

การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด



นางสาวฉัตริยะ ศรีปี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

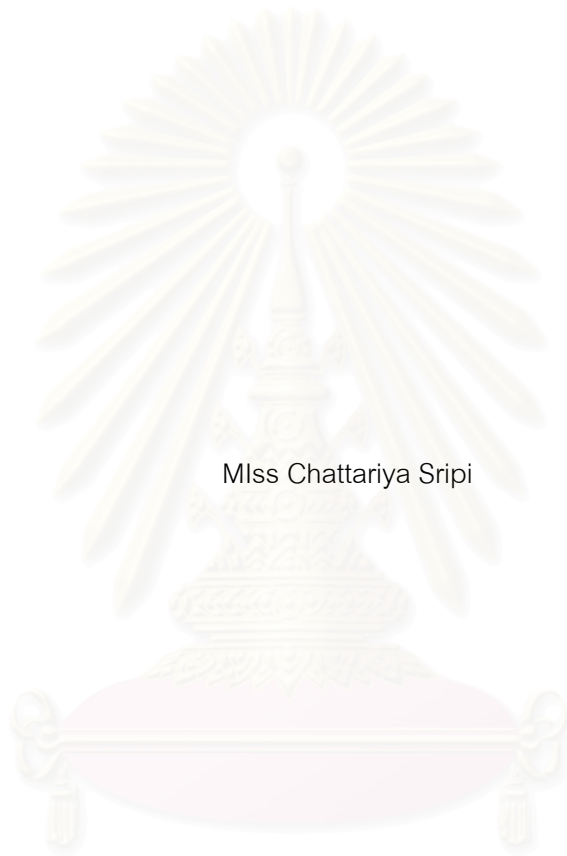
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1176-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GRAFTING OF METHYL METHACRYLATE ONTO SILK FIBER BY GAMMA IRRDIATION
WITH SOME ACRYLATE MONOMERS



Miss Chattariya Sripi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of science in Nuclear Technology
Department for Nuclear Technology

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1176-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับ
อะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด

โดย

นางสาวฉัตริยะ ศรีปี

สาขาวิชา

นิเวศลิยร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปลัถม์ภ์

คณะวิศวกรรวมศาสตร์ จุฬาลงกรณรณัฒมหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณัฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรวมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณญ์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวิฒนา บัญชรเทวกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปลัถม์ภ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทนา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)

ชัตริยะ ศรีปี : การกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยฉายรังสีแกมมาร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด. (GRAFTING OF METHYL METHACRYLATE ONTO SILK FIBER BY GAMMA IRRADIATION WITH SOME ACRYLATE MONOMERS)
 อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบลวัฒน์, 105 หน้า. ISBN 974-53-1176-6.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกราฟต์เมทิลเมทาครีเลตบนเส้นใยไหมด้วยรังสีแกมมา ร่วมกับอะครีเลตโมโนเมอร์โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์ชนิดใดก็ได้แก่ อัตราปริมาณรังสี ปริมาณรังสี อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อเมทานอลและการเติมสารตัวเติมอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด เช่น นอมาล-บูทิลอะครีเลตและทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดกราฟต์ ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์ชนิดใดก็ได้แก่ โพลิเมอร์ของเมทิลเมทาครีเลตและโคโพลีเมอร์ระหว่างเมทิลเมทาครีเลตกับเส้นใยไหม เมื่อทำการแยกโพลิเมอร์ของเมทิลเมทาครีเลตออกโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลจึงได้กราฟต์โคโพลีเมอร์ได้ทำการหาตัวแปรการกราฟต์ที่เป็นตัวบ่งชี้ร้อยละของการกราฟต์โคโพลีเมอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมน้ำ ศึกษาสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดกราฟต์ได้แก่ ความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

จากการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี ความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตและสารตัวเติมแต่จะลดลงเมื่ออัตราปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น หลังการกราฟต์สามารถลดการดูดซึมน้ำของเส้นใยได้ดี โดยเมื่อทำการฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 kGy/hr ปริมาณรังสี 3.64 kGy อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตเข้มข้น 70% และเติม นอมาล-บูทิลอะครีเลต 0.7% มีความสามารถกราฟต์ได้ร้อยละ 667 ความสามารถดูดซึมน้ำลดลงเหลือร้อยละ 22 หลังการกราฟต์เส้นใยไหมมีค่าด้านแรงดึงลดลงแต่มีค่าความยืดเมื่อขาดสูงขึ้น

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
 สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
 ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อผู้เขียน.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4570261521 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: ET DETECTOR / GRAFT COPOLYMERIZATION / METHYL METHACRYLATE / SILK /
GAMMA – RAY / ACRYLATE MONOMER

CHATTARIYA SRUPI : GRAFTING OF METHYL METHACRYLATE ONTO SILK FIBER
BY GAMMA IRRADIATION WITH SOME ACRYLATE MONOMERS. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, 105 pp. ISBN 974-53-1176-6.

Graft copolymerization of methyl methacrylate onto silk fibroin by a simultaneous irradiation technique using gamma - ray and some additives were studied. Various parameters of importance namely total dose (kGy), dose rate (kGy/hr), methyl methacrylate – to – methanol ratio and addition of n – butyl acrylate or 2 - ethyl hexyl acrylate as sensitizer were put to study to evaluate the effect to grafting reaction. Homopolymer of methyl methacrylate and copolymer of methyl methacrylate onto silk fibers were the main products of the reactions. The first was removed by methanol extraction. Grafting parameters denoting the degree of grafting copolymerization in relation with water absorption to the product was investigated. Other physical properties such as tensile strength and elongation at break were also reported at different doses and dose rates.

The result of this study revealed the degree of grafting is directly proportional to total dose, methyl methacrylate concentration. The used sensitizer had strong position effect to the grafting reaction. The degree of grafting decreased with the increase of the dose rate. Graft copolymerization of methyl methacrylate onto silk fibroin gave a maximum value at dose rate of 0.83 kGy/hr, total dose of 3.64 kGy. The degree of grafting increases to a maximum of 667% with methyl methacrylate concentration of 70% and n – butyl acrylate concentration 0.7%. After grafting, water absorption of silk fibroin decreased to 22% with decrease in stress but increase in elongation.

Department Nuclear Technology

Student's signature.....

Field of study Nuclear Technology

Advisor's signature.....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ลำดับแรกผู้วิจัยทำใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษา จากเบื้องลึกของหัวใจที่ได้เสียสละเวลาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตั้งแต่แรกเริ่มจนกระทั่ง งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ใคร่ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา ปัญชรเทวกุล รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรโยธา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ และดร.อุริช อัสชโคสิต ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้ ข้อเสนอแนะในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คุณชนิต อรรถบุตร คุณอารักษ์ วิฑิตี รานนท์ และคุณอภิโชติ แสนสม จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่ให้ความช่วยเหลือหลายด้าน รวมถึงให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัย วิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ใคร่ขอขอบคุณขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจ ทำให้งานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... | 2 |
| 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2 ทฤษฎี..... | 5 |
| 2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา..... | 5 |
| 2.2 โหมด..... | 5 |
| 2.3 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)..... | 14 |
| 2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติโพลีเมอร์ (Polymer modification)..... | 14 |
| 2.5 โคลิโพลีเมอร์ไรเซชัน..... | 16 |
| 2.6 โพลีเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมา..... | 18 |
| 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 26 |
| 3.1 การเตรียมเส้นใยไหม..... | 26 |
| 3.2 การกลั่นเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์..... | 28 |
| 3.3 การเตรียมการกราฟต์..... | 29 |
| 3.4 การเตรียมการกราฟต์ด้วยการเติมสารตัวเติม..... | 30 |
| 3.5 การหาอัตราปริมาณรังสี..... | 32 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.6 การหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์..... | 35 |
| 3.7 การหาค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหม..... | 37 |
| 3.8 การหาค่าความเค้นที่แรงสูงสุด (Tensile strength), ค่าเปอร์เซ็นต์ ความเครียดที่แรงสูงสุด (Elongation) | 38 |
| 4 ผลการทดลอง..... | 40 |
| 4.1 การความสามารถในการกราฟต์ของเส้นใยไหม..... | 41 |
| 4.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ตาม เงื่อนไขต่างๆ..... | 54 |
| 4.3 ผลของอัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของ เส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์..... | 61 |
| 5 สรุปผลการทดลอง..... | 64 |
| 5.1 การกราฟต์เส้นใยไหมและความสามารถในการดูดซึมน้ำของ เส้นใยไหมกราฟต์..... | 64 |
| 5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกราฟต์..... | 66 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 66 |
| รายการอ้างอิง..... | 67 |
| ภาคผนวก..... | 69 |
| ภาคผนวก ก | 70 |
| ภาคผนวก ข..... | 72 |
| ภาคผนวก ค | 73 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 105 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน..... | 10 |
| ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไหม..... | 11 |
| ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของไหม..... | 12 |
| ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเทคนิค Direct irradiation technique กับเทคนิค Pre-irradiation technique..... | 25 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหมโดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 52 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหมโดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 52 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหมโดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 53 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหมโดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 53 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 57 |
| ตารางที่ 4.6 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 58 |
| ตารางที่ 4.7 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 59 |
| ตารางที่ 4.8 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 60 |
| ตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 62 |
| ตารางที่ 4.10 แสดงสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 62 |
| ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 63 |

| | |
|---|----|
| ตารางที่ 4.12 แสดงสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุดโดยฉายรังสีแกมมา ที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 63 |
| ตารางที่ 5.1 กระบวนการกราฟต์ในเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้เส้นใยไหมที่มีเปอร์เซ็นต์ กราฟต์มากที่สุด..... | 65 |
| ตารางที่ 5.2 กระบวนการกราฟต์ในเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้เส้นใยไหมที่มีเปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด..... | 65 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 สภาพผิวของใยจากรังไหมและใยไฟเบอร์อินของไหมเลี้ยง..... | 6 |
| รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์ของเส้นใยไหม..... | 7 |
| รูปที่ 2.3 (A) เส้นใยไหมภาคตัดขวางและ (B) ภาพถ่ายตามยาว..... | 7 |
| รูปที่ 2.4 โครงสร้างหลักของกรดอะมิโน..... | 8 |
| รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเปปไทด์..... | 8 |
| รูปที่ 2.6 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวของไหม..... | 9 |
| รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)..... | 14 |
| รูปที่ 2.8 โครงสร้างอะตอมหลักของโพลีเมอร์..... | 15 |
| รูปที่ 3.1 เส้นใยไหมจากจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 26 |
| รูปที่ 3.2 ตู้อบ Hot air dryer..... | 26 |
| รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 5 ตำแหน่ง..... | 27 |
| รูปที่ 3.4 ชุดกลั่นสารเคมี..... | 28 |
| รูปที่ 3.5 เส้นใยไหมแช่ในสารละลาย..... | 30 |
| รูปที่ 3.6 ชุดหลอดทดลองสำหรับฉายรังสี..... | 32 |
| รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องควบคุมแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60..... | 33 |
| รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องฉายรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60..... | 33 |
| รูปที่ 3.9 ชุดการ Reflux..... | 36 |
| รูปที่ 3.10 การดูดซึมน้ำของเส้นใยไหม..... | 37 |
| รูปที่ 3.11 เครื่อง Universal Testing Machine..... | 39 |
| รูปที่ 4.1 ไฟเบอร์อินของเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์..... | 41 |
| รูปที่ 4.2 เส้นใยไหมกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงปริมาณ รังสี 5.40 กิโลเกรย์ มีหมู่-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารไวปฏิกิริยาอัตราส่วน เมทิลเมทาครีเลตต่อหมู่-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต คือ 70% : 0.9%..... | 42 |
| รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหม ต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วยอัตรา ปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 42 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 43 |
| รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 43 |
| รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง..... | 44 |
| รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณ รังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์..... | 44 |
| รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณ รังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์..... | 45 |
| รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณ รังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์..... | 45 |
| รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณ รังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์..... | 46 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.9% (v/v)..... | 51 |
| รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีนอมาล-บูทิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์..... | 54 |
| รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์..... | 55 |
| รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีนอมาล-บูทิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์..... | 55 |
| รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์..... | 56 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยนั้นได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ความสำคัญของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทยทั้งระบบเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณของมูลค่าการส่งออกที่มีจำนวนสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งติดกันมาหลายปีและในประเทศไทยมีการเลี้ยงและผลิตไหมมานาน ปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้ทำเป็นระบบอุตสาหกรรมแบบ Sericulture โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นปลูกหม่อนเลี้ยงไหมจนถึงขั้นทอเป็นผ้าและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายเป็นที่นิยมของตลาดโลก [1] การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพให้กับเส้นใยไหมเป็นการเพิ่มประโยชน์ในการนำมาใช้งานได้ในหลายรูปแบบทำให้มีการใช้รังสีในกระบวนการอุตสาหกรรมหลายประเภทซึ่งกระบวนการทางรังสีแตกต่างจากกระบวนการทางเคมีตรงที่กระบวนการทางเคมีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระโดยการการลายตัวของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiation) [2], [3] และต้องใช้ความร้อนให้เกิดการแตกตัวของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาทำให้ต้องมีวิธีการที่ดีในการควบคุมความความร้อนในกระบวนการผลิตแต่กระบวนการทางรังสีไม่จำเป็นต้องมีวิธีการที่ดีในการควบคุมความความร้อนในกระบวนการผลิตแต่กระบวนการทางรังสีไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยาหรือสารเติมแต่ง [2], [4] ในปฏิกิริยาเริ่มต้นโดยทั่วไปเทคนิคทางรังสีจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนพลังงานของรังสีที่ทะลุผ่านเนื้อโพลีเมอร์ (polymer matrix) [5] กระบวนการทางรังสีก่อให้เกิดอนุมูลอิสระบนโพลีเมอร์โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (หรือพลังงานจากกระบวนการเริ่มต้นปฏิกิริยาเป็นศูนย์) แต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีและอัตราปริมาณรังสีซึ่ง A.S.Bashar และ Mubarak A. Khan ได้ทำการนำเมทิลเมทาครีเลท (MMA) ต่อกิ่งลงบน ฝ้าย, เรยอนและไหมโดยใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์ - 60 มาใช้ในการนำเมทิลเมทาครีเลทต่อกิ่งลงบนเส้นใยฝ้าย, เรยอนและไหมโดยมี N-Vinyl pyrrolidone (NVP), tripopylene glycol diacrylate (TPGDA) และ trimethylol propane triacrylate (TMPTA) [6] เป็นสารตัวเติมซึ่งก่อให้เกิดความระคายเคืองกับผิวหนัง ดังนั้นควรมีการศึกษากระบวนการทางรังสีที่ก่อให้เกิดการกราฟต์เมทิลเมทาครีเลทลงบนเส้นใยไหมโดยมีสารตัวเติมที่เพิ่มประสิทธิภาพการกราฟต์และไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยไหมด้วยการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยการฉายรังสีแกมมาพร้อมกับอะครีเลตโมโนเมอร์บางชนิด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 เส้นใยไหมที่ใช้ในการทดลองเป็นเส้นใยไหมสำเร็จพันธุ์ ไทย-ญี่ปุ่น(ลก-001-ล) จากจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยไหมที่กราฟต์แล้วได้แก่ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์, Tensile strength และ Water uptake เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าหาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์เส้นใยไหม

1.4.3 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยไหมที่กราฟต์แล้ว

1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.5 สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกราฟต์เส้นใยไหมด้วยเมทิลเมทาครีเลตโดยมีโมโนฟังก์ชันแนลอะครีเลตโมโนเมอร์ในปริมาณและชนิดที่เหมาะสม

1.5.2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยไหมเพื่อนำไปทอและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. A.S.Bashar and Mubarak A. Khan [6] ได้ศึกษาการนำเมทิลเมทาครีเลต (MMA) ต่อกิ่งลงบน ฝ้าย, เรยอน และ ไหม โดยใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 จากการศึกษาพบว่าค่ากราฟต์ของเส้นไหมมีค่าสูงสุด (35%) รองลงมาคือเรยอน (22%) และฝ้าย (17%) ที่อัตราปริมาณรังสี 2 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงและปริมาณรังสี 5 กิโลเกรย์ความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตความเข้มข้น 70% จะทำให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์มีค่ามากที่สุด เส้นไหมที่ผ่านการกราฟต์สามารถลดการดูดซึมน้ำได้ดีและมีความคงทนต่อแรงดึงมากขึ้น

2. สิริรัตน์ จารุจินดา [7] ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของการกราฟต์ศึกษาความเข้มข้นของเอ็น, เอ็น-เมทิลีนบิส อะคริลาไมด์, แมงกานีส(III) อะซิทิลอะซิโทเนต จากการศึกษาพบว่า ร้อยละของการกราฟต์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของเอ็น-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ไม่มีความสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละของการกราฟต์ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของเอ็น-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์มีขนาดใหญ่ทำให้การเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิด charge transfer complex ทำได้ยาก กราฟต์โคโพลีเมอร์ที่ได้ถูกนำมาพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการกราฟต์ได้แก่ ความคงทนต่อแรงดึง สมบัติในการย้อมติดสี ลักษณะพื้นผิว และความคงทนต่อความร้อนพบว่า การเพิ่มร้อยละของการกราฟต์และร้อยละของโพลีเมอร์เอกพันธ์ทำให้ค่าความคงทนต่อแรงดึงต่ำลง นอกจากนี้สมบัติในการย้อมสีแอซิดบนเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์แล้วต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ได้ผ่านการกราฟต์ลักษณะพื้นผิวที่ได้ไม่สม่ำเสมอและมีขนของเส้นใยแยกออกจากเส้นใยไหมด้วยแต่ความคงทนต่อความร้อนของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์มีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ได้ผ่านการกราฟต์

3. Fang Yue-E, Ji Jun and Ma Chaoxiong [8] ได้ศึกษาการกราฟต์โคโพลิ-
เมอไรเซชันโดยนำ 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) ต่อกิ่งลงบน chloroprene ของยาง
ด้วยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ - 60 และศึกษาลักษณะพื้นผิว chloroprene ของยางที่ผ่าน
กราฟต์และยังไม่ได้กราฟต์ด้วยเครื่อง FT-IR-PAS spectroscopy และ scanning electron
microscope (SEM) จากการศึกษาพบว่า มีการต่อกิ่งของ 2-hydroxyethyl methacrylate บนเนื้อเยื่อ
ของ chloroprene ของยางและเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของเอ
ทานอลกับน้ำเปอร์เซ็นต์กราฟต์เพิ่มขึ้นถ้าค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า
เปอร์เซ็นต์กราฟต์ยังขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสี, ปริมาณรังสี, ความเข้มข้นของโมโนเมอร์และอุณหภูมิ
ขณะทำการฉายรังสี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

รังสีแกมมาจัดเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยทางอ้อม (Indirectly ionizing radiation) ในโรงงานฉายรังสีแกมมาเชิงการค้าจะใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่นๆ ที่แผ่รังสีชนิดเดียวกันและมีครึ่งชีวิตที่พอเหมาะคือ 5.25 ปี โคบอลต์-60 มีความคงทนภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณรังสีสูงและสามารถใช้งานได้แม้กระทั่งในอุณหภูมิสูงถึง 1000 องศาเซลเซียสและโคบอลต์-60 ให้รังสีแกมมา 2 โฟตอนต่อการสลายตัวหนึ่งนิวเคลียสโดยพลังงานโฟตอนทั้งสองเท่ากับ 1.17 MeV และ 1.33 MeV ตามลำดับ หรือคิดเฉลี่ยให้พลังงานโฟตอน 2.5 MeV ต่อการสลายตัวหนึ่งครั้ง ในกระบวนการฉายรังสีทางอุตสาหกรรมจะใช้ต้นกำเนิดโคบอลต์-60 ที่ให้ความแรงรังสีระดับหมื่นหรือแสนคูรี ลักษณะของต้นกำเนิดอาจเป็นแท่งทรงกระบอก เป็นแผ่น เป็นเม็ดบรรจุในท่อเหล็กกล้าไร้สนิมหรือแบบอื่นๆ ตามแต่ความสะดวกและความประสงค์ของผู้ใช้งาน กล่าวโดยสรุปความเหมาะสมของการใช้โคบอลต์-60 ในอุตสาหกรรมได้แก่การให้รังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง (43.2 เซนติเมตรต่อ 1 MeV) ฉายรังสีได้อย่างต่อเนื่องเสื่อมสภาพได้ช้าและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนเสริมต้นกำเนิดบ่อยครั้ง [9]

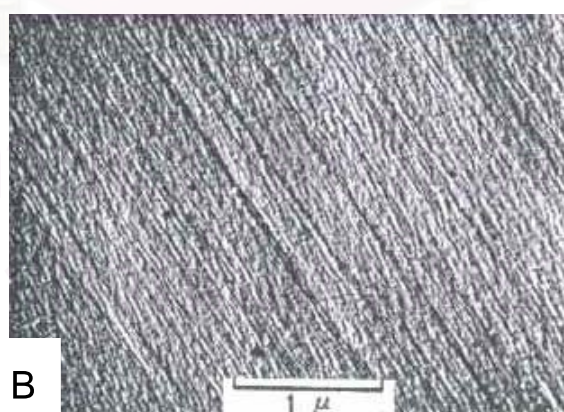
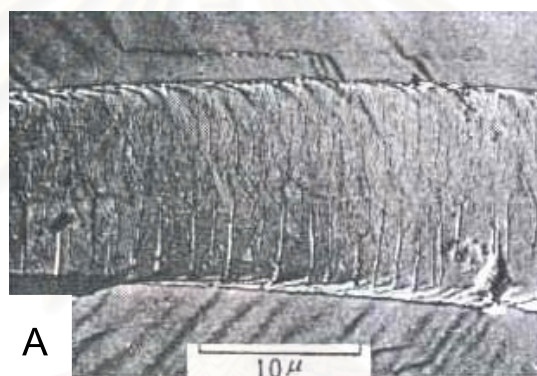
2.2 ไหม

เส้นใยธรรมชาติกลุ่มที่ได้จากสัตว์ทุกชนิดจะเป็นเส้นใยโปรตีนทั้งหมด ซึ่งองค์ประกอบหลักของโครงสร้างทางเคมีพื้นฐานในเนื้อเยื่อของสัตว์เกิดจากการต่อกันเป็นโซ่โมเลกุลของกรดอะมิโน (amino acid) โดยมีการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลด้วย amide (peptide) links เรียกโมเลกุลเหล่านี้ว่า polypeptide chains ธาตุหลักที่ประกอบในโมเลกุลได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน และไนโตรเจน [1], [10] เส้นใยโปรตีนมีองค์ประกอบทางเคมีทั้งที่มีความเป็นด่างและกรดอยู่ในโครงสร้างเดียวกันเป็นสารประเภท amphoteric [10]

2.2.1 โครงสร้างทางรูปร่างของเส้นใยไหม

2.2.1.1 ลักษณะผิวของเส้นไหม

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้นมีผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย ไหมเลี้ยงโดยทั่วไปผิวของเส้นไหมชั้นนอกมีกาวเซรีซินมากซึ่งเซรีซินมีโครงสร้างเป็นคลื่นมากไปตามแนวยาวปกคลุมเส้นใยไฟโบรอิน แต่เซรีซินชั้นกลางและชั้นในจะมีโครงสร้างและการเคลือบที่สม่ำเสมอกว่าโครงสร้างผิวของไฟโบรอินของเส้นไหมเลี้ยงที่ลอกกาวเซรีซินออกหมดแล้วไฟบริลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04-0.05 ไมครอน ในแนวตามยาวของเส้นใยไหมจะประสานเป็นโครงสร้างทอบางๆ และจะเห็นว่าไฟบริลเหล่านี้พันเกลียวเข้าด้วยกัน [11]

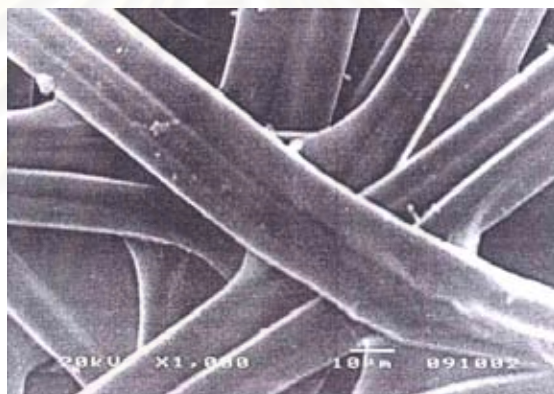


รูปที่ 2.1 สภาพผิวของใยจากรังไหมและใยไฟโบรอินของไหมเลี้ยง

- (A) สภาพที่เคลือบด้วยกาวซีรีซิน
- (B) โครงสร้างไมโครไฟบริลของผิวเส้นใย

2.2.1.2 ภาคตัดขวางของเส้นใยไหม

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาวโดยมีความยาวต่อเนื่องตลอดเส้นที่เกิดจากรังไหมแต่ละรังมีความยาวอยู่ระหว่าง 400-700 เมตรต่อรังเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นคล้ายรอยแตกตามยาวของเส้นใย (รูปที่ 2.2) ด้านตัดขวางจะมีลักษณะรี ส่วนนอกของเส้นใยไหมเป็น สารเซรีซินที่หุ้มโปรตีนไฟโบรอินรูปคล้ายสามเหลี่ยมเรียงคู่กันขนาดของเส้นใยไฟโบรอินมีค่า 10-13.7 ไมครอน [12] โมเลกุลของไฟโบรอินประกอบด้วยโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ซึ่งเชื่อมกันแบบพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds) ในเส้นใยไฟโบรอิน 1 เส้นมีไฟบริล 900-1,400 เส้น (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-0.4 ไมครอน) [11], [12] พื้นทีหน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมนตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนของเส้นใยไหม

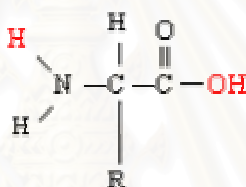


รูปที่ 2.3 (A) เส้นใยไหมภาคตัดขวางและ (B) ภาพถ่ายตามยาว

ฉะนั้นโครงสร้างผิวที่ดูจากกล้องจุลทรรศน์จะแสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่ซับซ้อนและละเอียดซึ่งเส้นใยชนิดอื่นไม่มีและด้วยโครงสร้างนี้เองที่ช่วยให้เกิดความงามและสีสรรวมทั้งรูปร่างของภาคตัดขวางและความทึบแสง

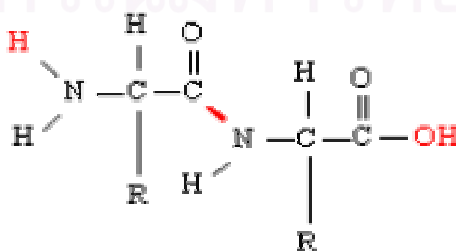
2.2.1.3 โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหม

ส่วนที่เป็นไฟโบรอินของเส้นไหมนั้นเกิดจากปฏิกิริยา Condensation ของ amino acids กลายเป็น polypeptide chains ซึ่งแตกต่างจากโปรตีนในเส้นผมคือจะไม่มีส่วนที่เป็นซัลเฟอรัประกอบอยู่และโมเลกุลที่เป็นสายยาวจะไม่ถูกเชื่อมเข้าด้วยกันโดยสะพาน disulphide ซึ่งเกิดใน wool [13] โครงสร้างไฟโบรอินมีลักษณะตามรูปที่ 2.5

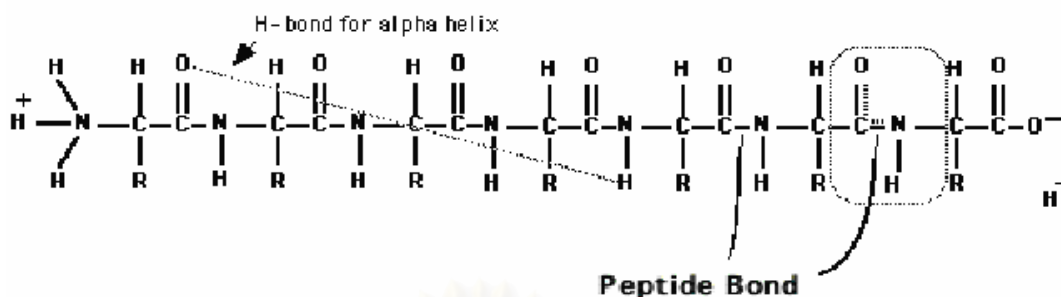


รูปที่ 2.4 โครงสร้างหลักของกรดอะมิโน

ตามรูปที่ 2.3 R คือ โซ่ข้างเคียงหรือหมู่แอลคิลซึ่งกลุ่ม R เป็นอะตอมของธาตุต่างๆ ที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะพิเศษของกรดอะมิโนเช่น กลุ่ม R เป็นอะตอมของไฮโดรเจน กรดอะมิโนกลุ่มนี้จะเป็น Glycine ถ้ากรดอะมิโน 2 ตัวเชื่อมโยงพันธะเข้าด้วยกันที่ปลายสายโซ่ที่อะตอมของคาร์บอน (carboxyl) เชื่อมโยงพันธะเข้ากับอะตอมของกรดอะมิโนอีกตัวจะเกิดเป็นการเชื่อมโยงพันธะแบบเปปไทด์ [14]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเปปไทด์



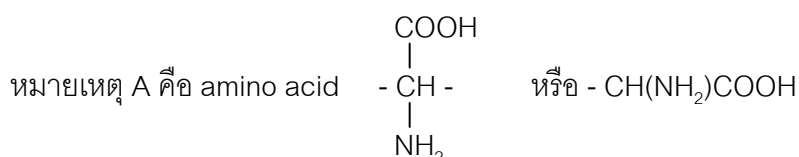
รูปที่ 2.6 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวของไหม

ไฟบริลต่างๆ ของเส้นใยไฟโบรอินมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนแตกต่างกันคือ Glycine 44.5%, Alanine 29.3%, Serine 12.1% และ Tyrosine 10% และยังมีโปรตีนซึ่งมีสภาพไม่เป็นเส้นใยซึ่งมีความเป็นผลึกสูงโปรตีนมีบทบาทเป็นตัวเชื่อมไฟบริลของใยไฟโบรอินเข้าด้วยกัน ดังนั้นเชื้อรา (Fungi) และแบคทีเรียบางชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตบนเส้นใยไหมได้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก Glycine และ Alanine เป็น compact amino acids ที่มีในไฟโบรอินซึ่งก่อให้เกิด β - sheet structure ที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนและแรงยึดเหนี่ยวของกรดอะมิโนที่มีความเป็นกรดและด่างทำให้ยากต่อการย่อยสลายโดยทั่วไปเส้นใยจากรังไหมเป็นโปรตีน 97% นอกจากนั้นเป็นซีผึ้ง, คาร์โบไฮเดรต, วัสดุสีและสารอนินทรีย์ เส้นไหมเลี้ยงมีไฟโบรอิน 70% เซรีซิน 20-30% ไฟโบรอิน (fibroin) ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญคือ C, H, O และ N ส่วนปริมาณ S มีน้อยมากตามโมเลกุลข้างเคียง ลักษณะจะเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวไม่พับตัวกันเหมือนขนสัตว์โมเลกุลจึงเรียงตัวกันยาวและเกาะตัวกันได้แน่นกว่า [15] โครงสร้างไฟโบรอินของไหมเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นแบบ -G-A-G-A-G-A โดยที่ G คือ ไกลซีน A คือ อะนาลีนมวลโมเลกุลของไฟโบรอินอยู่ในช่วง 84,000-220,000 และ น้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินมีค่าประมาณ 360 kDa และจากการวิเคราะห์โดย X-ray diffractometer (XRD) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณ crystallinity ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเส้นใยไหม polypeptide chain ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของ polypeptide chain ในแนวที่ทำให้เกิดส่วนที่เรียงเป็นระเบียบของอะตอมต่างๆ ในมอโนเมอร์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้อย่างสูง ได้แก่ กลุ่มเคมีจำพวกไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) และกลุ่มอะมิโน (Amino group) ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงได้เป็นอย่างดีและส่วนอะตอมที่มีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจะเกิดเป็น amorphous แทรกอยู่

จากการศึกษาโดยวิธี XRD จะแสดงให้เห็นว่าเส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลที่เรียงตัวเป็นจำนวนมากและมีความยาวเมื่อขยายเต็มที่ 6.95 อังสตรอมซึ่งเกิดจากส่วนของกรดอะมิโน 2 ตัวเชื่อมโยงต่อกันดังตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นรายละเอียดส่วนประกอบของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน [10] แบ่งเป็น 5 ประเภทคือ

| ประเภทของกรดอะมิโน | กรดอะมิโน | โครงสร้าง |
|-----------------------------|---|---|
| 1) Non-polar Amino acid | - Glycine - Alanine - Valine - Leucine - Isoleucine - Proline - Phenylalanine | H-A CH ₃ -A (CH ₃) ₂ CH-A (CH ₂) ₂ CHCH ₂ -A CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)-A C ₈ H ₆ NHCH ₂ -A C ₆ H ₅ NHCH ₂ -A |
| 2) Acid amino acid | - Aspartic acid - Glutamic acid | HOOC(NH ₂)CHCH ₂ COCOOH HOOCCH ₂ CH ₂ CH(NH ₂)COOH |
| 3) Basic amino acid | - Arginine - Histidine - Lysine | NH ₂ C(NH)NH(CH ₂) ₃ -A N(CH ₂) ₂ NHCCH ₂ -A NH ₂ (CH ₂) ₄ -A |
| 4) Oxy amino acid | - Serine - Threopnin - Tyrosine | CH ₂ OHA CH ₃ CH(OH)-A HOC ₆ H ₅ CH ₂ -A |
| 5) Sulfur-coplex amino acid | - Methionine - Cystine | CH ₃ SCH ₂ -A (-S-CH ₂) ₂ -A |



2.2.1.4 คุณสมบัติต่างๆ ของไหม [13]

