บทที่ ๕

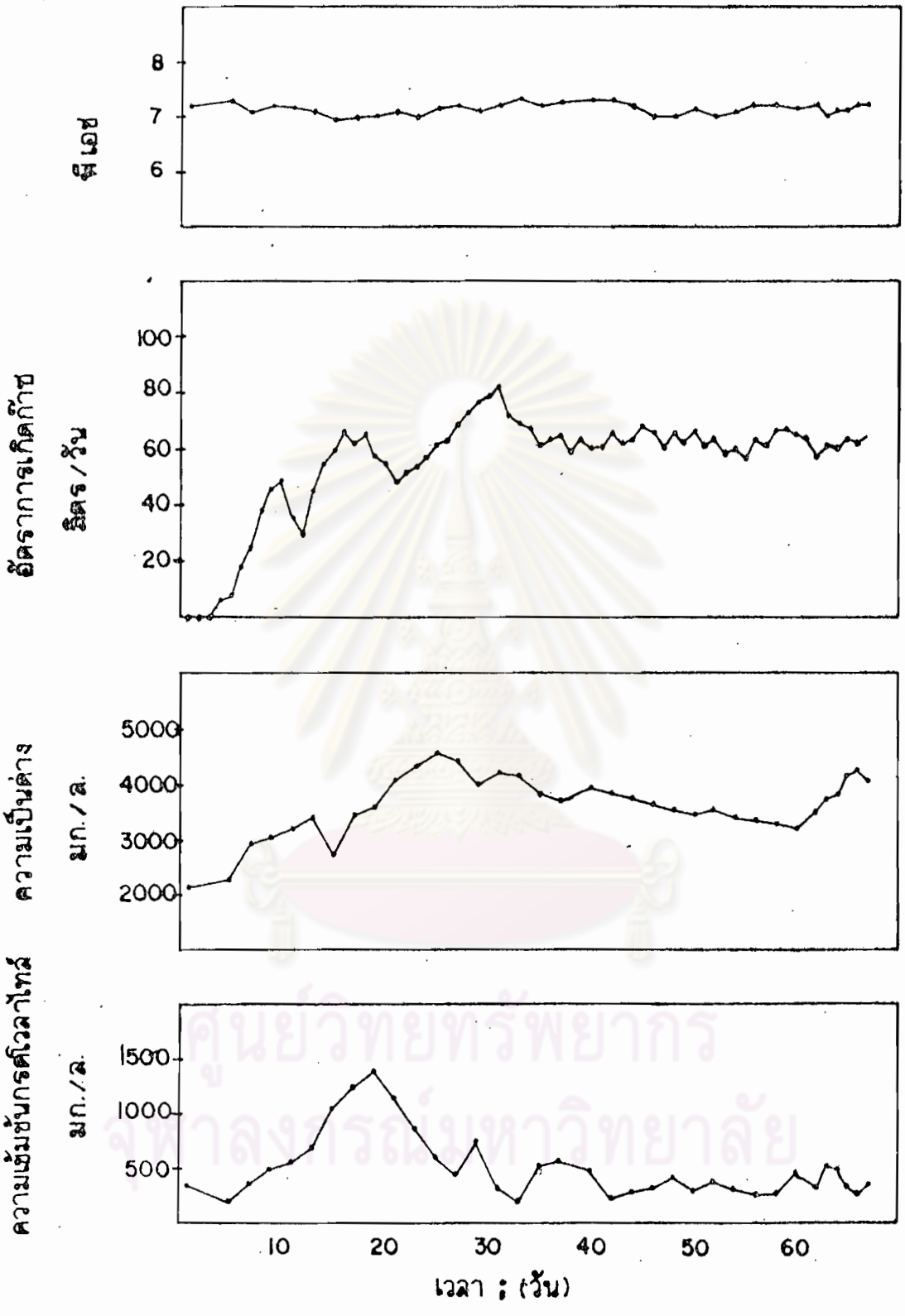
ผลของการทดลอง

๕.๑ พีเอช, กรดโวลาไทล์, สภาพความเป็นด่างและปริมาณก๊าซ

จากภาพที่ ๑๘, ๑๙ และ ๒๐ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรก ๆ นั้น อัตราการเกิดก๊าซมีการผันแปรอยู่ในช่วงกว้าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวะเคมีภายในถังหมัก แต่เมื่อทำงาน (Operate) มาได้ระยะเวลาหนึ่งระบบทางชีวะวิทยาภายในถังหมักก็สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ โดยที่ปริมาณของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจะเท่ากับส่วนที่ตายไป ทำให้อัตราการใช้สารอาหาร (Rate of substrate utilization) เริ่มคงที่ และเป็นผลให้อัตราการเกิดก๊าซที่เป็นผลพลอยได้ของขบวนการนี้อยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่เช่นกัน

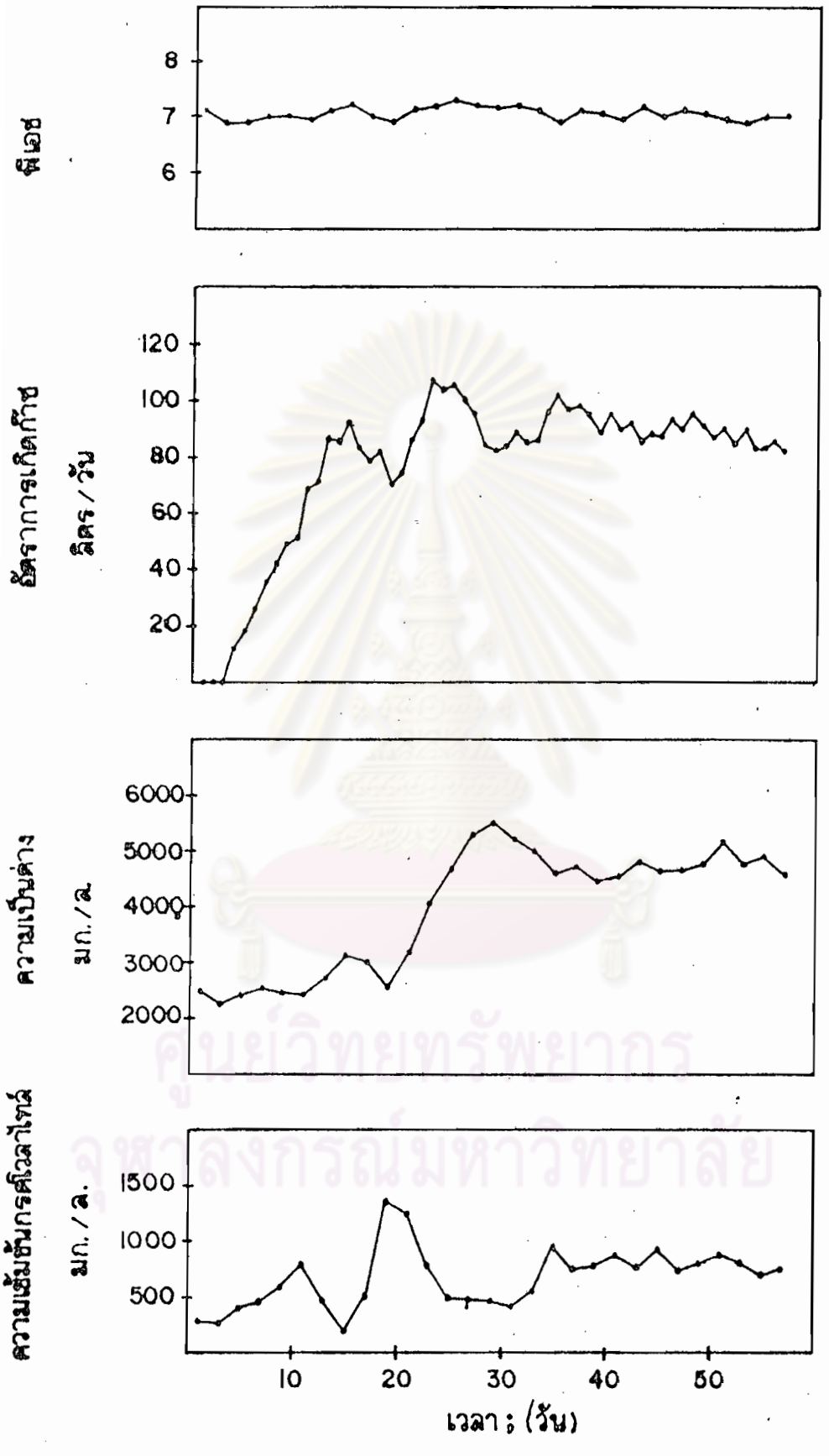
สำหรับพีเอช (pH)และความเป็นด่างในถังหมักนั้น สามารถควบคุมได้โดยการเติม $NaHCO_3$ เข้าไปในปริมาณที่พอเพียงที่จะเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ให้แก่ถังหมัก และควบคุมพีเอชให้คงที่ตามต้องการ ซึ่งเสถียรภาพ (Stability) ของระบบ จะดูได้จากอัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ต่อค่าความเป็นด่างของระบบและพบว่าระหว่าง ๐.๑ ถึง ๐.๓ ระบบมีเสถียรภาพสูง

ส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์นั้น จากการทดลองพบว่า ในช่วงระหว่าง ๓๐๐ ถึง ๑๖๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตรสมมูลย์กับอะซิติค (mg/l as acetic) จะเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) เพราะว่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ในช่วงดังกล่าวนี้ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อยู่ในสภาพปรกติ มิได้แสดงให้เห็นผลในทางตรงกันข้ามของกรดโวลาไทล์เลย แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์เพิ่มขึ้นมาเรื่อย ๆ จนอยู่ในช่วงระหว่าง ๒๕๐๐ ถึง ๓๗๐๐ มก/ล สมมูลย์กับ CH_3COOH จะพบว่ามันเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแล้ว โดยที่อัตราการเกิดก๊าซในแต่ละวันลดลงอย่างเห็นได้ชัด



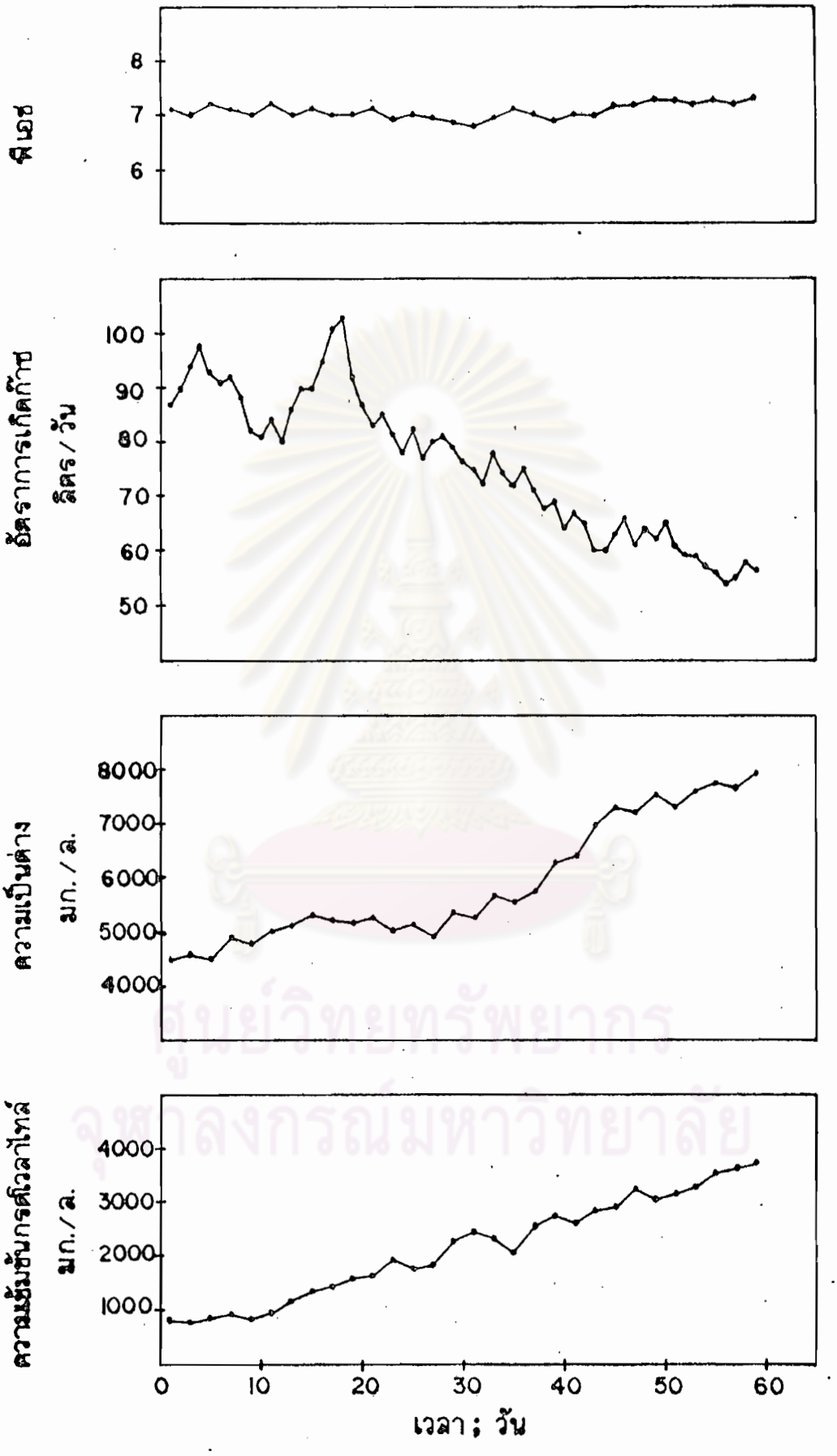
ภาพที่ ๑๘ การเปลี่ยนแปลงของพีเอช,อัตราการเกิดก๊าซ,ความเป็นด่าง และกรดโวลาไทล์ที่HRT เท่ากับ25 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๑๙ การเปลี่ยนแปลง พีเอช, อัตราการเกิดก๊าซ, ความเป็นด่าง และกรดวิลาไทล์ที่ HRT เท่ากับ 15 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๒๐ การเปลี่ยนแปลง พีเอช, อัตราการเกิดก๊าซ, ความเป็นด่าง และกรดโวลาไทล์ที่ HRT เท่ากับ ๑๐ วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๑๑ แสดงคุณลักษณะของสลัดจ์ที่ออกจากระบบ ที่ระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ

พารามิเตอร์ (Parameter)	HRT (วัน)		
	๑๐	๑๕	๒๕
ปริมาตรก๊าซ, ลิตร/วัน (l(STP)/day)	๕๘.๖๐ ± ๓.๕๖	๘๗.๔๓ ± ๓.๗๗	๖๓.๒๔ ± ๔.๒๖
% มีเทน (CH_4)	๕๑.๕๐ ± ๒.๐๗	๕๘ ± ๓.๗๓	๖๒.๒๘ ± ๒.๕๔
ปริมาตรมีเทน, ลิตร/วัน (lCH_4/day)	๓๐.๒๐ ± ๒.๕๓	๕๑.๒๗ ± ๓.๐๘	๓๔.๔๘ ± ๔.๑๒
พีเอช (pH)	๗.๒๕ ± ๐.๐๔	๗.๐ ± ๐.๐๘	๗.๑๓ ± ๐.๐๔
ความเป็นด่าง, มก/ล. (Alkalinity)	๗,๖๓๔ ± ๗๒๐	๘๘๕๒ ± ๑๘๔	๓๔๑๖ ± ๒๗๓
กรดโวลาไทล์, มก/ล. (Volatile Fatty Acid)	๓,๔๘๔ ± ๒๕๑	๗๔๔ ± ๘๐	๓๗๖ ± ๔๗
ของแข็งทั้งหมด, มก/ล. (Total Solid)	๓๘,๘๕๐ ± ๑,๒๒๒	๑๔,๘๐๐ ± ๕๗๔	๑๗,๒๒๒ ± ๒๘๐
ของแข็งระเหยทั้งหมด, มก/ล. (Total Volatile Solid)	๒๔,๒๔๔ ± ๑,๑๕๕	๑๒,๗๔๖ ± ๖๑๖	๑๐,๓๔๔ ± ๔๔๔
ซีโอดี, มก/ล. (COD)	๔๘,๒๔๗ ± ๒๑๔๒	๓๑,๒๘๖ ± ๑๒๓๖	๒๐,๒๘๐ ± ๗๐๔
ทีเคเอ็น, มก/ล. (TKN)	๗๓๒.๖๗ ± ๔๔.๔๕	๘๑๔.๓๓ ± ๑๕.๔๕	๗๘๕.๕ ± ๒๓.๑๗
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, มก/ล. (NH_3-N)	๒๕.๖๗ ± ๗.๔๖	๗๕.๖๐ ± ๒.๘๐	๕๖.๔๗ ± ๒.๑๘

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

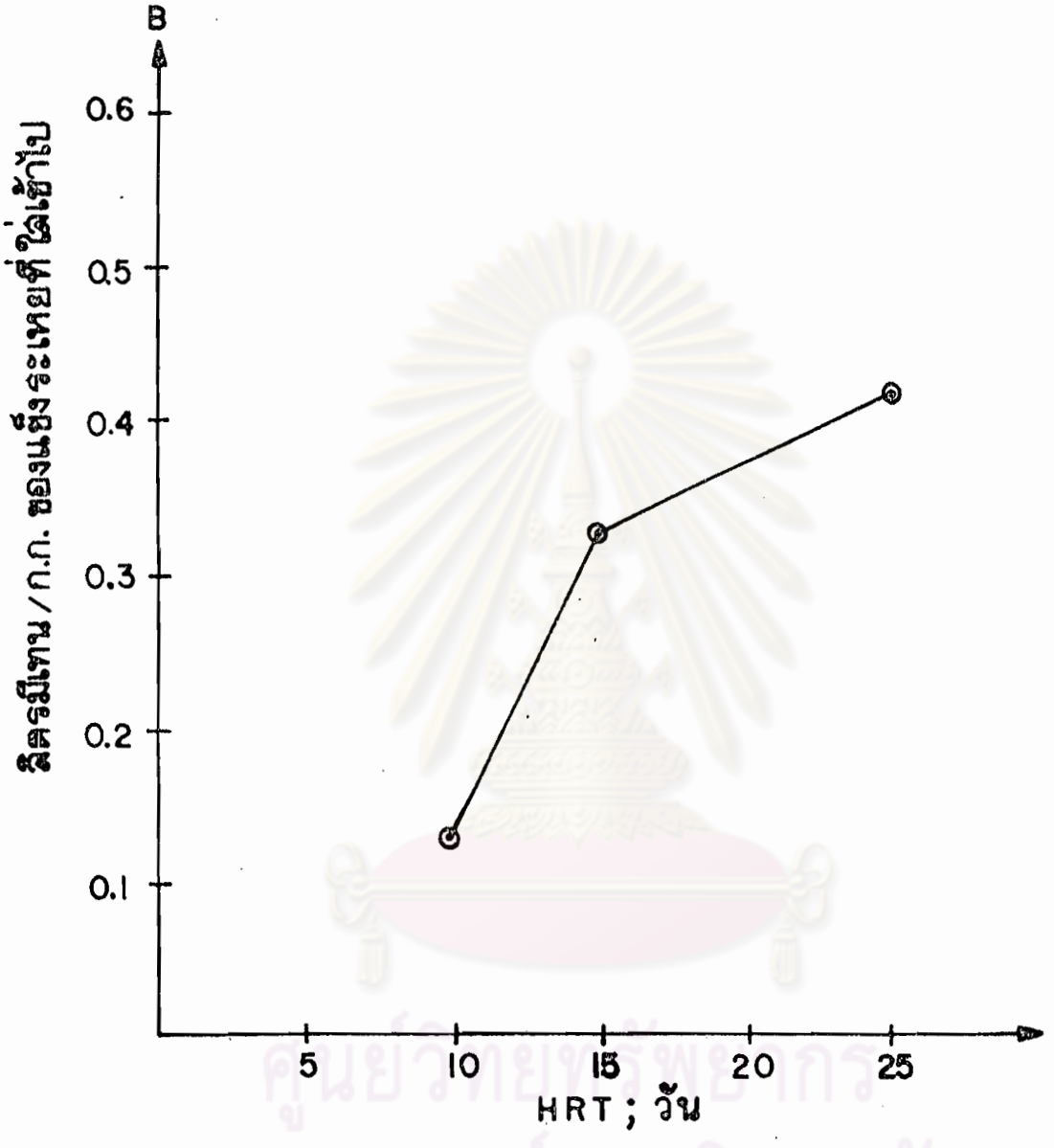
๕.๒ ผลของระยะเวลาในการหมักที่มีต่อระบบ

จากการศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการหมัก (HRT) ต่อปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (มีหน่วยเป็นปริมาตรของมีเทนต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไป) การทำลายของแข็งระเหย (Volatile solid reduction) และความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่อุณหภูมิปรกติ (ประมาณ ๒๗.๖° c) ปรากฏว่าการควบคุมถังหมักให้ทำงานที่ HRT เท่ากับ ๒๕ วันนั้น จะให้ปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปสูงที่สุดคือ ๐.๔๒ lCH_4/gm VS added รองลงมาก็คือที่ HRT ๑๕ วันเท่ากับ ๐.๓๒๕ lCH_4/gm VS added และที่ต่ำสุดก็คือที่ HRT ๑๐ วัน ให้ปริมาณก๊าซ ๐.๑๒๘ lCH_4/gm VS added ดังแสดงในภาพที่ ๒๑ ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ระยะเวลาในการหมัก (HRT) ที่นานกว่า จะช่วยให้สภาวะในการย่อยสลายมีเสถียร (stabilize) มากขึ้น เพราะว่าแบคทีเรียมีเวลาที่จะเมตาบอไลซ์ (Metabolize) สารอาหารและทำให้ของเสียที่ระบายออกจากระบบ (Effluent) มีคุณภาพสูงด้วย

จากภาพที่ ๒๒ แสดงให้เห็นว่าที่ HRT เท่ากับ ๒๕ วัน มีการทำลายของแข็งระเหยทั้งหมด (Total Volatile Solid) ถึง ๗๕.๘๓ % ส่วนที่ HRT ๑๕ วันมีการทำลายของแข็งระเหยทั้งหมด ๗๓.๐๑ % และที่ต่ำสุดก็คือ ที่ HRT ๑๐ วัน มีการทำลายของแข็งระเหยเพียง ๓๗.๘ % เท่านั้น ส่วนการทำลาย COD ก็จะเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ ๑๒

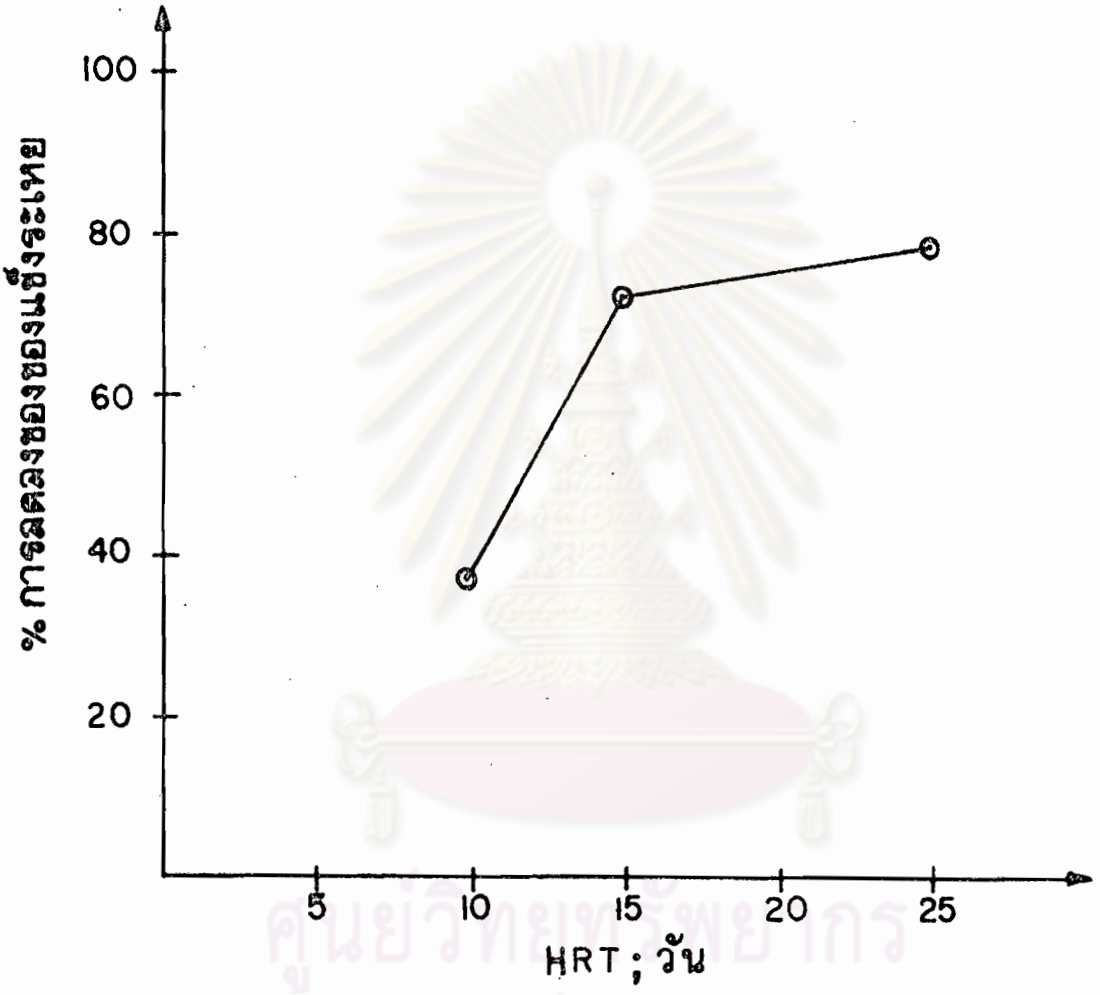
จากภาพที่ ๒๓ ที่ HRT ๒๕ และ ๑๕ วัน ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์อยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะเป็นอาหารให้แก่พวก Methane formers แต่ที่ HRT ๑๐ วัน ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์จะสูงอยู่ในระดับที่อาจเป็นตัวการหยุดยั้งการเจริญเติบโตของพวกMethane formers ได้

จากสิ่งต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่า การที่ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนถูกยับยั้งนั้น จะแสดงออกมาให้เห็นโดยการที่ของแข็งระเหยถูกทำลายน้อยลง (Low volatile solid reduction) ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปลดลง และความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์สูงขึ้นอย่างมาก



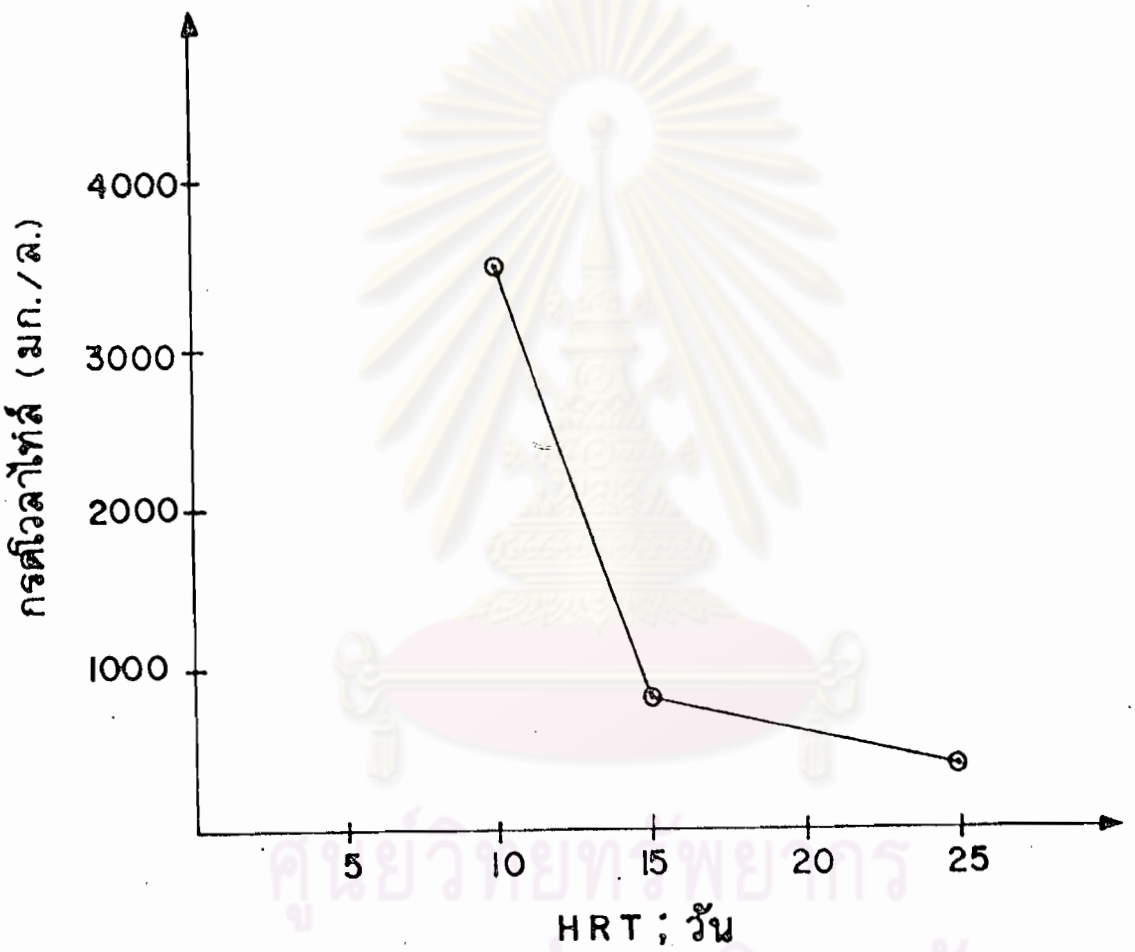
ภาพที่ ๒๑ การเปลี่ยนแปลงของมีเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมัก

(CHANGE IN METHANE YIELD WITH HYDRAULIC RETENTION TIME)



ภาพที่ ๒๒ การเปลี่ยนแปลงของของแข็งระเหยที่ลดลงกับระยะเวลาในการหมัก (CHANGE IN VOLATILE SOLID REDUCTION WITH HYDRAULIC RETENTION TIME)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๒๓ การเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาไทล์กับระยะเวลาในการหมัก (CHANGE IN TOTAL VOLATILE ACID WITH HYDRAULIC RETENTION TIME)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๒ แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป

พารามิเตอร์	Feed TS = 5 % TVS = 94 %		
ระยะเวลาที่ของเหลวอยู่ในระบบ ; วัน (Hydraulic Detention Time)	๑๐	๑๕	๒๕
อัตราการจ่ายสารอินทรีย์; TVS (Organic Loading Rate)	๔.๓๐๓	๓.๑๐๒	๑.๘๘๐
ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่ออกจากระบบ ; % (Effluent Solid Concentration)	๓.๘๘๕	๑.๔๘๐	๑.๗๒๒
ความเข้มข้นของแข็งระเหยที่ออกจากระบบ;% (Volatility of Effluent Solid)	๗๕.๓๘	๖๔.๐๗	๕๗.๗๘
ปริมาณของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป ;% (Appearent Volatile Solid Reduction)	๓๗.๘๐	๗๓.๐๑	๗๘.๘๓
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ถูกทำลายไป;% (Appearent Total Solid Reduction)	๒๒.๔๐	๖๐.๔๐	๖๕.๕๖
ซีโอดีที่ถูกทำลายไป ; % (COD reduction)	๒๑.๑๖	๕๐.๒๘	๖๘.๖๗

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

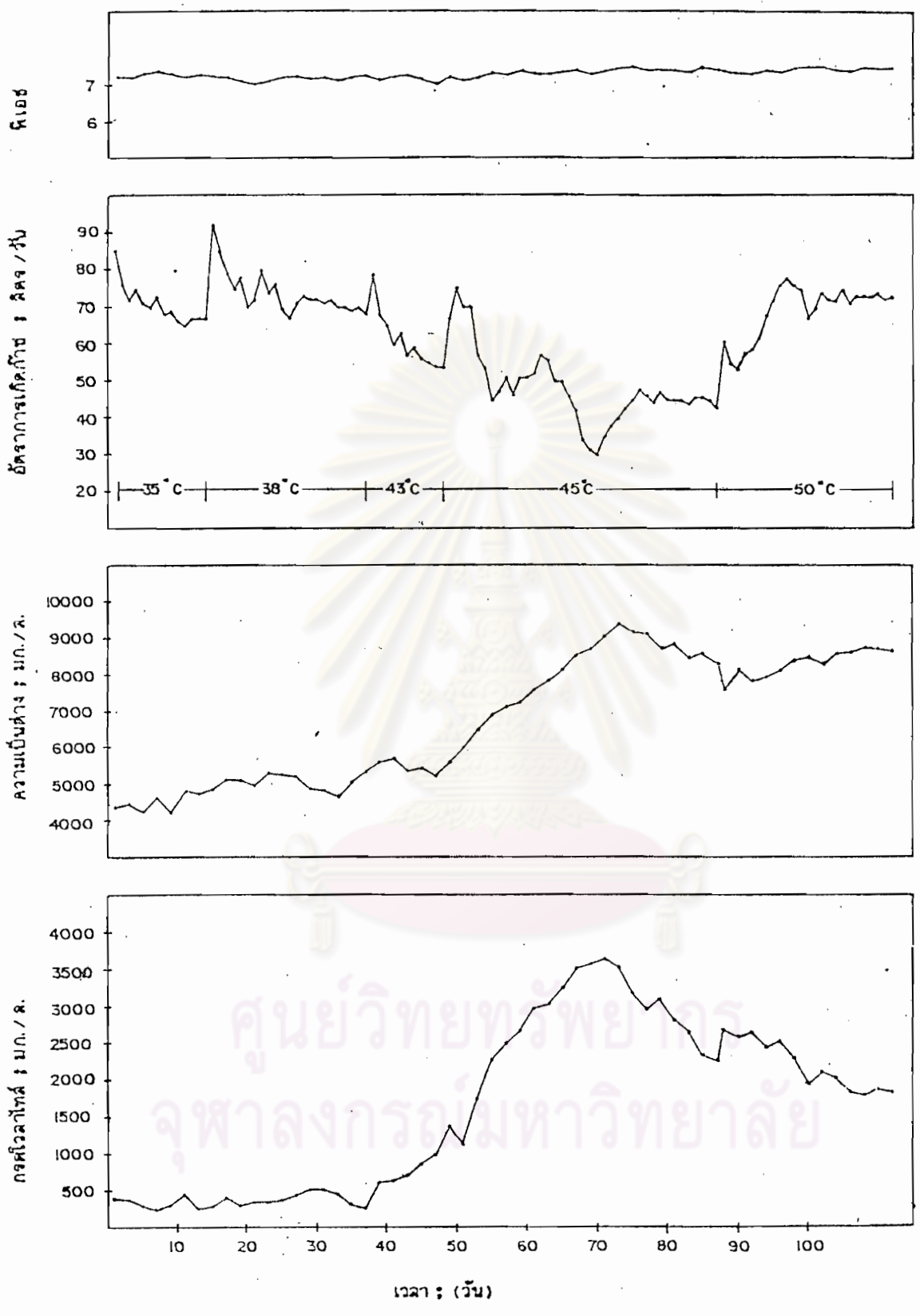
๕.๓ ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อระบบ

ในการเพิ่มอุณหภูมิแต่ละครั้ง ปรากฏว่าอัตราการเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอีกประมาณ ๑ ถึง ๓ วันก็จะเริ่มลดลงและก็จะเริ่มคงที่ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ ๒๔ ซึ่งช่วงที่คงที่นี้ก็คือสภาวะสมดุลย์ (Steady-state) ของแต่ละอุณหภูมินั่นเอง และปรากฏว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ ๓๕° c ได้ประมาณ ๖๗ ลิตรต่อวัน ส่วนที่อุณหภูมิ ๓๘° c ได้ก๊าซประมาณ ๗๐ ลิตรต่อวัน ซึ่งสูงกว่าที่ ๒๗.๖° c ประมาณ ๖ ถึง ๑๐ % ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น ๔๓° c ปรากฏว่าปริมาณก๊าซกลับลดลงเหลือเพียง ๕๖ ลิตรต่อวัน และที่อุณหภูมิ ๔๕° c ปริมาณก๊าซก็เริ่มลดลงอีกเหลือเพียง ๔๕ ลิตรต่อวัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงสภาวะในระบบนั้นที่อุณหภูมิ ๓๕ และ ๓๘ องศาเซ็นติเกรด ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และมีความเข้มข้นอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม คือประมาณ ๓๕๐ ถึง ๔๑๐มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง ๔๕° c ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก ๑,๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น ๓,๖๘๐ มิลลิกรัมต่อลิตรสมมูลย์กับ CH_3COOH การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิในช่วงนี้ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างมีเทน ในช่วงของอุณหภูมิ Mesophilic ถูกทำให้หยุดยั้ง (Inactivated) ไป ในขณะที่กรดโวลาไทล์ก็ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นจะต้องเติม $NaHCO_3$ เข้าไปเป็นจำนวนมาก เพื่อที่จะควบคุมพีเอชไว้ไม่ให้ต่ำไปกว่า ๖.๖ ซึ่ง $NaHCO_3$ ที่เติมเข้าไปนี้ จะไปทำให้ค่าความเป็นด่างในระบบเพิ่มจาก ๕๒๘๐ มิลลิกรัมต่อลิตร สมมูลย์กับ $CaCO_3$ ไปเป็น ๘,๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร สมมูลย์กับ $CaCO_3$ และทำให้พีเอชอยู่ประมาณ ๗.๔ ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด (Total solid) และของแข็งระเหย (Volatile solid) ของสลัดจ์ที่ออกจากระบบ (Effluent) ก็จะมีความเข้มข้นสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ใส่เข้าในระบบ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะลดลงตลอดเวลา แต่ก็ไม่เป็นศูนย์ องค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่ำกว่า ๕๐ เปอร์เซ็นต์ หลังจากนี้ประมาณ ๓ สัปดาห์ ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ก็จะผันแปรอยู่ระหว่างช่วง ๒๒๘๐ ถึง ๒๘๑๐ มิลลิกรัม

ต่อลิตรสมมูลย์กับอะซิติค โดยที่ปริมาณก๊าซเพิ่มมากขึ้นพร้อมกับองค์ประกอบของมีเทนสูงตามขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างมีเทนสามารถที่จะปรับตัวกับอุณหภูมิในช่วงนี้ได้แล้ว ซึ่งจากภาพที่ ๒๔ แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิในช่วง ๔๓ และ ๔๕ °c นั้น จุลชีพ (Microbial population) กำลังอยู่ในสภาวะผสมกัน (Mixed culture) ระหว่าง Mesophilic กับ Thermophilic species ซึ่งการที่จะปรับประชากรของจุลชีพ (Shifting population) ไปยังช่วงที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (Thermally energized zone) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ species, ความต้องการสารอาหาร (Nutritional demands), องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ รวมทั้งกิจกรรมภายในของเซลล์ด้วย จึงจำเป็นจะต้องใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่าปรกติ

ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึง ๕๐ °c ปรากฏว่าปริมาณก๊าซเกิดมากขึ้นเป็นลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียชนิดที่ชอบความร้อน (Thermophilic Bacteria) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เป็นอุณหภูมิที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของมัน ปริมาณก๊าซที่วัดได้ประมาณ ๗๓ ลิตรต่อวัน ดังแสดงในภาพที่ ๒๕

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๒๔ แสดงการเปลี่ยนแปลงของพีเอช, ความเป็นด่าง, กรดไวลาไทล์และอัตราการเกิดก๊าซที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากภาพที่ ๒๕ นี้ พอจะแสดงให้เห็นได้ว่า อุณหภูมิในการหมักสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น ๓ ช่วงคือ

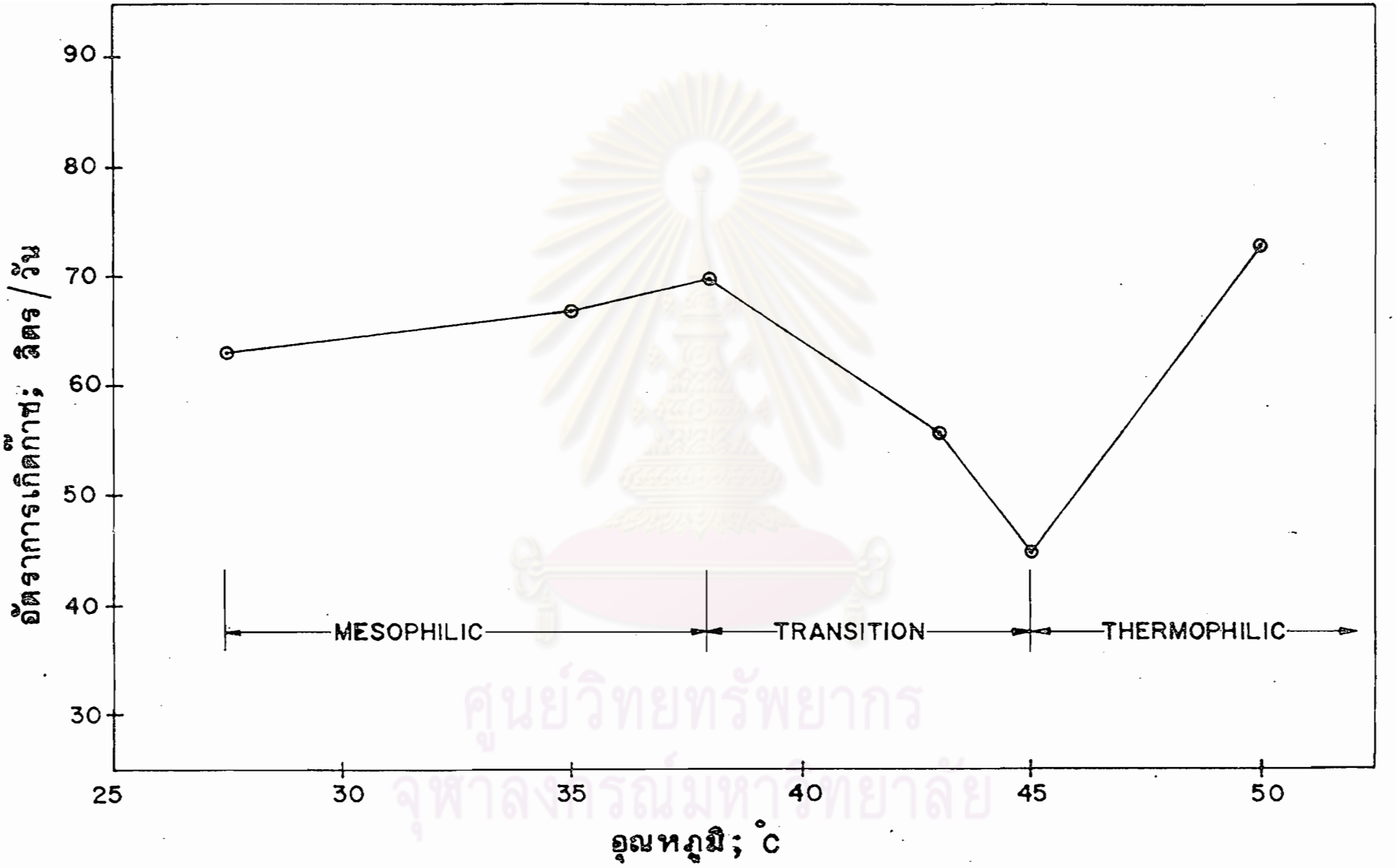
– ช่วงอุณหภูมิปานกลางหรือ Mesophilic temperature อยู่ระหว่าง ๒๕ ถึง ๓๘ °c

– ช่วงเปลี่ยนแปลง หรือ Transition temperature อยู่ระหว่าง ๓๘ °c ถึง ๔๕ °c

– ช่วงอุณหภูมิสูง หรือ Thermophilic temperature อยู่สูงกว่า ๔๕ °c ขึ้นไป

สำหรับในช่วงอุณหภูมิ Mesophilic นั้น ปรากฏว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ ๓๘ °c สูงที่สุด ส่วนปริมาณก๊าซที่อุณหภูมิ ๕๐ °c ซึ่งอยู่ช่วง Thermophilic นั้น สูงกว่าที่ ๓๘ °c เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๒๕ แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๓ แสดงคุณลักษณะของสลัดจ์ที่ออกจากระบบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

พารามิเตอร์	อุณหภูมิ (°C)				
	๓๕ °C	๓๘ °C	๔๓ °C	๔๕ °C	๕๐ °C
ปริมาตรก๊าซ, ลิตร/วัน l gas(STP)/day	๖๗ ±๑.๑๕	๗๐ ± ๑.๒๐	๕๖ ± ๑.๗๗	๔๕ ±๐.๔๔	๗๓ ± ๐.๘๘
% มีเทน (CH_4)	๖๓.๒๔±๑.๓๘	๖๓.๑๔±๒.๘๐	๕๕.๖๗±๒.๗๕	๕๔.๑๔±๒.๒๓	๖๑.๒๕±๒.๑๒
ปริมาตรมีเทน, ลิตร–วัน lCH_4/day	๔๒.๒๕±๑.๓๘	๔๔.๒๕±๑.๔๘	๓๑.๐ ±๒.๒๔	๒๔.๔๓±๑.๔๐	๔๔.๕๗±๑.๕๔
พีเอช (pH)	๗.๒๕±๐.๐๔	๗.๑๔±๐.๐๕	๗.๑๓±๐.๑๐	๗.๔ ±๐.๐๓	๗.๔๖±๐.๐๔
ค่าความเป็นด่าง, มก/ล. (Alkalinity)	๔๖๔๐ ±๒๘๗	๕๐๑๒ ±๒๖๕	๕๓๘๓±๘๒	๘๖๐๐±๑๔๔	๘๗๒๒±๕๗
กรดโวลาไทล์, มก/ล. (Volatile Fatty Acid)	๓๕๐ ±๗๘.๗๔	๔๐๖ ±๔๒.๑๘	๘๖๗ ±๑๑๐	๒๕๒๗±๒๑๔	๑๘๕๒±๔๐
ของแข็งทั้งหมด, มก/ล. (Total Solid)	๑๗,๑๓๓ ±๑๒๕	๑๖,๖๗๕±๑๗๔	๑๔,๓๐๐±๑๐๐	๒๖,๗๕๐±๓๒๐	๒๘,๑๒๐±๒๑๓
ของแข็งระเหยทั้งหมด, มก/ล. (Total Volatile Solid)	๘,๔๗๖ ±๓๑๗	๗,๘๒๐±๕๕๗	๑๑,๔๔๐±๑๖๖	๑๔,๔๒๘±๓๘๑	๑๐,๒๖๕±๕๐
ซีโอดี, มก/ล (COD)	๑๔,๖๘๕ ±๑๘๕	๑๘,๗๓๓±๒๐๔	๒๖,๓๔๕±๖๕๕	๓๖,๕๑๐±๑๓๕๗	๒๕,๓๖๓±๑๔๔๑
ทีเคเอ็น, มก/ล. (TKN)	—	—	—	๗๔๗.๕ ±๗.๕	๗๘๐ ±๓๐
แอมโมเนีย–ไนโตรเจน, มก/ล. (NH_3-N)	—	—	—	๑๒๑.๑ ±๑๑.๔	๑๕๐.๘ ±๘.๘

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕.๔ ผลการศึกษาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองนี้ จะนำมาศึกษาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ดังนี้

จากสมการที่ ๒๒

$$B = B_o - \frac{B_o K\theta_m}{\theta}$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ $\frac{1}{\theta}$ จะเป็นเส้นตรงที่มีจุดตัดเท่ากับ B_o และความลาดเท่ากับ $-B_o K\theta_m$ ดังแสดงในภาพที่ ๒๖

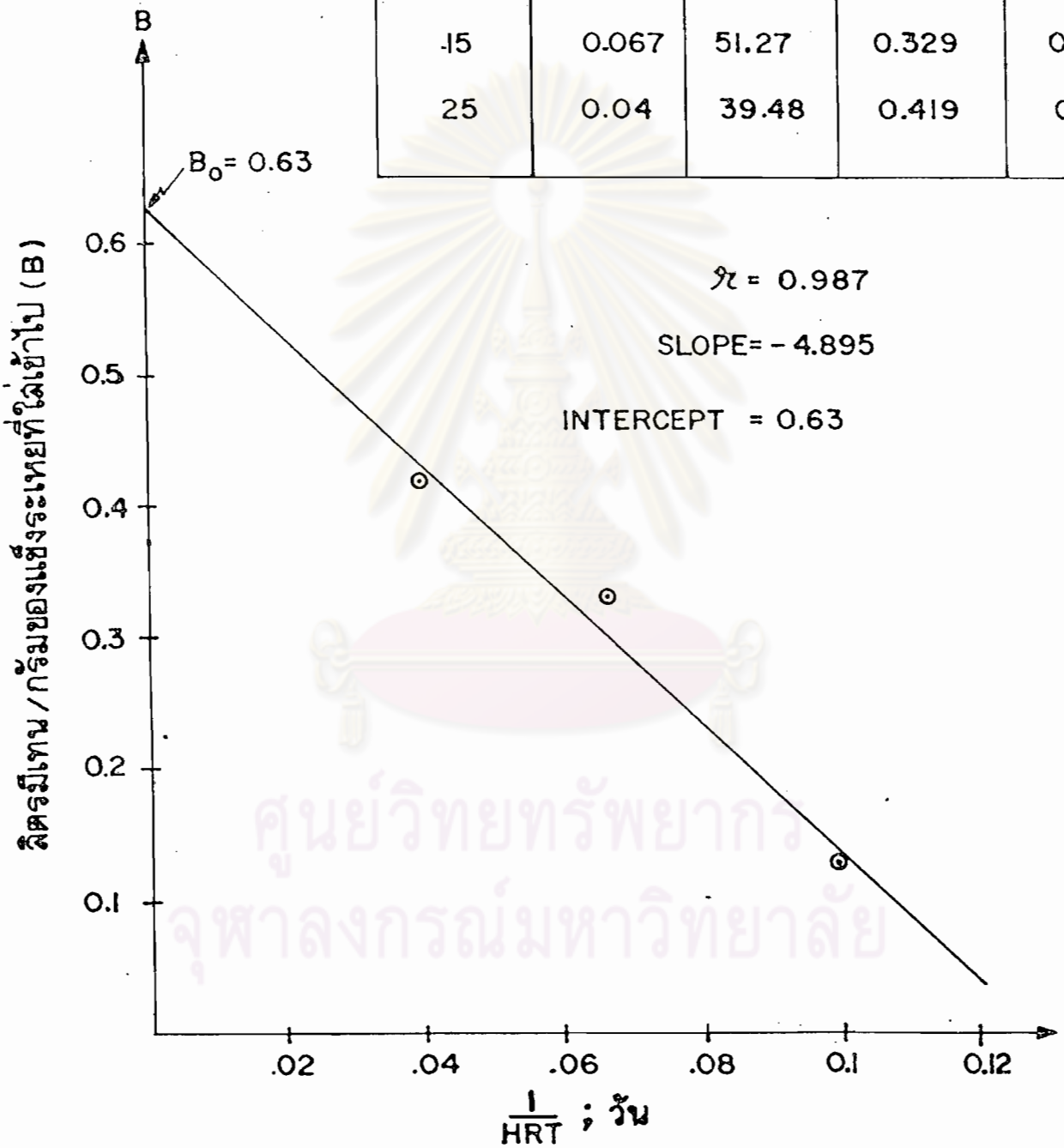
จากสมการที่ ๒๓

$$\theta = \theta_m + \theta_m K \left[B/(B_o - B) \right]$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง θ กับ $\frac{B}{B_o - B}$ จะเป็นเส้นตรงที่มีจุดตัดเท่ากับ θ_m และความลาดเท่ากับ $K\theta_m$ ดังแสดงในภาพที่ ๒๗ เพราะฉะนั้น สมการนี้จึงสามารถหาค่า μ_m และ K ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

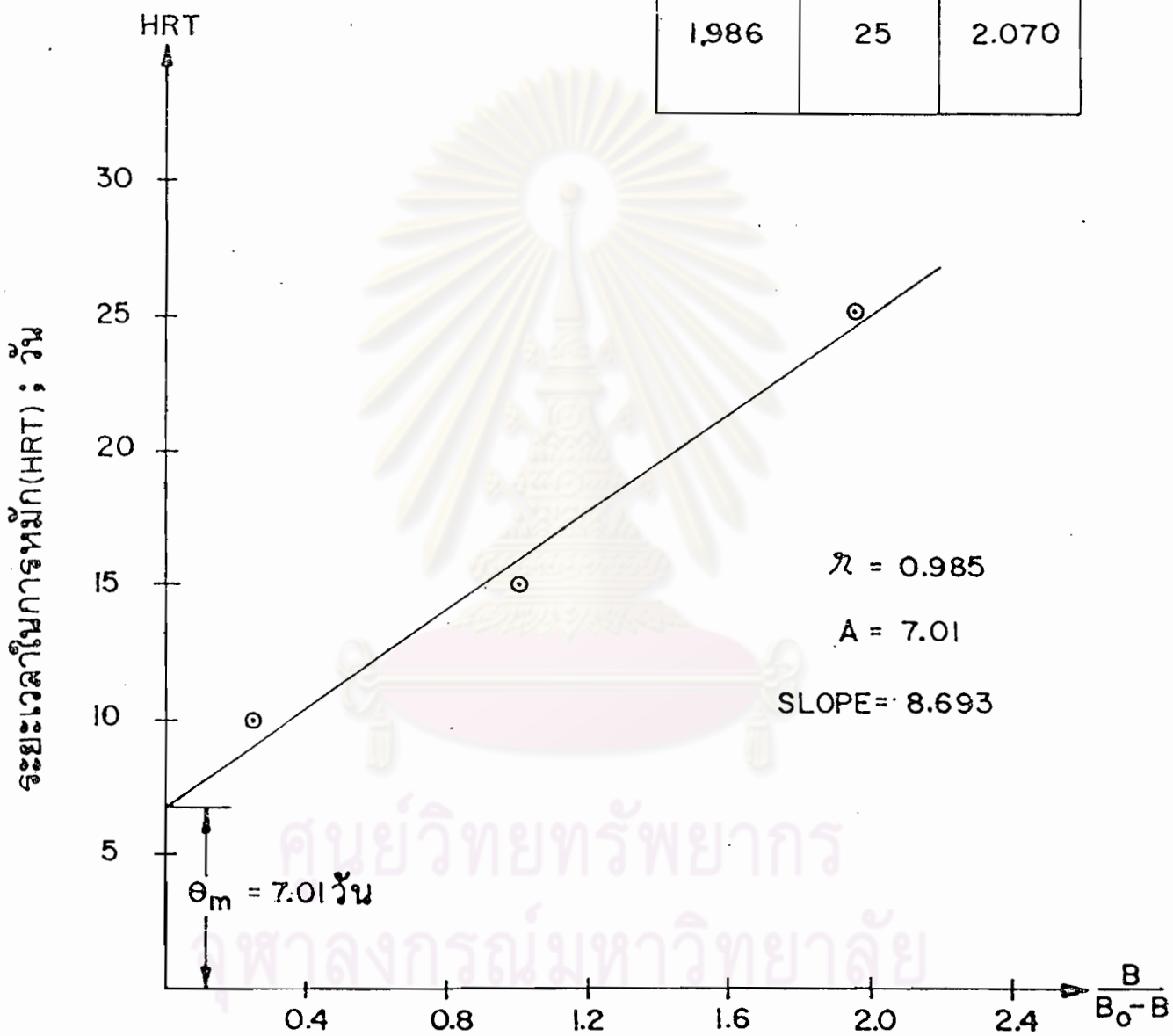
HRT	1/HRT	LCH_4/D	$LCH_4/G.VS(B)$	$(\hat{B})$
10	0.10	30.20	0.129	0.140
15	0.067	51.27	0.329	0.302
25	0.04	39.48	0.419	0.434



ภาพที่ ๒๖ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ $\frac{1}{HRT}$.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\left(\frac{B}{B_o - B}\right)$	Q	$\left(\frac{B}{B_o - B}\right)'$
0.255	10	0.344
1.093	15	0.920
1.986	25	2.070



ภาพที่ ๒๗ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ $\frac{B}{B_o - B}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพราะว่า B คือปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าสู่ระบบ ที่ระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (Volumetric methane production rate จะเป็น B เท่าของอัตราการโหลดดิ้ง (Loading rate)

จากสมการที่ ๒๔

$$\gamma_v = \frac{BS_{T_o}}{\theta} = \frac{B_o S_{T_o}}{\theta} \left[1 - \frac{K}{\theta/\theta_m - 1 + K} \right]$$

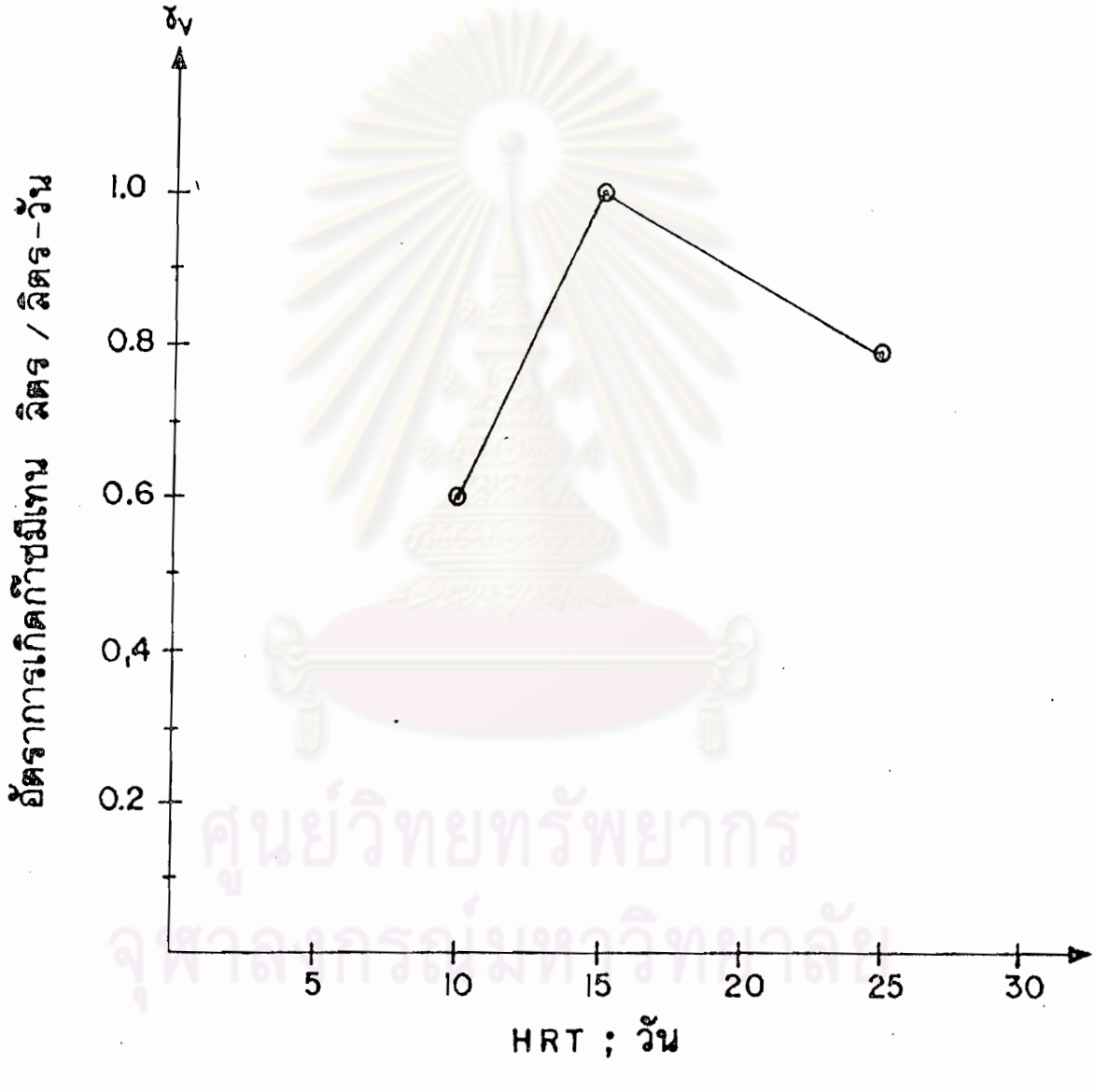
เมื่อแทนค่า $B_o = 0.63$, $S_{T_o} = 47$ gm/l, $K = 1.242$

$$\mu_m = 0.1424 \text{ day}^{-1}, \quad \theta_m = 7.01 \text{ days}$$

จะได้ค่า γ_v ดังนี้

HRT (day)	γ_v predict	γ_v Experiment	Ratio $\frac{\text{Predict}}{\text{Experiment}}$
10	0.759	0.604	1.26
15	1.028	1.025	1.00
25	0.798	0.790	1.01
			$\bar{X}$ = 1.09
			SD = $\pm$ 0.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๒๔ อัตราการเกิดมีเทนที่ระยะเวลาในการหมัก 10,15 และ 25 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๔

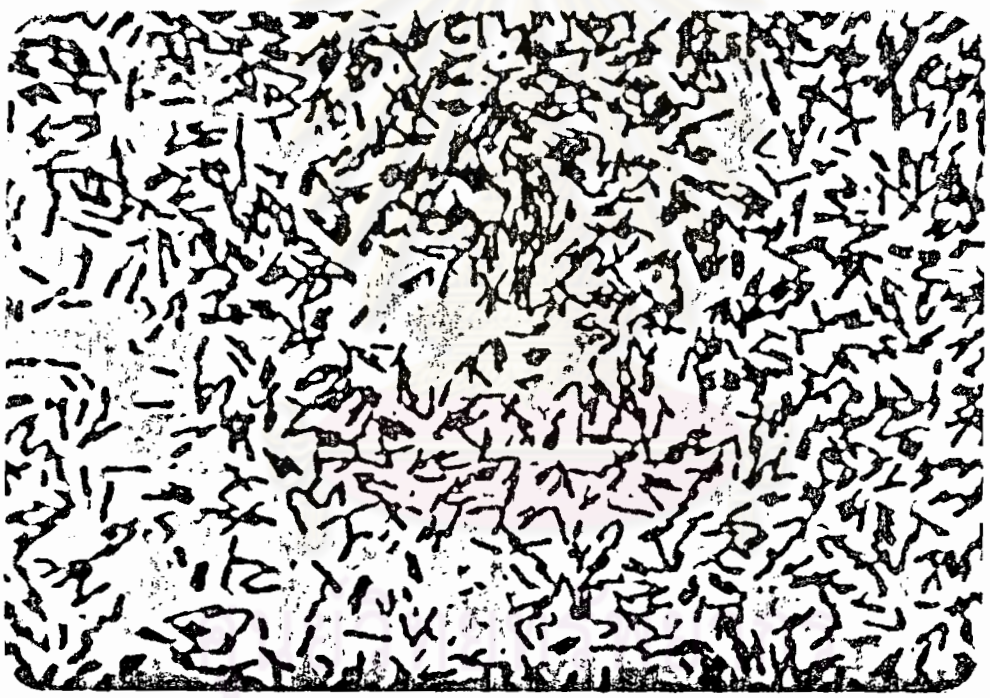
ค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ของการหมักยะแบบไร้ออกซิเจนที่ได้จากการทดลองมีดังนี้คือ

ค่าคงที่	ค่าตัวเลข
ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปที่ระยะเวลาในการหมักอนันต์ ($1CH_4/gm\ VS$ as $\theta \rightarrow \infty$); B_o	๐.๖๓ ลิตร/กรัม
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate) ของจุลชีพ; μ_m	๐.๑๔๓ วัน$^{-1}$
ระยะเวลาต่ำสุดที่แบคทีเรียจะอยู่ในระบบ (Minimum hydraulic retention time); θ_m	๗.๐๑ วัน
ค่าคงที่จลน์ศาสตร์ (Kinetic constant); K	๑.๒๔๒
อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (Volumetric methane production rate); γ_v ที่ HRT ๑๐ วัน	๐.๖๐๔ ลิตร/ลิตรถังหมัก-วัน
ที่ HRT ๑๕ วัน	๑.๐๒๕ ลิตร/ลิตรถังหมัก-วัน
ที่ HRT ๒๕ วัน	๐.๗๔๐ ลิตร/ลิตรถังหมัก-วัน

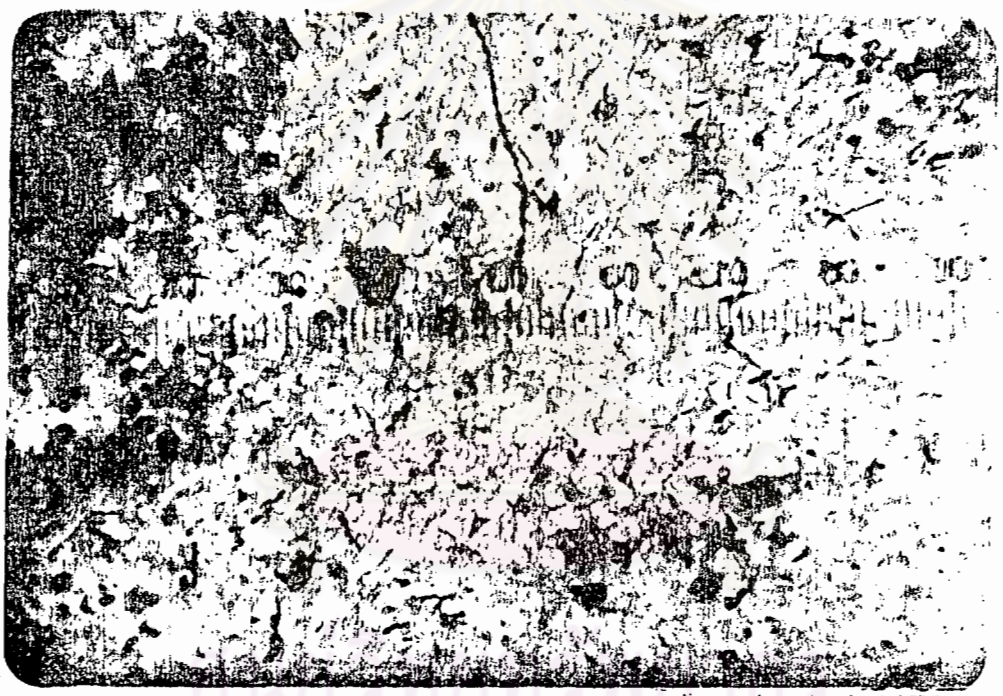
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๔.๔ แบคทีเรียที่พบในถังหมัก

ลักษณะรูปร่าง (Morphology) ของแบคทีเรียที่พบในถังหมักทั้งที่อุณหภูมิปรกติ (โดยเฉลี่ย ๒๗.๖ °c) และที่อุณหภูมิสูง (๕๐ ° c)นั้น เป็นพวก Bacilli คือเป็นเซลเดียวสั้น ๆ และ พวกที่ต่อกันเป็นเส้น (Long chain) ดังแสดงในภาพที่ ๒๙ และ ๓๐



ภาพที่ ๒๙ แบคทีเรียจากถังหมักที่อุณหภูมิปรกติ (เฉลี่ย ๒๗.๖ ° c) กำลังขยาย ๑๐๐ เท่า



ภาพที่ ๓๐ แบคทีเรียจากถังหมักที่อุณหภูมิสูง (๕๐ ° c) กำลังขยาย ๑๐๐ เท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย