

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตรึงรูปป่าเปียกและนิเวศบนทราย

##### 4.1.1 ศึกษาความเร็วรอบของเครื่องเขย่าและเวลาที่เหมาะสมในการตรึงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.1.1 แปรความเร็วรอบของเครื่องเขย่า 4 ระดับ คือ 100, 200, 300 และ 400 รอบ/นาที และเวลาที่ใช้ในการตรึงรูป 4 ระดับคือ 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล พบว่าทั้งความเร็วของเครื่องเขย่า และเวลาที่ใช้ในการตรึงรูป มีผลต่อแอกติวิตีของเอนไซม์ตรึงรูปที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's new multiple range test จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องเขย่า 200 รอบ/นาที เวลาในการตรึงรูป 90 นาที จะให้แอกติวิตีของเอนไซม์ตรึงรูปสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากที่เวลา 120 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตรึงรูปเอนไซม์ต่อไปจะใช้ความเร็วในการเขย่า 200 รอบ/นาที และเวลาที่ใช้ในการตรึงรูป นาน 90 นาที

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของนิวเตรสตรังรูปบนทรายเมื่อใช้ความเร็วรอบของเครื่องเขย่า และเวลาที่ใช้ในการตรังรูปต่าง ๆ

ความเร็วรอบของเครื่องเขย่า (รอบ/นาที)	เวลาที่ใช้ในการตรังรูป (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรังรูป (ยูนิต)
100	30	23.34 <sup>f</sup>
	60	27.00 <sup>e</sup>
	90	31.75 <sup>d</sup>
	120	32.25 <sup>cd</sup>
200	30	35.38 <sup>c</sup>
	60	36.96 <sup>b</sup>
	90	42.87 <sup>a</sup>
	120	39.74 <sup>a</sup>
300	30	16.93 <sup>g</sup>
	60	19.15 <sup>g</sup>
	90	22.13 <sup>fg</sup>
	120	24.20 <sup>ef</sup>

ความเร็วรอบของเครื่องเขย่า (รอบ/นาที)	เวลาที่ใช้ในการตรึงรูป (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป (ยูนิต)
400	30	19.68 <sup>g</sup>
	60	30.51 <sup>d</sup>
	90	30.36 <sup>de</sup>
	120	35.50 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของนิวเตรสตรึงรูปบนทราย  
ที่ความเร็วรอบของเครื่องเขย่าและเวลาที่ใช้ในการตรึงรูปต่าง ๆ

ปัจจัย	df	SS	MS	F
ความเร็วรอบ (A)	3	1500.5	500.17	172.03 <sup>**</sup>
เวลาในการตรึงรูป (B)	3	415.12	138.37	47.59 <sup>**</sup>
ปัจจัยร่วม	9	104.97	11.66	4.01 <sup>**</sup>
ERROR	16	46.92	2.91	

<sup>\*\*</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

#### 4.1.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสและกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูป

##### 4.1.2.1 ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสและกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสมในการตรึงรูปปลาเป็นบนทราย

จากการทดลองข้อ 3.3.1.2 แปรความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอส 6 ระดับคือ ร้อยละ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 โดยปริมาตร และแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ 6 ระดับคือ ร้อยละ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 โดยปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล พบว่าทั้งความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอส และกลูตารัลดีไฮด์มีผลต่อแอกติวิตีของปลาเป็นตรึงรูปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบ Duncan's new multiple range test จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสร้อยละ 3 และกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 9 ให้ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของปลาเป็นตรึงรูปสูงสุด แต่ไม่แตกต่างจากที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสร้อยละ 3 และกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ประหยัด และให้แอกติวิตีของปลาเป็นตรึงรูปสูงสุด คือใช้ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสร้อยละ 3 และกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 7 โดยปริมาตร

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของป่าเปเนตริงรูปบนทราย เมื่อใช้สารละลายเอพิตีเอส และกลูตารัลดีไฮด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป (ยูนิต)
0	0	14.63 <sup>jk</sup>
	1	14.30 <sup>k</sup>
	3	5.86 <sup>n</sup>
	5	5.33 <sup>o</sup>
	7	5.70 <sup>n</sup>
	9	5.22 <sup>o</sup>
1	0	7.01 <sup>n</sup>
	1	21.18 <sup>de</sup>
	3	21.23 <sup>d</sup>
	5	22.30 <sup>c</sup>
	7	22.15 <sup>cd</sup>
	9	23.27 <sup>b</sup>

ความเข้มข้นของสารละลาย เอพิทีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลาย กลูตารัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป (ยูนิต)
3	0	5.37 <sup>no</sup>
	1	16.54 <sup>h</sup>
	3	23.79 <sup>b</sup>
	5	23.11 <sup>bc</sup>
	7	24.56 <sup>ab</sup>
	9	25.41 <sup>a</sup>
5	0	5.61 <sup>n</sup>
	1	16.71 <sup>gh</sup>
	3	16.32 <sup>hi</sup>
	5	17.15 <sup>fg</sup>
	7	16.45 <sup>h</sup>
	9	16.01 <sup>ij</sup>
7	0	4.78 <sup>o</sup>
	1	16.56 <sup>h</sup>
	3	18.57 <sup>e</sup>
	5	18.18 <sup>e</sup>
	7	18.97 <sup>e</sup>
	9	18.09 <sup>ef</sup>

ความเข้มข้นของสารละลาย เอพิตีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลาย กลูตารัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ทรงรูป (ยูนิต)
9	0	5.64 <sup>n</sup>
	1	16.05 <sup>i</sup>
	3	11.65 <sup>m</sup>
	5	11.73 <sup>m</sup>
	7	12.90 <sup>l</sup>
	9	13.58 <sup>kl</sup>

หมายเหตุ a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของปลาแปนตริงรูปบนทราายที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสและกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปัจจัย	df	SS	MS	F
สารละลายเอพิตีเอส (A)	5	1151.25	230.25	426.53 <sup>**</sup>
สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (B)	5	899.18	179.84	333.14 <sup>**</sup>
ปัจจัยร่วม	25	917.47	36.70	67.98 <sup>**</sup>
ERROR	36	19.43	0.54	

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

#### 4.1.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายเอพี้ทีเอสและกลูตารัลดีไฮด์ที่

##### เหมาะสมในการตรึงรูปนิวเตรสบนทราย

จากการทดลองข้อ 3.3.1.2 แปรความเข้มข้นของสารละลายเอพี้ทีเอส 6 ระดับคือ ร้อยละ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 โดยปริมาตร และแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ 6 ระดับคือ ร้อยละ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 โดยปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล พบว่าทั้งความเข้มข้นของสารละลายเอพี้ทีเอส และกลูตารัลดีไฮด์มีผลต่อแอกติวิตีของนิวเตรสตรึงรูปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบ Duncan's new multiple range test จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพี้ทีเอส ร้อยละ 0 และกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 1 ให้ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของนิวเตรสตรึงรูปสูงสุด แต่ไม่แตกต่างจากที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพี้ทีเอสร้อยละ 0 และ 1 และสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 0 และ 5 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นการพิจารณาเลือกภาวะในการตรึงรูป จึงต้องทดลองเพิ่มโดยทดสอบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวของนิวเตรสตรึงรูปบนทราย



ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของนิวเตรลตรงรูปบนทราย เมื่อใช้สารละลายเอพิตีเอส และกลูตารัลดีไฮด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรงรูป (ยูนิต)
0	0	46.49 <sup>a</sup>
	1	47.04 <sup>a</sup>
	3	36.68 <sup>e</sup>
	5	39.45 <sup>c</sup>
	7	41.95 <sup>b</sup>
	9	39.33 <sup>c</sup>
1	0	32.12 <sup>e</sup>
	1	35.24 <sup>ij</sup>
	3	39.96 <sup>c</sup>
	5	44.39 <sup>ab</sup>
	7	40.38 <sup>c</sup>
	9	41.44 <sup>bc</sup>

ความเข้มข้นของสารละลาย เอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลาย กลูตาไรลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอสติวิตี/กรัม เอทิลแอลกอฮอล์ (ยูนิต)
3	0	32.04 <sup>l</sup>
	1	35.41 <sup>hi</sup>
	3	37.18 <sup>e</sup>
	5	36.34 <sup>fg</sup>
	7	36.81 <sup>e</sup>
	9	37.90 <sup>de</sup>
5	0	33.81 <sup>ki</sup>
	1	36.08 <sup>g</sup>
	3	38.23 <sup>d</sup>
	5	36.76 <sup>e</sup>
	7	36.54 <sup>e</sup>
	9	40.56 <sup>c</sup>
7	0	36.00 <sup>h</sup>
	1	36.46 <sup>ef</sup>
	3	36.37 <sup>f</sup>
	5	36.67 <sup>e</sup>
	7	35.12 <sup>jk</sup>
	9	39.28 <sup>cd</sup>

ความเข้มข้นของสารละลาย เอพิตีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของสารละลาย กลูตารัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป (ยูนิต)
9	0	39.92 <sup>c</sup>
	1	35.46 <sup>h</sup>
	3	40.47 <sup>c</sup>
	5	38.14 <sup>d</sup>
	7	36.38 <sup>f</sup>
	9	38.32 <sup>d</sup>

หมายเหตุ a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของนิวเตรสตรึงรูปบนทรายที่ความเข้มข้นของสารละลายเอพิตีเอสและกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปัจจัย	df	SS	MS	F
สารละลายเอพิตีเอส (A)	5	269.75	53.95	11.04 <sup>**</sup>
สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (B)	5	51.75	10.35	2.12
ปัจจัยร่วม	25	473.68	18.95	3.88 <sup>**</sup>
ERROR	36	175.95	4.89	

<sup>\*\*</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

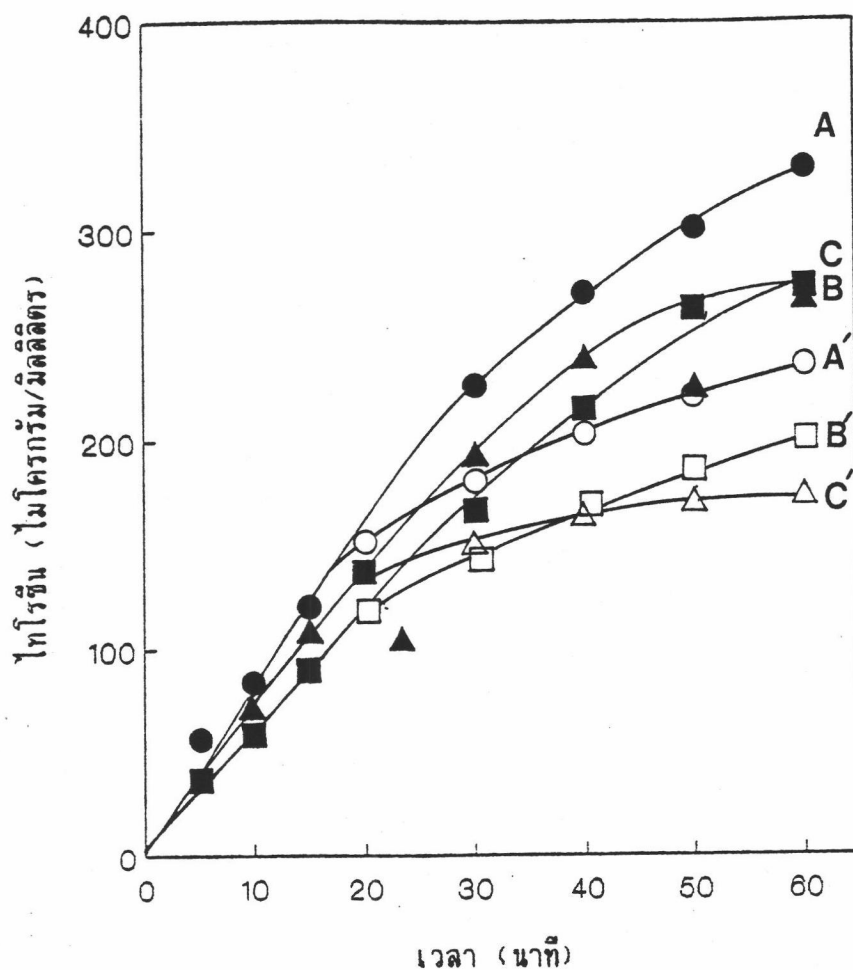
#### 4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวของนิวเตรสบนทราย

จากการทดลองข้อ 3.3.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวของนิวเตรสบนทราย ซึ่งเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายเอพิทีเอสร้อยละ 0, 0 และ 1 โดยปริมาตร และความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 0, 1 และ 5 โดยปริมาตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 พิจารณารูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อแยกนิวเตรสตรังรูปออกจากตัวพุงที่เวลา 20 นาที ปริมาณไทโรซินยังคงเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายด้วยนิวเตรสอิสระที่หลุดออกจากตัวพุง เปรียบเทียบปริมาณไทโรซินที่เกิดขึ้นต่อเวลาโดยพิจารณาความชันของกราฟ A', B' และ C' ในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.50, 2.61 และ 0.45 ไมโครกรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup> นาที<sup>-1</sup> ตามลำดับ จะเห็นว่ากราฟ C' มีความชันน้อยที่สุด นั่นคือการตรึงรูปโดยใช้สารละลายเอพิทีเอสความเข้มข้นร้อยละ 1 และกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นภาวะที่เอนไซม์มีประสิทธิภาพในการเกาะเกี่ยวบนตัวพุงดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกภาวะนี้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบแอกติวิตีของนิวเตรสตรงรูปบนทรายที่ภาวะเอพืทีเอสและ  
กลุ่ตารัลดีไอดีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยพิจารณาการหลุดของเอนไซม์  
จากตัวบุงขณะทำปฏิกิริยา

ความเข้มข้น สารละลาย เอพืทีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น สารละลาย กลุ่ตารัลดีไอดี (ร้อยละ)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี (ไมโครกรัม- ไทโรซีนต่อกรัมเอนไซม์ตรงรูป)	
			ตรงรูป	อิสระ
1	5	5	33.38	-
		10	70.50	-
		15	104.51	-
		20	134.26	134.26
		30	188.57	147.33
		40	234.36	161.51
		50	217.93	167.76
0	0	60	263.53	170.56
		5	53.56	-
		10	80.84	-
		15	117.44	-
		20	149.13	149.13
		30	221.94	178.69
		40	267.33	200.60
		50	296.56	217.03
		60	326.70	232.16

ความเข้มข้น สารละลาย เอพิตีเอส (ร้อยละ)	ความเข้มข้น สารละลาย กลูตาวัลดีไฮด์ (ร้อยละ)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี (ไมโครกรัม- ไทโรซีนต่อกรัมแอนไฮม์ตรึงรูป)	
			ตรึงรูป	อิสระ
0	1	5	34.28	-
		10	57.43	-
		15	86.40	-
		20	116.92	116.92
		30	163.74	142.79
		40	211.21	167.74
		50	257.64	183.00
		60	270.05	198.40



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกาะเกี่ยวของนิวเตรสตรังรูปนพราย

- (●—●) A : เอนิทีเอสร้อยละ 0 , กลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 0
- (○—○) A' : แยกนิวเตรสตรังรูปออกจาก A แล้วบ่มต่อที่เวลาต่าง ๆ
- (■—■) B : เอนิทีเอสร้อยละ 0 , กลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 1
- (□—□) B' : แยกนิวเตรสตรังรูปออกจาก A แล้วบ่มต่อที่เวลาต่าง ๆ
- (▲—▲) C : เอนิทีเอสร้อยละ 1 , กลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 5
- (△—△) C' : แยกนิวเตรสตรังรูปออกจาก A แล้วบ่มต่อที่เวลาต่าง ๆ

#### 4.1.4 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการตรึงรูป

##### 4.1.4.1 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการตรึงรูปปลาเป็นบนทรายเมื่อใช้ สารละลายเอนไซม์พีเอชต่าง ๆ ในการตรึงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.1.4 เตรียมปลาเป็นตรึงรูปบนทราย โดยแปรพีเอชของสารละลายเอนไซม์ต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ อะซิเตทบัฟเฟอร์พีเอช 5.0-6.0 และ ทรಿಸบัฟเฟอร์พีเอช 7.1-10.0 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 นิจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าพีเอชในการตรึงรูปปลาเป็นบนทรายที่ทำให้แอกติวิตีของปลาเป็นตรึงรูปสูงสุดคือ พีเอช 8.5 (ทรिसบัฟเฟอร์) ดังนั้นจึงเลือกภาวะนี้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.8 แอกติวิตีของปลาเป็นตรึงรูปบนทราย เมื่อใช้สารละลายเอนไซม์พีเอชต่าง ๆ ในการตรึงรูป

พีเอช	ชนิดของบัฟเฟอร์	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป(ยูนิต)	แอกติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
5.0	อะซิเตทบัฟเฟอร์	9.97	21.49
5.5	"	11.89	25.85
6.0	"	17.48	26.65
7.1	ทริสบัฟเฟอร์	23.27	51.86
8.0	"	34.58	77.70
8.5	"	44.34	100.00
9.0	"	35.57	79.97
9.5	"	16.62	36.67
10.0	"	14.57	31.99

