



การผลิตเฟอร์ฟูรัล

4.1 เคมีของการเกิดเฟอร์ฟูรัล (18)

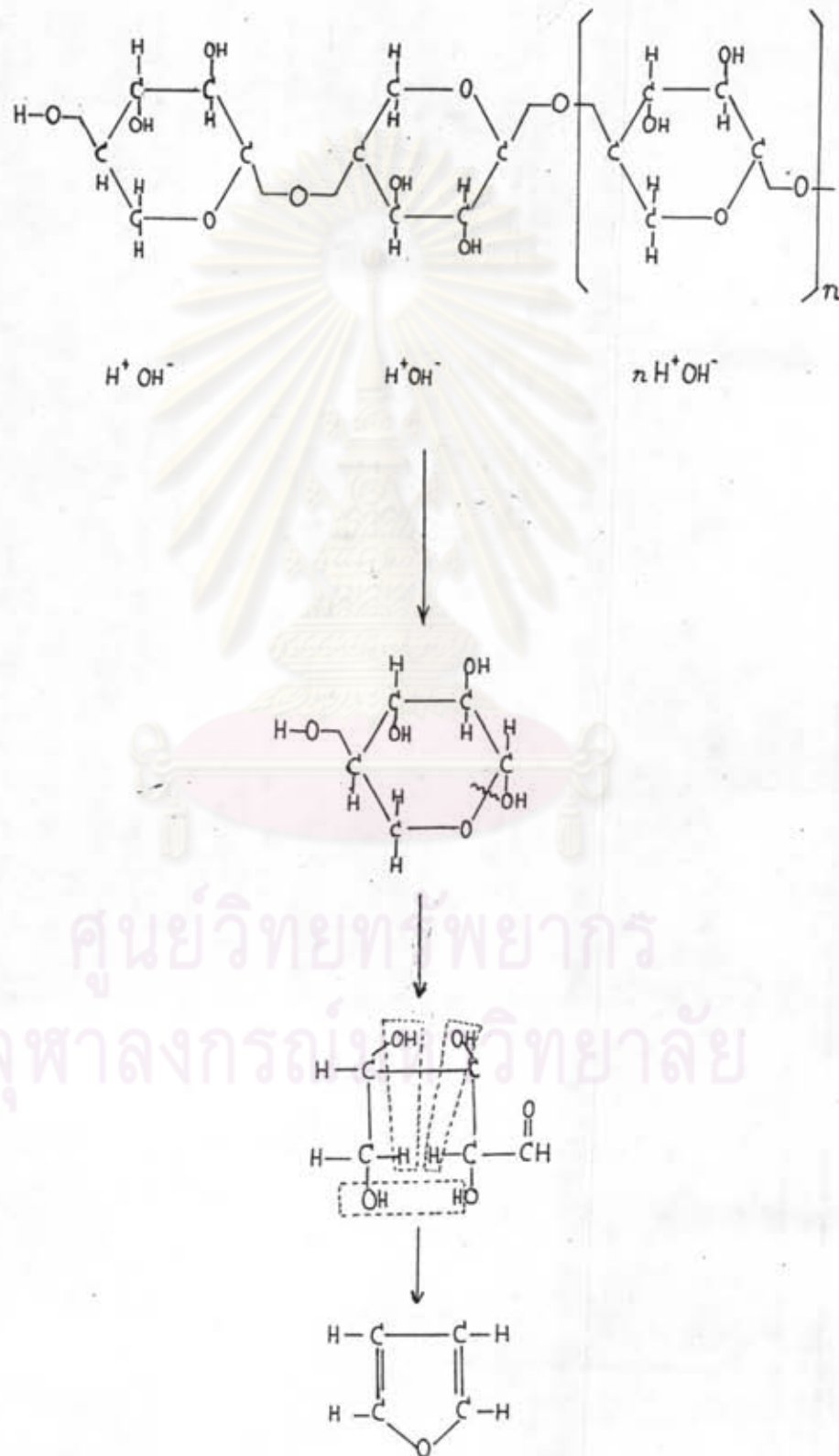
เฟอร์ฟูรัลผลิตได้จากวัตถุดิบที่มีเพนโทแซนเป็นองค์ประกอบ โดยการไฮโดรไลซิส ซึ่งขั้นตอนแรกของการเกิดเฟอร์ฟูรัลนั้น ไฮเพนโทแซนจะถูกสลายตัวเป็นเพนโทสในที่มีสารละลายกรดที่อุณหภูมิสูง ขึ้นที่ล่อง เพนโทสจะถูกเปลี่ยนเป็นเฟอร์ฟูรัลโดยการคายน้ำออก ดังรูปที่ 4.1

ในขณะที่การไฮโดรไลซิสของ โมเลกุลขนาดใหญ่ของ เพนโทแซนเป็นโมเลกุลเดี่ยว และเกิดเพนโทสอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมากนั้น จะเกิดการสูญเสียน้ำจากเพนโทน 3 โมเลกุลกลายเป็นเฟอร์ฟูรัลด้วย ในขณะที่เดียวกันเฟอร์ฟูรัลบางส่วนจะสูญเสียไปโดยการทำปฏิกิริยารวมตัวกับเพนโทสที่ถูกดึงน้ำออกเป็นบางส่วน ทำให้กลายเป็นเรซิน ดังรูปที่ 4.2

ผลค่าสัตรีของขั้นตอนไฮเดชันมีรายละเอียดใน (20-22) โดยการไฮไลสเป็นสารจำลองและไฮกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าผลผลิตเฟอร์ฟูรัลสูงขึ้นตามความเข้มข้นของกรด และความเร็วของปฏิกิริยา ขึ้นกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของไฮไลสสูงในตอนเริ่มต้นจะให้ผลผลิตเฟอร์ฟูรัลต่ำ แสดงว่าเฟอร์ฟูรัลที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนไป โดยถูกเร่งจากเฟอร์ฟูรัลและความเข้มข้นของไฮโดร เจนอิออน เช่นเดียวกับกับการเพิ่มอุณหภูมิ

เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาในขณะเดียวกัน จึงจำเป็นต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาของการกลายเป็นเรซิน และปฏิกิริยาคอนเตนส์เซชันน้อยลงในขณะที่ต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเฟอร์ฟูรัลมาก ค่าคงตัวของความเร็วของปฏิกิริยา แสดงดังในรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงความเข้มข้นของเฟอร์ฟูรัลในเฟลของเหลวจะต้องต่ำ ทำให้ต้องนำเฟอร์ฟูรัลที่เกิดขึ้นออกจากสารละลายโดยการผ่านไอน้ำลง ไปช่วยการระเหยของเฟอร์ฟูรัล และเพื่อทำให้ความเข้มข้นของเฟอร์ฟูรัลในเฟลของของเหลวต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้

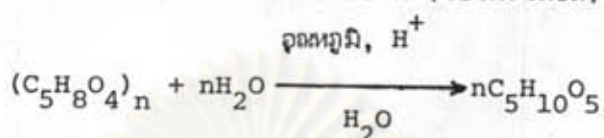
รูปที่ 4.1 แสดงการแตกตัวของโมเลกุลเพนโตแซนให้เฟอร์ฟูรัล



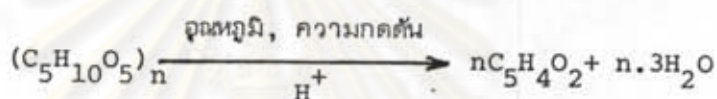
การสูญเสียเฟอร์ฟูรัลไปกับคอนเดนซ์เซชัน และการกลายเป็นเรซินเกิดขึ้นน้อยที่สุด

รูปที่ 4.2 การเกิดเฟอร์ฟูรัล

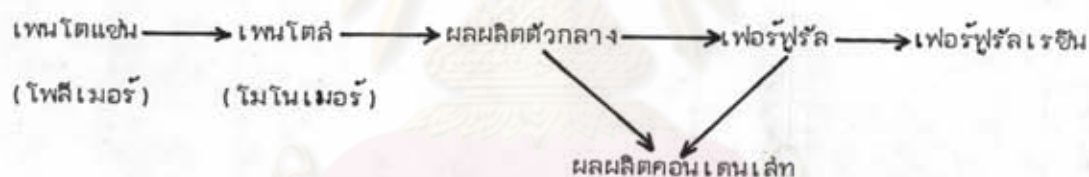
1. การเปลี่ยนเพนโตแซนเป็นเพนโตล (ไฮโดรไลซิส)



2. การเปลี่ยนเพนโตลเป็นเฟอร์ฟูรัล (ดีไฮเดรชัน)



3. กลไกของการเกิดปฏิกิริยาโดยปกติ (ตาม Schoenemann)

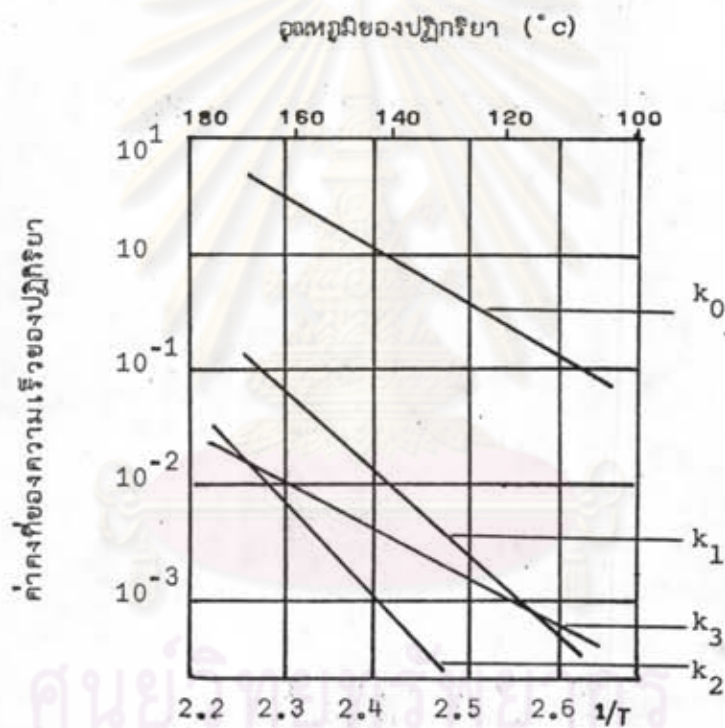


ผลผลิตเฟอร์ฟูรัลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน กรดแร่เป็นตัวเร่งที่มีความไวสูง อย่างไรก็ตามกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีความสามารถในการกลายเป็นไอสูงจะปรากฏอยู่ในสารที่ถูกกั้นออกมาสูงและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ความเข้มข้นของกรดในปฏิกิริยาลดลง ซึ่งจะลดความไวของตัวเร่งปฏิกิริยาในเฟลของเหลวด้วย ในขณะที่ถ้าใช้กรดซัลฟูริกจะยังคงมีปริมาณกรดในปฏิกิริยาสูง อันนี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการเลือกใช้กรดเพื่อผลประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ

อย่างไรก็ตามจะเกิดการสะสมของกรดจากกลุ่มอะซิดิกของสารที่เป็นเส้นใยโดยการผ่านไอน้ำ กรดอะซิดิกที่เกิดขึ้นนี้จะกลายเป็นตัวเร่งการไฮโดรไลซิสเพนโตแซนและการดีไฮเดรชัน ซึ่งทำให้ไม่ต้องเติมกรดลงในกระบวนการเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองนี้สามารถจะทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการหมุนเวียน เอากรดอะซิดิกกลับมาใช้อีก ซึ่งจะทำให้

ผลผลิตสูงขึ้นและลดเวลาของวัฏจักรในเครื่องปฏิกรณ์ (reaction time) อาจจะได้มีการลดอุณหภูมิลงไปยังวัฏจักรไม่ว่าจะเป็นสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูง หรือต่ำ เพื่อปรับอัตราส่วนของของแข็งและของเหลวให้เหมาะสมสำหรับการเกิดเฟอร์ฟูรัล

รูปที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ของความเร็วของปฏิกิริยา k ของการแตกตัวของเพนโตแซน, การสลายเพนโตล, การรวมตัวของเฟอร์ฟูรัล และการกลายเป็นเรซินของเฟอร์ฟูรัล



- k_0 = การแตกเพนโตแซน (pentosan splitting)
- k_1 = การสลายของไซโลล (Xylose decomposition)
- k_2 = การรวมตัวของเฟอร์ฟูรัล (Furfural condensation)
- k_3 = การกลายเป็นเรซินของเฟอร์ฟูรัล (Furfural resinification)

จากการพิจารณา คำนวณค่าสัตรีของปฏิกิริยาการเกิดเฟอร์รูซัลตามทฤษฎีแล้วควรจะได้ผลผลิตเฟอร์รูซัลประมาณ ร้อยละ 72.7 ขององค์ประกอบเพนโทแลน แต่ในทางปฏิบัติในทางอุตสาหกรรมแล้ว พบว่ากระบวนการผลิตเฟอร์รูซัลโดยวิธีลัดจากเกษตรกรรมแล้วจะได้เฟอร์รูซัลเพียง 1 ใน 3 ขององค์ประกอบเพนโทแลนที่มีอยู่ในวัตถุดิบ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่น ๆ ทำให้ผลผลิตเฟอร์รูซัลลดลง

4.2 ผลกระทบของตัวแปรของปฏิกิริยา

ผลผลิตเฟอร์รูซัลเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและเพิ่มอุณหภูมิ ถ้าหากจะตัดปัญหาการสึกกร่อนเนื่องจากกรดแร่ในกระบวนการต่อเนื่อง โดยใช้กรดแร่เป็นตัวเร่งในการทำให้เกิดกรดอินทรีย์จากวัตถุดิบซึ่งจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีควมไวในการเร่งปฏิกิริยาน้อย จึงจำเป็นต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ความกดดันและอุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผลผลิตเฟอร์รูซัลที่ดีในทางเศรษฐกิจ ในการนี้จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการบ่อนวัตถุดิบปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่มีความดันสูง

ยิ่งกว่านั้น ยังมีเทคโนโลยีที่จำเป็นสำหรับการออกแบบเครื่องจักรของโรงงานผลิตเฟอร์รูซัล ดังต่อไปนี้

- การดึงอากาศออกจากวัตถุดิบอย่างเพียงพอ
- จะต้องทำวัตถุดิบให้เปียกด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง
- จะต้องไม่ให้กรดออกจากเครื่องปฏิกรณ์ก่อนที่จะได้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเฉพาะเมื่อใช้กรดระเหยง่ายด้วยไอน้ำ เช่น กรดอะซิติก
- อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์จะต้องพอเหมาะ ไม่ให้สูงเกินไป เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ในขณะที่เดียวกันจะต้องไม่ให้มีของเหลวมากเกินไป

โรงงานไฮโดรโลซิล เอสเชอร์ วิล (Escher Wyss) ดึงอากาศออกจากวัตถุดิบโดยการผ่านไอน้ำที่ความดันต่ำเข้าไป น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศเนื่องจากมีความดันคาพิลลารี (capillary) สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันวัตถุดิบจะได้รับความร้อนที่ 100°ซ ด้วย การทำวัตถุดิบให้เปียกขึ้นด้วยการแช่ในของเหลวที่เป็น จะทำให้ไอน้ำควบแน่นเกิดเป็นสูญญากาศ

ทำให้การแพร่กระจายของวัตถุติดเป็นไปไม่สะดวก ถ้าทำในที่มีความกดต้นสูงผลกระทบของการแพร่ยังคงสูงเนื่องจากการแพร่กระจายที่ดีขึ้น

ส่วนที่สำคัญที่สุดของโรงงานทั้งหมดทั้งทางด้านอุปกรณ์และการปฏิบัติการในกระบวนการต่อเนื่อง คือ การป้อนและปล่อยวัตถุติดเข้าและออกจากเครื่องปฏิกรณ์ การออกแบบเครื่องป้อนวัตถุติดขึ้นกับลักษณะของวัตถุติดว่ามีลักษณะเป็นเม็ด เป็นก้อน เช่น ชั่งข้าวโพด เศษไม้ หรือมีลักษณะคล้ายฟาง เช่น ฝานอ้อย

การออกแบบส่วนบนของเครื่องปฏิกรณ์จะต้องเหมาะสมเพื่อที่จะได้แน่ใจว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสโตแหลมเป็นเฟอรัฟรัลในที่มีกรด ดังนั้นจึงต้องเก็บกรดซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ในเครื่องจนกว่าจะเกิดเฟอรัฟรัลอยู่ในไอจึงจะปล่อยออกจากเครื่องย่อย โดยให้มีไอน้ำมากที่สุดในส่วนที่เกิดเฟอรัฟรัลสูงสุด เพื่อลดเวลาที่เฟอรัฟรัลจะต้องอยู่ในเฟส (phase) ของเหลวให้น้อยที่สุด

4.3 เทคโนโลยีการผลิตเฟอรัฟรัล (4)

การผลิตเฟอรัฟรัลเป็นอุตสาหกรรมนั้น ได้เริ่มมีขึ้นในปี 1920 เป็นต้นมา และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเฟอรัฟรัลให้เจริญก้าวหน้า เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจสูงสุด ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเทคโนโลยีการผลิตเฟอรัฟรัล 3 วิธี ดังนี้

4.3.1 กระบวนการแควกเกอร์โอตแบบแบช (Quaker Oats batch process)

กระบวนการนี้ปรากฏอยู่ใน UNIDO ในปี 1974 มีกรรมวิธีการผลิต ดังนี้ กระบวนการผลิตเฟอรัฟรัลของแควกเกอร์โอตแบบตั้งเดิมเริ่มผลิตโดยการค้าเงินงานขั้นตอนเดียว โดยใช้เครื่องย่อยที่หมุนได้ขนาดใหญ่ ซึ่งสร้างด้วยเหล็กกล้า วัตถุติดจะถูกป้อนเข้า เครื่องย่อยที่หมุนได้และให้ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกที่เจือจาง เฟอรัฟรัลที่เกิดขึ้นจะถูกนำออกโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ไอที่ออกจากเครื่องย่อยจะถูกควบแน่นและป้อนเข้าสู่สตริปปีงคอลัมน์ (stripping column) ไอส่วนบนซึ่งมีเฟอรัฟรัลมากจะถูกควบแน่นและทำให้เย็น ซึ่งจะแยกเป็น 2 ชั้น หลังจากแยกสารที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งมีปริมาณน้อยในเมทธานอลคอลัมน์แล้ว ชั้นของน้ำจะถูกส่งกลับไปยังสตริปปีงคอลัมน์ ชั้นของเฟอรัฟรัลซึ่ง

ประกอบด้วยน้ำประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งไปยังคอลัมน์ที่ดึงน้ำออก (dehydrating column) ซึ่งน้ำจะถูกนำออกทางส่วนบน ส่วนเฟอร์ฟูรัลจะถูกนำออกทางส่วนล่าง ของเหลวที่กลั่นได้ที่ออกจากคอลัมน์ดีไฮเดรตึงจะถูกส่งกลับไปยังสัตรีบึงคอลัมน์อีกครั้งหนึ่ง

4.3.2 กระบวนการต่อเนื่องของเอสเชอร์ วีล (Escher Wyss)

แผนภาพของโรงงานแบบต่อเนื่องสำหรับเฟอร์ฟูรัลและกรดอะซิติก แสดงอยู่ในรูปที่ 4.4 ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนของการไฮโดรไลซิส

วัตถุดิบที่ถูกบดแล้วจะถูกป้อนเข้าถัง 1.1 แล้วจะถูกดึงอากาศออกมาโดยผ่านไอน้ำชุดที่ 2 ซึ่งวัตถุดิบจะถูกทำให้ร้อนขึ้นไปจนถึง 100°C ในขณะที่เดียวกันก็สามารถทำวัตถุดิบให้เปียกด้วยสารละลายที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย หลังจากนั้นวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ 1.4 การออกแบบเครื่องป้อน 1.3 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ 1.4 จะค่อย ๆ ไหลลงเบื้องล่างซึ่งมีเครื่องกวนอยู่ ซึ่งจะไม่เกิดปัญหาการรวมตัวกัน เนื่องจากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้เป็นรูปกรวย กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซิสจะผ่านเครื่องแยกกรวยไปยังถังเป่า 1.5 และจะถูกปล่อยออกไป ไอที่ติดมากับกากที่เหลือนี้จะถูกแยกออกที่ความดันบรรยากาศ และอาจจะปล่อยสู่อากาศโดยตรง หรือผ่านเข้าไปในน้ำร้อนเพื่อทำความสะอาดก่อนผ่านสู่บรรยากาศ ไอน้ำชุดแรกสำหรับให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนถึงอุณหภูมิของปฏิกิริยาและสำหรับสกัดเฟอร์ฟูรัลจะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์หลาย ๆ ชุด และจะถูกแยกออกทางส่วนบน เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเกิดการกระจายที่เหมาะสมในเครื่องปฏิกรณ์

ส่วนการผลิตไอน้ำชุดที่ 2

ไอที่อิ่มตัวด้วยเฟอร์ฟูรัล จะถูกผ่านไปยังเครื่องกรองเพื่อแยกวัตถุดิบที่ปนออกมากับไอออกเสีย ใอนี้จะถูกควบแน่นในเครื่องควบแน่น 2.1 และทำให้เป็นไอที่อุณหภูมิ 55°C ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2.3 ของเหลวที่ควบแน่นนี้ประกอบด้วยเฟอร์ฟูรัลและกรดอะซิติกซึ่งจะถูก flush, de-aerated และเก็บในถัง 3.1 น้ำที่ป้อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2.3 จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและผ่านไปยังเครื่องควบแน่น 2.1 ซึ่งบางส่วน

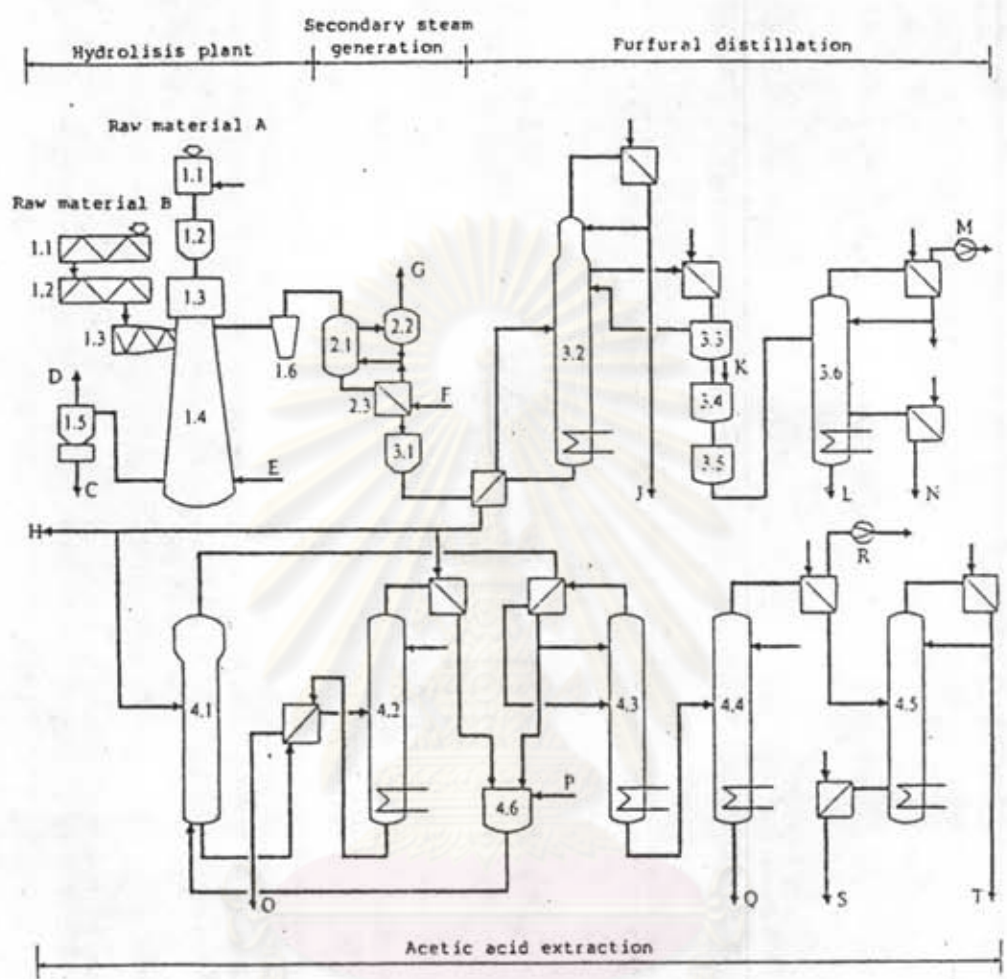


Fig 4.4 Flowchart of a continuous furfural and acetic acid plant - Escher Wyss process. Reproduced from W. Jaeggli, *Integrated production of furfural and acetic acid*, by courtesy of Escher Wyss GmbH.

LEGEND					
1.1	De-aeration	4.1	Extraction column	H	Vinasse (2 to 4 per cent acetic acid)
1.2	Impregnation	4.2	Dehydration column	I	Low boiling components (acetone, methanol)
1.3	Raw material feeding	4.3	Ester recovery column	K	Neutralizing substance (Na_2CO_3 , NaOH)
1.4	Reactor	4.4	Acid purification column	L	Impurities
1.5	Blow tank	4.5	Acetic acid column	M	Vacuum
1.6	Vapour filter	4.6	Extractive tank	N	Furfural
2.1	Condenser	A	Granular raw material	O	Waste water
2.2	Liquid separator	B	Strawy raw material	P	Extractive (ethyl acetate)
2.3	Cooler, air separator	C	Residue	Q	Impurities
3.1	Intermediate tank	D	Expansion vapours	R	Vacuum
3.2	Azeotropic column	E	Primary steam	S	Acetic acid
3.3	Separator	F	Feed water	T	Formic acid
3.4	Neutralization tank	G	Secondary steam		
3.5	Storage tank				
3.6	Vacuum column				

จะกลายเป็นไอ และจะแยกไอออกด้วยเครื่องแยกน้ำ 2.2 ไอชุดที่ 2 นี้จะถูกแยกเป็น 2 ลาย เนื่องจากไม่ลำมาารถที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดสิ่งสกปรกและตะกอนในเครื่องกรองไอน้ำ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ การลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากสิ่งสกปรกและตะกอนจะต้องคำนวณให้เหมาะสมเพื่อความปลอดภัย

จากฝั่งเก็บ 3.1 ของเหลวที่ควบแน่นซึ่งประกอบด้วยเพอร์ฟลูอิดจะถูกปั๊มเข้าคอสัมผัสเพอร์ฟลูอิดอะซิโโทริก 3.2 ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและได้รับความร้อนจนอุณหภูมิใกล้จุดเดือด ไปรวมกับส่วนที่อยู่ในคอสัมผัสซึ่งได้รับความร้อนจากไอชุดที่ 2 ส่วนที่อยู่ข้างล่างของคอสัมผัสเป็นของผลึกระหว่างน้ำและกรดอะซิติกจะมีเพอร์ฟลูอิดอยู่ในปริมาณน้อย ของเหลวส่วนนี้จะถูกทำให้เป็นลงที่ 30°c เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดโดยผ่านไปยังคอสัมผัส สกัดอย่างต่อเนื่อง 4.1 คอสัมผัสเพอร์ฟลูอิดอะซิโโทปจะถูกต่อเข้ากับท่อเพื่อทำให้บริสุทธิ์ปราศจากสารที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น อะซิโตน และเมทานอล และจะทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่วนสารประกอบที่เกิดขึ้นในปริมาณน้อย ๆ นี้จะถูกควบแน่น แล้วทำให้เป็นลงเพื่อแยกเก็บต่างหาก

ส่วนการกลั่นเพอร์ฟลูอิด

ของผลึมเพอร์ฟลูอิดและน้ำในคอสัมผัส 3.2 มีคุณสมบัติอะซิโโทริกและเดือดที่ประมาณอย่างน้อย ร้อยละ 65 โดยน้ำหนักของน้ำ ในการทำงานที่จะทำให้เกิดการแยกของผลึมอะซิโโทริก จะใช้กฎช่องว่างของการรวมตัวกัน (miscibility gap) ซึ่งสารผลึมอะซิโโทปิกน้ำและเพอร์ฟลูอิดจะอยู่ประมาณ ร้อยละ 18 โดยน้ำหนักของน้ำและ ร้อยละ 84 โดยน้ำหนักของเพอร์ฟลูอิด ที่จุดเดือดและความดันบรรยากาศ ช่องว่างนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสารผลึมอะซิโโทริกเป็นไปตามช่องว่างของการรวมตัวกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะแยกสารผลึมนี้ออกด้วยกันในตอนเริ่มต้นจนกว่าจะได้รับความเข้มข้นที่ต้องการโดยการกลั่น

สารผลึมเพอร์ฟลูอิดและน้ำที่ถูกปล่อยจากคอสัมผัสอะซิโโทริก 3.2 จะมีความเข้มข้นของเพอร์ฟลูอิดประมาณ ร้อยละ 30-35 ความเข้มข้นนี้จะถูกควบแน่นและส่งไปยังเครื่องแยก 3.3 ส่วนบนของของผลึมเพอร์ฟลูอิดและน้ำ ซึ่งมีเพอร์ฟลูอิด ร้อยละ 18 จะถูกส่งกลับไปยังคอสัมผัสอะซิโโทริก 3.2 ในขณะที่ชั้นล่างซึ่งประกอบด้วยเพอร์ฟลูอิด ร้อยละ 84 จะถูกทำให้เป็นกลางในถัง 3.4 และส่งไปยังถังเก็บ 3.5 เพื่อส่งต่อไปยังคอสัมผัส-

สัญญาณค่า 3.6 ซึ่งที่นี้เฟอรัฟรัลจะถูกดึงน้ำออกและทำให้บริสุทธิ์ขึ้น เฟอรัฟรัลที่บริสุทธิ์จะควบแน่นและทำให้เป็น ส่วนสิ่งเจือปนจะถูกนำออกจากคอสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องทางข้างล่าง ส่วนไอที่ประกอบด้วยเฟอรัฟรัลจะถูกนำออกจากคอสัมพันธ์ทางส่วนบน แล้วควบแน่น ซึ่งบางส่วนจะส่งกลับไปคอสัมพันธ์สัญญาณค่าเพื่อทำให้เข้มข้นมากขึ้น และบางส่วนจะถูกส่งกลับไปยังกระบวนการ

การสกัดกรดอะซิติก

ผลผลิตส่วนล่างจากคอสัมพันธ์อะซิโคโนโทรปีค 3.2 ซึ่งมีกรดอะซิติกอยู่ด้วยจะถูกส่งไปยังคอสัมพันธ์สกัด 4.1 หลังจากที่ได้ทำให้เป็นลงแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 30°C ขึ้นของกรดและเอสเตอร์ ซึ่งมีน้ำหนักจำเพาะต่ำกว่าจะถูกนำออกทางส่วนบนของคอสัมพันธ์สกัดเพื่อส่งไปยังคอสัมพันธ์แยกเอสเตอร์ 4.3 เพื่อแยกเอาเอทิลอะซิเตท ผลผลิตกรดซึ่งอยู่ส่วนล่างจะถูกกั้นในคอสัมพันธ์ทำให้บริสุทธิ์ 4.4 เพื่อที่จะแยกสิ่งเจือปน และในคอสัมพันธ์ 4.5 กรดอะซิติกจะถูกแยกจากกรดโฟรมิค ซึ่งกรดโฟรมิคจะอยู่ส่วนบน และอะซิติกจะอยู่ส่วนล่าง

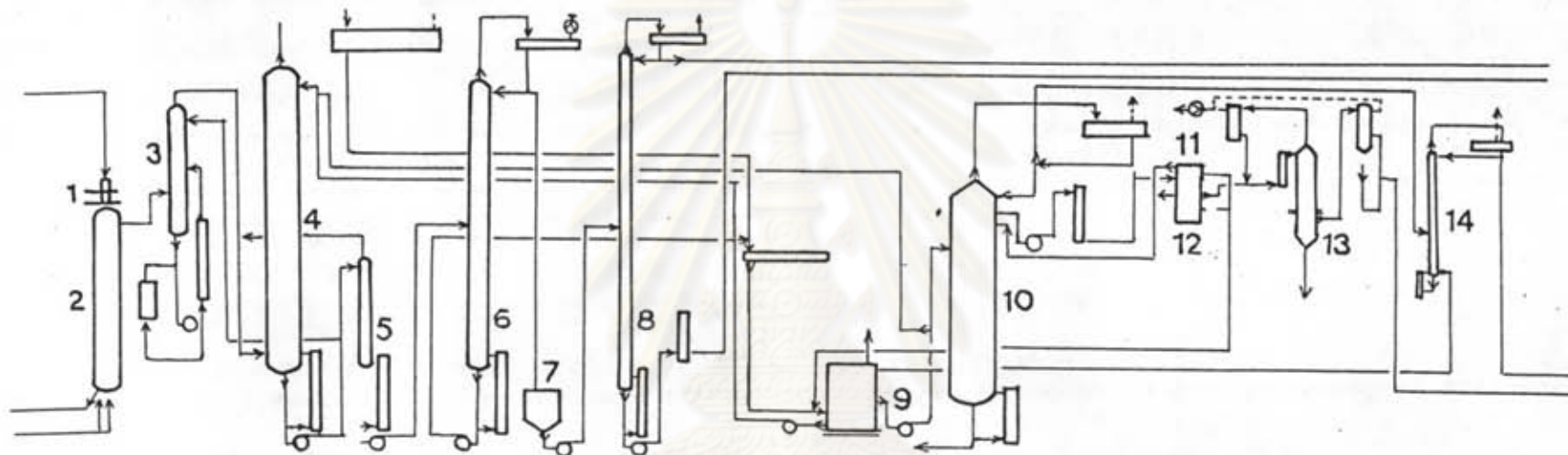
สารผลึกน้ำและเอสเตอร์จากคอสัมพันธ์สกัด 4.1 ซึ่งอยู่ส่วนล่าง จะถูกส่งไปยังส่วนดึงน้ำออก 4.2 เพื่อที่จะแยกเอสเตอร์ออก เอทิลเอสเตอร์จากส่วนบนของคอสัมพันธ์รวมกับที่ได้จากคอสัมพันธ์แยกเอสเตอร์ 4.3 จะถูกส่งกลับไปยังกระบวนการโดยผ่านถัง 4.6 น้ำทางส่วนล่างจะถูกทิ้งไป

4.3.3 กระบวนการต่อเนื่องแบบโรเซนเลว (Rosenlew)

รูปที่ 4.5 แสดงกระบวนการต่อเนื่องแบบโรเซนเลว

วัตถุดิบจะถูกป้อนด้วยเครื่องป้อน (1) สู่อุปกรณ์ปฏิกร (2) และจะไหลลงสู่เบื้องล่าง ในขณะที่ไอน้ำจะถูกนำเข้าทางส่วนล่าง และไหลขึ้นสู่ส่วนบนผ่านวัตถุดิบ ไอที่ออกจากเครื่องปฏิกรจะประกอบด้วยเฟอรัฟรัลและกรดอะซิติกจะถูกจับด้วยเครื่องจับไอ (3) ซึ่งโพสิเมอร์และสิ่งเจือปนอื่นจะถูกล้างด้วยสารละลายเฟอรัฟรัล

ไอที่ออกจากเครื่องจับไอ จะมีความเข้มข้นของเฟอรัฟรัลใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่อะซิโคโนโทรปีคด้วยการระเหยสารละลายที่จับไอน้ำจากเครื่องจับไอ ไอจะถูกนำเข้าคอสัมพันธ์ดูดซับ (4) ซึ่งจะทำได้สารละลายเฟอรัฟรัล-น้ำ ที่ปราศจากกรดทางส่วนบนของคอสัมพันธ์



รูปที่ 4.6 Flowchart of the latest Rosenlew continuous furfural and acetic acid plant. By courtesy of Rosenlew Engineering Works, Pori, Finland.

LEGEND

- | | | | |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Slide feeder | 6. Vacuum column | 9. Furfural condensate tank | 12. Neutralizing tank |
| 2. Furfural reactor | 7. Acetic acid buffer tank | 10. Azeotrope column | 13. Dehydration and refining column |
| 3. Vapour scrubber | | 11. Separator for azeotropic liquids | |
| 4. Absorption column | 8. Acid separation tank | | 14. Methanol column |

ชั้นล่างในคอลัมน์ดูดซับนั้น ครึ่งหนึ่งจะถูกส่งกลับไปยังเครื่องสับโถกลายเป็นสารละลายที่จะไปสับโถ ส่วนอีกครึ่งหนึ่งจะส่งไปยังคอลัมน์ดิ่งน้ำออก (5) ซึ่งน้ำจะถูกนำออกและของผสมอินทรีย์ที่มีเฟอร์รูสเตรนจะถูกส่งไปยังคอลัมน์สูญญากาศ (6) กรดอะซิติกที่เกิดขึ้นที่ส่วนบนของคอลัมน์ดิ่งน้ำออก (5) จะถูกส่งไปยังคอลัมน์แยกกรด (8) ซึ่งจะได้กรดอะซิติกทางส่วนล่างของคอลัมน์ และกรดฟอร์มิกทางส่วนบน

ไออะซิโอะโทรปีคจากส่วนบนของคอลัมน์ดูดซับ จะถูกทำให้เย็นลงแล้วส่งไปยังถังเฟอร์รูสเตรน (9) ซึ่งจะแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นของเฟอร์รูสเตรนจะถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการ ส่วนชั้นน้ำจะถูกส่งกลับไปยังคอลัมน์การกลั่นแบบอะซิโอะโทรปีค (10) ของเหลวอะซิโอะโทรปีคจะถูกแยกออกเป็น 2 ชั้นอีกที่ถัง 11 ชั้นเฟอร์รูสเตรนจะถูกทำให้เป็นกลางและกลั่นต่อไปในคอลัมน์ดิ่งน้ำออก และทำให้บริสุทธิ์ (13) หลังจากนั้นจะถูกนำไปยังถังเก็บ

4.4 สรุป

การผลิตเฟอร์รูสเตรนจากซิงค์ซาวโทดมัน เหนือโตแชนที่มีอยู่ในซิงค์ซาวโทดจะถูกไฮโดรไลซ์โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นเหนโตล ต่อจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาดีไอเดรชันดิ่งน้ำออก โมเลกุลของเหนโตลพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาไฮโคลเซชันเป็นเฟอร์รูสเตรน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย