บทที่ ๒

วารสารปริทัศน์

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

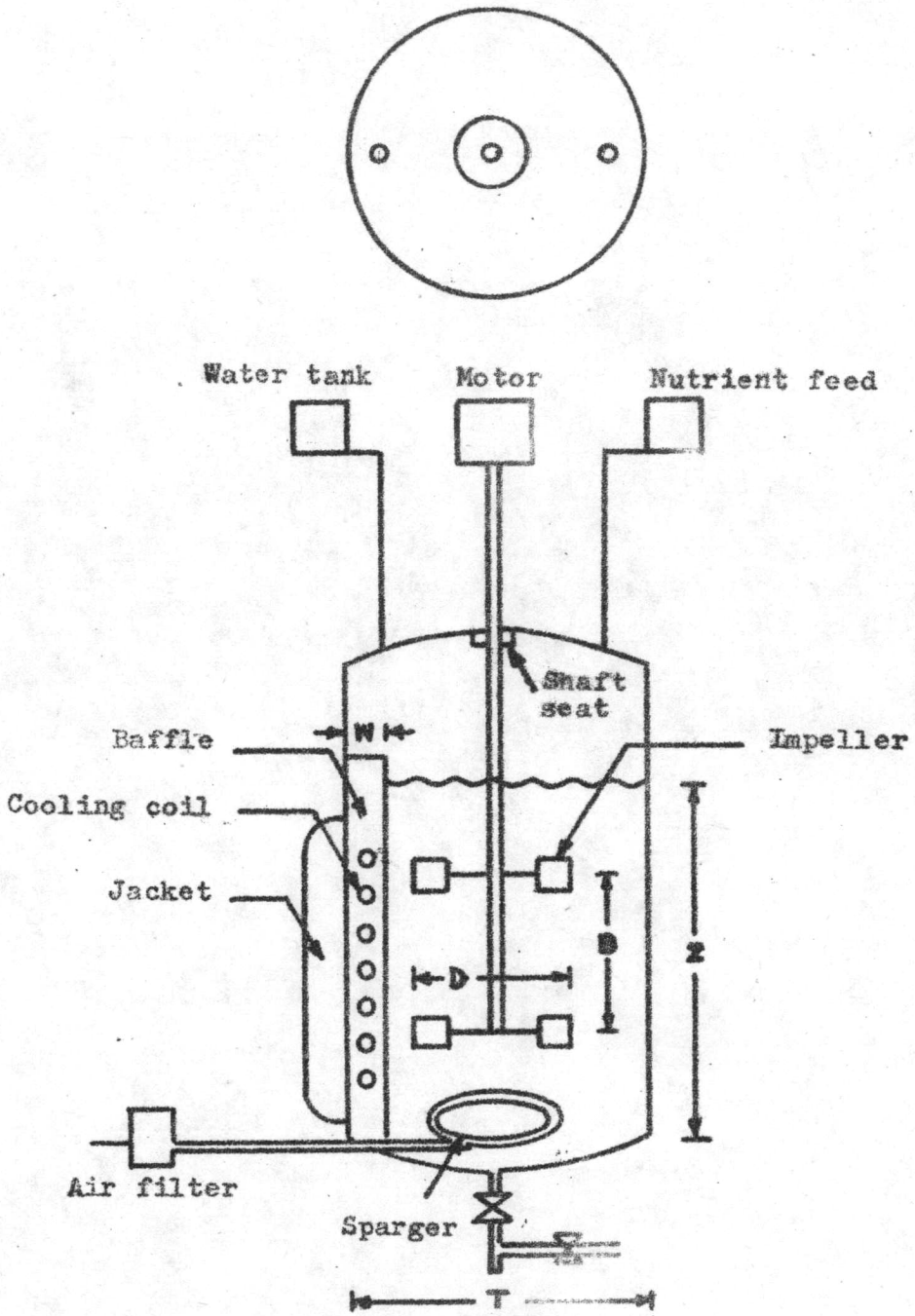
๒.๑ เครื่องหมักแบบถังกวน (Stirred fermenter)

ลักษณะเป็นภาชนะทรงกระบอกตั้งตรงในแนวดิ่งตัวถังอาจเป็นพลาสติกส์ แก้ว หรือโลหะ แล้วแต่จุดประสงค์ของการออกแบบใช้งาน ตามโรงงานอุตสาหกรรมการหมักทั่วไปมักใช้โลหะเพราะมีความคงทนแข็งแรง ส่วนในงานศึกษาทดลองนั้นอาจใช้แก้วเนื่องจากหาง่าย สะดวก ทำให้เห็นลักษณะของการหมัก เครื่องหมักแบบถังกวนมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

๒.๑.๑ ท่อป้อนอากาศจะมีรูเปิดทางส่วนล่างของถังหมักใต้ใบกวนลงไป

๒.๑.๒ ชุดใบกวนประกอบด้วย ใบกวน แกนเชื่อมระหว่างใบกวนและแกนกลาง ซึ่งหมุนด้วยแรงฉุดของมอเตอร์ ใบกวนมีหลายชนิด เช่น กังหันจาน (disc turbine) กังหันเปิด (open turbine) ใบพัดเรือ (marines propeller) แกนใบพัดมักตั้งตรงในแนวดิ่ง การทำงานของใบกวนนอกจากจะช่วยตีฟองอากาศให้แตกกระจายเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายถ่ายเทเอาออกซิเยนจากฟองอากาศลงสู่น้ำหมักแล้ว ยังช่วยให้ทุกส่วนในถังหมักผสมผสานกันทำให้ความเข้มข้นในส่วนต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน การควบคุมอัตราเร็วในการกวนจะมีความสำคัญต่อการหมักเช่นเดียวกับอัตราการป้อนอากาศ

๒.๑.๓ แผ่นกั้น (baffle) ติดอยู่กับผนังของถังหมัก ช่วยป้องกันมิให้เกิดวังน้ำวน (vortex) ในถังหมัก เป็นตัวช่วยทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่จะช่วยควบคุมสภาพการหมักติดอยู่ด้วย ลักษณะของถังหมักแบบถังกวนที่ผู้ศึกษาทดลองใช้เลี้ยงยีสต์ในน้ำสับปะรด เป็นถังหมักทำด้วยเหล็กปราศจากสนิม มีเครื่องป้อนอากาศ และเครื่องกวน ใบกวนเป็นแบบใบพัดเรือ (Solomon, 1969) สัดส่วนต่าง ๆ ของถังมักจะมีลักษณะ ดังรูปที่ ๑ (Finn, 1954) เครื่องหมักแบบถังกวนนี้



D/T = 0.30-0.5 Z/T = 1.0-2.0

B/D = 1.0-1.2 W/T = 0.08-0.12

รูปที่ 1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแบบถังกวน

ได้นำไปใช้ในงานทั่ว ๆ ไปทั้งการศึกษาทดลอง โรงงานต้นแบบ และโรงงานอุตสาหกรรม การหมัก สามารถผลิตได้ปริมาณมาก ๆ ตามขนาดของถัง การป้อนอากาศไม่จำกัดแต่ต้องระวังการติดเชื้อจากอากาศ เพราะเป็นการพ่นอากาศเข้าไป ดังนั้น อากาศต้องผ่านการฆ่าเชื้อ หรือกรองดักเก็บเชื้อด้วยใยแก้ว หรือสำลีก่อน ตามปกติสัดส่วนต่าง ๆ ของใบกวน แผ่นกั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของถังหมัก ตำแหน่งความสูงของชุดใบกวน จำนวนชุดใบกวน และอื่น ๆ จะมีสัดส่วนกำหนดขึ้นเฉพาะเพื่อที่จะง่ายต่อการหาตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อการหมักเชื้อ เช่น อัตราความเร็วในการกวน การป้อนอากาศ ฯลฯ การเพิ่มขนาดของถังหมักมักจะนิยมเพิ่มทางด้านสูงและเพิ่มชุดใบกวนให้เหมาะสม ในระบบของการหมักจะมีองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น เชื้อหมัก สารอาหาร อากาศ และอื่น ๆ สิ่งเหล่านี้จะถูกเชื้อหมักใช้ไปเพื่อเป็นแหล่งของพลังงาน และการสร้างเซลล์ สารอาหารที่ถูกใช้ไปไม่เพียงแต่จะทำให้มีปริมาณลดลงเท่านั้น แต่ยังมีผลทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักเปลี่ยนไปด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพและปริมาณการผลิตเซลล์ จึงต้องมีการควบคุมด้วยการเติมสาร ปริมาณการให้อากาศมีความสำคัญเช่นกัน พบว่า จำนวนอากาศที่ต้องการเพื่อให้การโตของยีสต์เป็นไปอย่างดีนั้นมีค่าวิกฤต ถ้าอากาศมากไป ผลที่ตามมาคือ เพิ่มปริมาณการหายใจ คาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อน ทำให้การผลิตยีสต์ต่ำลง อากาศน้อยเกิดการหมักแบบไม่ใช้อากาศให้ผลผลิตเป็นแอลกอฮอร์ เพื่อที่จะทำให้สารต่าง ๆ ภายในน้ำหมักได้ผสมผสานให้มีความเข้มข้นใกล้กัน เพื่อที่จะทำให้การให้อากาศแก่เครื่องหมักขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพสูง อากาศกระจายทั่วไปจะต้องมีการกวนควบคู่ไปด้วย (Wiley 1954, Johnson and Olson 1949) ดังนั้นเครื่องหมักทั่วไปจึงมีระบบการกวนติดอยู่

อย่างไรก็ตาม การกวนและการให้อากาศต่างก็มีลักษณะเฉพาะตัว เป็นไปไม่ได้ที่จะให้อากาศกระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของน้ำหมักโดยปราศจากการกวน (Finn, 1954) การเติบโตของเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยการป้อนอากาศ ถ้าประสิทธิภาพในการกวนและการป้อนอากาศดี จะทำให้มีการใช้น้ำตาลมากขึ้น (Johnson and Olson 1949, Reiser 1954, Runker 1963) ประสิทธิภาพของการให้อากาศจะขึ้นอยู่กับชนิดต่าง ๆ

และขนาดของเครื่องหมัก จึงยากต่อการจะหาค่าความต้องการอากาศที่แน่นอนของยีสต์ได้ (Wiley 1954, Finn 1954, Solomon 1969) ยังมีรายงานถึงระดับความต้องการที่เหมาะสมของการป้อนอากาศให้แก่ยีสต์ ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า ในการหมักหนึ่ง ๆ จะต้องมีการควบคุมทั้งอัตราการให้อากาศ และอัตราการกวนคู่กันไป นับได้ว่า การควบคุมระบบการให้อากาศแก่น้ำหมักต้องคุมทั้งตัวกวนและตัวป้อนอากาศ ทำให้เสียพลังงาน และเพิ่มภาระในการควบคุมมากขึ้น มีรายงานว่า ใบกวนที่ใช้ในถังหมักทำหน้าที่หลักคือ ช่วยในการตีฟองอากาศที่ผ่านเข้าไปจากก้นถังให้เป็นฟองขนาดเล็กมาก กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของน้ำหมักโดยทั่วถึง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของออกซิเยนสู่น้ำหมัก นอกจากนี้ก็จะทำการกวนไม่ให้จุลินทรีย์ หรือสารอาหารตกตะกอน และเกิดการผสมสัมผัสกันอย่างสม่ำเสมอ ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนใบกวนสำหรับถังหมักขนาดเล็ก และขนาดกลางจะอยู่ในช่วงของการใช้กำลังไฟฟ้า ๖-๘ วัตต์/ปริมาตรน้ำหมัก ๑ ลิตร ในขณะที่เครื่องหมักแบบถังกวนขนาดใหญ่ที่ใช้ในการผลิตต้องการกำลังลดลงเพียงประมาณ .๑-๒ วัตต์/ลิตร กำลังไฟฟ้าที่ต้องการในการกวน ขนาด และจำนวนชุดของใบกวนที่จำเป็นต้องใช้มิได้ขึ้นกับสัดส่วนทางเรขาคณิตของมัน แต่ขึ้นกับความสูงของถังหมัก ความหนืดของน้ำหมัก และประสิทธิภาพในการทำให้ออกซิเยนละลายสู่น้ำหมัก (ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย, ๒๕๒๐) เพื่อเป็นการลดปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมระบบให้อากาศลดการใช้พลังงาน จึงมีผู้ทดลองสร้างถังหมักแบบหอสูงขึ้นมาใช้

๒.๒ ถังหมักแบบหอสูง (Tower fermenter)

โดยอาศัยความรู้และเทคโนโลยีทางด้านจุลชีว ชีวเคมี และท่อปฏิกริยา ทำให้ทำให้มีการพัฒนาท่อปฏิกริยาให้เป็นถังหมักแบบหอสูงขึ้น ลักษณะโดยทั่วไปเป็นทรงกระบอกตั้งในแนวดิ่ง ไม่มีเครื่องกวน เชื้อหมักจะแขวนลอยอยู่ในน้ำหมัก อากาศและน้ำหมักมีทิศทางการไหลไปทางเดียวกัน ลักษณะการทำงานมีดังนี้ อากาศที่ผ่านการฆ่าเชื้อ หรือกรองแล้ว ก่อนที่จะผ่านหัวกระจายอากาศซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเจาะรูพรุนหรือเป็นแบบทรงกลมติดอยู่ที่ฐานของถังหมัก แล้วจะเกิดกลุ่มของฟองอากาศลอยตัวขึ้นไปพร้อม ๆ กับมีการ

ละลายของออกซิเยนจากฟองอากาศลงสู่น้ำหมัก มีการกวนให้น้ำหมัก อากาศ และเซลล์ผสมผสานกันโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องช่วยกวนเหมือนเครื่องหมักแบบถังกวน (Imrie and Greenshields, 1973)

เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สร้างง่าย ราคาถูก ใช้พลังงานน้อย การควบคุมไม่มาก เพราะไม่ต้องใช้เครื่องช่วยกวน เครื่องหมักแบบนี้ได้มีการทดลองนำไปใช้เพื่อผลิตเบียร์ น้ำส้ม และผลิตเซลล์แล้ว ในแง่ของการผลิต เนื่องจากไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวได้ จึงดัดแปลงเป็นการผลิตในระบบต่อเนื่องได้ง่าย ได้มีการศึกษาทดลองในระบบไม่ต่อเนื่องกึ่งต่อเนื่องทั้งในห้องทดลองและเครื่องต้นแบบ พบว่า มีทางเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ทางเชิงการค้า

ในแง่ชีววิทยา รูปร่างของจุลินทรีย์อาจพัฒนาไปได้เนื่องจากวิธีการให้อากาศและการกวนของถังหมักแบบหอสูงมีแรงเฉือนกระทำต่อน้ำหมัก และเชื้อหมักน้อยมาก จึงเป็นการง่ายต่อการควบคุมรูปร่างของจุลินทรีย์ที่จะเปลี่ยนไป เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้หัวกระจายอากาศ จะเกิดการอุดตันง่าย ถ้าทำความสะอาดไม่ดีพอหลังการทดลอง

๒.๓ <u>แบบผสม</u> (Tower stirred fermenter)

เป็นลักษณะผสมระหว่าง แบบหอสูง และแบบถังกวน อากาศจะกระจายและถูกกวนด้วยใบกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูงติดที่ฐานของถังหมัก ในส่วนที่เหนือขึ้นไปจะถูกกวนด้วยแผ่นกั้นที่ติดข้างถังหมัก เนื่องจากถังหมักแบบหอสูง หรือแบบผสมมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตั้งในแนวดิ่ง มีหลักการว่า ระบบการกวนและผสม เป็นไปพร้อม ๆ กัน ถ้าพิจารณาถึงระดับความสูงตั้งแต่ฐานถึงยอดจะเห็นว่า เซลล์ที่อยู่ตอนล่างติดกับระบบการให้อากาศรับออกซิเยนมาก เซลล์ที่อยู่ในระดับสูงกว่าจะรับออกซิเยนน้อย นอกจากนี้การใช้ระบบการกำจัดฟองด้วยสารละลาย ซิลิโคน การปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปล่อยลงมาทางด้านบน อาจมีผลต่อการเจริญของเซลล์ที่อยู่ทางด้านบนได้ ตอนล่างอากาศมากเพิ่มการหายใจคาร์บอนไดออกไซด์ ความร้อน การผลิตอาจต่ำลง (Wiley, 1954) ตอนบน ปริมาณออกซิเยนอาจลดลง อาจ

จะเกิดสภาพการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเยนในบางส่วนของน้ำหมักได้ (Jackson and Shen, 1978) จึงทดลองสร้างเครื่องหมักแบบคอลัมน์มีระบบไหลหมุนเวียนผ่านท่อป้อนย้อนกลับ ซึ่งจะช่วยทำให้เซลล์ต่าง ๆ ไหลผ่านอากาศบริสุทธิ์เหมือน ๆ กัน ความเข้มข้นของสารเคมี และอาหาร ตอนล่างและตอนบนเข้มข้นใกล้เคียงกัน แล้วทดลองเปรียบเทียบผลที่ผลิตได้จากเครื่องหมักแบบคอลัมน์ กับเครื่องหมักแบบถังกวน ซึ่งมีผู้ศึกษาทดลองเลี้ยงเชื้อยีสต์ในน้ำสัปปะรด (สุมาลี ตั้งพัฒน์เจริญ, ๒๕๒๐)