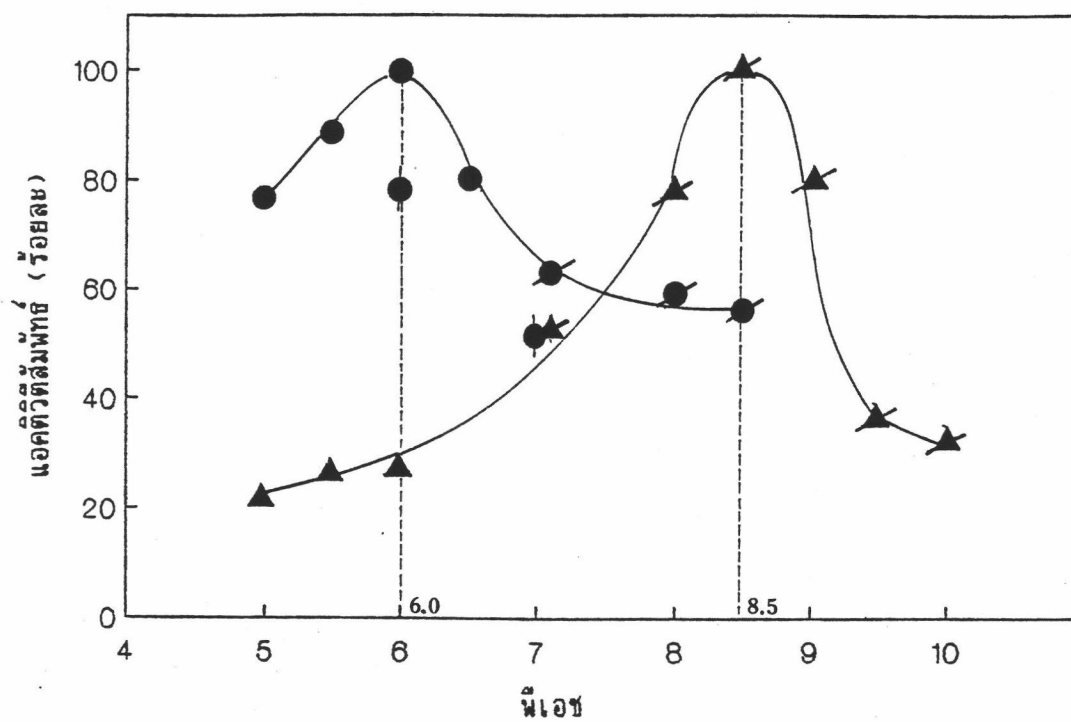


4.1.4.2 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการตรึงรูปนิเวตรสบนทรายเมื่อใช้  
สารละลายเอนไซม์พีเอชต่าง ๆ ในการตรึงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.1.4 เตรียมนิเวตรสตรึงรูปบนทราย โดยแปรพีเอชของสารละลายเอนไซม์ต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ อะซิเตทบัฟเฟอร์พีเอช 5.0-6.5 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6.0-7.0 ทริสบัฟเฟอร์พีเอช 7.1-8.5 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 พิจารณารูปที่ 4.2 จะเห็นว่าพีเอชในการตรึงรูปนิเวตรสบนทรายที่ทำให้แอกติวิตีของ ปาเปนตรึงรูปสูงสุดคือ พีเอช 6.0 (อะซิเตทบัฟเฟอร์) ดังนั้นจึงเลือกภาวะนี้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.9 แอกติวิตีของนิเวตรสตรึงรูปบนทราย เมื่อใช้สารละลายเอนไซม์พีเอชต่าง ๆ ในการตรึงรูป

พีเอช	ชนิดของบัฟเฟอร์	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัม เอนไซม์ตรึงรูป(ยูนิต)	แอกติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
5.0	อะซิเตทบัฟเฟอร์	52.24	76.48
5.5	"	60.21	88.31
6.0	"	68.09	100.00
6.5	"	54.51	79.84
6.0	ฟอสเฟตบัฟเฟอร์	53.33	78.09
7.0	"	35.31	51.34
7.1	ทริสบัฟเฟอร์	43.01	62.77
8.0	"	40.38	58.87
8.5	"	38.39	55.91



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีสัมพัทธ์ของปลาเป็ดทรงรูป (▲, ▲) และนิวเตรสทรงรูป (●, ●, ●) กับพีเอชต่าง ๆ ที่ใช้ในการทรงรูป

- (●, ▲) อะซิเตทบัฟเฟอร์
- (●) ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
- (●, ▲) ทริสบัฟเฟอร์

#### 4.1.5 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของเอนไซม์ในการตรึงรูป

##### 4.1.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของป่าเปนที่เหมาะสมในการตรึงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.1.5 เตรียมป่าเปนตรึงรูปบนทรายโดยแปรความเข้มข้นของสารละลายป่าเปนในการตรึงรูปร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของป่าเปนตรึงรูปบนทราย เมื่อใช้เอนไซม์ความเข้มข้นต่าง ๆ ในการตรึงรูป

ความเข้มข้นของป่าเปน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัมเอนไซม์ตรึงรูป (ยูนิต)
1	9.78 <sup>c</sup>
2	18.08 <sup>c</sup>
3	26.00 <sup>c</sup>
4	40.09 <sup>b</sup>
5	43.89 <sup>a</sup>
6	44.64 <sup>a</sup>
7	45.18 <sup>a</sup>

หมายเหตุ a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ผลข้อมูล พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในการตรึงรูปมีผลต่อแอกติวิตีของปลาแปนตรึงรูปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบ Duncan's new multiple range test พบว่าค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของปลาแปนตรึงรูปที่ได้สูงสุดเมื่อใช้สารละลายปลาแปนความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แต่ไม่แตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 6 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายปลาแปนความเข้มข้นร้อยละ 5 ในการศึกษาสมบัติของเอนไซม์ต่อไป

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของปลาแปนตรึงรูปบนทรายที่ความเข้มข้นของสารละลายเอนไซม์ต่าง ๆ ในการตรึงรูป

ปัจจัย	df	SS	MS	F
ความเข้มข้นของปลาแปน	6	2532.99	422.16	178.27**
ความคลาดเคลื่อน	7	16.58	2.37	
ทั้งหมด	13	2549.56		

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

#### 4.1.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของนิวเตรสที่เหมาะสมในการตรึงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.1.5 เตรียมนิวเตรสตรึงรูปบนทราย โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายนิวเตรสในการตรึงรูป ร้อยละ 1, 3, 5 และ 8 โดยปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของนิวเตรสตรงรูปบนทรายเมื่อใช้เอนไซม์ความเข้มข้นต่าง ๆ ในการตรึงรูป

ความเข้มข้นของนิวเตรส (ร้อยละโดยปริมาตร)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี/กรัมเอนไซม์ตรงรูป (ยูนิต)
1	48.25 <sup>b</sup>
3	69.82 <sup>a</sup>
5	71.61 <sup>a</sup>
8	75.18 <sup>a</sup>

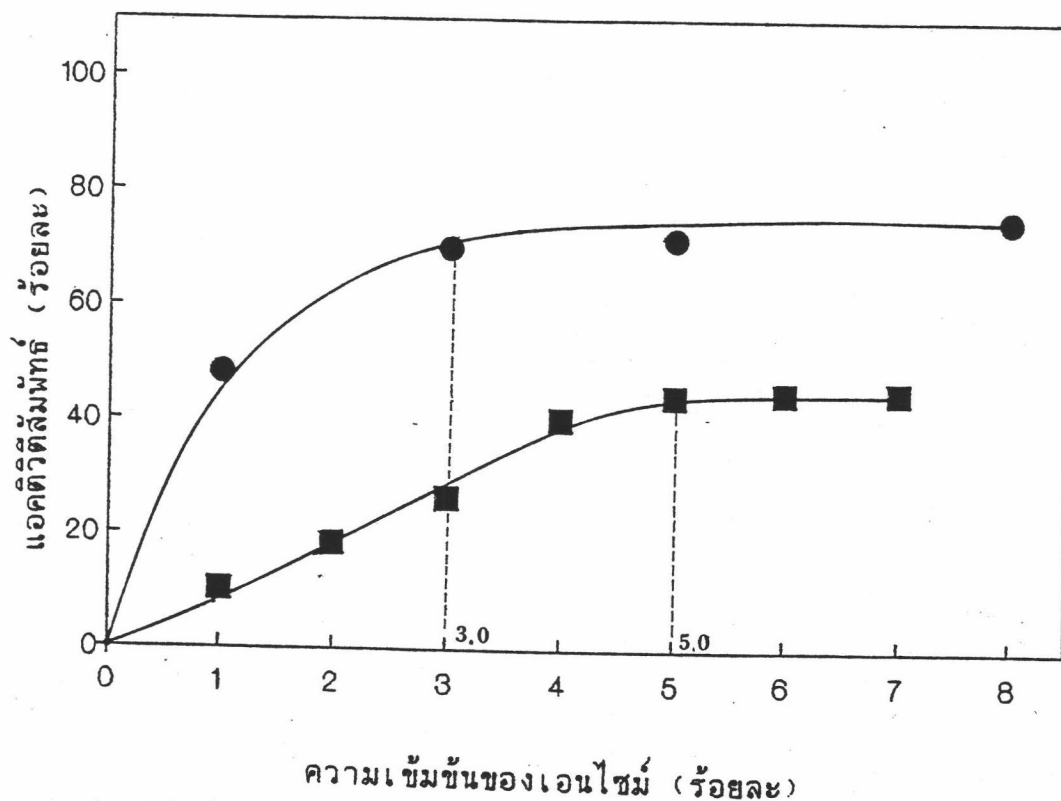
หมายเหตุ a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ผลข้อมูล พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในการตรึงรูปมีผลต่อแอกติวิตีของนิวเตรสตรงรูปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบ Duncan's new multiple range test พบว่าค่าเฉลี่ยแอกติวิตีของนิวเตรสตรงรูปที่ได้สูงสุดเมื่อใช้สารละลายนิวเตรสความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แต่ไม่แตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายนิวเตรสความเข้มข้นร้อยละ 3 ในการศึกษาสมบัติของเอนไซม์ต่อไป

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอกติวิตีของนิวเตรสตรงรูปนทราษ  
ที่ความเข้มข้นของสารละลายเอนไซม์ต่าง ๆ ในการตรึงรูป

ปัจจัย	df	SS	MS	F
ความเข้มข้นของนิวเตรส	3	890.43	296.81	16.10**
ความคลาดเคลื่อน	4	73.72	18.43	
ทั้งหมด	7	964.16		

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

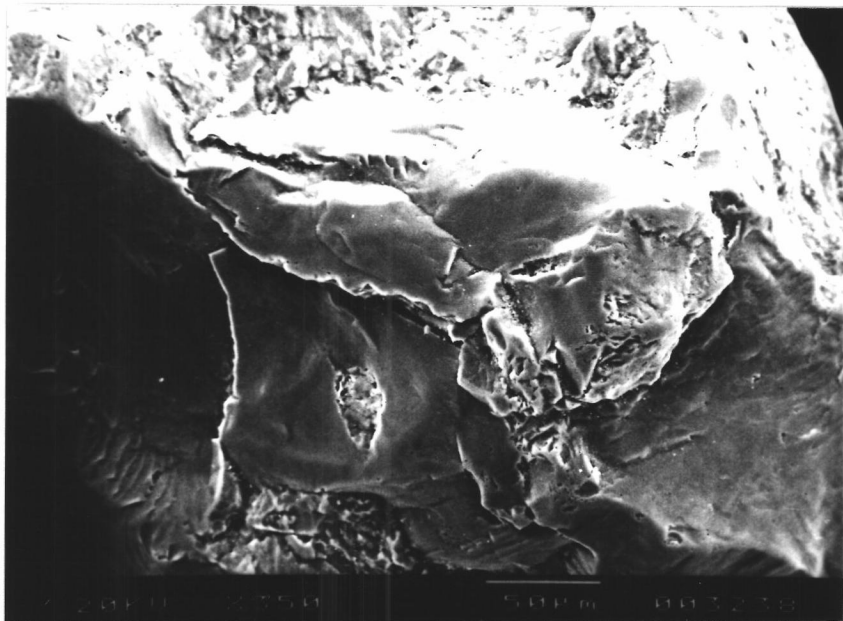


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีสัมพัทธ์ของป่าเปน (■—■) และ  
นิวเตรสตรงรูป (●—●) กับความเข้มข้นของสารละลายป่าเปนและนิวเตรส  
ที่ใช้ในการตรึงรูป

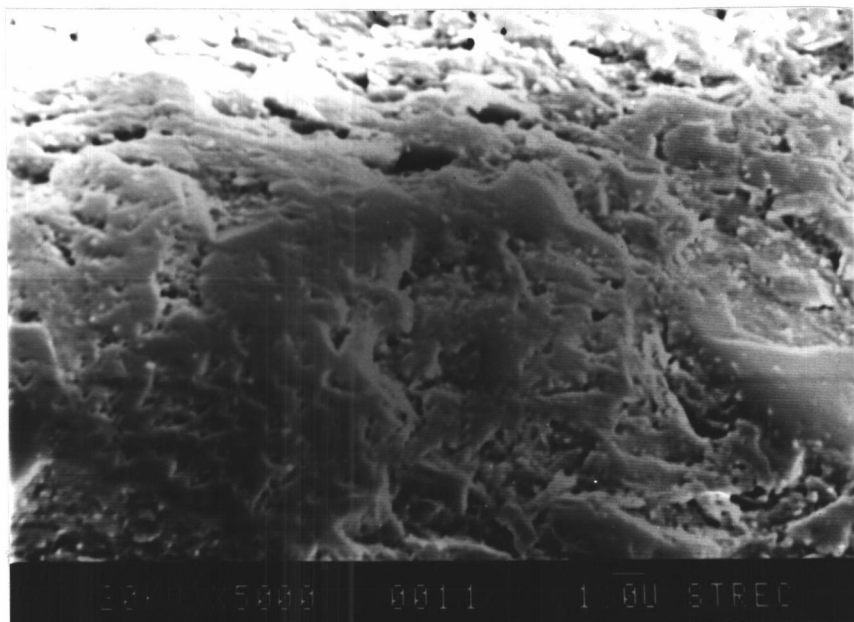
4.2 ศึกษาโครงสร้างของปลาแปนและนิวเทรลตริงรูปเปรียบเทียบกับโครงสร้างของทรายสะอาด  
ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

4.2.1 ศึกษาโครงสร้างของทรายสะอาดที่พร้อมสำหรับการตริงรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.2.1 เมื่อนำตัวอย่างมาตรวจดูโครงสร้างของ  
ผิวทรายสะอาดด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 และ 5,000 เท่า  
แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 โครงสร้างของทรายสะอาดจากกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 350 เท่า

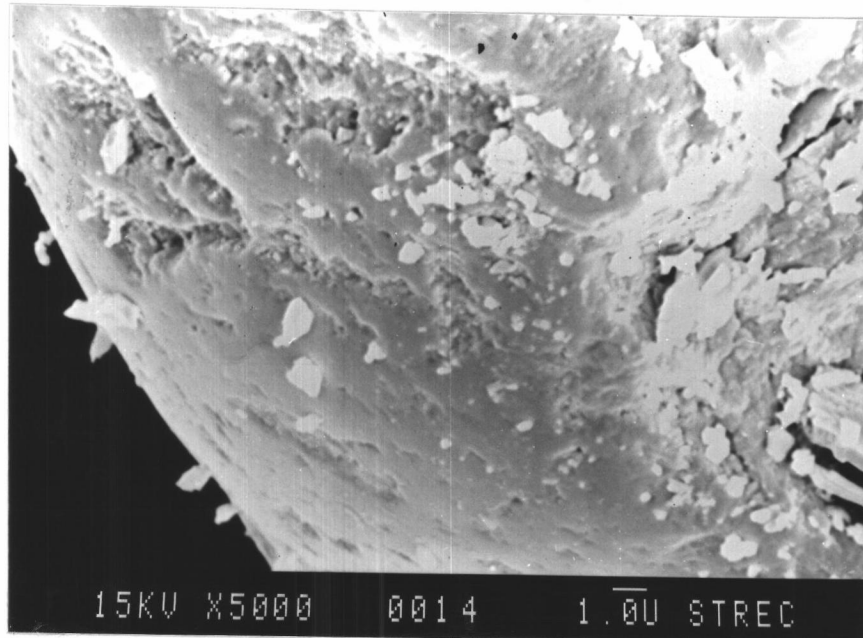


รูปที่ 4.5 โครงสร้างของทรายสะอาดจากกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

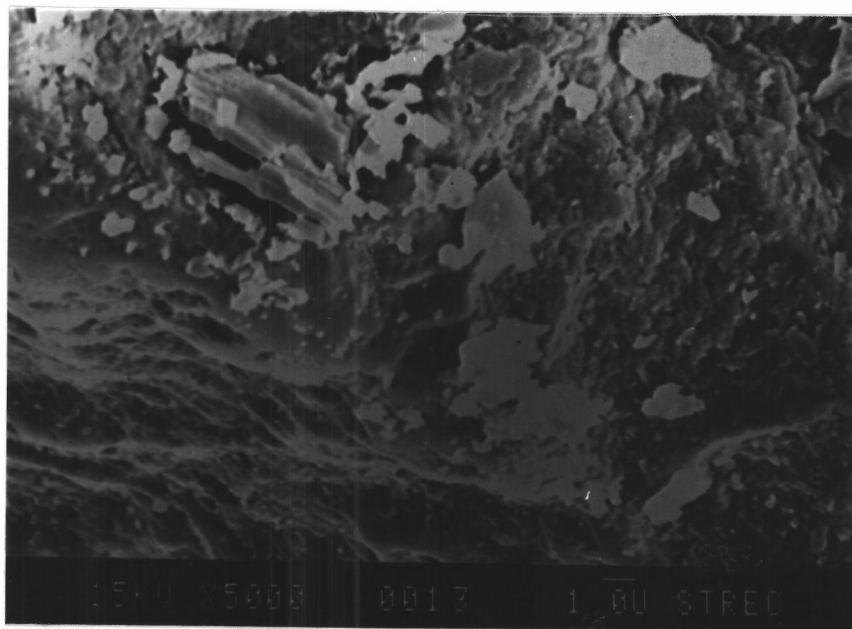
#### 4.2.2 ศึกษาโครงสร้างของปาเปนและนิวเตรสตรึงรูปบนทราย

