การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีและตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ

นางสาวสุรางค์รัตน์ ต้นหลุบเลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

RADIATION INDUCED GRAFTING OF GLYCIDYL METHACRYLATE ONTO SILK AND FINISHED WITH FLAME RETARDANT

Miss Surangrat Tonlublao

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology
Department of Nuclear Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีและตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ
โดย	นางสาวสุรางค์รัตน์ ต้นหลุบเลา
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุรางค์รัตน์ ต้นหลุบเลา : การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีและตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ. (RADIATION INDUCED GRAFTING OF GLYCIDYL METHACRYLATE ONTO SILK AND FINISHED WITH FLAME RETARDANT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล , 46 หน้า.

ในการเตรียมผ้าไหมที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตบนผ้าไหม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกราฟต์ คือการฉายรังสีแกมมา 15 กิโลเกรย์ บนผ้าไหมที่แช่อยู่ในไกลซิดิลเมทาคริเลตเข้มข้น 10% โดยปริมาตรต่อปริมาตร และมีไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นตัวทำละลาย และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกแต่งคือการแช่ผ้าไหมที่กราฟต์แล้วในเอทีลีนไดเอมีนที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง ก่อนทำให้แห้งและนำไปแช่ในกรดออร์โธฟอสฟอริกเข้มข้น 5% อีก 8 ชั่วโมง ผ้าไหมที่กราฟต์แล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เท่ากับ 33.83 และมีพีคของคีโตนและอีพอกซี ซึ่งเป็นกลุ่มฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตปรากฏอยู่ในสเปกตรัมอินฟราเรด ผลการทดสอบคุณสมบัติหน่วงไฟตามมาตรฐาน ASTM D2863 บ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด หรือ LOI มากกว่า 21 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง 1-5% ของกรดออร์โธฟอสฟอริกที่ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5370584321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEYWORDS: GAMMA RADIATION / GRAFTING / GLYCIDYL METHACRYLATE / SILK / FINISHED / FLAME RETARDANT

SURANGRAT TONLUBLAO: RADIATION INDUCED GRAFTING OF GLYCIDYL METHACRYLATE ONTO SILK AND FINISHED WITH FLAME RETARDANT. ADVISOR: ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 46 pp.

Silk with flame retarding properties, the product of this study, was prepared by grafting glycidyl methacrylate onto silk using gamma irradiation. Finishing was carried out by soaking grafted silk in ethylenediamine for 8 h at room temperature, dried, then soaking for another 8 h in various concentrations of orthophosphoric acid. Optimum preparation conditions were found to be 10% by volume of glycidyl methacrylate in the dimethylformamide solvent, 15 kGy gamma irradiation, and 5% by volume of orthophosphoric acid. The dried grafted silk had a maximum of 33.83% grafting with the presence of ketone and epoxy as the functional groups of glycidyl methacrylate in the FT-IR spectrum. Testing results based on ASTM D2863 showed a monotonic increasing trend of Limiting Oxygen Index (LOI) to be above 21 for 1-5% range of orthophosphoric acid.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Nuclear Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Nuclear Technology Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ทั้งความรู้ ความช่วยเหลือ คอยดูแล ชี้แนะหลักการรวมทั้งแนวคิดอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ และให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัย ตลอดมาจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ ดร. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล ที่ได้สละเวลาอันมีค่า มาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังให้หลักการและข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณสุมาลี นิลพฤกษ์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในความอนุเคราะห์การใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย น้องชาย พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ นิสิตปริญญาโทของภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาและให้กำลังใจ จนทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 6

2.1 ไหม 6

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของไหม 6

2.1.2 สมบัติทางกายภาพของไหม 8

2.1.3 สมบัติทางเคมีของไหม 9

2.2 ไกลซิดิลเมทาคริเลต 10

2.2.1 การบ่งลักษณะ และคุณสมบัติทางกายภาพของไกลซิดิลเมทาคริเลต 10

2.3 สารหน่วงไฟ 11

2.3.1 กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ 11

2.4 ประเภทของสารหน่วงไฟ 12

2.4.1 สารหน่วงไฟที่จำแนกตามความคงทน 12

2.4.2 สารหน่วงไฟที่จำแนกจากองค์ประกอบ 13

2.5 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา 15

2.5.1 Initiation 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5.2 Propagation 16
2.5.3 Termination 17
2.6 เทคนิคการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน 17
2.6.1 Simultaneous irradiation technique 17
2.6.2 Pre-irradiation technique 18
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย 19
3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ 19
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 20
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย 21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 25
4.1 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต บนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมา . 25
แบบ Simultaneous irradiation 25
4.1.1 อิทธิพลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 25
4.1.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 26
4.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy 28
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยไหมของผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 33
4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าไหมและผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis 33
4.5 ผลการทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230 36
4.6 ผลการทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2863 36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 38
รายการอ้างอิง 41
ภาคผนวก 42
ภาคผนวก ก 43
ภาคผนวก ข 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก ค..... 45
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม 26
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต....28
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสเปกตรัมอินฟราเรดของหมู่อะมิโนของ Barbara Stuart กับสเปกตรัม
อินฟราเรดของหมู่อะมิโนจากงานวิจัย 29
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าฝ้ายกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตของ.....29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของกรดอะมิโน 7
รูปที่ 2.2 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวของไหม 8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างไกลซิดิลเมทาคริเลต 10
รูปที่ 2.4 วงจรการไหม้ของวัสดุสิ่งทอ 11
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของไกลซิดิลเมทาคริเลต 17
รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น Gamma cell 220excel 20
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก 20
รูปที่ 3.3 เครื่องเขย่าสาร 21
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของไกลซิดิลเมทาคริเลต 25
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไกลซิดิลเมทาคริเลตกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 27
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหม 30
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต 31
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก 32
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 34
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์น้ำหนักของผ้าไหมกับอุณหภูมิ 35
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์น้ำหนักของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก 35
รูปที่ 4.9 ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดของผ้าไหม (UT silk), ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต (GMA-g-silk), ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน (GMA-g-silk react ED), ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 1% (FR1%), ผ้าไหม..... กราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 3% (FR3%), ผ้าไหมกราฟต์..... ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 5% (FR5%) 37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สาเหตุที่ทำให้เกิดอัคคีภัยนอกจากไฟฟ้าลัดวงจรหรือมีการลอบวางเพลิงแล้ว ต้นเหตุที่ทำให้เปลวไฟลุกลามใหญ่โตก็มักจะเกิดจากวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุตกแต่งภายในประเภทสิ่งทอ โฟม พลาสติก ไม้ ที่เมื่อติดไฟแล้วก็กลายเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี ทำให้มีการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่อาจก่อให้เกิดไฟไหม้ให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟ เพื่อลดการบาดเจ็บและการสูญเสียทรัพย์สินจากไฟไหม้ ผ้าไหมเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ติดไฟได้ง่ายและเป็นสาเหตุให้เกิดไฟไหม้ เนื่องจากในอาคารบ้านเรือนมีผลิตภัณฑ์สิ่งทอเครื่องนุ่งห่มที่ทำจากไหม หรือวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายใน เช่น มู่ลี่, ผ้าม่าน, ผ้าปูเตียง และผ้าที่ใช้ในเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

ในอดีตการตกแต่งผ้านิยมใช้สารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบเนื่องจากหน่วงไฟได้ดีและคงทนต่อการซัก ต่อมาสังคมให้ความสำคัญกับสารหน่วงไฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้สารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบไม่นิยมใช้เนื่องจากพบว่าวัสดุที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบเมื่อเกิดการลุกไหม้ จะให้ควันที่เป็นพิษเพราะมีส่วนผสมของสารก่อมะเร็ง ปัจจุบันสารหน่วงไฟในกลุ่มฟอสฟอรัสเป็นสารหน่วงไฟที่กำลังได้รับการนิยมในการนำมาใช้แทนสารกลุ่มฮาโลเจน เพราะนอกจากจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้ว ผลิตผลที่ได้จากกระบวนการหลังการเผาไหม้ยังให้ปริมาณก๊าซและควันพิษต่ำอีกด้วย

การวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ดีให้กับผ้า เช่น งานวิจัยของรัชพงศ์ หอทิมาวรกุล [1] ได้ตกแต่งผ้าพอลิเมอร์ผสมฝ้าย ด้วยแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเพื่อให้ผ้ามีคุณสมบัติหน่วงไฟโดยใช้พลาสมาที่กำเนิดจากเครื่องทีตาพินช์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติหน่วงไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์ผสมฝ้ายคือการยิงพลาสมาไนโตรเจนแบบห้วง 2 ห้วง และความเข้มข้นของสารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 5% งานวิจัยของ Lihua Yu และคณะ [2] ศึกษาการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตในการปรับปรุง polyethylene terephthalate (PET) ให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟโดยใช้รังสียูวีร่วมกับสารหน่วงไฟ ซึ่งประกอบด้วย 1-hydroxy ethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP) และ sulfamic acid (H_2NSO_3H) พบว่า PET ที่กราฟต์ด้วยไกลซิดิล-เมทาคริเลตมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (Limiting Oxygen Index, LOI) น้อยกว่า PET ที่ไม่ผ่านการตกแต่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง PET ที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ กับ PET ที่กราฟต์ด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งสารหน่วงไฟ ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดทั้งสองตัวอย่างจะมีค่ามากกว่า PET

ที่ไม่ผ่านการตกแต่ง ผู้ทำการวิจัยสรุปว่าเมื่อ PET ผ่านการกราฟต์และตกแต่งสารหน่วงไฟแล้ว ทำให้ PET มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟมากขึ้น และงานวิจัยของ P.R.S. Reddy และคณะ [3] ศึกษาการกราฟต์ผ้าฝ้ายด้วยวิธีฉายรังสีแกมมา และตกต่างผ้าฝ้ายให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทำการกราฟต์ผ้าฝ้ายกับไกลซิดิล- เมทาคริเลตโดยใช้รังสีแกมมา จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน แล้วนำไปตกแต่งด้วยกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 3% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ศึกษาผลของปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีและความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ พิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis ทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดตามมาตรฐาน ASTM D2863 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการกราฟต์ด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรด ออร์โธฟอสฟอริกมีคุณสมบัติหน่วงไฟได้ดี

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมาตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบเพื่อให้ได้ผ้าไหมที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมผ้าไหมที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ โดยการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม ด้วยการฉายรังสีแกมมาและตกแต่งผ้าไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยสารหน่วงไฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมาแบบ Simultaneous Irradiation ได้แก่ ปริมาณรังสี และความเข้มข้นของไกลซิดิล-เมทา คริเลตในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตด้วยสารหน่วงไฟ คือ กรดออร์โธฟอสฟอริก ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดออร์โธฟอสฟอริก

3. พิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก

4. ทดสอบความสามารถในการติดไฟของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม ได้แก่ ปริมาณรังสีแกมมา และความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าไหม และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต

3. ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของการตกแต่งด้วยกรดออร์โธฟอสฟอริกบนผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก

4. ทดสอบความสามารถในการติดไฟของผ้าไหมก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟตามมาตรฐาน ASTM D1230

5. วิเคราะห์และรายงานผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมผ้าไหมที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ โดยการกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตบนผ้าไหม ด้วยการฉายรังสีแกมมาและตกแต่งผ้าไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยสารหน่วงไฟ

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. รัชพงศ์ หอทิมาวรกุล [1] ศึกษาการตกแต่งหน่วงไฟด้วยแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโดยใช้พลาสมาที่กำเนิดจากเครื่องทีตาพินช์ ผ้าที่ใช้ศึกษาคือผ้าพอลิเอสเทอร์ ผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเมอร์ผสมฝ้าย ทำการตกแต่งด้วยไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตซึ่งเป็นสารหน่วงไฟที่สามารถละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่องทีตาพินช์สร้างพลาสมาไนโตรเจนแบบห้วง เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตกับผ้าทั้งสามประเภท ทำการปรับเปลี่ยนจำนวนครั้งในการยิงพลาสมาเป็น 1, 2, 5 และ 10 ครั้ง กับความเข้มข้นของสารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็น 5, 10, 15 และ 20% ทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (ATR-FTIR) และความสามารถของการเปียกก่อนและหลังซัก ผลการทดลองบ่งชี้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติหน่วงไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์ผสมฝ้ายคือที่การยิงพลาสมาไนโตรเจนแบบห้วง 2 ห้วง และความเข้มข้นของสารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็น 5%

2. P.R.S. Reddy และคณะ [3] ศึกษาการกราฟต์ผ้าฝ้ายด้วยวิธีฉายรังสีแกมมา และตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทำการกราฟต์ผ้าฝ้ายกับ 2,3-epoxypropyl methacrylate (GMA) โดยใช้รังสีแกมมา จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน แล้วนำไปตกแต่งด้วยกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 3% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ศึกษาผลของปริมาณรังสี ความเข้มข้นของอีพอกซีโพรพิลเมทาคริเลต พิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis ทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดตามมาตรฐาน ASTM D2863 พบว่าผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายกราฟต์อีพอกซีโพรพิลเมทาคริเลต ผ้าฝ้ายกราฟต์อีพอกซีโพรพิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน และผ้าฝ้ายกราฟต์อีพอกซีโพรพิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 20.4, 20.0, 21.9 และ 35.9% ตามลำดับ

3. Hesham H. Sokker และคณะ [4] ศึกษาการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมาแบบ Simultaneous Irradiation ของผ้าฝ้ายเหลือทิ้งที่กำจัดแป้งและสารเจือปนออกแล้วกับไกลซิดิลเมทาคริเลต พบว่าความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 60 โดยปริมาตรต่อปริมาตร อัตรารังสี 0.01 กิโลเกรย์ต่อนาที และปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ ให้ประสิทธิภาพการกราฟต์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 50 หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเพื่อกำจัดสารพิษที่เป็นอันตราย เช่น โคบอลต์ ฟีนอล และไดโครเมต เป็นต้น พบว่าผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติดูดซับสารพิษที่เป็นอันตรายได้ดีขึ้น

4. Lihua Yu และคณะ [2] ศึกษาการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตในการตกแต่ง polyethylene terephthalate (PET) ให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟ โดยใช้รังสียูวีร่วมกับสารหน่วงไฟ ซึ่งประกอบด้วย 1-hydroxy ethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP) และ sulfamic acid (H_2NSO_3H) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จากความเข้มข้นของสารตั้งต้น ความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลต และระยะเวลาในการฉายรังสี วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย ATR-FTIR ทดสอบความสามารถในการหน่วงไฟตามมาตรฐาน GB/T 2403-1993 และ GB/T 5455-1997 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ PET ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลการทดลองพบว่า PET ที่กราฟต์ด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลตมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 17.4 ซึ่งน้อยกว่า PET ที่ไม่ผ่านการตกแต่งที่มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 22.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง PET ที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ กับ PET กราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งสารหน่วงไฟ ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดของทั้งสองตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 26.0 และ 25.9 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า PET ที่ไม่ผ่านการตกแต่ง คณะผู้ทำการวิจัยสรุปว่าเมื่อ PET ผ่านการกราฟต์แล้วนำไปตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟแล้ว ทำให้ PET มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟมากขึ้น

5. C. Chaiwong และคณะ [5] ทำการวิจัยถึงประโยชน์ของ plasma jet ที่ความดันบรรยากาศในการตกแต่งผ้าไหมให้เป็นผ้าไหมที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟได้ดี โดยใช้ Ar plasma jet ในการกราฟต์สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสกับผ้าไหม นำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งแล้วไปทดสอบความสามารถการหน่วงไฟและทดสอบความทนทานหลังการซัก ทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (ATR-FTIR) ผลการทดลองพบว่า ผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการตกแต่งมีระยะเวลาการลามไฟของเปลวไฟบนวัสดุเกิดทันทีที่ 1.43 เซนติเมตรต่อวินาที การเผาไหม้ไม่มีควันเกิดขึ้น สำหรับผ้าที่ตกแต่งสารหน่วงไฟ PBS การติดไฟเป็นเช่นเดียวกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แต่การกระจายของการเผาไหม้สิ้นสุดลงอย่างรวดเร็ว ไม่แสดงหลักฐานการคุแดงของผ้าหลังจากเปลวไฟดับลง เมื่อทำการซักตัวอย่างผ้า ผลการเผาไหม้ของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารหน่วงไฟ PBS ให้ผลเหมือนกับผ้าที่ยังไม่ผ่านการตกแต่ง คณะผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าเป็นผลจากสารหน่วงไฟ PBS เป็นสารที่ละลายน้ำได้ จึงหลุดออกจากผ้าไหมในขณะที่ถูกซัก ในทางตรงข้ามผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่ง Ar-PBS-Ar อัตราการแพร่การกระจายของการเผาไหม้สูงกว่าผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ PBS เพียงอย่างเดียว การเผาไหม้หายไปอย่างรวดเร็ว โดยปราศจากการคุแดงของผ้าหลังจากเปลวไฟดับลง

6. A.Abou-Okeil และคณะ [6] ศึกษาการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายด้วยกรดออร์โธฟอสฟอรัสควบคู่กับ Methacryloloxyethylorthophoshor tetraethyl diamidate (MPD) วิเคราะห์โครงสร้างด้วย IR, NMR และ Mass Spectroscopy ทำการทดลองเปรียบเทียบกับ Pyrovatex ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟในเชิงพาณิชย์ วิธีดำเนินการคือเคลือบผ้าฝ้ายให้ชุ่มด้วยกรดออร์โธฟอสฟอรัส แล้วเปรียบเทียบว่า กรดออร์โธฟอสฟอรัสสามารถใช้เป็นสารหน่วงไฟบนผ้าฝ้ายได้จริงหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านการตกแต่งให้ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 17.0 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งร่วมกับ Pyrovatex ให้ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดในช่วง 18.0-18.5 ซึ่งค่าที่ได้ขึ้นกับค่าความเข้มข้นของ Pyrovatex และผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งร่วมกับ MDP vinyl acetate ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดอยู่ในช่วง 18.6-19.0 ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดสูงสุดเมื่อความเข้มข้น MDP สูง (3-4%) จึงเป็นตัวยืนยันว่า MDP มีสมรรถนะใช้ในการเป็นสารหน่วงไฟได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไหม (Silk) [7]

การจำแยกประเภทของเส้นใยสามารถทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง หากแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ไหม (Silk) อยู่ในประเภทของเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีน ได้จากรังของไหม ผ้ามีความมันนุ่มเป็นเงา คงรูปร่างได้ดีเหมาะสำหรับตัดชุด ดูดความชื้นได้ดี มีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิได้ดี เมื่อสวมใส่ในหน้าร้อนจะรู้สึกเย็นสบายและอบอุ่นในหน้าหนาว การซักผ้าไหม ควรซักแห้งเพื่อให้ผ้าคงความเงามันคงรูปร่าง ผลที่เกิดจากการเผาไหม้ของไหม เมื่อใกล้เปลวไฟ ไหมจะม้วนหดตัวหนีไฟ แล้วลุกไหม้อย่างช้าๆ เมื่อเปลวไฟมอดจะดับได้เอง

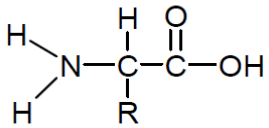
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของไหม

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่มีความหรูหรา สวยงาม มีเอกลักษณ์เป็นของตนเอง มีชีวิตชีวาและการทิ้งตัวดี มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้ยังเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว โดยมีความยาวต่อเนื่องตลอดเส้นที่เกิดจากรังไหมแต่ละรัง ความยาวระหว่าง 1,300-2,000 ฟุต และอาจพบความยาวต่อรังสูงกว่า 1,000 เมตร แต่ละเส้นของใยไหมประกอบด้วยเส้นใยสองเส้นเกาะติดกันและเคลือบด้วยกาวไหมที่เป็นเซริซิน (sericin)

พันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุดคือพันธุ์ Bombyx mori วงจรของการเพาะเลี้ยงไหมเริ่มจากขั้นตอนการวางไข่ของตัวแมลงไหม หลังจากที่ไข่สุกและแตกออกตัวหนอนถูกเลี้ยงด้วยใบหม่อนอ่อน โดยใช้เวลาประมาณ 35 วัน หนอนไหมเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วจนมีน้ำหนักประมาณ 10,000 เท่าของแมลงแรกเกิด กิ่งไม้เล็กๆที่วางเตรียมในจานก็จะถูกหนอนไหมนำไปใช้เริ่มสร้างรัง เรียกว่ารังไหม ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยไหมที่เกิดจากตัวหนอนไหมอัดปล่อยของเหลวออกจากต่อมรวมสองต่อมในรูเดียวกันจากส่วนหัวของตัวหนอน ดังนั้นจึงได้ออกมาเป็นเส้นใยคู่ที่เกาะติดกันด้วยสารเซริซิน ช่วงเวลาเพียงแค่ 2-3 วัน หนอนไหมสามารถปั่นเส้นใยออกมาได้ยาวถึง 1 ไมล์ (1,600 เมตร) และล้อมรอบตัวของมันเองได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโตต่อไปจะเปลี่ยนสภาพเป็นดักแด้แล้วจึงโตเป็นแมลง จากนั้นจะปล่อยสารละลายที่สามารถละลายเส้นใยที่เป็นรังไหมให้เปิดเป็นรูบริเวณปลายของรังเพื่อคลานออกสู่ภายนอกได้ ดังนั้นในการให้เส้นใยยาวต่อเนื่องในรังไหมนั้น จำเป็นต้องทำการฆ่าแมลงก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการที่แมลงจะปล่อยสารละลายเจาะรังไหมขาด ทั้งนี้มีวิธีการที่

ทำกันคือ การนำรังไหมไปต้มซึ่งเป็นการเอากาวไหมออกด้วยในขั้นตอนเดียวกัน จากนั้นจึงสาวไหมออกจากรัง

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีผิวเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย องค์ประกอบหลักทางเคมีคือ โปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) เกิดจากปฏิกิริยา Condensation ของกรดอะมิโนกลายเป็น Polypeptide chains โครงสร้างหลักของกรดอะมิโนมีลักษณะตามรูปที่ 2.1

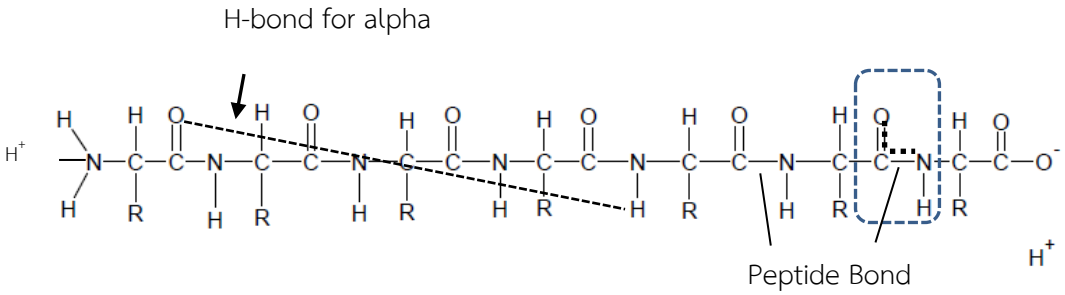


รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของกรดอะมิโน

โดยเส้นใยไหมนี้มีไฟโบรอินอยู่ร้อยละ 70-75 เซริซินร้อยละ 20-25 ไขมันร้อยละ 2-3 และสารอื่นร้อยละ1-1.7 ของสารทั้งหมด ไฟโบรอินและเซริซินเป็นส่วนของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ ไกลซีน (glycin) อะลานีน (alanine) เซรีน (serine) และไทโรนีน (tyronine) โดยโครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนทั้ง 4 ชนิดนี้แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักกรดอะมิโนของไฟโปรอินเซริซิน

กรดอะมิโน	**หมู่ข้างเคียง**	**เซริซิน (%mol)**	**ไฟโบรอิน (%mol)**
ไกลซีน	H -	14.75	45.21
อะลานีน	CH_3 -	4.72	29.16
เซรีน	$CH_2(OH)$ -	34.71	11.26
ไทโรซีน	$OHC_8H_4CH_2$ -	3.35	5.14



รูปที่ 2.2 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวของไหม

ไฟโบรอินประกอบด้วยธาตุหลักที่สำคัญคือ C, H, O, N และ S ซึ่งมีน้อยมาก โปรตีนไฟโบรอินจะเป็นลูกโซ่โมเลกุลเหยียดยาว มีลักษณะตามรูป 2.2 ไม่มีพันธะเชื่อมขวางเหมือนขนสัตว์ และจากการวิเคราะห์โดย X-ray difractometer (XRD) แสดงให้เห็นการรวมตัวกันของ polypeptide chain ในแนวที่โมเลกุลเรียงตัวกันแน่นเป็นระเบียบของอะตอมต่างๆที่สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง ได้แก่ กลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) และกลุ่มอะมิโน (Amino group) ซึ่งสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง และมีบางบริเวณที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไหมมีคุณสมบัติเหนียวแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ [8]

2.1.2 สมบัติทางกายภาพของไหม

ลักษณะภายนอก ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหม มีความมันเงาสูง เป็นแบบอย่างของการทำเส้นใยประดิษฐ์ ผิวนอกดูเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย หลังจากลอกกาวไหมออกแล้วจะเป็นเส้นใยเดี่ยว เรียบ

ความยาว ปกติไหมมีความยาวมากและเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เส้นใยยาว ความยาวโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,000-1,300 หลา ความกว้าง 9-11

สี ไหมเดิมมีสีตั้งแต่เหลืองไปจนถึงเทา และปัจจุบันมีหลายสีมากขึ้น

ความมัน ภายหลังที่ลอกกาวไหมออกแล้ว ไหมมีความมันดีมาก สวยงาม เป็นรูปแบบการทำเส้นใยประดิษฐ์

ความแข็งแรง ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดด้วยผิวที่เรียบมัน ทำให้ลดปัญหาจากการขัดถู ความละเอียดของเส้นใยไหมทำให้ผ้าไหมสามารถที่จะได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่เบาบางและคงทน มีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5-5.0 กรัมต่อแดเนียร์ในขณะที่แห้ง และจะมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ลดลงประมาณร้อยละ 15-25)

สภาพยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นตัวได้ดี อาจแปรไปบ้างตามชนิดของพันธุ์และการเจริญเติบโต สามารถยืดได้ถึงร้อยละ 20 ของความยาวเดิม เมื่อเทียบกับเส้นใยขนสัตว์จะพบว่าสภาพยืดหยุ่นของไหมไม่ดีเท่าขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะเชื่อมขวาง ดังนั้นจึงไม่อาจดึงกลับคืนสภาพเดิมได้หมด

การคืนตัวจากแรงอัด ไหมมีความสามารถในการคืนกลับได้ดี ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย สามารถกลับรูปเดิมได้เพียงแขวนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานความสามารถในการดูดซึมความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 11 นับว่ามีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดีด้วย ผ้าไหมทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบายไม่ระคายผิว

ความร้อน สามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึงประมาณ 170 องศาเซลเซียส ในเวลาสั้นๆ มิฉะนั้นจะสลายตัว นับได้ว่าค่อนข้างอ่อนไหวต่อความร้อนแต่ดีกว่าขนสัตว์

ความถ่วงจำเพาะ ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 แต่ยังมีการทิ้งตัวดี

2.1.3 สมบัติทางเคมีของไหม

กรด ไม่ถูกทำลายโดยกรดทั่วไป แต่กรดที่มีความเข้มข้นสูงสามารถทำลายไหมได้

ด่าง ถูกทำลายได้ด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิเพียงพอ ด่างแก่มีผลทำให้ไหมมีความมันลดลง ผ้าไหมบางชนิดอาจซักด้วยน้ำสบู่อ่อนและการซักที่ไม่รุนแรงได้ แต่ถ้าจะรีดต้องมีผ้าป้องกันบนผ้าไหมและมีความชื้นพอเหมาะ

เกลือคลอไรด์ ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะไปทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสถูกผิวจะต้องรักษาความสะอาดให้ดีภายหลังการใช้งานทุกครั้ง

สารละลายอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไหมส่วนใหญ่ใช้การซักแห้งอยู่เสมอทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อม โดยตัวมันเองแล้วไหมสามารถซักด้วยน้ำยาซักแห้งได้ สำหรับสารซักฟอกไหมมีความทนต่อการซักฟอกคล้ายขนสัตว์ ถูกทำลายด้วยสารซักฟอกประเภทออกไซด์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ผสมอยู่ แต่สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรต ภายใต้ภาวะการซักปกติจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

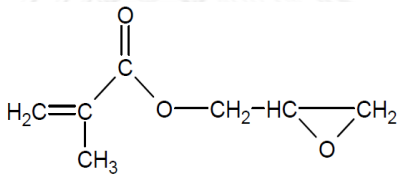
ราและแมลง ปกติไหมไม่เกิดราได้ง่าย ยกเว้นถูกทิ้งไว้ในภาวะค่อนข้างเปียกชื้นเป็นเวลานาน ไหมสะอาดไม่มีปัญหาของราและแมลง ยกเว้นแต่ได้ผลจากสารตกแต่งสำเร็จหรือสิ่งสกปรกที่ติดมา

แสง ผ้าไหมอ่อนไหวต่อแสงแดด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถูกแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานาน ผ้าไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการนำผ้าไหมมาทำเป็นผ้าม่านหรือบุเครื่องเรือนควรมีการป้องกันไม่ให้ถูกแสงแดดมาก

การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการย้อมสีได้ดีมาก อาจย้อมสีได้ด้วยสีที่เป็นแอสิดเบสิกหรือสีไดเร็ก ผ้าไหมเมื่อย้อมสีจะได้สีเข้มกว่าขนสัตว์และสามารถย้อมได้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

2.2 ไกลซิดิลเมทาคริเลต (Glycydyl Methacrylate) [9]

ไกลซิดิลเมทาคริเลต เป็นมอนอเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ คือ คีโตน (-C=O, Ketone) และอีพอกซี (-C-O-C, Epoxy) ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวน เมื่อวงแหวนถูกเปิดทำให้หมู่ฟังก์ชันอื่นเข้ามาทำปฏิกิริยาได้ง่าย โครงสร้างของไกลซิดิลเมทาคริเลตมีลักษณะตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างไกลซิดิลเมทาคริเลต

2.2.1 การบ่งลักษณะ และคุณสมบัติทางกายภาพของไกลซิดิลเมทาคริเลต

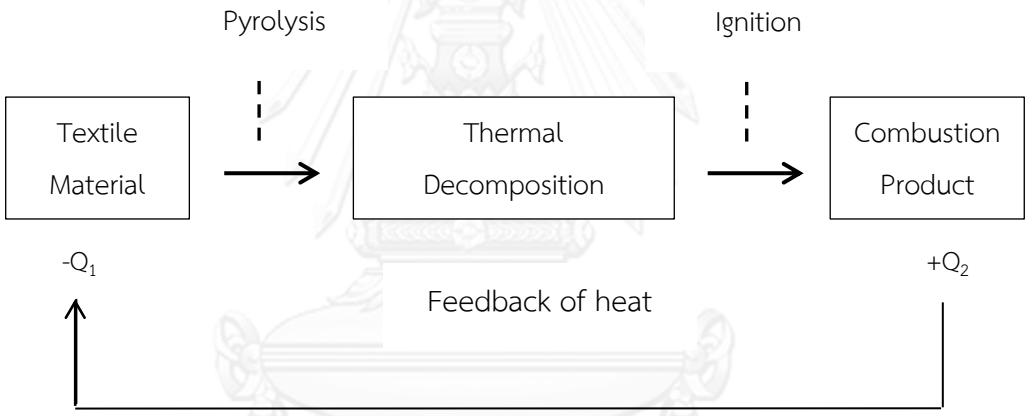
ชื่อสามัญ	Glycidyl methacrylate (GMA)
ชื่อเคมี	2,3-Epoxypropyl methacrylate
ชื่ออื่น	Gylcidyl alpha-methylacrylate 1-Propanol, 2,3-epoxy methacrylate
น้ำหนักโมเลกุล	142.2 กรัมต่อโมล
สถานะ	ของเหลว ใส ไม่มีสี
จุดเดือด	195 $^{\circ}$C
จุดหลอมเหลว	-41.5 $^{\circ}$C
ความหนาแน่น	1.074 g/ml
จุดวาบไฟ	85 $^{\circ}$C ในระบบปิด
การนำความร้อน	0.158 W/(m-K)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความดันไอ	45 hPa ที่ 100 $^{\circ}C$
ความถ่วงจำเพาะ	1,042 g/cm^3

2.3 สารหน่วงไฟ (Flame Retardant) [10]

วงจรการลุกไหม้ของสิ่งทอแสดงตามรูปที่ 2.4 เมื่อได้รับความร้อนวัสดุสิ่งทอจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) เพื่อใช้ในการสลายตัวกลายเป็นไอหรือแก๊สที่ติดไฟได้ง่าย (Flammable volatiles or Flammable gas) เรียกกระบวนการนี้ว่า Pyrolysis จากนั้นไอหรือแก๊สที่ติดไฟได้ง่ายดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดการเผาไหม้เป็น Combustile gas ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทำให้การลุกไหม้เกิดต่อไปเรียกกระบวนการนี้ว่า Combustion ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้สามารถกลับไปทำให้วัสดุสิ่งทอร้อน และเกิดการสลายตัวได้ไอน้ำหรือก๊าซที่ติดไฟได้ทำให้เกิดการเผาไหม้ดำเนินต่อไปเช่นเดิม



รูปที่ 2.4 วงจรการไหม้ของวัสดุสิ่งทอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ

สารหน่วงไฟสามารถหน่วงหรือต้านการติดไฟได้โดยไปขัดขวางวงจรการไหม้ของวัสดุสิ่งทอ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลไกการหน่วงไฟแบ่งออกเป็น 5 ทฤษฎี ได้แก่

2.3.1.1 Endothermic theory (thermal theory) ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟจะดูดความร้อนบางส่วนของระบบไปทำให้สารหน่วงไฟเกิดการสลายตัวในรูปของการหลอมเหลวหรือการระเหิด ซึ่งจะทำให้เส้นใยได้รับความร้อนน้อยลงจนไม่สามารถร้อนถึงอุณหภูมิที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้

2.3.1.2 Gas theory ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟที่เมื่อติดไฟแล้วจะสลายให้แก๊สที่ติดไฟยากหรือแก๊สที่ไม่ติดไฟ เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอน้ำ ทำให้เส้นใยไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้

2.3.1.3 Melt theory ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟที่เมื่อโดนความร้อนแล้วจะหลอมละลายปกคลุมพื้นผิวเส้นใย ทำให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกปล่อยออกมายาก และยังทำให้อากาศหรือออกซิเจนไม่สามารถแทรกเข้าไปในเส้นใยได้อีกด้วย เส้นใยจึงไม่เกิดการเผาไหม้

2.3.1.4 Radical capture theory ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟที่เมื่อโดนความร้อนแล้วจะเกิดอนุมูลอิสระที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาไหม้ของเส้นใยเซลลูโลส เช่น H•, OH• กลายเป็นแก๊สซึ่งทำให้ปฏิกิริยา Free radical chain propagation สิ้นสุดการลุกไหม้ก็จะสิ้นสุดลง

2.3.1.5 Dehydration theory ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟที่ใช้สำหรับเส้นใยเซลลูโลส โดยสารเหล่านี้จะไปทำให้เส้นทางการสลายตัวของเส้นใยเซลลูโลสเปลี่ยนแปลง จากเดิมที่เคยสลายตัวให้ไอและแก๊สที่ติดไฟได้ง่าย ส่งผลให้การลุกไหม้ดำเนินต่อไปนั้นเปลี่ยนเป็นการสลายตัวที่เกิดแต่ถ่านคาร์บอนและน้ำ

2.4 ประเภทของสารหน่วงไฟ [11]

การใช้สารหน่วงไฟเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการเกิดอัคคีภัยได้ โดยจะไปขัดขวางกระบวนการลุกไหม้ให้เกิดได้น้อยลง สารหน่วงไฟสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

- สารหน่วงไฟที่จำแนกตามความคงทน
- สารหน่วงไฟที่จำแนกจากองค์ประกอบ

2.4.1 สารหน่วงไฟที่จำแนกตามความคงทน

2.4.1.1 สารหน่วงไฟประเภทไม่คงทน (Nondurable flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้ได้แก่กรดอนินทรีย์ เช่น กรดบอริก กรดฟอสฟอริก และซิงค์คลอไรด์ หรือเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมคาร์บอเนต แต่เนื่องจากกรดและเบสจะทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วมักนิยมใช้สารหน่วงไฟในรูปของเกลือมากกว่า เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ยูเรียฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลฟาเมต

2.4.1.2 สารหน่วงไฟประเภทกึ่งคงทน (Semidurable flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้ได้แก่ เกลือของกรดอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เกลือฟอสเฟต หรือเกลือบอเรตของโลหะดีบุก สังกะสี อะลูมินัม รวมทั้งเกลือที่มีไอออนของพอลิฟอสเฟต น้ำหนักโมเลกุลสูง สารหน่วงไฟประเภทนี้ยังมีความคงทนภายหลังการซักล้าง 20 ครั้ง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการซักล้างบ่อย เช่น ผลิตภัณฑ์ผ้าฟูก เคหะสิ่งทอ และพรม เป็นต้น

2.4.1.3 สารหน่วงไฟประเภทมีความคงทนสูง (Durable flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้จะมีฟอสฟอรัสหรือฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบหรือสารประกอบประเภท

Organophosphorus สารหน่วงไฟประเภทนี้มีความคงทนภายหลังการซัก 50 ครั้ง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องผ่านการซักล้างบ่อย เช่น ผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า

2.4.2 สารหน่วงไฟที่จำแนกจากองค์ประกอบ

2.4.2.1 สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน (Halogen-based flame retardants) สารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบนี้เป็นสารหน่วงไฟที่มีการใช้มากที่สุด ทั้งในพลาสติกและสิ่งทอ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดี สารหน่วงไฟที่นิยมใช้คือ Chlorinated paraffin โดยสารหน่วงไฟชนิดนี้จะมีสายโซ่ของคาร์บอนต่อกันประมาณ 20-30 อะตอม โดยมีคลอรีนอยู่ 40-70% โดยน้ำหนัก และ Brominated aromatic hydrocarbon ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อวงแหวนอะโรมาติกถูกแทนที่ทุกตำแหน่ง สารหน่วงไฟที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบได้รับความนิยมมากกว่าคลอรีน เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับราคา แต่ในบางกรณีที่ต้องการความทนต่อแสง สารหน่วงไฟที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบจะให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากสารหน่วงไฟที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบสามารถสลายตัวเมื่อถูกแสงได้

สารหน่วงไฟชนิดนี้ส่วนใหญ่จะทำงานในสถานะก๊าซและลดอัตราการลุกไหม้โดยไปจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการลุกไหม้ กลไกการหน่วงไฟคือ

$$H\bullet + HX \longrightarrow H_2 + X\bullet \qquad (2.1)$$

$$OH\bullet + HX \longrightarrow H_2O + X\bullet \qquad (2.2)$$

เมื่อ
- H• และ OH• เป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยที่ H• ได้จากการเผาไหม้ในที่ที่มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอ ส่วน OH• ได้จากการเผาไหม้ในที่ที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- HX เป็นสารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ
- X• เป็นอนุมูลอิสระที่ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา

นอกจากนี้ได้มีการใช้เกลือของโลหะ เช่น แอนทิโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide) เป็นสารเสริมการหน่วงไฟ โดยที่แอนทิโมนีไตรออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบเกิดเป็นแอนทิโมนีไตรเฮไลด์ (Antimony trihalide) และน้ำ ซึ่งแอนทิโมนีไตรเฮไลด์สามารถจับอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและเกิดน้ำเป็นผลพลอยได้ ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นนี้สามารถเจือจางก๊าซหรือไอที่ติดไฟได้ง่าย จึงสามารถช่วยลดการลุกไหม้ได้อีกทางหนึ่ง

ผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งการหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟที่มีสารประกอบฮาโลเจนไหม้จะให้ควันพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประชาชนถึงแก่ความตายเมื่อดูดควันพิษดังกล่าวเข้าไป รวมทั้งการเผาขยะที่เป็นสารหน่วงไฟประเภทนี้จะให้สาร dioxin และ furan ที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งได้

2.4.2.2 สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส (Phosphorus-based flame retardants) สารหน่วงไฟชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โดยทั่วไปมักใช้ตกแต่งหน่วงไฟใน PU foam (Polyurethane foam) เทอร์โมพลาสติก เช่น ในพวก Polyphenylene oxide, Flexible PVC และ Cellulose substrate ที่นิยมใช้คือกรดฟอสฟอริก แต่เนื่องจากกรดฟอสฟอริกมีความสามารถในการกัดกร่อน ดังนั้นในการใช้งานจึงนิยมใช้ในรูปที่เป็นเกลือมากกว่า เช่น แอมโมเนียฟอสเฟตและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งเกลือทั้งสองชนิดนี้มักจะใช้ตกแต่งหน่วงไฟในวัสดุจำพวกเซลลูโลส แต่เนื่องจากเป็นเกลือสารหน่วงไฟชนิดนี้จึงสามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ไม่คงทนต่อการใช้งานที่ต้องผ่านการซักล้าง

กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบขึ้นอยู่กับประเภทของสารหน่วงไฟที่ใช้และชนิดของวัสดุสิ่งทอที่จะทำการตกแต่งหน่วงไฟ สารหน่วงไฟชนิดนี้สามารถหน่วงไฟทั้งใน condense phase และ vapor phase โดยที่ใน vapor phase มีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้ตกแต่งหน่วงไฟได้กับวัสดุสิ่งทอทุกชนิดโดยไม่ต้องอาศัยการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับโครงสร้างของวัสดุสิ่งทอ

2.4.2.3 สารหน่วงไฟประเภทอนินทรีย์ (Inorganic salt flame retardants) สารหน่วงไฟชนิดนี้ เช่น อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium hydroxide) และสารประกอบโบรอน เป็นต้น เป็นสารหน่วงไฟที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากหาซื้อง่าย ไม่มีพิษและราคาถูก อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวที่นิยมใช้มากที่สุด ส่วนใหญ่จะใช้ตกแต่งหน่วงไฟในการเคลือบหลังพรมที่ทำมาจาก SBR latex และใช้ตกแต่งหน่วงไฟในสายไฟ สายเคเบิล และในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ใช้ทำอ่างอาบน้ำ ม่านอาบน้ำ เรือ เป็นต้น

กลไกการหน่วงไฟของสารหน่วงไฟชนิดนี้คือเมื่อได้รับความร้อนสารหน่วงไฟจะดูดความร้อนบางส่วนออกจากระบบเพื่อใช้ในปฏิกิริยา Dehydration ทำให้ความร้อนโดยรวมของระบบลดลง นอกจากนี้ยังเกิดไอน้ำขึ้นซึ่งไอน้ำนี้จะไปเจือจางก๊าซที่ติดไฟได้ง่าย ช่วยกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าใกล้พื้นผิวของวัสดุ ทำให้การลุกติดไฟเกิดได้ยากขึ้น

2.4.2.4 สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน (Nitrogen-based flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้ได้แก่ สารประกอบกัวนิดีน เมลามีน ยูเรีย เมลามีนไซยานูเรต ไซยานาไดเอไมด์ เมทิลอลเมลามีน เป็นต้น สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจนจะทำหน้าให้เกิดการอินทูเมสเซนต์ (Intumescent) คือการเกิดการพองตัวเป็นชั้นของถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายโฟม ผลจากการพองตัวดังกล่าวทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนและการสัมผัสกับออกซิเจนให้แก่วัสดุ

ในงานวิจัยของ A. Abou-Okeil และคณะ [6] ได้กล่าวไว้ว่าการใช้สารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบแม้จะมีข้อดีคือหน่วงไฟได้ดีและคงทนต่อการซักล้าง แต่ปัจจุบันหลายประเทศได้ออกกฎระเบียบเพื่อห้ามหรือควบคุมการใช้สารหน่วงไฟที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสารหน่วงไฟที่ผลิตออกมาจึงต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสซึ่งไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย นอกจากสามารถหน่วงไฟได้ดีแล้ว ยังให้ปริมาณก๊าซและควันพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายในปริมาณต่ำอีกด้วย

2.5 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา [8]

เมื่อนำสารประกอบอินทรีย์ไปทำปฏิกิริยาร่วมกับรังสีแกมมา โมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์จะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระ ดังสมการ 2.3-2.5

$$I \xrightarrow{\gamma\text{-ray}} I^{+} + e^{-} \qquad (2.3)$$

$$I^{+} + I \longrightarrow IH^{+} + R^{\bullet} \qquad (2.4)$$

$$I^{+} + e^{-} \longrightarrow I^{*} \qquad (2.5)$$

เมื่อ I คือ สารประกอบอินทรีย์
I^{+} คือ ไอออนของสารประกอบอินทรีย์
I^{*} คือ สารประกอบอินทรีย์ในสภาวะกระตุ้น
$R^{\bullet}$ คือ อนุมูลอิสระ (Free radical)
e^{-} คือ อิเล็กตรอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คุณสมบัติของมอนอเมอร์และเงื่อนไขอื่นๆ ของพอลิเมอร์จะเป็นตัวกำหนดการเกิดไอออนของพอลิเมอร์หรืออนุมูลอิสระในกระบวนพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ด้วยรังสีแกมมา มี 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.5.1 Initiation เมื่อทำการฉายรังสีแกมมา ทำให้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์และมอนอเมอร์

$$SH + R^{\bullet} \longrightarrow S^{\bullet} + RH \qquad (2.6)$$

$$S^{\bullet} + M \longrightarrow SM^{\bullet} \qquad (2.7)$$

$$R^{\bullet} + M \longrightarrow RM^{\bullet} \qquad (2.8)$$

เมื่อ SH คือ โมเลกุลของพอลิเมอร์
$R^{\bullet}$ คือ อนุมูลอิสระ
M คือ มอนอเมอร์
$SM^{\bullet}$ คือ สายโซ่พอลิเมอร์
$RM^{\bullet}$ คือ สายโซ่ของอนุมูลอิสระ

2.5.2 Propagation หลังจากนั้นอนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ มอนอเมอร์มากกว่า 1 ตัวจะจับกับพอลิเมอร์ และอนุมูลอิสระจะรวมตัวกับมอนอเมอร์มากกว่า 1 ตัวเช่นกัน

$$SM^{\bullet} + nM \longrightarrow SM^{\bullet}_{n+1} \qquad (2.9)$$

$$SM^{\bullet} + M \longrightarrow SM^{\bullet}_{n+2} \qquad (2.10)$$

$$RM^{\bullet} + nM \longrightarrow RM^{\bullet}_{n+1} \qquad (2.11)$$

$$RM^{\bullet}_{n+1} + M \longrightarrow RM^{\bullet}_{n+2} \qquad (2.12)$$

เมื่อ n แทนจำนวนของมอนอเมอร์ที่เข้าร่วมในโซ่พอลิเมอร์

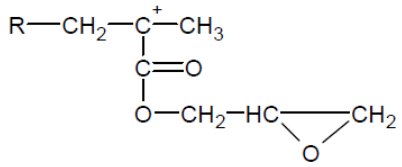
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.3 Termination การสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยที่โมเลกุลของอนุมูลอิสระทำปฏิกิริยาร่วมกับมอนอเมอร์จนอิ่มตัว เรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ ดังสมการ 2.13 หรือการที่อนุมูลอิสระรวมตัวกับสายโซ่ของพอลิเมอร์จนอิ่มตัว เรียกว่า กราฟต์พอลิเมอร์ ดังสมการ 2.14

$$RM^{\bullet}_{n+2} + M^{\bullet}_{m} \longrightarrow \text{Homopolymer} \qquad (2.13)$$

$$RM^{\bullet}_{n+2} + SM^{\bullet}_{m} \longrightarrow \text{Graft polymer} \qquad (2.14)$$

เมื่อไกลซิดิลเมทาคริเลตถูกฉายรังสีแกมมาจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่ตำแหน่งของ C แสดงตามรูปที่ 2.5 เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ ทำให้อนุมูลอิสระกับมอนอเมอร์ต่อกันแบบหัวต่อหาง จนความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์มีความยาวเพิ่มขึ้น เกิดเป็นโฮโม-พอลิเมอร์ของไกลซิดิลเมทาคริเลต



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของไกลซิดิลเมทาคริเลต

การเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันระหว่างโมเลกุลของไหมกับไกลซิดิลเมทาคริเลตเกิดขึ้นโดยเมื่อโมเลกุลของไหมและไกลซิดิลเมทาคริเลตได้รับพลังงานจากรังสีแกมมา อะตอมของไฮโดรเจนในโมเลกุลของไหมจะหลุดออกเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียรและไวต่อปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ ระหว่างไหมกับไกลซิดิลเมทาคริเลต ขณะเดียวกันปริมาณของไกลซิดิลเมทาคริเลตที่มากเกินพอ จะทำให้เกิดโฮโมพอลิเมอร์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตด้วย จึงต้องสกัดโฮโมพอลิเมอร์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์ [3]

2.6 เทคนิคการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

เทคนิคกราฟต์พอลิเมอไรเซชันด้วยการฉายรังสี แบ่งออกเป็น 2 เทคนิค ได้แก่

2.6.1 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique เป็นเทคนิคพื้นฐานของการกราฟต์พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสี เป็นเทคนิคที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเตรียมง่ายและมีประสิทธิภาพสูง ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างคือการนำพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ฉายรังสีพร้อมกัน โดยมอนอเมอร์อาจจะอยู่ในสถานะก๊าซหรือของเหลว ซึ่งระบบจะอยู่ใน

สภาวะออกซิเจน สุญญากาศหรือก๊าซเฉื่อย เช่น สภาวะบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน อัตราการกราฟต์พอลิเมอไรเซชันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีและความเข้มข้นของมอนอเมอร์ โดยอัตราปริมาณรังสีจะเป็นตัวกำหนดความว่องไวของพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ ในขณะที่ปริมาณรังสีจะเป็นตัวกำหนดความยาวของโซ่กิ่งมอนอเมอร์ ส่วนมอนอเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้ไม่สมบูรณ์จะจับตัวกันเองเกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์

2.6.2 Pre-irradiation technique ไม่นิยมใช้เทคนิคนี้ในการกราฟต์ เนื่องจากมีวิธีการเตรียมที่ยุ่งยากและอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาสูง เทคนิคนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.6.2.1 Peroxidizes technique คือการนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะบรรยากาศออกซิเจนหรือสภาวะบรรยากาศก๊าซเฉื่อย โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนพลังงานของรังสีทำให้เกิด Hydroperoxide หรือ Peroxide เรียกระยะ Intermediate peroxy product โมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะกระตุ้นแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่เกิดนี้อยู่ในสถานะเสถียร ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ เมื่อฉายรังสีแล้วจึงนำมอนอเมอร์กับพอลิเมอร์มารวมกันในตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสในสภาวะบรรยากาศออกซิเจน ทำให้ Hydroperoxides แตกตัวเป็น hydroxyl radical เกิดเป็นกระบวนการกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้น ข้อดีของการกราฟต์ด้วยเทคนิคนี้คือระยะ Intermediate peroxy product ที่เกิดขึ้นสามารถเก็บไว้ได้นานก่อนที่จะทำการกราฟต์ต่อไป และไม่เกิดโฮโมพอลิเมอร์เนื่องจากมอนอเมอร์ไม่ถูกฉายรังสีโดยตรง

2.6.2.2 Trapped radical โดยการนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ เรียกว่า Trapped อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเมอร์ทำให้เกิด Trapped ขึ้นอย่างหนาแน่น Trapped ที่เกิดขึ้นนี้ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาก ถ้ามอนอเมอร์แพร่กระจายเข้าไปในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ได้มากก็จะทำให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์กับ Trapped มีมากขึ้น กล่าวคือความสามารถในการแพร่กระจายของมอนอเมอร์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแบบ Simultaneous irradiation ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพการกราฟต์สูงและง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง โดยการนำผ้าไหมที่อยู่ในสารละลายไกลซิดิลเมทาคริเลตในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน ไปฉายรังสีแกมมา ดังนั้นปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมจึงมีโอกาสเกิดขึ้นทั่วทั้งพื้นผิวและเนื้อในของผ้าไหม

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

1. โถดูดความชื้น
2. แท่งแก้วคนสาร
3. ตู้อบความร้อน
4. บีกเกอร์
5. กระจกนาฬิกา
6. คีมคีบ
7. ปิเปต
8. กระบอกตวง
9. ผ้าไหม 1 เส้น จาก พิพัฒน์พานิช ถนนพาหุรัด กรุงเทพมหานคร
10. อะซิโตน ชนิด Laboratory Grade ผลิตภัณฑ์ของ J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. กรดออร์โธฟอสฟอริก ชนิด AR Grade ผลิตภัณฑ์ของ QRëC® ประเทศนิวซีแลนด์
12. ไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ชนิด Laboratory Grade ผลิตภัณฑ์ของ EMSURE® ประเทศเยอรมนี
13. ไกลซิดิลเมทาคริเลต ผลิตภัณฑ์ของ SIGMA-ALDRICH ประเทศญี่ปุ่น
14. เอทิลีนไดเอมีน ผลิตภัณฑ์ของ Panreac

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องฉายรังสีแกมมา

เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น Gamma cell 220excel ประเทศแคนนาดา แสดงในรูปที่ 3.1

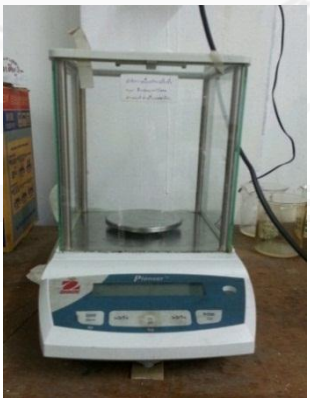
รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น Gamma cell 220excel

2. ตู้อบ

ตู้อบ ผลิตโดย Heraeus รุ่น VT 5042 ความสามารถในการปรับลดอุณหภูมิ 0-250 องศา-เซลเซียส

3. เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนัก ผลิตโดย OHAUS รุ่น PA 214



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4. เครื่องเขย่าสาร

เครื่องเขย่าสาร รุ่น Gerhardt Ambient Orbital Laboratory Shaker – RO500

รูปที่ 3.3 เครื่องเขย่าสาร

5. ก๊าซไนโตรเจน

ก๊าซไนโตรเจน HP Grade ผลิตโดยบริษัท ลินเด้ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

6. เครื่อง Scaning electron microscope (SEM) รุ่น S-3400N HITACHI

7. เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) รุ่น TENSOR 27, Bruker Germany

8. เครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) รุ่น Simultaneous TGA-DTA Analyzer

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างผ้าไหม

นำผ้าไหมขนาด 2 x 6 ตารางนิ้ว จำนวน 100 ตัวอย่าง แช่ในอะซีโตนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดแป้งและสารเจือปนที่ติดมากับผ้า จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า หลังจากนั้นนำไปเก็บในโถดูดความชื้น เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต บนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมาแบบ Simultaneous irradiation

2.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

ชั่งผ้าไหมขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร บรรจุลงในขวดทดลอง 1 ขวดต่อผ้า 1 ตัวอย่าง จำนวน 18 ตัวอย่าง เติมไกลซิดิลเมทาคริเลตเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร

ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ลงในขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างผ่านก๊าซไนโตรเจนนาน 10 นาที เพื่อไล่ออกซิเจน ปิดฝาขวดให้แน่น นำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 กิโลเกรย์ หลังจากฉายรังสี นำตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการกราฟต์แล้วไปสกัดโฮโมพอลิเมอร์ด้วยไดเมธิลฟอร์มาไมด์ นาน 24 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

2.2 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

ชั่งผ้าไหมขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร บรรจุลงในขวดทดลอง 1 ขวดต่อผ้า 1 ตัวอย่าง จำนวน 9 ตัวอย่าง เติมไกลซิดิลเมทาคริเลต เข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ลงในขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างผ่านก๊าซไนโตรเจนนาน 10 นาที เพื่อไล่ออกซิเจน ปิดฝาขวดให้แน่น นำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด หลังจากฉายรังสี นำตัวอย่างไปสกัดโฮโมพอลิเมอร์ด้วยไดเมธิล-ฟอร์มาไมด์ นาน 24 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

3. การทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน

นำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด ขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร บรรจุลงในขวดทดลอง 1 ขวดต่อผ้า 1 ตัวอย่าง จำนวน 12 ตัวอย่าง แช่ลงในเอทิลีนไดเอมีนความเข้มข้น 5% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ลงในขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ เก็บตัวอย่างในโถดูดความชื้น

4. การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของกรดออร์โธฟอสฟอริกต่อค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด

นำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด และผ่านการทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีนความเข้มข้น 5% ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร บรรจุลงในขวดทดลอง 1 ขวดต่อผ้า 1 ตัวอย่าง จำนวน 9 ตัวอย่าง แช่ในกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงในขวด ขวดละ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ เก็บตัวอย่างในโถดูดความชื้น

5. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 9 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ย่านความถี่ 600-4000 เซนติเมตร$^{-1}$ หัววัดแบบ ATR ใช้ความละเอียดความยาวคลื่น 1 เซนติเมตร$^{-1}$

6. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยไหมของผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ขนาด 1 x 1 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง ฉาบด้วยทอง แล้วถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 1000 เท่า สังเกตความแตกต่างเส้นใยไหมของตัวอย่าง

7. การศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าไหม และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis

ชั่งผ้าไหม และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ตัวอย่างละ 4 มิลลิกรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simultaneous TGA-DTA Analyzer ที่อุณหภูมิ 80 – 900 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป

8. การทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ขนาด 2 x 6 ตารางนิ้ว จำนวน 18 ตัวอย่าง ไปทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230 Standard test method for flammability of apparel วิธีการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. การทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2863

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% ขนาด 1.5 x 12 ตารางเซนติเมตร จำนวน 18 ตัวอย่าง ไปทดสอบค่าดัชนีออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D2863 Standard test method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle (Oxygen Index) วิธีการทดสอบแสดงในภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

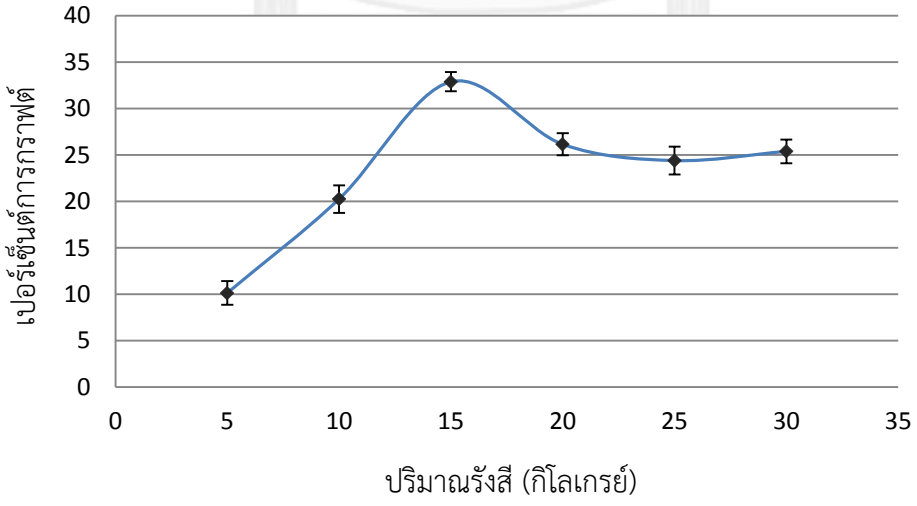
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต บนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมาแบบ Simultaneous irradiation

4.1.1 อิทธิพลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าไหมที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง ขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร มาใส่ในขวดทดลองที่มีไกลซิดิลเมทาคริเลตเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ เพื่อหาสภาวะของปริมาณรังสีที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด หลังจากนั้นนำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 กิโลเกรย์ ผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของผ้าไหมสูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ จะให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมสูงสุดเท่ากับ 32.87 เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มปริมาณรังสีจาก 5 กิโลเกรย์ เป็น 10 และ 15 กิโลเกรย์ จะเกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นที่เส้นใยไหมและไกลซิดิล-เมทาคริเลต ทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงขึ้น ในทางตรงข้าม เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีจาก 15 กิโลเกรย์ เป็น 20, 25 และ 30 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์กลับค่อยๆลดลง เนื่องจากรังสีแกมมาที่มีปริมาณสูงจะไปตัดโมเลกุลของเส้นใยไหม ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไป จึงเลือกใช้ปริมาณรังสีที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด คือ 15 กิโลเกรย์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม

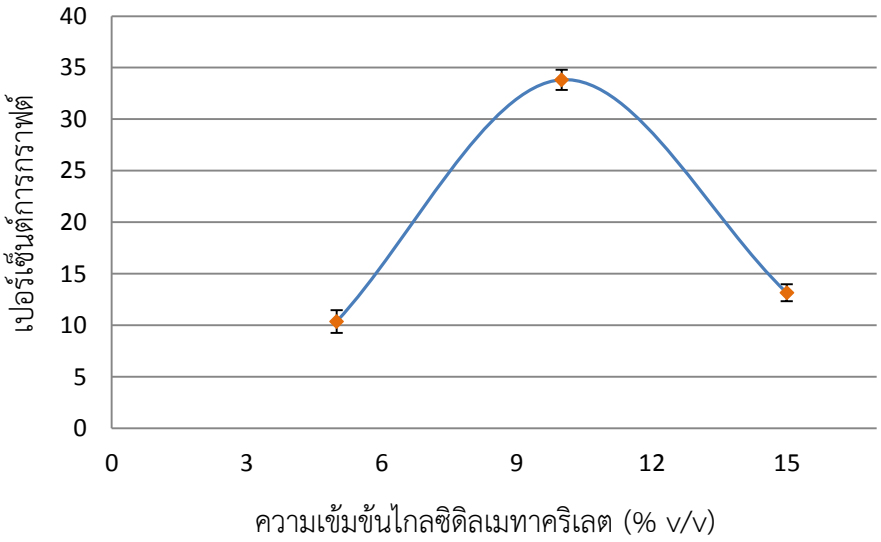
ตารางที่ 4.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	การทดลอง ครั้งที่	น้ำหนักก่อนฉายรังสี (กรัม)	น้ำหนักหลังฉายรังสี (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (%)	เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เฉลี่ย ± SD (%)
5	1	0.5539	0.6046	9.15	10.12 ± 1.29
	2	0.6023	0.6721	11.59	
	3	0.5748	0.6301	9.62	
10	1	0.5928	0.7108	19.91	20.24 ± 1.48
	2	0.5747	0.6836	18.95	
	3	0.5806	0.7075	21.86	
15	1	0.5693	0.7595	33.41	32.87 ± 1.04
	2	0.6034	0.8057	33.53	
	3	0.5712	0.7521	31.67	
20	1	0.5983	0.7619	27.34	26.13 ± 1.19
	2	0.5423	0.6777	24.97	
	3	0.6051	0.7629	26.08	
25	1	0.6036	0.7594	25.81	24.38 ± 1.50
	2	0.5495	0.6749	22.82	
	3	0.5932	0.7623	24.52	
30	1	0.5924	0.7501	26.62	25.37 ± 1.28
	2	0.6047	0.7502	24.06	
	3	0.5405	0.6779	25.42	