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไหม

| รายการ | รายละเอียด |
|-----------------------------------|--|
| - ลักษณะภายนอก | ความยาวโดยปกติของไหมประมาณ 1,000-1,300 หลาและอาจถึง 3,000 หลา ความกว้าง 9-11 ไมครอนผิวค่อนข้างเรียบมีความมันเงาสูง สีมืดตั้งแต่ ขาวถึงครีม |
| - ความแข็งแรง | ไหมมีความเหนียว 2.4-5.1 g/denier เมื่อแห้งและความแข็งแรงเมื่อเปียกประมาณ 80-85% ของไหมแห้ง |
| - Elastic recovery and Elongation | ไหมมี Elastic recovery สูง และมี Elongation ปานกลางเมื่อแห้งสามารถยืดได้ถึง 10-25% และเมื่อเปียกสามารถยืดได้ถึง 33-35% เมื่อไหมมี Elongation 2% จะมี Elastic recovery 92% |
| - Resiliency | ไหมมี Resiliency ปานกลาง รอยยับย่นจะคืนตัวเมื่อแขวน |
| - ความหนาแน่น | ไหมมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 ซึ่งต่ำกว่าเส้นใยเซลลูโลส |
| - การดูดความชื้น | ไหมสามารถดูดความชื้นได้ดี เนื่องจากมี moisture regain 11% ซึ่งคุณสมบัติในการดูดความชื้นมีประโยชน์ต่อการย้อมสีและตกแต่งไหมแต่มีข้อเสียคือไหมสามารถดูดสิ่งเจือปนในของเหลวได้ดีเช่นกัน เช่น เกลือโลหะ ซึ่งสิ่งเจือปนจะทำให้เส้นใยไม่แข็งแรง |
| - Dimensional Stability | ผ้าไหมมีความทนทานต่อการดึงยืดหรือการหดตัวเมื่อซักแห้ง |

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไหม (ต่อ)

| รายการ | รายละเอียด |
|-------------------------|--|
| - คุณสมบัติด้านความร้อน | ไหมจะไหม้เมื่อถูกเปลวไฟโดยตรงหลังจากเอาออกจากเปลวไฟจะติดไฟด้วยตัวเองจะให้เถ้าที่เปราะและกรอบและให้กลิ่นเหมือนขนสัตว์ไหมไฟความร้อน 135 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อไหมแต่ถ้าอุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส ไหมจะเปื่อยอย่างรวดเร็วไหมจะไหม้อย่างง่ายถ้าวัดด้วยอุณหภูมิมากกว่า 300 ฟาเรนไฮต์และไหมจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองถ้าทับด้วยเตารีดที่ร้อน |
| - ความทนทานต่อด่าง | ไหมจะถูกทำลายด้วยด่างแก่และละลายใน caustic soda (NaOH) ที่ร้อนไหมจะทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่า ขนสัตว์ ด่างอ่อนเช่น สบู่, บอแรกซ์ และแอมโมเนียจะทำลายไหมเล็กน้อยหรือไม่ทำลายไหมถ้าไม่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน |
| - ความทนทานต่อกรด | ไหมสามารถละลายได้ใน concentrated sulfuric acid และกรดไฮโดรคลอริกส่วนกรดไนตริกจะทำให้ไหมมีสีเหลืองเหมือนในกรณีของขนสัตว์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดกรด xanthoproteic การละลายของไหมในกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้นนั้นจะละลายได้รวดเร็วมากดังนั้นเราจึงสามารถใช้กรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้นในการวิเคราะห์แยกชนิดของไหมจากขนสัตว์และฝ้ายได้ |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตเส้นไหม [16]

2.2.2.1 การสาวไหม (Reeling)

ขั้นตอนการสาวไหมทำได้โดยการต้มรังไหมในน้ำร้อนเพื่อให้กาวไหมอ่อนตัว จากนั้นจึงแปรงรอบนอกของรังไหมเบาๆ เพื่อหาปลายของเส้นใย รังไหมแต่ละรังจะถูกนำมา รวมกันใส่ในห่วงนำเส้นใยก่อนที่จะถูกส่งผ่านไปพันในวงล้อสาวไหม (reel) ต่อไปในปัจจุบันมี เครื่องสาวไหมหลายประเภททำให้สะดวกและไม่เสียเวลา

2.2.2.2 การพันเกลียว (Throwing)

เป็นการนำเอาเส้นใยไหมตั้งแต่ 2 เส้นมาตีเกลียวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงขนาด ของเส้นใยและลักษณะของเกลียวว่าเป็นแบบตีเกลียวแน่นหรือตีเกลียวหลวม

2.2.2.3 การปั่น (Spinning)

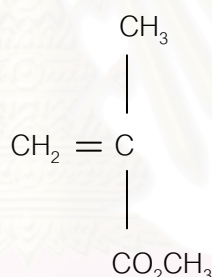
เป็นการนำเอาเส้นใยส่วนนอกหรือเส้นใยที่อยู่ด้านในสุดของรังไหมหรือเส้นใยที่ ขาดมาปั่นรวมกันเพื่อให้ได้เส้นใยที่สามารถนำไปใช้งานได้

2.2.2.4 การลอกกาวไหม (Degumming)

เป็นการลอกเอาส่วนที่เป็นสารเคลือบ (sericin) ออกจากลอกกาวได้ด้วยสบู่ เกลือของด่างหรือเอนไซม์ การลอกกาวยังเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกเช่น เศษดักแด้และสิ่งเจือปน อื่นๆ เส้นใยที่ได้หลังจากการลอกกาวออกแล้วจะมีคุณสมบัติดีขึ้นคือเส้นใยจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม เงามันทำให้สามารถฟอกและย้อมสีได้ดี

2.3 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)

เมทิลเมทาครีเลต (MMA) เป็นโมโนเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างตามรูปที่ 2.6 ซึ่งโพลีเมอร์ของมันมีอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Tg) 105 องศาเซลเซียสและจุดหลอมตัวสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสคุณสมบัติพิเศษคือไม่มีสีและใสเหมือนแก้วซึ่งแข็งแรงแทนต่อดินฟ้าอากาศและยังสามารถทนทานต่อน้ำและสารละลายอินทรีย์ทั่วไปได้อย่างดีรวมทั้งกรดอ่อน เบสอ่อนและยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิดได้แก่ อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน, โทลูอินและสารจำพวกเอสเทอร์ เช่น เอทิลอะซิเตต สารอินทรีย์บางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ทั่วไป และเอมีน สมบัติเชิงกลและความคงทนต่อความร้อนก็ดีเหมือนกันเพราะเมทิลเมทาครีเลต (MMA) ประกอบด้วยหมู่ $-C-OCH_3$ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีสภาพขั้วจากสมบัติความโปร่งใสการนำไปใช้ย้อมสีจึงทำได้ง่าย [4]



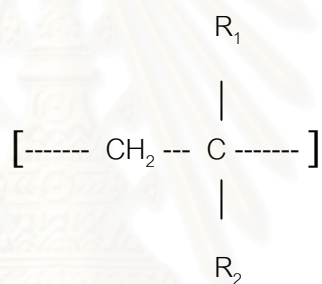
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเมทิลเมทาครีเลต (MMA)

2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติโพลีเมอร์ (Polymer modification)

เมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสี (irradiation) ปฏิกริยาที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นคือการเชื่อมโยงแบบร่างแหสามมิติของโมเลกุล (cross-linking) หรือการกราฟต์ซึ่งถือเป็นปฏิกริยาแรกที่ถูกประยุกต์เพื่อนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม ส่วนปฏิกริยาอื่นที่เกิดขึ้นได้แก่ การย่อยสลายโมเลกุล (degradation) ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ในประโยชน์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ เกิดขึ้นภายหลังการฉายรังสีให้กับโพลีเมอร์ได้แก่ การเกิดก๊าซ (gas formation) เช่น H_2 , CH_4 และ CO การเปลี่ยนแปลงพันธะทางเคมี (change in unsaturation) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ให้เป็นวง (cyclization) และการรวมตัวกับออกซิเจน (oxidation) [17]

การกราฟต์และการย่อยสลายโมเลกุลเป็นกระบวนการทางเคมีรังสีที่ไม่สมดุล เพราะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของโพลีเมอร์ โดยการกราฟต์จะเพิ่มมวลโมเลกุลในขณะที่การย่อยสลายโมเลกุลจะลดมวลโมเลกุลตามกฎแล้วทั้งสองปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีทันใด โดยสัดส่วนของอัตราการเกิดจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของโพลีเมอร์สภาพทางกายภาพและเงื่อนไขในการฉายรังสีแล้วโพลีเมอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่งอย่างชัดเจน [18]

ในกรณีที่โพลีเมอร์มีโครงสร้างที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นสายโซ่หลักและมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 โครงสร้างอะตอมหลักของโพลีเมอร์

ถ้า R_1 เป็นอะตอมของไฮโดรเจน (H-atom) และ R_2 เป็นอะตอมชนิดอื่นเมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดการ cross-link หรือ การกราฟต์

ถ้า R_1 และ R_2 ไม่ใช่อะตอมของไฮโดรเจนเมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดการย่อยสลายโมเลกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 โคลิโพลีเมอร์ไรเซชัน

โคลิโพลีเมอร์สามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุลออกเป็น 4 ประเภทคือ [1], [13], [19]

2.5.1 โคลิโพลีเมอร์แบบแรนดัมคือ โคลิโพลีเมอร์ประกอบด้วยโมโนเมอร์ A และโมโนเมอร์ B ในสัดส่วนต่างๆ ตามแต่จำนวนโมโนเมอร์จะเข้ามาทำปฏิกิริยา

~AABABAAABBAABAABABBA~

2.5.2 โคลิโพลีเมอร์แบบสลับคือ โคลิโพลีเมอร์จะประกอบด้วยโมโนเมอร์ A และโมโนเมอร์ B เรียงสลับกันไป

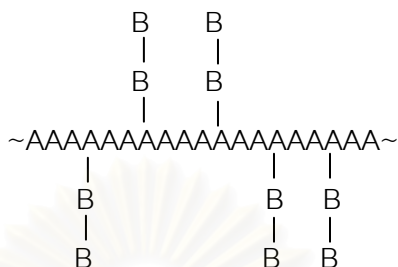
~ABABABABABABABABABAB~

2.5.3 บล็อกโคลิโพลีเมอร์คือ การสลับกันด้วยจำนวนโมโนเมอร์ชนิดเดียวกันมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป

~AAAAAABBBBBBBBAAAAAA~

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการกำหนดสมบัติทางกายภาพของโพลีเมอร์คือโพลีเมอร์โครงสร้างหรือการจัดเรียงของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโพลีเมอร์นั้นเนื่องจากบล็อกและกราฟต์โพลีเมอร์มีการจัดเรียงตัวของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน แตกต่างออกไปจากแรนดัมโพลีเมอร์ทำให้โพลีเมอร์สองประเภทนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกับแรนดัมโพลีเมอร์และโฮโมโพลีเมอร์ของมัน [20], [13] การเตรียมบล็อกโพลีเมอร์มีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีต่างอาศัยหลักการเดียวกันคือใช้โพลีเมอร์ที่ต่างมีหมู่ที่ยังว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ ณ ปลายโซ่โดยให้หมู่ที่ว่องไวนี้ทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์อีกชนิดหนึ่งต่อไปหรือไม่มีหมู่ที่สามารถทำให้เกิดความว่องไวขึ้นได้กลไกของปฏิกิริยาอาจเป็นแบบฟรีแรดิคัลอิออนนิคหรือแบบควบแน่นก็ได้ [13]

4. กราฟต์โคโพลีเมอร์เป็นโคโพลีเมอร์ชนิดที่แกนหลักเป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง กิ่งก้านเป็นโพลีเมอร์อีกชนิดหนึ่ง



กราฟต์โคโพลีเมอร์เตรียมได้ทำนองเดียวกับบล็อกโคโพลีเมอร์คือจากโพลีเมอร์ที่มีหมู่ที่ว่องไวหรือสามารถทำให้เกิดหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาในโซ่โพลีเมอร์แต่แตกต่างกันที่หมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ที่ตำแหน่งอื่นในโซ่แทนที่จะอยู่ ณ ปลายโซ่ กลไกการเกิดกราฟต์โคโพลีเมอร์อาจเป็นแบบฟรีแรดิคัลแคตไอออนิกหรือแบบควมแน่นแต่ส่วนใหญ่จะเป็นกลไกแบบฟรีแรดิคัล โครงสร้างทางเคมีของกราฟต์โคโพลีเมอร์เมื่อพิจารณา side chain ที่เป็นผลจากการเกิดด้วยตัวเองในกระบวนการโพลีเมอไรเซชันซึ่งถูกจำกัดวิธีการด้วยลักษณะของโมโนเมอร์ดังนั้นทั้งโพลีเมอไรเซชันแบบควมแน่นหรือแบบแรดิคัลทำให้กึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับโพลีเมอร์สายโซ่หลัก [20] เทคนิคการกราฟต์โคโพลีเมอไรเซชันการสังเคราะห์กราฟต์โคโพลีเมอร์ต้องทำให้เกิดจุดที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาบนโมเลกุลของโพลีเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์จึงสามารถเกิดโพลีเมอไรเซชันได้วิธีส่วนใหญ่ในการสังเคราะห์กราฟต์โคโพลีเมอร์มักใช้เทคนิคโพลีเมอไรเซชันแบบแรดิคัล ส่วนเทคนิคโพลีเมอไรเซชันแบบไอออนิกก็มีแต่ไม่ค่อยใช้ทั่วไป [2], [3] กราฟต์โคโพลีเมอไรเซชันเกิดแบบระบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ขึ้นอยู่กับว่าโพลีเมอร์ที่ถูกกราฟต์ละลายในโมโนเมอร์หรือไม่ ความว่องไวต่อปฏิกิริยาในโซ่โพลีเมอร์ได้แก่หมู่ที่มีพันธะที่สามารถแตกตัวเป็นฟรีแรดิคัลได้ง่าย เช่น C-Br และ S-H เป็นต้น ซึ่งหมู่ว่องไวเหล่านี้อาจมีอยู่แล้วในโซ่โพลีเมอร์หรือไม่ก็ถูกนำเข้าไปในโซ่โพลีเมอร์โดยกระบวนการการย้ายลูกโซ่หรือปฏิกิริยาอื่นๆ เมื่อเกิดโซ่แรดิคัลขึ้นแล้วโซ่แรดิคัลเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้กราฟต์โคโพลีเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์ [20]

2.6 โพลีเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ได้รับการฉายรังสีแกมมาหรือรังสีไอออนไนซิง (ionizing radiation) อื่นๆ โมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นไอออนและฟรีแรดิคัลดังต่อไปนี้ [21]



อิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมอาจเข้ารวมกับสารตั้งต้นได้ออนไอออนซึ่งจะแตกตัวต่อไปได้ฟรีแรดิคัลตามลำดับปฏิกิริยาดังนี้



กระบวนการโพลีเมอไรเซชันจะเป็นแบบไอออนิกหรือแบบฟรีแรดิคัลขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโมโนเมอร์และเงื่อนไขประกอบอื่นๆ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นโพลีเมอไรเซชันแบบฟรีแรดิคัลเพราะไอออนจะเสถียรและเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้ดีเฉพาะในสภาวะอุณหภูมิต่ำๆ เท่านั้น [2]

เมื่อโมเลกุลของเส้นไหมได้รับพลังงานจากรังสีแกมมาอะตอมของไฮโดรเจนในโมเลกุลของเส้นไหมจะหลุดออกไปเกิดเป็นฟรีแรดิคัลที่ไม่เสถียรและไวต่อปฏิกิริยามากเมื่อผสมเมทิลเมทาครีเลตลงไปด้วยจะเกิดปฏิกิริยาได้เป็นกราฟต์โคโพลีเมอร์โดยเมทิลเมทาครีเลตจะเข้าไปต่อเติมที่ปลายโซ่ด้านไวปฏิกิริยา (active site) แล้วสร้างโซ่โมเลกุลที่มีปลายสายโซ่ที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นมาใหม่อีกดังนั้นเมทิลเมทาครีเลตจำนวนมากมักจะถูกใช้ไปที่ปลายสายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาของสายโซ่ดังกล่าวปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ [19], [20], [22]

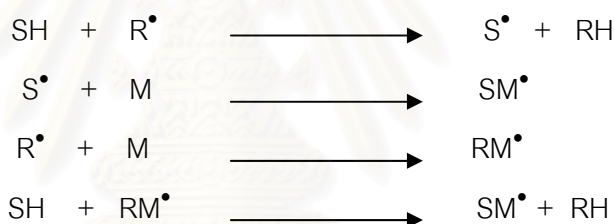
2.6.1 Initiation

การเริ่มลูกโซ่เป็นกระบวนการกระตุ้นให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะไวต่อปฏิกิริยาหรือที่เรียกว่ากระบวนการสร้างแอกทีฟเซนเตอร์ (active center) ซึ่งเป็นตัวที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลางแต่มี unshared electron เช่นพวก free radical หรือ carbanion (-) carbonium (+) โดยวิธีการนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้ [19], [20]

2.6.1.1 การกำเนิดฟรีแรดิคัลคือ ทำให้เกิดฟรีแรดิคัลขึ้นในปฏิกิริยา

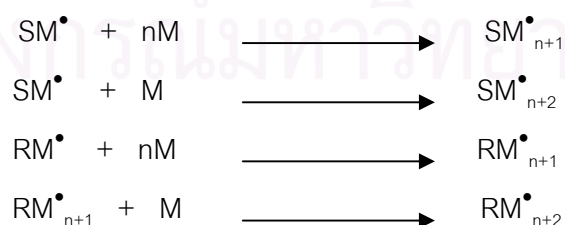


2.6.1.2 ฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโพลีเมอร์



2.6.2 Propagation

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณโมโนเมอร์เข้ากับสายโซ่โพลีเมอร์โดยฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์อีกตัวหนึ่งเป็นฟรีแรดิคัลอีกที่ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ตัวต่อไปทีละตัวอย่างรวดเร็ว



ซึ่ง n แทนจำนวนหน่วยของโมโนเมอร์ที่รวมเข้าไปในโซ่ของโพลีเมอร์

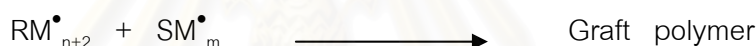
2.6.3 Termination

เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ฟรีแรดิคัลหมดความว่องไวหรือหมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไปโดยฟรีแรดิคัลจะไม่สร้างปลายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นอีก การสิ้นสุดของฟรีแรดิคัลอาจเกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ

2.6.3.1 เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสองโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุลเรียกว่า coupling หรือ combination

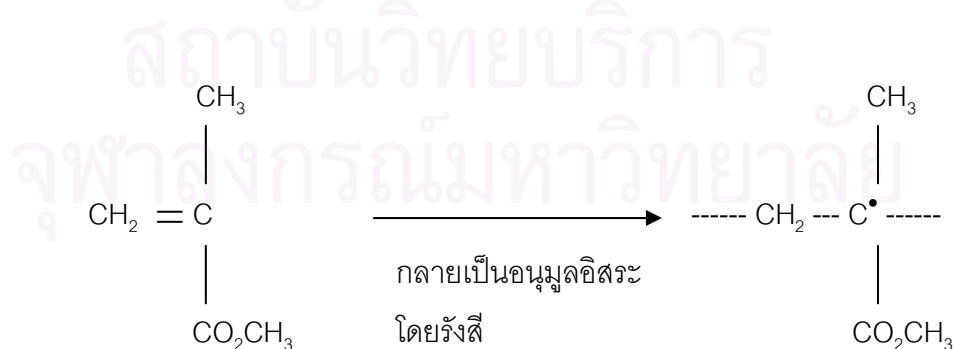


2.6.3.2 เป็นการสิ้นสุดของฟรีแรดิคัลเนื่องจากการแบ่งหรือแยกสองโมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นสองโมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกเรียกว่า disproportion

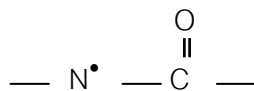


สำหรับเมทิลเมทาครีเลตซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นโมโนเมอร์ชนิดหนึ่งเมื่อถูกฉายรังสีแกมมาจะเกิดกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบลูกโซ่โดยโมโนเมอร์และแรดิคัลอิสระจะต่อกันแบบหัวต่อหางเพิ่มความยาวของโซ่โมเลกุลขึ้นเรื่อยๆ อิเล็กตรอนเดี่ยวของแรดิคัลอิสระจะไปสร้างพันธะ C-C ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโมโนเมอร์ [23] ตามกลไกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่แรดิคัลสร้างพันธะ C-C ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโมโนเมอร์



และ active radical fibroin เป็น



การฉายรังสีแกมมาสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้โดยตรงจากโพลีเมอร์และโมโนเมอร์ที่ใช้หรือจากสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ร่วมกัน เป็นโซโมเลกุลที่มีสภาวะเป็นแบริดิเคิลอิสระ โดยเกิดจากการต่อเติมโมโนเมอร์จำนวน n โมเลกุลเข้าด้วยกันและมีปลายหนึ่งเป็นด้านที่ไวต่อปฏิกิริยา RM_{n+1}^\bullet และ RM_{n+2}^\bullet เป็นสารที่มีบทบาทในการรับถ่ายโอนด้านที่ไวต่อปฏิกิริยา มาจากโซโมเลกุลอื่นๆ สารนี้อาจเป็นได้ทั้งโมโนเมอร์, ตัวริเริ่มหรือโมเลกุลของโพลีเมอร์ การกราฟต์โพลีเมอร์และไฮโมโพลีเมอร์เป็นโพลีเมอร์สุดท้ายที่ไม่ก่อให้เกิดลูกโซ่อีก อัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันด้วยรังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสีนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของโมโนเมอร์ที่ใช้ตลอดจนการควบคุมเงื่อนไขอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา

สารผสมของโพลีเมอร์ภายหลังเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ถูกแยกเป็นองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยใช้ตัวทำละลายเนื่องจากไฮโมโพลีเมอร์และกราฟต์โคโพลีเมอร์มีความสามารถในการละลายแตกต่างกัน ปริมาณของไฮโมโพลีเมอร์และกราฟต์โคโพลีเมอร์ขึ้นกับลักษณะและชนิดของโพลีเมอร์โมโนเมอร์และแคทาลิสต์แต่โพลีเมอไรเซชันบางระบบก็กว้างไวต่อชนิดของตัวริเริ่ม ปฏิกิริยาบางระบบก็ไม่กว้าง

เทคนิคการโพลีเมอไรเซชันแบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ [2], [3]

2.6.4 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique เป็นเทคนิคพื้นฐานของกระบวนการโพลีเมอไรเซชันด้วยรังสี เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเตรียมง่ายและมีประสิทธิภาพสูงวิธีการของเทคนิคนี้โพลีเมอร์และโมโนเมอร์จะถูก ฉายรังสีพร้อมๆ กัน ซึ่งโมโนเมอร์อาจจะอยู่ในสถานะไอหรือของเหลวในขณะที่ทำการฉายรังสีสภาวะบรรยากาศภายในของระบบอาจจะอยู่ในสภาวะออกซิเจน, สภาวะสุญญากาศหรือในสภาวะบรรยากาศก๊าซเฉื่อย เช่น สภาวะบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน การเกิดกราฟต์โพลีเมอร์โดยการฉายรังสีกระตุ้นเป็นปฏิกิริยาแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยโพลีเมอร์ที่เป็นของแข็ง (solid polymer) จะต้องทำให้เกิดการพองตัวและจมอยู่ในโมโนเมอร์ที่เป็นของเหลว (liquid monomer) การกระจายตัวของโมโนเมอร์เข้าไปยังภายในโมเลกุลของโพลีเมอร์เป็นปัจจัย

ที่สำคัญของเทคนิคนี้เนื่องจากการกระจายตัวของโมโนเมอร์เป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาจะเกิดที่พื้นผิวของโพลีเมอร์หรือเกิดตลอดทั่วทั้งปริมาตรของโพลีเมอร์

ลักษณะของโมโนเมอร์ที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาจะต้องมีความว่องไวกับแรดิคัลที่ได้จากการฉายรังสีให้กับสายโซ่หลักของโพลีเมอร์ การเกิดกิ่งของโมโนเมอร์นั้นจำเป็นที่สายโซ่หลักของโพลีเมอร์ที่กำลังโตจะต้องดึงอะตอมไฮโดรเจนจากโพลีเมอร์หลักอื่นเพื่อหยุดการโตของกิ่งโมโนเมอร์ในขณะที่กิ่งของโมโนเมอร์หยุดโตนั้นจะเป็นเวลาเดียวกับการกระตุ้นให้โพลีเมอร์หลักอื่นเกิดกิ่งของโมโนเมอร์ดังนั้นความถี่ของการถ่ายโอนสายโซ่ก็มีผลต่อการกราฟต์ด้วยขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันขึ้น 3 ขั้นตอนคือ 1. Initiation, 2. Propagation และ 3. Termination

อัตราของการกราฟต์โพลีเมอไรเซชันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีและความเข้มข้นของโมโนเมอร์แต่ไม่ขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสี [24], [25] ซึ่งอัตราปริมาณรังสีเป็นตัวกำหนดความว่องไวของพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์และปริมาณรังสีเป็นตัวกำหนดความยาวของโซ่กิ่งโมโนเมอร์ ความยาวของโซ่กิ่งโมโนเมอร์ยังสามารถกำหนดได้ด้วยปัจจัยอื่นๆ เช่น การถ่ายโอนสายโซ่, ความเข้มข้นของโมโนเมอร์ในตัวทำละลาย, อุณหภูมิระหว่างการเกิดปฏิกิริยา และการกระจายตัวของโมโนเมอร์ อัตราปริมาณรังสีและปริมาณรังสีมีผลกระทบต่อโมโนเมอร์โดยตรง ซึ่งโมโนเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากับโพลีเมอร์ได้ไม่สมบูรณ์จะจับตัวกันเองเป็นโฮโมโพลีเมอร์ การหลีกเลี่ยงการเกิดโฮโมโพลีเมอร์ทำได้โดยการเติมสารที่มีอะตอมเป็นประจุบวก (ไอออนบวก) เมื่อโมเลกุลของเส้นใยใหม่ได้รับพลังงานจากรังสีแกมมาอะตอมของไฮโดรเจนในโมเลกุลของเส้นใยใหม่จะหลุดออกไป เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (radical) ที่ไม่เสถียรและไวต่อปฏิกิริยามากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาครีเลตทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เป็นกราฟต์โคโพลีเมอร์

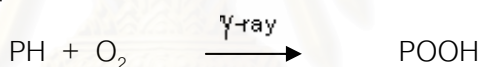
2.6.5 Pre-irradiation technique เป็นเทคนิคการกราฟต์ที่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีวิธีการเตรียมที่ยุ่งยากและใช้คุณสมบัติของการเกิดปฏิกิริยาสูงเทคนิคนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งจะแบ่งชนิดของตำแหน่งความว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active site) โดยแบ่งเป็น peroxides และ trapped radical ซึ่งทั้งสองชนิดนี้จะเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟต์โมโนเมอร์เข้ากับสายโซ่หลักของโพลีเมอร์

2.6.5.1 การกราฟต์แบบ peroxidizes polymer เมื่อนำโพลีเมอร์ไปทำการฉายรังสี ในสภาวะบรรยากาศออกซิเจนหรือในสภาวะบรรยากาศก๊าซเฉื่อยโมเลกุลของโพลีเมอร์จะดูดกลืนพลังงานของรังสีทำให้เกิด hydroperoxides หรือ diperoxide และโมเลกุลของโพลีเมอร์ถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะกระตุ้นแล้วแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ peroxidize อนุมูลอิสระที่

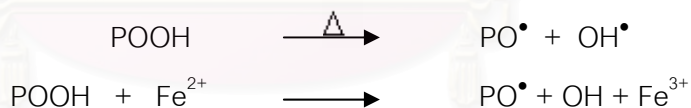
เกิดขึ้นนี้อยู่ในสถานะเสถียรทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับโมโนเมอร์ได้ตั้งนั้นหลังจากฉายรังสีแล้ว จึงนำโมโนเมอร์มารวมกับโพลีเมอร์ซึ่งโมโนเมอร์นั้นอาจจะละลายหรือไม่ละลายในตัวทำละลายก็ได้แล้วให้ความร้อนกับระบบโพลีเมอร์-โมโนเมอร์ ประมาณ 150 องศาเซลเซียสในบรรยากาศ ออกซิเจนซึ่งจะทำให้ hydroperoxides แตกตัวเป็น hydroxyl radical เกิดเป็นโพลีเมโรซิเจนของ โมโนเมอร์บนสายโซ่หลักโพลีเมอร์ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นกราฟต์โคโพลีเมอร์

ข้อดีของกระบวนการกราฟต์ด้วยเทคนิค peroxidizes นี้คือ intermediate peroxy products ที่เกิดขึ้นสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานานก่อนที่จะทำการกราฟต์ต่อไปและจะไม่ทำให้เกิดไฮโดรโพลีเมอร์เนื่องจากไม่ได้นำโมโนเมอร์ไปฉายรังสีโดยตรง ในบางกรณีเมื่อให้ความร้อนกับระบบที่มีโพลีเมอร์และโมโนเมอร์รวมกันแล้ว hydroxyl ที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นตัวริเริ่มทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมโรซิเจนของโมโนเมอร์กลายเป็นไฮโมโพลีเมอร์และไฮโมโพลีเมอร์อาจจะลดลง โดยการรวมตัวกับระบบของ redox ในระหว่างการฉายรังสีให้กับโพลีเมอร์ซึ่งอนุมูลอิสระ hydroxyl อาจจะกลายเป็น hydroxyl ion

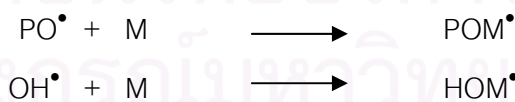
Formation of hydroperoxides



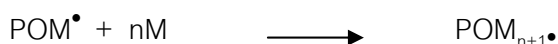
Thermal decomposition



Initiation



Propagation



โดยที่ P คือสายโซ่หลักของโพลีเมอร์, POOH คือ hydroperoxide radical, PO• คืออนุมูลอิสระที่เป็นตัวริเริ่มการเกิดปฏิกิริยา, POM• คือ ตัวริเริ่มการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์, POM_{n+1}• คือ การเกิดการกราฟต์และ HOM• คือ ไฮโมโพลีเมอร์

2.6.5.2 การกราฟต์แบบ Trapped radical เทคนิคนี้ทำได้โดยการนำโพลีเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในสายโซ่หลักของโพลีเมอร์เป็นแบบ trapped ในรูปของ polymeric species ถ้าอุณหภูมิ glass transition ของโพลีเมอร์ต่ำจะทำให้ระยะเวลาการเกิด trapped บนสายโซ่หลักของโพลีเมอร์ที่ยาวนานขึ้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกของโพลีเมอร์ทำให้เกิด trapped ขึ้นอย่างหนาแน่นและทำให้ส่วนที่เป็นโพลีเมอร์ที่คลดลงซึ่ง trapped ที่เกิดขึ้นนี้จะว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นอย่างดี ความสามารถในการแพร่กระจายของโมโนเมอร์เป็นปัจจัยสำคัญมากถ้าโมโนเมอร์แพร่กระจายเข้าไปในสายโซ่หลักของโพลีเมอร์ได้มากก็จะทำให้เกิดพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์กับ trapped ที่เกิดบนโพลีเมอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่ง trapped radical นี้เป็นตัวริเริ่มของการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์ไรเซชัน

ค่า grafting yield จากกระบวนการกราฟต์ด้วยเทคนิค trapped radical จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการทำให้เกิด trapped โดยอุณหภูมิขณะทำการฉายรังสีและคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของโพลีเมอร์มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุมูลอิสระ ส่วนที่เป็นผลึกของโพลีเมอร์นั้นถ้าต้องการประสิทธิภาพของการเกิด trapped บนผลึกของโพลีเมอร์มากขณะฉายรังสีต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำและจำนวนอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณรังสี

เทคนิคการกราฟต์แบบ peroxidation มีประสิทธิภาพของการเกิด trapped radical น้อยเนื่องจากอุณหภูมิขณะฉายรังสีจะสูงต่ำมาก ๆ ถ้าอุณหภูมิกติ trapped radical ไม่สามารถเกิดขึ้นได้และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยาล้นลงดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์โคโพลีเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้นทันทีหลังการฉายรังสี ข้อดีของเทคนิคนี้คือ อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาต่ำเหมาะสำหรับโพลีเมอร์ที่ไม่สามารถทนความร้อนได้ [26]

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเทคนิค Direct irradiation technique กับเทคนิค Pre-irradiation technique [2]

| ตัวแปร | Direct irradiation | Pre-irradiation |
|---|------------------------------|---|
| 1. ปริมาณรังสี | ต่ำ | สูง |
| 2. อัตราปริมาณรังสี | ต่ำ | ไม่จำกัด |
| 3. สภาพบรรยากาศขณะทำการฉายรังสี | สุญญากาศหรือบรรยากาศไนโตรเจน | สุญญากาศ, ไนโตรเจนหรือในอากาศ |
| 4. ชนิดของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการรังสี | อนุมูลอิสระ | Trapped, peroxide และ hydroperoxide |
| 5. ชนิดโมโนเมอร์ | Non-functional | Functional |
| 6. ชนิดของโพลีเมอร์ | มีความไวต่อรังสี | สามารถทนรังสีสูงได้ |
| 7. อัตราการเกิดไฮโมโพลีเมอร์ | สูง | ต่ำ |
| 8. คุณหมุมิของการเกิดปฏิกิริยา | ไม่ขึ้นอยู่กับคุณหมุมิ | ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโคโพลีเมอร์ไฮเซชัน |
| 9. ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา | ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสี | ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสี |

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมเส้นใยไหม

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 เส้นใยไหม คwab 200-250 พันธุ์ลูกผสมจากจังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 3.1 เส้นใยไหมจากจังหวัดเพชรบูรณ์

3.1.1.2 ตู้อบ Hot air dryer



รูปที่ 3.2 ตู้อบ Hot air dryer

3.1.1.3 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 5 ตำแหน่ง

3.1.1.4 จานแก้ว

3.1.1.5 ที่ดูดความชื้น (Desiccators)

3.1.1.6 คีมคีบ

3.1.1.7 กล่องกระดาษ

3.1.2 วิธีการเตรียมเส้นใยไหม

3.1.2.1 ตัดเส้นใยไหมยาว 20 เซนติเมตรใส่กล่องกระดาษแล้วนำไปอบในตู้อบ Hot air dryer ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 25 นาที

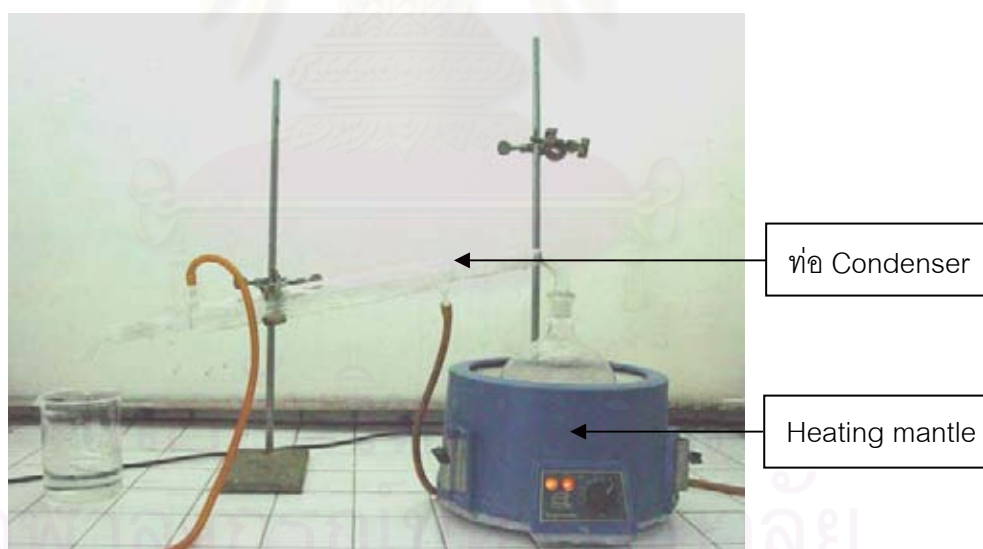
3.1.2.2 นำเส้นใยไหมในข้อ 3.1.2.1 ไปชั่งน้ำหนักบนที่กค้ำ แล้วเก็บในที่ดูดความชื้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การกลั่นเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ (MMA)

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

- 3.2.1.1 สารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์
- 3.2.1.2 Boiling flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
- 3.2.1.3 Electro mental สำหรับ Boiling flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
- 3.2.1.4 ท่อ Condenser
- 3.2.1.5 ข้อต่อ 2 ทางระหว่าง Boiling flask กับ ท่อ Condenser
- 3.2.1.6 กรวยสำหรับสารหยด
- 3.2.1.7 ปีกเกอร์ ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.2.1.8 ขวดรูปชมพู่
- 3.2.1.9 กรวยแก้ว



รูปที่ 3.4 ชุดกลั่นสารเคมี

3.2.2 วิธีก่อกวน

3.2.2.1 นำสารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่ยังไม่บริสุทธิ์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร ใส่ใน Boiling flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.2.2.2 นำ Boiling flask วางบน Heating mantle แล้วต่อชุดข้อต่อ 2 ทางเข้ากับท่อ Condenser กับ Boiling flask และต่อกรวยสำหรับสารหยดเข้ากับท่อ Condenser นำปีกเกอร์วางใต้กรวยสำหรับสารหยก เพื่อรองรับสารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่ผ่านการก่อกวน ปรับอุณหภูมิเครื่อง Heating mantle มาที่หมายเลข 7

3.2.2.3 นำสารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่ก่อกวนบริสุทธิ์เก็บในขวดรูปชมพู่ที่ห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ การก่อกวนให้เมทิลเมทาครีเลตให้มีความบริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้งานเพื่อต้องการสกัดสารยับยั้งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ผสมอยู่ในเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์เนื่องจากสารดังกล่าวอาจขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

3.3 การเตรียมการกราฟต์

3.3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.3.1.1 สารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์บริสุทธิ์

3.3.1.2 เมทานอล

3.3.1.3 เส้นใยไหมในข้อ 3.1

3.3.1.4 ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

3.3.1.5 Volumetric flask ขนาด 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร

3.3.1.6 หลอดทดลองขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.3.1.7 ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.3.1.8 จุกยางเบอร์ 1

3.3.1.9 Boiling bath

3.3.1.10 แท่งแก้วสำหรับเขี่ย

3.3.1.11 ตระแกรงเหล็กใส่หลอดทดลอง

3.3.1.12 เทปกาวใส

3.3.1.13 ลูกยางสำหรับดูดสารละลาย



รูปที่ 3.5 เส้นใยไหมแช่ในสารละลาย

3.3.2 วิธีการกราฟต์เส้นใยไหมกับเมทิลเมทาครีเลต

3.3.2.1 นำสารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์บริสุทธิ์ละลายในตัวทำละลายเมทานอล ด้วยอัตราส่วน 30, 50, 70 และ 90% (v/v)

3.3.2.2 นำสารละลายในข้อ 3.3.2.1 ใส่หลอดทดลองด้วยปริมาตร 4 มิลลิลิตรนำเส้นใยไหมในข้อ 3.1 จำนวน 50 เส้นใส่ลงในหลอดทดลองใช้แท่งแก้วคดให้เส้นใยไหมจมอยู่ในสารละลาย

3.3.2.3 เตรียม water bath สำหรับแช่หลอดทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

3.3.2.4 นำหลอดทดลองในข้อ 3.3.2.2 แช่ใน water bath เป็นเวลานาน 5 นาที แล้วนำจุกยางเบอร์ 1 ปิดปากหลอดทดลองให้สนิทแล้วพันด้วยเทปกาวใสให้แน่น

3.3.2.5 ทิ้งสารตัวอย่างที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปฉายรังสี

3.4 การเตรียมการกราฟต์ด้วยการเติมสารตัวเติม

3.4.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.4.1.1 สารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์บริสุทธิ์

3.4.1.2 เมทานอล

3.4.1.3 นอมาล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์ AR - grade ($C_7H_{12}O_2$)

3.4.1.4 ทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตโมโนเมอร์ AR - grade ($C_{10}H_{18}O_2$)

3.4.1.5 เส้นใยไหมในข้อ 3.1

3.4.1.6 ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร

3.4.1.7 หลอดทดลองขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.4.1.8 Volumetric flask ขนาด 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร

3.4.1.9 ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.4.1.10 ลูกยางสำหรับดูดสารละลาย

3.4.1.11 Boiling bath

3.4.1.12 แท่งแก้วสำหรับเขี่ย

3.4.1.13 ตระแกรงเหล็กใส่หลอดทดลอง

3.4.1.14 เทปกาวใส

3.4.1.15 จุกยางเบอร์ 1

3.4.2 วิธีการกราฟต์เส้นใยไหมกับเมทิลเมทาครีเลตโดยมีสารตัวเติม

3.4.2.1 นำสารเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์บริสุทธิ์ละลายในตัวทำละลายเมทานอล ด้วยอัตราส่วน 30, 50, 70 และ 90% (v/v)

3.4.2.2 เติมสารนอมัล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์ปริมาตร 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9% (v/v) ลงในสารละลายเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่มีความเข้มข้น 30% (v/v) ในตัวทำละลายเมทานอล

3.4.2.3 เติมสารนอมัล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์ปริมาตร 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9% (v/v) ลงในสารละลายเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่มีความเข้มข้น 50% (v/v) ในตัวทำละลายเมทานอล

3.4.2.4 เติมสารนอมัล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์ปริมาตร 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9% (v/v) ลงในสารละลายเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่มีความเข้มข้น 70% (v/v) ในตัวทำละลายเมทานอล

3.4.2.5 เติมสารนอมัล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์ปริมาตร 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9% (v/v) ลงในสารละลายเมทิลเมทาครีเลตโมโนเมอร์ที่มีความเข้มข้น 90% (v/v) ในตัวทำละลายเมทานอล

3.4.2.6 เทสารละลายในข้อ 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.4.2.4 และ 3.4.2.5 ลงหลอดทดลองขนาดเล็กปริมาตร 4 มิลลิลิตร ใส่เส้นใยไหมในข้อ 3.1 จำนวน 50 เส้นลงในแต่ละหลอดทดลองแล้วใช้แท่งแก้วกดเส้นใยไหมให้จมอยู่ในสารละลาย

3.4.2.7 เตรียม water bath สำหรับแช่หลอดทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

3.4.2.8 นำหลอดทดลองในข้อ 3.3.2.2 แช่ใน water bath เป็นเวลานาน 5 นาที แล้วนำจุกยางเบอร์ 1 ปิดปากหลอดทดลองให้สนิทแล้วพันด้วยเทปกาวใสให้แน่น

3.3.2.9 เตรียมตัวอย่างซ้ำตามข้อ 3.4.2.2-3.3.2.8 โดยเปลี่ยนสารตัวเติมเป็น
ทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต

3.3.2.10 แช่เส้นใยใหม่ในสารละลายที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไป
ฉายรังสี

3.5 การหาอัตราปริมาณรังสี

3.5.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.5.1.1 หลอดทดลองขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.5.1.2 จุกยางเบอร์ 1

3.5.1.3 น้ำกลั่น

3.5.1.4 กล้องกระดาษทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร

3.5.1.5 แท่นไม้กลมสูง 13 เซนติเมตรเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

3.5.1.6 แท่นอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร

3.5.1.7 Gamma chrome YR pma Dosimeter

3.5.1.8 Red Perspex Dosimeter

3.5.1.9 ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.5.1.10 ลูกยางสำหรับอุดสารละลาย

3.5.1.11 Boiling bath

3.5.1.12 แท่งแก้วสำหรับเขี่ย

3.5.1.13 ตระแกรงเหล็กใส่หลอดทดลอง

3.5.1.14 เทปกาวยใส



รูปที่ 3.6 ชุดหลอดทดลองสำหรับฉายรังสี



รูปที่ 3.7 เครื่องควบคุมแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์ - 60



รูปที่ 3.8 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์ - 60

3.5.2 วิธีการหาอัตราปริมาณรังสี

3.5.2.1 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 4 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองขนาดเล็กซึ่งมีเส้นใยใหม่จำนวน 50 เส้นบรรจุอยู่ด้วยปิดปากหลอดทดลองด้วยจุกยางให้แน่นแล้วพันด้วยเทปใสให้แน่น

3.5.2.2 นำหลอดทดลองในข้อ 3.5.2.1 ใส่ลงในกล่องกระดาษทรงกระบอกโดยกล่องกระดาษทรงกระบอกแบ่งเป็น 2 ชั้นโดยชั้นแรกสามารถใส่หลอดทดลองขนาดเล็กได้ 28 หลอดชั้นที่ 2 สามารถใส่หลอดทดลองได้ 20 หลอดดังรูปที่ 3.6 เนื่องจากในการฉายรังสีแต่ละอัตราปริมาณรังสีต้องการฉายให้ครบทุกเงื่อนไขของการทดลองจึงทำ container ขึ้นมา 2 ชุด

3.5.2.3 การวัดปริมาณรังสีจะใช้ Gamma chrome YR pma Dosimeter ซึ่งวัดปริมาณรังสีในช่วง 0.1-3 กิโลเกรย์และ Red Perspex Dosimeter ซึ่งวัดปริมาณรังสีในช่วง 5-50 กิโลเกรย์

3.5.2.4 ติด Gamma chrome YR pma Dosimeter ที่ข้างหน้าด้านล่างของกล่องกระดาษทรงกระบอกและติด Gamma chrome YR pma Dosimeter ที่ข้างในด้านล่างของกล่องกระดาษทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.6

3.5.2.5 แทนไม้กลมวางที่แกนกลางของแทนฉายรังสีนำกล่องกระดาษทรงกระบอกในข้อ 3.5.2.3 จำนวน 2 ชุดวางซ้อนกันบนแทนไม้กลมแล้วหมุนค้นบังคับที่อบบรรจุแหล่งกำเนิดรังสีให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.8

3.5.2.6 เปิดให้เครื่องฉายรังสีทำงาน โดยเดินเครื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วนำ Gamma chrome YR pma Dosimeter มาอ่านอัตราปริมาณรังสีที่ Gamma chrome YR pma Dosimeter วัดได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.5.2.7 ทำซ้ำในข้อ 3.5.2.2 และ 3.5.2.6 โดยเปลี่ยนเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างที่อบบรรจุแหล่งกำเนิดรังสีเป็น 50 เซนติเมตร และเปลี่ยน Dosimeter เป็น Red Perspex Dosimeter แทน Gamma chrome YR pma Dosimeter

3.5.2.8 นำแทนอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสวางที่แกนกลางของแทนฉายรังสีนำกล่องกระดาษทรงกระบอกในข้อ 3.5.2.3 จำนวน 2 ชุด วางซ้อนกันบนแทนไม้กลมแล้วหมุนค้นบังคับที่อบบรรจุแหล่งกำเนิดรังสีให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8

3.5.2.9 ติด Red Perspex Dosimeter ที่ข้างหน้าด้านล่างของกล่องกระดาษทรงกระบอกและติด Red Perspex Dosimeter ที่ข้างในด้านล่างของกล่องกระดาษทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.6

3.5.2.10 เปิดให้เครื่องฉายรังสีทำงานโดยเดินเครื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วนำ Red Perspex Dosimeter มาอ่านอัตราปริมาณรังสีที่ Red Perspex Dosimeter วัดได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.5.2.11 ทำซ้ำในข้อ 3.5.2.7 และ 3.5.2.9 โดยเปลี่ยนเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างท่อบรรจุแหล่งกำเนิดรังสีเป็น 30 เซนติเมตร

3.6 การหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

3.6.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.6.1.1 อะซิโตน AR-grade

3.6.1.2 Boiling flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร

3.6.1.3 ท่อ Condenser

3.6.1.4 ขาดังพร้อมที่จับท่อ Condenser

3.6.1.5 Hot air dryer

3.6.1.6 เต้า Electro mental

3.6.1.7 ตาข่ายกรองทำจากอะลูมิเนียม

3.6.1.8 สายยาง

3.6.1.9 คีมคีบ

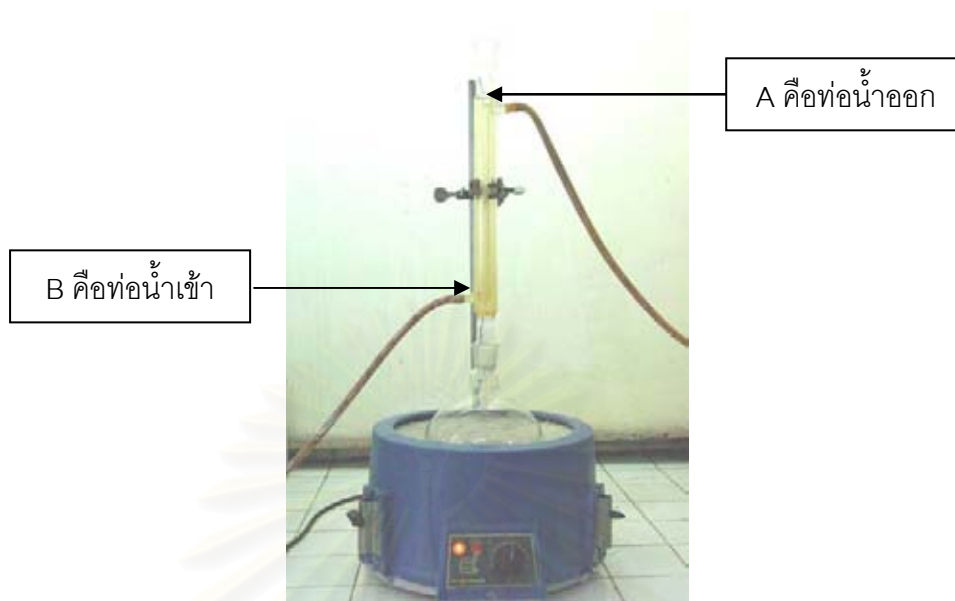
3.6.1.10 อะลูมิเนียมฟอยล์

3.6.1.11 ก่องกระดาษ

3.6.1.12 เข็มเย็บ

3.6.1.13 ถุงซิปล

3.6.1.14 เส้นลวดขนาดเล็ก



รูปที่ 3.9 ชุดการ Reflux

3.6.2 วิธีการดำเนินงาน

3.6.2.1 ตัดตาข่ายกรองขนาด 5x3 เซนติเมตร แล้วพับด้านซ้ายและด้านขวาเข้าหากัน ให้ปลายทั้งสองข้างซ้อนทับกันโดยความกว้างนั้นสามารถใส่ลงใน Boiling flask ได้

3.6.2.2 นำเส้นใยไหมที่ผ่านการฉายรังสีออกจากหลอดทดลอง ตัดอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 1x1 เซนติเมตรเขียนหมายเลขของตัวอย่างลงบนอะลูมิเนียมฟอยล์ใส่ลงในตาข่ายกรองในข้อ

3.6.2.1 แล้วนำมาหุ้มเส้นใยไหมด้วยลวดเส้นเล็กให้แน่น

3.6.2.3 เทตัวทำละลายอะซิโตนปริมาตร 1200 มิลลิลิตร ลงใน Boiling flask

3.6.2.4 นำตัวอย่างในข้อ 3.6.2.2 ใส่ลงไปใน Boiling flask แล้วนำ Boiling flask ไปตั้งบนเตา Heating mantle นำท่อ condenser ต่อเข้ากับ Boiling flask โดยใช้ขาตั้งพร้อมที่จับยึดท่อ condenser ไว้ นำสายยางต่อเข้าที่ปลายด้าน A และ B ของท่อ condenser ดังรูปที่ 3.9 โดยด้าน B เป็นท่อน้ำเข้าปลายสายยางจะต่อกับก๊อกน้ำเปิดให้น้ำไหลด้วยความเร็วพอประมาณ และด้าน A เป็นท่อน้ำออก

3.6.2.5 ปรับอุณหภูมิของเครื่อง Heating mantle มาที่หมายเลข 6 ซึ่งจะทำให้สารละลายอะซิโตนเดือดกลายเป็นไอ ต้มทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

3.6.2.6 เมื่อครบ 24 ชั่วโมงนำเส้นใยไหมที่ห่อด้วยตาข่ายกรองออกจาก Boiling flask นำเส้นใยไหมออกจากตาข่ายกรองคลี่ให้เป็นเส้นตรงแล้วนำเส้นใยไหมใส่กระดาษตามหมายเลขที่ระบุไว้หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยเครื่อง Hot air dryer ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 นาทีเมื่อเส้นใยเย็นลงนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่า

3.6.2.7 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Degree of Grafting (\%)} = [(W_s - W_i)/W_i] \times 100 \quad 3.1$$

เมื่อ W_s คือน้ำหนักเส้นใยไหมหลังการกราฟต์และ W_i คือน้ำหนักเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์

3.7 การหาค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใย

3.7.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.7.1.1 เส้นใยไหมที่กราฟต์ตามเงื่อนไขต่างๆ

3.7.1.2 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 5 ตำแหน่ง

3.7.1.3 ขวดแก้วขนาด 80 มิลลิลิตร

3.7.1.4 แท่งแก้วสำหรับเขี่ย

3.7.1.5 กล้องกระดาษ

3.7.1.6 กระดาษทิชชู

3.7.1.7 เข็มเขี่ย



รูปที่ 3.10 การดูดซึมน้ำของเส้นใยไหม

3.7.2 วิธีการดำเนินงาน

3.7.2.1 ทำการชั่งน้ำหนักเส้นใยไหมที่กราฟต์ตามเงื่อนไขต่างๆ แล้วบันทึกค่า

3.7.2.2 เทน้ำจำนวน 70 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วใส่เส้นใยไหมที่กราฟต์ตามเงื่อนไขต่างๆ ลงในขวดแก้วใช้แท่งแก้วสำหรับเขี่ยกวดเส้นใยไหมให้จมน้ำแช่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง

3.7.2.3 ใช้เข็มเย็บดึงเส้นใยไหมออกจากขวดแก้ว ชับน้ำที่เกาะตามเส้นใยไหมออกด้วยกระดาษทิชชู โดยชับกกลับไปกลับมา 3 ครั้ง

3.7.2.4 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำดังสมการที่ 3.2

$$\text{Water absorption (\%)} = [(W_s - W_i)/W_i] \times 100 \quad 3.2$$

เมื่อ W_s คือน้ำหนักเส้นใยไหมหลังการแช่น้ำและ W_i คือน้ำหนักเส้นใยไหมก่อนการแช่น้ำ

3.8 การหาค่าความเค้นที่แรงสูงสุด (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่แรงสูงสุด (Elongation)

3.8.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.8.1.1 เส้นใยไหมที่กราฟต์แล้วตามเงื่อนไขต่างๆ

3.8.1.2 เครื่อง Vial gage

3.8.1.3 สายยางน้ำเกลือ

3.8.1.4 เครื่อง Universal Testing Machines



รูปที่ 3.11 เครื่อง Universal Testing Machines สามารถหาค่าความทนทานต่อแรงดึง
ของบริษัท LLOYD INSTRUMENTS Ltd., รุ่น LLOYD LRK

3.8.2 วิธีการดำเนินงาน

3.8.2.1 มาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าความทนทานต่อแรงดึงสำหรับเส้นด้ายคือ ASTM D2256-02 [27] โดยกำหนดความเร็วในการดึงเป็น 300 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมกราฟต์เส้นใยใหม่นั้นได้ใช้ความยาวของเส้นใย 20 เซนติเมตรหลังการฉายรังสีทำให้เส้นใยใหม่หดสั้นน้อยกว่า 20 เซนติเมตรดังนั้นในการตั้งค่าระยะของ gauge length จึงใช้ที่ระยะ 150 มิลลิเมตร

3.8.2.2 วัดความหนาของเส้นใยใหม่แต่ละเส้นด้วยเครื่อง Vial gage ทั้งหมด 5 จุดนำมาหาค่าเฉลี่ย บันทึกผล

3.8.2.2 ปรับระดับที่จับตัวอย่างของเครื่องความทนทานต่อแรงดึงให้มีระยะห่างระหว่างที่จับทั้งสองให้ห่างกัน 150 มิลลิเมตร

3.8.2.3 นำเส้นใยใหม่ใส่ที่จับแล้วหมุนให้แน่นถ้าเส้นใยที่ผ่านการฉายรังสีตามเงื่อนไขต่างๆ แล้วยังมีความนุ่มลื่นอยู่ให้ใช้สายน้ำเกลือลอบกับที่จับของเครื่องความทนทานต่อแรงดึงก่อนเพื่อช่วยเพิ่มแรงเสียดทานไม่ให้เส้นใยใหม่หลุดจากที่จับขณะทำการดึงความทนทานต่อแรงดึง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

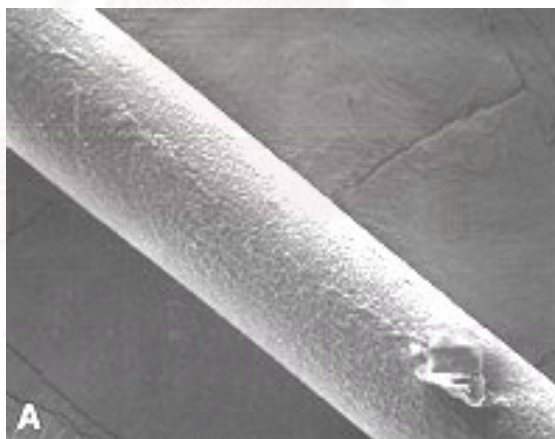
4.1 ความสามารถในการกราฟต์ของเส้นใยไหม

เมื่อนำเส้นใยไหมที่แช่ในเมทิลเมทาครีเลตที่ละลายในตัวทำละลายเมทานอลด้วยความเข้มข้น 30%, 50%, 70% และ 90% ซึ่งแช่เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมงก่อนนำไปฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83, 1.84, 3.88 และ 4.5 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง โดยการฉายรังสีแต่ละอัตราปริมาณรังสีจะทำการฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีต่างๆ กัน

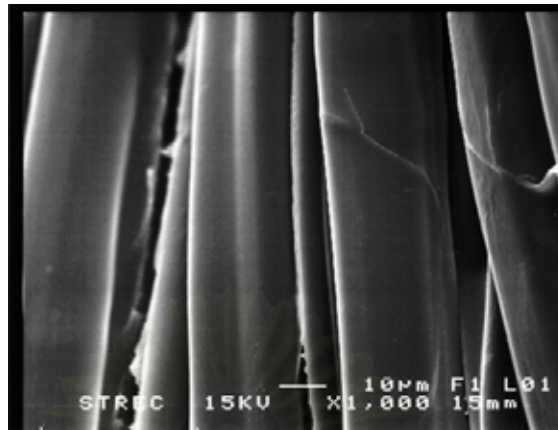
พบว่า ที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 และ 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากกว่าเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 และ 4.5 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง แต่เปอร์เซ็นต์ของการกราฟต์จะเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตมีความเข้มข้นมากกว่า 70% แสดงดังรูปที่ 4.3-4.6 เนื่องจากอัตราปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นขณะทำการฉายรังสีทำให้เมทิลเมทาครีเลตที่ความเข้มข้นสูงอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาโคโพลีเมอร์ไรเซชันระหว่างเมทิลเมทาครีเลตกับเมทิลเมทาครีเลตด้วยตัวเองกลายเป็นโฮโมโพลีเมอร์ [2], [3], [6] ทำให้เกิดการกราฟต์กับเส้นใยไหมลดลง สำหรับผลการกราฟต์แสดงในภาคผนวก ค

เมื่อนำเมทิลเมทาครีเลตที่ละลายในตัวทำละลายเมทานอลที่ความเข้มข้น 30%, 50%, 70% และ 90% (v/v) เติมสารตัวเติมคือ นอมาล-บูทิลอะครีเลตโมโนเมอร์หรือทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตโมโนเมอร์ลงในเมทิลเมทาครีเลตที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยปริมาตร 0.3%, 0.5%, 0.7% และ 0.9% (v/v) แล้วแช่เส้นใยไหมในสารละลายเป็นเวลานาน 12 ชั่วโมงก่อนนำไปฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83, 1.84, 3.88 และ 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงโดยการฉายรังสีแต่ละอัตราปริมาณรังสีจะทำการฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีต่างๆ กัน

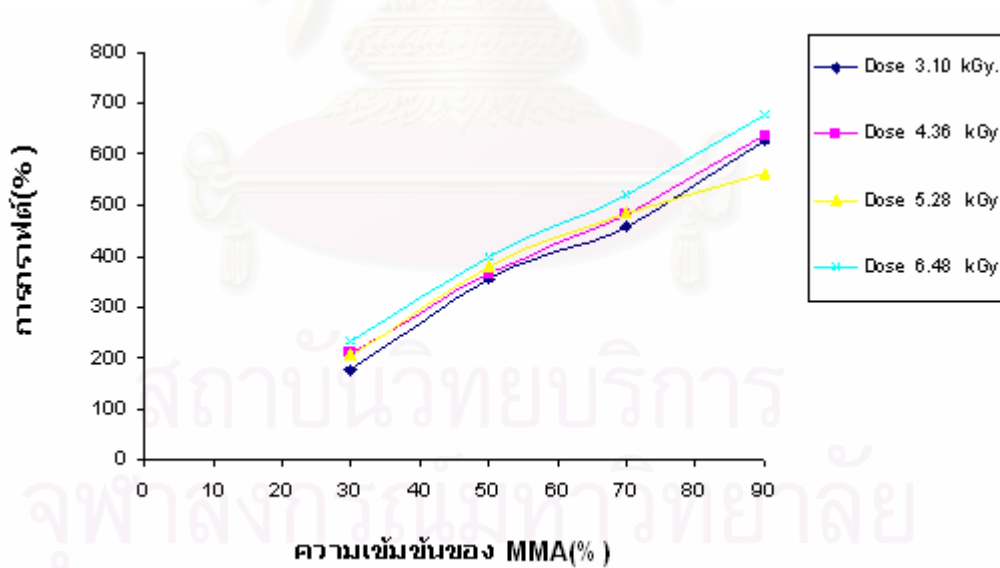
พบว่า ที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการกราฟต์ที่ปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์มีเอ็นบูทิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 4.7 ที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการกราฟต์ที่ปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์มีทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 4.8 ที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการกราฟต์ที่ปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์มีนอมาล-บูทิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 4.9 ที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการกราฟต์ที่ปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์มีทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 4.10 เมื่อนำเส้นใยไหมกราฟต์ถ่ายภาพพื้นผิวของเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope แสดงดังรูปที่ 4.1 และภาพพื้นผิวของเส้นใยไหมหลังการกราฟต์นั้นทำให้ผิวของเส้นใยไหมเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นคือมีผิวที่เรียบกว่าเดิมแสดงดังรูปที่ 4.2



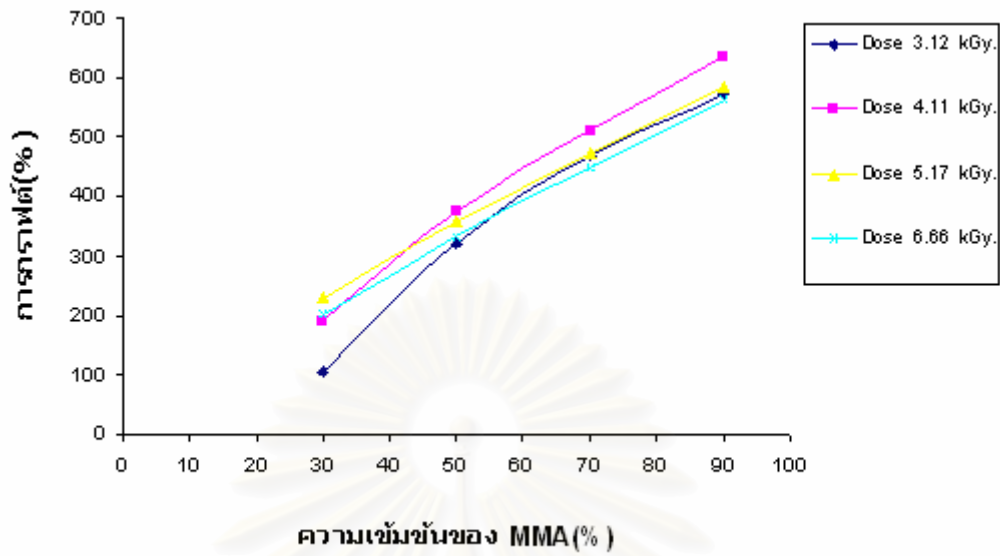
รูปที่ 4.1 ไฟโบรอินของเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์



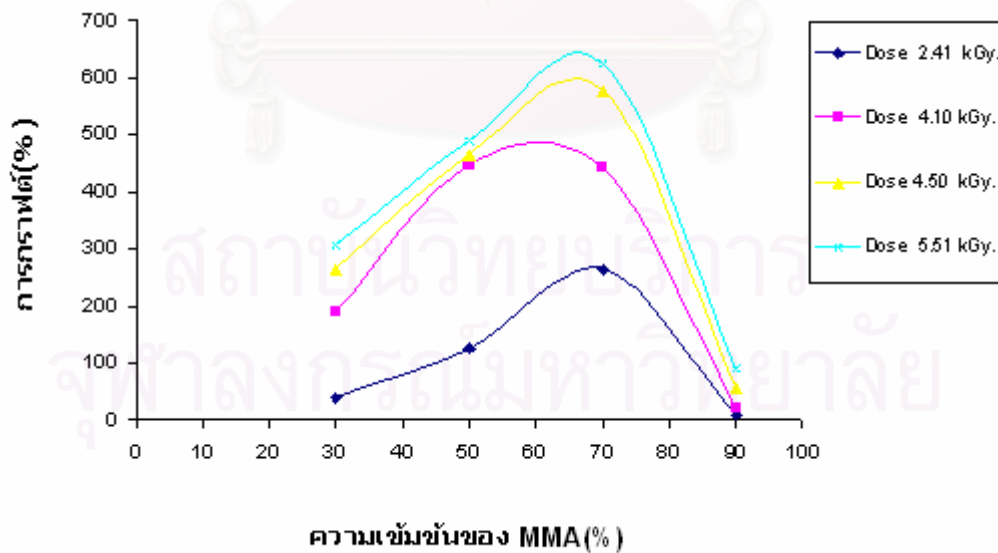
รูปที่ 4.2 เส้นใยไหมกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงทอ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารไวปฏิกิริยาอัตราส่วน เมทิลเมทาครีเลตต่อทอ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต คือ 70% : 0.9%



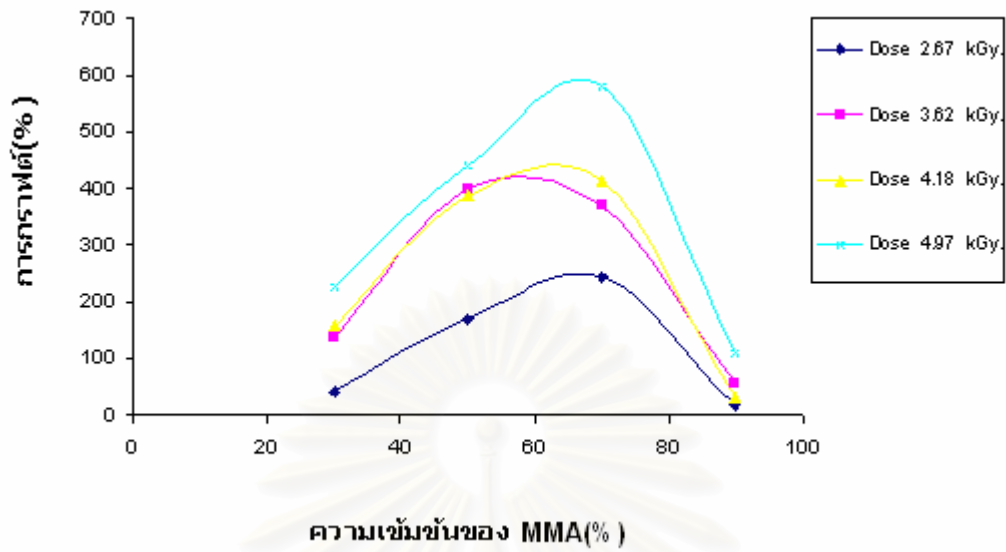
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหม ต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วย อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง



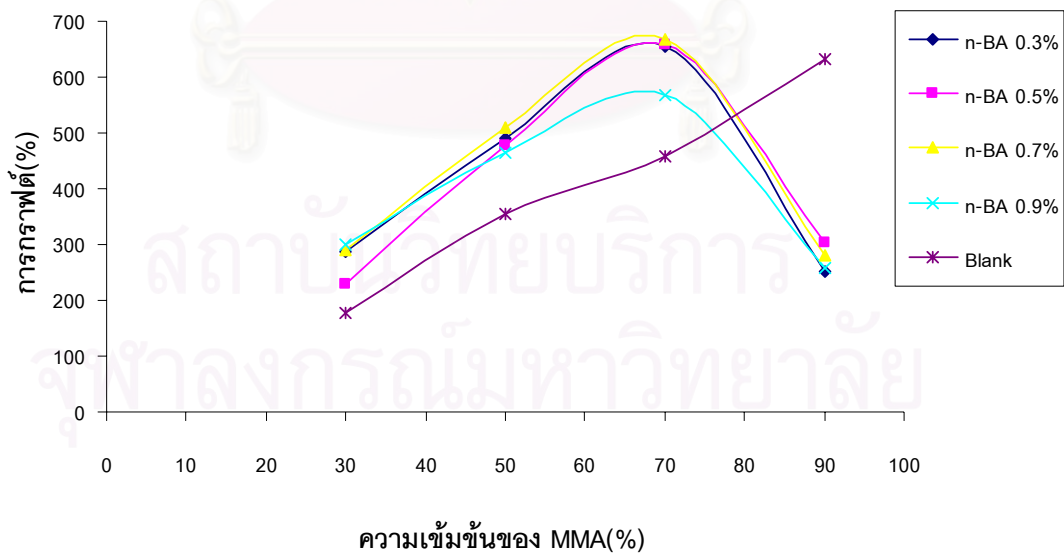
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหม ต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วย อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง



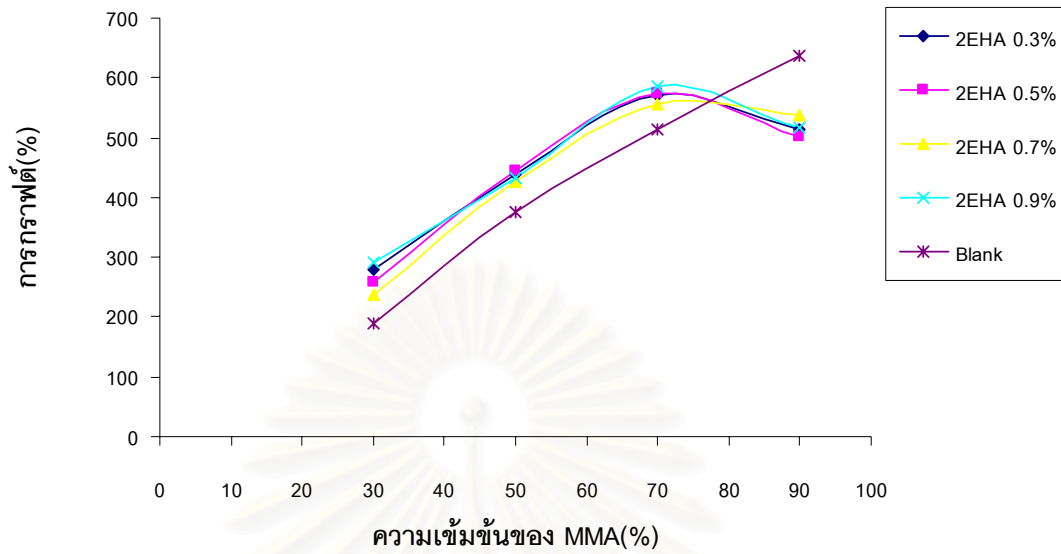
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหม ต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วย อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง



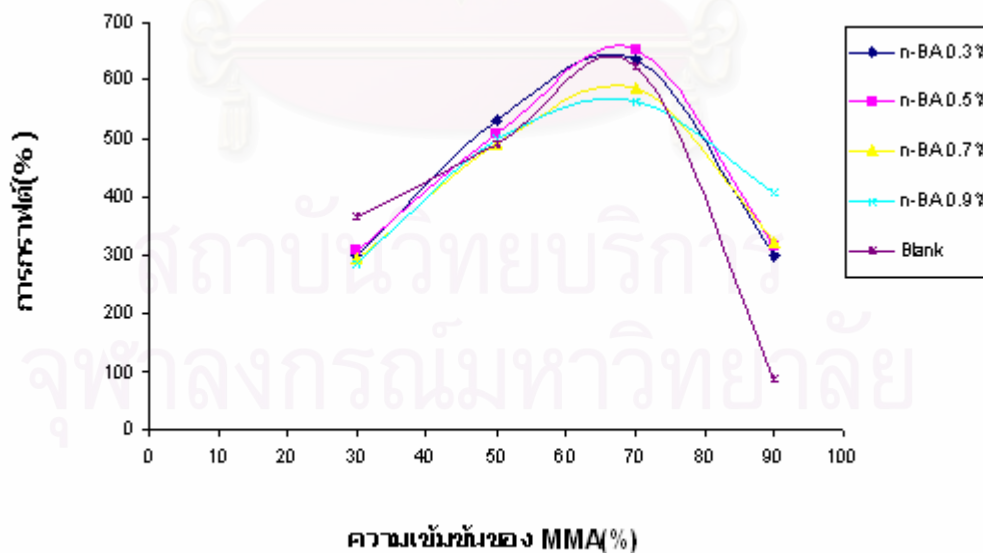
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) โดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง



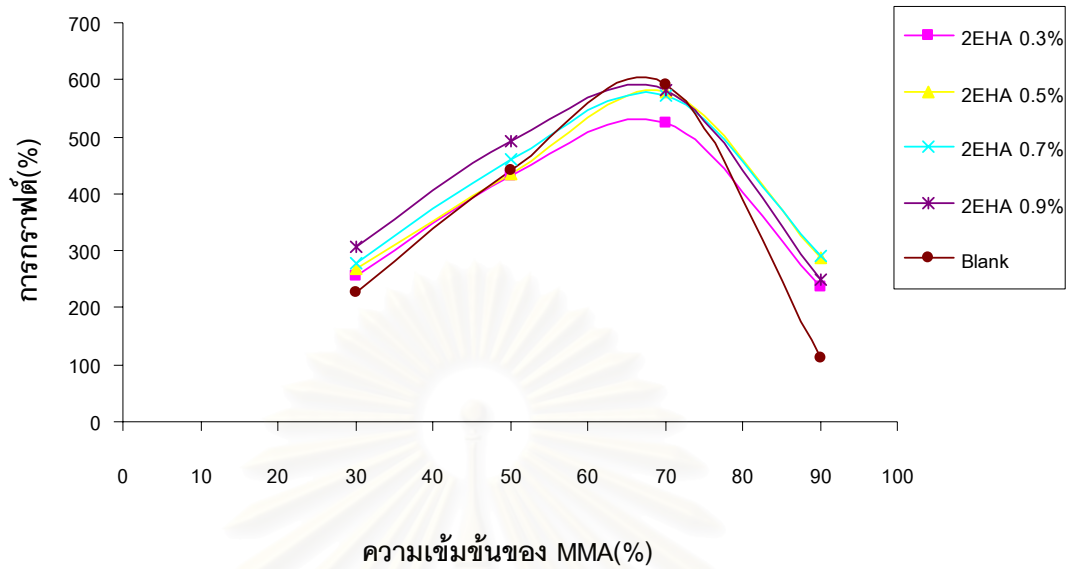
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์

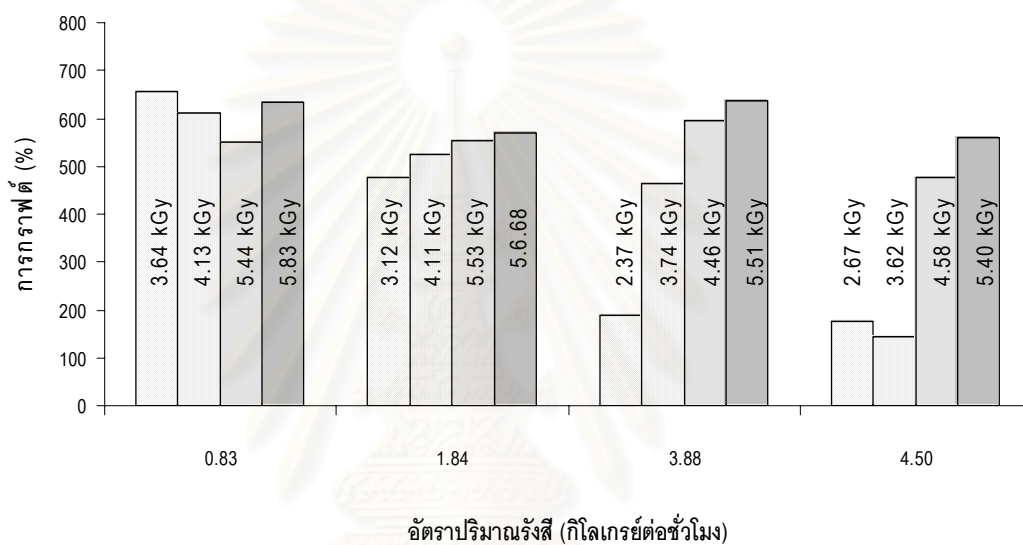


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



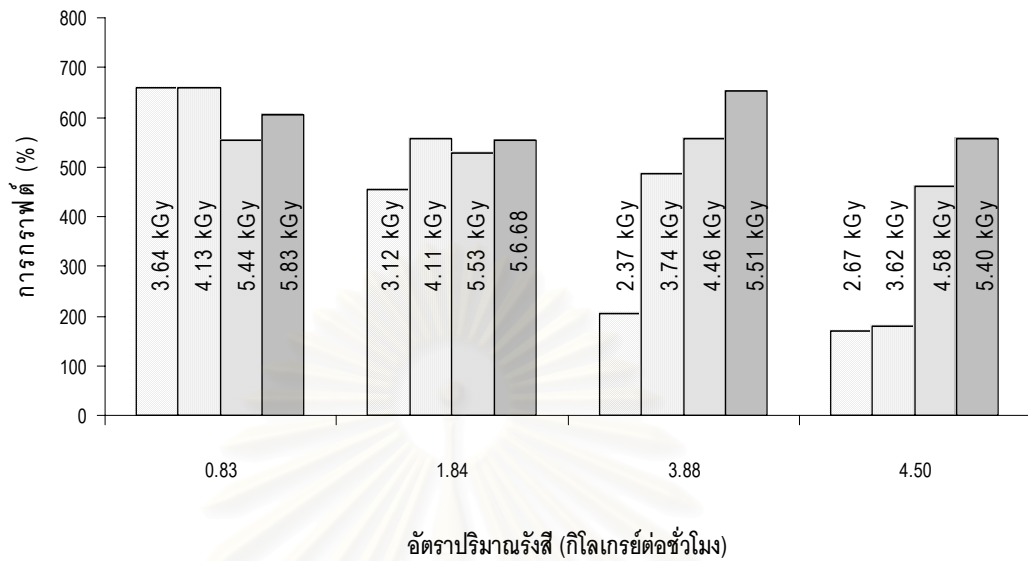
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์

เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสี (กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง) กับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่ทำการฉายรังสีในสารละลายเมทิลเมทาครีเลตที่มีความเข้มข้น 70% มีสารตัวเติมในปริมาณ 0.3, 0.5, 0.7, 0.9% (v/v) พบว่า ปริมาณรังสีใกล้เคียงกันความสามารถในการกราฟต์ของเส้นใยไหมสัมพันธ์โดยผกผันกับอัตราปริมาณรังสีที่ใช้แต่จะขึ้นโดยตรงกับปริมาณรังสี [24], แสดงดังรูป 4.11-4.18

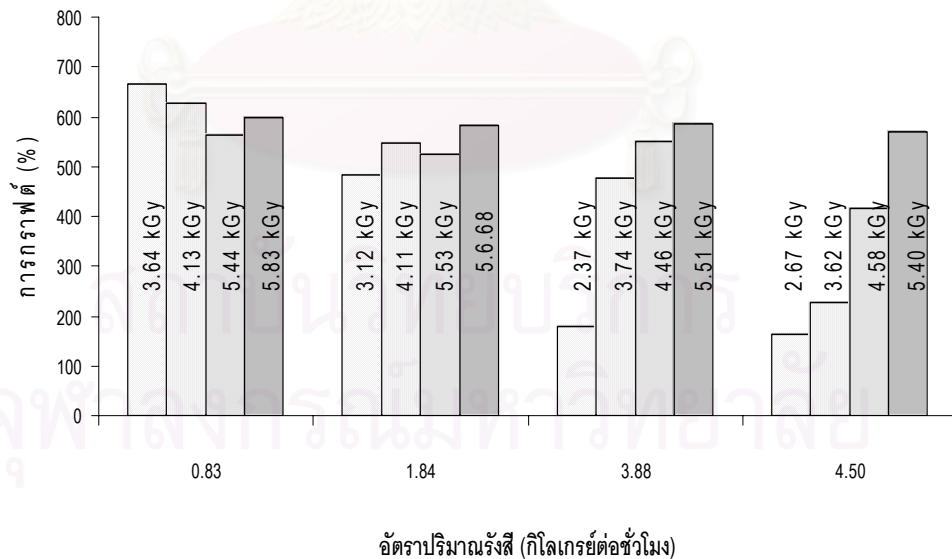


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นนอมาล-บูทิลอะครีเลตด้วยปริมาณ 0.3% (v/v)

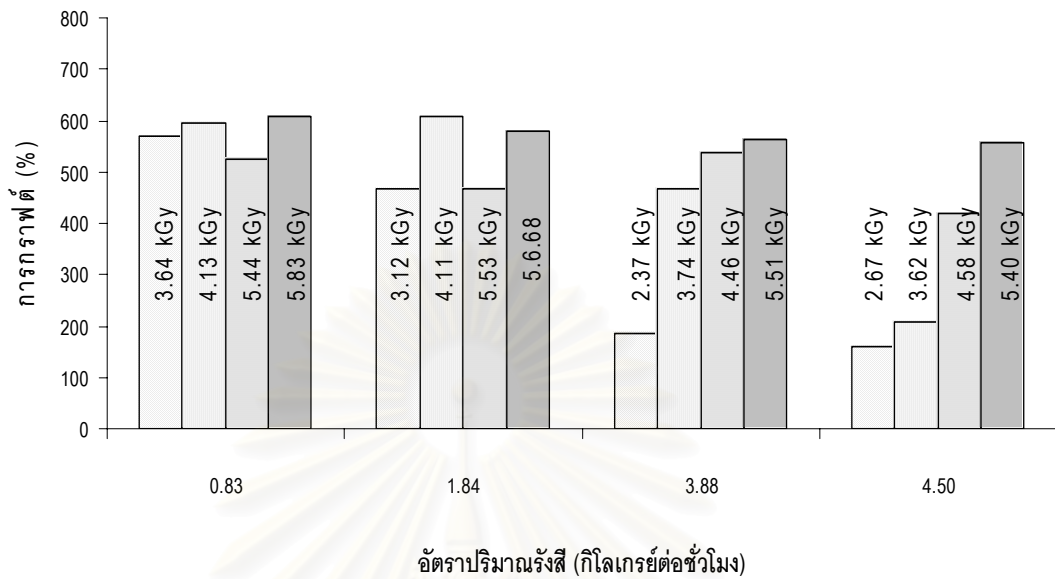
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



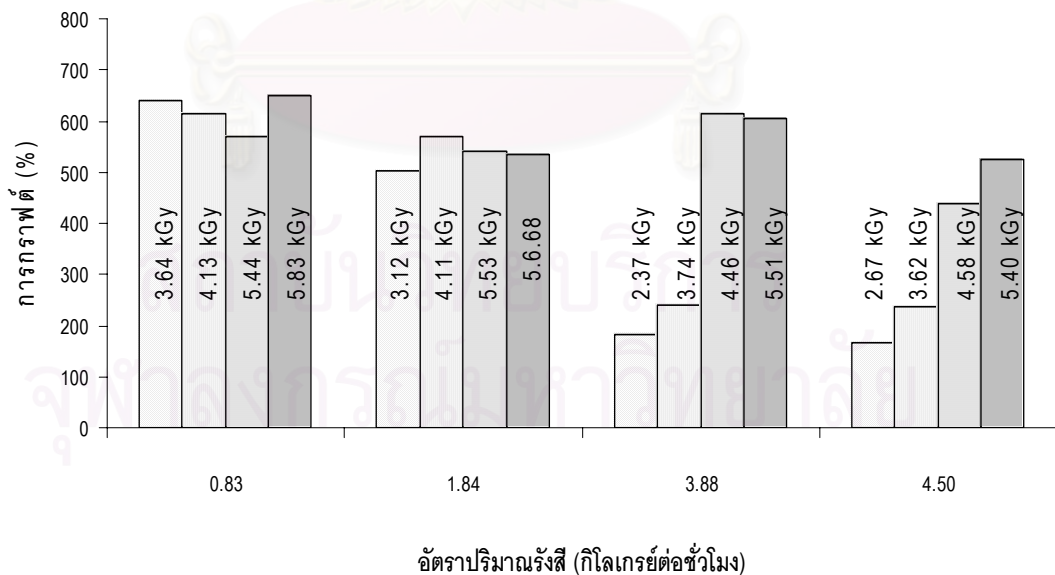
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นนอมัล-บูทิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.5% (v/v)



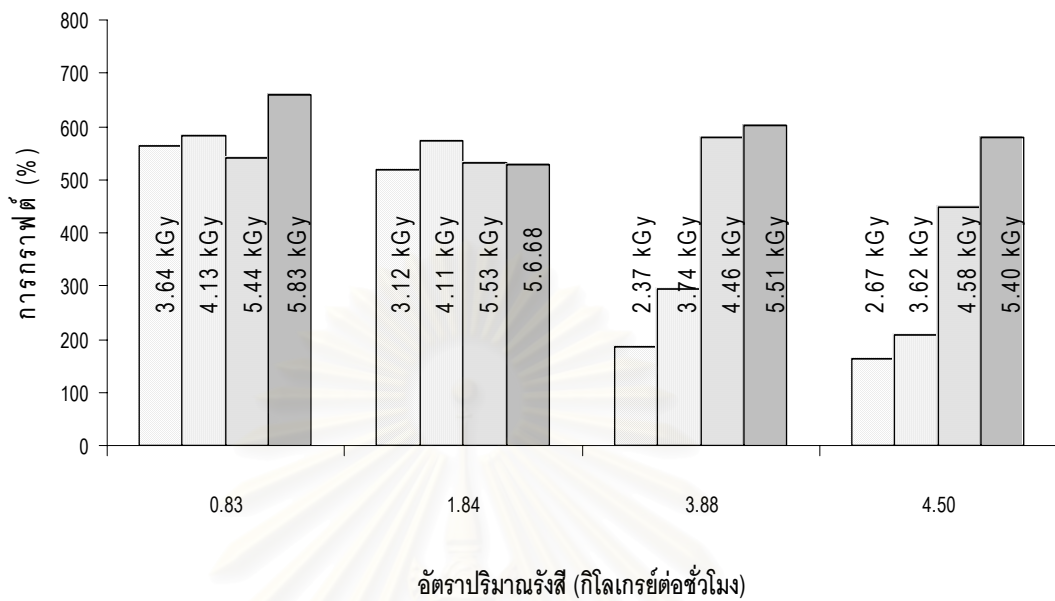
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นนอมัล-บูทิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.7% (v/v)



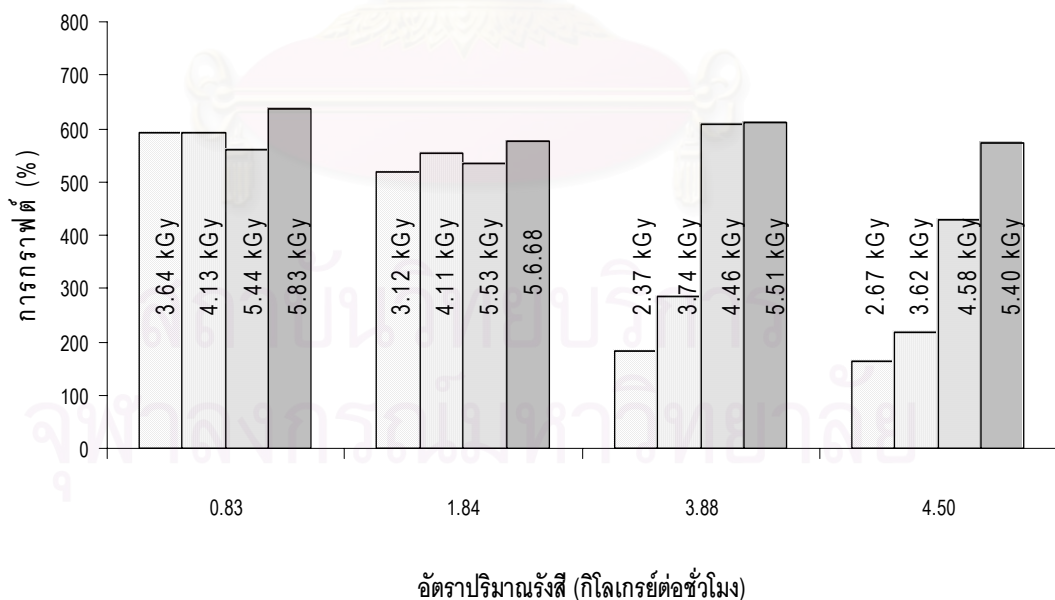
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นนอมาล-บูทิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.9% (v/v)



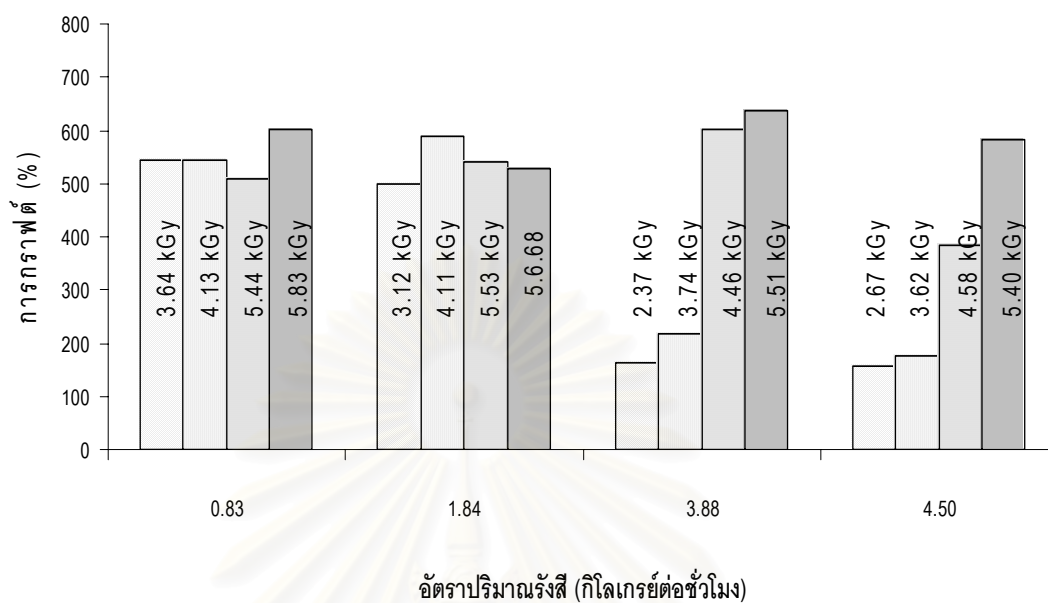
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นนอมาล-บูทิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.3% (v/v)



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.5% (v/v)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.7% (v/v)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่ออัตราปริมาณรังสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ด้วยปริมาณรังสีต่างๆ มีความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต 70% และมีสารตัวเติมเป็นทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตด้วยปริมาตร 0.9% (v/v)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหม โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyle hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|------------|-------------------|------------|-------------------------|------------|
| | MMA (%) | % Grafting | MMA (%)::n-BA (%) | % Grafting | MMA (%)::2EHA (%) | % Grafting |
| 3.64 | 70 | 458 | 70:0.7 | 667 | 70:0.7 | 592 |
| 4.13 | 70 | 481 | 70:0.5 | 658 | 70:0.3 | 613 |
| 5.44 | 70 | 486 | 70:0.7 | 562 | 70:0.3 | 568 |
| 5.83 | 70 | 520 | 70:0.3 | 634 | 70:0.5 | 658 |

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหม โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyle hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|------------|-------------------|------------|-------------------------|------------|
| | MMA (%) | % Grafting | MMA (%)::n-BA (%) | % Grafting | MMA (%)::2EHA (%) | % Grafting |
| 3.12 | 70 | 468 | 70:0.7 | 482 | 70:0.7 | 518 |
| 4.11 | 70 | 512 | 70:0.9 | 579 | 70:0.9 | 590 |
| 5.53 | 70 | 471 | 70:0.3 | 552 | 70:0.3 | 539 |
| 6.68 | 70 | 448 | 70:0.9 | 590 | 70:0.7 | 576 |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหม โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

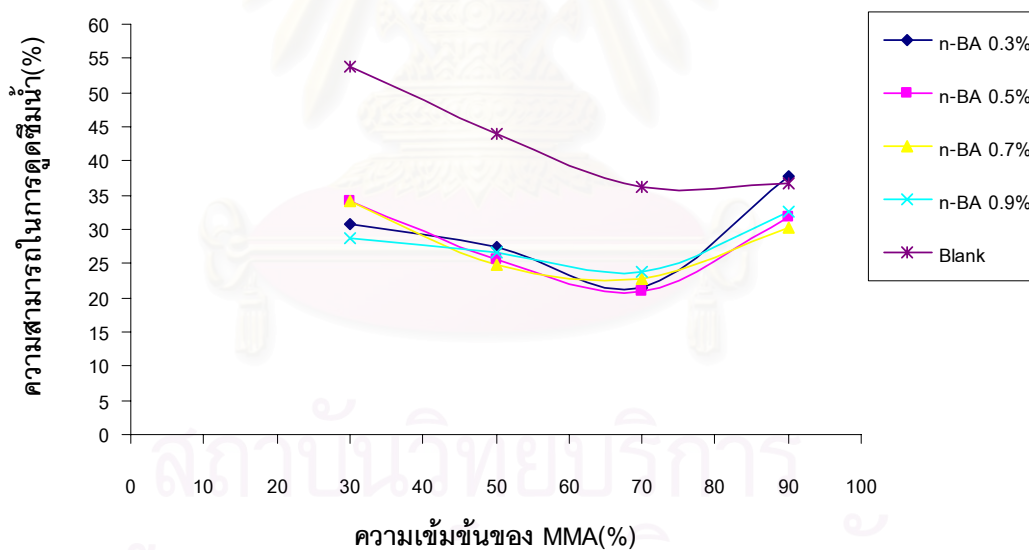
| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyle hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|------------|-------------------|------------|-------------------------|------------|
| | MMA (%) | % Grafting | MMA (%): n-BA (%) | % Grafting | MMA (%): 2EHA (%) | % Grafting |
| 2.37 | 70 | 264 | 70:0.5 | 204 | 70:0.5 | 185 |
| 3.74 | 70 | 442 | 70:0.5 | 487 | 70:0.5 | 294 |
| 4.46 | 70 | 578 | 70:0.3 | 594 | 70:0.3 | 614 |
| 5.51 | 70 | 625 | 70:0.5 | 652 | 70:0.9 | 638 |

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดของเส้นใยไหม โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

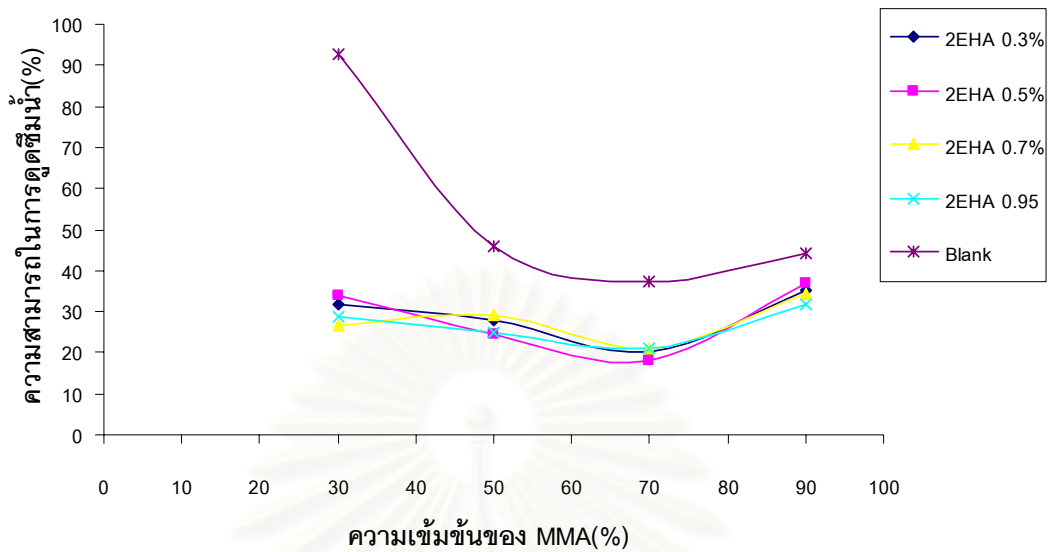
| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyle hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|------------|-------------------|------------|-------------------------|------------|
| | MMA (%) | % Grafting | MMA (%): n-BA (%) | % Grafting | MMA (%) : 2EHA (%) | % Grafting |
| 2.67 | 70 | 244 | 70:0.3 | 177 | 70:0.3 | 167 |
| 3.62 | 70 | 368 | 70:0.7 | 320 | 70:0.3 | 235 |
| 4.58 | 70 | 413 | 70:0.3 | 476 | 70:0.5 | 449 |
| 5.40 | 70 | 581 | 70:0.7 | 569 | 70:0.9 | 581 |

4.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ตามเงื่อนไขต่างๆ

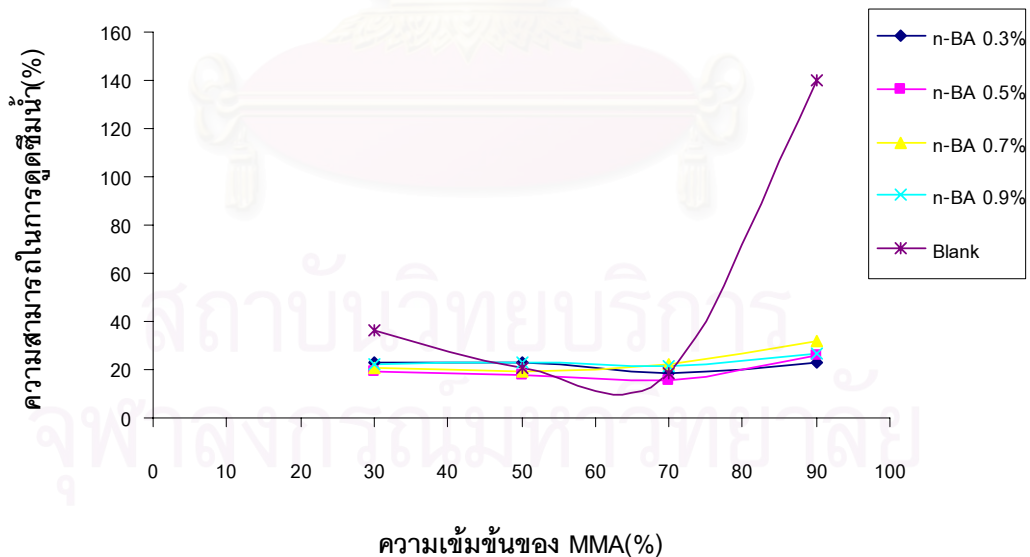
เมื่อนำเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ตามเงื่อนไขต่างๆ มาเปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเส้นใยไหม พบว่า เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมมีค่าผกผันกับค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดในแต่ละอัตราปริมาณรังสีแสดงดังรูปที่ 4.19-4.22 โดยเส้นใยไหมกราฟต์ที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงด้วยปริมาณรังสี 3.74, 4.46 และ 5.51 กิโลเกรย์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำน้อยมากเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมที่มีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากกว่า เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมที่ผ่านการฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสี 0.83, 1.84, 3.88 และ 4.5 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสีต่างๆ ในเงื่อนไขที่แตกต่างกันแสดงในภาคผนวก ค เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์เมื่อมีการเติมสารตัวเติมแสดงดังตารางที่ 4.9-4.12



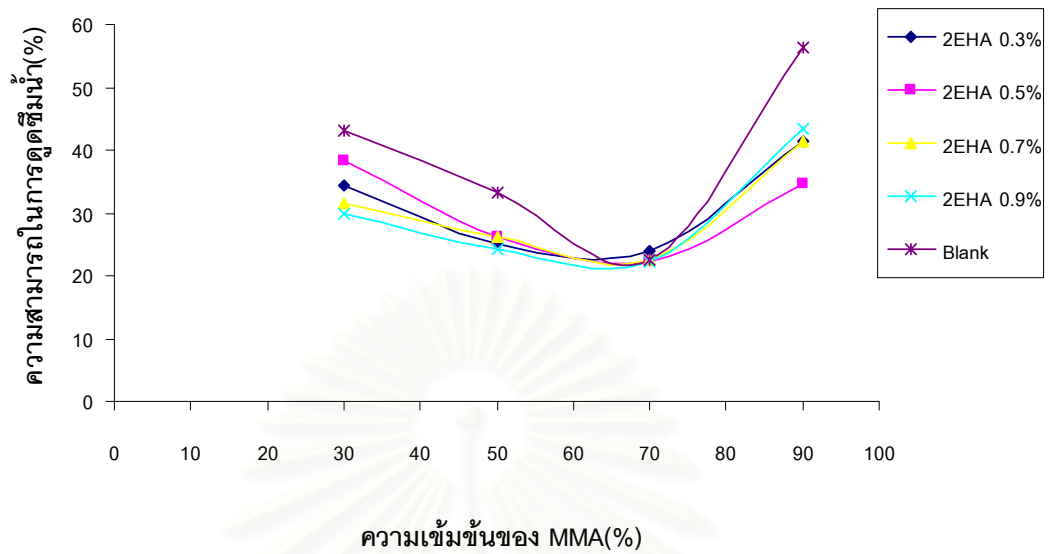
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีนอมาล- บูทิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีทู-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีนอมาล-บิวทิลอะครีเลตเป็นสารเติมแต่งโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) มีทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงที่ปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์