จากการทดลองข้อ 3.3.2.2 เมื่อนำตัวอย่างมาตรวจดูโครงสร้างของ  
ปาเปนและนิวเตรสตรึงรูปบนทรายด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า  
แสดงดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

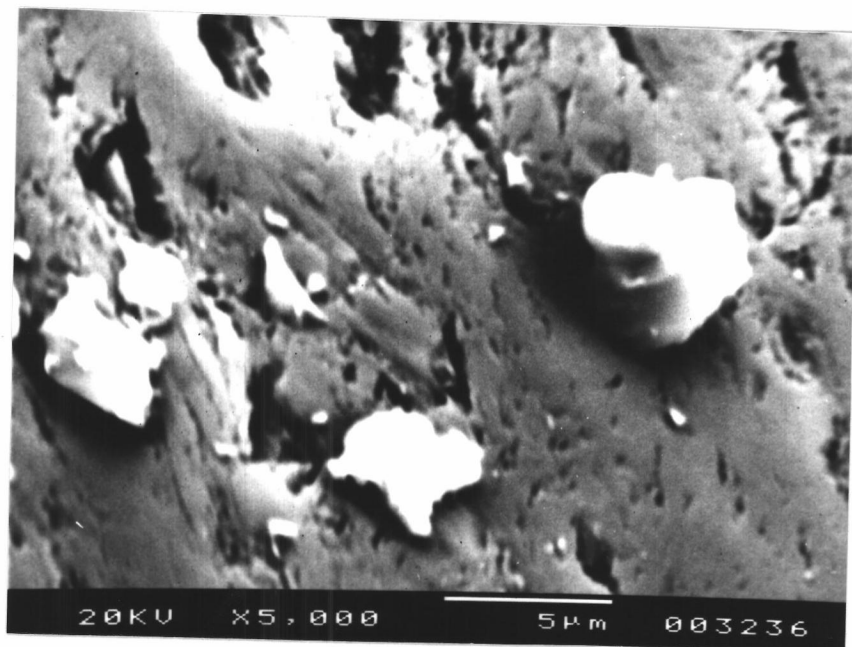




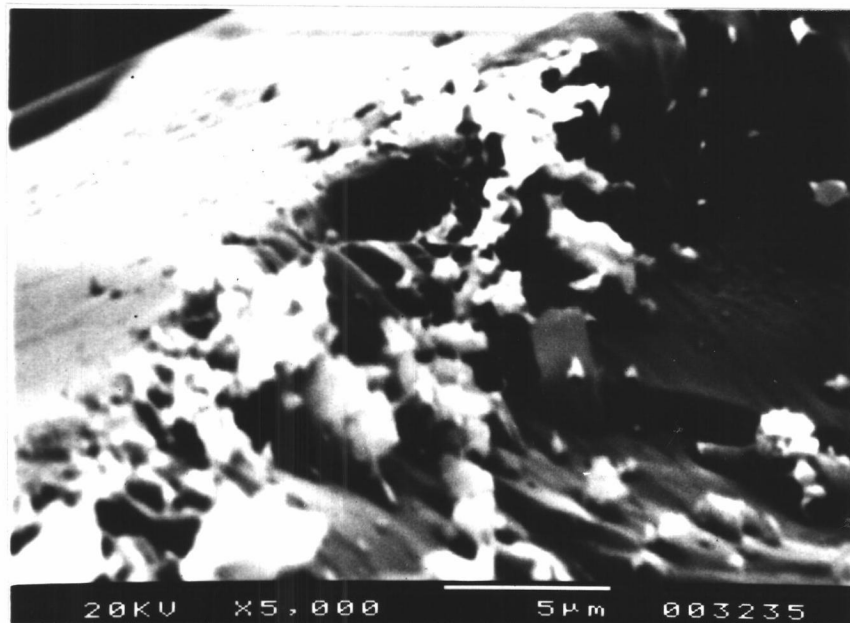
รูปที่ 4.6 โครงสร้างของนิวเทรลตรงรูปบนทรายจากจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของปาเปนตรงรูปบนทรายจากกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ 4.8 โครงสร้างของนิวเตรสตรึงรูปบนทรายจากกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของนิวเตรสตรึงรูปบนทรายจากกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

4.3 ศึกษาสมบัติเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ของป่าเป็นและนิวเตรสตรงรูปเทียบกับป่าเป็นและนิวเตรสอิสระ

4.3.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์

4.3.1.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของป่าเป็น

จากการทดลองข้อ 3.3.3.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.14 พิจารณารูปที่ 4.10 จะเห็นว่าทั้งป่าเป็นตรงรูปและอิสระแสดงแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากันคือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.14 แอกติวิตีที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของป่าเป็นอิสระและตรงรูปที่พีเอช 7.1

อุณหภูมิ (° C)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี		แอกติวิตีสัมพัทธ์	
	อิสระ(ยูนิต/มล.)	ตรงรูป(ยูนิต/กรัม)	อิสระ(ร้อยละ)	ตรงรูป(ร้อยละ)
30	74.34	-	58.61	-
35	87.10	28.60	68.67	10.85
40	97.64	50.93	76.98	19.32
45	112.24	90.06	88.49	34.16
50	116.01	90.06	91.46	34.16
55	119.39	-	94.13	-
60	123.85	197.35	97.64	74.86
65	-	222.24	-	84.30
70	124.01	234.21	97.77	88.84
80	126.84	263.63	100.00	100.00
90	32.78	124.09	25.84	47.07
100	7.65	36.30	6.03	13.77

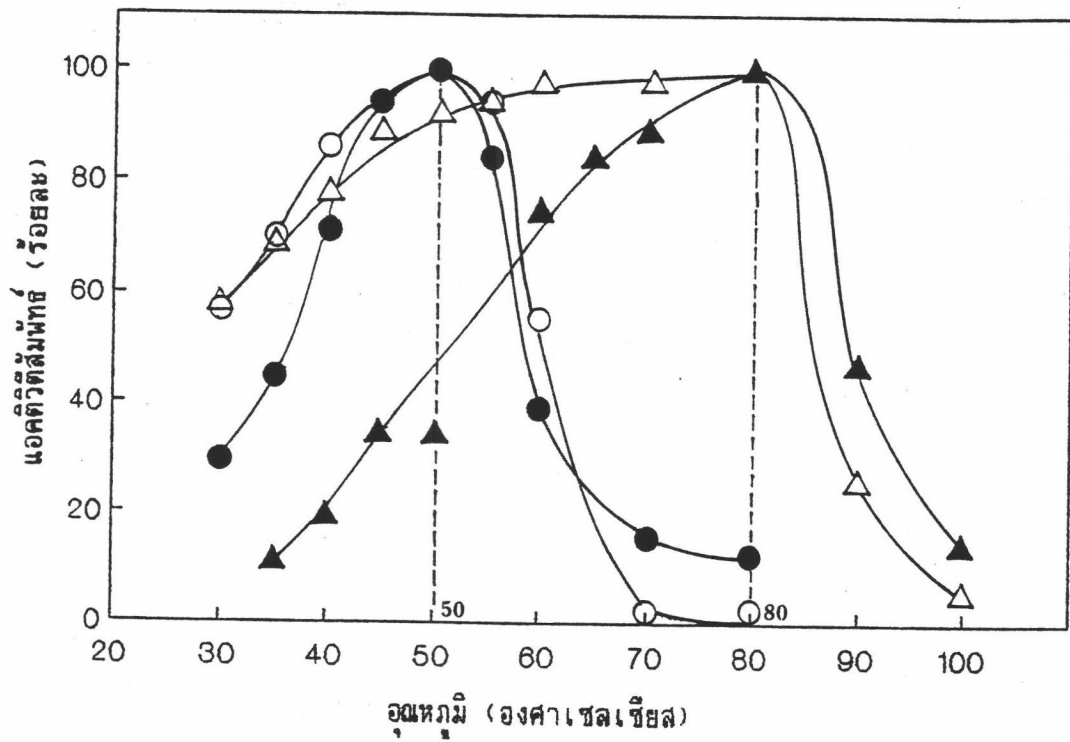
#### 4.3.1.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของนิวเตรส

จากการทดลองข้อ 3.3.3.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.15 พิจารณารูปที่ 4.10 จะเห็นว่าทั้งนิวเตรสตรังรูปและอิสระแสดงแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากันคือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.15 แอกติวิตีที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของนิวเตรสอิสระและตรังรูปที่พีเอช 7.1

อุณหภูมิ (°C)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี		แอกติวิตีสัมพัทธ์	
	อิสระ(ยูนิต/มล.)	ตรังรูป(ยูนิต/กรัม)	อิสระ(ร้อยละ)	ตรังรูป(ร้อยละ)
30	48.04	35.26	56.50	29.51
35	60.09	52.97	70.68	44.84
40	73.34	85.17	86.26	71.29
45	79.92	112.39	94.00	94.07
50	85.02	119.47	100.00	100.00
55	80.10	100.47	94.21	84.10
60	47.22	46.53	55.54	38.95
70	1.10	18.20	1.29	15.23
80	1.10	15.14	1.29	12.67



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของป้าเปนครึ่งรูปและนีวเตรส  
นีสรหะและตรงรูปที่พีเอช 7.1

- (▲—▲) ป้าเปนครึ่งรูป      (△—△) ป้าเปนนีสรหะ  
(●—●) นีวเตรสตรงรูป      (○—○) นีวเตรสนีสรหะ

#### 4.3.2 พีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์

##### 4.3.2.1 พีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของปาเปน

จากการทดลองข้อ 3.3.3.2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.16 พิจารณารูปที่ 4.11 จะเห็นว่าพีเอชที่ปาเปนอิสระแสดงแอกติวิตีสูงสุดคือ พีเอช 6.4 ขณะที่ปาเปนตรึงรูปแสดงแอกติวิตีสูงสุดที่พีเอช 5.9

ตารางที่ 4.16 แอกติวิตีที่พีเอชต่าง ๆ ของปาเปนอิสระและตรึงรูปที่อุณหภูมิ 37 ° C

ชนิดของ บัฟเฟอร์	พีเอชของ สารละลาย ปฏิกิริยา	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี		แอกติวิตีสัมพัทธ์	
		อิสระ (ยูนิต/มล.)	ตรึงรูป (ยูนิต/กรัม)	อิสระ (ร้อยละ)	ตรึงรูป (ร้อยละ)
อะซีเตท	5.23	71.90	57.32	62.52	90.60
	5.84	107.03	63.27	93.07	100.00
	6.37	105.70	56.18	91.91	88.80
ฟอสเฟต	6.17	115.00	50.36	100.00	79.60
	6.64	114.27	48.84	99.36	77.20
	7.08	90.64	44.54	78.82	70.40
ทริส	6.96	91.38	-	79.46	-
	7.40	82.08	-	71.37	-
	7.89	78.38	44.29	68.16	70.00

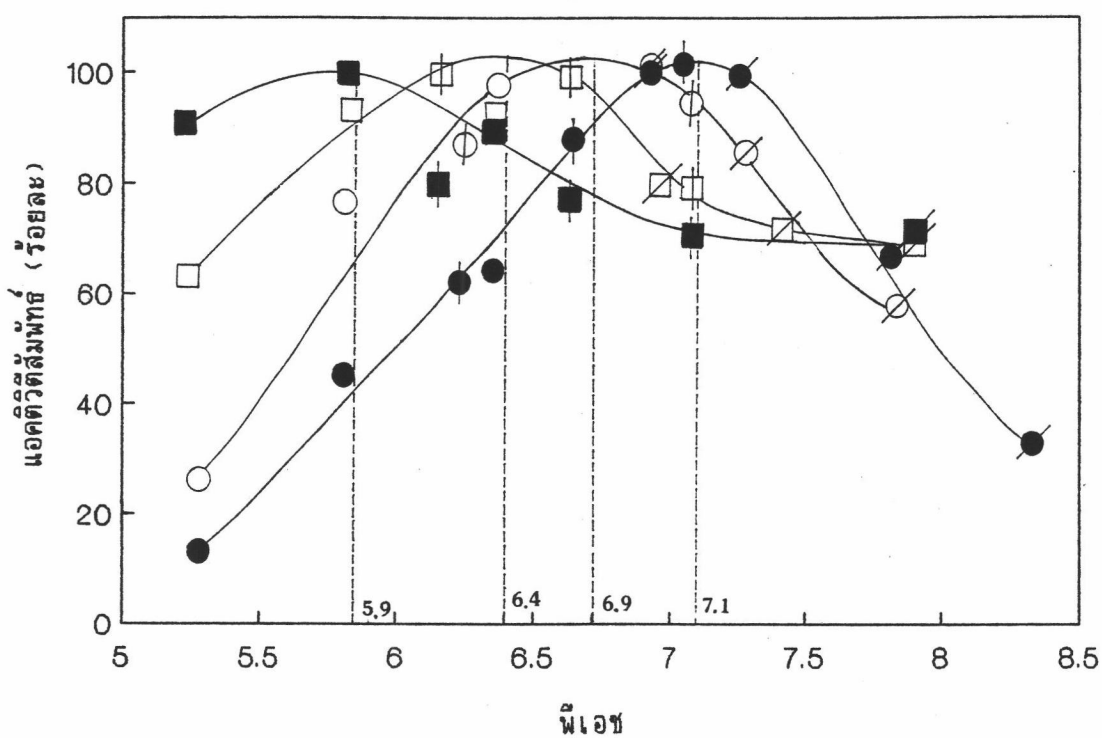
#### 4.3.2.2 พื้เอษที่เหมษสมในกรทำปฏิกิริษของนิวเตรส

จกการทดลองข้อ 3.3.3.2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.17 นิจารณารูปที่ 4.11 จะเห็นว่าพื้เอษที่นิวเตรสอิสรษแสดงแอกติวิตีสูงสคคือ พื้เอษ 6.7  
ขณะทีนิวเตรสตรังรูปแสดงแอกติวิตีสูงสคที่พื้เอษ 7.1

ตารางที่ 4.17 แอกติวิตีที่พื้เอษต่าง ๆ ของนิวเตรสอิสรษและตรังรูปที่อุณหภูมิ 37 ° C

ชนิดของ บัฟเฟอร์	พื้เอษของ สารละลาย ปฏิกิริษ	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี		แอกติวิตีสัมพัทธ์	
		อิสรษ (ยูนิต/มล.)	ตรังรูป (ยูนิต/กรัม)	อิสรษ (ร้อยละ)	ตรังรูป (ร้อยละ)
อะซีเตท	5.28	18.32	8.51	25.50	12.50
	5.81	54.76	30.29	76.21	44.49
	6.38	70.00	43.11	97.42	63.31
ฟอสเฟต	6.25	62.60	41.73	87.13	61.29
	6.67	-	59.03	-	86.69
	7.08	67.70	68.09	94.23	100.00
ทริล	6.96	71.85	67.45	100.00	99.06
	7.28	61.48	66.81	85.57	98.12
	7.84	41.97	44.57	58.42	65.46
	8.35	-	20.96	-	30.78



รูปที่ 4.11 พีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของปาเปนและนิวเตรส  
อิสระและตรึงรูปที่อุณหภูมิ 37 ° C

(■, ●, □) ปาเปนตรึงรูป                      (□, ◐, ◑) ปาเปนอิสระ  
(●, ◐, ◑) นิวเตรสตรึงรูป                      (○, ◒, ◓) นิวเตรสอิสระ

(○, ●, □, ■) อะซีเตทบัฟเฟอร์  
(◐, ◑, ◒, ◓) ฟอสเฟตบัฟเฟอร์  
(◔, ◕, ◖, ◗) ทริสบัฟเฟอร์