4.1.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าไหมที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง ขนาด 2 x 5 ตารางเซนติเมตร มาใส่ในขวดทดลองที่มีไกลซิดิลเมทาคริเลตเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมธิล-ฟอร์มาไมด์ นำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ ผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ผ้าไหมสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตจาก 5% เป็น 10% แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตเป็น 15% พบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ทำให้ไกลซิดิลเมทาคริเลตที่ความเข้มข้นสูงจะทำปฏิกิริยาระหว่างไกลซิดิลเมทาคริเลต

ด้วยกันเอง กลายเป็นโฮโมพอลิเมอร์ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลง ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจะใช้ไกลซิดิลเมทาคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมธิลฟอร์มาไมด์ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุดเท่ากับ 33.83 แสดงดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไกลซิดิลเมทาคริเลตกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไกลซิดิลเมทาคริเลตกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม

ผลการศึกษาการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมา พบว่าสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ ไกลซิดิลเมทาคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ จะให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุดเท่ากับ 32.87 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้สภาวะนี้มาทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ P.R.S. Reddy และคณะ [3] ทำการศึกษาการกราฟต์ผ้าฝ้ายด้วยวิธีฉายรังสีแกมมาด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลต โดยทำการกราฟต์ผ้าฝ้ายด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลต ความเข้มข้นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ แล้วนำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 2, 3, 4, 5 และ 6 กิโลเกรย์ ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุดที่ทำให้ผ้าฝ้ายไม่สูญเสียความยืดหยุ่นและไม่แข็งจนเกินไป คือ ที่ปริมาณรังสี 4 กิโลเกรย์ ไกลซิดิลเมทาคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เท่ากับ 60-70

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของไกลซิดิลเมทาคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม

ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	การทดลองครั้งที่	น้ำหนักก่อนฉายรังสี (กรัม)	น้ำหนักหลังฉายรังสี (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (%)	เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เฉลี่ย ± SD (%)
5	1	0.5743	0.6378	11.06	10.36 ± 1.10
	2	0.5948	0.6599	10.94	
	3	0.5745	0.6267	9.09	
10	1	0.6041	0.8147	34.86	33.83 ± 0.98
	2	0.5587	0.7426	32.92	
	3	0.5859	0.7834	33.71	
15	1	0.5548	0.6280	13.19	13.16 ± 0.83
	2	0.5763	0.6540	13.48	
	3	0.6083	0.6863	12.82	

4.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy

นำผ้าไหมมาวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด ด้วยเทคนิค ATR-FTIR (Attentuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy) พบพีคอะมิโน 3 กลุ่ม ได้แก่ อะลานีน, ซีรีน และ ไทโรซีน ที่ความถี่ 1442.66, 1369.26-1338.13 และ 1620.43 เซนติเมตร$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรดของ Barbara Stuart [12] ดังตาราง 4.3 แต่จะไม่พบพีคของไกลซีน เนื่องจากไกลซีนเป็นกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างอย่างง่าย และไม่ตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยรังสีอินฟราเรด หลังจากนั้นนำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต มาวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด จะพบพีคหมู่ฟังก์ชันคีโตน (-C=O) และหมู่ฟังก์ชันอีพอกซี (-C-O-C) ที่ความถี่ 1727.43 เซนติเมตร$^{-1}$ และ 1149.05, 906.37-846.35 เซนติเมตร$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลต แสดงให้เห็นว่าไกลซิดิลเมทาคริเลตเกิดการกราฟต์กับผ้าไหม สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรดของการกราฟต์ผ้าฝ้ายด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลตของ Hesham H. Sokker และคณะ [4] ดังตารางที่ 4.4 จากนั้นนำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่ง

กรดออร์โธฟอสฟอริกไปวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด พบว่าพีคของหมู่ฟังก์ชันคีโตน ที่ความถี่ 1727.43 เซนติเมตร$^{-1}$ หายไป เนื่องจากหมู่คีโตนทำปฏิกิริยากับกรดออร์โธฟอสฟอริกกลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล [13] จึงไม่พบพีคของหมู่คีโตนในสเปกตรัมอินฟราเรด สำหรับสเปกตรัมอินฟราเรดของหมู่อีพอกซียังคงอยู่เหมือนเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

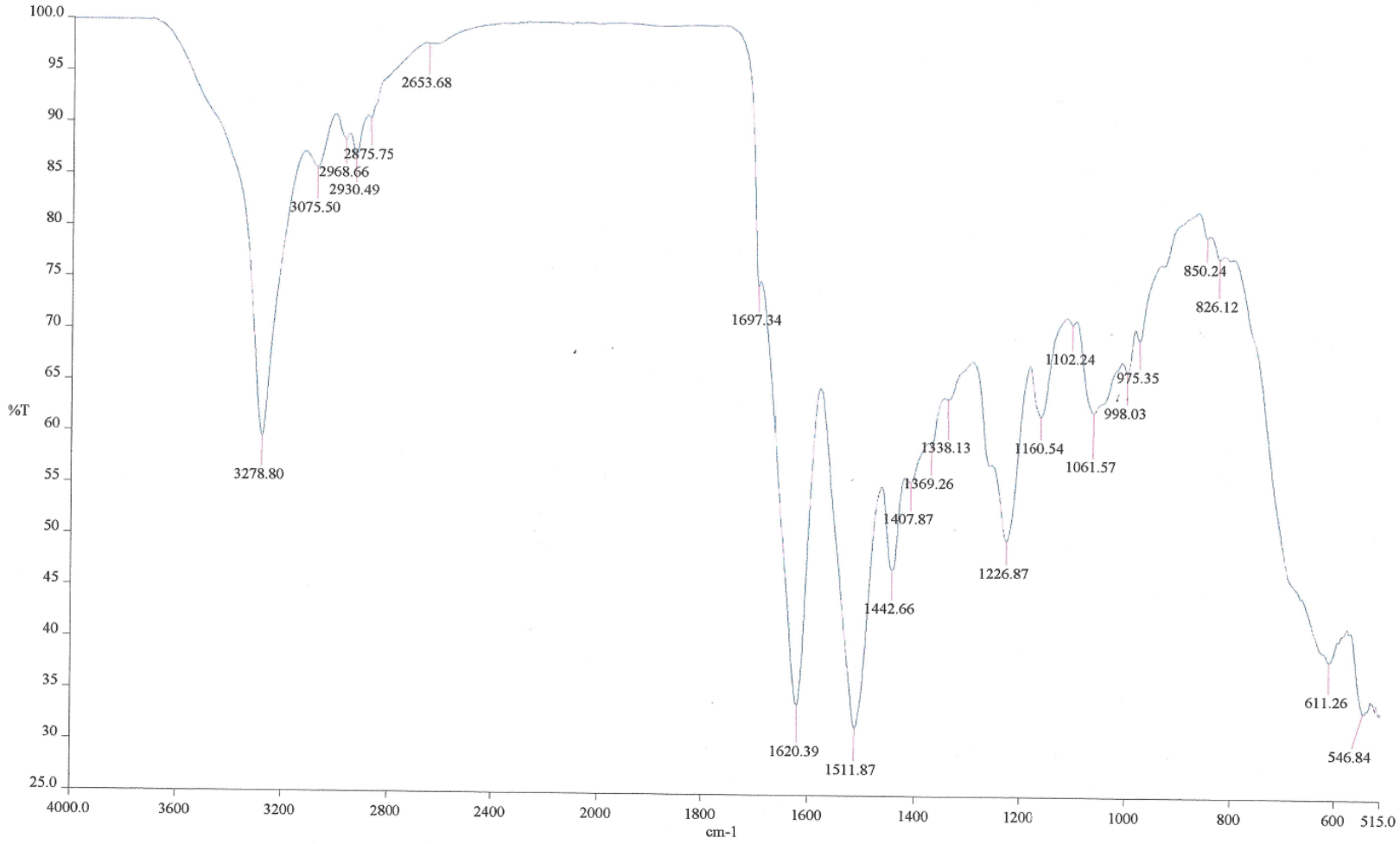
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสเปกตรัมอินฟราเรดของหมู่อะมิโนของ Barbara Stuart กับสเปกตรัมอินฟราเรดของหมู่อะมิโนจากงานวิจัย

สเปกตรัมอินฟราเรดของ Barbara Stuart (cm^{-1})	สเปกตรัมอินฟราเรดจากงานวิจัย (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
1465	1442.66	$-CH_2$
1350-1250	1369.26-1338.13	-O-H
1600	1620.39	Benzene ring vibrations

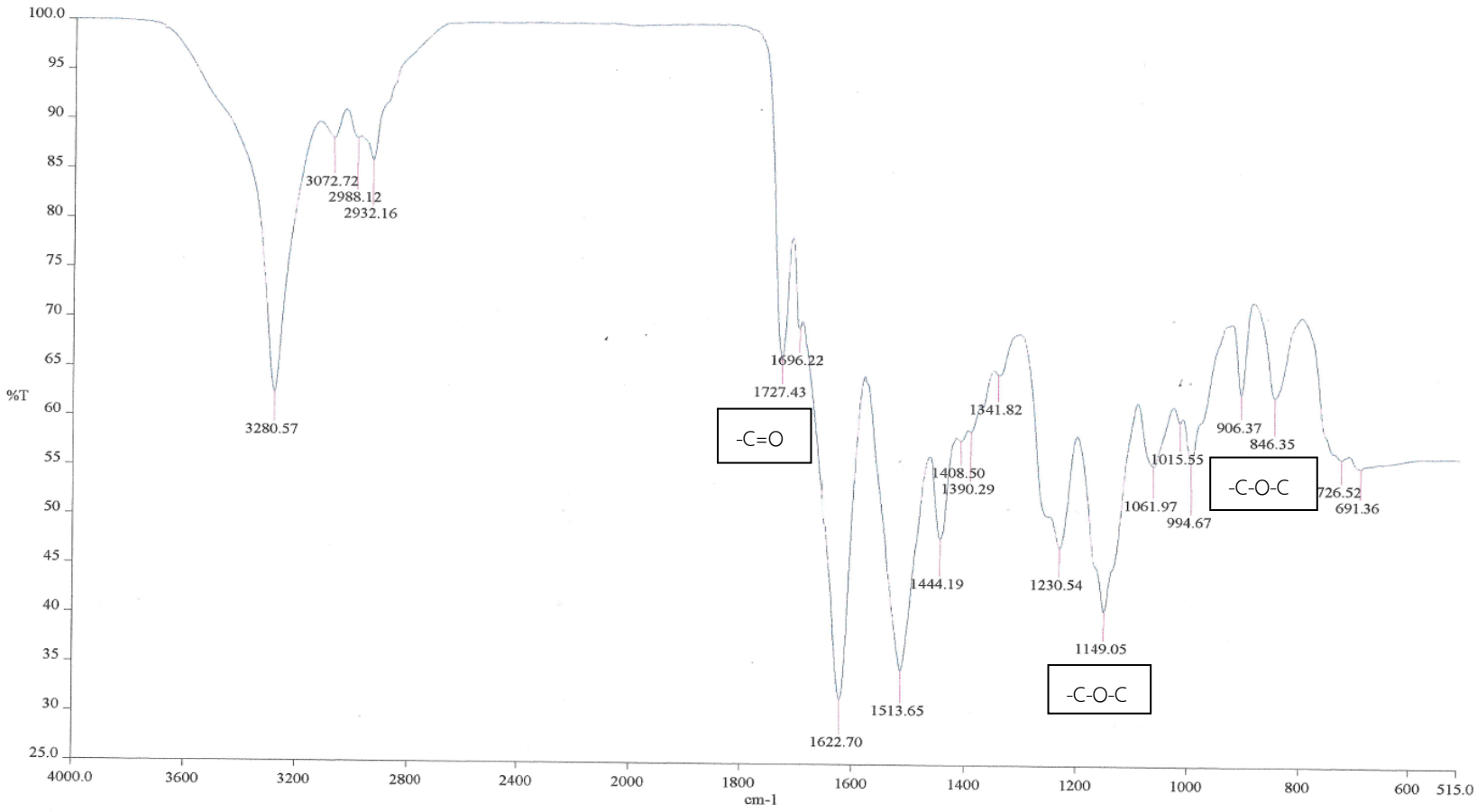
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าฝ้ายกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตของ Hesham H. Sokker และคณะ กับ สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตจากงานวิจัย

สเปกตรัมอินฟราเรดของ Hesham H. Sokker และคณะ (cm^{-1})	สเปกตรัมอินฟราเรดจากงานวิจัย (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
1732	1727.43	-C=O
1264	1149.05	-C-O-C
950-815	906.37-846.35	-C-O-C

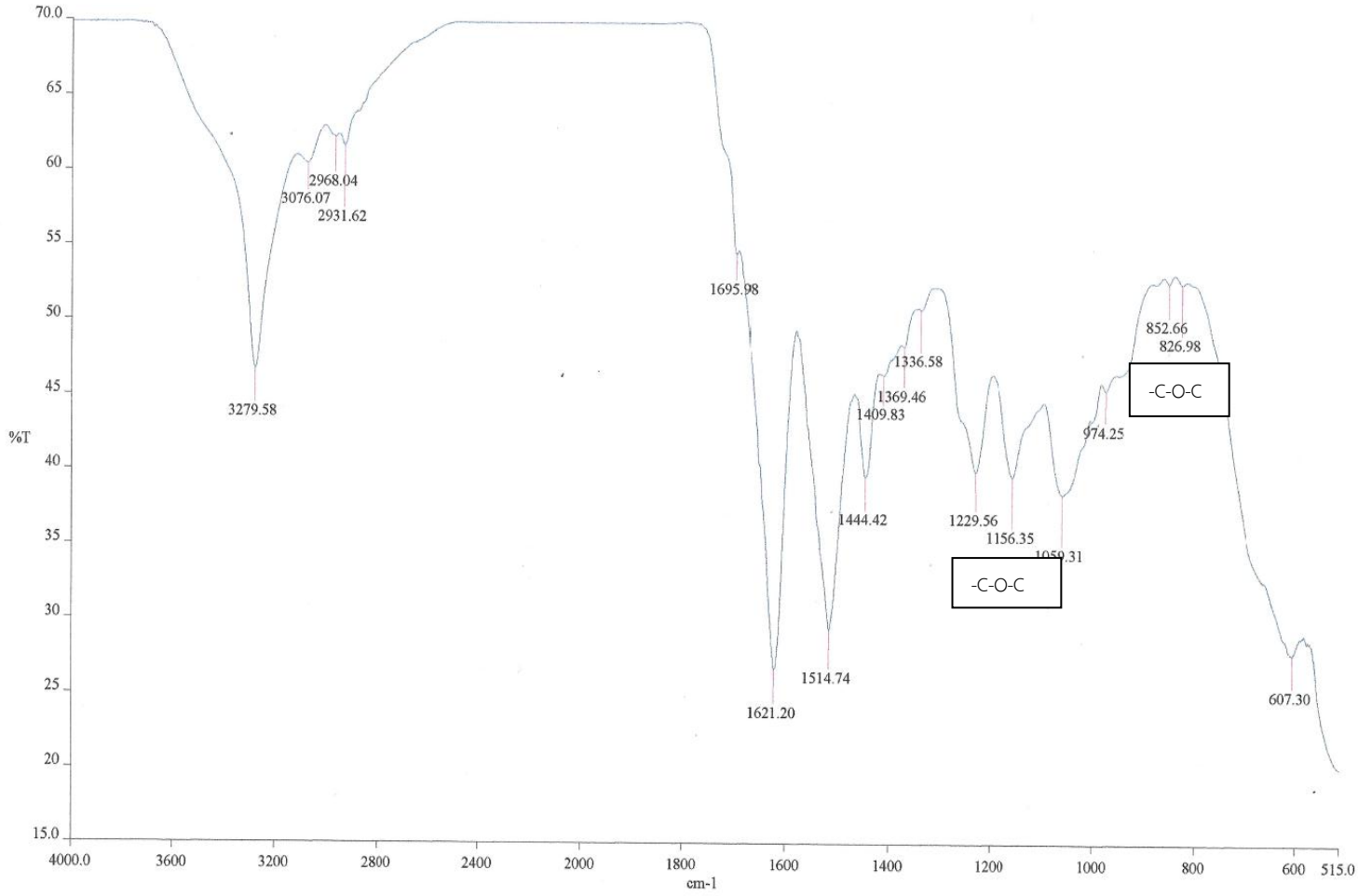
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหม



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมอินฟราเรดของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก

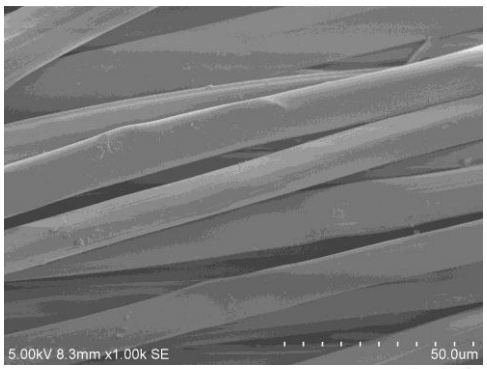
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยไหมของผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ขนาด 1 x 1 ตารางเซนติเมตร ฉาบด้วยทอง ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า พบว่า ภาพถ่ายพื้นผิวของเส้นใยไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต (ข) และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก (ค) จะสังเกตเห็นการเคลือบของไกลซิดิลเมทาคริเลตและกรดออร์โธฟอสฟอริกบนเส้นใยเมื่อเทียบกับเส้นใยไหม (ก) เนื่องจากมีการกราฟต์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตและการตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกบนผ้าไหมตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 4.6

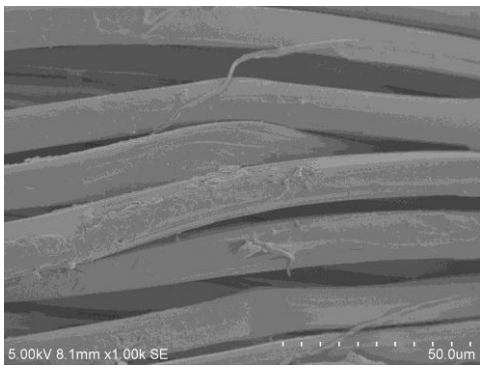
4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าไหมและผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis

ให้ความร้อนกับผ้าไหม และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 80-900 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักของผ้าไหมลดลง 63.34% ที่อุณหภูมิ 200-530 องศาเซลเซียส และน้ำหนักของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกลดลง 49.78% ที่อุณหภูมิ 170-550 องศาเซลเซียส ดังแสดงตามรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

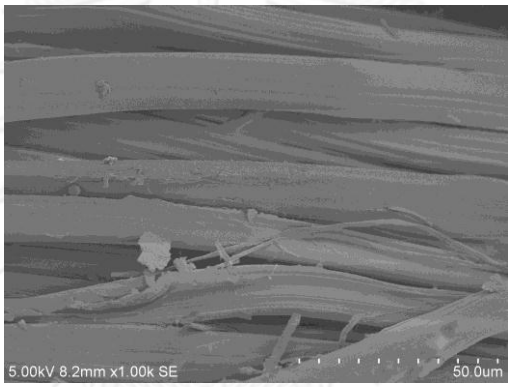
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(ก)



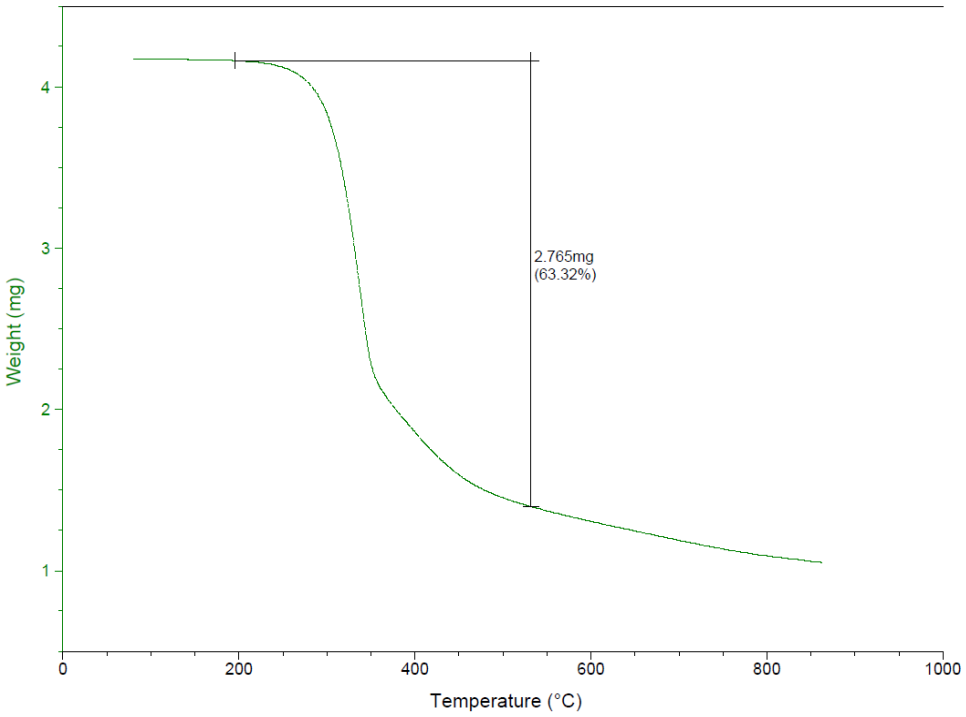
(ข)



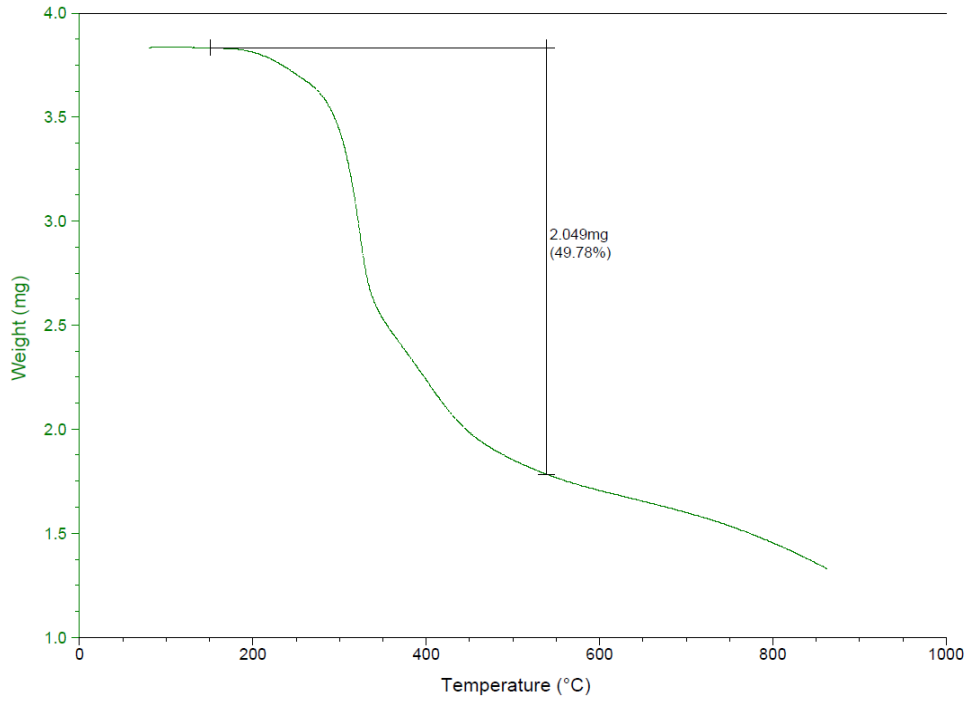
(ค)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดกำลังขยาย 1000
(ก) เส้นใยผ้าไหม, (ข) เส้นใยผ้าไหมกราฟต์ความเข้มข้นไกลซิดิลเมทาคริเลต 10% ฉายรังสีปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ และ (ค) เส้นใยผ้าไหมกราฟต์ไกลไกลซิดิลเมทาคริเลต และตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟ

Chulalongkorn University



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์น้ำหนักของผ้าไหมกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์น้ำหนักของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก กับอุณหภูมิ

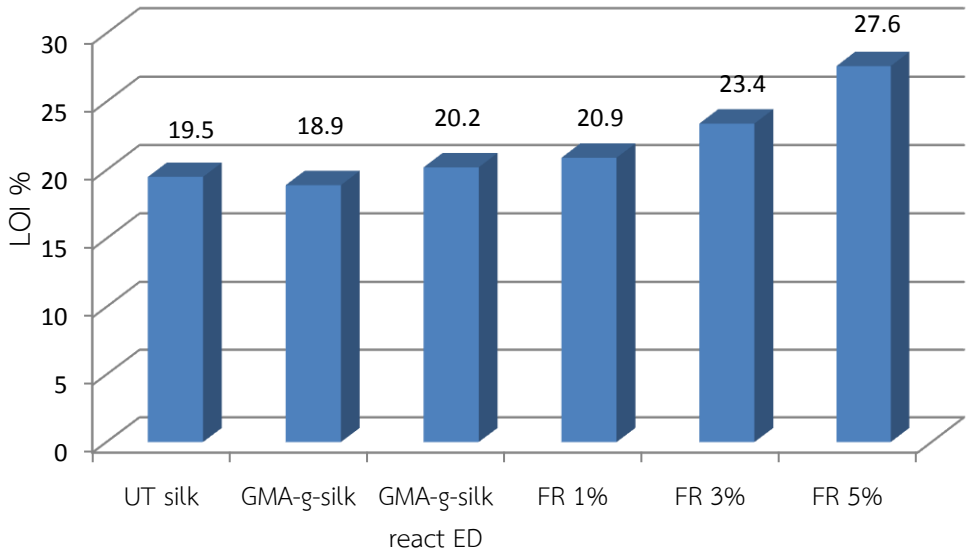
4.5 ผลการทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีน และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ไปทำการทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230 ในตู้ทดสอบที่มีลักษณะเป็นตู้ปิด โดยวางผ้าในแนว 45 องศาและจ่อเปลวไฟเป็นเวลา 1 วินาที ผลการทดสอบพบว่า คุณภาพผ้าทุกชนิดจัดอยู่ใน class 1 คือไม่ติดไฟ ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

4.6 ผลการทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2863

นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีน และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก ไปทำการทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ตามมาตรฐาน ASTM D2863 ทดสอบโดยการปรับปริมาณแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนและไนโตรเจนให้ได้ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต้องการ วางตัวอย่างตรงกลางปล่องแก้วในแนวตั้ง ทำการจ่อไฟให้สัมผัสที่ชิ้นตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที ยกเปลวไฟขึ้น สังเกตการณ์ติดไฟและลามไฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.9 ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดของผ้าไหม (UT silk), ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลต (GMA-g-silk), ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน (GMA-g-silk react ED), ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 1% (FR1%), ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 3% (FR3%), ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 5% (FR5%)

จากผลการทดลองดังแสดงตามรูป 4.9 พบว่า ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีน มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 18.9% และ 20.2% ตามลำดับ ถือว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดของผ้าไหมที่มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 19.5% ซึ่งโดยทั่วไปแล้วบรรยากาศปกติจะมีปริมาณออกซิเจน 21% จึงกล่าวได้ว่าผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไดเอมีนจัดอยู่ในพวกที่ติดไฟได้ ในทางตรงกันข้าม ผ้าไหมกราฟต์โกลซิดิล-เมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 5% ให้ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 27.6% แต่เมื่อลดความเข้มข้นกรดออร์โธฟอสฟอริกลง ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดก็ลดลงด้วย แต่ก็ยังจัดอยู่ในพวกติดไฟได้ช้า เนื่องจากมีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดอยู่ในช่วง 21%-28%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมาแบบ Simultaneous irradiation

ผลการศึกษาการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหมด้วยการฉายรังสีแกมมา พบว่าสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ ไกลซิดิลเมทาคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด เท่ากับ 33.83 แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณรังสีและความเข้มข้นไกลซิดิลเมทาคริเลตสูงขึ้น กลับทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ค่อยๆลดลง เนื่องจากรังสีแกมมาที่มีปริมาณสูงจะไปตัดโมเลกุลของเส้นใยไหม และไกลซิดิลเมทาคริเลตที่ความเข้มข้นสูงเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างไกลซิดิลเมทาคริเลตด้วยกันเองกลายเป็นโฮโมพอลิเมอร์ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลง

ผลพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก

พิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทา-คริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าภาพถ่ายพื้นผิวเส้นใยไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตและผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก จะมีเส้นใยลักษณะใหญ่และหนาขึ้น เมื่อเทียบกับภาพถ่ายพื้นผิวเส้นใยไหม เนื่องจากมีการกราฟต์ของไกลซิดิลเมทาคริเลตและการตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกบนผ้าไหม หลังจากนั้นนำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตไปทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy พบพีคของหมู่ฟังก์ชันคีโตนและอีพอกซี ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลต แต่ไม่พบพีคดังกล่าวในผ้าไหม แสดงว่าเกิดการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตบนผ้าไหม แล้วนำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเดียวกัน ปรากฏว่าไม่พบพีคของหมู่ฟังก์ชันคีโตน และยังพบว่าพีคของหมู่ฟังก์ชันอีพอกซีลดลง เมื่อให้ความร้อนกับผ้าไหมและผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริก พบว่าน้ำหนักของผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกลดลงมากกว่าผ้าไหม แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าไหมด้วยกรดออร์โธฟอสฟอริกทำให้ผ้าไหมมีความทนอุณหภูมิได้ดีขึ้น

ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดออร์โธฟอสฟอริก

โดยในขั้นตอนนี้ได้นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีน และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% ไปทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดตามมาตรฐาน ASTM D1230 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle (Oxygen Index) พบว่า ผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีน มีค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 19.5%, 18.9% และ 20.2% ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในพวกวัสดุที่ติดไฟได้ แสดงว่าการกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตไม่มีผลต่อการหน่วงไฟบนผ้าไหม ในทางตรงกันข้าม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นของกรดออร์โธฟอสฟอริก 1%, 3% และ 5% ให้ค่าดัชนีออกซิเจนจำกัดเท่ากับ 20.9%, 23.4% และ 27.6% ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในพวกวัสดุติดไฟได้ช้า ผลการทดลองข้างต้นบ่งชี้ได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดออร์โธฟอสฟอริกมาก จะทำให้ผ้าไหมมีความสามารถในการหน่วงไฟได้มากด้วย

ผลการศึกษาความสามารถในการติดไฟของผ้าไหม

โดยในขั้นตอนนี้ได้นำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีน และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตทำปฏิกิริยากับเอทีลีนไดเอมีนตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 1%,3% และ 5% ไปทดสอบความสามารถในการติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D1230 Standard Test Method for Flammability of Apparel Textiles พบว่า ผ้าทุกชนิดจัดอยู่ใน class 1 คือไม่ติดไฟตามมาตรฐาน ASTM D1230 แต่เมื่อทำการตกแต่งด้วยกรดออร์โธฟอสฟอริก จะทำให้ผ้าไหมมีความสามารถในการหน่วงไฟได้ดีขึ้น

วิจารณ์ผลการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตด้วยการฉายรังสีแกมมา คือ ที่ปริมาณรังสี 15 กิโลเกรย์ ไกลซิดิลเมทาคริเลตความเข้มข้น 10% โดยปริมาตรต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกแต่งคือการแช่ผ้าไหมที่กราฟต์แล้วในเอทีลีนไดเอมีน ทำให้แห้งแล้วนำไปแช่ในกรดออร์โธฟอสฟอริกความเข้มข้น 5% โดยปริมาตรต่อปริมาตร นำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตที่ได้ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy พบพีคสเปกตรัมอินฟราเรดหมู่คีโตนและอีพอกซีซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของไกลซิดิลเมทาคริเลต หลังจากนั้นนำผ้าไหม ผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต และผ้าไหมกราฟต์

Chulalongkorn University

ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกไปทดสอบความสามารถในการหน่วงไฟ พบว่า ผ้าไหม และผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตจัดอยู่ในพวกติดไฟได้ ส่วนผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิล-เมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกจัดอยู่ในพวกติดไฟช้า

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการทดสอบการแพ้ในกรณีที่มีการนำผ้าไหมกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลตตกแต่งกรดออร์โธฟอสฟอริกมาใช้กับบุคคล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. รัชพงศ์ หอทิมาวรกุล, การตกแต่งหน่วงไฟผ้าด้วยไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโดยใช้พลาสมาที่กำเนิดจากเครื่องทีตาพินช์. 2550, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. Lihua Yu, et al., *Improving the flame retardant of PET fabric by photo-induced grafting.* Polymer Degradation and Stability 95, 2010: p. 1934-1942.
3. P.R.S. Reddy, G. Agathian, and A. Kumar, *Ionizing radiation graft polymerized and modified flame retardant cotton fabric. .* Radiation Physics and Chemistry 72, 2005: p. 511-516.
4. Hesham H. Sokker, et al., *Radiation-induced grafting of glycidyl methacrylate onto cotton fabrics waste and its modification for anchoring hazardous wastes from their solution.* Journal of Hazardous Materials 168, 2009: p. 137-144.
5. C. Chaiwong, et al., *Graft polymerization of flame retardant compound onto silk via plasma jet.* Surface & Coatings Technology 204, 2010: p. 2991-2995.
6. A. Abou-Okeil, S.M. El-Sawy, and F.A. Abdel-Mohdy, *Flame retardant cotton fabrics treated with Organophosphorus polymer.* Carbohydrate Polymers 92., 2013: p. 2293-2298.
7. อรทัย บุญดำเนิน, การปรับสภาพผ้าไหมและผ้าไนลอนด้วยไหมอสัณฐาน. . 2548, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. ฉัตริยะ ศรีปิ, การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาคริเลตโดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับอะคริเลตโมโนเมอร์บางชนิด. 2547, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. พัชรียา สุริยะไชย, พอลิเมอร์ผสมของยางธรรรมชาติกราฟต์ด้วยไกลซิดิลเมทาคริเลตและสไตรีน/พอลิเมทิลเมทาคริเลต. 2544, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
10. A. F. Grand and C.A. Wilkie, *Fire Retardancy of Polymeric Materials.* 2000: Marcel Dekker, New York.
11. สิรีรัตน์ จารุจินดา, สิ่งทอทนไฟ. TTIS 9(94), February 2002: p. 44-47.
12. Stuart, B., *Biological Applications. Infrared Spectroscopy : Fundamentals and Applications*. 1997: Wiley, Chichester, UK.
13. เกษร พะลัง and สุนันท์ ชัยนะกุล, เคมีอินทรีย์. 2554: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. p. 279-281.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

$$\text{Degree of Grafting (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} x100$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักของผ้าไหมก่อนกราฟต์

W คือ น้ำหนักของผ้าไหมหลังกราฟต์

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพการกราฟต์ผ้าไหมจากตารางที่ 4.1

น้ำหนักของผ้าไหมก่อนกราฟต์ (W_0) 0.5539 กรัม

น้ำหนักของผ้าไหมหลังกราฟต์ไกลซิดิลเมทาคริเลต (W) 0.6046 กรัม

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกราฟต์} = \frac{0.6046 - 0.5539}{0.5539} x100$$

$$= 9.15$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐาน ASTM D1230 Standard Test Method for Flammability of Apparel Textiles

Flammability Tester

เป็นมาตรฐานการทดสอบความสามารถในการติดไฟของสิ่งทอสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มทั่วไป โดยเตรียมตัวอย่างผ้าที่ต้องการทดสอบขนาด 2 x 6 ตารางนิ้ว จำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 ชุดตัวอย่าง ทำการทดสอบในตู้ที่มีลักษณะเป็นตู้ปิด วางชิ้นทดสอบในแนว 45 องศาและจ่อเปลวไฟเป็นเวลา 1 วินาที

การแบ่งชั้นคุณภาพของสิ่งทอ แบ่งเป็น 3 ชั้น ได้แก่

Classification class 1 of Flammability of apparel textiles: ASTM D1230 ลักษณะการติดไฟบนสิ่งทอ คือ เปลวไฟลามเป็นเวลา 3.5 วินาทีหรือมากกว่า หรือเกิดการวาบไฟที่ผิวผ้าแต่ความแรงของเปลวไฟไม่ทำให้สิ่งทอลุกไหม้

Classification class 2 of Flammability of apparel textiles: ASTM D1230 ลักษณะการติดไฟบนสิ่งทอ คือ เปลวไฟลามเป็นเวลา 4 วินาที แต่น้อยกว่า 7 วินาที เกิดการวาบไฟที่ผิวผ้าและความแรงของเปลวไฟมีมากพอที่จะทำให้พื้นผ้าลุกไหม้

Classification class 3 of Flammability of apparel textiles: ASTM D1230 ลักษณะการติดไฟบนสิ่งทอ คือ เปลวไฟลามน้อยกว่า 4 วินาที และความแรงของเปลวไฟทำให้พื้นผ้าลุกไหม้

ภาคผนวก ค.

มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐาน ASTM D1230 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle (Oxygen Index)

การทดสอบค่าดัชนีออกซิเจนจำกัด (LOI) ตามมาตรฐาน ASTM D2863 เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำที่สุดภายใต้บรรยากาศที่มีการไหลของออกซิเจนและไนโตรเจนผสมกัน ที่สามารถทำให้วัสดุติดไฟและมีการลามไฟอย่างต่อเนื่อง ทดสอบโดยการนำผ้าไหมขนาด 1.5 x 12 ตารางเซนติเมตร หนีบไว้ตรงกลางของปล่องแก้วซึ่งวางในแนวตั้ง ด้านบนสุดของผ้าไหมต้องอยู่ต่ำกว่าปากปล่องแก้วอย่างน้อย 10 เซนติเมตรและไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตรเหนือช่องจ่ายก๊าซ แล้วปรับปริมาณแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนและไนโตรเจนให้ได้ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต้องการ ทำการจ่อเปลวไฟให้สัมผัสที่ผ้าไหมเป็นเวลา 5 วินาที ยกเปลวไฟขึ้น สังเกตผ้าด้านบนเกิดการลุกไหม้หรือไม่ บันทึกค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุรางค์รัตน์ ต้นหลุบเลา เกิดวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University