บทที่1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันปาล์มน้ำมัน (*Elaeis quineensis* Jacq.) กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งทางภาคใต้ของประเทศไทย เนื่องจากการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวางและรวดเร็ว เพราะสามารถนำไปใช้ในการทดแทนน้ำมันพืชอื่น ๆ และแทนไขสัตว์ได้เป็นอย่างดี และราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชอื่น ๆ ทำให้มีการปลูกอย่างแพร่หลายและการผลิตน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในภาคใต้ของประเทศไทย เช่น กระบี่ ตรัง สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสงขลา (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์และคณะ,2533) ในการสกัดน้ำมันปาล์มผลที่ตามมาจะมีวัสดุเศษเหลือ คือ ส่วนของเหลวได้แก่ น้ำทิ้ง และส่วนของแข็งได้แก่ ทะลายเปล่า กากเนื้อปาล์ม สลัดจ์ (อารี กังแฮ, 2536) โดยเฉพาะน้ำทิ้งซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิต ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน (แบบใช้น้ำ) จากสองขั้นตอน คือ น้ำนึ่งปาล์มหรือน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ (Sterilizer condensate) และน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (decanter) หรือเครื่อง separator น้ำทิ้งดังกล่าวจะมีน้ำมันปนอยู่ประมาณ 10-20 กรัมต่อลิตร น้ำมันในน้ำทิ้งอยู่ในลักษณะอิมัลชั่น ซึ่งแยกออกได้ยากและไม่สามารถแยกออกได้ด้วยวิธีการทางกายภาพ (อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ, 2537) และวิธีที่น่าจะเป็นไปได้ในการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้งคือ วิธีทางชีวภาพ มีการศึกษาเพื่อการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้งโดยใช้วิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์เป็นการแยกหรือกำจัดน้ำมันในน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สองด้วยกระบวนการชีวภาพ วิธีการแยกหรือกำจัดน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสียมี 2 วิธี คือวิธีทางกายภาพและเคมีทำได้โดยการทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการลอยตัวโดยอาศัยการกระจายของฟองอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (Forster, 1992 อ้างโดยโสภา จันทภาโส, 2542) และวิธีการบำบัดทางชีวภาพสามารถใช้จุลินทรีย์ทั้งที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจน ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย

เนื่องจากมีจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์สามารถใช้น้ำมันเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญได้แก่ *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma harzianum, Myceliophtora thermophila, Trichoderma virid* เป็นต้น ซึ่งนอกจากช่วยกำจัดน้ำมันแล้ว ยังทำให้ค่าซีโอดีลดลงมากกว่าร้อยละ 7 0 และได้มวลชีวภาพสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสายพันธุ์ของเชื้อราที่สามารถผลิตพอลิเมอร์ได้ที่

อุณหภูมิสูง ซึ่งให้มวลชีวภาพสูงเกือบ 50 กรัมต่อลิตร และมีการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์เซลลูเลสและไซลาเนสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 และเอนไซม์ทางการค้ามาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าเอนไซม์ทั้งสองแหล่งสามารถแยกสารแขวนลอยในน้ำทิ้ง และน้ำมันออกจากน้ำมันของโรงงานน้ำมันปาล์มได้ ทำให้ของเหลวส่วนที่เหลือมีปริมาณน้ำมันเท่ากับร้อยละ 99 และค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 71 (Prasertsan *et al*., 1997) โสภา จันทภาโส (2542) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์และการลดความเข้มของสี พบว่า น้ำทิ้งต้องมีปริมาณน้ำมันไม่ต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะทำให้เกิดตะกอนเบาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ และความเข้มข้นต่ำสุดของเอนไซม์จาก *A. niger* ATCC 6275 และเอนไซม์ไซลาเนสทางการค้า (Meicellase) คือ 200 และ 600 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นวิธีทางชีววิทยาโดยใช้จุลินทรีย์ จึงน่าจะเป็นวิธีการที่มีความเป็นไปได้ในการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้ง ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ (ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี) ลดลง และสามารถผลิตพอลิเมอร์ได้ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะใช้เชื้อราทนร้อน เนื่องจากในขั้นตอนของการย่อยผลปาล์มนั้น จะมีการเติมน้ำร้อนลงไป (อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส) เพื่อสกัดน้ำมันออกจากส่วนเปลือก (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533) ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีอุณหภูมิสูง จึงจำเป็นต้องเลือกใช้จุลินทรีย์ที่ทนร้อนได้และเพื่อการบำบัดน้ำทิ้งมีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำให้ช่วยลดปัญหาด้านการบำบัดน้ำเสียและด้านมลภาวะสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง

ตรวจเอกสาร

แหล่งที่มาและคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม

แหล่งที่มาของน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม

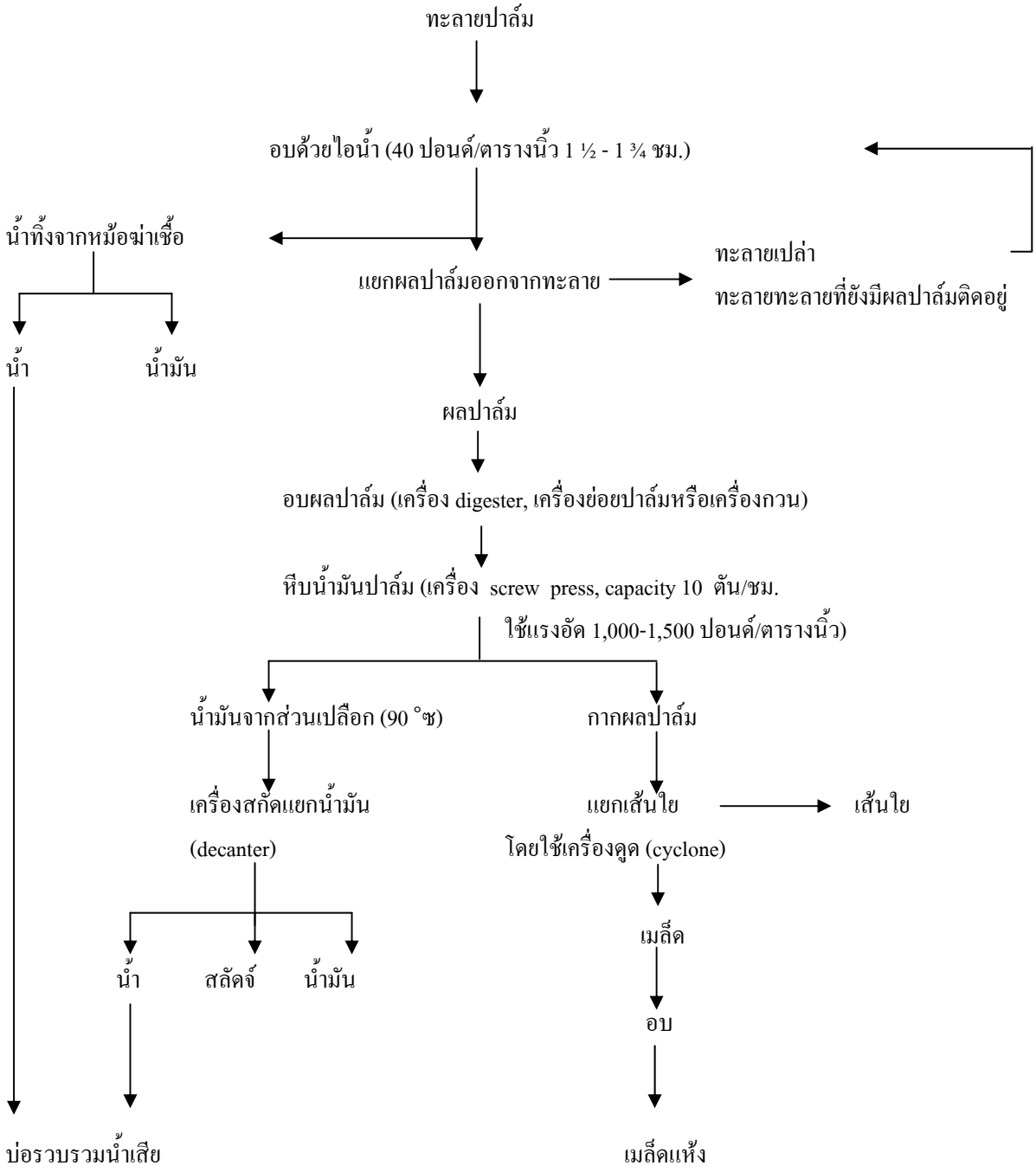
กรรมวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นได้มีการพัฒนากันมานานแล้ว นับตั้งแต่การสกัดน้ำมันแบบพื้นเมืองอัฟริกาซึ่งใช้แรงงานคนและสัตว์ ต่อมาความต้องการน้ำมันปาล์มมีมากขึ้น จึงมีการค้นคว้ากรรมวิธีการผลิตให้ได้ปริมาณที่มากขึ้น โดยมีการใช้เครื่องมือกันมากขึ้นเพื่อให้ผลผลิตเพิ่มพูนขึ้น

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจของภาคใต้ของประเทศอีกชนิดหนึ่ง มีการปลูกกันมากที่จังหวัดกระบี่, สตูล, สุราษฎร์ธานีและชุมพร พูนสุข ประเสริฐสรรพ์และคณะ (2533) ได้สำรวจโรงงานน้ำมันปาล์มในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, จังหวัดสตูล และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

พบว่า กระบวนการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การสกัดแบบไม่ใช้น้ำ (dry process) และแบบใช้น้ำ (wet process) หรือที่เรียกว่าแบบมาตรฐาน และพบว่ากระบวนการผลิตจะมีผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำเสียของโรงงาน

1. การผลิตแบบไม่ใช้น้ำ โดยใช้ความร้อนในการอบผลปาล์มได้จากฟืน ซึ่งใช้เวลานานกว่าการอบด้วยไอน้ำมาก วิธีนี้จึงเหมาะสมกับโรงงานขนาดเล็ก ได้น้ำมันดิบที่เรียกว่าน้ำมันกะเทย คือ น้ำมันที่มีการผสมทั้งน้ำมันจากส่วนเปลือกและน้ำมันเมล็ดในวัสดุเศษเหลือทิ้งของโรงงานประเภทนี้ คือ กากปาล์มเพียงอย่างเดียว

2. การผลิตแบบใช้น้ำหรือแบบมาตรฐาน โดยมีการใช้น้ำ (ไอน้ำ) ในการอบทะลายปาล์ม หรือผลปาล์ม และในกระบวนการสกัดน้ำมันแบ่งย่อยออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบที่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมันแบบ 3 เฟส (phase) ที่เรียกว่า decanter (ภาพที่ 1) และแบบที่ให้เครื่องแยกน้ำมันแบบ 2 เฟส ที่เรียกว่า separator ในบรรดากระบวนการผลิตเหล่านี้ เฉพาะกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำเท่านั้นที่ก่อให้เกิดน้ำทิ้งซึ่งทางโรงงานต้องทำการบำบัด กระบวนการสกัดแบบนี้ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลาง ขั้นตอนทั่วไปของการสกัดน้ำมันปาล์ม เริ่มจากการนำทะลายปาล์มสดมาอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส ความดัน 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 45 นาที การอบทะลายปาล์มมีจุดประสงค์เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซีลที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม นอกจากนี้ไอน้ำยังทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มสะดวกในการสกัดและขั้วหลุดจากทะลายได้ง่ายขึ้นด้วย ทะลายปาล์มที่อบแล้วจะถูกนำเข้าเครื่องแยกผลปาล์มซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ผลปาล์มถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม ซึ่งภายในมีใบพัดคอยกวนเพื่อให้เส้นใยฉีกออกจากเมล็ด และทำให้เซลล์น้ำมันแตกตัว เพื่อง่ายต่อการหีบน้ำมัน ในขั้นต่อไปมีการเติมน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการสกัดน้ำมัน ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 – 20 นาที จากนั้นจะถูกป้อนเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (screw press) เพื่อสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือก และน้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำ และเศษเส้นใยรวมทั้งสิ่งสกปรกอื่นๆ โดยการใช้เครื่อง decanter หรือเครื่อง separator ซึ่งวิธีหลังนี้จะควบคู่กับการใช้วิธีการตกตะกอนในถังก่อนป้อนเข้าเครื่องเหวี่ยง จากนั้นนำไปไล่ความชื้นให้ได้มาตรฐาน แล้วนำไปเก็บในถังน้ำมันขนาดใหญ่ เพื่อเตรียมส่งจำหน่ายโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป (ผาสุก กุลละวณิชย์ และคณะ, 2534) กระบวนการผลิตแบบนี้จัดเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันสูง ผลผลิตของน้ำมันเท่ากับ 0.2 ตันต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน มีคุณภาพได้มาตรฐาน กำลังการผลิตสูง แต่มีข้อเสีย คือ จะมีน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตประมาณ 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และต้องใช้ต้นทุนสูงเนื่องจากเครื่องจักรมีราคาแพง



ภาพที่ 1 แผนภูมิการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่องแยกน้ำมัน Decanter

Fig.1 Standard wet process from palm oil mill

ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม

จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานจะมีน้ำทิ้งออกมาในปริมาณมาก ส่วนใหญ่มาจากสองขั้นตอน คือ น้ำนึ่งปาล์ม หรือน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ (Sterilizer condensate) และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่อง separator ก่อนจะไหลไปรวมเป็นน้ำทิ้งรวมในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ(Sterilizer condensate) มีประมาณ 200 ลิตรต่อ 10 ตันทะลายปาล์ม (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533) ปริมาณน้ำทิ้งคิดเป็น 2.5-3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ (Cheah *et al.,* 1988) ส่วน Hwang และคณะ (1978) ได้รายงานว่าปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณทะลายปาล์ม และมีน้ำมันร้อยละ 2 ปนอยู่ในน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ

คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย (ตารางที่ 1) น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) (ตารางที่ 2) ลักษณะโดยรวมของน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้จะเห็นว่าน้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสียมีค่าซีโอดี บีโอดี ของแข็ง แขวนลอย และของแข็งทั้งหมดสูงกว่าน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่องเหวี่ยง (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533)

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ (2537) ศึกษาการแยกน้ำมันจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4 โรงงานซึ่งมีการแยกน้ำมัน 3 แบบ คือ การแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง decanter การแยกน้ำมันจากน้ำสลัดจ์โดยใช้เครื่อง separator และการแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง separator ร่วมกับ decanter และขั้นสุดท้ายคือการดักน้ำมันจากน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่บ่อบำบัด โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำมันโดยตรงจะมีปริมาณน้ำทิ้งน้อยที่สุดคือ 0.44 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ในขณะที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ separator หรือ separator ร่วมกับ decanter มีปริมาณน้ำทิ้ง 0.90-1.81 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ทั้งนี้เนื่องจากการแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง decanter มีการผสมน้ำปริมาณน้อยมาก ประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ในขณะที่การแยกน้ำมันจากน้ำและสลัดจ์โดยใช้เครื่อง separator หรือ separator ร่วมกับ decanter นี้ต้องมีถังลอยซึ่งเติมน้ำเพื่อให้น้ำมันแยกตัวจากสารแขวนลอยได้ดี และน้ำสลัดจ์ที่ตกจมยังคงมีน้ำมันอยู่ในปริมาณมาก จะถูกนำไปเติมน้ำก่อนที่จะแยกโดยใช้ separator ร่วมกับ decanter มีปริมาณน้ำทิ้ง 0.87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด มีค่าซีโอดี บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันเท่ากับ 52.45, 26.58, 12.84 และ 8.72 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบและลักษณะของน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มจากบ่อรวบรวมน้ำทิ้ง

Table 1 Characteristics of palm oil mill effluent from mixed effluent

Parameters	1	2	3	4	Ranges	Reference*
Color	Dark brown	Dark brown	Dark brown	Dark brown	Dark brown	Dirty
pH	4.05	4.45	4.34	4.62	4.05-4.62	3.0-4.5
BOD	> 50,000	54,750		60,000	54,750-60,000	22,500-38,000
COD	115,934	83,916	82,013	80,523	3,128-5,870	2,100-5,700
Volatile acid (as acetic acid)	5,870	3,128	4,883	5,438	3,128-5,870	2,100-5,700
Alkalinity (as $CaCO_3$)	200	68.5	80.5	180	68-200	270-650
Grease		16.7	2,449	1,165	16-2,449	18,000-52,700**
Total solids (TS)	88,508	61,222	49,453	82,582	49,453-88,508	37,800-71,600
Volatile solids (VS)	81,872	52,655	42,063	76,004	42,063-81,872	31,200-56,700
Suspended solids (SS)	52,000	30,000	18,500	27,800	18,500-52,000	12,700-51,000
Nitrogen ammonia	53.5	27.3	27.9	61.8	27.61	17-31
organic		551.6	817	1,172	551-1,172	670-900

หมายเหตุ ค่าทุกค่ามีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นสีและพีเอช

1, 2, 3 และ 4 โรงงานปาล์มน้ำมันที่จังหวัดสงขลา สตูล สุราษฎร์ธานี และกระบี่ ตามลำดับ

*Edewor. J. O. 1986. J. Chem. Tech. Biotechnol. 36 : 212-218.

** เป็นค่า oil

ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

ตารางที่ 2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆในการสกัดน้ำมันและน้ำทิ้งจากบ่อน้ำทิ้งรวม

Table 2 Characteristic of effluent from various steps during palm oil extraction and mixed effluent

Parameter	Mixed effluent	Sterilizer condensate	Decanter effluent
Color	Dark-brown	Brown	Brow or dark-brow
pH	4.05-4.62	4.84-5.35	4.61-4.89
BOD	54,750-60,000	22,8000-41,985	21,000-45,375
COD	80,523-115,934	45,360-80,146	38,246- 67,567
Volatile acid	3,128-5,870	998-7,125	1,838-2,273
Alkalinity	68-200	3.75-1,576	86.5-480
Oil and Grease	16-2,449	20.9-1,103	4.7
Total solid	49,063-88,508	26.367-76,733	25,634-47,242
Volatile solid	42,063-81,872	24,415-67,635	23,634-47,242
Suspended solid	18,500-52,000	2,600-6,100	23,056-39,617
Nitrogen			
- Ammonia	27-61	7.7-66.3	22.8-23.0
- Organic	551-1,172	22.4-1,287	518.5

All parameter units are mg/l except pH

ที่มา : ดัดแปลงจาก พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้เครื่อง ดีแคนเตอร์ในการแยกน้ำมันมีพีเอช 4.65 และมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เฉลี่ยดังนี้คือ ซีโอดี บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันเท่ากับ 113.96, 59.39, 26.3 และ 14.7 กรัมต่อลิตร ในขณะที่โรงงานที่ใช้ separator หรือ separator ร่วมกับ decanter มีพีเอช 4.53-4.67 และมีค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วง 42.64-68.34, 21.45-30.70, 5.2-20.8 และ 7.6-14.2 กรัมต่อลิตรตามลำดับ นอกจากนี้น้ำทิ้งยังประกอบด้วยอินทรีย์สารและแร่ธาตุต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน (ร้อยละ 1.37-2.08) โปแตสเซียม (ร้อยละ 0.09-4.15) ฟอสฟอรัส (ร้อยละ 0.28-0.42) เป็นต้น และ (Okiy, 1987; Hwang *et al.,* 1987 อ้างโดย อารี อังแฮ, 2536) พารามิเตอร์เหล่านี้ล้วนบ่งชี้ให้เห็นแนวโน้มที่น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้

ระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นการใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีปริมาณน้อยลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำทิ้ง

วิธีการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งเป็น 4 กระบวนการใหญ่ ประกอบด้วย กระบวนการทางกายภาพ (Physical processes), กระบวนการทางเคมี (Chemical processes), กระบวนการทางชีวภาพ (Biological processes) และกระบวนการทางกายภาพ-เคมี (เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2525) โดยที่แต่ละวิธีจะมีกระบวนการบำบัดที่แตกต่างกัน รวมถึงประสิทธิภาพของการบำบัดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมักจะประกอบด้วยกระบวนการย่อยหลายกระบวนการมารวมกัน ทั้งนี้เพราะสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียมีอยู่หลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละประเภทของสิ่งปนเปื้อนจำเป็นต้องใช้วิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดต่างกันไป (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2541) การบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจะกระทำด้วยวิธีใดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ลักษณะของน้ำเสีย ระดับของการบำบัด (ปรีชา มุณีศรี, 2537) นอกจากนี้ปัจจัยที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่งในการกำหนดระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม คือ สภาพท้องถิ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ราคาที่ดินที่จะใช้สร้างระบบบำบัด (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2541)

ระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การบำบัดขั้นต้น (Preliminary or Primary treatment), การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) และการบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment) ดังนี้

1. การบำบัดขั้นต้น (Preliminary or Primary treatment)

จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้ เพื่อที่จะปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะแก่การบำบัดในขั้นที่สองต่อไป ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ได้ร้อยละ 25-40 วิธีการที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้นได้แก่ การตกตะกอน การกรอง การกำจัดเศษกรวดทรายหยาบ การใช้ถังดักไขมัน การใช้ถังปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง การใช้ตะแกรงดักสิ่งของที่ลอยน้ำ และกำจัดโลหะหนัก

2. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment)

การบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนที่สองนี้เป็นการใช้กระบวนการทางชีวภาพ โดยกำจัดสารอินทรีย์ หรือค่าบีโอดี ซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย หรืออนุภาคสารคงลอย หรือตะกอนขนาดเล็กด้วยจุลินทรีย์มาทำการย่อยสลายทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การบำบัดวิธีนี้นิยมใช้ในการบำบัดกันอย่างแพร่หลาย การบำบัดขั้นที่สองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ (มั่นสัน ตีณฑุลเวส, 2525)

2.1 การบำบัดแบบให้อากาศ เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยา โดยมีการใช้ออกซิเจนมีหลายระบบ เริ่มตั้งแต่ระบบง่ายที่สุด คือ oxidation pond จนถึงระบบ activated sludge ซึ่งยุ่งยาก และใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด ระบบต่างๆนี้อาศัยหลักการเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งความแตกต่างของระบบบำบัดของแต่ละระบบอยู่ที่วิธีการให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ และการควบคุมปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ (สมใจ ศิริโภค, 2537) ได้แก่ ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge), ระบบบ่อเติมอากาศ (Aevated Lagoon), ระบบคูวนเวียน (Oxidation Ditch), ระบบลานกรองจุลินทรีย์ (Trickling Filter), ระบบหอจุลินทรีย์ (Bio-Tower) และระบบจานหมุนชีวภาพ (Bio-Disk or Rotating Biological Contactor)

2.2 การบำบัดแบบการไม่ให้อากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง จึงไม่นิยมใช้ในประเทศที่มีอากาศหนาวเพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้ง (สมใจ ศิริโภค, 2537) ในระบบไร้อากาศประกอบด้วย บ่อไร้อากาศแบบเปิด (Anaerobic pond) โดยทั่วไปการใช้ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศในประเทศไทยจะเป็นระบบบ่อเปิดต่อกันหลายๆบ่อ และบ่อไร้อากาศแบบปิดมีหลายแบบ เช่น Wash out reactor, Anaerobic Activated Sludge หรือ Anaerobic Contact Process, Fited-film Reactor เป็นต้น

ในระบบบ่อไร้อากาศการออกแบบและดำเนินการจะต้องพิจารณาถึงการตกจมของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และตกตะกอนส่วนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศด้วย ซึ่งมีผลทำให้ปริมาตรของของแข็งแขวนลอยในบ่อเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลากักเก็บลดลง และค่าภาระการบรรทุกของซีโอดีที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำลง (ทักษิณปาล์ม, 2521) ในการบำบัดขั้นนี้สามารถจะลดค่าบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 35-95 ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยมากจะสิ้นสุดการบำบัดที่ขั้นตอนที่สอง

3. การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment)

การบำบัดขั้นที่สามจะใช้ในกรณีที่ต้องการน้ำทิ้งที่สะอาด จนสามารถนำมาใช้ในการอุปโภคได้ ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดทางเคมี ร่วมกับกระบวนการทางกายภาพ-เคมี โดยน้ำทิ้งจากการบำบัดขั้นที่สองที่ถูกนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านในการลดความเข้มของสี การแลกเปลี่ยนประจุ reverse osmosis และ electrodialysis

การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ

การแยกหรือกำจัดน้ำมัน (หรือไขมัน) ในน้ำทิ้ง เป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถใช้น้ำมันและไขมันเป็นสารอาหารมีปริมาณน้อยชนิด นอกจากนี้การกำจัดน้ำมันออกจากระบบการบำบัดจะยุ่งยาก ดังนั้นในการบำบัดขั้นต้นจึงมีการกำจัดน้ำมัน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ออกจากระบบเพื่อจะทำให้การบำบัดขั้นต่อไปมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ จำเป็นต้องทำการบำบัดขั้นต้นแบบกายภาพ-เคมีก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ การกำจัดน้ำมันและไขมันสามารถทำได้โดยการทำให้น้ำมันและไขมันเกิดการลอยตัว โดยอาศัยการกระจายตัวของฟองอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (Forster, 1992, อ้างโดยโสภา จันทภาโส, 2542)

อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ (2537) ได้ศึกษาทดลองแยกน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่าน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ สามารถแยกได้ง่าย โดยต้มทิ้งไว้ก็เกิดการแยกชั้น สำหรับน้ำทิ้งจากเครื่องแยกหรือน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำทิ้งรวมไม่สามารถแยกออกโดยวิธีการตกจม (normal Setting) การใช้ความร้อนพร้อมกับการแกว่งโดยทำอย่างช้า ๆ (15 รอบต่อนาที) การใช้สารช่วยตกตะกอน เช่น $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$ การใช้วิธีการกระจายอากาศ (dissolved air floatation) ก็ไม่สามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำทิ้งได้ เมื่อน้ำทิ้งจากเครื่องแยก Separator เข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง จะทำให้น้ำทิ้งแยกออกเป็น 3 ชั้นมีปริมาณชั้น

บนร้อยละ 2-14 ชั้นกลางร้อยละ 57-77 และชั้นล่างร้อยละ 16-28 ในแต่ละชั้นมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 4.00-5.64 ตามลำดับ สำหรับน้ำทิ้งจากบ่อน้ำทิ้งรวม เมื่อทำการหมุนเหวี่ยงมีปริมาณชั้นบนร้อยละ 3-13 ชั้นกลางร้อยละ 60-79 และชั้นล่างร้อยละ 10-28 โดยแต่ละชั้นมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 1.67-2.64, 0.08-0.5 และ 3.14-4.97 ตามลำดับ การหมุนเหวี่ยงของน้ำทิ้งจากเครื่องแยกน้ำมันจากบ่อน้ำทิ้งรวมสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำทิ้งได้ร้อยละ 5-30 และทำให้น้ำทิ้งสุดท้ายมีค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 50 และมีปริมาณน้ำมันลดลงร้อยละ 85 และวิธีที่น่าจะเป็นไปได้ในการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้ง คือ วิธีบำบัดทางชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์ที่ต้องการ และไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากมีจุลินทรีย์หลายสายพันธ์สามารถใช้น้ำมันเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต ได้แก่ *Aspergillus* sp.,(Prasertsan *et al.,*1997), *Rhizopus* sp., (Rasak *et al.,*1997)*, Trichoderma harzianum* และ*, Myceliophtora thermophila* (Vikineswary *et al.*, 1997)*, Trichoderma viride* (Karim and Kamill, 1989) และที่สำคัญพบพวกจุลินทรีย์ทนร้อน Vikineswary และ Shim (1996) แยกเชื้อ *Myceliophthora thermophila* โดยการคัดเลือกเชื้อจากน้ำทิ้งสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าสามารถย่อยเซลลูเลสและอะไมโลส มีแอคติวิตี้ของเซลลูเลส 1330 ยูนิตต่อมิลลิตร และแอคติวิตี้การย่อยแป้ง 1800 ยูนิตต่อมิลลิตร

นอกจากนี้สามารถใช้เอนไซม์ในการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม จารุวรรณ มณีศรี (2538) ได้ใช้เอนไซม์จาก *A. niger* ATCC 6275 และเอนไซม์ไซลาเนสทางการค้า คือ Meicellase และ Symyzyme พบว่าทั้ง 3 ชนิดสามารถแยกปริมาณน้ำมันออกจากน้ำทิ้งได้ร้อยละ 99.04, 99.70 และ 96.0 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อทิ้งไว้ข้ามคืน รวมทั้งสามารถแยกสารแขวนลอยจากน้ำทิ้งได้ร้อยละ 71.4, 70. และ 69.8 ทำให้ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 76.0, 69.4, และ 76.5 ตามลำดับ

การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้เชื้อราจะเป็นการบำบัดแบบให้อากาศมีหลายระบบทั้งแบบง่าย ๆ โดยอาศัยอากาศจากธรรมชาติ และแบบอาศัยอากาศจากเครื่องให้อากาศ เช่น activated sludge หรืออาจจะใช้การกวน แต่มีหลักการที่เหมือนกัน คือ ใช้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญ และกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย

Karim และ Kamil (1989) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทางชีวภาพโดยใช้เชื้อ *T. viride* โดยศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม และน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มที่ผ่านการต้มให้เดือด นาน 10 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยเติมสปอร์และเส้นใยของเชื้อรา *T. viride* ซึ่งน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มที่เติมเชื้อและไม่เติมเชื้อมีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 700-850 และ1,000-1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าเวลาผ่านไป

10 และ 14 วัน สามารถลดค่าซีโอดีจากการใช้เส้นใย และสปอร์ลงเหลือ 56 และ 44 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หรือมากกว่าร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีของชุดควบคุมซึ่งไม่ต้ม และไม่มีการเติมเชื้อราลงไป ลดลงประมาณร้อยละ 43-52 ได้มวลชีวภาพของชุดที่เติมเชื้อจากการใช้ไมซีเลี่ยมของน้ำทิ้งที่ผ่านการต้มและไม่ผ่านการต้มประมาณ 1.42 และ 1.32 กรัมต่อลิตรของน้ำหนักไมซีเลี่ยมแห้ง หลัง 10 วันตามลำดับ ส่วนมวลชีวภาพของชุดที่เติมเชื้อจากการใช้สปอร์ของน้ำทิ้งที่ผ่านการต้มและไม่ผ่านต้มประมาณ 1.29 และ 1.21 กรัมต่อลิตรของน้ำหนักไมซีเลี่ยมแห้ง หลัง 14 วันตามลำดับ และโปรตีนร้อยละ 37.6-40.7 ของการใช้ไมซีเลี่ยมและสปอร์ของน้ำทิ้งที่ผ่านการต้มและไม่ผ่านต้ม

ปรีชา มุณีศรี (2539) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์ พบว่าการบำบัดน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ ในขั้นแรกด้วยเชื้อราทนอุณหภูมิสูงสายพันธุ์ ST 29 ในสภาพปลอดเชื้อสามารถกำจัดน้ำมันและกรีสได้ร้อยละ 99.01 ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 69 และได้ปริมาณมวลชีวภาพ 48.19 กรัมต่อลิตร ส่วนภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ น้ำมันและกรีสลดลงร้อยละ 90.30 ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 73 และได้ปริมาณมวลชีวภาพ 44.87 กรัมต่อลิตรได้ดีกว่าเชื้อราทนอุณหภูมิสูงสายพันธุ์ ST 4 และ จากการสังเกตลักษณะการเจริญของเชื้อทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เส้นใยของเชื้อรวมกันเป็นก้อนและมีสีดำ โดยภายในก้อนเส้นใยจะมีเศษตะกอนและน้ำมันรวมอยู่ด้วย เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและกรีสที่มีอยู่ในเส้นใยของสายพันธุ์ ST 29 พบว่า มีปริมาณน้ำมันและกรีส 0.04 กรัมต่อกรัมมวลชีวภาพหรือร้อยละ 7.80 ของปริมาณน้ำมันเริ่มต้น ซึ่งแสดงว่าเชื้อรา ST 29 สามารถใช้น้ำมันได้จริงๆ ร้อยละ 91.85 สำหรับการบำบัดขั้นที่สองด้วย *Rhodocyclus gelationosus* R7 ในสภาพปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อพบว่าเชื้อสูงสุดที่เวลา 8 วัน ให้ปริมาณมวลชีวภาพ 2.87 และ 2.69 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Vikineswary และคณะ (1997) เลี้ยง *Trichoderma harzianum* และ *Myceliophthora thermophila* ในน้ำทิ้งของน้ำมันปาล์ม และได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตโดยการเลี้ยงแบบ batch พบว่า หลังจากการเลี้ยง 24 ชั่วโมง *M. thermophila* ให้มวลชีวภาพ 28.6 กรัมต่อลิตร บีโอดีและซีโอดีลดลงร้อยละ 72 และ 74 ตามลำดับ ส่วน *T. harzianum* ให้มวลชีวภาพ 20 กรัมต่อลิตร บีโอดีและซีโอดีลดลงร้อยละ 67 และ 68 ตามลำดับ

Sayadi และ Ellouz (1992) รายงานว่า *Phanerochaete chrysosporium* สามารถที่จะลดค่าสีของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันมะกอกได้ร้อยละ 35 และสามารถย่อยสลายสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและต่ำได้ เป็นผลให้ค่าซีโอดีลดลงมากกว่าร้อยละ 80 และเชื้อรานี้สามารถผลิต

เอนไซม์ที่สำคัญ คือ ลิกนินเนส ซึ่งสามารถย่อยสลายสารพวก xezobiotic และ organopollutant ได้หลายชนิด

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก และเป็นปัญหาในการกำจัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ การใช้เอนไซม์ที่ถูกตรึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณสารต่างๆ ได้โดยใช้สารต่างๆ ที่มีอยู่น้ำทิ้งเป็นสับสเตรต โดยนำน้ำทิ้งมาทำงานร่วมกันกับเอนไซม์ในระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้น้ำทิ้งมีความเป็นพิษน้อยลง มีการพัฒนานำเอนไซม์ที่ถูกตรึงมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง ตัวอย่างการใช้เอนไซม์แลคแคสที่ถูกตรึงจาก *Lentinula edodes* และใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันมะกอก โดยศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์แลคแคส และใช้บำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันมะกอก แล้วยังสามารถลดสีของน้ำทิ้งได้ด้วย *(*Annibale *et al.,* 1999*)* และมีรายงานพบว่าเชื้อรา *Lentinula edodes* สามารถผลิตเอนไซม์ polygalacturonase โดยใช้กากสตอร์เบอร์รี่ มีกิจกรรมสูงในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส (Zheng และ Shetty, 2000) ซึ่ง polygalacturonase เป็นเอนไซม์ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์ไกลโคซิลในสารประกอบแพคติน

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มมีปริมาณสารอินทรีย์สูงและประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ จึงมีการศึกษาที่จะใช้น้ำทิ้งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ เพื่อผลิตเอนไซม์และสามารถนำเอนไซม์มาประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งได้ด้วยส่วนหนึ่ง

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

1. เซลลูเลส (cellulase)

วัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นสารลิกโนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (จารุวรรณ มณีศรี, 2536) การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเซลลูเลสได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น กลูโคส เซลโลไบโอส ซึ่งละลายน้ำได้

เซลลูเลสเป็นเอนไซม์พวกไกลโคโปรตีน (glycoprotein) มีอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตต่อโปรตีนเท่ากับ 1:1 ละลายน้ำได้ดี เอนไซม์เซลลูเลสเป็นเอนไซม์เชิงซ้อนประกอบด้วยเอนไซม์ 4 ชนิด (Fan and Lee, 1983 อ้างโดย จารุวรรณ มณีศรี,2536) ได้แก่ endo-beta-1,4 glucan

glucanohydrolase (E.C.3.2.1.4) หรือ endo-beta-1,4 glucanase, exo-beta-1,4glucan cellobilhydrolase(E.C.3.2.1.19) , beta- glucosidase (E.C.3.2.2.1) และ exo- beta-1,4 glucan glucohydrolase(E.C.3.2.1.7.4) หรือ exo-beta-1,4 glucosidase

จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจะย่อยเซลลูโลสโดยเซลลูเลสซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจากจุลินทรีย์มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานคือ 50 องศาเซลเซียส แต่อาจต่ำกว่าหรือสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่นำมาผลิต จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมีทั้งแบคทีเรีย และเชื้อรา แบคทีเรียได้แก่ พวกที่ต้องการอากาศเช่น *Cytophaga, Sporocytophaga, Pseudomonas* พวกเจริญได้ทั้งสภาพมีอากาศและไม่มีอากาศ (Facultative) เช่น *Cellulomonas* พวกที่ไม่ต้องการอากาศเช่น *Clostridium, Thermophilum, Rumincoccus albus ,Bacterroier , Acetivibrio*

จุลินทรีย์ที่ผลิตเซลลูเลสได้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกเชื้อราได้แก่ *Trichoderma reesel* (ชื่อเดิม *Trichoderma viride), T. koningii, Penicillium funiculosum, P. iriensis, P. verruculosum, Fusarium solani, Aspergillus terreus, Phanerochaete chrysosporiu* (*Sporotrichum, Phanerochaete*), *Polyporus adustus, Myorthecium verruculosum, Penicillium filamentosa และ Eupenicillium javanicm* ส่วน *Trichoderma fungi* ที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้มี *Chaetomiuum thermophile vardissitu , Sporotrichum thermopilicum* และ*Trichoderma auarntiacus* เชื้อราพวกนี้ย่อยเซลลูโลสได้รวดเร็วแต่กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสใน Culture filtrate ต่ำ (Mandels, 1975 อ้างโดยเบญจวรรณ ชิตมณี, 2534)

เบญจวรรณ ชิตมณี (2534) ศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์มโดยเชื้อราที่แยกได้ พบว่าเชื้อรา F11 มีคุณสมบัติในการย่อยกระดาษกรอง และให้อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีสูง เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวให้ค่าแอคติวิตี้ CMCase เท่ากับ 0.101 ยูนิตต่อมิลลิลิตร และปริมาณโปรตีนของเซลล์ร้อยละ 20.6

Prasertsan และคณะ (1997) ศึกษาการประยุกต์เอนไซม์เซลลูเลส และไซลาเนส ที่ผลิตจาก *A. niger* ATCC 6275 และเอนไซม์ทางค้า คือ Meicellase และ Sumyzyme มาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่า เอนไซม์ทั้งสองแหล่งสามารถแยกปริมาณน้ำมันออกจากน้ำทิ้งได้ร้อยละ 99.0, 99.7 และ 96.0 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และค่าซีโอดีร้อยละ 76, 69 และ 76 ตามลำดับ

2. ไซลาเนส (xylanase)

ส่วนเฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีแซคคไรค์เช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่โมเลกุลมีขนาดสั้นกว่า และมี side chain ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดเช่น ไซโลส กลูโคส แมนโนส กาแลคโตส อะราบิโนส (Tsao และ Chiang, 1993 อ้างโดยเบญจวรรณ ชิตมณี, 2534) องค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลส คือ ไซแลน ซึ่งเป็น xylopyranose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β (1$\rightarrow$4) ไซแลนจากการแหล่งต่างๆ มีโครงสร้างเหมือนกัน จะต่างกันใน side chain โดยทั่วไปไซแลนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนมีประมาณร้อยละ 15–30 และ 7–12 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Whitler and Richard, 1970 อ้างโดยจารุวรรณ มณีศรี, 2538) เอนไซม์ที่ย่อยสลายเฮมิเซลลูโลส แบ่งออกเป็น 2 ชนิด (Dekker and Richard, 1976 อ้างโดยจารุวรรณ มณีศรี, 2538) คือ endo-beta-1,4 xylan xylanohydrolase (E.C.3.2.1.8)และ exo beta-1,4 xylohydrolase (E.C.3.2.1.37)

จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ไซลาเนสพบทั้งในแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ ในแบคทีเรียพบเอนไซม์ไซลาเนสจาก *Aeromonas caviae W-61* (Viet *et al.,*1991 อ้างโดยธัญญา ศรีโพธิ์, 2538), *Bacillus polymyxa* (morale *et al.,* 1993 อ้างโดยธัญญา ศรีโพธิ์, 2538) เป็นต้น ในเชื้อราพบพวก *Aspergillus fumigatus* และ *A. oryzae* (Bailey and Viikari ,1993อ้างโดยธัญญา ศรีโพธิ์, 2538), *Trichoderma koningii* G-39 (Huang, *et al.*, 1991 อ้างโดยธัญญา ศรีโพธิ์, 2538) เอนไซม์ไซลาเนสพบในยีสต์พวก *Cryptococcus เช่น C. flavus* (Nakanishi *et al.*, 1984 อ้างโดยธัญญา ศรีโพธิ์, 2538)

โสภา จันทภาโส (2542) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารแขวนลอยและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์และการลดความเข้มของสี พบว่า น้ำทิ้งต้องมีปริมาณน้ำมันไม่ต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะทำให้เกิดตะกอนเบาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ และความเข้มข้นต่ำสุดของเอนไซม์จาก *A. niger* ATCC 6275 และเอนไซม์ไซลาเนสทางการค้า (Meicellase) คือ 200 และ 600 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และพบว่า การแยกสารแขวนลอยออกมาทดลองลดความเข้มข้นของสีด้วยวิธีการต่าง ๆ วิธีทางเคมีโดยใช้สารช่วยตะกอนมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มของสีได้สูงกว่าวิธีการทางชีวภาพ

3. ไลเปส (lipase)

ไลเปส (Lipase หรือ Triacylglycerol acylhydrolase ; E.C.3.1.13) เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะเอสเธอร์ (ester bond) ของ tri-,bi หรือ monoglycerides ให้เป็นกลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน กลไกการทำงานของเอนไซม์นี้แตกต่างจากเอนไซม์ที่ละลายน้ำทั่วไป คือ จะเร่งปฏิกิริยาที่บริเวณรอยต่อระหว่างน้ำและน้ำมัน (oil water interface) ทั้งนี้เนื่องจาก

สับสเทรตของเอนไซม์นี้เป็น hydrophobic lipid ซึ่งอยู่ใน hydrophilic aqueous medium และโดยเหตุนี้ ปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ไลเปส จึงมีสมบัติทางจลนศาสตร์ไม่เป็นไปตาม Michaelis–Menten model (Jaeger *et al.* ,1994 อ้างโดย รัตนา เรืองไรรัตนาโรจน์ และจันทรา ปุรินทราธิบาล, 2534) แหล่งของไลเปสพบทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในจุลินทรีย์ ปัจจุบันได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถผลิตไลเปสได้ในปริมาณสูงและมีความคงตัวดี จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ เช่น *A. niger* (Sugihara *et al.*, 1988 อ้างโดยวุฒิชัย พิชัยยุทธ์, 2538), *Pseudomonas fluorescens, Candida rugosa* (Veeragavan and Gibbs ,1989 อ้างโดยวุฒิชัย พิชัยยุทธ์, 2538)

Pokomy และคณะ (1994 อ้างโดยปรีชา มุณีศรี, 2539) พบว่าเชื้อ *A. niger* สามารถผลิตเอนไซม์ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเป็นแหล่งคาร์บอน และผลิตได้มากขึ้นเมื่อเติมร้อยละ 0.1 $NH_4 NO_3$ ร่วมกับร้อยละ 0.1 NH_2PO_4

รัตนา เรืองไรรัตนโรจน์ และจันทิมา ปุรินทราภิบาล (2537) คัดเลือกจุลินทรีย์จากน้ำทิ้งและกากทะลายปาล์ม จำนวน 7 ตัวอย่าง พบจุลินทรีย์จำนวน 33 isolates และได้นำมาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส พบว่า มี 10 isolates มีแอคติวิตี้ไลเปส โดยให้ผลเป็นบวกในอาหารเลี้ยงเชื้ออทดสอบแบบแข็ง Twen-80 agar ที่ 60 องศาเซลเซียส

4. เพคติเนส (pectinase)

โดยทั่วไปของพืชไม้ผลโดยเฉพาะผลจะมีสารประเภทเพคตินอยู่จำนวนมาก ซึ่งพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง และชั้นระหว่างเซลล์ของพืช ซึ่งจะช่วยเพิ่มลักษณะคงตัวของเนื้อสัมผัส (texture) ของผักและพืชไม้ผล Barker และคณะ (1981) ศึกษาองค์ประกอบของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จากหม้อฆ่าเชื้อ พบว่ามีปริมาณเพคติน 5.7 กรัมต่อลิตร ส่วนประกอบประเภทเพคตินและอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ของ α-1, 4–D–galacturonopyranose units เป็นสับสเทรตของเพคติเนส ซึ่ง polygalacturonase เป็นชนิดหนึ่งของเพคติเนส สับสเทรตของเพคติเนส มีหลายประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้ คือ

1. สารประเภทเพคติน (Pectin substances) เป็นคอลลอยด์ของคาร์โบไฮเดรตในพืช ประกอบด้วย anhydrogalacturonic acid units และอนุพันธ์

2. โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็นสารเพคตินต้นตอที่ไม่ละลายน้ำของพืช

3. เพคติน (Pectin) ทั่วไปสำหรับเรียกสารประเภทเพคตินที่มีหมู่คาร์บอกซิล ประมาณร้อยละ 75 ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล เพคตินเป็นสารพวกคอลลอยด์ ที่ทำให้เกิดเจลระหว่างน้ำตาลและกรดดี นำไปใช้ในการทำแยมและเยลลี่ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2543)

เพคติน (pectin) ตามคำจำกัดความของ American Chemical Society ในปี 1926 หมายถึง สาร methylated ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของโปรโตเพคติน (protopectin) ถ้าขจัด methyl groups ออกจนหมด จะได้กรด เพคติน (pectin acid) ประโยชน์ของเพคติน คือ ใช้ทำแยมและเยลลี่ ต่อมามีการแก้ไขความหมายใหม่ให้รัดกุมยิ่งขึ้น โดยให้คำจำกัดความว่า เพคตินนั้น หมายถึง ชื่อที่ใช้แทนกลุ่มสาร water-soluble pectinic acids ซึ่งมีจำนวน methyl ester groups แตกต่างกัน และภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เพคตินสามารถเกิดเจล (gel) กับน้ำตาลและกรดได้ สำหรับเพคตินที่มี methyl esters อยู่น้อย ถ้ารวมกับโลหะหนักจะเกิดเจลได้ (Kertesz, 1951 อ้างโดย นัยทัศน์ ภู่ศรันย์, 2529)

เพคติน เป็นกลุ่มสารพวก complex colloidal carbohydrates ในโมเลกุลประกอบด้วย กรด กาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) ที่ต่อกันด้วย α - 1, 4 glucosidic linkage โดยที่ carboxyl groups บางตัวของกรดกาแลกทูโรนิกถูก esterified ด้วย methyl groups เพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณ 40,000-50,000 เพคติน เป็นสารโพลีเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก โดย carboxyl groups ของกรดดังกล่าวจับกับ methyl groups หรือจับกับ araban, galactan หรือ polysaccharides ตัวอื่นๆ ก็ได้ นอกจากนี้ hydroxyl groups บนอะตอมของคาร์บอนตัวที่ 2 และที่ 3 ของกรดดังกล่าวยังอาจจับกับ acetyl groups หรือเกิด ether – like linkages กับสารคาร์โบไฮเดรตตัวอื่นๆ หรืออยู่เป็นอิสระก็ได้ ส่วน side chains ของเพคตินอาจเกิด ester linkages ระหว่าง carboxyl groups กับ hydroxyl groups ของสารคาร์โบไฮเดรต หรือเกิด hemiacetyl linkage ระหว่าง reducing groups ที่อยู่ปลาย polysaccharides กับ hydroxyl groups ของ polygalacturonides หรือเกิด ether linkages ระหว่าง hydroxyl groups กับ polysaccharides หรือ polygalacturonides (นัยทัศน์ ภู่ศรันย์, 2529)

4. กรดเพคติน (Pectin acid) เป็นพอลิเมอร์ของ anhydrogalacturonic acid units มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ

5. กรดเพคตินิค (Pectinic acid) เป็นสารที่รวมหมายถึงเพคติน ซึ่งมีหมู่เมทิลเอสเทอร์เล็กน้อย

แหล่งพบเพคติเนส

พบทั่วไปในพืชชั้นสูง เช่นเดียวกับที่พบสารประเภทเพคติน แต่อยู่คนละชั้นของเซลล์ แต่เมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพคตินจะเคลื่อนเข้าใกล้กัน ทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้เสียไป ผักผลไม้จะนิ่มลง ปัจจุบันได้มีการผลิตเพคติเนสเพื่อการค้าจากการสกัดจุลินทรีย์ ไม่พบเพคติเนสในสัตว์ ยกเว้นหอยทาก (snail)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญ และการใช้น้ำมันของเชื้อรา

อิทธิพลของสารอาหาร อุณหภูมิ พีเอช การให้อากาศ มีผลต่อการเจริญและการใช้น้ำมันของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่าง ๆ

1. สารอาหาร

จุลินทรีย์สามารถทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้เป็นอาหารในการดำรงชีวิตเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดจะมีปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเติมลงไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอาหารประเภทธาตุอาหารหลัก (macronutrients) ซึ่งทราบได้จากการวิเคราะห์หาค่าของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสีย และเปรียบเทียบกับอัตราต่ำสุดของ BOD_5: N:P เท่ากับ 100:5:1 หากน้ำเสียมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่านี้ แสดงว่าน้ำเสียขาดสารอาหาร จำเป็นต้องเติมลงไป การเติมปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้เพียงพอจะมีผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ไม่ถูกจำกัด ปฏิกิริยาการบำบัดดีขึ้นได้อย่างเต็มที่และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าในระบบ activated sludge ที่มีการเติมสารอาหารจะมีความต้องการออกซิเจนมากกว่าระบบที่ไม่เติมสารอาหาร (Wuhrman ,1956 อ้างโดยปรีชา มุณีศรี, 2539)

รูปแบบของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ NH_3 , N, NO_2 , N , NO_3 N และ Org-N จะมีผลต่อการที่แบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญ แต่สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะไม่มีประโยชน์จนกว่าได้ถูกย่อยสลายอยู่ในรูป alkanolamine และกรดอะมิโน ดังนั้นไม่ควรเติมในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กับน้ำเสีย ถ้าหากไม่พอ ควรเติม $(NH_4)_2 SO_4$ แต่ถ้าไม่ต้องการให้ซัลเฟตมาเกี่ยวข้องด้วยให้ใช้ $(NH_4) HPO_4$, NH_4NO_3 และ KH_2NO_4 แทน (Symons *et la*., 1960 อ้างโดยปรีชา มุณีศรี, 2539)

Barker และคณะ (1981) ศึกษาการเติม ($NH_4)_2 SO_4$ ในการเลี้ยงเชื้อ *Aspergillus oryzae* ในน้ำทิ้งจากการทะลายปาล์มและสลัดจ์ เพื่อให้ได้อัตรส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 20 : 1 ในการศึกษาจะเติม $(NH_4)_2 SO_4$ โดยอัตราส่วนที่เต็มประมาณ 14 : 1 เลี้ยงเชื้อ *A. oryzae* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไม่มีการควบคุมพีเอช พบว่าจะได้เซลล์ที่มีโปรตีนร้อยละ 39.6 และลด ซีโอดีได้ร้อยละ 75

Pokomy และคณะ (1994 อ้างโดยปรีชา มุณีศรี, 2539) ศึกษาผลของแหล่งและความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการผลิตไลเปสของเชื้อ *A. niger* ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าการใช้ร้อยละ 0.1 NH_4 NO_3 ร่วมกับร้อยละ 0.1 NH_2PO_4 เชื้อจะผลิตไลเปสได้มากกว่าการใช้แหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแหล่งอื่น ส่วนความเข้มข้นที่ร้อยละ

0.2 ของ NH_4NO_3 และร้อยละ 0.2 ของ KH_2PO_4 ที่เวลาการเลี้ยง 2 วัน เชื้อจะผลิตไลเปสได้สูงสุด

2. อุณหภูมิ

จุลินทรีย์ทั่วไปตามธรรมชาติ สามารถจัดแบ่งออกตามช่วงอุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโต 3 กลุ่ม คือ Psychophile เจริญได้ดีในอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 15-20 องศาเซลเซียล, Mesophile เจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง อุณหภูมิที่เหมาะสม 20-40 องศาเซลเซียส และ Thermophile พวกที่เจริญได้ที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญขึ้นเท่าตัวจนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส การบำบัดทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำตะกอนจะตกได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง ถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกันซึ่งเรียกว่า density current (สุรพล สายพานิช, 2537)

อัตราการลดลงซีโอดีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่จะลดลงหากอุณหภูมิสูงเกินไป (ไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส) ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้อากาศจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ช่วงอุณหภูมิสูงระหว่าง 48-57 องศาเซลเซียส (ปรีชา มุณีศรี, 2539)

Cooney และ Emerson (1964 อ้างโดย มานะ กาญมณีเสถียร,2537) กล่าวว่าเชื้อราที่เจริญในอุณหภูมิสูง (Thermophilic) หมายถึง เชื้อราในกลุ่มที่สามารถเจริญได้ในแหล่งที่อุณหภูมิตั้งแต่ 20 จนถึง 50 หรือ 55 องศาเซลเซียส เช่น *Humicola grisea thermoidea* และ *Rhizomucor pusillus* ส่วนเชื้อราในอีกพวกหนึ่งคือ เชื้อราทนร้อนหมายถึง เชื้อราในกลุ่มที่สามารถเจริญได้ในแหล่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 จนถึง 50 หรือ 55 องศาเซลเซียส (Crisan, 1973 อ้างโดยมานะ กาญมณีเสถียร, 2537) เช่น *A. fumigatus*, *Geotrichichum* sp. (มานะ กาญมณีเสถียร, 2537)

Yeoh (1986 อ้างโดยปรีชา มุณีศรี, 2539) ทดลองใช้จุลินทรย์กลุ่ม thermophilic anaerobic (45 – 55 องศาเซลเซียส) ที่ไม่ต้องการอากาศมาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าพบว่าเชื้อเจริญดีที่สูดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีที่ 3 วันลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 95) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะได้ก๊าซมีเธนมากที่สุด (ร้อยละ 69) เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ (45-55 องศาเซลเซียส)

Borja และ Banks (1993 อ้างโดยปรีชา มณีศรี, 2539) ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบกึ่งต่อเนื่องไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าสามาถลดค่าซีโอดีกว่าร้อยละ 96 หลังการหมักเป็นเวลา 7 วัน ได้ก๊าซมีเทน 10-15 กิโลกรัมของซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ปรีชา มณีศรี (2539) ได้เปรียบเทียบการกำจัดน้ำมันในน้ำทิ้งโดยยีสต์ *Candida tropicalis* F- 129 และ *C. palmeoliophila* Y – 128) รา (*A. niger* ATCC 6275 และ *A. oryzae*) และเชื้อราทนอุณหภูมิสูงที่คัดเลือกไว้ (ST4 และ ST 29) พบว่าเชื้อ ST 29 ซึ่งเลี้ยงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงสุด (ร้อยละ 99.65) ได้ปริมาณมวลชีวภาพ 44.56 กรัมต่อลิตร ซึ่ง Lee และคณะ (1993) เลี้ยงเชื้อ *C. tropicalis* F129 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำมันอยู่ร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิช่วง 30-43 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม

3. พีเอช

จุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์เจริญได้ดีที่พีเอชต่างกัน โดยที่เชื้อราจะเจริญได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 6.5 ส่วนแบคทีเรียเจริญได้ดีที่พีเอชระหว่าง 6.5-8.5 ที่พีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ทำให้แบคทีเรียมีประสิทธิภาพต่ำลง และตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนพีเอชที่มีค่าสูงทำให้ฟอสฟอรัสมีการยกตัวออกมาจากน้ำ (precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดี (สุรพล สายพานิช, 2537)

ในระบบบำบัดน้ำเสีย พีเอชต้องอยู่ในช่วง 6.5–9 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ราจะเจริญแข่งขันกับแบคทีเรีย และเมื่อพีเอชลดลงถึง 4.5 จะมีรามากกว่าแบคทีเรียที่พีเอชสูงกว่า 9 แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้าลง พีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 6.6 – 6.7 ถ้าพีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะที่เป็นกรดนั้นจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเธน (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ 2524)

Ibrahim และ Noor (1991) ศึกษาผลิตไลเปส โดยเลี้ยงเชื้อ *A. niger* ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำมันปาล์มร้อยละ 1 สภาวะการเลี้ยงมีการกวนให้อากาศ ที่อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.5–5.5 พบว่าหลังจากเลี้ยง 24 ชั่วโมง ได้เอนไซม์ไลเปส 40 ยูนิตต่อมิลลิลิตร แต่สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ ไลเปส คือ พีเอช 4.0 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4. การให้อากาศ

ในระบบการบำบัดน้ำเสียนิยมใช้ทั้งแบบให้อากาศและไร้อากาศ หรือทั้งสองแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการหมักและชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็ต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมาก ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิของน้ำต่ำ ความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่

อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าเท่ากัน (สุรพล สายพานิช., 2537)

5. การกวน

การกวนทำให้จุลินทรีย์ อากาศ และสารอาหารในน้ำเสียผสมกันอย่างทั่วถึงและช่วยให้ฟองอากาศมีขนาดเล็ก ระบบการกวนที่มีประสิทธิภาพจะต้องทำให้การละลายของออกซิเจนในน้ำทิ้งมีปริมาณเท่าๆกันทุกจุดในถังหมัก การกวนนิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบให้อากาศภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันมิให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นกลุ่มกัน และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศจะต้องมีความเข้มข้นของตะกอนเร่ง และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอกันตลอด (สุรพล สายพานิช, 2537)

Ibrahim และ Noor (1991) ศึกษาผลการกวน (200, 250, 300, และ 400 รอบต่อนาที) ต่อกิจกรรมของไลเปส การเจริญของเชื้อ และการใช้น้ำมันของเชื้อ *A. niger* ที่เลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าอัตราการกวน 300 รอบต่อนาที เชื้อสามารถเจริญและผลิตเอนไซม์ไลเปสได้สูงที่เวลาการเลี้ยง 36 ชั่วโมง และการลดลงของน้ำมันก็จะดีที่สุดที่อัตราการกวน 300 รอบต่อนาที รองลงมาคือ 250, 200 และ 400 รอบต่อนาที และยังพบว่าอัตราการกวนสูง (มากกว่า 400 รอบต่อนาที) จะทำให้เซลล์ถูกทำลายได้

จุลินทรีย์ทนร้อน

Aragno (1992 อ้างโดย ศิริพร หมาดล้า , 2544) กล่าวว่า จุลินทรีย์ทนร้อน หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญที่อุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส และยังสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ส่วน Crisan (1973 อ้างโดย มานะ กาญมณีเสถียร, 2537) ได้ให้ความหมายของเชื้อราทนร้อน หมายถึง เชื้อราในกลุ่มที่สามารถเจริญได้ในแหล่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 จนถึง 50 หรือ 55 องศาเซลเซียส

วสันณ์ เพชรรัตน์ และ มานะ กาญจนเสถียร (2533) รายงานว่าพบเชื้อราที่เจริญในอุณหภูมิสูงและเชื้อราทนความร้อนจากปุ๋ยหมักสำหรับเพาะเห็ดฟาง พบเชื้อรา 10 ชนิด พบเชื้อราพวก *A. fumigatus* มากที่สุด และมีความถี่ในการพบระหว่าง 83 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ เชื้อราพวก *Thermomyces lanuginosus* โดยมีความถี่การพบเท่ากับร้อยละ 10-33.3 ส่วนเชื้อราชนิดอื่นๆ จัดว่าพบน้อยมาก Hudson และคณะ (1990) ได้ศึกษาแยกแบคทีเรียทนร้อนจากบ่อน้ำพุร้อน ในประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งพบแบคทีเรียทนร้อนที่เจริญเติบโตแบบไม่ต้องการออกซิเจนใน

การเจริญ เป็นแกรมลบ และพบว่ายังสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ และสามารถหมักแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิสูงได้ มานะ กาญจนมณีเสถียร(2537) ได้ศึกษาแยกเชื้อราที่เจริญในอุณหภูมิสูงจากวัสดุบางชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อย, รำข้าว, กากปาล์มน้ำมัน และถ่านแกลบ โดยวิธี Modified Soil Plate Technique พบเชื้อรา จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Rhizomucor pusillus , Chaetomium thermophile* และ *T. lanuginosns*

ส่วน Friedirch และ Antranikian (1996) ได้แยกเชื้อ *Fervidobacterrium pennavorans* จากบ่อน้ำพุร้อน บนเกาะอะโรซรีส และพบว่าสามารถสร้าง heat stable keralinolytic enzyme ได้ เหตุผลที่จุลิทรีย์ทนอุณหภุมิสูงสามารถมีชีวิตรอดและและเจริญได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงนั้น เนื่องจากโครงสร้างไลปิดของผนังเซลล์ประกอบด้วยกรดไขมันประเภทอิ่มตัวกรดไขมันที่มีกิ่งสาขา และกรดไขมันสายยาวในสัดส่วนที่สูง จึงทำให้ผนังเซลล์ทำหน้าที่ในการส่งสาร จึงต้องการไขมันที่อยู่ในสภาวะกึ่งของเหลว ซึ่งสภาวะนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางเคมีของไลปิด และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสายยาว และกรดไขมันที่มีกิ่งสาขาในสัดส่วนที่สูง เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางธรรมชาติของโปรตีน และเอนไซม์ พบว่าคุณสมบัติหลายข้อของโปรตีนและเอนไซม์ของจุลินทรีย์ชอบอุณหภูมิสูง เช่น น้ำหนักโมเลกุล, องค์ประกอบหน่วยย่อย คล้ายคลึงกับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง แต่กลับมีความเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูง จึงควรเป็นผลมาจากกรดอะมิโนในสายเปปไทด์ ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary) และจตุรภูมิ (quarternary) ทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีความแข็ง และยืดหยุ่นต่ำภายใต้ระดับอุณหภูมิปานกลาง แต่สามารถทำงานและเสถียรภาพภายใต้อุณหภูมิสูง (Vandermark and Batzing, 1987)

แบคทีเรีย หรือรา ที่มีการสร้างสปอร์ ในการทนทานของความร้อนสปอร์โดยสปอร์มีองค์ประกอบพิเศษที่ทนความร้อนได้ดี เช่น เอนไซม์ที่ทนความร้อน, ไม่มีน้ำอิสระ, มีแร่ธาตุมาก โดยเฉพาะแคลเซียม มีกรดไดพิลินิก พบว่าทนความร้อนของสปอร์ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง Ca^{2+} กับการสร้างกรดไดพิลินิก เช่น ถ้าเลี้ยงแบคทีเรียที่กำลังสร้างสปอร์ในอาหารที่ขาด Ca^{2+}ระดับการทานความร้อนจะลดลง หรือถ้าทำการเลี้ยงในอาหารที่ขาดกรดไดพิลินิก ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน จึงแสดงว่าธาตุแคลเซียมและกรดไดพิลินิกมีความสัมพันธ์กับการทนความร้อนของสปอร์แบคทีเรีย (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ, 2541)

พอลิเมอร์ชีวภาพ

พอลิเมอร์ชีวภาพ คือ พอลิเมอร์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถสร้างขึ้นภายในเซลล์หรือปลดปล่อยออกนอกเซลล์ เช่น แบคทีเรีย, แอคติโนมัยซีส และรา พอลิเมอร์ชีวภาพดังกล่าวจะเกิดจากปฏิกิริยาแบบควบแน่น (condensation) จะทำให้โมเลกุลเล็กๆที่มีอยู่ในโครงสร้างของโมโนเมอร์ เช่น H_2O, HCl, และ CH_3OH ขาดหายไป เมื่อเปรียบเทียบหน่วยซ้ำๆกันในโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดนั้น ในการเชื่อมต่อหน่วยย่อยหรือโมโนเมอร์เข้าด้วยกัน (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2526)

พอลิเมอร์ชีวภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามองค์ประกอบของพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิเมอร์ชนิดโปรตีนและไกลโคลิปิด (Protein and glycolipid polymer), ชนิดพอลิอะมิโนแอซิด (Poly (amino acid) polymer), ชนิดไลปิด (Lipid polymer) และชนิดพอลิแซคคาไรด์ (ศิริพร หมาดล้า, 2544) โดยผลผลิตและองค์ประกอบของพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ของเชื้อ, รูปแบบของเชื้อว่าเชื้อเดี่ยวหรือเชื้อผสม องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาวะการเลี้ยงเชื้อ (วีรพันธุ์ เดิมหลิ่ม และพูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2540) Kurane และ Matsuyama (1994) ได้คัดเลือกจาก activated sludge พบว่าเชื้อผสม สามารถผลิตสารตกตะกอนประเภท polysaccharide แบบ acidic polysaccharide ประกอบด้วย glucose, galactose, succinic acid และ pyruric acid ซึ่งมีความสำคัญในการผลิตและย่อยสลายสารในอุตสาหกรรมการหมักโดยมีความสัมพันธ์กับ activated sludge โดยทำหน้าที่ลดสารต่างๆได้

พอลิเมอร์ชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเภสัช เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ ใช้เป็นสารดูดซับน้ำ (สันทัด วิเชียรโชติ, 2541), สารดูดซับโลหะหนัก (Geddie และ Sutherland, 1993 อ้างโดยสันทัด วิเชียรโชติ, 2541), สารตกตะกอน (สันทัด วิเชียรโชติ, 2541) เป็นต้น ในปัจจุบันพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ได้แก่ แซนแทน เจลแลน เด็กแตรน พลูลูแลน อัลจิเนต เค็ดแลน และเซลลูโลส (สันทัด วิเชียรโชติ, 2541)

สันทัด วิเชียรโชติ (2541) รายงานว่า *Alcaligenes lafas* B-16 สามารถผลิตสารดูดซับน้ำชนิดใหม่ ซึ่งสามารถดูดซับน้ำได้ถึง 1 ,000 เท่าของน้ำหนักตัว และดูดซับน้ำได้สูงกว่าสารดูดซับน้ำสังเคราะห์ทางการค้า 5 เท่า และพบว่าเป็นโพลิแซคคาไรด์ชนิดประจุลบ

วีรพันธุ์ เดิมหลิ่ม (2542) ศึกษาพอลิเมอร์จากกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานอาหารทะเลบรรจุกระป๋องโดยคัดเลือกเชื้อผลิตพอลิเมอร์ได้จำนวน 188 สายพันธุ์ และศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตพอลิเมอร์ที่เป็นสารตกตะกอน พบว่าเชื้อ *Enterobacter cloacae* สามารถผลิตสารตกตะกอนได้สูงสุด เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลวสูตร

พื้นฐานใช้กลูโคสร้อยละ 1 เป็นแหล่งคาร์บอน โดยเจริญและผลิตพอลิเมอร์สูงสุดในวันที่ 3 และเมื่อจำแนกชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าเป็นโพลิแซคคาไรด์ชนิดเป็นกรด

ในปัจจุบันมีการนำพอลิเมอร์ด้านเป็นสารดูดซับโลหะหนัก เนื่องจากเป็นสารที่ไม่อันตราย และสามารถกำจัดออกได้ง่าย Geddie และ Sutherland (1993 อ้างโดยสันทัด วิเชียรโชติ, 2541) ได้ศึกษาการจับโพลีแซคคาไรด์ที่ยังไม่ผ่านการกำจัดหมู่อะซิติล และผ่านการจำกัดแล้วกับอิออนบวกชนิดต่างๆ พบว่า โพลีแซคคาไรด์ A 3 และ XM 6 ซึ่งผลิตจาก *Klebsilla aerogenes* และ *Enterobacter 11870* สามารถดูดซับแคลเซียลอิออนและแมกนิเซียมอิออนได้สูงและพบว่าอุณหภูมิยังมีผลต่อการกำจัดคือ อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส จะทำให้พอลิเมอร์จาก *Rhizobium* จับอิออนได้ตำแหน่งการจับเปลี่ยนไป ในการใช้เป็นสารดูดซับโลหะหนักเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้รวมกับการบำบัดน้ำเสีย เพื่อช่วยกำจัดโลหะหนักต่างๆในน้ำเสีย

ถังหมักแอร์ลิฟท์ (Air – lift fermenter)

ถังหมักแอร์ลิฟท์ได้พัฒนาจากถังหมักแบบบับเบิ้ลคอลัมบ์ให้มีรูปแบบการไหลที่ซับซ้อนน้อยลง (สุธา เกลาฉีด, 2541) และการออกแบบถังหมักแอร์ลิฟท์จะช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับการระบายความร้อนออกจากระบบ ซึ่งพัฒนาโดยไม่มีการใช้ระบบใบพัดในการกวนขึ้นมา โดยมีหลักการทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของเหลวเมื่อมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน (สมใจ ศิริโชค, 2537) ซึ่งถังหมักแอร์ลิทฟ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเคมี, ใช้ในการหมัก และการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีข้อดี คือไม่มีการกวนทำให้พลังงานลดลง (Couvert และคณะ, 2001)

ถังหมักแอร์ลิฟท์ประกอบด้วยส่วนของเหลวที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่เชื่อมต่อกัน ส่วนหนึ่งจะมีการให้อากาศที่ส่วนล่างอีกส่วนหนึ่งจะไม่มีการให้อากาศ ความแตกต่างของปริมาณอากาศตกค้างในระหว่าง 2 ส่วนทำให้ของเหลวมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการไหลเวียนของของเหลวในถังหมักเนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศ ส่วนของถังหมักประกอบด้วยส่วนของเหลวและการเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งเรียกว่า ส่วนไรเซอร์ (Riser-zone) และส่วนที่มีการเคลื่อนที่ลง เรียกว่า ส่วนดาวน์คัมเมอร์ (Down-comer zone) (สุธา เกลาฉีด, 2541)

ถังหมักแอร์ลิฟท์ (ALR) สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ internal และ external (Couvert และคณะ, 2001) โดยแบบ internal จะนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า external (สมใจ ศิริโชค, 2537) ถังหมักแอร์ลิทฟ์ได้รับความสนใจในปัจจุบันโดยนำมาประยุกต์กับการหมักที่มีน้ำหมักเป็นของไหลนอน-นิวโตเนียม ซึ่งมีการใช้มานานแล้ว Malfait และคณะ (1981 อ้างโดยสุธา เกลาฉีด, 2541) ได้ศึกษาจากการเก็บเกี่ยวเชื้อรา *Monascus purpureus* ในถังหมักแอร์ลิฟท์พบว่า เชื้อรามี

การเจริญได้ดี และต้นทุนในการให้อากาศและการกวนลดลงถึงร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับถังหมักแบบกวน

Erickson และคณะ (1993) ได้ศึกษาการเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces niveus* ในถังหมักแอร์ลิฟท์ขนาด 100 และ 200 ลิตร พบว่าให้ผลการผลิตที่ศึกษาการเลี้ยงในถังหมักแบบกวน และพบว่าถังหมักแอร์ลิฟท์เป็นถังหมักที่เหมาะสมที่สุดในระบบการหมักแบบที่มีการให้อากาศโดยเฉพาะในแง่ของการถ่ายโอนออกซิเจน

Kim และคณะ (1997) ได้ศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส และไซลาเนสจากเชื้อรา *Aspergillus niger* KKS ในถังหมักชนิดต่างๆ โดยศึกษาในถังหมักแบบ shake-flask, stirred-tank, bubble-column และถังหมักแอร์ลิทฟ์ พบว่า ในถังหมักแบบ bubble-column จะผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงสุด ส่วน β-glucosidase จะเชื้อราผลิตได้สูงสุดให้ถังหมักแอร์ลิฟท์ และเชื้อจะผลิตเอนไซม์ไซลาเนสสูงสุดในถังหมักแอร์ลิฟท์เช่นกัน

Campos และคณะ (2002) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียแหล่งน้ำมัน โดยใช้การรวมระหว่าง microfiltration และกระบวนการทางชีวภาพ พบว่า หลังจากการกรองจะมี COD, TOC, O&G และ phenols ในปริมาณร้อยละ 35, 25, 92 และ 35 ตามลำดับและเมื่อศึกษาการบำบัดทางชีวภาพ โดยใช้ถังหมักแอร์ลิฟท์พบว่า สามารถทำให้ค่า COD ลดลงได้ COD และ TOC สุดท้ายเท่ากับ 230 และ 55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) คัดเลือกเชื้อราทนร้อนที่สามารถผลิตพอลิเมอร์ และผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ไซลาเนส เพคติเนส และไลเปสได้สูงในน้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตพอลิเมอร์ของเชื้อราคัดเลือกไว้

3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยเชื้อราทนร้อนที่คัดเลือกได้ในถังหมัก

4) การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาวะไม่ปลอดเชื้อ