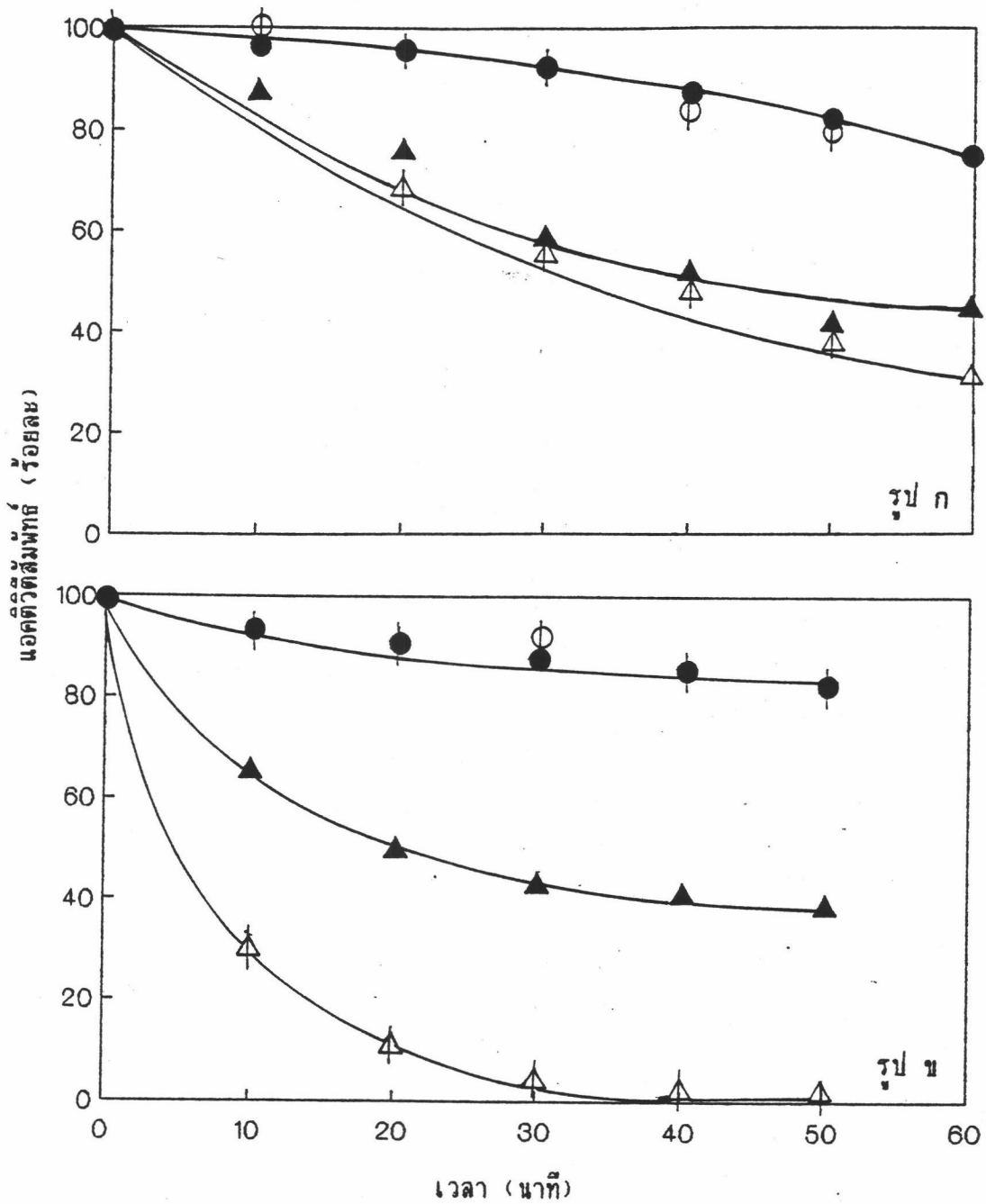
### 4.3.3 ผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของเอนไซม์

#### 4.3.3.1 ผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของปาเปน

จากการทดลองข้อ 3.3.3.3 เปรียบเทียบผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของปาเปนตรึงรูปและอิสระที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 พิจารณารูปที่ 4.12 (ก) จะเห็นว่าปาเปนอิสระและตรึงรูปมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 50 °C ใกล้เคียงกัน ขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 °C ปาเปนตรึงรูปมีแอกติวิตีสัมพันธ์สูงกว่าปาเปนอิสระ

ตารางที่ 4.18 แอกติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของปาเปนอิสระ และตรึงรูป เมื่อบ่มในบัฟเฟอร์พีเอช 7.1 ที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี				แอกติวิตีสัมพันธ์			
	อิสระ (ยูนิต/มิลลิลิตร)		ตรึงรูป (ยูนิต/กรัม)		อิสระ (ร้อยละ)		ตรึงรูป (ร้อยละ)	
	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C
0	87.83	87.83	46.23	46.23	100.00	100.00	100.00	100.00
10	84.47	76.88	46.23	40.49	96.18	87.53	100.00	87.59
20	83.50	60.43	44.46	35.02	95.07	68.80	96.18	75.76
30	81.01	49.08	42.86	27.16	92.23	55.88	92.71	58.76
40	76.68	42.36	38.81	24.13	87.30	48.23	83.94	52.19
50	72.56	33.02	37.08	19.40	82.61	37.59	80.21	41.97
60	-	27.63	34.73	20.59	-	31.46	75.13	44.53



รูปที่ 4.12 ผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของปลาเป่น (รูป ก) และนิวเตรส (รูป ข) อีสรขและตริงรูปที่อุณหภูมิ 50 ° C และ 70 ° C  
 อีสรข = (○—○) ที่ 50 ° C = (△—△) ที่ 70 ° C  
 ตริงรูป = (●—●) ที่ 50 ° C = (▲—▲) ที่ 70 ° C

#### 4.3.3.2 ผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของนิวเตรล

จากการทดลองข้อ 3.3.3.3 เปรียบเทียบผลของความร้อนต่อเสถียรภาพของนิวเตรลตรึงรูปและอิสระที่อุณหภูมิ 50 ° C และ 70 ° C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19 พิจารณารูปที่ 4.12 (ข) จะเห็นว่านิวเตรลอิสระและตรึงรูปมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 50 ° C ใกล้เคียงกัน ขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 ° C นิวเตรลตรึงรูปมีแอกติวิตีสัมพัทธ์สูงกว่านิวเตรลอิสระ

ตารางที่ 4.19 แอกติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของนิวเตรลอิสระและตรึงรูป เมื่อต้มในน้ำเฟออร์ฟิเอช 7.1 ที่อุณหภูมิ 50 ° C และ 70 ° C

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี				แอกติวิตีสัมพัทธ์			
	อิสระ (ยูนิต/มิลลิลิตร)		ตรึงรูป (ยูนิต/กรัม)		อิสระ (ร้อยละ)		ตรึงรูป (ร้อยละ)	
	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C	50 °C	70 °C
0	73.35	73.35	67.25	67.25	100.00	100.00	100.00	100.00
10	67.72	16.09	63.22	43.65	92.32	29.91	94.00	64.90
20	66.98	7.91	61.65	33.49	91.32	10.78	91.67	49.80
30	64.97	2.81	62.15	29.09	88.57	3.83	92.42	73.25
40	63.09	1.53	57.92	27.45	86.01	2.09	86.12	40.82
50	59.74	1.02	55.92	26.06	81.44	1.39	83.15	38.75

#### 4.3.4 ผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของเอนไซม์

##### 4.3.4.1 ผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของปาเปน

จากการทดลองข้อ 3.3.3.4 เปรียบเทียบผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของปาเปนตรึงรูปและอิสระ ที่พีเอช 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.5 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ พิจารณาที่ 4.18 จะเห็นว่าปาเปนอิสระมีเสถียรภาพที่พีเอช 5.0 และลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ขณะที่ปาเปนตรึงรูปมีเสถียรภาพดีกว่าปาเปนอิสระที่พีเอช 7.0 และ 8.5 และน้อยกว่าอิสระที่พีเอช 5.0 และ 6.0

ตารางที่ 4.20 แอคติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของปาเปนตรึงรูป เมื่อบ่มในบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 37 ° C

เวลา (นาที)	แอกติวิตี (ยูนิต/มิลลิลิตร)				แอกติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)			
	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5
0	61.20	55.24	46.36	25.76	100.00	100.00	100.00	100.00
30	27.30	31.81	41.55	22.91	44.60	57.59	89.62	88.92
60	20.04	18.12	36.23	22.89	32.75	32.81	78.15	88.85
90	15.88	14.80	30.06	22.35	25.94	26.79	64.85	86.77
120	9.10	6.53	-	22.24	14.87	11.83	-	86.32
180	7.60	5.30	27.70	21.96	12.42	9.60	59.74	85.25

ตารางที่ 4.21 แอคติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของปาเปอนิสรุข เมื่อต้มในบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ  
ที่อุณหภูมิ 37 ° C

เวลา (นาที)	แอกติวิตี (ยูนิต/มิลลิลิตร)				แอกติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)			
	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5
0	88.81	87.35	87.54	81.68	100.00	100.00	100.00	100.00
15	88.81	84.49	80.64	73.29	100.00	96.73	92.12	89.73
30	87.03	78.68	69.14	65.46	98.00	90.07	78.98	80.14
60	81.42	75.42	49.13	47.15	91.68	86.34	56.12	57.73
90	80.92	70.18	35.19	41.43	91.12	80.34	40.20	50.72
120	75.90	61.42	23.43	29.59	85.46	70.32	26.77	36.23
180	72.55	52.85	19.92	27.53	81.69	60.50	22.75	33.70

#### 4.3.4.1 ผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของนิวเตรล

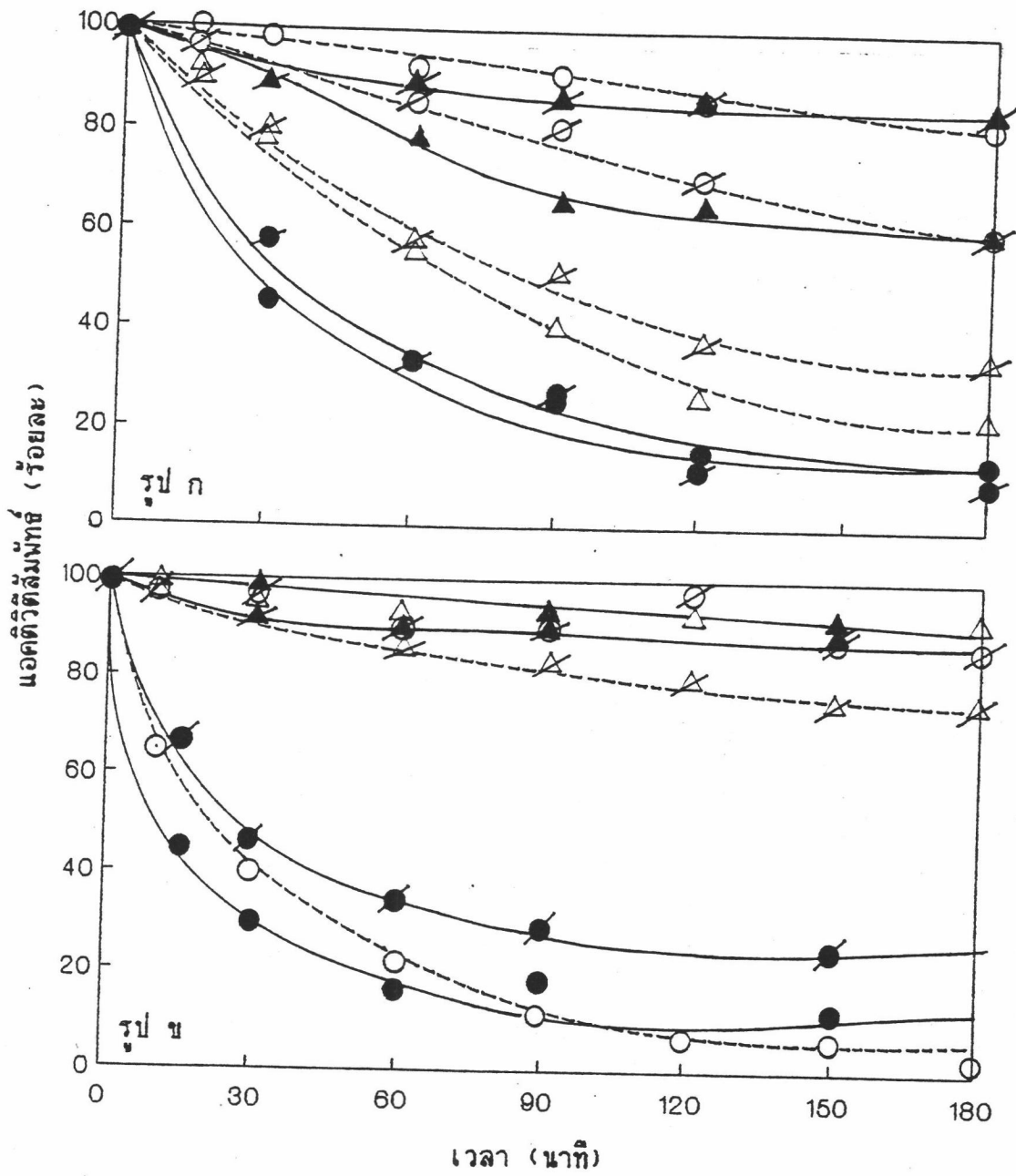
จากการทดลองข้อ 3.3.3.4 เปรียบเทียบผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของนิวเตรลตรงรูปและอิสระที่พีเอช 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.5 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 4.13 จะเห็นว่านิวเตรลตรงรูปมีเสถียรภาพที่พีเอช 7.0 ใกล้เคียงกับนิวเตรลอิสระ และมีเสถียรภาพดีกว่าอิสระที่พีเอช 5.0 และ 8.5

ตารางที่ 4.22 แอคติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของนิวเตรลตรงรูป เมื่อมัมไนซ์เฟอร์พีเอชต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 37 ° C

เวลา (นาที)	แอคติวิตี (ยูนิต/มิลลิลิตร)				แอคติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)			
	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5
0	37.12	52.88	69.34	65.04	100.00	100.00	100.00	100.00
15	16.53	35.26	-	-	44.53	66.67	-	-
30	10.99	24.42	69.16	60.25	29.60	46.18	99.74	92.64
60	5.82	18.00	63.29	59.45	15.67	34.03	91.28	91.40
90	6.65	15.15	65.09	58.52	17.91	28.65	93.87	89.97
150	4.25	13.22	65.04	59.09	11.44	25.00	93.80	90.85

ตารางที่ 4.23 แอคติวิตีที่เวลาต่าง ๆ ของนิวเตรลลิสรอบ เมื่อต้มในบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ  
ที่อุณหภูมิ 37 ° C

เวลา (นาที)	แอกติวิตี (ยูนิต/มิลลิลิตร)				แอกติวิตีสัมพันธ์ (ร้อยละ)			
	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5	pH 5.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.5
0	56.75	65.57	69.25	58.23	100.00	100.00	100.00	100.00
10	36.63	63.08	68.18	56.23	64.55	96.20	98.46	96.56
30	22.38	64.90	67.25	54.36	39.44	98.98	97.11	93.35
60	12.26	59.57	65.95	50.08	21.60	90.85	95.24	86.00
90	6.53	59.31	65.25	48.62	11.50	90.45	94.23	83.49
120	3.46	58.77	64.32	46.61	6.10	98.63	92.88	80.04
150	3.20	58.24	64.85	44.34	5.63	88.82	93.65	76.15
180	1.33	57.31	64.40	43.40	2.35	87.40	93.00	74.54



รูปที่ 4.13 ผลของพีเอชต่อเสถียรภาพของคลอรีน (รูป ก) และนิวเตรส (รูป ข) อิสระและตรึงรูป ที่อุณหภูมิ 37 ° C

อิสระ = (○—○) pH 5.0 = (◊—◊) pH 6.0 = (△—△) pH 7.0 = (△—△) pH 8.5  
 ตรึงรูป = (●—●) pH 5.0 = (●—●) pH 6.0 = (▲—▲) pH 7.0 = (▲—▲) pH 8.5



#### 4.3.5 ค่าคงที่ไมคัลลิส (Michaelis constant, $K_m$ )

##### 4.3.5.1 ค่าคงที่ไมคัลลิสของปาเปน

จากการทดลองข้อ 3.3.3.5 วิเคราะห์แอคติวิตีของปาเปนอิสระและตรึงรูปที่พีเอช 6.4 และ 5.9 ตามลำดับที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  และหาค่าคงที่ไมคัลลิสซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของซับสเตรตที่ทำให้ความเร็วของปฏิกิริยา เป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุดโดยวิธี Lineweaver-Burk plot คำนวณค่า  $1/S$  และ  $1/V$  ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 ซึ่งคำนวณหาค่าคงที่ไมคัลลิสของปาเปนอิสระและตรึงรูปจากรูปที่ 4.14 ได้เท่ากับ  $7.73 \times 10^{-3}$  และ  $1.06 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.24 การหาค่า  $K_m$  ของปาเปนอิสระและตรึงรูป ที่พีเอช 5.9 และ 6.4 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$

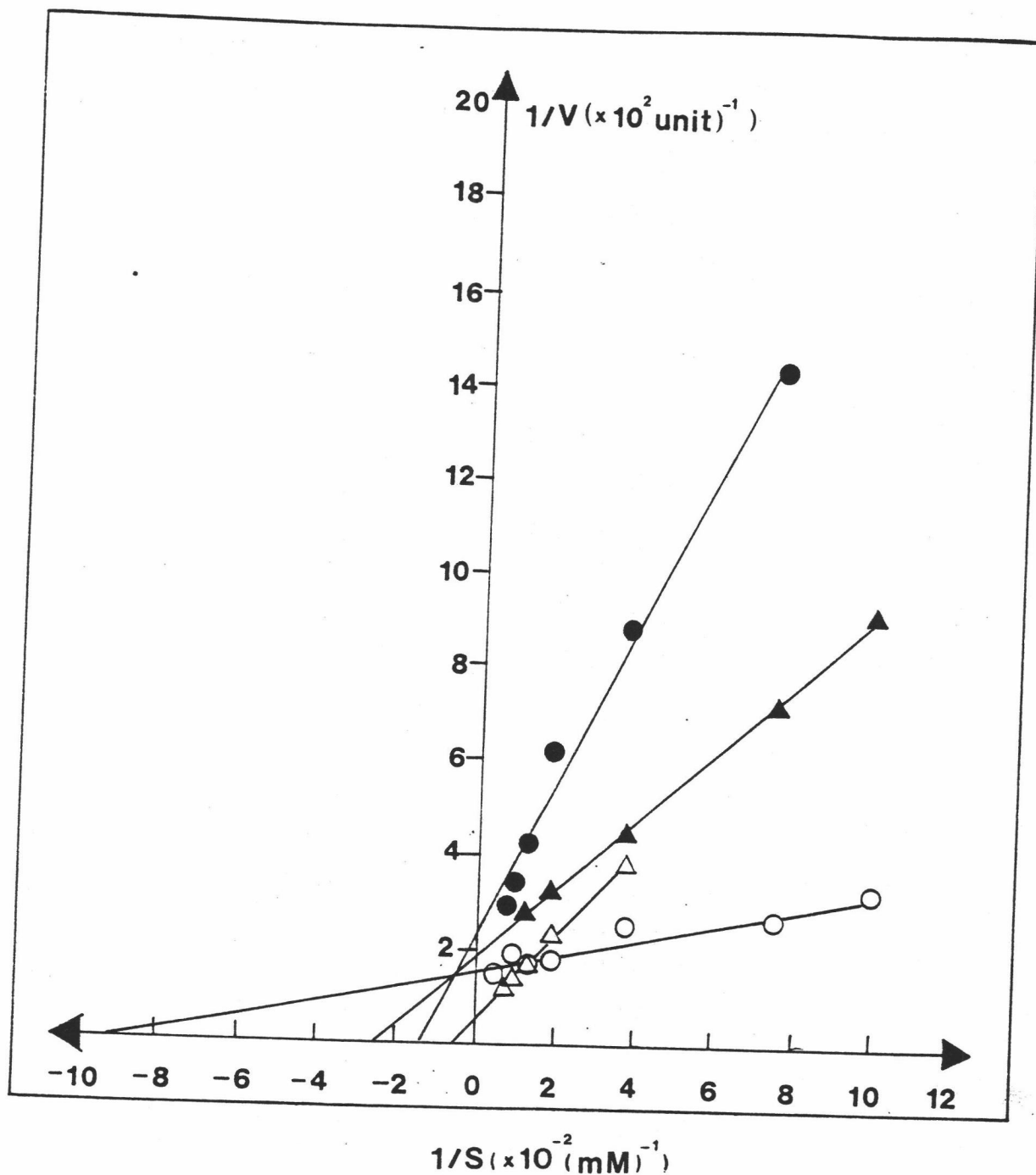
$1/S$ ( $\times 10^{-2} (\text{mM})^{-1}$ )	$1/V$ ( $\times 10^2 (\text{unit})^{-1}$ )	
	ปาเปนอิสระ	ปาเปนตรึงรูป
10.0	-	3.24
7.5	14.33	2.60
3.75	8.83	2.47
1.88	6.20	1.73
1.25	4.26	1.70
0.94	3.45	1.85
0.75	2.95	1.54

#### 4.3.5.2 ค่าคงที่ไม่คลิสของนิวเตรส

จากการทดลองข้อ 3.3.3.5 วิเคราะห์แอกติวิตีของนิวเตรส อีสรและตริงรูปที่พีเอช 6.7 และ 7.1 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 50 ° C และหาค่าคงที่ไม่คลิสซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของสับสเตรทที่ทำให้ความเร็วของปฏิกิริยา เป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด โดยวิธี Lineweaver-Burk plot คำนวณค่า 1/S และ 1/V ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.25 ซึ่งคำนวณหาค่าคงที่ไม่คลิสของนิวเตรสอีสรและตริงรูปจากรูปที่ 4.14 ได้เท่ากับ  $2.00 \times 10^{-2}$  และ  $4.10 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.25 การหาค่า Km ของนิวเตรสอีสรและตริงรูปที่พีเอช 6.7 และ 7.1 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 ° C

1/S ( $\times 10^{-2}$ (mM) $^{-1}$ )	1/V ( $\times 10^2$ (unit) $^{-1}$ )	
	นิวเตรสอีสร	นิวเตรสตริงรูป
10.0	-	9.20
7.5	-	7.23
3.75	3.85	4.47
1.88	2.28	3.23
1.25	1.64	2.78
0.94	1.34	-
0.75	1.16	-



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบกราฟแบบ Lineweaver Burk Plot ของปาเปนและ  
นิวเตรสอัสระและตริงรูป

(●—●) = ปาเปนอัสระ      (○—○) = ปาเปนตริงรูป  
(▲—▲) = นิวเตรสอัสระ      (△—△) = นิวเตรสตริงรูป

ตารางที่ 4.26 ค่า Km ของนิวเตรสและปาเปน อีสรและตริงรูป

ชนิดของเอนไซม์	ค่า Km (มิลลิโมลาร์)
นิวเตรสอีสร	$2.00 \times 10^{-2}$
นิวเตรสตริงรูป	$4.10 \times 10^{-3}$
ปาเปนอีสร	$7.78 \times 10^{-3}$
ปาเปนตริงรูป	$1.06 \times 10^{-3}$

#### 4.3.6 ค่าแอกติวิตีจำเพาะของเอนไซม์ (specific activity)

จากการทดลองข้อ 3.3.3.6 วิเคราะห์แอกติวิตีของปาเปนและนิวเตรส อีสรที่พีเอช 6.4 และ 6.7 ที่อุณหภูมิ 80 ° C และ 50 ° C ตามลำดับ และปาเปนและ นิวเตรสตริงรูปที่พีเอช 5.9 และ 7.1 อุณหภูมิ 80 ° C และ 50 ° C ตามลำดับ คำนวณค่า แอกติวิตีจำเพาะเป็นแอกติวิตีของเอนไซม์ (ยูนิต) ต่อปริมาณโปรตีนเอนไซม์ (มิลลิกรัม) ผลการ ทดลองแสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าแอกติวิตีจำเพาะของป่าเปนและนิวเตรสอัสระและตริงรูป

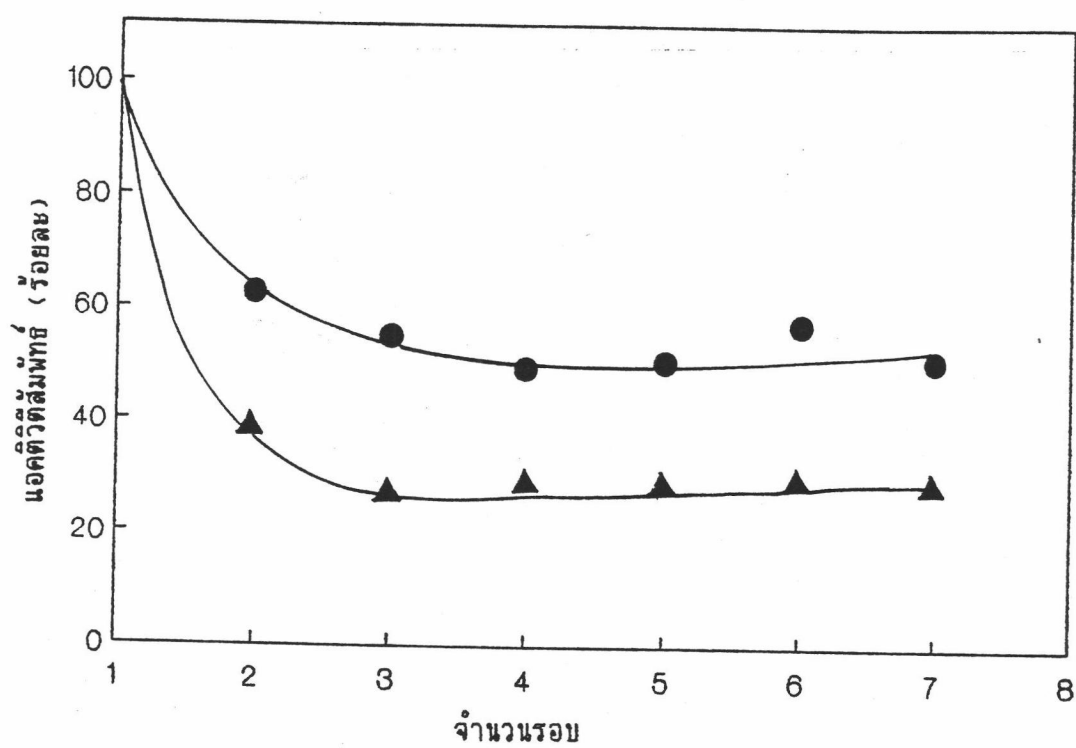
เอนไซม์ (ยูนิต/กรัม)	แอกติวิตี (ยูนิต/กรัมเอนไซม์)	ปริมาณโปรตีน (มก./กรัมเอนไซม์)	แอกติวิตีจำเพาะ (ยูนิต/มก.โปรตีน)
ป่าเปนอัสระ	169,550	351.6	482.28
ป่าเปนตริงรูป	266.67	0.590	451.98
นิวเตรสอัสระ	137,930	29.93	4608.42
นิวเตรสตริงรูป	120.64	0.357	337.93

#### 4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาซ้ำของปาเปนและนิวเตรสตรังรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.4 วิเคราะห์แอกติวิตีคองเหลือของปาเปนและนิวเตรสตรังรูป เมื่อทำปฏิกิริยาซ้ำกับสารละลายเคซีน 1-7 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 37 ° C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.28 พิจารณารูปที่ 4.15 จะเห็นว่าแอกติวิตีของเอนไซม์ตรังรูปทั้ง 2 ชนิดลดลงมาก เมื่อทำปฏิกิริยาซ้ำ 1-3 ครั้งแรก และคงที่เมื่อทำปฏิกิริยาซ้ำในครั้งต่อ ๆ ไป โดยปาเปนและนิวเตรสตรังรูปมีแอกติวิตีคองเหลือร้อยละ 29 และ 50 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.28 แอกติวิตีของปาเปนและนิวเตรสตรังรูป เมื่อใช้ทำปฏิกิริยาซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ที่อุณหภูมิ 37 ° C พีเอช 7.1

จำนวนครั้งที่ ใช้ทำปฏิกิริยา	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี (ยูนิต/กรัม)		แอกติวิตีสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	
	ปาเปน	นิวเตรส	ปาเปน	นิวเตรส
1	42.83	70.49	100.00	100.00
2	16.19	44.14	37.80	62.62
3	11.48	38.83	26.80	55.08
4	12.36	34.90	28.86	49.51
5	12.07	35.59	28.18	50.49
6	12.56	39.98	29.32	56.72
7	12.36	35.89	28.86	50.91



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาซ้ำของปลาเป่น (▲—▲)  
และนิวเตรสตรงรูป (●—●)

#### 4.5 ศึกษาผลของสารปฏิชีวนะต่อเสถียรภาพของป่าเป้นและนิวเตรสตรังรูป

##### 4.5.1 ศึกษาผลของอิตีทีเอและซีสเตอินต่อเสถียรภาพของป่าเป้นตรังรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.5.1 เปรียบเทียบผลของอิตีทีเอความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ และซีสเตอินความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ ในน้ำกลั่น และในทริสบัฟเฟอร์ พีเอช 8.5 ต่อแอกติวิตีคังเกลือของป่าเป้นตรังรูปที่เวลา 0, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.29 จะเห็นว่าภาวะการเก็บโดยใช้สารละลายอิตีทีเอและซีสเตอินในสารละลายทริสบัฟเฟอร์พีเอช 8.5 เป็นภาวะที่ทำให้ป่าเป้นตรังรูปมีแอกติวิตีคังเกลือที่ต่ำที่สุด จึงเลือกภาวะนี้ในการศึกษาเสถียรภาพของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บต่อไป

ตารางที่ 4.29 ผลของอิตีทีเอและซีสเตอินต่อเสถียรภาพของป่าเป้นตรังรูปที่เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	สภาวะการเก็บ	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี (ยูนิต/กรัม)	แอกติวิตีสัมพันธ์ (ร้อยละ)
0		45.94	100.00
48	อิตีทีเอ+ซีสเตอิน / น้ำกลั่น	19.93	43.39
	อิตีทีเอ+ซีสเตอิน / ทริสบัฟเฟอร์ pH 8.5	21.65	47.13
	ทริสบัฟเฟอร์ พีเอช 8.5	6.34	13.79
72	อิตีทีเอ+ซีสเตอิน / น้ำกลั่น	15.84	34.48
	อิตีทีเอ+ซีสเตอิน / ทริสบัฟเฟอร์ pH 8.5	18.61	40.52
	ทริสบัฟเฟอร์ พีเอช 8.5	2.90	6.31



#### 4.5.2 ศึกษาผลของแคลเซียมอิออนต่อเสถียรภาพของนิวเตรสตรังรูป

จากการทดลองข้อ 3.3.5.2 โดยเปรียบเทียบผลของแคลเซียมซัลเฟตความเข้มข้น  $2 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ในน้ำกลั่น และในทริสบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 ต่อแอกติวิตีคองเหลือของนิวเตรสตรังรูปที่เวลา 0, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.30 จะเห็นว่าภาวะการเก็บโดยใช้สารละลายแคลเซียมซัลเฟตในน้ำกลั่น เป็นภาวะที่ทำให้นิวเตรสตรังรูปมีแอกติวิตีคองเหลือดีที่สุด จึงเลือกภาวะนี้ในการศึกษาเสถียรภาพของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บต่อไป

ตารางที่ 4.30 ผลของแคลเซียมอิออนต่อเสถียรภาพของนิวเตรสตรังรูปที่เวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง

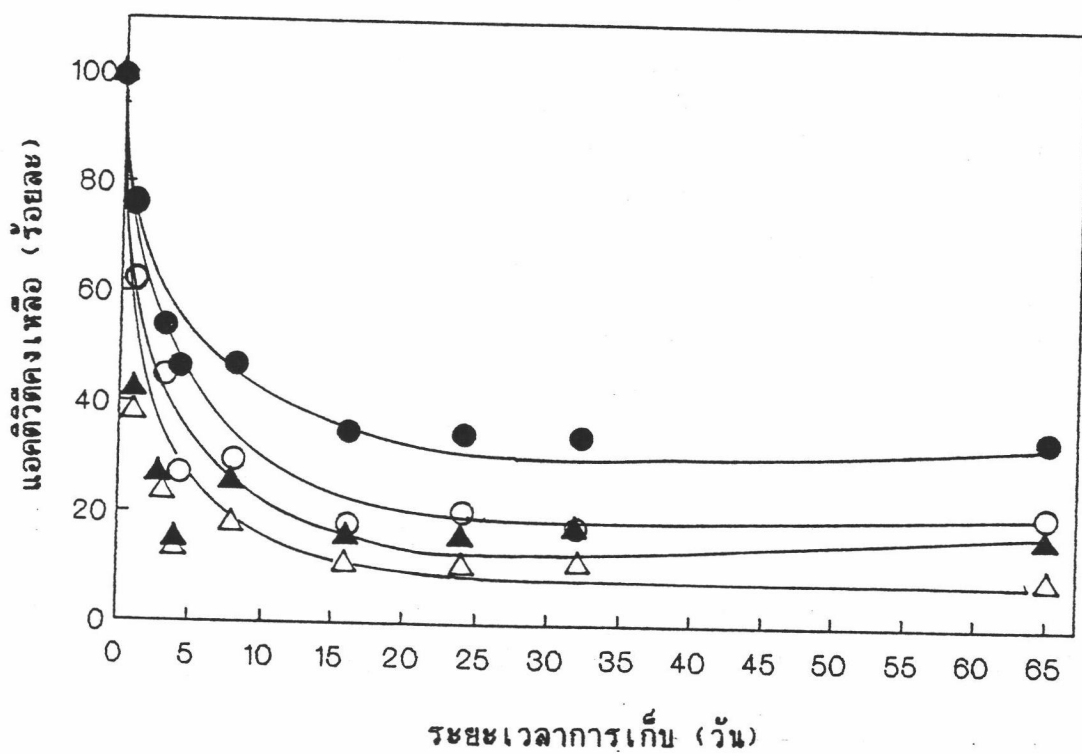
เวลา (ชั่วโมง)	สภาวะการเก็บ	ค่าเฉลี่ยแอกติวิตี (ยูนิต/กรัม)	แอกติวิตีสัมพันธ์ (ร้อยละ)
0		67.35	100.00
48	แคลเซียมซัลเฟต / น้ำกลั่น	32.79	48.68
	แคลเซียมซัลเฟต / ทริสบัฟเฟอร์ pH 7.0	18.56	27.56
	ทริสบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0	16.79	24.93
72	แคลเซียมซัลเฟต / น้ำกลั่น	34.96	51.91
	แคลเซียมซัลเฟต / ทริสบัฟเฟอร์ pH 7.0	18.07	26.83
	ทริสบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0	16.99	25.22

#### 4.6 ศึกษาเสถียรภาพของปาเปนและนิวเตรสตรังรูปในระหว่างการเก็บ

จากการทดลองข้อ 3.3.6 วิเคราะห์แอกติวิตีของปาเปนตรังรูปซึ่งเก็บในสารละลาย อีตีทีเอและซีสเตอีนในทริสบัฟเฟอร์พีเอช 8.5 และนิวเตรสตรังรูปซึ่งเก็บในสารละลายแคลเซียม ซัลเฟตในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ( $28-30^{\circ}\text{C}$ ) และที่อุณหภูมิต่ำเย็น ( $8-10^{\circ}\text{C}$ ) ที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 4, 8, 16, 24, 32 และ 65 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.31 พิจารณา รูปที่ 4.16 จะเห็นว่าแอกติวิตีคงเหลือของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ  $28-30^{\circ}\text{C}$  ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ  $8-10^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตามแอกติวิตีของเอนไซม์ตรังรูปที่อุณหภูมิ  $8-10^{\circ}\text{C}$  ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 วันแรก หลังจากนั้นอัตราการลดลงของแอกติวิตี จะช้าลง และคงที่ที่เวลา 16-65 วัน

