บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 ผลการตรึง GOx บนผ้าไนลอนในสภาวะต่าง ๆ

3.1.1 การกระตุ้นผ้าไนลอนด้วยไดเมทิล ซัลเฟต

เมื่อใช้เวลาต่างๆกันในการกระตุ้นผ้าไนลอนด้วยไดเมทิล ซัลเฟตตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.1.1 ได้ผลตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการกระตุ้นผ้าไนลอนด้วยไดเมทิล ซัลเฟตที่เวลาต่าง ๆ กัน

เวลาที่ใช้ (นาที)	ค่ากระแสที่อ่านได้ (นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น 13 ppm
1	2,3
3	18,16
5	25,28
7	27,28

เมื่อเพิ่มเวลากระตุ้นผ้าไนลอนด้วยไดเมทิล ซัลเฟตจาก 1 ถึง 5 นาที จะได้ GOx ตรึงบนผ้าไนลอนมีแอคติวิตีเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มเวลากระตุ้นเป็น 7 นาที จะไม่ค่อยมีผลแตกต่างจากที่เวลา 5 นาที จึงเลือกเวลา 5 นาทีในการกระตุ้นผ้าไนลอนตลอดการทดลองต่อไป

3.1.2 การติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน

แปรสภาวะต่างๆในการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.1.2 ได้ผลตามตารางที่ 3.2 และ 3.3 จากผลการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า เฮกซาเมทิลีนไดอามีนที่ระดับความเข้มข้น 1 และ 10% พีเอช 8 และ 10 และเวลาที่ใช้ติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน 1 และ 4 ชั่วโมง ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวต่อผลการตรึงGOxบนผ้าไนลอนที่ระดับความเชื่อมั่น95%

ตารางที่ 3.2 ผลการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนในสภาวะต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน	ค่ากระแสที่อ่านได้(นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น 13ppm มีความเข้มข้นเฮกซาเมทิลีนไดอามีน				
	1%		10%		5.5%
	พีเอช8	พีเอช10	พีเอช8	พีเอช10	พีเอช9
1 ชั่วโมง	20,22	22,35	20,31	20,20	
4 ชั่วโมง	26,32	24,25	25,30	24,26	
2.5 ชั่วโมง					25,30

ตารางที่ 3.3 ผลของปัจจัยต่างๆในการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน

ปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม	Mean contrast	Critical value
A (ความเข้มข้น)	-1.5	3.95
B (พีเอช)	-1.5	
C (เวลา)	2.5	
AB	-3.5	
AC	1	
BC	-2	
ABC	2.5	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองที่ได้ต้องการหาสภาวะอย่างต่ำที่การตริงเอนไซม์ยังให้ผลดี จึงลดปริมาณและเวลาที่ใช้ติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน ดังนี้ แปรสภาวะการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนมีความเข้มข้นเหลือ 0.1 และ 0.5% ใช้เวลา 15 และ 45 นาที ที่พีเอช 9 วางแผนการทดลองแบบ 2^2 แฟคตอเรียล และใช้กลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 1% พีเอช 9 เวลา 45 นาที นอกจากนั้นยังคงใช้สภาวะการตริงเหมือนข้อ 2.3.1 ได้ผลตามตารางที่ 3.4 และ 3.5 จากผลการเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นเฮกซาเมทิลีนไดอามีน 0.1 และ 0.5% มีอิทธิพลของความเข้มข้นต่อผลการตริงเอนไซม์ ส่วนเวลาไม่มีผล เมื่อใช้เฮกซาเมทิลีนไดอามีนเข้มข้น 1% ในการตริง GOx แล้ววัดแอคติวิตีด้วยกลูโคสเข้มข้น 27 ppm จะเห็นว่ามีแอคติวิตีเป็น 2 เท่าของการใช้เฮกซาเมทิลีนไดอามีนเข้มข้น 0.5% ต่อไปนี้จึงเลือกใช้สภาวะการตริงด้วยเฮกซาเมทิลีนไดอามีนเข้มข้น 1% พีเอช 9 เวลา 45 นาที

3.1.3 <u>การติดกลูตารัลดีไฮด์</u>

แปรสภาวะต่าง ๆ ในการติดกลูตารัลดีไฮด์ตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.1.3 ได้ผลตามตารางที่ 3.6 และ 3.7 จากผลการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์ 1 และ 12% มีอิทธิพลของความเข้มข้นต่อผลการตริง GOx บนผ้าไนลอน ส่วนปัจจัยอื่นคือ พีเอช 8 และ 10 เวลา 30 และ 90 นาที ไม่มีผลต่อการตริงเอนไซม์ นอกจากอิทธิพลร่วมของทั้งความเข้มข้น พีเอช และเวลา จะมีผลต่อการตริงเอนไซม์ด้วย จากผลการทดลองที่ได้ต้องการหาสภาวะอย่างต่ำที่การตริงเอนไซม์ยังให้ผลดี จึงลดปริมาณและเวลาที่ใช้ติดกลูตารัลดีไฮด์ ดังนี้ แปรสภาวะการติดกลูตารัลดีไฮด์เหลือ 0.1 และ 0.5% ใช้เวลา 10 และ 20 นาที ที่พีเอช 9 วางแผนการทดลองแบบ 2^2 แฟคตอเรียล นอกนั้นยังคงใช้สภาวะการตริงเหมือนข้อ 2.3.1 ได้ผลตามตารางที่ 3.8 และ 3.9 จากผลการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ 0.1 และ 0.5% มีผลต่อการตริง GOx บนผ้าไนลอน เวลาไม่ค่อยมีผล

จะเห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นกลูโคสเท่ากัน การติดโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 0.5 1 และ 12% จะให้ผ้าไนลอนมีแอคติวิตีเป็นอัตราส่วนดังนี้ 1:1.33:1.6 การติดโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 12% เทียบกับ 1% ให้แอคติวิตีสูงขึ้นเพียง 20% แต่ปริมาณที่ใช้สูงกว่ากันถึง1200% ทำให้ไม่ประหยัด จึงเลือกใช้สภาวะการติดกลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น1% พีเอช9 เวลา45นาที

ตารางที่ 3.4 ผลการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนที่ระดับความเข้มข้นและเวลาน้อยลง

เวลาที่ใช้ติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีน	ค่ากระแสที่อ่านได้(นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น27ppm มีความเข้มข้นเฮกซาเมทิลีนไดอามีน		
	0.1%	0.5%	0.3%
15 นาที	12,15	21,25	
45 นาที	12,18	23,27	
30 นาที			18,19

ตารางที่ 3.5 ผลของปัจจัยต่างๆในการติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนที่ระดับความเข้มข้นและเวลาน้อยลง

ปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม	Mean contrast	Critical value
A (ความเข้มข้น)	9.75 +	6.09
B (เวลา)	1.75	
AB	0.25	

เครื่องหมาย + แสดงว่า จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นเฮกซาเมทิลีนไดอามีนมีผลต่อการตริง GOx ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3.6 ผลการติดกลูตารัลดีไฮด์ ในสภาวะต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ติดกลูตารัลดีไฮด์	ค่ากระแสที่อ่านได้(นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น13ppm				
	ความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์				
	1%		12%		6.5%
	พีเอช8	พีเอช10	พีเอช8	พีเอช10	พีเอช9
30 นาที	21,30	25,25	25,30	34,35	
90 นาที	22,27	29,29	34,36	23,30	
45 นาที					28,35

ตารางที่ 3.7 ผลของปัจจัยต่างๆในการติดกลูตารัลดีไฮด์

ปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม	Mean contrast	Critical value
A (ความเข้มข้น)	4.875 +	3.92
B (พีเอช)	0.625	
C (เวลา)	0.625	
AB	-1.375	
AC	-0.875	
BC	-2.625	
ABC	5.125 +	

เครื่องหมาย + แสดงว่า จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์ และอิทธิพลร่วมของความเข้มข้น พีเอช และเวลา มีผลต่อการตรึง GOx ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3.8 ผลการติดกลูตารัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นและเวลาน้อยลง

เวลาที่ใช้ติดกลูตารัลดีไฮด์	ค่ากระแสที่อ่านได้(นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น13ppm มีความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์		
	0.1%	0.5%	0.3%
10 นาที	13,13	21,21	
20 นาที	14,13	16,20	
15 นาที			16,18

ตารางที่ 3.9 ผลของปัจจัยต่างๆในการติดกลูตารัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นและเวลาน้อยลง

ปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม	Mean contrast	Critical value
A (ความเข้มข้น)	6.25 +	2.86
B (เวลา)	-1.25	
AB	-1.75	

เครื่องหมาย + แสดงว่า จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของ GOx มีผลต่อการตรึง GOx ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.4 การตรึง GOx

แปรสภาวะต่าง ๆ ในการตรึง GOxตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.1.4 ได้ผลตามตารางที่ 3.10 จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ความเข้มข้นและพีเอชมีผลต่อการตรึง GOx ความเข้มข้นขั้นต่ำในการตรึงควรเป็น 0.2% พีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 7 จึงเลือกสภาวะในการตรึง GOx บนผ้าไนลอนดังนี้

1. ติดเฮกซาเมทิลีนไดอามีนที่ระดับความเข้มข้น 1% พีเอช 9 เวลา 45 นาที
2. ติดกลูตารัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 1% พีเอช 9 เวลา 45 นาที
3. ตรึง GOx ที่ระดับความเข้มข้น 0.3% พีเอช 7 เวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งค้างคืนที่อุณหภูมิ 4 °ซ

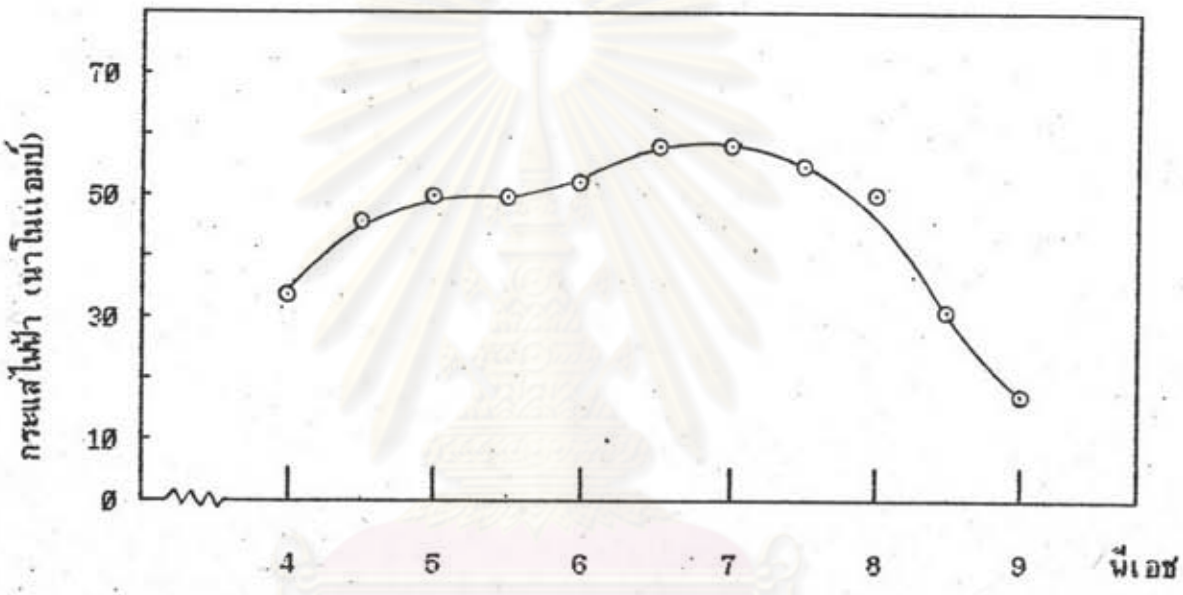
ตารางที่ 3.10 ผลการตรึง GOx ในสภาวะต่าง ๆ

พีเอชที่ใช้ตรึง GOx	ค่ากระแสที่อ่านได้(นาโนแอมป์) เมื่อวัดกลูโคสเข้มข้น12ppm ความเข้มข้น GOx		
	0.1%	0.2%	0.3%
พีเอช 6	3,3	5,5	5,5
พีเอช 7	13,14	20,20	22,20
พีเอช 8	13,13		17,17

3.2 การศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการวัดปริมาณกลูโคส

3.2.1 ผลของพีเอชที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสเข้มข้น 25 ppm ตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.1 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการวัดปริมาณกลูโคสคือ พีเอช 6.5 ถึง 7 ช่วงพีเอชที่ยังใช้งานได้ดี คือ พีเอช 5 ถึง 8 ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลของพีเอชที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.2 ทำการศึกษาเป็น 2 ช่วง พบว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 45 °ซ เมื่ออุณหภูมิต่างกัน 1 ถึง 2 °ซ แอคติวิตีจะต่างกันเล็กน้อย ตามรูปที่ 3.2 หาพลังงานกระตุ้นในการวัดกลูโคสได้ 5.7 กิโลคาลอรี/โมล(ดูภาคผนวก ค) ส่วนช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 65 °ซ เอนไซม์จะถูกทำลายค่อนข้างเร็วมาก แอคติวิตีจะลดลงรวดเร็วภายในไม่กี่นาที ตามรูปที่ 3.3 หาพลังงานกระตุ้นในการทำลายเอนไซม์ได้ 26.4 กิโลคาลอรี/โมล (ดูภาคผนวก ง)

3.2.3 ผลของพีเอชที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอน

ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอนตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.3 พบว่าช่วงพีเอช 6 ถึง 7 เอนไซม์มีเสถียรภาพดีที่สุด ตามรูปที่ 3.4

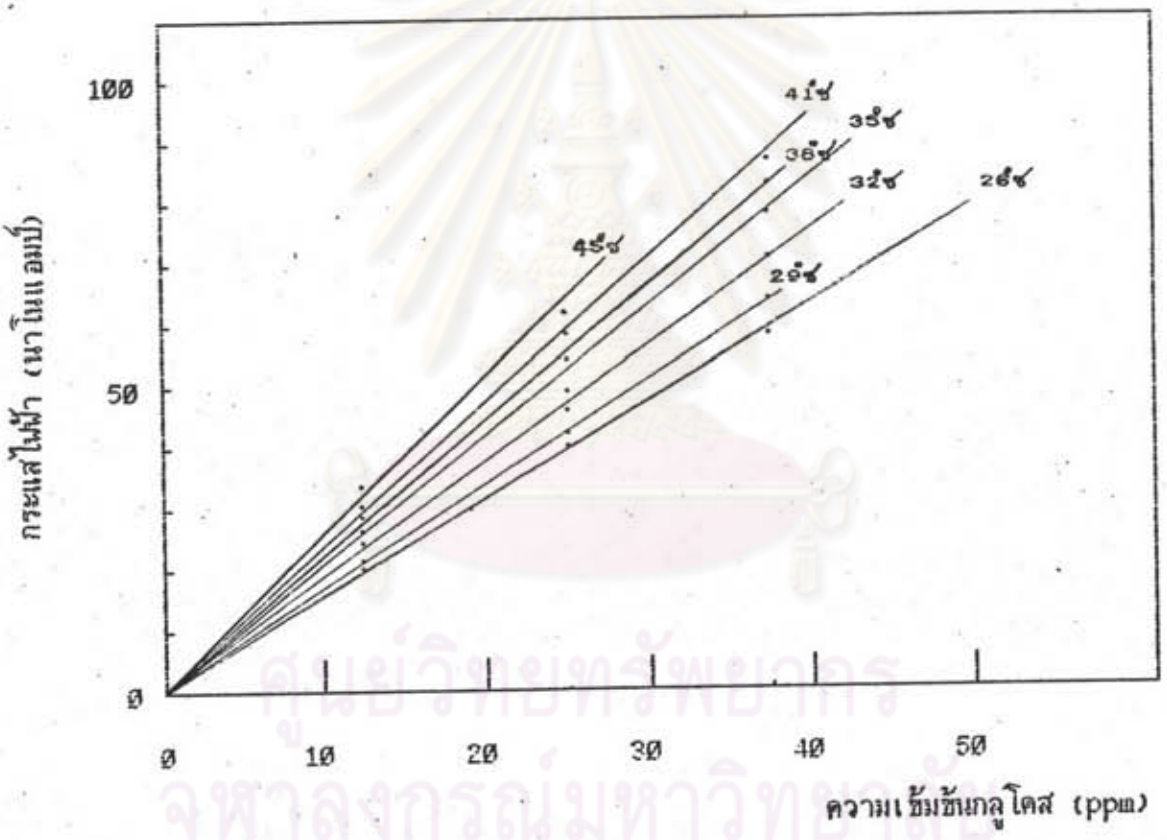
3.2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอนขณะใช้งาน

ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอนขณะใช้งานตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.4 พบว่าที่อุณหภูมิ 30 °ซ จะมีเสถียรภาพดีกว่าที่ 35 °ซ และ 40 °ซ ตามลำดับ ในช่วง 4 วันแรกที่อุณหภูมิ 30 °ซ และ 35 °ซ GOxยังมีแอคติวิตีดีอยู่มากเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 40 °ซ ตามรูปที่ 3.5

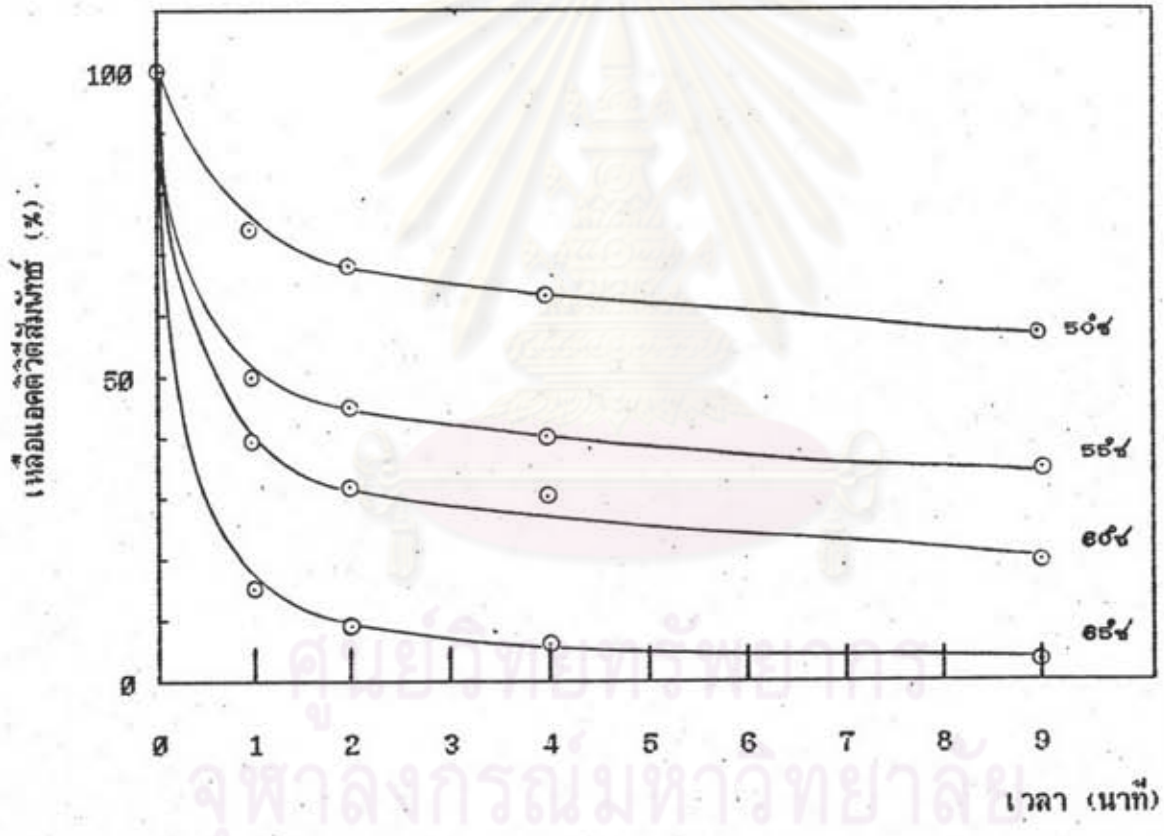
ที่อุณหภูมิ 30 °ซ มีเวลาครึ่งอายุประมาณ 11 วัน
" 35 °ซ " 7 วัน
" 40 °ซ " 6 วัน

3.2.5 ค่าคงที่ Michaelis-Menten ปรากฏ (K_m app) และอัตราเร็วสูงสุดปรากฏ (V_{max} app)

หาค่า K_m app และ V_{max} app ตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.5 พบว่า GOx ตรึงบนผ้าไนลอนมีค่า K_m app คือ 7.4 มิลลิโมลาร์ และอัตราเร็วสูงสุดปรากฏคือ 1 ไมโครโมล/นาที ตามรูปที่ 3.6 และ 3.7

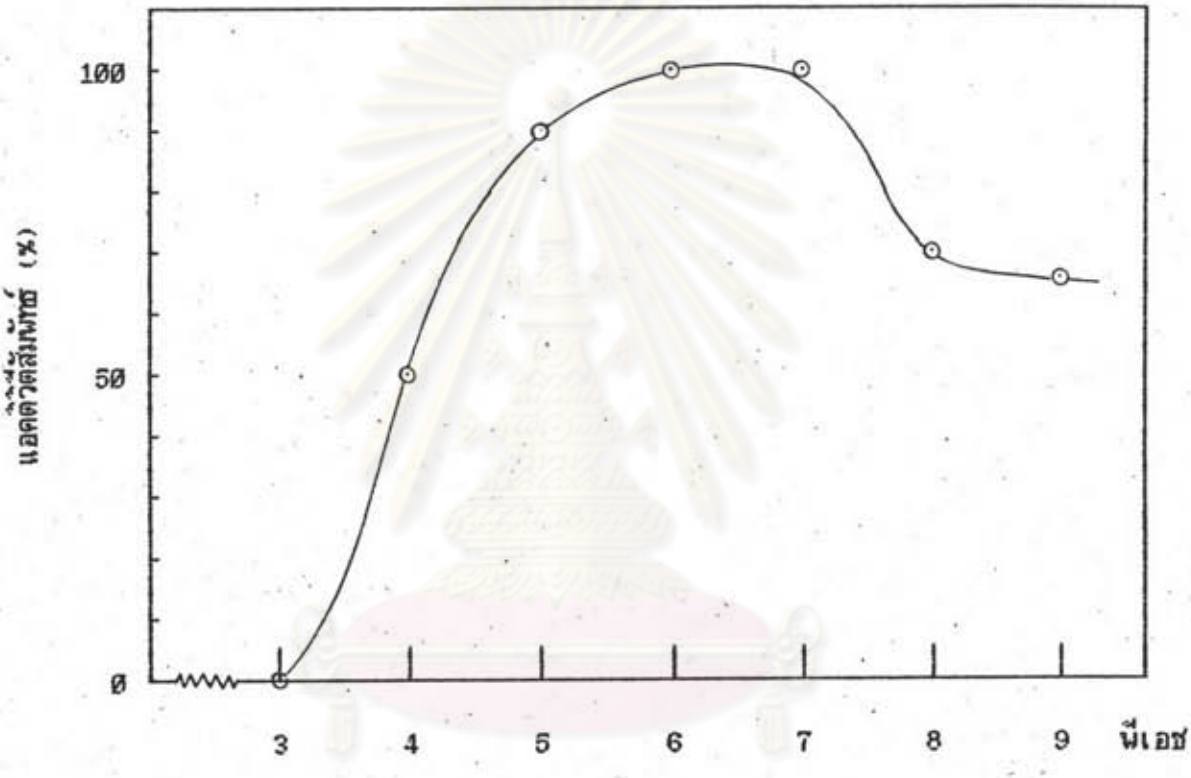


รูปที่ 3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส (ช่วงอุณหภูมิต่ำ)



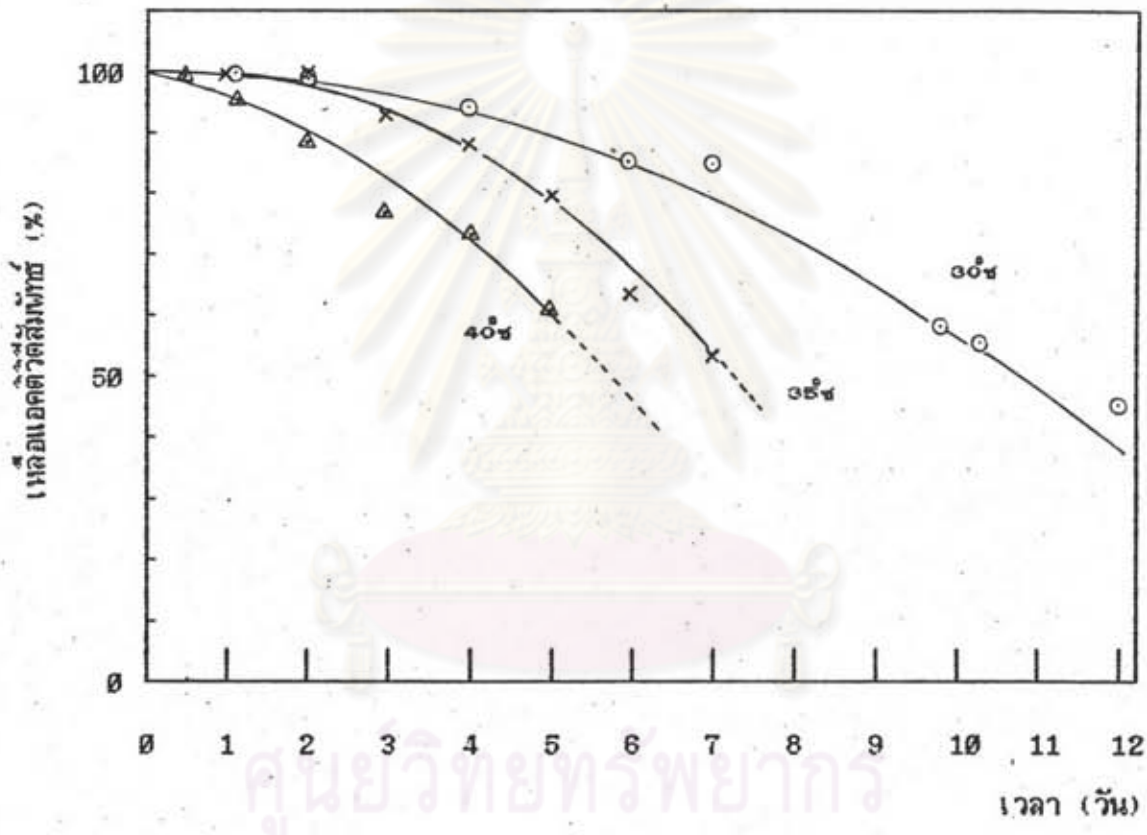
รูปที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส (ช่วงอุณหภูมิสูง)

I10300208



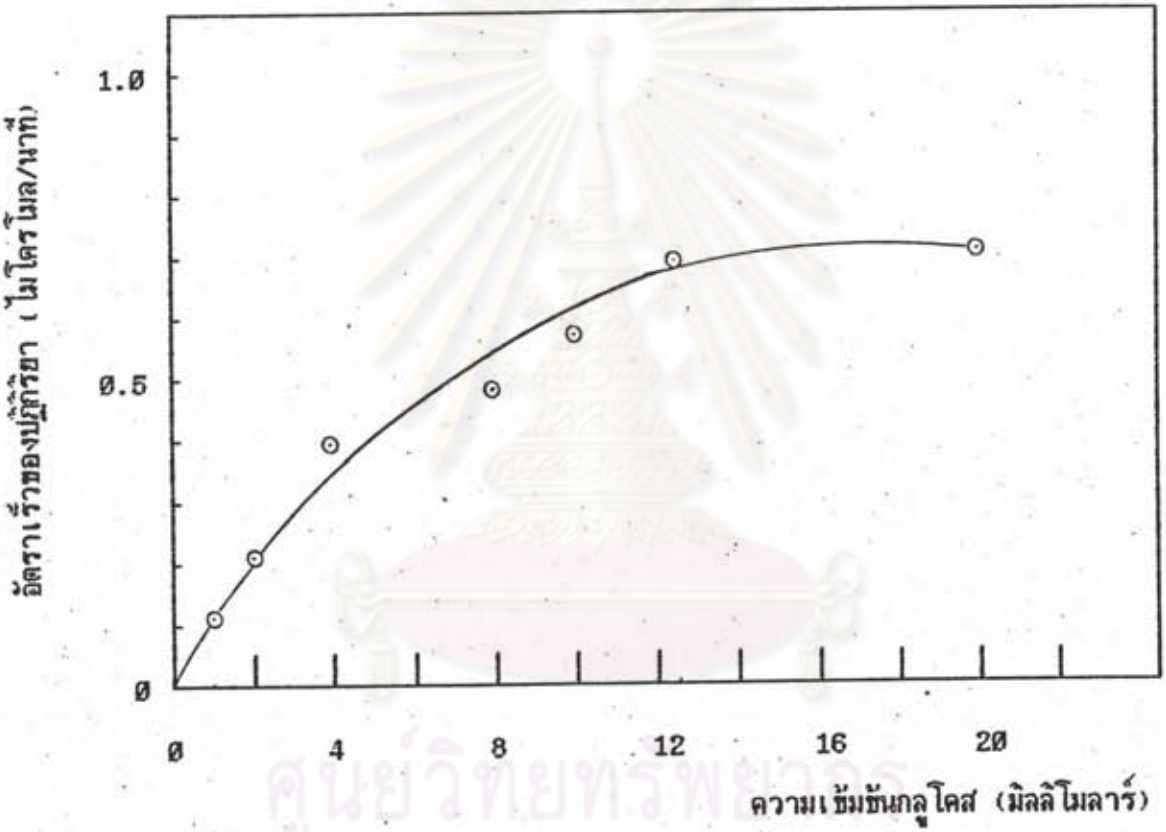
รูปที่ 3.4 ผลของพีเอชที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



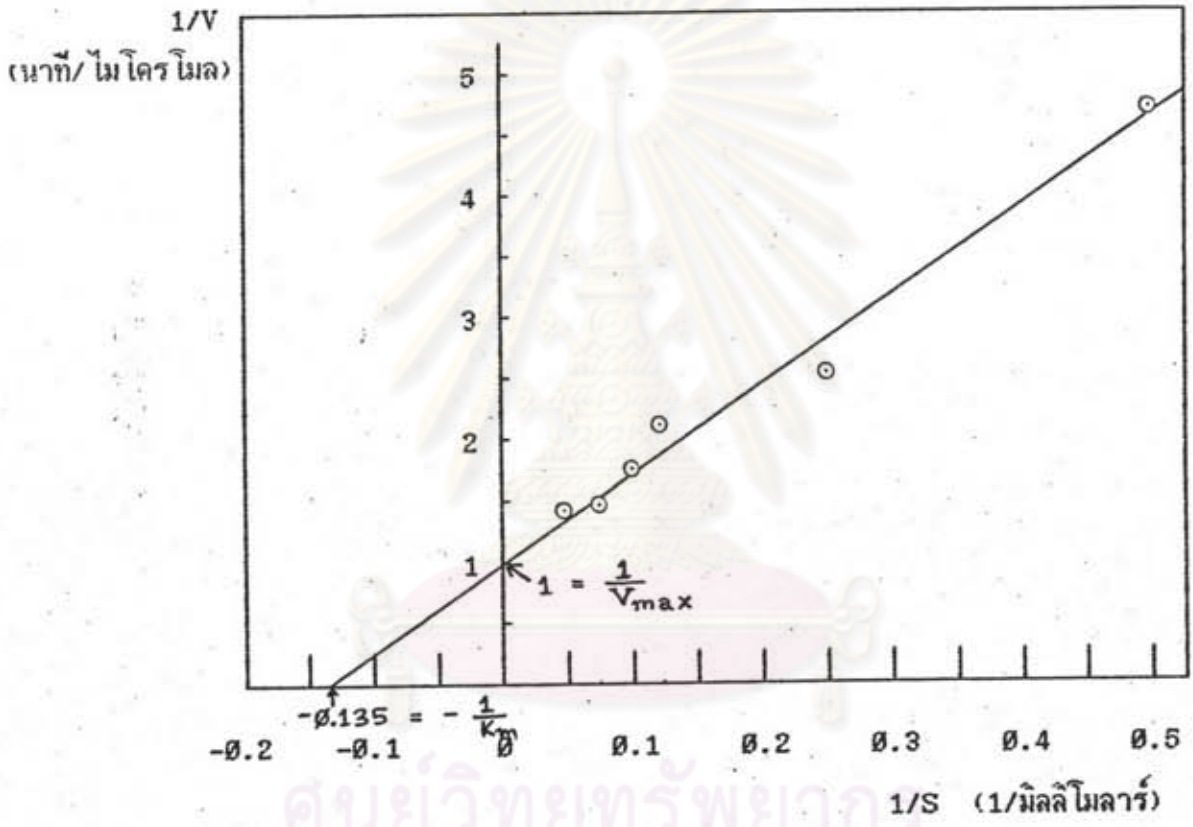
รูปที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเสถียรภาพของ GOx ตรึงบนผ้าไนลอนขณะใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยากับความเข้มข้นกลูโคส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 กราฟ Lineweaver-Burk

ได้ค่า K_m app คือ 7.4 มิลลิโมลาร์ และอัตราเร็วสูงสุดปรากฏคือ 1 ไมโครโมล/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.6 ผลการเตรียมแผ่น CA

เตรียมแผ่น CA ตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.6 ได้แผ่น CA คล้ายแผ่นพลาสติกใส มีรอยย่นเล็กน้อย ไม่สามารถควบคุมความหนาให้สม่ำเสมอเท่ากันได้ มีความหนาประมาณ 20 ถึง 45 ไมครอน

3.2.7 ผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

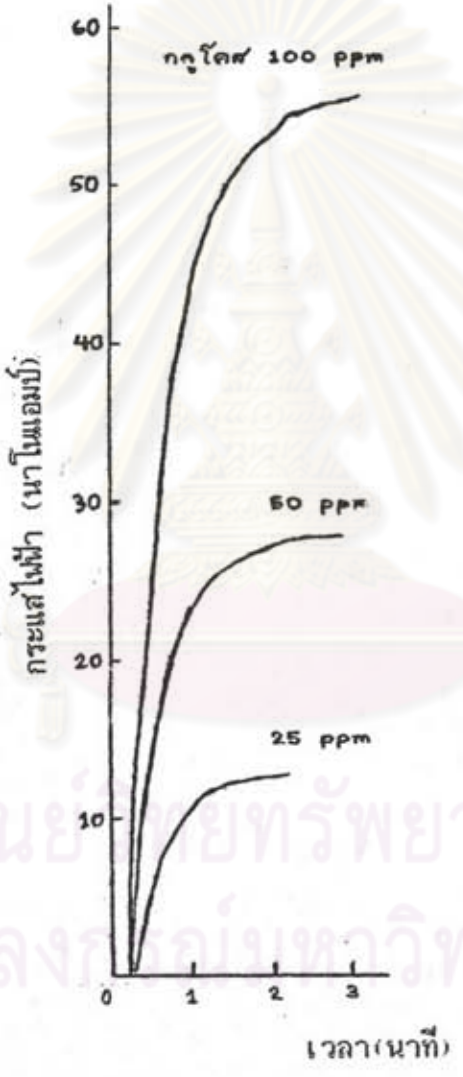
ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.7 พบว่าในการวัดปริมาณกลูโคสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันจะให้ค่ากระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกลูโคส แม้ว่าในการวัดแต่ละชุดจะใช้ผ้าไนลอนตริง GOx ที่มีอายุการใช้งานต่างกันและใช้แผ่น CA หนาบางไม่เท่ากัน ก็ยังให้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังนั้นในการใช้งานเครื่องใหม่ทุกครั้งต้องทำกราฟความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างกระแสไฟฟ้ากับปริมาณกลูโคสใหม่เสมอ เนื่องจากเครื่องมือสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้แค่ 100 นาโนแอมป์ ถ้าสูงกว่านั้นพื้นที่ผิวอิเล็กโทรดจะจำกัด จึงทำให้ใช้เครื่องมือวัดปริมาณกลูโคสได้อยู่ในช่วงประมาณ 0 ถึง 150 ppm เมื่อทำการวัดตัวอย่างเดียวกัน 15 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 60 ppm มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1 ppm คิดเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 1.7% พบว่าลักษณะสัญญาณมีเวลาแสดงสัญญาณพอๆกันทั้งในช่วงปริมาณกลูโคสความเข้มข้นต่ำและความเข้มข้นสูง คือมีเวลาแสดงสัญญาณประมาณ 1 ถึง 2 นาที ตามรูปที่ 3.8 ถึง 3.12

3.2.8 ผลของการกวนที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

ศึกษาผลของการกวนที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.8 พบว่าในการกวนโดยใช้ความเร็วรอบที่ต่างกันมากให้ระดับสัญญาณต่างกันประมาณ 6-10 % ตามรูปที่ 3.13 ถึง 3.16

3.2.9 ผลการใช้แผ่น CA ป้องกันสารรบกวน

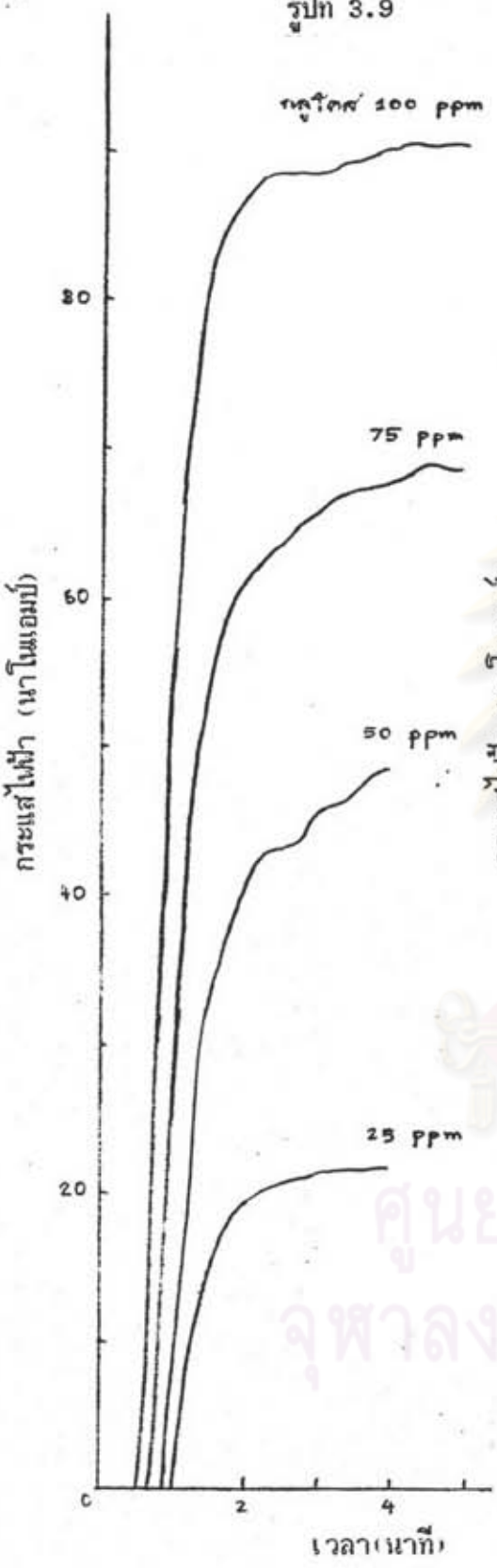
ศึกษาผลการใช้แผ่น CA ป้องกันสารรบกวนตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.9 พบว่าเมื่อใช้แผ่น CA ป้องกันสารรบกวนแล้ววัด ได้ผลตามตารางที่ 3.11 และเมื่อไม่มีแผ่น CA ได้ผลตามตารางที่ 3.12



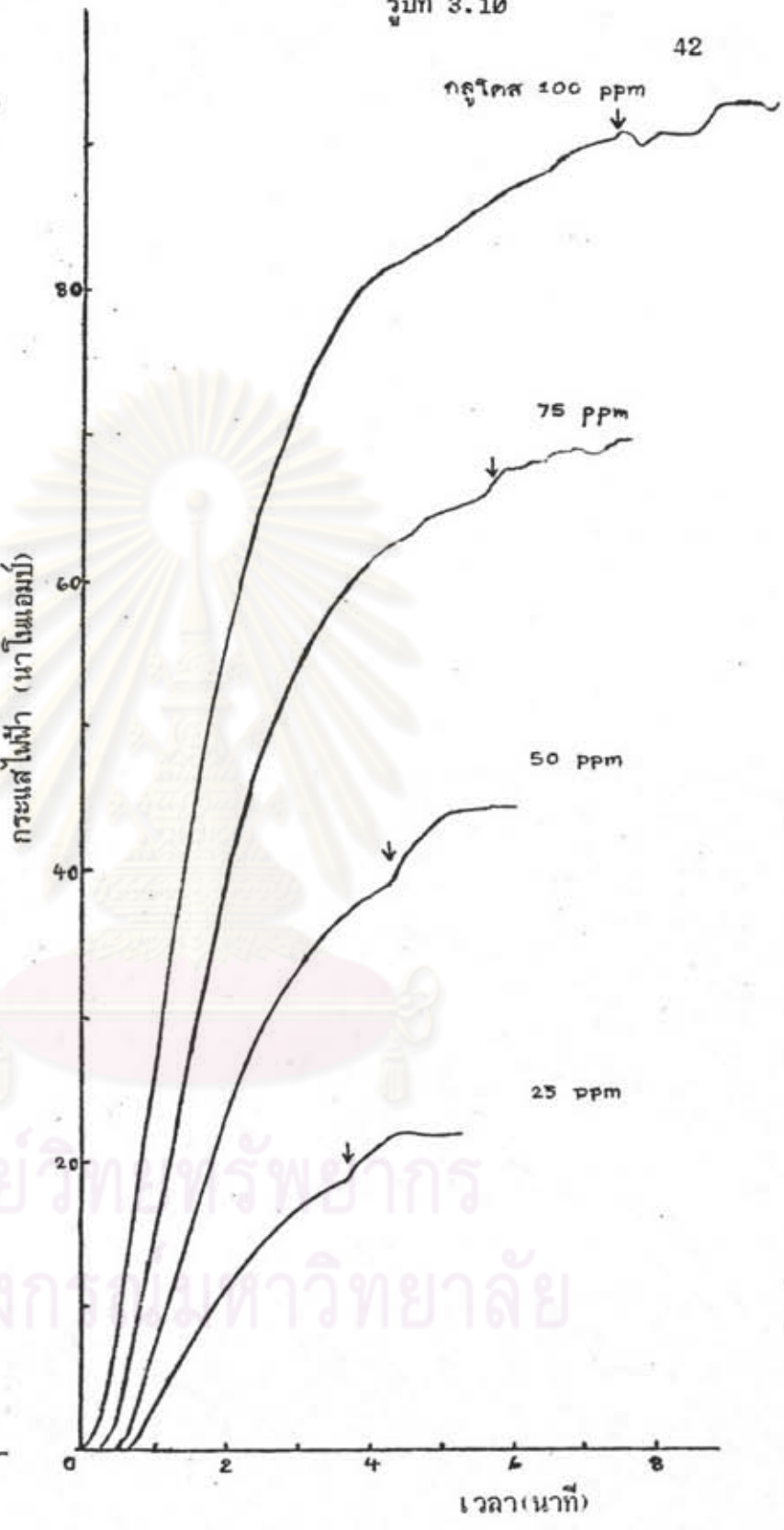
รูปที่ 3.9 ผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส เมื่อใช้แผ่น CA หนา 35 ไมโครเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.10

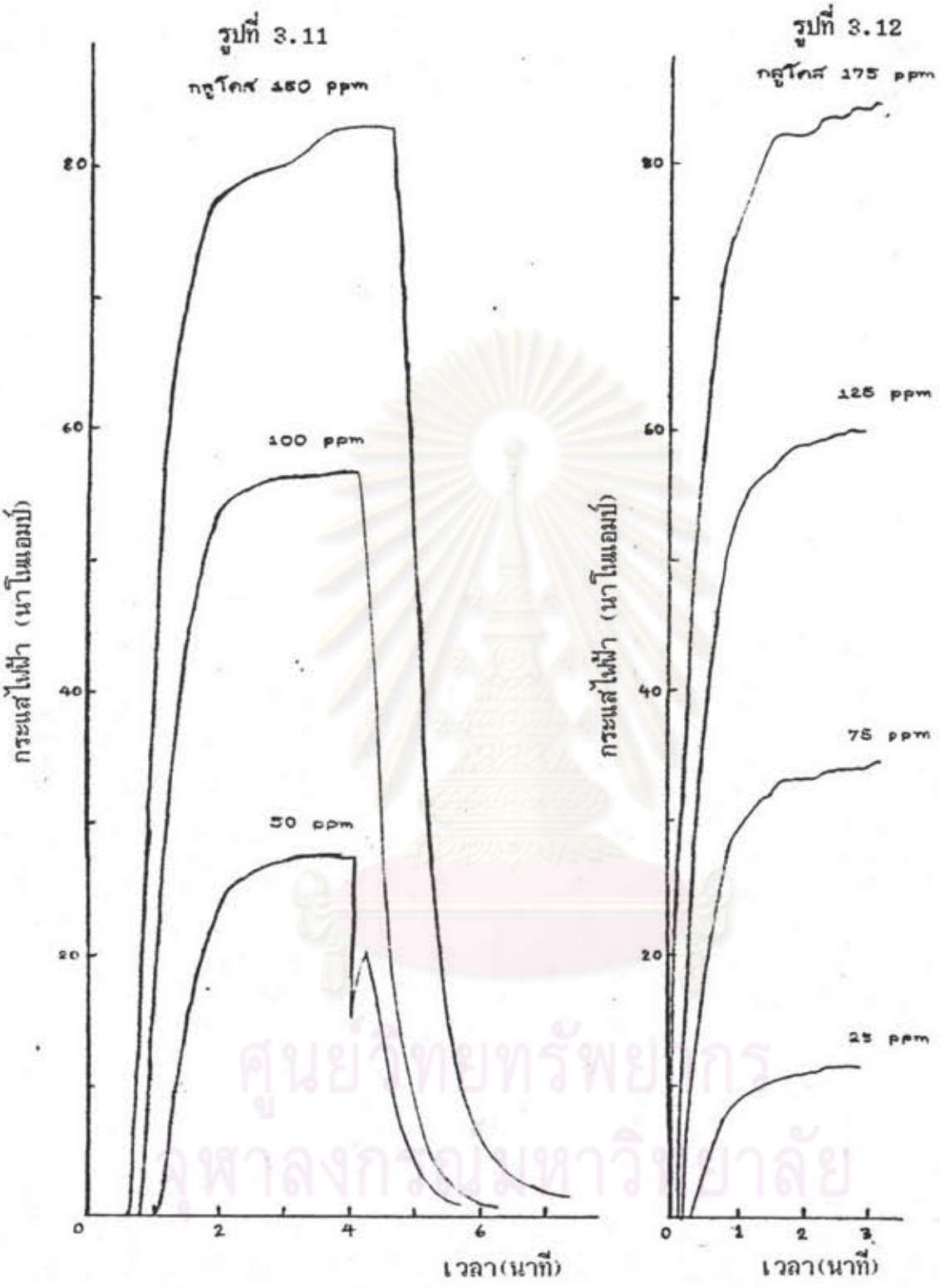


รูปที่ 3.9 ผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสเมื่อใช้แผ่นCAหนา25 ไมโครเมตร

รูปที่ 3.10 เหมือนรูปที่ 3.9 แต่ขยายสเกลดูสัญญาณในช่วงนาทีแรก

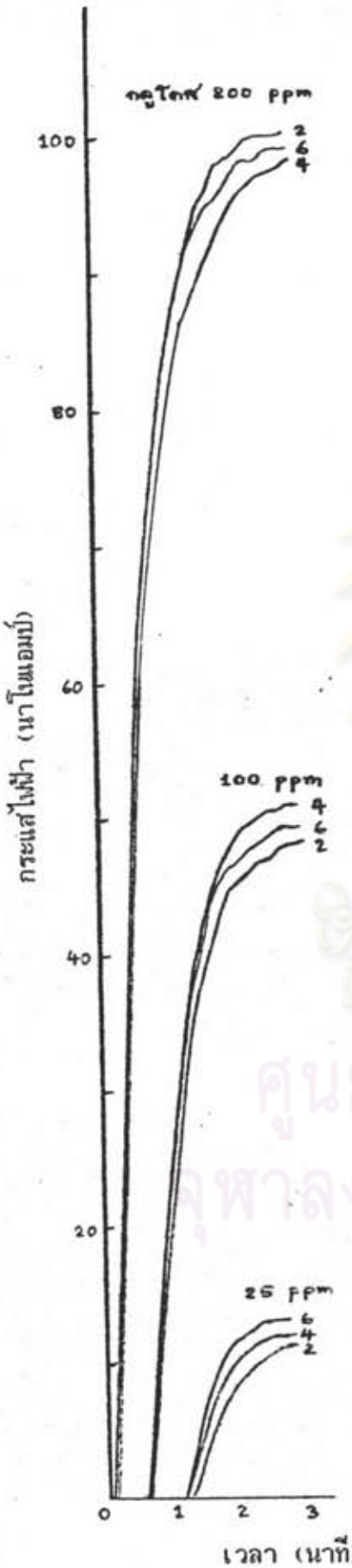
↓ จุดเปลี่ยน speed recorder จาก 4 ซม./นาที เป็น 1 ซม./นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



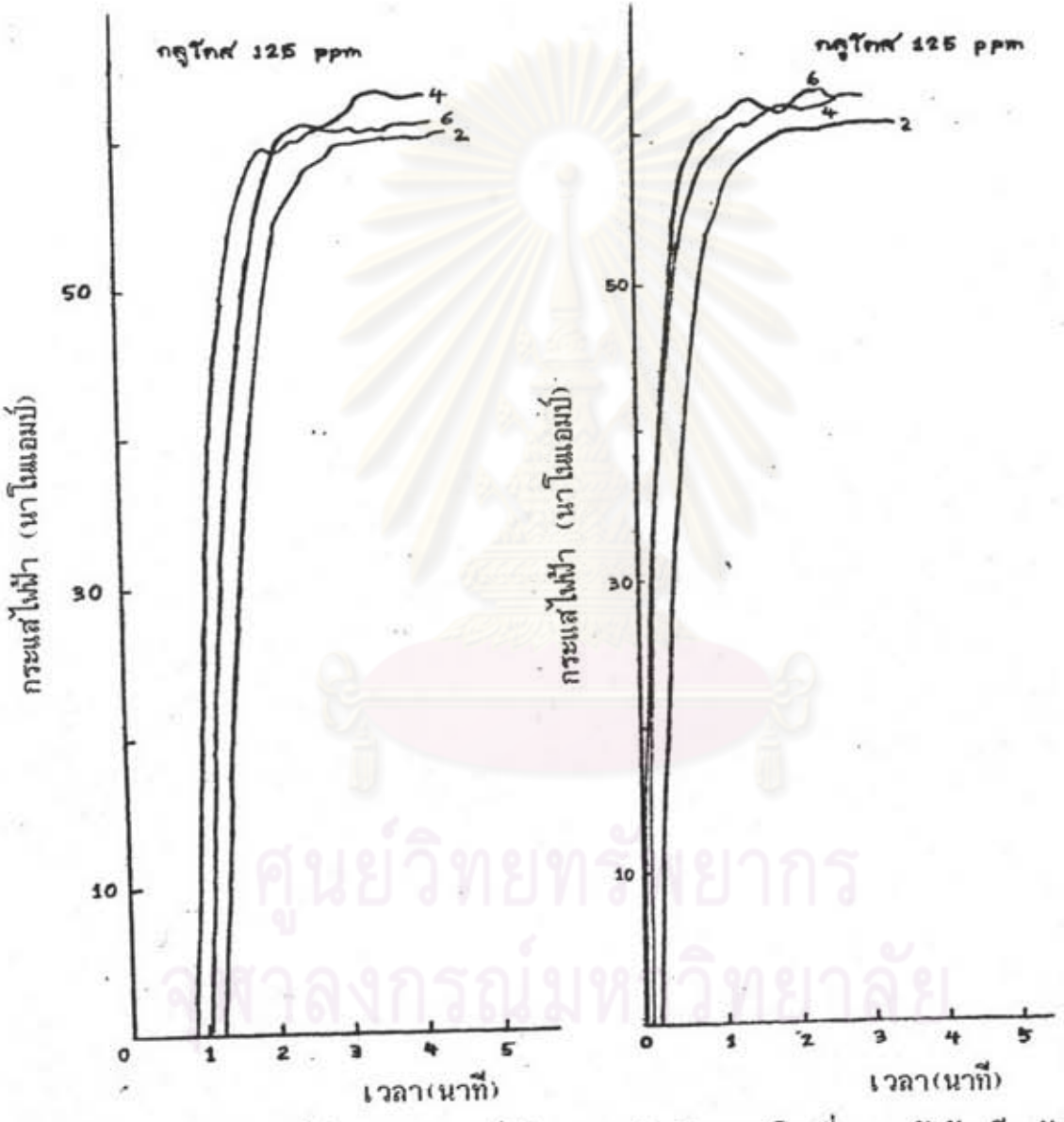
รูปที่ 3.11 ผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส และเวลาที่ใช้ในการล้าง H_2O_2 ก่อนเข้าสู่ค่าศูนย์

รูปที่ 3.12 ผลของระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส เมื่อใช้แผ่น CA หนา 40 ไมโครเมตร



รูปที่ 3.13 ผลของการกวนที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส
หมายเลข 2,4,6 คือระดับความเร็วรอบของการกวน

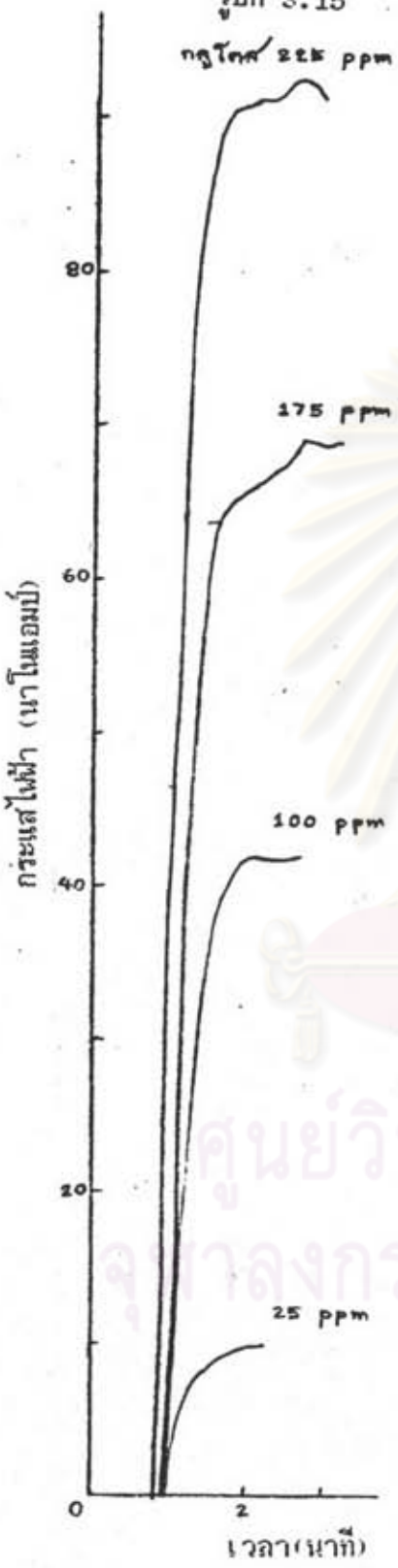
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



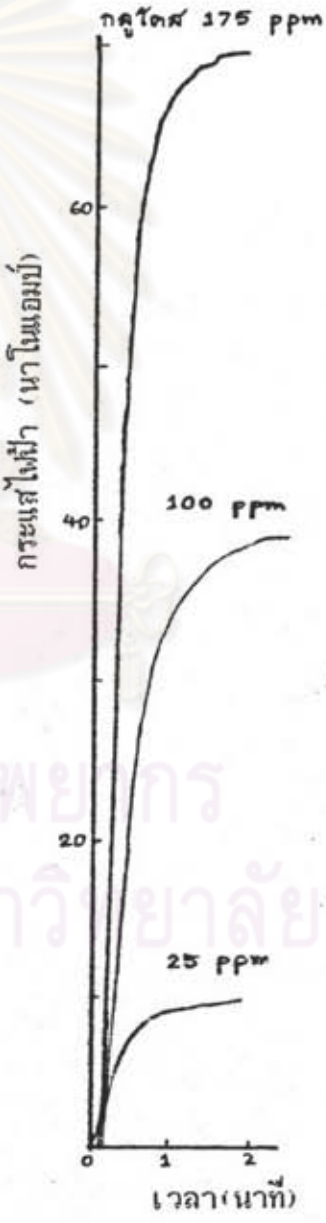
รูปที่ 3.14 ผลของความเร็วรอบการกวนที่มีต่อผลการวัดปริมาณกลูโคสที่ความเข้มข้นเดียวกันวัด 2 ครั้ง หมายเลข 2,4,6 คือระดับความเร็วรอบของการกวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.15



รูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 ผลของการกวนที่ความเร็วรอบระดับ 4 ต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

รูปที่ 3.16 ผลของการกวนที่ความเร็วรอบระดับ 0.5 ต่อผลการวัดปริมาณกลูโคส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

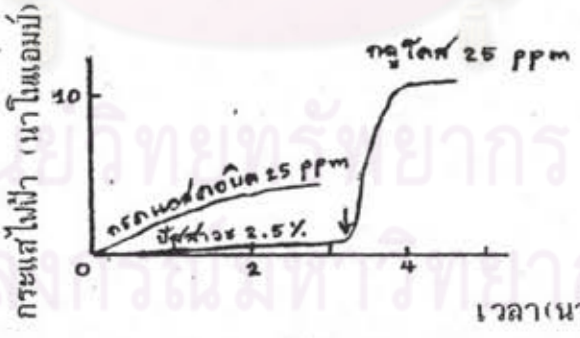
ตารางที่ 3.11 ผลการวัดสารรบกวนเมื่อมีแผ่น CA และผ้าไนลอน

ตัวอย่าง	ค่ากระแส (นาโนแอมป์) ที่อ่านได้
กรดแอสคอบิก 250 ppm	4
ปัสสาวะ 2.5%	1

ตารางที่ 3.12 ผลการวัดสารรบกวนเมื่อไม่มีแผ่น CA มีแต่ผ้าไนลอน

ตัวอย่าง	ค่ากระแส (นาโนแอมป์) ที่อ่านได้
กรดแอสคอบิก 2.5 ppm	50
ปัสสาวะ 0.0175%	10

จะเห็นว่าเมื่อใช้แผ่น CA จะช่วยป้องกันการรบกวนจากกรดแอสคอบิกได้ถึง 1250 เท่า เปรียบเทียบผลการวัดปริมาณกลูโคสเมื่อมีกรดแอสคอบิกที่ความเข้มข้นเท่ากันจะให้ค่าผิดพลาดไปประมาณ 3 เปอร์เซนต์ ลักษณะสัญญาณเมื่อวัดสารรบกวน พบว่าจะมีเวลาแสดงสัญญาณนานกว่าการวัดกลูโคสมาก ตามรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ผลการใช้แผ่น CA ป้องกันสารรบกวน ↓ เติมกลูโคส 25 ppm

3.2.10 ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์

ศึกษาผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ตามแผนการทดลองในข้อ2.3.2.10ได้ผลดังนี้

3.2.10.1 เมื่อใช้อิเล็กโทรดเปล่า ๆ พบว่า กระแสที่อ่านได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ H_2O_2 H_2O_2 เข้มข้น 0.09 ppm วัดกระแสได้ 75 นาโนแอมป์ พบว่าลักษณะสัญญาณสั้นมากไม่นิ่ง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ปกติของการวัด

H_2O_2ด้วยอิเล็กโทรดในสารละลายที่มีการกวนผสม เวลาแสดงสัญญาณประมาณครึ่งนาทีตามรูปที่ 3.18

3.2.10.2 เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยผ้าไนลอน พบว่ากระแสที่อ่านได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ H_2O_2 H_2O_2 เข้มข้น 1.8 ppm วัดกระแสได้ 95 นาโนแอมป์ และลักษณะสัญญาณสั่นน้อยลง เวลาแสดงสัญญาณนานขึ้นใช้เวลาประมาณ 1 นาที และ sensitivity ต่ำลงมาก เกือบ 20 เท่า แสดงว่าผ้าไนลอนช่วยลดแรงกวนคล้ายกับช่วยกรองสัญญาณให้เรียบขึ้น แต่ก็เป็นสิ่งกีดขวางในการเคลื่อนที่ของ H_2O_2 เข้าสู่อิเล็กโทรด ทำให้เสียเวลาและ sensitivity ไป ตามรูปที่ 3.19

3.2.10.3 เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยแผ่น CA พบว่า H_2O_2 เข้มข้น 0.12 ppm วัดกระแสได้ประมาณ 12 นาโนแอมป์ ลักษณะสัญญาณค่อนข้างเรียบ เวลาแสดงสัญญาณประมาณครึ่งนาที ตามรูปที่ 3.20

3.2.10.4 เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยแผ่น CA และผ้าไนลอน พบว่า H_2O_2 1.2 ppm วัดกระแสได้ประมาณ 40 นาโนแอมป์ มีเวลาแสดงสัญญาณประมาณ 1 ถึง 1 นาทีครึ่ง ตามรูปที่ 3.21

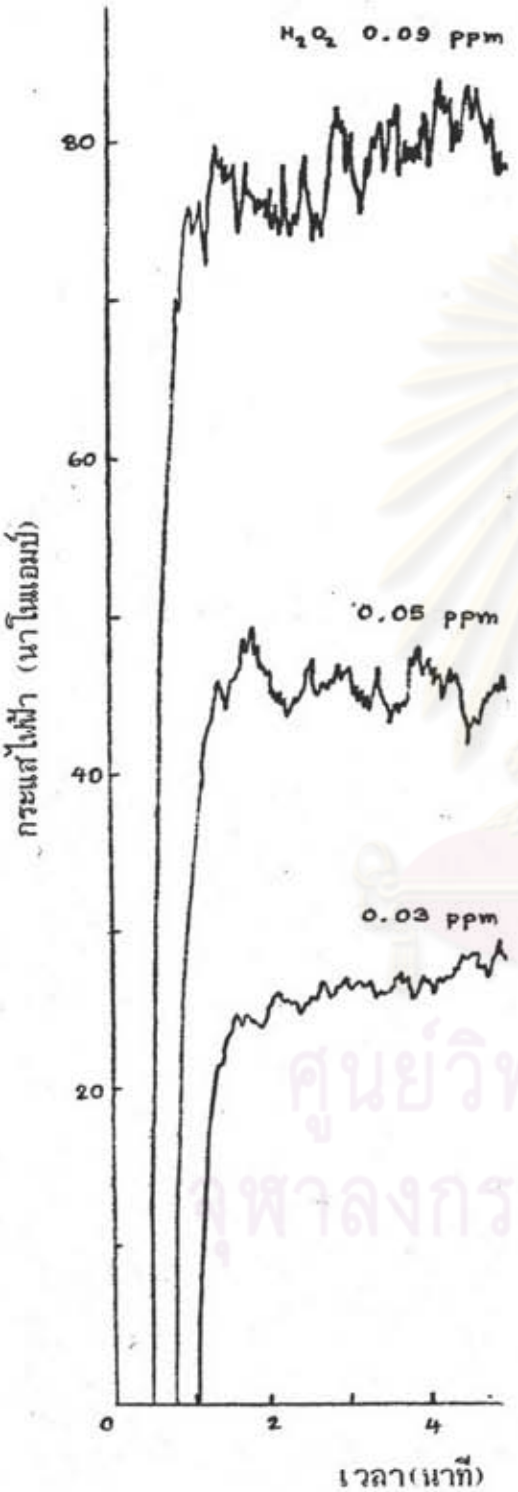
3.2.11 <u>ผลของระดับขนาดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะวัดกลูโคส</u>

ศึกษาผลของระดับขนาดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะวัดกลูโคสตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.11 โดยทำการวัด H_2O_2 ที่เกิดขึ้นหลังจากวัดกลูโคส ได้ผลตามตารางที่ 3.13

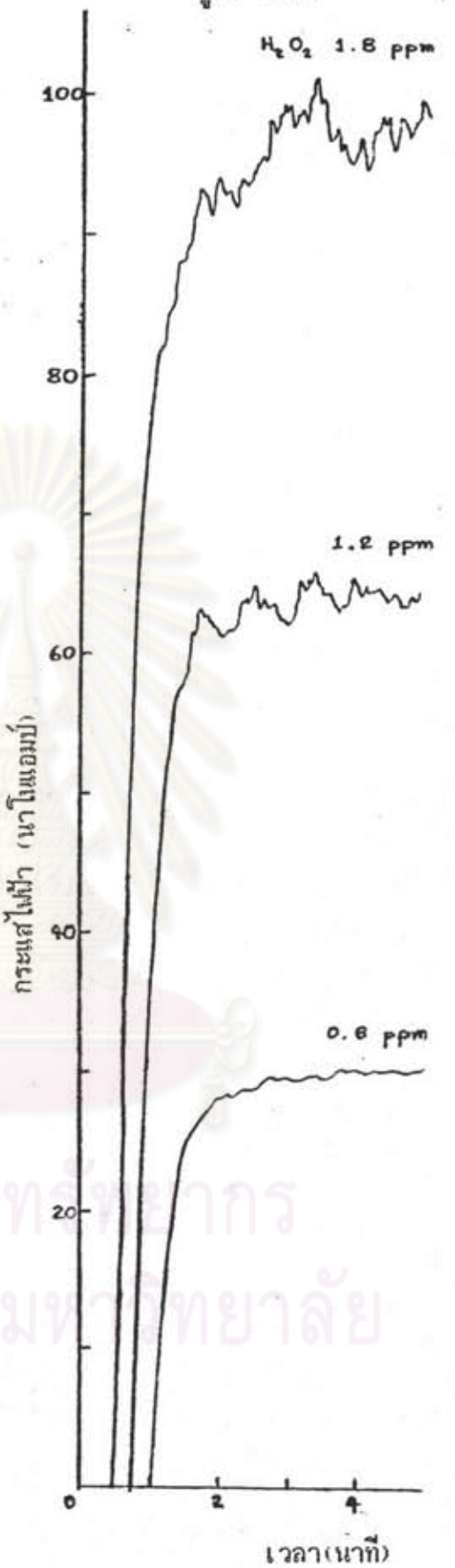
ตารางที่ 3.13 ผลของระดับขนาดปฏิกิริยาที่เกิด H_2O_2ขณะวัดกลูโคส

ปริมาณกลูโคส (ppm)	เวลาวัด (นาที)	สภาวะการวัด	เกิดกระแส (นาโนแอมป์)	เกิด H_2O_2 ในสารละลายวัดได้ (นาโนแอมป์)
100	10	ไม่มีแผ่น CA	100	13
150	10	มีแผ่น CA	100	19

รูปที่ 3.18



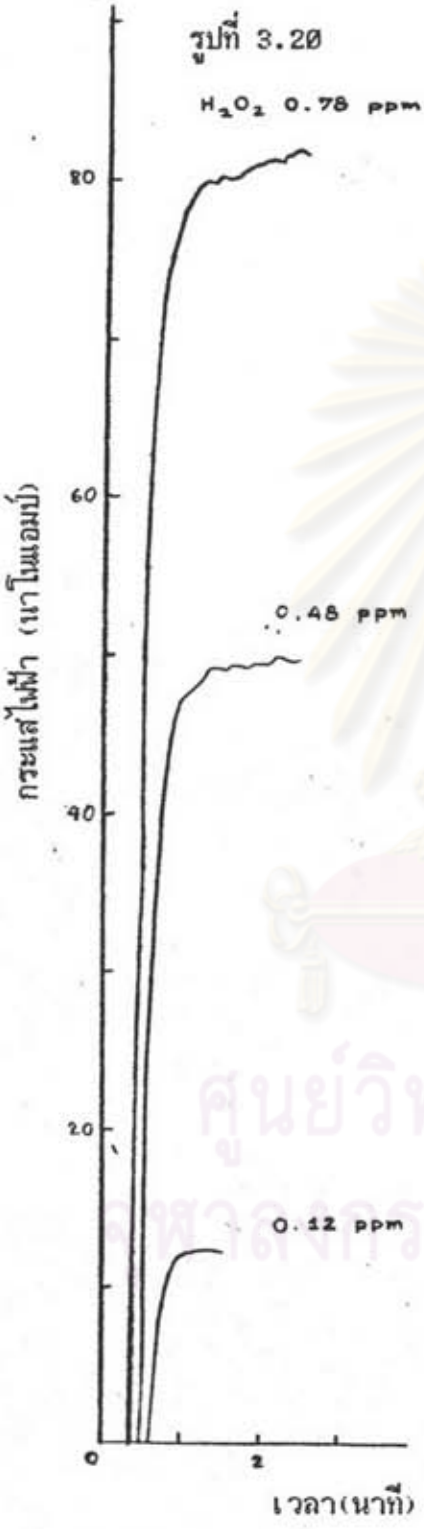
รูปที่ 3.19

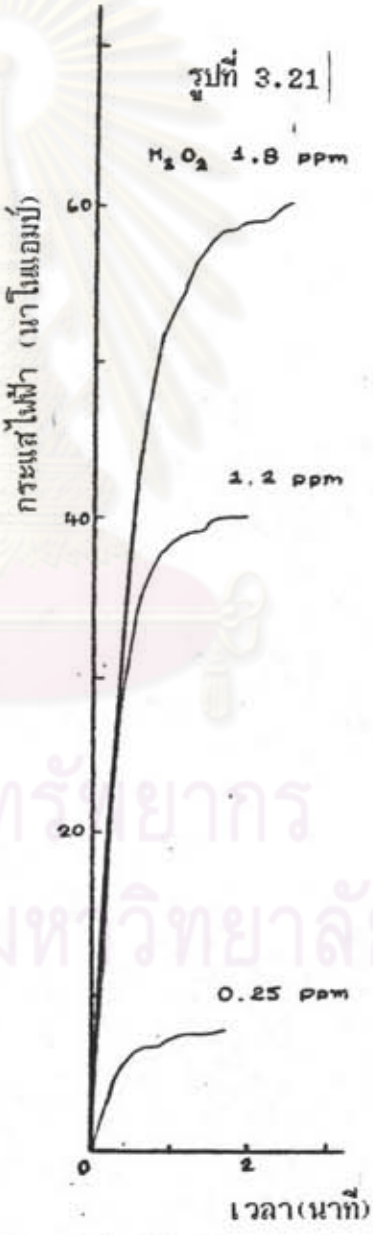


รูปที่ 3.18 ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์เมื่อใช้อิเล็กโทรดเปล่า ๆ

รูปที่ 3.19 ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยผ้าไนลอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.20 ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยแผ่น CA

รูปที่ 3.21 ผลการวัดปริมาณไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์เมื่อใช้อิเล็กโทรดติดด้วยแผ่น CA และผ้าไนลอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขณะวัดกลูโคสเกิดกระแส 100 นาโนแอมป์ เป็นเวลา 10 นาที จะมี H_2O_2 ทำปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรด $3x10^{-10}$ โมล และใช้ออกซิเจนไป $1.5x10^{-10}$ โมล

เมื่อวัดกลูโคส 100 ppm โดยไม่มีแผ่น CA เกิด H_2O_2 ในสารละลายวัดได้ 13 นาโนแอมป์ มี H_2O_2 เกิดขึ้น $2.8x10^{-8}$ โมล และใช้ออกซิเจนไป $2.8x10^{-8}$ โมล

เมื่อวัดกลูโคส 150 ppm โดยมีแผ่น CA เกิด H_2O_2 ในสารละลายวัดได้ 19 นาโนแอมป์ มี H_2O_2 เกิดขึ้น $3.2x10^{-8}$ โมล และใช้ออกซิเจนไป $3.2x10^{-8}$ โมล

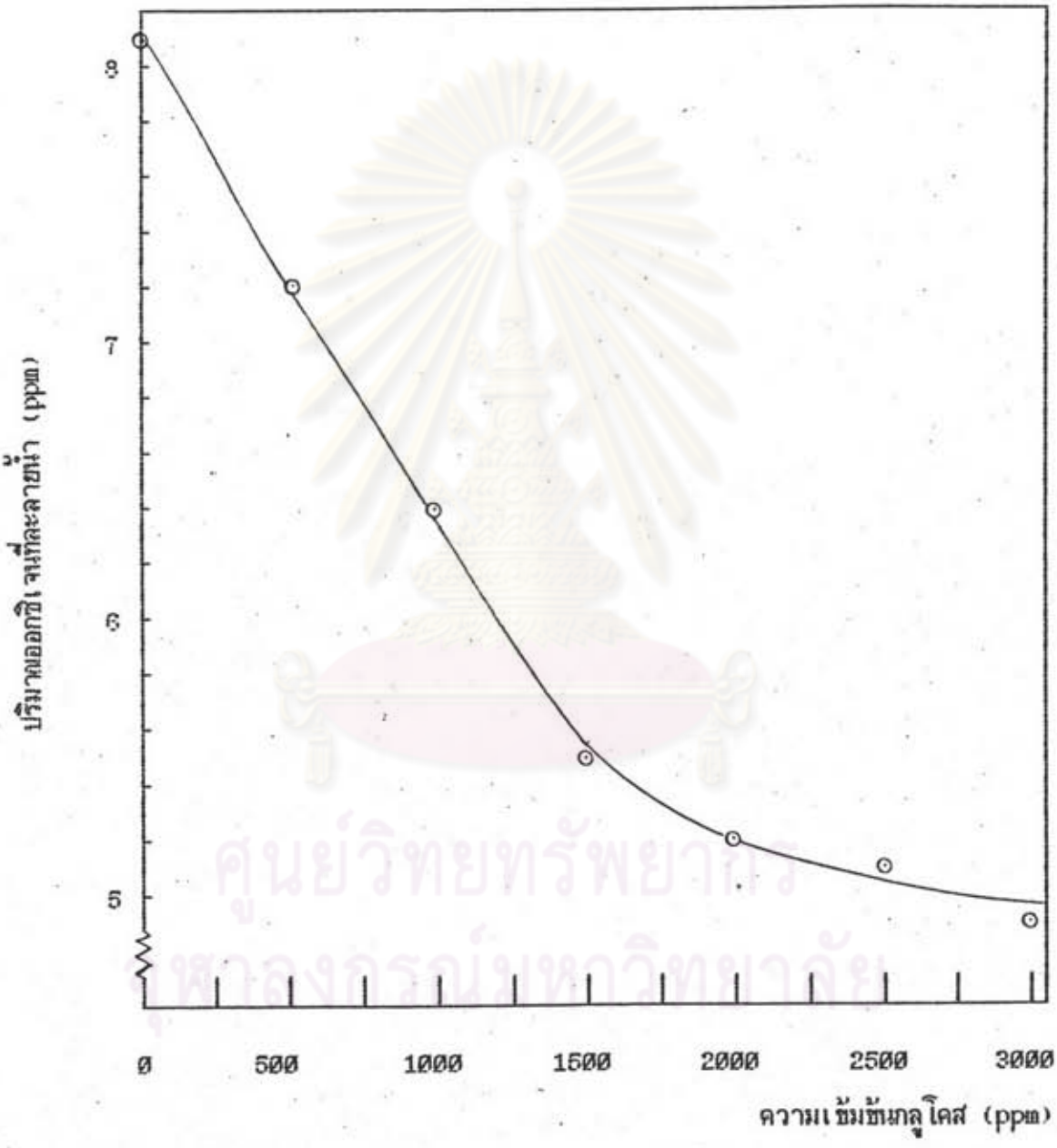
กลูโคส 150 ppm ในปริมาตร 40 ลบ.ซม. มีกลูโคสปริมาณ $3.3x10^{-5}$ โมล ที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีออกซิเจนละลายอยู่ 7.0 ppm (18) มีออกซิเจนทั้งหมด $9x10^{-6}$ โมล

จะเห็นได้ว่าเมื่อวัดกลูโคสที่ความเข้มข้น 150 ppm 10 นาที เกิดกระแส 100 นาโนแอมป์ มีกลูโคสเกิดปฏิกิริยาประมาณ 1 ใน 1000 ส่วนของกลูโคสที่มีอยู่ และปริมาณออกซิเจนถูกใช้ไปเพียง 1 ใน 280 ส่วนของที่มีอยู่ แทบไม่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่เลย H_2O_2 ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ละลายอยู่ในเนื้อสารละลาย มีส่วนน้อยไปเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรด

เมื่อวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ขณะวัดกลูโคส พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายเลย

3.2.12 <u>การวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้ออกซิเจนอิเล็กโทรด</u>

ศึกษาผลการวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้ออกซิเจนอิเล็กโทรดตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.12 ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 °ซ พบว่าสามารถใช้ออกซิเจนอิเล็กโทรดวัดปริมาณกลูโคสได้ ให้ผลที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างออกซิเจนที่ละลายน้ำกับปริมาณกลูโคสในช่วงความเข้มข้นกลูโคสตั้งแต่ 0 ถึง 1500 ppm ตามรูปที่ 3.22 แสดงว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ไม่ใช่ปัญหาสำหรับการวัดกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 150 ppm เลย sensitivity ของการใช้ออกซิเจนอิเล็กโทรดมีน้อยมากเมื่อเทียบกับ H_2O_2 อิเล็กโทรด จึงไม่ค่อยเหมาะกับการใช้งานที่มีการวัดปริมาณกลูโคสน้อย ๆ หรือวัดอย่างละเอียด เวลาแสดงสัญญาณประมาณ 2 ถึง 3 นาที



รูปที่ 3.22 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำกับความเข้มข้นกลูโคส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.13 ผลการวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสม

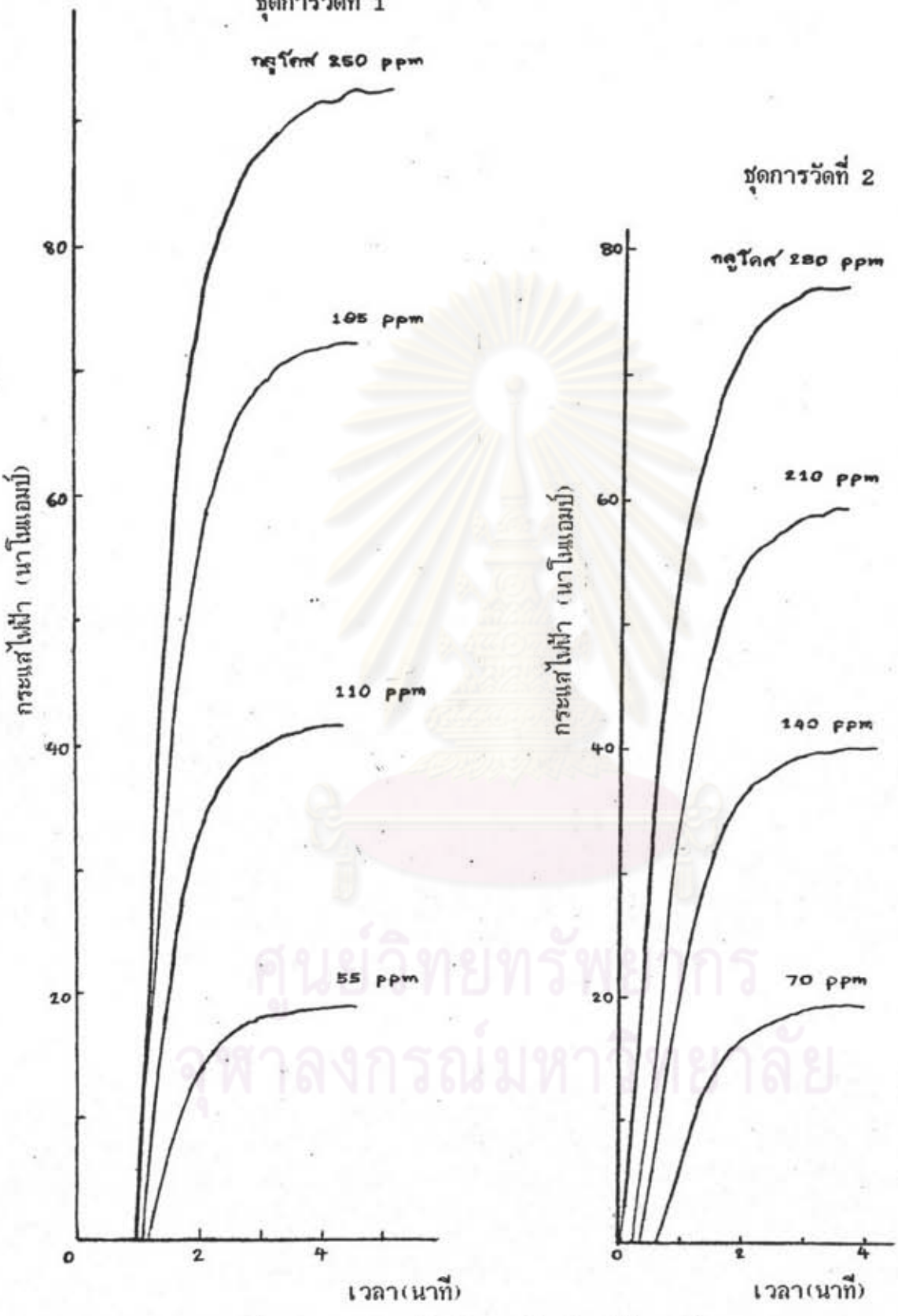
เนื่องจากว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในระบบเปิดปริมาตร 40 ลบ.ซม. เมื่อวัดเป็นเวลา 10 นาที มีเพียง 1 ใน 280 ส่วน และการกวนที่รอบต่ำมากให้ผลแตกต่างเล็กน้อยเทียบกับที่รอบความเร็วสูง จึงทดลองสร้างอุปกรณ์ควบคุมการผสมมีปริมาตรประมาณ 1.8 ลบ.ซม. ใช้การผสมโดยกระทุ้งด้วยแรงลม พบว่าสามารถใช้วัดปริมาณกลูโคสได้ดี มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างปริมาณกลูโคสกับกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ตั้งแต่ 0 ถึงประมาณ 220 ppm sensitivity ของการวัดและเวลาแสดงสัญญาณดีพอ ๆ กับการวัดโดยใช้แบบเดิม ลักษณะสัญญาณที่บริเวณ steady state นิ่งกว่าแม้จะเป็นการวัดกลูโคสที่ความเข้มข้นสูง ทำให้อ่านสัญญาณง่ายกว่าแบบเดิม ประหยัดปริมาณบัฟเฟอร์กว่าเล็กน้อย จะใช้บัฟเฟอร์ตัวอย่างละประมาณ 30 ลบ.ซม. ในการล้างช่องกวนผสมแต่ละครั้ง แต่มีข้อเสียเปรียบคือ ใช้เวลาล้างอิเล็กโทรดให้เข้าสู่ค่าศูนย์นานกว่าแบบเดิม แบบนี้ใช้เวลาตั้งแต่ 3 ถึง 5 นาที แบบเดิมใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 นาที ตามรูปที่ 3.23 ถึง 3.28

3.2.14 เสถียรภาพในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx

ศึกษาเสถียรภาพในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx ตามแผนการทดลองในข้อ 2.3.2.14 พบว่าเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 °ซ ที่พีเอชต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.29 เหลือแอคติวิตีตามตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 เสถียรภาพในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx ที่พีเอชต่าง ๆ

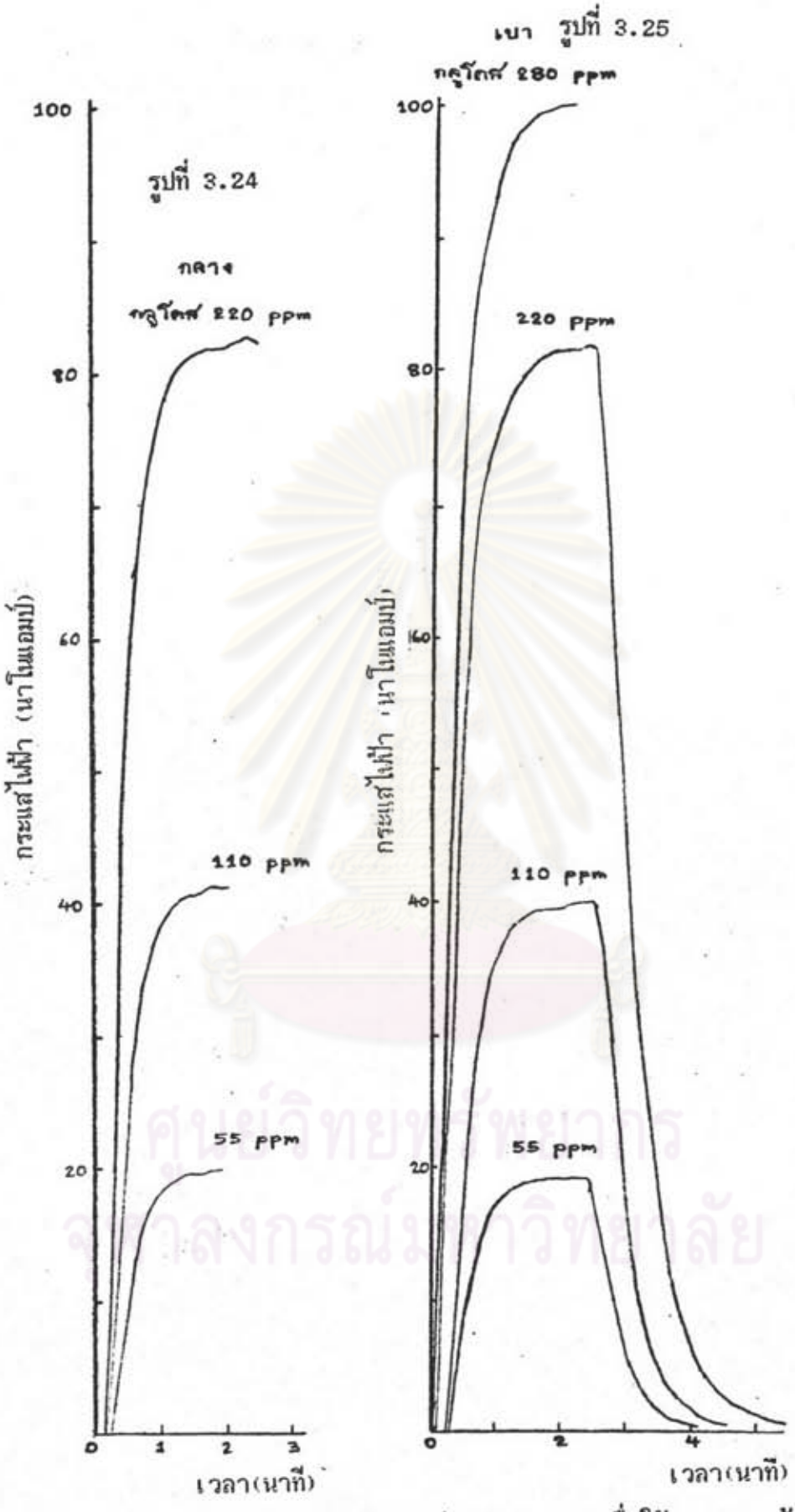
พีเอช	เหลือแอคติวิตี
5	63 %
6	62 %
7	70 %



รูปที่ 3.23 ผลการวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสม

หมายเหตุ ติดด้วยแผ่น CA ต่างแผ่นกันในต่างชุดของการวัด

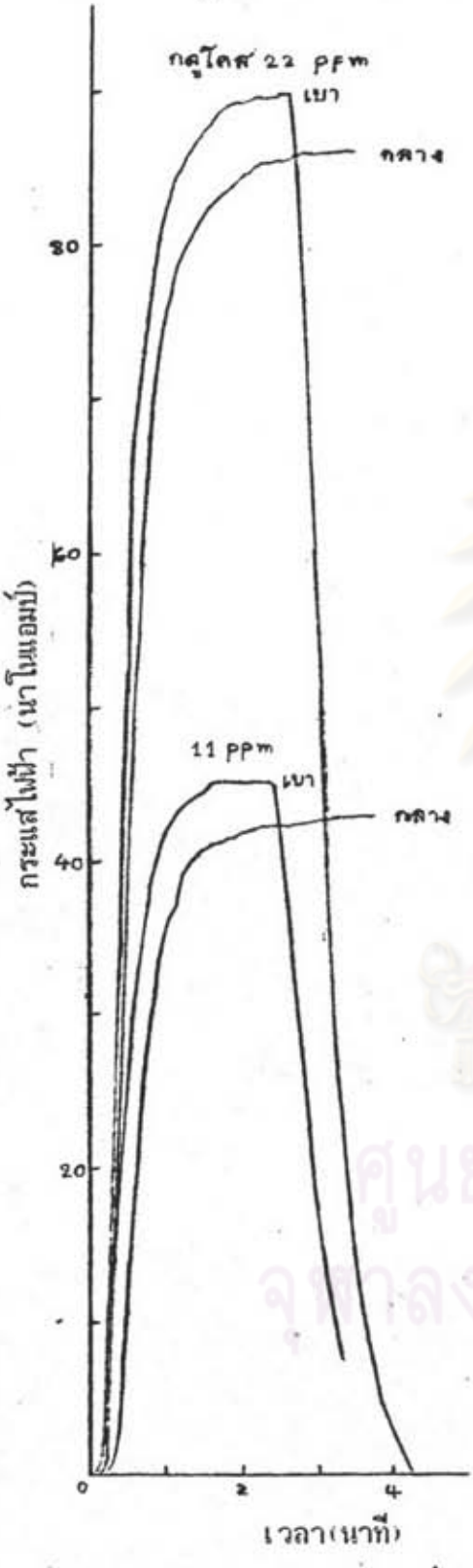
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



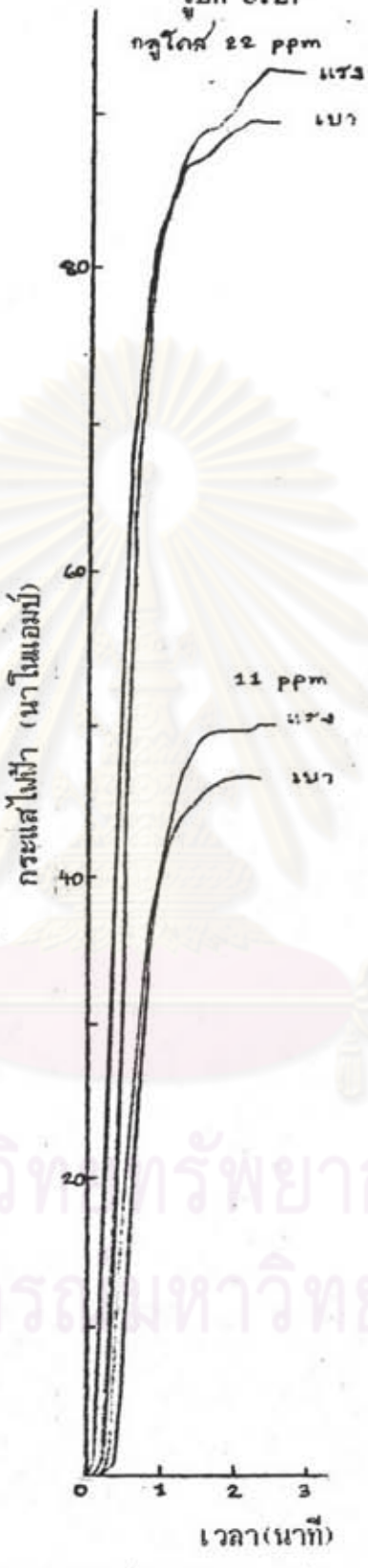
รูปที่ 3.24 ผลการวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสมเมื่อใช้แรงลมกระทุ้งปานกลาง

รูปที่ 3.25 ผลการวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสมเมื่อใช้แรงลมกระทุ้งเบา

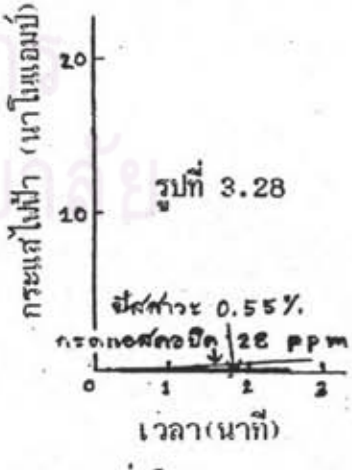
รูปที่ 3.26



รูปที่ 3.27



รูปที่ 3.28



รูปที่ 3.26 ผลการวัดปริมาณกลูโคสที่ระดับความเข้มข้นต่ำโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสมเมื่อใช้แรงลมกระทุ้งเบาและกลาง

รูปที่ 3.27 ผลการวัดปริมาณกลูโคสที่ระดับความเข้มข้นต่ำโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสมเมื่อใช้แรงลมกระทุ้งแรงและเบา

รูปที่ 3.28 ผลการวัดสารรบกวนโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการผสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พีเอช 7 เป็นเวลาต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.30 เหลือแอคติวิตีตามตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 เสถียรภาพในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx ที่อุณหภูมิห้อง

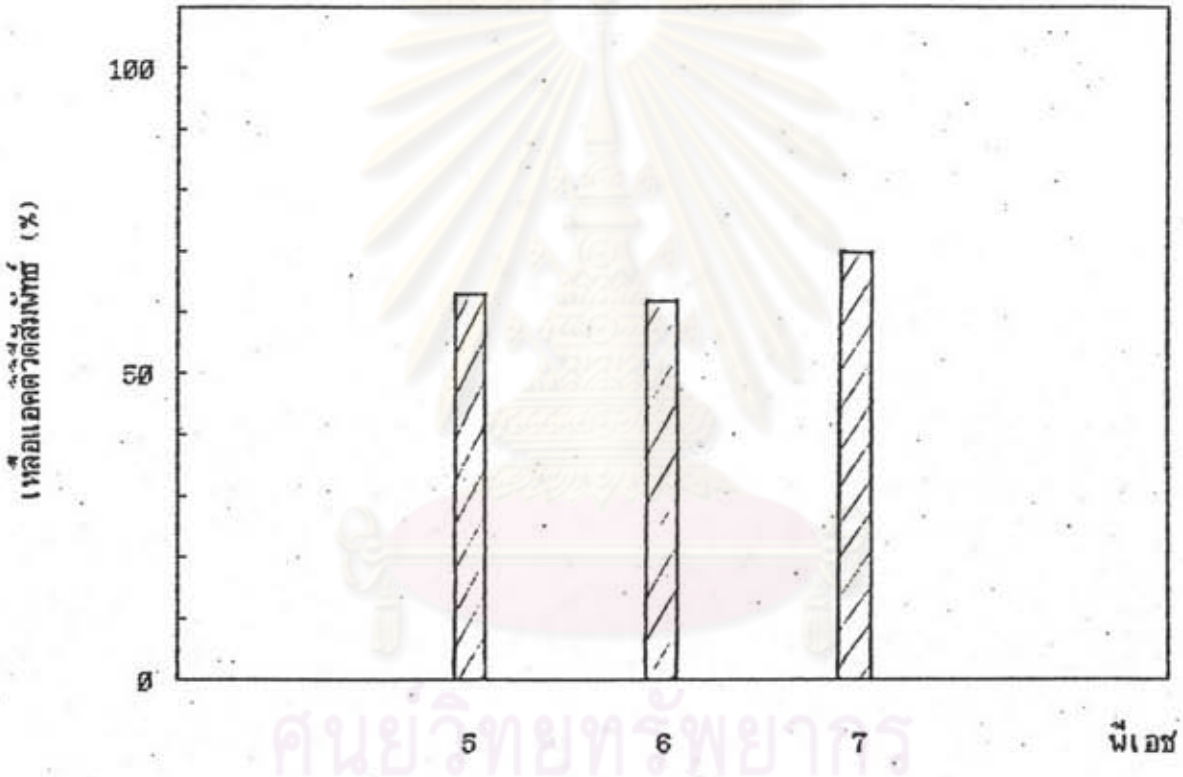
เวลา (เดือน)	เหลือแอคติวิตี
1	66 %
5	40 %

เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ พีเอช 7 เป็นเวลาต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.30 เหลือแอคติวิตีตามตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 เสถียรภาพในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx ที่อุณหภูมิ 4 °ซ

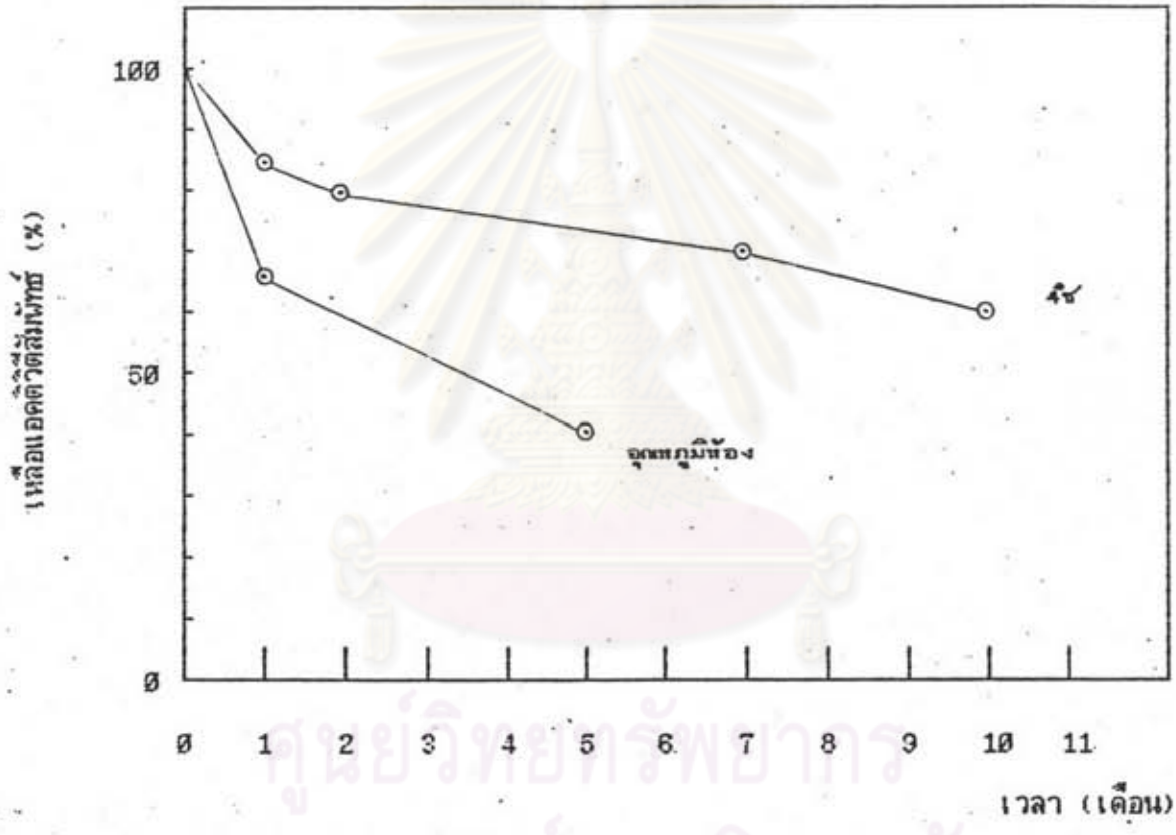
เวลา (เดือน)	เหลือแอคติวิตี
1	85 %
2	80 %
7	70 %
10	60 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.29 เสถียรภาพต่อพีเอชในการเก็บผ้าไนลอนดริง GOx ที่อุณหภูมิ 4 °ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.30 เสถียรภาพต่ออุณหภูมิในการเก็บผ้าไนลอนตริง GOx ที่พีเอช 7