ตารางที่ 4.5 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyl hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|-------|------------------|-------|------------------------|-------|
| | MMA (%) | % Wup | MMA (%):n-BA (%) | % Wup | MMA (%):2EHA (%) | % Wup |
| 3.64 | 70 | 37 | 70:0.3 | 22 | 70:0.3 | 28 |
| 4.13 | 70 | 36 | 70:0.3 | 21 | 70:0.3 | 21 |
| | | | 70:0.5 | 21 | | |
| 5.44 | 70 | 36 | 70:0.3 | 29 | 70:0.3 | 28 |
| 5.84 | 70 | 35 | 70:0.3 | 25 | 70:0.5 | 24 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyl hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|-------|------------------|-------|------------------------|-------|
| | MMA (%) | % Wup | MMA (%):n-BA (%) | % Wup | MMA (%):2EHA (%) | % Wup |
| 3.12 | 70 | 42 | 70:0.7 | 22 | 70:0.5 | 18 |
| 4.11 | 70 | 42 | 70:0.9 | 25 | 70:0.5 | 24 |
| | | | | | 70:0.9 | 24 |
| 5.53 | 70 | 43 | 70:0.3 | 35 | 70:0.3 | 37 |
| 6.68 | 70 | 39 | 70:0.7 | 19 | 70:0.7 | 21 |

ตารางที่ 4.7 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyl hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|-------|------------------|-------|------------------------|-------|
| | MMA (%) | % Wup | MMA (%):n-BA (%) | % Wup | MMA (%):2EHA (%) | % Wup |
| 2.37 | 70 | 33 | 70 : 0.5 | 36 | 70 : 0.5 | 40 |
| 3.74 | 70 | 24 | 70 : 0.5 | 18 | 70 : 0.3 | 21 |
| 4.46 | 70 | 18 | 70 : 0.5 | 18 | 70 : 0.3 | 16 |
| 5.51 | 70 | 18 | 70 : 0.5 | 17 | 70 : 0.5 | 18 |

ตารางที่ 4.8 แสดงการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | n-Butyl acrylate | | 2-Ethyl hexyl acrylate | |
|----------------------------|---------|-------|------------------|-------|------------------------|-------|
| | MMA (%) | % Wup | MMA (%):n-BA (%) | % Wup | MMA (%):2EHA (%) | % Wup |
| 3.64 | 70 | 36 | 70:0.3 | 22 | 70:0.3 | 31 |
| 4.13 | 70 | 28 | 70:0.9 | 37 | 70:0.3 | 33 |
| 5.44 | 70 | 30 | 70:0.3 | 22 | 70:0.3 | 23 |
| | | | 70:0.5 | 22 | | |
| 5.84 | 70 | 22 | 70:30 | 19 | 70:0.5 | 22 |
| | | | | | 70:0.7 | 22 |
| | | | | | 70:0.9 | 22 |

4.3 ผลของอัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์

สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ได้แก่ ความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ทำการฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสีและปริมาณรังสีต่างๆ แสดงดังภาคผนวก ง ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่มีค่าการกราฟต์สูงสุดจากที่ทำการฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสีและปริมาณรังสีต่างๆ มีค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาดแสดงดังตารางที่ 4.9-4.12

เส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการกราฟต์ทดสอบค่าความเค้นที่แรงสูงสุดมีค่า 283 เมกกะกิโลปาสคาลและนำเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตทดสอบค่าความเค้นที่แรงสูงสุด พบว่า ค่าความเค้นที่แรงสูงสุดมีค่าผกผันกับค่าร้อยละของการกราฟต์โดยเส้นใยไหมกราฟต์ที่ทำการกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 และ 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงมีค่าร้อยละของการกราฟต์มากกว่าเส้นใยไหมกราฟต์ที่ทำการกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 และ 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงและค่าความเค้นที่แรงสูงสุดของเส้นใยไหมกราฟต์ที่ทำการกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 และ 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงมีค่าความเค้นที่แรงสูงสุดน้อยกว่าเส้นใยไหมกราฟต์ที่ฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 และ 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเนื่องจากเส้นใยไหมที่มีค่าร้อยละของการกราฟต์มากทำให้เส้นใยไหมแข็งแรงแต่เปราะจึงใช้แรงดึงให้ขาดน้อย

เส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการกราฟต์ทดสอบความเครียดที่แรงสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 13 และนำเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตทดสอบค่าความเครียด พบว่า ค่าความเครียดของเส้นใยไหมกราฟต์ที่ทำการกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 และ 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดโดยเฉลี่ยของแต่ละปริมาณรังสีน้อยกว่าเส้นใยไหมกราฟต์ ที่ทำการกราฟต์ด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 และ 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงโดยการกราฟต์เส้นใยไหมที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงในเงื่อนไขที่มีนอมาล-บูทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่แรงสูงสุดของเส้นใยไหมกราฟต์โดยเฉลี่ยมากที่สุดโดยเฉลี่ยร้อยละ 20

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | | n-Butyl acrylate | | | 2-Ethyl hexyl acrylate | | |
|----------------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | MMA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): n-BA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): 2EHA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) |
| 3.64 | 70 | 30 | 10 | 70:0.7 | 28 | 9 | 70:0.7 | 37 | 12 |
| 4.13 | 70 | 40 | 12 | 70:0.5 | 29 | 6 | 70:0.3 | 46 | 16 |
| 5.44 | 70 | 57 | 13 | 70:0.7 | 38 | 10 | 70:0.3 | 35 | 11 |
| 5.83 | 70 | 42 | 14 | 70:0.3 | 54 | 12 | 70:0.5 | 41 | 16 |

หมายเหตุ : เส้นใยไหมก่อนการกราฟต์มีค่า Stress = 283 MPa และ %Elongation = 13

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | | n-Butyl acrylate | | | 2-Ethyl hexyl acrylate | | |
|----------------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | MMA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): n-BA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): 2EHA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) |
| 3.12 | 70 | 55 | 19 | 70:0.7 | 38 | 12 | 70:0.7 | 128 | 16 |
| 4.11 | 70 | 56 | 11 | 70:0.9 | 34 | 17 | 70:0.9 | 34 | 16 |
| 5.53 | 70 | 48 | 11 | 70:0.3 | 37 | 18 | 70:0.3 | 86 | 17 |
| 6.68 | 70 | 50 | 10 | 70:0.9 | - | - | 70:0.7 | - | - |

หมายเหตุ : ไหมก่อนการกราฟต์มีค่า Stress = 283 MPa และ %Elongation = 13 เส้นใยไหมกราฟต์บางเส้นไม่สามารถทดสอบได้เพราะเปราะมาก

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | | n-Butyl acrylate | | | 2-Ethyl hexyl acrylate | | |
|----------------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | MMA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): n-BA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%) : 2EHA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) |
| 2.37 | 70 | 76 | 13 | 70:0.5 | 120 | 21 | 70:0.5 | 74 | 17 |
| 3.74 | 70 | 66 | 16 | 70:0.5 | 48 | 16 | 70:0.5 | 70 | 16 |
| 4.46 | 70 | 40 | 9 | 70:0.3 | 31 | 11 | 70:0.3 | 47 | 14 |
| 5.51 | 70 | 40 | 8 | 70:0.5 | - | - | 70:0.9 | - | - |

หมายเหตุ : เส้นใยไหมก่อนการกราฟต์มีค่า Stress = 283 MPa และ %Elongation = 13

ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกราฟต์มากที่สุด โดยฉายรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

| ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | Blank | | | n-Butyl acrylate | | | 2-Ethyl hexyl acrylate | | |
|----------------------------|---------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | MMA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): n-BA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) | MMA (%): 2EHA (%) | Stress (MPa) | Elongation (%) |
| 2.67 | 70 | 90 | 16 | 70:0.3 | 168 | 17 | 70:0.3 | 149 | 20 |
| 3.62 | 70 | 69 | 21 | 70:0.7 | 106 | 20 | 70:0.3 | 105 | 25 |
| 4.58 | 70 | 58 | 10 | 70:0.3 | 48 | 15 | 70:0.5 | 65 | 18 |
| 5.40 | 70 | 43 | 8 | 70:0.7 | 51 | 18 | 70:0.9 | 64 | 19 |

หมายเหตุ : เส้นใยไหมก่อนการกราฟต์มีค่า Stress = 283 MPa และ %Elongation = 13

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษากาการกราฟต์เมทิลเมทาครีเลตบนเส้นใยไหมเพื่อหาค่าเหมาะสมของตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยไหมกราฟต์ที่ดี ผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การกราฟต์เส้นใยไหมและความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟต์

การศึกษาค่าผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการกราฟต์โคโพลิเออโรเซชันเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าเส้นใยไหมกราฟต์ที่ฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 และ 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงร้อยละของการกราฟต์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตเมื่อเติมสารตัวเติมในเมทิลเมทาครีเลตที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่าหลังการฉายรังสีค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตแต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นและชนิดของสารตัวเติม เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตมากกว่า 70% เส้นใยไหมกราฟต์ที่ฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 และ 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีและความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตแต่ไม่ขึ้นกับอัตราปริมาณรังสีและความเข้มข้นของสารตัวเติม [24], [25] เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะเริ่มลดลงเมื่อเมทิลเมทาครีเลตมีความเข้มข้นมากกว่า 70% ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเส้นใยไหมที่มากที่สุดสรุปได้แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 กระบวนการกราฟตีในเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้เส้นใยไหมที่มีเปอร์เซ็นต์กราฟตีมากที่สุด

| อัตราปริมาณรังสี (กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง) | ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | MMA : Additive | เปอร์เซ็นต์กราฟตีสูง ที่สุด |
|---|----------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 0.83 | 3.64 | 70:0.7 (n-BA) | 667 |
| 1.88 | 4.11 | 70:0.9 (2EHA) | 585 |
| 3.88 | 5.51 | 70:0.5 (n-BA) | 652 |
| 4.50 | 5.40 | 70:0.9 (n-BA) | 590 |

เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟตีมีค่าผกผันกับเปอร์เซ็นต์การกราฟตีจากการลองพบว่า เส้นใยไหมกราฟตีที่ฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง ปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์มีนอมอล-บูทิลอะครีเลตและทุ-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตเป็นสารตัวเติมค่าเปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดในแต่ละความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลตและสารตัวเติมเท่ากับร้อยละ 19 เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมกราฟตีที่น้อยที่สุดสรุปได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 กระบวนการกราฟตีในเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้เส้นใยไหมที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด

| อัตราปริมาณรังสี (กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง) | ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์) | MMA : Additive | เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ |
|---|----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 0.83 | 4.13 | 70:0.3 (n-BA) | 21 |
| | | 70:0.5 (n-BA) | 21 |
| | | 70:0.3 (2EHA) | 21 |
| 1.88 | 3.12 | 70 :0.5 (2EHA) | 18 |
| 3.88 | 5.51 | 70:0.5 (n-BA) | 17 |
| 4.50 | 5.40 | 70:0.3 (n-BA) | 19 |

5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมกราฟต์

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล ค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาดของเส้นใยไหมกราฟต์ที่ได้จากกระบวนการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต พบว่า ค่าความเค้นของเส้นใยไหมมีค่าผกผันกับเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โดยเส้นใยไหมกราฟต์ที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมงด้วยปริมาณรังสี 2.67 กิโลเกรย์อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่ออนอมาล-บูทิลอะครีเลตเท่ากับ 90:0.7 มีค่าความเค้นที่แรงสูงสุดคือ 464 เมกกะปาสคาล ส่วนเส้นใยไหมกราฟต์ที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง ด้วยปริมาณรังสี 3.62 กิโลเกรย์ อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อทูลอเอทิลเฮกซิลอะครีเลตเท่ากับ 50:0.3 มีความเครียดที่แรงสูงสุดมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 26

การพิจารณาเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมนั้นจะใช้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดในการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยเส้นใยไหมกราฟต์ที่ต้องการลดการดูดซึมน้ำแต่ยังคงความนุ่มและความพลิ้วของเส้นใยไว้การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำ ค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาด เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง ที่ปริมาณรังสี 2.37 กิโลเกรย์ อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่อเอ็นบูทิลอะครีเลตเท่ากับ 70:0.5 และเส้นใยที่ลดการดูดซึมน้ำได้ดีแต่มีความแข็งแรงของเส้นใย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การฉายรังสีที่อัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง ที่ปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์ อัตราส่วนเมทิลเมทาครีเลตต่ออนอมาล-บูทิลอะครีเลตเท่ากับ 70:0.3

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ขณะฉายรังสีควรทำให้เส้นใยไหมจมอยู่ในสารละลาย
2. การดูดซับน้ำออกจากเส้นใยไหมที่ผ่านการกราฟต์ควรใช้ทิชชูที่ไม่มีขน เนื่องจากจะทำให้ขนของทิชชูติดกับเส้นใยไหมทำให้น้ำหนักที่ชั่งหลังการแช่น้ำผิดพลาด
3. ควรนำเส้นใยไหมที่มีผ่านการย้อมสีแล้วมาทำการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต เนื่องจากเมื่อนำเส้นใยไหมที่ยังไม่ย้อมสีมากราฟต์แล้วไม่สามารถย้อมสีติดได้ ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากเส้นใยไหมควรมีสีส่นเพื่อความสวยงาม

รายการอ้างอิง

1. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
2. Mohamed Mahmoud Nasef and El-Sayed Ahmed Hegazy. Preparation and application of ion exchange membranes by radiation-induced graft copolymerization of polar monomer onto non-polar films. Progress in Polymer Science 29 (June 2004): 499-561.
3. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน, พิมพ์ครั้งที่ 1. 2527
4. A. Bhattacharya and B. N. Misra. Grafting : a versatile means to modify polymers Techniques, factors and applications. Progress in Polymer Science 28 (August 2004): 767-814.
5. พิริยธร สุวรรณมาลา และ เกศินี เหมวิเชียร. รังสีและอุตสาหกรรมพอลิเมอร์. นิวเคลียร์ปริทัศน์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ 17 (เมษายน-มิถุนายน 2547): 7-10
6. A. S. Bashar, Mubarak A. Hkan, K. M. Idriss Ali. Modification of cotton, rayon and silk fibers by radiation induced graft copolymerization. Radiation Physic and Chemistry 45 (1995): 753-759.
7. สิริรัตน์ จารุจินดา. การเกิดโพลีเมอร์สหพันธ์แบบต่อกิ่งของเอ็น, เอ็น-เมิลีนบิสอะคริลามีตบนเส้นใยไหมด้วยแมงกานีส (II) อะซิทิลอะซิโท. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาสหสาขาวิชาปิโตร-โพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
8. Fang Yue-E, Ji Jun, Ma Chaoxiong. Study of radiation-induced grafting of 2-hydroxyethyl methacrylate to chloroprene rubber membrane. Radiation Physic and Chemistry 54 (January 1999): 159-163.
9. A. D. JENKINS, Progress in Polymer Science 4 (4, 10)
10. โมโตอิ มินะกาว่า. วิทยาการไหม. เล่มที่ 2, แปลโดย เข็มชัย เหมะจันทร์. กรุงเทพฯ: คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
11. J. Merritt Matthews. Textile Fibers. 2 nd en. New York : John Wiley and Sons, 1936
12. พรณาราย ปราโมทย์. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

13. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. การพัฒนาการย้อมสีสำหรับไหมไทย. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
14. GORDON M. BARROW. Physical Chemistry. 2 nd en. United States of America: John Wiley&Sons, 1966.
15. สารระ สารโรวาท และ รัตนวรรณ มกรพันธ์. เซรีซินโปรตีนกาวไหม: พอลิเมอร์ชีวภาพที่ไม่ควรมองข้าม. วารสารวิทยาศาสตร์ (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2546): 40-48.
16. วิงรุ วาตานาเบ. วิศวกรรมสิ่งทอ. แปลโดย อัจฉราพร ไศละสูต. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2520.
17. Spink, J. W. T., and R. J. Wood. And Introduction to Radiation Chemistry. 2 nd en. New York: John Wiley and Sons, 1976
18. Singh, A. and Silverman, J. Progress in Polymer Processing Series. New York: American Chemical Society, 1992.
19. นิตศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
20. กัญญา ตระกูลคุ. เทคโนโลยีโพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอ็กซ์เพรส มีเดีย, 2533.
21. GERORGE ODIAN, Principle of Polymerization. 2nd, 212
22. HARAY R. ALL COCK and FREDERICK W.LAMPE. Contemporary Polymer Chemistry. 1981.
23. V. Ya Kabanov. Radiation induce grafting polymerization in the U. S. S. R. Radiation Physic and Chemistry 33 (1989): 51-60.
24. Virendra Kumar, Y. K. Bhardwaj, K.P. Rawat and S. Sabharwal. Radiation-induced grafting of vinylbenzyltrimethylammonium chloride (VBT) onto cotton fabric and study of its anti-bacterial activities. Radiation Physics and Chemistry 73 (June 2005): 175-182.
25. Mohamed Mhmoud Nasef, Hamdani Saidi and Hussin Mohd Nor. Radiation-induced grafting of styrene onto LDPE films for preparation of cation exchange membranes I. Effect of grafting condition. Jurnal Sains Nuklear Malaysia 17 (June 199).
26. Vivian T. Stannett, CO – POLYMERIZATION AND GRAFTING. Radiation Physical
27. An American National Stamdard. Tensile Properties of Yarns by the Single-Stand Method. Annual Book of ASTM Standards. 07.01 (2003).

ภาคผนวก ก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

การคำนวณค่าร้อยละการกราฟต์

สัดส่วนการกราฟต์คำนวณจากน้ำหนักของเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตที่เกิดกราฟต์หารด้วยน้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์} = \frac{\text{น้ำหนักของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต}}{\text{น้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนการกราฟต์}} \times 100$$

การคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

ร้อยละของการดูดซึมน้ำสามารถคำนวณได้จาก น้ำหนักของเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตหลังการแช่น้ำหารด้วยน้ำหนักของเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตก่อนการแช่น้ำ

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตหลังแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักของเส้นใยไหมกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

ความทนทานต่อแรงดึง

ความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตคำนวณจากแรงที่ใช้ในการดึงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไหมที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลต

$$\text{ค่าความเค้นที่แรงสูงสุด} = \frac{\text{แรงที่ใช้ดึง (นิวตัน)}}{3.14 \times (\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง, เมตร})^2} \quad \text{ปาสคาล}$$

ค่าความเครียดที่แรงสูงสุด

ร้อยละของความยืดเมื่อขาดคำนวณได้จากความยาวของเส้นใยใหม่ที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตยืดออกเมื่อขาดหารด้วยความยาวของเส้นใยใหม่ที่กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาครีเลตก่อนยืด

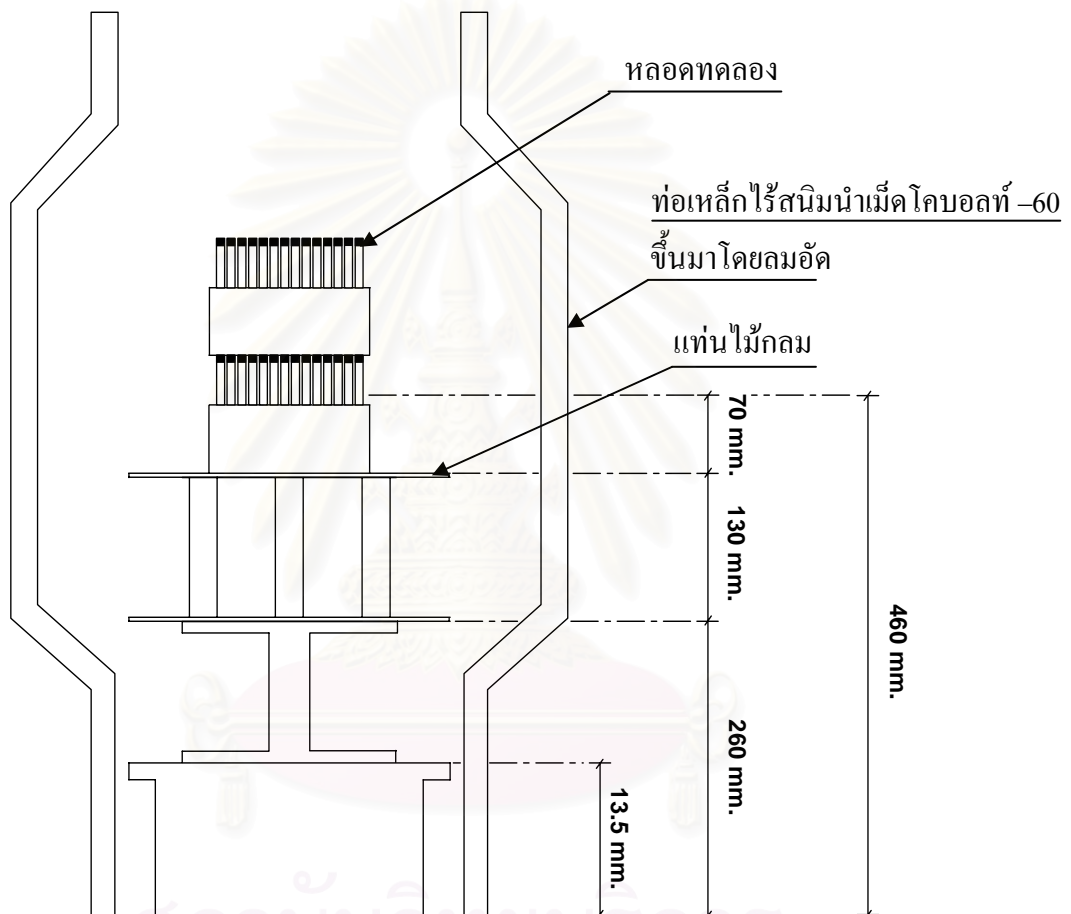
$$\text{ร้อยละของความเครียดที่แรงสูงสุด} = \frac{\text{ระยะยืดออกเมื่อขาด(เมตร)}}{\text{ระยะก่อนการยืด(เมตร)}}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

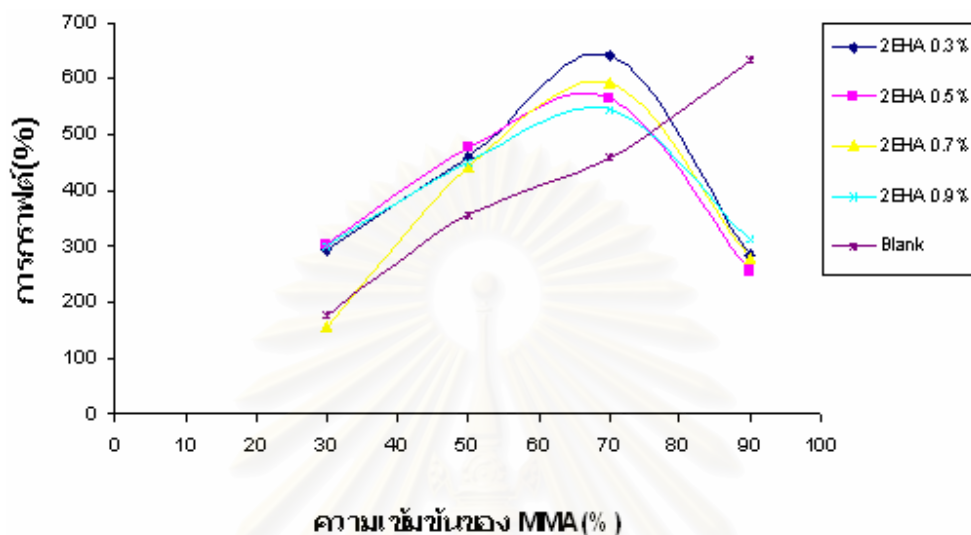
ภาคผนวก ข

มุมมองด้านหน้าของเครื่องฉายรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60

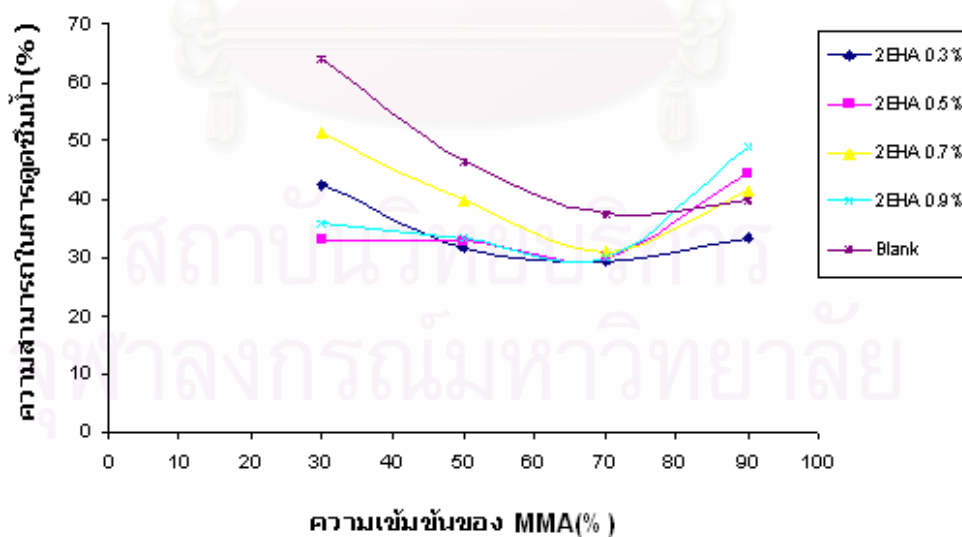


เนื่องจากการฉายรังสีให้กับตัวอย่างเส้นใยไหม ที่บรรจุในหลอดทดลองปริมาณ 10 มิลลิลิตร สูง 10 เซนติเมตร เมื่อนำหลอดทดลองบรรจุในภาชนะฉายรังสีแล้ววางซ้อนกัน 2 ชั้น จุดกึ่งกลางที่จะรับปริมาณรังสีสูงของตัวอย่างไม่ตรงกับจุดกึ่งกลางของแหล่งกำเนิดรังสี ดังนั้นจึงต้องทำแท่นไม้สูง 13 เซนติเมตร มาเสริมเพื่อทำให้จุดกึ่งกลางของตัวอย่างตรงกับจุดกึ่งกลางของแหล่งกำเนิดรังสีโดย Dosimeter ที่ใช้มี 2 ชนิดคือ Gamma chrome YR pma Dosimeter สามารถวัดปริมาณรังสีอยู่ในช่วง 0.1-3 กิโลเกรย์และ Red Perspex Dosimeter สามารถวัดปริมาณรังสีอยู่ในช่วง 5-50 กิโลเกรย์

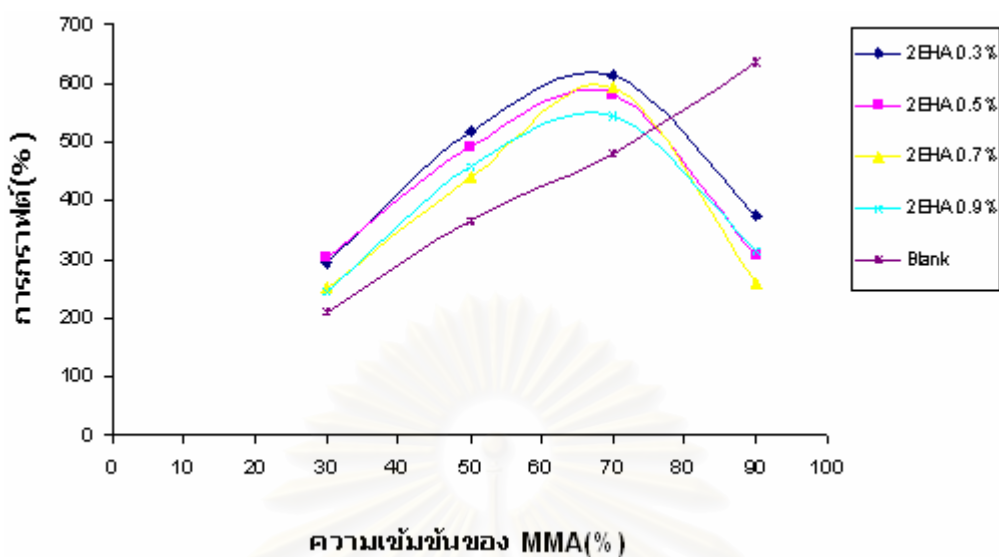
ภาคผนวก ค



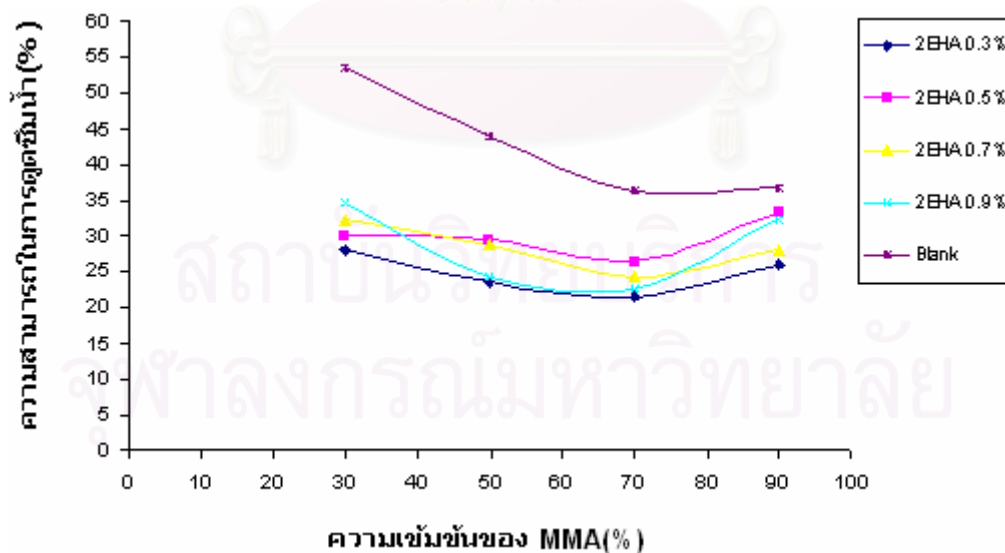
รูปที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์



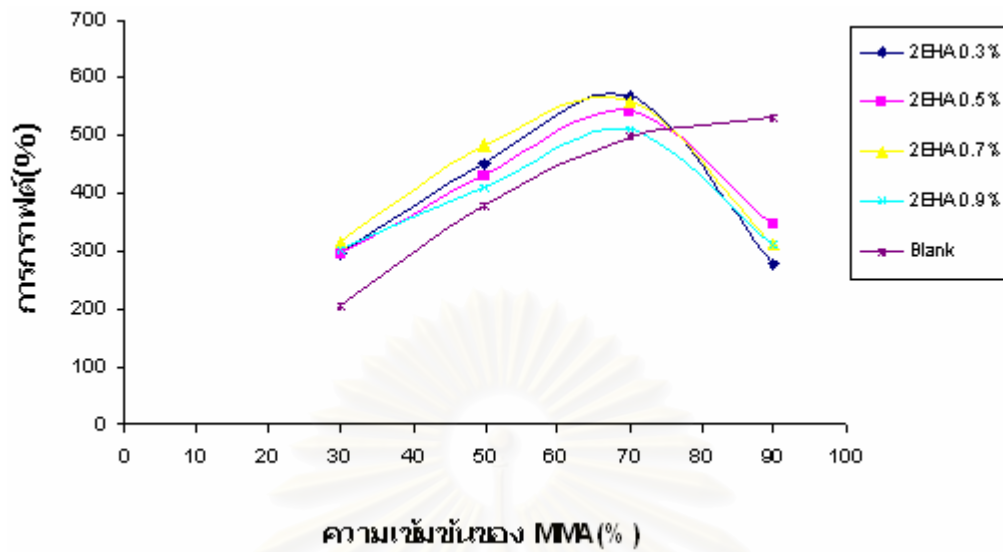
รูปที่ ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์



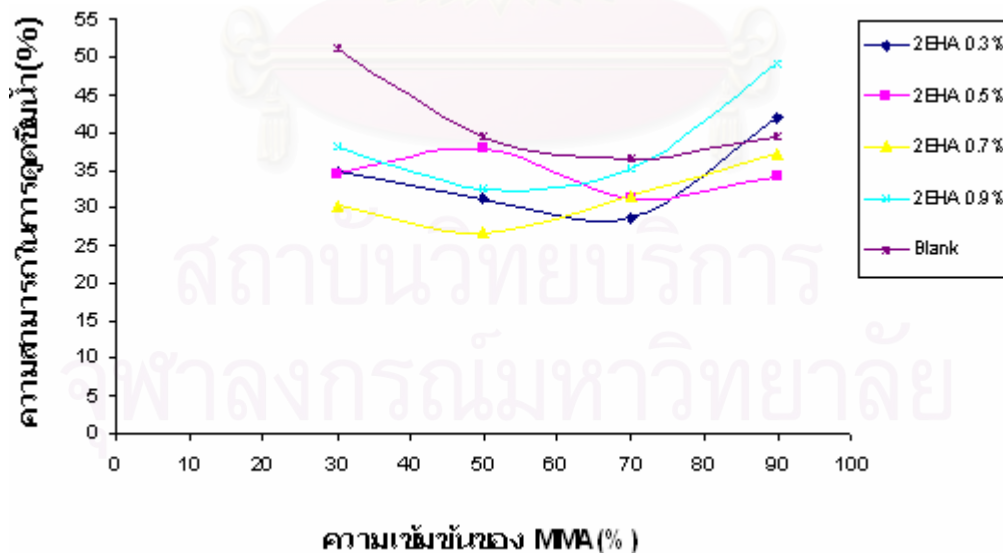
รูปที่ ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์



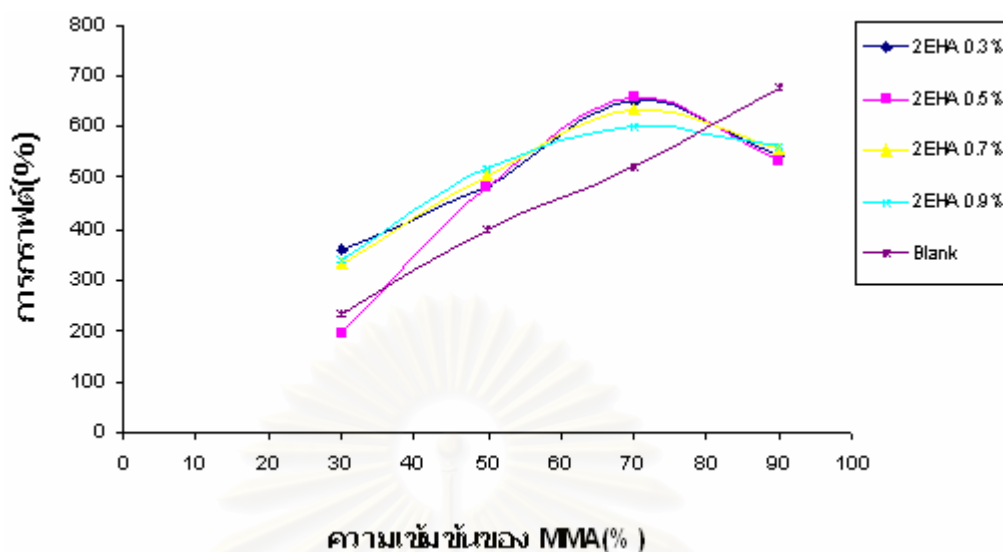
รูปที่ ค-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์



