

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) (ชัยยุทธ และเลิศณรงค์, 2543)

น้ำยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพาราซึ่งโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของยางธรรมชาตินั้นประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุด เรียกว่า ไอโซพรีน (isoprene unit) ซึ่งมีประมาณ 3,000-10,000 หน่วย ต่อเชื่อมกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ การเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่สามารถเชื่อมต่อกันได้ 2 แบบ คือแบบ cis 1,4-polyisoprene เป็น โครงสร้างส่วนใหญ่ของ น้ำยางธรรมชาติ ซึ่งจะได้มาจากต้นยางที่เรียกว่า Hevea Brasiliensis และ trans 1,4-polyisoprene เป็น โครงสร้างส่วนใหญ่ของน้ำยางธรรมชาติซึ่งจะได้มาจากต้นยางที่เรียกว่า Gutta percha และ Balata นอกจากนี้ในน้ำยางสดยังมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง เช่น กรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ สารอนินทรีย์ สมบัติของยางธรรมชาติคือ มีความยืดหยุ่นสูง อธิบายได้จากโครงสร้างของหน่วยไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกันเป็น โมเลกุลของยางธรรมชาตินั้น ไม่รวมหรือเชื่อมกันเป็นเส้นตรงโดยโมเลกุลนั้นจะม้วนคดไปงอมาและปลายสุดของโมเลกุลจะอยู่ชิดกันที่น้ำหนักของโมเลกุลสูง ($1.6 \times 10^6 - 2.3 \times 10^6$ คาลตัน) ยางธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ง่ายคือ จะแข็งเหนียวเมื่ออยู่ที่เย็น และอ่อนแ่ิมเมื่อได้รับความร้อน โดยที่ยางธรรมชาติขณะที่กรีดใหม่นั้นน้ำยางสดจะเป็นของเหลวสีขาวอยู่ในสภาพที่เรียกว่า สารแขวนลอย สามารถไหลได้เองโดยอิสระมีความหนืดประมาณ 12-15 cp pH 6.5-7.0 ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 g/cm³ เรียกสภาพนี้ว่า ความเป็นน้ำยาง หากสภาพเหล่านี้เสียไปจะเรียกว่า น้ำยางเสีย หรือน้ำยางเน่า การรักษาสภาพของน้ำยางทำได้โดยการเติมสารเคมี เช่น แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารอื่น ๆ โดยองค์ประกอบของน้ำยางสด แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งจะพบว่า น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางน้อยจึงไม่เหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จึงต้องมีการคั่งน้ำออกจากน้ำยางสดก่อนจนมีเนื้อยางร้อยละ 60 น้ำยางที่ได้นี้เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) ซึ่งใช้เป็นน้ำยางตั้งต้นในการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำยางสด (Nor and Ebdon, 1998)

องค์ประกอบ	สัดส่วน (%)
สารที่อยู่ในรูปของแข็ง (TSC รวม DRC)	36
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.5
สารที่ให้ขี้เถ้า	น้อยกว่า 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือประมาณ 60

2.1.1 ชนิดของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม เป็นน้ำยางธรรมชาติที่ได้ผ่านกระบวนการทำให้เป็นน้ำยางข้น (concentrating process) แล้วโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งได้แก่ การทำครีม (creaming process) การระเหยน้ำ (evaporating process) และการใช้เครื่องปั่น (centrifuging process) อย่างไรก็ตามน้ำยางข้นที่ผลิตจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่นเป็นน้ำยางข้นที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด และโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำยางข้นที่ผลิตในประเทศไทยจะเป็นน้ำยางข้นจากกรรมวิธีที่ผลิตโดยใช้เครื่องปั่นเพียงอย่างเดียว น้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีการปั่นของประเทศไทยในปัจจุบันเป็นน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia, HA) และน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (low ammonia, LA)

2.1.2 สมบัติและการใช้งานของน้ำยางข้น (วารกรณ์, 2549)

1. น้ำยางข้นจากการปั่นชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia, HA) น้ำยางข้นชนิดนี้เป็นชนิดที่ผลิตกันอย่างกว้างขวาง และมีข้อได้เปรียบกว่าน้ำยางข้นชนิดอื่น ๆ ในด้านการใช้แอมโมเนียซึ่งเป็นสารเคมีที่ระเหยง่ายเพียงอย่างเดียวในการรักษาสภาพ ดังนั้นน้ำยางข้นชนิดนี้จึงใช้ในงานผลิตผลิตภัณฑ์ที่จะใช้สัมผัสกับอาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ได้ ข้อเสียของน้ำยางข้นชนิดนี้คือ กลิ่นฉุนของแอมโมเนีย และจำเป็นต้องไล่แอมโมเนียออกในขณะการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

2. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (low ammonia, LA) น้ำยางข้นจากการปั่นชนิดนี้รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่ำมีการผลิตจำหน่ายในบางประเทศในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

2.1 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำ ชนิด LA-TZ เป็นน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางที่สุดในกลุ่มนี้ การรักษาสภาพใช้สารเคมีผสมระหว่างไทยเรม (Tetramethylthiuram disulphide) กับซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) ร่วมกับสารเคมีหลักคือ แอมโมเนีย

2.2 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำชนิด LA-SPP น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ (colloid) ของน้ำยางดีที่สุดในกลุ่มนี้ มีความเสถียรทางกลและความเสถียรทางเคมีดีมาก ดังนั้นจึงเหมาะในงานขึ้นรูปที่ในกระบวนการผลิตที่ต้องการคุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ยางพองน้ำรองพรหม เป็นต้น ข้อเสียของน้ำยางชนิดนี้คือ สีของผลผลิตต่ำกว่าน้ำยางชั้นจากการปั่นที่รักษาสภาพด้วยระบบอื่น ๆ และมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ของบางประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเยอรมัน การรักษาสภาพของน้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำชนิด LA-SPP ใช้โซเดียมเพนทาคลอโรเฟเนต (Sodium pentachlorophenate) ร่วมกับสารเคมีหลักคือ แอมโมเนีย

2.3 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำชนิด LA-ZDC การผลิตน้ำยางชั้นชนิดนี้ใช้สารเคมีที่เรียกว่า ซิงค์ ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate, ZDC) เป็นสารเคมีสำหรับรักษาสภาพร่วมกับแอมโมเนีย โดยมีส่วนคล้ายคลึงกับน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง และมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเนื่องจาก ZDC เป็นสารที่ยอมรับในวงการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

2.4 น้ำยางชั้นแอมโมเนียต่ำชนิด LA-BA น้ำยางชนิดนี้ใช้กรดบอริก (Boric acid) เป็นสารเคมีสำหรับรักษาสภาพร่วมกับแอมโมเนีย น้ำยางชนิดนี้มีสีค่อนข้างจางกว่าพวกน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง หรือ LA-ZDC ดังนั้นจึงมักใช้กันในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีจาง ๆ แต่ น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรค่อนข้างต่ำกว่าน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารเคมีระบบอื่น ๆ

3. น้ำยางชั้นจากการปั่นซ้ำ (doubly centrifuged latex) น้ำยางชั้นจากการปั่นซ้ำมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางต่ำ ซึ่งทำให้น้ำยางมีสีจางเหมาะสำหรับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เน้นเรื่องสีและ โดยเฉพาะในงานผลิตถุงมือใช้งานไฟฟ้า เนื่องจากน้ำยางที่ปั่นซ้ำจะมีปริมาณสารพวกที่ชอบน้ำ (hydrophilic substance) น้อย อย่างไรก็ตามการทำน้ำยางชั้นโดยการปั่นซ้ำจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

4. น้ำยางชนิดครีม (creamed latex) น้ำยางชนิดครีมทำมาจากกระบวนการใช้สารช่วยการเป็นครีม (creaming agent) ของน้ำยาง ปกติจะผลิตในปริมาณเนื้อยางแห้งที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 และใช้ระบบการรักษาสภาพเช่นเดียวกับน้ำยางชั้นจากการปั่น การผลิตน้ำยางชนิดครีมจะผลิตให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงกว่าร้อยละ 60 จึงเป็นข้อได้เปรียบที่จะนำไปใช้งานเพื่อผลิตยางดำยืด เพราะน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงจะให้คุณภาพด้านความแข็งแรงของยางที่จับตัวได้ดี

แต่เนื่องด้วยราคาค้นทุนการผลิตของน้ำยางชนิดครีมสูง ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้ในงานผลิตอื่น ๆ นอกจากงานผลิตยางด้ายยัด

5. **น้ำยางชั้นชนิดระเหยน้ำ (evaporated latex)** น้ำยางชั้นจากการระเหยน้ำออก จะผลิตกันในระดับสารของแข็ง (total solid content, TSC) ประมาณร้อยละ 62-72 และรักษาสภาพด้วยระบบสารเคมีผสมของโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์กับสบู่ หรือระบบที่ใช้แอมโมเนียร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก สมบัติเด่นของน้ำยางชนิดระเหยน้ำคือ มีปริมาณสารของแข็ง ความเสถียรทางกลและความเสถียรทางเคมีสูง เนื่องจากตามวิธีการของกระบวนการทำน้ำยางชั้นเป็นการระเหยน้ำออกอย่างเฉียว จึงมีส่วนของอนุภาคเล็ก ๆ ของยางคงเหลืออยู่มากกว่ากรณีการปั่นน้ำยางชั้น น้ำยางชั้นชนิดระเหยน้ำจึงนิยมในงานทำกาวยาง แต่ข้อเสียของน้ำยางชั้นประเภทนี้คือ สีค่อนข้างคล้ำเนื่องมาจากมีสารที่ไม่ใช่ยางค่อนข้างสูง

6. **น้ำยางคงรูป (prevulcanised latex)** น้ำยางที่ผ่านกระบวนการทำให้คงรูปหรือมักเรียกกันว่า น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ได้เริ่มเป็นที่รู้จักในวงการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์น้ำยางของไทย และเริ่มมีการผลิตทางการค้าขึ้น น้ำยางคงรูปจะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานในโรงงานขนาดเล็กเพราะการใช้งานมีการเติมสารเคมีอื่นอีกเพียงเล็กน้อยและทั้งสามารถใช้ความร้อนต่ำในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

2.1.3 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางชั้นเป็นสารที่ในทางเคมีจัดให้อยู่ในสถานะคอลลอยด์ที่มีส่วนของอนุภาคละเอียดของยางไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนักซึ่งจะกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ (aqueous medium) อนุภาคยางที่กระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 และเป็นสารพอลิเมอร์ในลักษณะโครงสร้างแบบ cis ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ของอนุภาคยางต่อการเสียดสภาพอันเนื่องจากแรงกระทบกระเทือนทางเคมีหรือโดยทางเครื่องกล เกิดขึ้นได้เพราะอนุภาคยางมีเยื่อหรือชั้น โปรตีน และสารลดแรงดึงผิว (surfactants) ห่อหุ้มอยู่ แต่ความเสถียรของน้ำยางชั้นจะสูญเสียไปเมื่อน้ำยางมีระดับความเป็นกรดต่างลดต่ำกว่า 7.0 และน้ำยางจะเริ่มจับเป็นเจล (gel) ส่วนตัวกลางของน้ำยางชั้นมีสภาพปั่นด้างเพราะมีแอมโมเนียซึ่งใช้เป็นสารในการรักษาสภาพน้ำยางเป็นส่วนประกอบ นอกจากแอมโมเนียแล้วในส่วนตัวกลางของน้ำยางชั้นยังมีสารพวกกรดอะมิโน กรดไขมัน น้ำตาล ลิปิด และเกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ สารเหล่านี้มีส่วนในการช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการคงรูปของยาง (vulcanization activation) ช่วยป้องกันยางเสื่อมสภาพ และสารเหล่านี้มีผลกระทบท่อการจับเป็นเจลของน้ำยางชั้นด้วย

2.2 อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, C_3H_3N)

อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, $H_2C = CH - C \equiv N$) เป็นมอนอเมอร์ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งในทางอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ มักจะใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยอะคริลิก เรซินชนิดโคพอลิเมอร์ (copolymer resins) เช่น สไตรีน อะคริโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ (styrene-acrylonitrile copolymer, SAN) อะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน สไตรีน เทอร์พอลิเมอร์ (acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer, ABS) ขางไนไตรล์ และสารเคลือบผิว เป็นต้น สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอะคริโลไนไตรล์ การเตรียมอะคริโลไนไตรล์และพอลิอะคริโลไนไตรล์ แสดงดังข้างล่าง

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ และเคมี (Baden, 2002)

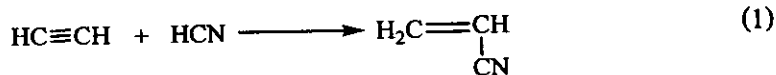
สูตรโมเลกุล	: C_3H_3N
น้ำหนักโมเลกุล	: 53.06 g/mol
ดัชนีหักเห	: 1.391 (20 °C, 589 nm)
ความดันไอ	: 124 hPa (20 °C)
ความหนาแน่นจำเพาะ	: 0.81 g/cm ³ (20 °C)
จุดวาบไฟ	: -4.4 °C
การละลายในน้ำ	: 73 g/L (20 °C)
จุดหลอมเหลว	: -83.55 °C
จุดเดือด	: 77.30 °C
ขีดจำกัดของช่วงการระเบิด	: 2.8-28 %vol
pH	: 6.0-7.5 (50 g/L, H_2O_2 , 20 °C)

2.2.2 การเตรียมอะคริโลไนไตรล์ (ชัยวัฒน์, 2526)

อุตสาหกรรมการเตรียมอะคริโลไนไตรล์นี้มี 3 วิธี โดยแบ่งตามประเภทของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ การใช้อะซีทีลีน เอทีลีน และโพรพิลีน มีรายละเอียดดังนี้

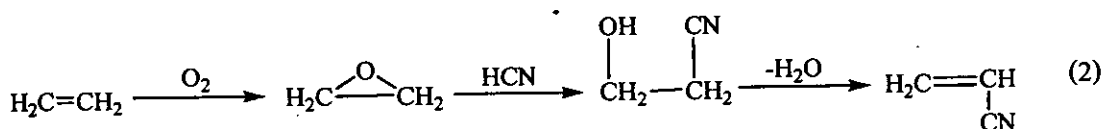
การใช้อะซีทีลีน

วิธีนี้ใช้ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนไซยาไนด์ให้กับอะซีทีลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ คิวปรัสคลอไรด์ ($CuCl$) ในกรดไฮโดรคลอริก ปฏิกิริยาเกิดในสถานะของเหลว อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา 80-90 °C ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย ในอดีตวิธีนี้เป็นวิธีหลักที่อุตสาหกรรมใช้เตรียมอะคริโลไนไตรล์ แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้วิธีที่ใช้โพรพิลีนเป็นวัตถุดิบมากกว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการที่ 1 ดังนี้



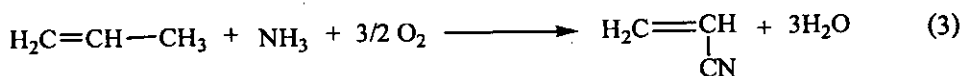
การใช้เอทิลีน

วิธีนี้สังเคราะห์ก่อนขั้นสุดท้ายคือการดึงเอาโมเลกุลของ H_2O ออกมา ซึ่งสามารถทำให้เกิดได้ในสถานะไอโดยการผ่านไซยาโนไฮดรินไปยังแอคติเวเตดอะลูมินาที่ 300°C หรืออาจเกิดในสถานะของเหลวโดยให้ความร้อนกับไซยาโนไฮดรินที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) หรือโซเดียมฟอร์มेट ที่ 200°C วิธีนี้ค่อนข้างมีต้นทุนการผลิตสูง จึงมีความสำคัญลดน้อยลงไปมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ ดังสมการที่ 2 ดังนี้

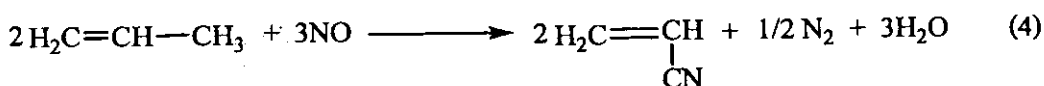


การใช้พรพิลีน

วิธีนี้นำพรพิลีนมาทำแอมโมกซิเดชัน (ammoxidation) โดยใช้ออกซิเจนจากอากาศ ปฏิกิริยานี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบของไหล (fluidised catalyst) เช่น สารประกอบของมีสมัสโมลิบดีนัม หรือยูเรเนียม อุณหภูมิปฏิกิริยาที่ใช้คือ $400-500^\circ\text{C}$ และความดัน 1-3 บรรยากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการที่ 3



การเตรียมอะคริโลไนไตรล์จากพรพิลีนนี้อาจใช้ในตรีกออกไซด์ (NO) โดยมีโลหะเงิน (Ag) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700°C ดังสมการที่ 4 ซึ่งตามจริงแล้วการเตรียมอะคริโลไนไตรล์โดยใช้พรพิลีนเป็นวัตถุดิบนี้ได้ผลผลิตไม่สูงนัก แต่ก็เป็นวิธีที่นิยมใช้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เพราะวัตถุดิบรวมทั้งพรพิลีนเองมีราคาถูก นอกจากนี้แล้วยังเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้ไฮโดรเจนไซยาไนด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษอย่างแรงด้วย



2.2.3 พอลิอะคริโลไนไตรล์ และการเตรียมพอลิอะคริโลไนไตรล์

พอลิอะคริโลไนไตรล์เป็นพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิอะคริลิก เป็นต้น ประมาณร้อยละ 70 ของอะคริโลไนไตรล์ที่ผลิตได้นำไปผลิตเป็นพอลิเมอร์เพื่อจุดประสงค์นี้ กระบวนการพอลิเมอไรเซชันใช้กลไกแบบฟรีแรดิคัล ซึ่งอาจเป็นแบบสารละลาย หรือแบบแขวนลอยก็ได้แต่นิยมใช้แบบสารละลายมากกว่า เพราะหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสิ้นสุดแล้วสามารถปั่นพอลิเมอร์เป็นเส้นใยจากสารละลายต่อไปได้โดยตรง ระบบสารละลายอาจเป็นสารละลายน้ำเกลือเข้มข้นที่มีเกลืออินทรีย์ละลายอยู่ เช่น โซเดียมไทโอไซยาเนต โซเดียมเปอร์คลอเรต และซิงค์คลอไรด์ และในส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม ได้แก่ Dimethylacetamide, Dimethylformamide และ Dimethylsulfoxide

2.2.4 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิอะคริโลไนไตรล์

เส้นใยที่เตรียมได้จากพอลิอะคริโลไนไตรล์ ชนิดโฮโมพอลิเมอร์นั้นมีข้อเสีย คือ ย้อมสีได้ยาก ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้เส้นใยที่เตรียมจากอุตสาหกรรมทั่วไปจะเป็นโคพอลิเมอร์ที่มีเมทิลเมทาไครเลต ไวนิลอะซิเตตหรือ 2-Vinylpyridine ประมาณร้อยละ 10 ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย น้ำหนักโมเลกุลของพอลิอะคริโลไนไตรล์เชิงพาณิชย์นี้คือ 80,000-170,000 เนื่องจากพอลิอะคริโลไนไตรล์นี้มีสภาพขั้วสูงจึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากทำให้โซ่ของพอลิอะคริโลไนไตรล์ค่อนข้างแข็ง หรือไม่ยืดหยุ่น ผลที่ติดตามมาคือพอลิเมอร์นี้มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึกสูงมาก (317°C) และละลายในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูงมาก เช่น Dimethylacetamide, Dimethylsulfoxide และในเกลืออินทรีย์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย พอลิอะคริโลไนไตรล์ไม่อาจดึงเป็นเส้นใยแบบหลอมได้ เนื่องจากจะเกิดการแตกสลายโมเลกุลก่อนเกิดการหลอม ดังนั้นการปั่นเป็นเส้นใยจึงจำเป็นต้องปั่นจากสารละลาย เมื่อนำพอลิอะคริโลไนไตรล์นี้มาให้ความร้อนสูงกว่า 200°C เล็กน้อยจะกลายเป็นของแข็งสีแดง และเมื่อให้ความร้อนต่อไปประมาณ 350°C จะกลายเป็นวัสดุสีดำเปราะที่เสถียรต่อความร้อนมาก ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการควบแน่นเป็นวงแหวนสมบัติที่เด่นของพอลิอะคริโลไนไตรล์ คือ ความแข็งแรง ความเหนียว ความแข็งแกร่ง ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความกระด้างตัว และความทนต่อการหักงอสูง เมื่อเทียบกับในบรรดาพอลิเมอร์ด้วยกัน นอกจากนี้ยังไม่ว่องไวต่อไอน้ำ แผลง รา และมีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศดีมาก

2.3 โคพอลิเมอไรเซชัน (Copolymerization) (ชัยวัฒน์, 2527)

เนื่องจากโครงสร้างของโคพอลิเมอร์แตกต่างกับโครงสร้างของโฮโมพอลิเมอร์ หรือของผสมของโฮโมพอลิเมอร์ 2 ชนิด โคพอลิเมอร์จึงมีคุณสมบัติแตกต่างกับโฮโมพอลิเมอร์ ดังนั้นการนำมอนอเมอร์ต่างชนิดกันมาสังเคราะห์เป็นโคพอลิเมอร์จึงเป็นประโยชน์มากในทางปฏิบัติ และในการศึกษาในทางทฤษฎี ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ผลผลิตหรือพอลิเมอร์ที่ได้จากโฮโมพอลิเมอร์อย่างเดียวยังจำกัด จึงเป็นการจำกัดชนิดของพอลิเมอร์ และสมบัติของพอลิเมอร์ที่พึงได้ ตรงกันข้ามโคพอลิเมอร์เปิดโอกาสให้สามารถมีพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น และโอกาสที่จะได้ผลผลิตใหม่ที่มีสมบัติตามต้องการมากขึ้น
2. ไวนิลมอนอเมอร์บางชนิด เช่น Maleic anhydride, Stilbene และ Fumaric esters ซึ่งโดยปกติไม่อาจนำมาสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ แต่มอนอเมอร์เหล่านี้สามารถเกิดโคพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์อื่น ๆ บางชนิดได้ เช่น สไตรีน ไวนิลอะซิเตต เป็นต้น
3. ความรู้จากโคพอลิเมอไรเซชันทำให้เข้าใจสมบัติต่าง ๆ ของมอนอเมอร์ และมอนอเมอร์เรดิคัลดีขึ้น เช่น ความว่องไวของมอนอเมอร์ มอนอเมอร์เรดิคัล แคตไอออนและแอนไอออน ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของมอนอเมอร์และความว่องไวก็เป็นผลมาจากการศึกษาพอลิเมอไรเซชันเช่นกัน
4. ในทางปฏิบัติเทคนิคโคพอลิเมอไรเซชันนี้ ทำให้สามารถเลือกมอนอเมอร์อัตราส่วนของกลุ่มมอนอเมอร์ที่ใช้ และสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้โคพอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการได้

ข้อได้เปรียบของโคพอลิเมอไรเซชันเปรียบเทียบกับโฮโมพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่ ฤทธิ์ของสไตรีน พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่มีสมบัติเปราะ จุดหลอมเหลวต่ำ แรงต้านทานการกระแทกต่ำมาก (แตกง่าย) ต้านทานต่อตัวทำละลายได้น้อยมาก (ละลายได้ดีในตัวละลายอินทรีย์เป็นจำนวนมาก เช่น โทลูอีน เบนซีน คลอโรฟอร์ม) ขอบเขตการใช้ประโยชน์ หรือการใช้งานของพอลิสไตรีนจึงแคบมาก แต่ถ้านำสไตรีนมาทำโคพอลิเมอร์ร่วมกับมอนอเมอร์อื่น ๆ จะได้โคพอลิเมอร์ซึ่งไม่เพียงแต่จะได้พลาสติกที่มีสมบัติดีขึ้นยังได้อีลาสโตเมอร์ (elastomer) ที่มีสมบัติดีด้วย เช่น สไตรีนโคพอลิเมอร์ร่วมกับอะคริโลไนไตรล์ ได้โคพอลิเมอร์ที่สามารถทนต่อแรงกระแทกดีขึ้นมาก และต้านทานตัวทำละลายอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี จึงเหมาะสำหรับทำเป็นภาชนะบรรจุตัวทำละลายอินทรีย์ หรือท่อลำเลียงน้ำมัน จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการโคพอลิเมอไรเซชันมีประโยชน์มาก เพราะทำให้ได้ผลผลิตใหม่ที่มีสมบัติดีขึ้น หรือมีสมบัติตามที่ต้องการได้โดยการเลือกมอนอเมอร์ที่เหมาะสม โดยผสมในอัตราส่วนและสภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม

2.4 ปฏิกริยาพอลิเมโรไลเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) (ชัยวัฒน์, 2527)

เทคนิคการทำปฏิกริยาพอลิเมโรไลเซชันแบบนี้มีน้ำเป็นตัวกลาง เช่นเดียวกับทำปฏิกริยาพอลิเมโรไลเซชันแบบแขวนลอย แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญ 2 ข้อ คือ คาร์ริเริ่มละลายอยู่ในน้ำ แทนที่จะละลายอยู่ในมอนอเมอร์ และขนาดของหยดมอนอเมอร์เล็กกว่ามาก เป็นผลให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของการพอลิเมโรไลเซชันแบบแขวนลอย และเทคนิคนี้แตกต่างจากวิธีพอลิเมโรไลเซชันแบบอื่นคือ มีการใช้สบู่ในกระบวนการด้วย โดยที่องค์ประกอบและหน้าที่หลักของกระบวนการ ได้แก่

1. กลุ่มมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายน้ำได้น้อยมาก
2. ตัวกลาง (dispersing media) โดยตัวกลางที่ใช้นั้น ได้แก่ น้ำ
3. ตัวอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) โดยตัวอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ได้แก่ สบู่หรือ

ผงซักฟอก ซึ่งจะทำหน้าที่ในการลดแรงตึงผิวของน้ำ เพื่อทำให้เกิดสภาวะอิมัลชัน

4. คาร์ริเริ่มที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น
5. ตัวย้ายสายโซ่ สารที่ใช้เป็นตัวย้ายสายโซ่นั้นจะเป็นสารจำพวกเมอร์แคปตัน

(mercaptan, RSH) ทำหน้าที่ควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้

การพอลิเมโรไลเซชันแบบอิมัลชันนี้ มีขั้นตอนการเกิดปฏิกริยา ดังนี้คือ เริ่มแรกเป็นการตีสบู่ หรือผงซักฟอกในน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในถังปฏิกรณ์ (reactor) สบู่จะละลายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนที่เหลือจะเกาะกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) โดยปกติในแต่ละไมเซลล์จะประกอบด้วยโมเลกุลของสบู่ 50-100 โมเลกุล โมเลกุลของสบู่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีสภาพขั้ว และหมู่คาร์บอกซิเลต ที่มีสภาพขั้วที่ปลาย ดังนั้นโมเลกุลของสบู่ซึ่งเป็นองค์ประกอบของไมเซลล์มีส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนมีทิศซึ่งเข้าด้านใน ส่วนหมู่คาร์บอกซิเลตซึ่งชอบน้ำชี้ออกข้างนอก เมื่อเติมมอนอเมอร์หรือกลุ่มมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ประมาณร้อยละ 0.01-1 (ความสามารถของการละลายน้ำของมอนอเมอร์สามัญรวบรวมไว้ดังตารางที่ 2) เข้าไปในระบบขณะที่มีการกวนตลอดเวลา มอนอเมอร์บางส่วนจะละลายในไมเซลล์ ทำให้ขนาดของไมเซลล์เพิ่มโตขึ้น มอนอเมอร์อื่น ๆ ที่เหลือจะอยู่กันเป็นหยดเล็ก ๆ ที่มีรัศมี 2-3 μm กระจายไปทั่วระบบ หยดมอนอเมอร์เหล่านี้จะอยู่อย่างค่อนข้างเสถียรไม่รวมตัวเป็นหยดใหญ่ขึ้นโดยสบู่ที่ละลายจะทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ ระบบจึงประกอบด้วย 3 ชั้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 และสามารถอธิบายได้ ดังนี้

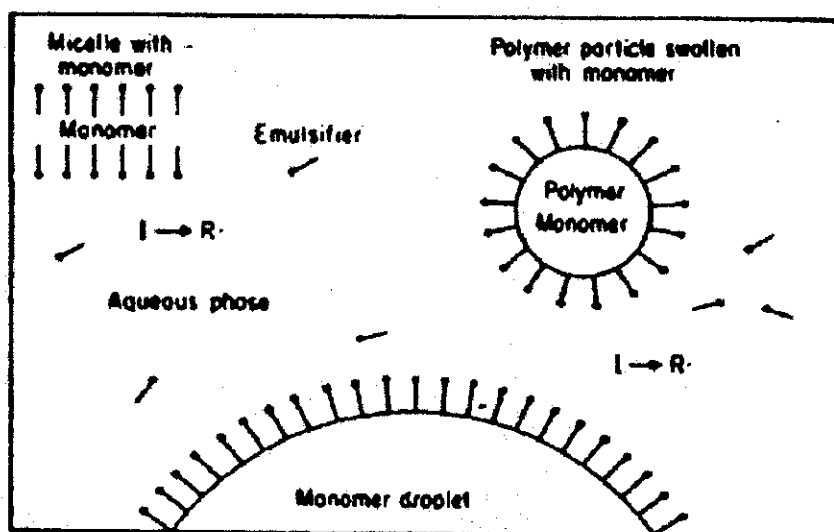
1. ชั้นของน้ำที่มีสบู่ และมอนอเมอร์ละลายอยู่เล็กน้อย
2. หยดมอนอเมอร์ที่อยู่ค่อนข้างเสถียร
3. ไมเซลล์ที่อิมัลซิฟายมอนอเมอร์ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าหยดมอนอเมอร์มาก

เมื่อตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สามารถละลายในน้ำได้ เช่น $K_2S_2O_8$ ละลายลงสู่ระบบ ฟรีแรดิกัลที่เกิดจากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยานี้ สามารถเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ทั้ง 3 แห่งของระบบ คือ

1. มอนอเมอร์ที่ละลายในน้ำ
2. หยคมอนอเมอร์ โดยการแพร่เข้าไปยังหยคมอนอเมอร์เหล่านี้
3. ไมเซลล์ โดยการแพร่เข้าไปสู่ไมเซลล์

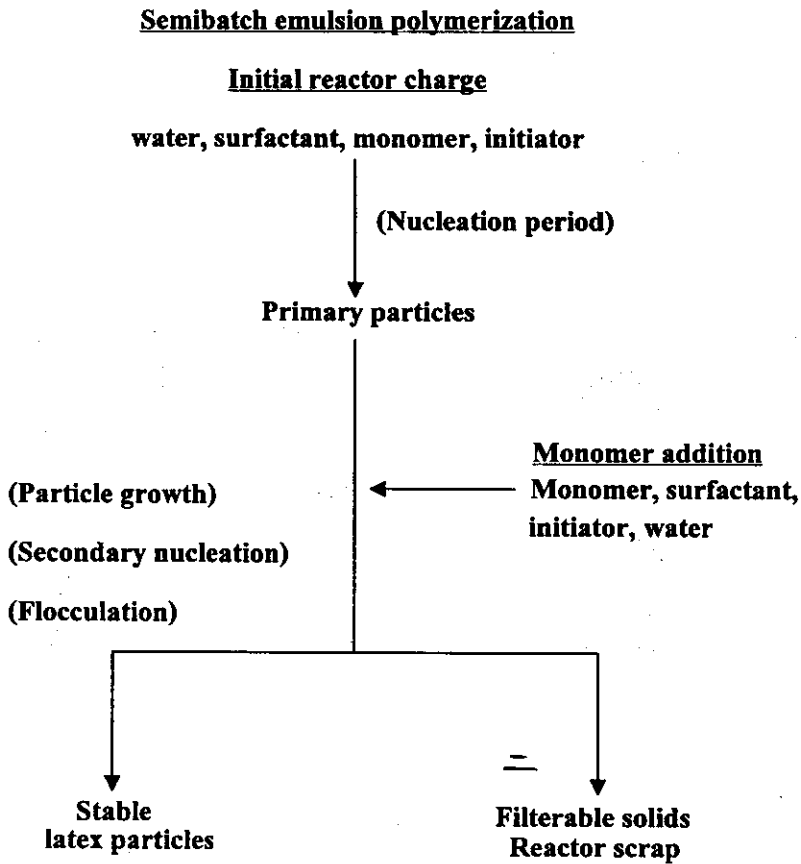
ตารางที่ 2 ความสามารถในการละลายน้ำของมอนอเมอร์สามัญ

มอนอเมอร์	ความสามารถในการละลาย	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
Styrene	0.0382%	50
Butadiene	0.082%	25 (1 atm)
Methyl methacrylate	0.15M	30
Acrylonitrile	7.4%	25
Vinyl acetate	2.4%	20
Vinyl chloride	0.11%	25



ภาพประกอบที่ 1 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (ชัยวัฒน์, 2527)

กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในปฏิกรณ์แบบกึ่งแบตช์ เป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำอย่างเป็นสารตั้งต้นได้หลากหลายรูปแบบ เช่น สารเคลือบผิว กาว และพอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นต้น เนื่องจากในกระบวนการสามารถควบคุมองค์ประกอบของพอลิเมอร์ และสัณฐานวิทยาของอนุภาคพอลิเมอร์ที่ต้องการได้ อีกทั้งยังสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย และข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในปฏิกรณ์แบบแบตช์ และแบบกึ่งแบตช์คือส่วนผสมในปฏิกิริยา เช่น มอนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิว ตัวริเริ่มปฏิกิริยา หรือน้ำ สามารถเติมลงไป ในปฏิกรณ์ได้อย่างต่อเนื่องทำให้อนุภาคที่พร้อมเข้าทำปฏิกิริยาสามารถอยู่ในปฏิกรณ์ได้นาน ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในปฏิกรณ์แบบกึ่งแบตช์ แสดงได้คังภาพประกอบที่ 2 พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการอิมัลชันสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านการแยกอีก และโดยทั่วไปการสังเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยวิธีอื่นพบว่า อัตราการของพอลิเมอไรเซชันแปรผันโดยตรงกับอัตราการเริ่มปฏิกิริยา (initiation) แต่น้ำหนักโมเลกุล จะแปรผันอย่างผกผันกับอัตราการเริ่มปฏิกิริยา และในกรณีของการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันทั้งอัตราของพอลิเมอไรเซชัน และน้ำหนักโมเลกุลจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการเริ่มปฏิกิริยา กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเป็นกระบวนการเดียวที่เพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้โดยอัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชันไม่ลดลง และมีข้อดีคือสามารถที่จะได้น้ำหนักโมเลกุลสูง และมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาสูง โดยในงานวิจัยนี้ใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในการเตรียมกราฟด์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ในปฏิกรณ์กึ่งแบตช์ขนาดต้นแบบ



ภาพประกอบที่ 2 กระบวนการปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์ (Chem, 2006)

2.5 Response Surface Methodology (RSM)

RSM คือการรวบรวมข้อมูลทางสถิติและเทคนิคทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนา การเพิ่มประสิทธิภาพ และการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการ RSM ประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปรตามหลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติ โดยจะใช้หลักการเหล่านี้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ โดย RSM ประกอบขึ้นมาจากผลของตัวแปรอิสระซึ่งอาจมีเพียงตัวเดียว หรือหลายตัว สำหรับการวิเคราะห์ถึงผลของตัวแปรอิสระที่ได้จากผลการทดลองนั้นจะถูกนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของผลตอบสนองในรูปแบบของพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) โดยความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองที่ได้กับข้อมูลดิบแสดงดังสมการที่ 5

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (5)$$

ซึ่ง	y	คือผลตอบสนองที่เกิดขึ้น
	f	คือฟังก์ชันการทำงานที่ตัวแปรที่ยังไม่ทราบต่อผลตอบสนอง
	$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$	คือตัวแปรอิสระ ซึ่งจะถูกรเรียกว่า ตัวแปรธรรมชาติด้วย
	n	คือจำนวนของตัวแปรอิสระ
	ε	คือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดมาจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งไม่สามารถถูกรวบรวมเอาไว้ใน f ได้ ซึ่งแหล่งที่ว่่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบ เช่น ค่าการวัดผิดพลาด โดยที่จะถูกคาดคะเนด้วยค่า ε ซึ่งมีการกระจายตัวด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และค่าความแปรปรวน

การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค RSM มีขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดตัวแปรที่จะศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม กระบวนการทางเคมีและทางชีวเคมี ที่สามารถได้รับผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ มากมายเพราะเป็นไปไม่ได้ที่จะระบุผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้จากทุกตัวแปรที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความจำเป็นในการเลือกตัวแปรบางตัวที่สร้างผลกระทบได้โดยตรงออกมา การคัดเลือกโดยการทดลองนั้นมีความสำคัญในการระบุตัวแปรอิสระ โดยหลังจากทำการระบุตัวแปรสำคัญต่าง ๆ แล้วจะสามารถกำหนดทิศทางการพัฒนารูปแบบขึ้นซึ่งจะสามารถระบุระดับความสำคัญของตัวแปรต่าง ๆ ขึ้นมาได้ การระบุระดับความสำคัญของตัวแปรต่าง ๆ นั้นมีความสำคัญเพราะความสำเร็จของกระบวนการหาจุดที่เหมาะสมนั้นเกี่ยวข้องกับสิ่งนี้โดยตรง ซึ่งความผิดพลาดในการระบุระดับความสำคัญนั้นส่งผลถึงความผิดพลาดในการระบุจุดที่เหมาะสมได้

2. กำหนดรหัส (code) ของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบสถานะที่ใช้ในการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD) และทำการแปลงค่ารหัสตัวแปรอิสระ (coded variables) ที่ได้ออกแบบไว้เป็นตัวแปรเดิมทำได้โดยใช้สมการที่ 6

$$X = \left(\frac{x - \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}}{\frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}} \right) \quad (6)$$

โดยที่ X = coded variables
 x = ตัวแปรอิสระ
 x_{\max} = ค่าสูงสุดของตัวแปรอิสระ
 x_{\min} = ค่าต่ำสุดของตัวแปรอิสระ

3. ทำการทดลองตามสภาวะการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

4. แสดงผลของตัวแปรอิสระต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองในรูปแบบของ surface plot โดยใช้โปรแกรม Regression Analysis ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะอยู่ในรูปแบบสมการกำลังสอง (quadratic equation) ดังแสดงได้ดังสมการที่ 7

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} \bar{X}_i X_j \quad (7)$$

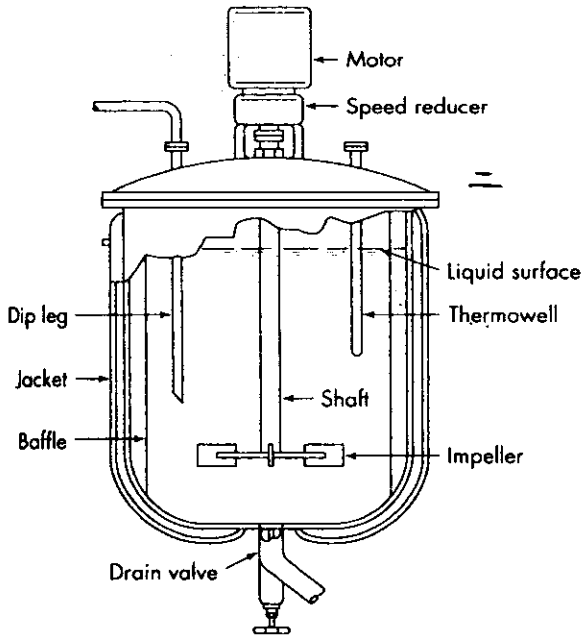
โดยที่ β_0 , β_j , β_{jj} และ β_{ij} คือสัมประสิทธิ์ถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและแบบกำลังสอง และสัมประสิทธิ์เชิงซ้อน ตามลำดับ

RSM มีประโยชน์มากถ้าเปรียบเทียบกับกันระหว่างการหาค่าที่เหมาะสมในการทดลองโดยวิธีดั้งเดิมกับ RSM โดยข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ จำนวนชุดการทดลองที่ออกแบบโดยใช้ RSM นั้นมีจำนวนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิม เพราะ RSM นั้นจะนำเสนอข้อมูลจำนวนมากจากการทดลองเพียงไม่กี่ครั้ง ซึ่งต่างจากการทดลองในแบบดั้งเดิมที่จะใช้จำนวนการทดลองที่มากกว่าเพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของระบบ และ RSM มีความเป็นไปได้ที่จะเจอผลกระทบที่มีลักษณะเป็นผลกระทบภายใน (interactive effect) จากตัวแปรอิสระโดยเฉพาะกระบวนการทางชีวเคมี นอกจากนี้โมเดลสมการอย่างง่ายของ RSM จะเพิ่มความเข้าใจต่อผลที่เกิดจากการผสมกันของตัวแปรอิสระต่างๆ เมื่อสังเกตสมการนั้นผ่านการทดลองต่าง ๆ ก็จะทำให้พบข้อมูลของตัวแปรอิสระต่างๆ ที่ได้กับผลตอบสนองนั้นมีความสอดคล้องกันจึงกล่าวได้ว่า RSM เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีวเคมี

2.6 เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Chemical Reactor) (Maccabe Smith and Harriott, 2001)

2.6.1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบหลักของถังปฏิกรณ์เคมีนั้นมี 2 องค์ประกอบ นั่นก็คือ ตัวถังปฏิกรณ์ (vessel) และใบกวน (impeller) ในส่วนของตัวถังปฏิกรณ์โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นถังสำหรับใช้กวนสารผสมที่เป็นของเหลวหรือเรียกว่า ถังกวนผสม (agitated vessels) โดยถังกวนผสมเหล่านี้มักออกแบบเป็นรูปทรงกระบอก และติดตั้งอยู่ในแนวตั้ง โดยส่วนบนของถังอาจเป็นแบบเปิด และส่วนล่างของถังจะถูกออกแบบให้มีลักษณะโค้ง ความลึกของถังจะประมาณให้เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวนผสม สัดส่วนของถังกวนผสมนั้นจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งถังกวนผสมแบบมาตรฐานนั้นแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน (Maccabe Smith and Harriott, 2001)

การออกแบบถังกวนโดยทั่วไปมีทางเลือกมากมายในการเลือกชนิดของถังกวน ตำแหน่งของใบกวน สัดส่วนของถังกวนผสม สัดส่วนและจำนวนของบัพเฟิล (baffles) สัดส่วนในการออกแบบถังกวนผสมทั้งในส่วนของตัวถังกวน และอุปกรณ์ช่วยในการกวนนั้นแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4 และสัดส่วนในการออกแบบมีดังนี้

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

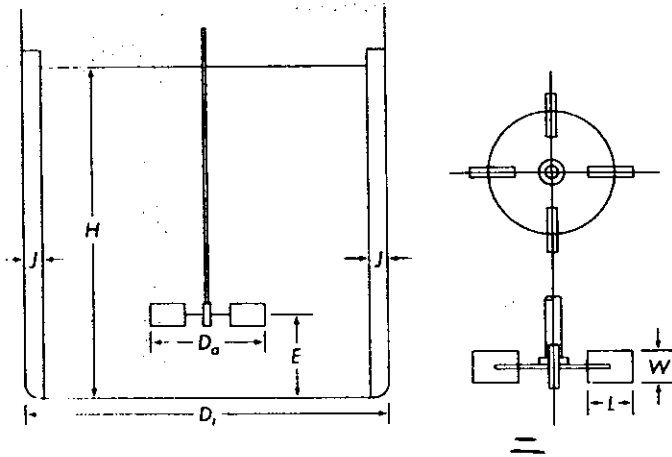
$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

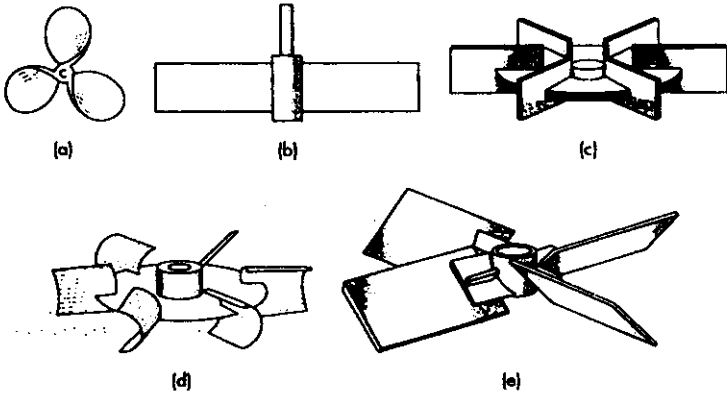
$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$



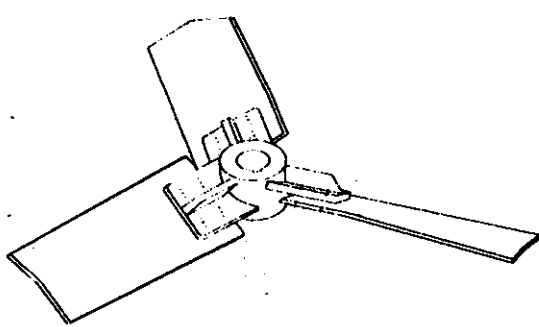
ภาพประกอบที่ 4 สัดส่วนในการคำนวณสำหรับการออกแบบถังปฏิกรณ์

ในส่วนของใบกวนนั้นแบ่งตามลักษณะการเกิดกระแสน้ำของการไหลของของเหลว เมื่อมีการกวนเกิดขึ้นได้ 2 ประเภทได้แก่ แบบไหลขนานกับแกนของใบกวน (axial-flow impellers) และแบบไหลในแนวรัศมีของใบกวน (radial-flow impellers) โดยที่ใบกวนสำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำถึงปานกลางแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ ใบพัด (propellers) และกังหัน (turbines) แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 5 และใบกวนประสิทธิภาพสูง แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 6 และสำหรับใบกวนสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูงนั้น ได้แก่ Helical impeller และ Anchor agitator แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 7

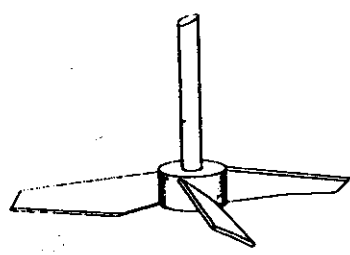


ภาพประกอบที่ 5 รูปแบบของใบกวนสำหรับของเหลวความหนืดปานกลาง

- (a) three-blade marine propeller (b) simple straight-blade turbine
- (c) disk turbine (d) concave-blade CD-6 impeller (e) pitched-blade turbine



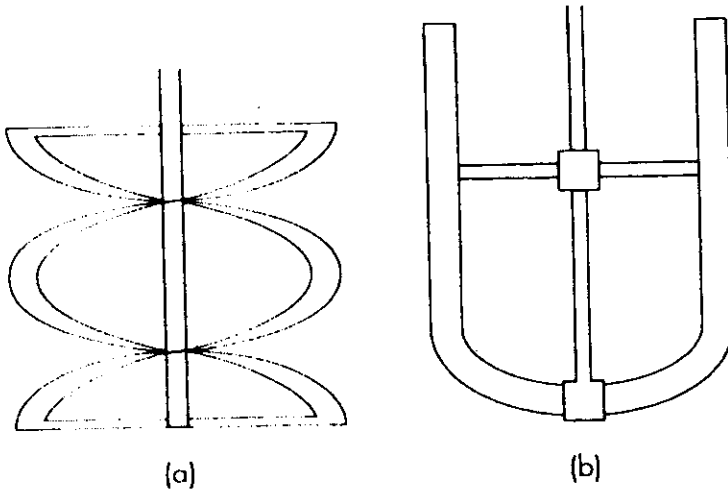
(c)



(b)

ภาพประกอบที่ 6 รูปแบบของใบกวนประสิทธิภาพสูง (a) HE-3 impeller

- (b) A310 fluid-foil impeller



ภาพประกอบที่ 7 รูปแบบของใบกวนสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง

(a) double-flight helical-ribbon impeller (b) anchor impeller

2.6.2 ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ (Type of Reactors)

โครงสร้าง และการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ในอุตสาหกรรมเคมีมีมากมายหลายชนิดในที่นี้จะแยกประเภทเครื่องปฏิกรณ์ของปฏิกิริยาเอกพันธ์ตามรูปแบบ และตามลักษณะการทำงาน ถ้าแยกเครื่องปฏิกรณ์แบบเอกพันธ์ตามรูปแบบจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แบบถังกวน (stirred tank reactor) และแบบท่อไหล (plug flow reactor) และถ้าแยกตามลักษณะการทำงาน แบ่งเป็นแบบแบทช์ (batch) แบบไหลต่อเนื่อง (continuous) และแบบกึ่งแบทช์ (semi-batch)

2.6.3 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ (วิโรจน์, 2544)

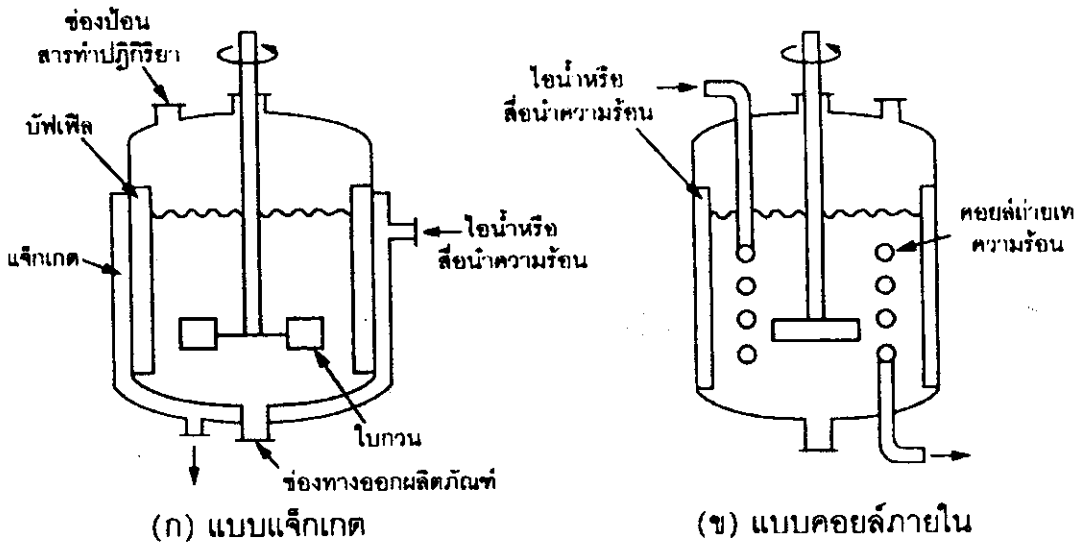
ในการทำงานแบบแบทช์สารทำปฏิกิริยาทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ทิ้งไว้ก่อนแล้วจึงเริ่มปฏิกิริยา เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนดจึงนำของผสม (สารทำปฏิกิริยาที่ยังเหลืออยู่ และผลิตภัณฑ์) ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ การทำงานแบบแบทช์จะนิยมใช้กับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน สำหรับการทำงานแบบไหลต่อเนื่อง (continuous) สารทำปฏิกิริยาป้อนเข้าที่ทางเข้าเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหลออกมาที่ทางออก ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้มีทั้งรูปแบบถังกวน และแบบท่อไหล ส่วนการทำงานแบบกึ่งแบทช์นั้น มีลักษณะการทำงานก้ำกึ่งระหว่างแบบแบทช์กับแบบไหลต่อเนื่อง กล่าวคือ สารทำปฏิกิริยาตัวแรก จะถูกป้อนไปอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ก่อน แล้วจึงป้อนสารทำปฏิกิริยาตัวที่สอง เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง หรือป้อนเป็นระยะ ๆ จะได้ว่าสารที่ทำปฏิกิริยาตัวแรกเป็นแบบแบทช์ แต่

สารทำปฏิกิริยาคู่ที่สองเป็นแบบไหลต่อเนื่องจึงเรียกการทำงานนี้ว่า กิ่งแบทช์ โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก ๆ มักใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่อง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะคงตัว (steady state) ทำให้การควบคุมงานทำได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอ นอกจากนั้นยังช่วยลดขั้นตอนการถ่ายเทสารทำปฏิกิริยาเข้า-ออก จากเครื่องปฏิกรณ์จึงประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ในทางตรงกันข้ามมีอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตยา ปริมาณการผลิตมีไม่มากในขณะที่ชนิดของยามีมาก เครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมจึงเป็นแบบแบทช์ หรือแบบกิ่งแบทช์ และถ้ามีเชื้อจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น การหมัก ไม่ค่อยพบเห็นในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

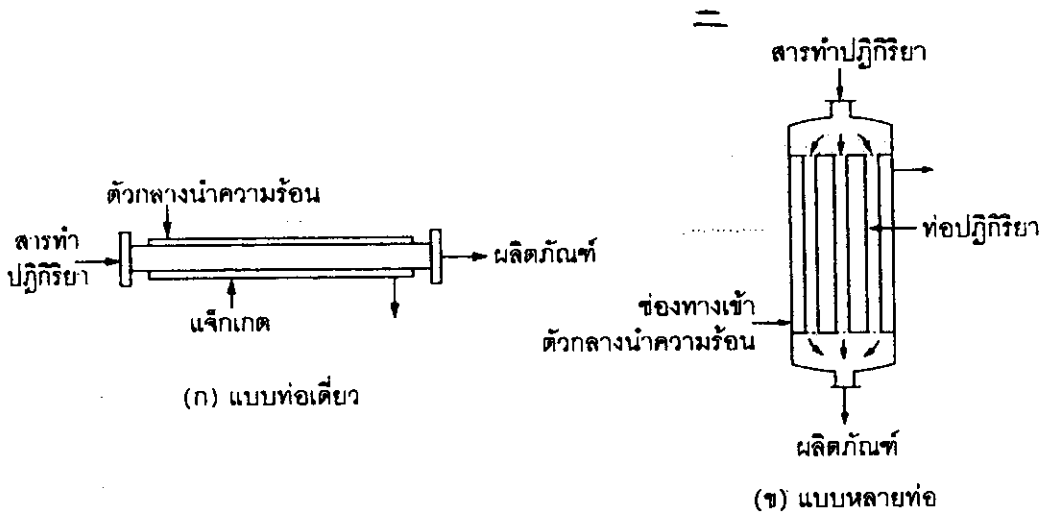
2.6.4 รูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน (stirred tank reactor) แสดงดังภาพประกอบที่ 8 ซึ่งแสดงถึงโครงสร้าง และระบบการถ่ายเทความร้อน โดยในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนมีใบกวนช่วยกวนสารทำปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้มีอุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาเท่ากันตลอดทั้งถัง นอกจากนี้แล้วใบกวนยังช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวล และการถ่ายเทความร้อน กรณีที่สารทำปฏิกิริยามีความหนืดสูง เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ต้องระวังเรื่องลักษณะของใบกวนเพราะถ้าใช้ใบกวนที่ไม่เหมาะสมการกวนจะไม่ได้ผลเต็มที่ เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนในลักษณะการทำงานแบบกะเรียกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ (batch reactor) แต่ถ้าเป็นการทำงานแบบต่อเนื่องเรียกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง (continuous stirred tank reactor, CSTR) การถ่ายเทความร้อนในปฏิกรณ์ทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถทำได้โดยการติดตั้งแจ็กเก็ต บริเวณรอบถังหรือใช้ท่อขด (coil) ติดตั้งภายในถัง แล้วทำการส่งไอน้ำ หรือน้ำหล่อเย็นเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าไปในแจ็กเก็ต หรือท่อขด เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนนอกจากใช้ในปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์หรือปฏิกิริยาที่ของผสมของปฏิกิริยาอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน เช่น วัฏภาคของเหลว เป็นต้น แล้วยังสามารถใช้ในปฏิกิริยาวิวิธพันธ์หรือปฏิกิริยาที่ของผสมในปฏิกิริยามีวัฏภาคต่างกันซึ่งอาจเป็นวัฏภาคแก๊ส-ของเหลว วัฏภาคแก๊ส-ของเหลว-ของแข็ง ที่ของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และวัฏภาคของเหลว-ของเหลว เป็นต้น

2. เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (plug flow reactor) แสดงดังภาพประกอบที่ 9 ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ยากแก่การควบคุมอุณหภูมิภายในท่อให้เท่ากันตลอดแนวยาว จึงมักเกิดการกระจายอุณหภูมิตามแนวยาว การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล ใช้ตัวกลางความร้อนส่งผ่านเข้าไปในแจ็กเก็ตที่อยู่รอบท่อ



ภาพประกอบที่ 8 โครงสร้างและระบบการถ่ายเทความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน



ภาพประกอบที่ 9 ปฏิกรณ์แบบท่อไหล (ก) ปฏิกรณ์แบบท่อไหลเดี่ยว (ข) ปฏิกรณ์แบบท่อไหลขนานหลายท่อ

2.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ และการทดสอบ

สมบัติเชิงกลเป็นสมบัติที่สำคัญของพอลิเมอร์เพราะเป็นสมบัติที่แสดงพฤติกรรมของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงภายนอกที่มากระทำ ไม่ว่าจะเป็นแรงดึง แรงกด หรือแรงกระแทก เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำวัสดุจะพยายามปรับตัวเพื่อผ่อนคลายสภาพความกดดัน โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนถึงขีดหนึ่งที่ไม่สามารถรับแรงได้อีกต่อไปวัสดุนั้นจะขาดหรือแตกออก

2.7.1 การทดสอบแรงดึง (tensile test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานทางกลของวัสดุ เป็นการวัดความสามารถของวัสดุที่ทนต่อแรงดึง ระยะที่วัสดุยืดออกก่อนขาดรวมทั้งมอดูลัส ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงความแข็งแรงของวัสดุ การทดสอบแรงดึงมีเรื่องความเค้น (stress) และความเครียด (strain) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยการศึกษาความเค้นและความเครียดของวัสดุสามารถทำได้โดยการให้แรงแก่วัสดุ โดยส่วนใหญ่ชิ้นตัวอย่างจะมีขนาดและรูปร่างมาตรฐาน จากนั้นทำการวัดการตอบสนองของวัสดุดังกล่าวในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเมื่อมีแรงกระทำ

ความเค้น (σ) คือแรงที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งคำนวณได้จากค่าของแรง (F) หารด้วยพื้นที่ของวัสดุที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงนั้น (A) ดังนั้นความเค้นจึงมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือพาสคาล (Pa) ในหน่วย SI ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 8

ความเครียด (ϵ) คือการเปลี่ยนแปลงขนาด และรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำจากภายนอก และร้อยละความเครียดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

$$\text{ความเค้น } (\sigma) = \frac{\text{แรง } (F)}{\text{พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น } (A)} \quad (8)$$

$$\text{ความเครียด } (\epsilon) = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป } (\Delta L)}{\text{ความยาวเริ่มต้น } (L_0)} \quad (9)$$

$$\text{ร้อยละความเครียด } \epsilon \text{ จุดขาด } (\%) = (\Delta L / L_0) \times 100 \quad (10)$$

เมื่อ	F	= แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N)
	A	= พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยัง ไม่ยืด (mm^2)
	ΔL	= ความยาวสุดท้าย (L) – ความยาวเริ่มต้น (L_0)
	L	= ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (mm)
	L_0	= ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ (mm)

2.7.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง (tensile impact property)

การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งเป็นการทดสอบความต้านทานของวัสดุภายใต้ความเค้น หรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วสูงมาก โดยให้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบอย่างเฉียบพลันหากชิ้นทดสอบมีความต้านทานต่อแรงกระทำสูงกว่าแรงที่ได้รับ ชิ้นทดสอบจะไม่เกิดความเสียหาย แต่หากชิ้นทดสอบมีความต้านทานต่อแรงกระทำต่ำกว่าชิ้นทดสอบจะเกิดความเสียหาย การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกเป็นการทดสอบในเชิงพลังงานและความสามารถในการกระจายตัวของพลังงานที่ได้รับหรือการสะสมพลังงาน ณ บริเวณใด บริเวณหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่อ่อนแอที่สุด

ชุดทดสอบแรงกระแทกประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ หัวค้อนฟาดแรงกระทบและฐานสำหรับวางชิ้นทดสอบ โดยที่หัวค้อนฟาดกระทบมีหลายขนาดซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ต้องการทดสอบ เมื่อหัวค้อนถูกปล่อยลงมาจะเกิดการฟาดกระทบกับชิ้นทดสอบพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกชิ้นทดสอบดูดซับไว้ โดยหน่วยของค่าพลังงานที่ชิ้นทดสอบดูดซับไว้คือ J/mm^2 หรือ kJ/m^2 (จินตมัย, 2547) โดยค่าพลังงานที่ชิ้นทดสอบดูดซับสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 11

$$\text{พลังงานที่ชิ้นทดสอบดูดซับไว้} = \frac{\text{พลังงานที่อ่านจากเครื่องทดสอบแรงกระแทก (J)}}{\text{ความหนา (mm)} \times \text{ความกว้าง (mm)}} \quad (11)$$

2.8 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy) (พิมพ์จิต และวัชรินทร์, 2542)

รังสีอินฟราเรดเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-0.8 ไมโครเมตร (μm) และอยู่ในระหว่างย่านที่มองเห็น (visible region) และย่านไมโครเวฟ (microwave region) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รังสีต่าง ๆ และความยาวคลื่น

รังสี	ความยาวคลื่น
ไมโครเวฟ	1 mm-10 cm
อินฟราเรด	100-0.8 μm
ย่านแสงมองเห็น	800-400 nm
อัลตราไวโอเลต	400-100 nm
รังสีเอ็กซ์	100-0.5 \AA

รังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ รังสีอินฟราเรดช่วงใกล้ กลาง และไกล ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4 โดยนักเคมีอินทรีย์สนใจรังสีนี้เฉพาะในช่วง $650-400 \text{ cm}^{-1}$ (15.0-2.5 ไมโครเมตร) ซึ่งเป็นรังสีอินฟราเรดช่วงกลาง เมื่อโมเลกุลสารอินทรีย์ดูดกลืนพลังงานในช่วงนี้จะทำให้เกิดการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล

ตารางที่ 4 ความถี่และความยาวคลื่นของรังสี IR ย่านต่าง ๆ และปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้อง

	รังสี IR ใกล้	รังสี IR กลาง	รังสี IR ไกล
ความถี่ (cm^{-1})	14,300-4,000	4,000-650	650-200
ความยาวคลื่น (μm)	0.7-2.5	2.5-15	15-100
ปรากฏการณ์	โอเวอร์โทนของการ ดูดกลืนของพันธะ C-H	การสั่น	การดูดกลืนของ ลิแกนด์และสปีชีส์ที่มี พลังงานต่ำ

โมเลกุลสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ทั้งที่มีโครงสร้างง่าย ๆ และ โครงสร้างซับซ้อนให้ อินฟราเรดสเปกตรัมที่ค่อนข้างซับซ้อน นักเคมีอินทรีย์ใช้ประโยชน์ของความซับซ้อนนี้ในการ จับคู่สเปกตรัมของสารที่ทราบ โครงสร้างแล้ว ความสัมพันธ์ของพีคต่อพีคเป็นข้อมูลที่สำคัญ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากโอกาสที่สาร 2 ชนิดให้สเปกตรัมที่เหมือนกันมีน้อยมาก ยกเว้นเมื่อเป็นอีแนนทิโอเมอร์ (enantiomers) IR สเปกตรัมเป็นลักษณะเฉพาะของสารทั้งโมเลกุลแต่ พบว่ากลุ่มของอะตอม (หมู่ฟังก์ชัน) ชนิดเดียวกันมักให้แถบดูดกลืน (absorption band) ที่เลขคลื่น เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน โดยไม่คำนึงถึงโครงสร้างอื่น แถบที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันนี้ให้ข้อมูลที่เป็น ประโยชน์ในการหาโครงสร้าง การหาโครงสร้างของสารต้องใช้ข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีอื่น ๆ ร่วมกับข้อมูลที่ได้จาก IR สเปกตรัม ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ IR สเปกตรัมซึ่งมีลักษณะ ซับซ้อนอย่างละเอียด โดยที่การพิสูจน์โครงสร้างของสารโดยใช้วิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้นทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (infrared spectrophotometer) ซึ่ง แสดงได้ดังภาคผนวก ก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Deng *et al.* (2002) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกราฟต์พอลิเมอร์เซชันแบบหลอมเหลวและใช้ แสง ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) บนพอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยศึกษา ผลของตัวแปรต่างๆ นั่นคือ อุณหภูมิของการฉายแสง ตัวเริ่มต้นที่แตกตัวด้วยแสง (Photoinitiators) ความเข้มแสงอุลตราไวโอเลต (Intensity of UV radiation) และระยะห่างของรังสีอุลตราไวโอเลต ที่มีต่อการกราฟต์พอลิเมอร์เซชัน เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพการกราฟต์ของการพอลิ เมอร์เซชันถูกวิเคราะห์โดยวิธีการชั่ง (Gravimetric method) รวมทั้งมุมตกกระทบ (Contact angle) ของน้ำบนแผ่นฟิล์มกราฟต์พอลิเมอร์ PE-g-PMAH และสเปกตรัม FTIR ของฟิล์มกราฟต์พอลิ เมอร์ได้ถูกวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิของการฉายแสงที่เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วรอบๆ จุดหลอมเหลวของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) (เช่น 52°C).

Kim *et al.* (2002) รายงานถึงการพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) ของเมทิลเมทาไครเลต (Methyl methacrylate (MMA)) โดยใช้พอลิยูริเทนชนิดที่ กระจายในน้ำ โดยศึกษาผลของส่วนแข็งที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ ซึ่งส่วนแข็งนี้ประกอบไปด้วยไอโซฟอโรน ไดไอโซไซยาเนต (Isophorone diisocyanate (IPDI)) และ ไดเมทิลอล โพรไพอิก (dimethylol propionic acid (DMPA)) และแปรปริมาณจาก 19.6 ถึง 35.4%. ผลของส่วนแข็ง (IPDI และ DMPA) ที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ยืนยันด้วยสเปกตรัมจาก FTIR และ โครมาโต

กราฟฟีแบบแผ่นบางพร้อมทั้งเครื่องวัดแบบเฟรมไอออนไนซ์ (Thin layer chromatograph equipped with flame ionization detector (TLC/FID)) ประสิทธิภาพการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับปริมาณของส่วนแข็งที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ IPDI และ DMPA จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสเปกตรัม FT-IR และการวิเคราะห์ TLC/FID พบว่าพื้นที่สัมพัทธ์ของยอดแหลมของหมู่ N-H (1550 cm^{-1}) เปลี่ยนแปลงกับปริมาณของ IPDI อย่างเป็นนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการทดลองพันธะ N-H ในส่วนแข็งนั้นเป็นตัวสำคัญในปฏิกิริยาการกราฟต์ของ MMA

Liu *et al.* (2002) ศึกษาเกี่ยวกับระบบรีดอกซ์แบบใหม่ ซึ่งประกอบไปด้วยโปแตสเซียม โคพีเรียดเคตต์นิเคิลเลต-หางนม (Potassium diperiodatonickelate (Ni(IV))-casein) ซึ่งใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไซนของบิวทิล อะคริเลต (Butyl acrylate) บนหางนม (Casein) ภายใต้สภาวะของผสม (Heterogeneous condition) ในสารละลายโปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% ซึ่งพบว่าให้ประสิทธิภาพการกราฟต์ และเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ที่สูง การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ใช้วิธีทางสเปกโตรสโคปีโดยใช้เครื่อง FTIR (FTIR spectroscopy) การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analysis) และภาพถ่ายทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ในการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไซน ได้แก่ ผลของแสงที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ และอัตราเร็วในการพอลิเมอร์ไซน (R_p) ผลของความเข้มข้น Ni(IV) ซึ่งเป็นตัวเริ่มต้น (Initiator) ในการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไซน พบว่าเมื่อความเข้มข้น Ni(IV) เพิ่มขึ้น R_p จะเพิ่มขึ้นด้วย จนกระทั่งสูงสุดของความเข้มข้นของ Ni(IV) เท่ากับ 5.3×10^{-4} โมล/ลิตร R_p จะลดลง และสำหรับผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยานั้น R_p เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิตั้ง 40°C ค่าของ R_p จะลดลง

Kumar and Alagar (2002) ได้ทดลองเตรียมโคพอลิเมอร์ตัวใหม่ของไวนิลออกซิอะมิโนไซเลนกราฟต์บนเอธิลีน-โพรไพลีน-ไดอีนเทอร์พอลิเมอร์ (Vinylxyaminosilane grafted ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM-g-VOS)) ใน โทลูอีน โดยใช้ไดคิวมิล เปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) เป็นตัวเริ่มต้น ประสิทธิภาพการกราฟต์ของไวนิลออกซิอะมิโนไซเลนบนเอธิลีน-โพรไพลีน-ไดอีน เทอร์พอลิเมอร์ (Ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM)) ได้ถูกศึกษาโดยเป็นฟังก์ชันของปริมาณ EPDM ระยะเวลาของปฏิกิริยา อุณหภูมิของปฏิกิริยา และความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น และใช้สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการกราฟต์ที่สูงที่สุด การกราฟต์จะกระทำใน Haake Rheocord-90 torque rheometer. การกราฟต์ของ EPDM-g-VOS จะถูกยืนยันโดยใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy) สมบัติทางเชิงกล ความร้อน และ ไฟฟ้า ของ EPDM-g-VOS ที่วัลคาไนซ์ด้วยน้ำร้อน และ EPDM ที่วัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ถูก

นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งสมบัติทางเชิงกลของ EPDM-g-VOS ลดลงกับความสามารถในการหักงอใน ส่วนของ VOS อย่างไรก็ตามสมบัติทางอุณหภูมิ และไดอิเล็กตริก เพิ่มขึ้นกับการกราฟต์ของ VOS บน EPDM เช่นเดียวกับรูปแบบของความเสถียรทางอุณหภูมิในโครงสร้างทางสามมิติผ่านจุด เชื่อมโยง Si-O-Si-

Wang *et al.* (2002) ได้สังเคราะห์และกราฟต์โคพอลิเมอร์ของเด็กซ์ทราน (Dextran) กับ พอลิ(*N*-ไอโซโพรพิลอะคริลาไมด์) (Poly(*N*-isopropylacrylamide) (PNIPAAm)) และรายงานว่ กราฟต์โคพอลิเมอร์สามารถใช้ในการสร้างไมเซลล์พอลิเมอร์ ในลักษณะของตัวพาของยา ส่งไปยัง ส่วนปลายของลำไส้ใหญ่ โครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์วิเคราะห์ได้ FTIR ¹H and ¹³C-NMR เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรพอลิเมอร์ (H%) ประสิทธิภาพการกราฟต์ (GE%) และเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (G%) ของโคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเซอร์ริกอะตอมลิสต์ (Ceric catalyst) ระยะเวลาในการกราฟต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ GE% และ G% ของโคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น การกราฟต์ที่ อุณหภูมิสูงจะทำให้ GE% และ G% เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเกิน LCST ของ โคพอลิเมอร์ ค่าของ GE% และ G% จะลดลง และการวัดทางการหักเหของแสง (Dynamic light scattering measurement) พบว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์จากไมเซลล์อยู่ในรูปทรงกลม และสำหรับโค พอลิเมอร์ที่มี G% เท่ากับ 33.8% จะอยู่ในรูปไมเซลล์ (Micelle) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 30 nm ในสารละลาย

Hoang *et al.* (2001) ได้รายงานถึงการปรับปรุงความเข้ากันในพอลิเมอร์ผสมสองชนิด คือ พอลิสไตรีน-โค-อะคริโลไนไตรล์ (Poly(styrene-co-acrylonitrile) (SAN)) และยางอีพดีเอ็ม (Ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM)) โดยใช้การกราฟต์เมธิลเมธาไครเลต (Methyl methacrylate (MMA)) บนยางอีพดีเอ็ม (EPDM-g-methyl methacrylate (EPMMA) ซึ่งพบว่ายางอีพ ดีเอ็มที่ได้ทำการกราฟต์เมธิลเมธาไครเลต แล้วนั้น สามารถช่วยในการเข้ากันของ SAN และ ยาง EPDM ได้ดี สำหรับ EPMMA สมบัติด้านการมีความเป็นขั้ว การติด ความต้านทานต่อน้ำมัน และ ความต้านทานต่อการดึง เมื่อเปรียบเทียบกับ EPDM. โดยความเข้ากันของ SAN/EPDM สามารถ วิเคราะห์ได้จาก light scattering และ FT-IR spectra.

Izumi *et al.* (2001) ปรับปรุงความเสถียรต่อรังสีของพอลิเมอร์สายโซ่ตรง โดยศึกษาการ ฉายรังสีเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์พอลิเมอไรเซชันของ สไตรีนบนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาการฉายรังสีอย่างต่อเนื่องและการฉายรังสีในคอนตัน เปอร์เซ็นต์การกราฟต์แปรผันตามความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และความเข้มของรังสี โดยที่ ประสิทธิภาพการกราฟต์จะลดลงจากการเพิ่มของการพอลิเมอไรซ์ สไตรีนอย่างเดียวก ในช่วงความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (<3 wt%) เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ค่อนข้างเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของส

ไครลิน อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์กราฟต์จะเพิ่มขึ้นและคงที่ที่ความเข้มข้นของสไตรีนสูง ในทางตรงกันข้าม พอลิเมอร์ที่มีการกราฟต์สูงมากสามารถเตรียมได้จากการฉายรังสีในคอนตัน กราฟต์โคพอลิเมอร์สามารถวิเคราะห์ปริมาณของวงแหวนฟีนิล (Phenyl ring) ของสไตรีนมอนอเมอร์ทำได้โดยใช้ FT-IR spectroscopy.

Prasassarakich *et al.* (2001) ได้รายงานถึงการกราฟต์โคพอลิเมอร์แซนของสไตรีนและอะครีโลไนไตรล์ บนยางธรรมชาติ ที่เตรียมจากกระบวนการพอลิเมอร์แซนแบบอิมัลชัน ใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวเริ่มต้น โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น อุณหภูมิของปฏิกิริยา และความดัน ที่มีต่อการเปลี่ยนของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์และสมบัติการกราฟต์ของยางธรรมชาติ การเปลี่ยนของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของตัวเริ่มต้น ปริมาณการกราฟต์จะสูงขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70°C ความดัน 3.1 บาร์ ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง และความเข้มข้นตัวเริ่มต้น 1.5 ส่วนโดยน้ำหนัก สเปกตรัม FTIR ของยางกราฟต์ได้ถูกศึกษาและแสดงให้เห็นว่ามีกลุ่มไนไตรล์ ($\text{C}\equiv\text{N}$ stretching) เกิดขึ้นที่ 2238 cm^{-1} และพันธะคู่คาร์บอน ($\text{C}=\text{C}$ stretching) ของวงแหวนเบนซีนในสไตรีน ปรากฏที่ 1510 cm^{-1} ซึ่งยืนยันให้เห็นว่ามีกราฟต์ของอะครีโลไนไตรล์ และสไตรีนบนยางธรรมชาติเกิดขึ้น องค์ประกอบของโคพอลิเมอร์สามารถวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ เมื่อทดสอบยางธรรมชาติที่กราฟต์แล้วกับสไตรีนอะครีโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ (SAN) นำยางทดสอบที่ได้มาศึกษา ผลขององค์ประกอบการผสมที่มีต่อความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และความแข็ง ซึ่งพบว่ายางธรรมชาติที่กราฟต์แล้วนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโคพอลิเมอร์ SAN ได้.

Zhou *et al.* (2001) ศึกษาการกราฟต์โคพอลิเมอร์แซนของกรดโอเลอิกบนอะครีโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีนเทอร์พอลิเมอร์ (Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)) terpolymer) ซึ่งเริ่มต้นปฏิกิริยาโดยบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Butyl peroxide (BPO)) ในสารละลาย 1,2 ไดคลอโรอีเทน (1,2 Dichloroethane) โดยใช้การวิเคราะห์ทางสเปกตรัมอินฟราเรด IR เพื่อยืนยันการกราฟต์ของกรดโอเลอิกบนสายโซ่ ABS และศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดโอเลอิก บิวทิลเปอร์ออกไซด์ และ ABS ที่มีต่อการกราฟต์ โดยการกราฟต์พบว่าเกิดบริเวณของบิวตะไดอีนที่มีใน ABS กลไกปฏิกิริยาได้ถูกสร้างขึ้นโดยให้การกราฟต์ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นโดยการสิ้นสุดระหว่างอนุมูลอิสระกรดโอเลอิกกับอนุมูลอิสระของ ABS อัตราเร็วของการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรดโอเลอิกจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดที่ 0.3 โมล/ลิตร จากนั้นจึงลดลง

Chuahan *et al.* (2000) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการกราฟต์ 4-วินิลไพรีดีนบนเซลลูโลสที่สกัดมาจากสนเข็ม โดยการใช้คลื่นรังสี พบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ ประสิทธิภาพการกราฟต์ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของพอลิเมอร์ในการกราฟต์ และ โสโมพอลิเมอร์ เป็นฟังก์ชันกับ

ความเข้มข้นของคลีนริงส์ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และปริมาณของน้ำ ซึ่งพบว่าทั้งความเข้มข้นของคลีนริงส์ และความเข้มข้นของมอนอเมอร์ทำให้การกราฟต์เพิ่มขึ้นและลดลงไม่แน่นอน อย่างไรก็ตาม อัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชันก็ยังคงแสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอน แต่เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์และความเข้มข้นของริงส์

Chen *et al.* (2000) ศึกษาการปรับปรุงทางเคมีของผงพอลิ อะนิลีน โดยการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันบนผิว พบว่าปริมาณการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่ใช้ในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน การมีเกลืออมอร์ฟป้องกันไม่ให้เกิดโฮโมพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก อัตราเร็วในการเริ่มต้นปฏิกิริยาและอัตราเร็วของการแพร่ของมอนอเมอร์บนผิวของผงพอลิเมอร์คาดว่าจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชัน และเพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญในอุณหภูมิช่วงระหว่าง 40 และ 60°C อุณหภูมิสูงสุดในช่วงของการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันผงอีเมอร์ลดีน (Emeraldine (EM)) กับ AAc ในช่วงระหว่าง 60 and 90°C พบว่าเปอร์เซ็นต์กราฟต์สูงสุดที่ได้คือ 40 wt.%

Das and Saikia (2000) ทำการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันเมธิลเมธาไครเลต (Methyl methacrylate (MMA)) บนเส้นใยไหม (non-mulberry silk fibre *Antheraea assama*) ที่ใช้ระบบรีดอกซ์ที่ใช้โปแตสเซียมเปอร์มังกานेट-กรดออกซาลิก จากการศึกษาผลของปัจจัยในการกราฟต์ คือ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และตัวเริ่มต้น เวลา และอุณหภูมิ พบว่าปริมาณการกราฟต์จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์และความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น $Mn(IV)$ จนถึง 6×10^{-3} M แต่ลดลงหลังจากนั้น อัตราเร็วในการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับเวลาที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่ 4 ชั่วโมงจากนั้นจึงลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยาด้วย และที่ 50°C จะได้ปริมาณการกราฟต์สูงสุด ปริมาณการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึง 50°C จากนั้นการเพิ่มขึ้นจะค่อยๆ ลดลง

Dong and Hsieh (2000) รายงานว่า โพรตีนหางนมซึ่งละลายใน 5% เอทานอลามีน ไตรเอธิลลามีน และ ไตรเอทานอลามีน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของหางนม (40 กรัม/ลิตร) กับอะคริโลไนไตรล์ (AN) จะทำใน สารละลาย 5% w/v ไตรเอทานอลามีน (5% w/v aq. Triethanolamine) ที่ 60°C ใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวเริ่มต้น เปอร์เซนต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น และเวลาของปฏิกิริยา แต่ลดลงกับอัตราส่วน M/I การยืนยันการเกิดอะคริโลไนไตรล์-กราฟต์-หางนม (Acrylonitrile-grafted-casein (AN-g-casein)) ทำได้โดยการใช้อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy) ภายใต้อุณหภูมิของปฏิกิริยา สายโซ่กราฟต์ PAN จะวิเคราะห์โดยใช้วิธีโครมาโตกราฟี (Gel permeation chromatography) พบว่ามี M_n ระหว่าง 1.58 และ 5.88×10^4 ดาล

ตัน และมีการกระจาย (Polydispersibilities) ระหว่าง 2.6 และ 4.5 AN-g-casein copolymers จะเหมือนการมีไฮโมพอลิเมอร์ PAN ในทางนม โดยมีค่า T_g อยู่ในช่วง 255 และ 273 °C ซึ่งใกล้เคียงกับค่า T_g ของไฮโมพอลิเมอร์ PAN (275°C) และสูงกว่าทางนม (180°C) และ AN-g-casein สามารถละลายได้ใน 50% aq. NaSCN แล $ZnCl_2$ แต่ไม่ละลายใน 32:28:40 wt% $CaCl_2/CH_3CH_2OH/H_2O$ เหมือนกับ PAN และ ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Dimethylformamide) เหมือนกับทางนม

Grigoryeva and Karger-Kocsis (2000) รายงานว่าการกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride (MAH)) บนยางเอธิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน เทอร์โพลิเมอร์ (Ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM)) ที่มีปริมาณเอธิลีนสูง (= 74 wt%) ในสภาวะหลอมเหลว โดยมีเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้น โดยใช้บราเบนเดอร์ พลาสติกโคเดอร์ (Brabender Plasticoder) ประสิทธิภาพการกราฟต์และองศาการเชื่อมโยง (Crosslinking degree) ของยาง EPDM ที่กราฟต์แล้ว (EPDM-g-MAH) วัดโดยวิธีทางสเปกโตรสโกปี (FTIR spectroscopy) และการสกัดด้วยไซลีน (Xylene extraction) ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกราฟต์และองศาการเชื่อมโยงจะได้รับอิทธิพลจากปริมาณของ MAH และเปอร์ออกไซด์ (2,5-dimethyl-2,5-di-(α -butylperoxy)hexane) ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นต่ำทั้งของ MAH (<5 wt%) และ เปอร์ออกไซด์ (<0.2 wt%) จะทำให้ได้ การกราฟต์ของ MAH ที่ปริมาณการเจลด้า ความเข้มข้นของ MAH เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของ MAH ลดลงเล็กน้อย ที่ปริมาณ MAH 2% จะให้ปริมาณการกราฟต์ของ MAH สูง โดยองศาการกราฟต์ต่ำที่สุด นอกจากนี้พบว่าปริมาณการเชื่อมโยงค่อนข้างสูง (ประมาณ 45%) โดยสรุป พบว่าปริมาณของอนุมูลอิสระของ MAH บนยาง EPDM ไม่ได้ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ MAH แต่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Crosslinking reaction) และการหยุดปฏิกิริยาโดยการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระกัน (Disproportionation reaction) ที่ปริมาณของ MAH สูงถึง 7% โดยน้ำหนัก ไม่ได้ทำให้องศาการกราฟต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของ MAH ไปจนถึง 10% โดยน้ำหนัก จะทำให้องศาการกราฟต์ลดลง นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของ MAH เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเปอร์ออกไซด์จะทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนลดลงเล็กน้อย สำหรับตัวแปรของกระบวนการทดลอง เช่น อุณหภูมิในการผสม เวลา ความเร็วของ โรเตอร์ และปริมาณที่ใส่ภายในห้องผสมมีผลกระทบต่อการแข่งขันระหว่างการกราฟต์กับการเชื่อมโยง

จรัญ (2547) ได้ทำการศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ กับพอลิเอครีโลไนไตรล์โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์ระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory semi-batch reactor) โดยจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ก็เพื่อประยุกต์ใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ในงานทนน้ำมันและตัวทำละลายไม่มีขั้วโดยใช้น้ำมันดีเซล และ โทลูอีนแทนน้ำมัน และตัวทำละลายไม่มีขั้ว ตามลำดับ โดยทำการศึกษาผลกระทบของเวลาในการ

ทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิปฏิกิริยา ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ พื้นที่ได้กราฟต์ ของ $-C\equiv N$ สมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ และอัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละการกราฟต์ พื้นที่ได้กราฟต์ของ $-C\equiv N$ อัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ขนาดอนุภาคของน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ และสมบัติการทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายไม่มีขั้ว มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิปฏิกิริยา ในส่วนของประสิทธิภาพในการกราฟต์พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาถึงค่าหนึ่ง กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีคุณสมบัติในการทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายไม่มีขั้วดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ โดยที่ร้อยละของการบวมพองในน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไม่มีขั้วมีค่าลดลงประมาณ 5 เท่า

เจริญ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของยางธรรมชาติ และน้ำยางชันชนิดแอมโมเนียสูงด้วยเมธิลเมทาคริเลท (MMA) โดยน้ำยางธรรมชาติถูกสกัดโปรตีนออกโดยใช้เอนไซม์ และน้ำยางธรรมชาติที่สกัดโปรตีนออกแล้ว กับน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง มากราฟต์ด้วยเมธิลเมทาคริเลท แล้วนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับกัน จากการศึกษาพบว่าค่าการเปลี่ยนของมอนอเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติที่สกัดโปรตีนออกแล้วนั้น มีค่าสูงกว่าน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงในทุก ๆ ปริมาณของเมธิลเมทาคริเลทที่ใช้ และปริมาณของ PMMA ที่เกาะอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาตินั้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ MMA ที่ใช้ และนอกจากนี้ยังพบว่าขนาดโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ระบบ มีขนาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MMA ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาด้วย

Makhlouf et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก ลงบนเส้นใยพอลิเอไมด์ (PA 6.6) โดยใช้ Benzoyl peroxide (BPO) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า อัตราการกราฟต์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอะคริลิก ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา เวลา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ ความเข้มข้นของกรดอะคริลิก เท่ากับ 0.5 M ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา เท่ากับ 0.03 M อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ $85^{\circ}C$ และเวลาในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 120 นาที

Cho and Lee (2002) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันเพื่อเตรียม Starch-g-Polystyrene โดยมี Potassium persulfate (KPS) Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) และ Tetraethylthiuram disulfide (TETDS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา อิมัลซิไฟเออร์ และตัวเคลื่อนย้ายสายโซ่ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์เพิ่มขึ้นร้อยละการกราฟต์มีค่าเพิ่ม และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

TETDS โดยในส่วนของขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ มีค่าลดลงเมื่อทำการให้ความร้อนก่อนนำไปทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน

Dong and Gu (2002) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของอะครีโลไนไครล์ลงบนเคซีน (Casein) ในสารละลายเข้มข้นของโซเดียมไทโอไซยาเนต และวิเคราะห์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ (NR-g-Casein) โดยใช้ FT-IR โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ผลจากความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่ม อุณหภูมิของปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยมีผลต่อ Yield of polymerization (Y), Percent of grafting (%G) และ Grafting efficiency (GE) โดยค่าทั้ง 3 เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่ม และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แต่ที่อุณหภูมิ 75°C ค่า GE และ %G ลดลง และในส่วนของค่า Y เพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเชิงเส้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 60 นาที และหลังจากนั้นจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที

Oliveira et al. (2005) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ Dimethylaminoethyl methacrylate (DMAEMA) โดยใช้ระบบตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ ได้แก่ Cumene hydroperoxide (CHP) และ Tetraethylenepentamine (TEPA) ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ โดยทำการหาค่าประสิทธิภาพในการกราฟต์ สันฐานวิทยาของกราฟต์โคพอลิเมอร์ และ Gel fraction ซึ่งจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกราฟต์มีค่าสูงสุด เมื่อใช้ DMAEMA ร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก และสันฐานวิทยาของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้คือ Poly (Dimethylaminoethyl methacrylate) จะหุ้มอยู่รอบอนุภาคของยางธรรมชาติ ซึ่งหาได้โดยใช้ Transmission Electron Microscopy (TEM)

Sudarjanto et al. (2006) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการสลายตัวแบบผสมผสานระหว่างวิธีการทางเคมี และชีวภาพของสีย้อม โดยใช้ Response Surface Method ในการออกแบบการทดลองและหาสภาวะในการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองได้ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้อากาศทำการย่อยสลายสีย้อม C.I. Reactive Azo Red 195A โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาของการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น และสัดส่วนการหมุนเวียนในระบบ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี และสภาวะในการดำเนินการที่เหมาะสม โดยวัดค่าออกมาในรูปของ ความเข้มข้นของสีย้อม และ Soluble Chemical Oxygen Demand (S-COD) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จาก RSM ของงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า RSM มีประสิทธิภาพ และประโยชน์มากในการทำนายประสิทธิภาพของระบบและบ่งชี้สภาวะของการทดลองที่ทำให้ได้ค่าการย่อยสลายสีย้อมสูงที่สุด โดยใช้วิธีการย่อยสลายแบบผสมผสานระหว่างวิธีการทางเคมีและชีวภาพ

Ravikumar et al. (2005) ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมแบบแบทช์โดยใช้ Response Surface Method ในการออกแบบการทดลองและหาสภาวะในการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งสีย้อมที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ Astrazone Blue FRR (Basic Blue 69) และ Teflon Blue (Acid Blue 125) ส่วนตัวดูดซับที่ใช้ได้มาจากการไพโรลิซิสระหว่างคาร์บอน และถ้ำลอยในอัตราส่วน 1 : 1 โดยงานวิจัยนี้ใช้ 2^4 full factorial central composite design ในการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง จะได้ว่าจากผลการทดลองและสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า RSM เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองและหาค่าการกำจัดสีสูงสุดของระบบ

ข้อสรุปข้อมูลจากการค้นคว้า : งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันมีมากมายโดยจากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะในการทำปฏิกิริยาได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งข้อดีของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันคือ ความหนืดของสารทำปฏิกิริยาดำ ควบคุมอุณหภูมิง่าย และผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการดำเนินการในระดับปฏิบัติการถึงแบทช์ขนาดต้นแบบ ปริมาตร 50 ลิตร ใช้การออกแบบการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค RSM งานวิจัยโดยส่วนใหญ่จากการค้นคว้าและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานที่ไม่ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค RSM