ตารางที่ 4.31 แอคติวิตีสัมพันธ์ของป่าเป่นและนิวเตรสตรงรูปที่อุณหภูมิห้อง (28-30 ° C)  
และอุณหภูมิเย็น (8-10 ° C)

เวลา (วัน)	แอคติวิตีสัมพันธ์ (ร้อยละ)				ค่าเฉลี่ยแอคติวิตี (ยูนิต/กรัม)			
	ป่าเป่นตรงรูป		นิวเตรสตรงรูป		ป่าเป่นตรงรูป		นิวเตรสตรงรูป	
	8-10 °C	28-30 °C	8-10 °C	28-30 °C	8-10 °C	28-30 °C	8-10 °C	28-30 °C
0	100.00	100.00	100.00	100.00	46.25	46.25	68.02	68.02
1	62.47	42.23	76.66	39.26	28.89	19.53	52.14	26.70
3	45.03	26.90	53.83	23.79	20.83	12.44	36.62	16.18
4	27.18	15.63	46.67	14.19	12.57	7.23	31.74	9.65
8	29.82	26.49	46.80	18.54	13.79	12.25	31.83	12.61
16	17.85	15.81	34.50	11.38	8.26	7.31	23.47	7.74
24	20.69	16.63	34.50	11.00	9.57	7.69	23.47	7.48
32	18.86	17.86	34.13	11.38	8.72	8.26	23.22	7.74
65	20.49	16.59	34.28	8.82	9.48	7.67	23.32	6.00



รูปที่ 4.16 แอกติวิตี้สัมพัทธ์ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ของปาเปนและนิวเตรสตรงรูป ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 ° C) และอุณหภูมิต่ำเย็น (8-10 ° C)

(△—△) = ปาเปนตรงรูป 28-30 ° C (○—○) = ปาเปนอัสราซ 8-10 ° C

(▲—▲) = นิวเตรสตรงรูป 28-30 ° C (●—●) = นิวเตรสอัสราซ 8-10 ° C

#### 4.7 ศึกษาการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ป่าเป็นและนิวเตรสตรังรูปแบบฟลูอิดไธซ์เบด

##### 4.7.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและจำนวนรอบต่อระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลา

##### 4.7.1.1 ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไธซ์

จากการทดลองข้อ 3.3.7.1.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.32 หาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไธซ์ของทรายจำนวน 15.0 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด  $1.7 \times 75$  เซนติเมตร จำนวน 1 คอลัมน์ โดยพิจารณาอัตราเร็วการไหลต่ำที่สุดที่ความดันตกเริ่มมีค่าคงที่ จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไธซ์ของทรายที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 84 และ 105 มิลลิลิตร/นาที ตามลำดับ โดยสมการของเส้นกราฟในช่วงก่อนที่ความดันตกเริ่มมีค่าคงที่ได้จากการทำ linear regression ระหว่างอัตราการไหล (X) และความดันตก (Y) ที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  แสดงดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

$$Y = 2.36 \times 10^{-3} X + 4.31 \text{ ที่อุณหภูมิ } 35^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$Y = 1.69 \times 10^{-3} X + 4.27 \text{ ที่อุณหภูมิ } 50^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (4.2)$$

ถ้าต้องการให้ของไหลมีสมบัติต่าง ๆ ที่ที่สุด จะต้องใช้อัตราเร็วการไหลไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของอัตราเร็วต่ำสุด ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะกำหนดอัตราการไหลเท่ากับ 150 มิลลิลิตร/นาที แต่โดยทั่วไปในงานเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ตรังรูป มักบอกอัตราการไหลเป็น space velocity ซึ่งหมายถึง ปริมาณของไหลที่ไหลผ่านเอนไซม์ตรังรูปในคอลัมน์ ภายในเวลา 1 นาที ซึ่งคำนวณจาก

$$\text{Space Velocity (SV)} = \frac{\text{ความเร็วการไหลของน้ำนิ่งปลา}}{\text{ปริมาตรเอนไซม์ทรงรูปในคอลัมน์}}$$

กำหนด อัตราการไหล = 150 มิลลิลิตร/นาที

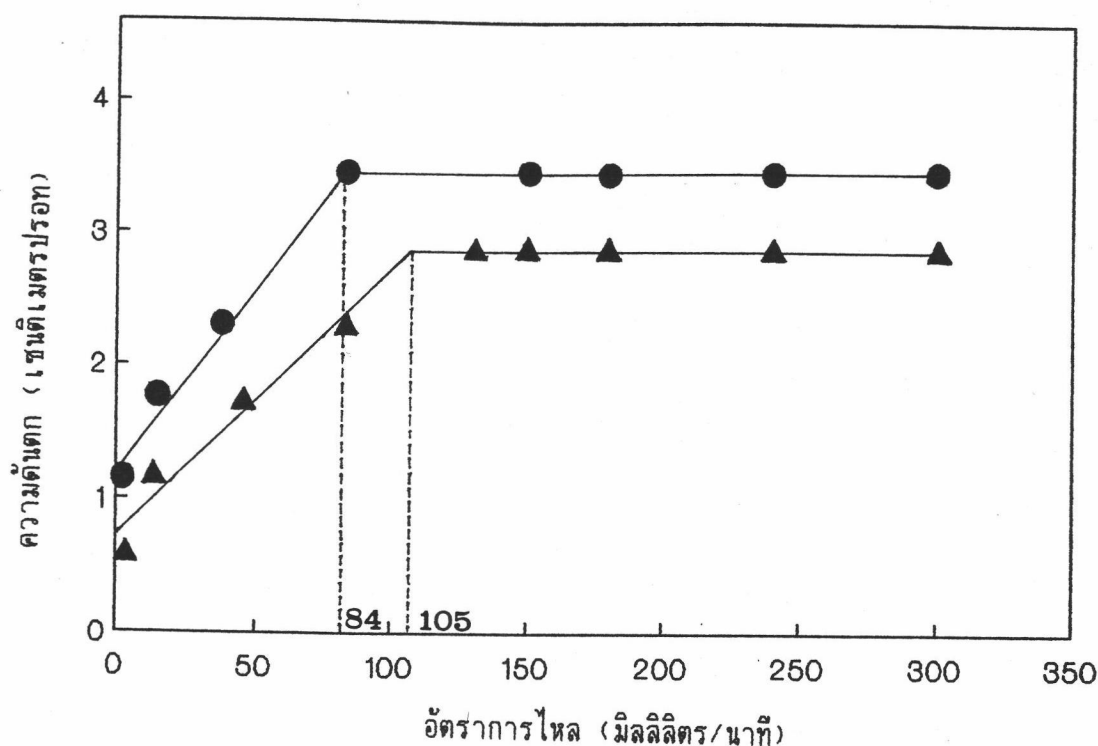
ความสูงของเบด = 5 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางของเบด = 1.7 เซนติเมตร

$$\therefore \text{SV} = \frac{150}{5 \times \pi \times (1.7/2)^2} = 13.2 \text{ (นาที)}^{-1}$$

ตารางที่ 4.32 ค่าความดันตกของเบดเมื่อปรับอัตราการไหลขาออกของน้ำนิ่งปลาในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 1.7 x 75 เซนติเมตร จำนวน 1 คอลัมน์ เมื่อใช้เอนไซม์ทรงรูปจำนวน 15 กรัม ที่อุณหภูมิ 35 °C และ 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (มล./นาที)	ความดันตก (ชม.ปรอท)	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหล (มล./นาที)	ความดันตก (ชม.ปรอท)
35	3.0	4.30	50	3.0	4.25
	14.0	4.35		11.0	4.30
	38.0	4.40		42.0	4.35
	84.0	4.50		84.0	4.40
	150.0	4.50		150.0	4.45
	180.0	4.50		180.0	4.45
	240.0	4.50		240.0	4.45
	300.0	4.50		300.0	4.45



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตก และอัตราการไหลเมื่อใช้เอนไซม์ตรงรูป จำนวน 15 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด  $1.7 \times 75$  เซนติเมตร จำนวน 1 คอลัมน์ ที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  (●—●) และ  $50^{\circ}\text{C}$  (▲—▲)

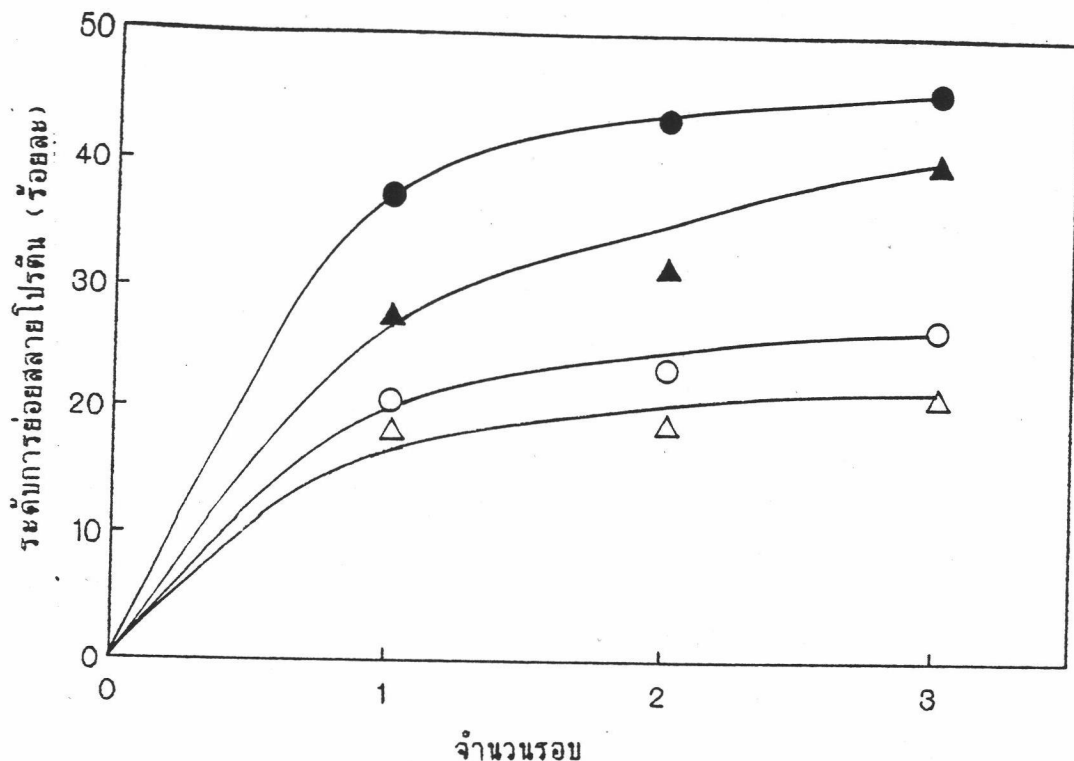
#### 4.7.1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและจำนวนรอบต่อระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลา

จากการทดลองข้อ 3.3.7.1.2 กำหนดปริมาณน้ำนิ่งปลา 4000 มิลลิลิตร (พีเอช 6.0-7.0) ที่ SV เท่ากับ  $13.2 (\text{นาท})^{-1}$  วัดระดับการย่อยสลายโปรตีนของสารสกัดจากปลารวมที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปลาแปนและนิวเตรสตรงรูปในแต่ละรอบ ทำการย่อยสลายซ้ำจำนวน 3 รอบ ที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.33 และรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลาด้วยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  สูงกว่าที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  ในทุกรอบของการย่อยสลาย ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ในการศึกษาผลของปริมาณปลาแปนและนิวเตรสตรงรูปต่อระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลาต่อไป

ตารางที่ 4.33 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนึ่งปลาโดยปาเปนและนิวเตรสตรังรูป  
ในเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 35 ° C และ 50 ° C

อุณหภูมิ (° C)	จำนวนรอบ	ระดับการย่อยสลายโปรตีน (ร้อยละ)	
		ปาเปน	นิวเตรส
35	1	18.33	20.62
	2	18.43	23.23
	3	20.89	26.52
50	1	27.45	37.36
	2	31.38	43.54
	3	39.68	45.73





รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลาจากการวนซ้ำรอบต่าง ๆ ในเครื่องปฏิกรณ์ปลาแปนและนิวเตรสตรังรูปที่อุณหภูมิ 35 ° C และ 50 ° C  
 (△—△) ปลาแปนตรังรูป อุณหภูมิ 35 ° C (▲—▲) ปลาแปนตรังรูป อุณหภูมิ 50 ° C  
 (○—○) นิวเตรสตรังรูป อุณหภูมิ 35 ° C (●—●) นิวเตรสตรังรูป อุณหภูมิ 50 ° C

#### 4.7.2 ศึกษาผลของปริมาณปลาแปนและนิวเตรสตรังรูปต่อระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลา

##### 4.7.2.1 หาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน

จากการทดลองข้อ 3.3.7.2.1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.34 พิจารณารูปที่ 4.19 จะเห็นว่าค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันของทรายจำนวน 10, 15 และ 25 กรัม (ความสูงของเบตเท่ากับ 3, 5 และ 7 เซนติเมตร ตามลำดับ) ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 1.7 x 75 เซนติเมตร จำนวน 3 คอลัมน์ต่อเนื่องกัน ที่อุณหภูมิ 50 ° C เท่ากับ 150, 180 และ 200 มิลลิลิตร/นาที ตามลำดับ โดยสมการของเส้นกราฟในช่วงก่อนที่ความดันตกเริ่มมีค่าคงที่ ได้จากการทำ linear regression ระหว่างอัตราการไหล (x)

และ ความดันตก (Y) ที่ความสูงของเบต 3, 5 และ 7 เซนติเมตร แสดงดังสมการที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

$$Y = 9.76 \times 10^{-3} X + 0.02 \quad \text{ที่ความสูงของเบต 3 เซนติเมตร} \dots\dots(4.3)$$

$$Y = 1.11 \times 10^{-2} X + 0.38 \quad \text{ที่ความสูงของเบต 5 เซนติเมตร} \dots\dots(4.4)$$

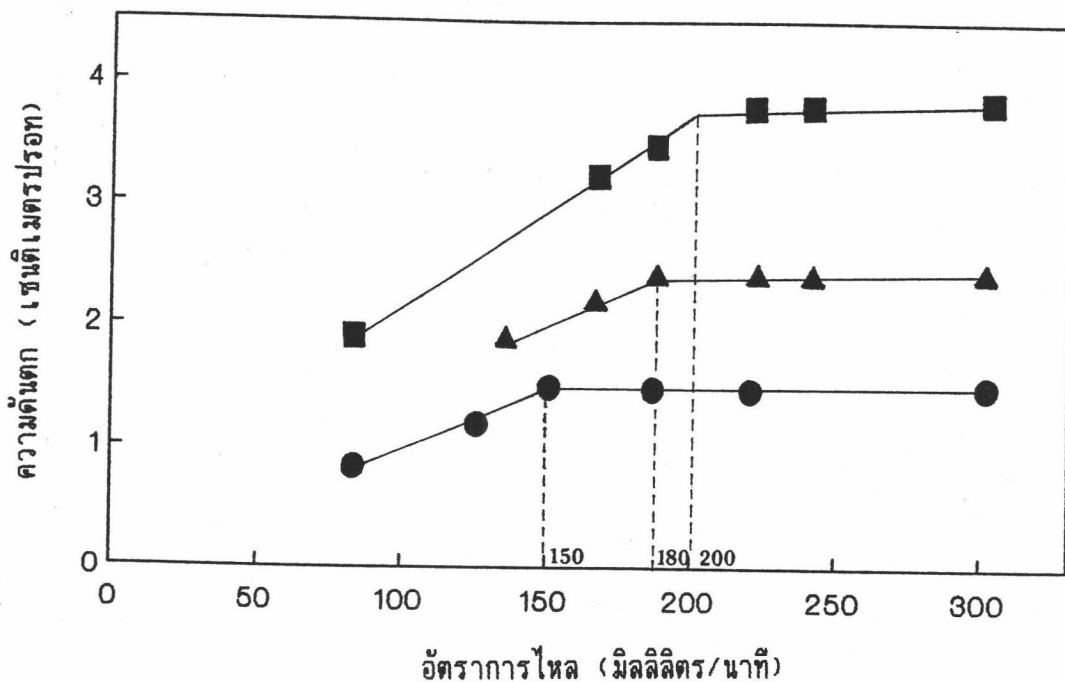
$$Y = 1.66 \times 10^{-2} X + 0.50 \quad \text{ที่ความสูงของเบต 7 เซนติเมตร} \dots\dots(4.5)$$

การเลือกอัตราการไหลในการทดลองนี้จะกำหนดอัตราการไหล เป็น 1.5 เท่า ของอัตราเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันเป็น 225, 270 และ 300 มิลลิเมตร/นาทึ ตามลำดับ คิดเป็นค่า SV เท่ากับ 11.0, 7.9 และ 5.5 (นาทึ)<sup>-1</sup> ตามลำดับ

ตารางที่ 4.34 ค่าความดันตกของเขตเมื่อแปรอัตราการไหลขาออกของน้ำนิ่งปลาในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 1.7 x 75 เซนติเมตร จำนวน 3 คอลัมน์ต่อเนื่องกัน เมื่อใช้เอนไซม์ครึ่งรูปจำนวน 10, 15 และ 25 กรัม

อัตรา การไหล (มล./นาที)	ความดันตก (เซนติเมตรปรอท)		
	ปริมาณเอนไซม์ครึ่งรูป		
	10 กรัม ( $\Delta h=3$ ซม.)	15 กรัม ( $\Delta h=5$ ซม.)	25 กรัม ( $\Delta h=7$ ซม.)
84	0.85	-	1.90
124	1.20	-	-
136	-	1.90	-
150	1.50	-	-
166	-	2.20	3.25
180	1.50	2.40	3.50
220	1.50	-	3.80
222	-	2.40	-
240	-	2.40	3.80
300	1.50	2.40	3.80

หมายเหตุ  $\Delta h$  = ความสูงของเขต (เซนติเมตร)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและอัตราการไหล เมื่อใช้เอนไซม์ตรึงรูปจำนวน 10 (●—●), 15 (▲—▲) และ 25 (■—■) กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์ ขนาด 1.7 x 75 เซนติเมตร จำนวน 3 คอลัมน์ต่อเนื่องกัน ที่อุณหภูมิ 50 °C

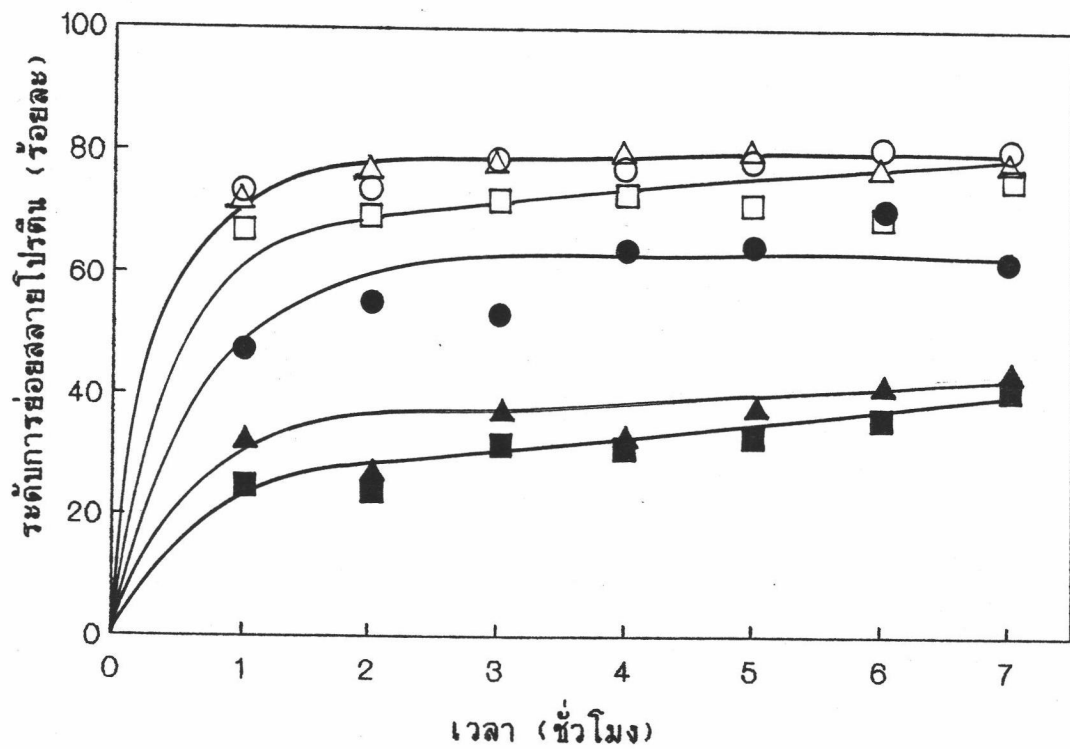
#### 4.7.2.1 ศึกษาผลของปริมาณปาเปนและนิวเตรสตรึงรูปต่อระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลา

จากการทดลองข้อ 3.3.7.2.2 กำหนดปริมาณน้ำนิ่งปลา 1,000 มิลลิลิตร แปรปริมาณเอนไซม์ตรึงรูป 10, 15 และ 25 กรัม ที่ SV 11.0, 7.9 และ 5.5 (นาที)<sup>-1</sup> วัดระดับการย่อยสลายโปรตีนของสารสกัดจากปลารวมที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ทุก ๆ ชั่วโมง เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.35 จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำนิ่งปลาด้วยปาเปนและนิวเตรสตรึงรูป คือที่ SV เท่ากับ 5.5 (นาที)<sup>-1</sup> เวลา 4 ชั่วโมง และ 7.9 (นาที)<sup>-1</sup> เวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ได้ระดับการย่อยสลายสูงสุดร้อยละ 65 และ 78 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.35 ระดับการย่อยสลายโปรตีนของสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์  
ปลาแปนและนิวเตรสตรึงรูปขนาด 1.7 x 75 เซนติเมตร จำนวน 3  
คอลัมน์ต่อเนื่องกัน ที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ระดับการย่อยสลายโปรตีน (ร้อยละ)					
	ปลาแปน			นิวเตรส		
	SV=11.0	SV=7.9	SV=5.5	SV=11.0	SV=7.9	SV=5.5
1	24.82	32.84	47.18	66.93	71.96	73.14
2	23.82	27.27	55.43	69.90	76.52	73.93
3	31.91	37.29	53.22	72.38	78.45	77.65
4	32.00	32.84	63.98	73.17	79.97	77.43
5	33.45	37.66	64.79	71.54	80.43	78.33
6	36.18	41.74	70.72	69.31	76.80	79.80
7	41.45	43.69	62.27	76.44	77.96	79.91

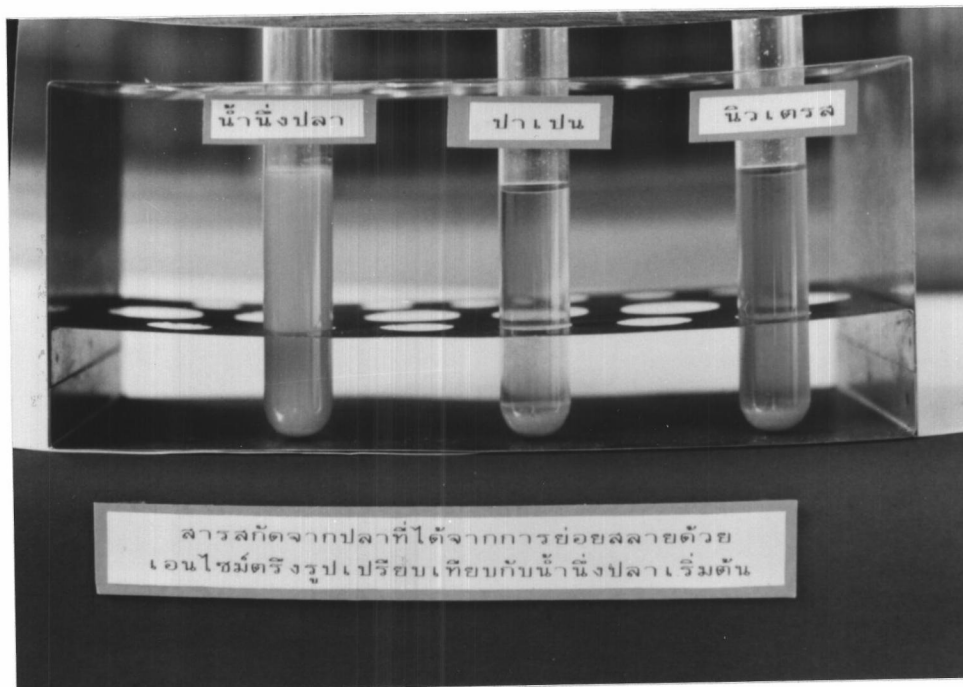
หมายเหตุ SV = space velocity มีหน่วยเป็น (นาที)<sup>-1</sup>



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลายโปรตีนในน้ำนิ่งปลาและระยะเวลาการย่อยสลาย ในเครื่องปฏิกรณ์ปลาแปนและนิวเตรสตรังรูปขนาด  $1.7 \times 75$  เซนติเมตร จำนวน 3 คอลัมน์ต่อเนื่องกัน ที่ SV ต่าง ๆ อุณหภูมิ  $50^{\circ} \text{C}$

- (●—●) = ปลาแปนตรังรูป ; (○—○) = นิวเตรสตรังรูป ที่  $SV = 5.5 \text{ (นาที)}^{-1}$   
 (▲—▲) = ปลาแปนตรังรูป ; (△—△) = นิวเตรสตรังรูป ที่  $SV = 7.9 \text{ (นาที)}^{-1}$   
 (■—■) = ปลาแปนตรังรูป ; (□—□) = นิวเตรสตรังรูป ที่  $SV = 11.0 \text{ (นาที)}^{-1}$

สารสกัดจากปลาที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปาเปนและนิวเตรสตรังรูปใน  
เครื่องปฏิกรณ์ที่ SV เท่ากับ 5.5 และ 7.9 (นาทิจ)<sup>-1</sup> เวลา 4 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ  
เปรียบเทียบกับน้ำนิ่งปลาเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบน้ำนิ่งปลาเริ่มต้นและสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์  
ปาเปนและนิวเตรสตรังรูป

#### 4.8 การเตรียมและศึกษาสมบัติทางเคมีของสารสกัดจากปลาแบบแห้งและแบบเข้มข้น

จากการทดลองข้อ 3.3.8 นำน้ำนิ่งปลาซึ่งผ่านการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องปฏิกรณ์ป่าเปนและนิวเตรสตรึงรูปขนาด  $1.7 \times 75$  เซนติเมตร จำนวน 3 คอลัมน์ ต่อเนื่องกัน ที่  $SV$  เท่ากับ  $5.5 \text{ (นาที)}^{-1}$  เวลา 4 ชั่วโมง และ  $7.9 \text{ (นาที)}^{-1}$  เวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ  $50^\circ \text{C}$  ซึ่งจะทำให้ได้ระดับการย่อยสลายสูงสุดร้อยละ 65 และ 78 ตามลำดับ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากปลาดังกล่าว สารสกัดจากปลาเข้มข้น ซึ่งเตรียมโดยวิธีในข้อ 3.3.8.2 และสารสกัดจากปลาผงแห้ง ซึ่งเตรียมโดยวิธีในข้อ 3.3.8.3 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากปลาเริ่มต้น สารสกัดจากปลาเข้มข้น และสารสกัดจากปลาผงแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	สารสกัดจากปลา			
	เริ่มต้น	เข้มข้น	ผงแห้งที่ได้จากวิธี spray drying	ผงแห้งที่ได้จากวิธี freeze drying
ความชื้น	92.90 $\pm$ 0.01	50.17 $\pm$ 0.25	3.63 $\pm$ 0.50	1.37 $\pm$ 0.00
โปรตีน	4.59 $\pm$ 0.55	31.03 $\pm$ 0.55	60.56 $\pm$ 1.50	61.94 $\pm$ 1.06
ไขมัน	0.20 $\pm$ 0.01	1.93 $\pm$ 0.09	3.84 $\pm$ 1.12	4.05 $\pm$ 0.47
เถ้า	1.73 $\pm$ 0.09	12.89 $\pm$ 0.00	21.54 $\pm$ 0.09	22.70 $\pm$ 0.05
เกลือ	1.37 $\pm$ 0.00	2.95 $\pm$ 0.00	19.31 $\pm$ 0.53	19.52 $\pm$ 0.84

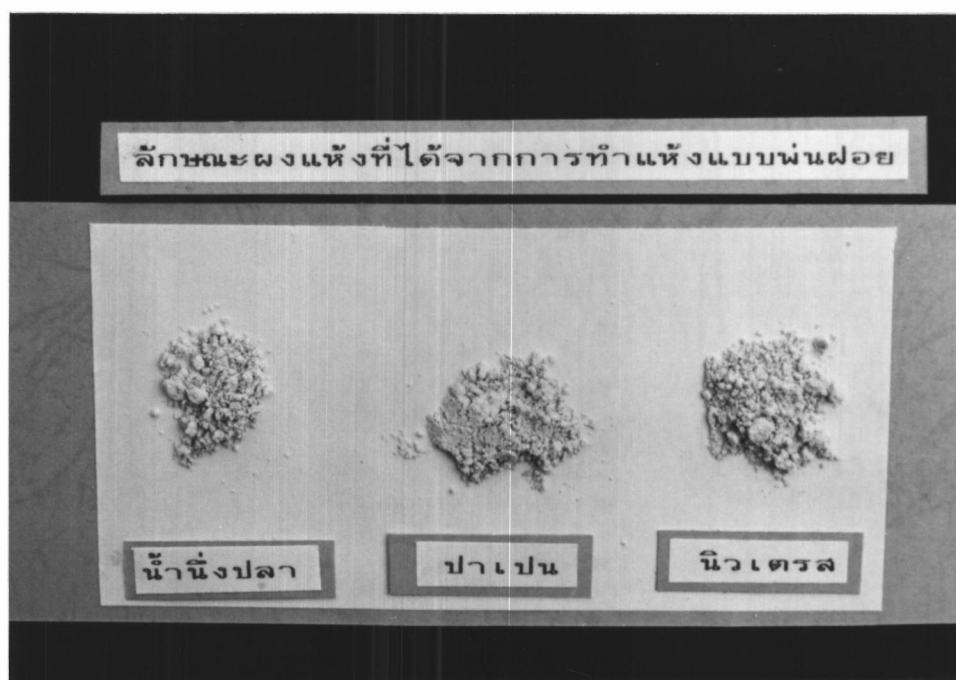


ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำเข้มข้นภายใต้ภาวะสุญญากาศ มีสีน้ำตาลเข้ม แสดงดังรูปที่ 4.22

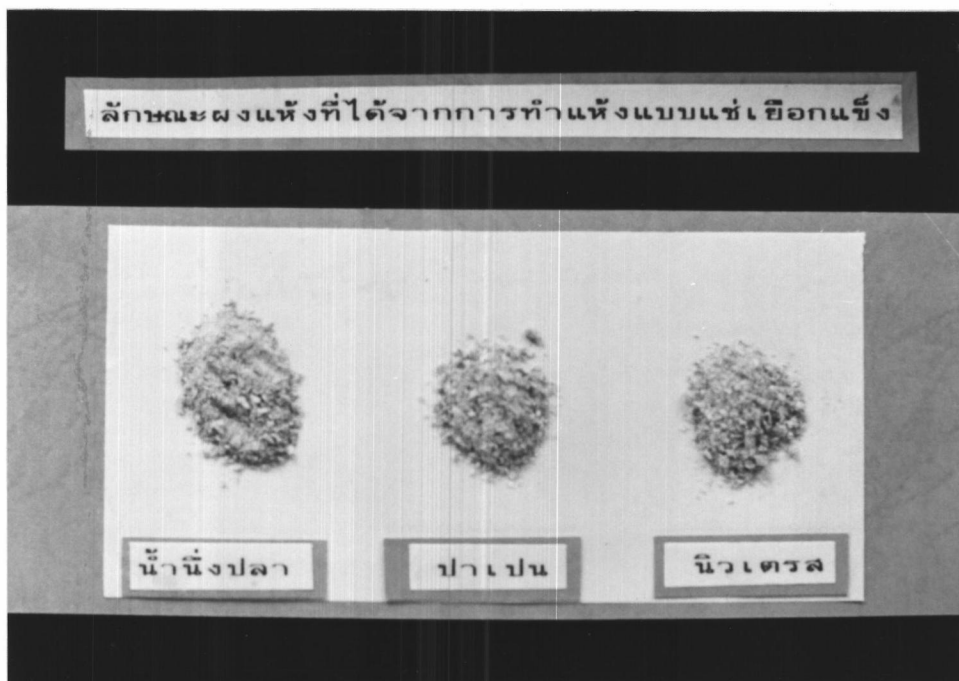


รูปที่ 4.22 สารสกัดจากปลาเข้มข้นซึ่งผ่านการระเหยน้ำภายใต้ความดัน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีนึ่งฝอย และแช่เลือกแข็งมีสีเหลืองอ่อน ค่อนข้างรวมตัวกัน (agglomerate) ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ส่วนผงแห้งที่ได้จากวิธีแช่เลือกแข็งมีสีเหลืองอ่อนกว่า โครงสร้างพองเบา (porosity) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ตูความชื้นง่าย



รูปที่ 4.23 สารสกัดจากปลาผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีนึ่งฝอย



รูปที่ 4.24 สารสกัดจากปลาผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง

เปรียบเทียบสมบัติการละลายของผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งน้ำนิ่งปลาเริ่มต้น และสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปลาแปนและนิวเตรสตรงรูปด้วยวิธีหั่นฝอย และวิธีแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาการละลายของไนโตรเจน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.37 จะเห็นว่าสารสกัดจากปลาผงแห้งที่ระดับการย่อยสลายสูงสุดมีสมบัติการละลายดีกว่าผงแห้งที่ได้จากน้ำนิ่งปลาที่ไม่ผ่านการขบวนการย่อยสลายใด ๆ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธีการทำแห้งแบบเดียวกัน

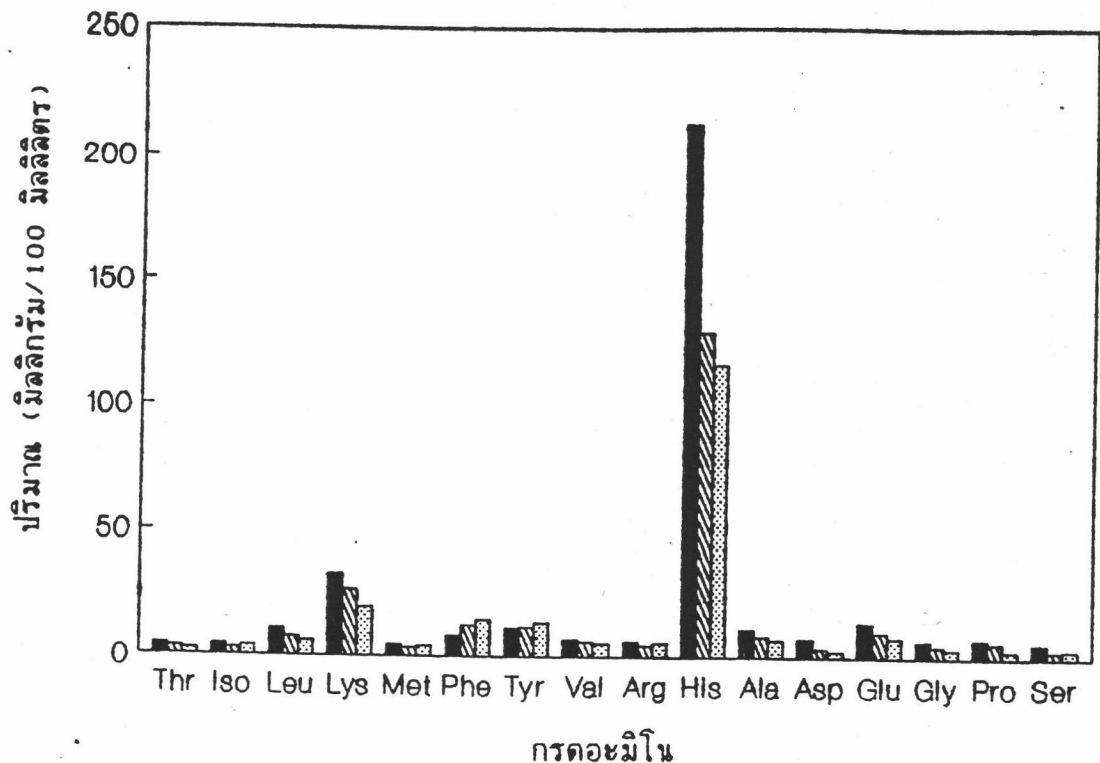
ตารางที่ 4.37 ธรรมชาติการละลายของไนโตรเจน (% NSI) ของน้ำนึ่งปลา และสารสกัดจากปลาผงแห้งที่ได้จากวิธีนึ่งผอม และวิธีแช่เยือกแข็ง

	ธรรมชาติการละลายของไนโตรเจน (ร้อยละ)		
	น้ำนึ่งปลาเริ่มต้น	สารสกัดจากปลาที่ได้จากการย่อยสลายด้วย	
		ปลาแปน	นิวเตรส
ผงแห้งที่ได้จากวิธี freeze drying	85.37 $\pm$ 0.30	97.19 $\pm$ 0.59	99.50 $\pm$ 0.31
ผงแห้งที่ได้จากวิธี spray drying	68.02 $\pm$ 0.54	88.96 $\pm$ 0.56	90.67 $\pm$ 1.67

จากการวิเคราะห์กรดอะมิโนในน้ำนึ่งปลาเปรียบเทียบกับสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปลาแปนและนิวเตรสตรงรูป ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.38 นิยามรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าฮิสติดีน และไลซีนลดลงอย่างมาก ขณะที่กรดอะมิโนอื่น ๆ ลดลงเล็กน้อย ยกเว้น ฟีนอลอะลานีน และไทโรซีนมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.38 เปรียบเทียบกรดอะมิโนอิสระในน้ำนึ่งปลาเริ่มต้นกับสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ป่าแปนและนิวเตรสตรงรูป

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณของกรดอะมิโนในอาหารส่วนที่กินได้ (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)		
	น้ำนึ่งปลาเริ่มต้น	สารสกัดจากปลาที่ผ่านการย่อยสลายด้วย	
		ป่าแปน	นิวเตรส
ทรีโอนีน	1.967	1.485	1.128
ไอโซลิวซีน	1.911	1.299	1.758
ลิวซีน	4.649	3.364	2.631
ไลซีน	13.846	11.506	8.495
เมไทโอนีน	2.108	1.542	1.893
ฟีนิลอะลานีน	3.636	5.517	6.380
ไทโรซีน	5.020	5.111	5.924
วาเลีน	2.941	2.615	2.447
อาร์จินีน	2.704	2.064	2.496
ฮิสติดีน	82.927	53.999	48.509
อะลานีน	4.905	3.686	2.953
กรดแอสปาทิก	1.984	1.575	1.194
กรดกลูตามิก	5.909	4.350	3.467
ไกลซีน	2.852	2.145	1.612
โปรลีน	3.080	2.610	1.378
ซีรีน	2.331	1.378	1.458



- = น้ำนึ่งปลา เริ่มต้น
- ▨ = สารสกัดจากปลาที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปาเปน
- ▩ = สารสกัดจากปลาที่ได้จากการย่อยสลายด้วยนิวเทรล

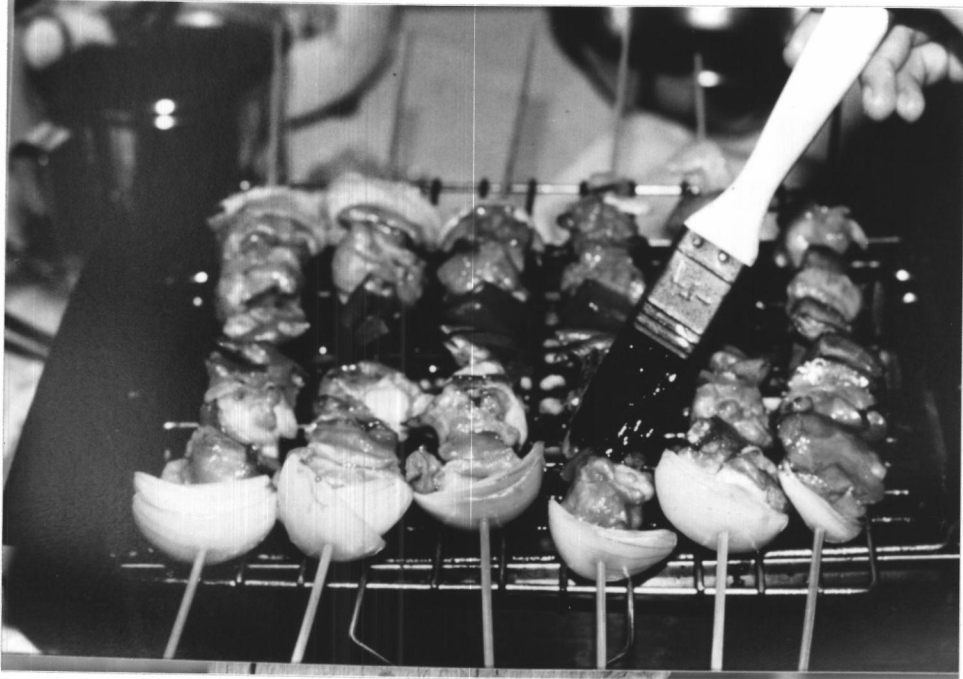
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบกรดอะมิโนอิสระในน้ำนึ่งปลาเริ่มต้นกับสารสกัดจากปลาที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปาเปนและนิวเทรลตรึงรูป

#### 4.9 การใช้ประโยชน์จากสารสกัดจากปลาเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร

##### 4.9.1 การใช้สารสกัดจากปลาแบบเข้มข้นในผลิตภัณฑ์ขำบิควัก (ฮาคิโทริ)

จากการทดลองข้อ 3.3.9.1 ทดลองใช้สารสกัดจากปลาเข้มข้นที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปาเปนและนิวเทรลตรึงรูป เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสปลาอย่างในผลิตภัณฑ์ขำบิควัก แสดงดังรูปที่ 4.26 ทดสอบประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสปลาอย่าง และระดับการยอมรับรวมเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารปรุงแต่งกลิ่นรสปลาอย่าง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่

4.39



รูปที่ 4.26 ผลิตภัณฑ์ขานิคิวไก่ (ฮาคิโทริ)

ตารางที่ 4.39 คชแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสปลาย่างของสารสกัดจากปลาเข็มชั้นเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ขบิควไ่

ตัวอย่าง	คชแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	กลิ่นรสปลาย่าง	การยอมรับรวม <sup>***</sup>
1	1.21 $\pm$ 0.42	-
2	4.95 $\pm$ 0.75	6.75 $\pm$ 1.11
3	5.09 $\pm$ 0.88	7.06 $\pm$ 0.63

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>\*\*\*</sup> = ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตัวอย่างที่ 1 ไม่ได้เติมสารสกัดจากปลา

ตัวอย่างที่ 2 เติมสารสกัดจากปลาที่ได้จากปลาแปนตรงรูป

ตัวอย่างที่ 3 เติมสารสกัดจากปลาที่ได้จากนิวเตรสตรงรูป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าผลิตภัณฑ์ขบิควไ่ทั้ง 3 ตัวอย่าง แตกต่างกันด้านความแรงของกลิ่นรสปลาย่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.40 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's new multiple range test พบว่าระดับกลิ่นรสปลาย่างในผลิตภัณฑ์ที่เติมสารสกัดจากปลาเข็มชั้นที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปลาแปนและนิวเตรสไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากปลาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) สำหรับผลการทดสอบประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมในผลิตภัณฑ์ที่เติมสารสกัดจากปลาเข็มชั้นที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปลาแปนและนิวเตรส พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )



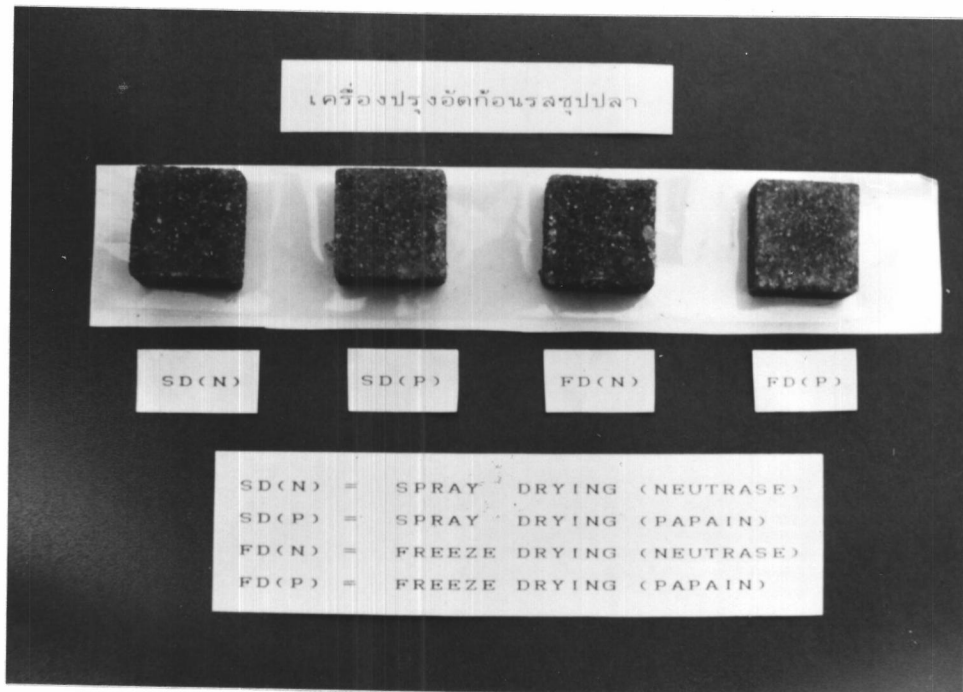
ตารางที่ 4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสปลาอย่างในผลิตภัณฑ์ขบาคิวไก่ ซึ่งใช้สารสกัดจากปลาเข้มข้นเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส

source	df.	MS. กลิ่นรส	df.	MS. การยอมรับรวม
treatment	2	18.08 **	1	0.167
blocks	11	0.614	11	0.576
error	22	0.720	11	1.167

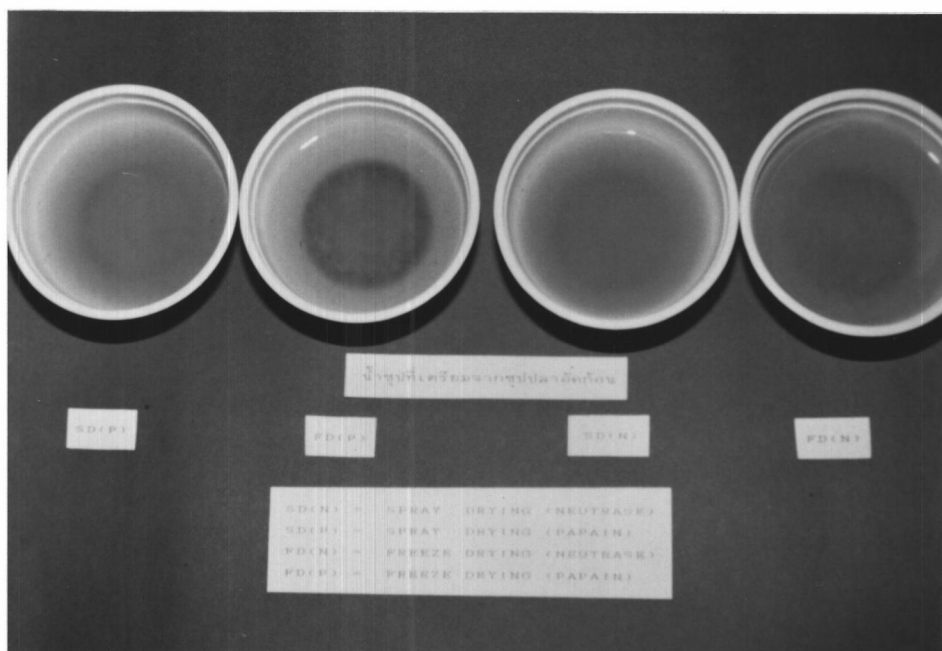
\*\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ )

#### 4.9.2 การใช้สารสกัดจากปลาผงแห้งในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรสซุปลลา

จากการทดลองข้อ 3.3.9.2 ทดลองใช้สารสกัดจากปลาผงแห้งที่ได้จากการย่อยสลายด้วยปาเปนและนิวเตรสตรังรูปซึ่งผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีพ่นฝอยและแช่เยือกแข็ง เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสซุปลลาในเครื่องปรุงอ้ดก่อนรสซุปลลา แสดงดังรูปที่ 4.27 นำซุปลก๊อคนที่ได้มาละลายเป็นน้ำซุปล แสดงดังรูปที่ 4.28 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ความใสกลิ่นรสแปลกปลอม และการยอมรับรวม โดยเติมน้ำซุปลลงในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป แสดงดังรูปที่ 4.29 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.41



รูปที่ 4.27 เครื่องปรุงอัดก้อนรสซูปลา



รูปที่ 4.28 น้ำซูปลาที่ได้จากเครื่องปรุงอัดก้อนรสซูปลา



รูปที่ 4.29 บะหมี่น้ำรสปลา

ตารางที่ 4.41 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ความใส กลิ่นรส แปลกปลอม และการยอมรับรวมของสารสกัดจากปลาผงแห้ง เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสปลาในเครื่องปรุงอัดก้อนขะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กลิ่นรสปลา <sup>***</sup>	ความใส <sup>***</sup>	กลิ่นแปลกปลอม <sup>***</sup>	การยอมรับรวม <sup>***</sup>
1	6.7 $\pm$ 2.7	7.5 $\pm$ 0.7	8.1 $\pm$ 0.7	7.4 $\pm$ 0.9
2	6.2 $\pm$ 1.9	7.5 $\pm$ 0.5	7.3 $\pm$ 2.2	6.7 $\pm$ 0.4
3	6.2 $\pm$ 1.5	7.1 $\pm$ 0.9	7.4 $\pm$ 2.7	6.3 $\pm$ 2.7
4	6.0 $\pm$ 3.8	7.8 $\pm$ 3.6	7.4 $\pm$ 0.4	6.1 $\pm$ 1.3

<sup>\*\*\*</sup> = ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

- ตัวอย่างที่ 1 ทำแห้งแบบพ่นฝอย ; ย่อยสลายด้วยปลาเป็ดทรงรูป  
 ตัวอย่างที่ 2 ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ; ย่อยสลายด้วยปลาเป็ดทรงรูป  
 ตัวอย่างที่ 3 ทำแห้งแบบพ่นฝอย ; ย่อยสลายด้วยนิวเตรสทรงรูป  
 ตัวอย่างที่ 4 ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ; ย่อยสลายด้วยนิวเตรสทรงรูป

จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ พบว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส ความใส กลิ่นรสแปลกปลอม และการยอมรับรวมในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอย และแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านการย่อยสลายด้วยปลาเป็ดและนิวเตรสทรงรูป ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )