



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช
และการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

Optimization of Cyanoethyl Starch Production and Carboxyethyl
Starch Synthesis

นางสาวกาญจนา กิตติสยาม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ไซยาโนเอทิลสตาร์ช

และ การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

Optimization of Cyanoethyl Starch Production and Carboxyethyl
Starch Synthesis

นางสาวกาญจนา กิตติสยาม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ไชยาโนเอทิลสตาร์ช

และ การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นางสาวกาญจนา กิตติสยาม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุลอาจารย์นิเทศ ผศ. ดร. ธีรพร สุธีวงศ์

ชื่อ-สกุลผู้นิเทศงาน นายปิติพงษ์ วัฒนจรไกร

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท สยาม มอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด

บทคัดย่อ

แป้งดัดแปรชนิดไฮยาโนเอทิล สามารถใช้สำหรับเพิ่มความแข็งแรงของผิวกระดาษ (Surface sizing) และกาว อีกทั้งยังมีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสีได้ ในการสังเคราะห์แป้งดัดแปรดังกล่าว ต้องอาศัยปฏิกิริยาไฮยาโนเอทิลเลชันของแป้ง โดยใช้อะครีโลไนไตรล์มีความอันตรายและราคาสูง นำไปสู่การทดลองสังเคราะห์และปรับปรุงสภาวะในการผลิตขึ้น เพื่อลดต้นทุนการในการผลิตและลดความเสี่ยงจากการใช้อะครีโลไนไตรล์ งานวิจัยชิ้นนี้ใช้กระบวนการ พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM) ด้วยวิธี Box-Behnken ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อจำลองแบบจำลอง และคำนวณค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ปริมาณการแทนที่ (Degree of Substitution: DS) สูงสุดโดยใช้โปรแกรม Design Expert มีตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และค่า pH ซึ่งจะทดลองโดยใช้ค่าอุณหภูมิระหว่าง 30-50 °C เวลาในการทดลอง 3-7 ชั่วโมง ค่าความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ 5% ของน้ำหนักแป้งแห้ง และ ค่า pH ระหว่าง 9.5-11.5 จากการทดลอง พบว่าสภาวะที่ให้ค่าระดับการแทนที่และผลได้ที่สูงที่สุด คืออุณหภูมิ 49.3 °C เวลา 4.95 ชั่วโมง pH 11.42 ปริมาณการแทนที่สูงสุดเท่ากับ 0.109 คิดเป็นค่าผลได้สูงสุดเท่ากับ 71.34% จากนั้นนำแป้งดัดแปรที่เตรียมได้นี้ไปทดสอบด้วยการเคลือบกระดาษ ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และทำการเจลาติไนซ์แป้งด้วยเบสขณะทำปฏิกิริยาไฮยาโนเอทิลเลชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และสิ่งทอ

คำสำคัญ : ไชยาโนเอทิลสตาร์ช, คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช, ไชยาโนเอทิลเลชัน, กระบวนการพื้นผิวผลตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title: Optimization of Cyanoethyl Starch Production and Carboxyethyl Starch Synthesis

Student Intern Name: Miss Kanchana Kittisiam

Faculty: Engineering

Department: Chemical Engineering

Advisor Name: Asst.prof.dr.Teeraporn Suteewong

Mentor Name: Mr. Pitipong Wanakhachornkrai

Company: Siam Modified Starch Co.,Ltd

ABSTRACT

Cyanoethyl starch and carboxyethyl starch are being used in variety fields. For example, cyanoethyl starch has its application in paper adhesives industries and paints while carboxyethyl starch is one of the essential materials for construction and textile industry. These starches can be produced via cyanoethylation of starch using acrylonitrile in the presence of basic catalyst. In this thesis, the optimization of the cyanoethyl starch production conditions was evaluated using Response Surface Methodology (RSM) by Box-Behnken method with three factors; temperature, duration of reaction and pH. The response, degree of substitution (DS) was calculated in order to find the relationship between three factors then the optimum values are estimated using contour graph of the models generated by Design Expert program. The conditions being studied are as follows: temperature of reaction between 30 to 50 °C, duration of reaction from 3-7 hours, pH of 9.5-11.5 and acrylonitrile concentration of 5% on dry starch basis. The optimum conditions were 49.3 °C, 4.95 hours, pH of 11.42 which gave out DS of 0.109 and 71.34% yield. Cyanoethyl starch was applied for paper sizing application and tested for antimicrobial property. Besides, carboxyethyl starch synthesized by gelatinizing tapioca starch with strong alkaline solution before reacting with acrylonitrile to obtain water soluble starch ethers.

Keywords : Cyanoethyl starch, Carboxyethyl starch, Cyanoethylation, Response Surface Methodology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สยาม มอติฟายด์ สตาร์ช ที่เอื้ออำนวยข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัย พร้อมทั้งสนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงขอขอบคุณ นายปิติพงษ์ วัฒนจรไกร ผู้นิเทศงาน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย ติดตามความก้าวหน้าในการวิจัย และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตรวจสอบความถูกต้องของงานวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านเนื้อหาเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณ บริษัท พีทีที อาซาฮี เคมิคอล จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสนับสนุนสารอะคริโนไนไตรล์ ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนรวมในการวิจัยทุกท่าน ที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่ได้สละเวลาในการให้คำปรึกษาและให้ความร่วมมือในด้านต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้ จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษา ผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแปดแปดต่อไป

นางสาว กาญจนา กิตติสยาม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช	20
3.2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชัน	23
3.3 การทดสอบสมบัติของไซยาโนเอทิลสตาร์ช	24
3.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช	24

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	27
4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	27
4.2 การวิเคราะห์บราเวนเดอร์โปรไฟล์ของแป้ง.....	28
4.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	28
4.4 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบพื้นผิวผลตอบ ด้วยวิธี Box-Behnken.....	30
4.5 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง.....	32
4.6 การหาพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา	33
4.7 การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ	35
4.8 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์	36
4.9 การสังเคราะห์คาร์บอนซีโอทิลสตาร์ช	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปผลการวิจัย	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม.....	40
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก.....	43
ภาคผนวก ข.....	48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองจากการประมวลผลด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ	20
4.1 ระดับการแทนที่จากการทดลองตามการประมวลผลด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ.....	30
4.2 การเปรียบเทียบค่าระดับการแทนที่ที่ทำนายได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการทดลอง	32
4.3 การแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไฮยาโนเอทิลสตาร์ชที่มี DS เท่ากับ 0.1	32
4.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ	35
4.5 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราในตัวอย่างแป้ง.....	36
4.6 เปอร์เซ็นต์และระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิลของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช ในสภาวะที่เป็นเม็ด	37
4.7 เปอร์เซ็นต์และระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิลของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช ในสภาวะที่เกิดเจลลาติไนเซชัน	37

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเม็ดแป้งของพืชชนิดต่าง ๆ.....	3
2.2 โครงสร้างของอะมิโลส.....	4
2.3 โครงสร้างของอะมิโลเพ็คติน.....	4
2.4 โครงสร้างของอะมิโลเพ็คติน.....	5
2.5 บราเวนเดอร์โปรไฟล์ของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	6
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง.....	7
2.7 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งเมื่อเกิดเจลาตินในเซชัน.....	8
2.8 การเปลี่ยนแปลงของแป้งเมื่อได้รับความร้อน ลดอุณหภูมิ และจัดเก็บ.....	9
2.9 ตำแหน่งของคาร์บอนในโมเลกุลแป้ง.....	10
2.10 การแทนที่ด้วย Nucleophilic.....	11
2.11 การทดสอบความแข็งแรงของผิวกระดาษแบบแห้งซีฟี่.....	12
2.12 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะเล.....	13
2.13 กราฟความสัมพันธ์ของผลได้กับเวลาและอุณหภูมิที่ได้จากการใช้วิธี RSM.....	14
2.14 การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken.....	15
2.15 อุปกรณ์การวิเคราะห์ด้วยวิธี Dumas.....	15
2.16 การนับจำนวนโคโลนี.....	16
4.1 ผลการวิเคราะห์ไฮยาโนเอทิลสตาร์ชด้วยเทคนิค FTIR.....	27
4.2 บราเวนเดอร์โปรไฟล์ของแป้งมันสำปะหลังและไฮยาโนเอทิลสตาร์ช.....	28

4.3 ลักษณะเม็ดยาโนเอทิลสตาร์ชที่ผ่านการต้มจนสุก	29
4.4 ลักษณะเม็ดยาแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มจนสุก	29
4.5 ลักษณะเม็ดยาคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่ผ่านการต้มจนสุก	29
4.6 แบบจำลองสามมิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะในการทดลองกับผลตอบ	31
4.7 กราฟคอนทัวร์จากแบบจำลองสามมิติ	31
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์กับเวลา	34
4.9 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 9.5	34
4.10 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 10.5	35
4.11 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 11.5	35



บทที่ 1

บทนำ

แปงัดดแปรเป็นแปงที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีสมบัติที่ดีกว่าแปงมันสำปะหลัง อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอื่น ๆ เนื่องจากมีการแข่งขันของตลาด ทำให้ต้องมีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อยู่ตลอดเวลา และหนึ่งในการใช้งานของแปงัดดแปรที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งคือการใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยไซยาโนเอทิลสตาร์ชเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ดี และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการสังเคราะห์ไซยาโนเอทิลสตาร์ช ก็มีสมบัติที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และสิ่งทอ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากแปงัดดแปรชนิด ไซยาโนเอทิล มีสมบัติซึ่งตอบสนองต่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้มีการสังเคราะห์แปงัดดแปรชนิดดังกล่าวอย่างแพร่หลาย และเนื่องจากสารตั้งต้น คือ อะครีโลไนไตรล์ มีความอันตรายและมีราคาสูง ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับการปรับค่าตัวแปรสถานะต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ไซยาโนเอทิลสูงสุด และให้ผลได้สูงสุด ซึ่งส่งผลต่อการลดปริมาณต้นทุนในการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ชด้วยปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชันเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์แปงัดดแปร และศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สภาวะที่ใช้ในการทำวิจัย คือ

1.3.1 อุณหภูมิ ระหว่าง 30-50 °C

1.3.2 เวลาในการทำปฏิกิริยา ระหว่าง 3-7 ชั่วโมง

1.3.3 ค่า pH ระหว่าง 9.5-11.5

1.3.4 ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ 5% โดยน้ำหนักของแป้งแห้ง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ใช้วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM) ด้วยวิธี Box-Behnken โดยใช้โปรแกรม Design Expert ในการวิเคราะห์ผล เมื่อกำหนดตัวแปรต้นคือ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ค่า pH และความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ และกำหนดระดับของตัวแปรเป็น 3 ระดับ โปรแกรมจะคำนวณจำนวนการทดลองทั้งหมด และค่าสภาวะที่ใช้ในแต่ละการทดลองไว้ เมื่อทำการทดลองตามที่โปรแกรมกำหนด จึงนำแป้งที่ได้ไปคำนวณหาค่าตัวตอบสนอง (Responses) ในที่นี้คือระดับการแทนที่ และค่าผลได้ ซึ่งคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในแป้งตัดแปรจากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธี Dumas และป้อนค่าที่คำนวณได้ลงในโปรแกรม โปรแกรมจะทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรและค่าตัวตอบสนอง สร้างเป็นแบบจำลองขึ้น จากนั้นจะสร้างเป็นกราฟคอนทัวร์ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช รวมถึงปรับปรุงสมการความสัมพันธ์ได้จากการตัดตัวแปรต่างๆ โดยใช้ค่าทางสถิติ เพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากที่สุดและทดลองสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชจากกระบวนการไซยาโนเอทิลเลชันทั้งในสภาวะที่เป็นเม็ดและสภาวะที่เกิดเจลลาตินในเข้ช้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งปรับปรุงการสังเคราะห์ และศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมทางสถิติโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบเพื่อให้ได้ปริมาณระดับการแทนที่สูงที่สุด ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการผลิต และลดปริมาณการใช้อะคริโลไนไตรล์ที่มีความอันตรายลง และสามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์สู่ท้องตลาดเมื่อผ่านการทดสอบสมบัติในการใช้งานเชิงอุตสาหกรรมของแป้ง เช่น การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยแป้ง และการทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแป้ง

บทที่ 2

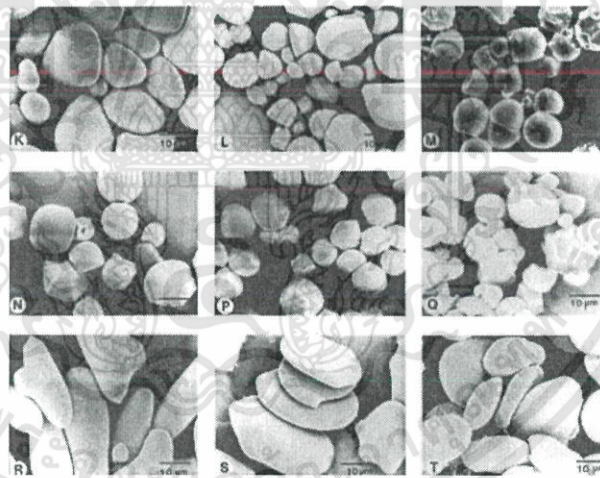
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แป้งและสมบัติของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งที่ได้จากพืชมีความแตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ แต่แป้งที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวสาลี

แป้งที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมจะหมายถึง แป้งสตาร์ช (Starch) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ ในปริมาณที่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นอยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) สำหรับแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย มีการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ทำให้สามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้เกือบทั้งหมด จึงจัดเป็นแป้งสตาร์ช ซึ่งคำว่าแป้งที่จะกล่าวถึงทั้งหมดต่อไปนี้จะหมายถึงแป้งสตาร์ช



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเม็ดแป้งของพืชชนิดต่าง ๆ ภายใต้เทคนิค Scanning electron micrographs (SEM) ที่กำลังขยาย 1500X โดย K คือ paper white narcissius; L คือ tapioca; M คือ yucca; N คือ water chestnut; P คือ sweet potato; Q คือ jicama หรือ Mexican potato; R คือ diffenbachia; S คือ shoti; T คือ ginger
(Jay-lin Jane et al, 1994: 122)

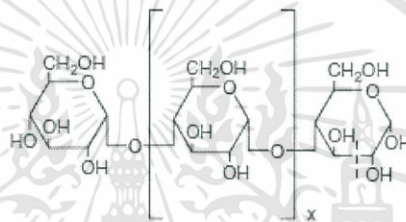
i. องค์ประกอบของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose units) เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ

พอลิเมอร์เชิงเส้นเรียกว่าอะมิโลส (Amylose) และ พอลิเมอร์เชิงกิ่งหรืออะมิโลเพ็คติน (Amylopectin)

- อะมิโลส (Amylose)

อะมิโลส เป็นพอลิเมอร์ของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันไปตามแหล่งของแป้ง โดยสามารถมีปริมาณหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสตั้งแต่ 200 ถึง 2,000 หน่วย ที่ตำแหน่งปลายสายของพอลิเมอร์จะเป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นหมู่รีดิวซ์ สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินเข้ม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลสในแป้งได้

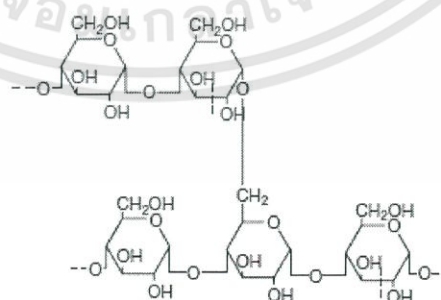


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะมิโลส

(James BeMiller and Roy Whistler, 2009: 151)

- อะมิโลเพ็คติน (Amylopectin)

อะมิโลเพ็คตินเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic และ α -(1,6)-glycosidic ในแต่ละสายเส้นพอลิเมอร์จะมีปริมาณหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสตั้งแต่ 20 ถึง 30 หน่วย โดยส่วนมาก อะมิโลเพ็คตินจะมีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลส และไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับไอโอดีน



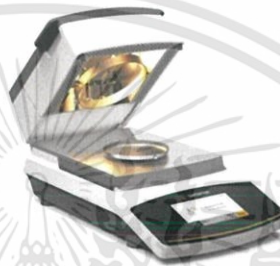
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะมิโลเพ็คติน

(James BeMiller and Roy Whistler, 2009: 151)

- สารประกอบอื่น ๆ

- ความชื้น

ความชื้นในแป้งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในแต่ละพื้นที่ที่ใช้ในการจัดเก็บแป้ง โดยทั่วไปแล้ว แป้งมันสำปะหลังจะมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 10-20% ความชื้นในแป้ง สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Moisture analyzer ซึ่งใช้หลักการ Thermogravimetry เริ่มจากชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น ให้ความร้อนจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่หายไปคือปริมาณความชื้นในแป้ง



ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดความชื้น
(Sartorius Moisture Meter MA, 2018)

- ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1% ชนิดของไขมันจะส่งผลต่อสมบัติของแป้ง เช่น ความหนืด

- โปรตีน

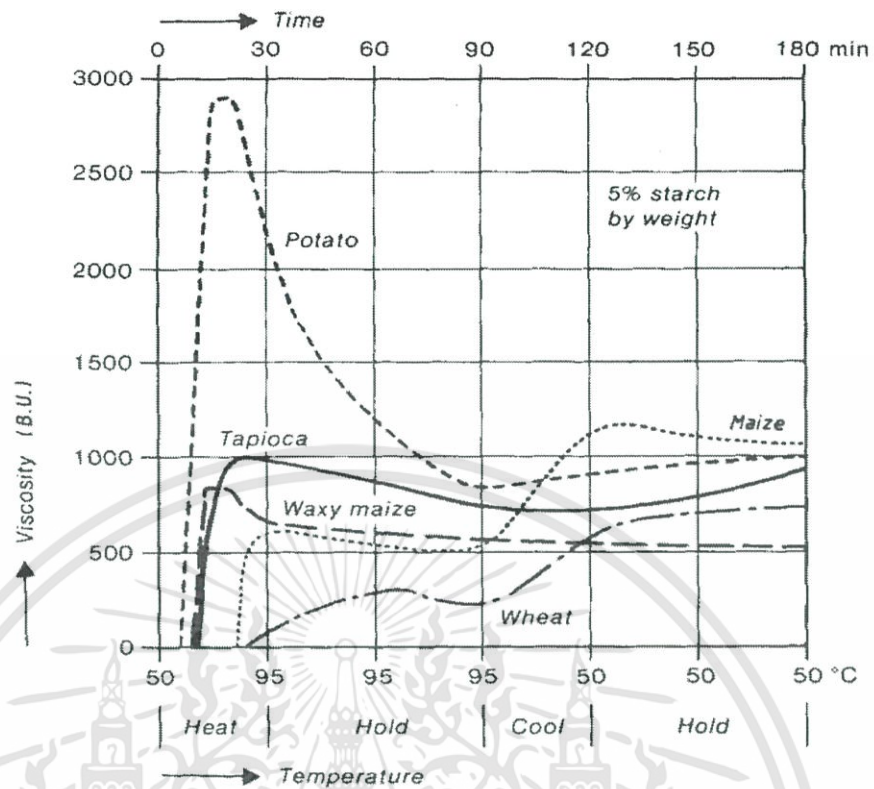
มีปริมาณต่ำกว่า 1% ส่งผลต่อการกระจายตัวของเม็ดแป้ง มีผลต่อการดูดซับน้ำ การพองตัว และการเกิดเจล

- ฟอสฟอรัส

มีปริมาณน้อยกว่า 0.1% ปริมาณฟอสฟอรัสมีผลทำให้แป้งพองตัวง่าย และมีความหนืดสูง

ii. ความหนืด

แป้งแต่ละชนิดจะมีความหนืดที่แตกต่างกัน จากภาพที่ 2.5 ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนหรือมีการกวนอย่างสม่ำเสมอ จากอุณหภูมิ 50 °C ไปจนถึง 95 °C และคงที่ที่ 95 °C เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิเป็น 50 °C อีกครั้ง จะพบว่าแป้งแต่ละชนิดจะแสดงลักษณะ (Profile) ความหนืดแตกต่างกัน

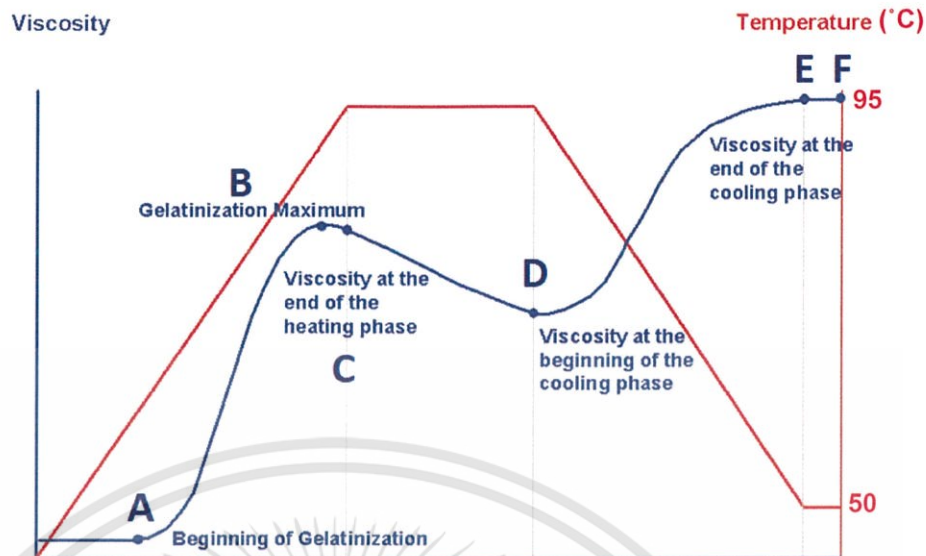


ภาพที่ 2.5 บราเบนเดอร์โปรไฟล์ของแป้งชนิดต่าง ๆ

(J. J. M. Swinkels, 1985: 4)

- วิธีการวัดความหนืด

การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brabender Amylograph เป็นวิธีที่แพร่หลาย หลักการทำงานคือวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้หน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) และสามารถเปลี่ยนเป็นเซนติพอยส์ ได้โดยการเทียบความหนืดของสารละลายแป้งสุก 5% โดย 500 BU จะมีค่าเท่ากับ 2,700 เซนติพอยส์ (กล้าณรงค์, 2543)



ภาพที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง
(C.W. Brabender® Instruments, Inc)

จุด A แสดงความหนืดเริ่มเกิดเจลาติไนซ์

จุด B แสดงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

จุด C แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 °C ซึ่งให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม

จุด D แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 °C แสดงถึงความคงตัวของเม็ดแป้ง

จุด E แสดงความหนืดเริ่มต้นของอุณหภูมิ 50 °C แสดงถึงการเกิดรีโทรเกรดชันจากการทำให้เย็น

จุด F แสดงถึงความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 50 °C ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้มและทิ้งให้เย็นแล้ว

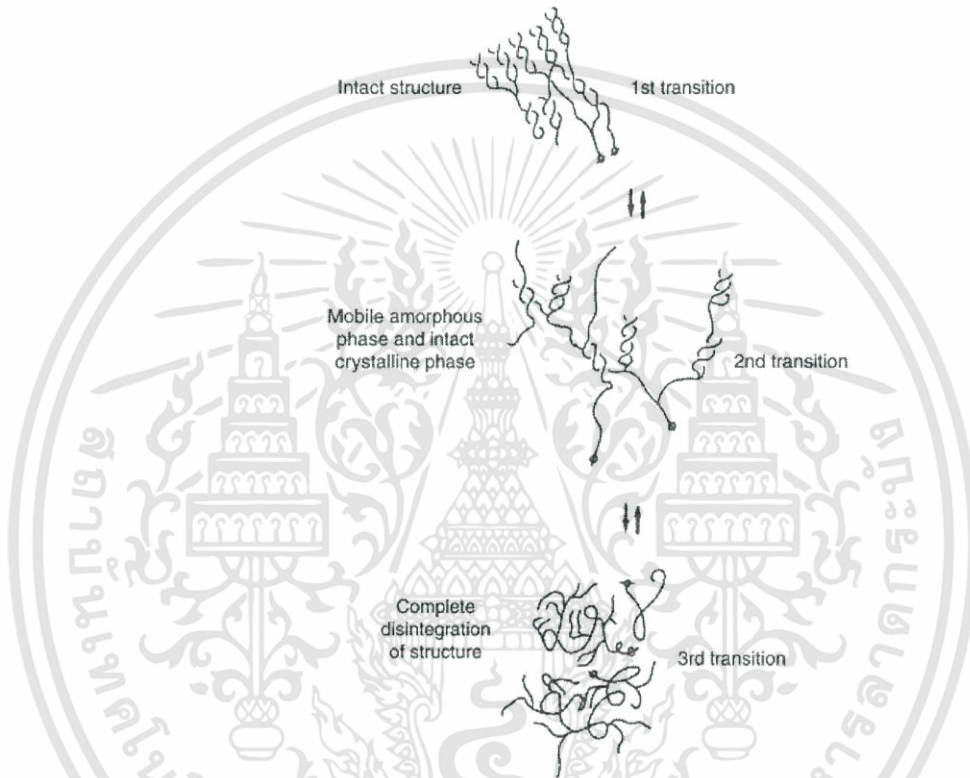
- การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของโครงสร้างไมเซลล์ (Micelles) ทำให้ละลายน้ำเย็นได้ยาก แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้ของน้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ณ อุณหภูมิที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว จะเรียกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ

- ระยะแรก เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด

- ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์จะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ซึ่งเรียกว่าการเกิดเจลลาติไนเซชัน ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

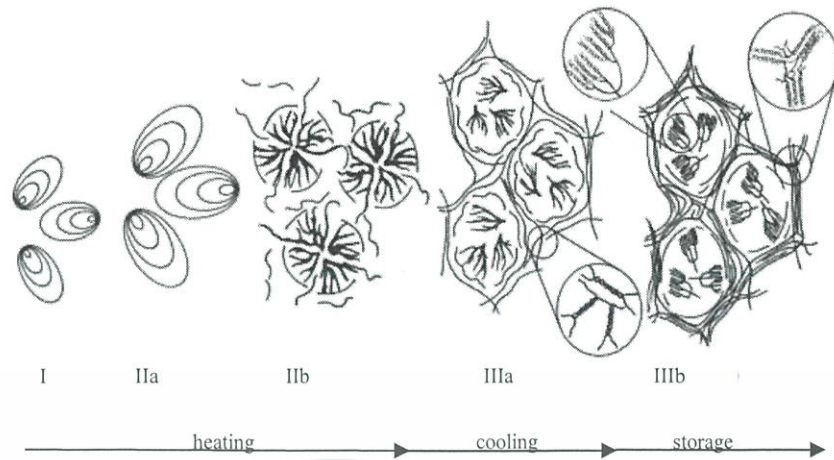
- ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งถูกย่อยได้ดีกว่า



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งเมื่อเกิดเจลลาติไนเซชัน (Wajira S. Ratnayake and David S. Jackson, 2008: 249.)

- การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

แป้งที่ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสจะเกิดการเรียงตัวขึ้นใหม่ เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง โครงสร้างจะเรียงตัวกันแน่นมากขึ้น ทำให้น้ำถูกบีบออกมาจนเจล เรียกว่า Syneresis ส่งผลให้เจลมีสีขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของแป้งเมื่อได้รับความร้อน ลดอุณหภูมิ และจัดเก็บ

(I) เม็ดแป้งมันสำปะหลัง; (II) การเกิดเจลลิตินเซชัน, ร่วมกับ การบวมของเม็ดแป้ง [a] และการหลุดออกของอะมิโลสและการแตกของเม็ดแป้ง [b], การเกิดน้ำแป้งข้น (Starch paste); (III) การเกิดรีโทรเกรเดชัน: การรวมตัวของสายโซ่อะมิโลสเมื่อทำการลดอุณหภูมิ (เจลเลชัน หรือ อะมิโลส รีโทรเกรเดชัน) [a] การรวมตัวของโครงสร้างอะมิโลเพคตินเมื่อระหว่างการจัดเก็บ (อะมิโลแพคติน รีโทรเกรเดชัน) [b]

(Shujun Wang et al, 2015:571)

2.1.2 แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปรผลิตขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง ทั้งสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี เพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ในการดัดแปรแป้ง สามารถทำได้โดยการตัดโมเลกุลของแป้ง จัดเรียงโมเลกุลใหม่ การทำออกซิเดชัน รวมทั้งการแทนที่หมู่แทนที่เข้าไปในโมเลกุลของแป้ง

- i. ประเภทของแป้งดัดแปรแป้งออกเป็นประเภทใหญ่ 3 ประเภท คือ แป้งดัดแปรเชิงกล แป้งดัดแปรเชิงเคมี และแป้งดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยแป้งดัดแปรแต่ละชนิดมีกระบวนการสังเคราะห์และสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

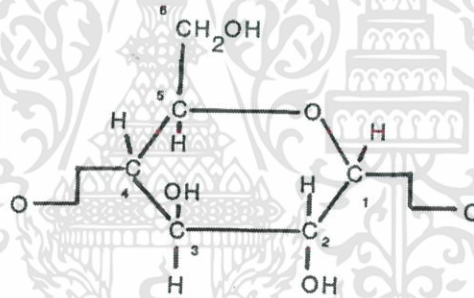
- แป้งดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมี

พบมากในการใช้ในแวดวงอุตสาหกรรม ผลิตจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้ง โดยการใช้สารเคมี เช่น การตัดสายโซ่ของแป้ง การแทนที่โมเลกุลไฮดรอกซิลด้วยหมู่แทนที่ และการครอสลิงค์โมเลกุลในแป้ง ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปร ได้แก่ ไฮดรอกซีโพลิสตาร์ช สตาร์ชครอสลิงค์ และ สตาร์ชแอซิเตด

- แป้งตัดแปรทางกายภาพ
ได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของแป้งโดยการใช้พลังงานความร้อน ทำให้แตกหรือเล็กลงด้วยกระบวนการทางกล หรือ การปรับสภาพด้วยแอลกอฮอล์และต่าง เช่น แป้งพรีเจลาตีไนซ์
- แป้งตัดแปรด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ
ใช้หลักการเดียวกันกับการตัดแปรด้วยการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพ็คตินในแป้ง เช่น แป้งที่มีอะมิโลสสูง และ Waxy starch ซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ หรือการตัดแปรแป้งโดยใช้เอนไซม์เพื่อตัดสายโซ่ของแป้ง เช่น แอลฟาอะมิเลส

ii. คำศัพท์เชิงเทคนิคเกี่ยวกับแป้งตัดแปร

- ตำแหน่งของคาร์บอน (Carbon position: C-) ในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส
คาร์บอนตำแหน่งแรกจะอยู่ที่บริเวณที่เป็นโครงสร้างแบบเฮมิอะเซทัล และตัวสุดท้ายจะเป็นตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ ดังภาพ



ภาพที่ 2.9 ตำแหน่งของคาร์บอนในโมเลกุลแป้ง
(Wurzburg, 1987)

- การแทนที่ (Percent Substitution)
จำนวนการแทนที่ของหมู่ฟังก์ชันที่คำนวณจากการปริมาณมวลของหมู่แทนที่ส่วนด้วยมวลของแป้งแห้ง
- ระดับการแทนที่ (Degree of Substitution: DS)
จำนวนการแทนที่เฉลี่ยของหมู่แทนที่ต่อหนึ่งหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส และเนื่องจากหมู่แทนที่จะเข้าไปแทนที่ที่ตำแหน่งไฮดรอกซิลในแอนไฮโดรกลูโคส และหนึ่งหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 ตำแหน่ง ดังนั้นระดับการแทนที่สูงสุดที่เป็นไปได้คือ 3 โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

หมายเหตุ: St-OH คือ โมเลกุลของแป้ง การแสดงเพียงแค่มุมไฮดรอกซิลในแป้งเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากการกระบวนการแทนที่คือการทำหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแป้งถูกแทนที่ด้วยหมู่แทนที่

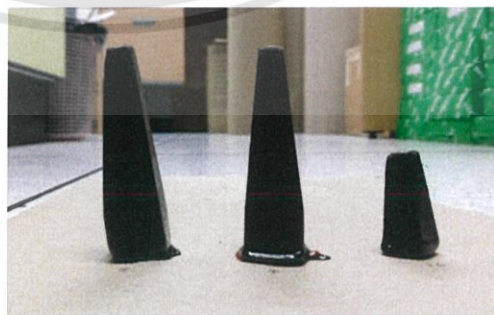
2.1.5 แป้งดัดแปรในอุตสาหกรรมกระดาษ

แป้งเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตกระดาษ โดยแป้งจะถูกใช้เป็นสารก่อการจับกลุ่ม (Flocculants) สารช่วยเพิ่มสมบัติการอุ้มน้ำ (Retention aid) สารเชื่อมประสาน (Bonding Agent) สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว (Surface sizing agent) สารยึดเกาะสำหรับการเคลือบกระดาษ (Binder) และใช้แทนกาวในการผลิตกระดาษลูกฟูก แป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ มีทั้งแป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปร แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งดัดแปร ทำให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น แป้งออกซิไดซ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของแป้งมันสำปะหลังและไฮโปคลอไรท์ ทำให้แป้งมีความเหนียวหลายตามความต้องการและมีราคาถูก การดัดแปรแป้งให้มีประจุบวก โดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในแป้งด้วยหมู่เอมีน ทำให้แป้งสามารถยึดติดกับกระดาษได้มากขึ้น เนื่องจากพื้นผิวของกระดาษเป็นประจุลบ และการดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันทำให้แป้งมีสมบัติการกักน้ำเนื่องจากโมเลกุลของเอสเทอร์ไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้

i. การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ

- การทดสอบความแข็งแรงของผิวกระดาษแบบแท่งขี้ผึ้ง (Wax pick test)

การทดสอบความแข็งแรงของผิวกระดาษ ใช้แท่งขี้ผึ้งที่มีความสามารถในการยึดติด (Adhesive power) แตกต่างกันไป โดยความสามารถในการยึดติดของขี้ผึ้งจะอยู่ในรูปของหมายเลขตั้งแต่ 2-26 โดยความสามารถในการยึดติดจะเพิ่มขึ้นตามหมายเลข ในการทดสอบแท่งขี้ผึ้งจะถูกกลนไฟจนหลอมแล้วนำไปติดลงบนแผ่นกระดาษก่อนทำการดึงออก และทดสอบตามค่าตัวเลขจนกว่ากระดาษจะขาดติดไปกับขี้ผึ้ง ค่าความแข็งแรงของผิวกระดาษคือหมายเลขสูงสุดที่ไม่ทำให้กระดาษขาด (TAPPI, 2013)



ภาพที่ 2.11 การทดสอบความแข็งแรงของผิวกระดาษแบบแท่งขี้ผึ้ง

- การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength test)
ความสามารถในการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ หาได้จากการนำกระดาษไปรับแรงดันด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระดาษยืดออกและขาดจากกัน ค่าความต้านทานแรงดันทะลุคือค่าความดันสูงสุดก่อนที่กระดาษจะขาดออก มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (TAPPI, 2015)



ภาพที่ 2.12 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

2.1.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง เป็นการประยุกต์ใช้สถิติขั้นสูงเพื่อช่วยในการประมวลผลการทดลอง และออกแบบการทดลองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการลองผิดลองถูกซ้ำหรือใช้การปรับค่าตัวแปรทีละตัว แต่จะใช้การคำนวณทางสถิติเพื่อออกแบบจำนวนครั้งการทดลอง เพื่อให้ครอบคลุมกับสภาวะที่สนใจ อีกทั้งยังสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนด โดยการออกแบบการทดลอง สามารถกระทำได้นี้

- นิยามปัญหา
- เลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย
- เลือกตัวแปรทดลอง
- เลือกแบบการทดลอง
- ดำเนินการทดลอง
- วิเคราะห์ข้อมูล
- สรุปผลการทดลอง

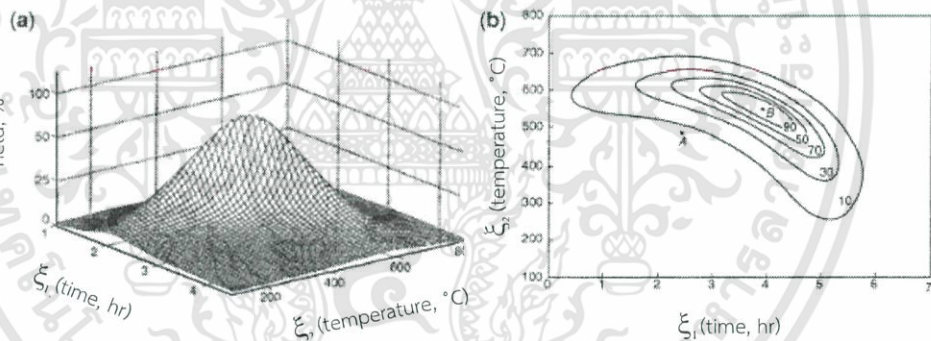
i. วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM)

เป็นวิธีที่ประยุกต์ใช้ข้อมูลทางสถิติและคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน โดยจะกำหนดให้ผลตอบสนอง (Response: Y) เป็นผลมาจากหลายปัจจัย (Factors: X_i) และสมมติให้อยู่ในรูปของสมการ

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i) + \varepsilon$$

เมื่อ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ Y ที่เป็นผลมาจากการทดลองเมื่อกำหนดให้

$E(Y) = f(X_1, X_2, \dots, X_i) = \eta$ ซึ่งเป็นสมการของพื้นผิวผลตอบ โดย η จะถูกนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์โครงร่าง (Contour plot) กับระดับของแต่ละตัวแปร X เพื่อให้เห็นระดับพื้นผิวและผลตอบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้ มาจากการที่ผู้ทดลองได้กำหนดตัวแปรที่เหมาะสมปริมาณหนึ่ง จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาค่าของผลตอบที่ได้ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรกับผลตอบ โดยความสัมพันธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปเชิงเส้น หรือแบบกำลังสองหากมีเส้นโค้งอยู่ในระบบ เมื่อทำการวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมกับแบบจำลองแล้ว ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จะถูกแสดงค่านัยสำคัญ เพื่อช่วยให้สามารถตัดตัวแปรที่มีค่านัยสำคัญต่ำออกจากสมการ ทำให้สมการแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น



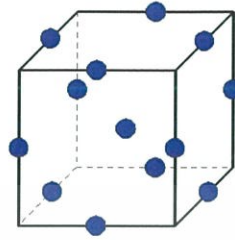
ภาพที่ 2.13 (a) กราฟความสัมพันธ์ของผลได้ (yield) กับ เวลา (ξ_1) และอุณหภูมิ (ξ_2) ที่ได้จากการใช้วิธี RSM (b) กราฟความสัมพันธ์โครงร่างของกราฟที่ได้จาก RSM

(Raymond H. Myers et al, 2009: 2)

- Box-Behnken Design

ใช้หลักการของ 2^2 แฟคทอเรียล ร่วมกับ Incomplete block โดยในแต่ละ block จะแบ่งจำนวนตัวแปรส่วนหนึ่งให้เปลี่ยนแปลงค่าระดับไปตามการออกแบบของ 2^2 แฟคทอเรียล ในขณะที่ตัวแปรที่เหลือจะถูกออกแบบให้อยู่ที่ค่าจุดกึ่งกลาง วิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์ผลตอบสนองทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยแบ่งตัวแปรออกเป็นสามระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ซึ่งจะแทนด้วยจำนวนทาง

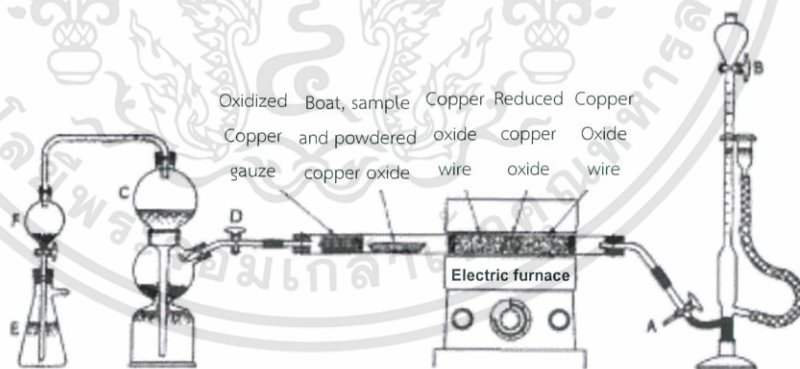
คณิตศาสตร์คือ -1 0 และ +1 ตามลำดับ ผลการคำนวณที่ได้ จะแสดงอยู่ในรูปของแบบจำลองพหุนามตามความเหมาะสมของแบบจำลอง



ภาพที่ 2.14 การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken (NIST/SEMATECH, 2012)

2.1.7 Dumas Method

เทคนิค Dumas Combustion ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง โดยการนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนไปเผาในระบบปิด และมีคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดซ์ ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนโตรเจนเมื่อทำปฏิกิริยากับคอปเปอร์ จากนั้นไนโตรเจนและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จากการเผาไหม้จะถูกเก็บไว้ใน graduated nitrometer ที่มีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50% ทำหน้าที่ดูดซับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ นอกเหนือจากไนโตรเจน ส่วนปริมาตรของไนโตรเจนที่วัดได้ จะถูกนำไปคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนในตัวอย่าง



ภาพที่ 2.15 อุปกรณ์การวิเคราะห์ด้วยวิธี Dumas (Arthur I. Vogel, 1957: 646)

2.1.8 ฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR)

อุปกรณ์หลักของเครื่อง FTIR ประกอบด้วย กระจกสองบานและตัวแยกลำแสง (Beam splitter) ซึ่งแบ่งลำแสงออกเป็นสองส่วน แสงครึ่งหนึ่งจากแหล่งกำเนิดแสงจะสะท้อนไปยังกระจก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

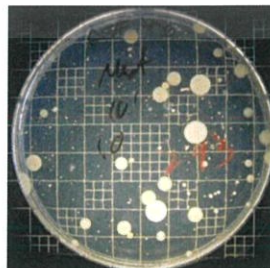
เคลื่อนที่ (Moving mirror) และอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนไปยังกระจกอยู่กับที่ (Stationary mirror) และกลับมายังตัวแยกลำแสง และถูกส่งไปยังตัวตรวจวัด (Detector) ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดแอมพลิจูดของคลื่นออกมาในรูปของ Interferogram และถูกเปลี่ยนรูปด้วยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ให้อยู่ในรูปของความถี่ของคลื่น ความถี่ที่ได้ จะถูกนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ โดยการเทียบกับความถี่ของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ตามมาตรฐาน

2.1.8 เทคนิคจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopy)

ใช้แสงไฟฟ้าให้กำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 540 nm โดยลำแสงจะถูกรวบรวมไปยัง condenser lens ไปตกที่ตัวอย่างบน stage และ objective lens จะรับแสงที่ผ่านออกจากตัวอย่างขยายออกเป็นภาพส่งไปยัง ocular lens เพื่อขยายภาพสุดท้ายขนาดใหญ่ไปตกบนจอ กำลังขยายของชิ้นเนื้อหาได้จากผลคูณของความสามารถของกำลังขยายของ objective lens และ ocular lens (eyepiece) โดยทั่วไป limit of resolution ของกล้องชนิดนี้มีค่าประมาณ 0.2 μm และมีกำลังขยายประมาณ 2,000 เท่า การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ตัวอย่างควรมีความบางพอที่จะให้ลำแสงผ่านทะลุได้ เนื่องจากแสงบางส่วนจะถูกดูดซับโดยองค์ประกอบที่ต่างกันของตัวอย่างส่งผลให้เกิดความแตกต่าง contrast ของการดูดซับแสง จึงเห็นลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างนั้น ซึ่งการย้อมสีช่วยในการเพิ่ม contrast มากขึ้น (ออร์พินท์ เต็มวิชชากร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)

2.1.10 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

วิธีนี้จะใช้การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เจริญขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อโดยอาศัยหลักการที่ว่า จุลินทรีย์จะเจริญแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนจนเห็นเป็นโคโลนี แล้วจึงตรวจนับจำนวนโคโลนี หลังจากการบ่มที่อุณหภูมิเหมาะสม ในการนับจำนวนโคโลนีอาจใช้เครื่องบันทึกที่เรียกว่า Colony counter จากนั้นเมื่อทราบจำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่นับได้ปริมาณจุลินทรีย์จะถูกนำไปคำนวณอยู่ในรูปของ Colony forming unit (CFU) โดยจะถูกแสดงผลในรูปของ CFU/g หรือ CFU/ml



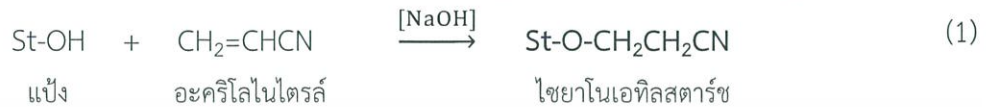
ภาพที่ 2.16 การนับจำนวนโคโลนี

(อภิขญา ทองทับ, 2013:29)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.Hebbeish และ M.I.Khalil (Starch, 1988: 104-107) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชันโดยใช้อะคริโลไนไตรล์กับแป้งข้าว และทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นเบส จากรายงานวิจัยดังกล่าว พบว่ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั้งหมด 6 ปฏิกิริยา ดังนี้



โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชันคือ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 °C ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เกิน 4 ชั่วโมง อัตราส่วนแป้งต่ออะคริโลไนไตรล์เท่ากับ 1:1 และอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเป็น 1:7.5 ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่ได้มีระดับการแทนที่เท่ากับ 1.2 และมีค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเท่ากับ 40%

A.Hebbeish และ I.ABD El-Thalouth และ M.A. El-Kashouti (App.Pol.Sci, 1981: 171-176) วิเคราะห์ระดับการแทนที่โดยหาปริมาณไนโตรเจนในแป้งดัดแปรด้วยวิธีของ Dumas และได้กล่าวว่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 °C จนถึง 50 °C และลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 60 °C เนื่องจากหมู่ไซยาโนเอทิลถูกไฮโดรไลซ์เป็นหมู่คาร์บอกซีเอทิล ซึ่งเป็นผลจากเบสที่มีในระบบ โดยไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่ได้สามารถ ละลายน้ำ แต่ไม่ละลายในเอทานอล และมีค่าความหนืดแปรผกผันกับปริมาณหมู่ไซยาโนเอทิล

Albert R. Wilson (United States patent, 1959) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่มี DS ต่ำกว่า 1 ในการใช้เป็น stabilizer หรือ protective colloid ในสีสูตรน้ำ (Water-emulsion paints) เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นของสี (Souring) ที่เกิดจากแบคทีเรีย เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากไซยาโนเอทิลสตาร์ช มีสมบัติป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อีกทั้งยังช่วยลดการเติมสารกันเสียในสี จากการศึกษพบว่า DS ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 0.5-0.8 และมีปริมาณ solid ในช่วง 10-15%

Charles L. Mehlretter (United States patent, 1967) รายงานว่าไซยาโนเอทิลสตาร์ช สามารถเกิดการครอสลิงค์ภายในโมเลกุล ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการนำแบ่งไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโปคลอไรท์ในสภาวะที่เป็นต่าง จากการศึกษา พบว่านอกจากการป้องกันการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลแล้ว แบ่งที่ได้จากการออกซิไดซ์จะมีการกระจายตัวในน้ำที่ดี มีลักษณะ paste ที่สูงขึ้น และเกิดตะกอนน้อยกว่าแบ่งที่ไม่ได้ผ่านการออกซิไดซ์ กระบวนการออกซิเดชันสามารถทำได้โดยการปรับค่า pH ของสเลอรีของไซยาโนเอทิลสตาร์ช ให้อยู่ในช่วง 9-9.5 ที่อุณหภูมิ 35-37 °C จากนั้นเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ในสัดส่วน 143 มิลลิลิตร ต่อแบ่ง 1.23 โมล ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และใช้ไทโอซัลเฟตปริมาณเล็กน้อยในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันที่มากเกินไป

C.J. Tijssen H.J. Scherpenkate E.J. Stamhuis และ A.A.C.M. Beenackers (Chemical Engineering Science, 1999: 2765-2772) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการคาร์บอกซีเมทิลเลชันโดยใช้ Response Surface Strategy โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel ผู้วิจัยพบว่าการใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา และสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง และเมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองร่วมกับการศึกษาจลพลศาสตร์ของปฏิกิริยา พบว่าเป็นไปในทางเดียวกัน

Edwin L. (United States patent, 1972) ได้สังเคราะห์ไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่มีระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.06 ด้วยการใช้อะคริโลไนไตรล์ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบส กับแบ่งชนิดต่าง ๆ และใช้ solids content ประมาณ 35.54% ของแบ่งแห้ง มีการใช้เกลือ Na_2SO_4 เพื่อป้องกันการบวมของแบ่ง ปริมาณของอะคริโลไนไตรล์ที่ใช้คือ 3% ของแบ่งแห้ง อุณหภูมิปฏิกิริยาที่ 130 °F ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.064

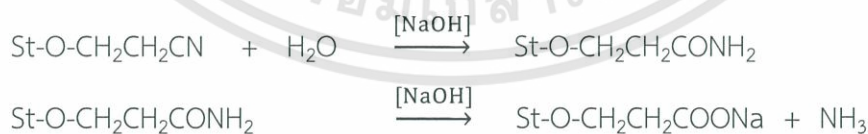
Louis H. Bock Huntingdon Walley และ Alva L.Houk (United States patent, 1943) ได้ทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชจากปฏิกิริยาของแบ่งและอะคริโลไนไตรล์ในสารละลายต่างเข้มข้นตั้งแต่ 1-10% การทำปฏิกิริยาระหว่างแบ่งและอะคริโลไนไตรล์ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชใช้เวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิระหว่าง 0-60 °C โดยจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้น จากการสังเคราะห์โดยใช้แบ่งมันสำปะหลัง 33 ส่วน น้ำ 300 ส่วน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20% ปริมาณ 20 ส่วน และอะคริโลไนไตรล์ 2.6 ส่วน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นปรับ pH เป็น 7.2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่าสารละลายที่ได้มีลักษณะใส ไม่มีสี และมีความหนืดปานกลาง

Magdi Z. Sefain Mohamed H. Fall Nahla A. Elwakil และ Magdi M. Naoum (Polymer International, 1993: 251-255) ศึกษาจลพลศาสตร์ของปฏิกิริยาไฮยาโนเอทิลเลชัน โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของระดับการแทนที่และเวลา พบว่าการใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ค่าคงที่อัตราสูงกว่าการใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งพบว่า การอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าคงที่อัตราเพิ่มขึ้นด้วย

S.L.C. Ferreira และคณะ (Analytica chimica acta, 2007: 179-186) ทำการวิจัยเรื่องการปรับค่าสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Response Surface Methodology โดยทำการเปรียบเทียบรูปแบบของแบบจำลองทั้งหมด 3 รูปแบบคือ Box-Behnken Method (BBM) Doehlert Matrix (DM) และ Central Composite Design (CCD) พบว่าแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงคือแบบ BBM และ DM อีกทั้งยังใช้จำนวนครั้งในการทดลองน้อยกว่าแบบ CCD มากในการวิเคราะห์ผล แต่ข้อดีของแบบจำลองแบบ BBM คือสามารถสร้างแบบจำลองในรูปแบบ Quadratic ทำให้โมเดลมีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์มากขึ้น และยังสามารถจำกัดตัวแปรส่วนที่มีค่าความเชื่อมั่นต่ำกว่าที่ต้องการ โดยการใช้การวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง F test และ t test

V.Kurtis Villwock และ James N. Bemiller (Starch, 2005: 281-290) พบว่าเกลือมีผลช่วยป้องกันการบวมของแป้ง ซึ่งเป็นผลมาจาก Lyotropic effect และ Donan potential จากการศึกษาพบว่า เกลือที่มี Lyotropic effect สูงจะช่วยป้องกันการบวมของเม็ดแป้งได้ดี แต่จะส่งผลให้มี Reaction efficiency น้อย ในทางกลับกัน เกลือที่มี Lyotropic effect ต่ำ ก็จะมีผลในการป้องกันการบวมของแป้งต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบเกลือชนิดต่าง ๆ พบว่า Na_2SO_4 มีผลของ Lyotropic effect ในช่วงปานกลาง และมีค่า Donan potential เล็กน้อย ทำให้มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารยับยั้งการบวมของเม็ดแป้งที่ดี

Zheng Guifu Chinese patent (China patent, 2013) รายงานการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงขึ้น ดังนี้



และได้มีการเติมสารป้องกันการบวมของเม็ดแป้ง ในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้กล่าวว่าควรใช้ Na_2SO_4 หรือ NaCl ที่ความเข้มข้น 18-25% ในน้ำ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น NaOH หรือ KOH หรือ Na_2CO_3 ที่อุณหภูมิ $35\text{-}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3.5-4 ชั่วโมง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช และทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชจากปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชัน รวมถึงศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไซยาโนเอทิลเลชัน และทดสอบสมบัติของแป้งดัดแปรที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรม

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ช ทำโดยออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ แบบ Box-Behnken โดยใช้โปรแกรม Design Expert ในการออกแบบการทดลอง จากการกำหนดตัวแปรต้นทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ เวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ และ pH เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลตอบ หรือ ระดับการแทนที่ (DS) ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองจากการประมวลผลด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ

การทดลอง	สภาวะ		
	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH
1	3	30	10.5
2	7	30	10.5
3	3	50	10.5
4	7	50	10.5
5	3	40	9.5
6	7	40	9.5
7	3	40	11.5
8	7	40	11.5
9	5	30	9.5
10	5	50	9.5
11	5	30	11.5
12	5	50	11.5
13	5	40	10.5
14	5	40	10.5
15	5	40	10.5

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สภาวะที่ใช้ในการทดลองจากการประมวลผลด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ

การทดลอง	สภาวะ		
	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH
16	5	40	10.5
17	5	40	10.5

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฮยาโนเอทิลสตาร์ชแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การสังเคราะห์ไฮยาโนเอทิลสตาร์ช และการหาระดับการแทนที่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาสมการและแบบจำลองความสัมพันธ์ที่เหมาะสม และการปรับค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตอบที่เหมาะสม

3.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ไฮยาโนเอทิลสตาร์ช

i. อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ขนาด 2.5 ลิตร
- บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร
- ไบอวอน
- เครื่องกวน
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- เตอบ
- ตะแกรงร่อน ขนาด 250 ไมโครเมตร
- เครื่องปั่นอาหาร
- ชุดกรองเซรามิกสุญญากาศ
- กระจาดกรอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm
- เครื่องวัด pH และ ค่าความนำไฟฟ้า
- เครื่องวัดความชื้น
- แป้งมันสำปะหลัง
- อะคริโลไนไตรล์
- น้ำจากระบบ Reverse Osmosis (RO)
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5%
- โซเดียมซัลเฟต

ii. วิธีการทดลอง

- วัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียเพื่อนำมาคำนวณสัดส่วนแอมโมเนีย
- ชั่งน้ำหนักแอมโมเนีย 500 กรัม
- เตรียมน้ำปริมาตร 750 มิลลิลิตร
- เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.5%
- เตรียมอะคริโลไนไตรล์
- ตั้งเครื่องปฏิกรณ์แบบกะในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
- ตั้งค่าอุณหภูมิ
- ผสมแอมโมเนียกับน้ำขณะที่เปิดเครื่องกวนผสม
- เติมโซเดียมซัลเฟตลงในสเลอรีและกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
- ค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสเลอรีและกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
- เติมอะคริโลไนไตรล์ และกวนผสมจนครบเวลาที่กำหนด
- เติมกรดไฮโดรคลอริกจนสเลอรีมี pH ประมาณ 7
- กรองสเลอรีด้วยน้ำจนกว่าฟิลเตรทจะมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำที่ใช้ในระบบ
- บดเค้กที่ได้ให้แตกก่อนนำไปเข้าเครื่องทำลมแห้ง
- ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที
- ปั่นแป้งที่แห้งจนกลายเป็นแป้งละเอียด
- ร่อนแป้งด้วยตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร
- หาค่าความเข้มข้นของแป้งตัดแปร

3.1.2 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

i. อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ฟอยล์สำหรับห่อตัวอย่างสาร
- ซ้อนตักสาร
- Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) 0.1 กรัม
- แป้งตัดแปร 0.2 กรัม

ii. วิธีการทดลอง

- ตั้งค่า Blank โดยการตั้งค่าการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในบรรยากาศ

- วิเคราะห์ค่าจนได้ค่าที่ใกล้เคียงค่าไนโตรเจนในบรรยากาศ (ประมาณ 0.04% โดยน้ำหนัก)
- เลือกค่าที่ใกล้เคียงกัน 3 ค่าเพื่อตั้งค่าเป็น blank
- วัดค่า Standard ด้วย EDTA โดยการชั่ง EDTA 0.1 กรัมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง และเจดน้ำหนักที่แน่นอน
- ห่อตัวอย่าง EDTA ด้วยฟอล์ย จากนั้นเผาในช่องเผาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนใน EDTA ($9.5 \pm 0.2\%$)
- ทำซ้ำจนกระทั่งมีค่าไนโตรเจนประมาณ $9.5 \pm 0.2\%$ และมีค่าใกล้เคียงกันครบ 3 ตัวอย่าง
- ตั้งค่าทั้ง 3 ตัวอย่างให้เป็น Drift
- วัดค่าที่เครื่องวิเคราะห์โดยการใช้วัดค่าสารมาตรฐานที่มีค่าปริมาณไนโตรเจนที่แน่นอน โดยการชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 0.2 กรัมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง และเจดน้ำหนักที่แน่นอน
- เมื่อวิเคราะห์แล้วมีค่าใกล้เคียงจึงเริ่มวิเคราะห์ตัวอย่าง หากไม่ได้ให้ทำซ้ำตามวิธีการข้างต้น
- วัดค่าปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ผลโดยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์สารมาตรฐาน โดยการทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อนำค่าที่ได้มาหาเป็นค่าเฉลี่ย

3.1.3 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ

- i. คำนวณระดับการแทนที่ในแป้งตัดแปรจากปริมาณไนโตรเจนในแป้ง
- ii. กรอกข้อมูลระดับการแทนที่ของการทดลองในแต่ละสภาวะ
- iii. สร้างสมการและแบบจำลองด้วยโปรแกรม
- iv. ปรับปรุงสมการด้วยการวิเคราะห์ความสำคัญของแต่ละตัวแปรด้วยค่า F value
- v. เลือกค่าระดับการแทนที่ที่เหมาะสมเพื่อให้โปรแกรมประมวลผลสภาวะที่เหมาะสม
- vi. ทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนดเพื่อสอบความแม่นยำของโปรแกรม

3.2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮยาโนเอทิลเลชัน

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของแป้งตามทฤษฎีแล้วจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่อใช้ pH ในการทดลองสูง เนื่องจากแป้งเป็นกรดอ่อน ค่า pH ที่สูงขึ้นจะช่วยให้แป้งแตกตัวได้มากขึ้นส่งผลให้หมู่แทนที่สามารถเข้ามาแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในแป้งได้มากขึ้น จึงได้ทำการศึกษาเพื่อยืนยันทฤษฎีดังกล่าว โดยทดลองหาอันดับของปฏิกิริยา ด้วยการหาความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิ จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่าง pH และอัตราการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 23 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบสมบัติของไซยาโนเอทิลสตาร์ช

3.3.1 การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ

การใช้ไซยาโนเอทิลสตาร์ชเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผิวกระดาษ จะใช้เปรียบเทียบระหว่างแป้งดัดแปรในอุตสาหกรรมกระดาษ แป้งมันสำปะหลัง และไซยาโนเอทิลสตาร์ช ด้วยวิธี Wax pick และ Burst strength

i. การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

- ย่อยไซยาโนเอทิลสตาร์ชและแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาณ 100 ppm ของแป้ง ที่อุณหภูมิ 85 °C
- วัดค่าความหนืดของแป้งด้วย Brookfield viscometer จนกว่าแป้งจะมีความหนืดเทียบเท่าแป้งตัวอย่าง
- หยุดการทำงานของเอนไซม์ด้วยการปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 4 ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที
- ปรับ pH ให้เป็นกลางก่อนนำไปเคลือบกระดาษ

ii. การวัดความแข็งแรงของกระดาษ

- ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกระดาษ
- เคลือบกระดาษด้วยแป้ง
- เก็บกระดาษไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 1 วัน
- ตัดขอบกระดาษส่วนที่ไม่ถูกเคลือบและชั่งน้ำหนักกระดาษที่แน่นอน
- คำนวณหาค่าแกรมของกระดาษเพื่อใช้เปรียบเทียบปริมาณ Starch pick up

iii. ทดสอบด้วยวิธี Wax pick test

iv. ทดสอบด้วยวิธี Burst strength test

3.3.2 การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

วัดปริมาณเชื้อราในน้ำแป้งต้มสุก โดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลังที่เติมสารกันบูด และไซยาโนเอทิลสตาร์ช เป็นเวลา 1 อาทิตย์ โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้ง

3.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

3.4.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

i. อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ขนาด 8 ลิตร

- บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
 - ไบกวน
 - เครื่องกวน
 - เครื่องชั่งน้ำหนัก
 - เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)
 - เครื่องบด
 - เครื่องวัด pH
 - เครื่องวัดความชื้น
 - แป้งมันสำปะหลัง
 - อะครีโลไนไตรล์
 - น้ำ RO
 - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%
- ii. วิธีการทดลอง
- วัดค่าความชื้นของแป้งเพื่อนำมาคำนวณสัดส่วนแป้งแห้ง
 - ชั่งน้ำหนักแป้งแห้ง 500 กรัม
 - เตรียมน้ำปริมาตร 4500 มิลลิลิตร
 - เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15%
 - เตรียมอะครีโลไนไตรล์ 5% ของแป้งแห้ง
 - ผสมแป้งกับน้ำขณะที่เปิดเครื่องกวนผสม
 - ค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสเลอรีจนกลายเป็นเจล และกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
 - เติมอะครีโลไนไตรล์ และกวนผสมจนครบเวลาที่กำหนด
 - เติมกรดไฮโดรคลอริกจนสเลอรีมี pH ประมาณ 7
 - ทำแห้งสเลอรีด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
 - บดแป้งที่แห้งจนกลายเป็นแป้งละเอียด 250 ไมโครเมตรด้วยเครื่องบด
 - หาค่าความชื้นของแป้งดัดแปร

3.4.2 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณหมู่คาร์บอกซิล (International Starch Institute, Science Park Aarhus, Denmark, 1999)

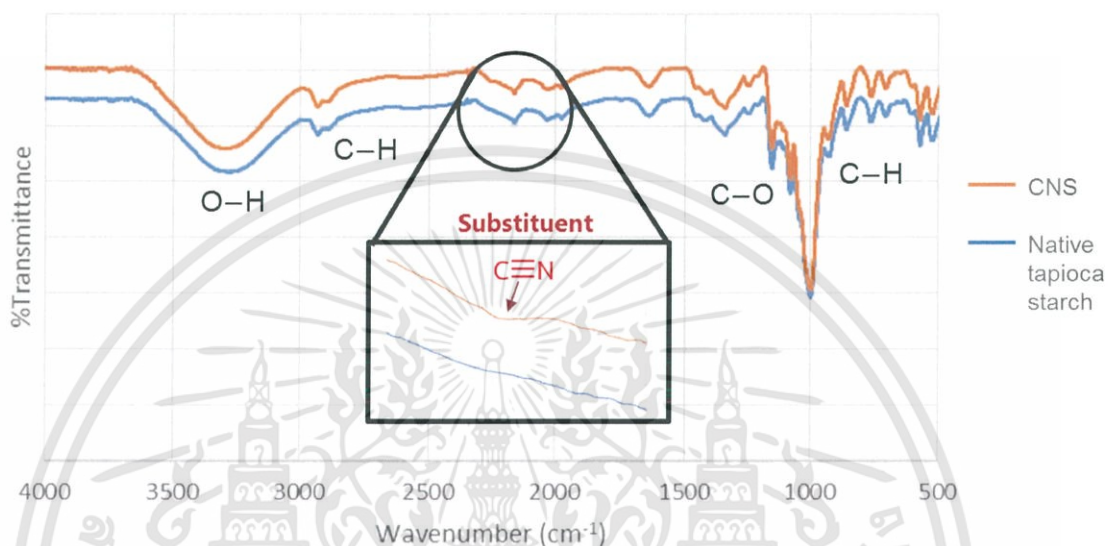
- i. อุปกรณ์และสารเคมี
- แป้งดัดแปร 5 กรัม
 - กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M ในเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M
 - สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1%
 - ฟีนอล์ฟทาลีน
 - น้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI)
 - เอทานอล
- ii. วิธีการทดลอง
- ชั่งแบ่งตัดแปร 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
 - เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
 - กวนด้วยเครื่องกวนระบบแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที
 - กรองสารละลายด้วยสารละลายแอลกอฮอล์จนกว่าฟิลเตรทจะปราศจากคลอไรด์ โดยทดสอบกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1% สารละลายที่มีคลอไรด์จะกลายเป็นสีขาวขุ่น
 - ผสมแค้ที่กรองได้กับน้ำ DI ปริมาตร 300 มิลลิลิตร
 - ต้มสเลอรี่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที
 - เติมฟีนอล์ฟทาลีน
 - ไตรเตรทสเลอรี่ร้อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M
 - คำนวณ %COOH และ DS จากปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

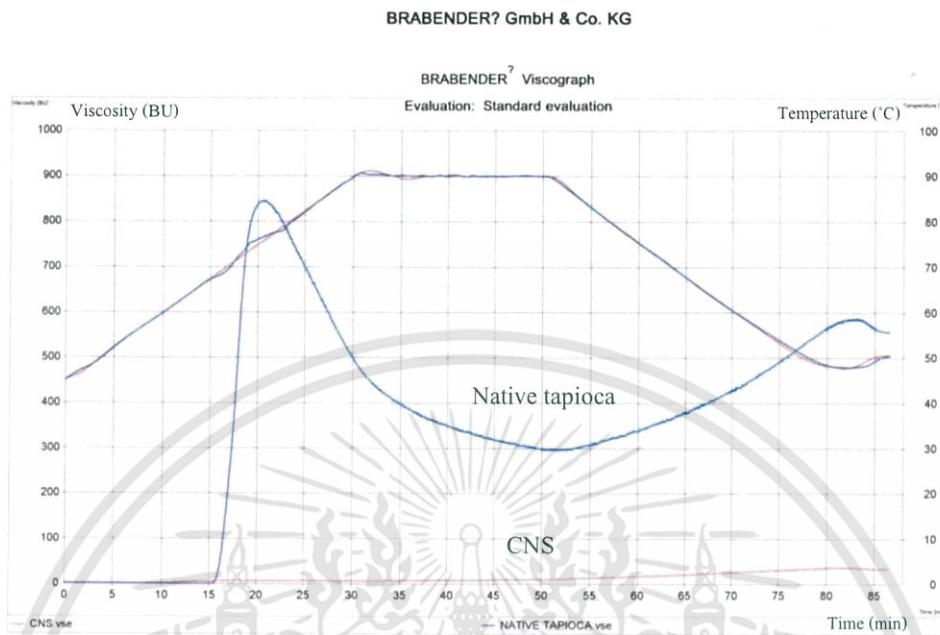
4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของไซยาโนเอทิลสตาร์ช

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบเส้นสเปกตรัมของการสั่นแบบงอ (bending) ของพันธะ C-H ที่ย่านความถี่ $700-800\text{ cm}^{-1}$ การสั่นแบบยืด (stretching) ของพันธะ C-O ที่ $1,100-1,200\text{ cm}^{-1}$ และพบเส้นสเปกตรัมของการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ที่ $2,800-3,000\text{ cm}^{-1}$ อีกทั้งยังพบการสั่นหลักมูลแบบยืดของพันธะ O-H ของแอลกอฮอล์และหมู่คาร์บอกซิลิก ที่ $2,900$ และ $3,300\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ โดยพันธะดังกล่าวคือองค์ประกอบของโมเลกุลของ polysaccharide ซึ่งสามารถพบได้ในแป้งมันสำปะหลัง แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของแป้งไม่ได้ถูกทำลายขณะเกิดปฏิกิริยา อีกทั้งยังพบพีคการสั่นแบบยืดของหมู่ไนไตรล์ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ที่พบในไซยาโนเอทิลสตาร์ช ที่ย่านความถี่ $2,250\text{ cm}^{-1}$ ส่วนความเข้ม (Intensity) ของพีคไนไตรล์ที่มีค่าต่ำแสดงถึงระดับการแทนที่ที่ค่อนข้างต่ำ

4.2 การวิเคราะห์บราเบนเดอร์โพรไฟล์ของแป้ง (Brabender Viscoamylograph)

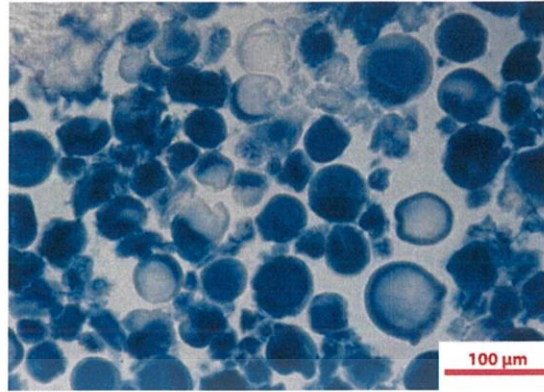


ภาพที่ 4.2 บราเบนเดอร์โพรไฟล์ของแป้งมันสำปะหลังและไซยาโนเอทิลสตาร์ช

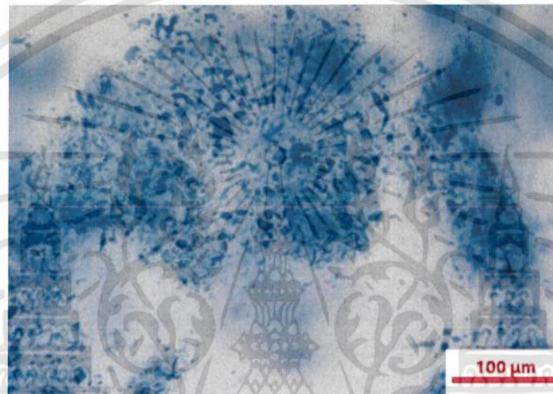
จากบราเบนเดอร์โพรไฟล์ของแป้งที่ปริมาณ Solid เท่ากับ 6% พบว่าแป้งดัดแปรที่ได้มีโพรไฟล์แตกต่างกับแป้งมันสำปะหลังอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ามีการแทนที่ของหมู่แทนที่ในแป้งดัดแปร ในที่นี้คือหมู่ไซยาโนเอทิลโดยปกติแล้ว กระบวนการไซยาโนเอทิลเลชันของแป้ง เป็นปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน ดังนั้นโพรไฟล์ความหนืดของไซยาโนเอทิลสตาร์ชควรจะมึลักษณะเดียวกันกับแป้งอิเทอร์ แต่จากโพรไฟล์ของแป้ง บ่งชี้ว่าไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่สังเคราะห์ได้เป็นแป้งดัดแปรประเภทครอสลิงค์ที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งเกิดจากการครอสลิงค์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งและหมู่ไนไตรล์ (Wurzburg, 1987)

4.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Optical Microscopy

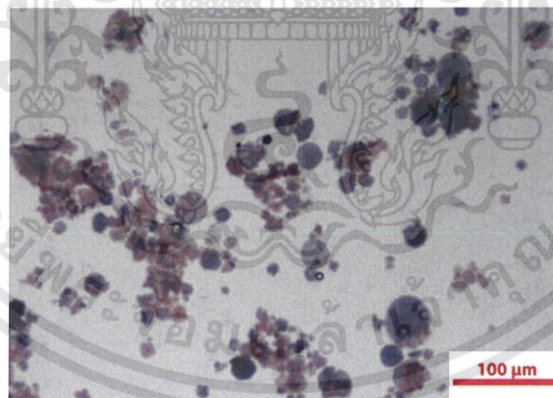
เม็ดไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่ผ่านการต้มจนสุก มีลักษณะแตกต่างกับแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มจนสุก เนื่องจากไซยาโนเอทิลสตาร์ชเกิดการครอสลิงค์ภายในโมเลกุลทำให้แป้งไม่แตกออกเมื่อให้ความร้อน ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังปกติจะแตกออกเมื่อได้รับความร้อน ดังในแสดงในภาพที่ 4.3 ส่วนเม็ดคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชมีการแตกออกเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของหมู่แทนที่และไม่มีมีการครอสลิงค์เกิดขึ้นในโมเลกุลอีกต่อไป ในขณะที่การย้อมติดสีแดงของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของอะมิโลสในแป้งนั้นถูกทำลายจากการใช้เบสแก่ในการทำปฏิกิริยา (Xu, Huang, Visser, & Trindade, 2017) ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.3 ลักษณะเม็ดไฮยาโนเอทิลสตาร์ชที่ผ่านการต้มจนสุก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR



ภาพที่ 4.4 ลักษณะเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มจนสุก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR



ภาพที่ 4.5 ลักษณะเม็ดคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่ผ่านการต้มจนสุก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

4.4 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบพื้นผิวผลตอบ ด้วยวิธี Box-Behnken

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนเพื่อหาค่าระดับการแทนที่ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระดับการแทนที่จากการทดลองตามการประมวลผลด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ

การทดลอง	สภาวะ			ผลตอบ DS
	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH	
1	3	30	10.5	0.029
2	7	30	10.5	0.027
3	3	50	10.5	0.063
4	7	50	10.5	0.095
5	3	40	9.5	0.013
6	7	40	9.5	0.007
7	3	40	11.5	0.035
8	7	40	11.5	0.063
9	5	30	9.5	0.01
10	5	50	9.5	0.015
11	5	30	11.5	0.021
12	5	50	11.5	0.114
13	5	40	10.5	0.017
14	5	40	10.5	0.013
15	5	40	10.5	0.016
16	5	40	10.5	0.017
17	5	40	10.5	0.016

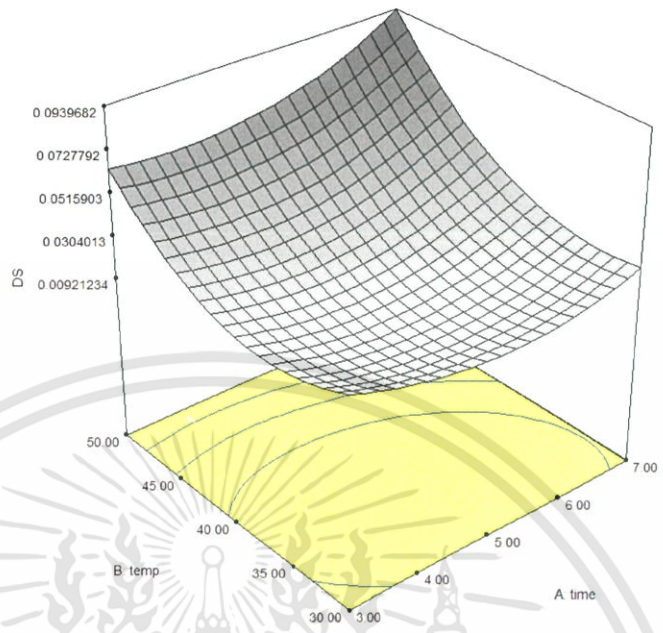
การประมวลผลเพื่อสร้างสมการแบบจำลองและแบบจำลอง จากนั้นปรับค่าตัวแปรในสมการให้เหมาะสมด้วยการพิจารณาผลของตัวแปรในสมการ โดยจะพิจารณานัยสำคัญทางสถิติจาก F value ได้เป็นสมการและแบบจำลองที่เหมาะสมดังแสดง

$$DS = 1.36036 - 0.093168 \times \text{time} - 0.042141 \times \text{temp} - 0.085863 \times \text{pH} + 3.44345 \times 10^{-3} \times \text{time}^2 + 2.42238 \times 10^{-4} \times \text{temp}^2 + 4.29875 \times 10^{-4} \times \text{time} \times \text{temp} + 4.26250 \times 10^{-3} \times \text{time} \times \text{pH} + 2.20250 \times 10^{-3} \times \text{temp} \times \text{pH}$$

DESIGN-EXPERT Plot

DS
X = A: time
Y = B: temp

Actual Factor
C: pH = 10.50

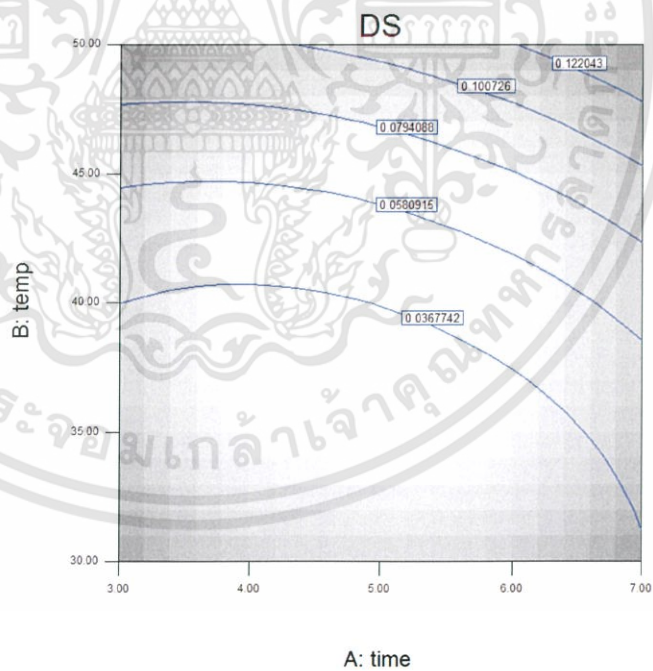


ภาพที่ 4.6 แบบจำลองสามมิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างสถานะในการทดลองกับผลตอบ

DESIGN-EXPERT Plot

DS
X = A: time
Y = B: temp

Actual Factor
C: pH = 11.41



ภาพที่ 4.7 กราฟคอนทัวร์จากแบบจำลองสามมิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างสถานะในการทดลองกับผลตอบ

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าระดับการแทนที่ที่ทำนายได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการทดลอง

การทดลอง	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าที่ทำนายได้	ผลต่าง	%ผลต่าง
1	0.029	0.031	0.002	3.40
2	0.027	0.027	0.000	0.00
3	0.063	0.064	0.001	1.58
4	0.095	0.094	0.001	1.05
5	0.013	0.008	0.005	37.88
6	0.007	0.004	0.003	42.25
7	0.035	0.038	0.003	8.57
8	0.063	0.068	0.005	7.94
9	0.010	0.013	0.003	41.24
10	0.015	0.020	0.005	33.33
11	0.021	0.016	0.005	23.81
12	0.114	0.111	0.003	3.50
13	0.017	0.016	0.001	5.88
14	0.013	0.016	0.003	23.08
15	0.016	0.016	0.000	0.00
16	0.017	0.016	0.001	5.88
17	0.016	0.016	0.000	0.00

4.5 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง (Optimization of Cyanoethyl starch production)

ตารางที่ 4.3 การแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่มี DS เท่ากับ 0.1

ผลลัพธ์	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH	DS	Desirability
1	4.72	49.98	11.33	0.0999	1
2	5.62	49.10	11.27	0.1	1
3	6.90	45.99	11.33	0.1	1
4	4.95	49.31	11.42	0.1	1
5	3.06	49.94	11.49	0.0999	1
6	6.65	45.72	11.50	0.1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

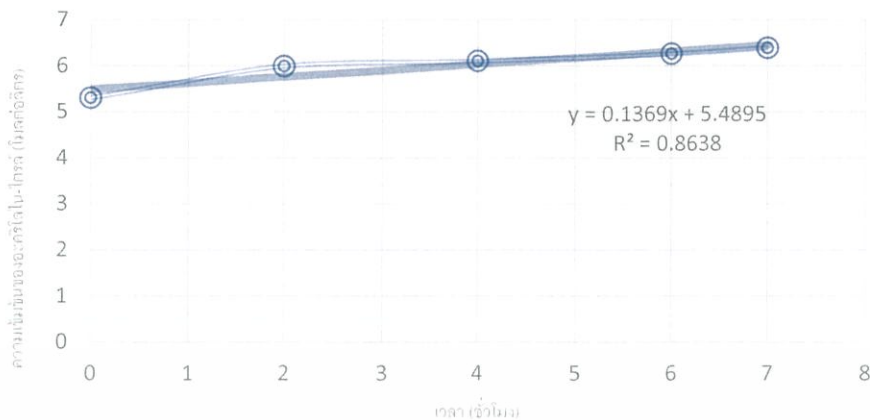
ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไฮยาโนเอทิลสตาร์ชที่มี DS เท่ากับ 0.1

ผลลัพธ์	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH	DS	Desirability
7	4.97	49.63	11.35	0.1	1
8	4.34	49.89	11.42	0.0999	1
9	6.88	45.70	11.39	0.1	1
10	3.00	30.95	9.50	0.0329	0.2780

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert พบว่าการทำนายผลการทดลองที่มีค่า DS สูงสุด ประมาณ 0.1-0.13 ซึ่งสมบัติของแป้งที่ได้ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากต้องการใช้ประหยัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการสังเคราะห์แป้ง จึงเลือกทำนายค่าสภาวะในการทดลองที่ทำให้ค่า DS เท่ากับ 0.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเลือกทำการทดลองตามผลการวิเคราะห์ที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองที่ใช้เวลาน้อยที่สุดที่มีค่า Desirability เท่ากับ 1 และมีค่า DS เท่ากับ 0.1 จากการทดลอง พบว่าแป้งที่ได้ มี DS เท่ากับ 0.109 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการทดลองและผลการทำนายเพียง 9% และเมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลได้ (%yield) พบว่าแป้งที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ของผลได้เท่ากับ 71.34%

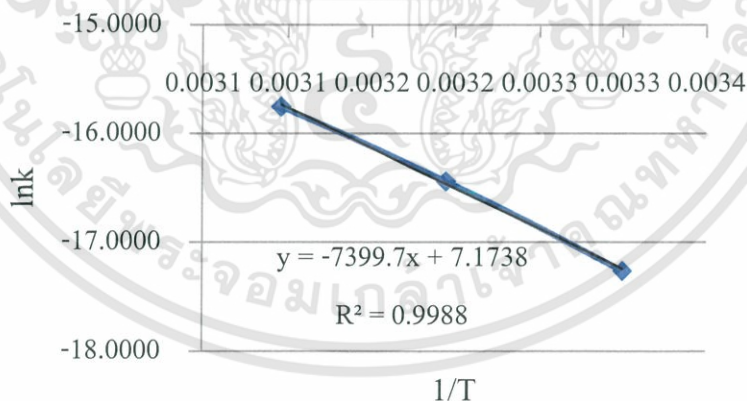
4.6 การหาพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา (Activation Energy: Ea)

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไฮยาโนเอทิลสตาร์ช เป็นปฏิกิริยาระหว่างแป้งมันสำปะหลังและอะครีโลไนไตรล์ และเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ อีกทั้งสมมุติให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีเพียงปฏิกิริยาหลักเพียงอย่างเดียว จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ที่เปลี่ยนไป ด้วยการคำนวณย้อนกลับจากปริมาณไนโตรเจนในแป้ง เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์กับเวลา พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง นั่นคืออันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับสอง แบบ Pseudo-second order ดังนี้

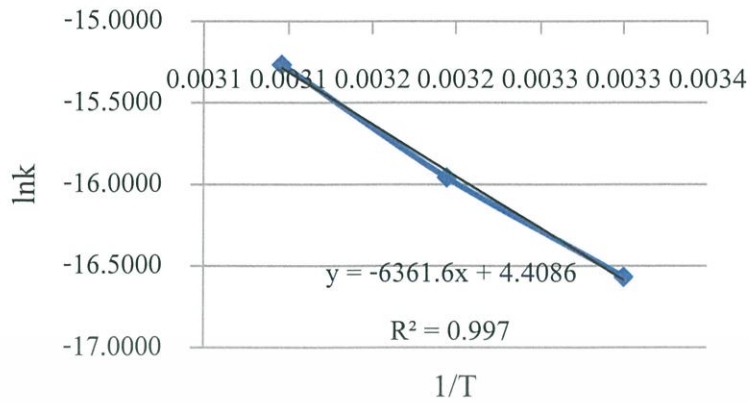


ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ (โมลต่อลิตร) กับเวลา (ชั่วโมง)

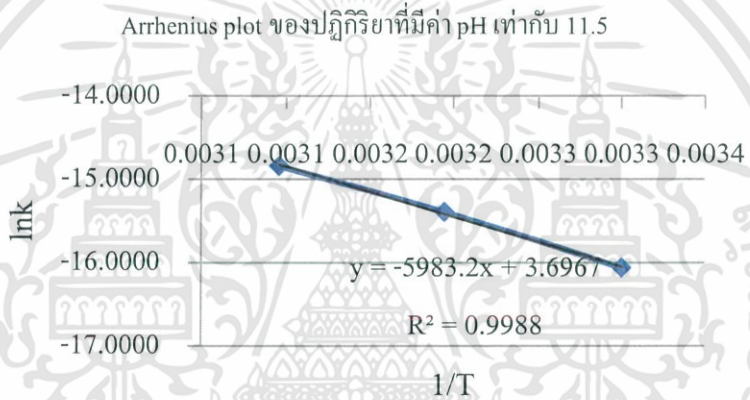
เมื่อทราบอันดับของปฏิกิริยา จึงทำการสร้างกราฟของ Arrhenius เพื่อหาพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ลอการิทึมธรรมชาติ ($\ln k$) กับ $1/T$ ความชันของเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับพลังงานกระตุ้นส่วนด้วยค่าคงที่ของแก๊สจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการทดลองที่ค่า pH เท่ากับ 9.5 10.5 และ 11.5 ค่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่าเท่ากับ 61.52 52.89 และ 49.74 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ นั่นคือเมื่อทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นด่างสูงขึ้น พลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าลดลง ดังแสดงตามภาพที่ 4.9-4.11



ภาพที่ 4.9 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 9.5



ภาพที่ 4.10 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 10.5



ภาพที่ 4.11 Arrhenius plot ของปฏิกิริยาที่มีค่า pH เท่ากับ 11.5

4.7 การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ (Paper strength test)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ

Strength properties		Blank	Native tapioca	CNS	EXCELSIZE15
Basis weight	g/m ²	124.4	129.1	128.4	126.9
Starch pick up	gsm	-	3.83	4.02	3.61
Starch pick up	kg/t	-	30.11	31.33	28.35
Burst index	(kPa.m ²)/g	2.23	3.06	3.28	3.34
%increase	%	0	37.2	47.1	49.8
Wax pick (Top)	no.	6	14	16	16
Wax pick (Bottom)	no.	8	14	16	16

จากการนำไซยาโนเอทิลสตาร์ชไปเคลือบบนผิวหน้ากระดาษ เทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบกระดาษ (EXCELSIZE15) โดยทดสอบด้วยวิธี Wax pick test และ Bursting strength test พบว่าไซยาโนเอทิลสตาร์ชมีค่า Starch pick up ค่า Burst index และ Wax pick no. สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง แต่ใกล้เคียงกับแป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม จึงสรุปได้ว่าไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่ได้มีสมบัติที่เหมาะสมในการปรับใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

4.8 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราในตัวอย่างแป้ง

ตัวอย่าง	วันที่	TPC (CFU/g)	Y&M (CFU/g)
CNS		40	0
Native tapioca	05/11/2018	80	0
Preserved starch		40	0
CNS		FULL	100
Native tapioca	08/11/2018	FULL	570
Preserved starch		FULL	210
CNS		FULL	280
Native tapioca	12/11/2018	FULL	Full
Preserved starch		FULL	210

จากการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างเป็นเวลา 7 วัน โดยเปรียบเทียบไซยาโนเอทิลสตาร์ช กับแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งมันสำปะหลังดิบที่เติมสารโซเดียมเบนโซเอต ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกันบูด พบว่า ไซยาโนเอทิลสตาร์ชมีสมบัติที่ในการป้องกันเชื้อราใกล้เคียงกับการเติมสารกันบูด แต่ไม่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแป้งที่เติมสารกันบูด อาจเกิดจากสภาพ pH ไม่เหมาะสม เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมี pH เป็นกลาง แต่โซเดียมเบนโซเอตจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ pH ประมาณ 4

หมายเหตุ: TPC คือ total plate count และ Y&M คือ yeasts and molds

4.9 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช เกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียงของปฏิกิริยาไซยาเอทิลเลชัน จากการวิเคราะห์ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิกในไซยาโนเอทิลสตาร์ชโดยใช้อะครีโลไนไตรล์ปริมาณ 2% ของแป้งแห้ง พบว่า

ระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเอทิลมีปริมาณต่ำ เมื่อระดับการแทนที่สูงสุดเท่ากับ 0.061 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซนต์และระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิล (%COOH) ของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชในสภาวะที่เป็นเม็ด

เวลา (ชั่วโมง)	%COOH	DS
3	0.042	0.0015
6	0.044	0.0016
16	0.045	0.0016
20	0.113	0.0041
24	0.124	0.0045

จากข้อมูลข้างต้น จึงได้ทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชด้วยการไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายต่างเข้มข้นจนแป็งเกิดการเจลาติไนเซชันก่อนทำปฏิกิริยากับอะคริโลไนไตรล์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6-24 ชั่วโมง จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งทำให้คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่ได้เป็นแป็งฟรีเจลาติไนซ์ มีสมบัติละลายน้ำ เมื่อต้มจนสุกจะกลายเป็นสารละลายใส แตกต่างกับไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่มีลักษณะขุ่น ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิกต่ำ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์และระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิลของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชในสภาวะหลังเกิดเจลาติไนเซชัน

เวลา (ชั่วโมง)	%COOH	DS
6	0.048	0.0018
16	0.050	0.0020
24	0.194	0.0070

ข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชด้วยการทำให้เกิดเจลาติไนเซชันของแป็งแทบจะไม่มีผลให้ระดับการแทนที่ของแป็งเพิ่มขึ้น และสังเคราะห์ได้เพียงแคคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่มีระดับการแทนที่ต่ำเท่านั้น ซึ่งอาจเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นเจล ทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาเพียงแคเจลชั้นนอกเท่านั้น หรืออาจเป็นผลจากการที่ทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นต่างสูง ทำให้โครงสร้างของแป็งถูกทำลาย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์โซยานโอเทิลสตาร์ชเป็นกระบวนการที่ใช้อะครีโลไนไตรล์ในการทำปฏิกิริยาร่วมกับแป้ง โดยมีแป้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าแป้งที่ได้มีความหนืดสูง มีลักษณะขุ่น และละลายน้ำ เมื่อทำการหาโปรไฟล์ความหนืดของแป้งพบว่าลักษณะคล้ายกับแป้งครอสลิงค์ เนื่องจากเกิดการครอสลิงค์ระหว่างโมเลกุลของไฮดรอกซิล และอะครีโลไนไตรล์ เมื่อทำการปรับปรุงค่าสภาวะในการทดลองโดยใช้กระบวนการพื้นผิวผลตอบ ด้วยวิธี Box-Behnken พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตโซยานโอเทิลสตาร์ช คืออุณหภูมิ 49.3 °C เวลา 4.95 ชั่วโมง pH 11.42 ซึ่งมีค่าผลได้สูงสุดเท่ากับ 0.109 ค่าผลได้เท่ากับ 71.34% และจากการนำแป้งที่ได้ไปทดสอบสำหรับการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษพบว่า โซยานโอเทิลสตาร์ชมีสมบัติใกล้เคียงกันกับแป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และเมื่อทำการทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแป้ง พบว่าโซยานโอเทิลมีสมบัติในการป้องกันเชื้อราเทียบเท่ากับการเติมสารกันบูด ส่วนการสังเคราะห์คาร์บอกซีโอเทิลสตาร์ช ได้จากการไฮโดรไลซ์แป้งมันสำปะหลังด้วยเบสจนเกิดเจลาติโนเซชัน ก่อนทำปฏิกิริยากับอะครีโลไนไตรล์เป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะ paste ที่ใส ละลายน้ำ และคาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมปูนและสิ่งทอได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การผลิตโซยานโอเทิลสตาร์ช

- การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโซยานโอเทิลสตาร์ชโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบยังคงปรากฏค่านัยสำคัญทางสถิติของการ Lack of fit ทำให้การทำนายผลการทดลองบางค่ามีความแตกต่างจากค่าจริง จึงเสนอแนะให้ทำการทดลองซ้ำจนกว่าผลที่ได้จะมีความแม่นยำมากขึ้น
- งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการผลิตแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่ต่ำ ทำให้มีสมบัติการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์และ strength ที่ได้ไม่สูงมากนัก จึงเสนอแนะให้มีทำการเพิ่มระดับการแทนที่ของแป้งให้สูงขึ้น เพื่อทำการทดสอบสมบัติของแป้งเพิ่มเติม
- ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณเกลือที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา เนื่องจากเกลือมีผลต่อผลได้ของการเกิดปฏิกิริยา แต่ส่งผลเสียคือก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำและมีค่าใช้จ่ายในเรื่องของต้นทุนการผลิต

5.2.2 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

- i. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชที่ได้อาจยังมีระดับการแทนที่ต่ำ จึงเสนอแนะให้ปรับค่าสภาวะของการทดลองเพื่อให้ได้ค่าระดับการแทนที่สูงสุดเช่นเดียวกันกับไซนาโนเอทิลสตาร์ช
- ii. สมบัติของแป้งคาร์บอกซีเอทิลในเชิงอุตสาหกรรมยังไม่ถูกทดสอบในงานชิ้นนี้ จึงเสนอแนะให้นำไปทดสอบการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม
- iii. สังเคราะห์ไซยาโนเอทิลสตาร์ชโดยสารเคมีชนิดอื่น เช่น อะคริลาไมด์ หรือ กรดอะคริลิก



บรรณานุกรม

- [1] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2543). เทคโนโลยีของแป้ง, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 292 หน้า
- [2] อภิญญา ทองทับ. (2013). คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร. สืบค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2561 จาก <http://www.facagri.cmru.ac.th/2013/wp-content/uploads/2013/03/ /คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหารฉบับปรับปรุงใหม่-2013.pdf>
- [3] อรพินท์ เต็มวิซชากร. *Microscope and Cell*. [เอกสารประกอบการสอน]. สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2561 จาก <http://elearning.dt.mahidol.ac.th/departments/anatomy/course/DTAN233/sheet/Microscope.pdf>
- [4] Agro by nature. (2007). *Industrial Starch Chemistry*. Retrieved September 26, 2018 from <http://www.agrobynature.com/IndustrialStarchChemistry.pdf>.
- [5] Albert R. Wilson, inventor; Monsanto Chemical Company, assignee. *Water-Emulsion Paints Containing Cyanoethylated Starch*. United States patent US 2881143. 1959 Apr 7.
- [6] Arthur I. Vogel. (1957). *Elementary Practical Organic Chemistry*. London: Longman. International Starch Institute. (1964). Determination of Carboxyl Groups in Starch. Retrieved October 10, 2018 from <http://www.starch.dk/isi/methods/10cooh.htm>.
- [7] A.Hebbeish, I.ABD EL-Thalouth and M.A. El-Kashouti. (1981). Chemical Modification of Starch. II. Cyanoethylation. *Journal of Applied Polymer Science*, **26**,171-176.
- [8] A.Hebbeish and M.I.Khalil. (1988). Characterization of the Reaction Products for Starch and Acrylonitrile. *Starch/Stärke*, **40**(3), 104-107.
- [9] Charles L. Mehlretter and Carl A. Wilham, Inventors. *Hypochlorite Modified Cyanoethylated Starch Having Intact Granule Form*. United States patent US 3515718. 1970 June 2.
- [10] C.J. Tijssen H.J., Scherpenkate E.J. Stamhuis and A.A.C.M. Beenackers. (1999). Optimisation of The Process Conditions for The Modification of Starch. *Chemical Engineering Science*, **54**, 2765-2772
- [11] C.W. Brabender® Instruments, Inc. *Viscograph®-E*. Retrieved November 15, 2018 from <http://www.cwbrabender.com/Viscograph-E.html#!prettyPhoto>
- [12] Edwin L., inventor; Standard Brands Inc., assignee. *Cyanoethyl Starch*. United States patent US 3689361. 1972 Sep 5.

- [13] Jay-lin Jane, Tunyawat Kasemsuwan and Sharon Leas et al. (1994). Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy. **Starch/Stärke**, 46, 121-129.
- [14] Jim Clark. (2004). What is nucleophilic substitution. Retrieved November 12, 2018 from <https://www.chemguide.co.uk/mechanisms/nucsub/whatis.html>
- [15] J. J. M. Swinkels. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. **Starch/Stärke**, 37, 1-5.
- [16] Louis H. Bock, Huntingdon Walley, and Alva L.Houk, inventors; Röhm & Haas Company, assignee. **Water-Soluble Carboxyethyl, Starch Ethers**. United States patent US 2316128. 1943 Apr 6.
- [17] Magdi Z.Sefain, Mohamed H. Fall Nahla A. Elwakil and Magdi M. Naoum. (1993). Kinetics of Heterogeneous Cyanoethylation of Cellulose. **Polymer International**, 32, 251-255
- [18] NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods. Retrieved November 16, 2018 from <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3362.htm>.
- [19] O.B. Wurzburg. (1987). **Modified Starches: Properties and Uses**. Florida: CRC Press.
- [20] Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery, Christine M. and Anderson-Cook. (2009). Third Edition. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**. New Jersey: Jon Wiley & Sons, Inc.
- [21] Roy L. Whistler and James N.BeMiller. (1997). **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- [22] Shujun Wang, Caili Li, Les Copeland, Qing Niu, and Shuo Wang. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 15, 568-585.
- [23] S.L.C. Ferreira et al. (2007). Box-Behnken Design: An Alternative for The Optimization of Analytical Methods. *Analytica Chimica Acta*, 597, 179-186
- [24] Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (2013). **Surface strength of paper (TAPPI/ANSI T 459 om-13)**. Retrieved November 7, 2018 from <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T459.aspx>
- [25] TAPPI. (2015). **Bursting Strength of Paper. (TAPPI/ANSI T 403 om-15)**. Retrieved November 7, 2018 from <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T403.aspx>
- [26] V.Kurtis, Villwock and James N. Bemiller. (2005). Effects of Salts on the Reaction of Normal Corn Starch with Propylene Oxide. **Starch/Stärke**, 57(7), 281-290.

[27] Wajira S. Ratnayake and David S. Jackson. (2008). Chapter 5 Starch Gelatinization. *Advances in Food and Nutrition Research*, 55, 221-268.

[28] Xu, X., Huang, X. F., Visser, R. G. F., & Trindade, L. M. (2017). Engineering potato starch with a higher phosphate content. *PLoS ONE*, 12(1), 1–21.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169610>

[29] Zheng Guifu, Inventor. **Preparation Method of Cyanoethyl Starch**. China patent CN103214590. 2013 Aug 24.



ภาคผนวก ก

1. การหาระดับการแทนที่และผลได้ของไซยาโนเอทิลสตาร์ช

การหาดีกรีการแทนที่ของไซยาโนเอทิลสตาร์ชหาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยใช้วิธี Dumas โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$DS = \frac{162\%N}{1400 - 45\%N}$$

เมื่อ

%N คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในแป้งตัวอย่าง

จากการทดลองที่ 12 ใช้สภาวะในการทดลอง คือ เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 °C และ pH 11.5 พบว่าไซยาโนเอทิลสตาร์ชที่ได้ประกอบด้วยไนโตรเจน 0.9530 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ

$$\begin{aligned} DS &= \frac{162 \times 0.9530}{1400 - 45 \times 0.953} \\ &= 0.1140 \end{aligned}$$

ผลได้ของแป้ง หาได้จากระดับการแทนที่ หารด้วยระดับการแทนที่สูงสุดที่เป็นไปได้ ดัง

แสดง

อะคริโลไนไตรล์ที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 5% ของแป้งแห้ง เมื่อแป้งแห้งมีปริมาณเท่ากับ 500 กรัม หรือเท่ากับ 3.0864 โมล เมื่อแป้ง 1 โมลเท่ากับ 162 กรัม ดังนั้นต้องใช้อะคริโลไนไตรล์เท่ากับ 25 กรัม หรือเท่ากับ 0.4716 โมล จากนิยามของระดับการแทนที่

$$\begin{aligned} DS &= \frac{\text{mol substituent}}{\text{mol starch}} \\ &= \frac{0.4717}{3.0864} \\ &= 0.1528 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Yield &= \frac{DS}{DS_{\max}} \times 100\% \\ &= \frac{0.1140}{0.1528} \times 100\% \\ &= 74.61\% \end{aligned}$$

2. การหาระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช

การหาดีกรีการแทนที่ของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ชหาได้จากการวิเคราะห์หมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถหาได้จากวิธีการวิเคราะห์หมู่คาร์บอกซิลโดย International Starch Institute ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\%COOH = \frac{100NVM}{1000w} - c$$

เมื่อ

N คือ ค่า นอร์มัลตี้ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

M คือ มวลโมเลกุลของหมู่คาร์บอกซิล มีค่าเท่ากับ 45 กรัม/โมล

W คือ มวลของตัวอย่างแป้งตัดแปร

c คือ ค่า correction ของ lipids ในแป้ง มีค่าประมาณ 0.1% ของแป้งแห้ง

$$DS = \frac{162\%C}{4500 - 73\%C}$$

เมื่อ

%C คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของหมู่คาร์บอกซิลในแป้งตัวอย่าง

3. การหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา

เนื่องจากอันดับของปฏิกิริยาการเกิดไฮยาโนเอทิลสตาร์ชเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ดังนั้นค่าคงที่อัตรา (k) จะมีค่าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาส่วนด้วยความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ยกกำลังสองคูณกับความเข้มข้นของแป้ง ดังแสดง

$$\text{Rate} = \frac{\Delta[ACN]}{\Delta t} = k[ACN]^2[\text{Starch}]$$

การคำนวณหาปริมาณอะครีโลไนไตรล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะเท่ากับปริมาณอะครีโลไนไตรล์ที่เข้าไปแทนที่ในโมเลกุลของแป้ง โดยปริมาณหมู่แทนที่ในแป้ง หาได้จากการคำนวณปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในแป้งกลับไปเป็นอะครีโลไนไตรล์ ดังนี้

อะครีโลไนไตรล์	1	โมล	ประกอบด้วย	ไนโตรเจน	1	โมล
อะครีโลไนไตรล์	53	กรัม	ประกอบด้วย	ไนโตรเจน	14	กรัม

ดังนั้น หากแป้งตัดแปรประกอบด้วยไนโตรเจน X% แล้วแป้งตัดแปรจะประกอบไปด้วยอะครีโลไนไตรล์ทั้งหมด $\frac{53}{14}X\%$

จากการทำปฏิกิริยาไฮยาโนเอทิลเลชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 °C ค่า pH เท่ากับ 9.5 พบว่าปริมาณไนโตรเจนในแป้งตัดแปรที่ได้เท่ากับ 0.0454% นั่นคือปริมาณอะคริโลไนไตรล์ในแป้งสามารถหาได้จาก

$$\text{ACN} = \frac{53}{14}(0.0454) = 0.00172$$

เนื่องจากปริมาณของเหลวในระบบเท่ากับ 1 ลิตร ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยา จะคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta[\text{ACN}]}{\Delta t} = \frac{0.00172}{3 \times 60 \times 60} = 3.18 \times 10^{-8} \text{ mol}/(\text{dm}^3 \cdot \text{s})$$

และเมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา จะมีค่าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาส่วนด้วยความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ยกกำลังสองคูณกับความเข้มข้นของแป้งโดยใช้อะคริโลไนไตรล์เริ่มต้น 2% ของแป้งแห้งแป้งแห้ง 100 กรัม และน้ำ 200 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์และแป้งหาได้จาก

$$[\text{ACN}] = \frac{2}{53} \times \frac{1000}{200} = 0.1887 \text{ M}$$

$$[\text{Starch}] = \frac{100}{162} \times \frac{1000}{200} = 3.0864 \text{ M}$$

$$k = \frac{\Delta[\text{ACN}]}{\Delta t} \times \frac{1}{[\text{ACN}]^2[\text{Starch}]} = \frac{3.18 \times 10^{-8}}{0.1887^2 \times 3.0864} = 1.3670 \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{dm}^3 \cdot \text{s})$$

4. การหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา

จากสมการของอาร์เรเนียส

$$k = Ae^{\frac{E_a}{RT}}$$

เมื่อ

k	คือ	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา
A	คือ	แฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor) ซึ่งมีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างพอสมควรสำหรับแต่ละปฏิกิริยา
E _a	คือ	พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) ของปฏิกิริยา (KJ/mol)
R	คือ	ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314J/K.mol)
T	คือ	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ถ้าเขียนสมการให้อยู่ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ จะได้ว่า

$$\ln k = \ln \left(Ae^{\frac{E_a}{RT}} \right)$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง และมีค่าความชันเท่ากับ $-E_a/R$ และมีจุดตัดแกน $\ln k$ ที่จุด $\ln k = \ln A$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ เมื่อทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่า pH เท่ากับ 9.5 ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50°C มีค่าความชันเท่ากับ -7,399.7 ค่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาคำนวณได้จาก

$$-\frac{E_a}{R} = -7,399.7$$

$$E_a = 7,399.4 \times R$$

$$E_a = 7,399.4 \times 8.314 = 61,521.11 \text{ J/mol}$$

5. การคำนวณค่า Starch Pick up

ค่า Starch pick up คือปริมาณแป้งที่สามารถเคลือบติดลงบนกระดาษได้ หาได้จากแกรมของกระดาษที่ผ่านการทำ Sizing ลบด้วยแกรมของกระดาษก่อนทำ Sizing โดยแกรมของกระดาษคือ น้ำหนักกระดาษ (g) หารด้วยพื้นที่ของกระดาษในหน่วยตารางเมตร

จากการทำ Sizing ด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ พบว่าน้ำหนักของกระดาษ A4 ก่อนทำ Sizing เท่ากับ 7.6487 g และ หลังการทำ Sizing (w_2) เท่ากับ 6.7596 g โดยพื้นที่ของกระดาษเริ่มต้นเท่ากับ 623.7 cm² และกระดาษหลังทำ Sizing จะถูกตัดขอบออกด้านละ 1.5 cm ทำให้มีพื้นที่เท่ากับ 534.6 cm² ซึ่งแกรมและค่า Starch pick up สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{grammage (gsm)} = \frac{\text{paper mass (g)}}{\text{Area (m}^2\text{)}}$$

การแปลงหน่วยน้ำหนักกระดาษ A4 ก่อนเคลือบ (w_1) ให้เป็นน้ำหนักต่อพื้นที่ 534.6 cm²

$$w_1 = 7.6487 \times \frac{534.6}{623.7} = 6.5560 \text{ g}$$

ผลต่างของน้ำหนักกระดาษที่มีพื้นที่ 534.6 cm² คือปริมาณแป้งที่เคลือบติดลงบนกระดาษ (Starch pick up) โดยปกติแล้วจะมีหน่วยเป็น gsm หรือ kg/t ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Starch pick up (gsm)} &= \frac{w_2 - w_1}{534 \times 10^{-4}} \\ &= \frac{6.7596 - 6.5560}{534 \times 10^{-4}} \end{aligned}$$

$$= 3.81$$

$$\begin{aligned} \text{Starch pick up (kg/t)} &= \frac{(w_2 - w_1) \times 10^{-3}}{w_2 \times 10^{-6}} \\ &= \frac{(6.7596 - 6.5560) \times 10^{-3}}{6.7596 \times 10^{-6}} \\ &= 30.12 \end{aligned}$$

หมายเหตุ: kg/t คือ กิโลกรัมแห้งที่เคลือบติดต่อหนึ่งตันของกระดาษที่ถูกเคลือบ

6. การคำนวณค่า Burst index

จากการหาค่า Burst strength ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบ พบว่า กระดาษมีน้ำหนักเท่ากับและค่า Burst strength ดังตาราง

Native tapioca	Weight (g)	6.8112		6.8303		6.8188		6.7596	
	Basis weight (gsm)	127.4		127.8		127.5		126.4	
	Burst strength (kPa)	408.2	318.3	405.6	396.7	428.8	370.7	412.3	389.9

จากนิยามของค่า Burst index

$$\text{Burst index} = \frac{\text{Burst strength (kPa)}}{\text{Basis weight (gsm)}}$$

$$\begin{aligned} \text{Burst index} &= \left[\frac{408.2+318.3}{2} + \frac{405.6+396.7}{2} + \frac{428.8+370.7}{2} + \frac{412.3+389.9}{2} \right] / 4 \\ &= 3.10 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลปริมาณไนโตรเจน ระดับการแทนที่ของการทดลองด้วยการออกแบบวิธี Box-Behnken

การทดลอง	สภาวะ			ผลการทดลอง	
	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	pH	%N	DS
1	3	30	10.5	0.2515	0.029
2	7	30	10.5	0.2313	0.027
3	3	50	10.5	0.5377	0.063
4	7	50	10.5	0.7794	0.095
5	3	40	9.5	0.1132	0.013
6	7	40	9.5	0.0612	0.007
7	3	40	11.5	0.299	0.035
8	7	40	11.5	0.5334	0.063
9	5	30	9.5	0.08356	0.010
10	5	50	9.5	0.129	0.015
11	5	30	11.5	0.1802	0.021
12	5	50	11.5	0.953	0.114
13	5	40	10.5	0.1461	0.017
14	5	40	10.5	0.1119	0.013
15	5	40	10.5	0.1376	0.016
16	5	40	10.5	0.1461	0.017
17	5	40	10.5	0.1376	0.016

ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนและปริมาณอะคริลาไมด์ในไฮยาโนเอทิลสตาร์ช ณ เวลาในเวลาที่ทำการปฏิบัติต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	%N	ACN (g)	ความเข้มข้น (mol/dm ³)
2	0.0606	0.0115	0.0263
4	0.0690	0.0131	0.0247
6	0.0805	0.0152	0.0225
7	0.0895	0.0169	0.0208

ข้อมูลการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อทำปฏิกิริยาที่ pH เท่ากับ 9.5

อุณหภูมิ (°C)	%N	ACN (g)	k (mol/(dm ³ .s))	lnk	1/T
30	0.0454	0.0017	3.1849E-08	-17.26223	0.0033
40	0.1036	0.0039	7.2644E-08	-16.4377	0.0032
50	0.2059	0.0078	1.4435E-07	-15.7510	0.0031

ข้อมูลการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อทำปฏิกิริยาที่ pH เท่ากับ 10.5

อุณหภูมิ (°C)	%N	ACN (g)	k (mol/(dm ³ .s))	lnk	1/T
30	0.0910	0.003447	6.3824E-08	-16.5671	0.0033
40	0.1676	0.006344	1.1748E-07	-15.9570	0.0032
50	0.3345	0.012663	2.3450E-07	-15.2658	0.0031

ข้อมูลการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อทำปฏิกิริยาที่ pH เท่ากับ 11.5

อุณหภูมิ (°C)	%N	ACN (g)	k (mol/(dm ³ .s))	lnk	1/T
30	0.1509	0.0057	1.0579E-07	-16.0618	0.0033
40	0.2942	0.0111	2.0625E-07	-15.3942	0.0032
50	0.5121	0.0194	3.5901E-07	-14.8399	0.0031

ข้อมูลค่า Starch pick up

Sample	no.	w ₁ (g)	w ₂ (g)	Starch pick up (gsm)	Average (gsm)	Starch pick up (kg/t)	Average (kg/t)
Native tapioca	1	6.5560	6.7596	3.81	3.83	30.12	30.11
	2	6.6033	6.8188	4.03		31.60	
	3	6.6304	6.8303	3.74		29.27	
	4	6.6105	6.8112	3.75		29.47	
EXCEL SIZE15	1	6.5761	6.7708	3.64	3.61	28.76	28.35
	2	6.6053	6.7963	3.57		28.10	
	3	6.7058	6.8814	3.28		25.52	
	4	6.5548	6.7646	3.92		31.01	
CNS	1	6.6796	6.897	4.07	4.02	31.52	31.33
	2	6.6577	6.8785	4.13		32.10	
	3	6.6027	6.8167	4.00		31.39	
	4	6.6664	6.8748	3.90		30.31	

ข้อมูลค่า Burst Strength

										Average
Native tapioca	Weight (g)	6.8112		6.8303		6.8188		6.7596		6.8050
	Basis weight (gsm)	127.4		127.8		127.5		126.4		127.3
	Burst strength (kPa)	408.2	318.3	405.6	396.7	428.8	370.7	412.3	389.9	391.3
EXCEL SIZE15	Weight (g)	6.7646		6.8814		6.7963		6.7708		6.8032
	Basis weight (gsm)	126.5		128.7		127.1		126.7		127.3
	Burst strength (kPa)	441.8	415.8	437.1	411.2	446.4	406.3	439.9	397.3	425.5
CNS	Weight (g)	6.8167		6.8970		6.8745		-		6.8627
	Basis weight (gsm)	127.5		129.0		128.7		-		128.4
	Burst strength (kPa)	422.5	402.1	399.1	429.8	459.3	416.8	-	-	421.6

ข้อมูลปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท เปอร์เซ็นต์ของหมู่คาร์บอกซิลิก และระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเอทิลสตาร์ช ณ เวลาในเวลาที่ในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	NaOH (ml)	%COOH	DS
3	0.4105	0.0420	0.0015
6	0.429	0.0440	0.0016
16	0.434	0.0450	0.0016
20	1.082	0.1130	0.0041
24	1.221	0.1240	0.0045

ข้อมูลใบรับรองสินค้าของอะครีโลไนไตรล์ (Certificate of Analysis)



PTT Asahi Chemical Company Limited

A Company of PTT Group
Registration 0105543092084

Head Office : 8 Phangmuang Chaph 3-1 Road,
Huaypong Sub-district, Muang District, Rayong 21150
Tel : 66 (0) 38974 800 Fax : 66 (0) 38974 601

Bangkok Office : 555/1 Energy Complex, Building A,
6th Fl, Vibhavadi Rangsit Road, Chatuchak, Bangkok 10900
Tel : 66 (0) 2092 2400 Fax : 66 (0) 2092 2498

Certificate no. COA-AN-1808-0023

Certificate of Analysis

We hereby certify that the undermentioned goods have been produced and inspected by us.

Product name : Acrylonitrile

Customer name : Siam Modified Starch Co.,Ltd.

Batch No. : 180824FA21

Reported date : 29-Aug-2018

No.	Analysis Item	Analysis method	Specification	Result	Unit
1.	Specific Gravity@25/15.5°C	WI-QA-0001	0.7990-0.8020	0.8014	-
2.	Specific Gravity@20/4°C	WI-QA-0001	0.8037-0.8067	0.8062	-
3.	Initial Boiling point	WI-QA-2001	74.5 Min	75.3	°C
4.	97%Vol, Boiling point	WI-QA-2001	78.5 Max	77.5	°C
5.	Acidity (As Acetic Acid)	WI-QA-2002	5 Max	0.39	ppm wt
6.	pH of 5% Aqueous solution	WI-QA-2003	6.0-7.5	6.74	-
7.	Refractive Index	WI-QA-2004	1.3882-1.3891	1.3888	-
8.	APHA Color	WI-QA-0006	5 Max	<5	APHA
9.	Appearance	WI-QA-0007	Clear & Transparent	Clear&Transparent	-
10.	Inhibitor (MEHQ)	WI-QA-2005	37-43	39	ppm
11.	Water Content	WI-QA-0004	0.25-0.45	0.38	%wt
12.	Non-volatile Matter	WI-QA-2006	20 Max	3	ppm wt
13.	Oxidation stability	WI-QA-2007	4 Min	>4	-
14.	Total aldehyde	WI-QA-2008	20 Max	0.0	ppm wt
15.	Peroxide	WI-QA-2009	0.2 Max	0.01	ppm wt
16.	Copper	WI-QA-2010	0.1 Max	0.00	ppm wt
17.	Iron	WI-QA-2011	0.1 Max	0.02	ppm wt
18.	Hydrocyanic Acid	WI-QA-2012	5 Max	0.6	ppm wt
19.	Titration value	WI-QA-2013	2 Max	0.3	ml
20.	Purity	WI-QA-2014	99.5 Min	99.60	%
21.	Acetone	WI-QA-2014	100 Max	4	ppm wt
22.	Acetonitrile	WI-QA-2014	100 Max	0	ppm wt
23.	Acrolein	WI-QA-2014	5 Max	0	ppm wt
24.	Oxazole	WI-QA-2014	50 Max	0	ppm wt
25.	Methacrylonitrile	WI-QA-2014	300 Max	47	ppm wt

The results in this report apply to the sample analyzed in accordance with the chain of custody document.

This certificate of analysis cannot be reproduced, except in full, without prior written permission of company.

Reported by : Wilair B.

Approved by : OraChem

Reported date : 29-Aug-2018

Approved date : 29-Aug-2018

Prepared by : herbak 2910318018



COA-AN-1808-0023

ข้อมูลความเป็นอันตรายของอะครีโลไนไตรล์ (SDS)



หน้าที่ : 1 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

1. การบ่งชี้สารเดี่ยวหรือสารผสม และผู้ผลิต

ตัวบ่งชี้ผลิตภัณฑ์

ชื่อผลิตภัณฑ์ : อะครีโลไนไตรล์ (เอเอ็น)

การบ่งชี้ด้วยวิธีอื่น ๆ

หมายเลข CAS : 107-13-1

หมายเลข UN : 1093

หมายเลข EC / EINECS : 203-466-5

หมายเลข RTECS : AT5250000

EC Index : 608-003-00-4

ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการใช้สารเดี่ยวหรือสารผสม

ไม่มีข้อมูล

รายละเอียดผู้ผลิต

ชื่อบริษัท : บริษัท พีทีที อาซาฮี เคมิคอล จำกัด

ที่อยู่ : หน่วยงานการตลาดและการขาย

555/1 ศูนย์เอนเนอร์ยีคอมเพล็กซ์ อาคาร เอ ชั้น 8

ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

หมายเลขโทรศัพท์ : +66-(0)2092-2434

หมายเลขโทรศัพท์ฉุกเฉิน

หมายเลขโทรศัพท์ฉุกเฉิน : +66-(0)3897-4800

ที่อยู่ : 8 ถนนผ่องเมืองเฉพาะ 3-1 ต.หัวไผ่

อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150 ประเทศไทย

2. การบ่งชี้ความเป็นอันตราย

การจำแนกประเภทสารเดี่ยวและสารผสมตามระบบ GHS :

ความเป็นอันตรายทางกายภาพ

ของเหลวไวไฟ : ประเภทย่อย 2

ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ความเป็นพิษเฉียบพลัน

- ทางปาก : ประเภทย่อย 3

- ทางผิวหนัง : ประเภทย่อย 2



หน้าที : 2 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

- ทางกรหายใจ (สำหรับไอ) : ประเภทย่อย 2
 - การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนัง : ประเภทย่อย 2 ระคายเคือง
 - การทำลายดวงตาอย่างรุนแรง และการระคายเคืองต่อดวงตา : ประเภทย่อย 2 A ระคายเคือง
 - การทำให้ไวต่อการกระตุ้นอาการแพ้ต่อระบบทางเดินหายใจหรือผิวหนัง
 - การทำให้ไวต่อการกระตุ้นอาการแพ้ต่อผิวหนัง : ประเภทย่อย 1
 - การก่อให้เกิดกลายพันธุ์ของเซลล์สืบพันธุ์ : ประเภทย่อย 2
 - การก่อมะเร็ง : ประเภทย่อย 2
 - ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ : ประเภทย่อย 2
 - ความเป็นพิษต่ออวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว
 - ระบบประสาท ตับ : ประเภทย่อย 1
 - ทำให้เกิดง่วงหลับ หรือใกล้หมดความรู้สึกชั่วคราว ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ : ประเภทย่อย 3
 - ความเป็นพิษต่อระบบอวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการได้รับสัมผัสซ้ำ
 - ระบบประสาท ระบบการหายใจ ระบบโลหิต ลูกอ้นทะเล ไต ตับ : ประเภทย่อย 1
- ความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม**
- ความเป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำ : ประเภทย่อย 2
- องค์ประกอบของฉลาก :**



คำสัญญาณ

อันตราย

ข้อความแสดงความเป็นอันตราย :

- ของเหลว/ไอระเหยไวไฟสูง
- เป็นพิษเมื่อกลืนกิน (ทางปาก)
- เป็นอันตรายถึงชีวิตหากมีการสัมผัสถูกสารทางผิวหนัง (ทางผิวหนัง)
- เป็นอันตรายถึงชีวิตหากมีการหายใจเอาสารเข้าไป (ทางไอระเหย)
- ระคายเคืองต่อผิวหนัง



หน้าที : 1 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

1. การบ่งชี้สารเดี่ยวหรือสารผสม และผู้ผลิต

ตัวบ่งชี้ผลิตภัณฑ์

ชื่อผลิตภัณฑ์ : อะคริไลโนไตรล์ (เอเอ็น)

การบ่งชี้ตัวอื่น ๆ

หมายเลข CAS : 107-13-1
หมายเลข UN : 1093
หมายเลข EC / EINECS : 203-466-5
หมายเลข RTECS : AT6250000
EC Index : 608-003-00-4

ข้อแนะนำและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการใช้สารเดี่ยวหรือสารผสม

ไม่มีข้อมูล

รายละเอียดผู้ผลิต

ชื่อบริษัท : บริษัท พีทีที อาซาฮี เคมีคอล จำกัด
ที่อยู่ : หน่วยงานการตลาดและการขาย
555/1 ศูนย์เอนเนอร์ยีคอมเพล็กซ์ อาคาร เอ ชั้น 8
ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย
หมายเลขโทรศัพท์ : +66-(0)2092-2434
หมายเลขโทรศัพท์ฉุกเฉิน : +66-(0)3897-4800
ที่อยู่ : 8 ถนนฝั่งเมืองเฉพาะ 3-1 ต.ห้วยโป่ง
อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150 ประเทศไทย

2. การบ่งชี้ความเป็นอันตราย

การจำแนกประเภทสารเดี่ยวและสารผสมตามระบบ GHS :

ความเป็นอันตรายทางกายภาพ

ของเหลวไวไฟ : ประเภทย่อย 2

ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ความเป็นพิษเฉียบพลัน
- ทางปาก : ประเภทย่อย 3
- ทางผิวหนัง : ประเภทย่อย 2



หน้าที่ : 3 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

- ระคายเคืองต่อตาอย่างรุนแรง
- อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาของภูมิแพ้ที่ผิวหนัง
- มีข้อสงสัยเรื่องแนวโน้มของโรคทางพันธุกรรม
- มีข้อสงสัยเรื่องแนวโน้มของการก่อมะเร็ง
- มีข้อสงสัยในเรื่องผลกระทบต่อการสืบพันธุ์และตัวอ่อน
- เกิดความผิดปกติของอวัยวะภายใน (ระบบประสาท, ตับ)
- อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองเวลาหายใจ อาจทำให้ง่วงหรือเวียนศีรษะ
- เกิดความผิดปกติของอวัยวะภายในหากได้รับสารในระยะยาวหรือได้รับสารซ้ำหลายครั้ง (ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบโลหิต ลูกอัณฑะ ไต ตับ)
- เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ข้อความแสดงข้อควรระวัง

[มาตรการป้องกัน]

- อ่านทำความเข้าใจข้อแนะนำด้านความปลอดภัยทั้งหมดก่อนเริ่มปฏิบัติงาน
- เก็บรักษาสารเคมีให้ห่างจากแหล่งความร้อน / ประกายไฟ / เปลวไฟ ห้ามสูบบุหรี่ และมีระบบสายดินต่อกับอุปกรณ์ เพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิต
- ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ระบายอากาศ และอุปกรณ์ให้แสงสว่าง ชนิดป้องกันการระเบิด
- สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารทางผิวหนัง ทางตา หรือทางหายใจ
- ใช้สารนี้ในที่โล่งหรือสถานที่ระบายอากาศได้ดีเท่านั้น
- ห้ามกิน ดื่ม หรือสูบบุหรี่ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์นี้
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสสารนี้หากอยู่ในช่วงการตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร
- ล้างมือให้สะอาดหลังเสร็จสิ้นการปฏิบัติงานกับสารนี้ ไม่นำชุดที่ใส่ปฏิบัติงานที่ได้รับการปนเปื้อนออกนอกพื้นที่การทำงาน
- หลีกเลี่ยงการปล่อยสารเคมีสู่สิ่งแวดล้อม

[การตอบโต้เหตุฉุกเฉิน]

- กรณีเพลิงไหม้ : ให้ทำการสวมใส่น้ำกาทป้องกันสารเคมี แล้วทำการดับเพลิงโดยใช้ดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง โฟม CO₂
- กรณีหายใจเข้าไป : ให้ย้ายผู้ป่วยไปยังที่ที่อากาศบริสุทธิ์ และให้พักผ่อนในลักษณะที่หายใจได้สะดวก เข้ารับการตรวจรักษาจากแพทย์โดยทันที
- กรณีสัมผัสผิวหนัง : ให้ล้างส่วนที่สัมผัสถูกล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนสารเคมีออกทันที และเข้ารับการตรวจรักษาจากแพทย์โดยทันที
- กรณีสัมผัสดวงตา : ให้ทำการล้างดวงตาทันที โดยให้น้ำสะอาดไหลผ่านดวงตาเป็นเวลามากกว่า 15 นาที กรณีที่มีการสวมใส่คอนแทคเลนส์ ให้ทำการถอดคอนแทคเลนส์ออกแล้วล้างดวงตานั้นสะอาด และเข้ารับการตรวจรักษาจากแพทย์โดยทันที



หน้าที่ : 4 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

- กรณีกินกินเข้าไป : กระตุ้นให้อาเจียน และเข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยทันที ถ้าผู้ป่วยหมดสติ ห้ามให้สิ่งใดทางปากของผู้ป่วยเด็ดขาด

[การเก็บรักษา]

- เก็บรักษาสารเคมีในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิด เก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ในสถานที่ร่ม มีอากาศถ่ายเทสะดวก มีการป้องกันการสัมผัสโดนแสงอาทิตย์

[การกำจัด]

- การกำจัดต้องดำเนินการโดยบริษัทผู้รับจ้างด้านการจัดการของเสียที่เกี่ยวข้องและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานราชการในท้องถิ่นอย่างถูกต้อง
- ภาชนะเปล่าที่เคยใช้บรรจุสาร จะต้องมีการล้างทำความสะอาดเมื่อมีการนำสารออกจากภาชนะแล้ว และต้องมีการจัดการที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของหน่วยงานราชการในท้องถิ่นและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นอันตรายอื่นที่ไม่มีผลในการจำแนกประเภท :

ในกรณีที่ทำกรกำจัดโดยการเผากำจัด อุณหภูมิของเตาที่ใช้เผาจะต้องสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส มิเช่นนั้นในกระบวนการเผาอาจก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

3. องค์ประกอบและข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่อทางเคมี	: อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile)
ชื่อสามัญและชื่อพ้อง	: Vinyl Cyanide, Cyanoethylene, Propenenitrile
สูตรโมเลกุล	: C ₃ H _{3.5} CN
มวลโมเลกุล	: 53.06
หมายเลข CAS และตัวบ่งชี้ที่มีลักษณะเฉพาะอื่นๆ	
หมายเลข CAS	: 107-13-1
หมายเลข UN	: 1093
หมายเลข EC / EINECS	: 203-466-5
สิ่งเจือปนและสารปรุงแต่งให้เสถียร	: มี (สารปรุงแต่งให้เสถียร)

4. มาตรการปฐมพยาบาล

การหายใจเข้าไป : ย้ายผู้ป่วยไปสู่อากาศบริสุทธิ์ทันที ห่มผ้าเพื่อให้ความอบอุ่นแก่ผู้ป่วย และให้ผู้ป่วยพักอยู่นิ่งๆ จากนั้นให้เข้ารับการรักษาจากแพทย์ทันที



หน้าที : 5 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

หากผู้ปวยหยุดหายใจหรือหายใจไม่สะดวก ให้ทำการปลดกระดุมขุดที่ผู้ปวยพักในท่าที่ผู้ปวยหายใจสะดวก ใช้เครื่องช่วยหายใจและเข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยทันที

- การสัมผัสผิวหนัง** : ให้ออกเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนสารเคมีออก ล้างส่วนที่สัมผัสโดนสารเคมีด้วยน้ำให้สะอาด จากนั้นให้เข้ารับการรักษาจากแพทย์ทันที
- การสัมผัสดวงตา** : ให้ทำการล้างดวงตาโดยให้น้ำสะอาดไหลผ่านดวงตาเป็นเวลามากกว่า 15 นาที จากนั้นให้เข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยทันที กรณีที่มีอาการปวดแสบตาให้ทำการถอดคอนแทคเลนส์ออกแล้วล้างดวงตาให้สะอาด
- การกลืนกิน** : หากผู้ปวยมีสติ กระตุ้นให้ผู้ปวยอาเจียน จากนั้นเข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยทันที หากผู้ปวยไม่มีสติ ห้ามให้สิ่งใดทางปากแก่ผู้ปวยโดยเด็ดขาด ให้นำตัวเข้ารับการรักษาจากแพทย์โดยทันที
- อาการหรือผลกระทบที่สำคัญ ที่เกิดขึ้นเฉียบพลันและที่เกิดขึ้นภายหลัง :**
- ตา : เกิดการทำลายดวงตาอย่างรุนแรง
 - ผิวหนัง : เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ที่ผิวหนัง
 - การหายใจ : อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ
 - การกลืนกิน : อาจก่อให้เกิดแผลไหม้ที่ปาก คอ และกระเพาะอาหาร
- การป้องกันตัวของผู้ที่ทำการปฐมพยาบาล**
- ห้ามช่วยหายใจโดยการเป่าปาก (Mouth-to-mouth) ให้ใช้เครื่องมือช่วยหายใจโดยเฉพาะ
 - สวมใส่ถุงมือหรือหน้ากากป้องกัน
- ขอควรพิจารณาทางการแพทย์ที่ต้องทำทันทีและการดูแลรักษาเฉพาะที่สำคัญที่ควรดำเนินการ :**
- ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ผู้ปวยได้รับ เช่น เอกสารข้อมูลความปลอดภัยฉบับนี้ ให้แก่แพทย์ผู้ทำการรักษา กรณีสูดดมสารอะคริไลโนไตรลเข้าไป ให้ติดต่อแจ้งศูนย์พิษวิทยา (Poison Center) หรือแพทย์
- 5. มาตรการฉุกเฉิน**
- สารดับเพลิงที่เหมาะสม** : ผงเคมีแห้ง โฟมดับเพลิง (AFFF) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- สารดับเพลิงที่ห้ามใช้** : น้ำที่ฉีดในลักษณะพุ่งเป็นลำ



หน้าที : 6 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์ , SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ความเป็นอันตรายเฉพาะที่เกิดขึ้นจากสารเคมี :

- สามารถติดไฟและลุกไหม้ได้ง่าย เมื่อสัมผัสวัตถุความร้อน สะเก็ดไฟ หรือไฟ
- อาจเกิดการระเบิดของภาชนะบรรจุหากได้รับความร้อน
- เมื่อเกิดเพลิงไหม้ อาจก่อให้เกิดก๊าซที่ทำให้ระคายเคือง เป็นพิษ หรือกัดกร่อนได้
- ก่อให้เกิดของเหลวหรือไอระเหยที่มีความไวไฟ

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษ และข้อควรระวังสำหรับนักผจญเพลิง :

- การดับเพลิงจะต้องกระทำจากทิศทางเหนือลม
- นักผจญเพลิงต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสมให้เรียบร้อยทุกครั้ง (อ้างอิง ข้อ 8 เรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล)
- วิธีการดับเพลิง
 - กรณีเป็นการดับเพลิงเบื้องต้น ให้ใช้ผงเคมีแห้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 - กรณีเป็นเพลิงขนาดใหญ่ ให้ใช้โฟมดับเพลิง และทำการตัดออกซิเจนออกจะเป็นวิธีการที่ได้ผลดี

6. มาตรการจัดการเมื่อมีการหกหรือไหลของสาร

ข้อควรระวังส่วนบุคคล อุปกรณ์ป้องกันอันตราย และขั้นตอนการปฏิบัติงานฉุกเฉิน :

- ทำการปิดล้อมพื้นที่ที่เกิดการรั่วไหล และดำเนินการควบคุมการเข้าบริเวณที่เกิดเหตุ
- ทำการอพยพคนในพื้นที่เกิดเหตุไปสู่พื้นที่เหนือลม และจำกัดการเข้าบริเวณที่เกิดเหตุของผู้ไม่เกี่ยวข้อง
- ต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม (อ้างอิง ข้อ 8 เรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล)
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสสารถูกดวงตาหรือผิวหนัง และควรถอดสมอเอสารเข้าไป

ข้อควรระวังด้านสิ่งแวดล้อม : ไม่ทำการปล่อยสารที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำหรือแม่น้ำตามธรรมชาติ

วิธีการและวัสดุสำหรับกักเก็บและทำความสะอาด :

- กรณีสารหกหรือไหลในปริมาณน้อย ให้ใช้ทรายแห้งในการดูดซับสาร หรือใช้วัสดุดูดซับสารเคมี เช็ดทำความสะอาด จากนั้นนำไปเก็บรวบรวมไว้ในภาชนะที่ปิดอย่างมิดชิด
- กรณีสารหกหรือไหลในปริมาณมาก ให้ใช้ทรายมาก่อกั้นการรั่วไหลให้ไปยังสถานที่ปลอดภัย จากนั้นจึงทำการเก็บกู้
- หลังเสร็จสิ้นการเก็บกู้แล้ว ให้ล้างทำความสะอาดสถานที่ปนเปื้อนให้เรียบร้อย

มาตรการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุซ้ำซ้อน :

- ทำการกำจัดแหล่งที่อาจก่อให้เกิดการจุดติดไฟในบริเวณใกล้เคียงออกโดยทันที
- ป้องกันการไหลลงสู่ท่อพัดน้ำเสีย บ่อน้ำบาดาล ห้องใต้ดิน หรือสถานที่ปิดอื่นๆ



หน้าที่ : 7 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

7. การขนถ่าย เคลื่อนย้าย ใช้งาน และเก็บรักษา

ข้อควรระวังในการขนถ่ายเคลื่อนย้าย ใช้งาน และเก็บรักษาอย่างปลอดภัย :

- สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันทุกครั้ง (อ้างอิงจากข้อ 8 เรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล)
- ห้ามไม่ให้มีแหล่งกำเนิดไฟ ไฟฟ้าสถิต ตะเกียงไฟและอื่นๆ ในสถานที่ปฏิบัติงานกับสารเคมีและบริเวณใกล้เคียง
- ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ เสื้อผ้าและรองเท้าที่ใช้ปฏิบัติงานจะต้องเป็นแบบนำไฟฟ้า
- เก็บรักษาสารเคมีในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิด และปฏิบัติงานกับสารเคมีในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก หรือเป็นสถานที่ที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศโดยรวม หรือระบายอากาศเฉพาะที่
- ระมัดระวังไม่ให้เกิดโอโซนหรือละอองของสารเคมี
- ห้ามไม่ให้คว่ำ โยน ลากภาชนะบรรจุสารเคมี หรือกระทำการรุนแรงอื่นๆ ที่จะก่อให้เกิดภาชนะบรรจุเสียหาย รวมถึงต้องระมัดระวังในการจัดการดูแลภาชนะบรรจุเปล่าในลักษณะเดียวกันด้วย
- หลังการปฏิบัติงานให้ล้างมือให้สะอาดและเปลี่ยนชุดที่เปื้อนสารเคมี
- ห้ามรับประทานอาหารหรือน้ำ และห้ามสูบบุหรี่ในขณะที่ปฏิบัติงาน

สภาวะการเก็บรักษาอย่างปลอดภัย :

- ทำการติดตั้งระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ระบายอากาศในสถานที่เก็บรักษาสารเคมี เนื่องจากเป็นสถานที่เก็บรักษาและปฏิบัติงานกับสารเคมีอันตราย รวมถึงมีการดำเนินการความปลอดภัยในการป้องกันไม่ให้สารเคมีซึมลงสู่พื้นดิน
- เก็บรักษาสารเคมีในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิด และจัดเก็บในสถานที่ร่ม มีการป้องกันการโดนแสงอาทิตย์ และมีการระบายอากาศที่ดีเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์
- ภาชนะที่บรรจุควรเป็นคาร์บอนสตีล / SUS-304 / โพลีเอทิลีน / แก้ว
- ภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งคือ Metal Drum Can หรือรถแท้งกับบรรจุสารเคมี (Tank Lorry) กรณีขนส่งในปริมาณมาก ให้ใช้เรือบรรทุกสินค้าสารเคมี (Chemical Tanker)
- จัดเก็บภายใต้กฎระเบียบข้อบังคับ / กฎหมาย ของประเทศ และท้องถิ่น

ข้อห้ามในการเก็บรักษาสารที่เข้ากันไม่ได้ :

จัดเก็บให้ห่างจากสารที่เข้ากันไม่ได้ ได้แก่ กรด ต่าง และสารออกซิไดซ์



หน้าที : 8 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์ , SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

8. การควบคุมการรับสัมผัสและการป้องกันส่วนบุคคล

ค่าต่างๆ ที่ใช้ควบคุมการสัมผัส :

- ACGIH TLV- TWA : 2 ppm (4.3 mg/m³) Skin Absorption.
- Japan Society for Occupational Health (Version Y2010) : 2 ppm (4.3 mg/m³) Skin Absorption.
- ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ประเทศไทย TLV-TWA : 2 ppm.²⁴⁾

การควบคุมทางวิศวกรรมที่เหมาะสม :

- ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ระบายอากาศ และอุปกรณ์ให้แสงสว่าง ชนิดป้องกันการระเบิด
- จัดทำมาตรการป้องกันโดยกรงกักไฟฟ้าสถิต
- กรณีที่ต้องทำงานในพื้นที่ปิดหรือในอาคาร ต้องมีการปิดผนึกแหล่งกำเนิดไอระเหยให้มิดชิด หรือทำการติดตั้งการระบายอากาศเฉพาะที่
- จัดให้มีที่ล้างตัว ล้างมือ ล้างตาจากเงินใกล้บริเวณที่ปฏิบัติงานกับสารเคมี และติดป้ายสัญลักษณ์บ่งชี้ตำแหน่งที่ตั้ง

มาตรการป้องกันอันตรายส่วนบุคคล :

- การป้องกันระบบทางเดินหายใจ : หน้ากากป้องกันสารเคมีอันตราย (ตลับกรองต้องเป็นประเภทที่ใช้สำหรับสารอินทรีย์หรือสารไฮโดรเจนไซยาไนด์) กรณีที่สารมีความเข้มข้นสูงให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจแบบส่งอากาศ เช่น หน้ากากแบบมีท่อส่งอากาศ หรือ SCBA
- การป้องกันดวงตา : แว่นตานิรภัยแบบกึ่งอกเกิล (goggle) อุปกรณ์ป้องกันใบหน้า (Face Protection)
- การป้องกันผิวหนัง : ถุงมือยาง (ชนิดที่ทำจากยางบิวทิล (Butyl Rubber) และชุดป้องกัน และรองเท้านิรภัยแบบกันสารเคมีซึมผ่านและป้องกันไฟฟ้าสถิต



9. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

- ลักษณะทั่วไป : ของเหลวใสไม่มีสี
- กลิ่น : มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย
- ค่าขีดจำกัดของกลิ่นที่รับได้ : 8.8 ppm²¹⁾



หน้าที : 9 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	: 6.0 – 7.5 (5% Solution)
จุดหลอมเหลว และจุดเยือกแข็ง	: -84°C
จุดเดือดเริ่มต้น และช่วงของการเดือด	: 77°C
จุดวาบไฟ	: 0°C (Opened) -1°C (Closed)
อัตราการระเหย	: 4.54 (Butyl acrylate=1) ²⁶
ความสามารถในการลุกติดไฟได้ของแข็ง และก๊าซ	: ไม่มีข้อมูล
ค่าขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของความไวไฟ หรือค่าขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของภาวะระเบิด	: LEL 3.0 vol.% UEL 17.0 vol.%
ความดันไอ	: 11 kPa (20°C) ²⁷
ความหนาแน่นไอ (อากาศ = 1)	: 1.83 (ค่าคำนวณ)
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (น้ำ = 1)	: 0.806 (20°C/4°C)
ความสามารถในการละลายได้	: 7.3g / น้ำ 100mL (20°C) สวมกับตัวทำละลายอินทรีย์เช่น อะซิโตนหรือเอทิลเทอร์
ค่าสัมประสิทธิ์การละลายของสารในชั้นของ n-octanol ต่อ น้ำ	: log Pow = 0.25 (ค่าตรวจวัด) -0.21 (ค่าประมาณการณ)
อุณหภูมิที่ลุกติดไฟได้เอง	: 481°C
อุณหภูมิของการสลายตัว	: ไม่มีข้อมูล
ความหนืด	: 0.34 mPa * s
10. ความเสถียรและการเกิดปฏิกิริยา	
การเกิดปฏิกิริยา	: เกิดปฏิกิริยารุนแรงถ้าสัมผัสกับกรดแก่ ต่างแก่ สารออกซิไดซ์
ความเสถียรทางเคมี	: เสถียรเมื่อมีการเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน
ความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาอันตราย :	
• เกิดปฏิกิริยาได้สูงจาก Polymerization Monomer พันธะคู่	
• หากเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันอันเนื่องมาจากการสัมผัสกับแสงแดด ต่างแก่ หรือกรดแก่ อาจเกิดอันตรายจากภาวะระเบิดขึ้นได้	
สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง	: สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง โคนแสงอาทิตย์โดยตรง
วัสดุที่เข้ากันไม่ได้	: สารออกซิไดซ์ กรด ต่าง



หน้าที่ : 10 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 มลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ความเป็นอันตรายของสารที่เกิดจากการสลายตัว : หากมีความร้อนที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการแตกตัวและเกิดก๊าซที่เป็นอันตรายขึ้น เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ หรือไฮโดรเจนไซยาไนด์

11. ข้อมูลด้านพิษวิทยา

ความเป็นพิษเฉียบพลัน :

- ทางปาก - หนู LD₅₀ (Median Lethal Dose) = 72 ~ 186 mg/kg.²⁾
- ทางผิวหนัง - หนู LD₅₀ (Median Lethal Dose) = 148 ~ 282 mg/kg.²⁾
- กระต่าย LD₅₀ (Median Lethal Dose) = 200 ~ 226 mg/kg.²⁾
- การสูดดม (ไอระเหย) - หนู LC₅₀ (Median Lethal Concentration) = 0.54 mg/L/4h.²⁾ = 248 ppm/4h

การกัดกร่อน และการระคายเคืองต่อผิวหนัง : พบจุดแดง อากาศระคายเคืองตาของเนื้อเยื่อที่ผิวหนังของกระต่าย²⁾

การทำลายดวงตาอย่างรุนแรง และการระคายเคืองต่อดวงตา : มีรายงานของอาการระคายเคืองดวงตา เช่น การระคายเคืองที่เยื่อตา อาการระคายเคืองตาตื้อๆ ในการทดสอบกับกระต่าย^{2) 4)}

การทำให้อวัยวะกระตุ้นอาการแพ้ต่อระบบทางเดินหายใจหรือผิวหนัง :

พบผลเป็นบวก (Positive) ในการทำ Maximisation test โดยใช้นุตะเกศา^{2) 4)}

Maximisation test : คือการทดสอบปฏิกิริยาการแพ้ทางผิวหนัง

การก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์สืบพันธุ์ (การกลายพันธุ์) :

- จากการทดลองในสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้น (in vitro) เช่น Reversion Testing, Chromosomal Aberration Testing, Gene Mutation Testing, Sister Chromatid Exchange Testing มีกรรายงานที่เป็นบวก (Positive) จำนวนมาก ซึ่งอ้างอิงจากระบบกิจกรรมเผาผลาญ (Metabolic Activity) หลังได้ทำการนำเอาตัวอย่างออกไปเล็กน้อย และจากการทดลองในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (in vivo) พบรายงานที่เป็นบวก (Positive) จาก Unscheduled DNA Synthesis ที่ทดลองกับตับของหนู และจากการทดลองกับแมลงหวี่²⁾
- in vivo : การทดลองทางชีววิทยาในร่างกายหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
- in vitro : การทดลองทางชีววิทยาในหลอดทดลอง

การก่อมะเร็ง : อะคริไลโนไตรล์จัดอยู่ในลำดับ IARC = 2B , ACGIH = A3 , NTR = R

- IARC (International Agency for Research on Cancer)
2B : อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
A3 : ยืนยันเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่ทราบว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่



หน้าที่ : 11 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN . A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

- NTP (National Toxicology Program)

R : สารเคมีที่ได้รับการสงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ :

กรณีที่มีการให้พิษทางปากในปริมาณ 25 mg/kg แก่หนูแม่พันธุ์ในระบะตั้งครรภ์วันที่ 6 ถึง 15 พบความเป็นพิษทั้งในมารดาและพบการผิดปกติของร่างกายในตัวลูก นอกจากนี้เมื่อมีการสัมผัสสารผ่านทางเดินหายใจ 80 ppm ยังพบภาวะกำเนิดทารกวิรูป (Teratogenesis) แต่ที่ 40 ppm ไม่พบภาวะกำเนิดทารกวิรูป^{1,2)}

ความเป็นพิษต่อระบบอวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสครั้งเดียว :

มีรายงานของอาการ "ดีซ่านที่แสดงอาการไม่มาก (Mild Jaundice) อาการชักกระตุก" "ผลต่อตับและระบบประสาทส่วนกลาง" "การระคายเคืองต่อดวงตา จมูก และคอ" อาการชาเป็นอัมพาต หดสติ หยุตหายใจ" ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่าระบบประสาทและตับเป็นอวัยวะเป้าหมายของการเกิดพิษ และปงชี้ได้ถึงการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจในมนุษย์ สำหรับผลต่อระบบประสาทนั้น มีการปงชี้ในเรื่องของการให้เป็นยาเสพติดด้วย^{2) 4) 15)}

ความเป็นพิษต่อระบบอวัยวะเป้าหมายอย่างเฉพาะเจาะจงจากการรับสัมผัสซ้ำ :

มีรายงานของอาการ "การแสดงออกของอาการผิดปกติของประสาทส่วนกลาง เช่น กระสับกระส่าย ปวดศีรษะ เกิดอาการป่วยทางอารมณ์และจิตใจ เป็นต้น" "อาการแสบตา จมูก คอ และทางเดินหายใจ" "การลดลงของความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน/จำนวนเม็ดเลือดแดง/จำนวนเม็ดเลือดขาว การกดทำงานของภูมิคุ้มกัน" ในมนุษย์ และพบรายงาน "การอักเสบเฉพาะส่วนของเนื้อเยื่อผิวหนังชั้นนอกของระบบทางเดินหายใจ เลือดออกในไขกระดูกของตับและไต ตับเกิดการเสื่อมเฉพาะจุด การบวมโตของไต เปลี่ยนต่อมหมวกไตฝ่อ" ในสัตว์ทดลอง¹⁵⁾

ความเป็นอันตรายจากการสำลัก : ไม่สามารถระบุได้

12. ข้อมูลด้านนิเวศวิทยา

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ :

- ปลา : Fathead Minnow LC₅₀ (Median Lethal Concentration) = 8.4 mg/L/96h^{2,4)}
- สัตว์เปลือกแข็ง (กุ้ง) : Daphnia LC₅₀ (Median Lethal Concentration) = 7.5-10 mg/L/48h^{2,4)}
- พืชน้ำและสาหร่าย : Scenedesmus EC₅₀ (Median Effective Concentration) = 3.1 mg/L/72h^{2,4)}

การตกค้างยาวนาน / และความสามารถในการย่อยสลาย :

- มีการสลายตัวทางชีวภาพที่ดี^{1) 2) 4)}
- อัตราการสลายตัว 41~74% (ค่า BOD 2 อาทิตย์)^{2) 4)}



หน้าที่ : 12 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

- สามารถย่อยสลายทางชีวภาพไปเป็นอะคริลาไมด์ (Acrylamide) ด้วยแบคทีเรียหลายประเภท และอะคริลาไมด์จะย่อยสลายได้โดยง่ายด้วยแบคทีเรียที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อม

ศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพ :

จากสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Partition Coefficient) และความสามารถในการสลายตัว ทำให้สันนิษฐานได้ว่ามีศักยภาพในการสะสมในสิ่งมีชีวิตได้^{1,3)}

การเคลื่อนย้ายในดิน : ไม่มีข้อมูล
ผลกระทบในทางเสียหอยอื่น ๆ : ไม่มีข้อมูล

13. ข้อพิจารณาในการกำจัด

การกำจัดกากของเสีย :

- ต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับกฎระเบียบข้อบังคับ / กฎหมาย ของประเทศ และท้องถิ่น
- กรณีให้ผู้รับเหมาในการจัดการของเสีย ให้ให้ผู้รับบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลและกากของเสียอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานของประเทศ หรือใช้หน่วยงานของเทศบาลหากมีดำเนินการบำบัดและกำจัดของเสียชนิดนี้อยู่
- หากมีการให้ผู้รับบำบัดและกำจัดของเสีย จะต้องทำการแจ้งความเป็นอันตราย และความเป็นพิษของสารเคมีให้แก่ผู้รับบำบัดและกำจัดของเสียนั้นอย่างเหมาะสมด้วย
- การกำจัดด้วยการเผา เตาที่ใช้เผากำจัดจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN)
- สารละลายเจือจาง (Dilute Solution) ใช้วิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) ระบบน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)

การกำจัดบรรจุก้นที่ที่ปนเปื้อน :

- กรณีที่จะทำการกำจัดภาชนะเปล่า ให้ทำการนำสารเคมีที่ค้างในภาชนะออก จากนั้นทำความสะอาดภาชนะด้วยน้ำหรือให้น้ำให้เรียบร้อย แล้วจึงนำไปกำจัดอีกครั้ง
- ต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม (อ้างอิง ข้อ 8 เรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล)

14. ข้อมูลการขนส่ง

หมายเลขสหประชาชาติ (UN NO.) : 1093 (Stabilized)
ชื่อที่ถูกต้องในการขนส่งของสหประชาชาติ : Acrylonitrile , Stabilized
ประเภทความเป็นอันตรายสำหรับการขนส่ง : 3 (ของเหลวไวไฟ)



หน้าที : 13 จาก 15
 วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2564
 วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
 ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ความเสี่ยงรอง	: 6.1
กลุ่มการบรรจุ	: I
มลภาวะทางทะเล	: Category Y (MARPOL Annex II)
การขนส่งด้วยภาชนะขนาดใหญ่	: ไม่มีข้อมูล
ข้อควรระวังพิเศษ :	

อะคริโลไนไตรเป็นของเหลวไวไฟ ดังนั้นในการขนถ่ายหรือขนส่งสารเคมีจะต้องปฏิบัติตามระเบียบที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก เป็นต้น

15. ข้อมูลเกี่ยวกับกฎ ระเบียบ ข้อบังคับของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง :

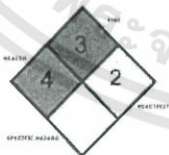
กฎข้อบังคับของประเทศไทย :

- พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535 : อะคริโลไนไตรจัดเป็นวัตถุอันตราย ชนิดที่ 3 วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาต
- ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง บัญชีรายชื่อสารเคมีอันตราย (2556) : อะคริโลไนไตรจัดเป็นสารเคมีอันตราย
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556 : อะคริโลไนไตรจัดเป็นวัตถุอันตราย อยู่ในบัญชี 6 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบ (บัญชี 5.1 รายชื่อสารควบคุม)

16. ข้อมูลอื่นๆ

16.1 สัญลักษณ์ NFPA

การจำแนกความเป็นอันตรายของสารเคมีตามมาตรฐาน NFPA (NFPA CLASSIFICATION) : สุขภาพ 4, ความไวไฟ 3, ความไวในปฏิกิริยา 2



NFPA 704



หน้าที่ : 14 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN , A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

16.2 แหล่งข้อมูลและเอกสารที่ใช้ทำรายละเอียดข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีอันตราย

- 1) "Japan Existing Chemical Safety (Hazard) Assessment Sheet (1997)" (Chemical Evaluation and Research Institute)
- 2) "CERI Risk Assessment (2006)" (Chemical Evaluation and Research Institute)
- 3) "Environmental Risk Assessment for Chemical Substances Volume 2 (2003) and Volume 3(2004)" Department of Energy, Environmental Risk Assessment Section
- 4) "Initial Risk Assessment for Chemical Substances Ver.10 (2005)" New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)
- 5) "EHC 28 1983" IPCS (International Program on Chemical Safety)
- 6) European Union Risk Assessment Report (2004)"
- 7) Japan Society for Occupational Health (Ver.2010)
- 8) Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices , ACGIH (Ver.2017)
- 9) Disaster Prevention Guideline for Chemistry and Chemical Industry Issue II The Chemical Society of Japan
- 10) Acrylonitrile Management Guideline (1992) Japan Chemical Fiber Association
- 11) Hazardous Chemical Data Book Tokyo Fire Department
- 12) Safety Data Sheet No.6 (Japan Petrochemical Industry Association)
- 13) Hazardous Chemical Handbook (Gunter Hommel)
- 14) Chemical Products 15710.(The Chemical Daily, Issue 2010)
- 15) NITE (National Institute of Technology and Evaluation) GHS Classification Public Result
- 16) The Promotion of international Regulation and Measure for Chemical Substances (The research about GHS Classification of Specified Substance controlled by Law and candidate substance) Mitsubishi Techno-Research Corporation (2008, March)
- 17) "GHS Classification Guidance for Enterprises" Ministry of Economy, Trade, and Industry (March 2010)
- 18) "JIS Z 7252 (2009) Classification of Chemicals based on GHS" Japanese Standard Association (JIS)
- 19) "JIS Z 7250 (2010) Information and Items of Safety Data Sheet for Chemical Substance" Japanese Standard Association (JIS)
- 20) Notification of Ministry of Industrial , Subject Classification and Communication of Hazardous Substances (The government Gazette , Issue 2012)
- 21) Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method (2002) by Japan Environmental Sanitation Center
- 22) U.S. Department of Health and Human Services(1988)
- 23) AN Safety Data Sheet , AsahiKASEI (2011)
- 24) ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ซีตจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (B.E.2560)



หน้าที่ : 15 จาก 15
วันที่ออกเอกสาร : 1 มกราคม 2554
วันที่แก้ไข : 1 พฤศจิกายน 2560
ผลิตภัณฑ์, SDS No. : AN, A-001 (Rev.04)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

การนำเนื้อหาที่พิมพ์ในเอกสารนี้ไปใช้งาน

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (SDS) ฉบับนี้ จัดทำขึ้นโดยอ้างอิงตามเอกสาร ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันที่สุดที่จัดทำได้ ณ เวลานั้น ดังนั้น เนื้อหาในเอกสารนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความรู้หรือข้อมูลใหม่ นอกจากนี้ หัวข้อควรระวังที่ระบุใน เอกสารนี้เป็นการระบุถึงการใช้งานหรือการจัดการโดยทั่วไป ผู้ที่ทำการใช้สารเคมีนี้จะต้องมีการดำเนินการด้านความปลอดภัยที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานเฉพาะของตนเองด้วย นอกจากนี้ ทางบริษัทฯ ได้จัดทำเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีฉบับนี้ขึ้นมาด้วยความระมัดระวังด้านเนื้อหาอย่างสูงสุด แต่ทั้งนี้ ทางบริษัทฯ จะไม่มีความรับผิดชอบในการรับรองเนื้อหาดังกล่าว

