



บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลที่นำมาใช้ในการทดลอง

3.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาล

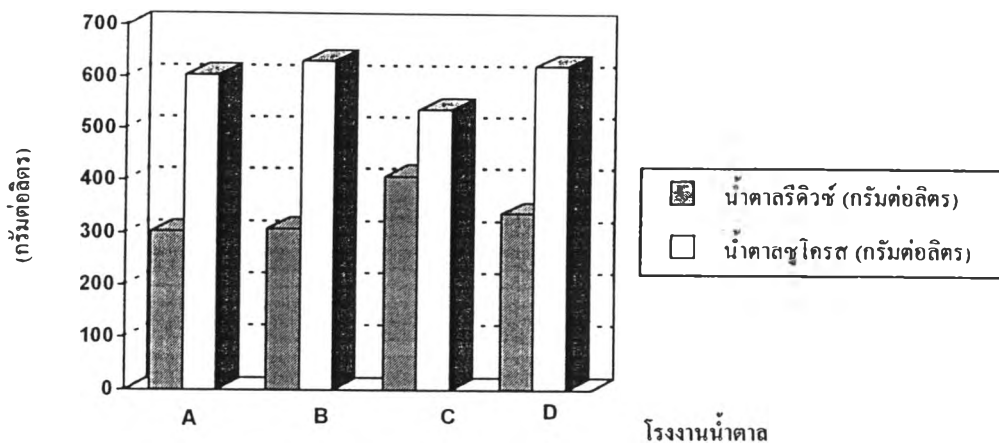
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกากน้ำตาลที่ได้มาจากโรงงานน้ำตาล 4 จังหวัด ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.1.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 5 เพื่อความเหมาะสมจึงนำเสนอข้อมูลในรูปของรหัสตัวอักษรภาษาอังกฤษแทน

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลอง

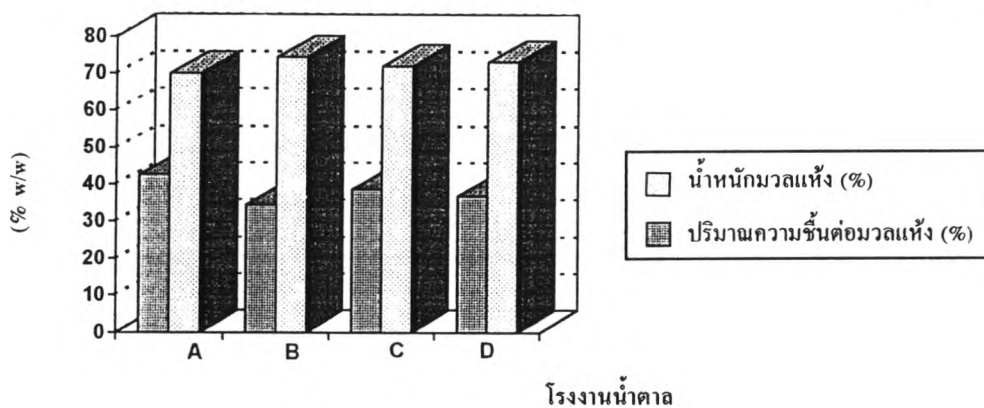
	โรงงาน A	โรงงาน B	โรงงาน C	โรงงาน D
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	302.31	308.22	408.73	337.39
น้ำตาลซูโครส (g/l)	603.48	629.72	536.43	622.43
ปริมาณความชื้นต่อมวลแห้ง(%)	42.68	34.45	38.67	36.68
น้ำหนักรวมแห้ง (%)	70.09	74.38	72.12	73.16
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.87	4.95	4.74	4.81

จากตารางที่ 6 พบว่ากากน้ำตาลแต่ละโรงงานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกากน้ำตาลจากโรงงาน C จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากากน้ำตาลจากโรงงานอื่นแต่ปริมาณน้ำตาลซูโครสกลับมีค่าต่ำกว่ากากน้ำตาลจากโรงงานอื่น ส่วนปริมาณความชื้นต่อมวลแห้ง พบว่ากากน้ำตาลจากโรงงาน A มีน้ำหนักรวมแห้งมากที่สุดคือ 42.68 % (w/w) สำหรับน้ำหนักรวมแห้งและค่าความเป็นกรด-ด่าง ในแต่ละโรงงานไม่แตกต่างกันมากนัก

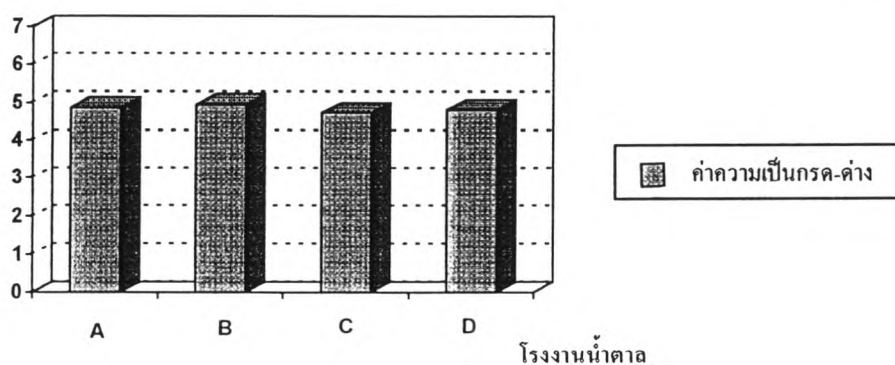
รูปที่ 5 ก



รูปที่ 5 ข



รูปที่ 5 ค



รูปที่ 5 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของกากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 5 ก แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ และน้ำตาลซูโครส

รูปที่ 5 ข แสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลแห้ง และน้ำหนักมวลเปียก

รูปที่ 5 ค แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.1.2 การวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน (N) คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และซัลเฟอร์ (S) โดยเครื่อง Elemental Analyzer (NA 2000)

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ N, C, H และ S ในตัวอย่างกากน้ำตาลที่ได้จาก โรงงานน้ำตาล 4 จังหวัด ตามวิธีดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.1.2 ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบธาตุ N, C, H และ S ในกากน้ำตาล วิเคราะห์โดยเครื่อง Elemental Analyzer (NA 2000)

โรงงาน	% N	% C	% H	% S
A	2.93	38.13	6.81	0
B	1.21	41.31	8.56	0
C	1.49	40.80	8.20	0
D	2.29	38.35	6.54	0

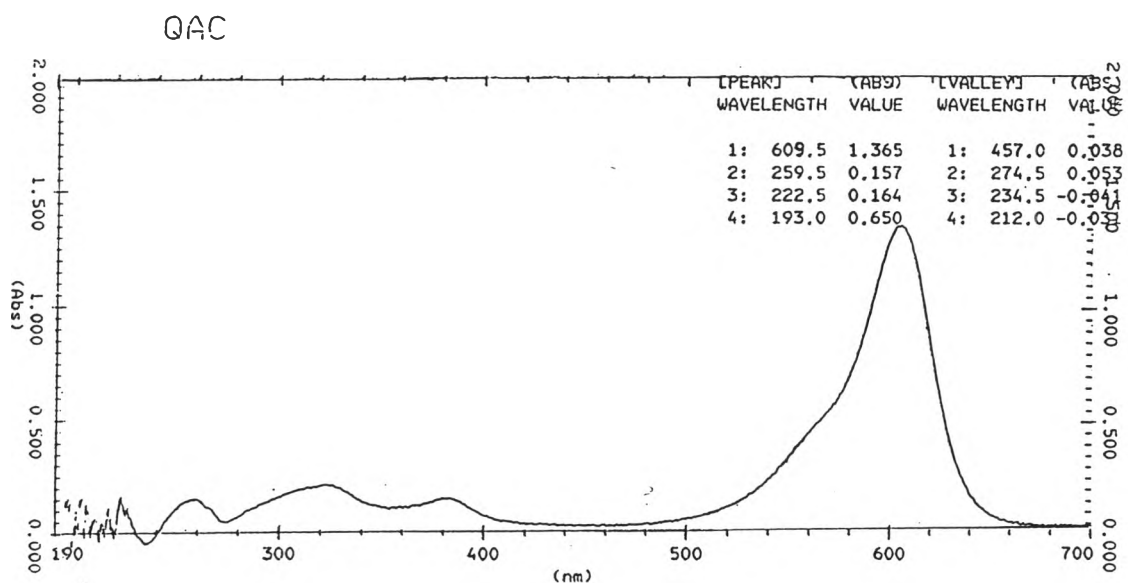
จากผลการวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ในตัวอย่าง กากน้ำตาลทั้ง 4 โรงงาน โดยเครื่อง Elemental Analyzer (NA 2000) พบว่ากากน้ำตาลจาก โรงงาน A มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด คือ 2.92 %(w/w) ถัดมาคือโรงงาน D, C และ B ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ธาตุซัลเฟอร์ ไม่พบว่ามีธาตุซัลเฟอร์ในตัวอย่างกากน้ำตาลที่ใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่จะไม่ได้ ใช้กำมะถันในการฟอกสีน้ำเชื่อม จึงทำให้วิเคราะห์ไม่พบ

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium compounds, QAC)

3.2.1 การหาความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง QAC กับ โบรโมฟีนอลบลู (bromophenol blue)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารมาตรฐาน QAC ที่เติมในน้ำขจัดไขมัน ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.2.1 และศึกษาหาช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสม (λ_{max}) ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง ตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 2.5.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 การตรวจหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (λ_{max}) ในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC



จากรูปที่ 6 พบว่าสารละลายที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ไดคลอโรอีเทน (dichloroethane) มีสีน้ำเงินของเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt) ซึ่งเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของโบรมีนฟีนอลกับ QAC และเมื่อนำมาตรวจหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (scan spectrum) ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 - 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Shimadzu (Tokyo, Japan) รุ่น UV-3100 พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร หลังจากนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำจืดไอออนที่เติม สาร QAC แต่ละความเข้มข้น ไปวิเคราะห์สร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

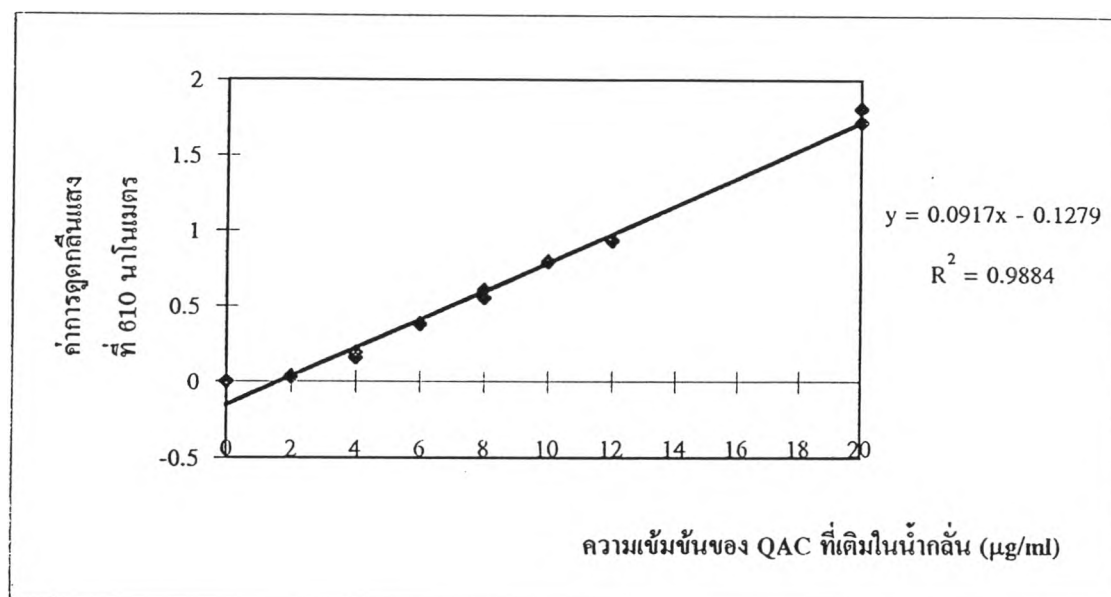
3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสาร QAC ที่เติมในน้ำจืดไอออน

จากผลการทดลองในข้อ 3.2.1 ทำให้ทราบค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณสารมาตรฐาน QAC เท่ากับ 610 นาโนเมตร จึงเตรียมสารละลายมาตรฐาน QAC ในน้ำจืดไอออนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ วิเคราะห์ตามวิธีในข้อ 2.5.1 เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 8 และรูปที่ 7

ตารางที่ 8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในน้ำจืดไอออน

QAC ที่เติม (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 610 นาโนเมตร		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.000	0.000	0.000
2	0.031	0.034	0.032
4	0.160	0.194	0.177
6	0.386	0.380	0.383
8	0.555	0.607	0.581
10	0.793	0.794	0.793
12	0.930	0.936	0.933
20	1.723	1.810	1.766

รูปที่ 7 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เติมในน้ำจืดไอออน



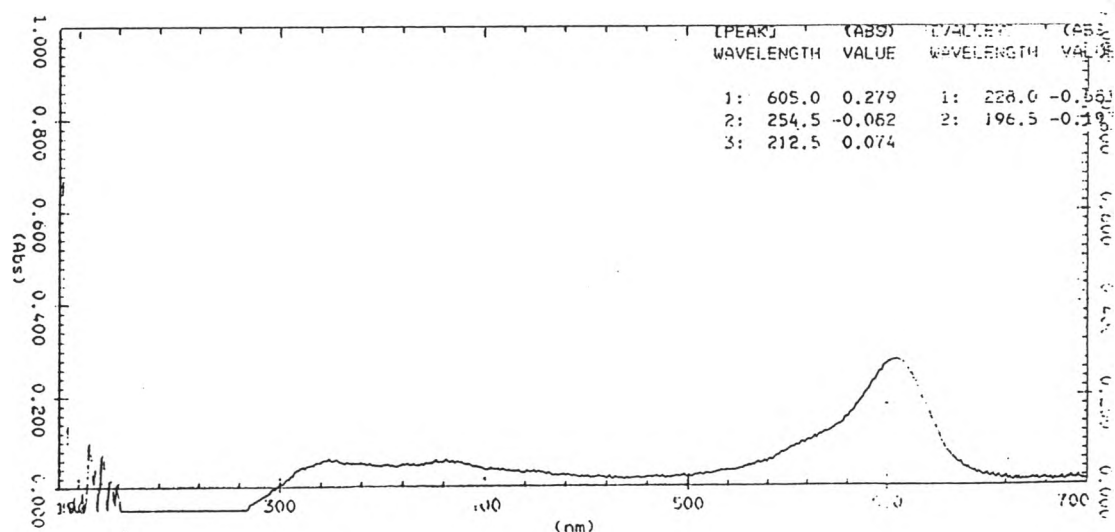
จากผลการทดลองในตารางที่ 8 และรูปที่ 7 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร QAC ที่ระดับต่าง ๆ ที่เติมในน้ำจืดไอออนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ตามการวิเคราะห์ในข้อ 2.5.1 นำค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่ได้มาสร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ QAC ที่ระดับต่าง ๆ ที่เติมในน้ำจืดไอออน (X) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (Y) ตามรูปที่ 7 พบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปกราฟเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Beer จึงนำมาคำนวณหาค่าสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของกราฟ (ภาคผนวก ค) จะได้ค่าสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.9884 หรือกล่าวคือมีความเชื่อมั่น 98%

ดังนั้นจึงนำสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ไปอธิบายการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ในกาน้ำตาลต่อไป

8.2.8 การทดสอบวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล

ในการทดลองนี้ต้องการทดสอบว่าวิธีโบรโมฟินอลบูล (A.O.A.C., 1997) ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC จะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารพวก QAC ที่ใช้กันจริง ๆ ในโรงงานน้ำตาลได้หรือไม่ ในการทดลองต่อไปจึงนำสาร Hexamine X-100[®] มาใช้แทนสารละลายมาตรฐาน QAC โดยสาร Hexamine X-100[®] เป็นสารฆ่าเชื้อในกลุ่ม QAC ที่ใช้เติมในน้ำอ้อย เพื่อควบคุมจุลินทรีย์ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Hexamine X-100[®] ที่เติมในน้ำขจัดไอออน โดยศึกษาหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Shimadzu UV-3100 ดำเนินงานวิจัยเช่นเดียวกับข้อ 2.4.2.1 โดยใช้น้ำขจัดไอออนเป็นตัวแทนเปรียบเทียบผลการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 8

รูปที่ 8 การตรวจหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ในน้ำขจัดไอออนที่เติม Hexamine X-100[®]

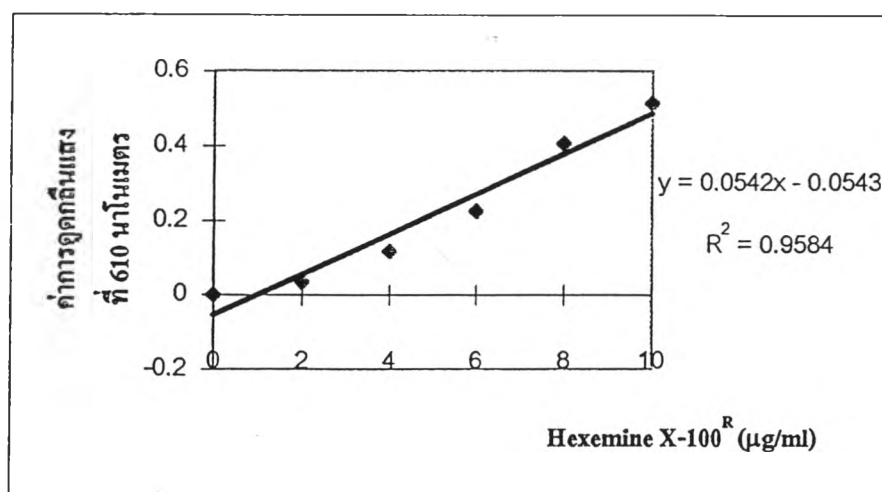


จากรูปที่ 8 พบว่าสาร Hexamine X-100[®] ที่เติมในน้ำขจัดไอออนวิเคราะห์ตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 2.5.1 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 605 นาโนเมตร ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในน้ำขจัดไอออนคือที่ 610 นาโนเมตร ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Hexamine X-100[®] ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสง 610 นาโนเมตร และสร้างกราฟเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 9 และรูปที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าการดูดกลืนแสงของสาร Hexemine X-100[®] ในน้ำจืดไอออนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 610 นาโนเมตร
0	0.000
2	0.036
4	0.117
6	0.225
8	0.407
10	0.514

รูปที่ 9 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร Hexemine X-100[®] ที่เติมในน้ำจืดไอออน



จากผลการทดลองในตารางที่ 8 และรูปที่ 9 พบว่าวิธีโบรโมฟินอลบูล (A.O.A.C., 1997) สามารถวิเคราะห์หาปริมาณเกลือควอเตอร์นารีแอมโมเนียม ได้โดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินระหว่าง Hexemine X-100[®] กับโบรโมฟินอลบูล และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ในแต่ละความเข้มข้นมาสร้างเป็นกราฟ จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ

สาร Hexemine X-100[®] ที่เติมในน้ำขจัดไอออนกับค่าการดูดกลืนแสง จะได้สมการ $Y = -0.0543 + 0.0542X$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9584 หรือกล่าวคือมีความเชื่อมั่น 95%

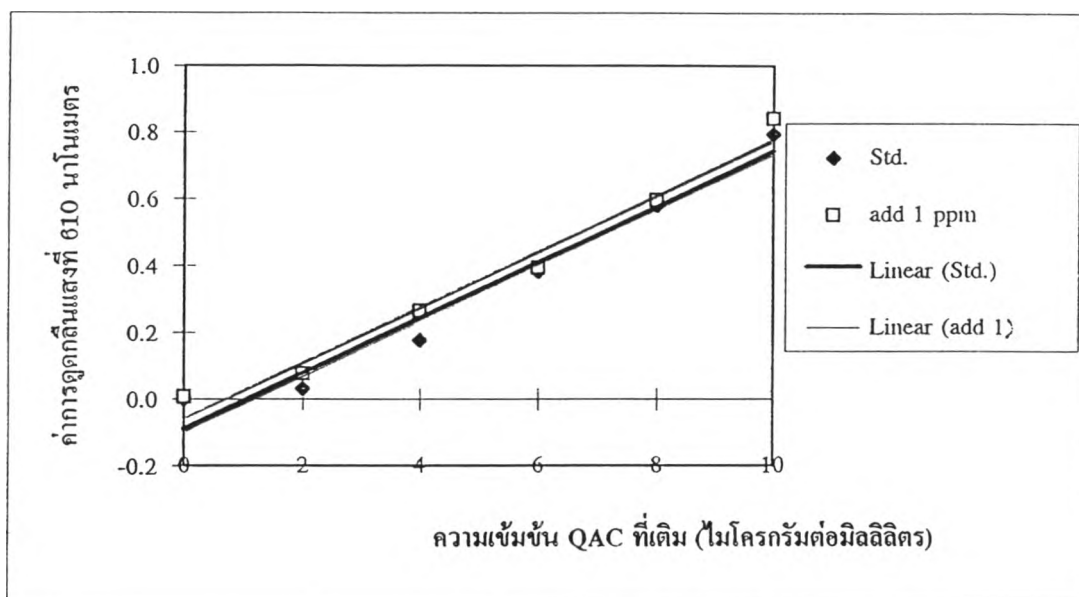
3.2.4 การศึกษาความเที่ยงในการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่คำนวณได้

ตามผลการทดลองในข้อ 3.2.2 ได้ค่าสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ที่จะนำมาอธิบายการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล ดังนั้นในการทดลองนี้จะศึกษาความเที่ยงของสมการดังกล่าว จึงได้นำน้ำขจัดไอออนที่มีสารละลายมาตรฐาน QAC อยู่ก่อนปริมาตร 1.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาเติมสารละลายมาตรฐาน QAC เพิ่มที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.5.1 โดยใช้ น้ำขจัดไอออนเป็นตัวเปรียบเทียบ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10 และรูปที่ 10 หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณหาค่าความเข้มข้นด้วยสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้มาเป็นสร้างกราฟเส้นตรง เพื่อวิเคราะห์หาค่าสมการถดถอยเชิงเส้นตรงและค่าความเชื่อมั่นอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 11

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในน้ำขจัดไอออนกับที่มีสาร QAC อยู่ก่อนในปริมาณ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	
	น้ำขจัดไอออน	น้ำขจัดไอออนที่มีปริมาณ QAC 1 ($\mu\text{g/ml}$)
0	0.000	0.007
2	0.032	0.076
4	0.177	0.265
6	0.383	0.394
8	0.581	0.596
10	0.793	0.839

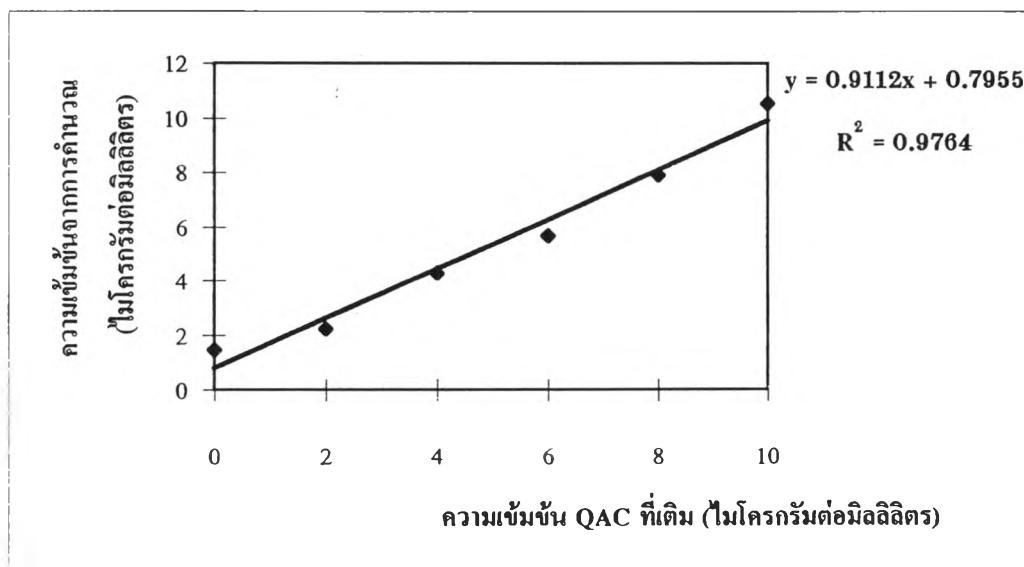
รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในน้ำจืด ไอออนกับน้ำจืดไอออนที่มี QAC อยู่ก่อนในปริมาณ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณจากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ในน้ำจืดไอออนที่มีสาร QAC อยู่ก่อนในปริมาณ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาแทนในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC (µg/ml)	ความเข้มข้น QAC จากการคำนวณ (µg/ml)
0	1.47
2	2.22
4	4.28
6	5.69
8	7.89
10	10.54

รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$) กับความเข้มข้น QAC ที่คำนวณ ($\mu\text{g/ml}$)



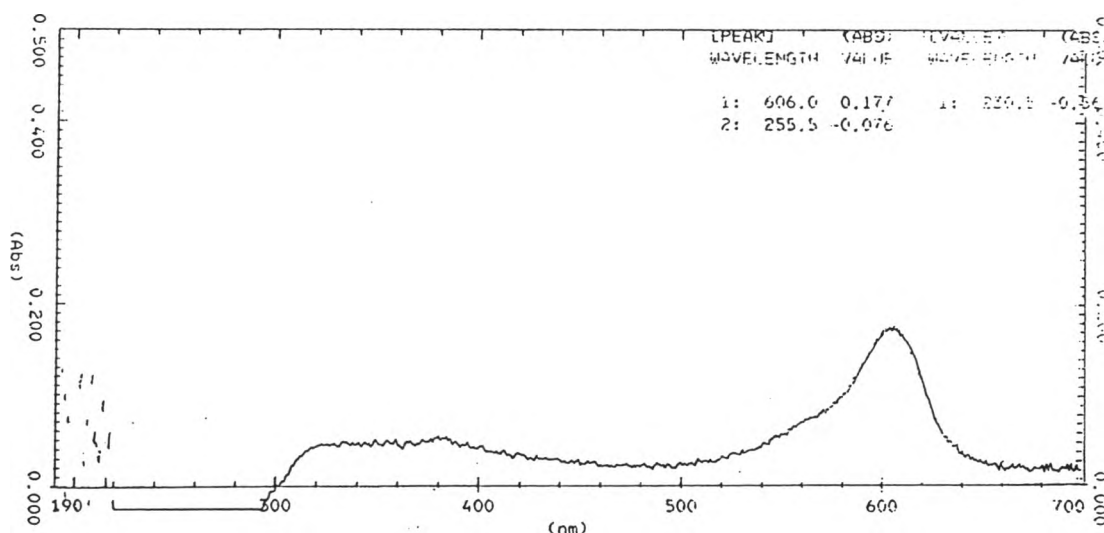
จากการวัดค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ตามผลการทดลองในตารางที่ 10 พบว่าน้ำจืดไอออนที่มีสาร QAC อยู่ก่อนในปริมาณ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าสารมาตรฐาน QAC เล็กน้อย (ในรูปที่ 10) และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำจืดไอออนที่มี QAC ปริมาณ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร มาคำนวณหาความเข้มข้น โดยแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ เพื่อสร้างกราฟเส้นตรง คำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ QAC กับค่าการดูดกลืนแสง (ในรูปที่ 11) จะได้สมการ $Y = 0.7955 + 0.9112X$ ที่ความเชื่อมั่น 97% เมื่อแทนค่า $X = 0$ จะได้ค่า $Y = 0.7955$ หรือกล่าวคือในน้ำจืดไอออนจะมี QAC เกือบประมาณ 0.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ซึ่งถือได้ว่ามีค่าใกล้เคียงเท่ากับ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ดังนั้นสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ จึงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หา QAC ที่ปนเปื้อนในกาน้ำตาลได้

3.2.5 การศึกษาอิทธิพลของสีต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC

ในการทดลองนี้ต้องการทดสอบว่าวิธีโบริโมฟินอลบลู ที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารพวก QAC จะถูกรบกวนด้วยอิทธิพลของสีน้ำตาลไหม้ของกาน้ำตาลหรือไม่ เมื่อนำไปวัดค่า

การดูดกลืนแสง ซึ่งสีน้ำตาลไหม้ของกากน้ำตาลเกิดจากการaramel (caramel) และในการaramelจะไม่ มีสาร QAC เจือปนอยู่ จึงนำคาราเมลมาเจือจางให้มีสีน้ำตาลไหม้ที่ใกล้เคียงกับสีของกากน้ำตาล ซึ่งทำการวัดสีตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างทั้งสอง เดิมในหลอดทดสอบอย่างละหลอด แล้วนำไป วางบนพื้นกระดาษสีขาวเปรียบเทียบกับสีโดยสังเกตด้วยตาเปล่า หลังจากนั้นดำเนินการวิจัยตามข้อ 2.4.2.1 และทำการหาช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสม ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Shimadzu UV-3100 โดยใช้สารละลายคาราเมลที่ไม่ได้เติมสาร QAC เป็นตัวเปรียบเทียบ ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12 การตรวจหาช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ที่ เดิมในสารละลายคาราเมล

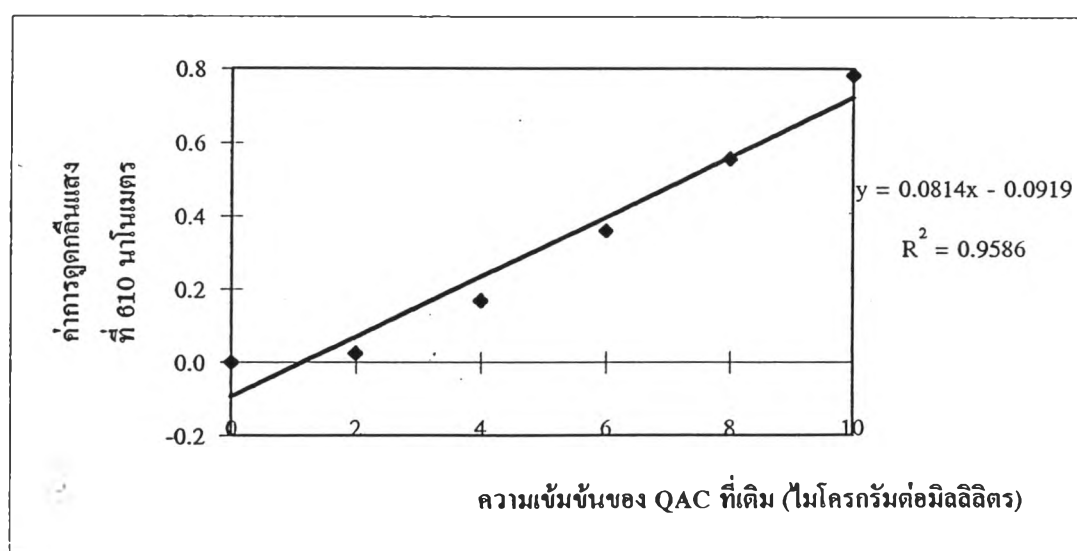


จากรูปที่ 12 พบว่าสาร QAC ที่เดิมในสารละลายคาราเมลมีค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมคือ 606 นาโนเมตร ถือว่าไม่แตกต่างกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐาน QAC ในน้ำขจัดไอออน ในการทดลองนี้เพื่อที่จะอ้างอิงกับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสาร QAC ที่เดิมในน้ำขจัดไอออน ดังนั้นจึงใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของสาร QAC ที่เดิมในคาราเมล ดังแสดงในตารางที่ 12 และ รูปที่ 13

ตารางที่ 12 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร QAC ที่เติมในสารละลายคาราเมล

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 610 นาโนเมตร
0	0.000
2	0.025
4	0.168
6	0.359
8	0.555
10	0.783

รูปที่ 13 กราฟผลการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ที่เติมในสารละลายคาราเมล



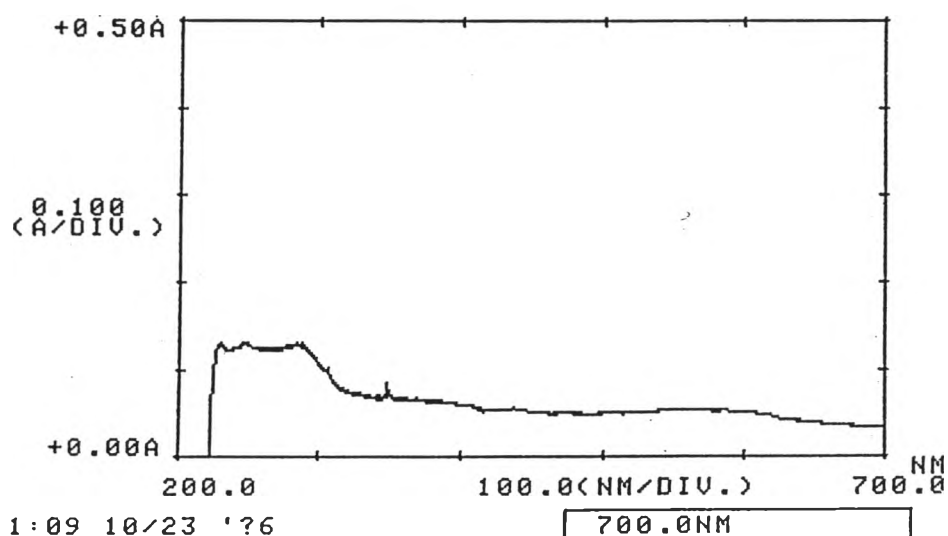
จากผลการทดลองในตารางที่ 12 และรูปที่ 13 พบว่าในสารละลายคาราเมลที่ไม่มีการเติม QAC สารละลายที่ทำการสกัดได้จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองใสจาง ๆ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอมเหลืองและสีน้ำเงินเข้มของสารประกอบเชิงซ้อนของเกลือควอเตอร์นารีแอมโมเนียม เมื่อความเข้มข้นของ QAC เพิ่มขึ้น สำหรับค่าสมการที่คำนวณได้เท่ากับ $Y = -0.0919 + 0.0814X$ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการ

มาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ พบว่าค่าความชันของสมการทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.01$) ดังนั้นสีน้ำตาลไหม้ของคาราเมลจะไม่มีผลรบกวนการวัดค่าการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ที่เติมลงไป

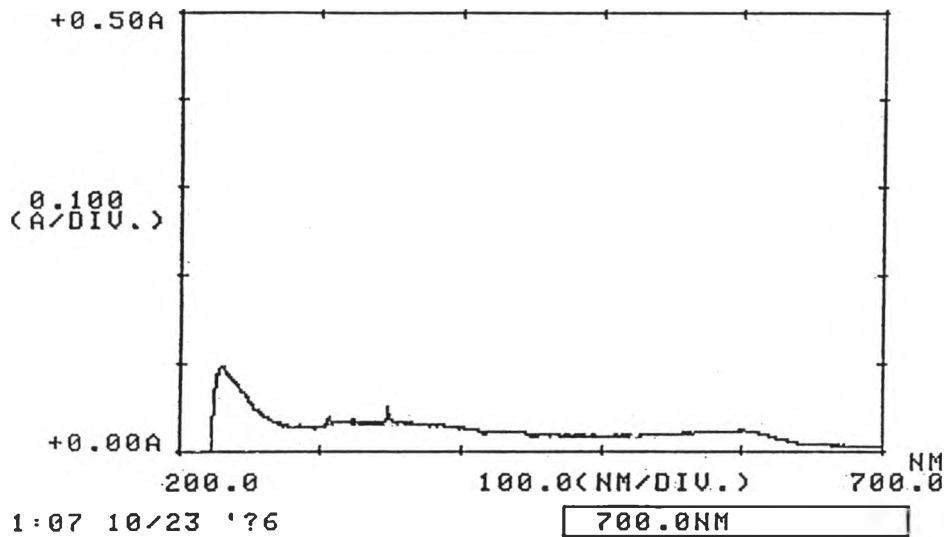
3.2.6 การทดสอบวิธีวิเคราะห์โบรมอฟีนอลบลูกับสารลดแรงตึงผิว (surfactant)

เพื่อศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวตัวอื่นที่อาจปนเปื้อนมากับตัวอย่างกากน้ำตาลที่มีต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC โดยวิธีโบรมอฟีนอลบลู (A.O.A.C., 1997) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทดลองใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ เช่น ผงซักฟอก, ซันไลต์[®] (sodium alkylbenzene sulphonate และ sodium lauryl ethersulphate) และ tween 80[®] (polyoxyethylene sorbitanmonooleate) แทนสารละลายมาตรฐาน QAC ทำการทดลองโดยละลายผงซักฟอก 0.001, 0.01, และ 0.1 กรัม ด้วยน้ำจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร, ซังสารละลายซันไลต์[®] 0.01, 0.02 และ 0.1 กรัม เจือจางด้วยน้ำจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และ tween 80[®] 0.01, 0.02 และ 0.1 กรัม เจือจางด้วยน้ำจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.5.1 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 14

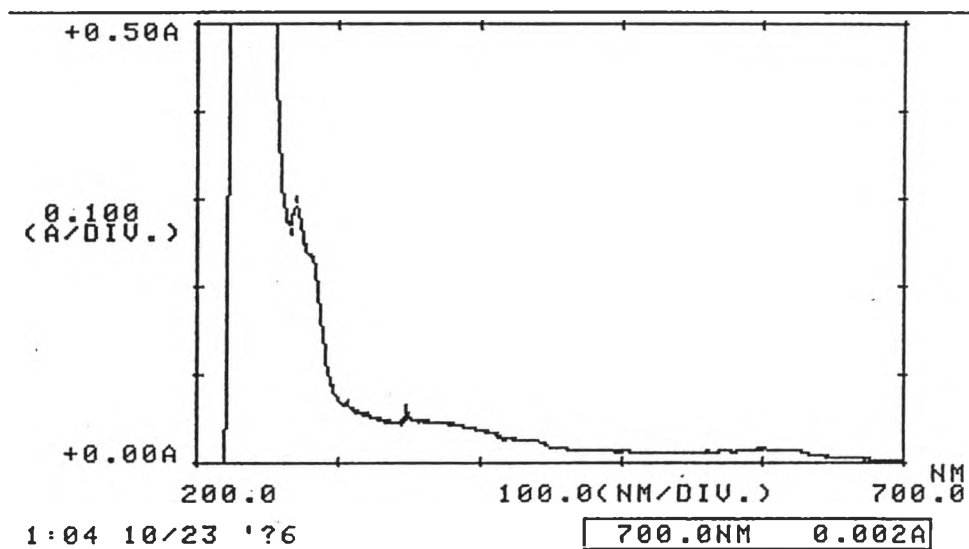
รูปที่ 14 ก.



รูปที่ 14 ข.



รูปที่ 14 ก.



รูปที่ 14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผงซักฟอก, ซันไลต์[®] และ tween 80[®] เมื่อวิเคราะห์

หาปริมาณ QAC ด้วยวิธีโพรโมฟินอลบลู ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 700 นาโนเมตร

รูปที่ 14 ก แสดงการตรวจหาช่วงความยาวคลื่นของสารละลายผงซักฟอก

รูปที่ 14 ข แสดงการตรวจหาช่วงความยาวคลื่นของสารละลายซันไลต์[®]

รูปที่ 14 ค แสดงการตรวจหาช่วงความยาวคลื่นของสารละลาย tween 80[®]

จากการสกัดสารละลายตัวอย่างทั้งสามชนิด พบว่าสารละลายสุดท้ายที่สกัดได้มีลักษณะใสไม่มีสี และเมื่อนำมาตรวจหาช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 200 - 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ของ Shimadzu รุ่น UV-160 พบว่าสารละลายตัวอย่างทั้งสามชนิดไม่มีฟีกใด ๆ เกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 200 - 700 นาโนเมตร (ในรูปที่ 14) แต่มีค่าการดูดกลืนแสงเล็กน้อย ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ดังกล่าว จะถูกรบกวนเล็กน้อยมากด้วยสารลดแรงตึงผิวตัวอื่นที่ไม่มีสูตร โครงสร้างของ quaternary ammonium cation

3.2.7 การศึกษาอิทธิพลที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของกากน้ำตาลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC

เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ในตัวอย่างกากน้ำตาลประสบปัญหาเรื่องความหนืดของกากน้ำตาลทำให้เกิด emulsion จึงทำการแปรความเข้มข้นของกากน้ำตาลโดยเริ่มแรกใช้ความเข้มข้นของตัวอย่างกากน้ำตาล 10 กรัม เจือจางด้วยน้ำขจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ดัดแปลงจากวิธีโบรโมฟีนอลบลู (A.O.A.C., 1997) เป็นหลักในการเปรียบเทียบและแปรความเข้มข้นของกากน้ำตาลให้ลดลงคือ 5, 2.5 และ 1.25 กรัม เจือจางด้วยน้ำขจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรกากน้ำตาลที่นำมาเจือจางลดลงสองเท่า สี่เท่า และแปดเท่าตามลำดับ ดำเนินงานวิจัยตามรูป 15

รูปที่ 15 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของกากน้ำตาลจากโรงงาน A ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ที่มีต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล

ชั่งตัวอย่างกากน้ำตาล (น้ำหนักเปียก) จากโรงงาน A 14.27, 7.13, 3.57 และ 1.78 กรัม
(คำนวณจาก % น้ำหนักมวลเปียก ในตารางที่ 6)

ความเข้มข้นของกากน้ำตาลเท่ากับ 0.2, 0.1, 0.05 และ 0.025 กรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ



เติมสารละลายมาตรฐาน QAC ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ

10, 20, 30 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร



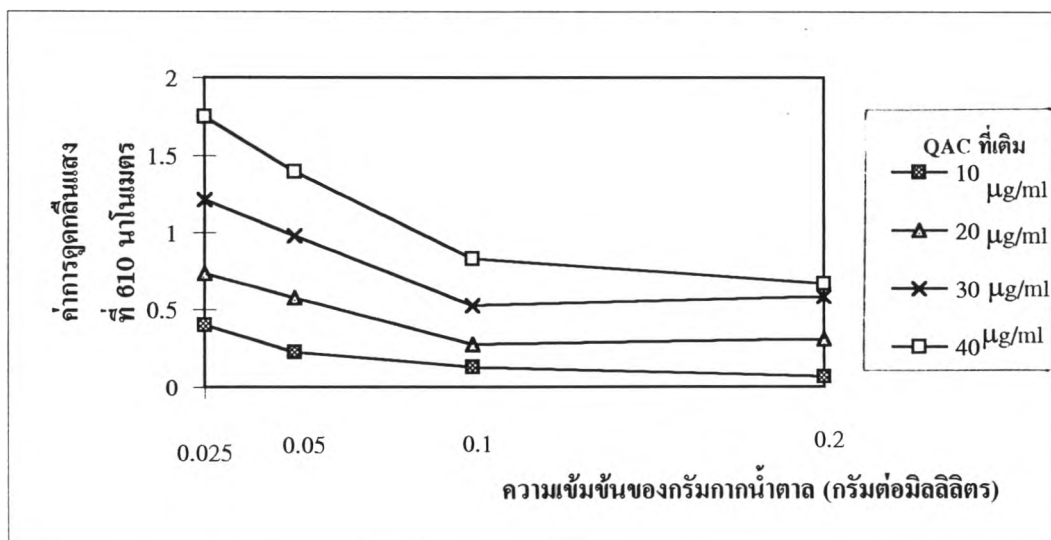
ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.5.1

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 16

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกากน้ำตาลที่ระดับต่าง ๆ ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร

ความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร			
	ความเข้มข้นของสารละลายกากน้ำตาล			
	0.2 (g/ml)	0.1 (g/ml)	0.05 (g/ml)	0.025 (g/ml)
10	0.068	0.13	0.226	0.402
20	0.309	0.275	0.577	0.734
30	0.583	0.525	0.978	1.214
40	0.668	0.83	1.397	1.748

รูปที่ 16 ผลของความเข้มข้นกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC



จากผลการทดลองในตารางที่ 13 และรูปที่ 16 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่ 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลที่น่าสนใจต่อการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC กล่าวคือค่าการดูดกลืนแสงจะต่ำกว่าค่าตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งคาดว่าในกากน้ำตาลอาจมีสารบางอย่างที่ยับยั้งการทำปฏิกิริยาให้สารประกอบเชิงซ้อน QAC กับโบรโมฟินอลบูล และถ้านำกากน้ำตาลมาเจือจางให้มีปริมาณความเข้มข้นลดลงที่ 0.1, 0.05 และ 0.025 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงจะสูงขึ้นตามลำดับ

แต่ถ้าใช้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นกากน้ำตาลน้อยลง คือที่ 0.1, 0.05 และ 0.025 กรัมต่อมิลลิลิตร สาร QAC ที่เจือปนในตัวอย่างกากที่นำมาวิเคราะห์ก็จะน้อยลง และค่าการดูดกลืนแสงที่สูงเกินไป เป็นค่าที่จะมีความผิดพลาดในการหาความเข้มข้นของสาร QAC ซึ่งจากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นกากน้ำตาล 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่คงที่ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนกากน้ำตาลที่ใช้เป็นกากน้ำตาลจากโรงงาน B ดำเนินงานวิจัยตามรูปที่ 17

รูปที่ 17 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของกากน้ำตาลจาก โรงงาน B ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล

ชั่งตัวอย่างกากน้ำตาล (น้ำหนักเปียก) จากโรงงาน B 13.44, 6.72, 3.36 และ 1.68 กรัม
(คำนวณจาก % น้ำหนักมวลเปียก ในตารางที่ 6)

ความเข้มข้นของกากน้ำตาลเท่ากับ 0.2, 0.1, 0.05 และ 0.025 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ



เติมสารละลายมาตรฐาน QAC ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ

10, 20, 30 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร



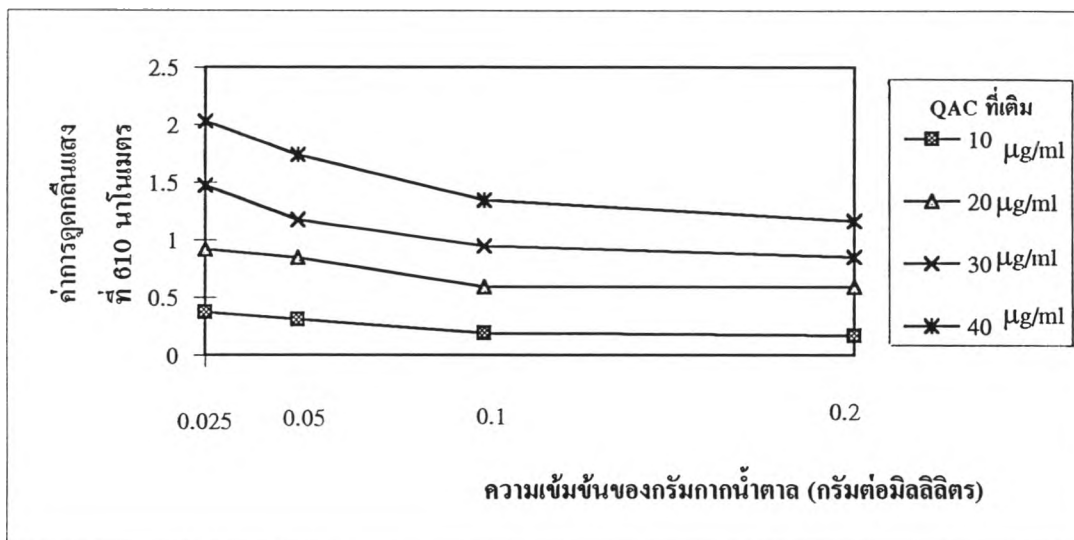
ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.5.1

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 14 และรูปที่ 18

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นกากน้ำตาลที่ระดับต่าง ๆ ต่อค่าการดูดกลืนแสง ที่ 610 นาโนเมตร

ความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร			
	ความเข้มข้นของสารละลายกากน้ำตาล			
	0.2 (g/ml)	0.1 (g/ml)	0.05 (g/ml)	0.025 (g/ml)
10	0.17	0.192	0.305	0.371
20	0.59	0.59	0.844	0.919
30	0.848	0.947	1.174	1.473
40	1.163	1.34	1.74	2.032

รูปที่ 18 ผลของความเข้มข้นกากน้ำตาลที่ระดับต่าง ๆ ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC



จากการทดลองที่ผ่านมาได้เลือกใช้ความเข้มข้นกากน้ำตาล 0.2 กรัมต่อมิลลิตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 14 และรูปที่ 18 พบว่าที่ความเข้มข้นกากน้ำตาล 0.2 กรัมต่อมิลลิตร มีการเกิด emulsion หลังจากเขย่าน้อยลงและเมื่อตั้งทิ้งไว้ emulsion ก็จะไม่ค่อย ๆ สลายไป สำหรับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ก็ไม่สูงเกินไป และมีการกระจายในแต่ละความเข้มข้นของปริมาณ QAC ที่เดิมลงไป ดังนั้นในการทดลองต่อไป จึงใช้กากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 0.2 กรัมต่อมิลลิตร ในการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ในกากน้ำตาล

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล

ดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนในรูปที่ 19

รูปที่ 19 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล

ชั่งกากน้ำตาล(น้ำหนักสุทธิ) 10 กรัม (คำนวณจาก % น้ำหนักมวลเปียก ในตารางที่ 6)
 เจือจางด้วยน้ำจัดไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

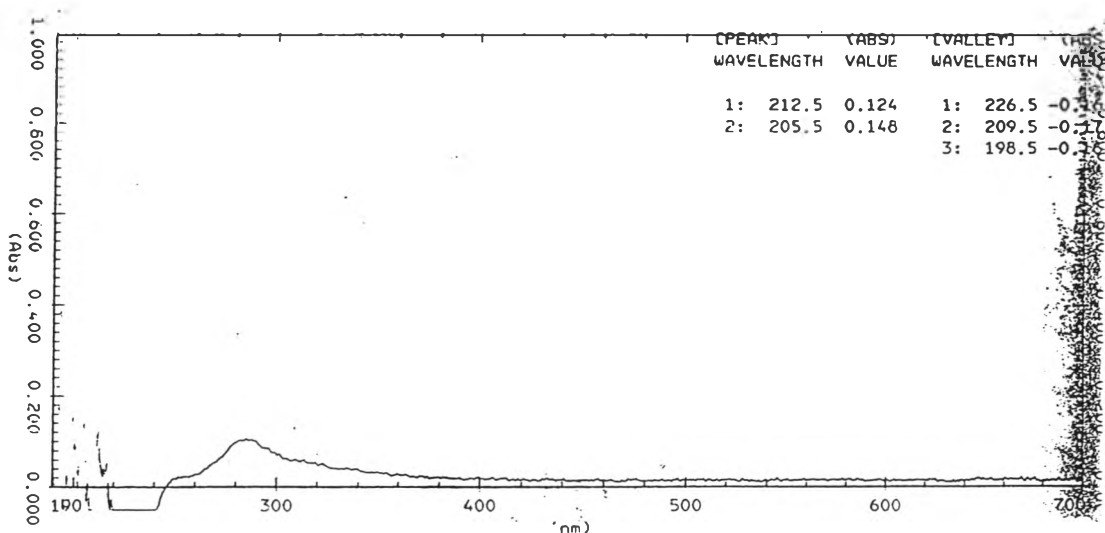


ปีเปตสารละลายกากน้ำตาล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร



ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ตามข้อ 2.5.1 นำมาตรวจหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม
 โดยใช้น้ำจัดไอออนเป็นตัวเปรียบเทียบ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 20

รูปที่ 20 การตรวจหาช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 - 700 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์หาปริมาณ
 สาร QAC ในตัวอย่างกากน้ำตาล



จากผลการทดลองในรูปที่ 20 พบว่าสารละลายที่สกัดได้จากตัวอย่างกากน้ำตาลที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นสีเหลืองใสจาง ๆ และมีค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้น้อยมาก ทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ไม่ได้ ดังนั้นจึงได้ใช้เทคนิค standard addition curve โดยการเติมสารละลายมาตรฐาน QAC ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ โดยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น คือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนในรูปที่ 21

รูปที่ 21 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล โดยเทคนิค standard addition curve

ชั่งกากน้ำตาล (น้ำหนักสุทธิ) 10 กรัม (คำนวณจาก % น้ำหนักมวลเปียก ในตารางที่ 6)



เติมสารละลายมาตรฐาน QAC ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ

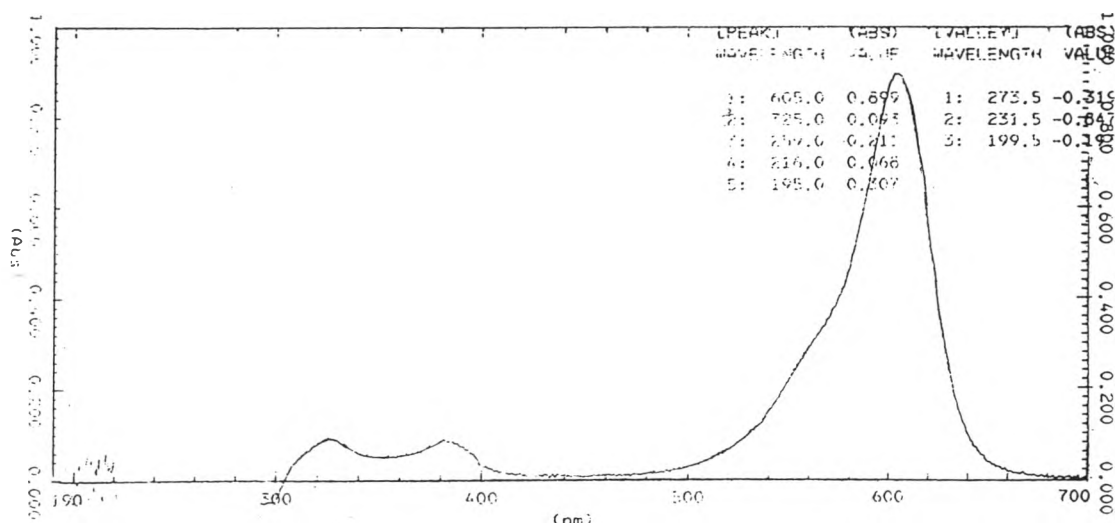
0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ QAC ตามข้อ 2.5.1 นำมาตรวจหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม

โดยใช้น้ำจืดไอออนเป็นตัวเปรียบเทียบ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 22

รูปที่ 22 การตรวจหาช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 - 700 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ที่เติมลงในตัวอย่างกากน้ำตาล โดยเทคนิค standard addition curve



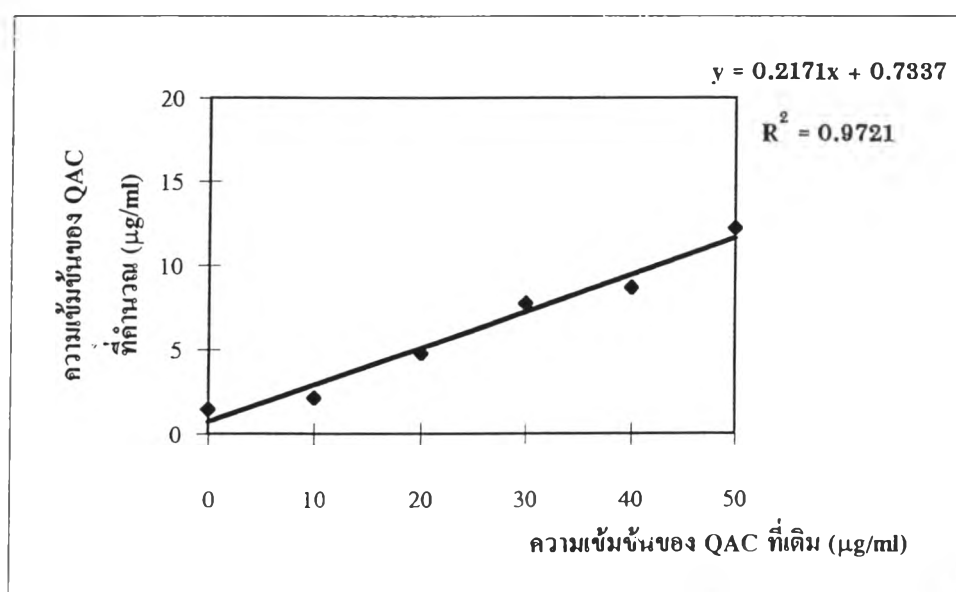
3.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกาน้ำชาจากโรงงาน A

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.2.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 15 และรูปที่ 23

ตารางที่ 15 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในสารละลายกาน้ำชาเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (กาน้ำชาจากโรงงาน A)

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)
0	0.008	1.48
10	0.068	2.14
20	0.309	4.76
30	0.583	7.75
40	0.668	8.68
50	0.987	12.16

รูปที่ 28 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในตัวอย่างกาน้ำชาจากโรงงาน A ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเทคนิค standard addition



จากรูปที่ 23 เส้นกราฟตัดที่แกน Y = 0.7337

ในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณ QAC 0.7337 $\mu\text{g/ml}$

ถ้าสารละลายกากน้ำตาล 50 มิลลิลิตร มีปริมาณ QAC = 0.7337 x 50 กรัม

กากน้ำตาล 10 กรัม มี QAC = 36.6 กรัม

ดังนั้นในกากน้ำตาลจากโรงงาน A 1 กรัม จะมีปริมาณสาร QAC 3.66 ไมโครกรัม

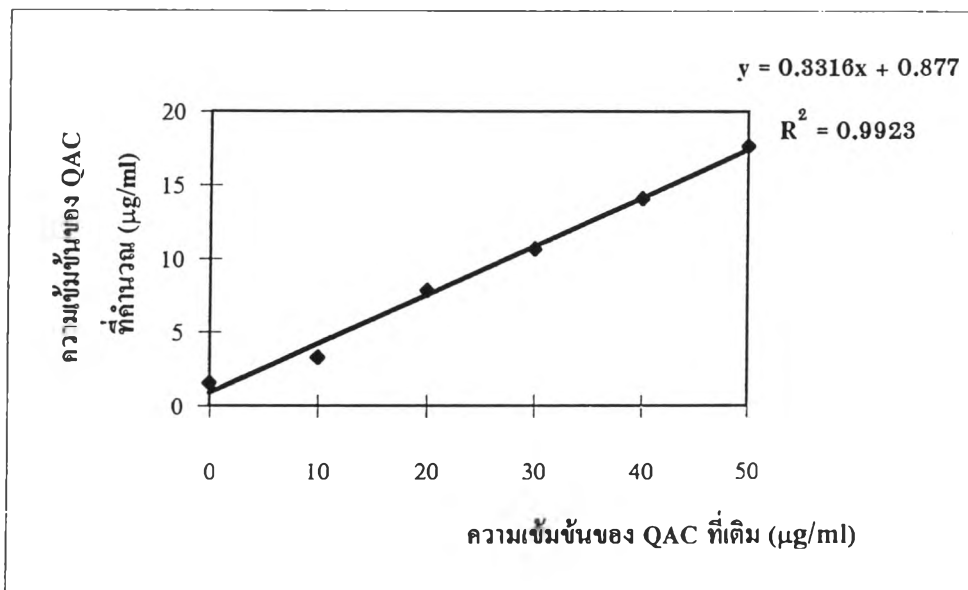
3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน B

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.2.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 16 และรูปที่ 24

ตารางที่ 16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (กากน้ำตาลจากโรงงาน B)

ความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)
0	0.012	1.53
10	0.170	3.25
20	0.590	7.83
30	0.848	10.64
40	1.163	14.08
50	1.493	17.68

รูปที่ 24 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในตัวอย่างกากน้ำตาลจากโรงงาน B ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเทคนิค standard addition



จากรูปที่ 24 เส้นกราฟตัดที่แกน Y = 0.877

ในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณ QAC 0.877 µg/ml

ถ้าสารละลายกากน้ำตาล 50 มิลลิลิตร มีปริมาณ QAC = 0.877 x 50 กรัม

กากน้ำตาล 10 กรัม มี QAC = 43.8 กรัม

ดังนั้นในกากน้ำตาลจากโรงงาน B 1 กรัม จะมีปริมาณ QAC 4.38 ไมโครกรัม

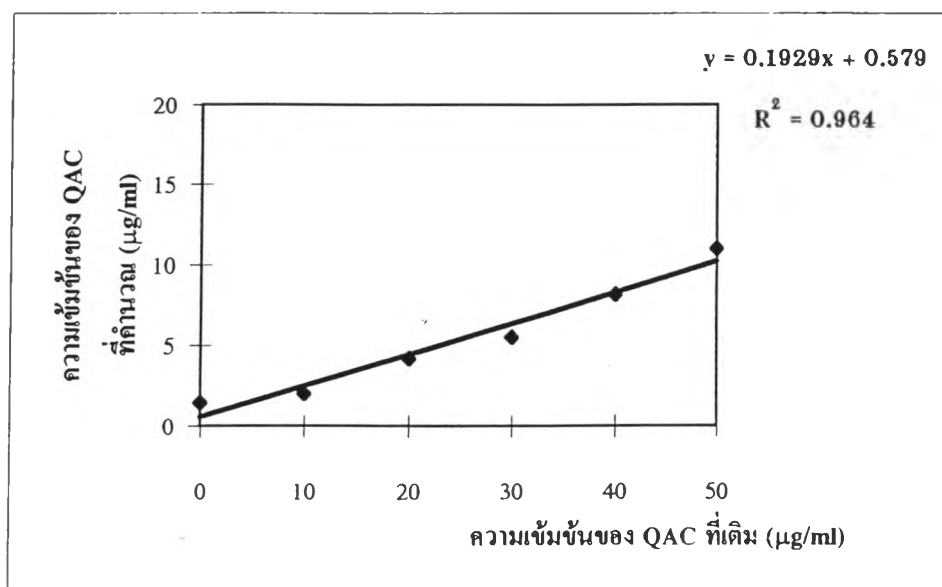
3.8.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกาน้ำตาลจากโรงงาน C

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.2.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 17 และรูปที่ 25

ตารางที่ 17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในสารละลายกาน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร (กาน้ำตาลจากโรงงาน C)

ความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)
0	0.007	1.47
10	0.058	2.03
20	0.256	4.19
30	0.379	5.53
40	0.622	8.18
50	0.882	11.01

รูปที่ 25 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในตัวอย่างกาน้ำตาลจากโรงงาน C ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร โดยเทคนิค standard addition



จากรูปที่ 25 เส้นกราฟตัดที่แกน Y = 0.579

ในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณ QAC 0.579 $\mu\text{g/ml}$

ถ้าสารละลายกากน้ำตาล 50 มิลลิลิตร มีปริมาณ QAC = 0.579 x 50 กรัม

กากน้ำตาล 10 กรัม มี QAC = 28.9 กรัม

ดังนั้นในกากน้ำตาลจากโรงงาน C 1 กรัม จะมีปริมาณ QAC 2.89 ไมโครกรัม

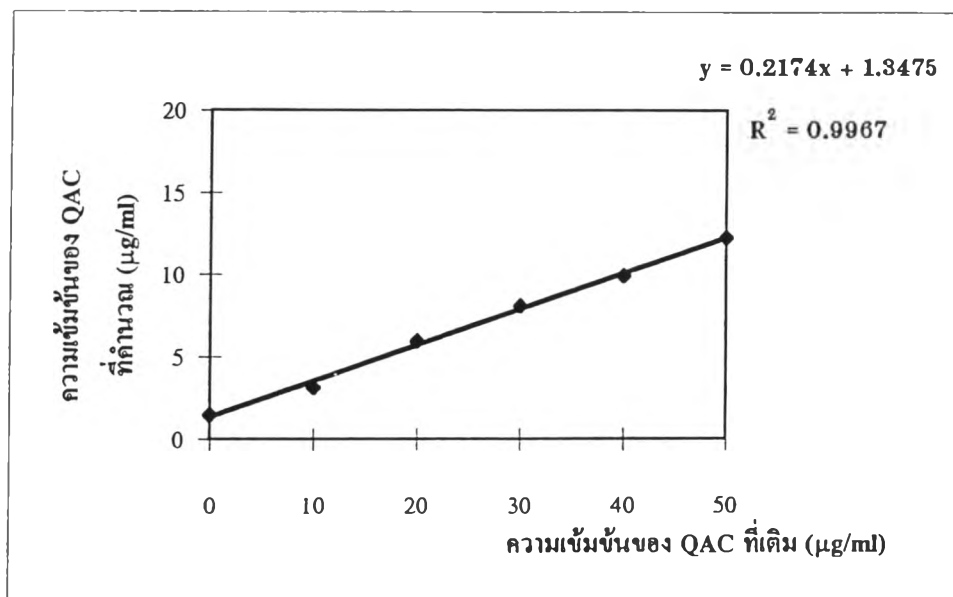
3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน D

ดำเนินการวิจัยตามข้อ 2.4.2.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18 และรูปที่ 26

ตารางที่ 18 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐาน QAC ที่เติมในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (กากน้ำตาลจากโรงงาน D)

ความเข้มข้น QAC ที่เติม ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)
0	0.007	1.47
10	0.160	3.14
20	0.414	5.91
30	0.613	8.08
40	0.780	9.90
50	0.991	12.20

รูปที่ 26 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในตัวอย่างกากน้ำตาลจากโรงงาน D ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเทคนิค standard addition



จากรูปที่ 26 เส้นกราฟตัดที่แกน Y = 1.3475

ในสารละลายกากน้ำตาลเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณ QAC 1.3475 µg/ml

ถ้าสารละลายกากน้ำตาล 50 มิลลิลิตร มีปริมาณ QAC = 1.3475 x 50 กรัม

กากน้ำตาล 10 กรัม มี QAC = 67.3 กรัม

ดังนั้นในกากน้ำตาลจากโรงงาน D 1 กรัม จะมีปริมาณ QAC 6.73 ไมโครกรัม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลแต่ละโรงงาน ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลแต่ละโรงงาน

โรงงานน้ำตาล	ปริมาณ QAC (µg) ในกากน้ำตาล 1 กรัม
A	3.66
B	4.38
C	2.89
D	6.73

3.4 การประเมินผลยับยั้งของสาร QAC ต่อการเจริญ และการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces sp.*

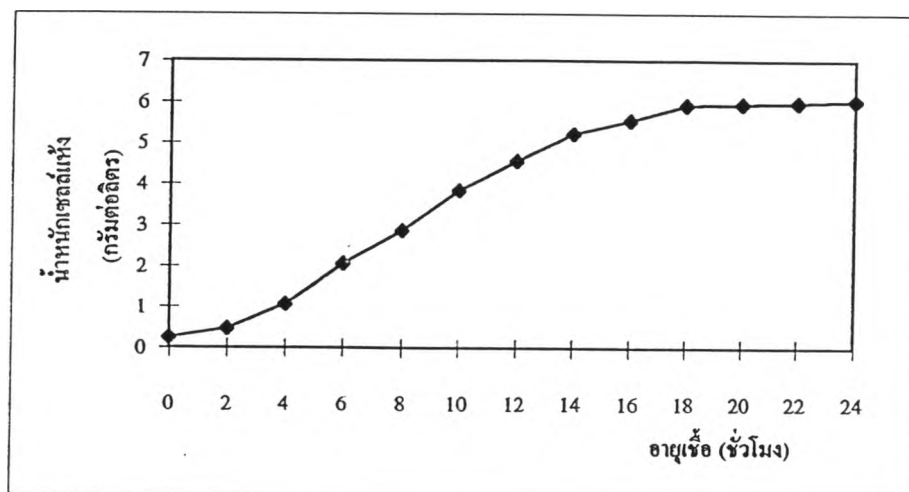
3.4.1 การศึกษาลักษณะการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces sp.* ในอาหารสำหรับเตรียมหัวเชื้อ

เลี้ยงเชื้อ *Saccharomyces sp.* ในอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อ (ภาคผนวก ก-1.) ตามวิธีการทดลองในข้อ 2.3.3.2 ทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ศึกษา ลักษณะการเจริญโดยวิธีหาน้ำหนักเซลล์แห้งตามวิธีวิเคราะห์ในข้อ 2.5.2 ได้ผลการทดลองดัง แสดงในตารางที่ 20 และรูปที่ 27

ตารางที่ 20 น้ำหนักเซลล์แห้งของยีสต์ *Saccharomyces sp.* ในอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

อายุเชื้อ (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	จำนวนเซลล์ทั้งหมด (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	อัตราการเจริญจำเพาะ (μ ; ชั่วโมง ⁻¹)
0	0.25	6.0×10^6	0
2	0.47	7.5×10^6	0.316
4	1.07	6.0×10^7	0.411
6	2.05	8.5×10^7	0.325
8	2.85	1.0×10^8	0.165
10	3.85	1.55×10^8	0.150
12	4.57	2.4×10^8	0.086
14	5.22	3.2×10^8	0.066
16	5.55	3.3×10^8	0.031
18	5.93	3.75×10^8	0.033
20	5.97	3.8×10^8	0.003
22	5.99	3.85×10^8	0.002
24	6.04	3.65×10^8	0.004

รูปที่ 27 ลักษณะการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces* sp. ในอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อที่
ระยะเวลาต่าง ๆ



จากผลการทดลองในตารางที่ 20 และรูปที่ 27 พบว่าเชื้ออยู่ในระยะพักตัว (lag phase) ในช่วงแรกและเริ่มเข้าสู่ระยะการเจริญแบบทวีคูณ (log phase) ในชั่วโมงที่ 2 หลังจากนั้นเชื้อจึงเจริญเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว จนถึงชั่วโมงที่ 18 ซึ่งเป็นช่วงท้ายของการเจริญในระยะทวีคูณ เชื้อเริ่มเข้าสู่การเจริญแบบคงที่ (stationary phase) และในชั่วโมงที่ 24 ได้น้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 6.04 กรัมต่อลิตร จากลักษณะการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces* sp. พบว่าในชั่วโมงที่ 4 มีอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) สูงสุดคือ 0.411 แต่จากการนับจำนวนเซลล์ยีสต์ทั้งหมด พบว่าปริมาณเซลล์ยีสต์ยังน้อยอยู่ จึงเลือกใช้ชั่วโมงที่ 8 ซึ่งมีจำนวนเซลล์ทั้งหมด 1.0×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร คิดเป็นน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 2.85 กรัมต่อลิตร และจากการคิดค่าสหสัมพันธ์ (Y) ระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดกับน้ำหนักเซลล์แห้ง พบว่ามีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.980 ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงใช้อายุหัวเชื้อที่ 8 ชั่วโมง เป็นปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นในการหมักเอธานอลจากอาหารกากน้ำตาล

3.4.2 การศึกษาการเจริญ และการหมักเอธานอลจากอาหารกากน้ำตาลด้วยยีสต์

Saccharomyces sp.

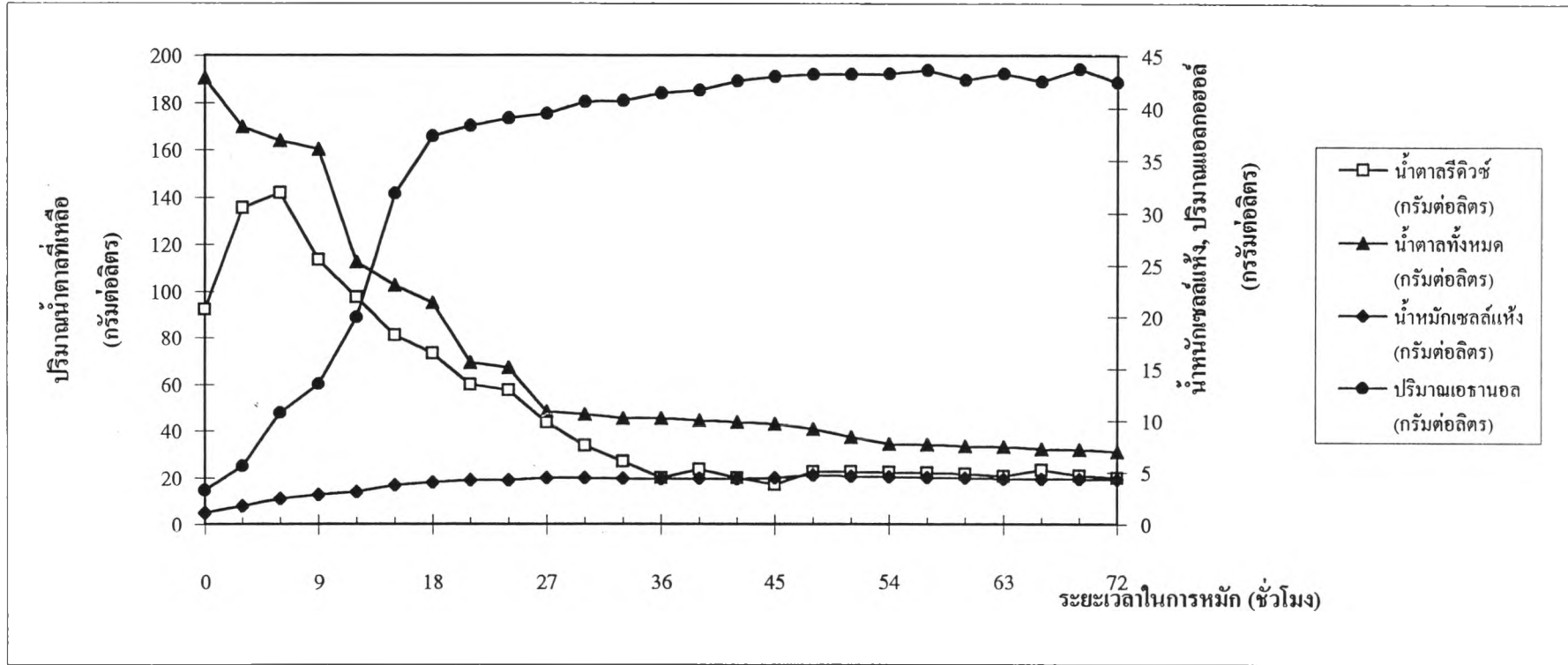
จากการทดลองที่ 3.4.1 ศึกษาการเจริญของเชื้อยีสต์ *Saccharomyces* sp. ในอาหาร YM สำหรับเตรียมหัวเชื้อ พบว่าหัวเชื้อที่มีอายุ 8 ชั่วโมง เป็นช่วงที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ จึงทำการหมักเอธานอลในกากน้ำตาลด้วยยีสต์ ในระดับขวดชมพูปิดจุกด้วยสำลี ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 30 องศาเซลเซียส ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.3.1 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 21 และรูปที่ 28

จากผลการทดลองในตารางที่ 21 และรูปที่ 28 พบว่าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 จนถึงชั่วโมงที่ 21 ของการหมัก จะมีอัตราการเพิ่มจำนวนของเซลล์ยีสต์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายหลังจากชั่วโมงที่ 21 การเจริญของเซลล์ยีสต์จะเข้าสู่ระยะคงที่ จนที่เวลา 48 ชั่วโมง ได้น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 4.76 กรัมต่อลิตร และจากการนับจำนวนเซลล์ยีสต์ทั้งหมด พบว่ามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเซลล์แห้ง คือมีค่าสหสัมพันธ์ (Y) เท่ากับ 0.9822 สำหรับการผลิตเอธานอลของยีสต์ พบว่าจะสัมพันธ์กับ จำนวนเซลล์ยีสต์ โดยเมื่อมีการสร้างเซลล์ยีสต์เพิ่มขึ้นการผลิตเอธานอลก็จะมากขึ้น และการผลิตเอธานอลเริ่มมีการผลิตตั้งแต่ในช่วงหัวเชื้อ โดยมีปริมาณเอธานอลในชั่วโมงที่ 0 เท่ากับ 3.27 กรัมต่อลิตร และในชั่วโมงที่ 30 การหมักเอธานอลจะเริ่มคงที่ การหมักเอธานอลสูงสุดในการหมักครั้งนี้คือชั่วโมงที่ 69 ได้ปริมาณเอธานอลเท่ากับ 43.71 กรัมต่อลิตร

ดังนั้นในการทดลองต่อไป จะทำการศึกษาผลของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ต่อการหมักเอธานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces* sp. ในอาหารกากน้ำตาลที่เติมสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมลงไป ผลจากการทดลองนี้จะเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยชี้ว่าปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกากน้ำตาลมีปริมาณเท่าไรจึงมีผลต่อยีสต์

ตารางที่ 21 คำนวณน้ำหนักเซลล์แห้ง จำนวนเซลล์ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอลที่ผลิต โดยยีสต์ *Saccharomyces* sp. ในการหมักเอทานอลจากอาหารกากน้ำตาล โดยทำการหมักในสภาพ static culture ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระดับขวดชมพูที่ปิดจุกด้วยสำลี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	จำนวนเซลล์ทั้งหมด (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	1.08	1.0×10^7	92.24	190.35	3.27
3	1.73	2.0×10^7	135.58	169.62	5.61
6	2.44	4.05×10^7	141.88	163.96	10.73
9	2.85	5.0×10^7	113.54	160.19	13.52
12	3.11	7.0×10^7	97.40	112.51	19.95
15	3.77	8.0×10^7	81.06	102.52	31.86
18	4.04	9.0×10^7	73.18	94.99	37.33
21	4.28	9.5×10^7	59.88	69.35	38.31
24	4.26	9.5×10^7	57.56	67.09	39.01
27	4.46	9.5×10^7	43.60	48.25	39.42
30	4.48	9.5×10^7	33.60	47.12	40.60
33	4.44	9.5×10^7	27.00	45.42	40.68
36	4.39	1.0×10^8	19.86	45.23	41.42
39	4.40	1.0×10^8	23.58	44.29	41.65
42	4.38	1.0×10^8	20.00	43.56	42.57
45	4.47	1.05×10^8	16.98	42.84	43.00
48	4.76	1.05×10^8	22.62	40.70	43.20
51	4.62	1.05×10^8	22.44	37.23	43.22
54	4.58	1.05×10^8	22.20	34.36	43.27
57	4.52	1.05×10^8	22.03	34.12	43.59
60	4.45	1.05×10^8	21.50	33.55	42.67
63	4.37	1.05×10^8	20.52	33.14	43.25
66	4.34	1.1×10^8	23.18	32.32	42.49
69	4.38	1.1×10^8	20.79	32.06	43.71
72	4.31	1.05×10^8	19.80	31.00	42.42



รูปที่ 28 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอลที่ผลิตโดยยีสต์ *Saccharomyces* sp. จากอาหารกากน้ำตาล โดยทำการหมักในสภาพ static culture ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระดับขวดชมพูที่ปิดจุกด้วยสำลี

3.4.3 การศึกษาผลยับยั้งของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมต่อการเจริญ และการหมักเอธานอลจากกากน้ำตาลด้วยยีสต์ *Saccharomyces* sp.

Spencer and Meade (1963) กล่าวถึงการใช้สาร QAC ในกระบวนการผลิตน้ำตาลอาจทำให้มีสาร QAC หลงเหลือในกากน้ำตาลแต่ก็ยังไม่มีความชัดเจนในการนำกากน้ำตาลดังกล่าวมาใช้ในการหมัก และจากผลการทดลองที่ 3.3 ทำให้ทราบถึงปริมาณเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ปนเปื้อนในกากน้ำตาลแต่ละโรงงานที่นำมาศึกษา ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงทำการศึกษาผลของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมต่อการหมักเอธานอล โดยทำการเติมสารเคมีดังกล่าวลงในกากน้ำตาลที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ โดยใช้ความเข้มข้นของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่มีในกากน้ำตาลที่เจือจางสำหรับหมักเอธานอลเป็นชุดควบคุม (control) ในการเปรียบเทียบ

Hexemine X-100[®] เป็นสารพวก QAC ในการทดลองนี้เพื่อให้สาร QAC ที่ใช้ใกล้เคียงกับที่โรงงานน้ำตาลใช้กันจริง จึงได้ใช้สาร Hexemine X-100[®] แทนสารมาตรฐาน QAC ที่ใช้โดยเลี้ยงเชื้อ *Saccharomyces* sp. ในอาหารสำหรับเตรียมหัวเชื้อ (ภาคผนวกที่ ก 1.) ถ่ายหัวเชื้อยีสต์ (ตามวิธีในข้อ 2.3.3.3) มาเลี้ยงในอาหารกากน้ำตาลที่เติม Hexemine X-100[®] ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในอาหารกากน้ำตาลเท่ากับ 0, 10, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.3.2 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (RBD) เก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 30 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 22, 23, 24 และ 25 และรูปที่ 29, 30, 31, 32 และ 33

จากผลการทดลองในตารางที่ 22, 23, 24 และ 25 และรูปที่ 29, 30, 31, 32 และ 33 พบว่าอาหารกากน้ำตาลชุดควบคุมกับอาหารกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นของ QAC 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และการผลิตเอธานอล (รูปที่ 33) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นของสาร QAC 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าทั้งน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และการผลิตเอธานอล มีการลดลงอย่างชัดเจน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณเอธานอลที่ผลิต พบว่าอาหารกากน้ำตาลชุดควบคุมกับอาหารกากน้ำตาลที่มีการเติม QAC ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่มีความแตกต่างแต่เมื่อเปรียบเทียบในอาหารกากน้ำตาลที่เติมสาร QAC 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าจะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังนั้นในอาหารกากน้ำตาลต้องมีสาร QAC มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จึงมีผลยับยั้งการหมักเอธานอล

ตารางที่ 22 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะ
เวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลชุดควบคุม

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	0.94	85.92	232.94	3.57
3	1.88	108.31	219.53	6.89
6	2.07	107.76	196.79	11.70
9	2.67	101.84	187.46	16.37
12	2.87	90.02	159.47	20.14
15	3.04	74.65	134.40	26.05
18	3.30	68.50	119.53	30.32
21	3.52	59.04	104.37	38.98
24	3.80	44.62	80.75	40.73
27	3.90	37.99	70.84	42.90
30	4.06	28.93	53.93	48.68

ตารางที่ 23 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอธานอล ที่ระยะ
เวลาต่าง ๆ ในการหมักเอธานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่เติมสาร
QAC 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น.น. เซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณเอธานอล (กรัมต่อลิตร)
0	0.97	97.27	237.81	3.47
3	1.56	101.77	215.66	6.76
6	2.05	112.96	208.16	10.89
9	2.54	99.64	174.63	15.35
12	2.71	91.20	159.76	20.16
15	2.97	81.82	143.14	23.90
18	3.25	68.11	121.57	29.60
21	3.50	59.28	103.49	35.77
24	3.72	45.01	77.55	38.18
27	3.67	39.33	68.21	41.14
30	3.80	32.24	55.97	45.27



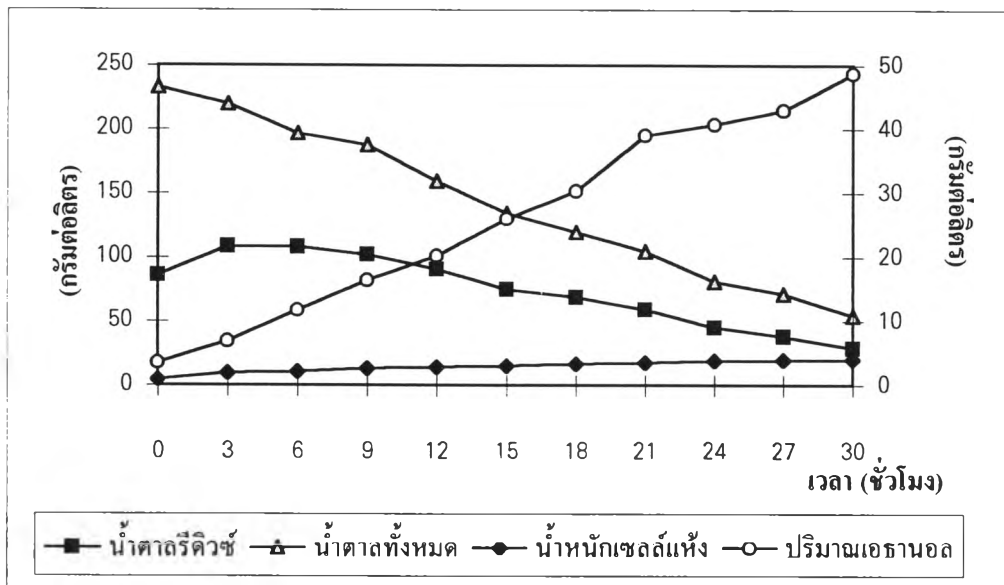
ตารางที่ 24 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะ
เวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่เติมสาร
QAC 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	0.90	84.82	234.98	3.38
3	1.23	115.48	218.36	5.85
6	1.42	115.01	210.49	8.50
9	1.76	116.82	205.53	11.58
12	1.99	109.49	197.66	16.33
15	2.27	96.72	170.75	20.48
18	2.60	89.63	164.43	22.70
21	2.75	84.11	150.43	28.72
24	2.80	75.12	134.10	33.74
27	3.18	65.11	116.61	35.55
30	3.14	56.99	103.78	40.84

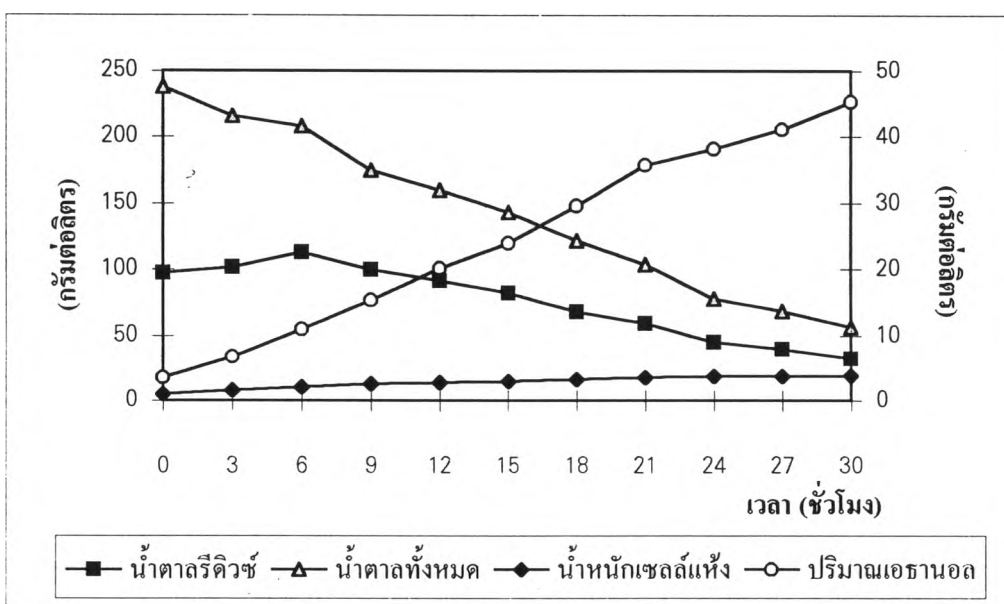
ตารางที่ 25 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอธานอล ที่ระยะ
เวลาต่าง ๆ ในการหมักเอธานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่เดิมสาร
QAC 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	น.น. เซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณเอธานอล (กรัมต่อลิตร)
0	0.94	91.84	238.84	3.57
3	1.07	107.76	234.89	3.65
6	1.16	115.56	232.64	4.30
9	1.42	115.64	216.32	6.18
12	1.62	118.48	209.61	8.22
15	1.83	109.65	197.37	10.20
18	2.10	104.45	190.66	12.70
21	2.28	101.37	185.42	16.21
24	2.48	91.75	162.67	19.89
27	2.84	84.97	153.34	21.41
30	2.96	81.11	146.64	23.49

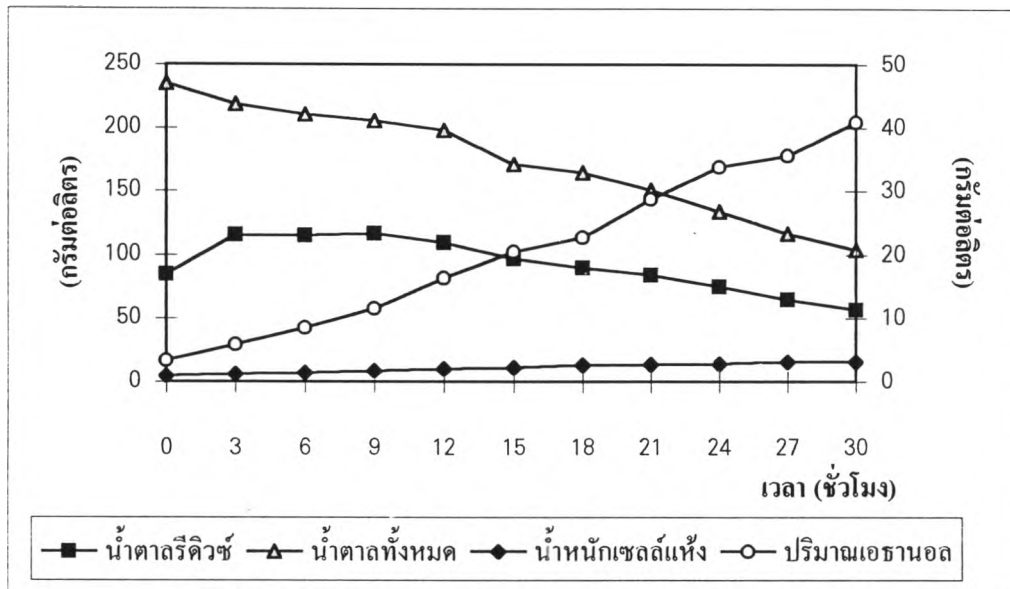
รูปที่ 29 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลชดควบคุม



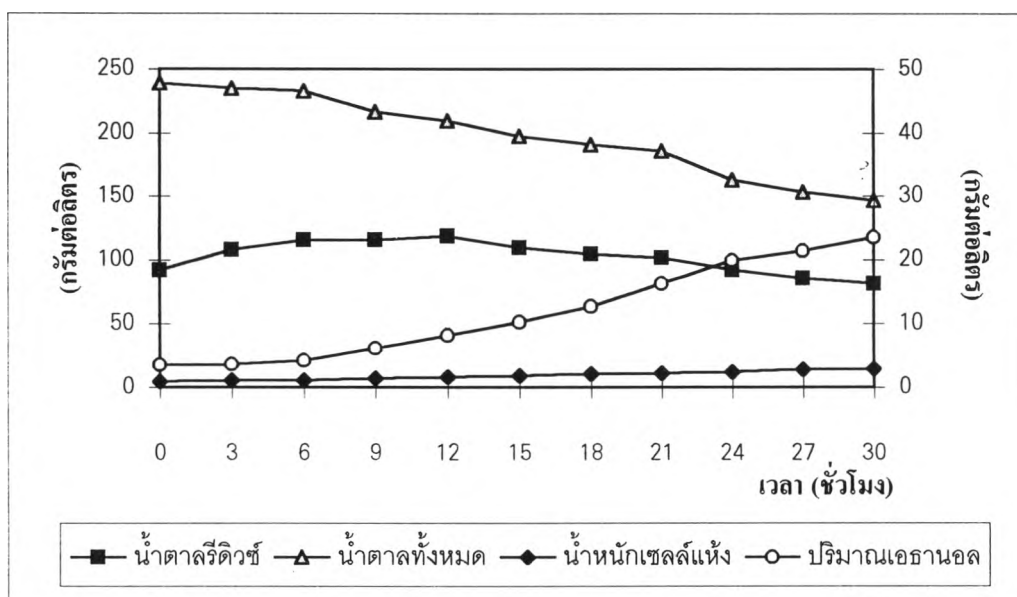
รูปที่ 30 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่มีสาร QAC 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

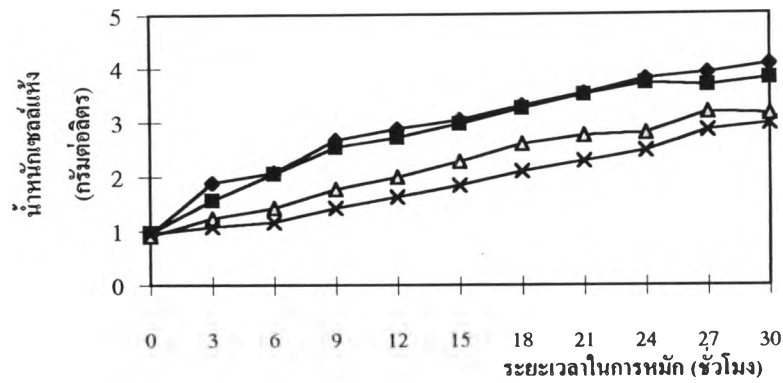


รูปที่ 31 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่มีสาร QAC 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

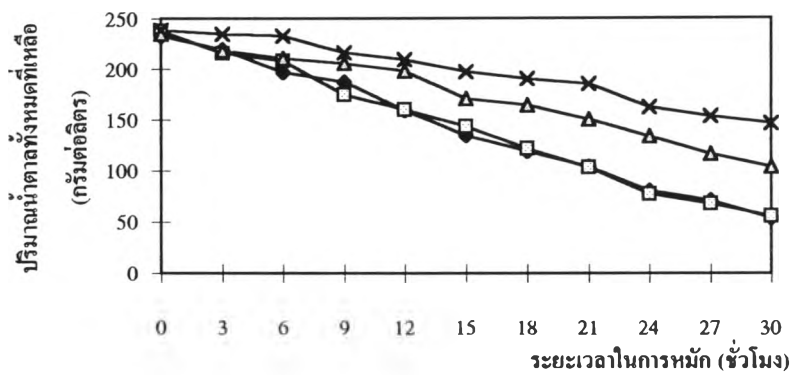


รูปที่ 32 ค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และปริมาณเอทานอล ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ จากอาหารกากน้ำตาลที่มีสาร QAC 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

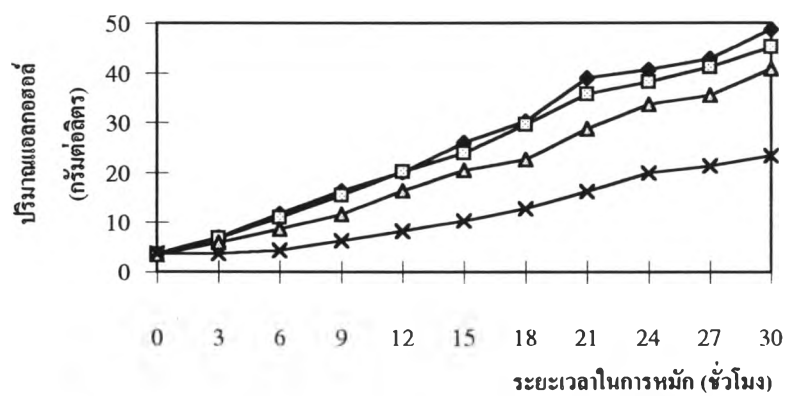




รูป 33 ก



รูป 33 ข



รูป 33 ค



รูปที่ 33 ผลของสาร QAC ต่อการเจริญและการหมักเอทานอล จากอาหารกากน้ำตาลที่เติมสาร QAC ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

รูป 33 ก แสดงผลที่มีต่อน้ำหนักของแข็ง

รูป 33 ข แสดงผลที่มีต่อปริมาณน้ำตาลที่เหลือ

รูป 33 ค แสดงผลที่มีต่อการผลิตเอทานอล

3.5 การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

สำหรับในการศึกษากรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพกาน้ำตาลอ้อย เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาผลของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกาน้ำตาลอ้อยต่อการหมักเอธานอลด้วยยีสต์ ดังนั้นในงานวิจัย จึงทำการปรับปรุงคุณภาพกาน้ำตาล โดยการลดปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกาน้ำตาลอ้อย ซึ่งสนใจที่จะศึกษาถึงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ในการลดปริมาณของประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมหรือโดยการปั่นตะกอนในกาน้ำตาลออก (ในผลการทดลองที่ 3.7)

3.5.1 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในน้ำจัดไอออน (model solution)

จากรายงานการศึกษาในประเทศแอฟริกาใต้ พบว่าสาร QAC จะสลายตัวไปด้วยความร้อนและตรงไม่พบ หลังจากผ่านกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย (Hugot and Jenkins, 1986) และจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ในโรงงานน้ำตาล กล่าวถึงกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหย โดยทั่วไปในโรงงานน้ำตาลจะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 115 องศาเซลเซียส เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดปัญหาน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยเกิดการไหม้และสลายตัว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้ และป้องกันปัญหาที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ จึงใช้สารละลายมาตรฐาน QAC (ภาคผนวกที่ ข.) เติมในน้ำจัดไอออนเป็น model solution เพื่อเป็นหลักในการเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ในกาน้ำตาลในการทดลองต่อไป ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.4.1 และได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 26, 27 และ 28 และรูปที่ 34, 35 และ 36

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ระหว่างน้ำจืดไอออนเดมิสสาร QAC กับน้ำจืดไอออนที่เติม QAC แล้วนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

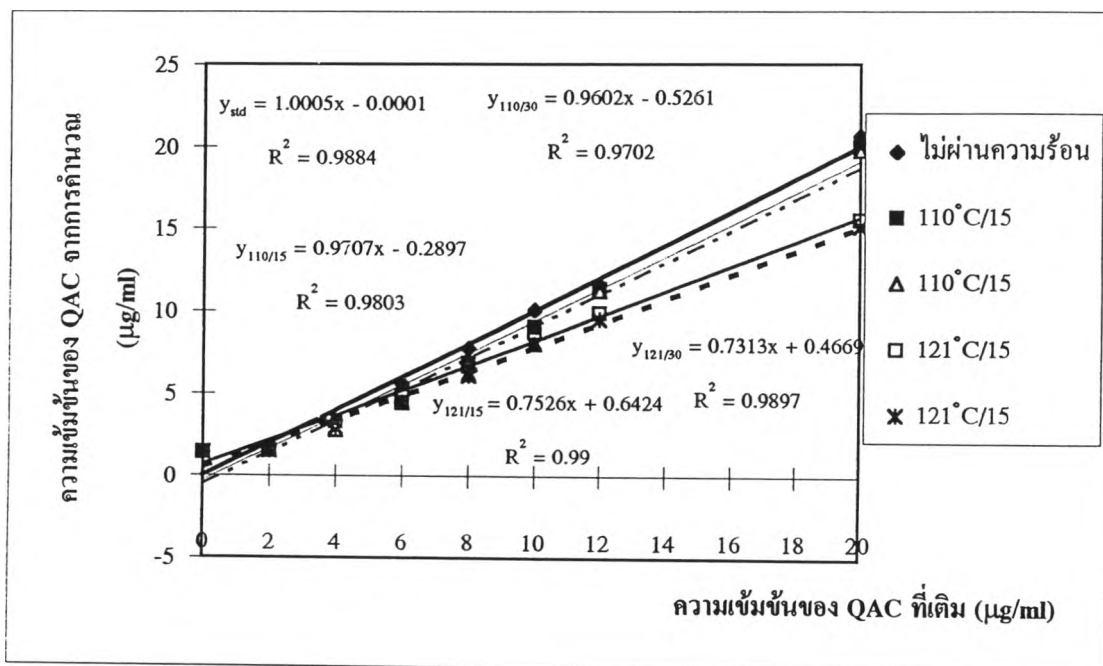
ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.032	0.012	0.010	0.011	0.008
4	0.177	0.174	0.126	0.173	0.140
6	0.383	0.282	0.279	0.314	0.285
8	0.581	0.499	0.437	0.481	0.433
10	0.793	0.700	0.608	0.674	0.606
12	0.933	0.912	0.903	0.777	0.744
20	1.766	1.704	1.687	1.297	1.261

จากตารางที่ 26 นำค่าการดูดกลืนที่วัดได้กับความยาวคลื่นแสง 610 นาโนเมตร มาคำนวณหาความเข้มข้นของสาร QAC โดยแทนค่าในสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ความเข้มข้นของสาร QAC จากการคำนวณตามสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$) ที่คำนวณ				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1.74	1.52	1.50	1.51	1.48
4	3.32	3.29	2.77	3.28	2.92
6	5.57	4.47	4.44	4.82	4.50
8	7.73	6.84	6.16	6.64	6.12
10	10.04	9.03	8.02	8.74	8.00
12	11.57	11.34	11.24	9.87	9.51
20	20.65	19.98	19.79	15.54	15.15

รูปที่ 34 กราฟผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$

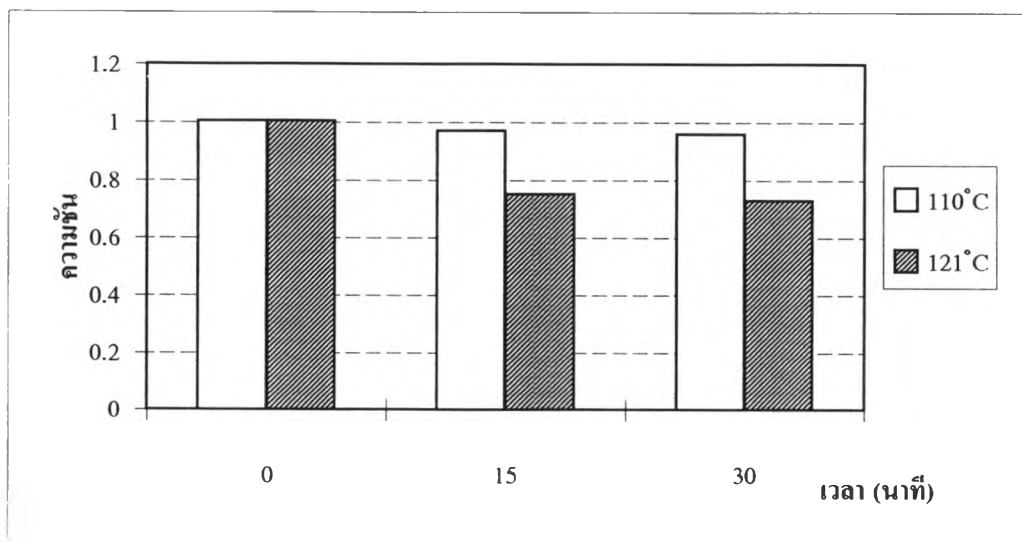


จากรูปที่ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิผลทำให้ความเข้มข้นของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณมีค่าลดลง และเมื่อนำความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร QAC มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร QAC ที่เติมกับความเข้มข้นของสาร QAC ที่วัดได้ วิเคราะห์ค่าสมการถดถอยแต่ละภาวะ พบว่าค่าความชัน (slope) ของแต่ละภาวะที่แปรอุณหภูมิและเวลา จะลดลง

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	ความชัน
ไม่ผ่านความร้อน	1.0005
110 °C/15 นาที	0.9707
110 °C/30 นาที	0.9602
121 °C/15 นาที	0.7526
121 °C/30 นาที	0.7313

รูปที่ 35 กราฟผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ในน้ำจืดไอออน โดยเปรียบเทียบค่าความชื้นจากสมการถดถอยในรูปที่ 34



จากรูปที่ 35 พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม โดยมีแนวโน้มในเชิงลบปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ซึ่งปรากฏว่ายิ่งเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นและเวลายิ่งนานขึ้นปริมาณของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ที่ตั้งต้นลงได้ 27% จากค่าความชื้น ดังนั้นจึงคาดว่าความร้อนจะมีผลต่อการลดลงของสาร QAC ในกาน้ำตาล

3.5.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในกากน้ำตาล

จากการทดลองที่ 3.5.1 ที่ผ่านมามีผลทำให้ทราบว่าความร้อนมีผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียม ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร QAC ที่วิเคราะห์ได้ ทำการทดลองโดยการนำกากน้ำตาลแต่ละโรงงานมาเติมสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำไปผ่านความร้อนที่ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

3.5.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในกากน้ำตาลจากโรงงาน A

ดำเนินการวิจัยตามข้อ 2.4.4.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 29 และ 30 และรูปที่ 36, 37 และ 38

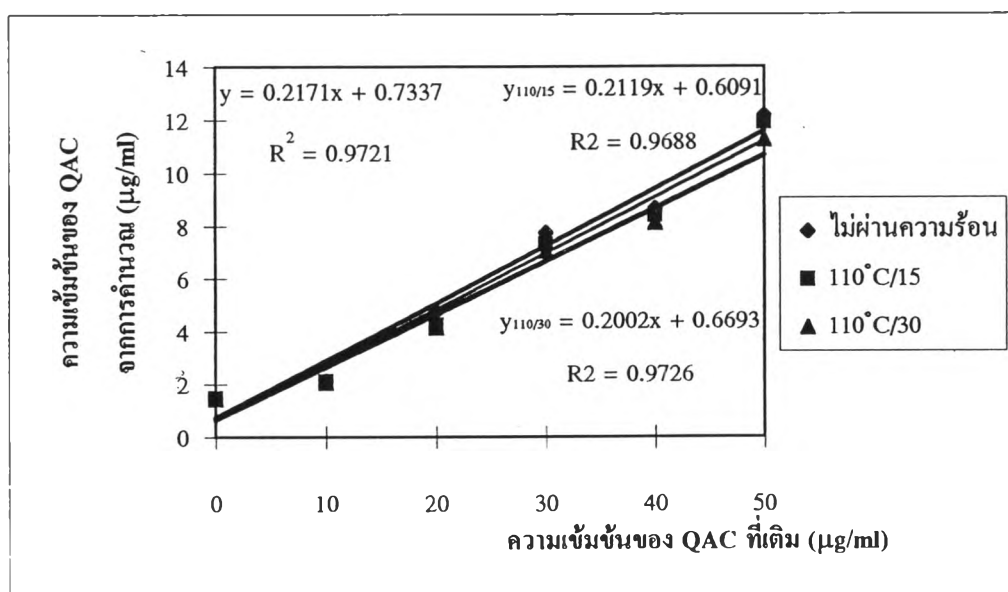
ตารางที่ 29 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน A ที่เติมสาร QAC ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ แล้วนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.008	0.006	0.004	0.005	0.004
10	0.068	0.065	0.060	0.046	0.037
20	0.309	0.262	0.254	0.266	0.205
30	0.583	0.543	0.517	0.537	0.478
40	0.668	0.643	0.617	0.628	0.605
50	0.987	0.963	0.902	0.958	0.872

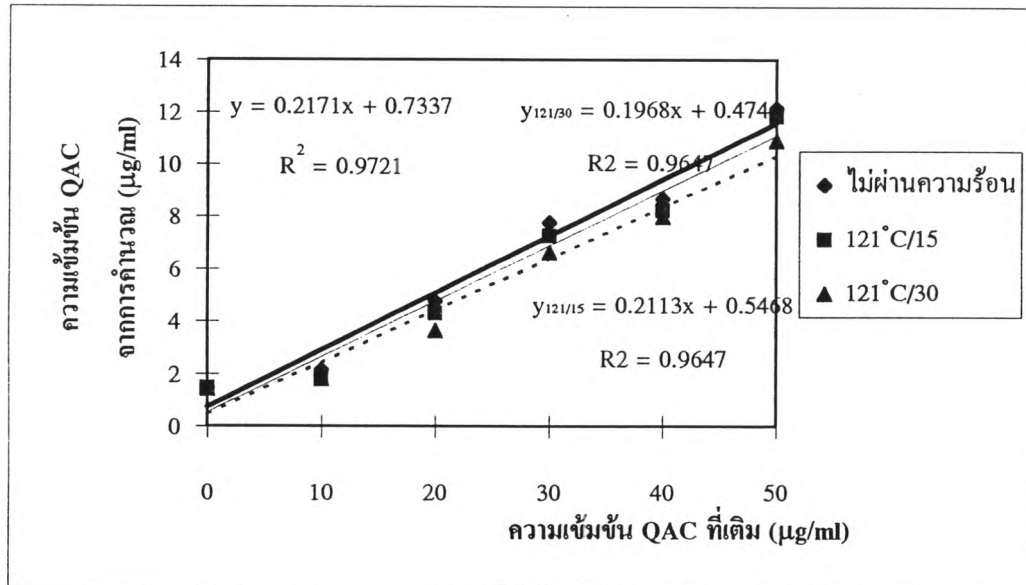
ตารางที่ 30 ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาแทน
ตามสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณ ($\mu\text{g/ml}$)				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	1.48	1.46	1.44	1.45	1.44
10	2.14	2.10	2.05	1.90	1.80
20	4.76	4.25	4.16	4.29	3.63
30	7.75	7.32	7.03	7.25	6.61
40	8.68	8.41	8.12	8.24	7.99
50	12.16	11.90	11.23	11.84	10.90

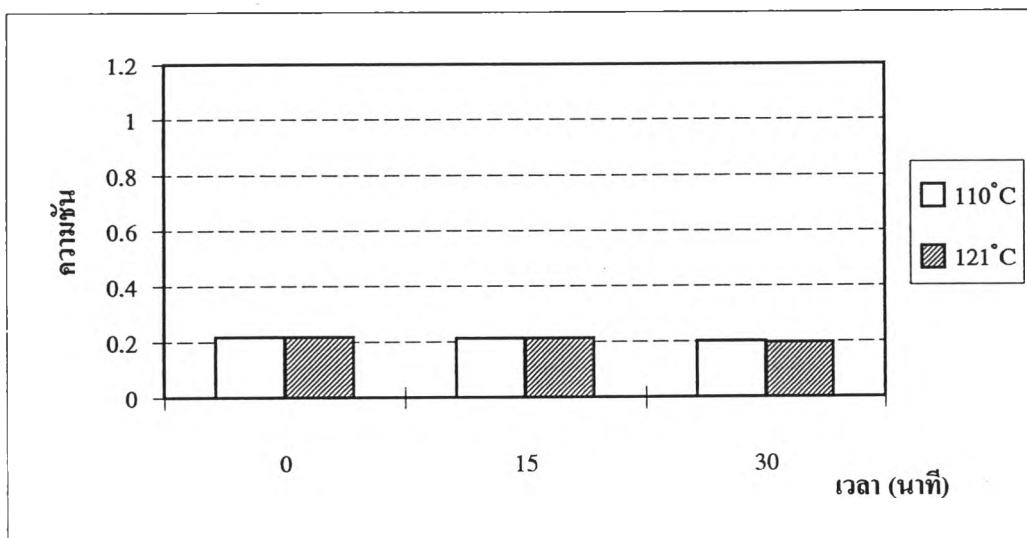
รูปที่ 36 กราฟผลของอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้
จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 37 กราฟผลของอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 38 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน A โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของสมการถดถอยจากรูปที่ 36 และ 37



จากรูปที่ 38 พบว่าความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาล โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่นานขึ้น ปริมาณสาร QAC ก็จะมีแนวโน้มลดลง

3.5.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในกากน้ำตาลจากโรงงาน B

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.4.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 31 และ 32 และรูปที่ 39, 40 และ 41

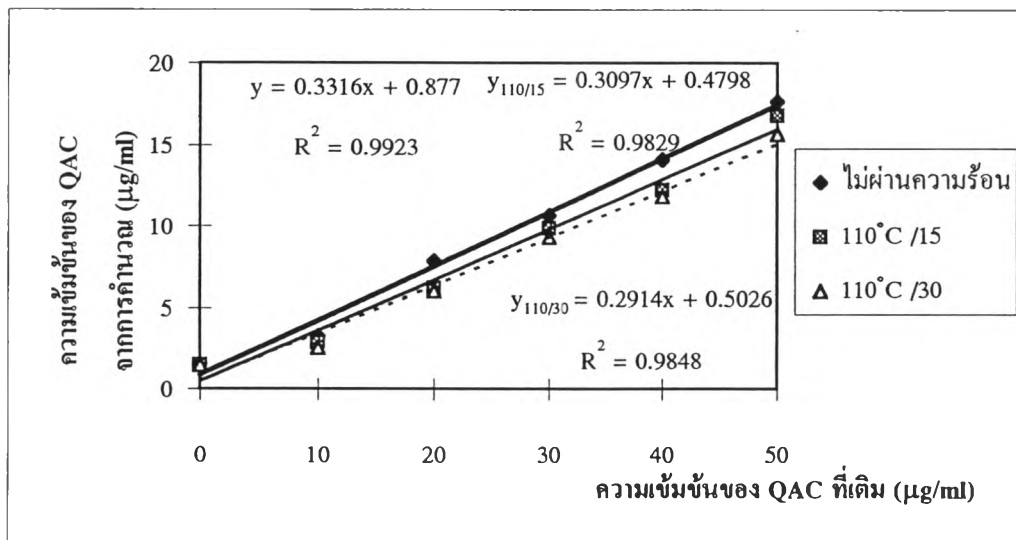
ตารางที่ 31 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน B ที่เติมสาร QAC ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ แล้วนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

ความเข้มข้น QAC (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.012	0.008	0.007	0.005	0.002
10	0.170	0.133	0.104	0.131	0.083
20	0.590	0.437	0.422	0.421	0.349
30	0.848	0.773	0.723	0.723	0.645
40	1.163	0.993	0.955	0.950	0.900
50	1.493	1.413	1.307	1.404	1.298

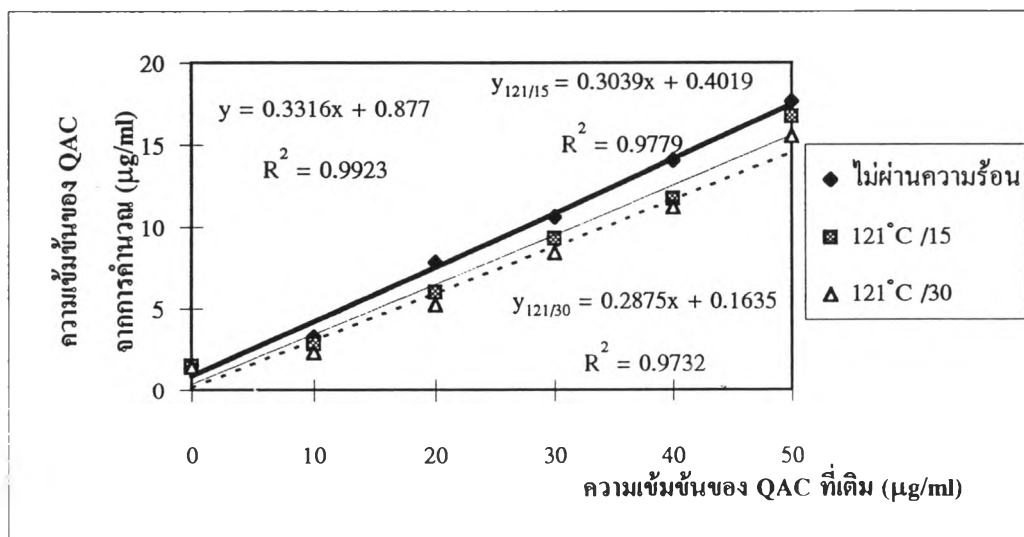
ตารางที่ 32 ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาแทน ตามสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC (µg/ml)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณ (µg/ml)				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	1.52	1.48	1.47	1.45	1.42
10	3.25	2.84	2.53	2.82	2.30
20	7.83	6.16	6.00	5.98	5.20
30	10.64	9.82	9.28	9.28	8.43
40	14.08	12.22	11.81	11.75	11.21
50	17.68	16.80	15.65	16.70	15.55

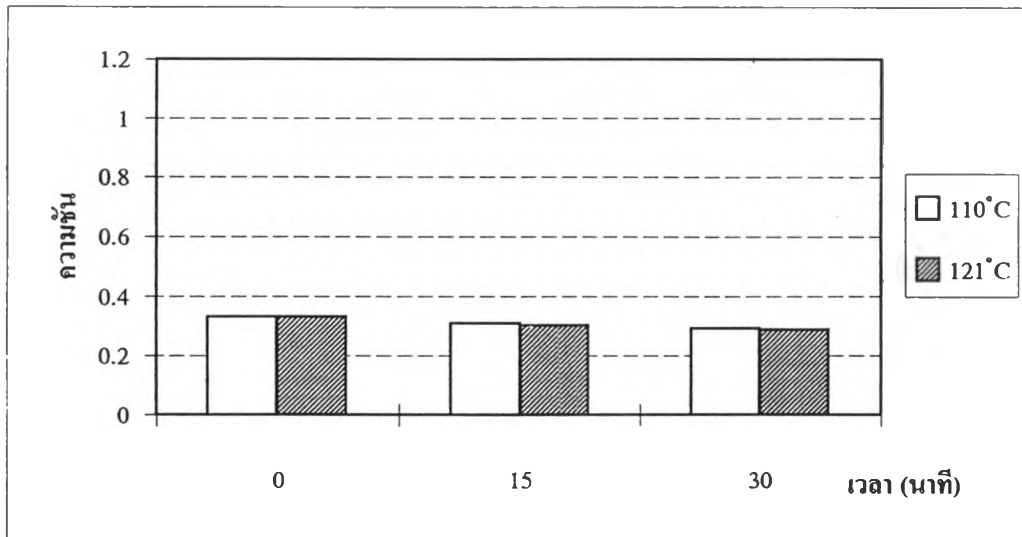
รูปที่ 39 กราฟผลของอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่
ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 40 กราฟผลของอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้
จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 41 กราฟผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน B โดยเปรียบเทียบความชื้นของสมการถดถอยจากรูปที่ 38 และ 39



3.5.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในกาน้ำตาลจากโรงงาน C

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.4.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 33 และ 34 และรูปที่ 42, 43 และ 44

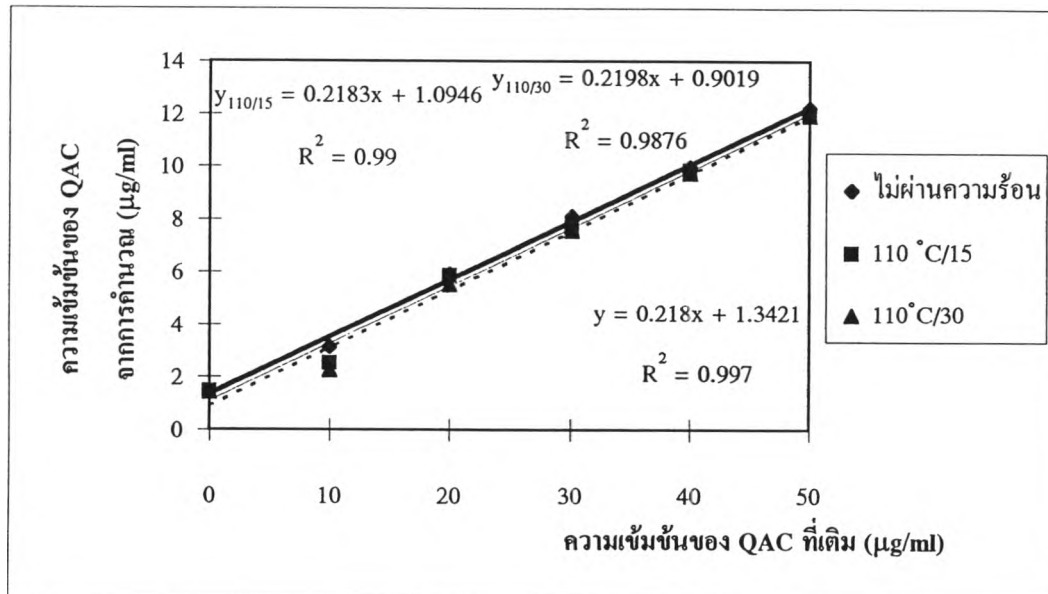
ตารางที่ 33 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกาน้ำตาลจากโรงงาน C ที่เติมสาร QAC ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ แล้วนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.007	0.005	0.005	0.004	0.002
10	0.058	0.056	0.052	0.056	0.045
20	0.256	0.189	0.150	0.177	0.140
30	0.379	0.315	0.308	0.302	0.289
40	0.622	0.562	0.547	0.522	0.504
50	0.882	0.779	0.724	0.720	0.708

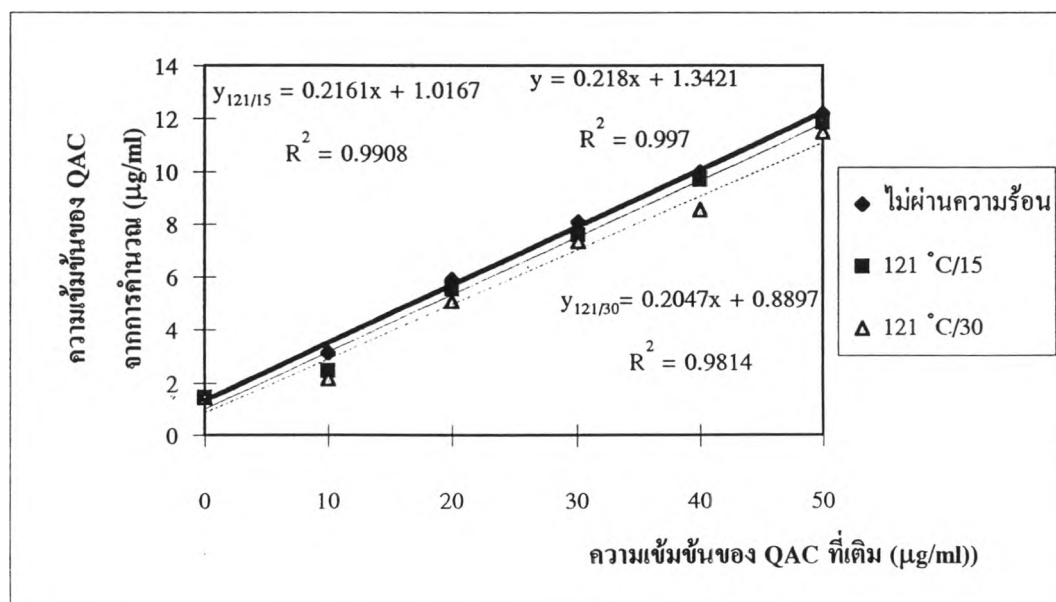
ตารางที่ 34 ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาแทนตามสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณ ($\mu\text{g/ml}$)				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	1.47	1.45	1.45	1.44	1.42
10	2.03	2.00	1.96	2.00	1.88
20	4.19	3.45	3.03	3.32	2.92
30	5.53	4.83	4.75	4.69	4.55
40	8.18	7.52	7.36	7.09	6.89
50	11.01	9.89	9.29	9.25	9.11

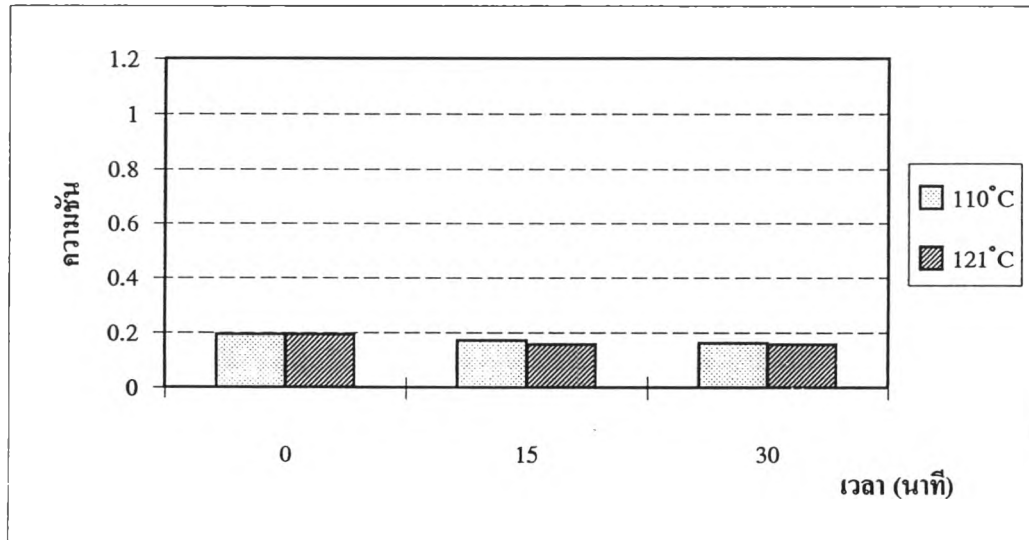
รูปที่ 42 กราฟผลของอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 43 กราฟผลของอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 44 กราฟผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ในกาบน้ำตาลจาก
โรงงาน C โดยเปรียบเทียบความชื้นของสมการถดถอยจากรูปที่ 42 และ 43



3.5.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ที่เติมในกาน้ำตาลจากโรงงาน D

ดำเนินการวิจัยตามข้อ 2.4.4.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 35 และ 36 และรูปที่ 45, 46 และ 47

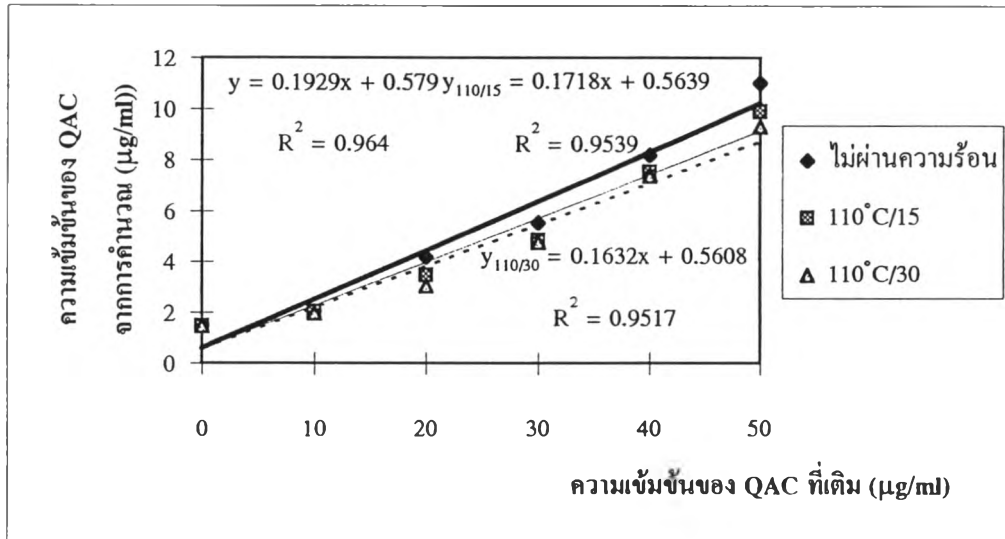
ตารางที่ 35 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกาน้ำตาลจากโรงงาน D ที่เติมสาร QAC ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ แล้วนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 30 นาที

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	0.007	0.005	0.003	0.006	0.003
10	0.160	0.104	0.078	0.097	0.072
20	0.414	0.409	0.379	0.379	0.338
30	0.613	0.576	0.564	0.567	0.546
40	0.786	0.774	0.765	0.759	0.655
50	0.991	0.971	0.965	0.959	0.926

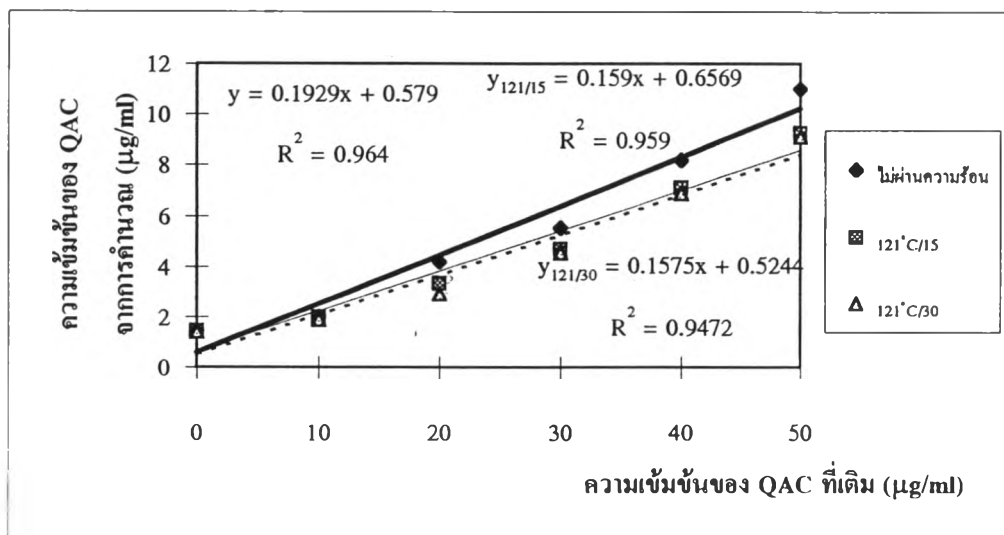
ตารางที่ 36 ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาแทนตามสมการ $Y = -0.1279 + 0.0917X$

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณ ($\mu\text{g/ml}$)				
	ไม่ผ่านความร้อน	110 °C/15	110 °C/30	121 °C/15	121 °C/30
0	1.47	1.45	1.43	1.46	1.43
10	3.14	2.53	2.24	2.45	2.18
20	5.91	5.85	5.53	5.53	5.08
30	8.08	7.68	7.54	7.58	7.35
40	9.97	9.83	9.74	9.67	8.54
50	12.20	11.98	11.92	11.85	11.49

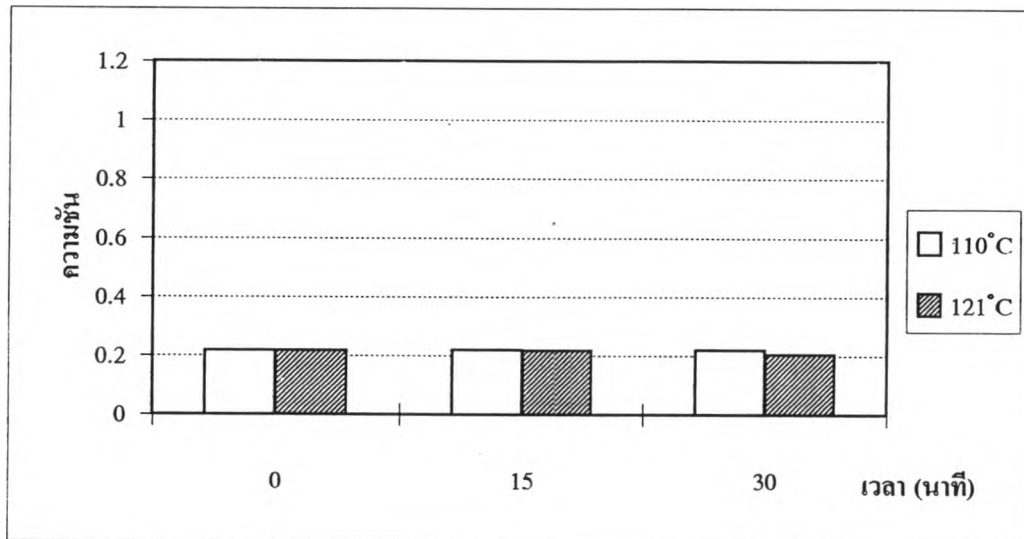
รูปที่ 45 กราฟผลของอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 46 กราฟผลของอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร QAC ที่ได้จากการคำนวณตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$



รูปที่ 47 กราฟผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน D โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของสมการถดถอยจากรูปที่ 45 และ 46



จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการลดปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมทั้งในน้ำจืด ไอออน และในตัวอย่างกากน้ำตาลแต่ละโรงงาน พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกันคือต้องใช้อุณหภูมิสูง และระยะเวลาสั้นกว่าสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม จะเปลี่ยนแปลงลดปริมาณลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม เป็นสารที่คงความเสถียรได้ดีจึงมีปฏิกิริยาการสลายตัวช้ามาก แต่การลดลงของสาร QAC ไม่สามารถที่จะอธิบายถึงค่าสำคัญทางจลนพลศาสตร์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะทำการศึกษาค่าสำคัญทางจลนพลศาสตร์ เพื่อที่หาอัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่าครึ่งชีวิต เพื่อทำนายการลดลงครั้งหนึ่งของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมต้องใช้เวลานานเท่าไร

3.6 การศึกษาค่าทางจลนพลศาสตร์เคมี (chemical kinetics) ของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

3.6.1 ศึกษาค่าทางจลนพลศาสตร์เคมีของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในน้ำขจัดไอออน

จากตารางที่ 26 นำมาศึกษาค่าทางจลนพลศาสตร์เคมี โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาของปฏิกิริยา เพื่อหาค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constant; k) ซึ่งจะศึกษาความเข้มข้นของสาร QAC ที่เติม 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำขจัดไอออน เนื่องจากผลการทดลองในตารางที่ 26 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในน้ำขจัดไอออนที่เติมสาร QAC และไม่ได้นำไปผ่านความร้อนเท่ากับ 0.793 เมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้น QAC โดยแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณได้เท่ากับ 10.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการลดปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในหม้อนึ่งอัดไอ เป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 30 นาที หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ลดลง ตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 2.5.1 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 37, 38 และ 39 และรูปที่ 48

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่ำที่ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ของสาร QAC ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรในน้ำขจัดไอออน

เวลา นาที	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	0.793	0.793	0.793
5	0.782	0.776	0.771
10	0.753	0.728	0.725
15	0.711	0.700	0.674
30	0.634	0.608	0.606

หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่อุณหภูมิและช่วงเวลาต่าง ๆ มาแทนค่าตามสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสาร QAC ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอุณหภูมิที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ ต่อการลดปริมาณของสาร QAC ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	10.04	10.04	10.04
5	9.92	9.86	9.80
10	9.61	9.33	9.30
15	9.15	9.03	8.74
30	8.31	8.02	8.00

จากตารางที่ 38 สมการอินทิเกรตของอัตราเร็วของปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง พิจารณาค่าความเข้มข้นของสาร QAC ณ เวลาต่าง ๆ ดังนั้นจากสมการที่ (4)

$$-\ln c = kt + \text{ค่าคงที่ของการอินทิเกรต}$$

โดยค่าคงที่ของการอินทิเกรตหาได้จาก $-\ln (c/c_0) = \ln (c_0/c)$

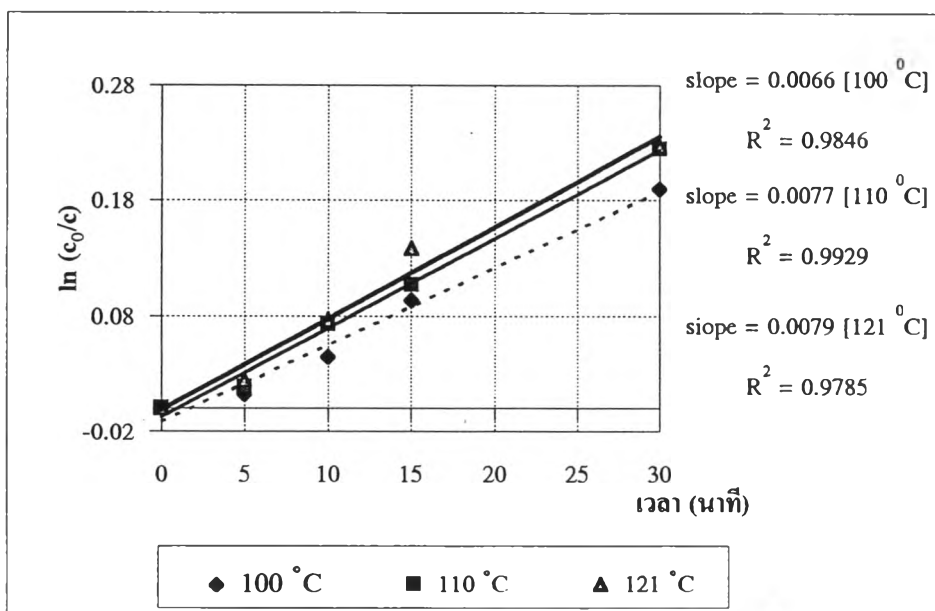
$$\text{หรือ} \quad \ln c = \ln c_0 - kt$$

นำค่าความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$) มาคิดค่า $\ln (c_0/c)$ ผลดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 เปรียบเทียบค่า $\ln(c_0/c)$ ของสาร QAC ที่เติมในน้ำขจัดไอออนที่อุณหภูมิและช่วงเวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	$\ln(c_0/c)$		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0120	0.0186	0.0242
10	0.0444	0.0732	0.0767
15	0.0933	0.1065	0.1384
30	0.1895	0.2243	0.2270

รูปที่ 48 กราฟค่า $\ln(c_0/c)$ ของน้ำขจัดไอออนที่เติมสาร QAC ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ



จากรูปที่ 48 ทำให้ทราบค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร QAC (k)

$$k = 0.0066 \text{ min}^{-1} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [100 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

$$k = 0.0077 \text{ min}^{-1} = 1.283 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [110 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

$$k = 0.0079 \text{ min}^{-1} = 1.317 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [121 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

จากค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร QAC (รูปที่ 48) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของสาร QAC โดยยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร QAC ก็จะเพิ่มขึ้นแต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ช้ามาก เช่น ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการสลายตัวของสาร QAC เท่ากับ 0.0079 min^{-1} ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการลดปริมาณสาร QAC

3.6.1.1 ศึกษาอัตราการลดลงครึ่งหนึ่งของปฏิกิริยา (half-life)

เพื่อหาเวลาที่ความเข้มข้นของสาร QAC ลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา สำหรับปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่งจะสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากับค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยา ซึ่งจะหาได้จากสมการอินทิเกรต

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

จากการทดลองที่ 3.6.1 ทำให้ทราบค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาในแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้ ดังนั้นจึงนำค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส แทนในสมการ ดังนี้

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.0066 \text{ min}^{-1}} = 105 \text{ นาที} \quad [100^\circ \text{C}]$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.0077 \text{ min}^{-1}} = 90 \text{ นาที} \quad [110^\circ \text{C}]$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.0079 \text{ min}^{-1}} = 87.7 \text{ นาที} \quad [121^\circ \text{C}]$$

จากการคำนวณค่าการลดลงครึ่งหนึ่งของปฏิกิริยา พบว่าปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร QAC จากค่าเริ่มต้นให้ลดลงครึ่งหนึ่ง ทั้งสามอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักกล่าวคือต้องใช้เวลา นานถึง 105, 90 และ 87.7 นาที ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อลดปริมาณสาร QAC ลงครึ่งหนึ่งจากสาร QAC ตั้งต้น

3.6.1.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

Arrhenius อธิบายว่าการที่ความเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างมากนั้น เป็นอิทธิพลจากการเพิ่มอุณหภูมิ โดยแสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k), E_a และอุณหภูมิที่องศาสัมบูรณ์ (T) จากสมการ Arrhenius: (9)

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

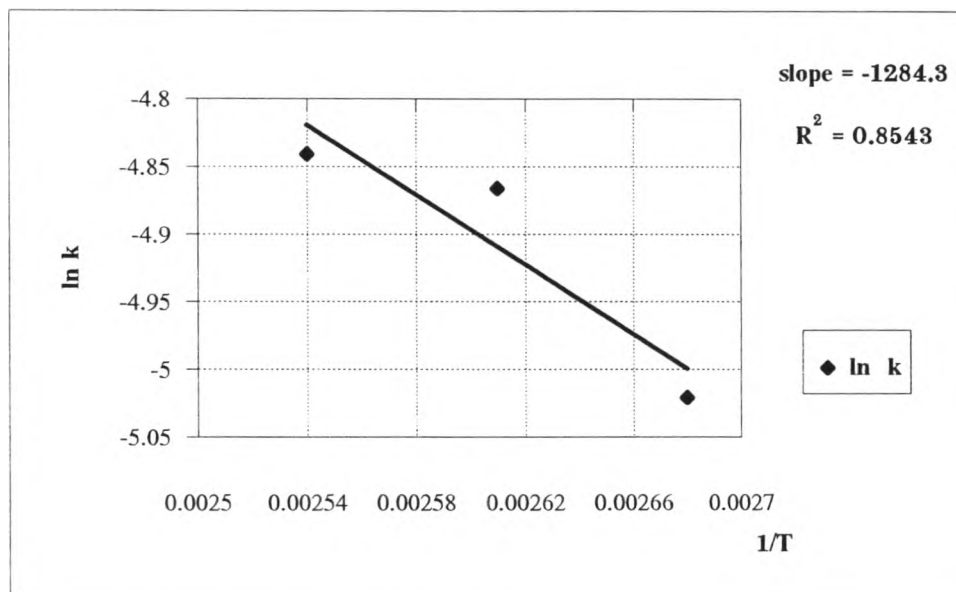
จากผลการทดลองที่ 3.6.1 นำค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (รูปที่ 48) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของปฏิกิริยาในการลดปริมาณสาร QAC มาแทนค่าในสมการ Arrhenius ผลดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ของค่าส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ ($1/T$) กับ $\ln k$ ในสมการ Arrhenius

$1/T$	$\ln k$
0.00268	-5.0207
0.00261	-4.8665
0.00254	-4.8409

จากตารางที่ 40 นำค่าที่ได้จากสมการ Arrhenius มาสร้างกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ ($1/T$) กับ $\ln k$ ในรูปที่ 49

รูปที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ กับ $\ln k$ ตามสมการ Arrhenius



$$E_a = 2550.6198 \text{ KCal/mol}$$

ดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการลดลงของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ที่เติมในน้ำจัดไอออนต้องใช้ค่าพลังงานกระตุ้น 2550.62 Kcal/mol

3.6.2 ศึกษาค่าทางจลนพลศาสตร์เคมีของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกากน้ำตาล

จากตารางที่ 29 หาค่าการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกากน้ำตาล ซึ่งเกิดจากผลของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาของปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน A ที่เติมสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการลดปริมาณของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ที่ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายกากน้ำตาล ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในหม้อนึ่งอัดไอ เป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 30 นาที หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ลดลง ตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 2.5.1 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 41, 42, 43 และ 44 และรูปที่ 50 และ 51

ตารางที่ 41 เปรียบเทียบผลของความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร ของสาร QAC ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายกากน้ำตาล

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	0.583	0.583	0.583
5	0.580	0.579	0.571
10	0.573	0.564	0.543
15	0.568	0.543	0.537
30	0.540	0.517	0.478

จากตารางที่ 41 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่อุณหภูมิและช่วงเวลาต่าง ๆ มาแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสาร QAC ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลของความร้อนที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ผลดังแสดงในตารางที่ 42

ตารางที่ 42 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ ต่อปริมาณสาร QAC ที่ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายกากน้ำตาล

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	7.75	7.75	7.75
5	7.72	7.71	7.62
10	7.64	7.54	7.32
15	7.59	7.32	7.25
30	7.28	7.03	6.61

จากตารางที่ 42 นำค่าความเข้มข้นของสาร QAC ที่คำนวณได้ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) มาคิดค่า $\ln (c/c_0)$ ณ เวลาต่าง ๆ โดยหาได้จาก

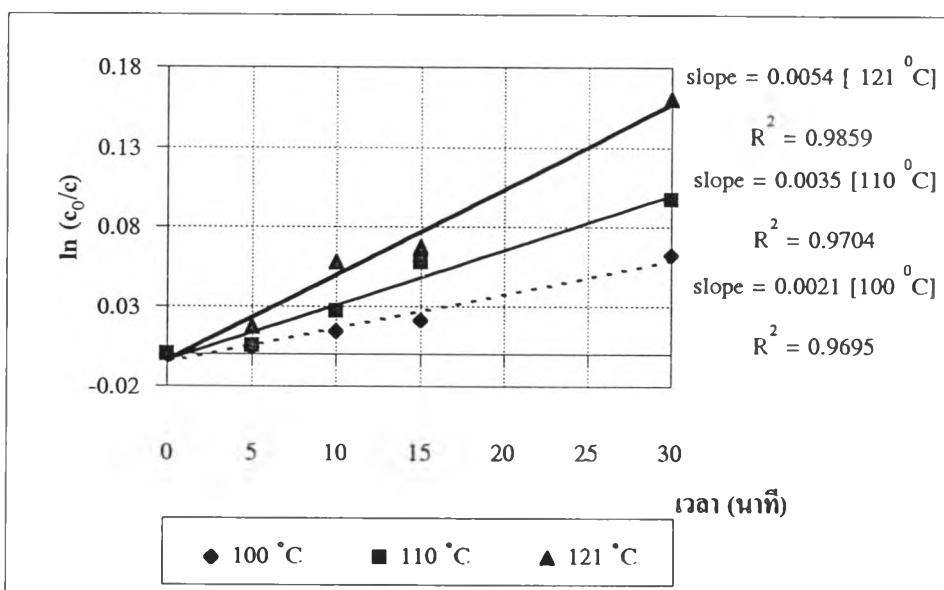
$$- \ln (c/c_0) = \ln (c_0/c)$$

ผลดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 เปรียบเทียบค่า $\ln (c_0/c)$ ของสาร QAC ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายกากน้ำตาลที่ อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	$\ln (c_0/c)$		
	ที่ 100 °C	ที่ 110 °C	ที่ 121 °C
0	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0042	0.0056	0.0170
10	0.0142	0.0271	0.0579
15	0.0213	0.0579	0.0669
30	0.0624	0.0974	0.1598

รูปที่ 50 กราฟแสดงค่า $\ln(c_0/c)$ ของสาร QAC ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายกากน้ำตาล



จากรูปที่ 50 พบว่าค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร QAC ในกากน้ำตาล

$$k = 0.0021 \text{ min}^{-1} = 0.35 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [100 \text{ }^{\circ}\text{C}]$$

$$k = 0.0035 \text{ min}^{-1} = 0.583 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [110 \text{ }^{\circ}\text{C}]$$

$$k = 0.0054 \text{ min}^{-1} = 0.9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad [121 \text{ }^{\circ}\text{C}]$$

จากค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร QAC ในกากน้ำตาล พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของสาร QAC โดยยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการสลายตัวของสาร QAC ก็จะเพิ่มขึ้น คือ ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส มีค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 0.0021, 0.0035 และ 0.0054 min^{-1} ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการลดปริมาณสาร QAC

3.6.2.1 ศึกษาค่าการลดลงครึ่งหนึ่งของปฏิกิริยา (half-life)

จากการทดลองที่ 3.6.2 ทำให้ทราบค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร QAC ในแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้ ดังนั้นจึงนำค่าคงที่ของอัตราเร็วของการสลายตัวของอุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส แทนค่าในสมการการลดลงครึ่งหนึ่งของปฏิกิริยา

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

เพื่อหาเวลาที่ความเข้มข้นของสาร QAC ลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา ผลการคำนวณดังแสดงต่อไปนี้

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.0021 \text{ min}^{-1}} = 330 \text{ นาที} \quad [100^\circ\text{C}]$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.0035 \text{ min}^{-1}} = 198 \text{ นาที} \quad [110^\circ\text{C}]$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0.009 \text{ min}^{-1}} = 128.4 \text{ นาที} \quad [121^\circ\text{C}]$$

จากการคำนวณค่าการลดลงครึ่งหนึ่งของสาร QAC ในถาดน้ำตาล พบว่าปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร QAC จากค่าเริ่มต้นให้ลดลงครึ่งหนึ่งต้องใช้เวลานาน คือ 330, 198 และ 128.4 นาที ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งหากต้องการลดปริมาณสาร QAC ในถาดน้ำตาลลงครึ่งหนึ่งต้องใช้เวลานาน และจะทำให้ธาตุอาหารในถาดน้ำตาลเสียหรือเสื่อมสลายไป

3.6.2.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

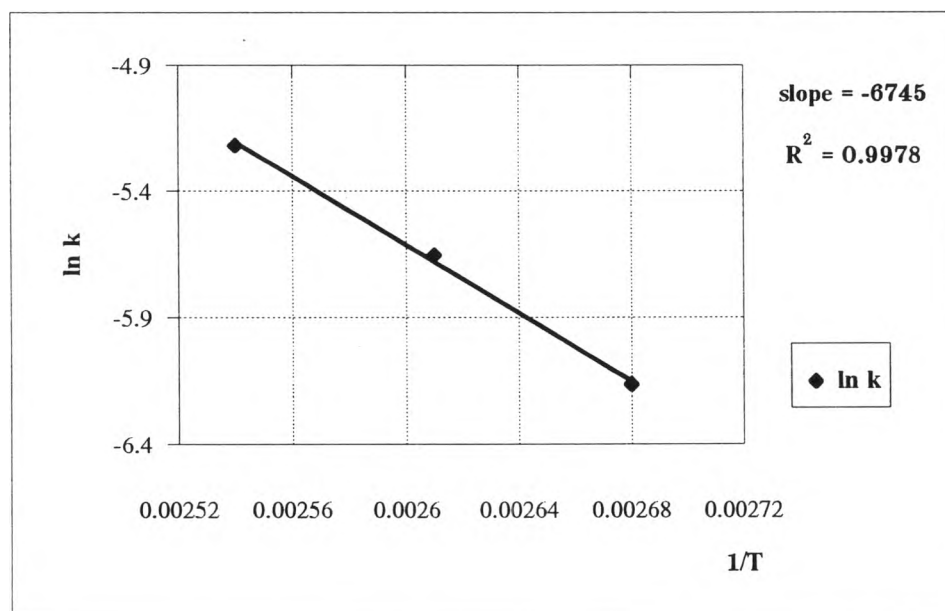
จากผลการทดลองที่ 3.6.1 นำค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (รูปที่ 50) ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ของปฏิกิริยาในการลดปริมาณสาร QAC มาแทนค่าในสมการ Arrhenius ผลดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ของค่าส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ ($1/T$) กับ $\ln k$ ในสมการ Arrhenius

$1/T$	$\ln k$
0.00268	- 6.1658
0.00261	- 5.5650
0.00254	- 5.2213

จากตารางที่ 44 นำค่าจากสมการ Arrhenius มาสร้างกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ กับ $\ln k$

รูปที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิในองศาสัมบูรณ์ กับ $\ln k$ ตามสมการ Arrhenius



$$E_a = 13395.57 \text{ KCal/mol}$$

ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการลดลงของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในกากน้ำตาลต้องใช้พลังงานกระตุ้น 13395.57 Kcal/mol

3.7 การศึกษาการลดปริมาณของสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียมในกากน้ำตาลโดยการปั่นแยกตะกอนออก

Nickisch-Hartfiel (1984) คาดว่าสาร QAC จะถูกดูดซับด้วยเศษชิ้นส่วน หรือตะกอนในกากน้ำตาล ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงทำการปั่นแยกเศษตะกอนในสารละลายกากน้ำตาลออกก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ซึ่งคาดว่าหากทำการปั่นแยกตะกอนในกากน้ำตาลออกแล้ว ปริมาณสารประกอบควอเตอร์นารีจากการวิเคราะห์ควรจะลดน้อยลง โดยทำเปรียบเทียบกับสารละลายกากน้ำตาลที่ไม่ได้ปั่นแยกตะกอนออก

3.7.1 การลดปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน A โดยการปั่นแยกตะกอน

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.5 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 45 และ 46 และรูปที่ 52

ตารางที่ 45 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน A ที่เติมสาร QAC ในความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่นำไปปั่นแยกตะกอน

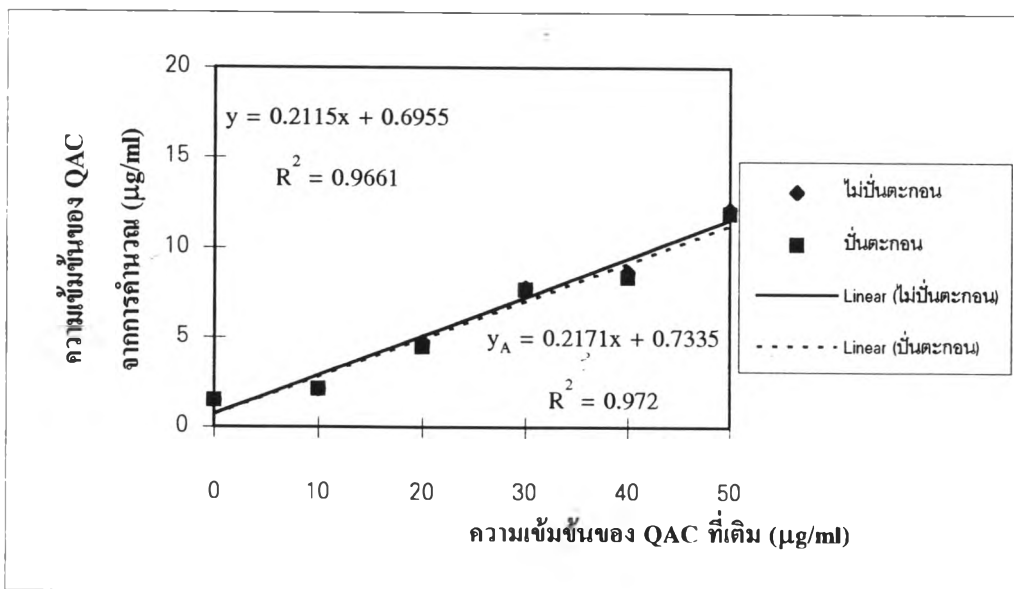
ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	0.008	0.006
10	0.068	0.066
20	0.309	0.280
30	0.583	0.574
40	0.668	0.636
50	0.987	0.963

จากตารางที่ 45 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่แต่ละความเข้มข้นของสาร QAC มาแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ดังแสดงในตารางที่ 46

ตารางที่ 48 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร QAC จากการคำนวณ ระหว่างสารละลาย
กากน้ำตาจากโรงงาน A ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่ปั่นแยกตะกอน

ความเข้มข้น QAC (µg/ml)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ (µg/ml)	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	1.48	1.46
10	2.14	2.11
20	4.76	4.45
30	7.75	7.65
40	8.68	8.33
50	12.16	11.90

รูปที่ 52 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในสารละลายกากน้ำตา จากโรงงาน A ที่
ไม่ปั่นแยกตะกอนออก กับที่ปั่นแยกตะกอนออกแล้ว



จากรูปที่ 52 พบว่าสารละลายกากน้ำตาที่ไม่ปั่นตะกอน มีค่าความชันเท่ากับ 0.2171 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าสารละลายกากน้ำตาที่ได้ทำการปั่นตะกอนออก ที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.2115 แสดงว่าการปั่นแยกตะกอนในกากน้ำตาลอกสามารถลดปริมาณสาร QAC ที่วิเคราะห์ได้บางส่วน

3.7.2 การลดปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน B โดยการปั่นแยกตะกอน

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.5 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 47 และ 48 และรูปที่ 53

ตารางที่ 47 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกากน้ำตาล จากโรงงาน B ที่เติมสาร QAC ในความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่นำไปปั่นแยกตะกอน

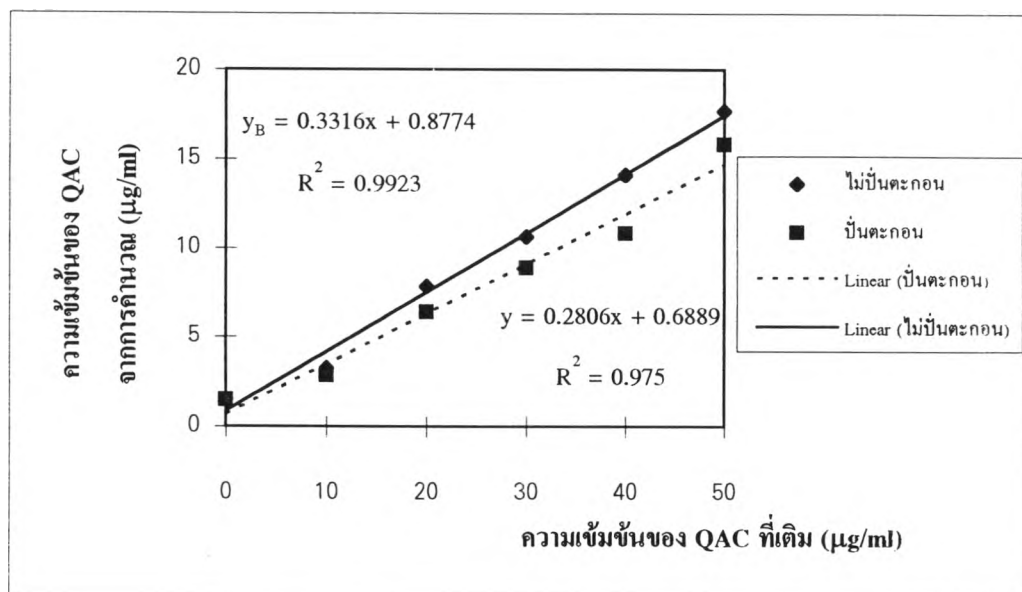
ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	0.012	0.006
10	0.170	0.134
20	0.590	0.458
30	0.848	0.686
40	1.163	0.863
50	1.493	1.324

จากตารางที่ 47 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่แต่ละความเข้มข้นของสาร QAC มาแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ดังแสดงในตารางที่ 48

ตารางที่ 48 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร QAC จากการคำนวณ ระหว่างสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน B ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่ปั่นแยกตะกอน

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	1.53	1.46
10	3.25	2.86
20	7.83	6.39
30	10.64	8.88
40	14.08	10.81
50	17.68	15.83

รูปที่ 53 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในสารละลายกากน้ำตาล จากโรงงาน B ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนออกกับที่ปั่นแยกตะกอนออกแล้ว



จากรูปที่ 53 พบว่าสารละลายกากน้ำตาลที่ไม่ได้ปั่นตะกอน มีค่าความชันเท่ากับ 0.3316 โดยจะมีค่ามากกว่าสารละลายกากน้ำตาลที่ได้ทำการปั่นแยกตะกอนออก ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ 0.2806

3.7.3 การลดปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลจากโรงงาน C โดยการปั่นแยกตะกอน

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.5 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 49 และ 50 และรูปที่ 54

ตารางที่ 49 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกากน้ำตาลจากโรงงาน C ที่เติมสาร QAC ในความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่นำไปปั่นแยกตะกอน

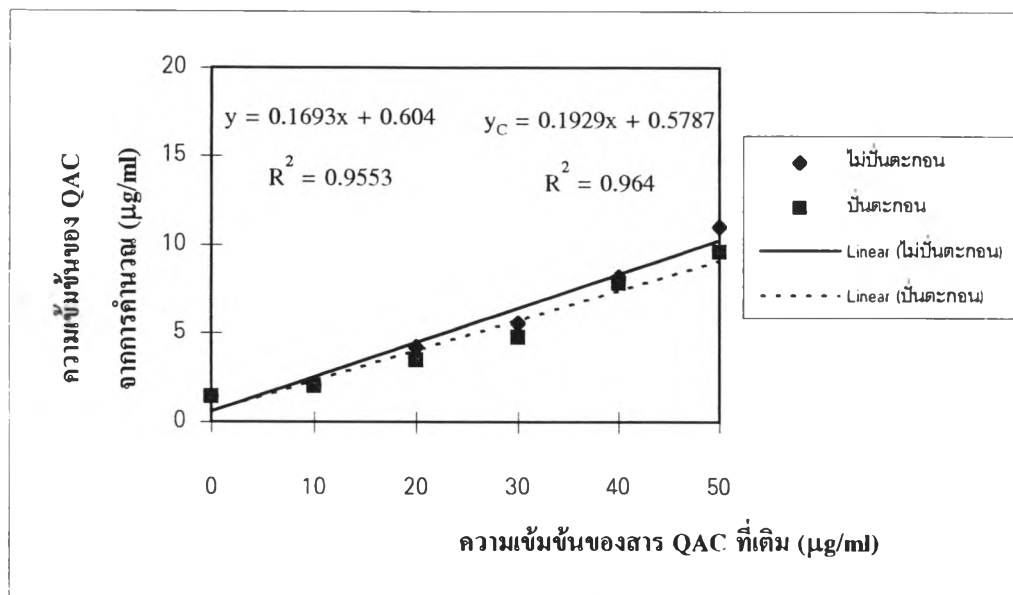
ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	0.007	0.004
10	0.058	0.057
20	0.256	0.189
30	0.379	0.308
40	0.622	0.587
50	0.882	0.749

จากตารางที่ 49 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่แต่ละความเข้มข้นของสาร QAC มาแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ดังแสดงในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร QAC จากการคำนวณ ระหว่างสารละลายกากน้ำตาล จากโรงงาน C ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่ทำการปั่นแยกตะกอน

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	1.47	1.44
10	2.03	2.02
20	4.19	3.46
30	5.53	4.75
40	8.18	7.80
50	11.01	9.56

รูปที่ 54 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในสารละลายกากน้ำตาล จากโรงงาน C ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนออกกับที่ปั่นแยกตะกอนออกแล้ว



จากรูปที่ 54 พบว่าการปั่นแยกตะกอนในกากน้ำตาลออกสามารถลดปริมาณสาร QAC ได้บางส่วน โดยสารละลายกากน้ำตาลที่ไม่ปั่นตะกอน มีค่าความชันเท่ากับ 0.1929 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าสารละลายกากน้ำตาลที่ได้ทำการปั่นตะกอนออก ที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.2115

8.7.4 การลดปริมาณสาร QAC ในกาน้ำตาลจากโรงงาน D โดยการปั่นแยกตะกอน

ดำเนินงานวิจัยตามข้อ 2.4.5 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 51 และ 52 และรูปที่ 55

ตารางที่ 51 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกาน้ำตาลจาก โรงงาน D ที่เติมสาร QAC ในความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่นำไปปั่นแยกตะกอน

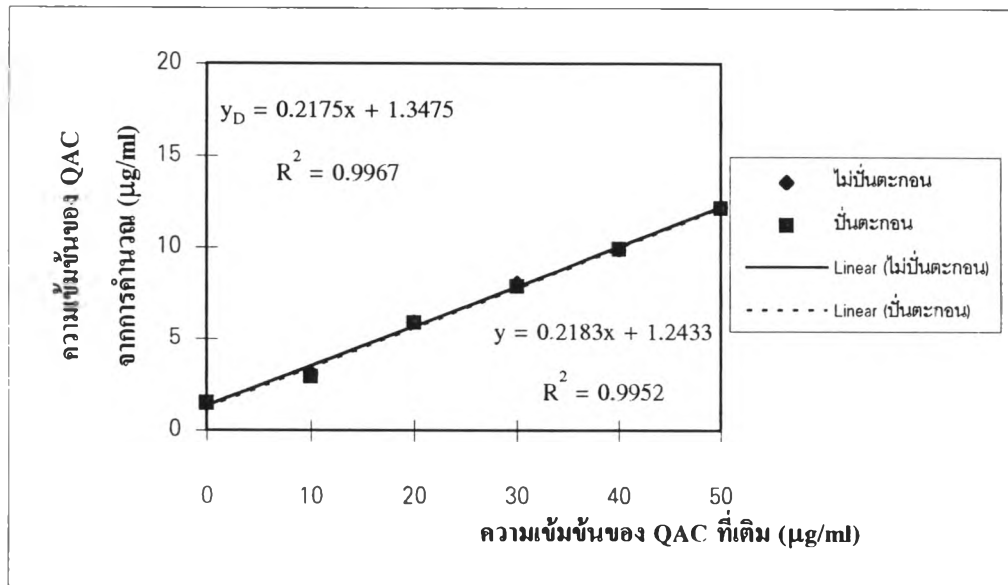
ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 610 นาโนเมตร	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	0.007	0.007
10	0.160	0.139
20	0.414	0.411
30	0.613	0.596
40	0.780	0.780
50	0.991	0.987

จากตารางที่ 51 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่แต่ละความเข้มข้นของสาร QAC มาแทนค่าในสมการมาตรฐาน $Y = -0.1279 + 0.0917X$ ดังแสดงในตารางที่ 52

ตารางที่ 52 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร QAC จากการคำนวณ ระหว่างสารละลายกาน้ำตาล จากโรงงาน D ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนกับที่ปั่นแยกตะกอน

ความเข้มข้น QAC ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น QAC ที่คำนวณได้ ($\mu\text{g/ml}$)	
	ไม่ปั่นแยกตะกอน	ปั่นแยกตะกอน
0	1.47	1.47
10	3.14	2.91
20	5.91	5.88
30	8.08	7.89
40	9.90	9.90
50	12.20	12.16

รูปที่ 55 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณสาร QAC ในสารละลายกากน้ำตาล จากโรงงาน D ที่ไม่ปั่นแยกตะกอนออกกับที่ปั่นแยกตะกอนออกแล้ว



จากรูปที่ 55 พบว่าสารละลายกากน้ำตาลที่ไม่ปั่นตะกอน มีค่าความชันเท่ากับ 0.2175 ซึ่งกลับมีค่าน้อยกว่าสารละลายกากน้ำตาลที่ได้ทำการปั่นตะกอนออกที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.2183 ซึ่งเกิดจากการคลาดเคลื่อนในสมการถดถอยจึงทำให้ความชันของกากน้ำตาลที่ปั่นแยกตะกอนออกมากกว่าแต่จากการเปรียบเทียบปริมาณสาร QAC ที่วิเคราะห์ทั้งสารละลายกากน้ำตาลที่ไม่ปั่นแยกตะกอนออกกับสารละลายกากน้ำตาลที่ปั่นตะกอนออก พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.01$) ดังนั้นกรรมวิธีการปั่นแยกตะกอนออกจากกากน้ำตาลจึงไม่สามารถลดปริมาณสาร QAC ในกากน้ำตาลได้