

**ผลของการปรับผิวเมมเบรนโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
ต่อความคงทนของชั้นเคลือบไคโตซาน ด้วยวิธีออกแบบการทดลอง**
**Design of Experiment to Study the Effects of Sodium Hydroxide Treatment of
Polyvinylidene Fluoride on Chitosan Coating Layer Stability**

วรพัส เกตุกราย* อำไพ ชนะไชย และ รัตนา จิระรัตนานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*E-mail: vorrapat.ket@gmail.com

บทคัดย่อ

เยื่อแผ่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมีสมบัติที่ทนต่อความร้อน สารเคมี และมีความคงทนต่อแรงทางกลได้ดี คือ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) แต่ข้อเสียของเยื่อแผ่นชนิดนี้คือ จะมีคุณสมบัติเป็นเยื่อแผ่นชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงส่งผลให้เกิดการลดลงของฟลักซ์เนื่องจากการเกิดฟาวลิงได้สูงกว่าเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยเฉพาะการนำมาใช้ในกระบวนการกรองโปรตีน ปัญหาคืออย่างหนึ่งในการเคลือบโพลีเมอร์ที่ชอบน้ำบนเยื่อแผ่นที่ไม่ชอบน้ำคือ การหลุดออกของชั้นเคลือบ เนื่องจากความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างผิวสองส่วน หากสามารถเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างสองชั้นได้ ก็จะทำให้เยื่อแผ่นมีความคงทนในการใช้งานสูงขึ้น การทำ Alkali treatment ด้วย NaOH โดยใช้ Glutaraldehyde (GA) เป็นสารเชื่อมขวาง ทำให้ชั้นไคโตซานที่เคลือบจะคงทนอยู่บนเยื่อแผ่น PVDF ได้ดีกว่าเดิม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับผิวเยื่อแผ่นโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อความคงทนของชั้นไคโตซาน (CS) ที่เคลือบบนเยื่อแผ่น PVDF โดยประยุกต์ใช้วิธีออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอัลคาไลน์ทรีทเมนต์ โดยทำการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำไปเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน 1.5% wt โดยใช้สารเชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์ 0.3%wt/v โดยกำหนดปัจจัยในการออกแบบการทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เวลาและ อุณหภูมิในการแช่สารละลาย NaOH ขณะทำอัลคาไลน์ทรีทเมนต์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวถูกนำมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิว-ตอบสนอง แบบ Box-Behnken Design จนได้สมการถดถอยที่มีความสัมพันธ์กับค่าฟลักซ์น้ำซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นคือ $Y = 1894.12 + 85.65C - 25.35T + 18.58t + 17.9(C)(T) - 5.72(T)(t) - 37.16(C)(t) - 106.81(C)^2 - 46.78(T)^2 + 4.86(t)^2$ และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอัลคาไลน์ทรีทเมนต์คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH 32 %wt เวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เยื่อแผ่นที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย NaOH ให้ค่าความชอบน้ำของเยื่อแผ่น (hydrophilicity) และความต้านทานการเกิดฟาวลิงที่ดีกว่า กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์การกลับคืนของฟลักซ์ของเยื่อแผ่น PVDF ที่ผ่านการปรับสภาพ คือ 87.50%

คำสำคัญ : อัลคาไลน์ทรีทเมนต์ โพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ การออกแบบการทดลอง

Abstract

Polyvinylidene fluoride (PVDF) membrane is commonly used in industry because of its properties of resistance to heat and chemicals and its good mechanical strength. However, there are disadvantages in the use of this membrane. Being a hydrophobic membrane means that it suffers a decrease in flux and an increase in fouling compared to a hydrophilic membrane, especially in the protein filtering process. Another problem is the hydrophobic polymer is coated on a hydrophobic membrane and, due to differences in surface tension between the two surfaces, there is a desorption of the coating layer. These problems can be solved by increasing the adhesion between the two layers. The membrane is more durable after alkaline treatment with sodium hydroxide (NaOH) using Glutaraldehyde (GA) as a crosslinking agent. The chitosan coating is more durable on the PVDF membrane. The aim of the research was to study the effects of NaOH treatment of PVDF on chitosan (CS) coating layer stability by design of experiment. There are three significant factors for alkaline treatment, the concentration of NaOH solution, time, and temperature. These factors were investigated further using a Response Surface Methodology in a Box-Behnken Design. The water flux was found to be fitted by a regression model, $Y = 1894.12 + 85.65C - 25.35T + 18.58t + 17.9(C)(T) - 5.72(T)(t) - 37.16(C)(t) - 106.81(C)^2 - 46.78(T)^2 + 4.86(t)^2$. The results showed the optimum condition for alkaline treatment was 32%wt NaOH at 57°C for 4 hours. From the optimum condition, the highest water flux of treated membrane can be produced. Then the membrane treated with that condition was coated with 1.5%wt chitosan solution and crosslinked with 0.3% wt/v glutaraldehyde. It was found that the membrane treated with NaOH before chitosan coating gave better hydrophilicity and fouling resistance. The percentage of flux recovery of the membrane treated with NaOH before chitosan coating was 87.50%.

Keywords: Alkaline treatment; Polyvinylidene fluoride; Design of experiment

บทนำ

กระบวนการเยื่อแผ่น (Membrane Process) คือ กระบวนการที่นำมาใช้แยกสารให้บริสุทธิ์ หรือเพิ่มความเข้มข้นของสารในอุตสาหกรรมโดยสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง อีกทั้งเป็นกระบวนการที่ประหยัดพลังงานและช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อาจลดลงเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเยื่อแผ่นทั้งทางคานาเพอมีเอตและ รีเทนเทตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงเป็นกระบวนการที่ช่วยรักษาสีแวตลอม เพราะไม่ทำให้เกิดของเสียในระบบ [1]

Polyvinylidene Fluoride (PVDF) เป็นเยื่อแผ่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อน สารเคมี และมีความคงทนต่อแรงทางกลได้ดี แต่ข้อเสียของเยื่อแผ่นชนิดนี้จะมีคุณสมบัติเป็นเยื่อแผ่นชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงส่งผลให้เกิดการลดลงของฟลักซ์เนื่องจากการเกิดฟาวลิงสูงกว่าเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำ

(Hydrophilic) โดยเฉพาะการนำมาใช้ในกระบวนการกรองโปรตีน [2] โดยทั่วไปการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นสามารถทำได้ 3 วิธี คือ 1) การปรับสภาวะในการดำเนินการระบบให้มีความเหมาะสม 2) การปรับสภาพสารละลายก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ 3) การปรับปรุงเยื่อแผ่นให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ เพื่อดำเนินการเกิดฟาวลิง [3]

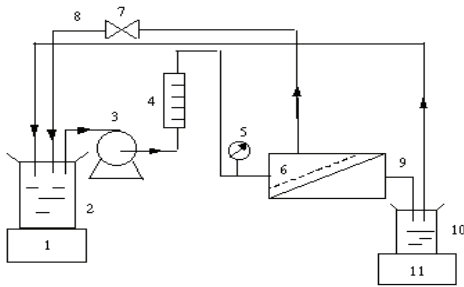
งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสภาพผิวหน้าของเยื่อแผ่น PVDF โดยการทำให้ Alkali treatment ด้วย NaOH ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าของเยื่อแผ่น PVDF เปลี่ยนเป็นหมู่คาบอนิล (C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH) โดยในงานวิจัยนี้คาดว่าทั้งหมู่ คาบอนิลและหมู่ไฮดรอกซิลดังกล่าว จะสามารถจับกับหมู่เอมีน (NH₂) ของชั้นโคโตซาน [9] ที่เคลือบอยู่บนเยื่อแผ่น PVDF ได้ โดยใช้ Glutaraldehyde (GA) เป็นสารเชื่อมขวาง [4] ซึ่งทำให้ชั้นโคโตซานที่เคลือบจะมีความคงทน เพิ่มแรงยึดเกาะกับเยื่อแผ่น PVDF และต้านทานการเกิดฟาวลิงได้ดีกว่าเดิม จึงทำให้เยื่อแผ่นมี

ความคงทนในการใช้งานสูงขึ้นได้ และได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย

วัตถุประสงค์

ศึกษาและออกแบบการทดลอง การทำ Alkali treatment บนเยื่อแผ่น PVDF ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการยึดเกาะของไคโตซานโดยมี GA เป็นสารเชื่อมขวาง

อุปกรณ์และวิธีการ



ภาพที่ 1 ชุดการทดลองอัลฟาฟิลเตรชัน

รายละเอียดแต่ละส่วนของระบบอัลตราฟิลเตรชัน

1. เครื่องคอนสารที่ใช้แท่งแม่เหล็กเป็นตัวกวน
2. ถังป้อน (Feed tank) มีขนาดบรรจุประมาณ 1 L
3. ปั๊ม (Pump) เป็นปั๊มชนิด Peristaltic (ขนาด L/S ยี่ห้อ Masterflex บริษัท Chemoscience (Thailand) Co., Ltd)
4. เครื่องวัดอัตราการไหลแบบลูกกลอย (Flow meter)
5. เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)
6. อุปกรณ์เมมเบรน (Membrane Unit)
7. วาล์วควบคุมความดัน
8. ท่อรีเทนเทด, ท่อเพอมีเอต
9. ถังรับสารเพอมีเอต มีขนาดบรรจุประมาณ 1 L

10. เครื่องซังสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น XT 220A

1. การเตรียมเยื่อแผ่น PVDF

นำเยื่อแผ่น PVDF มาวัดฟลักซ์น้ำ โดยจัดอุปกรณ์ดังภาพที่ 1 วัดฟลักซ์น้ำจนค่าฟลักซ์มีค่าคงที่

หมายเหตุ: ทำการเลือกเยื่อแผ่น PVDF ที่ให้ค่าฟลักซ์ของน้ำใกล้เคียงกัน เพื่อนำไปทำแอลคาไลน์ทรูทเมนต์และเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานต่อไป

2. การทำ Alkali treatment ด้วยสารละลาย NaOH

นำแผ่น PVDF แच्छลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20, 30 และ 40%wt [5] ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C เป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง [4] แล้วนำแผ่น PVDF มาล้างด้วยน้ำกลั่น

3. การตรวจสอบคุณลักษณะของเยื่อแผ่นหลังการทำ Alkali treatment

การหาค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น

4. การเคลือบเยื่อแผ่น PVDF ด้วยสารละลายไคโตซาน

นำสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5 %wt ที่ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %wt/wt [2] มาผสมกับ GA ความเข้มข้น 0.3%wt/v [6] กรองผ่านเยื่อแผ่น PVDF เยื่อแผ่นเปียก ที่ผ่านการทำ alkali treatment (ที่ได้จากข้อ 2) ที่ความดัน 2 bar ด้วยอัตราการไหล 0.877 L/min เป็นเวลา 10 นาที และทำการบ่มสารละลายไคโตซานผ่านผิวหน้าเยื่อแผ่นเป็นเวลา 5 นาที (ที่ความดัน 0 bar) ทำเยื่อแผ่นให้แห้งและเป็นกลาง และล้างเยื่อแผ่นโดยนำเยื่อแผ่นมาผ่านสารละลายเอทานอล 50%v นาน 10 นาที แล้วล้างต่อด้วยน้ำจนค่า pH ด้านเพอมีเอตมีค่าเป็นกลาง (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที)

5. การออกแบบการทดลอง [8]

ทำการทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยศึกษา พื้นผิวตอบสนองของตัวแปร (Response Surface Methodology) และอาศัยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design

ตารางที่ 1 กำหนดปัจจัย และระดับปัจจัยที่จะทำการศึกษาเบื้องต้น

ปัจจัย	X	ระดับ		หน่วย
		ต่ำ (-)	สูง (+)	
ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH	C	10	30	%wt
อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยื่อแผ่นในสารละลาย NaOH	T	40	60	องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการแช่เยื่อแผ่นในสารละลาย NaOH	t	1	3	ชั่วโมง

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design ที่มีปัจจัย 3 ระดับ จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง แต่ละการทดลองมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วจึงนำเยื่อแผ่นที่เตรียมจากปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองมาตรวจคุณสมบัติดังต่อไปนี้

6. การกลับคืนของค่าฟลักซ์น้ำ %Flux Recovery, %FR [5]

ค่าการกลับคืนของค่าฟลักซ์น้ำสามารถคำนวณได้จาก

$$\%Flux Recovery = \frac{J_{w2}}{J_{w1}} \times 100 \quad (1)$$

โดย J_{w1} คือ ค่าฟลักซ์น้ำก่อนทดสอบโปรตีน

J_{w2} คือ ค่าฟลักซ์น้ำหลังทำความสะอาดเยื่อแผ่นด้วยน้ำสะอาดหลังการทดสอบด้วยโปรตีน

7. การตรวจสอบคุณสมบัติการหลุดของโคโตซาน [7]

หาค่าน้ำหนักที่หายไปของชั้นโคโตซานที่เคลือบอยู่บนเยื่อแผ่น ดังสมการ

$$\% loss = \left(\frac{W_{dry,before} - W_{dry,after}}{W_{dry,before}} \right) \times 100 \quad (3)$$

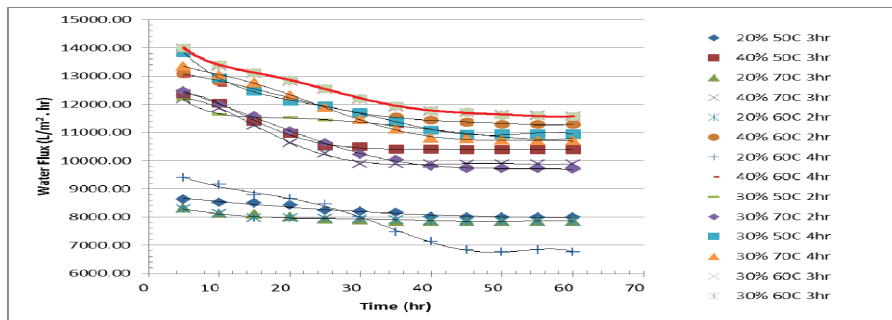
เมื่อ $W_{dry,before}$ คือ น้ำหนักเยื่อแผ่นแห้งก่อนแช่น้ำ DI ที่ระยะเวลาในการแช่ต่างๆ

$W_{dry,after}$ คือ น้ำหนักเยื่อแผ่นแห้งหลังแช่น้ำ DI ที่ระยะเวลาในการแช่ต่างๆ

ผลการวิจัย

1. ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นหลังการทำ Alkali treatment

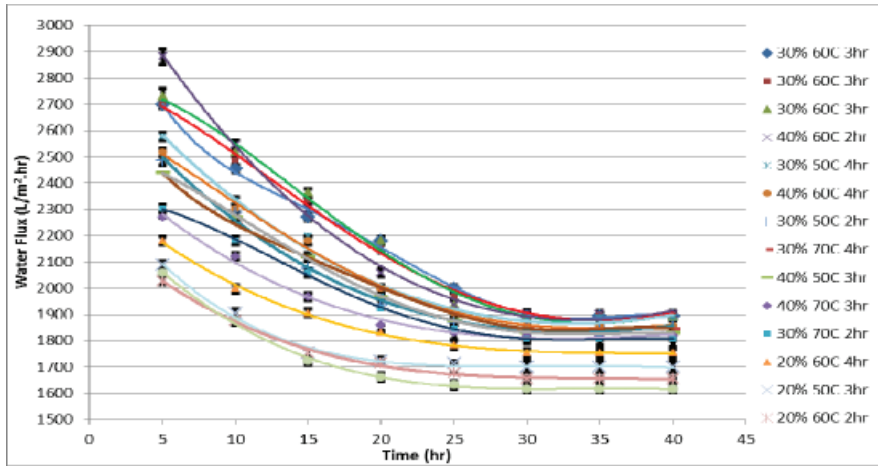
ในขั้นตอนนี้เป็นการวัดฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PVDF ที่ผ่านการทำ Alkali treatment ที่สภาวะต่างๆ โดยที่นำเยื่อแผ่นไปวัดฟลักซ์น้ำเพื่อตรวจสอบความชอบน้ำของเยื่อแผ่นโดยมีแนวคิดว่ายื่อแผ่นที่ทำ Alkali treatment แล้วเกิดปฏิกิริยาสูง จะมีความชอบน้ำสูง ซึ่งจะทำให้ฟลักซ์น้ำสูงด้วย ทั้งนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำ Alkali treatment ที่ให้หมู่ชอบน้ำสูง [5]



ภาพที่ 2 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นหลังการทำ Alkali treatment

จากการทดสอบปรับสภาพผิวเยื่อแผ่น PVDF ที่สภาวะต่างๆ พบว่าสภาวะที่ทำให้ค่าฟลักซ์น้ำสูงสุดคือ NaOH ความเข้มข้น 30 %wt อุณหภูมิ 60°C และเวลา 3 ชั่วโมง

2. ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นที่ผ่านการปรับสภาพหลังเคลือบสารละลายไคโตซาน



ภาพที่ 3 ค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นที่ปรับสภาพด้วย NaOH หลังจากเคลือบสารละลายไคโตซาน

นำค่าฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นที่ผ่านการปรับสภาพหลังเคลือบสารละลายไคโตซานที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีออกแบบการทดลองแล้วจึงทำการเลือกแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุดนั้น ซึ่งจะพิจารณาที่ค่า R^2 , R^2_{adj} , Regression P-Value และ Lack-of-Fit P-Value ระหว่างเทอมของ Full Quadratic, Linear + Interaction, Linear + Squares และ Linear เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลของสมการแต่ละแบบแล้วพบว่า เทอม Full Quadratic จะมีค่า R^2 , R^2_{adj} , Regression P-Value และ Lack-of-Fit P-Value ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ในเทอมของ Full

Quadratic มาใช้ในการพยากรณ์หาจุดสูงสุดของค่า ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ โดยได้แบบจำลองของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

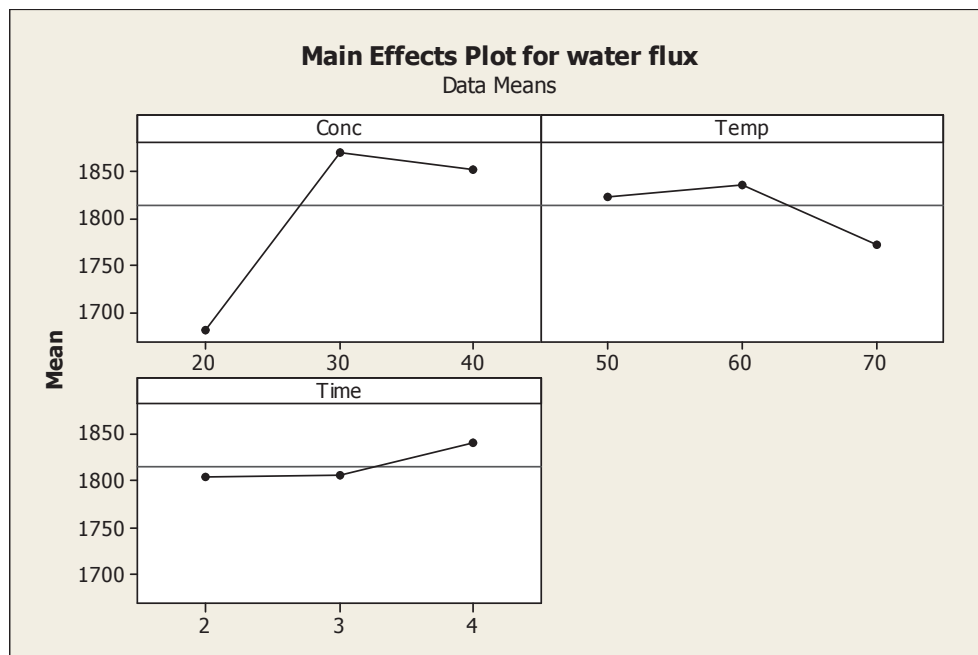
$$Y = 1894.12 + 85.65C - 25.35T + 18.58t + 17.9(C)(T) - 5.72(T)(t) - 37.16(C)(t) - 106.81(C)^2 - 46.78(T)^2 + 4.86(t)^2$$

มีข้อจำกัด $20 \leq C \leq 30$, $50 \leq T \leq 70$ และ $2 \leq t \leq 4$;

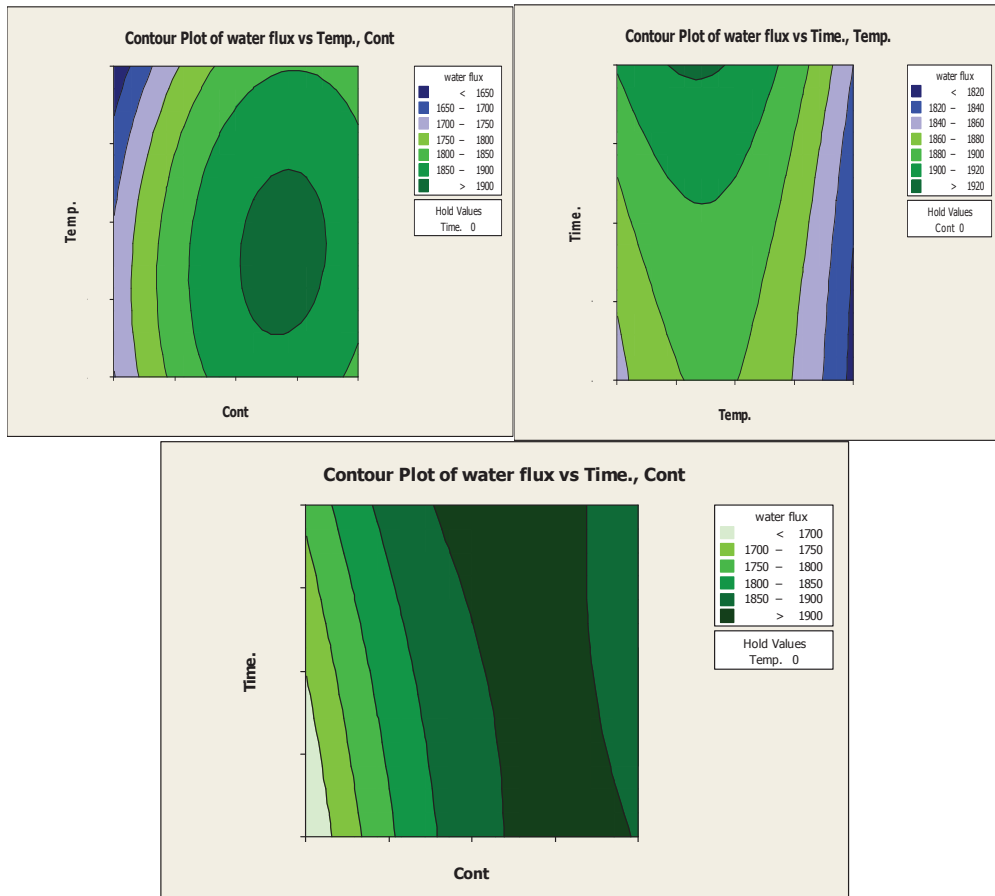
C, T และ $t > 0$

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มีรูปแบบสมการแบบพหุคูณควอดราติก (Full Quadratic)

Response Surface Regression: water flux versus Cont., Temp, Time						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	1894.12	5.293	357.882	0.000		
Cont.	85.65	3.241	26.427	0.000		
Temp	-25.35	3.241	-7.822	0.001		
Time	18.58	3.241	5.732	0.002		
Cont.*Cont.	-106.81	4.771	-22.389	0.000		
Temp*Temp	-46.79	4.771	-9.807	0.000		
Time*Time	4.86	4.771	1.020	0.355		
Cont.*Temp	17.90	4.584	3.905	0.011		
Cont.*Time	-37.16	4.584	-8.107	0.000		
Temp*Time	-5.72	4.584	-1.247	0.267		
R-Sq = 99.66% R-Sq(adj) = 99.04%						
Analysis of Variance for water flux						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	122113	122113	13568.1	161.46	0.000
Linear	3	66590	66590	22196.7	264.14	0.000
Cont.	1	58687	58687	58687.4	698.37	0.000
Temp	1	5141	5141	5141.5	61.18	0.001
Time	1	2761	2761	2761.4	32.86	0.002
Square	3	48587	48587	16195.7	192.73	0.000
Cont.*Cont.	1	40239	42126	42125.5	501.23	0.000
Temp*Temp	1	8261	8082	8082.0	96.17	0.000
Time*Time	1	87	87	87.4	1.04	0.355
Interaction	3	6936	6936	2312.0	27.51	0.002
Cont.*Temp	1	1282	1282	1281.6	15.25	0.011
Cont.*Time	1	5523	5523	5523.5	65.73	0.000
Temp*Time	1	131	131	130.8	1.56	0.267
Residual Error	5	420	420	84.0		
Lack-of-Fit	3	391	391	130.4	8.96	0.102
Pure Error	2	29	29	14.6		
Total	14	122533				



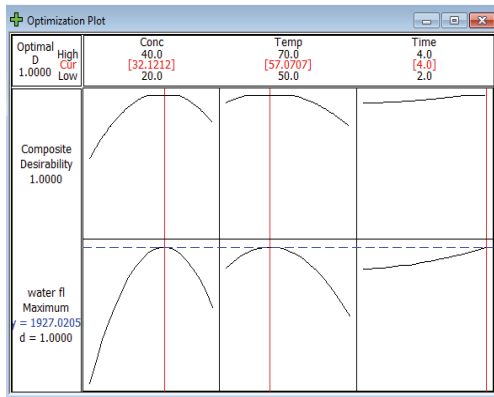
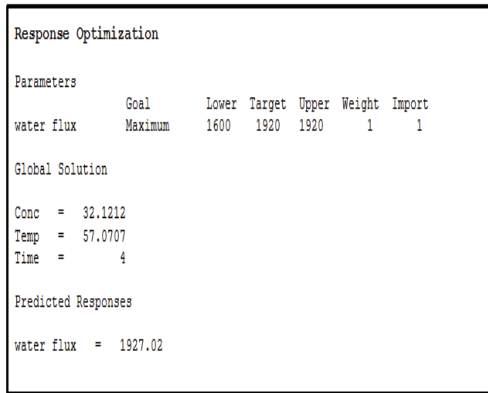
ภาพที่ 4 กราฟของอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัยจากค่าฟลักซ์น้ำหลังจากเคลือบสารละลายไคโตซาน



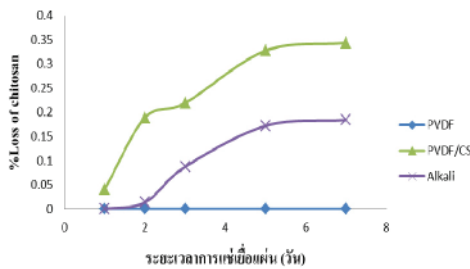
ภาพที่ 5 กราฟโครงร่าง (Contour Plot) ของปัจจัยต่างๆ เทียบกับค่าฟลักซ์น้ำ

เมื่อทราบตำแหน่งของผลตอบสนองที่ให้ค่าสูงสุดแล้ว ผู้วิจัย จึงได้กำหนดค่า สูงสุด = 1920 และต่ำสุด = 1600 เพื่อใช้ในการหาจุดที่ดีที่สุดในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ และคาดว่าระดับปัจจัยทั้ง 3 จะต้องอยู่ในช่วงที่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟโครงร่าง (Contour Plot)

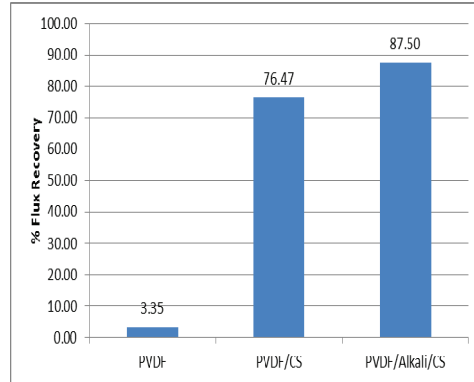
จากการใช้โปรแกรม Minitab Version 16 ในการวิเคราะห์ เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลักทั้ง 3 ชนิดที่จะทำให้เกิดค่าฟลักซ์น้ำที่มากที่สุด ทำให้ได้กราฟของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าฟลักซ์น้ำโดยการใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์



ภาพที่ 6 ผลการคำนวณจากโปรแกรม Minitab 16 และกราฟแสดงจุดตัดที่ทำให้มีค่าฟลักซ์น้ำสูงสุด



ภาพที่ 7 การหลุดออกของชั้นไคโตซานของเยื่อแผ่นที่แช่น้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ ของเยื่อแผ่น PVDF, เยื่อแผ่น PVDF ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (PVDF/CS) และเยื่อแผ่น PVDF ที่ทำ Alkali treatment และเคลือบด้วยไคโตซาน (PVDF/Alkali/CS)



ภาพที่ 8 ค่า Flux Recovery ของเยื่อแผ่น PVDF, เยื่อแผ่น PVDF ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (PVDF/CS) และเยื่อแผ่น PVDF ที่ทำ Alkali treatment และเคลือบด้วยไคโตซาน (PVDF/Alkali/CS)

สรุปและอภิปรายผล

1. จุดเหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยต่างๆ เพื่อให้เยื่อแผ่นมีประสิทธิภาพสูงสุดดังนี้

- ปรับค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ปรับสภาพเยื่อแผ่น ที่ 32.12 %wt
- ปรับอุณหภูมิของของสารละลาย NaOH ที่ใช้ปรับสภาพเยื่อแผ่น ที่ 57.07 °C
- ปรับเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพเยื่อแผ่น ที่ 4 ชั่วโมง จะทำให้เกิดค่าฟลักซ์น้ำสูงสุดประมาณ 1927.02 (L/m².hr)

หมายเหตุ: ในการเตรียมเยื่อแผ่นเพื่อใช้งานจริง จะเตรียมที่ความเข้มข้น NaOH 32 %wt อุณหภูมิ 57 °C และใช้เวลา 4 ชั่วโมง ในการทำ Alkali treatment ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการทำการทดลอง

2. เมื่อทดสอบการหลุดออกของชั้นไคโตซาน (% Loss) CS พบว่าเยื่อแผ่นที่ทำ Alkali treatment ด้วยระดับปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นก่อนเคลือบไคโตซาน จะให้ % Loss ต่ำที่สุด เนื่องจากการทำ Alkali treatment ทำให้เกิดหมู่ คาบอนิลและหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งจะไปสร้างพันธะกับไคโตซาน [7] ช่วยให้เกิดความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างเยื่อแผ่น PVDF กับชั้นไคโตซานมากขึ้น การหลุดออกของไคโตซานจึงน้อยลง ส่วนเยื่อแผ่นที่เคลือบ

ไคโตซานแต่ไม่ได้ทำ Alkali treatment (PVDF/CS) เนื่องจากไม่มีพันธะระหว่างเยื่อแผ่นและชั้นไคโตซาน ไคโตซานที่เกาะกับเยื่อแผ่นจึงน้อยกว่าเยื่อแผ่น PVDF/Alkali/CS

3. ผลวิเคราะห์ค่า % FR ของเยื่อแผ่น พบว่าเยื่อแผ่นที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่า %FR ต่ำสุด เท่ากับ 3.35% เนื่องจากเยื่อแผ่น PVDF เป็นเยื่อแผ่นที่มีความไม่ชอบน้ำเมื่อนำมากรองโปรตีนเป็นเวลานาน จึงเกิดฟาวลิงบนผิวหน้าและในรูพรุนของเยื่อแผ่น แต่เมื่อนำเยื่อแผ่นที่เคลือบด้วยไคโตซานแต่ไม่ผ่านการทำ Alkali treatment (PVDF/CS) มากรองโปรตีน ปรากฏว่าได้ค่า %FR เท่ากับ 76.47% เพราะเนื่องจากไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำเมื่อเคลือบอยู่บนเยื่อแผ่นทำให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำมากยิ่งขึ้น โปรตีนจึงถูกดูดซับบนเยื่อแผ่นได้น้อยลง เป็นเพราะแรงกระทำที่เกิดระหว่างผิวเยื่อแผ่นกับโปรตีนมีค่าน้อยลง จึงสามารถล้างฟาวลิงออกจากเยื่อแผ่นได้เพิ่มขึ้น [3] ส่วนเยื่อแผ่นที่เคลือบด้วยไคโตซานเชื่อมขวางด้วยกลูตาโรลดีไฮด์และผ่านการทำ Alkali treatment นั้นให้ค่า %FR มากที่สุดคือ 87.50% เป็นผลมาจากชั้นไคโตซานสามารถยึดเกาะบนเยื่อแผ่นได้มากกว่าและแน่นกว่าเยื่อแผ่น PVDF/CS จึงเกิดการดูดซับของโปรตีนน้อยกว่าเยื่อแผ่นที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเยื่อแผ่น PVDF/CS [5]

เอกสารอ้างอิง

[1] รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543, กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : ไทยเส็ง.

[2] Boributh, S., Chanachai, A., Jiratananon, R., 2009, "Modification of PVDF membrane by chitosan solution for reducing protein

fouling," *Journal of Membrane Science*, Vol. 342, pp. 970104.

[3] อ่ำไพ ชนะไชย, 2536, การศึกษาการเกิด fouling ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันของน้ำเสาวรส, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] Zheng, Z., Gu, Z., Huo, R., Luo, Z., 2009, "Superhydrophobic poly(vinylidene fluoride) film fabricated by alkali treatment enhancing chemical bath deposition," *Applied Surface Science*, doi:10.1016/j.apsusc.2009.09.048

[5] จิตติพงษ์ หว่านณรงค์ และคณะ, 2553, ผลของการปรับผิวเมมเบรนโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความคงทนของชั้นเคลือบไคโตซาน, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[6] วณิดา ธนานุสนธิ์, 2553, การปรับสภาพเยื่อแผ่นไมโครฟิวเตรชัน PVDF ด้วยไคโตซาน เป็นเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชันที่มีความคงตัว, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[7] L.G. Wade, Jr, 2006., *Organic Chemistry, Sixth Edition*, NJ : Prentice-Hall.

[8] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2551, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, กรุงเทพฯ : ท้อป.

[9] Chitin and chitosan, [online], Available: <http://www.thailabonline.com/news3chitin-chitosan.htm>