บทที่ 3

กระบวนการและการสร้างแบบจำลอง

3.1 กระบวนการผลิตส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีน

กระบวนผลิตส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนในการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนปฏิบัติการผลิตที่สำคัญ (ดังรูปที่ 3.1) ได้แก่

3.1.1 ส่วนปฏิบัติการย่อย Hexane Stripping System

หน่วยปฏิบัติการย่อยนี้ทำหน้าที่ในการแยกเฮกเซนออกจากพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยผ่านกระบวนการกลั่นที่หอกลั่น T-703 หรือหอ Stripper กระแสป้อนเข้าสู่กระบวนการมี 2 กระแสหลัก ได้แก่ 1) กระแส 703 ซึ่งเป็นกระแสเฮกเซนที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นมาองค์ประกอบหลักของสารได้แก่ เฮกเซน พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ บิวทีน-1 และน้ำ กระแสหลักทำการป้อนเข้าที่ชั้นล่างสุดของหอกลั่นหรือชั้นที่ 10 และ 2) กระแส 715-1 เป็นกระแสป้อนเฮกเซนเข้าสู่หอกลั่น T-703 โดยปริมาณที่ป้อนจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของกระแส 703

กระแสที่ได้จากยอดหอกลั่น T-703 จะถูกส่งไปยังส่วนปฏิบัติการระเหยน้ำ ในขณะที่กระแสก้นหอกลั่นจะถูกส่งไปยังถังแยกแฟลชลำดับที่ 1 (D-711) เพื่อแยกเฮกเซนที่ตกค้างกลับมายังหอกลั่น T-703 ส่วนพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกส่งไปยังถังแยกแฟลชลำดับที่ 2 (D-712) ก่อนถูกส่งถ่ายไปยังหน่วยปฏิบัติการ 600 หน่วยถังเก็บพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ต่อไป

3.1.2 ส่วนปฏิบัติการย่อย Hexane Dehydration System

เฮกเซนปนเปื้อนที่ได้จากยอดหอกลั่น T-703 หรือกระแส 710 เป็นเฮกเซนที่มีน้ำปนอยู่ในปริมาณที่เกินกว่าที่จะสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการกำจัดน้ำ นั่นคือ ทำการป้อนกระแสยอดหอกลั่น T-703 ไปยังดีแคนเตอร์ (D-702) ซึ่งเป็นถังแยกแบบไอ-ของเหลวชั้นที่ 1-ของเหลวชั้นที่ 2 โดยน้ำกับเฮกเซนรวมถึงแก๊สบิวทีน-1 เมื่อเข้ามาในถังดีแคนเตอร์ น้ำและเฮกเซนจะเกิดการแยกชั้นกันโดยที่น้ำมีความหนาแน่นสูงกว่าเฮกเซนจึงอยู่ในชั้นก้นถังดีแคนเตอร์ซึ่งถือเป็นของเหลวชั้นที่ 2 ในขณะที่เฮกเซนมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงอยู่เหนือชั้นน้ำซึ่งถือเป็นของเหลวชั้นที่ 1 น้ำที่เป็นของเหลวชั้นที่ 2 จะถูกแยกออกทางก้นถัง แต่กระนั้น ก็ยังมีน้ำบางส่วนและแก๊สปนไปกับกระแสเฮกเซนซึ่งเป็นของเหลวชั้นที่ 1 ส่งไปยังหอระเหยน้ำ (T-704) กระบวนการกลั่นที่หอระเหยน้ำเป็นการกลั่นของผสมที่ไม่เป็นอุดมคติมีพฤติกรรมคล้ายการกลั่นแบบสารอะซีโอโทรป กระแสที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นคือ กระแส 729 ซึ่งมีองค์ประกอบของเฮกเซนสูง

มากและมีน้ำปนเปื้อนในปริมาณน้อย ป้อนเข้าสู่ชั้นที่ 1 ของหอกลั่นระเหยน้ำ กระแสผลิตภัณฑ์ก้นหอที่ได้คือ เฮกเซนที่มีน้ำปนเปื้อนไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม (กระแส 735) ในขณะที่กระแสยอดหอกลั่นคือ เฮกเซน น้ำและแก๊ส

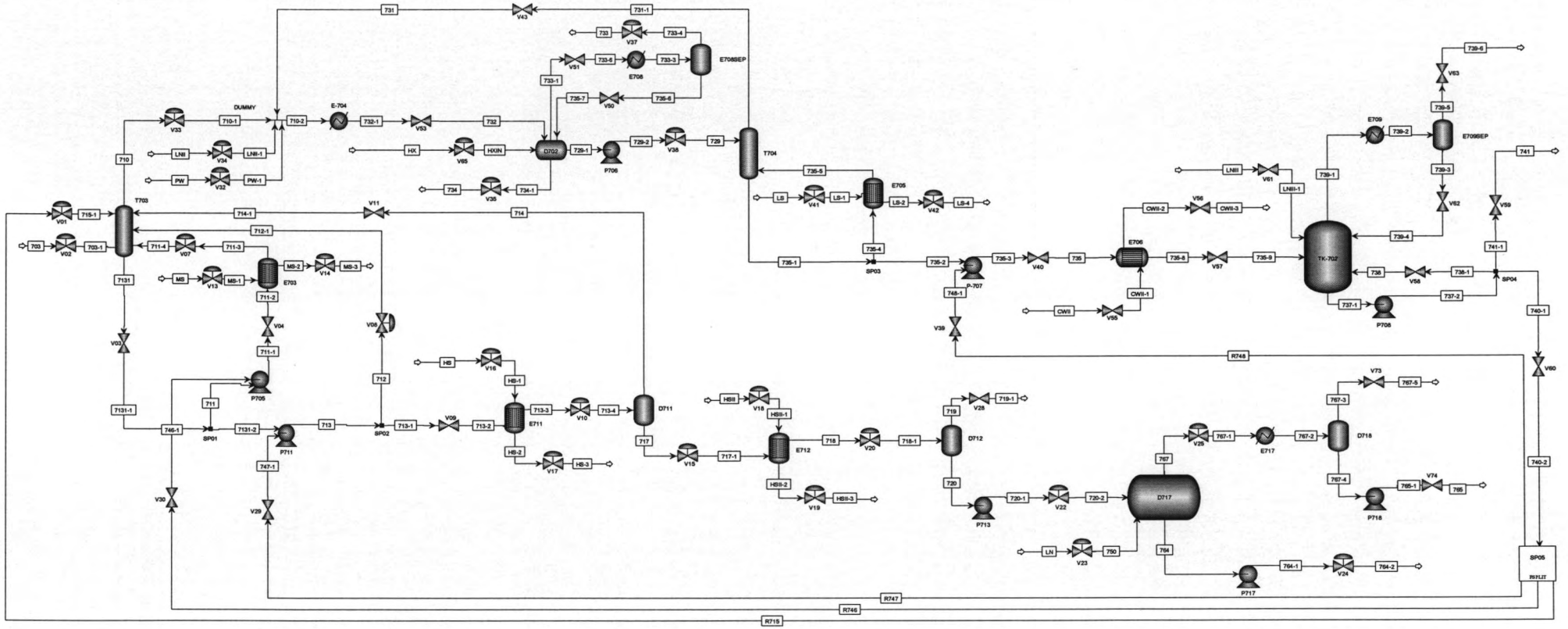
3.1.3 **ส่วนปฏิบัติการย่อย** Hexane Distribution System

ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากการกลั่นระเหยน้ำจะถูกส่งไปเก็บยังถังสะสม (TK-702) ซึ่งเฮกเซนจากถังสะสมนี้จะผ่านการระเหยน้ำอีกครั้งก่อนส่งไปใช้ยังหน่วยปฏิบัติการอื่นๆ เช่น หน่วยเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา หน่วยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น หน่วยการกลั่นแยกเฮกเซน หรือแม้กระทั่งระบบการล้าง (Flushing line) เป็นต้น

3.1.4 **ส่วนปฏิบัติการย่อย** Low Polymer Handling System

พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่หลอมละลายในเฮกเซนจากหอกลั่น T-703 จะถูกปั๊มให้มีความดันสูงขึ้นก่อนส่งผ่านเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E-711) ซึ่งมีไอน้ำความดันสูงเป็นแหล่งแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 180-220 องศาเซลเซียส แล้วจึงปล่อยเข้าสู่ถังแยกแฟลชลำดับที่ 1 (D-711) เพื่อลดความดันและอุณหภูมิลง ผลที่ได้ก็คือ เฮกเซนส่วนใหญ่ที่ติดมากับพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะระเหยกลายเป็นไอออกไปตามท่อกลับไปยังหอกลั่น T-703 อีกครั้ง

เฮกเซนที่ค้างอยู่ใน D-711 และพอลีเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกอุ่นให้ร้อนด้วยคอยส์ไอน้ำที่อยู่ใน D-711 และถูกดันผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E-712) เพื่อเพิ่มความร้อนขึ้นอีกครั้ง จากนั้นของเหลวจะไหลเข้าถังแยกแฟลชลำดับที่ 2 (D-712) ก่อนส่งไปยังหน่วยปฏิบัติการถัดไป



รูปที่ 3.1 กระบวนการกลั่นแยกเฮกเซน หน่วยปฏิบัติการ 700

3.1.5 **กระบวนการกลั่นที่หอระเหยน้ำ** (T-704)

กระแสที่ได้จากการกลั่นที่ยอดหอกลั่น T-703 จะถูกส่งมายังถังดีแคนเตอร์โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-704 ที่ถังดีแคนเตอร์เกิดสมดุลสถานะของเหลว-ของเหลว-ไอ โดยการแยกชั้นระหว่างของเหลวเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่น และสภาพที่ไม่ละลายต่อกันหรือละลายต่อกันน้อยมาก ณ อุณหภูมิที่ทำการดำเนินการ โดยสารองค์ประกอบหลักที่ป้อนเข้าสู่ถังดีแคนเตอร์ได้แก่ เฮกเซน น้ำ บิวทีน-1 ทั้งนี้ น้ำเป็นสารมีขั้วและเฮกเซนเป็นสารไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่ไม่มีขั้วทำให้ไม่ละลายต่อกัน น้ำมีความหนาแน่นสูงกว่าจึงหนักกว่าและเกิดการแยกชั้นจากเฮกเซนไปที่ก้นถังดีแคนเตอร์ก่อนที่จะถูกไล่น้ำออกจากทางด้านก้นถัง ในขณะที่เฮกเซนลอยอยู่บนชั้นน้ำและถูกควบคุมระดับของเหลวโดยการปรับวาล์วการไหลของกระแสก่อนป้อนเข้าสู่หอกลั่นระเหย (T-704)

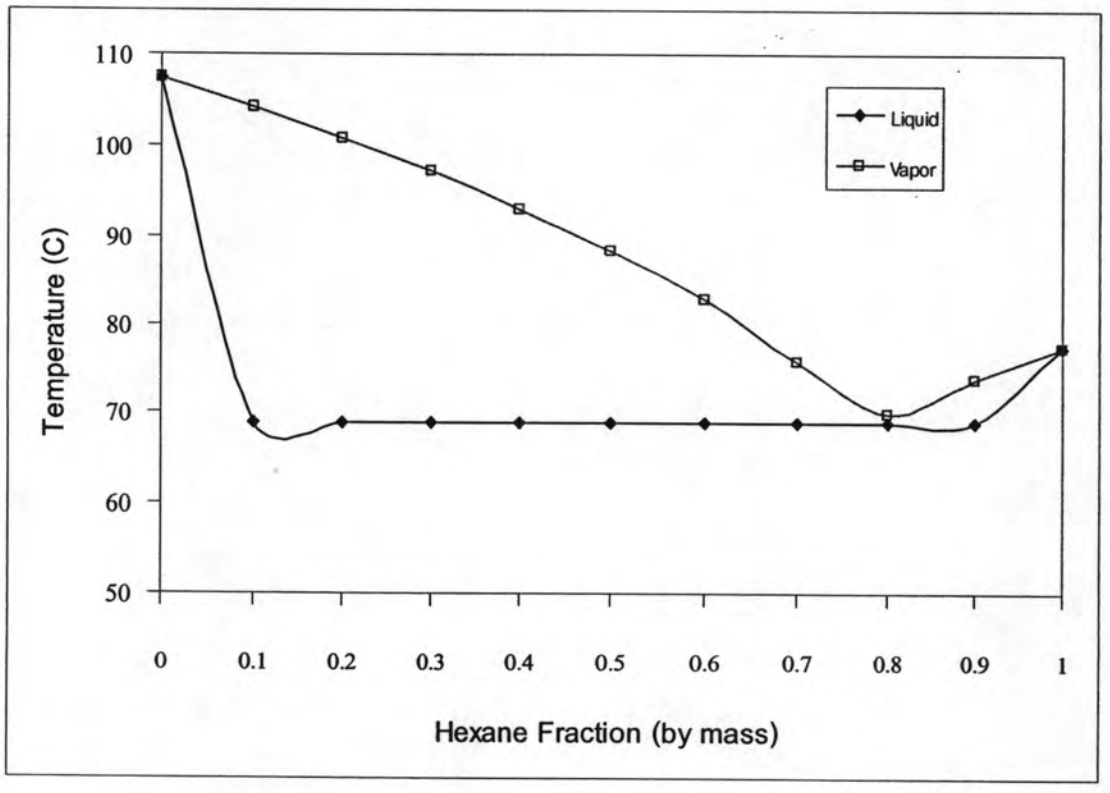
กระแส 729 เป็นกระแสที่มีองค์ประกอบของเฮกเซนเป็นส่วนมาก รองลงมาคือองค์ประกอบของแก๊สเช่น บิวทีน-1 และน้ำบางส่วน โดยทำการป้อนเข้าที่ชั้นที่ 1 ของหอกลั่นระเหยน้ำ เพื่อดำเนินการกลั่นให้ได้ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่มีน้ำปนเปื้อนไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม

แต่เนื่องจากองค์ประกอบของเฮกเซนและน้ำเมื่อผสมกันจะเกิดพฤติกรรมของสารแบบไม่อุดมคติ กล่าวคือ มีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับการกลั่นสารประเภทที่เกิดจุดอะซีโอโทรป โดยได้ทำการสร้างความสัมพันธ์ของสมดุลของเหลวและไอของของผสมทั้งสองภายใต้ความดัน 0.35 K/G เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนโดยมวลที่มีต่ออุณหภูมิของเหลวและไอ แสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ของสมดุลของเหลวและไอพบว่า ถ้าองค์ประกอบของเฮกเซนที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นมีปริมาณต่ำ กล่าวคือ ต่ำกว่า 0.8 ดังนั้น กระบวนการกลั่นจะได้น้ำเป็นองค์ประกอบหลักที่ก้นหอ ในขณะที่ได้องค์ประกอบผสมระหว่างเฮกเซนและน้ำที่ยอดหอกลั่น อีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า ยิ่งอุณหภูมิการกลั่นสูงมากยิ่งขึ้น เส้นกราฟการกลั่นยิ่งเคลื่อนไปด้านซ้าย ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการกลั่นของหอกลั่นที่ก้นหอกลั่นมีอุณหภูมิสูง ในขณะที่ยอดหอกลั่นมีการดำเนินการที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะที่ก้นหอกลั่นได้รับอิทธิพลและการแลกเปลี่ยนความร้อนจากหม้อต้มซ้ำคอยให้พลังงานอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ยอดหอกลั่นไม่มีแหล่งให้ความร้อนเสริม (ในกรณีกระบวนการดำเนินงานหน่วยการกลั่นแยกเฮกเซน)

ตารางที่ 3.1 สมดุลของเหลวและไอของของผสมระหว่างเฮกเซนและน้ำที่ความดัน 0.35 K/G

สัดส่วนโดยมวลของเฮกเซน	สัดส่วนโดยมวลของน้ำ	เส้นของเหลว	เส้นของไอ
0	1	107.30	107.30
0.1	0.9	68.87	104.20
0.2	0.8	68.87	100.80
0.3	0.7	68.87	97.15
0.4	0.6	68.87	93.00
0.5	0.5	68.87	88.25
0.6	0.4	68.87	82.65
0.7	0.3	68.87	75.72
0.8	0.2	68.87	69.80
0.9	0.1	68.87	73.70
1	0	77.32	77.32



รูปที่ 3.2 กราฟสมดุลของเหลว-ไอระหว่างเฮกเซนและน้ำ

ในทำนองเดียวกันหากกระแสป้อน 729 มีองค์ประกอบของเฮกเซนที่มากกว่า กล่าวคือ มีสัดส่วนโดยมวลของเฮกเซนสูงมากกว่า 0.8 เป็นต้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นจะได้เฮกเซนที่ก้นหอกลั่น ทั้งๆที่เฮกเซนมีความดันไอสูงกว่าน้ำ และมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นนั้นสัมพันธ์กับพฤติกรรมของของผสมดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแตกต่างจากวิธีการกลั่นแบบอุดมคติทั่วไป เช่น การกลั่นแยกระหว่างบิวทีนกับเฮกเซน เป็นต้น

3.1.6 วงควบคุมกระบวนการของส่วนการนำกลับเฮกเซน (หน่วยปฏิบัติการ 700)

วงควบคุมกระบวนการของส่วนการนำกลับเฮกเซนมีทั้งสิ้น 17 วงควบคุม ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วงควบคุมกระบวนการของส่วนการนำกลับเฮกเซน (หน่วยปฏิบัติการ 700)

วงควบคุม	ตัวแปรควบคุม	ปรับวาล์ว	ทิศทางการควบคุม	ชนิดของเครื่องควบคุม
FRC3712	อัตราการไหลกระแส 703	FV3712	สวนกลับ	พีไอ
FIC3713	อัตราการไหลกระแสเฮกเซน	FV3736	สวนกลับ	พีไอ
FIC3721	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันปานกลาง	FV3721	สวนกลับ	พีไอ
FIC3722	อัตราการไหลกระแส 713	FV3722	สวนกลับ	พีไอ
FIC3731	อัตราการไหลกระแสน้ำที่ใช้ในกระบวนการ	FV3731	สวนกลับ	พีไอ
FIC3734	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันต่ำ	FV3734	สวนกลับ	พีไอ
FRC3736	อัตราการไหลกระแสเฮกเซน 715	FV3736	สวนกลับ	พีไอ
LICS3721	ระดับของเหลวก้นหอกลั่น T-703	LV3721	โดยตรง	พีไอ
LICA3722	ระดับของเหลวที่ถังแยกแฟลช D-711	LV3722	โดยตรง	พีไอ
LICA3731	ระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ D-702 (เฟส 1)	LV3731	โดยตรง	พีไอ
LICA3732	ระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ D-702 (เฟส 2)	LV3732	โดยตรง	พีไอ
LIC3733	ระดับของเหลวก้นหอกลั่น T-704	LV3733	โดยตรง	พีไอ
PICS3721	ความดันของหอกลั่น T-703	PV3721	โดยตรง	พีไอ
PIC3723	ความดันของกระแส 713	PV3723	สวนกลับ	พีไอ
PICA3731	ความดันของถังดีแคนเตอร์ D-702	PV3731	โดยตรง	พีไอ
TIC3724	อุณหภูมิของกระแสก่อนเข้าถังแยกแฟลช D-711	TV3724	สวนกลับ	พีไอ
TIC3728	อุณหภูมิของกระแสก่อนเข้าถังแยกแฟลช D-712	TV3728	สวนกลับ	พีไอดี

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรม Aspen Engineering Suite ได้แก่ Aspen Plus และ Aspen Dynamics

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตพอลิเอทิลีนหน่วยการผลิต 700 จากข้อมูลประวัติศาสตร์ของเครื่อง DCS (Distributed Control System)

3.3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารการดำเนินการผลิตของโรงงาน

3.4 การดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการ

การจำลองกระบวนการผลิตโดยโปรแกรม Aspen Engineering Suite เพื่อเลียนแบบกระบวนการผลิตจริง แบ่งเป็นกรณีศึกษา 2 กรณี ดังนี้

3.4.1 การจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว (Steady state simulation)

การจำลองกระบวนการผลิตที่สถานะคงตัว โดยโปรแกรม Aspen Plus เพื่อคำนวณหาดุลมวลสารและพลังงาน นอกจากนี้ยังเป็นการเตรียมแบบจำลองกระบวนการเพื่อใช้ในการพัฒนาไปเป็นแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัต วิธีการสร้างแบบจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัวดำเนินตามขั้นตอนดังนี้

1. การดำเนินการวิเคราะห์และเลือกข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากกระบวนการผลิตจริง โดยเลือกข้อมูลที่ช่วงเวลาที่การดำเนินการเป็นไปอย่างราบรื่น และมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารป้อนเข้าสู่กระบวนการ เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริง
2. การดำเนินการตั้งค่าหน่วยของตัวแปรภายในแบบจำลองกระบวนการตามหน่วยที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง
3. การระบุสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตภายในแบบจำลองกระบวนการ
4. การกำหนดการคำนวณคุณสมบัติพื้นฐาน (Base property) เพื่อเป็นทิศทางในการคำนวณของแบบจำลองกระบวนการทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ ดุลมวลและพลังงาน
5. การติดตั้งอุปกรณ์การผลิตในแบบจำลองกระบวนการ พร้อมตั้งค่าภาวะการดำเนินการตามข้อมูลของกระบวนการผลิตจริง รวมถึงการปรับกำลังการผลิตให้เท่ากับกระบวนการผลิตจริง
6. การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลเชิงมวลสารกับกระบวนการผลิตจริง
7. การเตรียมแบบจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัวเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการจำลองกระบวนการเชิงพลวัต โดยการกำหนดข้อมูลทางกายภาพของอุปกรณ์การผลิต เช่น ชนิด

ของอุปกรณ์การผลิต การติดตั้งอุปกรณ์การผลิตในแนวระนาบหรือแนวตั้ง การกำหนดขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์การผลิต เป็นต้น

8. การตรวจสอบความดันในกระบวนการผลิต เพื่อเลือกการจำลองกระบวนการเชิงพลวัตด้วยวิธีขับเคลื่อนด้วยความดันซึ่งมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริง
9. การถ่ายโอนข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงกายภาพจากแบบจำลองที่สถานะคงตัวเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณของแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัต

3.4.2 การจำลองกระบวนการเชิงพลวัต (Dynamic simulation)

การสร้างแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัต โดยโปรแกรม Aspen Dynamics ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้

1. การเริ่มต้นการคำนวณค่าตั้งต้น (Initialization) ของข้อมูลจากแบบจำลองที่สถานะคงตัวเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลยังคงลู่เข้า และไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นก่อนทำการจำลองกระบวนการเชิงพลวัต
2. การติดตั้งเครื่องควบคุมในแบบจำลองกระบวนการ โดยอิงตำแหน่งและชนิดของเครื่องควบคุมตามกระบวนการผลิตจริง และทำการตั้งโหมดของเครื่องควบคุมเป็นแบบปรับเอง (Manual Mode)
3. การศึกษาและวิเคราะห์ผลของอันตรกิริยาระหว่างวงควบคุมโดยการวิเคราะห์เมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกน (Relative Gain Array) โดยการหาค่าเกนของคู่ตัวแปรปรับ-ตัวแปรควบคุมทุกคู่ ซึ่งทำได้โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรปรับที่สนใจและเฝ้าติดตามขนาดของความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวแปรควบคุมทุกตัวในระบบ ซึ่งค่าเกนหาได้จากสมการที่ (2) ด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ค่าเกนหนึ่งชุดที่มีตัวแปรปรับเดียวกัน ปรับค่าของตัวแปรปรับคืนให้เท่ากับตอนเริ่มต้น จากนั้น ทำการปรับตัวแปรปรับตัวใหม่เพื่อหาค่าเกนชุดใหม่จนครบตามจำนวนของตัวแปรปรับที่มีในกระบวนการ นำชุดของค่าเกนที่ได้มาหาเมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกนตามสมการที่ (3)
4. การเปรียบเทียบคู่ตัวแปรปรับ-ตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมต่อการควบคุมที่ได้จากการวิเคราะห์เมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกนกับวงควบคุมของกระบวนการผลิตจริง
5. การติดตั้งวงควบคุมลงในแบบจำลองกระบวนการ และป้อนค่าพารามิเตอร์จริงลงในเครื่องควบคุม ทำการรันแบบจำลองกระบวนการและเปรียบเทียบผลได้กับกระบวนการผลิตจริง
6. การศึกษาและปรับปรุงแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัตตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย