

ผลกระทบของการใช้น้ำร้อนในกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินต่อคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้

นาย ประมวล เรืองสิน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-222-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF USING HOT WATER IN THE PVC RESIN PRODUCTION PROCESS  
ON QUALITY OF THE PRODUCED PVC RESIN**



**Mr. Pramual Ruangsin**

**ศูนย์วิทยทรัพยากร**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Chemical Engineering  
Graduate School

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1996**

**ISBN 974-635-222-9**

**Copyright of the Graduate School , Chulalongkorn University**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของการใช้น้ำร้อนในกระบวนการผลิต  
พีวีซีเรซินต่อคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้

โดย

นาย ประมวล เรืองสิน

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

นาย กัมพล ชัยกิจโกสัย

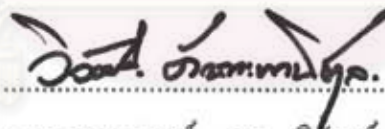
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



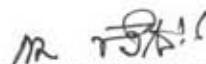
ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นาย กัมพล ชัยกิจโกสัย)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วรณ ใต้ไพสิฐพงษ์)

ประมวล เรื่องสิน: ผลกระทบของการใช้น้ำร้อนในกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินต่อ  
คุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ( EFFECTS OF USING HOT WATER IN THE  
PVC RESIN PRODUCTION PROCESS ON QUALITY OF PRODUCED PVC  
RESIN ) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล , อ. ที่ปรึกษาร่วม : นาย  
กัมพล ชัยกิจ โกลิย์ , 105 หน้า , ISBN 974-635-222-9

กระบวนการผลิตพีวีซีเรซินประกอบด้วยขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ  
ของวัตถุดิบภายในถังปฏิกรณ์ เพื่อให้เข้าสู่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา มีการค้นพบว่าการใช้น้ำ  
ร้อนอาจจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบลงได้ และอาจจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตของกระ-  
บวนการได้ด้วย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำร้อนที่จะมีต่อคุณภาพของ  
พีวีซีเรซินที่ผลิตได้ โดยใช้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิในช่วง 40 - 50 องศาเซลเซียส อีกทั้งทำการศึกษา  
ผลกระทบที่จะมีต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบ และต้นทุนในการผลิตโดยอาศัยการทดลอง

ผลจากการทดลองพบว่าค่า ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ขนาดเฉลี่ยของเม็ดพีวีซีเรซิน  
และจำนวนฟิซายที่พบในชิ้นงานที่ใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพ มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่ารูพรุน  
ของเม็ดพีวีซีกลับมีค่าน้อยลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้พีวีซีเรซินที่ผลิตได้ยังคงมี  
คุณภาพในระดับที่เป็นที่ยอมรับได้ เวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่  
ใช้สูงขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้เวลาที่ใช้  
ในการผลิตหนึ่งรอบลดลงประมาณ 16 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการผลิตแบบเดิม ต้นทุน  
การผลิตต่อตันพีวีซีเรซินที่ผลิตได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้สูงขึ้นเช่นเดียวกัน การใช้น้ำ  
ร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงถึง 3.5 บาทต่อตันพีวีซีเรซิน เมื่อ  
เปรียบเทียบกับวิธีการผลิตที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ ..... ประมวล เรืองสิน  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษา .....  
Dr. T. K. K.

## C717473 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: HOT WATER / PVC RESIN PRODUCTION PROCESS / QUALITY OF PRODUCED PVC RESIN

PRAMUAL RUANGSIN : EFFECTS OF USING HOT WATER IN THE PVC RESIN PRODUCTION PROCESS ON QUALITY OF PRODUCED PVC RESIN . THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR. TAWATCHAI CHARINPANITKUL , Ph.D. , THESIS CO-ADVISOR : MR. KUMPOL CHAIKITKOSI. 105 pp. ISBN 974-635-222-9

In PVC Resin production processes , there is a heating up step for rising temperature of raw material in the reactor to the reaction temperature. It is evident that making use of hot water probably reduces the operating cycle time and probably increases output capacity of the process.

The objective of this work is to study the effects of using hot water on quality of PVC resin produced by changing the water temperature in the range of 40 - 50 °C. In addition , the effects on the operating cycle time and on the operating cost of PVC resin production was also investigated experimentally.

According to the experimental results , it was evident that the Bulk density and the average particle size of PVC resin and number of fish eye in the PVC film increase with an increase in the water temperature. On the other hand , the porosity of the PVC resin produced decreases with an increase in the temperature. However , the quality of the PVC resin produced is still acceptable. The operating cycle time was decreased with an increase in the water temperature. For the case of using water of 50 °C the cycle time was about 16 minutes shorter than that of the conventional operating condition. Moreover , the cost per unit ton of the PVC resin also decreases with an increase in the water temperature. Using water of 50 °C can save the operating cost about 3.5 baht per ton of the PVC resin cheaper than using water of 40 °C.

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... ปรเมศวร์ ใจองสิน  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Pr. Tawatchai Charinpanitkul*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Mr. Kumpol Chaiokitkosol*



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ คุณ กัมพล ชัยกิจโกสิย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งทั้งสองท่านได้ให้คำปรึกษาแนะนำให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ของงานวิจัยด้วยดีมาตลอด รวมทั้งศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และ อาจารย์ ดร. วรัญญู แต่ไพสิฐพงษ์ ที่ได้เสียสละเวลามาร่วมเป็นประธานกรรมการและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้โอกาสในการทำการศึกษาวิจัย รวมทั้งเพื่อนพนักงานและผู้เกี่ยวข้องทุกคนที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ที่ได้ให้การศึกษาและสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา และ ขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษาและคุณความดีทั้งหมดของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา-มารดาของผู้วิจัย ผู้ให้กำเนิด ให้การเลี้ยงดู ให้การศึกษาและให้ความรัก แก่พวกลูกๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....  | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....   | ฉ    |
| สารบัญตาราง .....   | ฎ    |
| สารบัญรูป .....   | ฅ    |
| <b>บทที่</b>  |      |
| 1. บทนำ .....   | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย .....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ .....  | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....   | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย .....  | 3    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....                                  | 3    |
| 2. ทฤษฎี .....  | 4    |
| 2.1 ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์ .....   | 4    |
| 2.1.1 ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมมวล (Addition<br>Polymerization) .....       | 4    |
| 2.1.2 ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบกลั่นตัว (Condensation<br>Polymerization) ..... | 7    |
| 2.2 เทคโนโลยีการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ .....                                      | 7    |
| 2.2.1 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย (Suspension<br>Polymerization) .....    | 8    |
| 2.2.2 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบอีมัลชัน (Emulsion<br>Polymerization) .....     | 8    |
| 2.2.3 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบรวมมวล (Bulk or Mass<br>Polymerization) .....   | 9    |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.2.4 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบสารละลาย (Solution Polymerization) .....    | 9    |
| 2.3 กลไกของการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย .....                   | 10   |
| 2.4 กระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย .....                           | 14   |
| 2.4.1 กระบวนการผลิต .....   | 17   |
| 2.5 บทบาทของตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย .....      | 21   |
| 2.5.1 บทบาทของน้ำในกระบวนการผลิต .....                                      | 21   |
| 2.5.2 บทบาทของสารลดแรงตึงผิว .....  | 21   |
| 2.5.3 บทบาทของการกวน .....  | 21   |
| 2.5.4 บทบาทของตัวเริ่มปฏิกิริยา .....                                       | 22   |
| 2.5.5 ผลกระทบของขั้นตอนการดึงอากาศออก .....                                 | 23   |
| 2.5.6 บทบาทของบัฟเฟอร์ .....  | 24   |
| 2.5.7 คุณภาพของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ .....                                  | 24   |
| 2.6 ตัวแปรต่างๆที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย ..... | 25   |
| 2.6.1 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา .....                                       | 25   |
| 2.6.2 ชนิดและปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิต .....                | 25   |
| 2.6.3 คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิต .....                                     | 25   |
| 2.6.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิต .....      | 26   |
| 2.6.5 ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการผลิต .....                   | 26   |
| 2.6.6 การกวนของระบบ .....   | 26   |
| 2.6.7 การควบคุมความร้อนภายในถังปฏิกรณ์ .....                                | 26   |
| 2.6.8 การเติมตัวหยุดปฏิกิริยา .....   | 27   |



สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.6.9 การนำไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา<br>ออกจากถังปฏิกรณ์ .....       | 27   |
| 2.6.10 การเติมสารถ่ายสายโซ่ .....   | 28   |
| 3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....  | 29   |
| 4. เครื่องมือและวิธีการทดลอง .....  | 42   |
| 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....  | 42   |
| 4.2 ขั้นตอนการผลิตแบบปกติ .....   | 42   |
| 4.2.1 สายการผลิตที่ 1 .....   | 42   |
| 4.2.2 สายการผลิตที่ 3 .....   | 43   |
| 4.3 วิธีการทดลอง .....  | 45   |
| 4.3.1 สายการผลิตที่ 1 .....   | 45   |
| 4.3.2 สายการผลิตที่ 3 .....   | 45   |
| 4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....  | 46   |
| 4.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....                              | 46   |
| 4.4.2 การวิเคราะห์ผลของเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบ .....                            | 46   |
| 4.4.3 การวิเคราะห์ผลทางด้านค่าใช้จ่ายในการผลิต .....                                | 47   |
| 4.5 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....                            | 47   |
| 4.5.1 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร .....  | 47   |
| 4.5.2 การกระจายขนาดและค่าเฉลี่ยของขนาด .....  | 48   |
| 4.5.3 การหลอมตัวของพีวีซีเรซินโดยการทดสอบ<br>ค่าฟิชอาย (Fish Eye) .....             | 49   |
| 4.5.4 การหาค่ารูดรูปนโดยการหาค่าพลาสติกไซเซอร์เทกอัพ<br>(Plasticizer Take Up) ..... | 51   |
| 5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....   | 53   |

สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 5.1 ข้อมูลก่อนทำการทดลองและข้อกำหนดคุณลักษณะของ<br>พีวีซีเรซินสูตรที่ทำการทดลอง .....   | 53   |
| 5.1.1 ข้อมูลของสายการผลิตที่ 1 .....  | 53   |
| 5.1.2 ข้อมูลของสายการผลิตที่ 3 .....  | 53   |
| 5.2 ผลการทดลอง .....  | 56   |
| 5.2.1 ผลการทดลองของสายการผลิตที่ 1 .....  | 56   |
| 5.2.2 ผลการทดลองของสายการผลิตที่ 3 .....  | 56   |
| 5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....   | 63   |
| 5.3.1 ผลกระทบของการใช้น้ำร้อนในกระบวนการผลิต<br>ต่อคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ..... | 63   |
| 5.3.1.1 ผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร .....                                       | 63   |
| 5.3.1.2 ผลกระทบต่อการกระจายขนาดและค่าเฉลี่ยของ<br>ขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....    | 67   |
| 5.3.1.3 ผลกระทบต่อการหลอมตัวของพีวีซีเรซิน .....  | 76   |
| 5.3.1.4 ผลกระทบต่อค่ารطوبةของพีวีซีเรซิน .....  | 79   |
| 5.3.2 ผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบ .....  | 82   |
| 5.3.2.1 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ<br>(Heat Up) .....                      | 82   |
| 5.3.2.2 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำการผลิต<br>หนึ่งรอบ .....                           | 85   |
| 5.3.3 ผลทางด้านค่าใช้จ่ายในการผลิต .....  | 88   |
| 5.3.3.1 ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ .....                                | 88   |
| 5.3.3.2 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....                                | 91   |
| 6. สรุปผลการทดลองและขอเสนอแนะ .....   | 94   |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง .....  | 94   |

สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 6.1.1 ผลกระทบต่อคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....                              | 94   |
| 6.1.2 ผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบ .....                                      | 95   |
| 6.1.3 ผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิต .....  | 95   |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ .....  | 95   |
| รายการอ้างอิง .....   | 96   |
| ภาคผนวก .....   | 98   |
| ภาคผนวก ก. รายละเอียดการคำนวณปริมาณความร้อนที่ต้อง<br>ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ ..... | 99   |
| ภาคผนวก ข. รายละเอียดการคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วย<br>พีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ..... | 102  |
| ประวัติผู้เขียน .....   | 105  |

ศูนย์วิทยพัชกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ตัวอย่างสูตรการผลิตและคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ได้จากการผลิต .....  | 17   |
| 2.2 การนำพีวีซีเรซินไปใช้ในงานต่างๆตามสมบัติของพีวีซีเรซิน .....  | 20   |
| 2.3 ค่าครึ่งชีวิตของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่างๆที่ใช้ในการผลิตพีวีซี<br>โดยวิธีแบบแขวนลอย .....  | 23   |
| 3.1 เวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของการผลิตพีวีซีเรซินในช่วงปี<br>ค.ศ. 1950 - 1960 .....   | 29   |
| 3.2 เวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของการผลิตพีวีซีเรซินในปี ค.ศ. 1990 .....   | 30   |
| 3.3 ผลการทดลองผลกระทบของตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่มีต่อ<br>คุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ .....  | 30   |
| 3.4 ผลการทดลองผลกระทบของตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่มีต่อ<br>จำนวนเม็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้โดยใช้<br>น้ำร้อนอุณหภูมิ 53.5 องศาเซลเซียสในการผลิตด้วยวิธีทดลองผลิตแบบ A ..... | 31   |
| 3.5 ผลการทดลองผลกระทบของตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่มีต่อ<br>จำนวนเม็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้โดยใช้<br>น้ำที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตด้วยวิธีทดลองผลิตแบบ A .....          | 32   |
| 3.6 ผลการทดลองผลกระทบของตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิด Perkadox 16<br>ที่มีต่อจำนวนเม็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>โดยใช้น้ำร้อนในการผลิตด้วยวิธีทดลองผลิตแบบ B .....                    | 34   |
| 3.7 ผลการทดลองผลกระทบของตัวเริ่มปฏิกิริยาชนิด Trigonox 23<br>ที่มีต่อจำนวนเม็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>โดยใช้น้ำร้อนในการผลิตด้วยวิธีทดลองผลิตแบบ A และแบบ B .....           | 34   |
| 3.8 ผลการทดลองการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาในรูปสารแขวนลอย<br>ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ที่มีต่อจำนวนเม็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัว<br>ของพีวีซีเรซินที่ผลิตโดยใช้น้ำร้อนในการผลิต .....                             | 35   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.9 ผลการทดลองการใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณ<br>ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไซ ที่ค่าต่างๆโดยใช้วิธีการทดลอง<br>แบบ Cold Charge และ Hot Charge .....  | 37   |
| 3.10 ชนิดของสารลดแรงตึงผิวหลักและรองที่ไซในการผลิตพีวีซี<br>เรซินโดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย .....   | 38   |
| 5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิโดย<br>เฉลี่ยของพีวีซีเรซินสูตรที่ทำการทดลอง ของทั้ง 4 ดังปฏิกรณ์<br>ของสายการผลิตที่ 1 ในสภาวะการผลิตปกติ โดยอุณหภูมิของน้ำ<br>ที่ไซในการผลิต = 39 °C ..... | 54   |
| 5.2 ข้อกำหนดคุณลักษณะของพีวีซีเรซินสูตรที่ทำการทดลอง<br>ที่สายการผลิตที่ 1 .....  | 54   |
| 5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิโดย<br>เฉลี่ยของพีวีซีเรซินสูตรที่ทำการทดลอง ของทั้ง 2 ดังปฏิกรณ์<br>ของสายการผลิตที่ 3 ในสภาวะการผลิตปกติ โดยอุณหภูมิของน้ำ<br>ที่ไซในการผลิต = 39 °C ..... | 55   |
| 5.4 ข้อกำหนดคุณลักษณะของพีวีซีเรซินสูตรที่ทำการทดลอง<br>ที่สายการผลิตที่ 3 .....  | 55   |
| 5.5 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>ของดังปฏิกรณ์ A สายการผลิตที่ 1 .....   | 57   |
| 5.6 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>ของดังปฏิกรณ์ B สายการผลิตที่ 1 .....   | 58   |
| 5.7 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>ของดังปฏิกรณ์ C สายการผลิตที่ 1 .....   | 59   |
| 5.8 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>ของดังปฏิกรณ์ D สายการผลิตที่ 1 .....   | 60   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.9 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของตั้งปฏิกรณ์ A สายการผลิตที่ 3 .....                             | 61   |
| 5.10 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของตั้งปฏิกรณ์ B สายการผลิตที่ 3 .....                            | 62   |
| 5.11 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบของข้อมูลก่อนทำการทดลองและของการใช้น้ำร้อนในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 1 ..... | 86   |
| 5.12 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตหนึ่งรอบของข้อมูลก่อนทำการทดลองและของการใช้น้ำร้อนในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 3 ..... | 87   |
| 5.13 ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 1 .....          | 89   |
| 5.14 ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 3 .....          | 90   |
| 5.15 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 1 .....          | 92   |
| 5.16 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิตของสายการผลิตที่ 3 .....          | 93   |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การถ่ายสายโซ่ไปยังพอลิเมอร์ (Chain Transfer to Polymer) .....   | 13   |
| 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์<br>โดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย .....   | 15   |
| 2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์โดยวิธีการผลิต<br>แบบแขวนลอย .....   | 16   |
| 2.4 ลักษณะของอุณหภูมิและความดันภายในถังปฏิกรณ์ในระหว่าง<br>การทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์<br>โดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย ..... | 19   |
| 2.5 การเปลี่ยนจากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ไปเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ .....  | 22   |
| 3.1 เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิที่อุณหภูมิของ<br>น้ำที่ใช้ในการทดลองต่างๆ สำหรับวิธีทดลองผลิตแบบ A .....                           | 33   |
| 3.2 ผลกระทบของระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ<br>พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ของพีวีซีเรซิน .....                                   | 39   |
| 3.3 ผลกระทบของระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ<br>พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของขนาดของพีวีซีเรซิน .....                                 | 39   |
| 3.4 อุณหภูมิของการเกิด Clouding Point ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์<br>ที่มีระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต่างๆ .....                                      | 40   |
| 3.5 ความสามารถในการละลายน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์<br>ที่มีระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและระดับการเกิดพอลิเมอร์ต่างๆ .....                         | 41   |
| 4.1 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินโดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย .....  | 44   |
| 4.2 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเรซินโดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย .....  | 44   |
| 5.1 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ในการทดลองผลิต<br>กับค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>ของสายการผลิตที่ 1 .....   | 65   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.2 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>ของสายการผลิตที่ 3 .....    | 66   |
| 5.3 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ A<br>ของสายการผลิตที่ 1 ..... | 68   |
| 5.4 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ B<br>ของสายการผลิตที่ 1 ..... | 69   |
| 5.5 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ C<br>ของสายการผลิตที่ 1 ..... | 70   |
| 5.6 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ D<br>ของสายการผลิตที่ 1 ..... | 71   |
| 5.7 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ A<br>ของสายการผลิตที่ 3 ..... | 72   |
| 5.8 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับการกระจายขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของดังปฏิกรณ์ B<br>ของสายการผลิตที่ 3 ..... | 73   |
| 5.9 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับค่าเฉลี่ยของขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของสายการผลิตที่ 1 .....                 | 74   |
| 5.10 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับค่าเฉลี่ยของขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ของสายการผลิตที่ 3 .....                | 75   |



## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.11 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับจำนวนเมล็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>ของสายการผลิตที่ 1 ..... | 77   |
| 5.12 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับจำนวนเมล็ดพีวีซีเรซินที่ไม่หลอมตัวของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้<br>ของสายการผลิตที่ 3 ..... | 78   |
| 5.13 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับค่ารพุนของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ของสายการผลิตที่ 1 .....                               | 80   |
| 5.14 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับค่ารพุนของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ของสายการผลิตที่ 3 .....                               | 81   |
| 5.15 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ ของสายการผลิตที่ 1 .....                                  | 83   |
| 5.16 ผลการทดลองของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆในการทดลองผลิต<br>กับเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ ของสายการผลิตที่ 3 .....                                  | 84   |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย