

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพและพลังงานทดแทนอื่นๆ นั้นที่ผ่านมามีงานวิจัยมากพอสมควร ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา และใช้เป็นเกณฑ์ในการนำไปวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลของการศึกษาที่น่าเชื่อถือ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฝ่ายเทคนิคและการผลิต กลุ่มบริษัทสุราทิพย์ ได้ทำการทดลอง (Pilot Project) ระบบหมักเป็นแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) โดยประกอบด้วยถังหมัก กรดขนาดจุ 450 m^3 และถังหมักมีเทนจุ $3,000 \text{ m}^3$ วัตถุประสงค์ของการทดลอง Start up ระบบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและอุปสรรคปัญหาการควบคุมระบบสำหรับการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการหมักแอลกอฮอล์

จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ (Design Load) ได้สูงถึง $15 \text{ kg.COD/m}^3/\text{d}$ ที่อุณหภูมิ 30°C ที่เจือจางน้ำกากส่า : น้ำ เท่ากับ $1 : 0.5$ มีประสิทธิภาพกำจัดในรูปของ COD และ BOD ประมาณ 53 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นพบว่า จากน้ำกากส่า 1 m^3 ที่ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ $100,000 \text{ mg/L}$ สามารถผลิตก๊าซมีเทนประมาณ $0.27 \text{ m}^3/\text{kg.CODfed}$ หรือเท่ากับ 27 เท่าของน้ำกากส่า และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำกากส่าโดยระบบ UASB คือ การนำก๊าซมีเทนมาใช้ทดแทนน้ำมันเตา คิดเป็นจำนวนเงิน 25,430 บาทต่อวัน (ตาม Design Load และปริมาณน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบต่อวัน 450 m^3 ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ $100,000 \text{ mg/L}$) แต่อัตราการผลิตสุราของกลุ่มบริษัทฯ มีปริมาณน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบต่อวันประมาณ 255 m^3 ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ $120,000 \text{ mg/L}$ สามารถนำมาทดแทนน้ำมันเตา คิดเป็นจำนวนเงิน 17,300 บาทต่อวัน

วีรพงษ์ แสงอุทัย ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยจะเป็นการศึกษาทางด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งความคุ้มค่าทางการเงินในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานของภาครัฐ เอกสารจากผู้ผลิต อินเทอร์เน็ต และงานวิจัยต่าง ๆ ซึ่งผลของการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้จะทำให้ทราบความเป็นไปได้ทางการเงินและใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจของประชาชนทั่วไปที่สนใจในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัย โดยการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ ซึ่งพิจารณาจากค่าตัวชี้วัด คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 6 ระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2571 รวมทั้งวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 9 12 และ 15 ภายใต้กรณีวิเคราะห์ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 เมื่อต้นทุนลดลงร้อยละ 30 และผลประโยชน์คงที่ กรณีที่ 2 เมื่อต้นทุนคงที่ และผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 100 และกรณีที่ 3 เมื่อต้นทุนลดลงร้อยละ 30 และผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 100

จากผลการศึกษาพบว่า ณ อัตราคิดลดร้อยละ 6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการให้ค่าเป็นลบ 5,050,402 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการให้ค่าเป็นลบร้อยละ 10.9269 และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนของโครงการเท่ากับ 0.0845 แสดงให้เห็นว่าโครงการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยให้ผลประโยชน์ที่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แสดงว่าการลงทุนของประชาชนมีต้นทุนที่สูงกว่าผลประโยชน์ที่ประชาชนจะได้รับจากการใช้ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และมีอัตราผลตอบแทนภายในที่ไม่สูงใจให้ประชาชนทั่วไปลงทุนดำเนินการ และจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงิน ณ อัตราคิดลดร้อยละ 9 12 และ 15 ต่อปี พบว่า กรณีที่ 1 เมื่อกำหนดให้ต้นทุนลดลงร้อยละ 30 และมีผลประโยชน์คงที่ กรณีที่ 2 เมื่อกำหนดให้ต้นทุนคงที่ และมีผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 100 และกรณีที่ 3 เมื่อกำหนดให้ต้นทุนลดลงร้อยละ 30 และมีผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 100 ก็ไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

ถ้าพิจารณา ณ อัตราคิดลดที่ 6 % จะพบว่า ค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ยที่คุ้มค่าในการลงทุนนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาทดแทนพลังงานไฟฟ้า คือ ราคา 34 บาทต่อหน่วย โดยมีค่า NPV เท่ากับ 128,849 บาท ค่า IRR เท่ากับ 6.2451 % และ ค่า BCR เท่ากับ 1.0234 บาท

จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบถึงแนวทางในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเทคโนโลยีในการที่จะนำเอาก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียมาทดแทนพลังงานไฟฟ้า โดยจากงานวิจัยของฝ่ายเทคนิคและการผลิต กลุ่มบริษัทสุราทิพย์ ทำให้ทราบถึงการดำเนินการทางด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ระบบการบำบัดแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ซึ่งถือว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในบรรดาระบบ Anaerobic Digestion ด้วยกัน กล่าวคือ เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยวิธีการทาง Biotechnology แบบใหม่ ดังนั้นจึงเป็นระบบที่จะสามารถรับปริมาณน้ำกากส่าเข้าบำบัดได้สูงกว่าระบบอื่น สามารถที่จะนำแนวความคิดการประเมินผลทางด้านการลงทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับมาประยุกต์ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้ ส่วนงานวิจัยของวีรพงษ์ ลู่แสงทอง ทำให้ทราบถึงแนวทางการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางการเงินในการดำเนินการในการนำเอาพลังงานทดแทนในรูปของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่ทั่วไปมาทำการผลิตไฟฟ้า ซึ่งก๊าซชีวภาพก็ถือเป็นพลังงานทดแทนตัวหนึ่งเช่นกัน ดังนั้นจากงานวิจัยทั้ง 2 นี้จึงสามารถนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาการนำเอาก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียมาผลิตไฟฟ้า โดยศึกษาถึงผลประโยชน์ทางการเงินและอื่นๆ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พลังงานก๊าซชีวภาพ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ และมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศ ประเทศไทยยังมีความจำเป็นที่จะต้องซื้อน้ำมันจากต่างประเทศ แม้ว่าปัจจุบันจะสามารถขุดเจาะน้ำมันได้บ้าง แต่ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับการใช้ สาเหตุเนื่องจากการที่ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่ค่อนข้างรวดเร็ว การพัฒนาที่ก้าวหน้าจำเป็นต้องอาศัยพลังงาน และเห็นได้ชัดเจนในด้านของการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นแล้วมากมายซึ่งจำเป็นต้องอาศัยพลังงานทั้งสิ้น จากวิกฤตการณ์ทางด้านราคาน้ำมันทำให้ประเทศไทยหันมาให้ความสนใจในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เช่น แสงอาทิตย์ ลม ก๊าซชีวภาพ ฯลฯ เพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานที่ได้จากน้ำมัน

ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจะมีการกระจายตัวมากขึ้นอยู่กับการส่งเสริมของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข กรมประชาสัมพันธ์

กระทรวงมหาดไทย กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ได้แก่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย หน่วยงานภาคอุดมศึกษา ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นต้น

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacterial) ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของก๊าซผสมประกอบด้วย มีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นเล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่จุดติดไฟในบรรยากาศที่อุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่าน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนเทียบเท่าถ่านไม้ชั้นดี 0.74 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.1

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	ส่วนผสม (%)
มีเทน (CH_4)	60 - 70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	35 - 45
ไนโตรเจน (N_2)	0 - 3
ไฮโดรเจน (H_2)	0 - 1
ออกซิเจน (O_2)	0 - 1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0 - 1

ตารางที่ 2.2
คุณสมบัติก๊าซชนิดต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของก๊าซ / คุณสมบัติ	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	60% CH ₄ 40% CO ₂	65% CH ₄ ,34% CO ₂ ,1% อื่น ๆ
ค่าความร้อน (เมกกะจูล)	35.64	-	10.8	22.68	21.6	23.40
สัดส่วนติดไฟ (% ในอากาศ)	5-15	-	4-80	4-45	6-12	7.7-23
อุณหภูมิติดไฟ (°C)	650-750	-	585	-	650-750	650-750
ความดันเปลี่ยนสถานะ (บาร์)	47	75	13	89	75-89	75-89
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (°C)	-82.5	31.0	-240	100	-82.5	-82.5
ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2	1.15
ความจุความร้อน (กิโลจูล/ม ³ /°C)	1.6	1.6	1.3	1.4	1.6	1.6

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติหลายอย่าง เช่น แหล่งที่จะใช้ประโยชน์จากก๊าซต้องอยู่ใกล้กับบ่อหมัก เพราะการอัดก๊าซชีวภาพส่งไปตามท่อไกลๆ ด้วยความดันสูงทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเป็นอุปสรรคในการที่จะผลิตก๊าซชีวภาพปริมาณมากเพื่อที่จะส่งก๊าซไปตามระบบเส้นท่อ ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ขยายวงกว้างมากขึ้น โดยเฉพาะในการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มปศุสัตว์ เพราะนอกจากจะเป็นการกำจัดของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากแล้ว ยังได้พลังงานกลับไปใช้ในโรงงานหรือฟาร์มได้อีกด้วย

2.2.2 ระบบการบำบัดน้ำเสีย

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำเสียได้ก่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตสุรา โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำเสียจากคอกปศุสัตว์และโรงงานฆ่าสัตว์ก็ก่อปัญหาดังกล่าวเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดหรือบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ วิธีบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบบชีวภาพ โดยขั้นตอนแรกควรเป็นแบบย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anaerobic process) แล้ว

บำบัดต่อโดยวิธีย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic process) หรืออาจใช้วิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสมกว่า เช่น นำไปทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงโดยวิธีชีวภาพนี้ ขั้นตอนแรกควรเป็นระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากค่าใช้จ่ายสำหรับระบบนี้จะต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก กล่าวคือ ไม่ต้องมีส่วนเติมออกซิเจนและระบบไม่ต้องการพื้นที่มากนัก นอกจากนั้นยังให้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารพลังงานในการผลิตพลังงานสำหรับกระบวนการผลิตอีกด้วย

ทฤษฎีพื้นฐานระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอิสระ ได้แก่

- ปฏิกริการย่อยสลายสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) การย่อยสลายสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

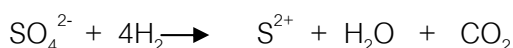
1. Hydrolysis สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมัน เซลลูโลส และโปรตีน จะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ ซึ่งได้แก่ กลีเซอรอล กลูโคส และกรดอะมิโน โดยอาศัยน้ำย่อยที่ปล่อยออกมาจากแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายไขมัน แบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลส และแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีน ในขั้นตอนนี้ยังไม่มี การลดค่า COD

2. Acidogenesis จากขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลสารอินทรีย์สามารถที่จะซึมผ่านผนังเซลล์แบคทีเรียเข้าไปได้ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรด (Acidogens) จะใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นอาหาร แล้วปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

3. Acetogenesis เป็นกระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย กรดไขมันที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน ปฏิกริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็น การลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูงสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

4. Methanogenesis จากขั้นตอนที่ 3 กรดอินทรีย์ที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogens) ได้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเรียกว่าก๊าซชีวภาพ (Biogas) ทั้งกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดและสร้างมีเทนมักพบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ในดินแปลงนาข้าว ท่อระบายน้ำเสีย คูคลองที่เน่าเสีย และในมูลสัตว์ต่างๆ

- ปฏิกริยารีดักชันของซัลเฟต (Sulphate Reduction) ในสภาพไร้ออกซิเจน ซัลเฟตในน้ำเสียนั้นสามารถถูกนำไปใช้เป็นแหล่งให้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่ง เรียกว่า Sulphate Reduction Bacterial (SRB) โดยได้พลังงานจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซัลเฟตกับสารเคมี ดังสมการ



จะเห็นว่าปฏิกริยารีดักชันของสารซัลเฟตโดย SRB จะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ก๊าซไข่เน่าซึ่งมีกลิ่นเหม็นรบกวน ก๊าซนี้มักจะเกิดในท่อระบายน้ำเสียโดยทั่วไป และในบ่อบำบัด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลง pH และอุณหภูมิของน้ำเสียได้ดี ดังนั้นการเกิด กลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่าจึงเกิดขึ้นโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นบ่อบำบัดจะอยู่ในสภาพใดก็ตาม ความรุนแรงของกลิ่นขึ้นอยู่กับค่า pH ภายใต้อุณหภูมิที่เป็นกรด ระบบหมักจะมีกลิ่นเหม็นรุนแรงขึ้น ดังนั้นการควบคุมปัญหานี้จึงต้องปรับค่า pH ให้สูงกว่า 7 ขึ้นไป ในระบบหมักทั่วไปที่อยู่ใน สภาพเป็นกลาง (pH ประมาณ 7) จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวระหว่างโลหะไอออนกับซัลไฟด์ (Sulphide) เป็นตะกอนสีดำของ Metal Sulphide จึงทำให้ตะกอนแบคทีเรียในระบบหมักเป็นสี ดำ แต่ถ้าในกรณีที่ระบบหมักนั้นมีสภาพเป็นกรดหรืออยู่ในสภาวะ Acidogenesis จะไม่เกิด ตะกอนของ Metal Sulphate ดังนั้นตะกอนแบคทีเรียจะมีสีน้ำตาลและมีกลิ่นเหม็นรุนแรง

- ปฏิกริยาการย่อยสลายสารไนเตรท (Denitrification) น้ำเสียที่มีสารไนเตรทและ อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี ระหว่างสารไนเตรทกับสารอินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า Denitrifying Bacteria ซึ่งการ ดำรงชีวิตเป็นแบบ Heterotrophic และเป็นพวก Facultative โดยอาศัยพลังงานจาก สารอินทรีย์ต่างๆ

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอิสระ

สภาพสิ่งแวดล้อมในถังหมักมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการเกิดก๊าซชีวภาพ คือ

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อย สลายทางอินทรีย์อย่างมาก โดยแบคทีเรียทั้งในภาวะมีและไม่มีออกซิเจนอิสระก็เป็นเช่นเดียวกับ สิ่งมีชีวิตอื่น กล่าวคือ จะเติบโตได้ดีในสภาพเป็นกรดหรือด่าง ช่วง pH เป็นกลางที่มีความ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย คือ 6.5 – 7.8 ถ้าค่า pH ในน้ำเสียในระบบหมักมี ค่าต่ำกว่า 6.5 ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนจะต่ำลง แต่ถ้าค่า pH นี้ ต่ำถึง 5.0 ก็จะมีอันตรายอย่างรุนแรงต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียพวกสร้างกรด มีความสามารถทนต่อสภาพเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย ทั้งนี้เนื่องจาก

แบคทีเรียกลุ่มนี้ย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วขับถ่ายของเสียเป็นพวกกรดอินทรีย์ จึงทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพเป็นกรดได้ดีกว่าแบคทีเรียทั่วไป (อะเคื้อ นุญญศิริ, 2537)

2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมี 2 ช่วง คือ ช่วงระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส และช่วงระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้ก๊าซมีเทน ในช่วงอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะเกิดเร็วและได้ก๊าซมากกว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมินั้นจะมีผลต่อการผลิตก๊าซ การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเป็นอย่างมาก

3. ความเหนียวข้นของส่วนผสมในถังหมัก ส่วนผสมในถังหมักที่มีความเหนียวข้นมากจะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นหมักหมมอยู่ที่ก้นถัง และก๊าซบางชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สะสมที่ก้นบ่อ จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ และยังทำให้ส่วนที่ย่อยแล้วไม่สามารถกระจายไปเพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายแก่ส่วนอื่นได้ ดังนั้นควรที่จะมีการเจือจางสารอินทรีย์ด้วยน้ำก่อนเข้าสู่ถังหมัก

4. ชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้ คุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ใช้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป และให้ก๊าซชีวภาพปริมาณที่แตกต่างกัน

5. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน เสถียรภาพของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน จะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในปฏิกิริยา โดยการกระทำของกลุ่มจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม คือ Acidogens และ Methanogens หากการทำงานของจุลินทรีย์ทั้ง 2 มีความสมดุลกัน ก็จะไม่มีการดอินทรีย์เหลือมากจนทำให้ส่วนผสมในถังหมักเป็นกรดมากเกินไป และไปทำอันตรายกับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน

6. ธาตุอาหารเสริมสร้าง (Nutrients) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระโดยแบคทีเรานั้น ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) อัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบหมักควรมีอัตราส่วน $COD : N : P = 100 : 2.2 : 0.4$ หรือ $BOD : N : P = 100 : 1.1 : 0.2$ ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลง ในทางกลับกันถ้ามีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้ เช่น ตะกอนแบคทีเรียลอยตัวหลุดออกจากระบบได้ นอกจากธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ธาตุอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ Ca, Mg, Mo, Co และ Fe แต่แบคทีเรียต้องการในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นธาตุเหล่านี้โดยทั่วไปมีเพียงพอในน้ำเสียอยู่แล้ว ในทางปฏิบัติจึงคำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจนและ

ฟอสฟอรัสเท่านั้น ถ้าตรวจวิเคราะห์ว่ามีไม่เพียงพอก็จำเป็นต้องเติมสารทั้งสองดังกล่าวให้เพียงพอ

7. สารพิษ (Toxic Substances) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกือบทุกสาร ถ้ามีปริมาณมากเกินไปในระบบหมักก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้และจะส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบสูงขึ้น McCarty และ McKinney (1961) สรุปลักษณะความเป็นพิษไว้ดังนี้

7.1 แคทไอออนมีผลด้านพิษต่อระบบมากกว่าแอนไอออน

7.2 ไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะส่งผลพิษรุนแรงกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} จะเป็นพิษต่อระบบมากกว่า Na^+ , K^+

7.3 สารที่มีน้ำหนักอะตอมสูงจะส่งผลพิษรุนแรงกว่าสารที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำกว่า

7.4 แบคทีเรียแต่ละชนิดจะทนสภาพความเป็นพิษได้ไม่เท่ากัน

7.5 สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) ซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ ถ้ามีมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียด้วย

7.6 แบคทีเรียสามารถปรับตัวให้สามารถทนต่อสารพิษที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นได้ในสภาพความเป็นจริงพบว่าในน้ำเสียมีปริมาณสารพิษปะปนอยู่ในปริมาณสูงและมีหลายชนิดแต่ปรากฏว่าน้ำเสียดังกล่าวยังสามารถถูกย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยไม่แสดงความเป็นพิษให้เห็นเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระนี้มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากมาย เช่น การตกตะกอนสารพิษ (Precipitation) การถูกทำลายเปลี่ยนเป็นสารรูปอื่นและการรวมตัวของไอออนต่างๆ จึงเกิดสภาพลดหรือเสริมความเป็นพิษ (Antagonism and Synergism) นอกจากนี้ยังขึ้นกับค่า pH ในระบบหมักอีกด้วย

8. การเติม (Feed Mode) การเติมน้ำเสียเข้าระบบหมักอาจแบ่งได้ 3 วิธี คือ การเติมแบบครั้งเดียว (Batch Feed) การเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi – Continuous Feed) และการเติมแบบต่อเนื่อง (Continuous Feed) โดยที่การเติมน้ำเสียเข้าระบบหมักแบบต่อเนื่องตลอดเวลาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะสภาวะภายในถังหมักจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนวิธีการเติมน้ำเสียครั้งเดียวระบบหมักจะมีประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากสภาพต่างๆ เช่น ความเข้มข้นสารอินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงตลอด จึงทำให้แบคทีเรียต้องปรับตัวตลอดเวลา ดังนั้นในทางปฏิบัติมักเลือกวิธีเติมแบบต่อเนื่อง แต่ในกรณีที่น้ำเสียมีเป็นช่วงๆ ก็จำเป็นต้องใช้วิธีการเติมแบบกึ่งต่อเนื่องแทน

9. การกวนผสม (Mixing) การกวนผสมน้ำในระบบหมักมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบมาก เพราะจะช่วยทำให้แบคทีเรียมีโอกาสพบสารอาหารได้ทั่วถึง นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยทำให้สภาพต่างๆ เช่น อุณหภูมิ สารอินทรีย์ ตลอดจนสารพิษ กระจายทั่วกันทั้งระบบอีกด้วย การกวนผสมอาจทำได้โดยใช้เครื่องกวน ใช้เครื่องดูดก๊าซชีวภาพ กลับเข้าไปในถังหมักเพื่อกวนผสม และ/หรือ สูบน้ำหมุนเวียนให้สูงขึ้นในถังหมัก โดยพบว่าวิธีการกวนผสมด้วยก๊าซชีวภาพเป็นวิธีที่นิยมและประยุกต์ใช้ทั่วไป เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง

รูปแบบระบบการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน สามารถแยกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Conventional Anaerobic Processes ระบบบำบัดแบบดั้งเดิมนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีจำนวนต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเป็นระบบที่ง่ายและสะดวกในการควบคุมดูแล

1.1 Cesspool เป็นบ่อหมักแบบที่เก่าแก่ที่สุด ที่ใช้กำจัดน้ำเสียห้องน้ำ เนื่องจากเป็นบ่อที่มีขนาดเล็กและขาดการควบคุม ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงเป็นเพียงขั้นตอนไฮโดรไลซิส สารอินทรีย์ละลายน้ำเหล่านี้จะซึมผ่านลงดินโดยผ่านผนังบ่อ

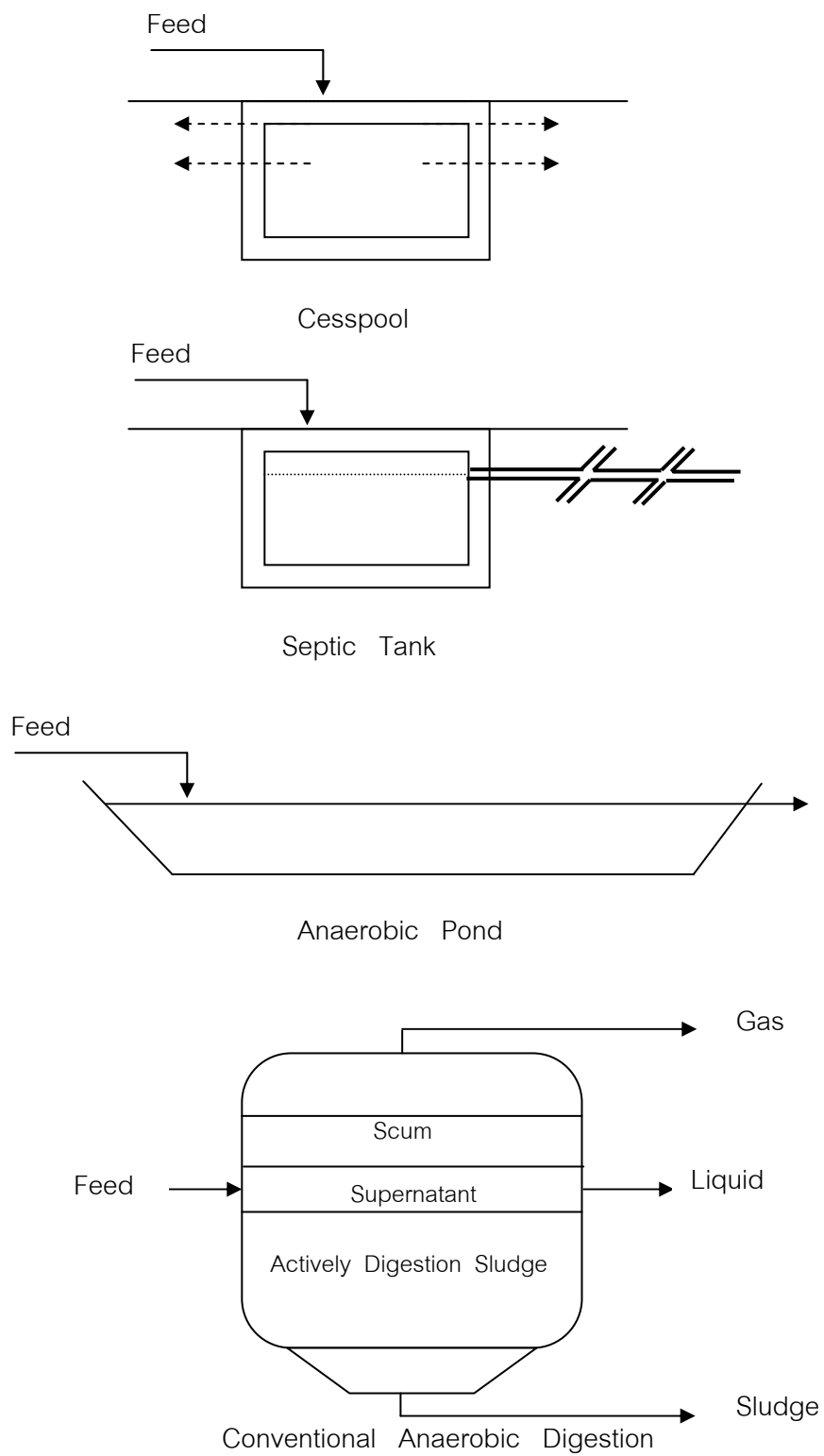
1.2 Septic Tank เป็นระบบที่ออกแบบให้ทำงานคล้ายคลึงกับ Cesspool แต่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยจะมีท่อต่อกับบ่อเพื่อให้ น้ำที่มีสารอินทรีย์ละลายอยู่สามารถซึมผ่านลงดินในอัตราสูงขึ้น สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายต่อไปในขั้นตอน Acidogenesis และ Methanogenesis ในชั้นดิน

1.3 Anaerobic Pond ระบบหมักแบบนี้เป็นบ่อเปิดมีความลึกตั้งแต่ 3 เมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนละลายลงไปถึงส่วนล่างของบ่อ โดยทั่วไปบ่อนี้มักเป็นบ่อดิน นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงและโรงงานที่มีพื้นที่ว่างเปล่าไม่ใช้ประโยชน์อยู่มาก ดังนั้นบ่อหมักนี้จึงง่ายและไม่ยุ่งยากในการควบคุมดูแล และค่าใช้จ่ายในการบำบัดก็ต่ำด้วย ข้อเสียของระบบหมักนี้ คือ มีประสิทธิภาพต่ำ มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวน สูญเสียก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงาน

1.4 Conventional Anaerobic Digester เป็นระบบหมักที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการกำจัดตะกอนแบคทีเรียที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ ออกซิเจนอิสระ เช่น ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge) โดยประกอบด้วยถังหมักอาจเป็นถังเดียวหรือสองถัง ตะกอนแบคทีเรียจะถูกย่อยสลายได้ก๊าซชีวภาพ ระบบหมักแบบดั้งเดิมนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า Cesspool และ Septic Tank แต่อย่างไรก็ตามยังมีประสิทธิภาพต่ำอยู่ จึงไม่นิยมนำมาใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

ภาพที่ 2.1

ระบบบำบัดน้ำเสียให้ออกซิเจนอิสระแบบดั้งเดิม



2. High – Rate Anaerobic Processes เป็นระบบหมักที่ได้รับการพัฒนาในระยะหลัง เพื่อแก้ไขการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง ระบบหมักดั้งเดิมที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีประสิทธิภาพต่ำไม่เหมาะสม หลักการเพิ่มประสิทธิภาพทำได้คือ เพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น หาตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวสูงให้แบคทีเรียเกาะติดเป็นเมือก หรืออาจตกตะกอนแบคทีเรียที่ออกมาพร้อมกับน้ำล้นจากถังหมักแล้วสูบกลับลงถังหมัก หรืออาจควบคุมความเร็วของน้ำเสียที่ไหลผ่านถังหมัก (Upflow Velocity) ให้เหมาะสมจนเกิดเม็ดใหญ่ของแบคทีเรียจับเกาะกันแน่น (Granular Bacteria) หรืออาจใช้การกรองแผ่นเยื่อบาง (Membrane Filtration)

2.1 Anaerobic Filter เป็นระบบหมักที่ประกอบด้วยถังหมักมีรูปทรงสูงภายในบรรจุด้วยตัวกลางพลาสติก (Plastic Media) ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (High Specific Surface Area) แบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกหนาบนผิวตัวกลาง ดังนั้นปริมาณแบคทีเรียในถังหมักจึงสูงมากเมื่อเทียบกับระดับเดิม น้ำเสียอาจเดิมเข้าช่วงบนหรือช่วงล่างของถังหมักก็ได้ ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมากแต่ราคาค่าก่อสร้างของระบบก็สูงเช่นกัน เนื่องด้วยราคาตัวกลางพลาสติกมีราคาสูง ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะกับปริมาณน้ำเสียไม่สูงนัก

2.2 Anaerobic Contact Process ระบบหมักนี้มีความคล้ายคลึงกับระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แต่ Anaerobic Contact Process จะปิดหมดจึงอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ แบคทีเรียที่ออกมาพร้อมกับน้ำที่ล้นจากถังหมักจะไหลลงถังตกตะกอน ตะกอนแบคทีเรียจะถูกสูบกลับเข้าสู่ถังหมัก ดังนั้นแบคทีเรียในถังหมักจะมีจำนวนสูงมาก มีค่า Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) สูงถึง 20,000 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพโดยทั่วไปจะสูงเทียบเท่ากับระบบ Anaerobic Filter ข้อแตกต่างระหว่างระบบทั้งสองคือ ระบบ Anaerobic Contact Process นี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงและมีความยุ่งยากในการควบคุมมากกว่าระบบ Anaerobic Filter เนื่องจากต้องมีเครื่องสูบตะกอนแบคทีเรียและเครื่องกวนถังหมัก แต่ค่าก่อสร้างระบบ Anaerobic Contact Process จะต่ำกว่าระบบ Anaerobic Filter เนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวกลางพลาสติกถังหมักเช่นระบบ Anaerobic Filter

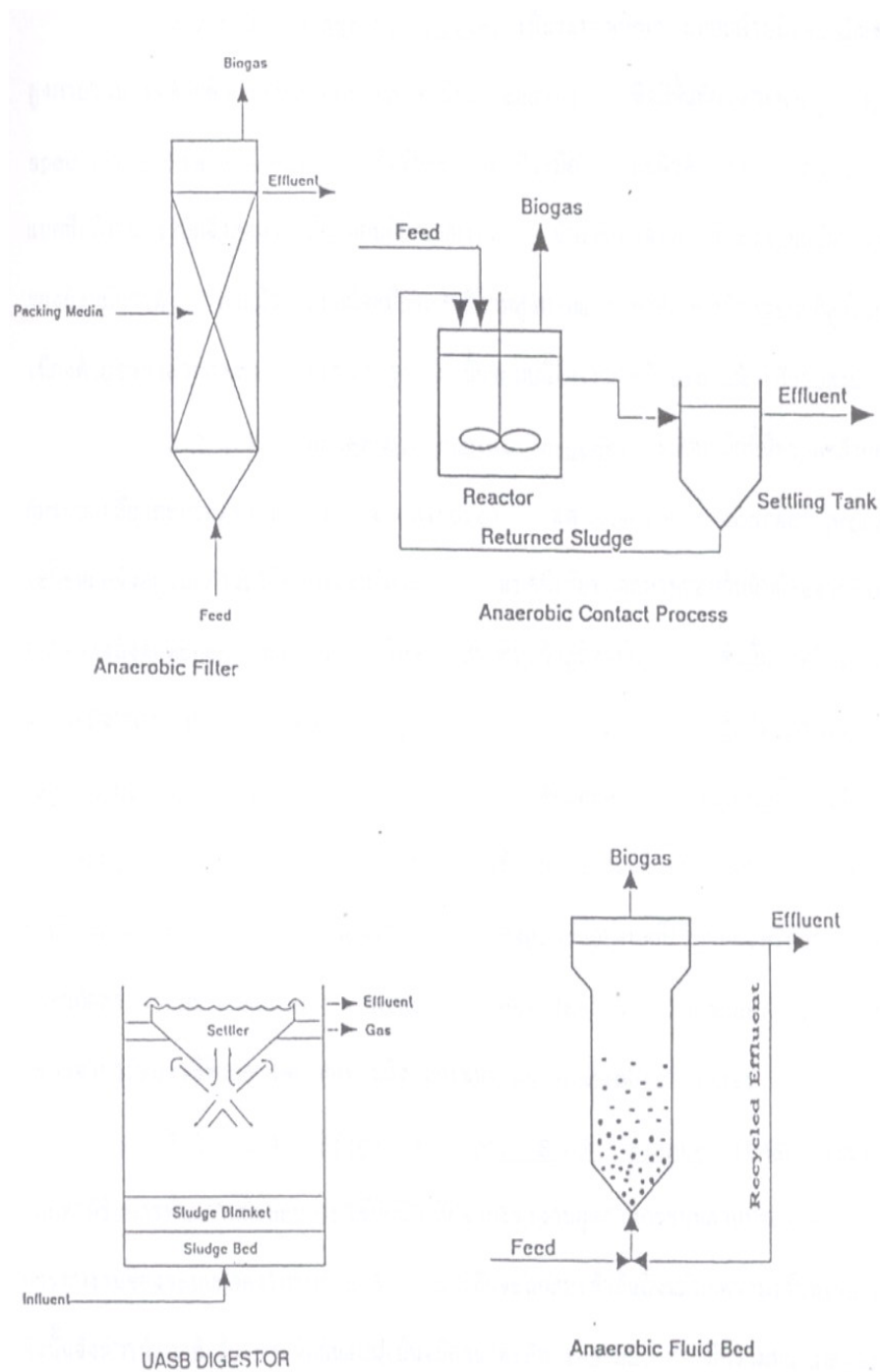
2.3 Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เป็นระบบหมักที่ได้รับการพัฒนาใหม่และนำไปใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท น้ำเสียจะถูกสูบเข้าถังหมักที่มีความเร็วที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำให้แบคทีเรียเกาะจับกันแน่นเป็นเม็ดขนาดเล็ก 1 – 5 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นสูงมากอยู่เป็นชั้นหนาที่ส่วนล่างสุดของถังหมัก ถัดขึ้นมาจากชั้นตะกอนเม็ดจะเป็นชั้นของแบคทีเรียที่เป็นตะกอนเบา (Flocculant Bacteria) ช่วงบนของถัง

จะมีกรวยแยกตะกอน (Settler) น้ำใสเท่านั้นที่ไหลล้นออกจากถังหมัก ดังนั้นถังหมักจึงมีปริมาณแบคทีเรียในระบบสูงตลอดเวลา จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับระบบ Anaerobic Filter และ Anaerobic Contact Process ข้อดีของระบบนี้ คือ ไม่ต้องสร้างถังตกตะกอนเช่นสองระบบแรก และไม่ต้องมีเครื่องกวนดังเช่นระบบ Anaerobic Contact Process จึงทำให้ค่าก่อสร้างต่ำสุด ข้อเสียของระบบนี้ คือ การออกแบบมีความยุ่งยากกว่าระบบอื่น ต้องมีการออกแบบระบบกระจายน้ำเสีย (Feed Distribution System) และกรวยแยกตะกอนเป็นพิเศษ ตารางที่ 2.3 – 2.5 แสดงประสิทธิภาพของระบบ UASB ของระบบบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ ระดับขยายส่วนและระดับอุตสาหกรรม

2.4 Anaerobic Fluidized Bed เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเนื่องจากสามารถคุมให้จำนวนแบคทีเรียในระบบสูงถึง 15,000 – 40,000 mg/L โดยแบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกคลุมผิวตัวกลางที่เป็นเม็ดขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 mm.) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังหมัก ทรงแสงด้วยความเร็วสูงพอเหมาะที่จะสามารถยกเม็ดตัวกลางให้ลอยขึ้นได้ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของเม็ดตัวกลางมากมายเหล่านี้จะเหมือนของเหลว คือ เคลื่อนที่ไปทุกทิศทาง จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลทั้งอาหารและของเสียต่างๆ จากปฏิกิริยาชีวเคมีสูงมาก ส่วนบนของถังหมักจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างขึ้น ดังนั้นความเร็วน้ำ (Upflow Velocity) จะต่ำลง จึงทำให้เม็ดตัวกลางที่มีเมือกแบคทีเรียอยู่จะตกลงมา น้ำใสเท่านั้นที่ล้นออกจากถังหมักเนื่องจากเม็ดตัวกลางเคลื่อนไหวไปมาอย่างอิสระ ดังนั้นจึงเกิดการขัดสีและชนกันตลอดทำให้เมือกแบคทีเรียหลุดออกตลอดเวลา จึงเป็นการควบคุมความหนาของเมือกแบคทีเรียไปในตัว เมือกแบคทีเรียที่หลุดติดไปกับน้ำเสียที่บำบัดแล้วจะต้องแยกออก โดยไหลผ่านถังตกตะกอน ถึงแม้ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดก็ตาม แต่เป็นระบบที่ยุ่งยากในการควบคุมและค่าใช้จ่ายในการบำบัดก็สูงอีกด้วย จึงไม่เป็นที่นิยมและแพร่หลาย

ภาพที่ 2.2

ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบประสิทธิภาพสูง



ตารางที่ 2.3
การใช้ระบบยูเอเอสพีเพื่อบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ

น้ำเสีย	ขนาดถัง ยูเอเอสพี (ลิตร)	COD เข้า (mg/L)	อัตราป้อน สารอินทรีย์ (kg.COD/m ³ วัน)	ระยะเวลา เก็บกัก (วัน)	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพ การกำจัด COD	อัตราการเกิด ก๊าซ
1.น้ำเสีย สังเคราะห์	0.135	-	6.5 – 7.0	0.30	55	77 - 98	-
2.น้ำเสีย Acidified	0.68 – 16.7	3050 – 5090	3.05 – 5.09	0.02	55	-	162 kg.มีเทนCOD m ³ วัน
3.น้ำเสีย สังเคราะห์ที่มี สภาพเหมือน น้ำเสีย	0.75	585 – 2340	0.76 – 3.06	0.77	35	70 – 87	0.70 – 0.93 m ³ มีเทน kg.COD ที่ถูก กำจัด
4.น้ำเสียจาก อุตสาหกรรม ยา	4.00	1302- 3000	0.75-3.00	1-1.74	35	26-69	-
5.น้ำเสียจาก โรงงานผลิต แป้งมันฝรั่ง	5.65	13500- 18000	3-5	-	14-20	60-90	-
6.น้ำเสีย สังเคราะห์	5.75	14650	104	0.13	55	78	15.33 m ³ มีเทน วัน
7.น้ำกากส่า	5.75	1700- 35110	17.2-98.3	0.02-1.13	55	62-59	26 m ³ m ³ วัน
8.น้ำเสียจาก โรงงานผลิต ไอศกรีม	6.00	5000	0.5-5.0	0.75-10	35	62	2.54 ลิตร มีเทน วัน
9.น้ำเสียจาก โรงงานผลิต เนยเชดดาร์	14.30	4600- 38100	0.91-7.77	5.00	34	90-95	-
10.น้ำเสีย สังเคราะห์	15.70	3000	30	0.10	25	85	-

ตารางที่ 2.4

การใช้ระบบยูเอเอสพีเพื่อบำบัดน้ำเสียชนิดต่าง ๆ ในระดับขยายส่วน (Pilot Scale)

น้ำเสีย	ขนาด ถังยูเอ เอสพี (ลิตร)	COD เข้า (mg/L)	อัตราป้อน สารอินทรีย์ (kg.COD/m ³ วัน)	ระยะเวลา เก็บกัก (วัน)	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพ กำจัด COD	อัตราการเกิด ก๊าซ
1.น้ำเสียจาก โรงงานผลิตนม ถั่วเหลือง	0.11	797-1261	0.43	-	-	56-95	0-14.4 ลิตร มีเทน/วัน
2.น้ำกากส่า จากโรงงานสุรา อยุธยา	0.13	10000	19-27	0.36-0.46	55	34-60	226-435 ลิตร มีเทน/วัน
3.น้ำเสียจาก โรงงานผลิต แป้งจากข้าว	0.21	3350	13	0.25	35	80	-
4.น้ำเสียจาก โรงงานน้ำตาล	0.21	3350	14.5	0.24	30	83	-
5.น้ำเสียจาก โรงงานผลิตนม ถั่วเหลือง	0.25	13250- 39750	2.65-7.95	5.00	-	-	170-262 ลิตร มีเทน/วัน
6.น้ำเสียจาก โรงงานเบียร์	0.30	350-4000	0.35-23.5	0.17-1	35	90-94	-
7.น้ำกากส่า จากโรงงานสุรา	0.30	31370- 80360	2.3-15.6	4.3-15.6	31	49-66	136-880 ลิตร มีเทน/วัน
8.น้ำกากส่า จากโรงงานสุรา จ.บุรีรัมย์	3.50	50000- 150000	3-4	65-22	31	50-79	-
9.โรงงาน กระดาษ	19	20000	19	1.05	-	45-50	-
10.น้ำเสียจาก โรงงานน้ำตาล	30	2500- 6500	17.2	0.21	34	95	-

ตารางที่ 2.5

การใช้ระบบยูเอเอสบีเพื่อบำบัดน้ำเสียชนิดต่าง ๆ ในระดับอุตสาหกรรม (ภายในประเทศ)

น้ำเสีย	ขนาดถัง ยูเอเอสบี(m ³)	COD เข้า (mg/L)	อัตราป้อน สารอินทรีย์ (kg.COD/m ³ วัน)	ระยะเวลา เก็บกัก (วัน)	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพ การกำจัด COD	อัตราการเกิด ก๊าซ
1.น้ำเสียจาก โรงงานผลิต ไวน์	127	15000	15	0.83-1.25	30-35	-	-
2.น้ำเสียจาก โรงงานน้ำตาล	900- 1425	1850- 4000	12-16.5	0.17-0.24	30-35	70-75	0.34 m ³ มีเทน กก.CODที่ ถูกกำจัด
3.น้ำเสียจาก โรงงานผลิตมัน ฝรั่งแปรรูป	2200	2500	3	0.88	34-37	85	3386 m ³ มีเทน วัน
4.น้ำเสียจาก โรงงานสุรา	3000	120000	4.5	-	30-34	82	3200 m ³ /วัน

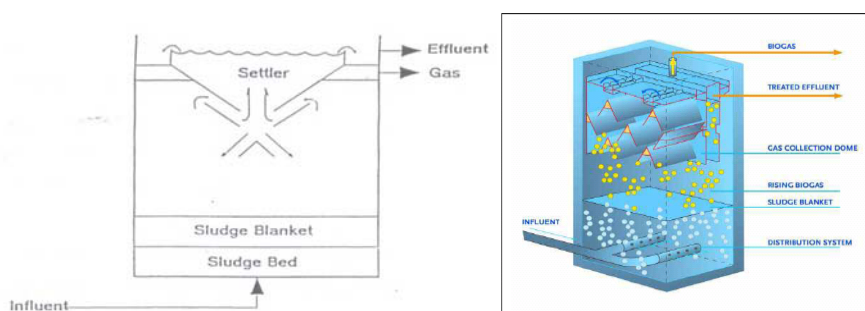
การบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เป็นระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในระบบบำบัดชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ระบบนี้มีทิศทางการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยาจะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลับๆ ไม่จมลงก้นถัง การเลี้ยงแบคทีเรียไร้อากาศให้เป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่อง

ยาก ผู้ใช้ระบบนี้จึงมีเทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดชั้นสลัดจ์ภายในถังปฏิกิริยาและถือเป็นความรู้เฉพาะด้วย

ข้อบกพร่องของระบบนี้ คือ การสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยาก และอาจถือว่าเป็นเรื่องผิดธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนที่จะมีการจับกลุ่มเป็นก้อน วิศวกรที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่า ระบบนี้สามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงๆ ได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น

ภาพที่ 2.3

ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB)



หลักการทำงาน ระบบหมักแบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพสูง ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะภายในถังหมัก โดยน้ำจะถูกสูบเข้าที่ก้นถังหมัก ผ่านชั้นตกตะกอนแบคทีเรีย 2 ชั้น ชั้นล่างส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิดเม็ด (Granular Bacteria) เรียกชั้นนี้ว่า Sludge Bed ส่วนที่ชั้นที่สองเป็นพวกตะกอนเบา (Flocculant Bacteria) เรียกชั้นนี้ว่า Sludge Blanket ส่วนบนของถังหมักมีถังแยกตะกอน (Gas-solids Separator) สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำจะถูกดูดกลืนเมื่อไหลผ่านชั้นตะกอนแบคทีเรีย ตะกอนแบคทีเรียส่วนหนึ่งจะลอยขึ้น โดยการพาของน้ำที่ไหลขึ้นและโดยฟองก๊าซชีวภาพที่ผุดขึ้นตลอดเวลา ก๊าซจะแยกตัวและรวมตัวที่ส่วนบนของถังหมัก ส่วนน้ำและตะกอนแบคทีเรียจะไหลเข้าถังตกตะกอน โดยตะกอนแบคทีเรียจะจมตัวลงสู่ก้นถังเฉพาะน้ำใสเท่านั้นที่ล้นออกนอกถัง การกวนผสมภายในถังหมัก ซึ่งเกิดจากการไหลขึ้นของน้ำและเกิดจากการไหลขึ้นอย่างรวดเร็ว

ของฟองก๊าซชีวภาพมีเพียงพอ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกวนผสมในถังหมักแบบยูเอเอสบี

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีมีเซลล์แบคทีเรียอยู่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักแบบอื่นๆ ดังนั้นระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีจึงมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือระบบสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูง (ตารางที่ 2.6) โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากทฤษฎี 1 กรัม COD จะให้ก๊าซมีเทนสูงถึง 0.35 ลิตร (ที่สภาวะมาตรฐาน) ระบบบำบัดนี้ให้ค่า Sludge Yield ต่ำประมาณ 9 mg VSS/g COD ที่ถูกกำจัด ดังนั้นตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่ต้องถ่ายออกจากถังหมักจึงมีไม่มากนัก

ลักษณะสมบัติตะกอนแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี จากที่กล่าวมาแล้วว่าแบคทีเรียที่อยู่ในถังหมักยูเอเอสบีแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนนั้นแบคทีเรียมีลักษณะเป็นตะกอนเบา ส่วนชั้นล่างมีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งเกิดจากแบคทีเรียเกาะติดกันแน่น จึงมีความหนาแน่นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อปริมาตรในชั้นล่างนี้สูงกว่าในชั้นบนที่มีลักษณะเป็นตะกอนเบามาก ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนในชั้นของตะกอนเม็ดเป็นส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีจึงขึ้นกับปริมาณและลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ด ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ดได้รวบรวมแสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ดในระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี

คุณลักษณะ	ปริมาณ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	0.2 – 2 mm
ความถ่วงจำเพาะ	1.05
VSS/SS	0.7 – 0.85
ปริมาณน้ำในตะกอนเม็ด	90%
Settleability	
- ตะกอนเม็ด	10 – 20 mg/L
- ตะกอนเบา	20 – 40 mg/L

ส่วนประกอบของแบคทีเรียตรวจพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์สูง 70 – 80% โดยใจกลางเม็ดมักเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ เม็ดทราย ผลึกต่างๆ ตะกอน (Sediments) และเศษพืช (Plant Fibers) ซึ่งแบคทีเรียจะใช้เป็นที่ยึดเกาะเหมือนนิวเคลียส

กระบวนการเกิดตะกอนเม็ด (Process of Granulation) เมื่อประสิทธิภาพการสร้างก๊าซมีเทนและการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระบบมีปริมาณแบคทีเรียสูงขึ้น ระบบยูเอเอสบีที่มีปริมาณแบคทีเรียซึ่งวัดในรูปของ MLSS หรือ MLVSS สูงกว่าระบบบำบัดอื่นๆ เนื่องจากระบบบำบัดยูเอเอสบีมีตะกอนแบคทีเรียในลักษณะเป็นเม็ด ดังนั้นในการควบคุมระบบบำบัดยูเอเอสบีให้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องสร้างเม็ดแบคทีเรียดังกล่าวในถังหมักให้ได้ มิฉะนั้นแล้วระบบบำบัดยูเอเอสบีจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ในกรณีที่ไม่มีตะกอนแบคทีเรียชนิดเม็ดอยู่แล้ว การเดินระบบบำบัดยูเอเอสบีจะไม่ยุ่งยากมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะไม่สามารถหาแบคทีเรียชนิดเม็ดได้ ดังนั้นการเดินระบบบำบัดยูเอเอสบีจึงมักเริ่มต้นด้วยตะกอนแบคทีเรียที่ได้จากระบบบำบัดแบบอื่นๆ ซึ่งตะกอนแบคทีเรียเหล่านี้มักอยู่ในรูปตะกอนเบา โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบคทีเรียจากตะกอนเบาเป็นตะกอนเม็ดแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

1) Wash – out stage เป็นช่วงแรกของกระบวนการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือเริ่มต้นเดินระบบซึ่งจะต้องเริ่มที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำๆ คือ ต่ำกว่า $2 \text{ kg COD/m}^3 \text{ วัน}$ หรือ Sludge Loading ต่ำกว่า $0.3 \text{ kg COD/kg VSS วัน}$ ในช่วงอัตราป้อนอินทรีย์สารต่ำนี้จะเกิดกระบวนการสูญเสียของตะกอนแบคทีเรียขนาดเล็กซึ่งมีน้ำหนักเบา โดยลอยออกมากับน้ำล้างตลอดเวลา (Wash – out) เมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นกว่าช่วงดังกล่าวจะยังคงเกิดกระบวนการ Wash – out พร้อมกับมีการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบ เนื่องจากมีปริมาณอาหารเข้าสู่ระบบสูงขึ้น

2) Transition stage เป็นช่วงที่เริ่มเกิดแบคทีเรียชนิดเม็ด แต่ยังมีจำนวนน้อยและมีขนาดเล็ก อัตราป้อนสารอินทรีย์ในช่วง Transition stage ขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ โดยทั่วไปพบว่าอัตราป้อนสารอินทรีย์ประมาณ $5 \text{ kg COD/m}^3 \text{ วัน}$ ในช่วงนี้จะเกิดฟองก๊าซชีวภาพมาก จึงมีการพาแบคทีเรียพวกตะกอนเบาออกจากระบบมาก ซึ่งเป็นผลดีทำให้แบคทีเรียที่สร้างตะกอนเม็ดมีโอกาสเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้น แต่สิ่งที่ควรระวัง คือไม่ให้อัตราสูญเสียปริมาณแบคทีเรียชนิดตะกอนเบาสูงกว่าอัตราการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียชนิดเม็ด มิฉะนั้นแล้วระบบอาจจะล้มเหลวได้

3) Progressive granulation stage เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขนาดและปริมาณของแบคทีเรียชนิดเม็ดในถังหมัก ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่มีอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น ในช่วงนี้ระบบจะมีความสามารถรับการเพิ่มของอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงและรวดเร็วขึ้นกว่าระยะอื่น

หลักการออกแบบระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี การทำงานของระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อแบคทีเรียในถังหมักมีลักษณะเป็นเม็ด โดยจะต้องมีหลักการออกแบบระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี ดังนี้

1) วิธีป้อนน้ำเสีย (Feed Mode) เข้าสู่ถังหมักมีความสำคัญมากต่อระบบหมักสำหรับน้ำเสียที่มีค่า COD ต่ำ วิธีป้อนน้ำเสียควรเป็นแบบตลอดเวลา (Continuous Feeding) แต่ในกรณีที่น้ำเสียมีค่า COD สูงกว่า 10,000 mg/L ควรสูบน้ำเข้าเป็นจังหวะสั้นๆ (Intermittent Pulse Feeding) เพื่อเพิ่มการกวนผสมในชั้นตะกอนเม็ดและให้น้ำเสียกระจายทั่วพื้นที่หน้าตัดของถังหมัก

2) การหมุนเวียนน้ำที่ผ่านถังหมักแล้วกลับเข้าถังหมัก (Recycle) การหมุนเวียนน้ำเสียป้อนกลับเข้าถังหมักมีจุดประสงค์ต่างๆ ดังนี้คือ เพื่อเจือจางน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง เพื่อช่วยให้การกวนผสมดีขึ้น และเพื่อช่วยปรับ pH น้ำเสียที่เข้าถังหมักให้สูงขึ้น ในกรณีที่ระบบอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำ และ/หรือ น้ำเสียมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำ อาจไม่จำเป็นต้องหมุนเวียนน้ำ

3) การเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าถังหมัก (Dilution) อาจมีความจำเป็นในกรณีที่น้ำเสียนั้นมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงมาก หรือในกรณีมูลสัตว์และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งต้องใช้น้ำผสมให้วัสดุที่จะป้อนอยู่ในรูปของเหลวที่ไหลเข้าออกระบบได้สะดวก สำหรับน้ำเสียที่มีสารพิษในปริมาณสูง การเจือจางด้วยน้ำจะสามารถลดความเป็นพิษลงได้ นอกจากนี้ในช่วงเริ่มเดินระบบการเจือจางด้วยน้ำเป็นสิ่งจำเป็นมาก แต่อย่างไรก็ตามการเจือจางจะเป็นการเพิ่มปริมาตรน้ำที่ล้นออก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระและค่าใช้จ่ายในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นถ้าการเจือจางไม่จำเป็นมากนักก็ควรหลีกเลี่ยง

4) สภาพการไหลของน้ำในถังหมัก (Flow Pattern) มีความสำคัญมากในการก่อให้เกิดการสร้างแบคทีเรียชนิดเม็ดในถังหมัก กล่าวคือ ถ้าสภาพการไหลไม่เหมาะสมแล้วแบคทีเรียในถังจะไม่อยู่ในรูปเม็ดหรืออาจเกิดสภาพการยกตัวของตะกอนแบคทีเรีย และลอยออกจากถังจนหมด ซึ่งในที่สุดถังหมักจะอยู่ในสภาพเสียสมดุล

5) ปริมาณตะกอนแบคทีเรียในถังหมัก (Sludge Hold - up) ปริมาณตะกอนแบคทีเรียยังมีมากยิ่งส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดสารอินทรีย์ แต่สิ่งที่

ควรระวัง คือ ต้องไม่ให้ชั้นของตะกอนเม็ดและตะกอนเบาอยู่สูงถึง Settler มิฉะนั้นแล้วแบคทีเรียจะหลุดลอยออกมากับน้ำที่ล้นออก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการตรวจเช็คระดับตะกอนในถังหมักอย่างสม่ำเสมอเพื่อกำหนดปริมาณตะกอนที่จะต้องนำออกจากถังหมัก

6) เครื่องแยกตะกอนแบบที่เรียและก๊าซออกจากน้ำ (Gas – solid Separator) ซึ่งติดตั้งอยู่ส่วนบนของถังหมักอาจมีได้หลายรูปแบบ การออกแบบส่วนของการตกตะกอนและแยกก๊าซมีความสำคัญมากเช่นเดียวกับการออกแบบส่วนอื่นของถังหมัก

7) อัตราป้อนที่ใช้ในการออกแบบ (Design Loading) โดยทั่วไปจะอยู่ช่วง 5 – 18 kg COD/m³ วัน แต่อาจสูงกว่าช่วงดังกล่าวได้ ขึ้นกับลักษณะสมบัติน้ำเสีย ดังนั้นการทดลองขั้นห้องปฏิบัติการจึงมีความจำเป็นมาก ในกรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงและมีสารพิษต่างๆ ปะปนอยู่อาจมีความจำเป็นต้องมีการทดลองขั้น Pilot Scale เพื่อให้ได้ข้อมูลการออกแบบที่น่าเชื่อถือสูง

การบำบัดแบบใช้ออกซิเจนแบบบ่อผึ่งและบ่อตาก (Pond System)

1. บ่อผึ่ง (Facultative Pond) เป็นบ่อที่มีความลึกประมาณ 1 – 1.5 เมตรหลักการทำงานของบ่อผึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิก ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำและการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่งนี้ เรียกว่า การทำความสะอาดตัวเอง (Self – Purification) สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เพื่อเป็นอาหารสำหรับสร้างเซลล์ใหม่ และเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่อยู่ในบ่อส่วนบน บ่อส่วนล่างจนถึงก้นบ่อซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึง จะมีปริมาณออกซิเจนต่ำจนเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Condition) และมีจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซเช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิก ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบสูงเกินไปจนออกซิเจนไม่เพียงพอ เมื่อถึงเวลากลางคืนสาหร่ายจะหายใจเอาออกซิเจนและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ลดต่ำลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลงจนอาจเกิดสภาวะขาดออกซิเจน และอาจเกิดปัญหากลิ่นเหม็นขึ้นได้

2. บ่อตาก (Polishing Pond) เป็นบ่อตื้นๆ มีสภาพเป็นบ่อแอโรบิคตลอดทั้งบ่อจึงมีความลึกไม่มาก เพื่อตกตะกอน และปรับสมบัติน้ำเสียก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.2.3 ผลทางด้านสิ่งแวดล้อมของการบำบัดน้ำเสีย

มลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานสุรา น้ำทิ้งที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมสุรานั้นใหญ่จะมาจากกระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งสามารถแบ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสุราได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1) น้ำเสียประเภทเจือจาง ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำที่มีอุณหภูมิสูง น้ำล้างพื้น
- 2) น้ำเสียประเภทเข้มข้น ได้แก่ น้ำกากส่า น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ น้ำจากการพ่นเข้า (Blow Down) เครื่องกำเนิดไอน้ำ และน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อสำหรับทำให้น้ำกลายเป็นไอ (Condenser) ของเครื่องกลั่นสุรา

น้ำกากส่าเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงานที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการหมัก น้ำกากส่าโดยทั่วไปมีความเป็นกรด อุณหภูมิสูง มีสีเข้ม ของแข็งส่วนที่ละลายอยู่มีประมาณ 7 – 10% และมีสารอินทรีย์อยู่สูง แสดงได้ดังตารางที่ 2.7

สำหรับน้ำกากส่าที่นำไปทำเข้มข้นหรือทำให้แห้งเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้ง แสดงได้ดังตารางที่ 2.8

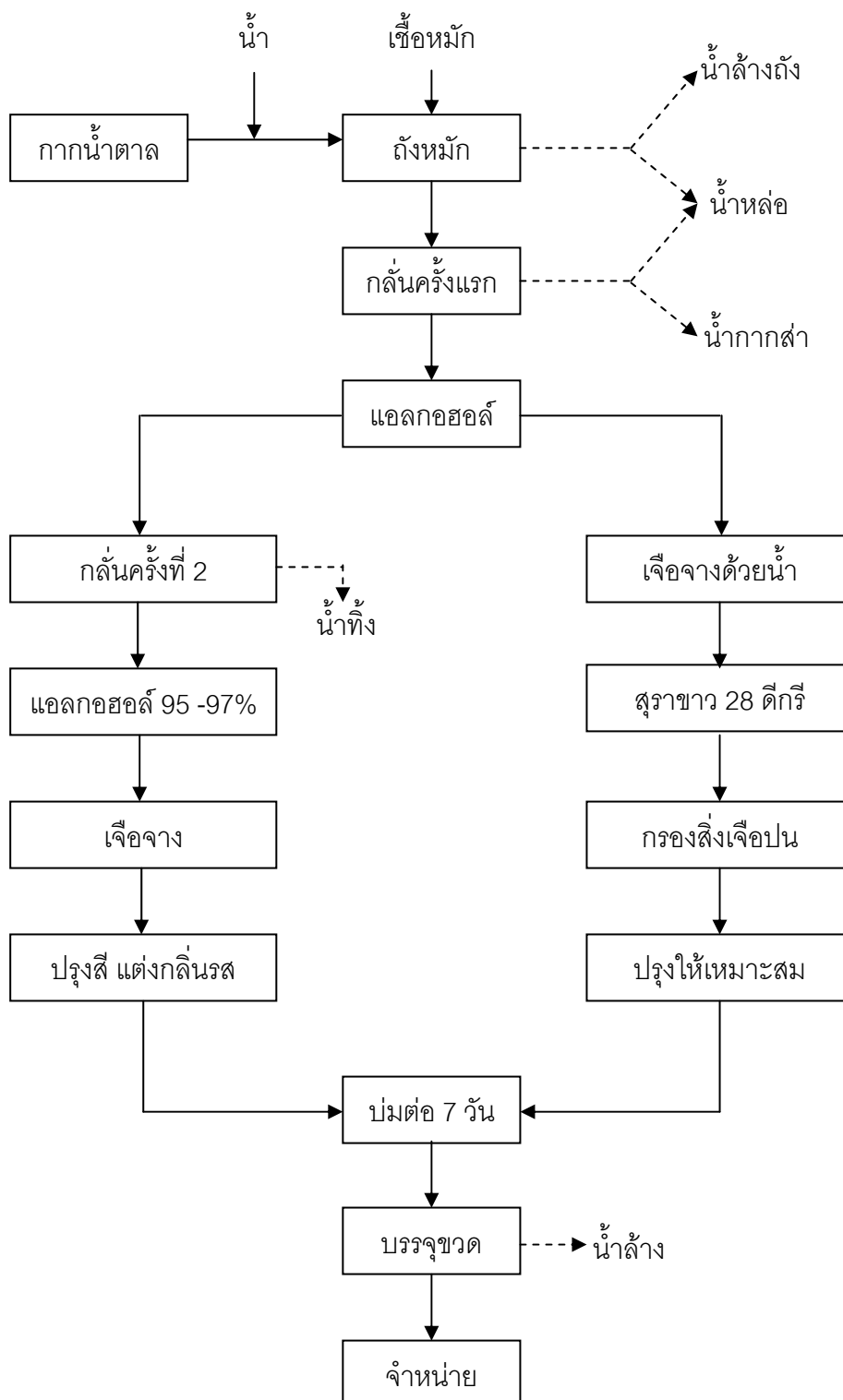
สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่าเกิดจากสีของกากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สารที่ก่อให้เกิดสีมี 2 ชนิด ได้แก่

- 1) คาราเมล (Caramel) ของน้ำตาลต่างๆ เป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างผลิตน้ำตาลทราย คาราเมลมีสีดำสนิท ส่วนมากใช้ประโยชน์ในการทำเป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดสีในอาหาร เช่น ซีอิ๊ว ซอสปรุงรส สุรา และเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลมต่างๆ เป็นต้น

- 2) เมลานอยดิน (Melanoidin) เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบ Maillard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาควบนั่น (Condensation) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ กับสารประกอบไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน (Amino acid) สารนี้เป็นสารย่อยสลายได้ยากจึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง

ภาพที่ 2.4

แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา



ที่มา : อิศระ รัตนปริยานุช, 2546

ตารางที่ 2.7
คุณลักษณะทางเคมีของน้ำกากส่าเห็ด

คุณลักษณะ	ผลที่ได้
ค่า BOD (mg/L)	30,000 – 50,000
ค่า COD (mg/L)	100,000 – 120,000
ไนโตรเจน (N) (mg/L)	1,500 – 2,000
โปแตสเซียม (K) (mg/L)	2,500 – 5,000
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) (mg/L)	80,000 – 120,000
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids) (mg/L)	22,000
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolved Solids) (mg/L)	17,000
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.2
อุณหภูมิ (ขณะออกจากกระบวนการผลิต) ($^{\circ}\text{C}$)	95

ที่มา : นวรัตน์ พรสวัสดิ์ชัย, 2543

ตารางที่ 2.8
องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าเห็ดแห้ง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
แร่ธาตุต่างๆ	28.5 – 29.0
น้ำตาลคอปเปอร์รีดิวิซ์	0 - 12
โปรตีน	8 - 10
กรดระเหยง่าย	1 - 2
กรดแลคติก	4 - 5
กรดอินทรีย์	1 - 2
กลีเซอรอล	5 - 6
ไขมันและอื่นๆ	12 - 22

ที่มา : อิศระ รัตนปริยานุช, 2546

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์และสุรา ทำให้เกิดปัญหาทางมลภาวะของแม่น้ำลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่า นั้นให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนต่างๆ จะเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งชุมชน โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่ใช้ในการสร้างระบบ โดยระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และทางชีวภาพ

2.2.4 โครงการวิจัยก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย

จากโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าในปัจจุบันกิจการอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการใช้น้ำประมาณ 2 พันล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีโรงงานที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำจำนวนมากขึ้นทุกปี ซึ่งทั้งนี้พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียในระดับรุนแรงนั้น ส่วนใหญ่แล้วเป็นอุตสาหกรรมการเกษตร อันได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางเกษตรกรรม เป็นต้น

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียประเภทอินทรีย์ และจำเป็นต้องบำบัดโดยระบบชีวภาพ ซึ่งแบ่งเป็นแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ในส่วนของการบำบัดโดยไม่ใช้อากาศนั้นจะมีผลผลิตพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทนในปริมาณต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียนั้น ก๊าซมีเทนนี้สามารถติดไฟได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ด้วยเหตุนี้ถ้าสามารถปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงาน ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้มีประโยชน์และลดปัญหามลภาวะได้อีกด้วย

การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ต้องพิจารณาว่าน้ำเสียมีคุณสมบัติและปริมาณเหมาะสมที่จะผลิตก๊าซชีวภาพหรือไม่ และต้องพิจารณาด้วยว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานในกระบวนการผลิตได้มากน้อยเพียงไร โดยวิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน (โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงพลังงาน, www.dede.go.th) ได้แก่

1) การใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ

แรงดันจากระบบจะดันก๊าซชีวภาพไปเข้าหัวเผา (burner) ซึ่งต้องออกแบบพิเศษสำหรับใช้ก๊าซชีวภาพหรือใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้แทนน้ำมันเตาได้ประมาณ 0.55 ลิตร ก๊าซชีวภาพนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียทั่ว ๆ ไปมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณต่ำ การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไปเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำและโรงงานโดยทั่วไปต้องการไอน้ำสำหรับการผลิต

2) การเผาให้ความร้อนในกระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตหลายอย่างอาจมีความต้องการเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการต้มน้ำร้อน ทำให้น้ำมันร้อน เตาเผา เป็นต้น สามารถนำก๊าซชีวภาพมาใช้ได้โดยตรงและไม่ต้องแยกหรือกำจัดสารใดในก๊าซชีวภาพก่อนใช้ วิธีการนี้มีความเหมาะสมมาก เนื่องจากง่ายและเสียค่าใช้จ่ายต่ำในการปรับปรุงระบบจ่ายก๊าซ

3) การผลิตกระแสไฟฟ้า

วิธีการนี้ต้องมีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าถูกกัดกร่อนได้ โดยทั่วไปเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า มีประสิทธิภาพรวมประมาณ 1.6 – 1.9 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซชีวภาพ วิธีนี้จะให้ผลตอบแทนต่ำกว่าการนำไปใช้กับหม้อไอน้ำ และราคาเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีราคาสูง แต่กรณีที่โรงงานมีความต้องการไอน้ำต่ำหรือผลิตก๊าซชีวภาพได้มากเกินความต้องการ สามารถนำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้

4) การใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ

ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ใช้หุงต้มในโรงอาหารของโรงงานและบ้านพัก เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้ถ้าอยู่ไม่ห่างไกลจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากนัก

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ หรือระบบบำบัดชีวภาพไม่ใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง และนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดแทนสารเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายการบำบัดให้ต่ำลงและสามารถช่วยลดการใช้สารเชื้อเพลิงอีกด้วย เนื่องด้วยเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพต้องประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนบำบัดต่อเนื่อง เพื่อให้ น้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

2.2.5 การวิเคราะห์สถานการณ์การวิจัยก๊าซชีวภาพ

เสาวลักษณ์ ภูมิวนะ ได้กล่าวถึงแนวโน้มของการวิจัยเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทน : ก๊าซชีวภาพไว้ โดยมีการสรุปผลการวิเคราะห์สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ ดังนี้

1. ความก้าวหน้าทางด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม จะทำให้มีความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในกิจการต่างๆ มากขึ้น และที่ประเทศไทยก็ต้องพึ่งพาน้ำมันส่วนหนึ่งจากต่างประเทศ และในราคาที่ไม่น่าแน่นอน การจัดหาพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนา และอาจมีการขาดแคลนน้ำมันหรือมีราคาสูงขึ้นในระยะใดระยะหนึ่งในอนาคตอยู่มากในระดับต่างๆ ทั้งภาคอุตสาหกรรม การเกษตร ฯลฯ โดยเฉพาะการใช้พลังงานทดแทนโดยใช้ก๊าซชีวภาพ

2. การนำน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะจากโรงงานที่ใช้ผลผลิตทางการเกษตร เช่น โรงงานผลิตสุรา โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ โรงงานผลิตสับปะรดกระป๋อง ฯลฯ มาผลิตก๊าซชีวภาพให้พลังงานหมุนเวียนแก่โรงงาน จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตของโรงงาน และเป็นการบำบัดน้ำเสียที่ดี ดังนั้นควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาด้านก๊าซชีวภาพกับโรงงานต่างๆ เพิ่มขึ้นอีก เพื่อให้โรงงานต่างๆ หันมาให้ความสนใจในเรื่องนี้

3. หน่วยงานที่ดำเนินการด้านนโยบายพลังงานควรมีการประเมินผลการใช้ก๊าซชีวภาพในชนบท และโรงงานเป็นระยะๆ เพื่อปรับนโยบาย และหาทางแก้ไข รวมถึงให้มีการวิจัยได้ตรงประเด็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข

แนวความคิดของการวางแผนกลยุทธ์จะต้องพิจารณาหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยเริ่มจากการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก และสภาพแวดล้อมภายใน และอาจวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 2 กลุ่มไปพร้อมกัน โดยใช้ตารางวิเคราะห์สถานการณ์เพื่อกำหนดกลยุทธ์ (SWOT Analysis)

S (Strength) หมายถึง จุดแข็งขององค์กร

W (Weaknesses) หมายถึง จุดอ่อนขององค์กร

O (Opportunities) หมายถึง โอกาสในสภาพแวดล้อมภายนอก

T (Threats) หมายถึง อุปสรรคในสภาพแวดล้อมภายนอก

ทั้งนี้เพื่อที่จะกำหนดทิศทางให้เหมาะสมภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่ ในการวิเคราะห์สถานการณ์เพื่อการวางทิศทางของการวิจัยก๊าซชีวภาพ สามารถดำเนินการวิเคราะห์สถานการณ์เป็น 2 ช่วง คือ สถานการณ์ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และการคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคต โดยแบ่งเป็น

- สภาพแวดล้อมภายใน คือ ปัจจัยแวดล้อมภายในที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยก๊าซชีวภาพ ได้แก่ โครงการวิจัย นักวิจัย หน่วยงานที่ทำการวิจัย สถานที่ทำการวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย และผลงานวิจัย เป็นต้น
- สภาพแวดล้อมภายนอก คือ ปัจจัยแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยก๊าซชีวภาพ ได้แก่ สภาพเศรษฐกิจ สังคม การเมืองของโลกและของประเทศ นโยบายของรัฐบาล นโยบายและแนวทางการวิจัยความต้องการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ การลงทุนเพื่อการวิจัยจากภาครัฐบาล เอกชน และต่างประเทศ

การวางแผนกลยุทธ์ให้ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับการสร้างความเหมาะสมกันระหว่างแหล่งทรัพยากรที่หาได้ให้แก่องค์กรกับโอกาสที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การที่ระบุถึงปัจจัยภายในของจุดแข็งและจุดอ่อน รวมทั้งระบุถึงปัจจัยภายนอกของโอกาสและอุปสรรคให้ได้นั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการวางแผนกลยุทธ์ ตารางที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนา Matrix ของจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค (SWOT) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมาก

ตารางที่ 2.9
SWOT Matrix

ปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก	จุดแข็ง (S) (รายการของจุดแข็ง)	จุดอ่อน (W) (รายการของจุดอ่อน)
	โอกาส (O) (รายการของโอกาส)	อุปสรรค (T) (รายการของอุปสรรค)
	กลยุทธ์ SO (ใช้จุดแข็งมาหาประโยชน์ ในโอกาสที่มี)	กลยุทธ์ WO (เอาชนะจุดอ่อนโดยการใช้ ประโยชน์ของโอกาส)
	กลยุทธ์ ST (ใช้จุดแข็งมาหลีกเลี่ยง ต่ออุปสรรค)	กลยุทธ์ WT (ลดจุดอ่อนและหลีกเลี่ยง ต่ออุปสรรค)

2.2.6 มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของก๊าซชีวภาพ

ภาพที่ 2.5

การทดแทนด้านพลังงานโดยเทียบจากปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร



ที่มา : Economic Value of Biogas, มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, www.efo.or.th

ก๊าซชีวภาพที่เกิดในอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าทางการเกษตรเช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ส่วนใหญ่นำมาใช้ทดแทนน้ำมันเตาเพราะลงทุนในการดัดแปลงเครื่องจักรน้อย ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.55 ลิตร ถ้าน้ำมันเตาราคา 15.94 บาท/ลิตร ก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 8.77 บาท/ลบ.ม.

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ควรพิจารณาถึงสภาพของอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักรและงบประมาณที่มีอยู่ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อธุรกิจนั้นๆ โดยคำนึงถึงผลตอบแทนที่ได้

ตารางที่ 2.10

การเปรียบเทียบผลตอบแทนก๊าซชีวภาพในแต่ละวิธีการนำมาใช้งาน

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้งาน	มูลค่าก๊าซชีวภาพ (บาท/ลูกบาศก์ เมตร)
1. แทนน้ำมันเบนซิน (@ 26.34 บาท/ลิตร) ได้ 0.60 ลิตร	15.80
2. แทนน้ำมันดีเซล (@ 25.49 บาท/ลิตร) ได้ 0.60 ลิตร	15.29
3. แทนก๊าซหุงต้ม (@ 16.81 บาท/กิโลกรัม) ได้ 0.46 กิโลกรัม	7.73
4. แทนน้ำมันเตา (@ 15.94 บาท/ลิตร) ได้ 0.55 ลิตร	8.77
6. ผลิตไฟฟ้า (@ 3.01 บาท/กิโลวัตต์-ชม.) ได้ 1.20 กิโลวัตต์-ชม.	3.61

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, มีนาคม 2549

2.2.7 ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงการ

การวิเคราะห์โครงการเป็นวิธีการคัดเลือกการลงทุนแบบเป็นกรณีโดยกรณีไป โดยองค์ประกอบหลักของการวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจคือ การระบุรายการและการตีมูลค่าต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการทั้งหมด แล้วนำมาวิเคราะห์ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจลงทุนแบบต่างๆ เพื่อบ่งชี้ว่าโครงการใดมีความเหมาะสมต่อการลงทุนต่อไป โดยโครงการที่ได้รับการคัดเลือกแล้วนั้นจะเป็นโครงการที่ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดและก่อให้เกิดคุณค่าสูงสุดต่อ

วัตถุประสงค์ ทั้งนี้ความขาดแคลนหายากของทรัพยากรดังกล่าว จะถูกแสดงออกมาในรูปของราคาเงา (Shadow Price) หรือค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ของทรัพยากรนั้น ๆ ถ้าหากทรัพยากรยิ่งขาดแคลนหายากมากเท่าใด ก็จะทำให้ราคาเงามีแนวโน้มสูงขึ้นมากเท่านั้น

การวิเคราะห์โครงการ จะประกอบด้วยการวิเคราะห์ในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค (Technical Analysis) เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเทคนิคของโครงการ ควรจะพิจารณาถึงรูปแบบทางเทคนิคในทางเลือกต่าง ๆ ซึ่งจะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ ณ ต้นทุนที่ต่ำสุด รูปแบบที่เลือกมาควรมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด พร้อมกับวิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด รูปแบบโครงการที่ดีจะต้องมีความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น และโครงการไม่ควรก่อให้เกิดผลในทางลบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ควรทำการวิเคราะห์ด้วยว่าองค์ประกอบต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร ทั้งภายในโครงการและกับโครงการอื่น ๆ ในพื้นที่เดียวกัน และสุดท้ายรูปแบบโครงการที่ดีจะต้องรวมเอาความต้องการด้านการดำเนินการและบำรุงรักษาเมื่อโครงการจบสิ้นลงแล้วเข้าไว้ด้วย

2. การวิเคราะห์ทางด้านสังคม (Social Analysis) การวิเคราะห์ทางด้านสังคมพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Expected Changes) จากโครงการ ซึ่งจะนำไปสู่สิ่งแวดล้อมของมนุษย์ (Human Environment) ในรูปขององค์การทางสังคมและมาตรฐานการครองชีพ และการเข้าใจกระบวนการทางสังคมที่เกี่ยวข้อง โดยปกติวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาคือ การปรับปรุงความเป็นอยู่ของประชากร (Well Being of The Population) ให้ดีขึ้น หากโครงการใดสามารถดำเนินการได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาดังกล่าว จะพิจารณาได้ว่าโครงการนั้นมีความเหมาะสมทางสังคมสำหรับการลงทุน

3. การวิเคราะห์ทางด้านสถาบัน (Institutional Analysis) ผลของโครงการพัฒนาขึ้นอยู่กับคุณภาพของสถาบันที่รับผิดชอบต่อการพัฒนานั้น ๆ ซึ่งจะรวมถึงไม่เพียงองค์กรที่ปฏิบัติการและดำเนินการโครงการเท่านั้น แต่ยังรวมถึงสถาบันของรัฐบาล สาขาเศรษฐกิจต่าง ๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความสำเร็จของโครงการอีกด้วย การพัฒนาทางด้านสถาบันคือการเพิ่มขีดความสามารถของสถาบันในการที่จะกำหนดวัตถุประสงค์การพัฒนาให้ชัดเจนและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกับทรัพยากรมนุษย์ ทรัพยากรการเงินและทรัพยากรอื่น ๆ เพื่อนำไปสู่ความสำเร็จตามวัตถุประสงค์เหล่านั้น สถาบันที่เข้มแข็งก่อปรกับมีกำลังคนเพียงพอ แนวนโยบายและระเบียบการที่แน่นอนถือว่เป็นสิ่งจำเป็นต่อความสำเร็จของโครงการพัฒนา ถ้าหากสถาบันท้องถิ่นนั้นอ่อนแอ อาจทำให้โครงการไม่สามารถสร้างผลประโยชน์ในระดับที่ตั้งใจไว้ได้

4. การวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Analysis) สิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องกับเรื่องต่าง ๆ มากมาย รวมถึง การสาธารณสุขและความปลอดภัยในการประกอบอาชีพ การควบคุมมลพิษทางอากาศ น้ำ และที่ดิน การจัดการที่เหมาะสมกับทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่เกิดทดแทนใหม่ได้ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรธรรมชาติโดยวิธีการใช้ให้หลากหลาย การนำกลับมาใช้อีก และการป้องกันการพังทลาย การอนุรักษ์พืชและสัตว์พันธุ์หายาก และการทำนุบำรุงทางด้านวัฒนธรรม ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศพัฒนาแล้ว และประเทศกำลังพัฒนามีความแตกต่างกันในเรื่องขนาดความรุนแรงมากกว่าเรื่องประเภทของปัญหา การวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจะมีประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

การระบุถึงทรัพยากรประเภทที่เกิดทดแทนใหม่ได้ และประเภทที่ใช้แล้วหมดไป ว่าควรจะถูกนำมาใช้กับโครงการหรือไม่ และอย่างไร และหากมีการใช้ทรัพยากรเหล่านี้แล้ว จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาอย่างไร

การระบุถึงจุดอ่อนไหว (Sensitive Point) ในระบบนิเวศวิทยาท้องถิ่น ซึ่งอาจจะได้รับผลในทางลบจากโครงการ

การประเมินสถานการณ์ความเป็นไปได้ทางด้านมลพิษ อันเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโครงการ

การประเมินโดยทั่วไปเพื่อพิจารณาว่าการออกแบบองค์ประกอบหลัก ๆ ของโครงการจะมีความยั่งยืนในเชิงนิเวศวิทยามากน้อยเพียงใดในระยะยาว กล่าวคือ จะต้องไม่ใช้ปัจจัยในจำนวนเพิ่มขึ้นอีกเลย เพื่อที่จะคงไว้ในระดับผลผลิตที่กำหนดให้

5. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจและการเงิน (Economic and Financial Analysis) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจและการเงิน จะช่วยให้กรอบงานที่ข้อเสนอโครงการทุกด้านจะได้รับการประเมินแบบประสานอย่างเป็นระบบ ผลการวิเคราะห์มีความสำคัญต่อผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานที่สนับสนุนทางการเงิน เพราะเป็นการบ่งชี้ถึงความสมเหตุสมผลสำหรับการตัดสินใจที่จะรับหรือปฏิเสธโครงการเพื่อการลงทุน โครงการใดที่ประเทศเลือกที่จะนำไปปฏิบัตินั้นควรมีลำดับความสำคัญสูงในแผนงานการพัฒนาแห่งชาติ การคัดเลือกโครงการเหล่านี้ ควรพิจารณาจากทางเลือกโครงการที่ดีที่สุดในรูปแบบของความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจและการเงิน (Economic and Financial Worthinesses) ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจและการวิเคราะห์ทางการเงินมี ดังนี้

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ใช้ราคาที่แน่นอนเพื่อสะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงทางสังคมหรือทางเศรษฐกิจ (True Social or Economic Values) ที่ดีกว่า ราคาที่ถูกปรับค่านี้นัก

เรียกกันว่า “ราคาเงา” หรือ “ราคาในทางบัญชี” (Shadow or Accounting Prices) ส่วนในการวิเคราะห์ทางการเงินใช้ราคาตลาด (Market Prices) ซึ่งจะรวมเอาภาษีและเงินอุดหนุนเข้าไว้ด้วย

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ รายการที่เกี่ยวกับภาษี (Taxes) และเงินอุดหนุน (Subsidies) จัดว่าเป็นรายการเงินโอน (Transfer Payments) ภาษีเป็นส่วนหนึ่งของผลประโยชน์รวมของโครงการ ซึ่งโอนไปให้กับสังคมโดยส่วนรวมเพื่อใช้จ่ายต่อไป ในทางกลับกัน เงินอุดหนุนคิดเป็นต้นทุนต่อสังคม เนื่องจากเงินอุดหนุนเป็นค่าใช้จ่ายของสังคมที่ใช้ไปในการดำเนินงานโครงการ ส่วนในการวิเคราะห์ทางการเงิน การปรับค่าดังกล่าวไม่มีความจำเป็น เพราะภาษีถือเป็นต้นทุน และเงินอุดหนุนก็คือผลตอบแทนของโครงการนั่นเอง

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ดอกเบี้ยของทุนจะไม่ถูกแยกและหักออกจากผลตอบแทนเบื้องต้น ทั้งนี้เพราะรายการดอกเบี้ยเป็นส่วนหนึ่งของผลตอบแทนต่อเงินทุนที่มีไว้ให้สังคมโดยส่วนรวม ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงิน ดอกเบี้ยจ่ายให้กับแหล่งเงินทุนภายนอกจัดได้ว่าเป็นต้นทุนค่าใช้จ่าย จะต้องนำมาหักออกก่อนที่จะหาเป็นกระแสผลประโยชน์ ดอกเบี้ยที่จ่ายให้กับผู้ร่วมโครงการ (Project Entity) ไม่นำมาคิดว่าเป็นต้นทุน แต่เป็นส่วนหนึ่งของผลตอบแทนทางการเงินซึ่งผู้ร่วมโครงการได้รับ

2.2.8 ทฤษฎีการศึกษาความเป็นไปได้

คำว่า “การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) ความหมายไว้ว่า การศึกษาความเป็นไปได้ของหน่วยงาน คือ การจัดทำเอกสารที่ประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นที่แสดงถึงเหตุผลสนับสนุน (Justification) ความถูกต้องสมบูรณ์ (Soundness) ของหน่วยงาน เพื่อให้ได้มาซึ่งหน่วยงานที่ดี โดยหน่วยงานที่ดีจะได้แก่ หน่วยงานที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และเมื่อปฏิบัติแล้วจะให้ผลประโยชน์ตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน

การศึกษาคือความเป็นไปได้ของหน่วยงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ตัดสินใจ มีข้อมูลพื้นฐานเพียงพอต่อการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือดำเนินงานตามที่ศึกษาหรือไม่ เนื่องจากหน่วยงานทั่วไปจำเป็นที่จะต้องใช้ทรัพยากรในด้านต่าง ๆ จึงต้องใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ก่อนการตัดสินใจลงทุนหรือดำเนินงานในหน่วยงานใดก็ตาม จะต้องมีการศึกษาคือความเป็นไปได้ทางด้านต่าง ๆ ของหน่วยงานก่อนดังต่อไปนี้ คือการศึกษาคือความเป็นไปได้ทางด้านตลาดหรืออุปสงค์ด้านวิศวกรรมหรือเทคนิค ด้านการเงิน ด้านสภาพแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจ และด้านการบริหาร

ขอบข่ายการศึกษาความเป็นไปได้ จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละหน่วยงาน แล้วแต่ว่าแต่ละหน่วยงานจะมีลักษณะประเภท และชนิดเป็นอย่างไร จุดสำคัญของการวิเคราะห์ อยู่ที่ผลตอบแทนโดยรวม ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ก็จะเน้นไปที่การวิเคราะห์ด้านตลาด ด้านเทคนิค ด้านการเงิน และด้านการจัดการอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ ทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และผลกระทบของสิ่งแวดล้อม

ด้วยเหตุนี้โครงสร้างของการศึกษาความเป็นไปได้จึงสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมตามแต่ละชนิด ประเภท และลักษณะของหน่วยงาน หากกล่าวเป็นการทั่ว ๆ ไปแล้ว การศึกษาความเป็นไปได้ จะประกอบไปด้วยการศึกษาในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความเป็นไปได้ทางด้านตลาดหรืออุปสงค์ (Market or Demand Feasibility)
- ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (Technical Feasibility)
- ความเป็นไปได้ทางด้านสิ่งแวดล้อมโครงการ (Environmental Feasibility)
- ความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial Feasibility)
- ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐกิจ (Economic Feasibility)
- ความเป็นไปได้ทางด้านสถาบัน (Institutional Feasibility) ในหนังสือบางเล่ม เรียกหัวข้อนี้ว่า การศึกษาความเป็นไปได้ทางการบริหาร สำหรับงานศึกษานี้จะศึกษาเฉพาะ ความเป็นไปได้ทางการเงิน เท่านั้น

การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน เป็นการวิเคราะห์การลงทุนและผลตอบแทนของหน่วยงาน หรือผลประโยชน์เป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังรวมการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมให้กับหน่วยงานเพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจว่า ถ้าตัดสินใจแล้วจะไม่มีปัญหาทางการเงินใด ๆ ในทุกขั้นตอนของการตัดสินใจ และรวมตลอดถึง การวิเคราะห์ผลตอบแทนด้วย

2.2.9 การวัดความคุ้มค่าของโครงการ

การตัดสินใจที่จะเลือกโครงการใดโครงการหนึ่งเพื่อการลงทุนขึ้นอยู่กับความคุ้มค่าของโครงการนั้น ๆ (Project Worthiness) เอง คุ้มค่าของโครงการวัดได้จากการเปรียบเทียบกัน ระหว่างผลประโยชน์ และ/หรือผลตอบแทน กับต้นทุน ของโครงการทั้งในรูปของการวิเคราะห์โครงการเพื่อพิจารณาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ ทั้งทางการเงินและทางด้านเศรษฐกิจ แต่ประเด็นที่น่าสนใจอยู่ที่ว่าจะวัดหรือจะนับผลประโยชน์ และต้นทุนของโครงการเหล่านั้นได้หรือไม่และอย่างไร ถ้าหากสามารถระบุและวัดผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการ

เป็นค่าเชิงปริมาณได้ การวิเคราะห์โครงการก็จะเป็นไปตามวิธีของการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis : CBA) แต่ถ้าหากเพียงต้นทุนเท่านั้นที่สามารถระบุและวัดเป็นค่าเชิงปริมาณได้ ในขณะที่ผลประโยชน์ของโครงการไม่อาจวัดหรือยากที่จะวัดเป็นตัวเงินได้แล้ว การวิเคราะห์โครงการจะต้องอาศัยวิธีของต้นทุนสัมฤทธิ์ภาพ (Cost Effectiveness) โดยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Least-Cost Analysis)

2.2.10 การกำหนดต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ

การวัดต้นทุนและผลประโยชน์นั้นจะต้องคำนึงถึงคำถาม 2 ประการ คือ ผู้ตัดสินใจคือใคร และวัตถุประสงค์ของผู้ตัดสินใจเหล่านั้นคืออะไร ต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเฉพาะจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าเป็นการพิจารณาจากแง่มุมของบุคคลโดยตรงหรือของสังคมโดยรวม หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการชี้ให้เห็นความแตกต่างที่จำเป็นระหว่างการวิเคราะห์ทางการเงินและทางด้านเศรษฐกิจ นั่นคือ การวิเคราะห์ทางการเงินใช้ต้นทุนและผลประโยชน์ที่วัดหรือนับจากแง่มุมของบุคคล หน่วยงานหรือรัฐวิสาหกิจ ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจใช้ต้นทุนและผลประโยชน์ที่วัดหรือนับจากแง่มุมของสังคมโดยรวม

ต้นทุนและผลประโยชน์จะถูกกำหนดโดยวัตถุประสงค์ของโครงการที่ได้ตั้งไว้ กล่าวคือ ต้นทุนหมายถึง อะไรก็ได้ (Anything) ที่ลดหรือมีผลในทางกลับกันต่อวัตถุประสงค์ ส่วนผลประโยชน์ หมายถึง อะไรก็ได้ที่ส่งเสริมเพิ่มพูนวัตถุประสงค์ แต่ในความเป็นจริงแล้วการกำหนดว่าอะไรเป็นต้นทุนและผลประโยชน์ไม่ได้กำหนดได้ง่าย ๆ เนื่องจากผู้ตัดสินใจมักจะมีวัตถุประสงค์หลายประการอยู่ในใจและบางประการก็อาจจะขัดแย้งกันก็ได้ การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ยึดเอาทำนองที่สุดเป็นเพียงวัตถุประสงค์เดียวสำหรับบุคคลและกิจการธุรกิจของเอกชน ในทำนองเดียวกับรายได้หรือการบริโภคประชาชาติสูงที่สุดก็จัดว่าเป็นวัตถุประสงค์โดยทั่วไปสำหรับประเทศชาติโดยรวม ซึ่งนักเศรษฐศาสตร์อ้างว่าเป็นวัตถุประสงค์ประสิทธิภาพ ทั้งนี้านิยามของวัตถุประสงค์สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจจะต้องอยู่ในรูปที่แท้จริง (Real Terms) หรือคุณลักษณะทางกายภาพที่มีตัวตน สามารถจับต้องได้ของสินค้าและบริการ ส่วนนิยามของวัตถุประสงค์สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงินให้อยู่ในรูปเงินตรา หรือหน่วยของเงินตรา (Money Terms) ซึ่งวิธีการวัดต้นทุนและผลประโยชน์ สรุปได้ดังนี้

1. ต้นทุน ผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Costs Benefits)
ต้นทุนทางตรงของโครงการ (Indirect Costs) หมายถึง มูลค่าของสิ่งของหรือทรัพยากรที่ใช้ใน

การผลิตของโครงการตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายเบื้องต้นของโครงการ ซึ่งในการก่อสร้างและดำเนินงานโครงการหนึ่ง ๆ จำเป็นต้องใช้ปัจจัยการผลิตหลายประเภท แต่ความต้องการปัจจัยเหล่านี้จะมีมากน้อยแค่ไหนนั้นสามารถกำหนดได้ด้วยการศึกษาทางด้านเทคนิคและวิชาการ

ต้นทุนทางอ้อมของโครงการ (Indirect Costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายหรือมูลค่าที่เกิดจากผลพวงของการมีโครงการหรือความเสียหายที่กลุ่มคนได้รับจากโครงการโดยไม่มีการจ่ายชดเชย (Compensation) ซึ่งสามารถกำหนดและวัดได้โดยการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการมีโครงการนั้น ๆ นั้นเอง

ผลประโยชน์ทางตรงของโครงการ (Direct Benefits) หมายถึง มูลค่าของสินค้าหรือบริการหรือทรัพยากรบางชนิดที่โครงการก่อให้เกิดอันเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตรงตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการมีโครงการ ถ้าหากโครงการประสงค์จะเพิ่มผลผลิต (Increase Output) แล้วผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงการเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการก็จะเป็นผลประโยชน์ทางตรงของโครงการนั้น ถ้าหากโครงการประสงค์จะลดหรือประหยัดต้นทุน (Cost Saving) แล้ว ต้นทุนที่สามารถประหยัดได้ก็จะจัดว่าเป็นผลประโยชน์ทางตรงของโครงการอีก เช่นเดียวกัน

ผลประโยชน์ทางอ้อมของโครงการ คือ ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นนอกเหนือไปจากวัตถุประสงค์และกลุ่มเป้าหมายซึ่งผู้ได้รับผลประโยชน์เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนก่อสร้างหรือดำเนินงานโครงการแต่อย่างใด

2. ต้นทุน ผลประโยชน์ปฐมภูมิหรือภายใน และทุติยภูมิหรือภายนอก (Primary or Internal and Secondary or External Costs, Benefits) โครงการอาจไม่เพียงก่อให้เกิดต้นทุนและผลประโยชน์ภายในโครงการ หรือที่เรียกว่าต้นทุนและผลประโยชน์ปฐมภูมิเท่านั้น แต่ยังนำไปสู่การมีต้นทุนและผลประโยชน์ภายนอกหรือทุติยภูมิอีกด้วย ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจจะต้องนำเอาต้นทุนและผลประโยชน์ภายนอกหรือทุติยภูมิเหล่านี้เข้ามาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อต้นทุนและผลประโยชน์เหล่านั้นจะได้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการอย่างแท้จริง

การนำต้นทุนและผลประโยชน์ทุติยภูมิมาพิจารณารวมเข้ากับต้นทุนและผลประโยชน์ทางตรงของโครงการในทางทฤษฎีแล้วเป็นกระบวนการที่ยาก ดังนั้นแทนที่จะรวมต้นทุนและผลประโยชน์ทุติยภูมิเข้าไว้ในการวิเคราะห์ องค์การระหว่างประเทศจึงได้ใช้วิธีแปลงค่าต้นทุนและผลประโยชน์ทุติยภูมิให้เป็นต้นทุนและผลประโยชน์ทางตรงในการวิเคราะห์โครงการ โดยอาศัยราคาเงาเป็นพื้นฐาน กล่าวคือ ต้นทุนและผลประโยชน์ทุติยภูมิซึ่งเป็นมูลค่าเพิ่ม (Value Added) ที่เกิดขึ้นภายนอกโครงการจะกลายเป็นผลลัพธ์ของโครงการลงทุน ทุกรายการในการวิเคราะห์จึง

ต้องตีค่าด้วยค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) หรือด้วยความเต็มใจที่จะจ่ายของผู้บริโภค (Consumer's Willingness to Pay) เพื่อขจัดรายการเงินโอนทั้งหมด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีรายการต้นทุนและผลประโยชน์สุทธิแยกต่างหากเพราะจะทำให้เกิดการนับซ้ำขึ้น

3. ต้นทุน ผลประโยชน์ที่มีตัวตนและที่ไม่มีตัวตน (Tangible and Intangible Cost, Benefits) ผลประโยชน์ที่มีตัวตนของโครงการ อาจเกิดขึ้นในรูปจากมูลค่าที่เพิ่มขึ้นของการผลิต หรือจากต้นทุนที่ลดต่ำลง ซึ่งรูปแบบของผลประโยชน์เหล่านี้ไม่ชัดเจนเสมอไป และการตีค่าก็อาจจะยากลำบากอีกด้วย อย่างไรก็ตาม โครงการส่วนใหญ่มักจะมีต้นทุนและผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตน ซึ่งรวมถึงการสร้างโอกาสการมีงานทำใหม่ ๆ (Creation of New Job Opportunities) สุขภาพอนามัยที่ดีกว่า (Better Health) การลดลงของการเสียชีวิตของเด็กทารก (Reduced Infant Mortality) อันเป็นผลเนื่องมาจากการมีคลินิกชนบทมากขึ้น โภชนาการที่ดีขึ้น (Better Nutrition) โรคที่มีสาเหตุจากทางน้ำลดลง อันเนื่องมาจากการปรับปรุงการจัดการน้ำสะอาดในชนบท ความเป็นปึกแผ่นของชาติ หรือแม้กระทั่งการป้องกันประเทศ ผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตนเหล่านี้ ไม่จำเป็นต้องตีค่า เพราะว่าเป็นมูลค่าที่แท้จริงและสะท้อนค่าเป็นที่ยอมรับอยู่แล้ว (Real and Reflect True Values) แต่เพื่อผลประโยชน์ชนิดนี้อาจจะต้องปรับเปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost – Benefit Analysis) ตามปกติให้เป็นวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนที่ต่ำสุด (Least – Cost Analysis) ทั้งนี้เพราะว่าผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตนนี้จะเป็ปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกโครงการด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพยายามกำหนดและประเมินมูลค่าผลประโยชน์เหล่านี้ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้อย่างรอบคอบระมัดระวัง

ต้นทุนที่ไม่มีตัวตนอาจจะเกิดขึ้นจริงในโครงการได้ เช่น ต้นทุนที่เกิดขึ้นถ้าหากโครงการใหม่ไปทำลายแบบแผนดั้งเดิมของชีวิตครอบครัว ถ้าหากการพัฒนาไปสู่มลพิษที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากความสมดุลทางนิเวศวิทยาถูกทำให้เสียหาย หรือคุณค่าทางวัฒนธรรมที่ต้องสูญเสียไป ถึงแม้ว่าจะเป็นไปได้ยาก หรือเป็นไปได้ไม่ไ้ในการตีค่าต้นทุนที่ไม่มีตัวตน แต่ต้นทุนที่ไม่มีตัวตนเหล่านี้ก็ควรที่จะได้รับการนับรวมด้วย และหากเป็นไปได้การตีค่าก็ควรจะทำอย่างระมัดระวังเพราะในท้ายที่สุดการตัดสินใจทุกโครงการจะต้องนำเอาปัจจัยด้านที่ไม่มีตัวตน (Intangible Factors) เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย ตามวิธีการประเมินผลแบบนามธรรม (Subjective Evaluation) เพราะว่าต้นทุนที่ไม่มีตัวตนอาจมีนัยสำคัญและผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตนสามารถมีส่วนสนับสนุนที่สำคัญต่อวัตถุประสงค์หลายประการของโครงการ

ค่าเสียโอกาสของการใช้สินค้าหรือปัจจัยการผลิต (Opportunity Cost) หมายถึง ผลตอบแทนของทรัพยากรที่ดีที่สุดที่สูญเสียไป เมื่อทรัพยากรนั้นถูกนำไปใช้ในโครงการหนึ่ง จากบรรดาโครงการที่มีให้เลือก ดังนั้นต้นทุนของการผลิตสินค้าชนิดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับเป็นราคา หรือมูลค่าอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ได้มีโอกาสได้ใช้ปัจจัยในการผลิตชนิดนั้น เนื่องจากปัจจัยชนิดนั้น ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตสินค้าชนิดแรกแล้ว ตัวอย่างเช่น ค่าเสียโอกาสของการใช้สำนักงาน เป็นสำนักงานทำธุรกิจจะเท่ากับมูลค่าของอาคารที่นำไปให้คนอื่นเช่าเพื่อทำธุรกิจแทนเจ้าของ อาคารหรือค่าเสียโอกาสของการทำธุรกิจด้วยตนเองจะเท่ากับเงินเดือนที่บุคคลจะได้รับจากการเข้าทำงานในบริษัทใดบริษัทหนึ่ง

การกระทำของคนใดคนหนึ่งไปกระทบต่อความพอใจ หรือการผลิตของอีกบุคคลหนึ่ง โดยบุคคลที่กระทำไม่ได้รวมผลอันนั้นไว้ในต้นทุนหรือรายได้ของเขา ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ผลกระทบภายนอก (Externality) สาเหตุที่ผลกระทบภายนอกไม่ได้นำมารวมไว้ในต้นทุนหรือรายได้ เพราะว่าบุคคลผู้กระทำทำให้เกิดผลกระทบภายนอกไม่ได้คิดว่าจะเป็นเรื่องร้ายแรงอะไร และมองข้ามสิ่งเหล่านี้ไปเสีย ผลกระทบภายนอก อาจจะทำให้เกิดประโยชน์หรือเกิดผลเสียต่อบุคคลอื่นได้ถ้าเป็นลักษณะของผลประโยชน์เราเรียกว่า “External Economies” และถ้าเป็นการทำให้ผู้อื่นเสียผลประโยชน์ เราเรียกว่า “External Diseconomies” สาเหตุที่ทำให้เกิด externality ก็คือ ความหละหลวมของทรัพย์สินส่วนบุคคล ไม่มีการแบ่งแยกให้แน่ชัดลงไปว่าทรัพย์สินส่วนไหนเป็นของใคร หรือลักษณะของทรัพย์สินที่ทุกคนมีสิทธิใช้ร่วมกัน อาทิเช่น นายเอและนายบีมีสิทธิที่จะใช้อากาศร่วมกัน สมมติว่า นายเอสูบบุหรี่ ทำให้อากาศเสีย นายบีก็ไม่มีสิทธิที่จะไปเรียกร้อง ค่าเสียหายจากนายเอ แต่ถ้าอากาศเป็นของนายบีแต่ผู้เดียว นายบีก็อาจจะเรียกร้องค่าเสียหายจากนายเอได้ โดยนายเอต้องจ่ายเงินจำนวนหนึ่งเพื่อชดเชยการที่เขาทำให้อากาศเสีย

2.2.11 หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อการลงทุน

การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจจะเน้นถึงผลตอบแทนที่มีต่อเศรษฐกิจโดยรวม ทั้งนี้เพื่อบรรลุถึงประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของผลตอบแทนที่ได้ จะสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป หลักเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบค่าของโครงการเหล่านี้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลา เป็นเกณฑ์การตัดสินใจแบบเก่า ถ้าโครงการลงทุนไม่มาก และระยะเวลาของโครงการสั้น เช่น 1 ปี หรือต้องการตรวจสอบอย่างคร่าว ๆ ก็สามารถใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบนี้ได้ ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ จะไม่ใช่เกณฑ์การตัดสินใจแบบไม่ปรับเวลา แต่จะเลือกใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา

2. เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา โดยทั่วไปโครงการส่วนใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 1 ปี ผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจะเกิดขึ้นในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ตลอดอายุของโครงการจึงยากที่จะนำมาเปรียบเทียบกันโดยตรง จะต้องมีการปรับค่าของเวลาการได้มาซึ่งผลประโยชน์และต้นทุนที่จะต้องเสียไปให้เป็นมูลค่าในอนาคตโดยการคิดแบบทบต้น (Compounding) โดยใช้อายุของโครงการเป็นเวลาในอนาคตนั้น หรือการปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (Present Value) โดยการคำนวณหักส่วนลด (Discounting) จึงจะสามารถทำการวินิจฉัยได้ว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

เกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุนแบบปรับค่าของเวลาในการวิเคราะห์โดยทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันแพร่หลายมี 3 ประการ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ซึ่งแต่ละประการมีการคำนวณหลักเกณฑ์การตัดสินใจ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ในแต่ละปีของโครงการตลอดอายุโครงการ (Present Value Benefit : PVB) กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนค่าใช้จ่ายของโครงการตลอดอายุโครงการ (Present Value Cost : PVC) เพื่อวัดค่าว่าโครงการที่พิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ ถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก หรือศูนย์ โครงการนั้นถือว่าเป็นโครงการที่คุ้มค่าน่าลงทุน แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ หรือน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าผลที่จะเกิดจากการทำโครงการไม่คุ้มค่าน่าลงทุน เกณฑ์การตัดสินใจนี้นำมาใช้เพื่อช่วยเลือก หรือปฏิเสธโครงการ สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = PVB - PVC$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุน ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t

t = ระยะเวลาของโครงการ

- n = อายุโครงการมีหน่วยเป็นปี
 i = อัตราคิดลด หรือ อัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

หลักการตัดสินใจ (Decision Rule) ที่จะยอมรับโครงการว่ามีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจและการเงินหรือไม่นั้นให้ดูที่ NPV คือเมื่อ NPV มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าจำนวนผลประโยชน์สุทธิมีค่าเป็นบวก จึงจะถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าเหมาะสมที่จะลงทุนได้

2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – cost Ratio : BCR) คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมตลอดอายุของโครงการนั้น

$$BCR = PVB / PVC$$

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

หลักเกณฑ์การตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการ คือ BCR มีค่ามากกว่าหนึ่ง จึงจะถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าเหมาะสมแก่การลงทุน แต่ข้อเสียสำหรับเกณฑ์การตัดสินใจชนิดนี้ก็คือ โครงการใหญ่ ๆ มีผลตอบแทนสูงและในขณะเดียวกันก็มีค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย ดังนั้นแม้ BCR จะมากกว่าหนึ่ง แต่อาจจะเกินไม่มาก ทั้ง ๆ ที่โครงการนี้อาจทำให้มีรายได้ทั้งหมดมากกว่าโครงการอื่น แต่มีค่า BCR สูงกว่าก็เป็นได้ ในกรณีเช่นนี้มีผลทำให้การตัดสินใจเลือกโครงการเกิดความผิดพลาดได้ ควรมีการใช้เกณฑ์การตัดสินใจชนิดอื่นประกอบด้วย

3. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราที่ทำให้ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายที่คิดลดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วมีค่าเท่ากัน ซึ่งอัตราดังกล่าวเป็นอัตราความสามารถของเงินทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุน หรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ เกณฑ์การตัดสินใจนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการหาค่า NPV แตกต่างกันตรงที่เปลี่ยนจาก i ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยมาเป็น r หรืออัตราคิดลดเท่านั้น

$$IRR = r \text{ ที่ทำให้}$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0$$

โดยที่ r = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR)

นำค่า IRR ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของเงินทุน หรือ อัตราดอกเบี้ยที่เป็นต้นทุนของเงินทุน (Cost of Capital) ถ้าค่า IRR ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุน แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้จะให้ผลคุ้มค่า และเป็นโครงการที่น่าลงทุน เพราะผลประโยชน์ของเงินที่ได้ใช้ไปในโครงการจะสูงกว่าการใช้เงินทุนไปในทางเลือกอื่น ๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า IRR ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าต้นทุนของเงินทุน แสดงว่าโครงการให้ผลประโยชน์ไม่คุ้มค่า และไม่คุ้มค่าตัดสินใจเลือกลงทุน

4. ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period : PB) หมายถึง ระยะเวลาของกระแสเงินสด (Net Cash Inflow) ที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตกเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก (Investment Cost) ของโครงการ แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.1. กรณีกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปีมีมูลค่าเท่ากัน

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน (PB)} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนเริ่มแรกสุทธิ}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิที่คาดว่าจะได้รับต่อปี}} \quad (\text{ปี})$$

4.2. กรณีกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปีมีมูลค่าไม่เท่ากัน การคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน จะพิจารณาจากกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปีรวมกันเป็นกระแสเงินสดรับสุทธิสะสม เท่ากับจำนวนเงินลงทุนเริ่มแรก

เกณฑ์การตัดสินใจ ทำการยอมรับโครงการเมื่อระยะเวลาในการคืนทุนที่คำนวณได้น้อยกว่าระยะเวลาในการคืนทุนที่ต้องการ และปฏิเสธโครงการเมื่อระยะเวลาในการคืนทุนที่คำนวณได้มากกว่าระยะเวลาในการคืนทุนที่ต้องการ

วิธีนี้เหมาะที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจขั้นต้นเท่านั้น เพราะเป็นวิธีที่ไม่บอกให้ทราบถึงอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนว่าเป็นเท่าไร เพราะยังมิได้คำนึงถึงค่าปัจจุบันของเงินที่จะได้รับในอนาคตตลอดอายุโครงการด้วย ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่คำนวณง่าย แต่การใช้ผลการคำนวณจากวิธีงวดเวลาที่ได้ทุนคืนมาพิจารณาเพียงอย่างเดียว อาจจะทำให้การตัดสินใจผิดพลาดได้ง่าย

ข้อเสียของวิธีระยะเวลาคืนทุน

1. ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลา (Time Value of Money) โดยปกติแล้ว ในการลงทุนมักจะต้องจ่ายเงินลงทุนทันที แต่ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ จะค่อย ๆ ทบอเข้ามามี

อนาคต ซึ่งมูลค่าของเงินในอนาคต จะน้อยกว่ามูลค่าของเงินปัจจุบัน (เช่น เงิน 100 บาทปัจจุบัน มีค่ามากกว่าเงิน 100 บาท อีก 1 ปีข้างหน้า)

2. ไม่คำนึงผลประโยชน์หลังจากคืนทุนแล้ว เช่น กรณีที่เราเลือกโครงการ S เพราะคืนทุนเร็วกว่าโครงการ L ในบางครั้งเมื่อโครงการ S คืนทุนแล้ว อาจจะไม่มีการเสียดเงินสดเข้ามาอีก ในขณะที่โครงการ L แม้ระยะเวลาคืนทุนจะนานกว่า แต่หลังจากนั้น อาจจะมีการเสียดเงินสดเข้ามาอีกหลาย ๆ ปีก็เป็นได้

ข้อดีของวิธีระยะเวลาคืนทุน

1. เป็นวิธีการที่สามารถคำนวณได้ง่าย และทำให้เราทราบว่าเมื่อลงทุนไปแล้ว จะคืนทุนเท่าใด นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นว่า โครงการที่คืนทุนเร็วจะมีสภาพคล่อง (Liquidity) สูงกว่าโครงการที่คืนทุนช้า

2. สามารถบอกถึงความเสี่ยง (riskness) ของโครงการได้ในเบื้องต้น โดยโครงการที่คืนทุนได้เร็วกว่า จะมีความเสี่ยงน้อยกว่า นั่นเอง

2.2.12 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ คือ เป็นการทดสอบหลังจากที่ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ในกรณีที่ผลนั้นออกมาและสามารถยอมรับโครงการนี้ได้ แต่เนื่องจากเกิดความไม่แน่ใจในการประเมินว่าผลที่ได้ออกมานั้นถูกต้องจริงหรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากรายการต่าง ๆ ที่คำนวณมานั้นไม่เป็นที่แน่นอนอย่างแท้จริง ทั้งในด้านผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการ ดังนั้นจึงต้องทดสอบให้แน่ใจอีกครั้งหนึ่ง โดยการสมมติให้มีการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจากที่กำหนดไว้เดิม แล้วจึงนำมาคำนวณตามหลักเกณฑ์อีกครั้งหนึ่งว่า ค่าต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร สามารถยอมรับโครงการนี้ได้หรือไม่

ในความเป็นจริงการคาดการณ์เกี่ยวกับอนาคตนั้นจะต้องพิจารณาถึงความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้น และจะทำให้การวิเคราะห์มีโอกาสผิดพลาดได้ถ้าหากโครงการต้องเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่กำหนดขึ้นล่วงหน้า ดังนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่าจะเกิดอะไรขึ้นถ้าหากเหตุการณ์ต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ได้เปลี่ยนแปลงไป มีปัจจัยหลายชนิดที่จะทำให้โครงการมีความเสี่ยงเกิดขึ้น ปัจจัยที่ควรให้ความสนใจได้แก่

1. ผลผลิตของโครงการ ซึ่งเป็นที่มาของผลประโยชน์ของโครงการ อาจจะมีการคาดการณ์ของผลผลิตในปริมาณที่สูง ในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการพิจารณาว่า หากผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้ จะมีผลต่อมูลค่าผลผลิตที่ได้จากโครงการอย่างไรบ้าง
2. ต้นทุนของโครงการ อาจมีการเปลี่ยนแปลง ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ
3. ราคาเนื่องจากราคาที่นำมาใช้ประเมินต้นทุนของโครงการจะใช้ราคาปัจจุบันคงที่ อาจจะทำให้ผลประโยชน์ผิดพลาดได้ ซึ่งในความเป็นจริงราคาของปัจจัยการผลิตที่ใช้ประเมินย่อมจะไม่คงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ
4. ความล่าช้าในการดำเนินโครงการ ทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงการได้ เช่น โครงการที่ก่อสร้างไม่เสร็จทันกำหนดตามระยะเวลา ต้องถูกปรับเป็นจำนวนเงินตามระยะเวลาที่ล่าช้า