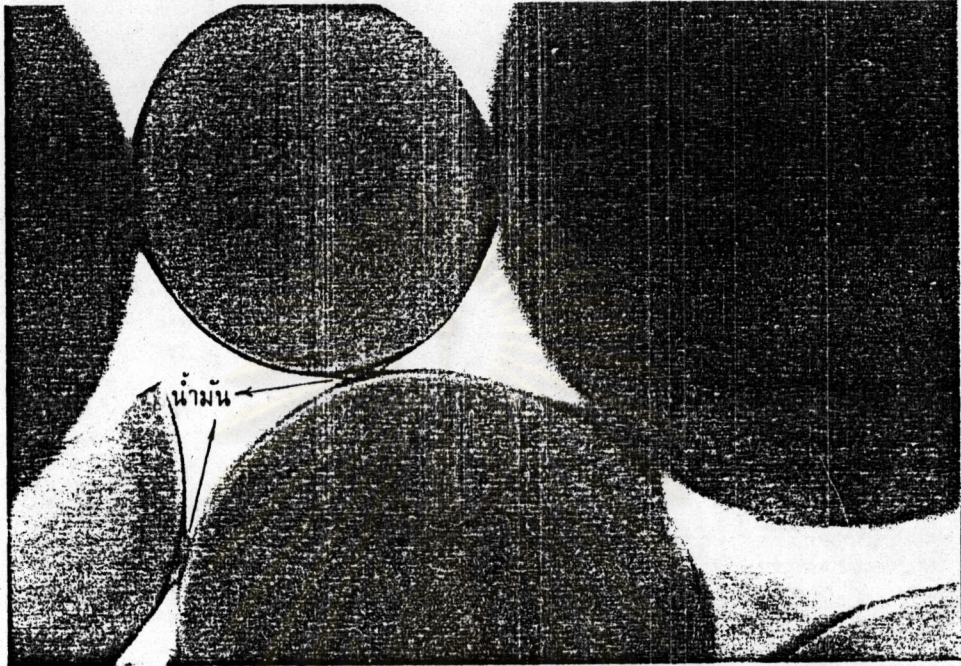
ภาพ 4.2 ลักษณะตัวกลางหลังเขย่าขวดและปล่อยให้ตั้งไว้ 10 นาที



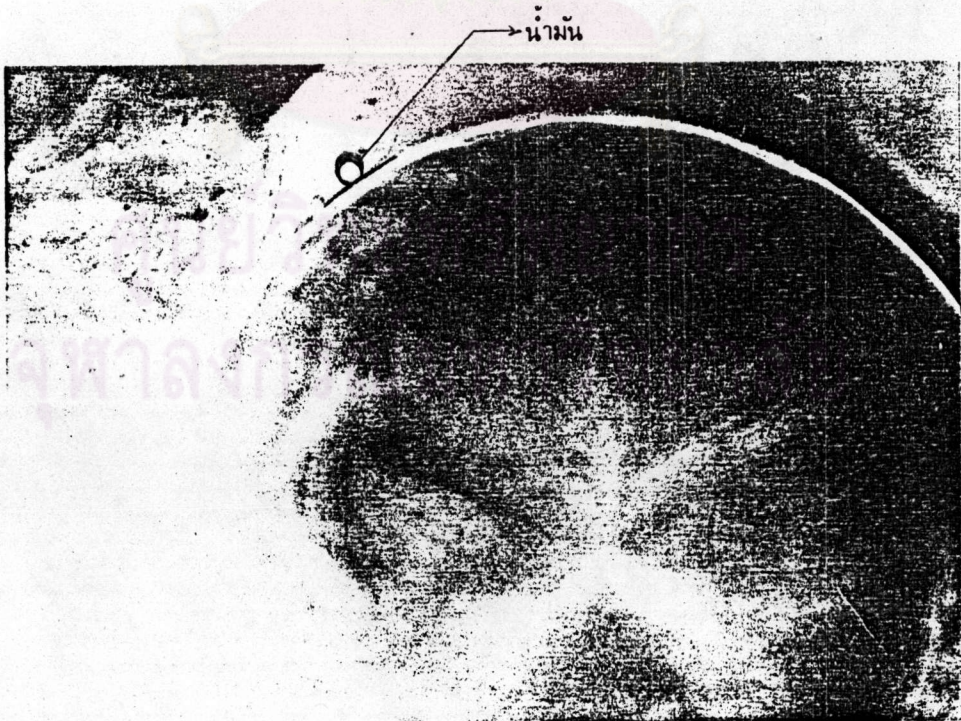
ภาพ 4.3 การดูดติดของน้ำมันบนผิวทรายที่เปียกน้ำ



ภาพ 4.4 การดูดติดของน้ำมันบนผิวทรายที่ไม่เปียกน้ำ



ภาพ 4.5 การดูดติดของน้ำมันบนผิว Oleophilic Resin ที่เคลือบผิวด้วยสารแรงดึงผิว



ภาพ 4.6 การดูดติดของน้ำมันบนผิว Oleophilic Resin ไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารลดแรงดึงผิว

ผลการทดลองการตรวจสอบ การดูดติดของตัวกลางชนิดต่าง ๆ ในภาพ 4.1 และภาพ 4.2 สอดคล้องกับสมการ (2.4) ดังนี้

$$W_{adh} (sd)_c = (1 + \cos \theta_{dc}) \gamma_{dc}$$

นั่นคือ พลังงานแอดฮีชันระหว่างน้ำมันกับตัวกลาง จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมสัมผัสลดลง เพราะว่า ค่า  $\cos \theta_{dc}$  จะมีค่ามากขึ้นเมื่อมุมสัมผัส ( $\theta_{dc}$ ) ลดลง ดังนั้นงานแอดฮีชันของตัวกลางที่เปียกได้ด้วยวิทยาศาสตร์กระจายจะมีค่ามากกว่า งานแอดฮีชันของตัวกลางที่เปียกได้ด้วยวิทยาศาสตร์ต่อเนื่อง จึงพบว่าตัวกลางที่เปียกได้ด้วยน้ำมันจะดูดจับน้ำมันได้ดีกว่าตัวกลางที่เปียกน้ำ

ภาพ 4.3-4.6 นอกจากจะแสดงให้เห็นมุมสัมผัสของตัวกลางแต่ละชนิดยังแสดงให้เห็นว่า สำหรับตัวกลางที่เปียกน้ำ น้ำมันจะถูกจับและค้างอยู่ระหว่างช่องว่างของตัวกลาง ส่วนตัวกลางที่เปียกน้ำมัน น้ำมันจะเคลือบผิวตัวกลาง นั่นคือ ระหว่างผิวตัวกลางกับน้ำมันไม่มีแผ่นฟิล์มของน้ำแทรกอยู่

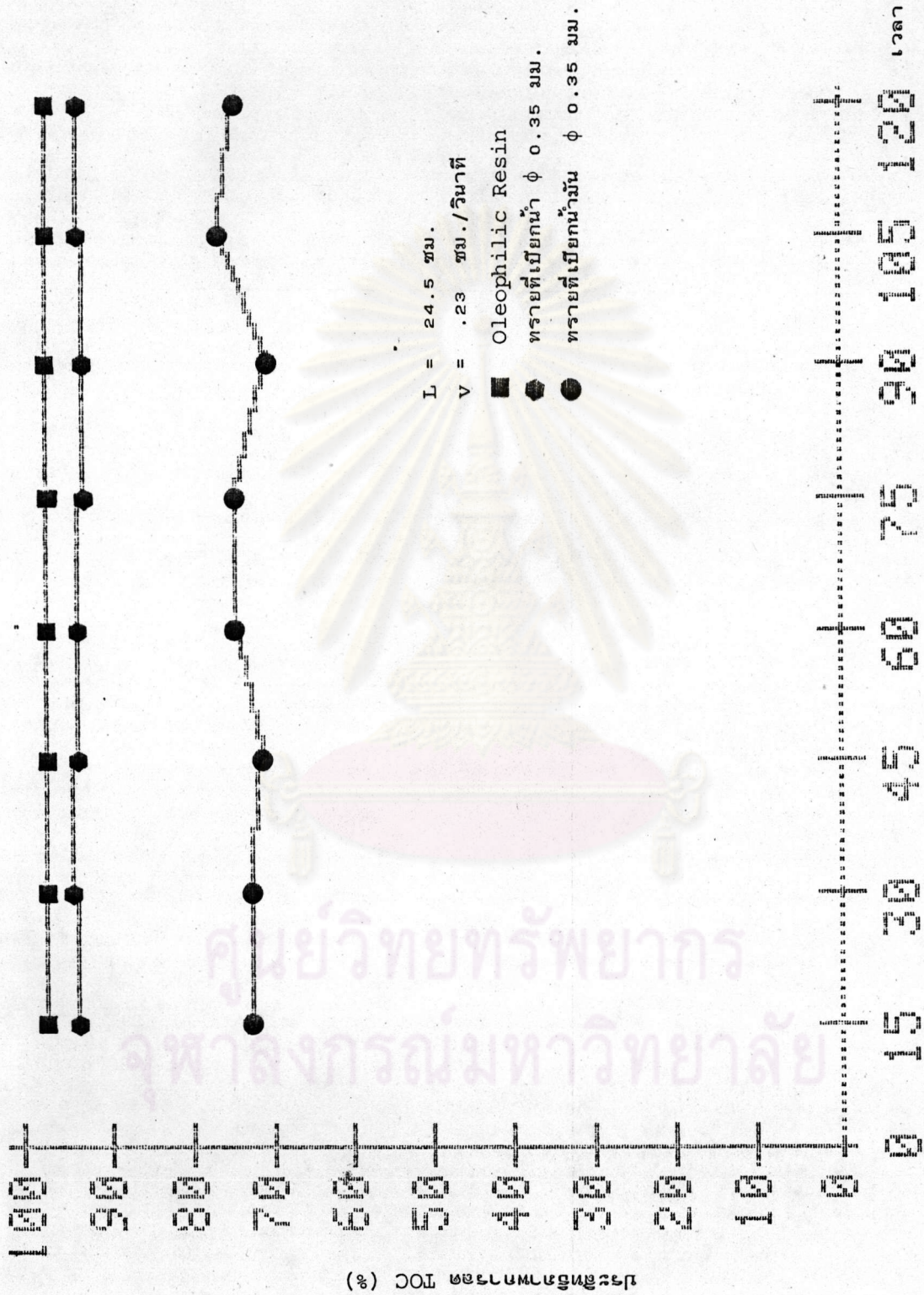
#### 4.3 การศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

การศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในภาพ 4.7-4.23

##### 4.3.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวกลางชนิดต่าง ๆ

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวกลางชนิดต่าง ๆ ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรง และเปลี่ยนชนิดของตัวกลาง ได้แก่ ทรายที่เปียกน้ำและทรายที่เปียกน้ำมันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 มม. และ Oleophilic Resin ในการทดลองนี้ได้ใช้ความลึกของชั้นตัวกลาง 24.5 ซม. และอัตราการกรอง 8.28 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ ตารางที่ 1, 3 และ 5

ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงกับเวลา โดยใช้ตัวกลางทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้ตัวกลางที่เป็นทรายมี



ภาพ 4.7 ประสิทธิภาพการลด TOC ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ลักษณะสมบัติเปียกได้ด้วยวิถีภาคต่อเนื่อง (น้ำ) มีประสิทธิภาพในการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงได้ดีกว่าทรายที่มีลักษณะสมบัติเปียกได้ด้วยวิถีภาคกระจาย (น้ำมัน) คือ ทรายที่เปียกน้ำมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 94 และทรายที่เปียกน้ำมันมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 73 ส่วน Oleophilic Resin มีประสิทธิภาพดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 98 เนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Oleophilic Resin ไม่เท่ากับตัวกลางที่เปียกน้ำและตัวกลางที่เปียกน้ำมัน ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของ Oleophilic Resin กับตัวกลางที่เปียกน้ำและตัวกลางที่เปียกน้ำมัน เพียงแต่สามารถเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวกลางทั้งสามชนิดได้ โดยการเปรียบเทียบค่าครุชนิการกรอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ทรายที่เปียกน้ำมีค่าครุชนิการกรองเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0049 สรุปได้ว่าตัวกลางชนิดนี้มีความเหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าครุชนิการกรองเฉลี่ยของตัวกลางทั้งสามชนิด

การทดลองที่	ชนิดของตัวกลาง	ความลึก (ซม.)	ขนาด (มม.)	อัตราการกรอง (ลบ.ม/ตรม/ชม)	$\bar{F}^*$
1	ทรายที่เปียกน้ำ	24.5	0.35	8.28	0.0049
3	ทรายเปียกน้ำมัน	24.5	0.35	8.28	0.0099
5	Oleophilic Resin	24.5	0.05-0.10	8.28	0.0090

$\bar{F}^*$  หมายถึง ค่าครุชนิการกรองเฉลี่ย

ผลการทดลองการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวกลางทั้งสามชนิดในการสกัดกั้นอิมัลชันตรง ในภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงของทรายที่เปียกน้ำมีค่าดีกว่าทรายที่เปียกน้ำมัน อธิบายได้ดังนี้ เมื่อใช้ทรายที่เปียกน้ำมุมสัมผัสระหว่างน้ำมันกับตัวกลางจะมีค่ามากกว่า  $90^\circ$  (ค่าโคไซน์ (cosine) ของมุมสัมผัสจะเป็นลบ) และมุมสัมผัสระหว่างน้ำมันกับตัวกลางจะมีค่าน้อยกว่า  $90^\circ$  (ค่าโคไซน์ของมุมสัมผัสเป็นบวก) จากการคำนวณความดันคาปิลลารี ดังสมการ (2.6)

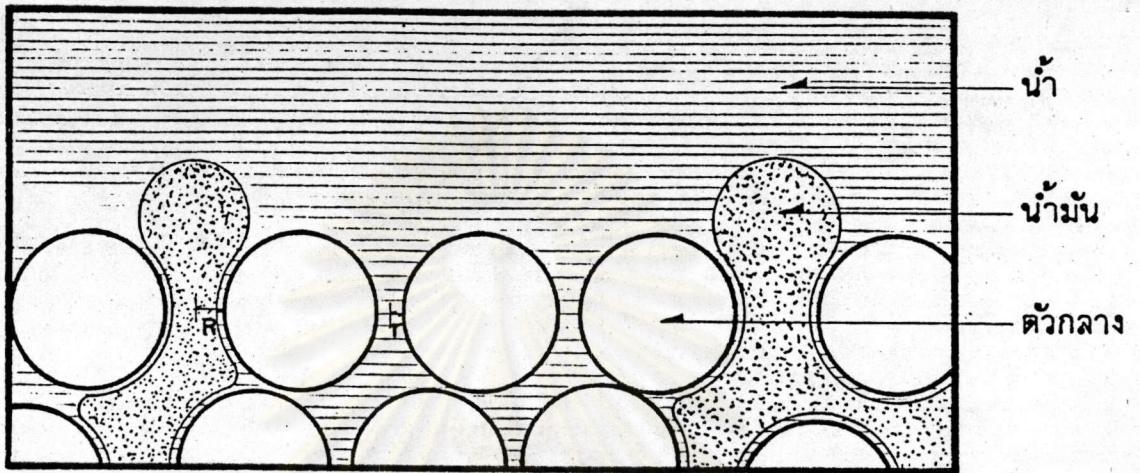
$$P_c = \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad (2.6)$$

จะพบว่า ความดันคาปิลลารีของน้ำมันจะมีค่าลบ (negative) ทั้งนี้เพราะว่า ค่าโคซายของมุมสัมผัสของน้ำมันกับตัวกลางมีค่าลบ และความดันคาปิลลารีของน้ำจะมีค่าบวก (positive) ทั้งนี้เพราะว่า ค่าโคซายของมุมสัมผัสของน้ำกับตัวกลางมีค่าบวก จากภาพที่ 4.8 แสดงความดันคาปิลลารีในชั้นตัวกลาง จะสังเกตเห็นช่องว่างที่อยู่ระหว่างตัวกลางมีทั้งช่องเล็กและช่องใหญ่ จากค่าความดันคาปิลลารีของน้ำมันเป็นลบ ดังนั้นยิ่งช่องใหญ่ความดันคาปิลลารียิ่งมาก น้ำมันจึงไหลผ่านช่องใหญ่ ในทางกลับกันน้ำจะไหลผ่านช่องเล็กเนื่องจากค่าความดันคาปิลลารีของน้ำเป็นบวก ความดันคาปิลลารีของน้ำจะเกิดที่ช่องเล็กมากกว่าช่องใหญ่ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรง การที่น้ำไหลผ่านช่องเล็กทำให้อนุภาคอิมัลชันตรงที่อยู่ในน้ำมีโอกาสสัมผัสตัวกลางมากยิ่งขึ้น และโอกาสที่อนุภาคอิมัลชันตรงจะถูกสกัดกั้นก็มีมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงของตัวกลางนั้นมีค่าสูง

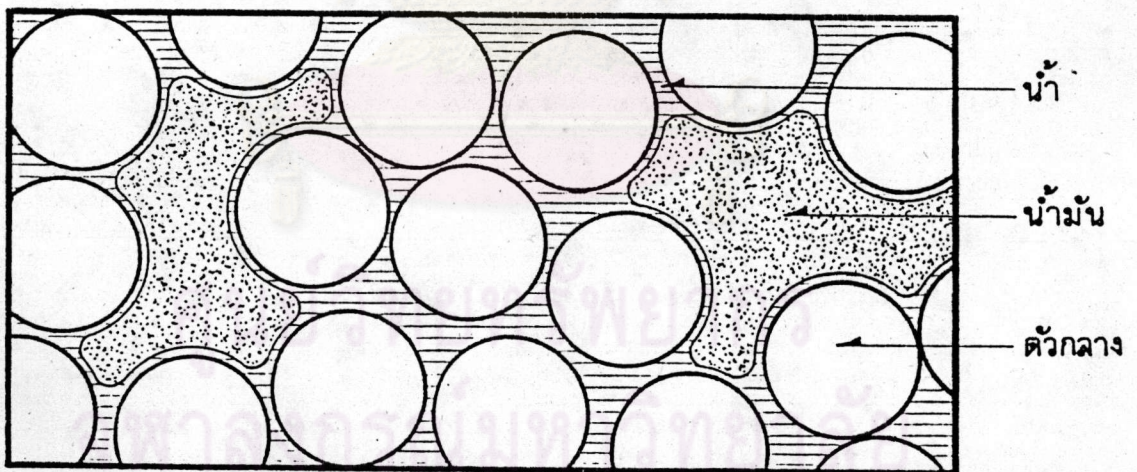
นอกจากนี้ลักษณะการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงของตัวกลางที่เปียกน้ำ มีลักษณะคล้ายกับว่าอนุภาคอิมัลชันตรงวางอยู่บนผิวหน้าของตัวกลาง และเกิดการรวมตัวกันเป็นหยดน้ำมันใหญ่ขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.9 จากลักษณะการเกิดหยดน้ำมันบนผิวหน้าของตัวกลาง ทำให้เกิดการส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรงขึ้นสอง โดยหยดน้ำมันที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลาง และเกิดการปะทะกับอนุภาคอิมัลชันตรงที่ไหลมากับน้ำ ส่วนตัวกลางที่เปียกน้ำมันจะไม่เกิดปรากฏการณ์อย่างนี้ แต่จะเกิดแผ่นฟิล์มของน้ำมันหุ้มขอบผิวตัวกลาง จากผลทั้งสองประการนี้สรุปได้ว่า ตัวกลางที่เปียกได้ด้วยวัฏภาคต่อเนื่อง (น้ำ) มีประสิทธิภาพในการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงดีกว่าตัวกลางที่เปียกได้ด้วยวัฏภาคกระจาย (น้ำมัน)

ภาพ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียแรงดันหัวน้ำกับ เวลาของตัวกลางทั้งสามชนิดพบว่า ทราयीที่เปียกน้ำมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากกว่าทราयीที่เปียกน้ำมัน คือ ทราयीที่เปียกน้ำมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำเท่ากับ 56 มม.ปรอท และทราयीที่เปียกน้ำมันมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำเท่ากับ 28 มม.ปรอท ส่วน Oleophilic Resin มีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากที่สุด เท่ากับ 236 มม.ปรอท เนื่องจาก Oleophilic Resin มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าตัวกลางที่เปียกน้ำ และตัวกลางที่เปียกน้ำมัน ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวกลางชนิดนี้กับตัวกลางอีกสองชนิด



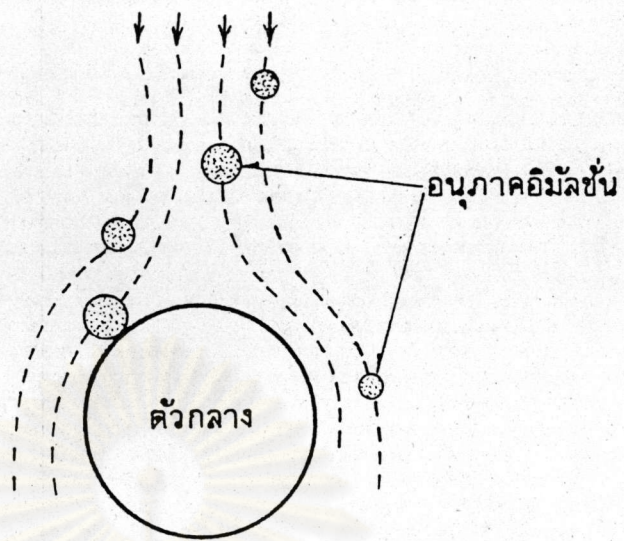


แสดงความดันค้ำปิลลารีในชั้นตัวกลาง

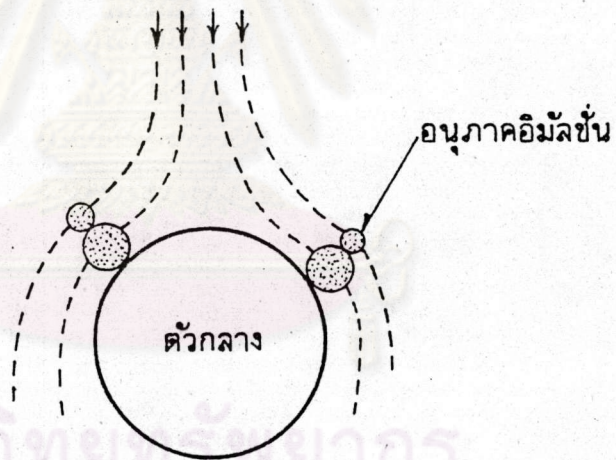


แสดงรูปแบบเปลี่ยน ลักษณะการติดค้ำของ  
ของน้ำมันในชั้นตัวกลาง

ภาพ 4.8 แสดงความดันค้ำปิลลารีในชั้นตัวกลางที่เบี่ยงกรกฎาคต่อเนื่อง (น้ำ)

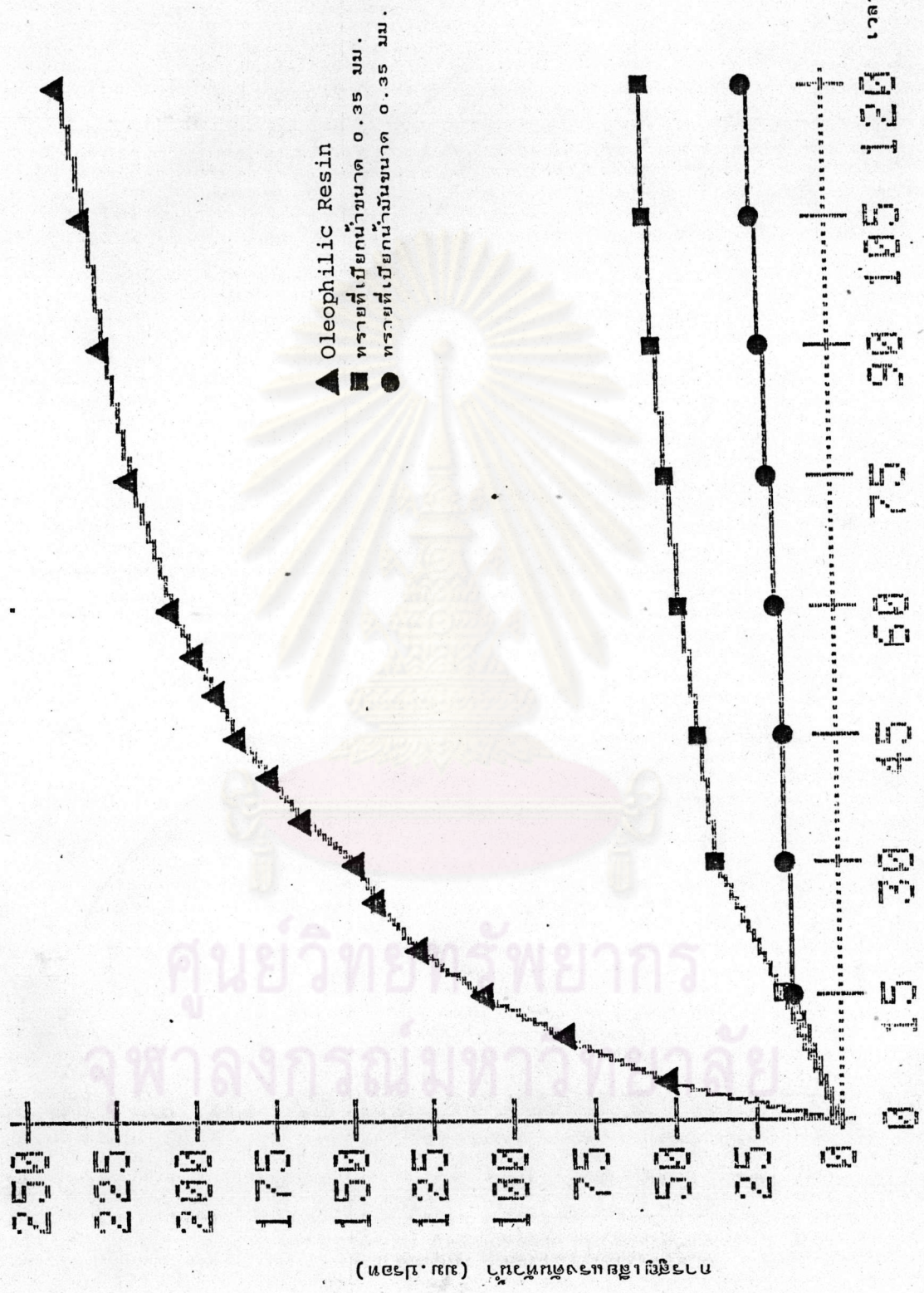


ก. การปะทะโดยตรงชั้นแรก



ข. การปะทะโดยตรงชั้นสอง

ภาพ ๔.๔ ลักษณะการส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรงชั้นสอง ของตัวกลางที่เปียก  
 ภูมิภาคต่อเนื่อง (น้ำ)



ภาพ 4.10 การสูญเสียแรงดันหัวของน้ำเสีย เคาราที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยการพยาบาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

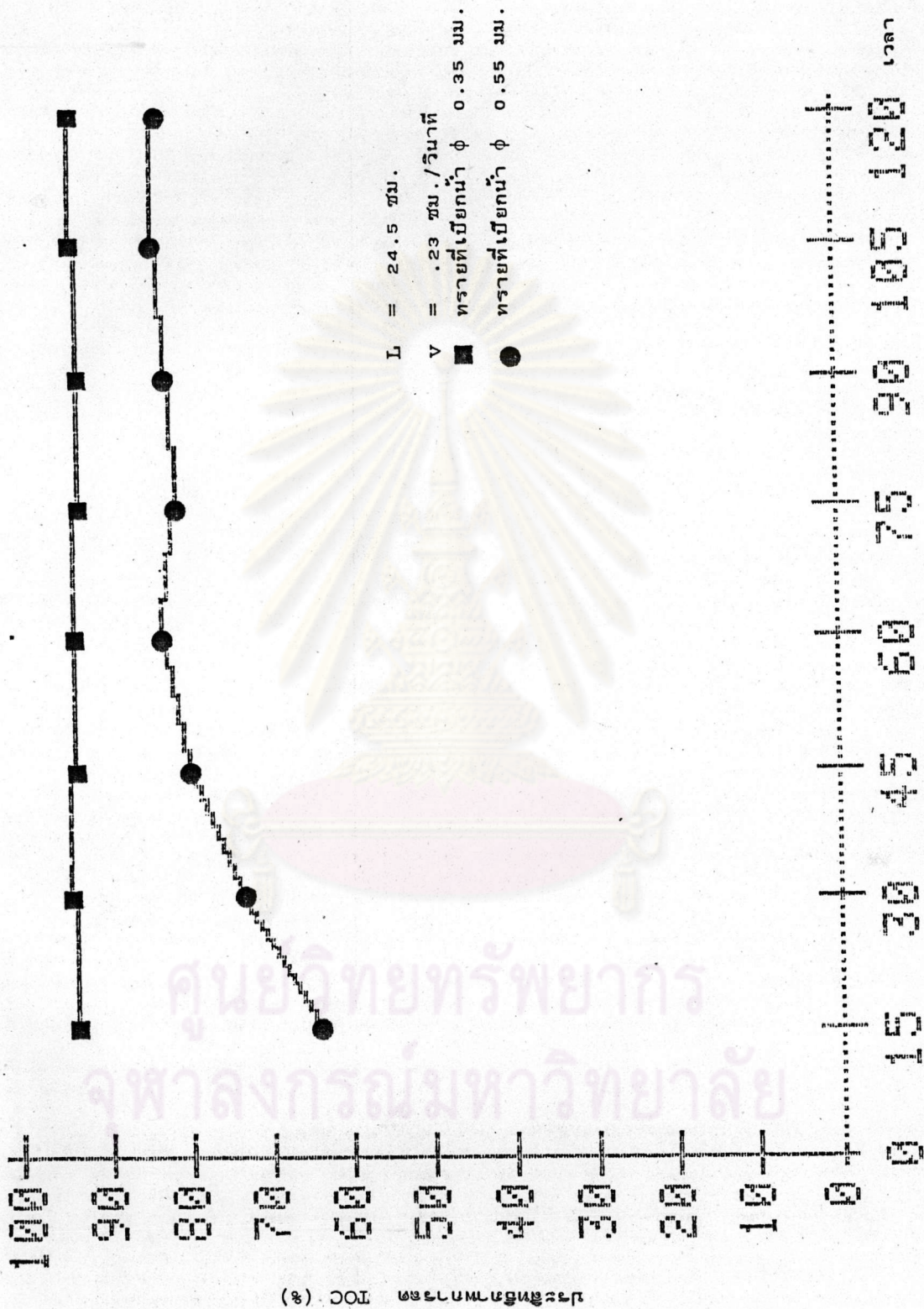
ผลการทดลองการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของตัวกลางทั้งสามชนิด จากความดันกะบิลลารีของน้ำและน้ำมันที่อยู่ภายในชั้นของตัวกลางที่เบี่ยงน้ำ ทราบว่า น้ำจะไหลผ่านช่องเล็ก และน้ำมันจะไหลผ่านช่องใหญ่ เมื่อพิจารณาตลอดทั้งชั้นของตัวกลางจึงเปรียบเทียบเสมือนว่า น้ำจะไหลผ่านตามช่องเล็กตลอดทุก ๆ หน้าตัด (cross section) ของชั้นตัวกลาง และน้ำมันจะไหลผ่านตามช่องใหญ่ตลอดทุก ๆ หน้าตัดของชั้นตัวกลาง และถ้าใช้ชั้นตัวกลางเป็นทรายที่เบี่ยงน้ำมัน จากค่าความดันกะบิลลารีจะทราบว่า น้ำจะไหลผ่านช่องใหญ่ และน้ำมันจะไหลผ่านช่องเล็ก ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบปรากฏการณ์นี้กับการไหลของน้ำภายในท่อ อาจสมมุติว่าช่องเล็กที่เป็นทางน้ำไหล เปรียบเสมือนกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (tube, pipe) จากความสัมพันธ์ของการสูญเสียแรงดันหัวน้ำกับขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแสดงให้เห็นว่า ที่อัตราการไหลคงที่ การสูญเสียแรงดันหัวน้ำแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ เพราะฉะนั้น การใช้ตัวกลางที่เบี่ยงน้ำสำหรับสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรง จะมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากกว่าการใช้ตัวกลางที่เบี่ยงน้ำมัน

#### 4.3.2 อิทธิพลของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลางที่มีต่อเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรง เพื่อหาประสิทธิภาพการสกัดกั้นอิมัลชันตรง และการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของทรายที่เบี่ยงน้ำและทรายที่เบี่ยงน้ำมัน โดยใช้ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 มม. และ 0.55 มม. ทั้งสองตัวกลางที่ความลึกของชั้นตัวกลาง 24.5 ซม. และอัตราการกรอง 8.28 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ ตารางที่ 1 ถึง 4

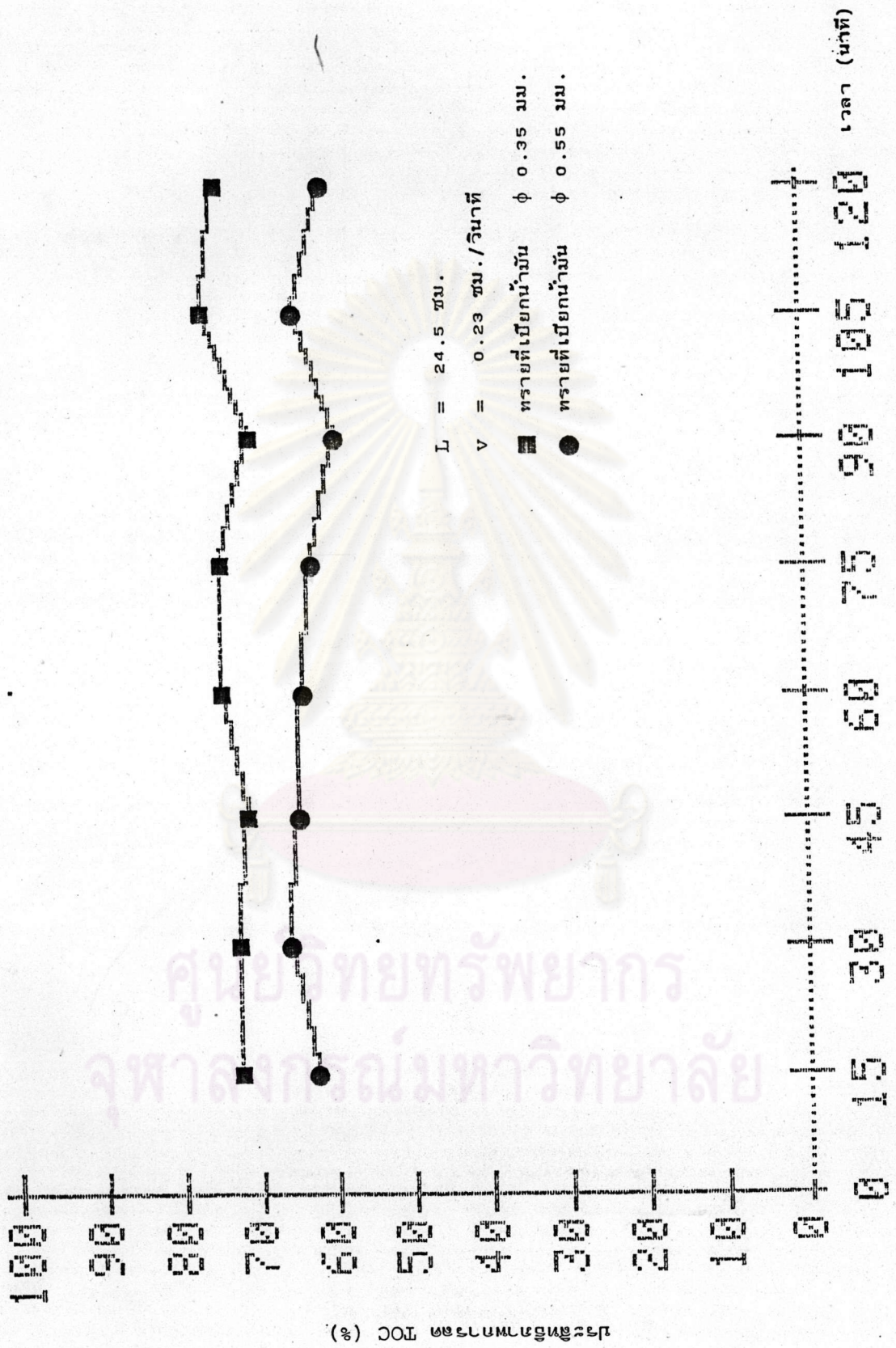
ภาพที่ 4.11-4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงกับ เวลาของตัวกลางที่เบี่ยงน้ำ และตัวกลางที่เบี่ยงน้ำมัน ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 มม. และ 0.55 มม. จะเห็นว่า ตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะมีประสิทธิภาพในการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงดีกว่า ตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ เป็นเช่นนี้ไม่ว่าจะเป็นตัวกลางที่เบี่ยงน้ำ หรือน้ำมัน

ผลการทดลอง อิทธิพลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลางต่อประสิทธิภาพการสกัดกั้นอิมัลชันตรง ในภาพที่ 4.11-4.12 สอดคล้องกับทฤษฎีการกรองน้ำ กล่าวคือ ประสิทธิภาพของเครื่องกรองหาได้จากสมการ 2.15



ภาพ 4.11 ประสิทธิภาพการลด TOC ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพ 4.12 ประสิทธิภาพการลด TOC ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพการลด TOC (%)

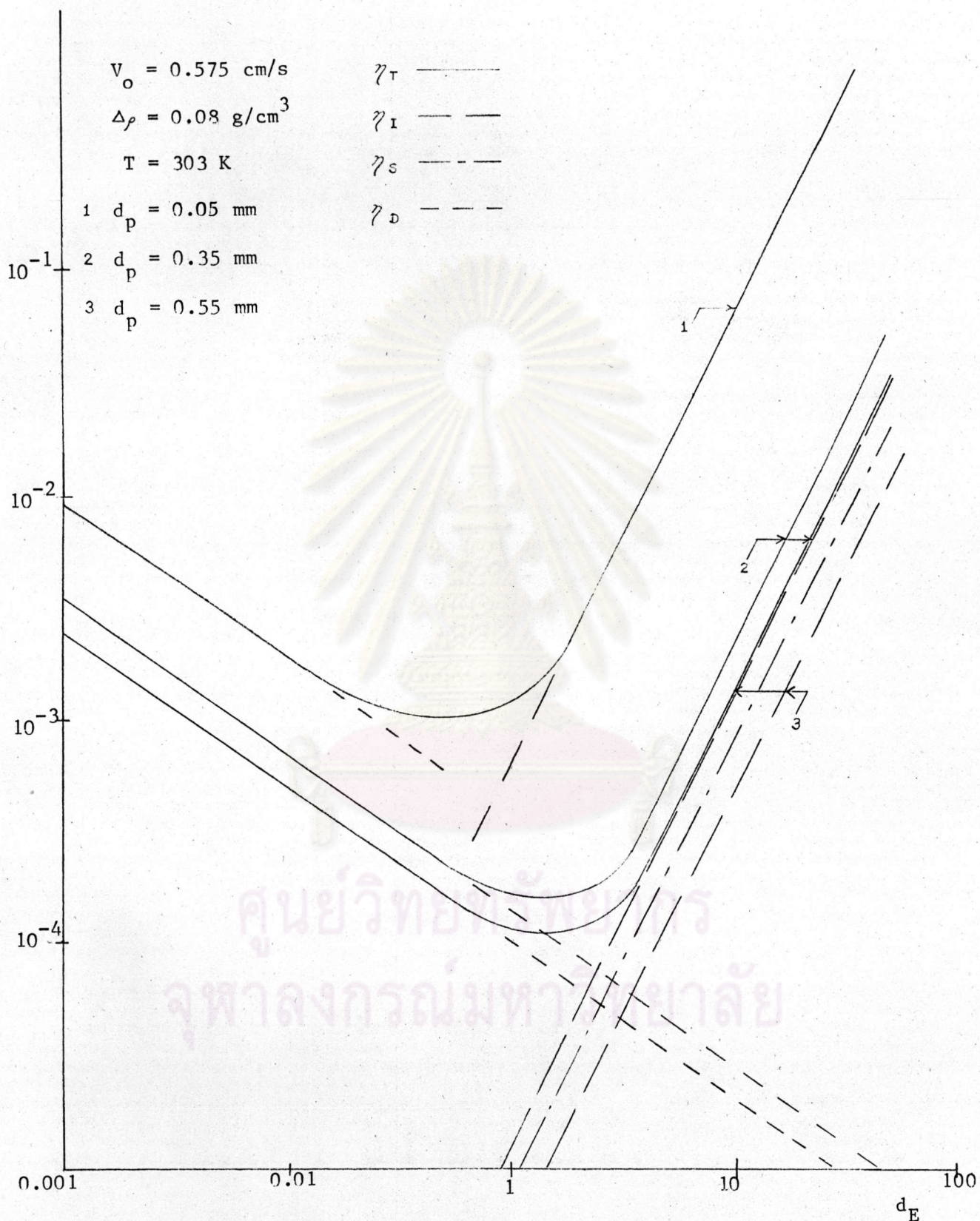
$$\ln \frac{c_s}{c_o} = -\frac{3}{2} (1-\epsilon) \eta_T \frac{H}{d_p}$$

นั่นคือ เมื่อค่า  $d_p$  เพิ่มขึ้นค่า  $c_s/c_o$  จะเพิ่มตาม ดังนั้นประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงจะลดลง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการส่งถ่ายของอนุภาคอิมัลชันเข้าสัมผัสตัวกลาง กลไกสำคัญที่สุดสำหรับอนุภาคอิมัลชันอยู่ในช่วง 4-20 ไมครอน คือ กลไกการส่งถ่ายแบบปะทะโดยตรง (direct interception) ซึ่งประสิทธิภาพของการส่งถ่ายนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชันกับตัวกลาง ดังสมการ (2.10)

$$\eta_I = \frac{3}{2} \left[ \frac{d_E}{d_p} \right]^2$$

นั่นคือ ประสิทธิภาพการส่งถ่ายจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่า  $d_p$  ลดลง และเมื่อค่า  $\eta_I$  เพิ่มมากขึ้น ค่า  $c_s/c_o$  จะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า ตัวกลางที่มีขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันได้ดีกว่าตัวกลางที่มีขนาดใหญ่

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการส่งถ่ายทางด้านทฤษฎี โดยกำหนดให้ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรง มี  $\Delta\rho = 0.08$  ก./ตร.ซม. ความเร็วในการกรอง 0.23 ซม./วินาที น้ำมีความหนืด  $1 \times 10^{-3}$  กก./ม.วินาที ของตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05, 0.35, 0.55 มม. จะสามารถแสดงได้ภาพ 4.13 ซึ่งแสดงผลการคำนวณ  $\eta_I$ ,  $\eta_d$ ,  $\eta_s$  และ  $\eta_T$  พบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชัน ( $d_E$ ) ประมาณ 1 ไมครอน ปรากฏการณ์การส่งถ่ายแบบแพร่กระจายจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์มากที่สุด และเมื่อ  $d_E$  มีมากกว่า 1 ไมครอน ปรากฏการณ์ที่สำคัญจะเป็นการส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรง สำหรับการทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรง ซึ่งมี  $d_E$  อยู่ระหว่าง 4-20 ไมครอน ปรากฏการณ์การส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรง จะมีผลต่อประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์มากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดเส้น



ภาพ 4.13 แสดงประสิทธิภาพทางสิ่งถ่ายอนุภาคของ วัฏภาคกระจายเข้าสัมผัสผิวกลาง เทียบกับ  
 ขนาดของอนุภาคอีมีลชัน



ผ่าศูนย์กลางของตัวกลาง ( $d_p$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพการส่งถ่ายจะพบว่า สำหรับตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะมีประสิทธิภาพการส่งถ่ายดีกว่าตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ และในกรณีนี้ที่  $d_p$  มีค่าต่ำ ประสิทธิภาพการส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรงจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์มากที่สุด

ในการทดลองนี้เมื่อใช้ Oleophilic Resin มี  $\phi$  ประมาณ 0.05 มม. จะพบว่าประสิทธิภาพการสกัดกันอิมัลชันสูงกว่าตัวกลางชนิดอื่น ๆ ซึ่งมี  $d_p$  ใหญ่กว่า และเมื่อใช้ตัวกลางที่มี  $d_p$  เล็ก จะมีประสิทธิภาพการสกัดกันอิมัลชันสูงกว่าตัวกลางที่มี  $d_p$  ใหญ่กว่า

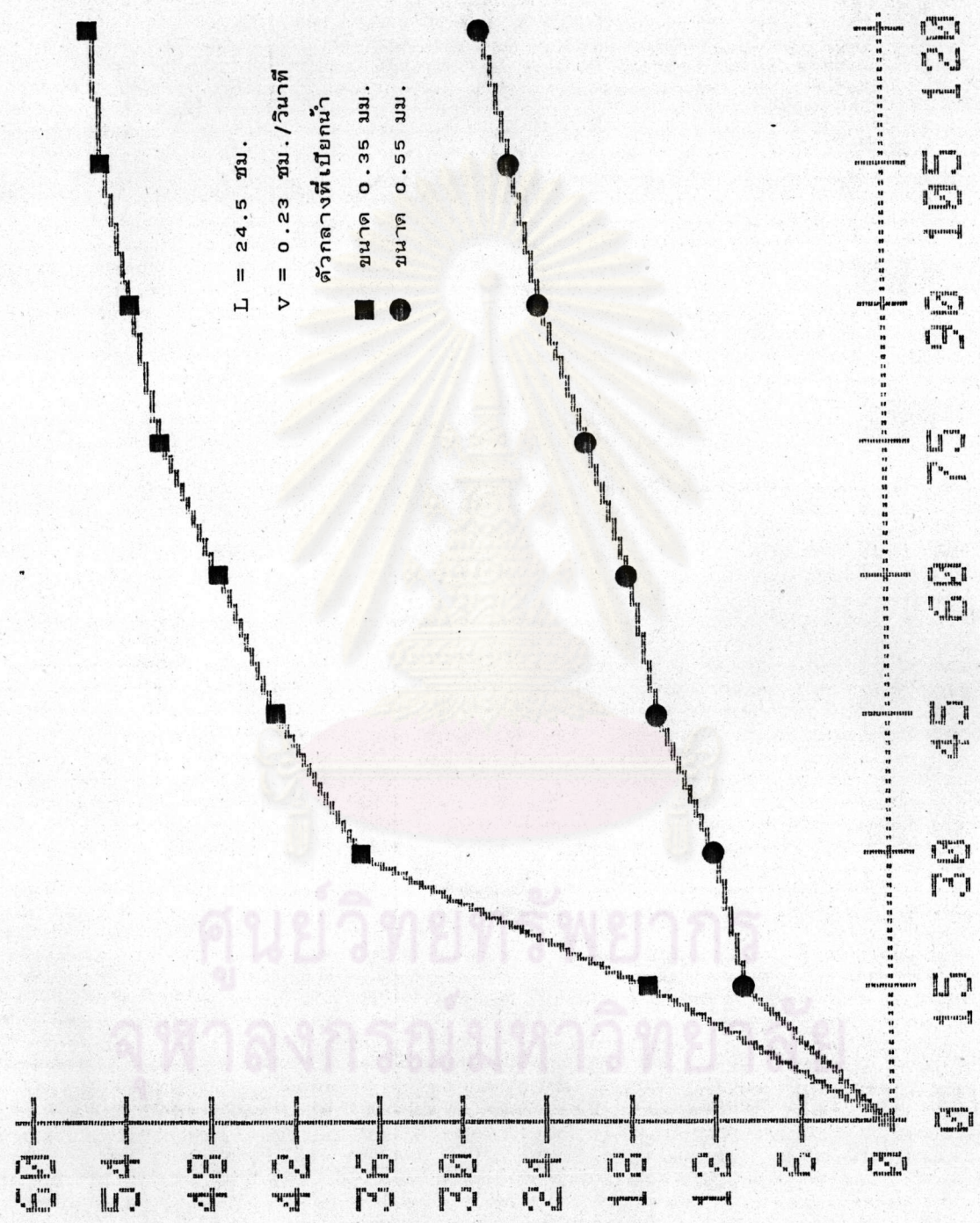
ภาพที่ 4.14-4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียแรงดันหัวน้ำกับเวลาของตัวกลางที่เปียกน้ำและตัวกลางที่เปียกน้ำมัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 มม. และ 0.55 มม. จะเห็นว่า ตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก จะมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากกว่า ตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ เป็นเช่นนี้ไม่ว่าจะเป็นตัวกลางที่เปียกน้ำหรือน้ำมัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับสมการของ KOZENY <sup>(16)</sup> ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ไว้ดังนี้ การสูญเสียแรงดันหัวน้ำแปรผกผันกับกำลังสองของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลาง ดังสมการข้างล่างนี้

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{36}{k\eta} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{v}{d^2}$$

โดยที่  $\Delta p$  = การสูญเสียแรงดันหัวน้ำ

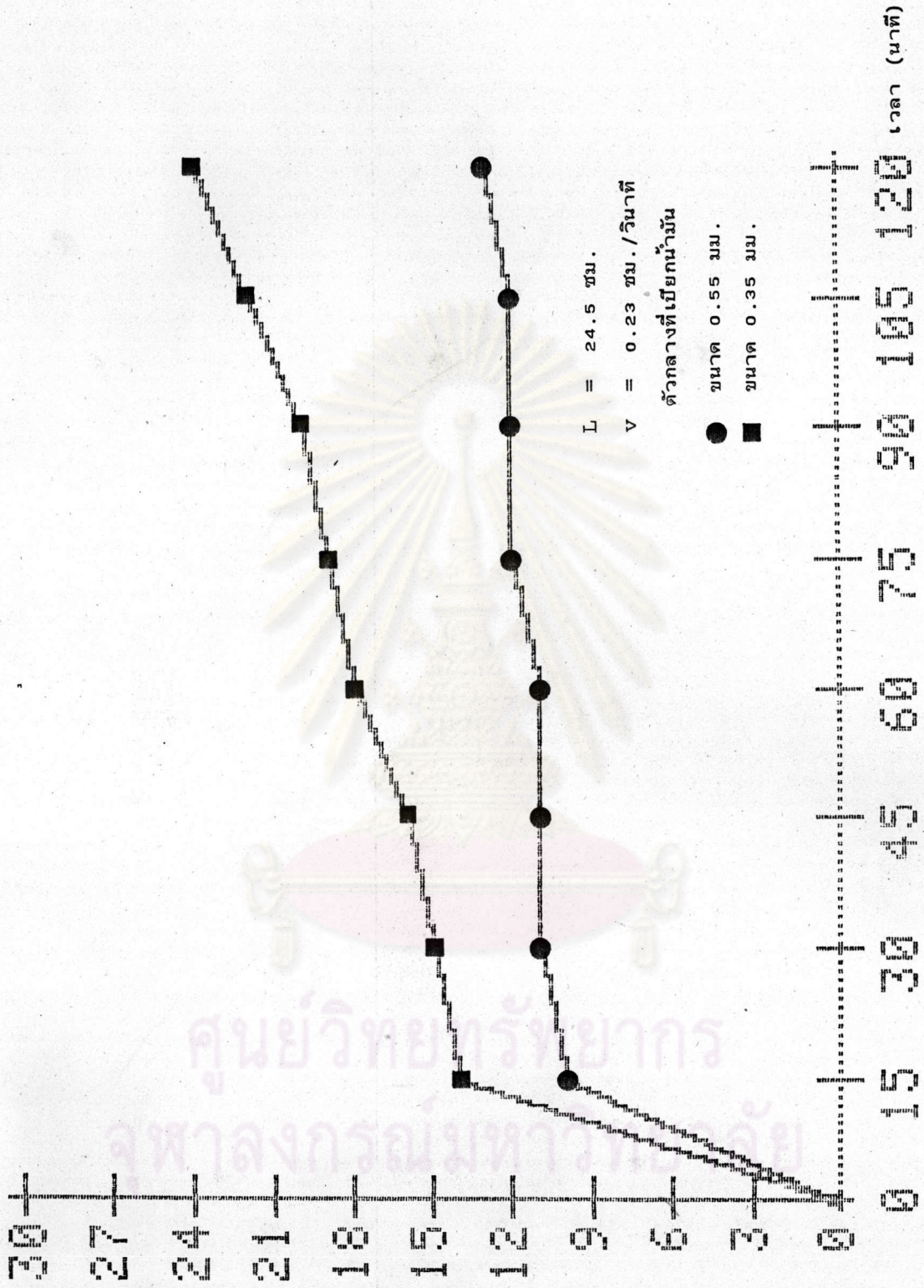
$d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลาง

$k$  = ค่าคงที่ = 0.5



ภาพ 4.14 การสูญเสียแรงดันหัวน้ำของน้ำเสียส่งเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

(เมตร. นาที) เครื่องหมายของแสง



ภาพ 4.15 การสูญเสียแรงดันหัวน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับ เวลา

(นตพ. ๒๕๕) เปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาค

ศูนย์วิทยุรังนก  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\eta$  = ความหนืดของวัสดุภาคต่อเนื่อง

$\epsilon$  = ความพรุน

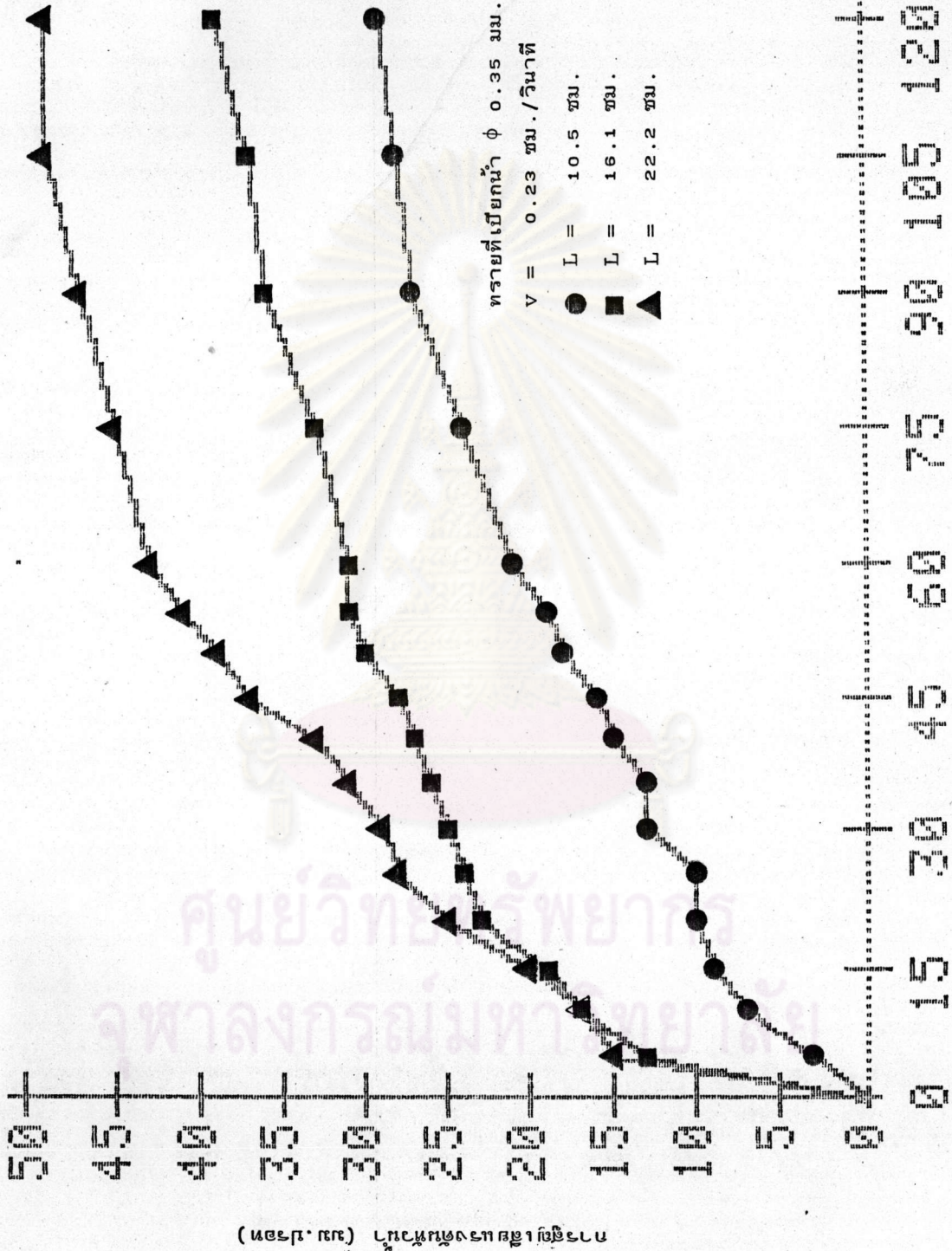
$v$  = อัตราเร็วในการกรอง

จากผลการทดลองความเหมาะสมของตัวกลางชนิดต่าง ๆ และอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกลาง พบว่า ทรายที่เปียกน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มม. เหมาะสมกว่าตัวกลางชนิดอื่นที่นำมาทดลอง สำหรับสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรงของน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนั้นจึงใช้ตัวกลางชนิดนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของความลึกของชั้นตัวกลางและอัตราการกรอง

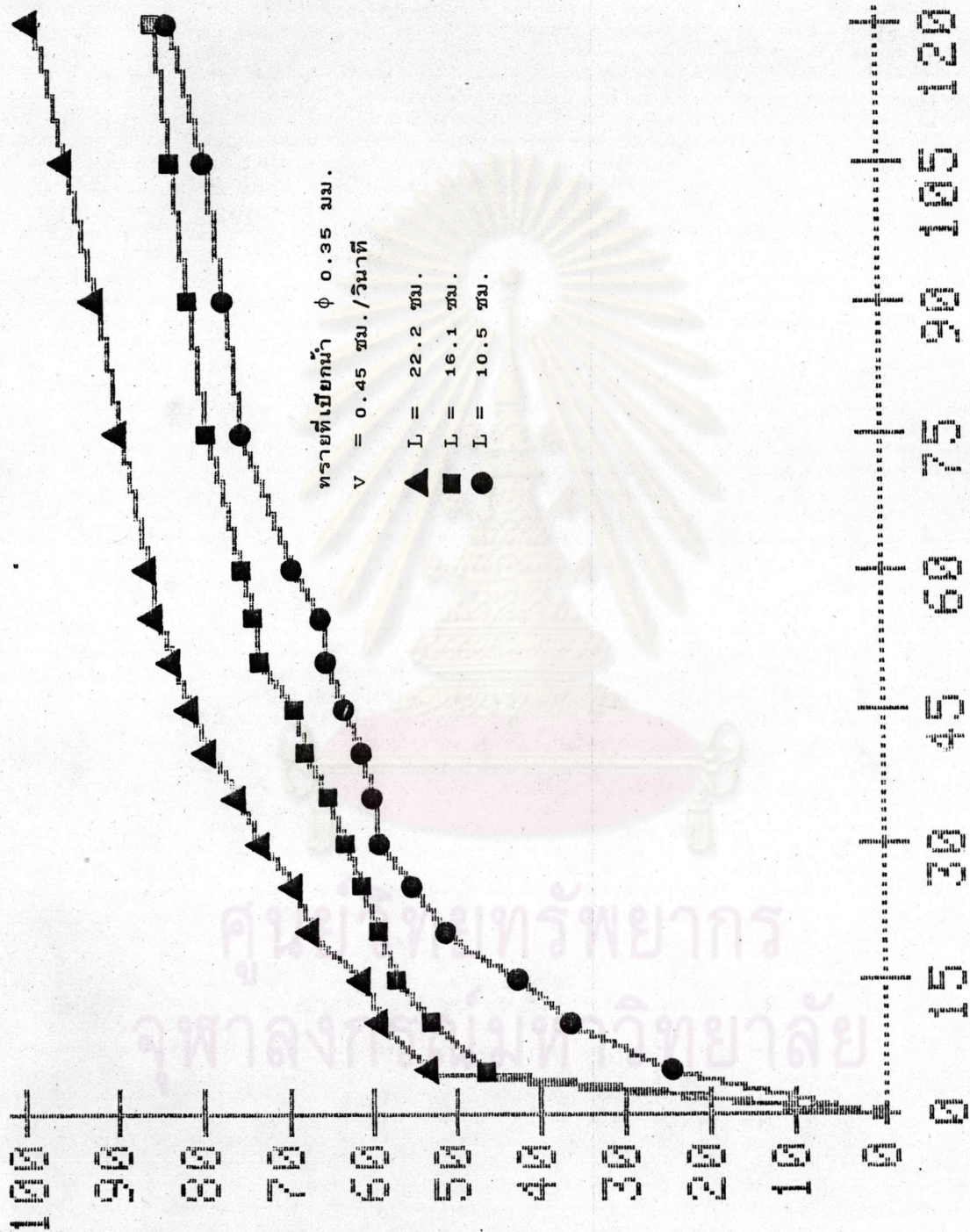
#### 4.3.3 อิทธิพลของความลึกและอัตราการกรอง

ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรง เพื่อหาประสิทธิภาพการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชันตรง และการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของทรายที่เปียกน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มม. โดยแปรค่าความลึกของชั้นตัวกลาง 10.5 16.1 22.2 ซม. ภายใต้อัตราการกรอง 8.28 16.2 23.26 ลบ.ม/ตร.ม-ชม ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ตารางที่ 6 ถึง 15

ภาพที่ 4.16-4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียแรงดันหัวน้ำกับเวลาที่ความลึก 10.5 16.1 22.2 ซม. ภายใต้อัตราการกรอง 8.28 16.2 23.26 ลบ.ม/ตร.ม-ชม จะเห็นว่าที่อัตราการกรองคงที่ชั้นตัวกลางที่มีความสูงน้อย จะมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำน้อยกว่าชั้นตัวกลางที่มีความสูงมาก ดังตารางที่ 4.2

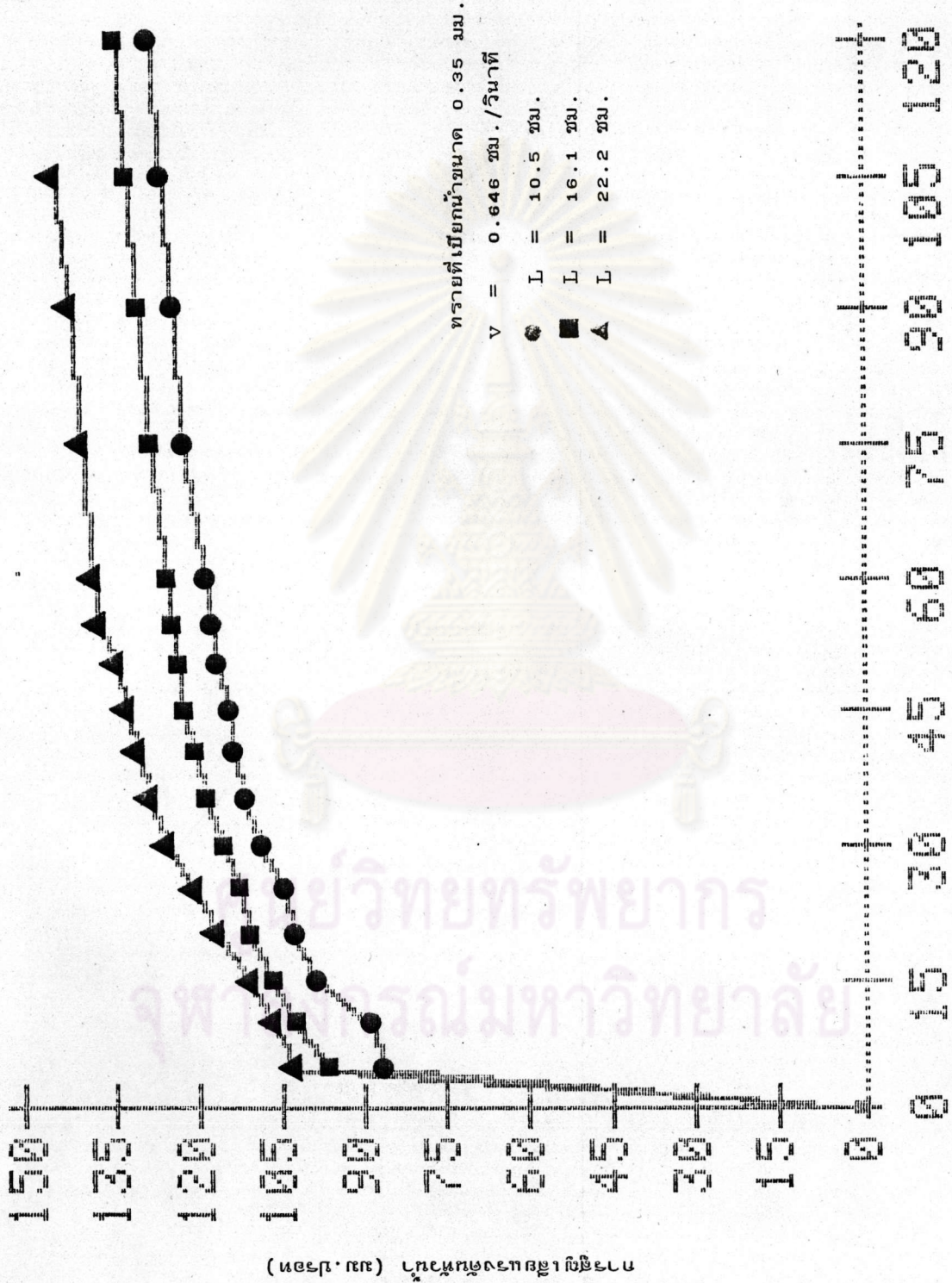


ภาพ 4.16 การสูญเสียแรงดันหัวน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา



(ต่อรูปที่ ๓) รูปแสดงกราฟการซึมของน้ำ

ภาพ 4.17 การสูญเสียแรงดันต้นท่อน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราการซึมโดยตรงเทียบกับเวลา



ภาพ 4.18 การสูญเสียแรงดันหัวของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของทรายที่เปียกหน้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

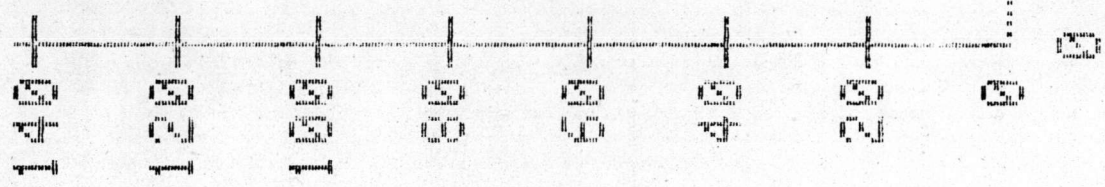
0.35 มม. ที่ความลึกของชั้นตัวกลางและอัตราการกรองต่าง ๆ

ความลึกของชั้นตัวกลาง (ซม.)	อัตราการกรอง (ลบ.ม/ตร.ม/ชม)	การสูญเสียแรงดันหัวน้ำ (มม.ปรอท)
10.5	8.28	21
16.1	8.28	31
22.2	8.28	43
10.5	16.20	69
16.1	16.20	75
22.2	16.20	86
10.5	23.26	119
16.1	23.26	126
22.2	23.26	139

ภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียแรงดันหัวน้ำกับ  
ชั้นความลึกของตัวกลาง ที่เวลา 60 นาที ภายใต้อัตราการกรอง 8.28 16.2 23.26  
ลบ.ม/ตร.ม/ชม. จะเห็นว่าเมื่ออัตราการกรองคงที่ การสูญเสียแรงดันหัวน้ำจะแปรผัน  
ตรงกับความลึกของชั้นตัวกลางและที่ชั้นตัวกลางสูง 22.22ซม. ภายใต้อัตราการกรอง  
23.26 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. จะเกิดการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากที่สุดเท่ากับ 139 มม.ปรอท  
ที่เวลา 60 นาที

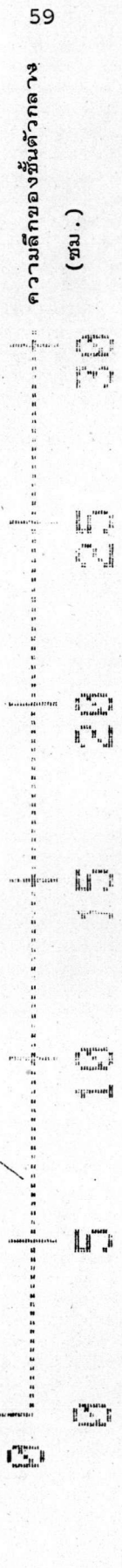
ภาพที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการสูญเสียแรงดัน  
หัวน้ำต่อความลึกของชั้นตัวกลางกับอัตราการกรอง พบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของ  
อัตราส่วนการสูญเสียแรงดันหัวน้ำต่อความลึกของชั้นตัวกลางกับอัตราการกรองที่ดีได้ เนื่อง  
จากการสูญเสียแรงดันหัวน้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายใน เครื่องกรอง โคเอ เลส เซอร์ แบ่งออกเป็น  
2 ชนิด คือ การสูญเสียแรงดันหัวน้ำที่เกิดขึ้น เนื่องจากการสกัดกั้นอนุภาคอิมัลชัน และ เนื่อง  
จากการไหลของน้ำผ่านชั้นตัวกลาง ดังนั้น เมื่อนำค่าการสูญเสียแรงดันหัวน้ำทั้งหมดมาหา





ทรายที่เปียกน้ำขนาด 0.35 มม.

- V = 0.646 ซม. /วินาที
- V = 0.45 ซม. /วินาที
- ▲ V = 0.23 ซม. /วินาที



ภาพ 4.19 การสูญเสียแรงดันตัวของน้ำเสียซึ่งเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงที่เทียบกับความลึกของชั้นตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(๓๕๕๖.๓๓) ๒๕๕๖

อัตราการกรอง  
( $1 \times 10^{-3}$  ม./วินาที)



ภาพ 4.20 อัตราส่วนการสูญเสียแรงดันที่หัวน้ำต่อความลึกของชั้นตัวกลางของน้ำเสีย:  
สังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับอัตราการกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราส่วนการสูญเสียแรงดันที่หัวน้ำต่อความลึกของชั้นตัวกลางของน้ำเสีย

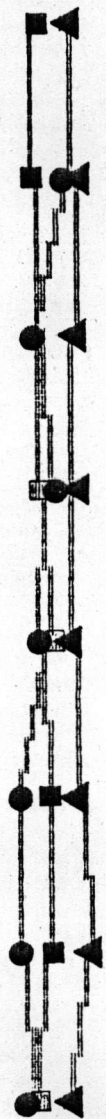
ความสัมพันธ์จึงไม่ถูกต้อง เพราะว่า การสูญเสียแรงดันหัวน้ำที่เกิดขึ้น เนื่องจากการสกัดกัน อนุภาคอิมัลชันไม่ได้เกิดขึ้นตลอดความลึกของชั้นตัวกลาง แต่เป็นการสูญเสียแรงดันหัวน้ำที่เกิดขึ้น เฉพาะความลึกของชั้นตัวกลางที่ห่างจากผิวหน้าพอประมาณ ซึ่งคาดว่าไม่เกิน 5 ซม. ส่วนความลึกของชั้นตัวกลางที่มากกว่านี้ทำหน้าที่เป็น เพียงทางผ่านของน้ำซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันหัวน้ำด้วย

ภาพ 4.21-4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสกัดกัน อนุภาคอิมัลชันตรงกับเวลาสำหรับตัวกลางที่เป็นทรายเปียกน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 มม. ภายใต้อัตราการกรอง 8.28 ถึง 23.26 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. ที่ชั้นความสูงของตัวกลาง 10.5 ถึง 22.2 ซม. พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์อยู่ในช่วงมากกว่าร้อยละ 85 และจากตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าธรรมชาติการกรองเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง พบว่า ที่ความสูงของชั้นตัวกลาง 16.1 ซม. ภายใต้อัตราการกรอง 8.28 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. เหมาะสมที่สุด ดังนั้น สรุปได้ว่า สำหรับชั้นความสูงของตัวกลาง ระหว่าง 10.5-22.2 ซม. ภายใต้อัตราการกรอง 8.28-23.26 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัดกันอิมัลชัน แต่จะมีผลต่อการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

สาเหตุที่ผลการทดลองแสดงว่า ความสูงของชั้นตัวกลางไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัดกันอนุภาคอิมัลชันตรง เพราะว่าความสูงของชั้นตัวกลางในการทดลองนี้ซึ่งอยู่ในช่วง 10.5-22.2 ซม. มีค่ามากกว่าความสูงวิกฤตของชั้นตัวกลาง ซึ่งความสูงที่มากกว่าความสูงวิกฤตไม่ได้ช่วยในการทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชัน เพียงแต่เป็นทางให้หยดน้ำมันผ่านเท่านั้น<sup>(13)</sup> ดังนั้น การเพิ่มความสูงของชั้นตัวกลางจึงทำให้การสูญเสียแรงดันหัวน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ได้เท่าเดิม และอัตราการกรองในช่วง 8.28-23.26 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองฯ เพราะว่า อัตราเร็วการกรองในช่วง 8.28-23.26 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. เป็นอัตราการกรองที่ต่ำกว่าค่าอัตราการกรองวิกฤต ซึ่งค่าอัตราการกรองวิกฤตนี้ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และชั้นความสูงของตัวกลาง<sup>(13)</sup> ดังนั้น ในการทดลองที่อัตราการกรองนี้จึงไม่พบความแตกต่างของประสิทธิภาพ

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

ประสิทธิภาพการลด TOC (%)



ทรายที่เบียดน้ำขนาด 0.35 มม.

- V = 0.23 ซม.
- L = 10.5 ซม.
- L = 16.1 ซม.
- L = 22.2 ซม.



ภาพ 4.21 ประสิทธิภาพการลด TOC ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชันตรงเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

ประสิทธิภาพการลด TOC (%)



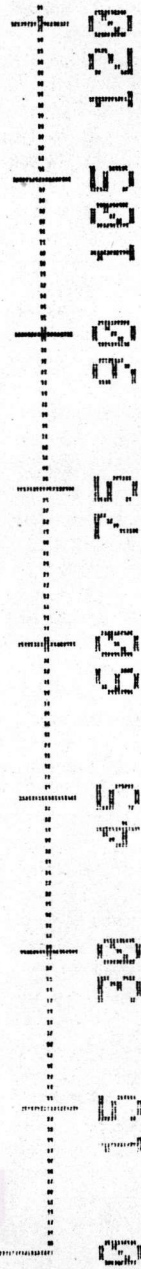
ทรายที่เป็ยกน้ำขนาด 0.35 มม.

V = 0.45 ซม./วินาที

L = 10.5 ซม.

L = 16.1 ซม.

L = 22.2 ซม.



ภาพ 4.22 ประสิทธิภาพการลด TOC ของน้ำเสียส่งตรงที่เป็นอัตโนมัติตรงกับเวลา



ตารางที่ 4.3 แสดงค่าดัชนีการกรองของทรายที่เบี่ยงหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มม.

การทดลองที่	ความสูงของชั้นตัวกลาง (ซม.)	อัตราการกรอง (ลบ.ม/ตร.ม/ซม.)	ค่าดัชนีการกรองเฉลี่ย
6	10.5	16.20	$5.7 \times 10^{-3}$
7	10.5	8.28	$3.2 \times 10^{-3}$
8	10.5	23.26	$8.3 \times 10^{-3}$
9	16.1	16.20	$3.3 \times 10^{-3}$
10	16.1	23.26	$2.9 \times 10^{-3}$
11	16.1	27.36	$3.7 \times 10^{-3}$
12	16.1	8.28	$2.6 \times 10^{-3}$
13	22.2	16.20	$4.9 \times 10^{-3}$
14	22.2	8.28	$4.2 \times 10^{-3}$
15	22.2	23.26	$10.3 \times 10^{-3}$

4.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ กระทำทั้งหมด 3 โรงงาน คือ โรงงานของ บ.ธนาคาร จำกัด ซึ่งผลิตน้ำมันพืชทุก โรงงานของ บ.สยามน้ำมันละหุ่ง จำกัด ผลิตน้ำมันละหุ่ง และโรงงานล้างถังน้ำมัน เอส.เอ็น.วี. (SNV)

4.4.1 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานของ บ.ธนาคาร จำกัด

4.4.1.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียของโรงงานธนาคาร จำกัด มักเป็นน้ำเสียที่มาจาก

ขั้นตอนการกลั่นกรองน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์ และจากลักษณะทางกายภาพน้ำเสียมีสีเหลืองและมีกลิ่นเหม็น ๆ สำหรับในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากสองจุดคือ ก่อนเข้าบ่อดักไขมันมาปล่อยทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมงแล้วนำน้ำส่วนล่างมาทดลอง และน้ำเสียหลังจากออกจากบ่อดักไขมัน และลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนนำมาทดลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักไขมัน

ลักษณะสมบัติ	ปริมาณ
pH	4.0-4.3
Suspended Solids, mg/l	820-850
BOD <sub>5</sub> at 20°C, mg/l	2780-2890
Dissolved solids, mg/l	2300-2950
Oil & Grease, mg/l	1050-1150
TOC, ppm	720-1000
Turbidity, NTU	1200-1350

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำก่อนเข้าบ่อดักไขมันและปล่อยทิ้งเอาไว้ให้ตกตะกอนครึ่งชั่วโมง

ลักษณะสมบัติ	ปริมาณ
pH	4.0
TOC, ppm	870
Turbidity, NTU	450



#### 4.4.1.2 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

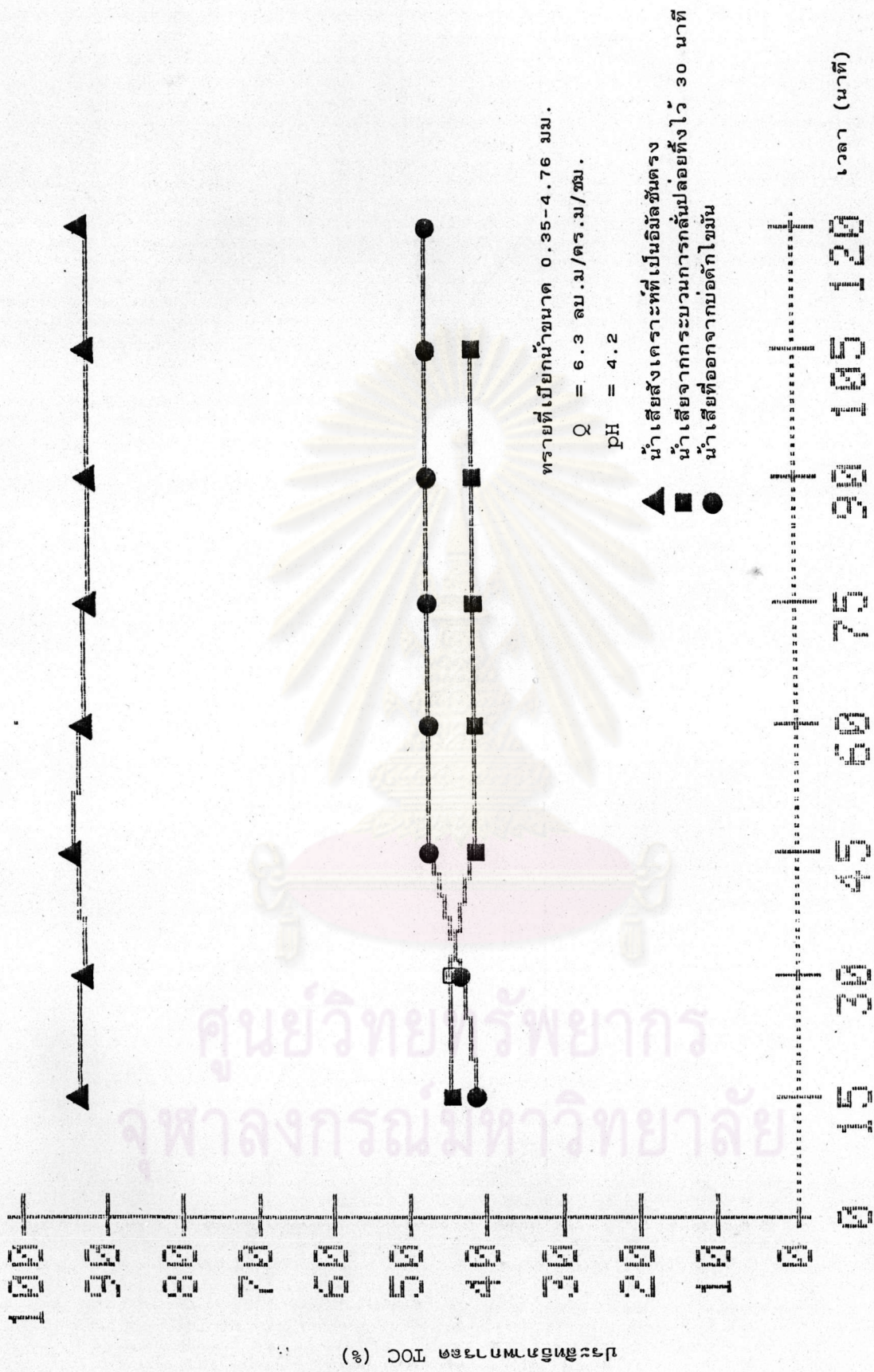
เนื่องจากในน้ำเสียมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมาก ทำให้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์อุดตันเร็ว ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียจึงเปลี่ยนทิศทางการไหล โดยให้น้ำเสียไหลขึ้น (up-flow) เพื่อให้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์สามารถใช้ช่องว่างภายในชั้นของตัวกลางได้มากขึ้น และมีอายุการใช้งานนานขึ้น

ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวกลางผสมระหว่างทรายที่เปียกหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4-4.67 มม. ลึก 41.5 ซม. กับทรายที่เปียกน้ำมันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7-4.76 มม. ลึก 30 ซม. และตัวกลางผสมระหว่างทรายที่เปียกหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35-0.55 มม. ลึก 30 ซม. ภายใต้อัตราการกรองในช่วง 3.24-6.30 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ที่พีเอช 4.2-7.85 ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ตารางที่ 16-28

ภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลด TOC กับเวลาของน้ำเสียทั้งสามชนิดของตัวกลางที่เปียกหน้า ภายใต้อัตราการกรอง 6.3 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. พบว่า สำหรับน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นกรองน้ำมันไทรสิฐธิ์ หลังจากปล่อยให้ลอยครั้งชั่วคราว และน้ำเสียที่ออกจากข่อดักไขมัน มีประสิทธิภาพในการลด TOC ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 41-46 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า เครื่องกรองสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าน้ำเสียจริง

ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลด TOC ของน้ำเสียที่ออกจากข่อดักไขมัน กับเวลาของตัวกลางที่เปียกหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4-4.67 มม. ที่พีเอช 4.2, 6.7, 7.85 ภายใต้อัตราการกรอง 3.24 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. พบว่า เมื่อนำน้ำเสียมาปรับพีเอชจากเดิม 4.2 เป็น 6.7 และ 7.85 ประสิทธิภาพจะดีมากขึ้นจากเดิมประมาณร้อยละ 54 เป็นร้อยละ 62 และร้อยละ 69 ตามลำดับ ลักษณะเช่นนี้แสดงว่า เมื่อปรับพีเอชจากเดิม 4.2 เป็น 6.7 และจาก 4.2 เป็น 7.85 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากขึ้นร้อยละ 8 และร้อยละ 15 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ



ทารายที่เบี่ยงหน้าขนาด 0.35-4.76 มม.  
 $Q = 6.3$  ลบ.ม./ตร.ม./ชม.  
 $pH = 4.2$

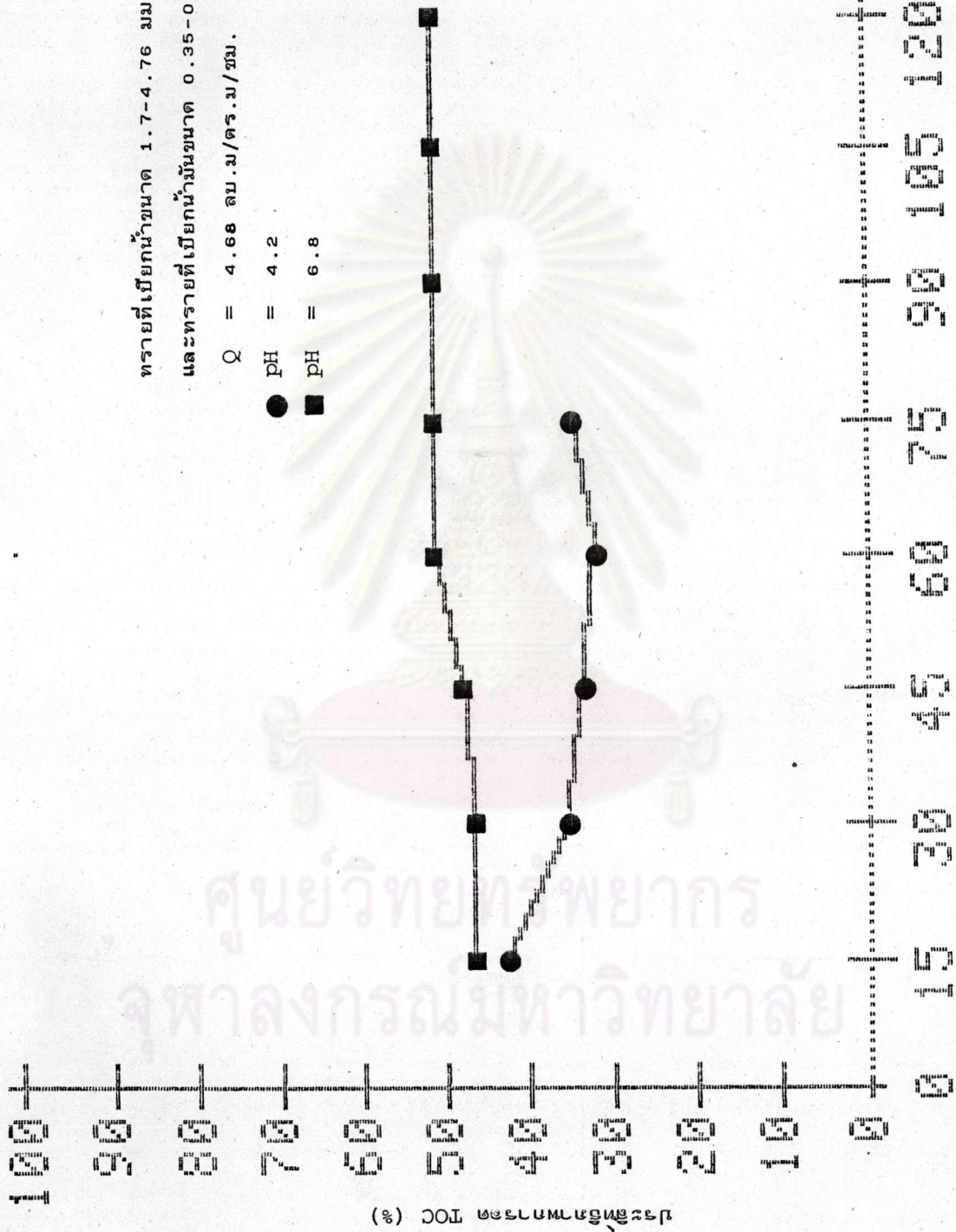
- ▲ น้ำเสียสังเคราะห์เป็นอิมัลชันตรง
- น้ำเสียจากกระบวนการกลั่นปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที
- น้ำเสียที่ออกจากข่อดักไขมัน

ภาพ 4.24 ประสิทธิภาพการลด TOC เทียบกับเวลา



ทรายที่เบียดน้ำขนาด 1.7-4.76 มม.  
 และทรายที่เบียดน้ำมันขนาด 0.35-0.55 มม.  
 $Q = 4.68$  ลบ.ม/ตร.ม/ชม.

● pH = 4.2  
 ■ pH = 6.8



ภาพ 4.26 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักไขมัน เทียบกับ เวลา

เวลาของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักไขมัน โดยใช้ตัวกลางเป็นทรายที่เบียดน้ำขนาด 1.7-4.76 มม. ลึก 30 ซม. และทรายที่เบียดน้ำมันขนาด 0.35-0.55 มม. ลึก 30 ซม. ภายใต้ อัตราการกรอง 4.68 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ที่พีเอช 4.2 และ 6.8 พบว่า เมื่อนำน้ำเสียมาปรับพีเอชจากเดิม 4.2 เป็น 6.8 ประสิทธิภาพดีขึ้นจากเดิมประมาณร้อยละ 31 เป็นร้อยละ 49 ลักษณะเช่นนี้แสดงว่า เมื่อปรับพีเอชจากเดิม 4.2 เป็น 6.8 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากขึ้นร้อยละ 18

ผลการทดลอง เมื่อปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ พบว่า การปรับพีเอชให้เพิ่มขึ้นจากเดิม พีเอช 4.2 เป็นพีเอช 6.7-6.8 ประสิทธิภาพการลดค่า TOC เพิ่มขึ้น อาจจะเนื่องมาจากในน้ำเสียมีสารละลายบางอย่างละลายอยู่ในน้ำเสีย และมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของน้ำมัน เช่น สารจำพวกสารลดแรงตึงผิว ดังนั้น การปรับพีเอชอาจมีผลกระทบต่อ การละลายน้ำของสารจำพวกนี้ ซึ่งทำให้น้ำมันมีเสถียรภาพลดลง จึงทำให้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ภาพที่ 4.27-4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลาของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักไขมัน โดยใช้ตัวกลางเป็นทรายที่เบียดน้ำขนาด 1.7-4.76 มม. ลึก 30 ซม. และทรายที่เบียดน้ำมันขนาด 0.35-0.55 มม. ลึก 30 ซม. ภายใต้ อัตราการกรอง 3.24 4.68 6.30 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ที่พีเอช 4.2 6.8 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ ร้อยละ 32 ที่พีเอช 4.2 และร้อยละ 51 ที่พีเอช 6.8

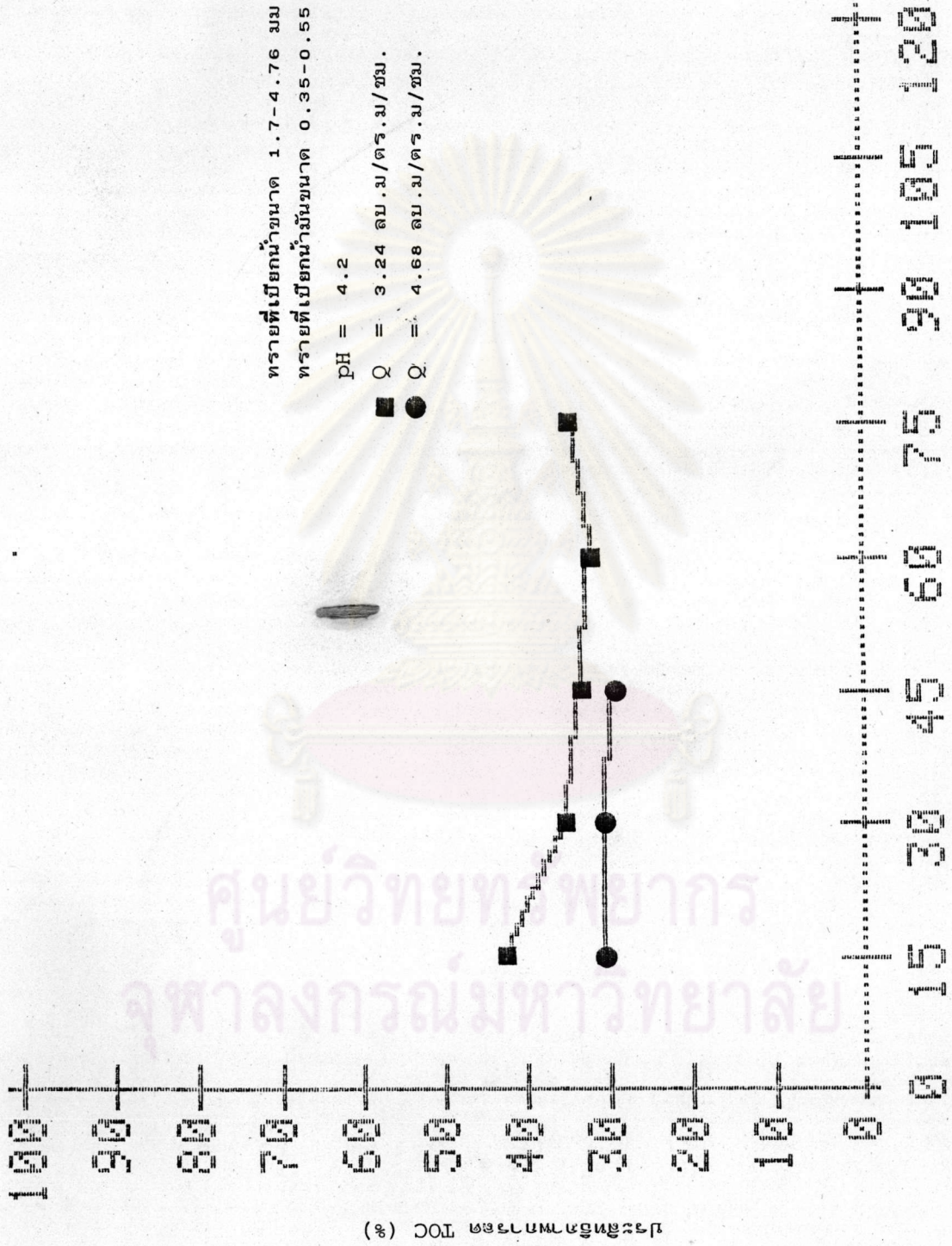
ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการกรองในช่วง 3.24-6.30 ลบ.ม/ตร.ม-วัน พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการลด TOC เพราะว่าการกรองในช่วงนี้เป็นอัตราการกรองต่ำ และมีค่าน้อยกว่าอัตราการกรองวิกฤต ซึ่ง AURELCE<sup>(13)</sup> กล่าวเอาไว้ว่า อิทธิพลของอัตราการกรองต่อประสิทธิภาพจะแสดงให้เห็นชัด เมื่ออัตราการกรองมีค่ามากกว่าอัตราการกรองวิกฤตและผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียของโรงงานธนาคาร จำกัด สอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อ 4.2 ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทดลองกับตัวกลางที่เบียดน้ำ

ภาพที่ 4.29-4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิ-



ทรายที่เบียดน้ำขนาด 1.7-4.76 มม. และ  
 ทรายที่เบียดน้ำมีขนาด 0.35-0.55 มม.

pH = 4.2  
 Q = 3.24 ลบ.ม./ตร.ม./ชม.  
 Q = 4.68 ลบ.ม./ตร.ม./ชม.



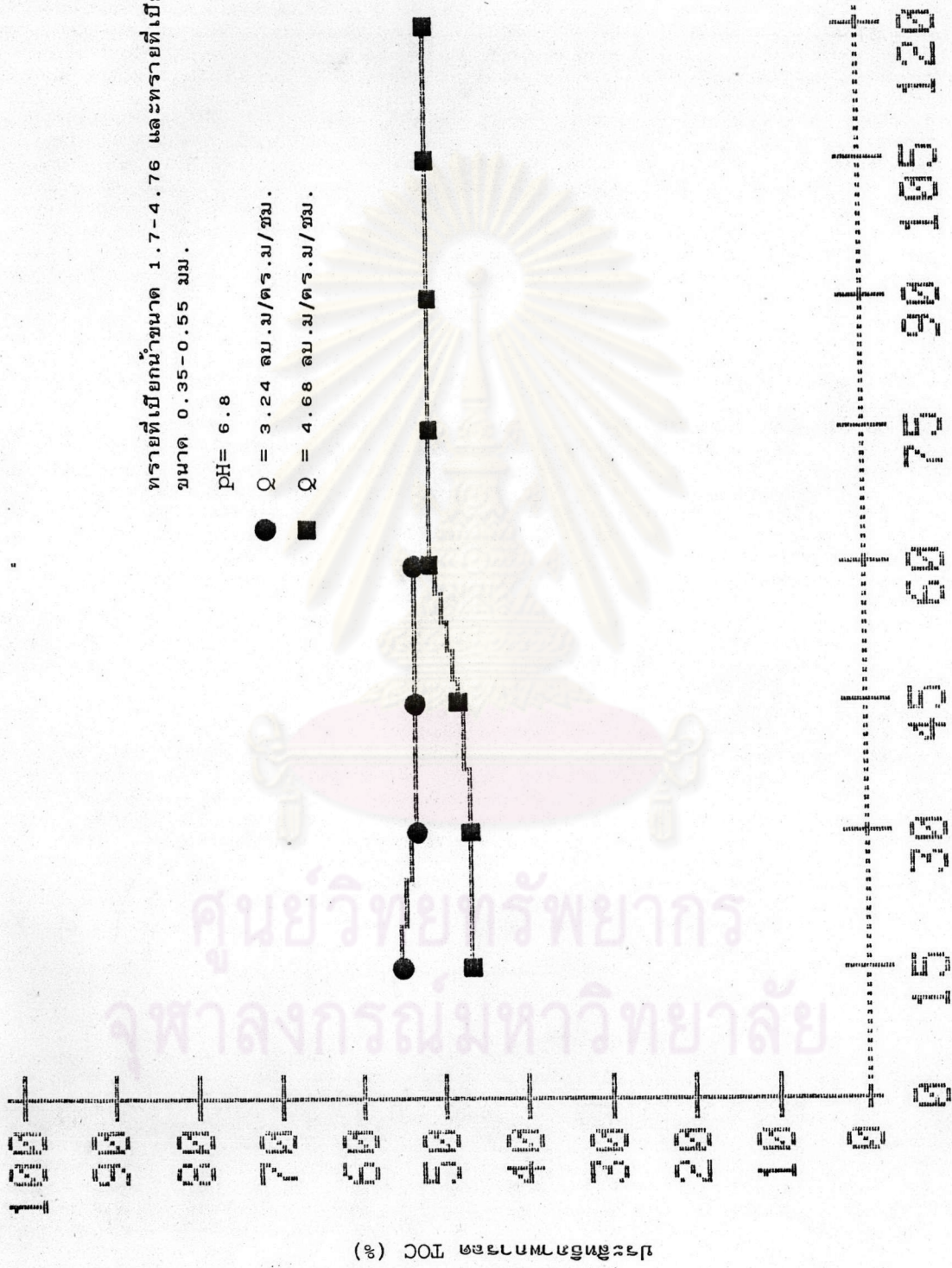
ภาพ 4.27 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ออกจากรัดักไขมันเทียบกับเวลา

ทรายที่เบี่ยงน้ำขนาด 1.7-4.76 และทรายที่เบี่ยงน้ำมัน  
ขนาด 0.35-0.55 มม.

pH = 6.8

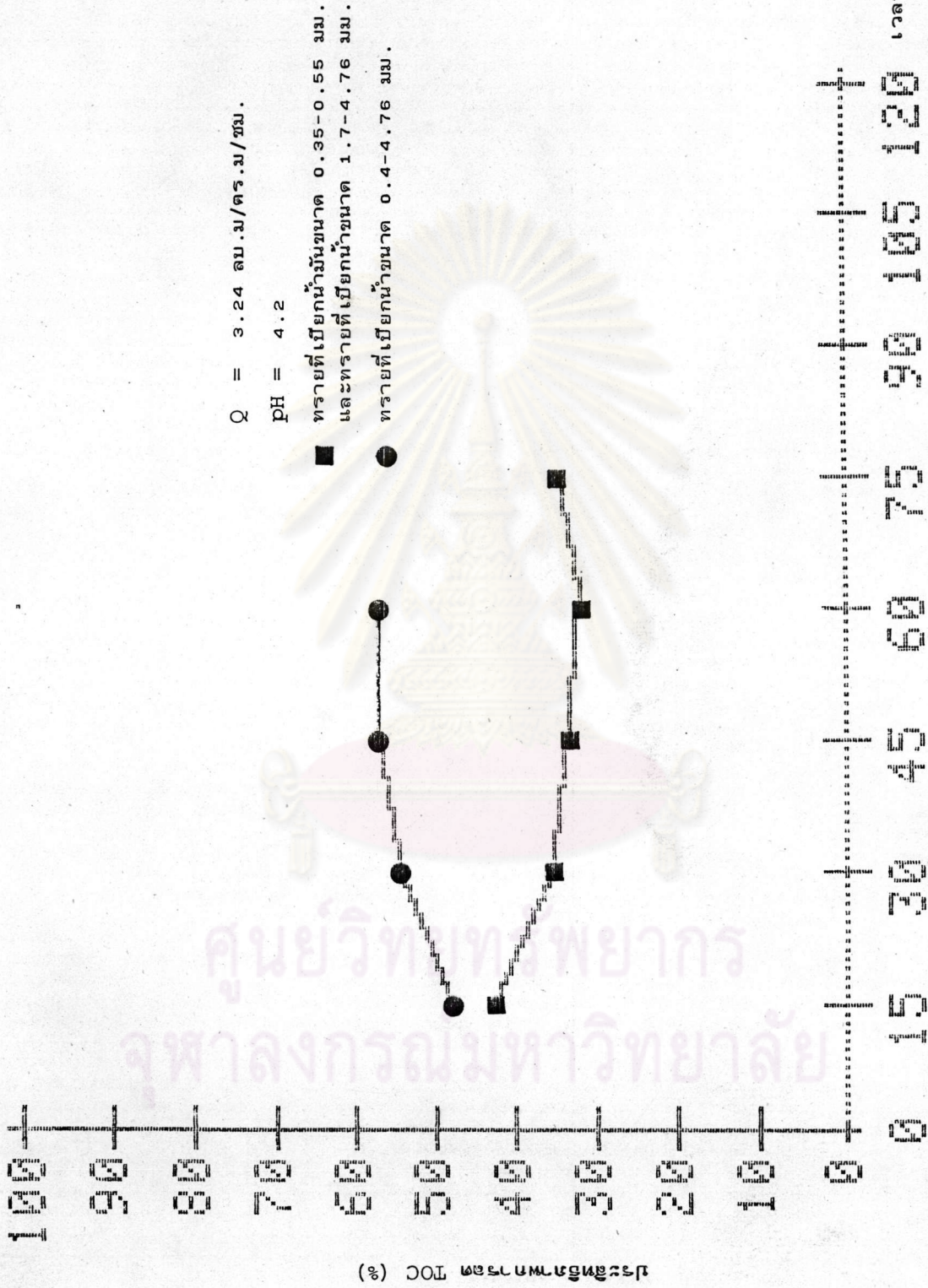
● Q = 3.24 ลบ.ม/ตร.ม/ชม.

■ Q = 4.68 ลบ.ม/ตร.ม/ชม.



ภาพ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ออกจากรอกักไขมันเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยารักษ์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพ 4.29 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ออกจากบ่อตก ไช้มีน เทียบกับ เวลา





ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพ 4.30 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ออกจากบ่อตกไขมันเทียบกับเวลา

ภาพกับเวลาของน้ำเสียที่ออกจากข่อดักไขมัน ภายใต้การเปรียบเทียบระหว่างตัวกลางที่เป็นทรายที่เปียกน้ำ ขนาด 0.4-4.76 มม. ลึก 41.5 ซม. กับ ทรายที่เปียกน้ำขนาด 1.7-4.76 มม. ลึก 30 ซม. ผสมกับทรายที่เปียกน้ำมัน ขนาด 0.35-0.55 มม. ลึก 30 ซม. ที่อัตราการกรอง 3.24 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. และที่พีเอช 4.2 และพีเอช 6.8 พบว่า เมื่อใช้ตัวกลางทั้งหมดมีลักษณะสมบัติ เปียกน้ำ มีประสิทธิภาพการลด TOC ร้อยละ 54 ที่พีเอช 4.2 และร้อยละ 62 ที่พีเอช 6.8 เมื่อใช้ตัวกลางที่เปียกน้ำผสมกับตัวกลางที่เปียกน้ำมันมีประสิทธิภาพการลด TOC ร้อยละ 36 ที่พีเอช 4.2 และร้อยละ 53 ที่พีเอช 6.8 ลักษณะเช่นนี้แสดงว่า เมื่อใช้ตัวกลางทั้งหมดที่มีลักษณะสมบัติ เปียกน้ำ มีประสิทธิภาพในการลด TOC ดีกว่าเมื่อใช้ตัวกลางผสมระหว่างตัวกลางที่เปียกน้ำกับตัวกลางที่เปียกน้ำมัน

จากผลการทดลองใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานธนาคาร จำกัด สรุปได้ว่า อิทธิพลของลักษณะสมบัติของตัวกลาง และพีเอช มีผลต่อประสิทธิภาพของการลด TOC ส่วนอัตราการกรองแทบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการลด TOC สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียนี้ ดูได้จากตารางที่ 4.5 จากค่าครรชนีการกรอง แสดงว่าการใช้ตัวกลางที่มีลักษณะสมบัติ เปียกน้ำทั้งหมด และปรับพีเอชของน้ำเสียจาก 4.2 เป็น 6.7 ภายใต้อัตราการกรอง 3.24 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. เหมาะสมที่สุด มีค่าครรชนีการกรองเท่ากับ 0.01253

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าดัชนีการกรอง

การทดลองที่	ลักษณะตัวกลาง	อัตราการกรอง ลบ.ม/ตร.ม/ชม.	พีเอช	ลิก (ชม.)	ดัชนีการ กรองเฉลี่ย
17	เบี่ยงน้ำ	3.24	4.0	41.5	0.01673
18.1	เบี่ยงน้ำ	3.24	6.7	41.5	0.01253
18.2	เบี่ยงน้ำ	3.24	7.85	41.5	0.01793
19	เบี่ยงน้ำ+เบี่ยงน้ำมัน	3.24	4.2	60.0	0.01490
20	เบี่ยงน้ำ+เบี่ยงน้ำมัน	4.68	4.2	60.0	0.02390
21	เบี่ยงน้ำ+เบี่ยงน้ำมัน	6.3	4.2	60.0	0.02560
22	เบี่ยงน้ำ+เบี่ยงน้ำมัน	4.68	6.8	60.0	0.01800
23	เบี่ยงน้ำ+เบี่ยงน้ำมัน	3.24	6.8	60.0	0.02630
27	เบี่ยงน้ำ	6.3	4.0	47.5	0.01789
28	เบี่ยงน้ำ	6.3	4.0	47.5	0.01606

## 4.4.2 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสยามน้ำมันระหุ้ง จำกัด

## 4.4.2.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียของโรงงานสยามน้ำมันระหุ้ง ส่วนใหญ่เป็นน้ำเสีย  
 ที่มาจากขั้นตอนการกลั่นกรองน้ำมันไทยริสุทธิ แต่น้ำเสียของโรงงานก่อนที่จะเข้าสู่ระบบ  
 บำบัดน้ำเสีย มีการแยกเอาสบู่และกรดไขมันอิสระก่อน และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่มา  
 จากส่วนต่าง ๆ ของโรงงาน มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

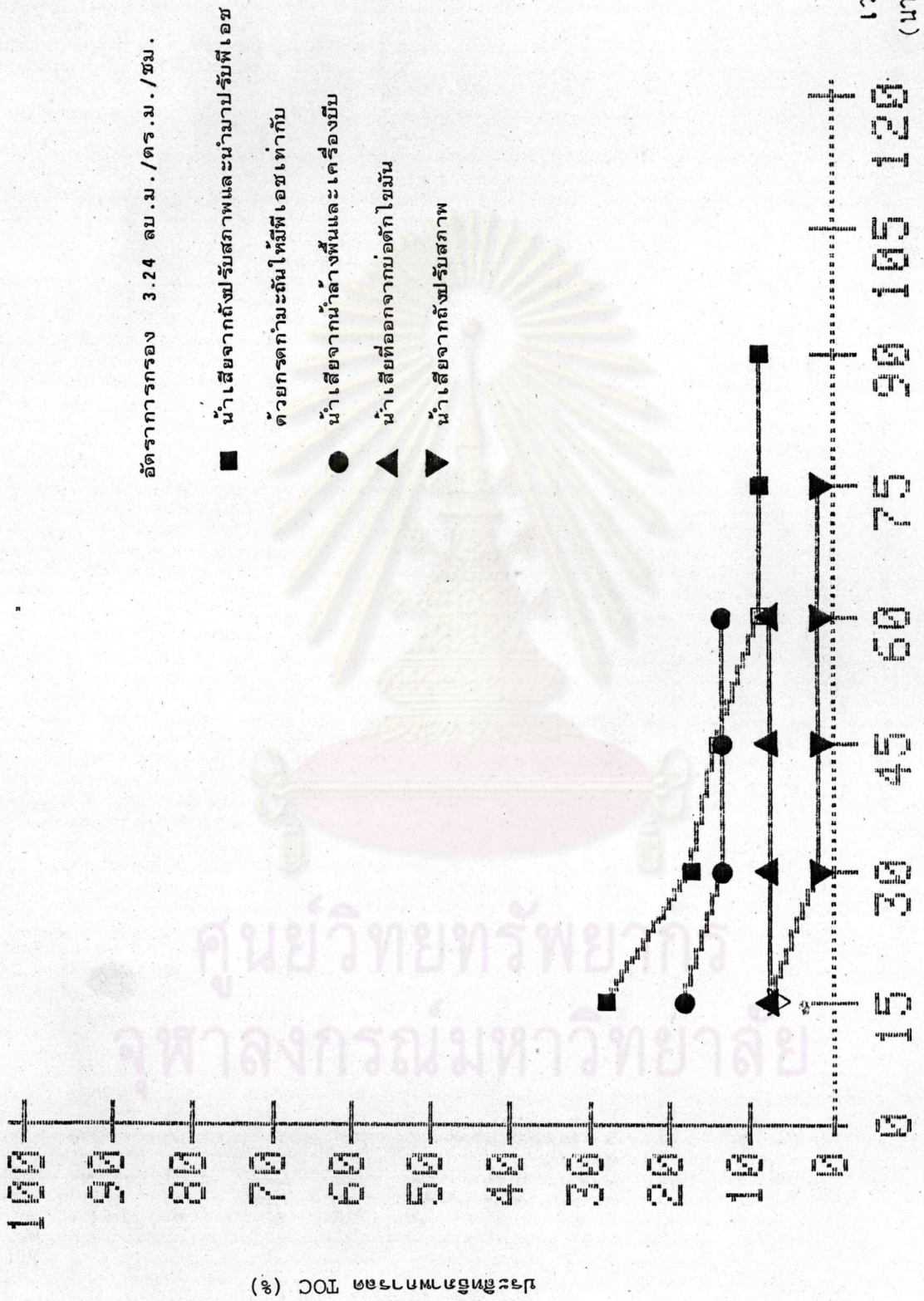
ลักษณะสมบัติ	ที่มา		
	ถึงปรับสภาพ	น้ำล้างพื้นและจากเครื่องบีบ	ออกจากบ่อดักไขมัน
pH	9.8	7.8	9.8
TOC, ppm	1742	1595	851
Turbidity, NTU	120	540	380
Inorganic Carbon, ppm	147	-	157

#### 4.4.2.2 ผลการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

เนื่องจากในน้ำเสียมียปริมาณของแข็งแขวนลอยมาก ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ เพื่อความเหมาะสมได้เปลี่ยนทิศทางการกรองจากไหลลง เป็นการกรองแบบไหลขึ้น

ดำเนินการทดลองโดยใช้ทรายที่เปียกน้ำ ขนาด 0.35-0.55 มม. ลึก 37 ซม. ภายใต้การเปลี่ยนแปลงชนิดและแหล่งที่มาของน้ำเสีย ที่อัตราการกรอง 3.24 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. พีเอช 7.3 และ 9.8 ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ ตารางที่ 29-33

ภาพที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลด TOC กับเวลาภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติและชนิดของน้ำเสีย ที่อัตราการกรอง 3.24 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน มีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ต่ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 และเมื่อนำน้ำเสียจากถังปรับสภาพน้ำมัน มาปรับพีเอชด้วยกรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) จากพีเอช 9.8 เป็นพีเอช 7.3 ประสิทธิภาพการลด TOC ยังคงมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 10-15 ซึ่งใกล้เคียงกับขณะที่ยังไม่ได้ปรับพีเอช



ภาพ 4.31 ประสิทธิภาพการลด TOC เทียบกับ เวลา

จากผลการทดลองในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสยาม น้ำมันละหุ่ง จำกัด พบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่า TOC เจลลี่โดยประมาณมีค่าต่ำ เท่ากับร้อยละ 10-15 อาจเป็นเพราะว่า ในน้ำเสียเหล่านี้มีสารลดแรงตึงผิวปนอยู่มาก จึงทำให้การรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

#### 4.4.3 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานล้างถึงน้ำมันเอสเอ็นวี (SNV) จำกัด

##### 4.4.3.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ น้ำเสียที่มาจาก การชำระล้างภายในซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำมันชนิดต่าง ๆ และน้ำเสียที่มาจาก การชำระล้างภายนอกด้วยน้ำมันโซลา กับน้ำกับผงซักฟอก แต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากการ ชำระล้างภายนอก ซึ่งมีลักษณะสมบัติ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชำระล้างภายนอก

ลักษณะสมบัติ	ปริมาณ
pH	7.0-7.1
TOC, ppm	450-646
Turbidity, NTU	900-1100

##### 4.4.3.2 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวกลางสามชนิดคือ ทรายที่เปียก น้ำขนาด 0.35 มม. ทรายที่เปียกน้ำมัน ขนาด 0.35 มม. และ Oleophilic Resin ภายใต้ความลึกของชั้นตัวกลาง 15 และ 21.5 ซม. อัตราการกรอง 9.72-10.8 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ที่พีเอช 7.0-7.1 ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 การทดลองที่

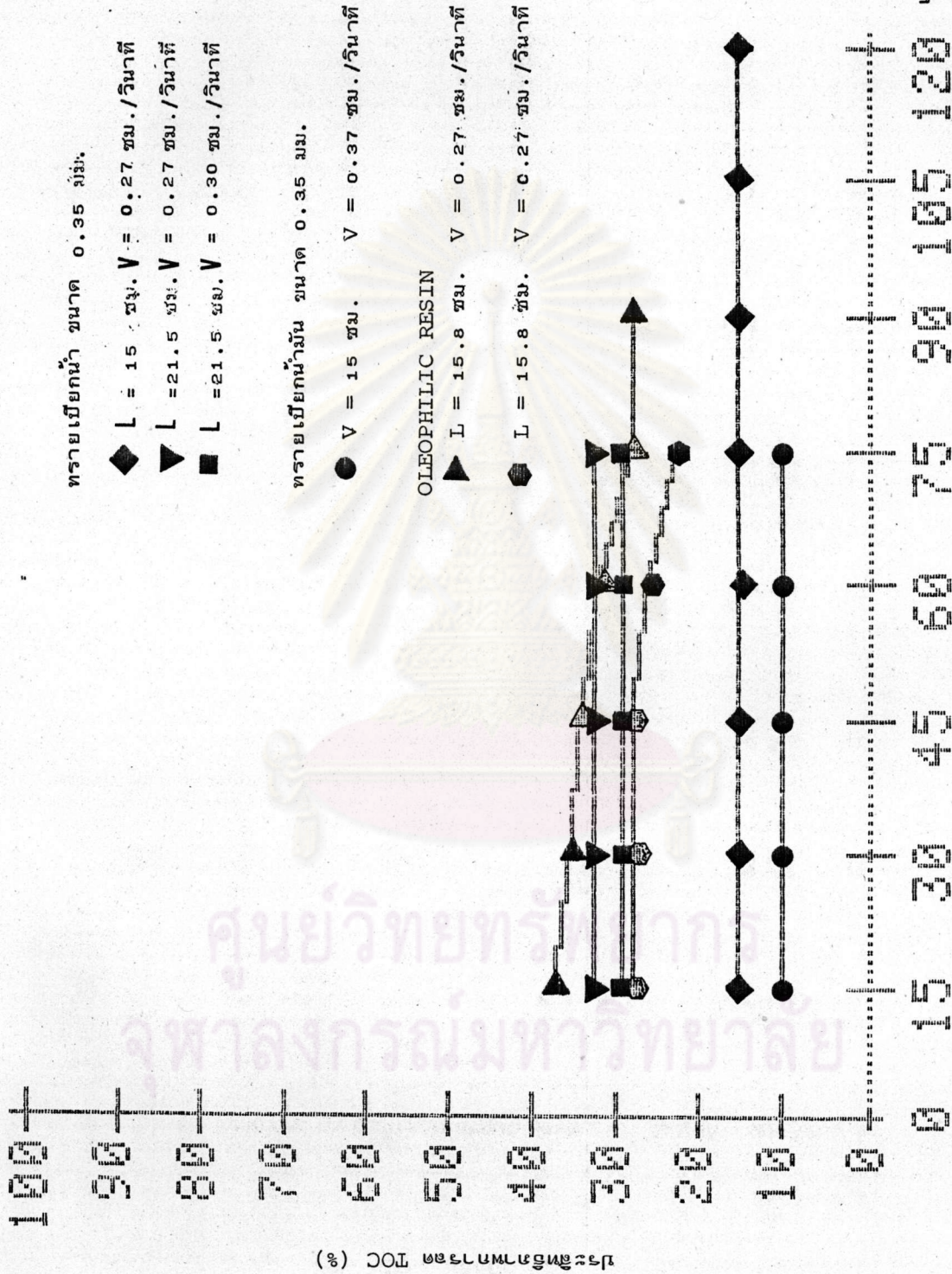
ภาพที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลด TOC กับเวลาของตัวกลางชนิดต่าง ๆ คือ ทรายที่เปียกน้ำขนาด 0.35 มม. ทรายที่น้ำมันขนาด 0.35 มม. และ Oleophilic Resin ที่ความลึกของชั้นตัวกลาง 15-21.5 ซม. อัตราการกรอง 9.72-10.8 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. พบว่า ประสิทธิภาพการลด TOC ของ Oleophilic Resin ที่อัตราการกรอง 9.72 ความลึก 15.8 มีประสิทธิภาพร้อยละ 34 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกลางอีกสองชนิด คือ สำหรับทรายที่เปียกน้ำมีประสิทธิภาพร้อยละ 16 และทรายที่เปียกน้ำมันมีประสิทธิภาพร้อยละ 10 และเมื่อพิจารณาค่าตรรกษณการกรองในตารางที่ 4.9 พบว่า การกรองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้น้ำเสียชนิดนี้คือ ใช้น้ำตัวกลางเป็นทรายที่เปียกน้ำขนาด 0.35 มม. ที่ความลึก 21.5 ซม. และที่อัตราการกรอง 9.72 ลบ.ม/ตร.ม-ชม. ซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 33

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าตรรกษณการกรองของโรงงานเอสเอ็นดี

การทดลองที่	ชนิดของตัวกลาง	ขนาด (มม)	ความลึกของชั้นตัวกลาง (ซม.)	อัตราการกรอง $\text{ม}^3/\text{ม}^2/\text{ชม.}$	ค่าตรรกษณการกรอง
34	ทรายเปียกน้ำ	0.35	15	9.72	0.0781
35	ทรายเปียกน้ำ	0.35	15	10.8	0.1974
36	ทรายเปียกน้ำ	0.35	21.5	9.72	0.0448
37	ทรายเปียกน้ำ	0.35	21.5	10.8	0.0464
38	ทรายเปียกน้ำมัน	0.35	15	9.72	0.0499
39	Oleophilic Resin	0.05-0.10	15.8	10.8	0.1106
40	Oleophilic Resin	0.05-0.10	15.8	9.72	0.1150

#### 4.5 การตรวจสอบการประยุกต์ใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ในการกำจัดความขุ่น

ดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นของแข็งแขวนลอย ขนาด 20 ไมครอน มีความขุ่นประมาณ 40 เอ็นทียู ที่อัตราการกรอง 9.72 ลบ.ม/ตร.ม/ชม. ที่



ภาพ 4.32 ประสิธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเอสเอ็นวีเทียบกับเวลา

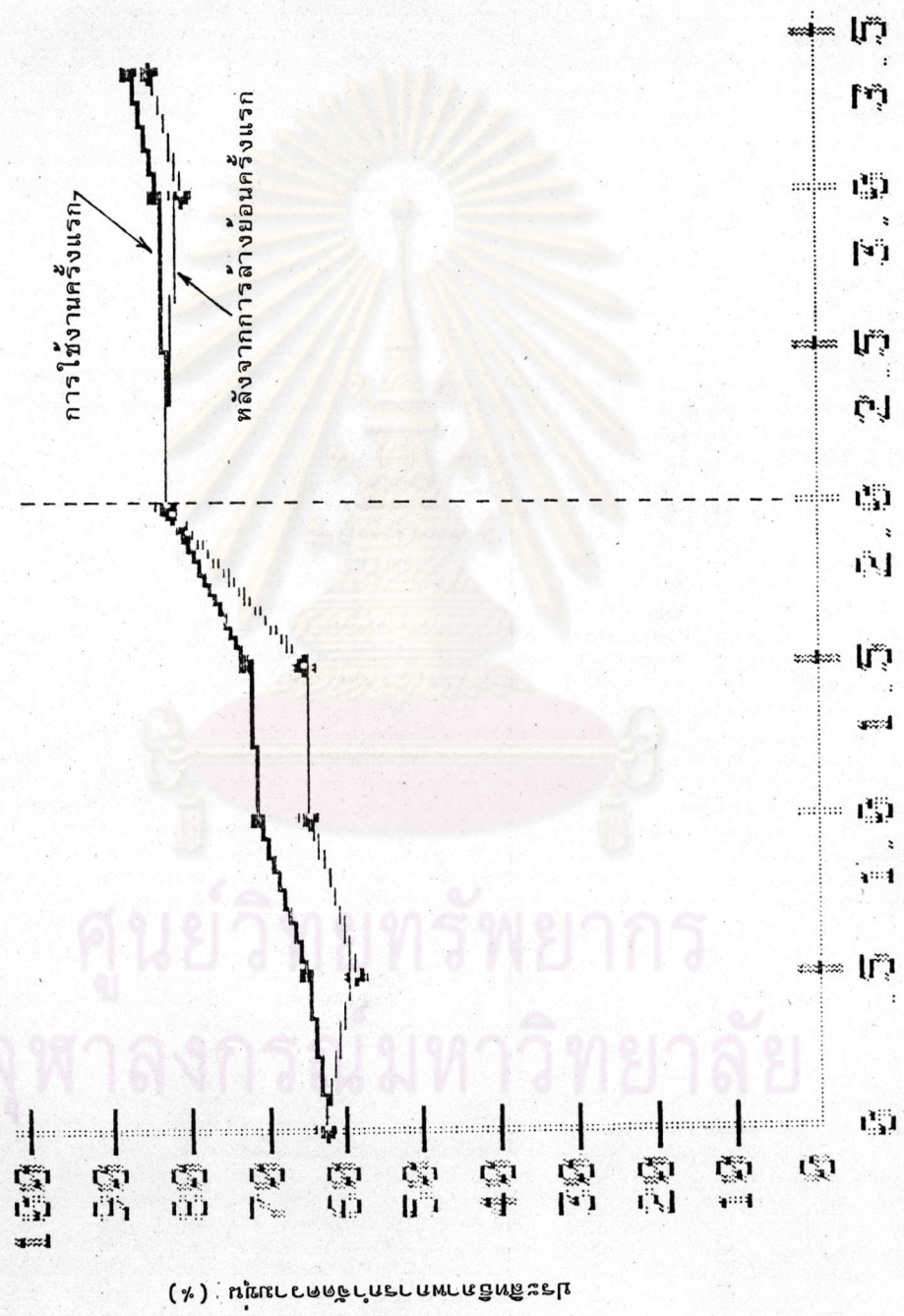


ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลาง 0.4 มม. ที่ความลึกของชั้นตัวกลาง 32 ซม. และ  
 ไม่มีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ในการทดลองได้ใช้พารามิเตอร์ควบคุมและดำเนินการทดลอง  
 ภายใต้สภาวะเดิม คือ ที่อัตราการกรอง 9.72 ลบ.ม/ตร.ม./ชม. ความขุ่นประมาณ 40  
 เอ็นทียู แต่ก่อนกรองของแข็งแขวนลอย นำเครื่องกรองกรองน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นอิมัลชัน  
 ตรง โดยมีปริมาณน้ำมันก๊าด (Kerosene) ในอัตรา 0.5-3.4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร  
 ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ ตารางที่ 41-54

ภาพที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับ  
 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันที่ใส่เข้าไปในเครื่องกรอง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความ  
 ขุ่นของเครื่องกรองเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีปริมาณน้ำมันถูกสกัดกั้นในชั้นของตัวกลาง คือ เมื่อไม่มี  
 น้ำมันถูกสกัดกั้นในชั้นของตัวกลาง เครื่องกรองมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 62 แต่เมื่อมี  
 ปริมาณน้ำมันถูกสกัดกั้นในชั้นของตัวกลาง ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันที่ถูกสกัดกั้น  
 ดังนี้ การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันที่ถูกสกัดกั้น เมื่อใส่น้ำมันเข้าไป  
 ในเครื่องกรองในอัตรา 0.5-2.0 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และตั้งแต่อัตราการใส่น้ำมัน  
 อยู่ในช่อง 2.0-3.4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ประสิทธิภาพของการกรองค่อนข้างคงที่  
 เท่ากับร้อยละ 83 และพบว่า น้ำมันที่หลุดออกมาขณะที่การกรองมีปริมาณเล็กน้อยไม่สามารถ  
 วัดได้ เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องวิเคราะห์ TOC ไม่อำนวย

เมื่อทำการล้างย้อนครั้งแรกหลังจากใช้งานแล้ว ด้วยน้ำล้างย้อนอัตรา 48.9  
 ลบ.ม/ตร.ม./ชม. นาน 10 นาที พบว่าในช่วงที่ใส่น้ำมันเข้าไปในอัตรา 0.5-2.0 กรัม/  
 ตร.ม. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดลงจากเดิม และมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องกรองที่  
 ยังไม่ได้เติมน้ำมันเท่ากับร้อยละ 62 แต่ในช่วงที่ใส่น้ำมันเข้าไปตั้งแต่ 2.0-3.4 กรัม/  
 ตร.ม. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นยังคงมากกว่าเครื่องกรองที่ไม่ได้ใส่น้ำมัน คือ  
 มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 80 แต่เมื่อทำการล้างย้อนครั้งที่สอง ด้วยอัตราและเวลา  
 นานเท่าเดิม ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นใกล้เคียงกับเครื่องกรองที่ไม่ได้  
 ใส่น้ำมันเท่ากับร้อยละ 62

ผลการทดลองการประยุกต์ใช้เครื่องกรองในการกำจัดความขุ่นแสดงเอาไว้ใน  
 ภาพที่ 4.33 อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในชั้นตัวกลางได้ดังนี้ ขณะทำการทดลอง



ภาพ 4.33 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นเทียบกับความเข้มข้นของน้ำมันที่ใส่เข้าไป

โดยไม่มีการใส่น้ำมันเข้าไปในเครื่องกรอง ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าต่ำ เป็น เพราะค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดติด ( $\alpha$  ในสมการที่ 2.15) ของอนุภาคของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำ เมื่อใส่น้ำมันเข้าไปในเครื่องกรองทำให้เกิดการโคเอเลสเซนซ์ของน้ำมันภายในชั้นตัวกลาง ซึ่งเป็นการปะทะชั้นแรก (primary interception) และมีหยดของน้ำมันติดค้างอยู่ภายในชั้นของตัวกลาง หลังจากนั้นนำเครื่องกรองนี้ไปใช้กำจัดของแข็งแขวนลอยประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพในการดูดติดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยกับตัวกลางมีค่ามากขึ้น เนื่องจากเกิดการปะทะชั้นสอง (secondary interception) ระหว่างหยดน้ำมันกับอนุภาคของแข็งแขวนลอย

หลังจากการล้างย้อนครั้งแรก และนำมาใช้งาน สำหรับเครื่องกรองที่ใส่น้ำมันเข้าไปตั้งแต่ 0.5-2.0 กรัม/ตร.ซม. ประสิทธิภาพลดลงมาประมาณเท่ากับเครื่องกรองที่ไม่ได้ใส่น้ำมัน แสดงว่าปริมาณน้ำมันที่ถูกสกัดกั้นในชั้นตัวกลางไม่มีเหลือหรือเหลืออยู่น้อยมาก ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจึงลดลง ส่วนเครื่องกรองที่ใส่น้ำมันเข้าไปประมาณ 2.0-3.4 กรัม/ตร.ซม. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นประมาณเท่าเดิม แสดงว่ายังมีน้ำมันติดค้างอยู่ในชั้นของตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย