

### บทที่ 3

## ระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยพีซีของหอกลิ้นแยกสารสองชนิด

### คุณลักษณะของหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

หอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นหอกลิ้นสำหรับกลั่นแยกสารผสมสองชนิด สารผสมที่เลือกใช้ ในที่นี้ได้แก่สารผสมระหว่างเอทานอล (Ethanol) สูตรทางเคมีคือ  $C_2H_5OH$  กับน้ำ สาเหตุที่เลือกใช้เพราะ เป็นสารที่ไม่มีอันตราย สามารถหาได้ง่าย มีราคาไม่สูงเกินไปนัก และสามารถนำมาทดลองกลั่นแยกได้ โดยใช้อุปกรณ์หอกลิ้นที่มีอยู่ของห้องปฏิบัติการวิจัย อุปกรณ์ต่างๆของหอกลิ้นประกอบด้วย หอกลิ้น แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ส่วนบน (หมายเลข 3 ในรูปที่ 3.1) และส่วนล่าง (หมายเลข 4) ซึ่งทั้งสองส่วนจะแบ่ง โดยตำแหน่งการป้อนสารกลางหอ แต่ละส่วนมี 4 ชั้น ชั้นเป็นแบบแผ่นตะแกรง (sieve plate) มีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางของชั้น 50 มิลลิเมตร หอกลิ้นต่อกันในแนวตั้งเพื่อให้สารผสมในสถานะไอและสถานะ ของเหลวสามารถไหลสวนทางกันเกิดการแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนได้ มีฉนวนหุ้มทั้งสองส่วนเพื่อ ป้องกันการสูญเสียความร้อน หม้อต้มซ้ำ อยู่ที่ฐานของหอกลิ้น ใช้ช่วยลดความร้อนในการให้ความร้อน แก่สาร มีการหุ้มฉนวนโดยรอบเช่นกัน ภายในมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับของเหลว (หมายเลข 17) เพื่อ ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปหากของเหลวภายในหม้อต้มซ้ำมีปริมาณน้อย กว่าระดับที่กำหนดในขณะที่มีการให้พลังงานความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ และหลอดแก้วด้านหน้าของหม้อ ต้มซ้ำ (หมายเลข 18) ทำให้สามารถสังเกตระดับของเหลวภายในได้ง่าย

นอกจากนี้ก็มีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆได้แก่ ภาชนะบรรจุสารที่จะป้อนเข้าหอ ขนาด 5 ลิตร จำนวน 2 ใบ (หมายเลข 5 และ 6) มอเตอร์สูบลมเข้าหอ แบบ peristaltic (หมายเลข 7) เครื่องควบคุมแรงดัน (หมายเลข 8) ภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ (หมายเลข 9) และภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ (หมายเลข 10) อุปกรณ์รินน้ำออก (decanter) (หมายเลข 11) วาล์วป้อนสารกลับยอดหอ (หมายเลข 12) อุปกรณ์บรรจุสารช่วยในกรณีกลั่นแบบคงจุดเดือด (หมายเลข 24) เครื่องสูบลมสุญญากาศ (หมายเลข 20) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิต่างๆ

ในการกลั่นแบบต่อเนื่อง จะเปิดวาล์ว V1 เพื่อให้สารผลิตภัณฑ์ฐานหอไหลจากหม้อต้มซ้ำผ่าน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หมายเลข 15) ไปยังภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ ความร้อนจาก สารผลิตภัณฑ์ฐานหอนี้สามารถใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารผสมที่จะป้อนเข้ากลางหอได้ ขึ้นกับ ลักษณะการกลั่นว่าต้องมีการเพิ่มความร้อนของสารที่จะป้อนเข้ากลางหอหรือไม่ ส่วนในการกลั่นแบบ batch จะเปิดวาล์ว V1 แล้วเติมสารผสมที่ต้องการกลั่นเข้าไว้ในหม้อต้มซ้ำก่อนเริ่มต้นการกลั่น

สารผสมที่จะป้อนเข้าหอจะถูกสูบโดยมอเตอร์สูบลสาร (หมายเลข 7) เข้าไปยังหอกลั่น ตำแหน่งในการป้อนเข้าสามารถเลือกได้ 3 ตำแหน่งคือฐานหอ (A) กลางหอ (B) และยอดหอ (C) สายที่ใช้ในการป้อนสารกลางหอต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของสารผสมที่ทำกรกลั่น

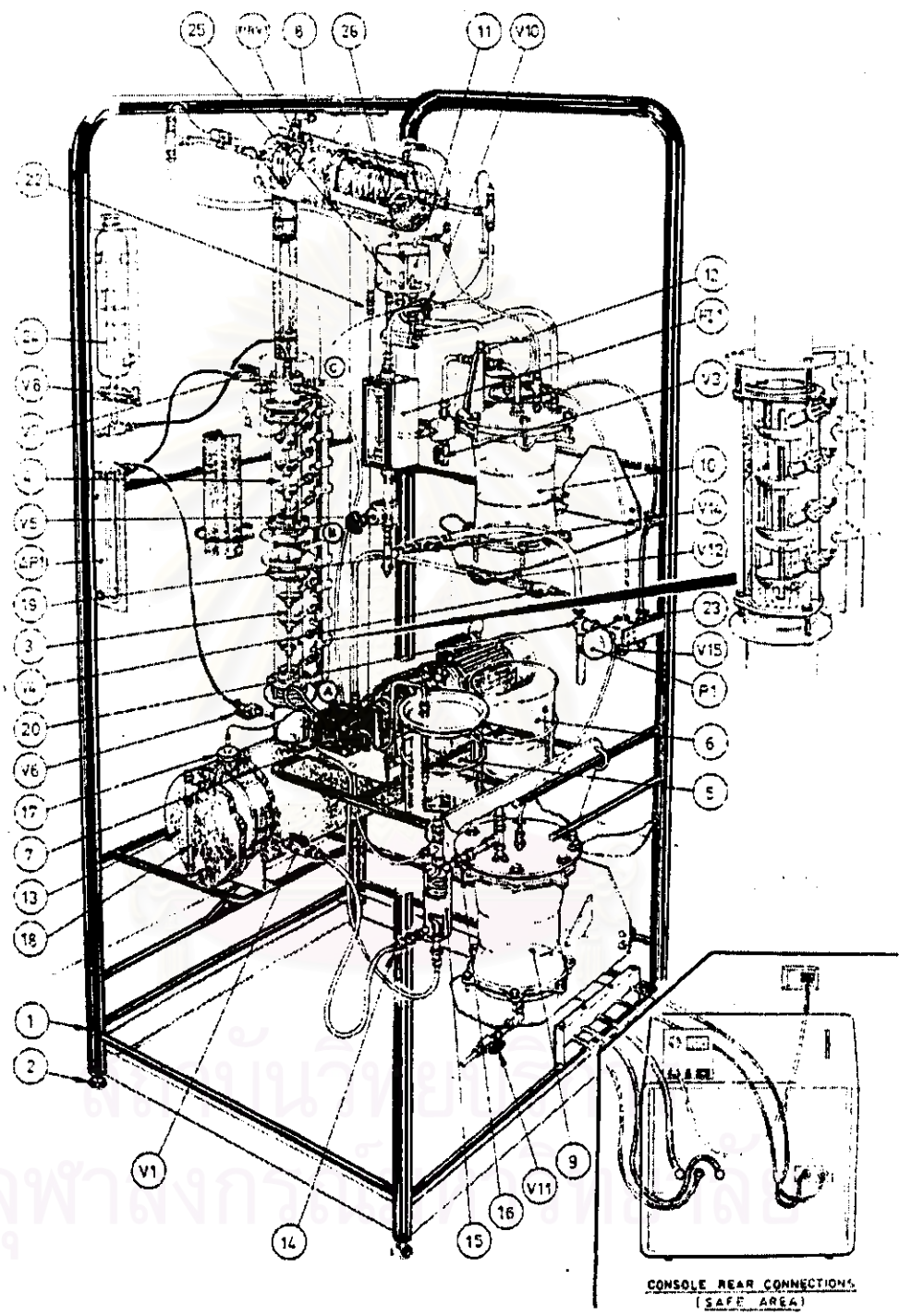
ไอของสารที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนจะผ่านจากด้านบนของหอไปยังเครื่องควบแน่น เครื่องควบแน่นนี้เป็นแบบถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำ ภายในเป็นท่อน้ำซึ่งขดเป็นเกลียว ภายนอกมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน เครื่องควบแน่นมีวาล์วลดความดัน (PRV1) เพื่อป้องกันความเสียหายต่อระบบหากภายในหอกลั่นมีความดันสูงเกินไป น้ำหล่อเย็นไหลผ่านมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอย (rotameter) (FI1) เข้าไปยังเครื่องควบแน่น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นสามารถควบคุมได้โดยวาล์ว V5 ในการกลั่นแบบลดความดันก็สามารถใช้น้ำหล่อเย็นนี้จ่ายให้แก่เครื่องสูบลสุญญากาศได้ สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำไปยังเครื่องสูบลสุญญากาศได้โดยวาล์ว V14

สารที่ได้จากการควบแน่นจะผ่านเข้าไปยัง decanter ซึ่งจะใช้ในกรณีการกลั่นแบบคงจุดเดือด (azeotropic distillation) ในการกลั่นแบบปกติจะไม่ใช้ decanter โดยเปิดวาล์ว V10 ซึ่งจะทำให้สารที่ได้จากการควบแน่นผ่านเลยอุปกรณ์แยกเฟสไปยังวาล์วควบคุมอัตราส่วนป้อนกลับ (หมายเลข 12) ซึ่งเป็นวาล์วโซลินอยด์ 3 ทาง การควบคุมทำได้โดยตั้งเวลาการสวิทช์ สารที่ได้จากการควบแน่นจะถูกป้อนกลับยังยอดหอ หรือออกไปยังภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ (หมายเลข 10) สารที่ถูกป้อนกลับยังยอดหอจะผ่านวาล์ว V3 ทำให้สามารถวัดอัตราไหลของสารที่ได้จากการควบแน่นได้

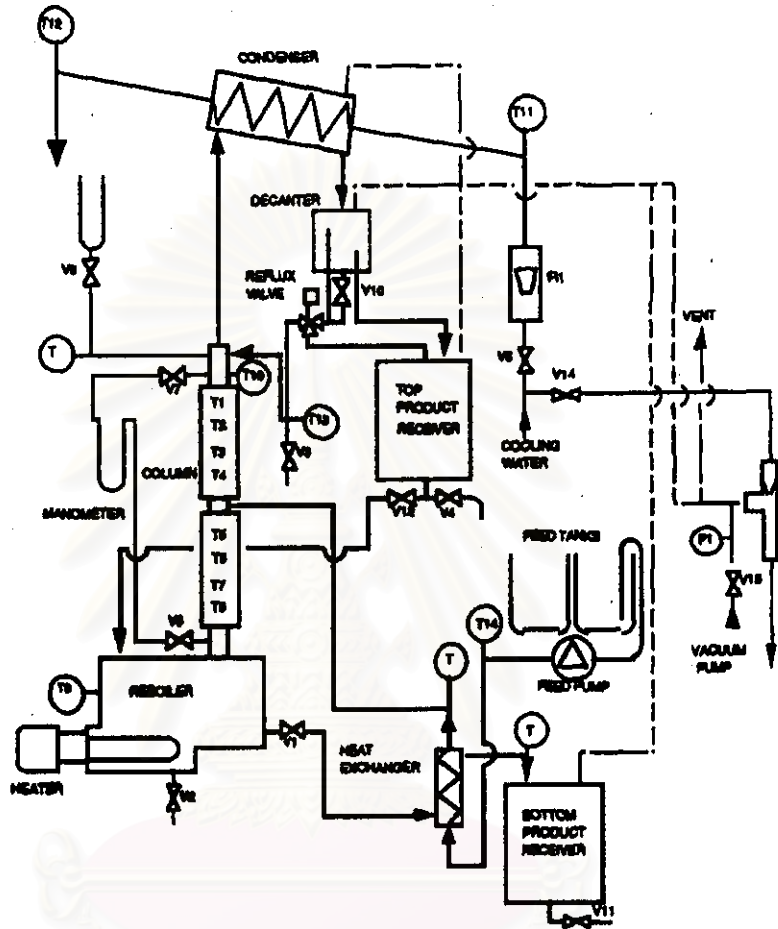
อุณหภูมิภายในระบบสามารถวัดได้โดยใช้คู่ควบความร้อน (thermocouple) (T1 ถึง T14) ซึ่งติดตั้งในตำแหน่งต่างๆภายในระบบ T1 ถึง T8 จะอยู่ภายในหอกลั่นเพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลวในแต่ละชั้น ส่วนที่เหลือจะอยู่ในตำแหน่งอื่นๆ ได้แก่ ที่หม้อต้มซ้ำ ทางเข้าและทางออกของเครื่องควบแน่น ตำแหน่งป้อนสารกลับยอดหอ และตำแหน่งป้อนสารกลางหอ

ความดันตกคร่อมหอกลั่น (pressure drop) สามารถวัดได้จากมาตรความดันของไหล (manometer) ( $\Delta P1$ ) โดยการเปิดวาล์ว V6 และ V7 ตามลำดับ ควรอ่านค่าอย่างรวดเร็ว เมื่ออ่านค่าความดันแล้วจึงปิดวาล์ว V6 และ V7 ตามลำดับอีกเช่นกัน ลำดับการเปิดและปิดวาล์วทั้งสองเช่นนี้จะทำให้ไม่มีฟองอากาศจากภายในหอกลั่นเข้ามายังมาตรความดันของไหล การอ่านค่าจะได้ไม่ผิดพลาดมากนัก

อุปกรณ์การควบคุมและอุปกรณ์วัดต่างๆสามารถสั่งงานและอ่านค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ โดยผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่ออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงคำสั่งจากตัวควบคุมภายนอกเพื่อให้อุปกรณ์การควบคุม เช่น หม้อต้มซ้ำหรือมอเตอร์สูบลสาร เป็นต้น สามารถทำงานตามคำสั่งนั้นได้ และทำหน้าที่แปลงค่าสัญญาณแทนอุณหภูมิจากคู่ควบความร้อนตำแหน่งต่างๆส่งไปให้กับตัวควบคุมภายนอก ทำให้มีความสะดวกในการสร้างตัวควบคุมแบบต่างๆมาใช้ในการควบคุม



รูปที่ 3.1 หอกันแยกสารสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม รุ่น Armfield UOP3CC

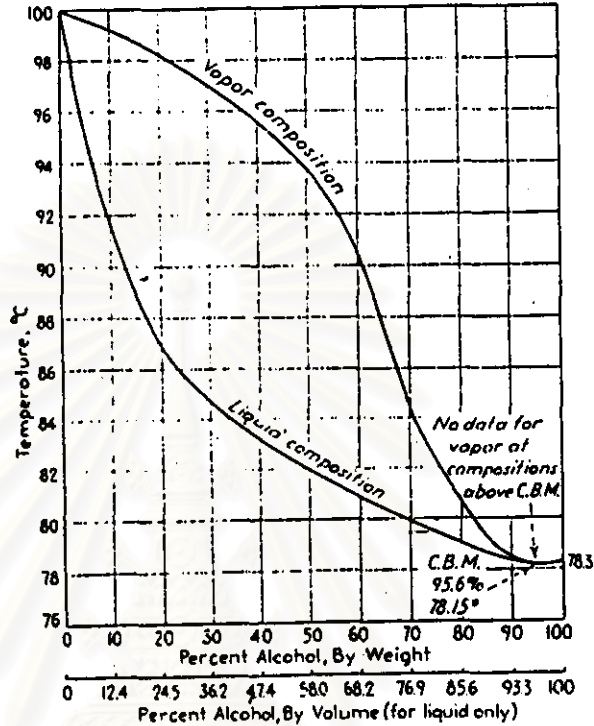


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ต่างๆของหอกลั่นแยกสารสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

ในการกำหนดจุดทำงานของกรกลั่นแยกสารผสมเอทานอลกับน้ำ สามารถทำได้โดยพิจารณาจากข้อมูลแผนภาพจุดเดือด (boiling point diagram) ของสารผสมนั้น แผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดัน 101 kPa แสดงดังรูปที่ 3.3 ในที่นี้จะกำหนดวัตถุประสงค์ให้จุดทำงานเป็นไปตามข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.1

	ชั้นยอดหอ	สารป้อนเข้า	ชั้นฐานหอ
ความเข้มข้นของเอทานอล (%โดยปริมาตร)	93	70	10
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	78.5	70	84
อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่ออนาที)	5	40	35

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจุดทำงานที่กำหนดขึ้น

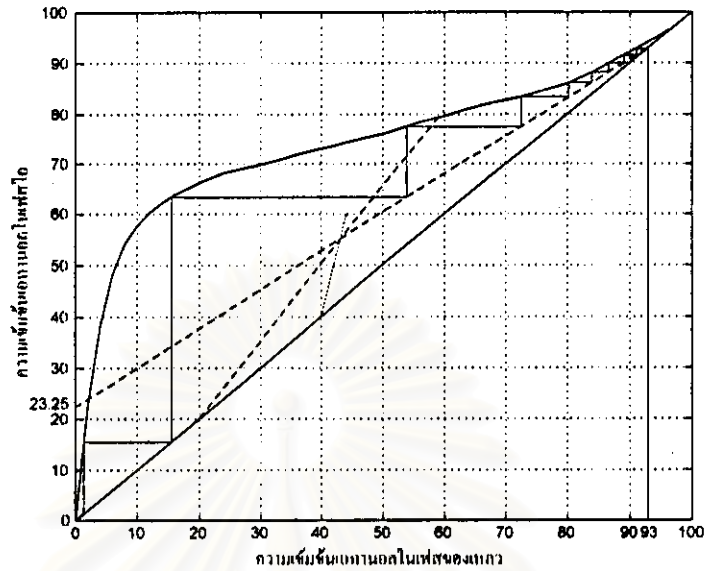


รูปที่ 3.3 แผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดัน 101 kPa

จากแผนภาพจุดเดือดในรูปที่ 3.3 นำมาสร้างกราฟสมดุลไอ-ของเหลวได้ดังรูปที่ 3.4 พิจารณาจากรูปเพื่อให้จำนวนชั้นของการกลั่นสอดคล้องกับจำนวนชั้นของหอกกลั่นของห้องปฏิบัติการจึงกำหนดเส้นปฏิบัติการส่วนเพิ่มความเข้มข้น (rectification section operating line) และส่วนไล่สารระเหยง่าย (stripping section operating line) ดังแสดงด้วยเส้นประในรูป จะได้จำนวนชั้นจากกราฟ 8 ชั้น ไม่นับชั้นที่เป็นหม้อต้มซ้ำ จากเส้นปฏิบัติการที่ลากขึ้นจะสามารถคำนวณอัตราส่วนป้อนกลับได้ดังนี้

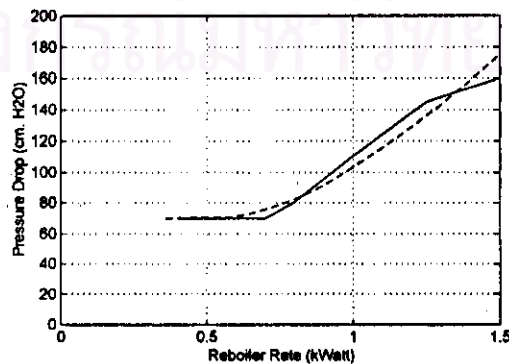
$$\text{ความชื้นของเส้นปฏิบัติการของส่วนเพิ่มความเข้มข้น} = \frac{R}{R+1} \tag{3.1}$$

เมื่อ  $R$  คืออัตราส่วนป้อนกลับ จากรูปที่ 3.4 แทนค่าความชื้นในสมการ (3.1) จะได้  $\frac{93 - 23.25}{93 - 0} = \frac{R}{1 + R}$  นั่นคือ  $R \approx 3$  แสดงว่าค่าอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอที่เหมาะสมในสภาวะสมดุลในจุดทำงานที่กำหนดขึ้นนี้มีค่าประมาณ 3



รูปที่ 3.4 แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดัน 101 kPa

วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมคือควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ แต่การวัดความเข้มข้นของสารเพื่อใช้ในการป้อนกลับต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการวิเคราะห์ความเข้มข้น และต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ จากแผนภาพจุดเดือดจะเห็นว่าความเข้มข้นของสารมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ความดันคงที่ ดังนั้นหากภายในหอกลั่นมีความดันคงที่แล้ว การวัดอุณหภูมิของสารที่ชั้นต่างๆภายในหอกลั่นเพื่อใช้ในการป้อนกลับจึงเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดกว่าการใช้เครื่องมือวิเคราะห์มาก จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่หม้อต้มซ้ำกับความดันตกคร่อมยอดหอ โดยการเปลี่ยนค่าพลังงานที่หม้อต้มซ้ำที่ละค่า รอให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วทำการวัดความดันตกคร่อมยอดหอ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.5 จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพลังงานที่จ่ายยังหม้อต้มซ้ำไม่ควรมีค่าสูงเกินไปนักเพื่อให้ความดันตกคร่อมหอกลั่นมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นค่าพลังงานที่จ่ายยังหม้อต้มซ้ำที่เหมาะสมสำหรับหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยไม่ควรมีค่าเกิน 0.8 กิโลวัตต์ที่สภาวะอยู่ตัว



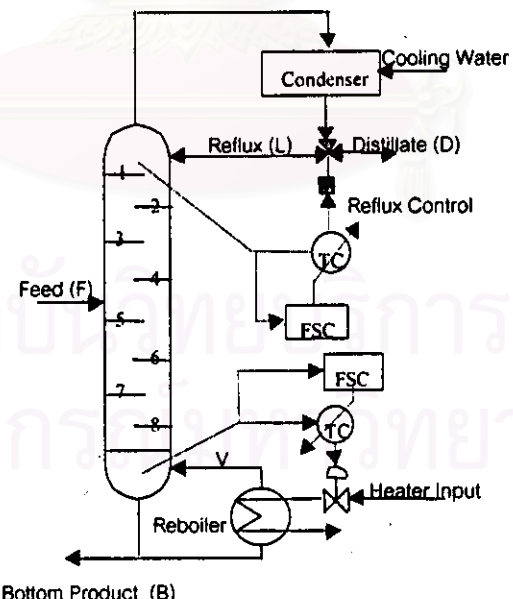
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่หม้อต้มซ้ำกับความดันตกคร่อมยอดหอ

เส้นทึบคือค่าที่สังเกตได้ ส่วนเส้นประคือค่าประมาณแนวโน้ม

ผลการศึกษาระบบควบคุมระบบ

ในการศึกษานี้จะใช้โครงสร้างของการควบคุมแบบสองวงรอบคือวงรอบการควบคุมฐานหอและวงรอบการควบคุมยอดหอดังรูปที่ 3.6 ทุกการทดลองจะใช้สารผสมเอทานอลกับน้ำ ความเข้มข้นสารตั้งต้นในหม้อต้มเข้าประมาณ 25% โดยปริมาตร (ดัชนีหักเหเท่ากับ 7.2 วัดจากมาตรรชนีหักเห; Refractometer) ความเข้มข้นของสารป้อนเข้ากลางหอประมาณ 70% โดยปริมาตร (ดัชนีหักเหเท่ากับ 18.4) ค่ากำหนดอุณหภูมิยอดหอคือ 78.5 องศาเซลเซียส ค่ากำหนดอุณหภูมิฐานหอคือ 84 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนสารปกติคือ 40 มิลลิลิตรต่อนาที การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

การทดลอง	การควบคุมในวงรอบฐานหอ	การควบคุมในวงรอบยอดหอ
1	ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี	ตัวควบคุมพีไอ
2	ตัวควบคุมพีไอ	ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี
3	ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี	ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี
4	ตัวควบคุมพีไอ	ตัวควบคุมพีไอ

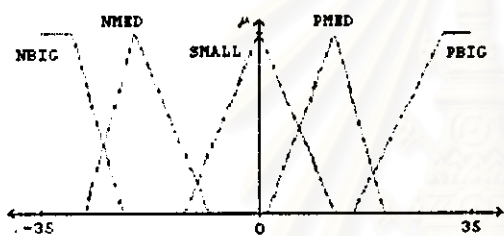


รูปที่ 3.6 โครงสร้างการควบคุมหอกลั่นแบบ LV

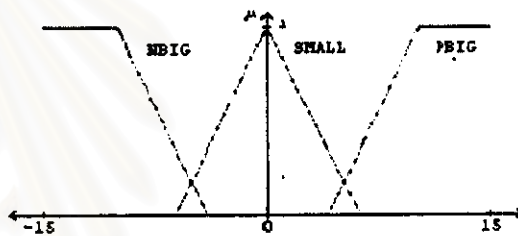
การทดลองที่ 1

ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซีในวงรอบการควบคุมฐานเหอ ส่วนวงรอบย่อยหือใช้ตัวควบคุมพีไอ มีการรบกวนระบบโดยลดการป้อนสารเข้าที่เวลา 41 นาที เป็น 30 มิลลิลิตรต่อนาที ที่เวลา 57.5 นาทีอัตราป้อนสารเข้าเป็นค่าปกติคือ 40 มิลลิลิตรต่อนาที ที่เวลา 72 นาทีเพิ่มเป็น 50 มิลลิลิตรต่อนาที และที่เวลา 86 นาทีก็ลดลงสู่ค่าปกติ

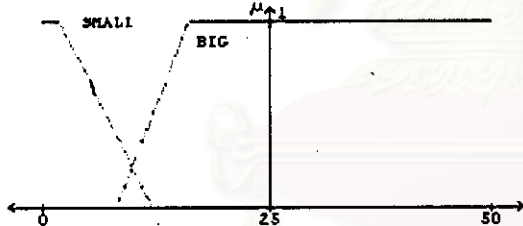
รูปที่ 3.7 ถึง 3.9 แสดงการออกแบบในส่วนตัวควบคุมพีซี รูปที่ 3.7 เป็นฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ ได้แก่สัญญาณค่าผิดพลาดและอนุพันธ์ของสัญญาณค่าผิดพลาดซึ่งเป็นตัวแปรเข้า  $K_p$  และ  $K_i$  เป็นตัวแปรออก ฐานกฎการควบคุมที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.8 และแผนภาพพื้นผิวของตัวแปรออกทั้งสองแสดงดังรูปที่ 3.9



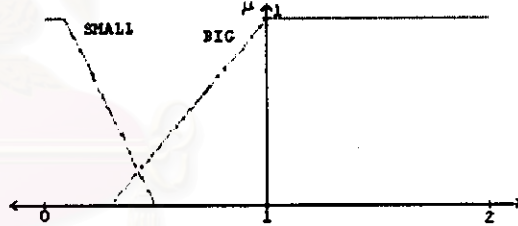
รูปที่ 3.7ก สัญญาณค่าผิดพลาด



รูปที่ 3.7ข อนุพันธ์ของสัญญาณค่าผิดพลาด



รูปที่ 3.7ค  $K_p$



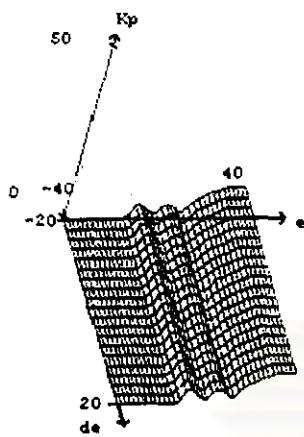
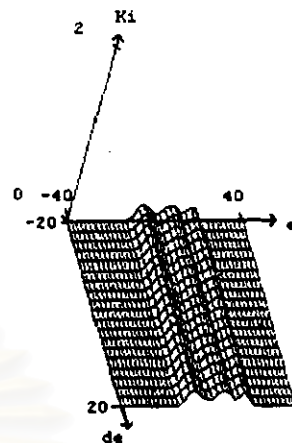
รูปที่ 3.7ง  $K_i$

รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ ในการทดลองที่ 1

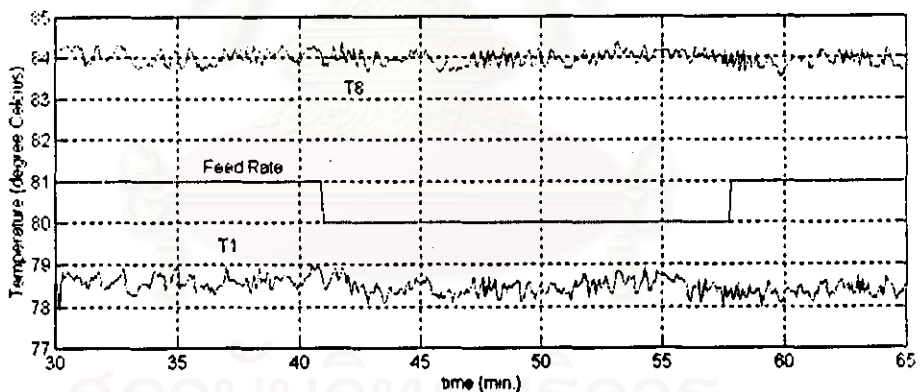
IF E IS NBIG	THEN <no action>
IF E IS NMED	THEN <no action>
IF E IS SMALL	THEN $K_p$ IS SMALL, $K_i$ IS SMALL
IF E IS PMED	THEN $K_p$ IS SMALL, $K_i$ IS SMALL
IF E IS PBIG	THEN $K_p$ IS BIG

รูปที่ 3.8 ฐานกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมพีซีในการทดลองที่ 1

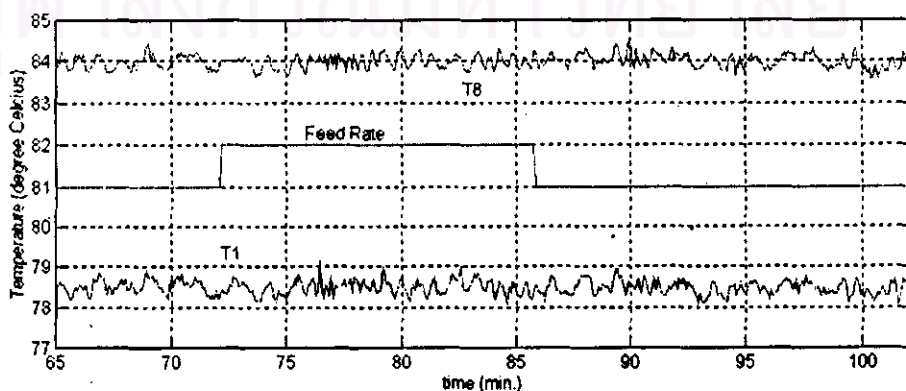


รูปที่ 3.9ก แผนภาพพื้นผิวของ  $K_p$ ,รูปที่ 3.9ข แผนภาพพื้นผิวของ  $K_i$ ,

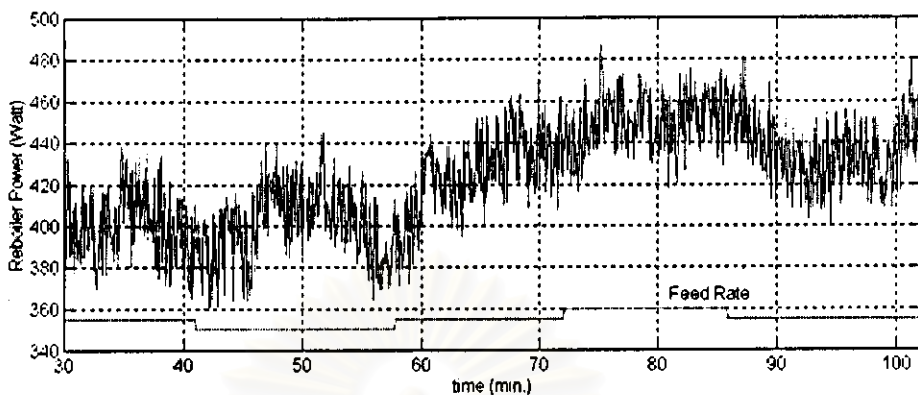
ผลการทดลอง จากรูป 3.11ก และ 3.11ข ที่แสดงผลตอบอุณหภูมิยอดหอและฐานหอจะเห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้า ตัวควบคุมพีไอที่มีการกำกับดูแลด้วยพีซีในวงรอบฐานหอ สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ที่ค่ากำหนดได้ดีเป็นที่น่าพอใจ ส่วนตัวควบคุมพีไอธรรมดาในวงรอบยอดหอ สามารถรักษาอุณหภูมิที่ยอดหอให้อยู่ที่ค่ากำหนดได้ดีเช่นเดียวกัน



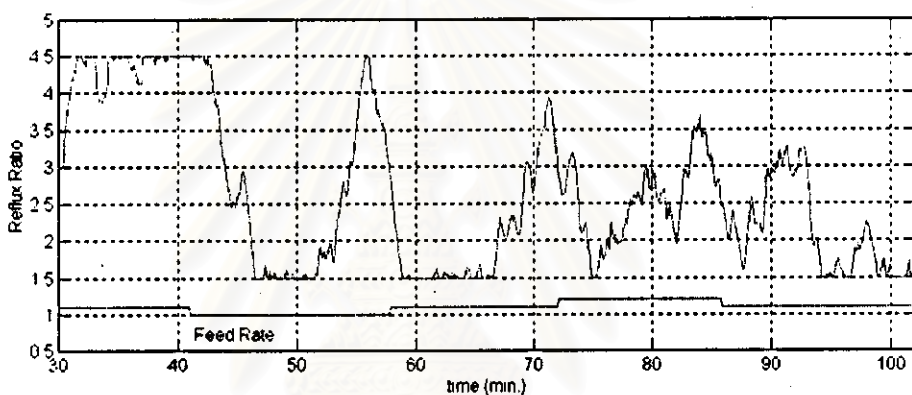
รูปที่ 3.10ก อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



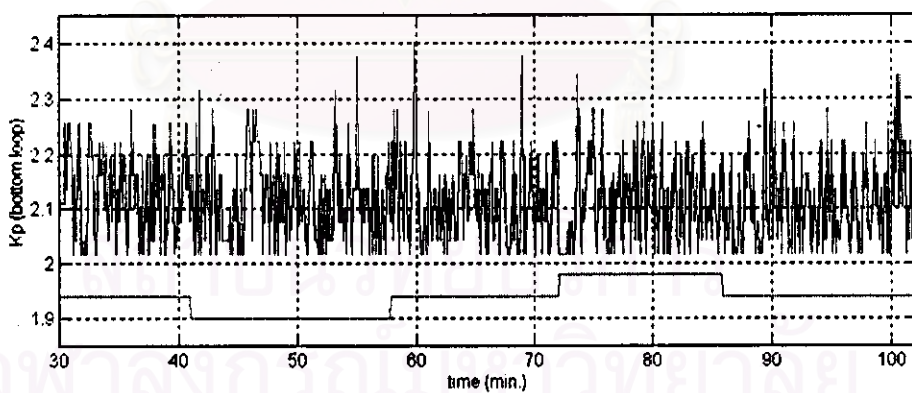
รูปที่ 3.10ข อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



รูปที่ 3.11 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำ



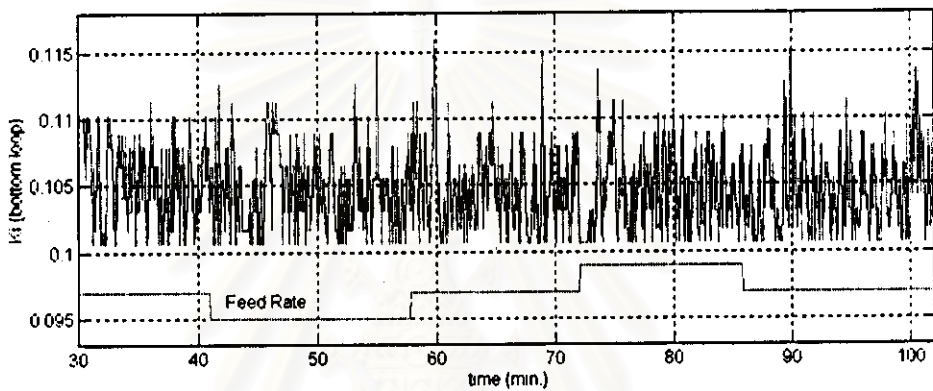
รูปที่ 3.12 อัตราป้อนสารกลับ

รูปที่ 3.13 ค่าพารามิเตอร์  $K_p$ 

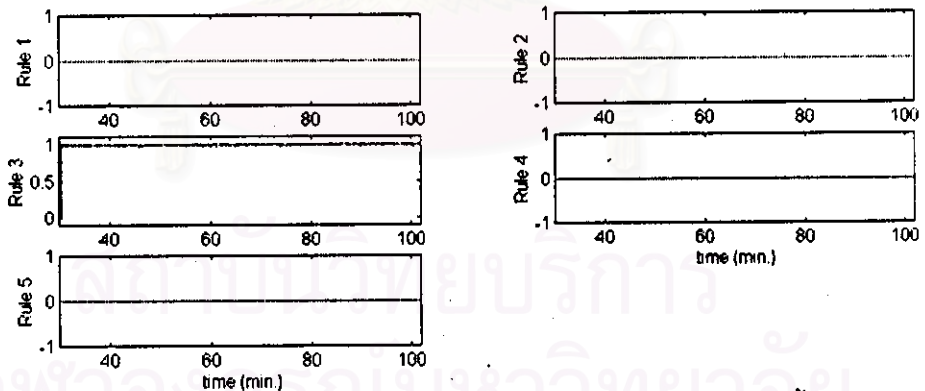
พิจารณาพลังงานที่หม้อต้มซ้ำในรูปที่ 3.11 มีค่าประมาณ 360 ถึง 480 วัตต์ซึ่งอยู่ในพิสัยที่ความดันตกคร่อมภายในหออยู่ในช่วงคงที่ ส่วนค่าพลังงานที่หม้อต้มซ้ำนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างรวดเร็ว ซึ่งเป็นเพราะค่าพารามิเตอร์  $K_p$  และ  $K_c$  ที่ถูกปรับจูนด้วยพีซีซีมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก อุปกรณ์หม้อต้มซ้ำที่ใช้ในที่นี้เป็นแบบขดลวดความร้อนสั่งงานโดยสัญญาณไฟฟ้าจึงอาจไม่มีปัญหาในการทำงานมากนัก แต่หากเป็นแบบอื่น เช่น อุปกรณ์หม้อต้มซ้ำที่ใช้ไอน้ำร้อนในการเพิ่มความร้อนของสารผสมและใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของไอน้ำร้อน ค่า

สัญญาณควบคุมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้อาจทำได้จริง ในกรณีเช่นนี้อาจต้องออกแบบฐานกฎ การควบคุมและการกระจายของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆใหม่ เพื่อให้ความไวในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์นี้ลดลง

พิจารณาฐานกฎการควบคุมที่ถูกปฏิบัติงานมีเพียงกฎที่ 3 เพียงกฎเดียว เพราะสนใจการทำงาน ในช่วงสถานะอยู่ตัวเท่านั้น เมื่อมีการรบกวนเข้าสู่ระบบตัวควบคุมก็สามารถกำจัดผลได้ ไม่มีอุณหภูมิ ช่วงใดที่จะเบี่ยงเบนเกินค่ากำหนดจนสามารถทำให้กฎอื่นๆถูกกระตุ้นให้ทำงานได้เลย



รูปที่ 3.14 ค่าพารามิเตอร์  $K$ ,

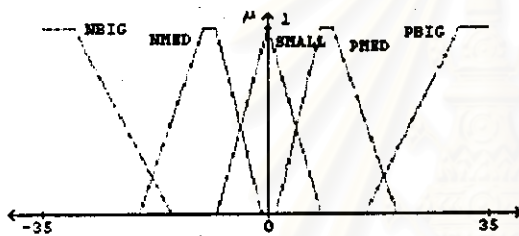


รูปที่ 3.15 ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎ

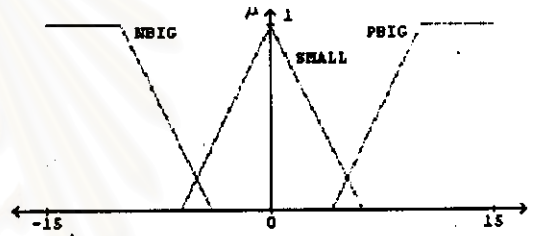
การทดลองที่ 2

ใช้ตัวควบคุมพีไอธรรมดาในวงรอบการควบคุมฐานหอ ส่วนวงรอบย่อยหอใช้การควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี มีการรบกวนระบบโดยลดการป้อนสารเข้ากลางหอเป็นเวลา 72 นาทีเป็น 30 มิลลิลิตรต่อนาที และเพิ่มเป็น 40 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 86 นาที

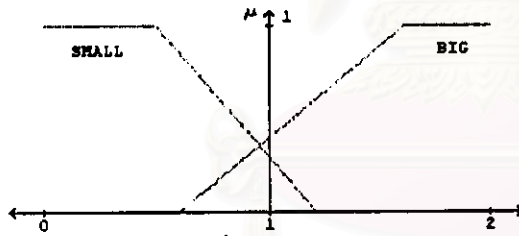
รูปที่ 3.16 ถึง 3.18 แสดงการออกแบบในส่วนตัวควบคุมพีซี รูปที่ 3.16 เป็นฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ ได้แก่สัญญาณค่าผิดพลาดและอนุพันธ์ของสัญญาณค่าผิดพลาดซึ่งเป็นตัวแปรเข้า  $K_p$  และ  $K_i$  เป็นตัวแปรออก ฐานกฎการควบคุมที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.17 และแผนภาพพื้นผิวของตัวแปรออกทั้งสองแสดงดังรูปที่ 3.18



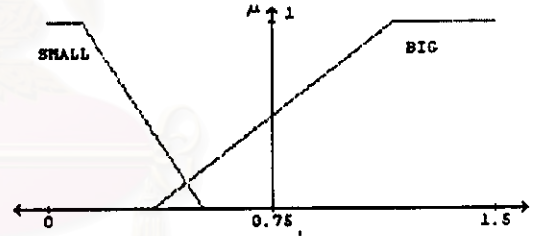
รูปที่ 3.16 สัญญาณค่าผิดพลาด



รูปที่ 3.16x อนุพันธ์ของสัญญาณค่าผิดพลาด



รูปที่ 3.16ค  $K_p$

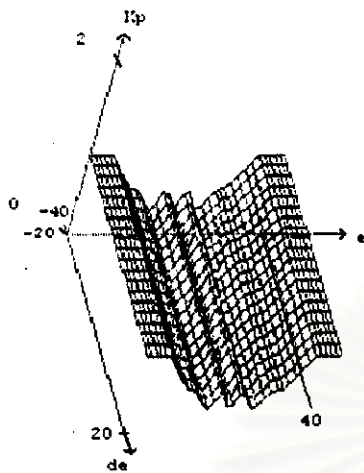


รูปที่ 3.16ง  $K_i$

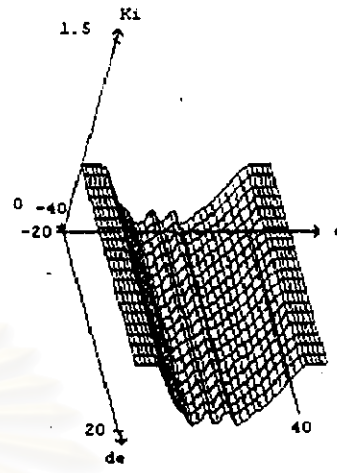
รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ ในการทดลองที่ 2

IF E IS NBIG	THEN KP IS BIG	, KI IS BIG
IF E IS NMED	THEN KP IS SMALL	, KI IS SMALL
IF E IS SMALL	THEN KP IS SMALL	, KI IS SMALL
IF E IS PMED	THEN KP IS SMALL	, KI IS SMALL
IF E IS PBIG	THEN KP IS BIG	, KI IS BIG

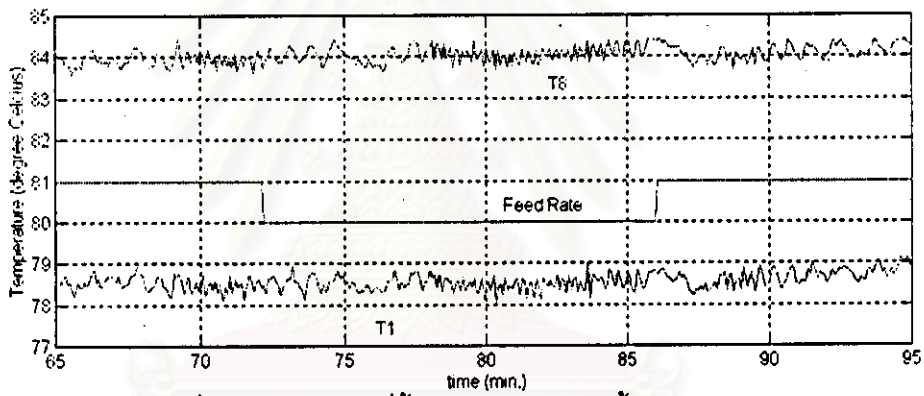
รูปที่ 3.17 ฐานกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมพีซีในการทดลองที่ 2



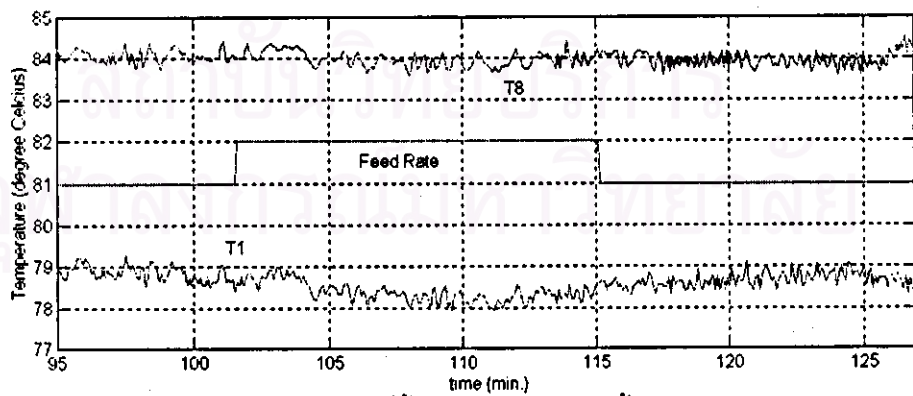
รูปที่ 3.18ก แผนภาพพื้นผิวของ  $K_p$



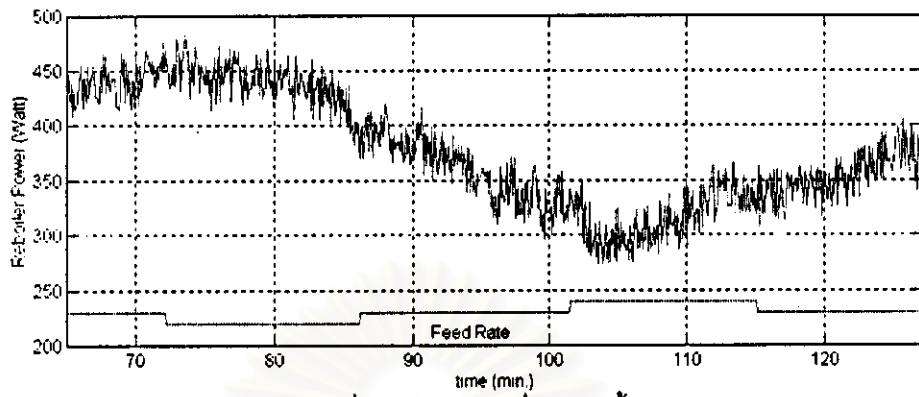
รูปที่ 3.18ข แผนภาพพื้นผิวของ  $K_i$



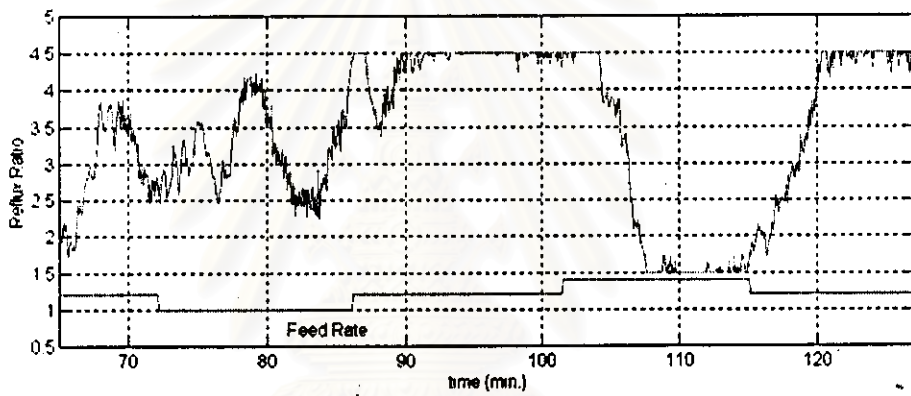
รูปที่ 3.19ก อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



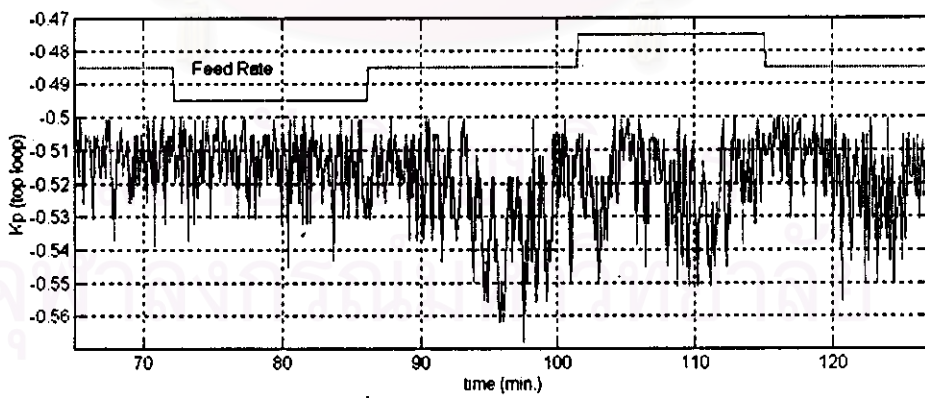
รูปที่ 3.19ข อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



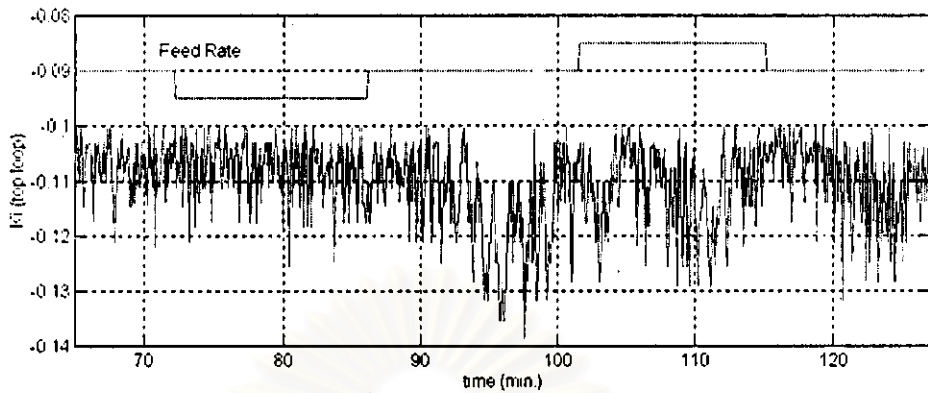
รูปที่ 3.20 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำ



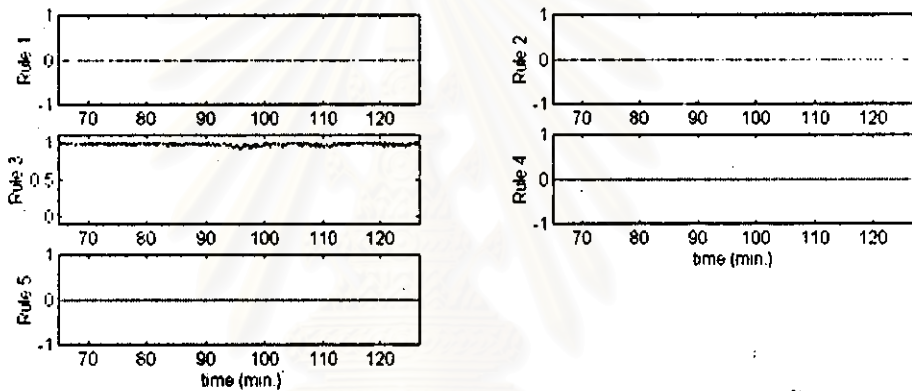
รูปที่ 3.21 อัตราป้อนสารกลับ



รูปที่ 3.22 ค่าพารามิเตอร์  $K_p$



รูปที่ 3.23 ค่าพารามิเตอร์  $K_i$



รูปที่ 3.24 ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎ

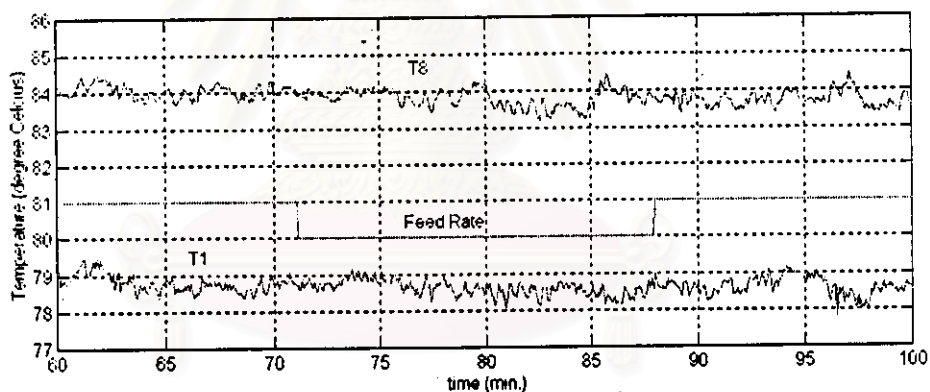
ผลการทดลองจากรูป 3.20ก และ 3.20ข เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้า ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยฟัซซีในวงรอบยอหดสามารถควบคุมให้อุณหภูมิยอหดอยู่ที่ค่าที่กำหนดได้เป็นที่น่าพอใจ เช่นเดียวกับตัวควบคุมพีไอพื้นฐาน

พิจารณาพลังงานที่หม้อต้มซ้ำจะเห็นว่ามีช่วงค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 และยังคงอยู่ในช่วงค่าที่ทำให้ความดันตกคร่อมมีค่าคงที่ สัญญาณพลังงานที่หม้อต้มซ้ำมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วพอๆกับการทดลองที่ 1 แต่มีขนาดของการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า แต่สัญญาณการป้อนสารกลับมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยฟัซซีมีความไวในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์

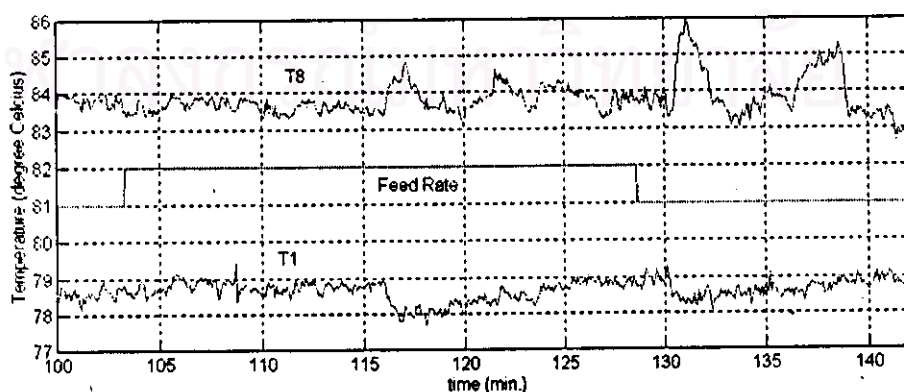
### การทดลองที่ 3

ในการทดลองนี้จะศึกษาในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอรวมค่าทั้งสองวงรอบการควบคุม ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมใช้ค่าเฉลี่ยในสภาวะอยู่ตัวของพารามิเตอร์นั้นๆตามการทดลองที่ 1 และ 2 ยกตัวอย่างเช่นค่าพารามิเตอร์  $K_p$  ของตัวควบคุมพีไอในวงรอบการควบคุมฐานหอ ได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์  $K_p$  ในรูปที่ 3.10k ตั้งแต่เวลา 30 นาที จนถึงเวลา 42 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ระบบอยู่ในสภาวะอยู่ตัว มีอัตราป้อนสารเข้ามีค่า 40 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นต้น

ผลการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อมีการรบกวนระบบ อุณหภูมิยอดหอและฐานหอมีค่าเปลี่ยนแปลงมากกว่าในสองการทดลองแรก โดยอุณหภูมิฐานหอส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่ากำหนดที่ 84 องศาเซลเซียส แม้ตัวควบคุมจะเพิ่มพลังงานที่หม้อต้มซ้ำขึ้นก็ยังไม่สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ที่ค่ากำหนดได้ กระบวนการดำเนินไปจนกระทั่งพลังงานที่หม้อต้มซ้ำมีค่าสูงเกิน 1 กิโลวัตต์ ซึ่งทำให้ความดันตกคร่อมภายในหอมีค่าสูงขึ้นมา ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดความดันคงที่ที่ต้องการ

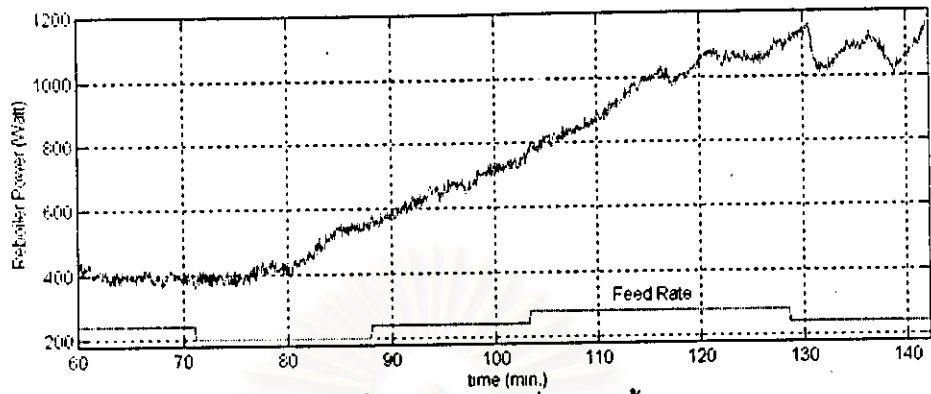


รูปที่ 3.25k อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)

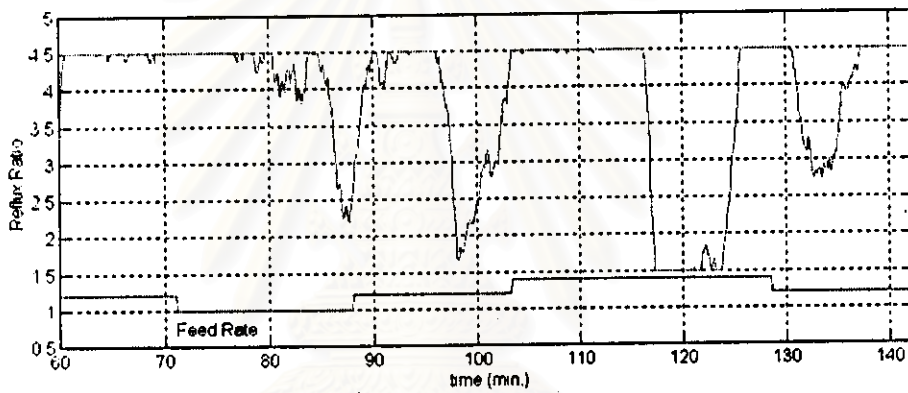


รูปที่ 3.25x อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)





รูปที่ 3.26 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำ



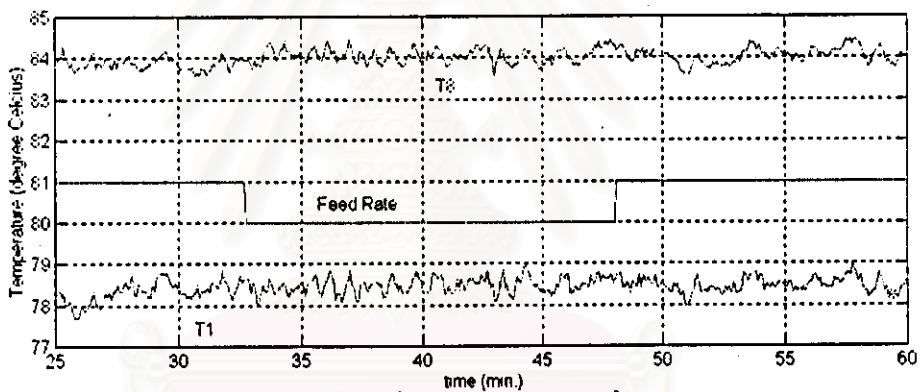
รูปที่ 3.27 อัตราป้อนสารกลับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

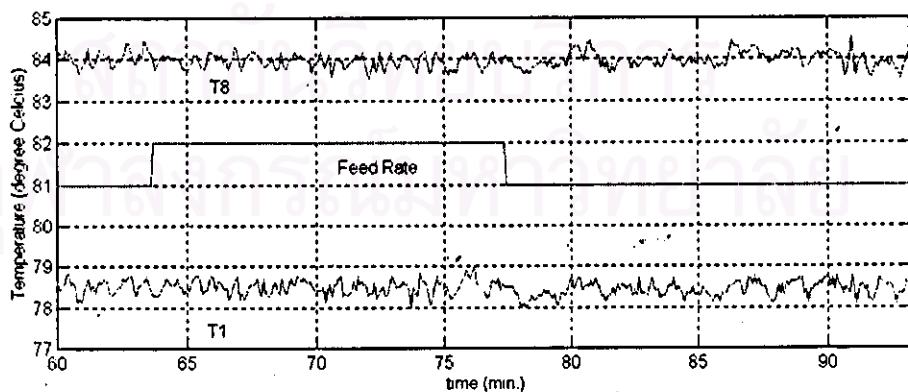
#### การทดลองที่ 4

ใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซีทั้งในวงรอบการควบคุมยอดหอและฐานหอ พารามิเตอร์  $K_p$  และ  $K_i$  ในวงรอบการควบคุมยอดหอและฐานหอนี้ค่าเริ่มต้นเท่ากับในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

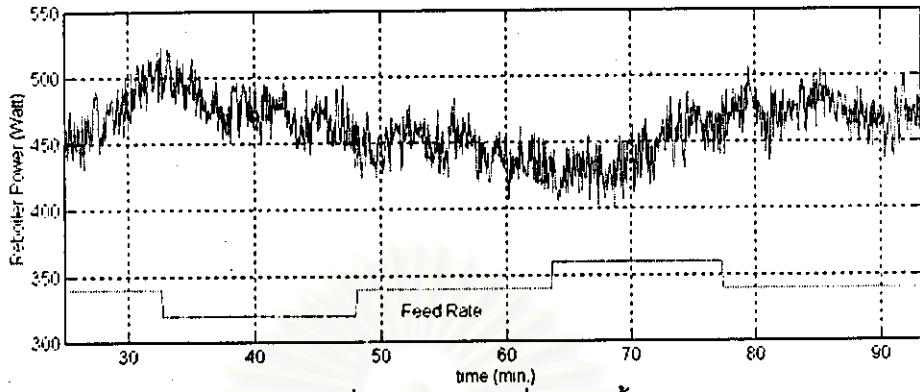
ผลการทดลองจากรูปที่ 3.29ก และ 3.29ข จะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้า ตัวควบคุมสามารถรักษาผลตอบอุณหภูมิยอดหอและฐานหอได้ที่ค่ากำหนดอย่างน่าพอใจ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการควบคุมในการทดลองที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลทั้งสองวงรอบมีแนวโน้มที่จะได้ผลการควบคุมดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลเพียงวงรอบเดียว โดยให้พลังงานที่หม้อต้มซ้ำใกล้เคียงกัน



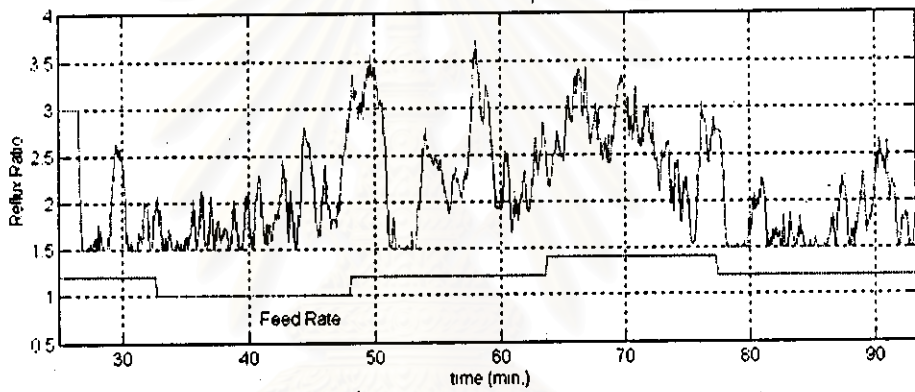
รูปที่ 3.28ก อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



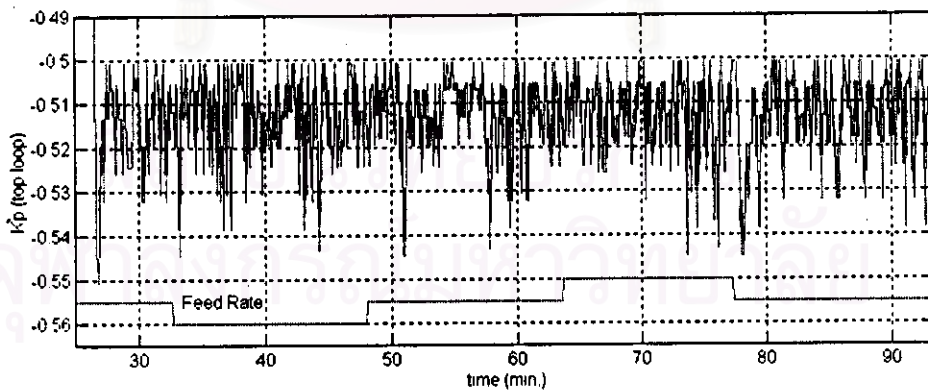
รูปที่ 3.28ข อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8)



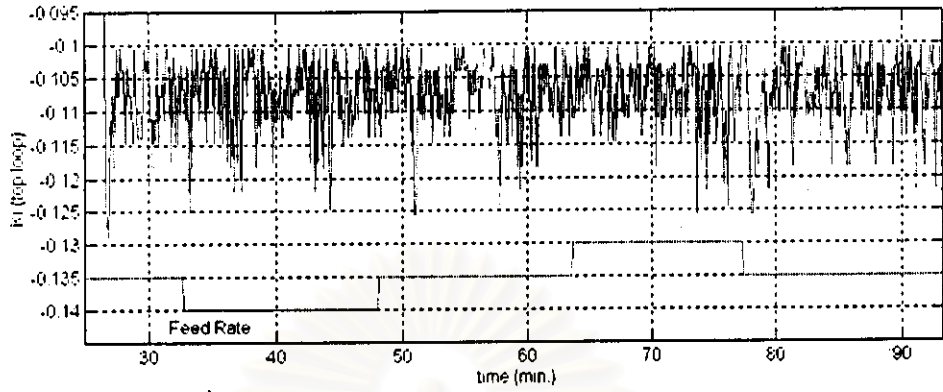
รูปที่ 3.29 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำ



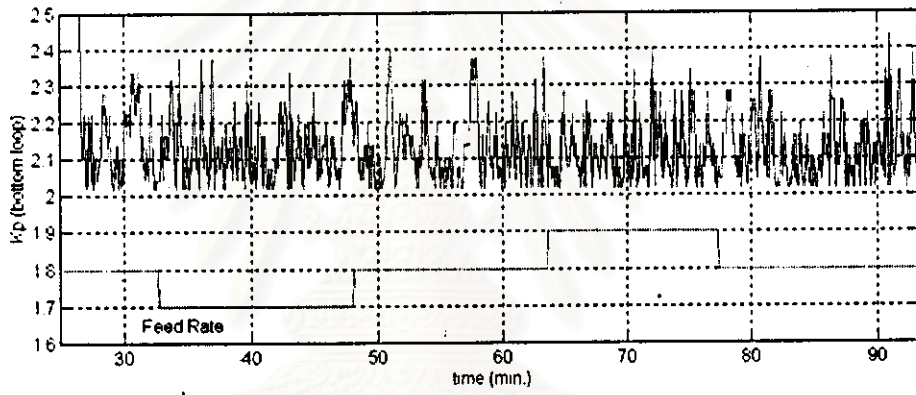
รูปที่ 3.30 อัตราป้อนสารกลับ



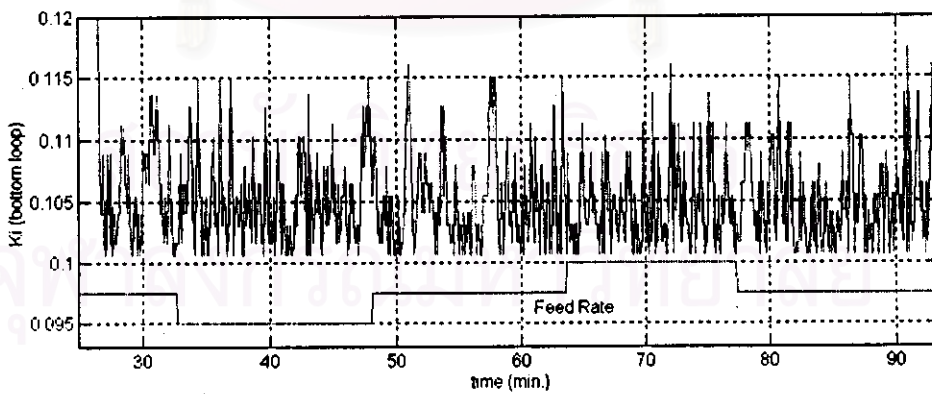
รูปที่ 3.31 ค่าพารามิเตอร์  $K_p$  ของตัวควบคุมในวงรอบยอดหอ



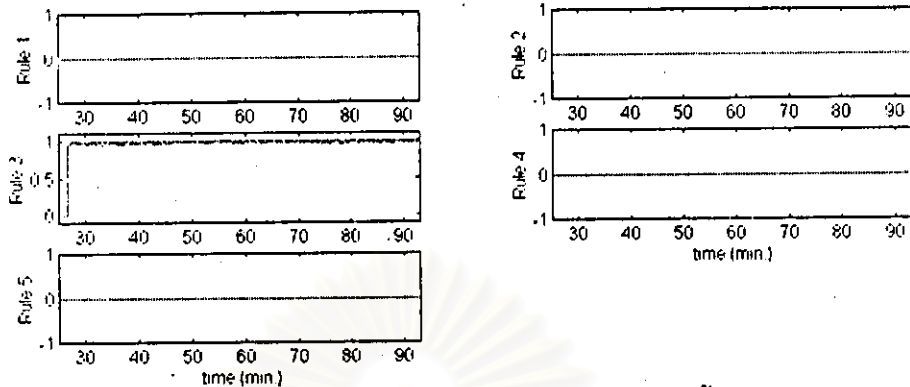
รูปที่ 3.32 ค่าพารามิเตอร์  $K_i$  ของตัวควบคุมในวงรอบยอดหอ



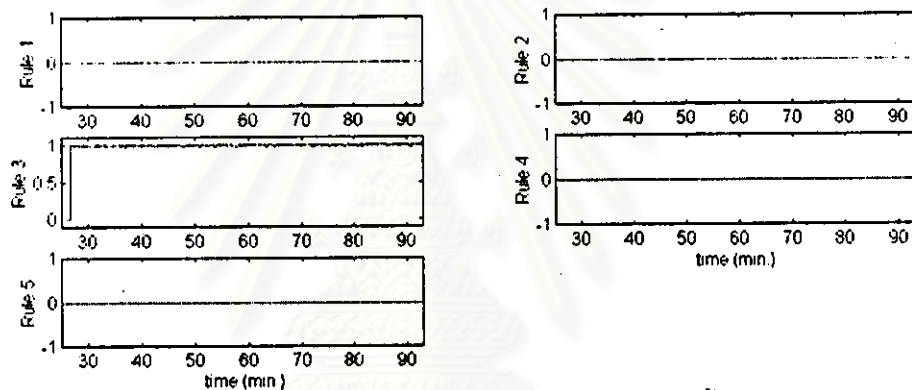
รูปที่ 3.33 ค่าพารามิเตอร์  $K_p$  ของตัวควบคุมในวงรอบฐานหอ



รูปที่ 3.34 ค่าพารามิเตอร์  $K_i$  ของตัวควบคุมในวงรอบฐานหอ



รูปที่ 3.35 ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎในวงรอบยดหอ



รูปที่ 3.36 ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎในวงรอบฐานหอ

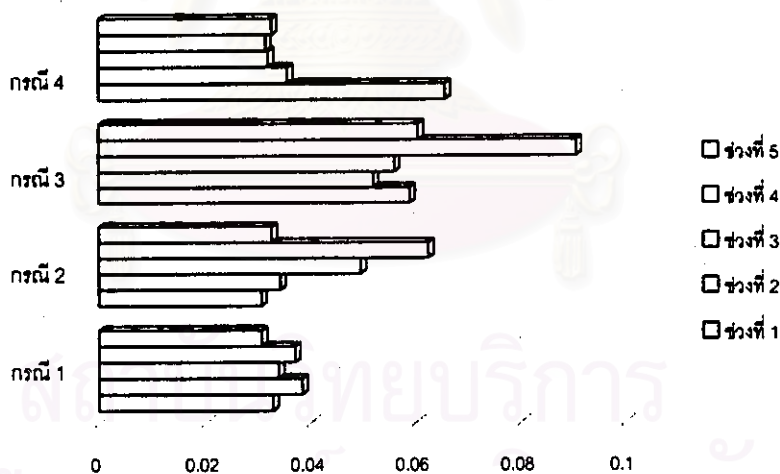
พิจารณาค่าแปรปรวนของอุณหภูมิยอดหอและฐานหอดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ จะเปรียบเทียบระหว่างการทดลองทั้ง 4 กรณี ช่วงที่ 1 ถึง 5 หมายถึงช่วงเวลาของการเปลี่ยนอัตราป้อนสารเข้าค่าต่างๆ โดยช่วงที่ 1 เป็นเวลาดังแต่ระบบอยู่ในสภาวะอยู่ตัวอัตราป้อนสารเข้าเท่ากับ 40 มิลลิลิตร ต่อนาทีจนกระทั่งเริ่มลดอัตราป้อนสารลงเหลือ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ช่วงที่ 2 เป็นช่วงซึ่งอัตราป้อนสารเข้ามีค่า 30 มิลลิลิตรต่อนาที ช่วงที่ 3 อัตราป้อนสารเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 40 มิลลิลิตรต่อนาที ช่วงที่ 4 อัตราป้อนสารเข้ามีค่า 50 มิลลิลิตรต่อนาที และช่วงที่ 5 อัตราป้อนสารเข้าลดลงเป็น 40 มิลลิลิตรต่อนาที จากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่า โดยรวมแล้วตัวควบคุมพีไอธรรมดาจะมีค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงกว่ากรณีอื่นๆทุกช่วงเวลา ในขณะที่การใช้การควบคุมแบบก้ำกับลูจะมีค่าแปรปรวนของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงข้อดีของการควบคุมแบบก้ำกับลูแล้ว

	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	ช่วงที่ 5
กรณีที่ 1	0.0328	0.0384	0.0339	0.0370	0.0307
กรณีที่ 2	0.0306	0.0342	0.0496	0.0625	0.0326
กรณีที่ 3	0.0590	0.0520	0.0561	0.0907	0.0606
กรณีที่ 4	0.0658	0.0357	0.0320	0.0315	0.0327

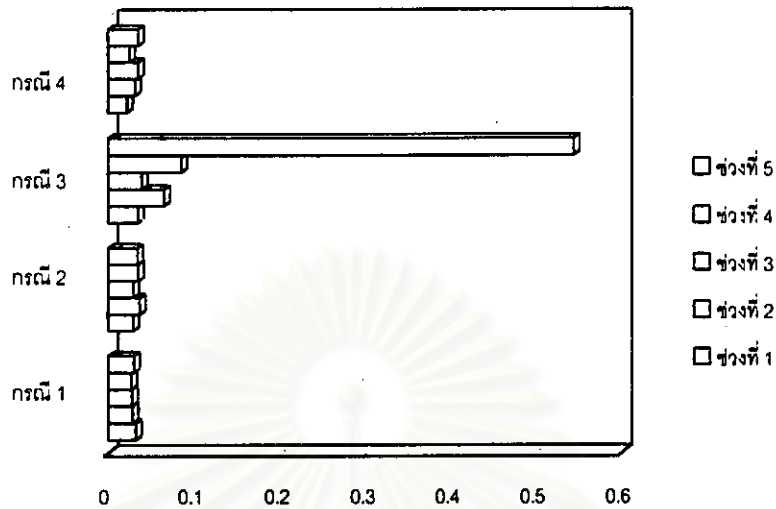
ตารางที่ 3.2 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิยอดหอ

	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	ช่วงที่ 5
กรณีที่ 1	0.0321	0.0284	0.0275	0.0270	0.0299
กรณีที่ 2	0.0290	0.0364	0.0291	0.0352	0.0341
กรณีที่ 3	0.0349	0.0652	0.0392	0.0847	0.5438
กรณีที่ 4	0.0224	0.0316	0.0351	0.0247	0.0353

ตารางที่ 3.3 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิฐานหอ



รูปที่ 3.37 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิยอดหอเปรียบเทียบทั้ง 4 การทดลอง



รูปที่ 3.38 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิฐานหอเปรียบเทียบทั้ง 4 การทดลอง

### สรุป

จากการทดลองต่างๆนี้แสดงให้เห็นว่าสำหรับหอกลั่นแยกสารสองชนิดที่มีโครงสร้างการควบคุมแบบ LV โดยใช้การควบคุมแบบพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซีสามารถให้ผลการควบคุมระบบได้ดีเมื่อมีการรบกวน และการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลทั้งวงรอบการควบคุมยอดหอและฐานหอจะให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการใช้เพียงวงรอบเดียว ส่วนการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอธรรมดาทั้งสองวงรอบจำเป็นต้องมีการดูแลจากผู้ปฏิบัติงานอย่างใกล้ชิดเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆเกี่ยวกับผลการควบคุมที่อาจเกิดขึ้น ในขณะที่การใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลจะทำให้ภาระในการเฝ้าดูแลลดลงได้ อย่างไรก็ตามสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบกำกับดูแลจะมีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างรวดเร็ว หากอุปกรณ์ควบคุมไม่สามารถตอบสนองต่อสัญญาณเหล่านี้ได้ ก็อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์นั้นๆและผลการควบคุมโดยรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย