

วารสารปริทัศน์

กระบวนการผลิตอัลกอฮอล์จากเซลลูโลสนี้ มีนักวิทยาศาสตร์สนใจทำมาแล้ว และมักเรียกกระบวนการเหล่านี้ตามชื่อนักวิทยาศาสตร์นั้น ๆ เช่น กระบวนการสคอลเลอร์ (Scholler process) (22) ซึ่งเป็นกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) มีเครื่องมือเป็นหม้อต้มใช้ความดันไอน้ำ โดยเริ่มต้นที่ความดัน 165 ปอนด์/นิ้ว สารละลายกรดซัลฟูริก 0.5% จะถูกปล่อยให้ซึมผ่านเศษไม้ ความดันในช่วงสุดท้ายเพิ่มขึ้นเป็น 180 ปอนด์/นิ้ว เมื่อตัวอย่างอยู่ในหม้อต้ม 45 นาที จึงนำออกมากรองได้สารละลายน้ำตาลเจือจาง และนำไปทำให้มีค่าความเป็น pH เป็นกลาง นำไปใช้ในการหมักต่อไป เนื่องจากต้องใช้พลังงานทำไอน้ำตลอดเวลาที่ใช้หม้อต้ม กระบวนการสคอลเลอร์จึงไม่เหมาะสมในทางเศรษฐกิจ หากจะแก้ปัญหาเศรษฐกิจนี้ต้องขยายขนาดผลิตให้ใหญ่ขึ้น โดยต้องการไม้ประมาณ 80,000,000 ตัน ซึ่งจะผลิต อัลกอฮอล์ได้ 4,000,000,000 แกลลอน จึงเกิดปัญหาแหล่งวัตถุดิบไม่เพียงพอ ต่อมา ค.ศ. 1942 ในประเทศกลุ่มยุโรปได้ทดลองผลิตอัลกอฮอล์จากเยื่อไม้ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม (23) โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 40% ที่อุณหภูมิห้อง เครื่องมือที่ใช้เป็น diffuser 10 ตัว มีระบบท่อเข้า-ออกสำหรับสารละลายกรด ในกระบวนการนี้ภายในโรงงานจะมีหน่วยทำกรดเกลือที่ใช้แล้วให้เข้มข้น และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (concentrated acid recovery) และมีหน่วยทำสารละลายผลิตผลให้อยู่ในรูปผงของแข็ง โดยใช้เครื่อง spray dryer ผลผลิตที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ของกลูโคส และไซโลส

ค.ศ. 1945 Dunning และคณะ (24) ได้ทดลองวางขั้นตอนการไฮโดรไลสเซลลูโลสเสียใหม่ เพื่อที่จะแยกการไฮโดรไลส เฮมิเซลลูโลส และ เซลลูโลสออกจากกัน โดยจัดขั้นตอนการไฮโดรไลสเป็น 2 ชั้น (รูป 3.1) คือ

- ไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส
- ไฮโดรไลซิสของเซลลูโลส

ไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส เพื่อได้น้ำตาลเพนโตส Dunning และคณะ (24) ได้ศึกษาความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และอัตราส่วนระหว่างของแข็ง:ของเหลว ที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเปลือกเมล็ดข้าวโพด โดยทดลองบดสภาวะของตัวแปรต่าง ๆ ข้างต้นที่สามารถทำให้ผลิตน้ำตาลเพนโตสได้สูงสุด โดยเริ่มใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง 4.4% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนของแข็ง:ของเหลว 6:100

ต่อมาเขาทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 121 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้กรดได้ มาใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 0.98%

เมื่อทดลองเพิ่มอัตราส่วนของแข็ง:ของเหลว เป็น 30:100 พบว่าต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดเป็น 1.6%

เขาได้ทดลองแปรค่าตัวแปรทั้งสามไป จนในที่สุดได้ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง 1.8% อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนของแข็ง:ของเหลว 6:100 เป็นสภาวะที่ให้ผลิตน้ำตาลเพนโตสได้สูงสุด

ไฮโดรไลซิสของเซลลูโลส เขาได้นำกากที่ได้จากขั้นแรกไปอบแห้งจนมีความชื้น 47% นำกากชื้นไปบดให้คลุกเคล้ากับกรดซัลฟูริก 85% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แล้ว เจือจางด้วยน้ำเป็นสารละลายกรด 8% พบว่าสภาวะที่ 120 - 130 องศาเซลเซียส เวลา 7 - 10 นาที จะให้ปริมาณกลูโคส 8.5-10%

ในการทำของเหลวให้เป็นกลาง ใช้คัลเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นจึงนำไปเข้าขั้นตอนการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ พบว่าในการหมักนั้นยีสต์สามารถใช้น้ำตาลในของเหลวไฮโดรไลซิสได้ถึง 85-89%

ใน ค.ศ. 1979 Sitton และคณะ (25) ได้ทำการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากต้นข้าวโพดอันเป็นวัสดุเหลือจากการเกษตร โดยนำขั้นตอนของ Dunning มาใช้ดัดแปลงกับการทดลองผลิตใน pilot plant และนำเทคนิคใหม่ ๆ เกี่ยวกับเครื่องมือมาประยุกต์ใช้ กล่าวคือในขั้นตอนการทำของเหลวให้เป็นกลาง เขาใช้อิเล็กโตรไดอะลิซิส (electro-dialysis) และในการหมักเขาใช้ immobilized cell ใน fixed film reactor สารละลายที่ใช้หมักมีค่าความเป็น pH 4. ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส โดยเติมสารอาหารเสริมแอมโมเนียมคลอไรด์ 8.5 กรัม/ลิตร แมกนีเซียมซัลเฟต 0.1 กรัม/ลิตร คัลเซียมคลอไรด์ 0.06 กรัม/ลิตร และยีสต์สกัด 8.5 กรัม/ลิตร

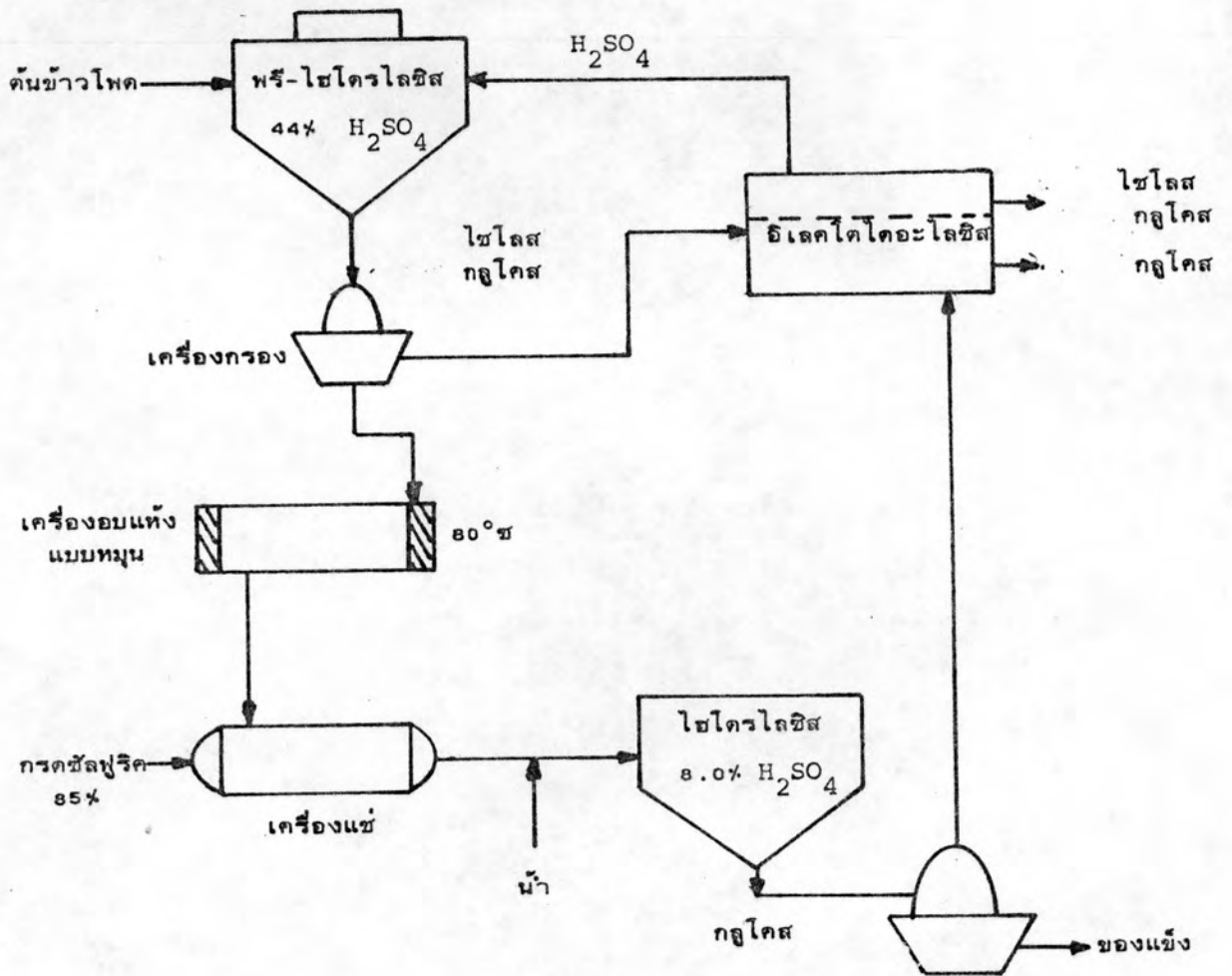


แสดงขั้นตอนการผลิต สภาวะ ผลผลิต ของการทดลองของ Sitton และคณะ (25) ในรูปที่ 3.2, 3.3

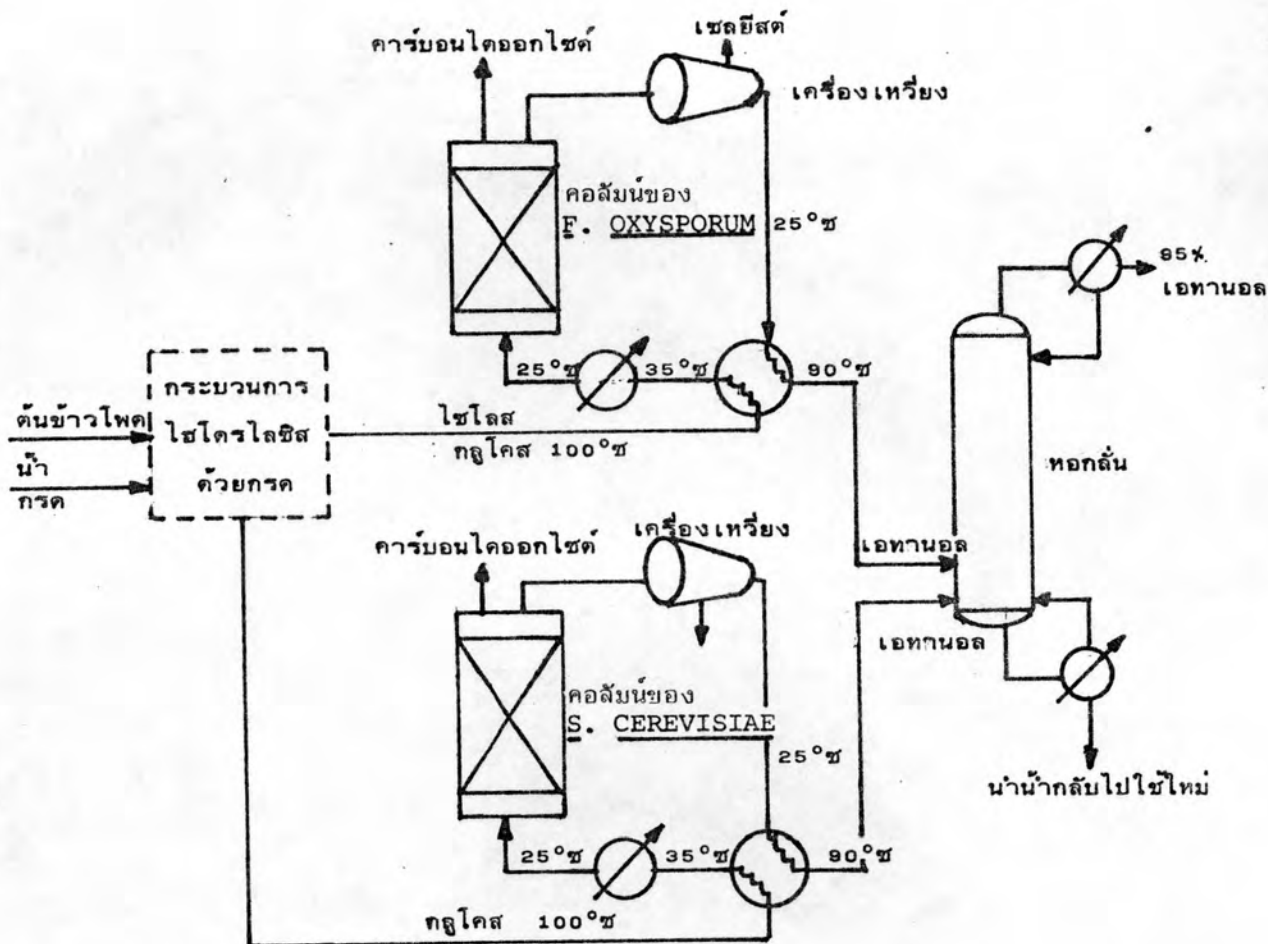
ค.ศ. 1982 Mednick และคณะ (26) ได้ทดลองผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากต้นข้าวโพด งานของเขาเน้นหนักไปเรื่องการรวมวิธีก่อนไฮโดรไลซิส (pre-hydrolysis) โดยแสดงให้เห็นว่าผลผลิต (yield) ของ เอทิลแอลกอฮอล์ จะสูงขึ้นได้เพราะของเหลวไฮโดรไลซิสที่ใช้ในการหมักจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วยกรรมวิธีก่อนไฮโดรไลซิส แสดงกรรมวิธีการผลิตของเหลวไฮโดรไลซิส ในรูป 3.4

การเตรียมวัตถุดิบ เป็นการนำต้นข้าวโพดมาบดให้ขนาดเล็กลงก่อนแล้ว ทำให้ชุ่มชื้นด้วยไอน้ำและนำมอล้างน้ำ เมื่อกรองน้ำออก น้ำกากที่ได้ไปขจัดสารลิกนินออกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ที่ร้อน แล้วนำไปล้างน้ำเพื่อขจัดลิกนินออก และขจัดแอลกอฮอล์โดยผ่านไอน้ำร้อน (stripping) จากนั้นทำการกรองเพื่อเอากากไปทำฟรี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่เจือจางกว่าในไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที กรองแยกเอากากไปทำการไฮโดรไลสต่อด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 1% ที่สภาวะ HTST (หัวข้อ 2.8) จะได้ผลผลิตกลูโคส 58% ของเซลลูโลส สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในฟรี-ไฮโดรไลซิสและไฮโดรไลซิส เป็น plug flow reactor สารละลายที่ได้จากขบวนการทั้งหมดนี้จะนำไปทำให้มีค่าความเป็น pH เท่าที่ต้องการใช้ในการหมัก แล้วนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นแล้วจึงนำไปใช้หมักในเครื่องหมักระบบต่อเนื่อง

การประเมินผลทางเศรษฐกิจของขั้นตอนก่อนไฮโดรไลซิส 4 ขั้น (26) คือ การอบด้วยไอน้ำ การล้างด้วยน้ำ การขจัดลิกนินด้วยตัวทำละลาย และขั้นตอนฟรี-ไฮโดรไลซิส พบว่า หากกรรมวิธีมีขั้นตอนการขจัดลิกนินอยู่ด้วยแล้ว เศรษฐกิจของการผลิตจะไม่ดี กล่าวคือต้องตั้งราคาขายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ ให้สูงกว่าราคาท้องตลาดจึงจะคุ้ม และพบว่า หากกรรมวิธีไม่มีการเตรียมก่อนไฮโดรไลซิสทั้ง 4 ขั้นตอนเลยจะมีผลดีในเศรษฐกิจของการผลิตมากที่สุด และหากกรรมวิธีการเตรียมก่อนไฮโดรไลซิสมีเพียงขั้นตอนฟรี-ไฮโดรไลซิสขั้นตอนเดียว จะมีผลดีทางเศรษฐกิจรองลงมา และผลผลิตก็จะได้สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการเตรียมการก่อนไฮโดรไลซิสเลย

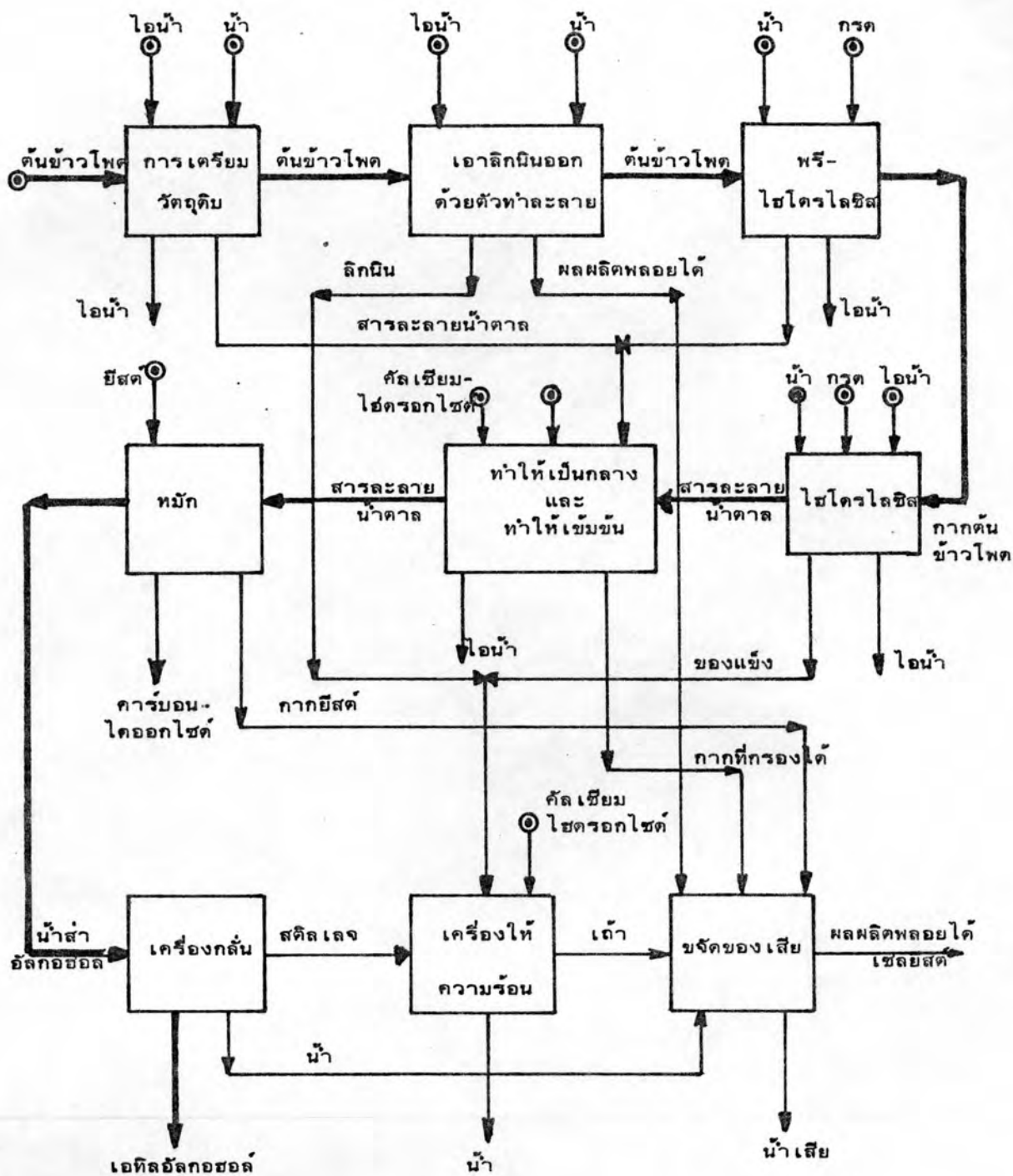


รูปที่ 3-2 แผนภาพแสดงกรรมวิธีไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดของการทดลองของ Sitton และคณะ (25)



รูป 3-3 แผนภาพแสดงกรรมวิธีหมักสารละลายไซโตรไลซิส ในการทดลองของ Sitton และคณะ (25)





รูป 3-4 แผนภาพแสดงกรรมวิธีและขั้นตอนในการผลิตแอลกอฮอล์ในการทดลองของ Mednick และคณะ (26)