บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

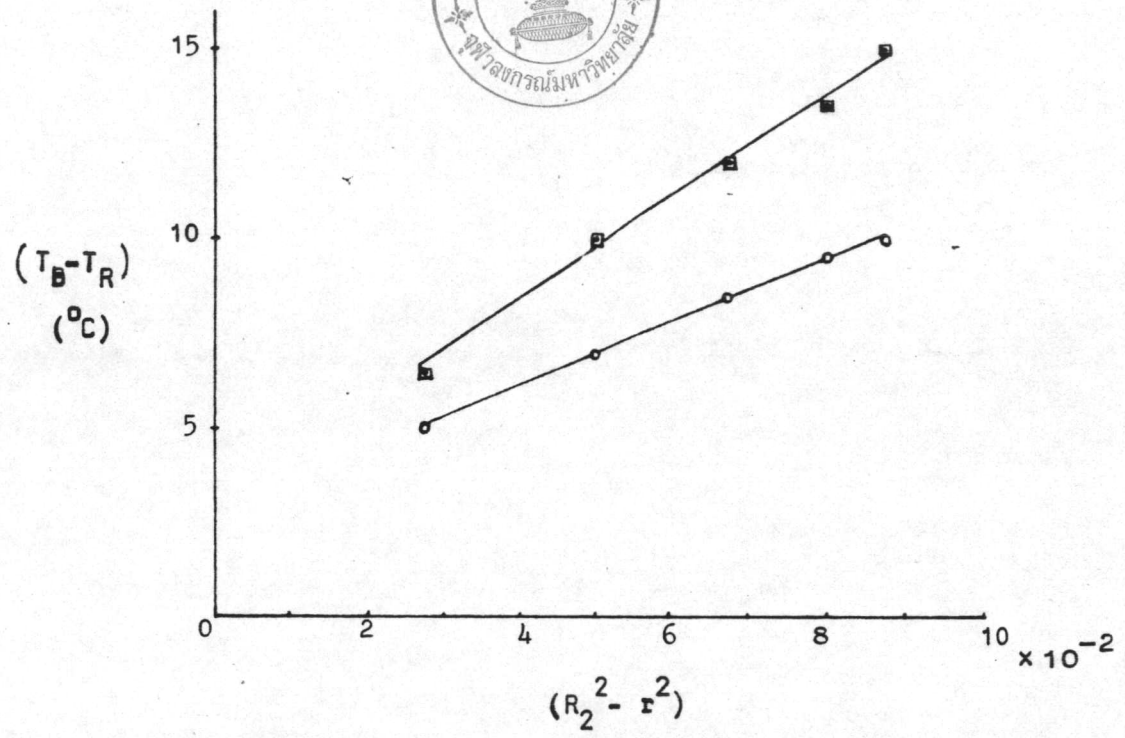
5.1 อัตราการผลิตความร้อนของจุลินทรีย์

ถ้าผลต่างของอุณหภูมิภายในชั้นฟางที่จุดต่าง ๆ ภายในเครื่องปฏิกรณ์ (T_B) กับอุณหภูมิห้อง (T_R) ที่วัดในการทดลองนั้น เป็นผลเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ตามแบบที่เสนอในหัวข้อ 2.2.3 ซึ่งแสดงผลของความสัมพันธ์ไว้ตามสมการที่ 2.2.3-3

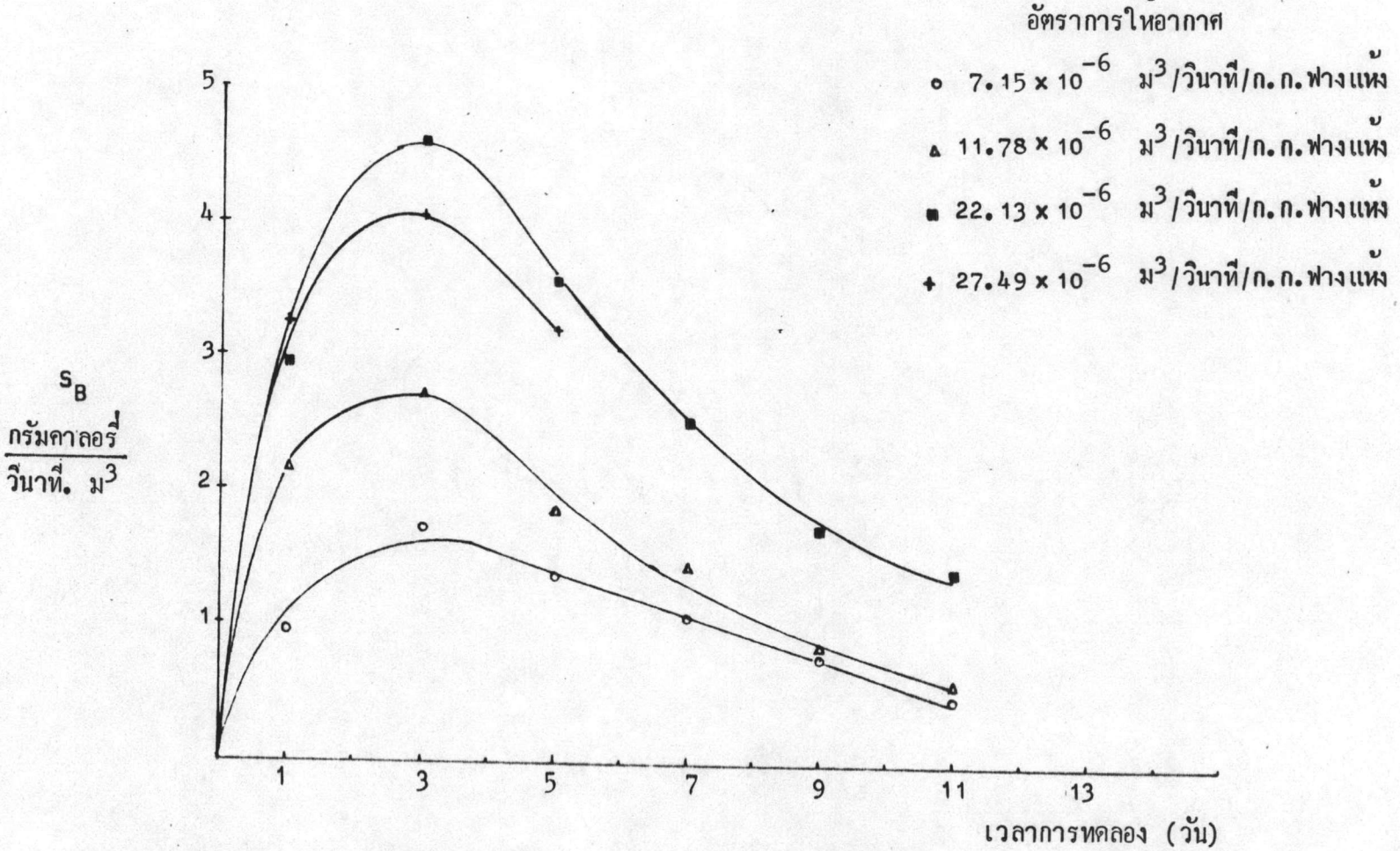
$$(T_B - T_R) = T_o + \frac{\pi h S_B}{C_p Q} \left(R_2^2 - r^2 \right)$$

ดังนั้น เมื่อนำผลการทดลองระหว่าง $(T_B - T_R)$ กับ $(R_2^2 - r^2)$ มาทำ **linear regression** จะได้สมการเส้นตรง และค่า **slope** ของเส้นตรงนั้นจะมีค่าเท่ากับ $\pi h S_B / C_p Q$ ซึ่งนำไปคำนวณหาอัตราการผลิตความร้อนของจุลินทรีย์ (S_B) ได้

ผลของความสัมพันธ์ระหว่าง $(T_B - T_R)$ กับ $(R_2^2 - r^2)$ จากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำ **linear regression** แล้วจะให้เป็นเส้นตรง แสดงว่าผลต่างของอุณหภูมิภายในชั้นของฟางภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ กับอุณหภูมิห้อง เป็นไปตามแบบที่เสนอในหัวข้อ 2.2.3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลต่างของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามเวลาการทดลองจนถึงวันที่ 3 ของการทดลอง หลังจากนั้นก็จะลดลง เรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตมีจำนวนมากขึ้น ดังนั้นก็จะมีผลทำให้อัตราการผลิตความร้อนของจุลินทรีย์ต่อหน่วยปริมาตรฟางข้าว (S_B) มีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะเริ่มตายลงไปทำให้การผลิตความร้อนลดลง ผลต่างของอุณหภูมิก็จะลดลง ผลของการคำนวณค่า S_B ที่เวลาต่าง ๆ ของการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าค่า S_B จะมีค่ามากขึ้นตามเวลาการทดลองจนถึงวันที่ 3 แล้วลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณการให้อากาศก็จะมีผลทำให้ S_B เพิ่มขึ้น และค่า S_B จะมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง เมื่อมีการให้อากาศด้วย



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของ $(T_B - T_R)$ กับ $(R_2^2 - r^2)$ เมื่อมีอัตราการให้อากาศเท่ากับ 7.15×10^{-6} $ม^3$/วินาที/(ก.ก.ฟางแห้ง) ในวันที่ 1 (o) และวันที่ 3 (□) ของการทดลอง (ในการทดลองอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน)



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของ S_B กับเวลาการทดลองเมื่อมีการให้อากาศในอัตราต่าง ๆ

อัตรา 22.13×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณการให้อากาศมากกว่านี้ก็จะไม่ทำให้ค่า S_B เพิ่มขึ้นมากกว่านี้ แต่จะทำให้ค่า S_B ลดลงมาเล็กน้อยด้วย

จากผลการทดลองนี้สามารถที่จะบอกได้ว่า อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้คือ 22.13×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง เมื่อฟางมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 80% ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมได้เต็มที่ เพราะมีอัตราการผลิตความร้อนสูงที่สุด

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า S_B ที่เวลาต่าง ๆ ของการทดลอง คำนวณจากสมการที่ 2.2.3-3

	อัตราการให้อากาศ							
เวลา	1		2		3		4	
(วัน)	slope	S_B	slope	S_B	slope	S_B	slope	S_B
1	84.7	0.59	116.0	2.15	91.4	2.97	78.6	3.25
2	138.0	1.68	133.0	2.71	132.0	4.60	91.8	0.06
5	105.0	1.35	87.4	1.84	94.7	3.56	67.5	3.20
7	77.6	1.05	65.9	1.47	62.2	2.48	-	-
9	52.3	0.74	35.6	0.84	40.4	1.69	-	-
11	28.9	0.44	23.5	0.57	32.9	1.41	-	-

หมายเหตุ 1. = 7.15×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

2. = 11.78×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

3. = 22.10×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

4. = 27.49×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

S_B มีหน่วยเป็น กรัม-คาลอรี/วินาที/m^3

5.2 การถ่ายเทมวลของออกซิเจนสู่จุลินทรีย์

สำหรับการย่อยสลายฟางข้าวโดยจุลินทรีย์ภายในเครื่องปฏิกรณ์นี้ จุลินทรีย์จะมีการใช้

ออกซิเจนจากอากาศที่ให้เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ ออกซิเจนจะถ่ายเทเข้าสู่ชั้นของจุลินทรีย์ ตามแบบที่เสนอในหัวข้อ 2.2.2 หลังจากเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีภายในตัวจุลินทรีย์แล้วก็จะกลายเป็นกาซคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยออกมาสู่กระแสอากาศที่ไหลผ่าน ถ้ากำหนดว่าปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปนั้นจะเท่ากับปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น

ในการทดลองได้วัดปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นมา เมื่อนำไปคำนวณหาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ความสัมพันธ์ของการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์แสดงโดยสมการที่ 2.2.2-10

$$F = \frac{C_{Ao}}{C_{Ai}} = \exp\left[k_S a_S \cdot \frac{\pi h (R_2^2 - R_1^2)}{Q} \right]$$

เมื่อ C_{Ao} = ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผิวสัมผัสตรงทางออก

C_{Ai} = ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผิวสัมผัสตรงทางเข้า

k_S = สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยพื้นที่ผิวสัมผัส

h = ความสูงของชั้นฟาง

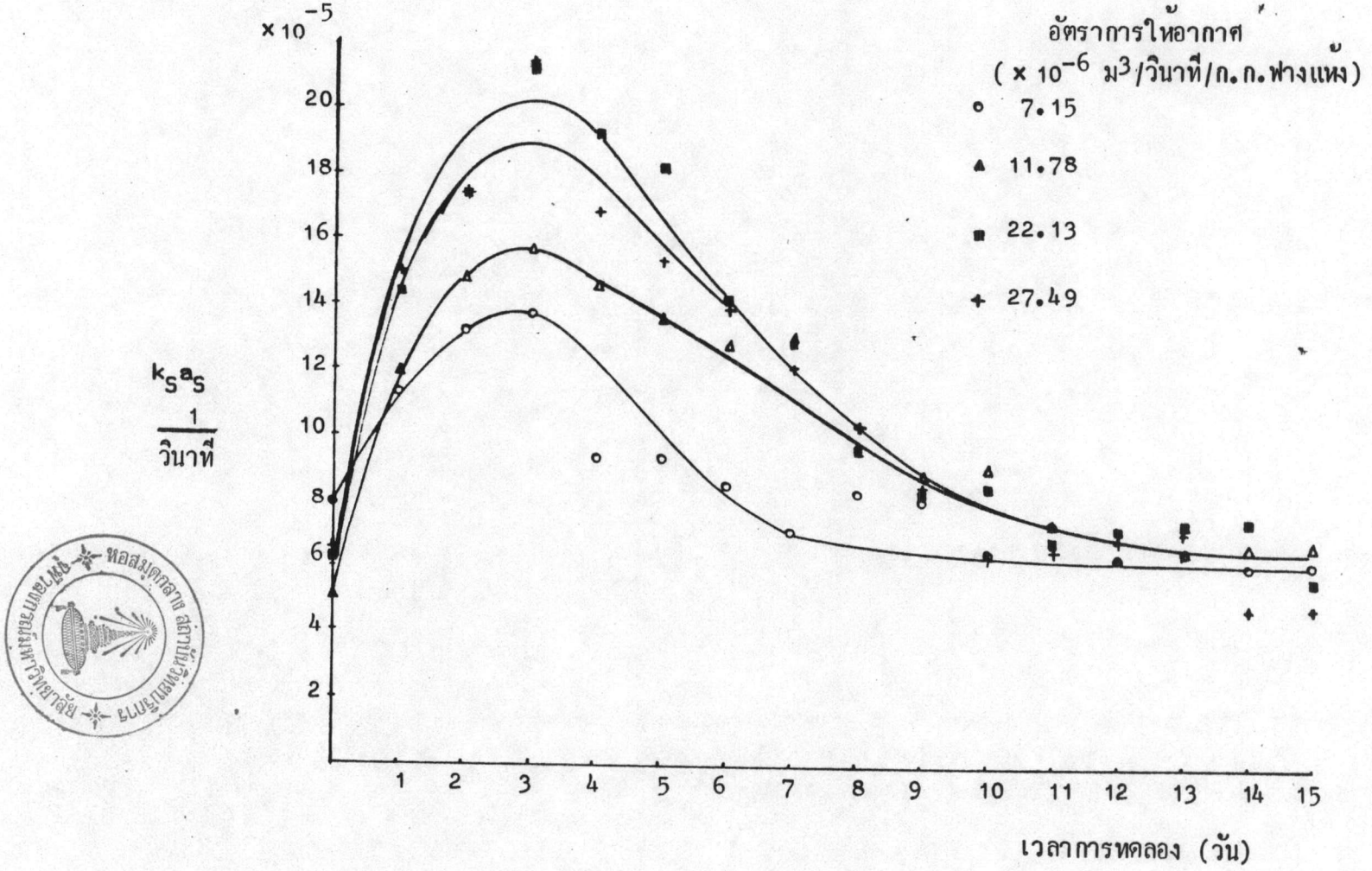
R_1, R_2 = รัศมีภายใน และ ภายนอกของชั้นฟาง

Q = อัตราปริมาตรการไหลของอากาศ

a_S = พื้นที่ผิวสัมผัสของจุลินทรีย์ต่อหน่วยปริมาตรของฟางข้าว

จากผลการทดลองทราบความเข้มข้นของออกซิเจนที่ทางเข้าและออก ปริมาตรของฟาง และ ปริมาณการไหลของอากาศ ทำให้สามารถคำนวณค่า $k_S a_S$ ซึ่งจะเรียกว่า ความถี่ในการถ่ายเทมวล เพราะมีหน่วยเป็น 1/วินาที (k_S มีหน่วยเป็น ม/วินาที และ a_S มีหน่วยเป็น $ม^2/ม^3$)

ค่า $k_S a_S$ จะบอกถึงการถ่ายเทมวลของออกซิเจนว่ามีมากหรือน้อย โดยที่ค่า $k_S a_S$ มีค่ามากก็หมายถึงมีการถ่ายเทมวลของออกซิเจนมากด้วย รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของ $k_S a_S$ กับเวลาการทดลอง เมื่อมีการให้อากาศในอัตราที่ต่างกัน จากรูปที่ 5.3 เมื่อเริ่มต้นการทดลองจะเห็นว่า ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลมีค่าใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 5-8 (เฉลี่ย 6.5)



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของ $k_S a_S$ กับเวลาการทดลองเมื่อมีการให้อากาศในอัตราต่าง ๆ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า $k_S a_S$ ที่เวลาต่าง ๆ ของการทดลอง คำนวณจากสมการที่ 2.2.2-10

เวลา (วัน)	อัตราการไหลของอากาศ							
	1		2		3		4	
	-ln F	$k_S a_{S_5} \times 10^5$	-ln F	$k_S a_{S_5} \times 10^5$	-ln F	$k_S a_{S_5} \times 10^5$	-ln F	$k_S a_{S_5} \times 10^5$
0	0.18	8.0	0.07	5.1	0.05	6.3	0.04	6.5
1	0.25	11.3	0.16	12.0	0.11	14.4	0.09	15.0
2	0.28	13.2	0.19	14.8	0.13	17.4	0.10	17.3
3	0.28	13.7	0.19	15.7	0.15	21.1	0.12	21.4
4	0.19	9.4	0.17	14.6	0.13	19.2	0.09	16.8
5	0.18	9.4	0.15	13.6	0.12	18.2	0.08	15.3
6	0.16	8.6	0.14	12.8	0.09	14.1	0.07	13.9
7	0.13	7.1	0.14	13.1	0.08	12.9	0.06	12.1
8	0.15	8.4	0.10	9.7	0.06	9.8	0.05	10.3
9	0.14	8.1	0.08	8.0	0.05	8.4	0.04	8.5
10	0.11	6.5	0.09	9.2	0.05	8.6	0.03	6.4
11	0.12	7.4	0.07	7.4	0.04	6.9	0.03	6.6
12	0.10	6.4	0.06	6.4	0.04	7.2	0.03	6.9
13	0.10	6.6	0.06	6.5	0.04	7.4	0.03	7.1
14	0.09	6.1	0.06	6.7	0.04	7.5	0.02	4.8
15	0.09	6.2	0.06	6.8	0.03	5.7	0.02	4.9

หมายเหตุ 1. = 7.15×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

2. = 11.78×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

3. = 22.13×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

4. = 27.49×10^{-6} m^3/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง

$\times 10^{-5}$ หน่วยต่อวินาที เมื่อเวลาการทดลองผ่านไป ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลจะเพิ่มขึ้น และจะสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลองเหมือนกัน แต่จะต่างกันที่อัตราการเพิ่มโดยที่เมื่อมีอัตราการให้อากาศสูงขึ้น การเพิ่มความถี่ในการถ่ายเทมวลมีมากขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่อมีอัตราการให้อากาศเท่ากับ 22.13×10^{-6} $ม^3$/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลสูงสุดมีค่าเท่ากับ 21×10^{-5} หน่วยต่อวินาที ในวันที่ 3 ของการทดลอง ถึงแม้ว่าจะมีการให้อากาศในอัตราที่สูงขึ้นก็ไม่ทำให้ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลเพิ่มมากขึ้นไปกว่านี้ หลังจากวันที่ 3 ของการทดลองแล้ว ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลก็จะลดลงเหมือนกันหมดในทุกการทดลอง โดยที่ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลสูงลดลงเร็วกว่าในการทดลองที่ค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลต่ำกว่า และประมาณวันที่ 10 ของการทดลองจะเห็นว่าค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลจะมีค่าใกล้เคียงกันอีกครั้งหนึ่ง (มีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.8×10^{-5} หน่วยต่อวินาที) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

การเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลนี้มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์ ภายในเครื่องปฏิกรณ์ขณะที่มีการย่อยสลาย คือ เมื่อเริ่มต้นการทดลองนั้นมีจุลินทรีย์อยู่จำนวนหนึ่งที่พร้อมที่จะดำเนินกิจกรรมเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมภายในเครื่องปฏิกรณ์ก็จะมีการใช้ออกซิเจนจากอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีเพื่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุใช้เป็นอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของตัวจุลินทรีย์เอง ดังนั้นในตอนเริ่มต้นการทดลองจึงมีค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลใกล้เคียงกัน เพราะปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ภายในฟางนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ต่อมาจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต ทำให้มีการถ่ายเทมวลของออกซิเจนมากขึ้น แต่จะมีการเจริญเติบโตในอัตราที่ต่างกัน เนื่องมาจากความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมต่างกัน ในการทดลองนี้สภาวะที่ต่างกันนั้นคือ อัตราการให้อากาศ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเมื่อดูจากผลการทดลองแล้วจะเห็นว่า เมื่อมีการให้อากาศในอัตราที่สูงขึ้น ก็จะมีความถี่ในการถ่ายเทมวลเพิ่มมากกว่าเมื่อมีการให้อากาศในอัตราที่ต่ำ แสดงว่า การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีการให้อากาศสูงขึ้นนั้นจะดีกว่า แต่ก็มีค่าจำกัด เพราะเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแล้ว การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นอีกแล้ว ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลแล้วก็พอที่จะบอกได้ว่า อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมที่สุดนั้นควรจะเป็น 22.13×10^{-6} $ม^3$/วินาที/ก.ก. ฟางแห้ง เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีที่สุด

หลังจากที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตถึงที่สุดแล้วก็จะมีการตายทำให้การใช้ออกซิเจนลดลงไปด้วย ค่าความถี่ของการถ่ายเทมวลก็ลดลง ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วก็จะเห็นได้ว่า การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในเครื่องปฏิกรณ์นี้จะเพิ่มขึ้นถึงวันที่ 3 ของการทดลอง ไม่ว่าจะมีอัตราการให้อากาศอย่างไรก็ตาม หลังจากวันที่ 3 แล้วก็จะเริ่มตายไปเหมือนกันหมดทุกการทดลอง ในการทดลองจะเห็นได้ว่าภายหลังจากวันที่ 10 ของการทดลองไปแล้วจะมีค่าความถี่ในการถ่ายเทมวลใกล้เคียงกัน ซึ่งก็แสดงว่ามีจำนวนของจุลินทรีย์ที่อยู่รอดเพื่อดำเนินกิจกรรมต่อไปอีกใกล้เคียงกัน และไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการให้อากาศอีกแล้ว

5.3 ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability) ของฟางข้าว

ในการไหลของอากาศผ่านชั้นของฟางนี้ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของฟางจะเป็นตัวกำหนดปริมาณการไหลของอากาศ เมื่อผลต่างของความดันระหว่างชั้นฟางมีค่าคงที่ ตามสมการที่ 2.2.1-32

$$Q = \frac{\pi R^2 k}{\mu L(1+m)} \left(\frac{P_1^{1+m}}{P_2^{m}} - P_2 \right)$$

k = ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability) ของฟางข้าว

ผลการทดลองหาค่าความสามารถในการซึมผ่านได้เมื่อฟางมีความหนาแน่นต่าง ๆ และความชื้นต่างกัน ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 นั้น เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กันจะได้ตามรูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ กับ ค่าความหนาแน่นของชั้นฟาง เมื่อมีความชื้นต่างกัน ในรูปของกราฟ log-log ซึ่งจะเห็นว่าเป็นเส้นตรงในกราฟ log-log และมีแนวโน้มที่จะมี slope ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงทดลองนำข้อมูลของความหนาแน่นของฟางที่คิดเป็น น.น.ฟางแห้งต่อหน่วยปริมาตรมาสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ ผลของความสัมพันธ์แสดงอยู่ในรูป 5.5 เป็นการแสดงค่าความหนาแน่นของฟางที่คิดโดย น.น.แห้ง กับค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ ในกราฟ log-log ซึ่งนำข้อมูลไปทำ least squre fit ในรูปของสมการ

$$k = a(\rho_B)^b$$

เมื่อ k = ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้

a, b = ค่าคงที่

ρ_B = ค่าความหนาแน่นของฟาง เมื่อคิดโดยน้ำหนักแห้ง

ซึ่งสมการนี้จะให้เป็นเส้นตรงในกราฟ log-log ผลจากการคำนวณจะได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ

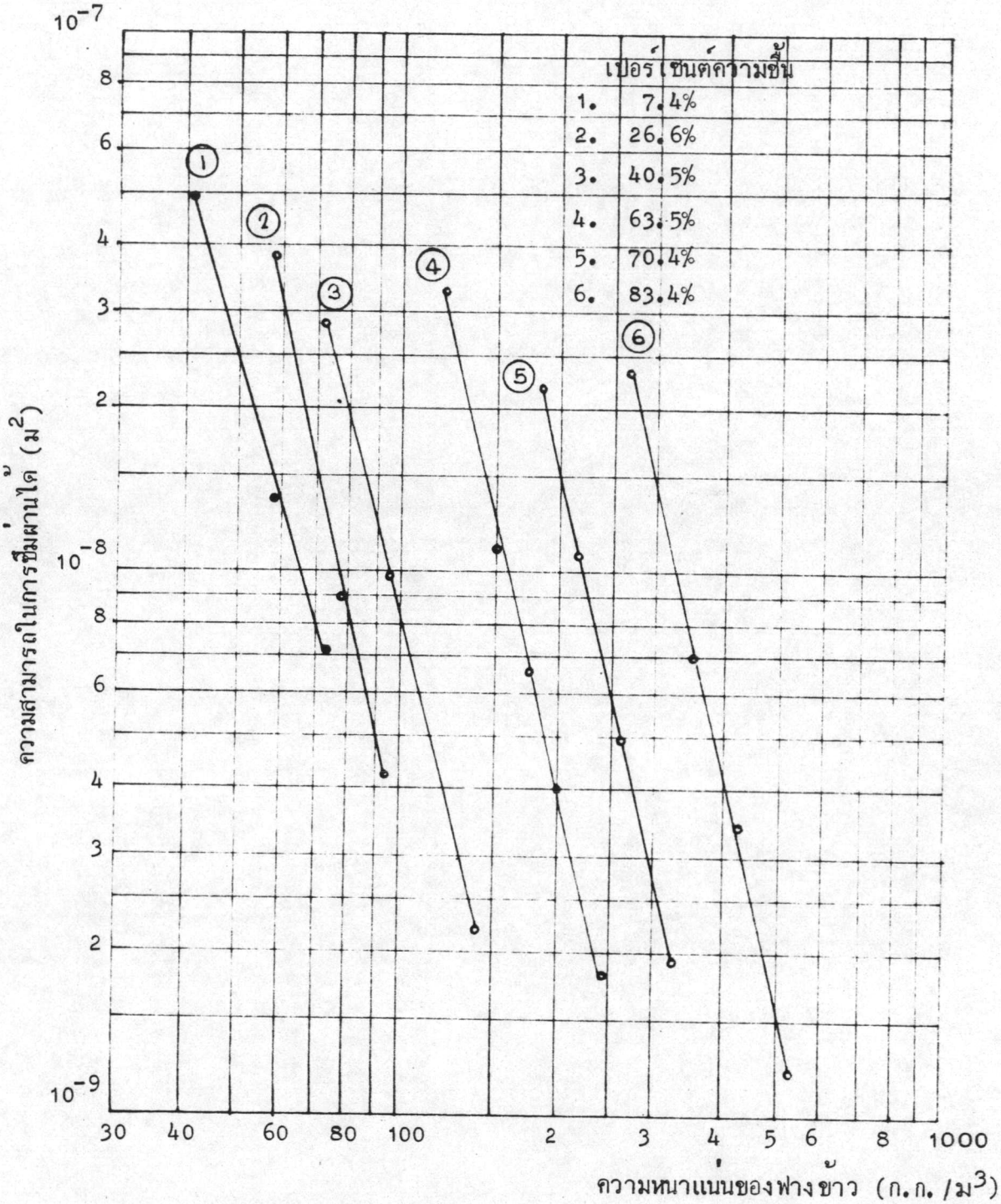
$$k = 0.05 (\rho_B)^{-3.76}$$

เส้นทึบในรูปที่ 5.5 แสดงผลของการคำนวณตามสมการข้างบน ซึ่งจะใช้ได้ในช่วงความชื้นของฟางประมาณ 10-80% และความหนาแน่นของฟางที่คิดโดยน้ำหนักแห้งได้ในช่วง 40-90 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้จะอยู่ในช่วง 5.0×10^{-7} ม^2 ถึง 2.2×10^{-9} ม^2

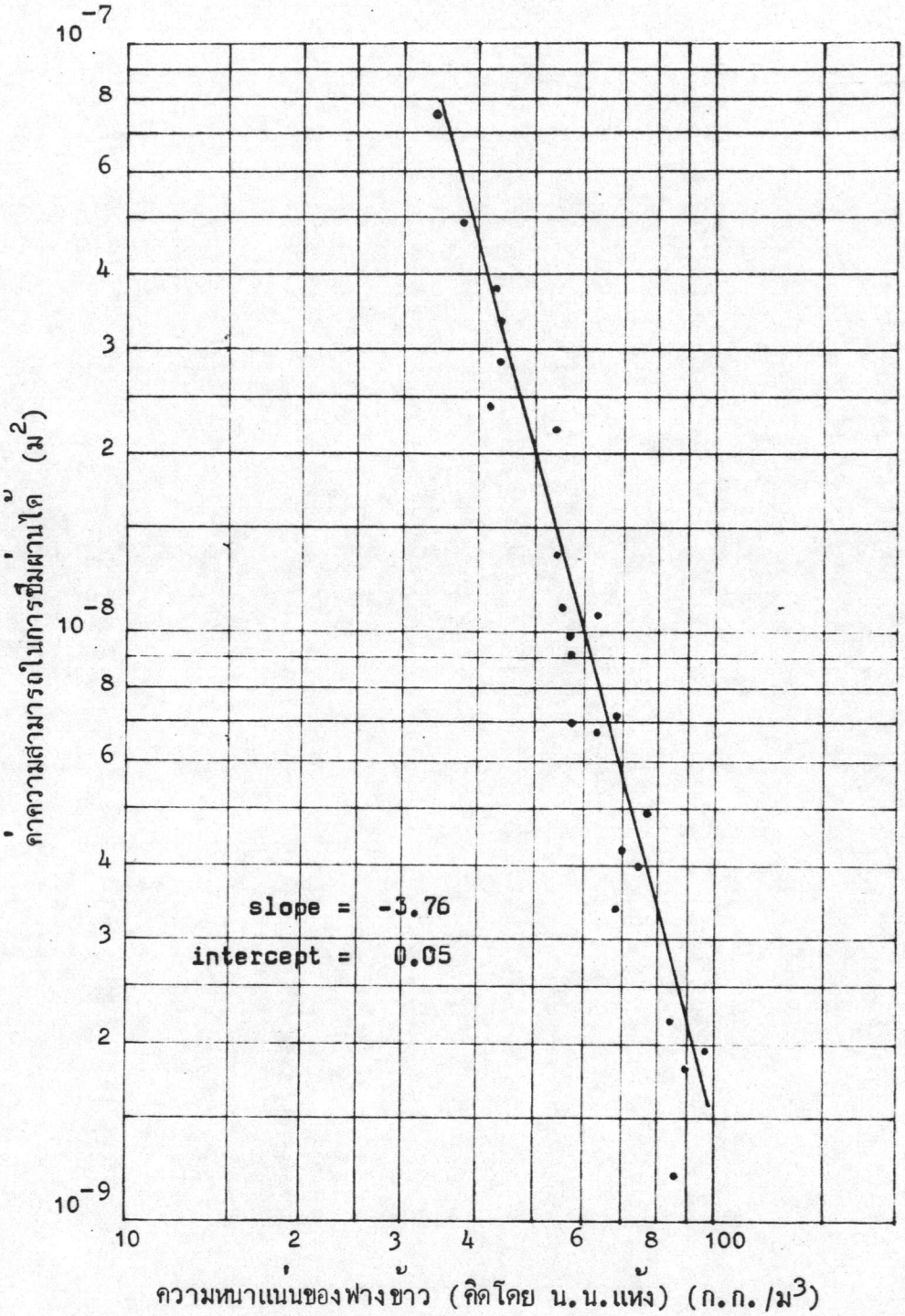
จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความหนาแน่นของฟางข้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ลดลง และจากผลนี้จะแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นในช่วง 10-80% นี้จะไม่มีผลต่อค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของฟางข้าว

5.4 ผลการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้น

การย่อยสลายฟางข้าวภายในเครื่องปฏิกรณ์นี้ได้ใช้ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นสิ่งที่บอกถึงผลการย่อยสลาย จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.3 นั้น แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ตามระยะเวลาการทดลอง ซึ่งมีลักษณะของการลด C/N นี้เหมือนกันในทุกการทดลอง และให้ผลสุดท้ายไม่แตกต่างกันมาก พอที่จะวิจารณ์ได้อย่างชัดเจน แต่ผลการทดลองนี้ก็เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีการทดลองของ C/N อย่างรวดเร็วในระยะเวลา 7 วันแรก และหลังจากนั้นก็ลดลงอีกเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อนำผลการทดลองอื่นมาประกอบการพิจารณาด้วย คือการใช้ออกซิเจน หรือการผลิตกาซคาร์บอนไดออกไซด์จะเห็นได้ว่าหลังจากวันที่ 7 ไปแล้วจะมีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ซึ่งหมายถึงมีการใช้ออกซิเจนน้อยแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการให้อากาศในปริมาณที่สูงก็ได้ ดังนั้นจึงสามารถนำฟางออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ได้แล้ว ปล่อยให้เกิดการย่อยสลายต่อไปภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ก็ได้



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของฟางข้าวกับความหนาแน่นของฟางที่ความชื้นต่าง ๆ



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของฟางข้าว กับความหนาแน่นของฟางข้าวที่คิดโดย น.น.แห้ง

เมื่อเกิดการย่อยสลายนั้นความชื้นภายในชั้นฟางจะสูงขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น (ผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.4) แสดงให้เห็นว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้สามารถควบคุมความชื้นได้ดีที่ความชื้นประมาณ 79-80% และผลของความหนาแน่นของฟางในเครื่องปฏิกรณ์ เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองในระยะ 15 วันนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก (ผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.5) แสดงให้เห็นว่าผลของการลดปริมาตรของฟางในขณะที่มีการย่อยสลายนั้นมิได้เกิดจากการที่ฟางแปรสภาพไปของฟางอย่างเดียว แต่เกี่ยวข้องกับการหายไปของคาร์บอนในฟางที่สูญเสียออกไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่ระเหยออกไปกับอากาศด้วย

ในสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์นี้คือ ความชื้นของฟางเริ่มต้น 80% และมีการให้อากาศประมาณ 22×10^{-6} $ม^3$/วินาที/ก.ก.ฟางแห้ง ผลการทดลองย่อยสลายฟางข้าวโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันพอที่จะวิจารณ์ได้ เพราะผลการทดลองทุกอย่างมีลักษณะเหมือนกันและค่าใกล้เคียงกัน