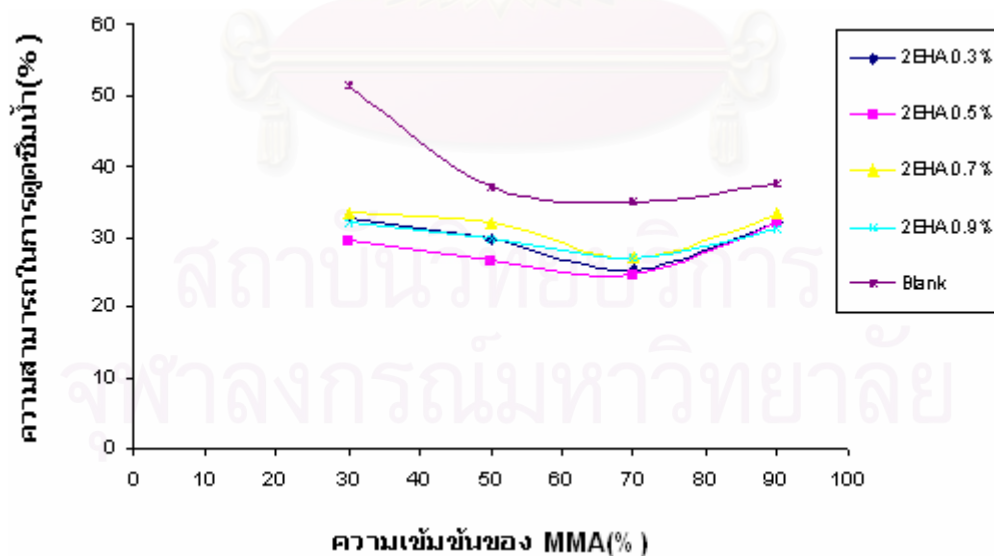
รูปที่ ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิล เมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.44 กิโลเกรย์



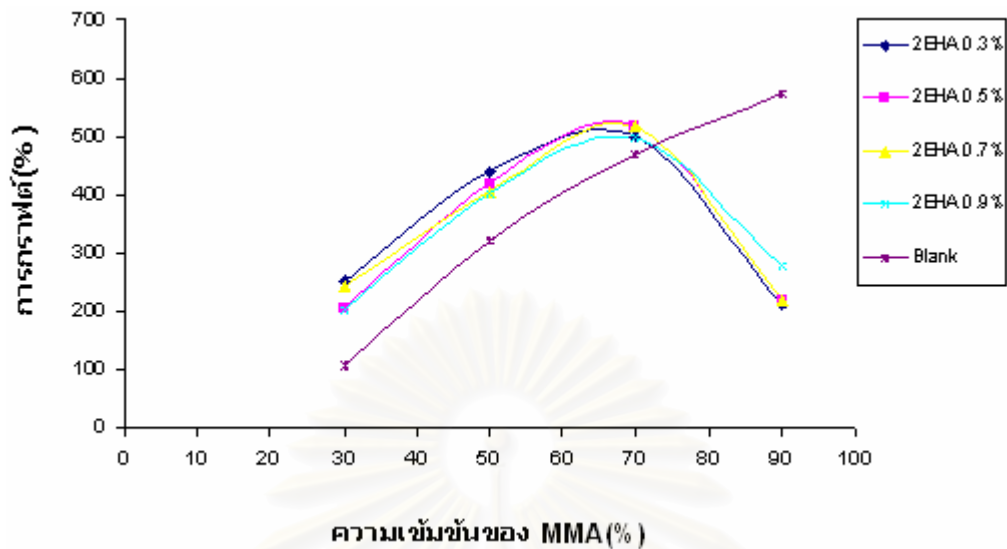
รูปที่ ค-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.44 กิโลเกรย์



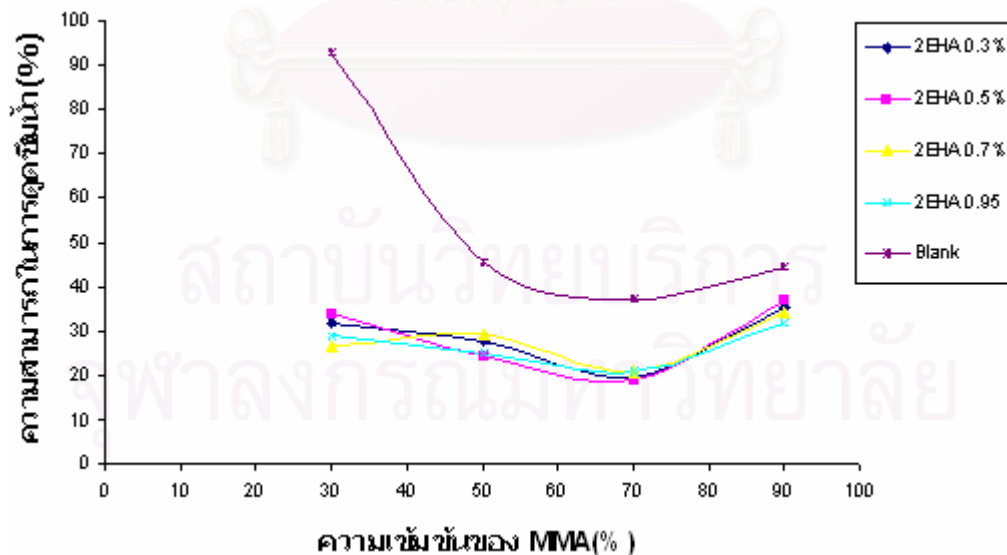
รูปที่ ค-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.83 กิโลเกรย์



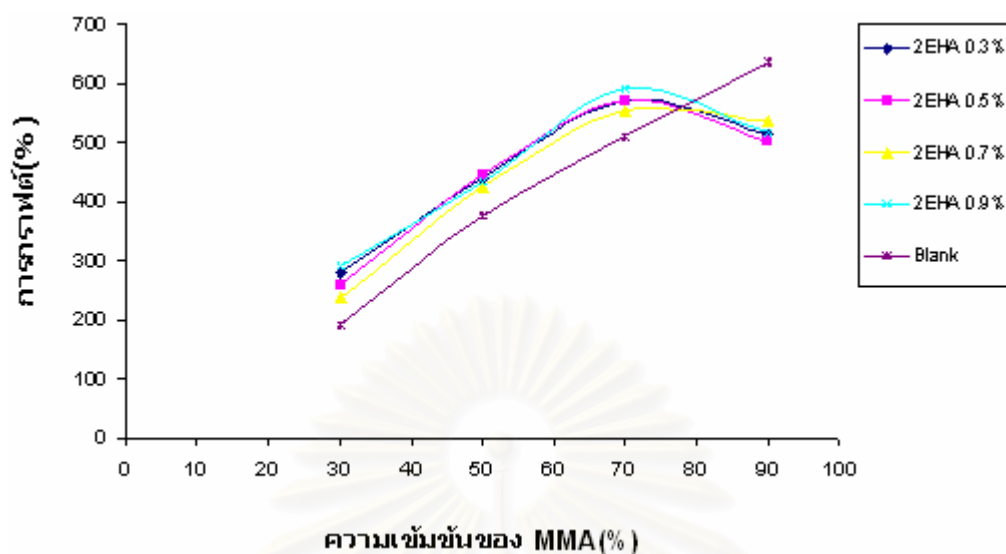
รูปที่ ค-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.83 กิโลเกรย์



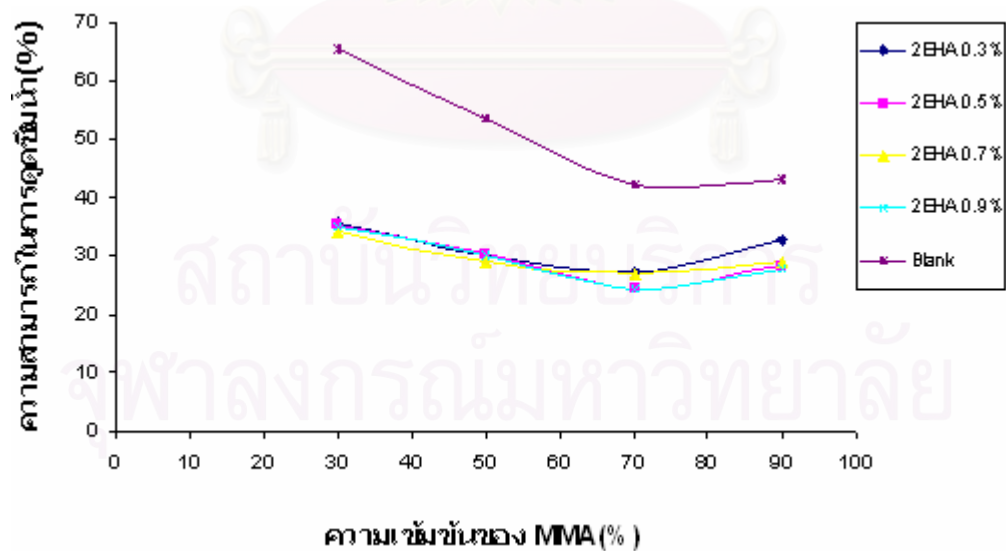
รูปที่ ค-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์



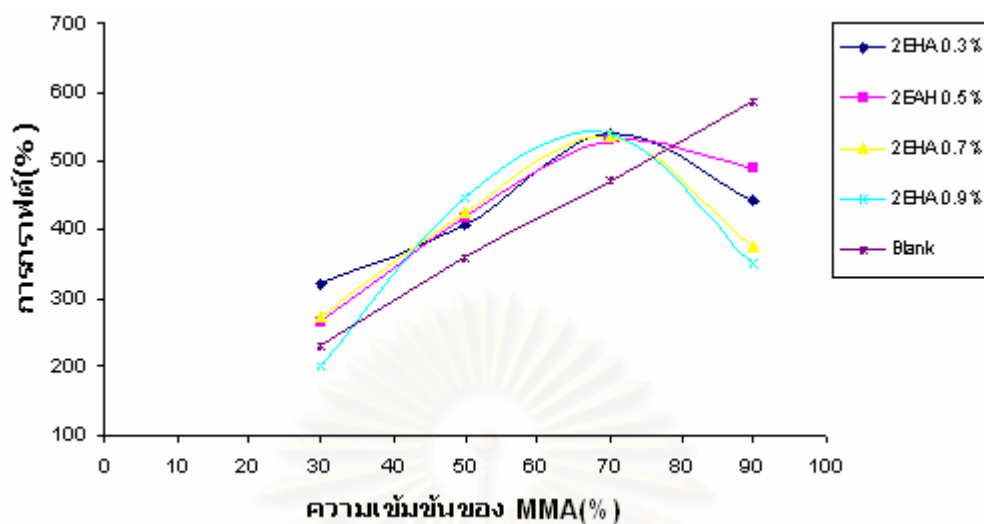
รูปที่ ค-10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์



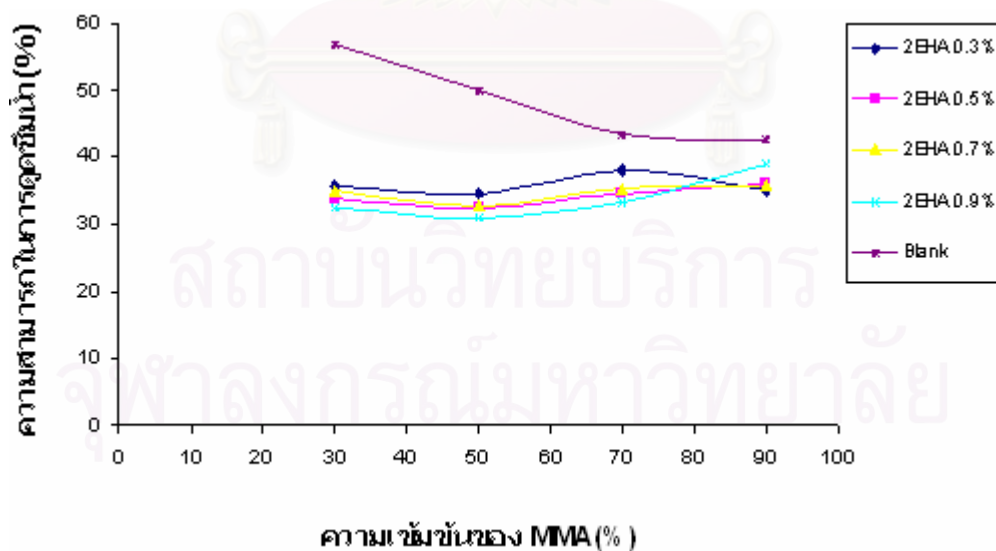
รูปที่ ค-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์



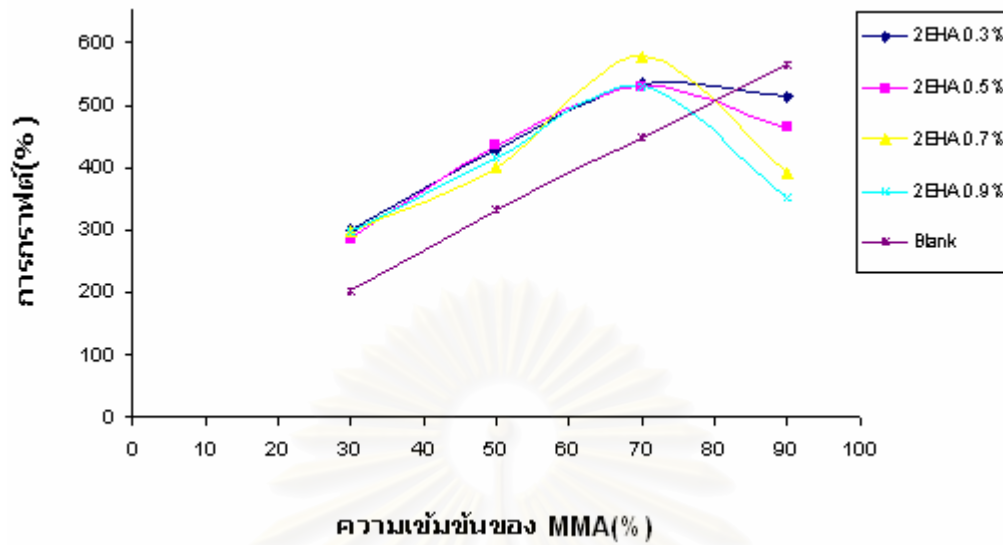
รูปที่ ค-12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์



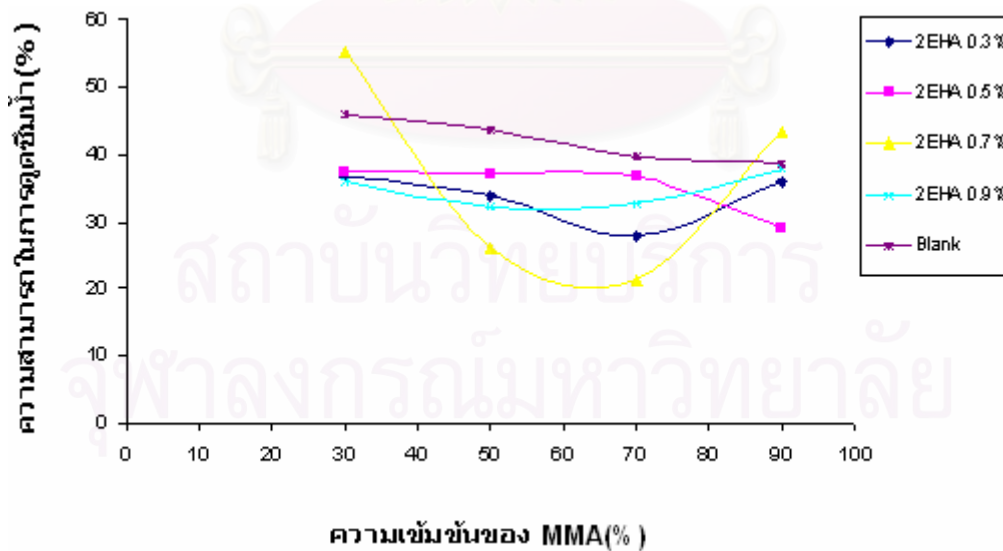
รูปที่ ค-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.53 กิโลเกรย์



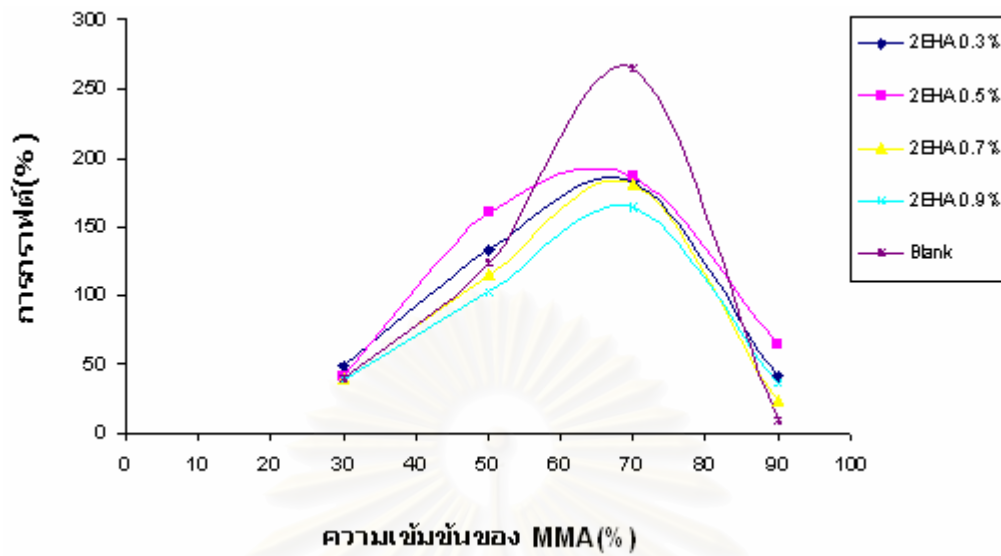
รูปที่ ค-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.53 กิโลเกรย์



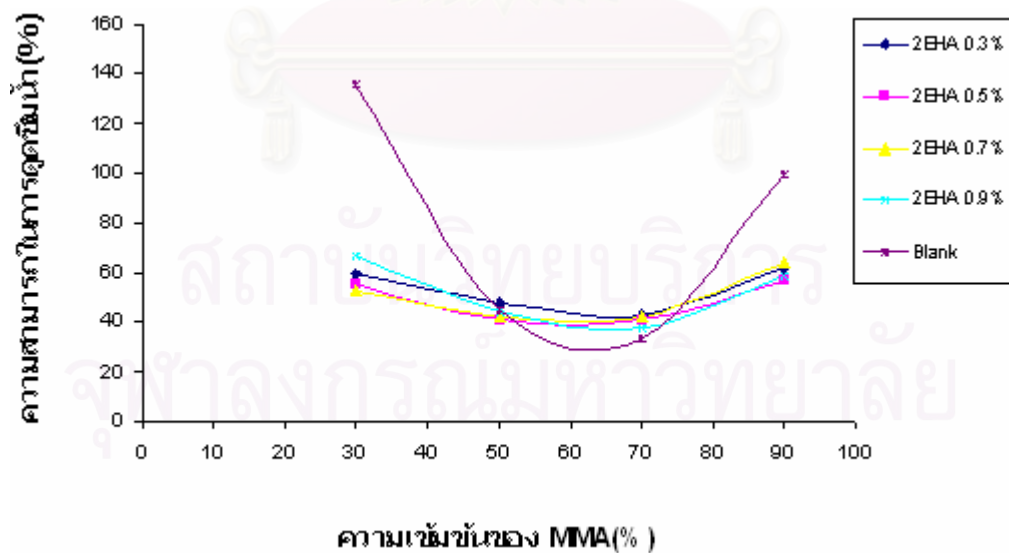
รูปที่ ค-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 6.68 กิโลเกรย์



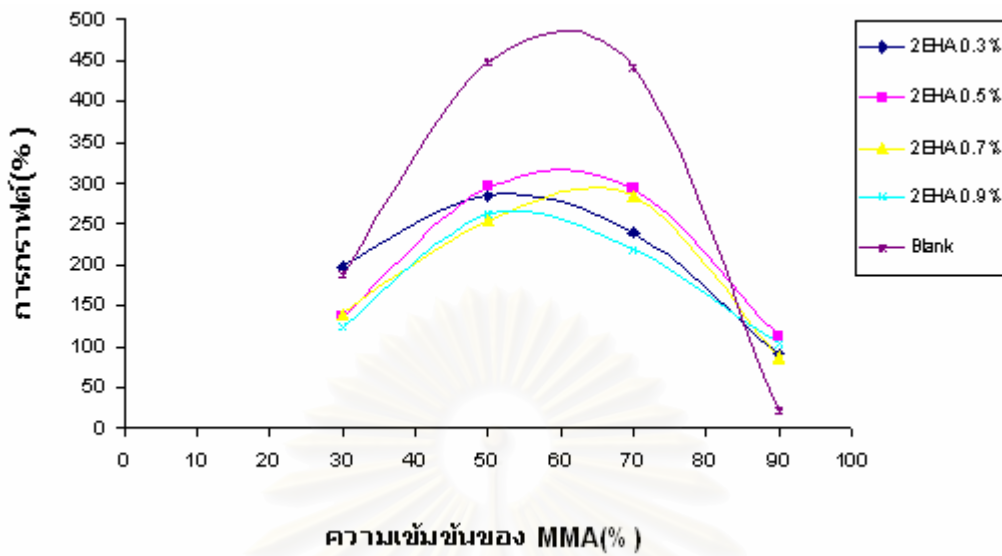
รูปที่ ค-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 6.68 กิโลเกรย์



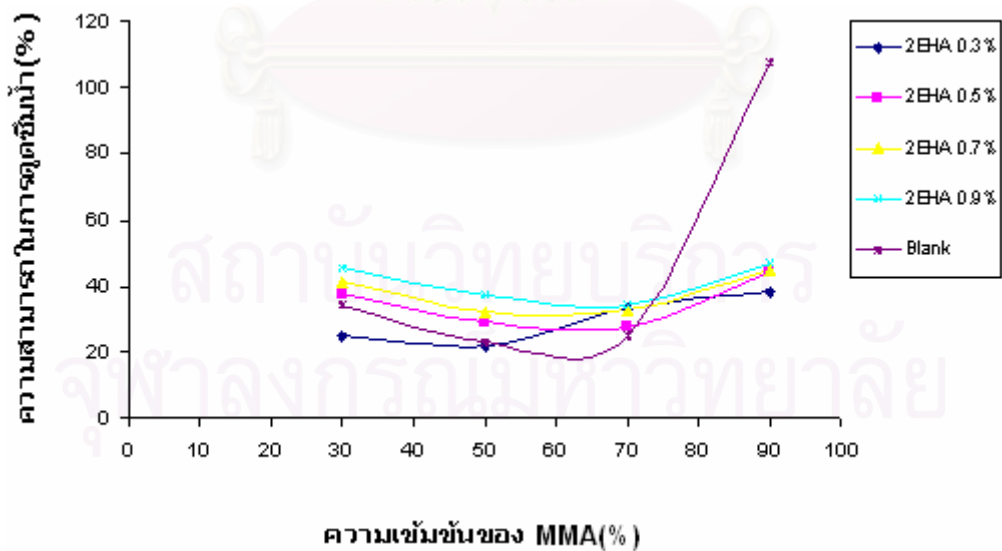
รูปที่ ค-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.37 กิโลเกรย์



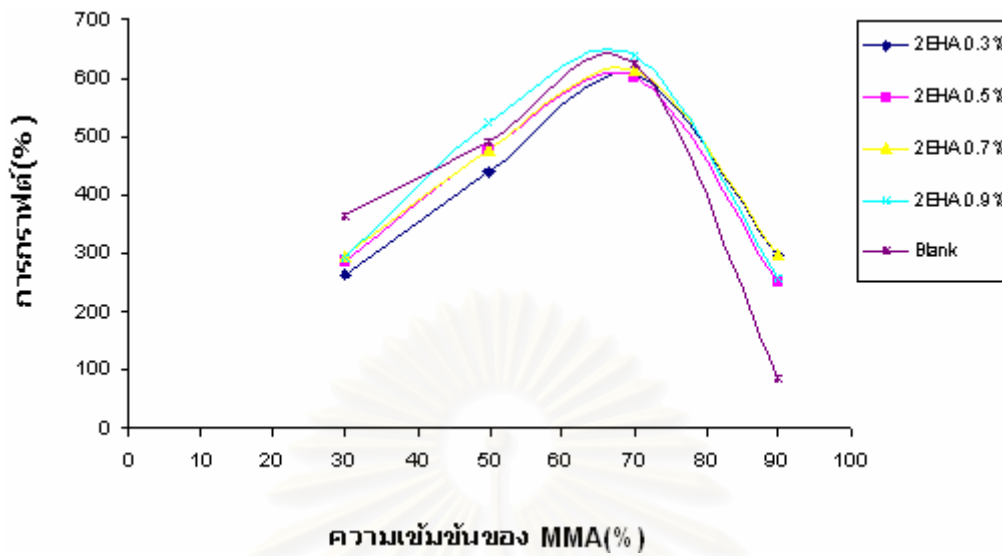
รูปที่ ค-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.37 กิโลเกรย์



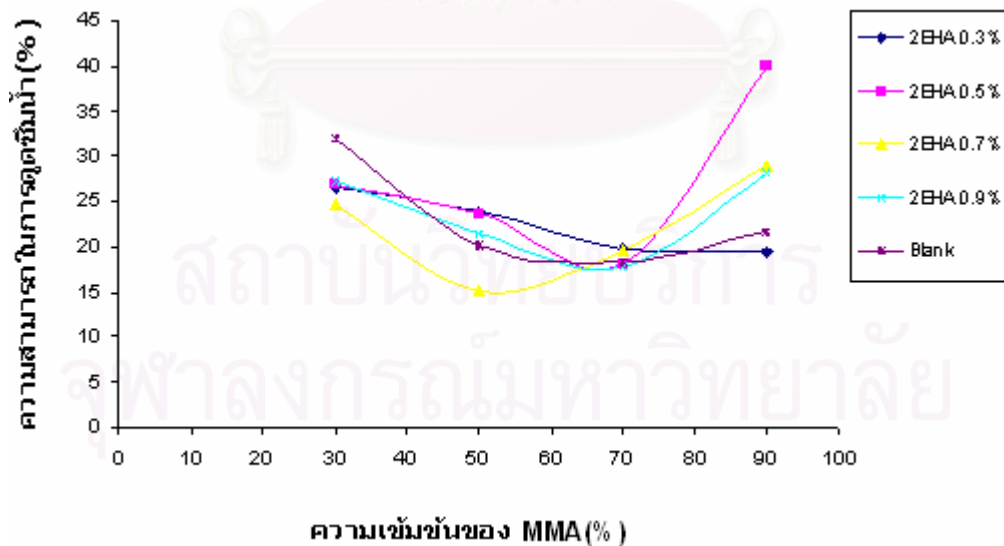
รูปที่ ค-19 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.74 กิโลเกรย์



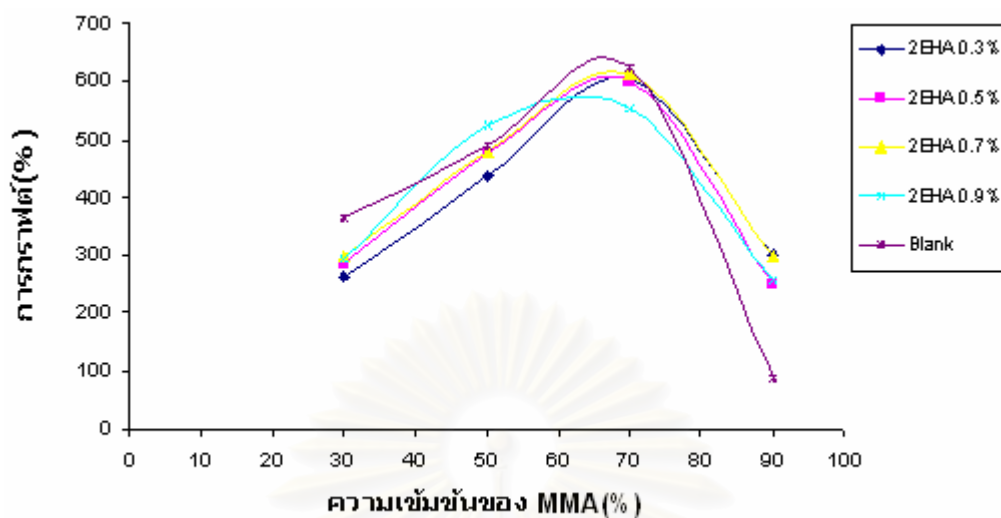
รูปที่ ค-20 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.74 กิโลเกรย์



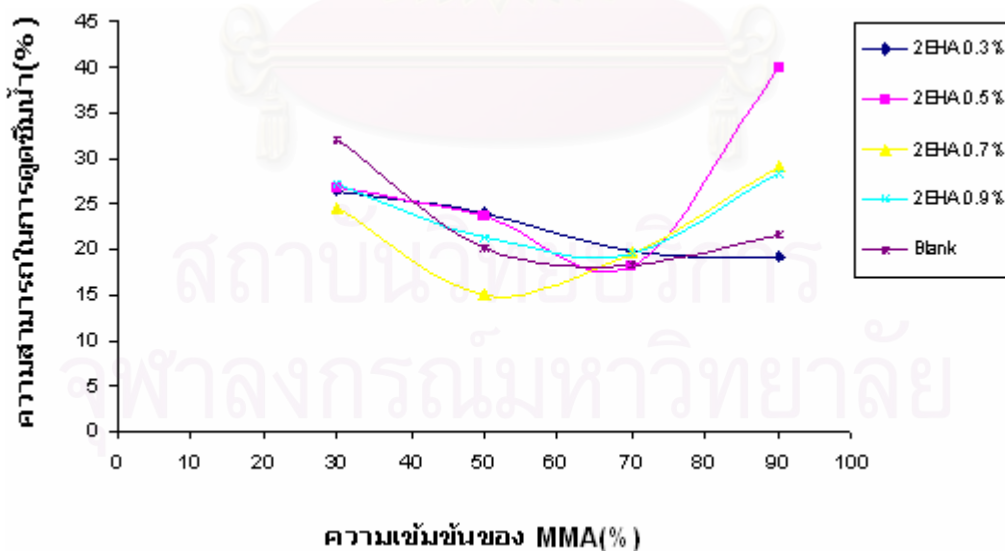
รูปที่ ค-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.46 กิโลเกรย์



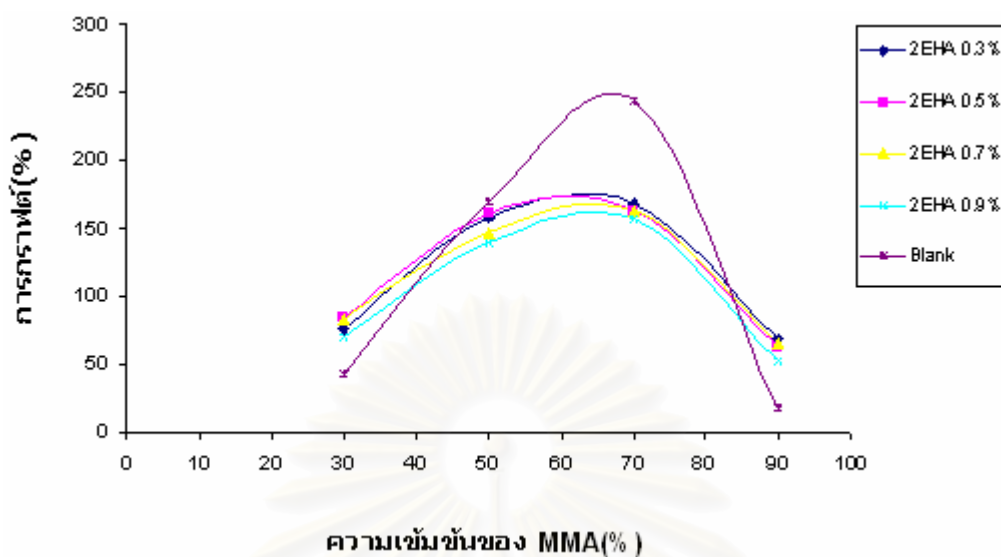
รูปที่ ค-22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.46 กิโลเกรย์



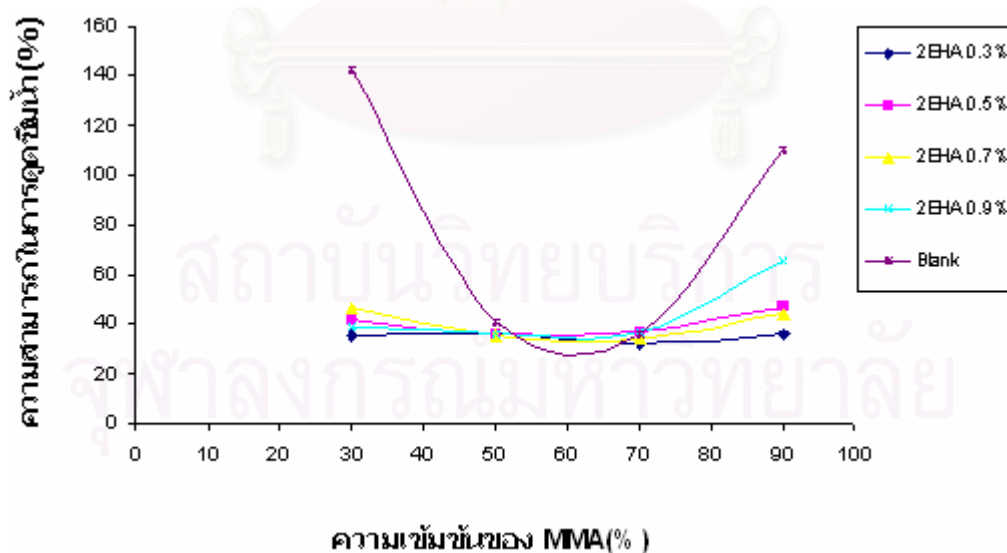
รูปที่ ค-23 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



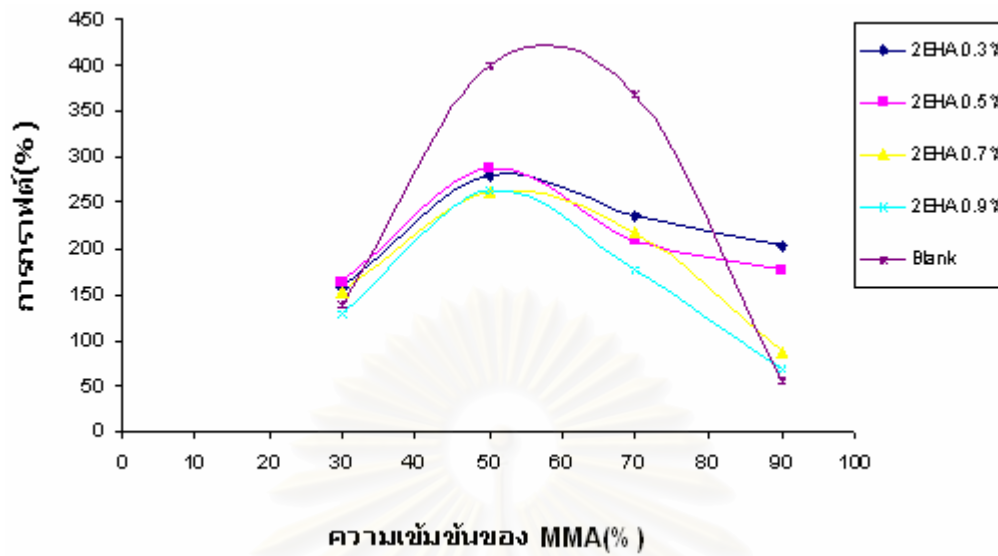
รูปที่ ค-24 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



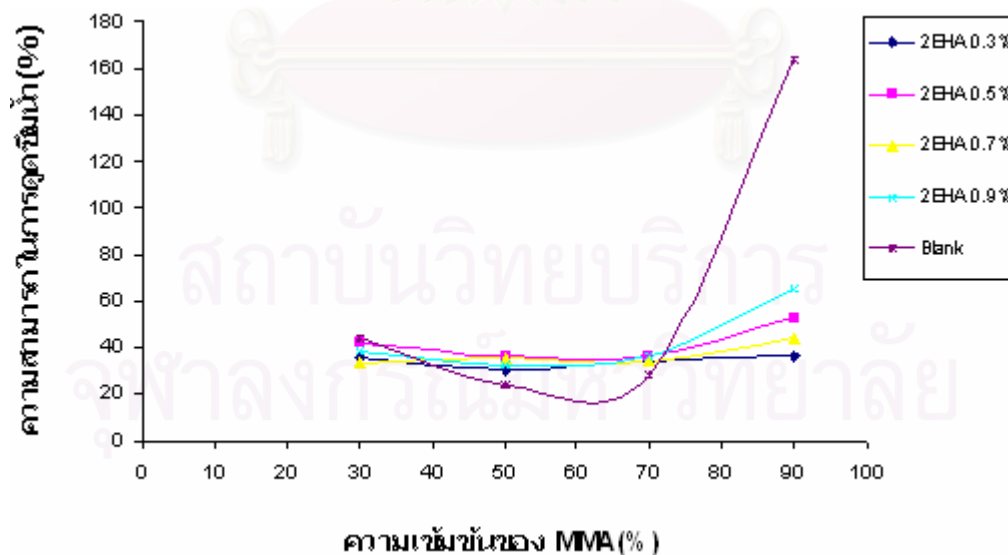
รูปที่ ค-25 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.67 กิโลเกรย์



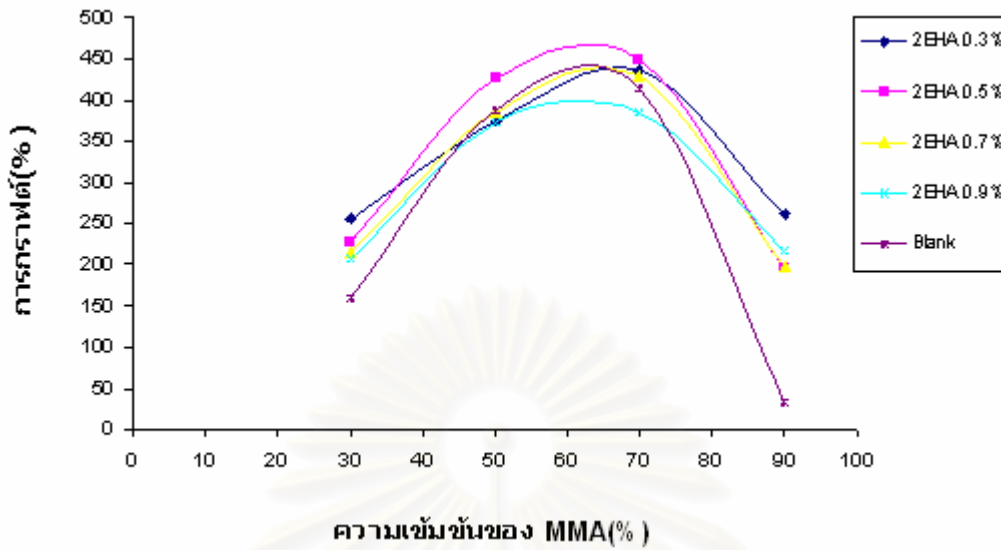
รูปที่ ค-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.67 กิโลเกรย์



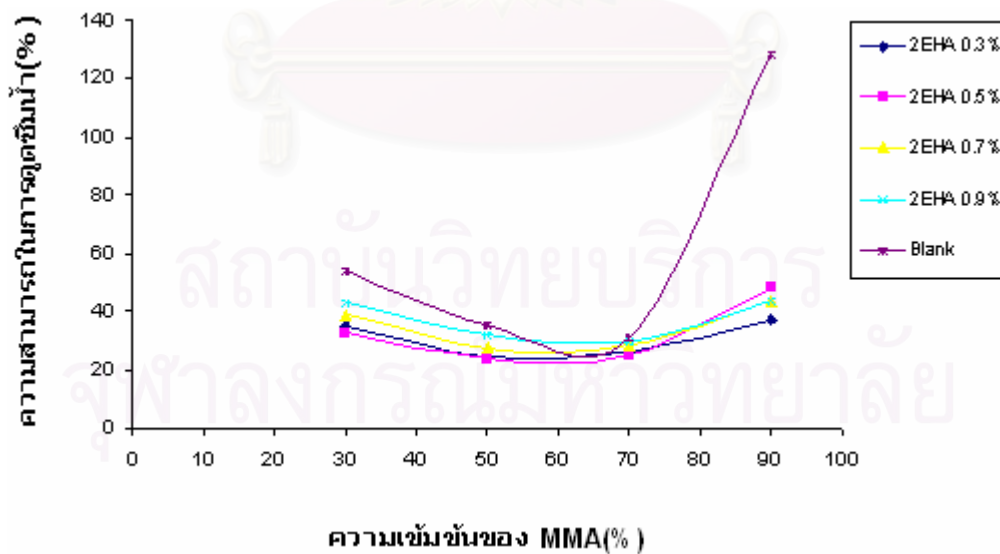
รูปที่ ค-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.62 กิโลเกรย์



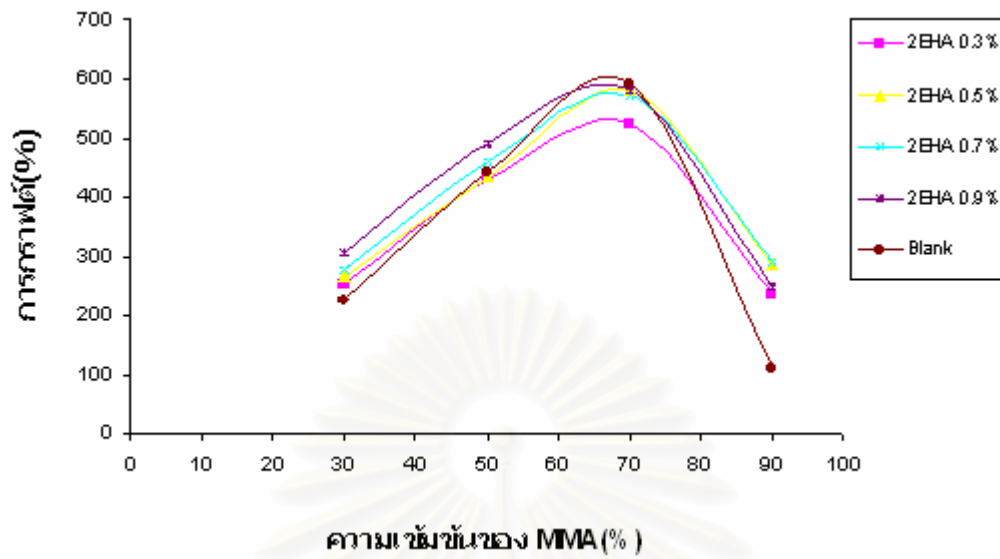
รูปที่ ค-28 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.62 กิโลเกรย์



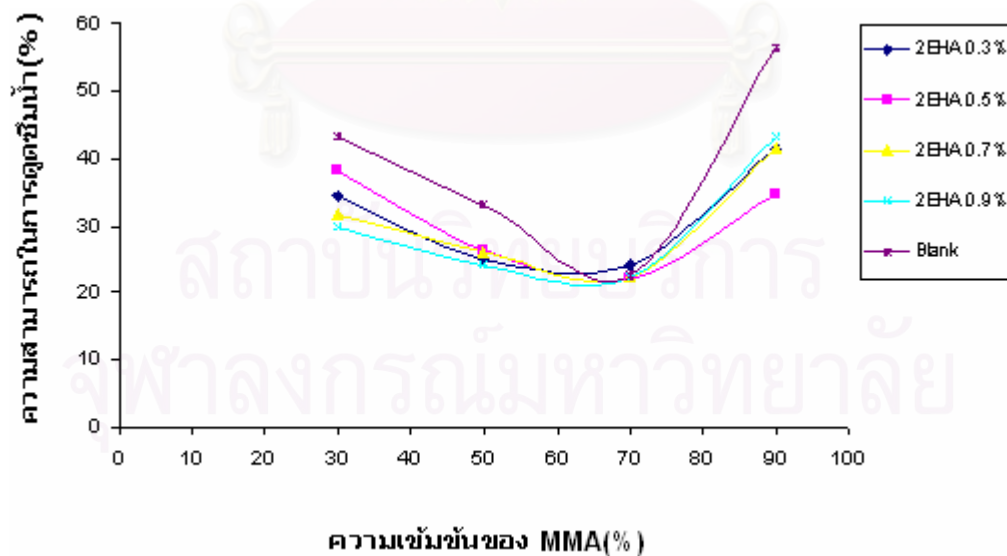
รูปที่ ค-29 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.58 กิโลเกรย์



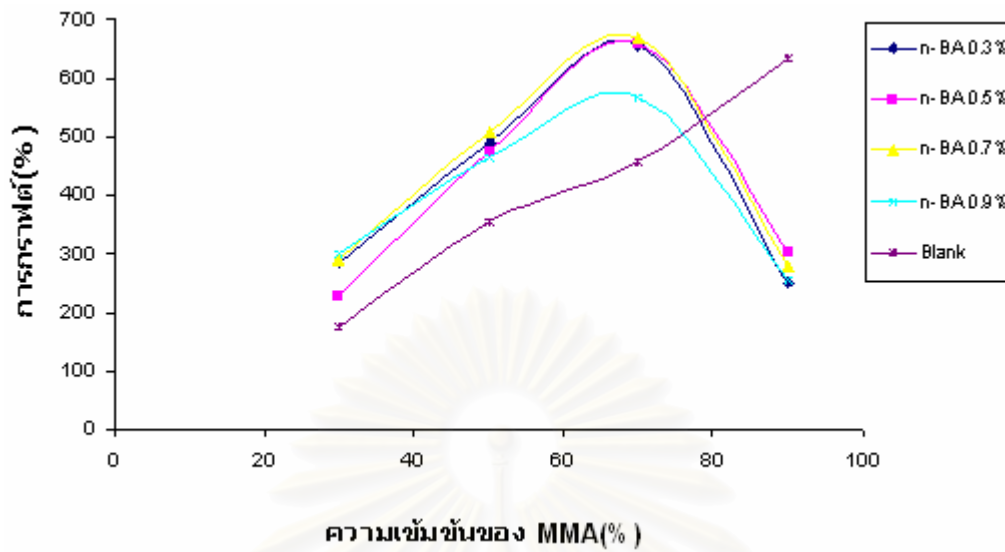
รูปที่ ค-30 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.58 กิโลเกรย์



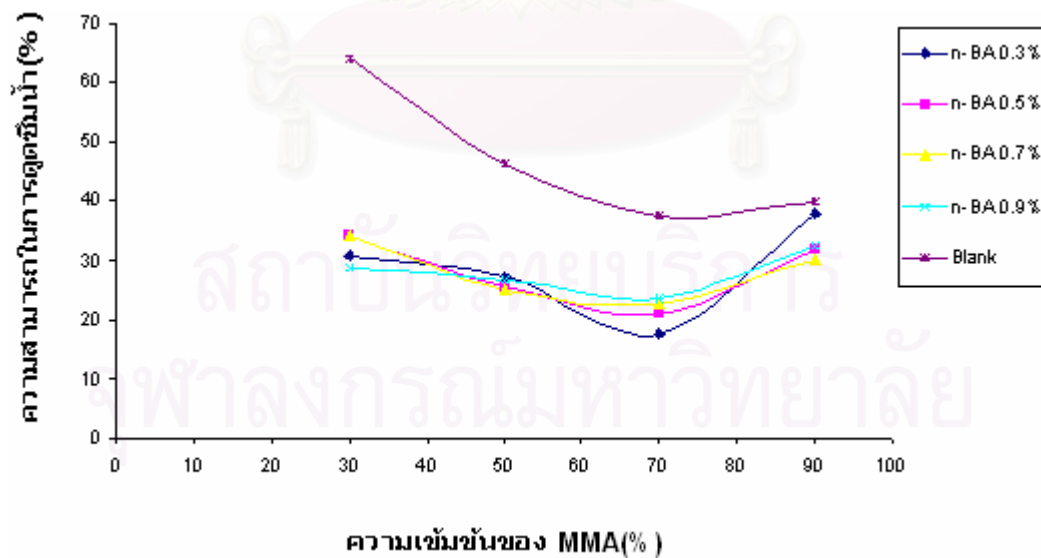
รูปที่ ค-31 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์



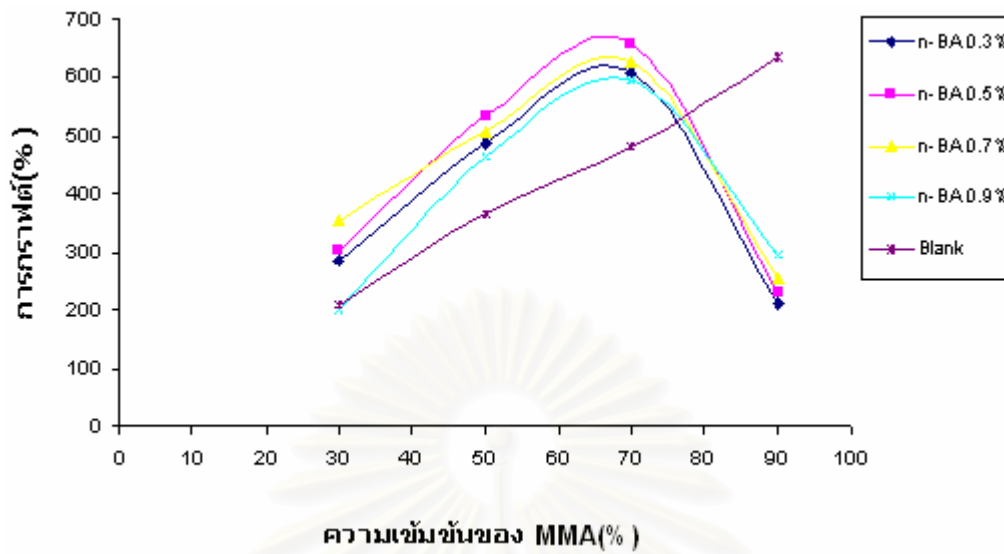
รูปที่ ค-32 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์



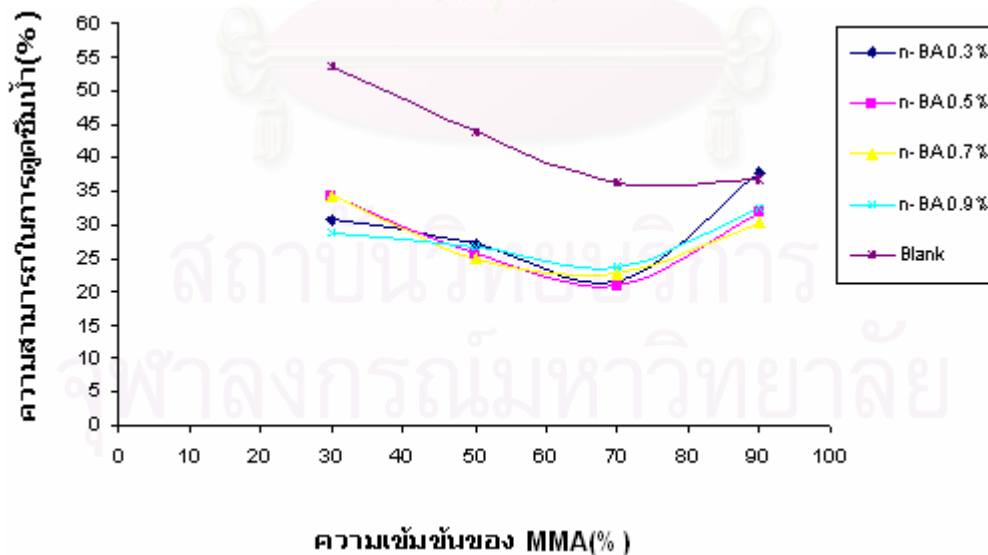
รูปที่ ค-33 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์



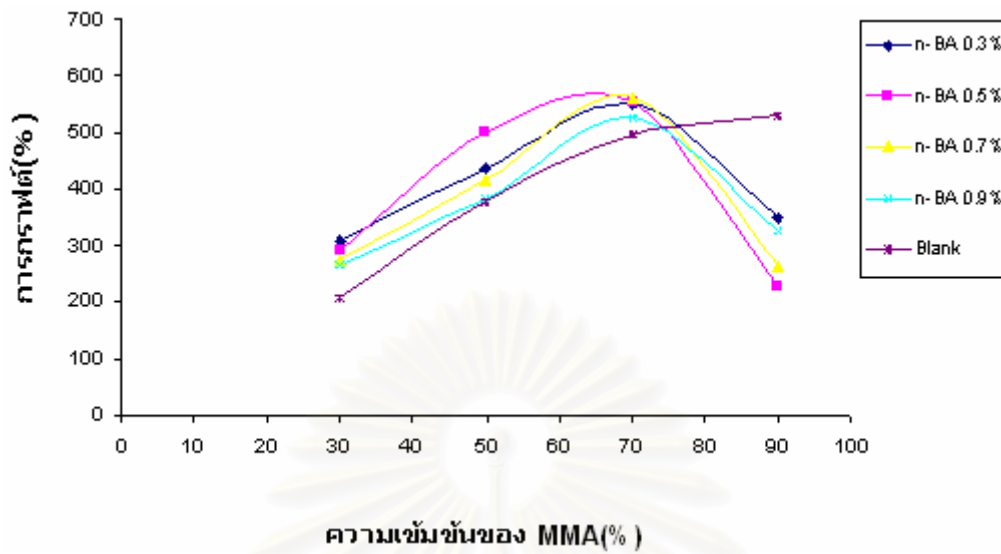
รูปที่ ค-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.64 กิโลเกรย์



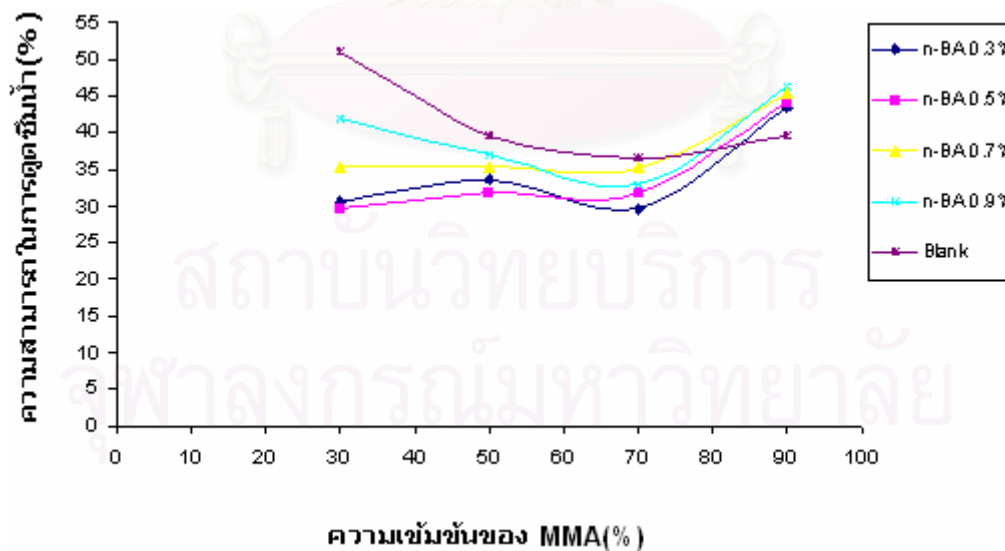
รูปที่ ค-35 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์



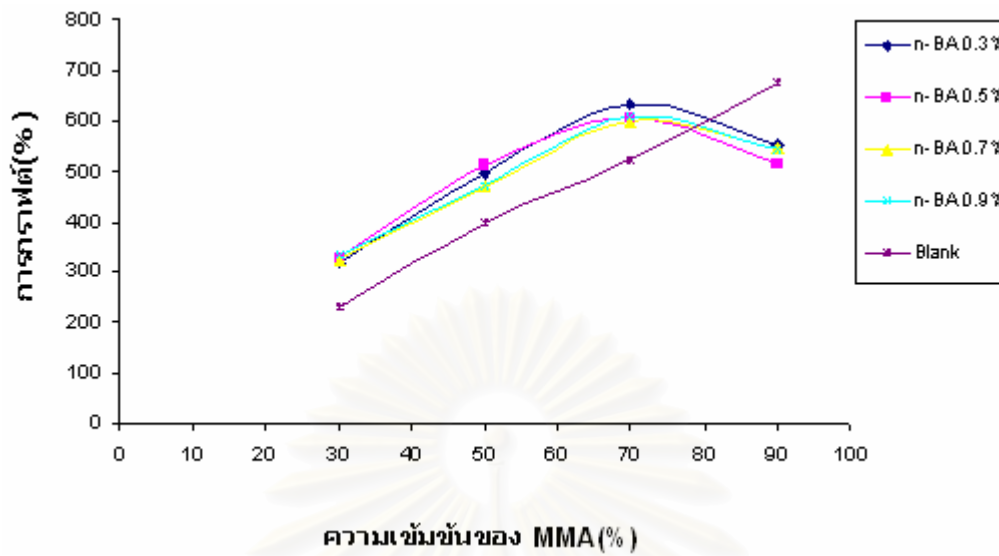
รูปที่ ค-36 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.13 กิโลเกรย์



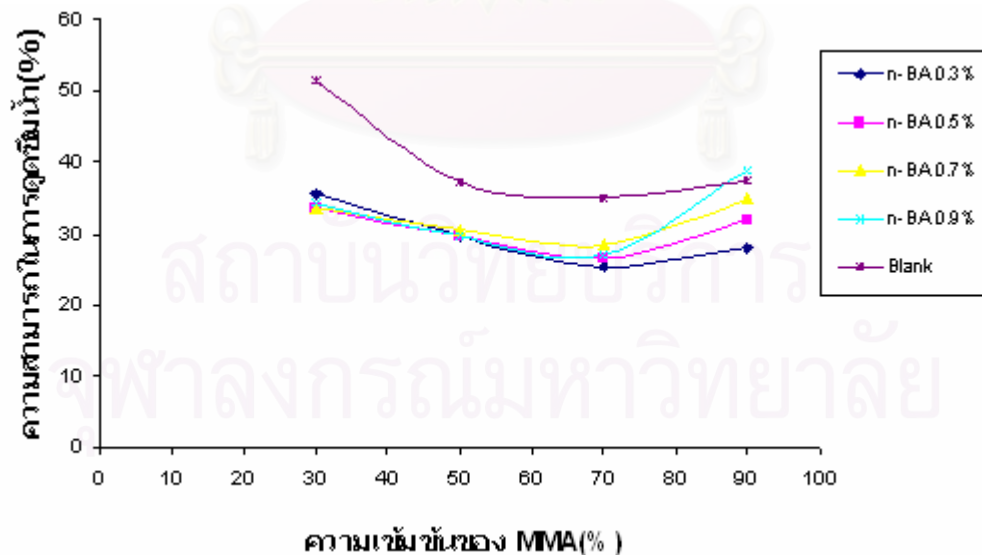
รูปที่ ค-37 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิล เมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.44 กิโลเกรย์



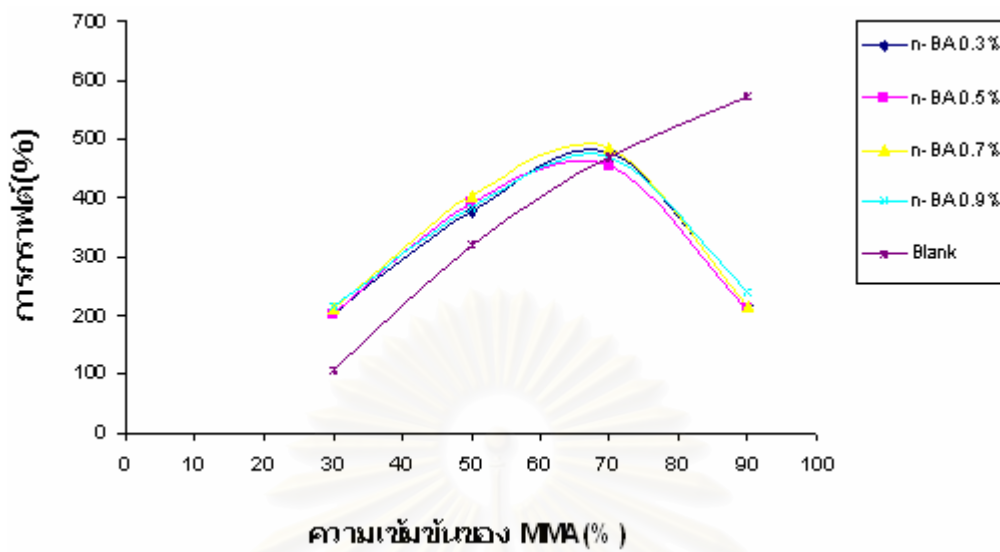
รูปที่ ค-38 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.44 กิโลเกรย์



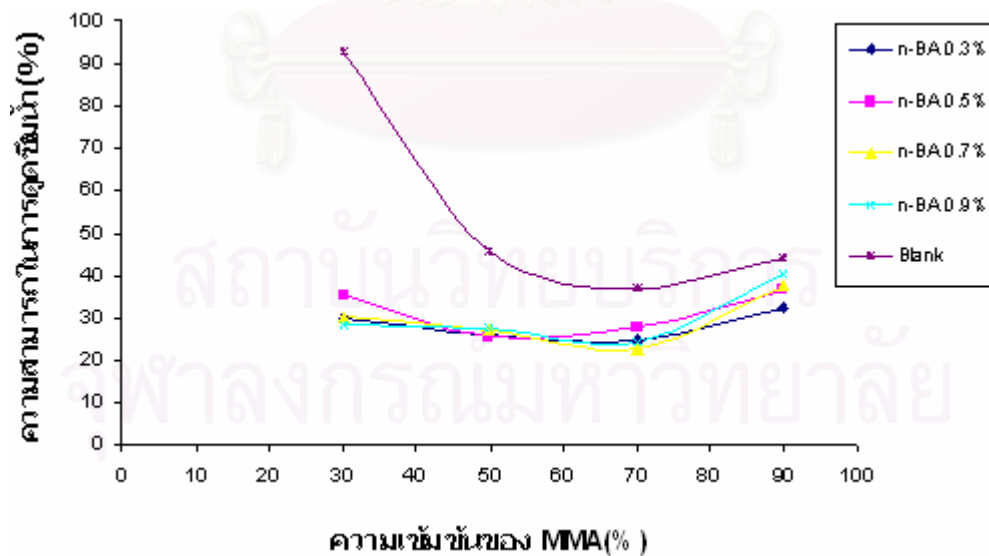
รูปที่ ค-39 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรตต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.83 กิโลเกรย์



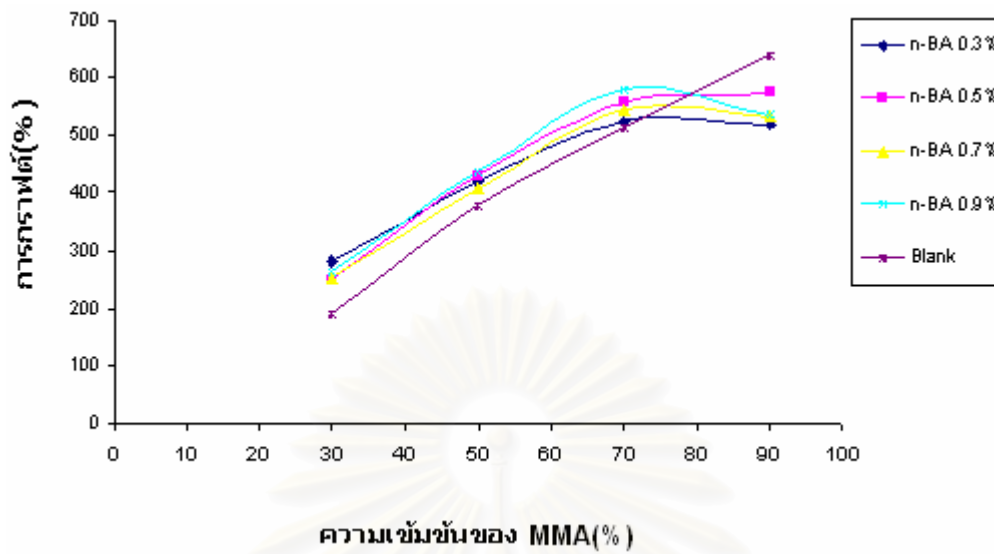
รูปที่ ค-40 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 0.83 กิโลเกรตต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.83 กิโลเกรย์



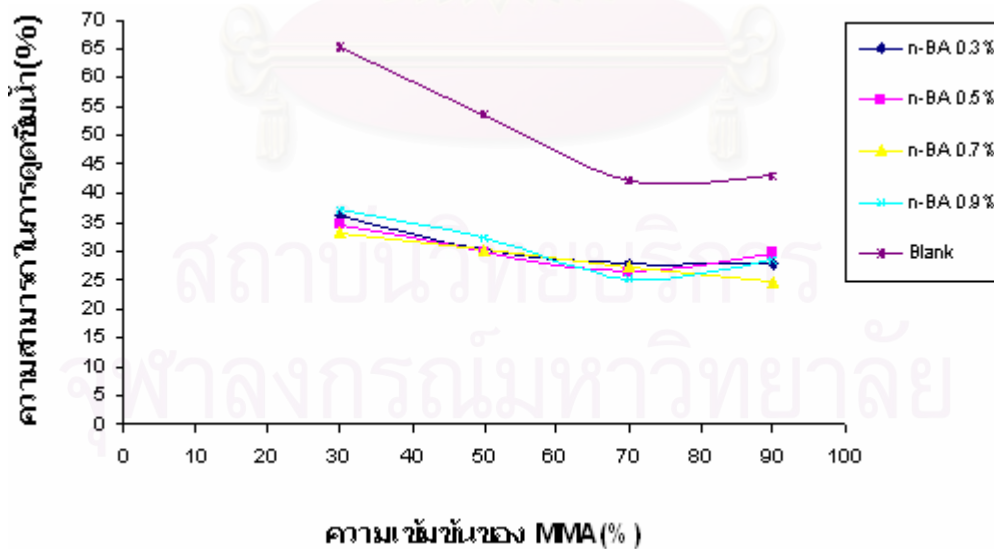
รูปที่ ค-41 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์



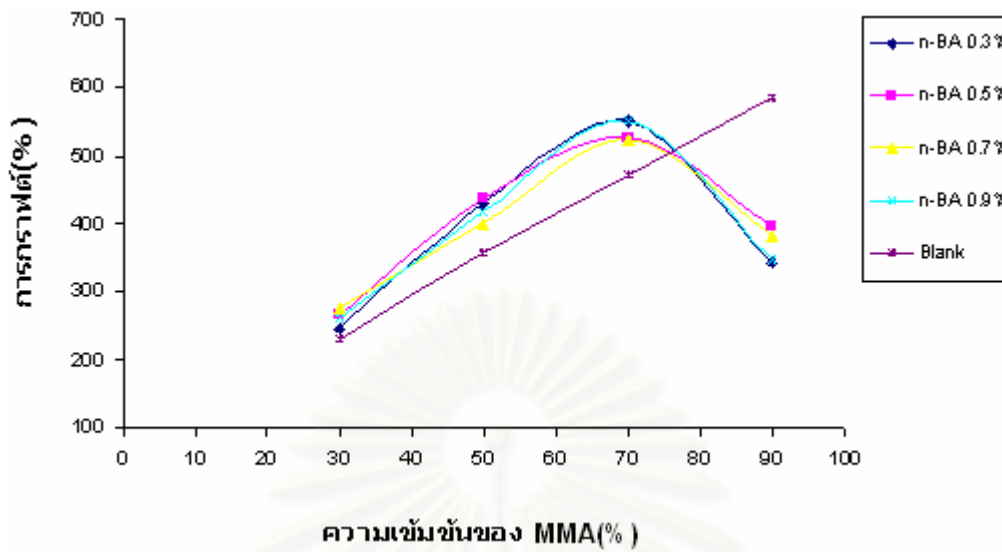
รูปที่ ค-42 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.12 กิโลเกรย์



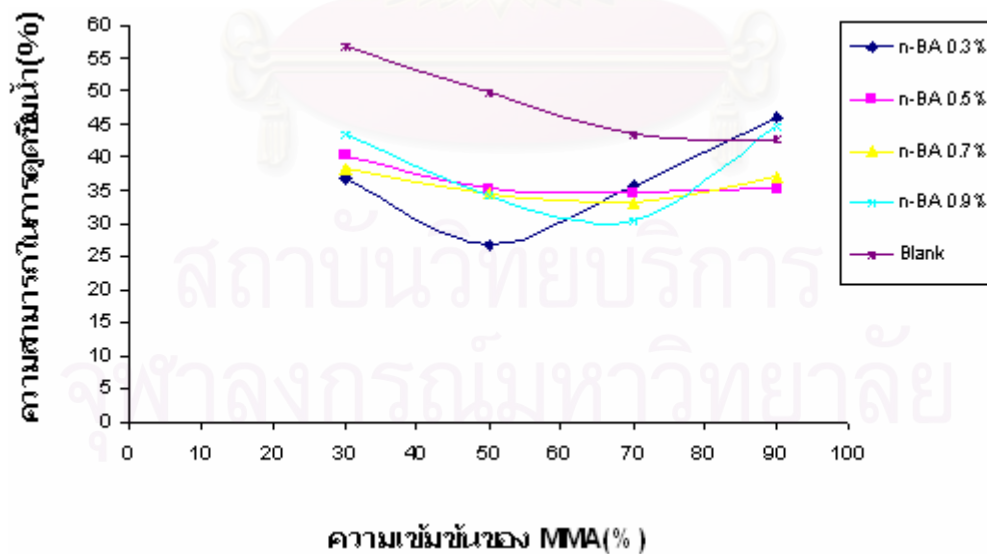
รูปที่ ค-43 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์



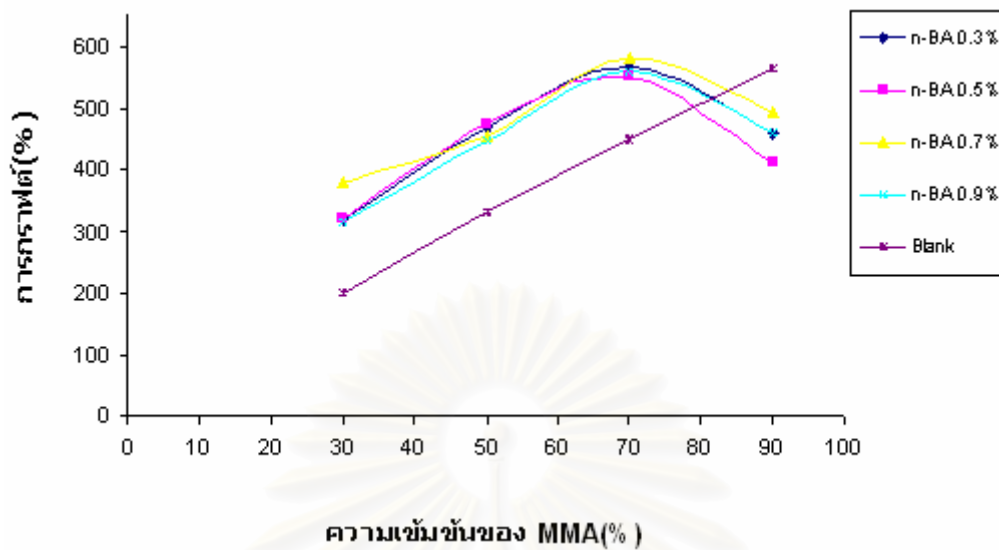
รูปที่ ค-44 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.11 กิโลเกรย์



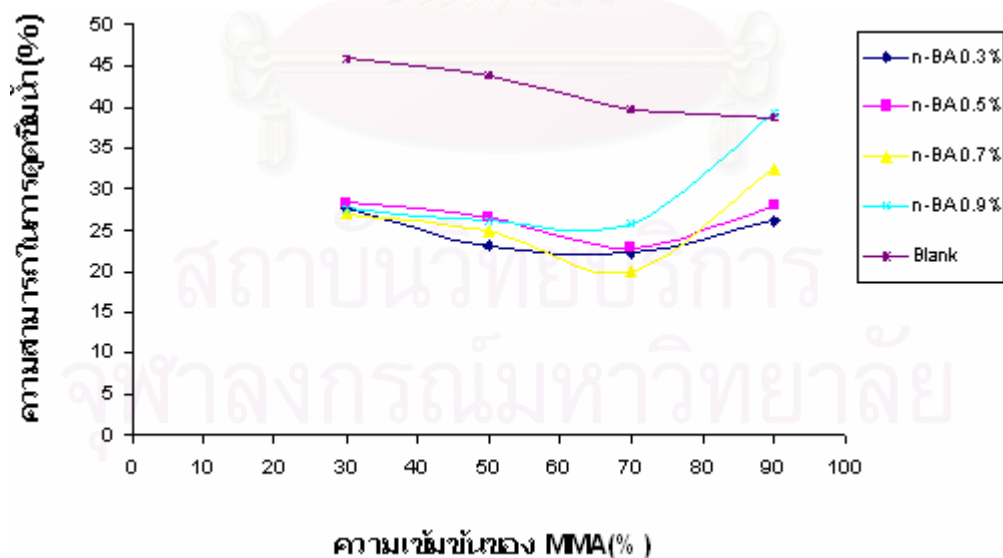
รูปที่ ค-45 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.53 กิโลเกรย์



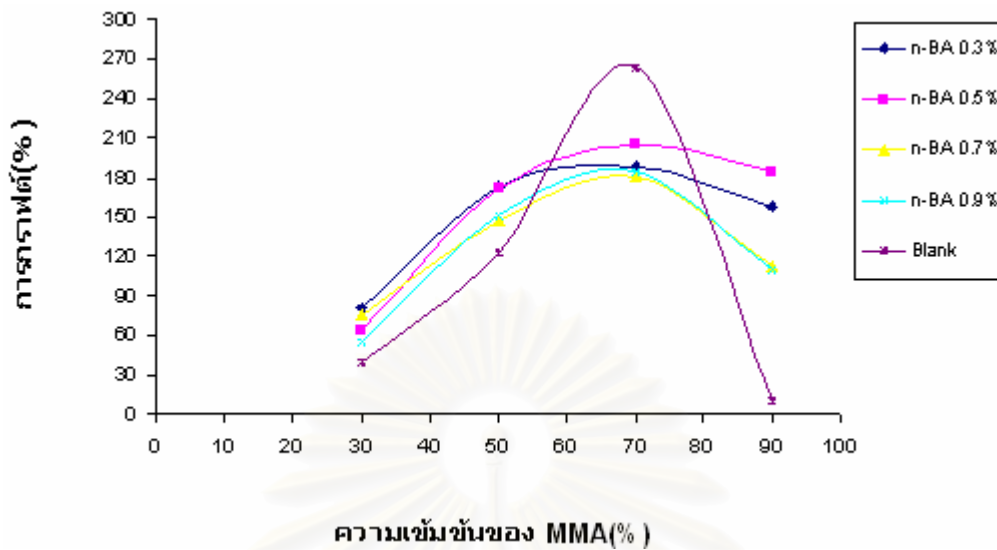
รูปที่ ค-46 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.53 กิโลเกรย์



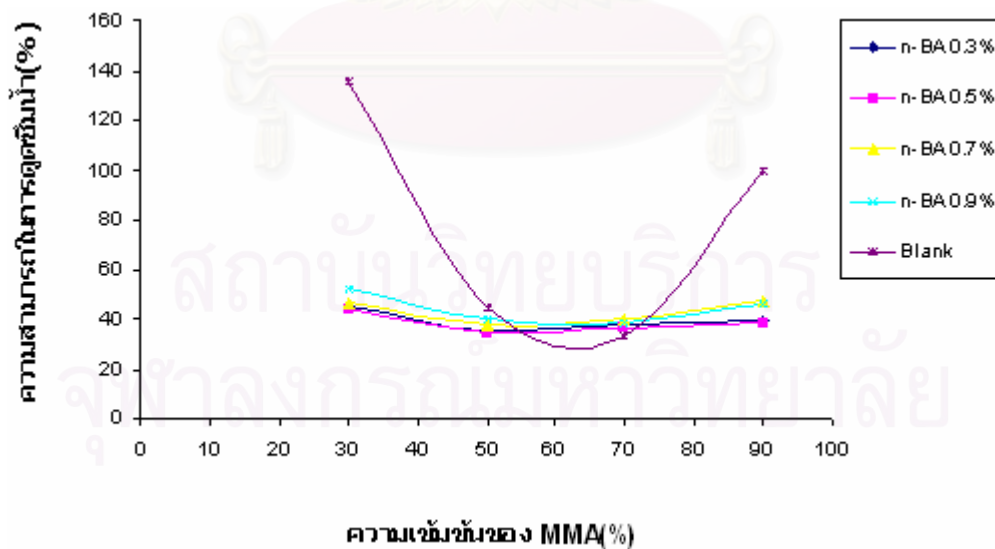
รูปที่ ค-47 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 6.68 กิโลเกรย์



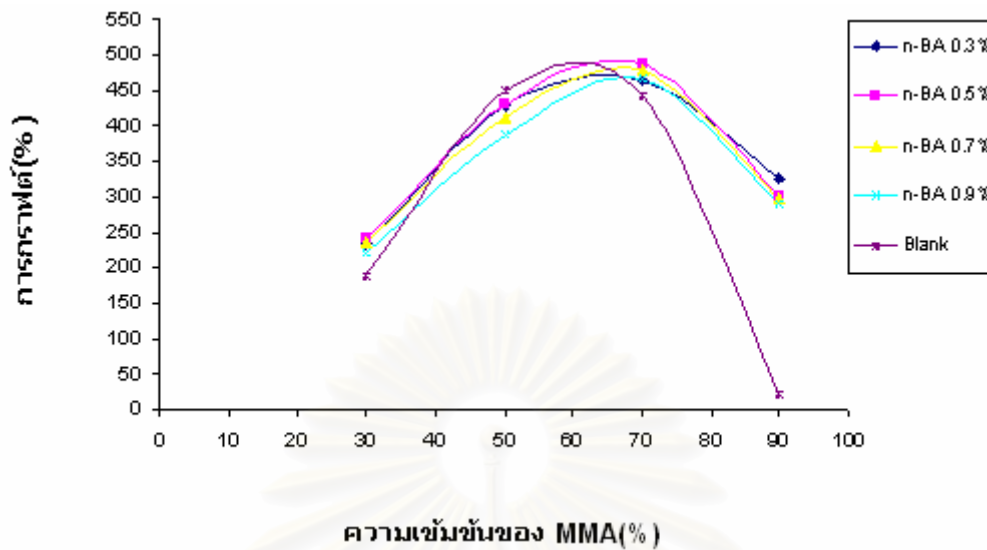
รูปที่ ค-48 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 1.84 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 6.68 กิโลเกรย์



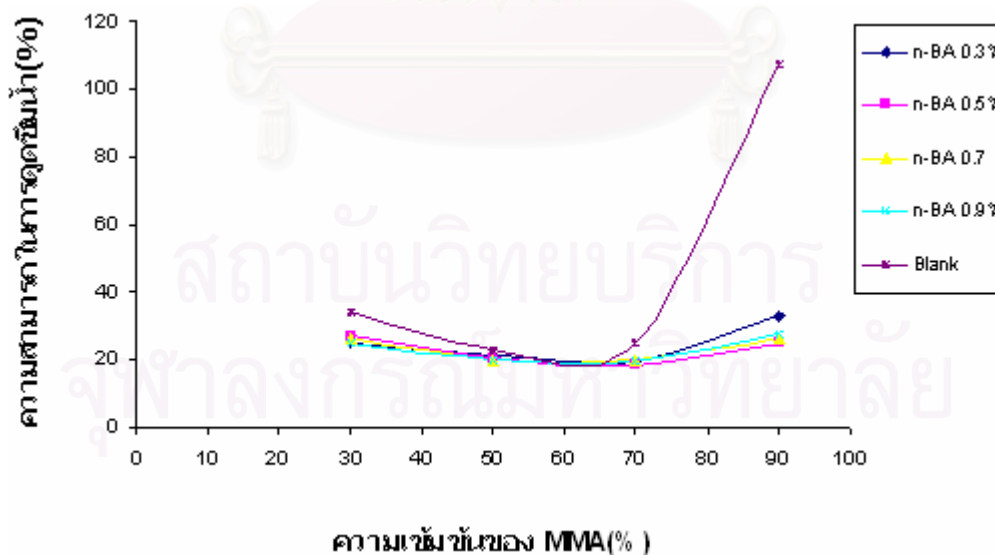
รูปที่ ค-49 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.37 กิโลเกรย์



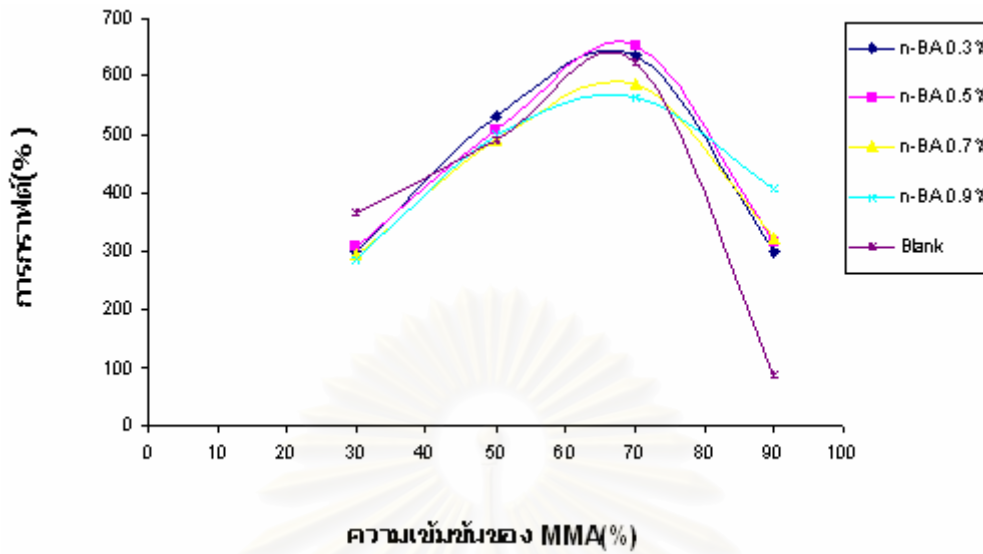
รูปที่ ค-50 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.37 กิโลเกรย์



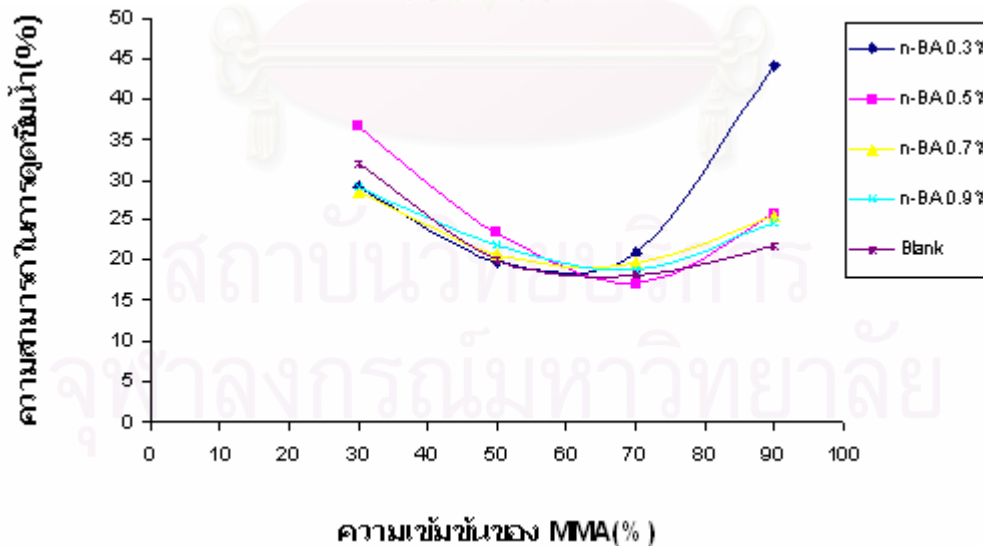
รูปที่ ค-51 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.74 กิโลเกรย์



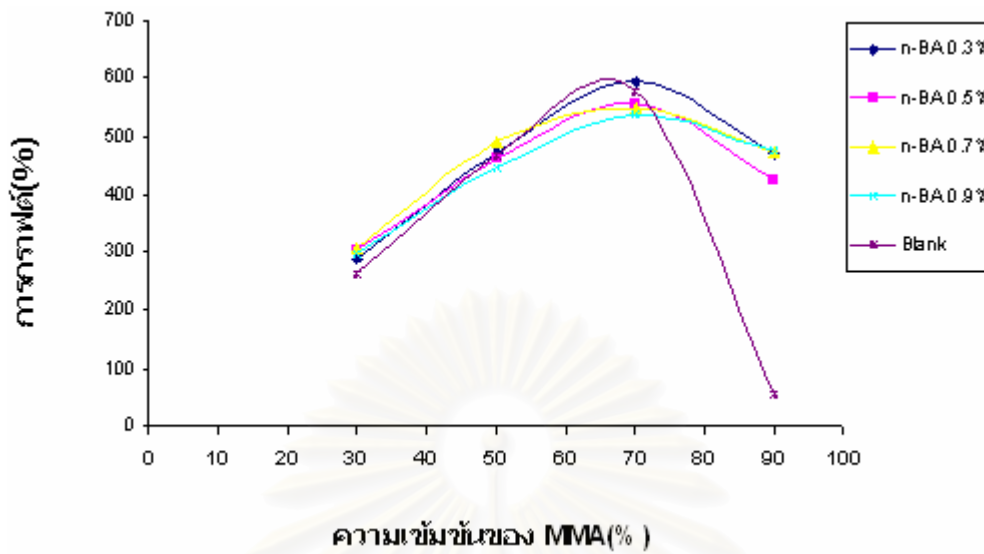
รูปที่ ค-52 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.74 กิโลเกรย์



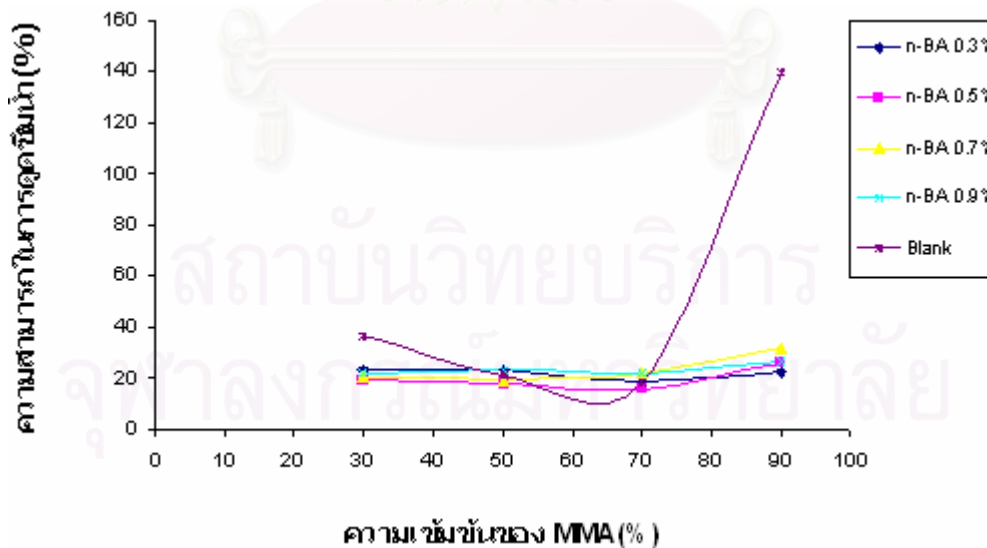
รูปที่ ค-53 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.46 กิโลเกรย์



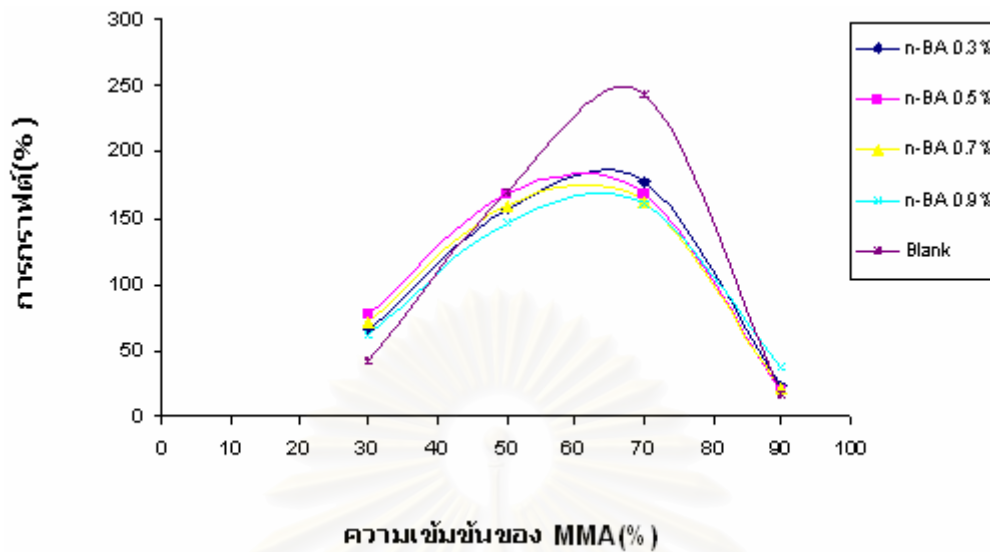
รูปที่ ค-54 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.46 กิโลเกรย์



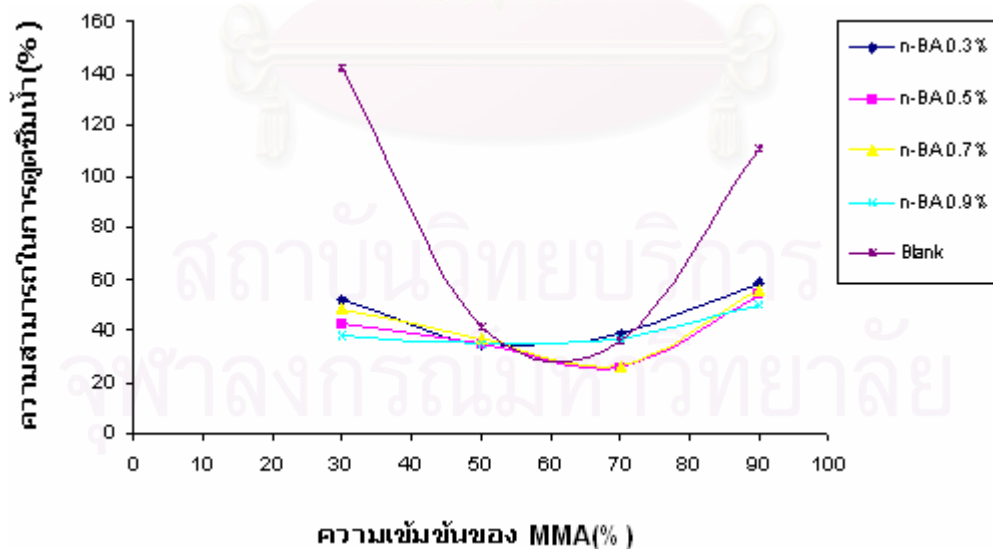
รูปที่ ค-55 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



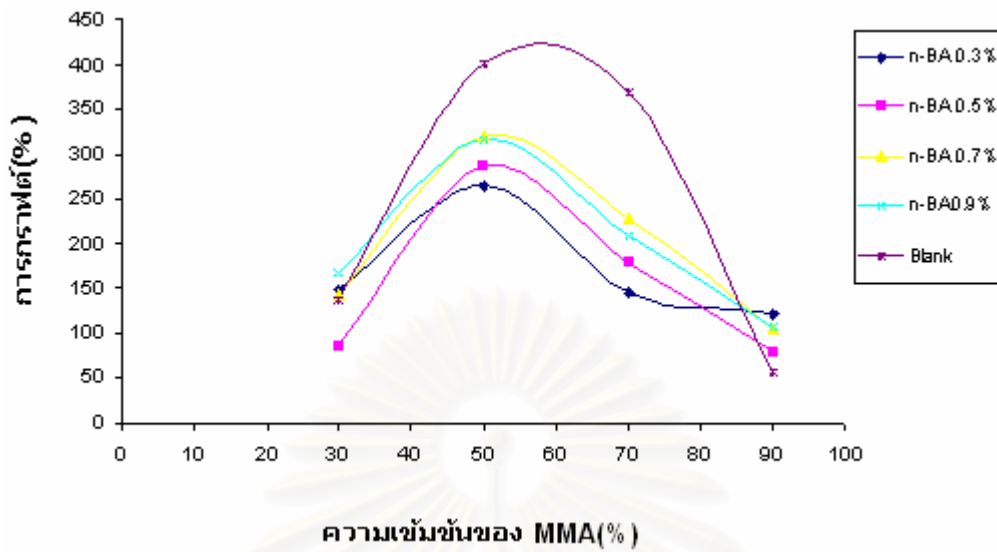
รูปที่ ค-56 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 3.88 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.51 กิโลเกรย์



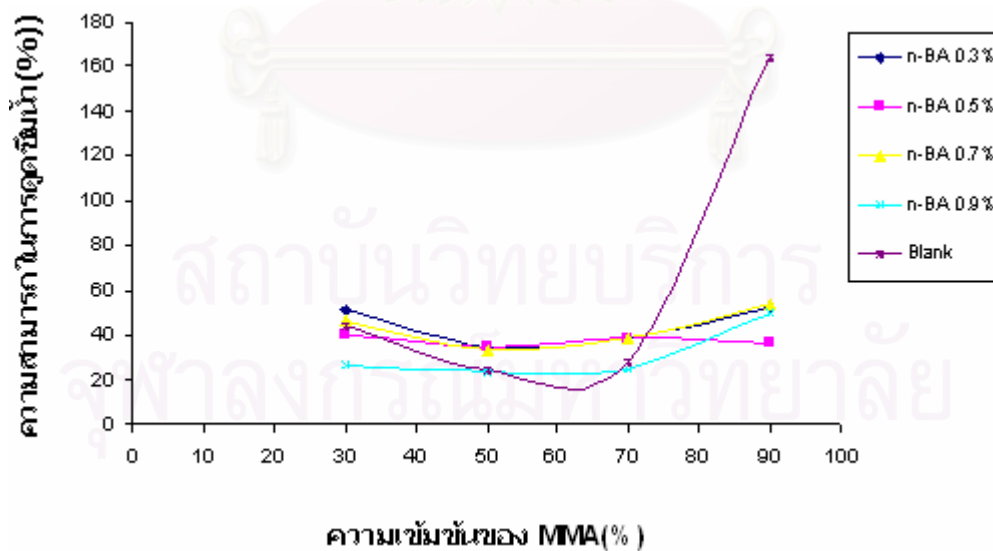
รูปที่ ค-57 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.67 กิโลเกรย์



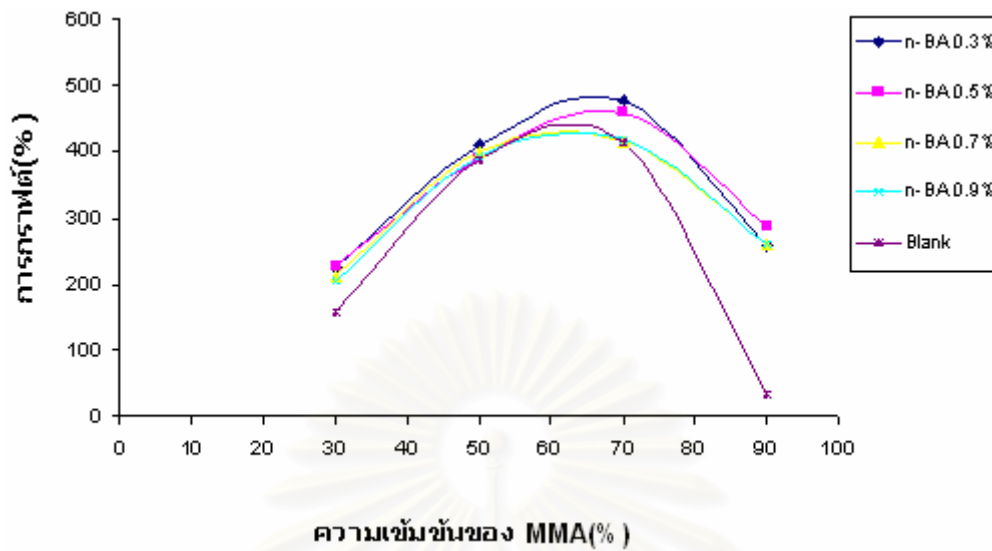
รูปที่ ค-58 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 2.67 กิโลเกรย์



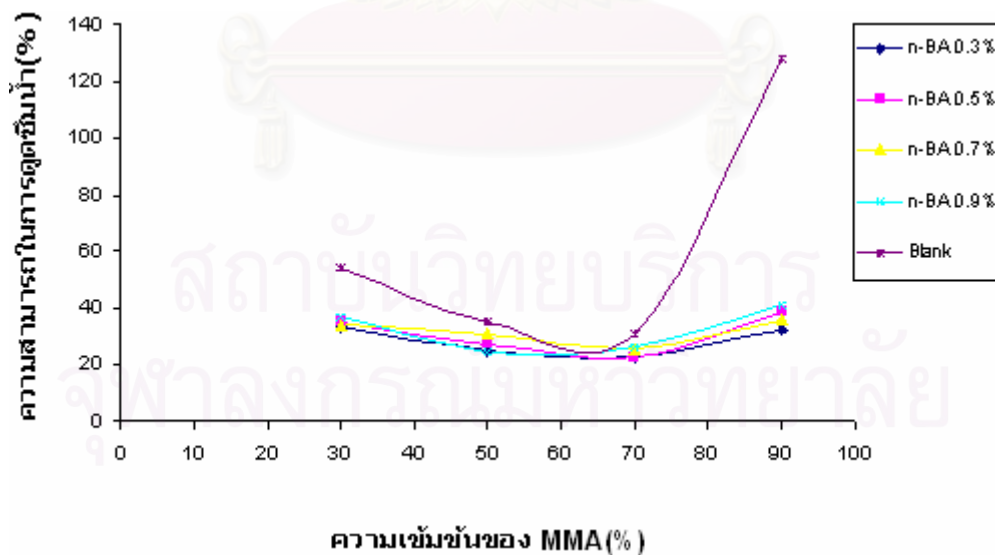
รูปที่ ค-59 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.62 กิโลเกรย์



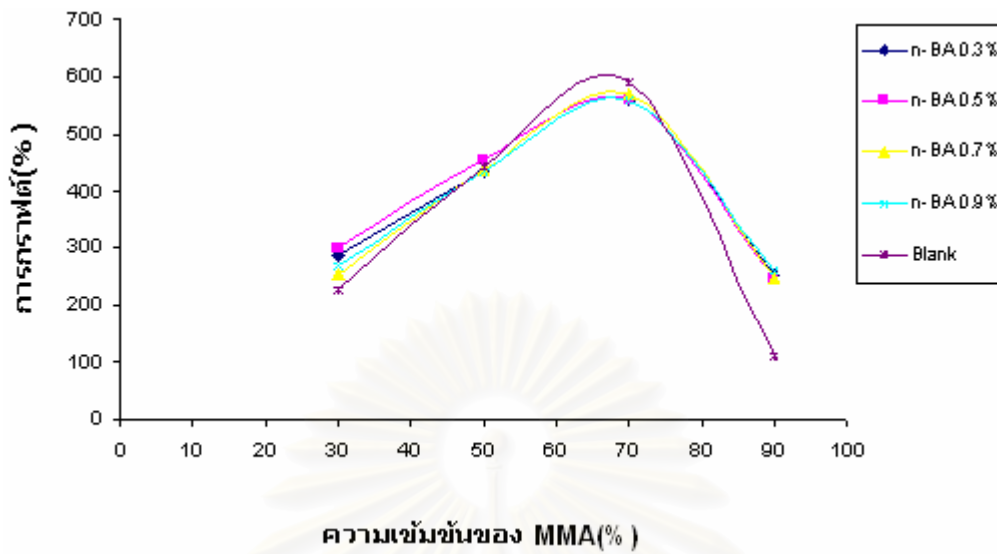
รูปที่ ค-60 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 3.62 กิโลเกรย์



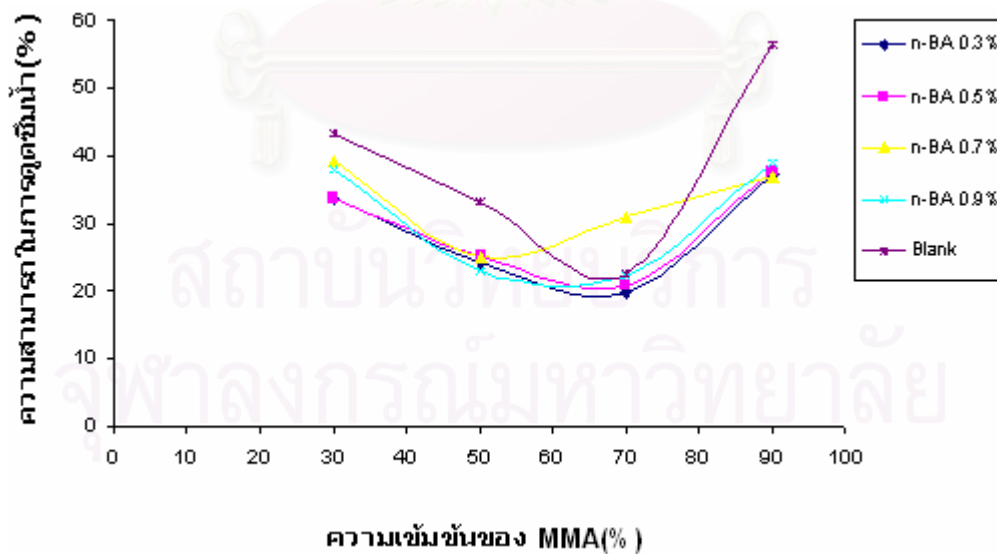
รูปที่ ค-61 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.58 กิโลเกรย์



รูปที่ ค-62 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 4.58 กิโลเกรย์



รูปที่ ค-63 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการกราฟต์ของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์



รูปที่ ค-64 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยไหมต่อความเข้มข้นของเมทิลเมทาครีเลต (%) ในตัวทำละลายเมทานอลโดยฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสี 4.50 กิโลเกรต่อชั่วโมง และปริมาณรังสี 5.40 กิโลเกรย์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฉัตริยะ ศรีปี เกิดวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก เมื่อปีการศึกษา 2542 และในปีการศึกษา 2545 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญา มหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย