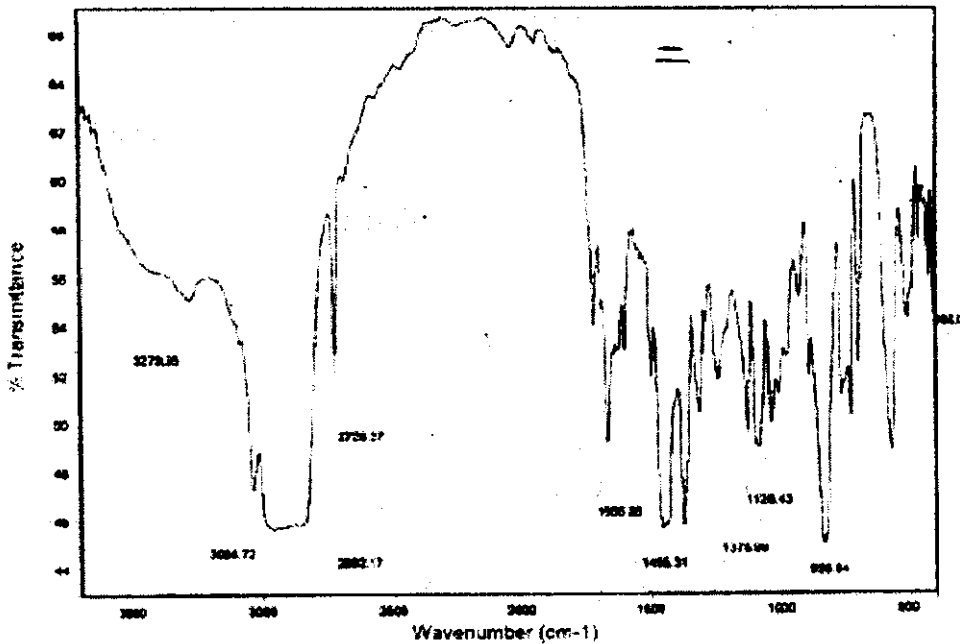


## บทที่ 4

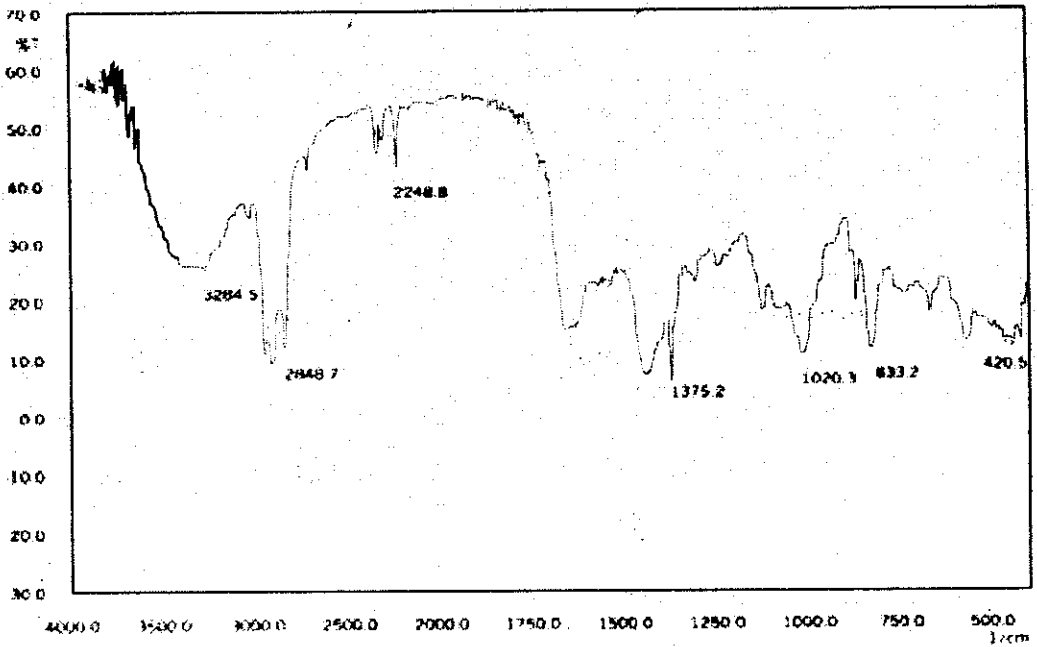
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 4.1 การพิสูจน์โครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์

จากการทดลองเมื่อทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ในไตรล์ในปฏิกรณ์กึ่งแบบทซ์ขนาดต้นแบบ ปริมาตร 50 ลิตร และพิสูจน์โครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ที่เตรียมได้โดยใช้เครื่อง FT-IR ได้สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ เปรียบเทียบกับกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ที่เตรียมได้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 17 และ 18 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 17 แถบการดูดกลืนแสงของยางธรรมชาติที่ได้จากเครื่อง FT-IR



ภาพประกอบที่ 18 แถบการดูดกลืนแสงของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ  
กับพอลิอะคริโลไนไตรล์ที่ได้จากเครื่อง FT-IR

จากภาพประกอบที่ 17 และ 18 พบว่าแถบการดูดกลืนแสงของหมู่แสดงสมบัติของยางธรรมชาติมีหมู่ที่สำคัญ คือ =CH Stretching ที่  $3020\text{ cm}^{-1}$ , C-H Stretching of  $\text{-CH}_3$  and  $\text{-CH}_2$  ที่  $2990\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$  C=C Stretching in  $\text{cis-RCH=CHR}$  ที่  $1660\text{ cm}^{-1}$  และ C-H Bending of  $\text{CH}_3$  ที่  $1380\text{ cm}^{-1}$  (พิมพ์จิตร และวัชรินทร์, 2542) แถบการดูดกลืนแสงของยางธรรมชาติที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 11

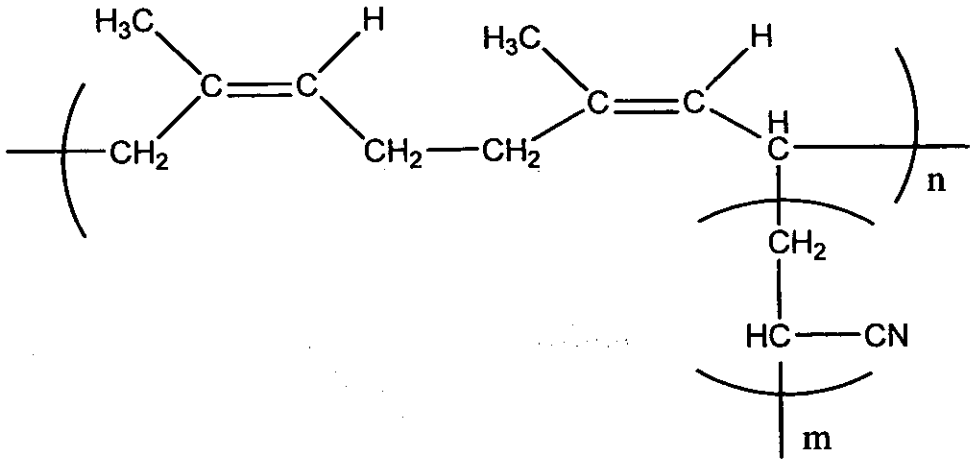
ตารางที่ 11 แถบการดูดกลืนแสงของยางธรรมชาติที่ได้จากการทดลอง

Functional groups	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )
=CH Stretching	3034.72
C-H Stretching of $\text{CH}_3$ and $\text{-CH}_2$	2962.17
C-H Bending of $\text{CH}_3$	1375.99
C=C Stretching in $\text{cis-RCH=CHR}$	1665.26
C-H Wagging	836.04

จากการทดลองพิสูจน์โครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์โดยใช้เครื่อง FT-IR ได้ผลคือในส่วนของยางธรรมชาติมีหมู่ที่สำคัญคือ =CH Stretching ที่  $3020\text{ cm}^{-1}$ , C-H Stretching of  $\text{CH}_3$  and  $-\text{CH}_2$  ที่  $2990\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$  และ C-H Bending of  $\text{CH}_3$  ที่  $1380\text{ cm}^{-1}$  และในส่วนของแถบดูดกลืนแสงของหมู่ไนไตรล์นั้นจะแสดงแถบที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของ  $\text{C}\equiv\text{N}$  Stretching ซึ่งมีความเข้มต่ำถึงปานกลางของอะติฟาดิกไนไตรล์ที่  $2300\text{--}2200\text{ cm}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่าในโครงสร้างของยางธรรมชาติมีหมู่ไนไตรล์เกาะติดอยู่ในโมเลกุล แถบการดูดกลืนแสงของหมู่แสดงสมบัติที่สำคัญของยางธรรมชาติ และกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ เปรียบเทียบได้ดังแสดงในตารางที่ 12 และจากการพิสูจน์โครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ พอลิอะคริโลไนไตรล์โดยใช้เครื่อง FT-IR นั้น สามารถทำนายสูตร โครงสร้างที่เป็นไปได้ของ โมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 19

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบแถบการดูดกลืนแสงของยางธรรมชาติและกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ที่ได้จากการทดลอง

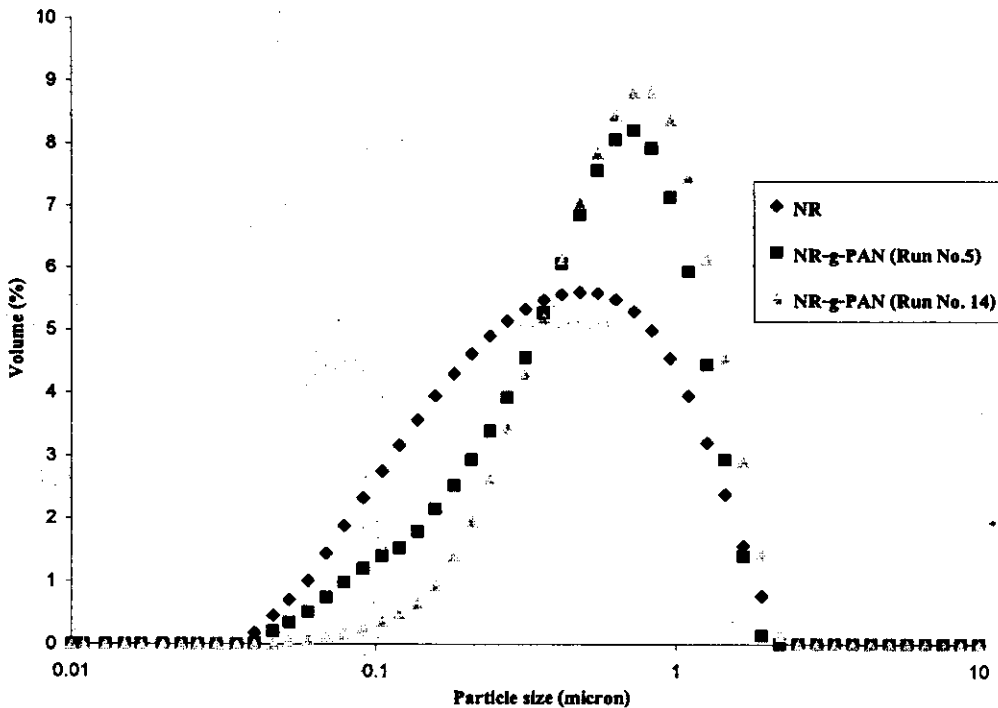
Functional Groups	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )	
	Natural rubber	NR-g-PAN
=CH Stretching	3034.72	3284.50
C-H Stretching of $\text{CH}_3$ and $-\text{CH}_2$	2962.17	2848.70
C-H Bending of $\text{CH}_3$	1375.99	1375.20
C-H Wagging	836.04	833.20
$\text{C}\equiv\text{N}$ Stretching	-	2248.80



ภาพประกอบที่ 19 สูตรโครงสร้างที่เป็นไปได้ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ พอลิอะคริโลไนไตรล์ (NR-g-PAN)

#### 4.2 การศึกษาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์

ผลการศึกษาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากสภาวะการทดลองที่ 5 และ 14 กับยางธรรมชาติ แสดงดังภาพประกอบที่ 20 โดยจากกราฟพบว่า การกระจายตัวของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์อยู่ในช่วงที่แคบกว่าการกระจายตัวของอนุภาคยางธรรมชาติ และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของยางธรรมชาติมีขนาดเล็กกว่าของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีรายงานไว้ก่อนหน้านี้ (เจริญ และคณะ, 2543; จรรย์, 2547; Kim et al., 2000) การที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมโรไลเซชันของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์นั้นยางธรรมชาติเปรียบเสมือนเป็นแกนกลางให้พอลิอะคริโลไนไตรล์เคลือบบนผิวของยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงส่งผลให้ขนาดของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ กระบวนการโคพอลิเมโรไลเซชันแบบอิมัลชันทำให้ขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์แคบกว่าของยางธรรมชาติ



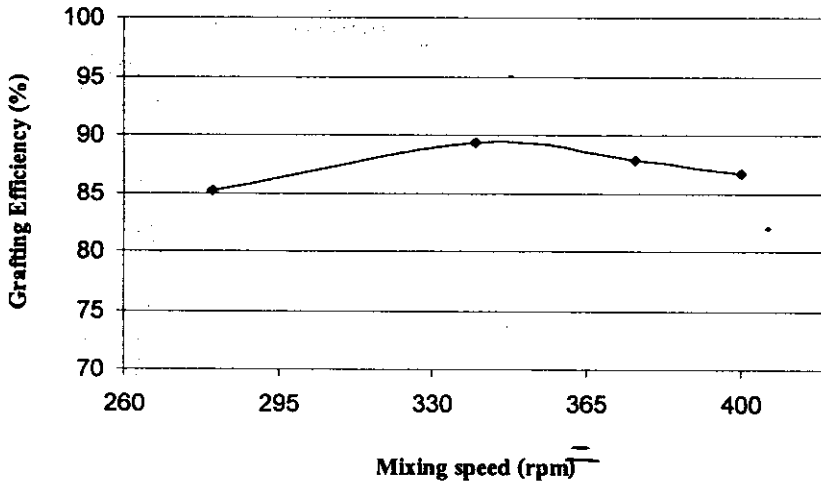
ภาพประกอบที่ 20 การเปรียบเทียบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของยางธรรมชาติ  
กับกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิเอครีโลไนไตรต์

#### 4.3 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสม ( $V_{mix}$ , rpm)

จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมที่มีต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ ร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซลและทูลอีน และค่า 300 %โมดูลัสของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ได้ความสัมพันธ์ของความเร็วยรอบในการกวนผสมที่มีต่อตัวแปรตามต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

#### 4.3.1 อิทธิพลของความเร็วยอบในการกวนผสมต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

อิทธิพลของความเร็วยอบในการกวนผสมต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์สำหรับการทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไฮโดรเจลของยางธรรมชาติกับอะครีโลไนไตรล์ เมื่อควบคุมให้  $[M]$ ,  $[I]$  และ  $T$  คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 21



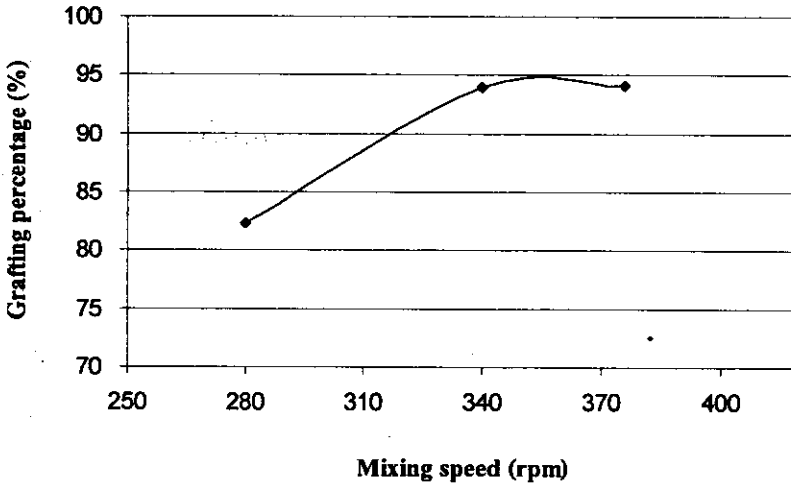
ภาพประกอบที่ 21 อิทธิพลของความเร็วยอบในการกวนผสมต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ยางธรรมชาติด้วยพอลิอะครีโลไนไตรล์

$[M] = 13 \text{ \%mol}$ ,  $[I] = 23 \text{ mmol/L}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$

ภาพประกอบที่ 21 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนผสมต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ พบว่าประสิทธิภาพในการกราฟต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วยอบที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งก่อนที่จะลดลงกับความเร็วยอบที่เพิ่มขึ้น การกวนผสมด้วยความเร็วยอบที่สูงขึ้นในช่วงแรกส่งเสริมให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์สูงขึ้นเพราะการกวนด้วยความเร็วยอบที่เหมาะสมนั้นสนับสนุนให้มีการถ่ายโอนมวลของมอนอเมอร์จากอนุภาคของมอนอเมอร์ไปยังอนุภาคของพอลิเมอร์ได้เร็วขึ้น แต่เมื่อความเร็วยอบในการกวนผสมเพิ่มสูงกว่า 340 rpm จะเพิ่มความสามารถในการละลายของมอนอเมอร์ในน้ำ ซึ่งจะกีดกันการเกิดไมเซลล์ และส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรพอลิเมอร์ไฮโดรเจลของอะครีโลไนไตรล์เกิดเป็นพอลิอะครีโลไนไตรล์มากกว่าการกราฟต์ ประสิทธิภาพในการกราฟต์จึงลดลง

#### 4.3.2 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการกราฟต์

จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมที่มีต่อร้อยละการกราฟต์เมื่อควบคุม  $[M]$ ,  $[I]$  และ  $T$  ให้คงที่ แสดงคังภาพประกอบที่ 22

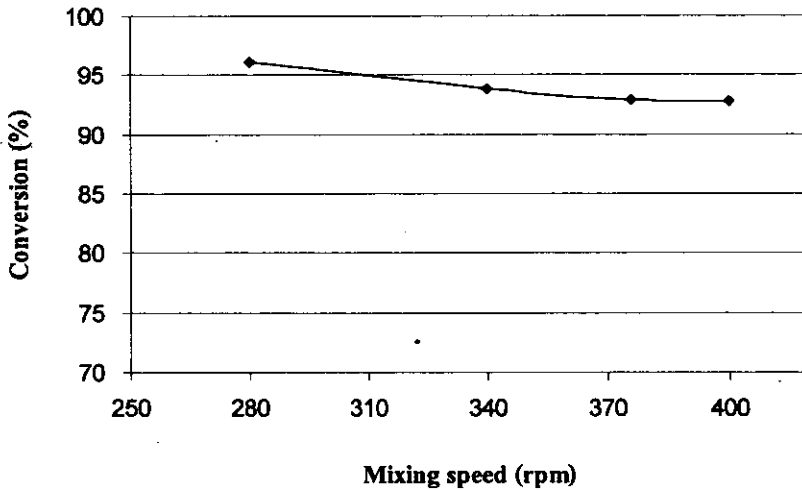


ภาพประกอบที่ 22 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการกราฟต์ของพอลิอะครีโลไนไตรล์ลงบน โมเลกุลยางธรรมชาติ  
 $([M] = 13 \%mol, [I] = 23 mmol/L, T = 50^{\circ}C)$

ภาพประกอบที่ 22 แสดงผลของความเร็วยรอบต่อร้อยละการกราฟต์ของพอลิอะครีโลไนไตรล์ ซึ่งแสดงถึงร้อยละของโมเลกุลของพอลิอะครีโลไนไตรล์ที่กราฟต์ลงบนสายโซ่ของยางธรรมชาติ พบว่าการเพิ่มความเร็วยรอบทำให้ร้อยละการกราฟต์มีค่าสูงขึ้น จนถึงความเร็วยรอบค่าหนึ่งร้อยละการกราฟต์ก็จะคงตัวไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วยรอบอีกต่อไป สนับสนุนการอธิบายผลของความเร็วยรอบต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ คือการเพิ่มความเร็วยรอบส่งเสริมการถ่ายโอนมวลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ประสิทธิภาพการกราฟต์และร้อยละการกราฟต์สูงขึ้น แต่เมื่อความเร็วยรอบสูงถึงจุดหนึ่งการเกิดปฏิกิริยาไม่ได้ถูกควบคุมด้วยกระบวนการถ่ายโอนมวลอีกต่อไป แม้จะมีอะครีโลไนไตรล์ส่วนหนึ่งไปเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพในการกราฟต์ลดลงแต่ก็มีปริมาณเพียงพอที่จะครอบคลุมลงบนสายโซ่ของยางธรรมชาติ ดังนั้นร้อยละการกราฟต์ยังคงสูงและไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วยรอบในการกวนอีกต่อไป ดังภาพประกอบ 22

### 4.3.3 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการเปลี่ยน

จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน เมื่อควบคุม [M], [I] และ T ให้คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบที่ 23 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการเปลี่ยน

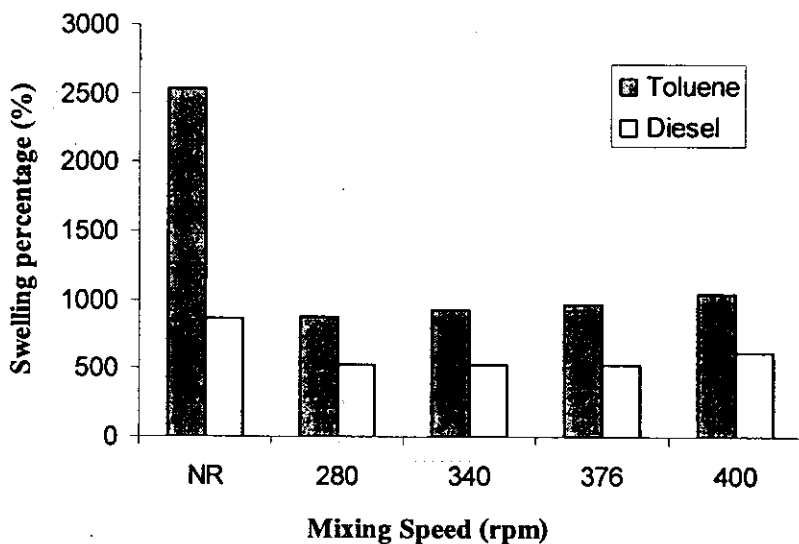
$$([M] = 13 \% \text{mol}, [I] = 23 \text{ mmol/L}, T = 50^{\circ}\text{C})$$

ภาพประกอบ 23 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการเปลี่ยน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาของปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของยางธรรมชาติด้วยอะครีโลไนไตรล์ จากภาพประกอบ 23 พบว่าการเพิ่มความเร็วยรอบในการกวนผสมทำให้ร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาลดลงเพราะการเพิ่มความเร็วยรอบในการกวนจะเพิ่มความสามารถในการละลายของมอนอเมอร์ในน้ำ ซึ่งจะกีดกันการเกิดไมเซลล์ และส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันของอะครีโลไนไตรล์เกิดเป็นพอลิอะครีโลไนไตรล์มากกว่าการกราฟต์ลงบนยางธรรมชาติทำให้ร้อยละการเปลี่ยนซึ่งคิดเฉพาะการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาของอะครีโลไนไตรล์ไปเป็น พอลิอะครีโลไนไตรล์ที่กราฟต์ลงบนยางธรรมชาติเท่านั้นร้อยละการเปลี่ยนจึงมีค่าลดลงกับความเร็วยรอบในการกวนซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ramirez et al. (2005)



#### 4.3.4 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการบวมพองในน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายไม่มีขั้ว

ภาพประกอบ 24 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์ ในน้ำมันดีเซล และทูโลอิน พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการกวนผสมโดยเฉพาะในช่วงที่ความเร็วยรอบสูงๆนั้น ค่าร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์ในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เพราะการทนต่อการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินขึ้นอยู่กับปริมาณของพอลิอะครีโลไนไตรล์ที่กราฟต์ลงบนโซ่ของยางธรรมชาติ ผลการศึกษาที่ความเร็วยรอบสูงๆซึ่งให้ร้อยละการกราฟต์คงตัวที่ประมาณร้อยละ 95 ส่งผลให้ร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ทั้งในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินในช่วงของความเร็วยรอบนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับความเร็วยรอบ ส่วนที่ความเร็วยรอบต่ำคือ 280 rpm จะมีความต้านทานต่อการบวมพองในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินต่ำกว่าที่ความเร็วยรอบสูงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับร้อยละการกราฟต์ที่มีค่าต่ำสุดที่ความเร็วยรอบนี้เช่นกัน นอกจากนี้ผลการทดสอบการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์ ในน้ำมันดีเซล และทูโลอิน แสดงให้เห็นว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์สามารถทนต่อตัวทำละลายไม่มีขั้วและน้ำมันปิโตรเลียมได้ดีกว่ายางธรรมชาติมาก

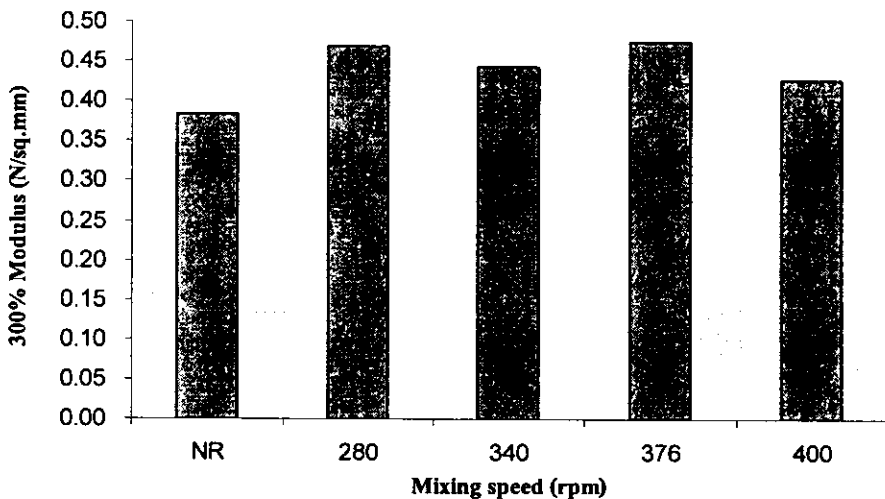


ภาพประกอบที่ 24 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซลและทูโลอิน

([M] = 13 %mol, [I] = 23 mmol/L, T = 50°C)

#### 4.3.5 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง

จากการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงที่ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ เท่ากับร้อยละ 13 โดยโมล ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา เท่ากับ 23 mmol/L และอุณหภูมิปฏิกิริยา เท่ากับ 50 °C พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการกวนผสม ทำให้ค่า 300% โมดูลัสของกราฟต์โคพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติ และในการทดลองพบว่าทั้งยางธรรมชาติและกราฟต์โคพอลิเมอร์สามารถดึงยืดได้มากและไม่มีอาการขาดในการทดสอบ โดยสมบัติการมีค่าโมดูลัสสูงมากนั้นเป็นสมบัติของพอลิอะครีโลไนไตรล์ ส่วนสมบัติการดึงยืดโดยไม่ขาดเป็นสมบัติของยางธรรมชาติโดยค่า 300% โมดูลัสมีค่าสูงสุดที่ความเร็วยรอบ เท่ากับ 376 rpm และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วยรอบสูงขึ้นดังแสดงในภาพประกอบที่ 25 ซึ่งผลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงในรูปของค่า 300% โมดูลัส ให้ผลที่สอดคล้องกับผลของความเร็วยรอบในการผสมต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลง คือความเร็วยรอบในการกวนผสมสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะเมื่อความเร็วยรอบในการกวนผสมเพิ่มสูงขึ้นอาจส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโมพอลิเมอไรเซชันของอะครีโลไนไตรล์เกิดขึ้นได้ดีทำให้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติเหมือนยางธรรมชาติมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์ ที่มี พอลิอะครีโลไนไตรล์อยู่ในสายโซ่ เพราะเมื่อมีพอลิอะครีโลไนไตรล์ อยู่ใน โมเลกุลทำให้ต้องใช้แรงในการดึงมากขึ้นดังนั้นจึงทำให้ค่า 300% โมดูลัส ของกราฟต์โคพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลง



ภาพประกอบที่ 25 อิทธิพลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่อค่า 300 % โมดูลัส

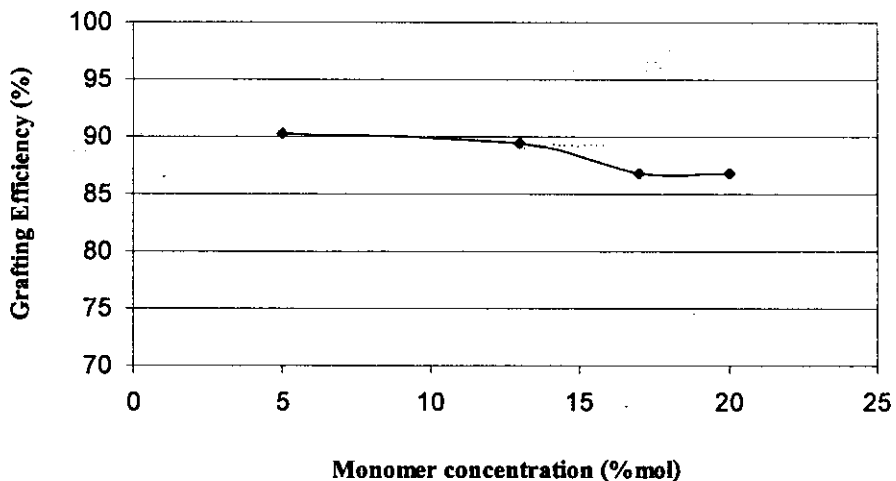
$$([M] = 13 \% \text{mol}, [I] = 23 \text{ mmol/L}, T = 50^{\circ}\text{C})$$

#### 4.4 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ([M], %mol)

จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ ร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซลและทูโลอิน และค่า 300% โมดูลัสของกราฟต์ โพลีเมอร์ สามารถแสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่มีต่อตัวแปรตามต่าง ๆ ได้ดังนี้

##### 4.4.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

ภาพประกอบที่ 26 แสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อประสิทธิภาพการกราฟต์พบว่าประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลงกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ การลดลงของประสิทธิภาพการกราฟต์กับความเข้มข้นของมอนอเมอร์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการลดลงของร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาและสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน การลดลงของประสิทธิภาพการกราฟต์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของมอนอเมอร์สอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่าน ( Kiatkamjornwong et al. 2002, Nakason et al. 2000, Chauhan et al. 2000, Kumar et al. 2002, Xu et al. 1999, Aggour et al. 1999)



ภาพประกอบที่ 26 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์  
ยางธรรมชาติด้วยพอลิอะครีโลไนไตรล์

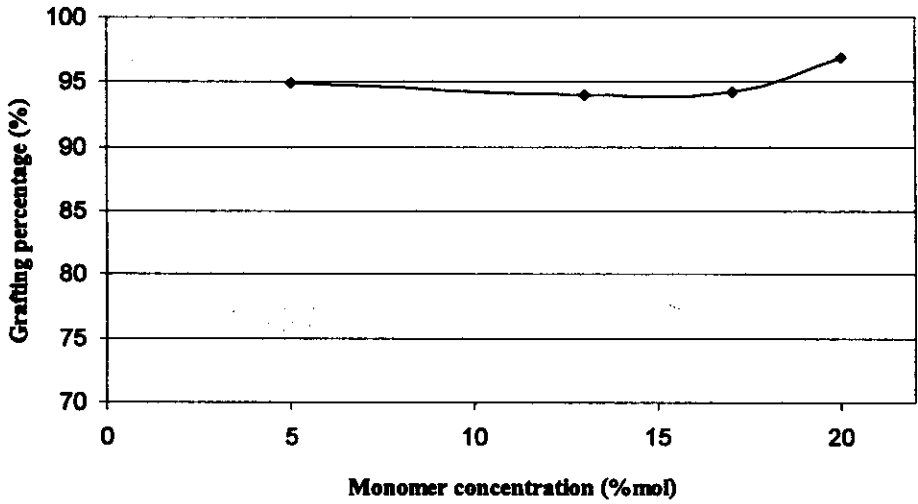
( $V_{mix} = 340$  rpm,  $[I] = 23$  mmol/L,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.4.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการกราฟต์

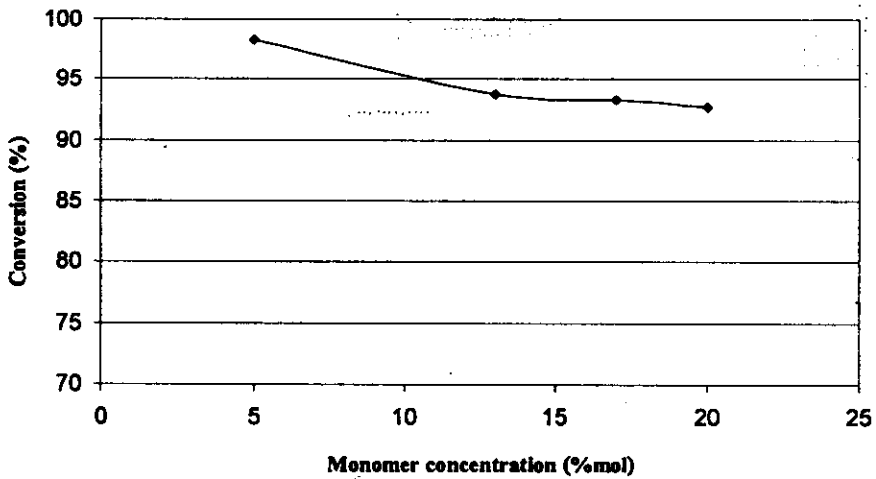
ภาพประกอบที่ 27 แสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละของการกราฟต์พบว่าในช่วงความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในช่วง ร้อยละ 5-17 โดยโมลนั้น ร้อยละการกราฟต์ประมาณได้ว่าคงที่ตลอดช่วงของความเข้มข้นดังกล่าว และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ให้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 20 โดยโมล จึงเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของร้อยละการกราฟต์กับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ การเปลี่ยนของร้อยละการกราฟต์กับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในช่วงสามารอธิบายได้ดังนี้คือ ในช่วงที่ร้อยละการกราฟต์มีค่าคงตัวนั้นแสดงว่าความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ไม่สูงพอที่จะเพิ่มจำนวนของพอลิอะคริโลไนไตรล์ลงบนสายโซ่ของยางธรรมชาติได้ เพราะมอนอเมอร์ส่วนที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ส่วนใหญ่สนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงหรือปฏิกิริยาโฮโมพอลิเมไรเซชันซึ่งเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงด้วยหลักฐานการลดลงของทั้งร้อยละการเปลี่ยนและประสิทธิภาพในการกราฟต์ ดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นจึงไม่มีมอนอเมอร์มากพอที่จะเอาชนะปฏิกิริยาเหล่านั้นทำให้ร้อยละการกราฟต์อยู่ในสภาวะที่คงตัวหรือมีแนวโน้มจะลดลงเล็กน้อยดังภาพประกอบ 27 อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 20 โดยโมล พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของร้อยละการกราฟต์ในช่วงความเข้มข้นดังกล่าวอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นเพราะมีมอนอเมอร์สูงมากพอที่จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันให้สามารถแข่งขันกับปฏิกิริยาข้างเคียงได้ทำให้ร้อยละการกราฟต์มีค่าเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของนักวิจัยหลายท่าน (Chowdhury and Pal, 1999; Grigoryeva and Karger-Kocsis, 2000; Benny, Maiti and Vamar, 2006; เจริญ และคณะ, 2543; จริญ, 2547)

#### 4.4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการเปลี่ยน

ภาพประกอบ 28 แสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา พบว่าร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (ในรูปร้อยละ โดยโมล) ทั้งนี้เพราะเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์สูงขึ้น โดยที่กำหนดให้เวลาการป้อนเท่าเดิมทำให้อัตราการการป้อนของมอนอเมอร์เข้าสู่ปฏิกรณ์สูงขึ้น จนปฏิกิริยาการกราฟต์ไม่สามารถที่จะใช้มอนอเมอร์ได้หมดในทันที เมื่อมอนอเมอร์เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันไม่ทัน จึงสามารถปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้าย ปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของอะคริโลไนไตรล์เกิดเป็นพอลิอะคริโลไนไตรล์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย และแข่งขันกับปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันได้ ดังนั้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนลดลง



ภาพประกอบที่ 27 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการกราฟต์ของ พอลิอะครี  
โลไนไตรล์ลงบน โมเลกุลยางธรรมชาติ  
( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[I] = 23 \text{ mmol/L}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$ )

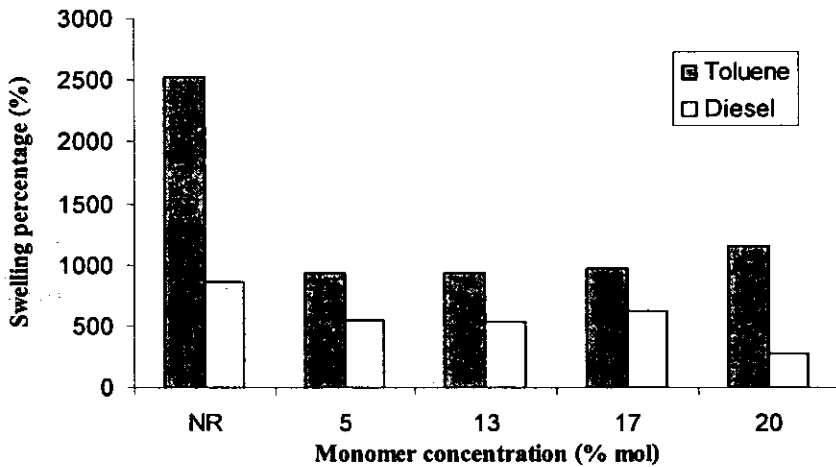


ภาพประกอบที่ 28 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการเปลี่ยน  
( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[I] = 23 \text{ mmol/L}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$ )

นอกจากนี้แล้วเนื่องจากอะครีโลไนไตรล์ เป็นมอนอเมอร์ที่มีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อหลงเหลืออยู่ในปฏิกรณ์มาก ก็จะดึงเอาน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคของยางไว้น้ำที่ห่อหุ้มนั้นเหลืออยู่น้อย เม็ดยางจึงเข้าใกล้กันได้มากขึ้นจึงมีความหนืดสูงขึ้นมาก และพอลิอะครีโลไนไตรล์ที่มีขนาดโมเลกุลสั้นๆที่เกิดจากปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของอะครีโลไนไตรล์สามารถละลายน้ำได้ จะเป็นตัวแกนหลักในการให้เม็ดยางเข้ามาเกาะกัน ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ของพอลิอะครีโลไนไตรล์บนยางธรรมชาติได้อีกทางหนึ่งด้วย ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงลดลงตามความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 13 โดยโมลดังภาพประกอบ 28 การลดลงของร้อยละการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของมอนอเมอร์สอดคล้องกับผลการศึกษานักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาการกราฟต์โคพอลิเมอร์ในหลายๆระบบ (เจริญ, 2547; เจริญ และคณะ, 2543; Grigoryeva and Karger-Kocsis, 2000; Chauhan et al., 2000; Aggour and Abdel-Razik, 1999)

#### 4.4.4 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการบวมพองในน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไม่มีขั้ว

ภาพประกอบที่ 29 แสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไม่มีขั้ว ซึ่งแสดงดังภาพประกอบที่ 29 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ทำให้ร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูโลอินและในน้ำมันดีเซลคงตัวในช่วงความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในช่วง ร้อยละ 5-17 โดยโมล สอดคล้องกับร้อยละการกราฟต์ที่คงตัวในช่วงดังกล่าวและและร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซลลดลงอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นของมอนอเมอร์เป็นร้อยละ 20 สอดคล้องกับร้อยละการกราฟต์ที่เพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการบวมพองในทูโลอินไม่ดีขึ้นแม้ว่าจะมีร้อยละการกราฟต์ที่สูงขึ้นแสดงว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติสามารถทนต่อน้ำมันดีเซลได้ดีกว่าทูโลอินซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับผลการศึกษาผลของความเร็วยอบที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี และเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติแล้วพบว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับอะครีโลไนไตรล์กราฟต์มีคุณสมบัติการทนต่อการบวมพองในน้ำมันดีเซลและในตัวทำละลายไม่มีขั้วดีขึ้น โดยสามารถลดร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินลงได้ประมาณ 1 และ 3 เท่าตามลำดับ

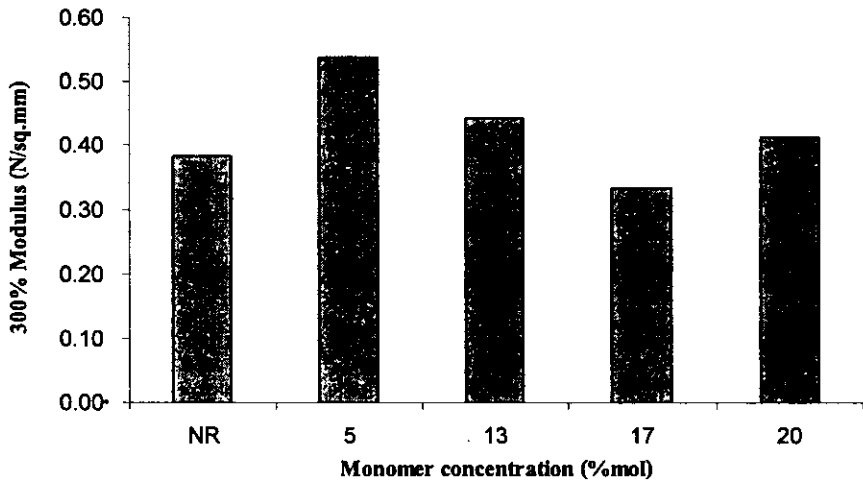


ภาพประกอบที่ 29 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อร้อยละการบวมพอง  
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซลและทูลีน  
( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[I] = 23 \text{ mmol/L}$ ,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.4.5 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง

จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง  
ในรูปของค่า 300%โมดูลัส ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ที่  
เตรียมโดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม เท่ากับ 340 rpm ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา  
เท่ากับ 23 mmol/L และอุณหภูมิ เท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$  พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ทำ  
ให้ค่า 300% โมดูลัส ลดลงอย่างชัดเจนตามความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน  
ภาพประกอบที่ 30 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงของกราฟต์โคพ  
อลิเมอร์ในรูปของค่า 300%โมดูลัส ให้ผลที่สอดคล้องกับผลของความเร็วรอบในการผสมต่อ  
ประสิทธิภาพในการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลง คือความเร็วรอบในการกวนผสมสูง  
ประสิทธิภาพในการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อความเข้มข้นของ  
อะคริโลไนไตรล์เพิ่มสูงขึ้นทำให้โอกาสที่อะคริโลไนไตรล์นั้นเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่น ๆ เช่น  
ไฮมพอลิเมโรเซชัน ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายสายโซ่ และปฏิกิริยาสิ้นสุด เกิดขึ้น ได้ดีและแข่งขัน  
กับปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมโรเซชันของอะคริโลไนไตรล์กับยางธรรมชาติ จึงทำให้กราฟต์โคพ  
อลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติด้านการทนต่อแรงดึงเหมือนยางธรรมชาติมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีพ  
อลิอะคริโลไนไตรล์อยู่ในสายโซ่ ดังนั้นจึงทำให้ค่า 300 %โมดูลัสของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง  
เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการกราฟต์และร้อยละการเปลี่ยนแปลง โดยผลของความเข้มข้นของ

มอนอเมอร์ต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงในรูปของค่า 300% โมดูลัส ในการศึกษานี้ให้ผลสอดคล้อง การศึกษาที่ผ่านมา (จรัญ, 2547; Ghosh et al., 1998)



ภาพประกอบที่ 30 อิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อค่า 300 % โมดูลัส

$$(V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}, [I] = 23 \text{ mmol/L}, T = 50^{\circ}\text{C})$$

#### 4.5 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ([I], mmol/L)

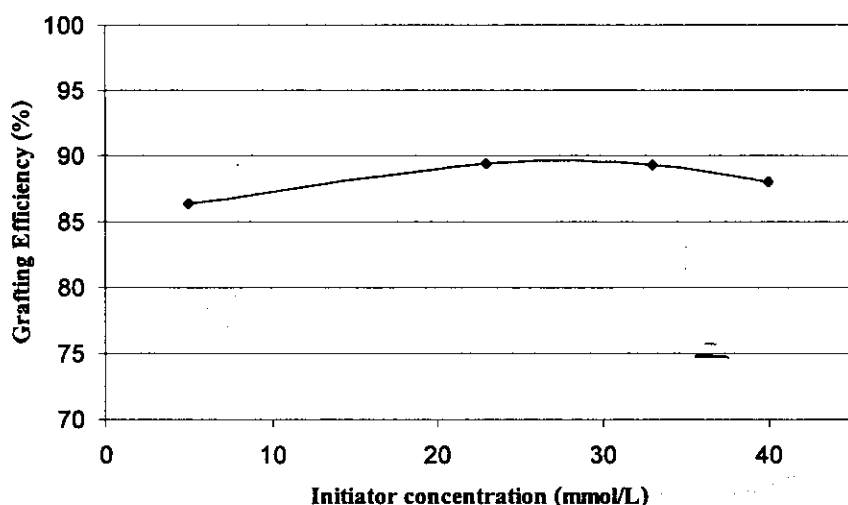
จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ ร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละการบวมพองในน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไม่มีขั้ว และค่า 300 % โมดูลัสของกราฟต์โคพอลิเมอร์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตามต่าง ๆ ดังกล่าวได้ดังนี้

##### 4.5.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

ภาพประกอบที่ 31 แสดงผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่าประสิทธิภาพในการกราฟต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งก่อนที่จะลดลงกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกส่งเสริมให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์สูงขึ้นเพราะที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในช่วงดังกล่าวทำให้มีอนุโมลอิสระที่เหมาะสมและสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยามีค่าสูงกว่า 23 mmol/L อนุโมลอิสระที่สร้างขึ้นมากเกินไปไม่สามารถใช้ในปฏิกิริยากราฟต์ได้หมด อนุโมลอิสระที่มากเกินไปเหล่านี้จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ เช่นปฏิกิริยาการเคลื่อนย้าย ปฏิกิริยาการสิ้นสุด และปฏิกิริยาไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันของอะครีโล



ไนไตรล์ ซึ่งสามารถเกิดได้ง่าย แข่งขันกับปฏิกิริยาการกราฟต์โพลีเมอร์ไรเซชัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์ในช่วงความเข้มข้นของตัวริเริ่มสูงๆมีค่าลดลงดังหลักฐานที่แสดงในภาพประกอบ 31 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการกราฟต์กับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่พบในการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษานักวิจัยท่านอื่นๆที่พบจากการตรวจเอกสาร (Chowdhury and Pal, 1999)

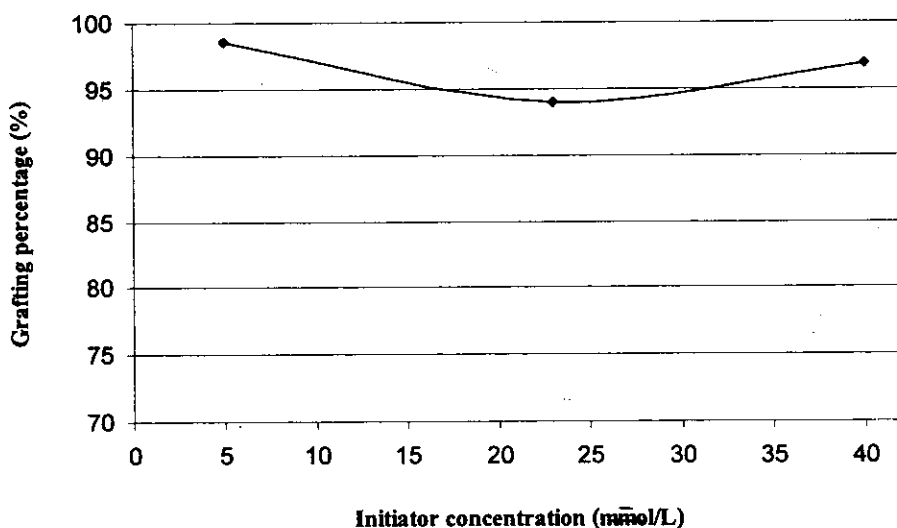


ภาพประกอบที่ 31 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์อย่างธรรมชาติด้วยพอลิอะครีโลไนไตรล์  
( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[M] = 13 \text{ \%mol}$ ,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.5.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการกราฟต์

ภาพประกอบที่ 32 แสดงผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการกราฟต์ พบว่าร้อยละของการกราฟต์มีค่าลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าต่ำสุดค่าหนึ่งก่อนที่จะเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 32 กับภาพประกอบ 33 (ในหัวข้อถัดไป) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าลักษณะการแปรเปลี่ยนของร้อยละการกราฟต์กับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานั้นคือปริมาณของพอลิอะครีโลไนไตรล์ที่กราฟต์ลงบนสายโซ่ของยางธรรมชาติในช่วงของความเข้มข้นของตัวริเริ่มที่ศึกษาแปรผันโดยตรงอยู่กับร้อยละการเปลี่ยน และเมื่อเทียบผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มตัวปฏิกิริยา ผลของ

ของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และ ผลของความเร็วยวรอบในการกวต้อรอยละการกราฟต์ พบว่า ผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มและผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อรอยละการกราฟต์ให้ผลที่สอดคล้องกัน แต่ทั้งสองให้ผลที่ตรงข้ามกับผลของความเร็วยวรอบ

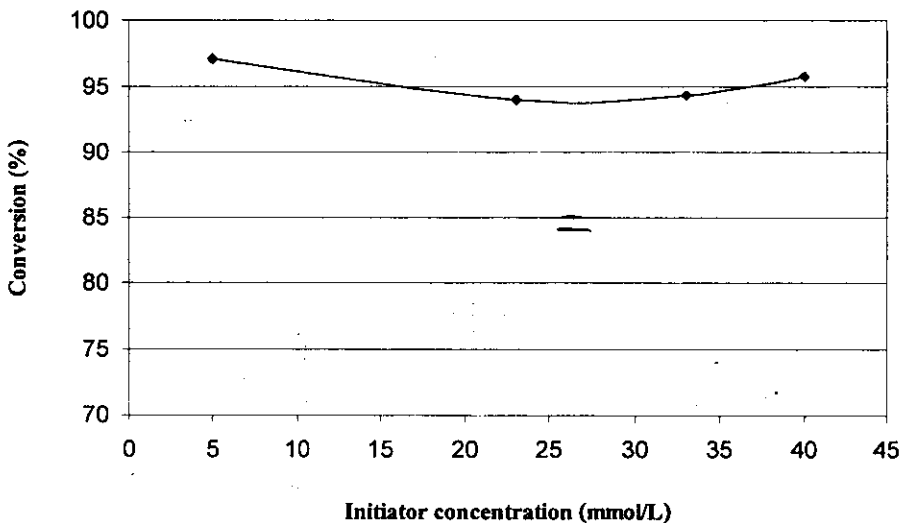


ภาพประกอบที่ 32 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อรอยละการกราฟต์ของพอลิอะคริไลต์ในไตรล์ลงบน โมเลกุลยางธรรมชาติ ( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[M] = 13 \text{ \%mol}$ ,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.5.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อรอยละการเปลี่ยน

ภาพประกอบ 33 แสดงผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มต่อการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้ค่ารอยละการเปลี่ยนลดลงถึงค่าหนึ่งก่อนที่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 14 การลดลงของรอยละการเปลี่ยนเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในช่วง 5 ถึง 23 mmol/L นั้น แสดงว่าความเข้มข้นของตัวริเริ่มในช่วงดังกล่าวสูงกว่าความต้องการในการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้มีอนุโมลอิสระที่ได้จากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยามีมากจนใช้โดยปฏิกิริยาการกราฟต์ใช้ไม่หมด อนุโมลอิสระที่เหลือเหล่านี้จะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น ปฏิกิริยาเคลื่อนย้าย ปฏิกิริยาการสิ้นสุด และปฏิกิริยาโฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันของอะคริไลต์ในไตรล์ ทำให้รอยละการเปลี่ยนลดลง แต่เมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาสูงมากถึงค่าหนึ่งคือสูงกว่า 23 mmol/L เปอร์เซนต์การเปลี่ยนกลับเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าในช่วงความเข้มข้นของ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สูงกว่า 23 mmol/L จะให้

อนุมูลอิสระมากพอที่จะใช้ทั้งในส่วนของปฏิกิริยาข้างเคียงและปฏิกิริยาหลัก ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันสามารถแข่งขันได้กับปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาดังแสดงด้วยหลักฐานจากผลการทดลองในภาพประกอบที่ 33 นอกจากนี้แล้วการแปรเปลี่ยนของร้อยละการเปลี่ยนกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาในลักษณะที่ค่าร้อยละการเปลี่ยนลดลงกับการเพิ่มขึ้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในช่วงแรกแต่กลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นที่พบในการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนในการศึกษาปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันในระบบอื่นอีกด้วย (Grigoryeva and Karger-Kocsis, 2000)



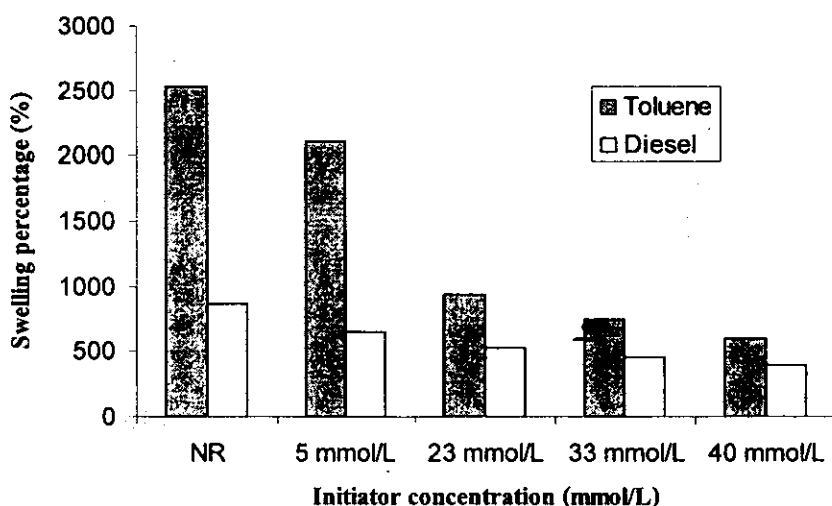
ภาพประกอบที่ 33 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยน

$$(V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}, [M] = 13 \% \text{mol}, T = 50^{\circ} \text{C})$$

#### 4.5.4 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการบวมพองในน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไม่มีขั้ว

ภาพประกอบที่ 34 แสดงผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลออินและในน้ำมันดีเซล พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะทำให้ร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซล และทูลออินมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ จากภาพประกอบที่ 34 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มสูงกว่า 23 mmol/L ค่าร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซลและในทูลออินลดลงกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เพราะร้อยละการกราฟต์ในช่วงที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มสูงกว่า 23 mmol/L

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ทั้งในน้ำมันดีเซลและในทูโลอินลดลงกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ส่วนที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มต่ำแม้จะมีร้อยละการกราฟต์สูงแต่มีความต้านทานในการบวมพองในทูโลอินต่ำ เป็นการยืนยันว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับอะครีโลไนไตรล์ทนต่อน้ำมันดีเซลได้ดีกว่าทูโลอินซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในหัวข้อก่อนหน้านี้ในทุกกรณีที่ทดสอบ

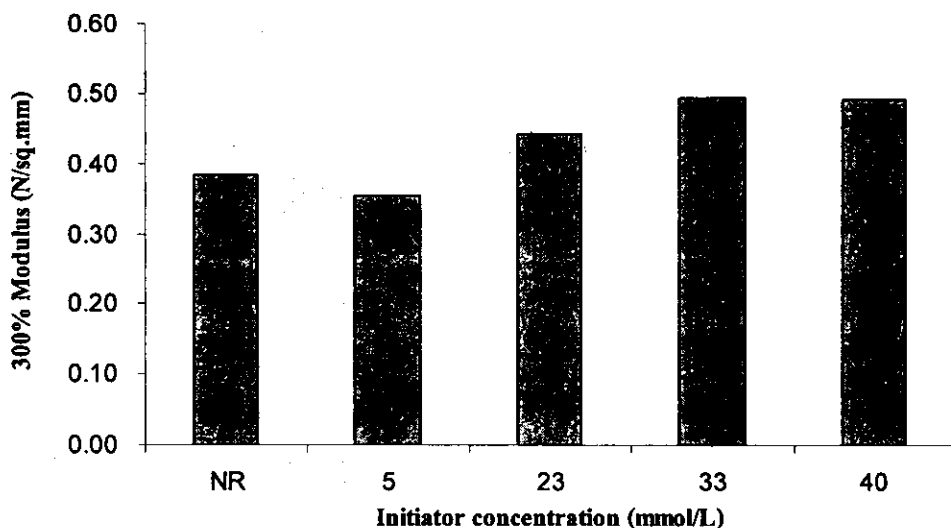


ภาพประกอบที่ 34 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำมันดีเซลและทูโลอิน  
( $V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}$ ,  $[M] = 13 \text{ \%mol}$ ,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.5.5 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง

จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อสมบัติการทนต่อแรงดึงในรูปของค่า 300% โมดูลัสที่ความเร็วรอบในการกวนผสม เท่ากับ 340 rpm ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ เท่ากับ ร้อยละ 13 โดยโมล และอุณหภูมิปฏิกิริยา เท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$  พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้ 300 % โมดูลัสเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 35 ซึ่งเป็นผลมาจากที่ในถังปฏิกรณ์มีอนุภาคลิอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยามากขึ้นทำให้ปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดได้ดีมากขึ้นส่งผลให้ค่า 300% โมดูลัส เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้นด้วยนั่นเอง ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีสอดคล้องกับงานวิจัยของ จริญญา พุ่มนง (2547) โดยผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อสมบัติการทนต่อ

แรงดึงในรูปของค่า 300% โมดูลัส ให้ผลที่สอดคล้องกับผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนคือที่ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาสูง ประสิทธิภาพในการกราฟต์ ร้อยละการกราฟต์ และร้อยละการเปลี่ยนมีค่าสูง



ภาพประกอบที่ 35 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อค่า 300% โมดูลัส

$$(V_{\text{mix}} = 340 \text{ rpm}, [M] = 13 \% \text{ mol}, T = 50^{\circ} \text{C})$$

4.6 แบบจำลองอธิบายผลของสภาวะดำเนินการในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ในโครสไลน์ปฏิกรณ์แบบกึ่งแบตช์ขนาดต้นแบบ

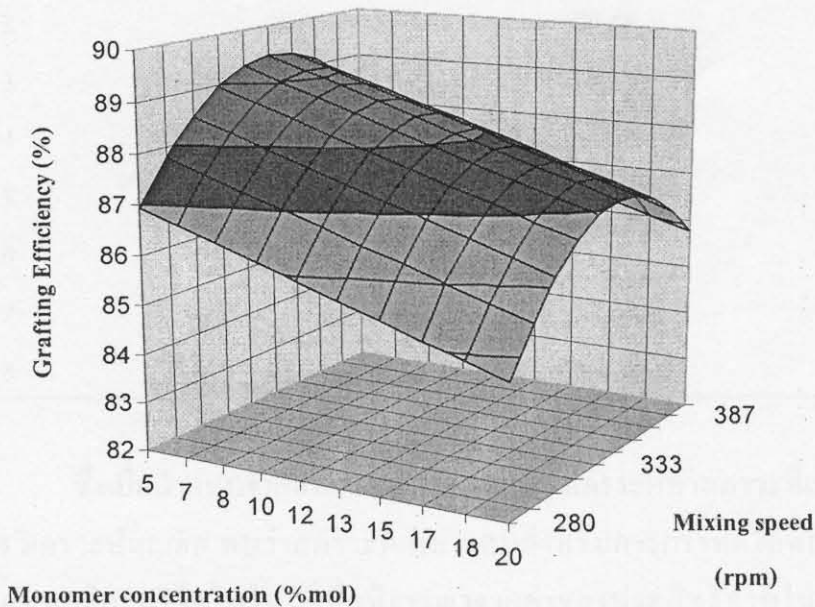
#### 4.6.1 แบบจำลองอธิบายสภาวะการทดลองที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

จากข้อมูลประสิทธิภาพในการกราฟต์ที่ได้จากการทดลองที่แปรเปลี่ยนตัวแปรดำเนินการต่าง ๆ สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์สามารถอธิบายได้ดังแสดงในสมการที่ 15

$$y_1 = 51.20 + 0.305x_{11} - 0.712x_{21} - 0.985x_{31} - 0.000513x_{11}^2 + 0.00222x_{11}x_{31} + 0.02336x_{21}x_{31} \quad (15)$$

เมื่อ	$y_1$	= ประสิทธิภาพในการกราฟต์ (%)
	$x_{11}$	= ความเร็วรอบในการกวนผสม (rpm)
	$x_{21}$	= ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (%mol)
	$x_{31}$	= ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)

สมการที่ 15 แสดงผลของความเร็วยรอบในการการกวนผสม ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์พอลิอะครีโลไนไตรล์ลงบนยางธรรมชาติ สมการ 15 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้นกับความเร็วยรอบ (มีเครื่องหมายหน้าตัวแปรเป็น +) แต่ลดลงกับการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (มีเครื่องหมายหน้าตัวแปรเป็น +) ส่วนอันตรปฏิกิริยา (interaction) ระหว่างสองตัวแปรดำเนินการ คือ ระหว่างความเร็วยรอบกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และระหว่างความเข้มข้นของมอนอเมอร์กับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา มีผลในทิศทางที่เพิ่มประสิทธิภาพในการกราฟต์ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจาก P value ของแต่ละเทอมพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์มากที่สุดคือ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ซึ่งมีค่า P value เท่ากับ  $5.57 \times 10^{-4}$  ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์จะทำให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนักวิจัยอื่น (Chauhan et al. 2000; Benny et al. 2006) ผลการทำนายประสิทธิภาพในการกราฟต์จากแบบจำลองตามสมการ 15 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองแสดงดังตาราง 13 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสอดคล้องกับผลการทดลองดี โดยมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 1.0% จากข้อมูลของแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับค่าประสิทธิภาพในการกราฟต์ในรูปของกราฟพื้นผิว (surface plot) ได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 36



ภาพประกอบที่ 36 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $[M]$  และ  $V_{mix}$  ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการกราฟต์ของยางธรรมชาติด้วยพอลิอะคริโลไนไตรล์ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

Experimental No.	grafting efficiency from experimental (%)	grafting efficiency from model (%)	error percentage (%)
1	86.42	86.76	-0.39
2	88.05	89.29	-1.41
3	86.87	86.84	0.04
4	85.17	85.77	-0.70
5	89.74	89.37	0.42
6	88.35	88.06	0.33
7	84.80	84.26	0.64
8	87.67	88.06	-0.44
9	88.53	88.89	-0.41
10	87.87	87.29	0.66
11	89.98	89.42	0.62
12	90.31	89.46	0.94
13	87.34	88.15	-0.92
14	86.76	86.66	0.12
15	87.08	86.76	0.37
16	87.84	87.66	0.20
17	86.74	87.36	-0.72
18	89.31	88.78	0.59

ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองตามสมการ 15 ไปวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลเลิศ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์เมื่อพิจารณาจากค่าของประสิทธิภาพในการกราฟต์ คือ ความเร็วรอบในการกวนผสม 300 rpm ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ร้อยละ 5 โดยโมล และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา 5 mmol/L โดยที่สภาวะดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์สูงสุดเท่ากับ 91.99%

#### 4.6.2 แบบจำลองอธิบายสภาวะการทดลองที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา

จากข้อมูลร้อยละการเปลี่ยนที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนดังแสดงได้ดังสมการที่ 16

$$y_2 = 99.61 - 0.02812x_{22}^2 + 0.00238x_{32}^2 \quad (16)$$

เมื่อ	$y_2$	= ร้อยละการเปลี่ยน (%)
	$x_{22}$	= ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (%mol)
	$x_{32}$	= ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)

สมการที่ 16 แสดงผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาในการกราฟต์พอลิอะครีโลไนไตรล์ลงบนยางธรรมชาติ จากสมการที่ 16 พบว่าร้อยละการเปลี่ยนสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแปรผันกับกำลังสองของทั้งความเข้มข้นของมอนอเมอร์และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา แต่ในทิศทางที่ตรงข้ามกันคือการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาลดลงในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเพิ่มร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจาก P value ของแต่ละเทอมพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนสุดท้ายมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ซึ่งให้ค่า P value เท่ากับ  $1.06 \times 10^{-3}$  ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aggour and Abdel (1999) และ Grigoryeva and Karger (2000) ผลการทำนายประสิทธิภาพในการกราฟต์จากแบบจำลองตามสมการ 16 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองแสดงดังตาราง 14 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสอดคล้องกับผลการทดลองดี โดยมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 2.0% จากข้อมูลของแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับค่าประสิทธิภาพในการกราฟต์ในรูปของกราฟพื้นผิว (surface plot) ได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 37

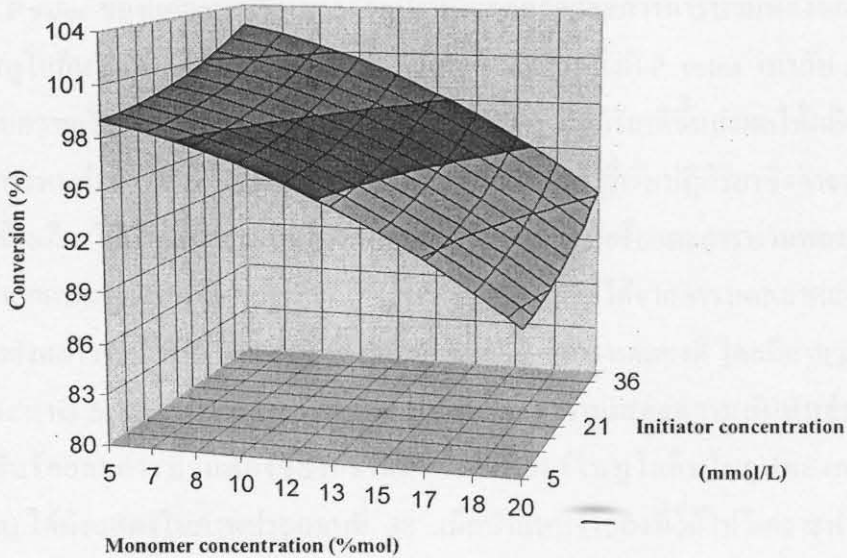


ตารางที่ 14 ร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

Experimental No.	final conversion	final conversion	error percentage (%)
	from experimental (%)	from model (%)	
1	96.48	97.40	-0.95
2	99.28	98.70	0.58
3	89.48	92.03	-2.85
4	96.14	96.68	-0.56
5	98.47	98.34	0.13
6	94.08	95.00	-0.98
7	98.84	93.47	5.43
8	96.12	95.00	1.17
9	97.37	97.15	0.23
10	95.73	96.22	-0.51
11	93.52	93.33	0.20
12	99.93	98.40	1.53
13	95.24	97.29	-2.15
14	92.80	93.32	-0.56
15	99.32	100.04	-0.72
16	92.89	93.99	-1.18
17	92.72	93.30	-0.63
18	97.68	96.47	1.24

ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลเลิศพบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา คือ ความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์เท่ากับร้อยละ 5 โดยโมล และ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับ 21 mmol/L โดยที่สถานะดังกล่าวจะให้ร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาสูงสุดเท่ากับ 99.99% และจากการทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองของร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่า

ความเร็วรอบในการกวนผสมมีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา จึงไม่ปรากฏเทอมของความเร็วรอบในการกวนในแบบจำลองดังแสดงในสมการ 16



ภาพประกอบที่ 37 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $[M]$  และ  $[I]$  ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน

#### 4.6.3 แบบจำลองอธิบายสภาวะการทดลองที่มีผลต่อร้อยละการบวมพองของ

##### กราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีน

จากข้อมูลร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีนที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองที่มีผลต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีนได้ดังสมการที่ 17

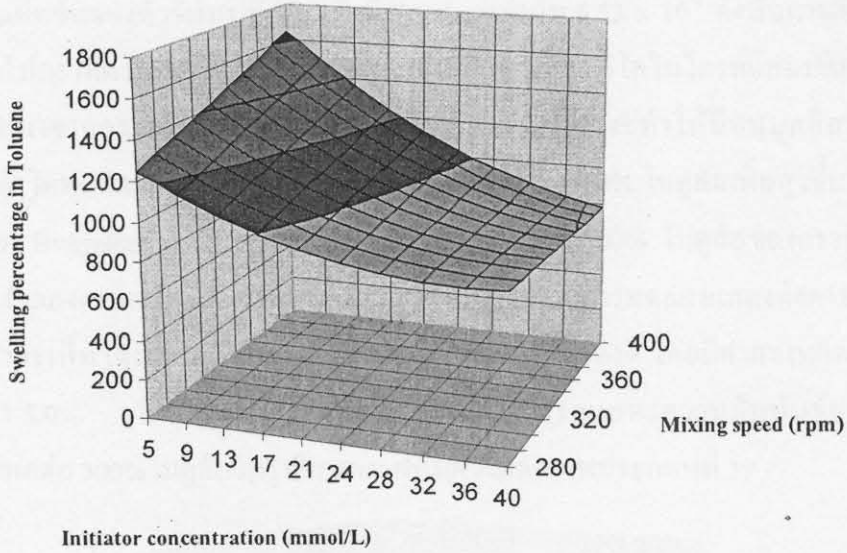
$$y_3 = 31805 + 3.831x_{13} - 0.109x_{13}x_{33} + 0.422x_{33}^2 \quad (17)$$

- เมื่อ
- $y_3$  = ร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีน (%)
  - $x_{13}$  = ความเร็วรอบในการกวนผสม (rpm)
  - $x_{33}$  = ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)

สมการที่ 17 แสดงผลของตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีน จากสมการที่ 17 พบว่าร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีนแปรผันโดยตรงกับความเร็วรอบในการกวนผสม และแปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาขากกำลังสอง แต่แปรผกผันกับอัตราปฏิกิริยาระหว่างตัวแปรทั้งสอง และเมื่อพิจารณาจาก P value ของแต่ละเทอมพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีนมากที่สุดคือ ความเร็วรอบในการกวนผสม ซึ่งมี P value เท่ากับ  $3.30 \times 10^{-4}$  ดังนั้นการเพิ่มความเร็วยรอบในการกวนผสมจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาดังขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติการทนต่อการบวมพองในทูลอีนได้ดีกว่าการเพิ่มตัวริเริ่มปฏิกิริยาซึ่งอาจส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้มากกว่าการเพิ่มความเร็วยรอบ ผลการทำนายร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์จากแบบจำลองตามสมการ 17 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองแสดงดังตาราง 15 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสอดคล้องกับผลการทดลองดี โดยมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยประมาณ 5.0% จากข้อมูลของแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลอีนในรูปของกราฟพื้นผิว (surface plot) ได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 38 เมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลเลิศพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์ เมื่อพิจารณาจากสมบัติการบวมพองในทูลอีน คือ ความเร็วรอบในการกวนผสม 400 rpm ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา 40 mmol/L โดยที่สภาวะดังกล่าวจะให้ร้อยละการบวมพองในทูลอีนต่ำสุดเท่ากับ 78.1% และจากการทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองของร้อยละการบวมพองในทูลอีนพบว่าความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในช่วงที่ศึกษามีผลต่อร้อยละการบวมพองในทูลอีนน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วรอบในการกวนผสม และความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจึงไม่ปรากฏเทอมของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในแบบจำลองที่แสดงดังสมการ 17

ตารางที่ 15 ร้อยละการบวมพองของกราฟด์โคพอลิเมอร์ในทูลูอินที่ได้จากการทดลอง  
เปรียบเทียบกับแบบจำลอง

Experimental No.	swelling percentage		error percentage (%)
	in toluene		
	from experimental (%)	from model (%)	
1	1448	1445	0.20
2	836	812	2.90
3	1155	990	14.28
4	880	911	-3.57
5	1104	1145	-3.75
6	1093	990	9.41
7	1256	1327	-5.60
8	994	990	0.41
9	812	990	-6.38
10	813	847	-4.20
11	838	864	-3.09
12	933	990	-6.11
13	1407	1327	5.73
14	1046	1070	-2.28
15	795	847	-6.56
16	965	1038	-7.55
17	973	990	-1.80
18	955	856	10.36



ภาพประกอบที่ 38 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $[I]$  และ  $V_{mix}$  ที่มีต่อร้อยละการบวมพองของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในทูลูอิน

#### 4.6.4 แบบจำลองอธิบายสภาวะการทดลองที่มีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง

จากข้อมูลสมบัติการทนต่อแรงดึงโดยวัดออกมาในรูปแบบของ 300 % โมดูลัส ที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองที่มีผลต่อค่า 300 % โมดูลัส ดังแสดงได้ดังสมการที่ 18

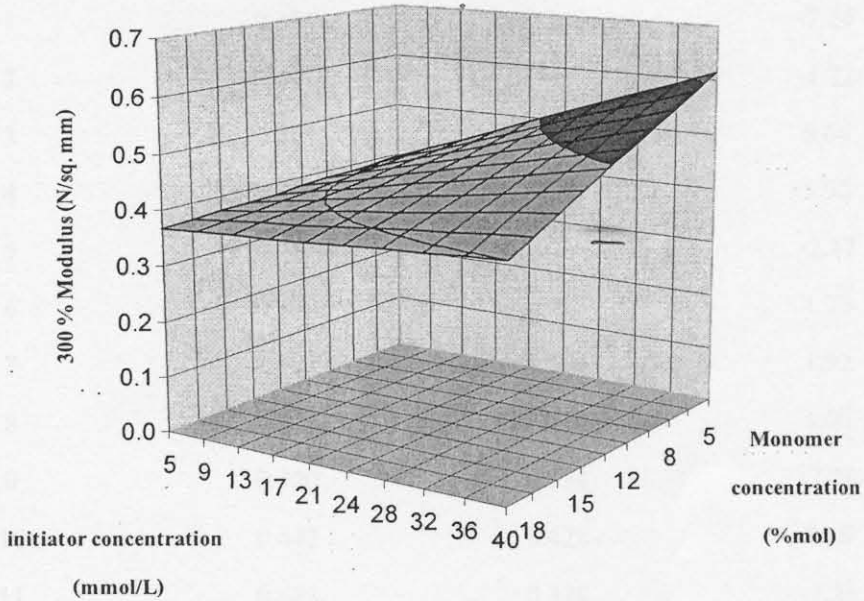
$$y_4 = 0.363 + 0.00807x_{34} - 0.000357x_{24}x_{34} \quad (18)$$

เมื่อ

$y_4$	= 300 % โมดูลัส ( $N/mm^2$ )
$x_{24}$	= ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (%mol)
$x_{34}$	= ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)

จากสมการที่ 18 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อสมบัติการดึงยึดในรูปของ 300% โมดูลัส คือ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยที่สมบัติการดึงยึดของกราฟต์โคพอลิเมอร์แปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่แปรผกผันกับอันตรปฏิกิริยาระหว่างความเข้มข้นของมอนอเมอร์กับความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และเมื่อพิจารณาจาก P value ของแต่ละเทอม พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติการดึงยึดมาก

ที่สุดคือ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งมี P value เท่ากับ  $6.53 \times 10^{-6}$  ดังนั้นการเพิ่มตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะทำให้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์มีสมบัติการดึงยึดดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะทำให้มีอนุโมลอิสระเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดได้มากขึ้นส่งผลให้ค่า 300% โมดูลัสเพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bunyakan et al. (2005b) รอบ ผลการทำนายค่า 300% โมดูลัสของกราฟต์โคพอลิเมอร์จากแบบจำลองตามสมการ 18 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองแสดงดังตาราง 16 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสอดคล้องกับผลการทดลองดี โดยมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 5.0% จากข้อมูลของแบบจำลองที่ได้สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อ 300% โมดูลัสในรูปของกราฟพื้นผิวได้ดังภาพประกอบที่ 39



ภาพประกอบที่ 39 กราฟพื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [I] และ [M] ที่มีต่อค่า 300 % Modulus

เมื่อนำแบบจำลองไปทำการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยเทคนิคการหาผลเลิศ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ เมื่อพิจารณาจากสมบัติการดึงยึดซึ่งวัดในเทอมของค่า 300% โมดูลัส คือ ใช้ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ และ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา เท่ากับ ร้อยละ 5 โดยโมล และ 40 mmol/L ตามลำดับ โดยที่สภาวะดังกล่าวจะให้ค่า 300% โมดูลัสสูงสุดสุดเท่ากับ  $0.614 \text{ N/mm}^2$  และจากการทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองของสมบัติการทนต่อแรงดึงพบว่าความเร็วรอบต่อการกว

ผสมในช่วงที่ศึกษามีผลต่อค่า 300% โมดูลัสน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ และ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจึงไม่ปรากฏเทอมของความเร็วยรอบในการคำนวณผสมในแบบจำลองที่แสดงดังสมการ 18

ตารางที่ 16 ค่า 300 % โมดูลัส ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

Experimental No.	300 %modulus from experimental (N/mm <sup>2</sup> )	300 %modulus from model (N/mm <sup>2</sup> )	error percentage (%)
1	0.354	0.380	-7.24
2	0.491	0.499	-1.72
3	0.411	0.384	6.64
4	0.469	0.441	5.92
5	0.416	0.425	-2.17
6	0.449	0.441	1.73
7	0.394	0.386	1.92
8	0.446	0.441	1.06
9	0.520	0.534	-2.78
10	0.442	0.428	3.10
11	0.423	0.428	-1.25
12	0.538	0.507	5.76
13	0.439	0.425	3.18
14	0.427	0.441	-3.34
15	0.505	0.534	-5.83
16	0.474	0.441	6.91
17	0.331	0.408	-23.37
18	0.493	0.475	3.55

#### 4.6.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ (NR-g-PAN) โดยใช้ปฏิกรณ์แบบกึ่งแบบทซ์ขนาดคั่นแบบ ปริมาตร 50 ลิตร ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยของ จริญญา พุ่มนง (จริญญา, 2547) ที่ได้ทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ ในปฏิกรณ์แบบกึ่งแบบทซ์ ปริมาตร 1.0 ลิตร งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสถานะดำเนินการที่มีผลต่อตัวแปรต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับการศึกษาในงานวิจัยของจริญญา พุ่มนง ใน 2 ตัวแปรคือ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ และในงานวิจัยนี้มีตัวแปรดำเนินการเพิ่มเติมจากงานวิจัยก่อนหน้าคือ ความเร็วรอบในการกวนผสม ข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเด่นในการเตรียม NR-g-PAN โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 50 ลิตร คือช่วงของตัวแปรดำเนินการที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากว้างขึ้น โดยสถานะดำเนินการของงานวิจัยทั้ง 2 เปรียบเทียบได้ดังแสดงในตารางที่ 17 ส่วนผลทดลองจากการศึกษาโดยใช้ปฏิกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ และจากการใช้ปฏิกรณ์ขนาดคั่นแบบ แสดงเปรียบเทียบดังตารางที่ 18 ถึง ตารางที่ 20

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบสถานะดำเนินการของการศึกษาในปฏิกรณ์คั่นแบบกับการศึกษาในปฏิกรณ์ขนาดห้องปฏิบัติการ

สถานะดำเนินการ	สถานะการศึกษา ในห้องปฏิบัติการ (จริญญา, 2547)	สถานะการศึกษา ในปฏิกรณ์คั่นแบบ (งานวิจัยนี้)
อุณหภูมิ (°C)	50	50
เวลาทำปฏิกิริยา (min)	90	90
ความเร็วรอบในการกวนผสม (rpm)	150	280-400
ความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ (%mol)	5-10	5-20
ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)	9-31	5-40



ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบผลของความเร็วรอบในการกวนผสมต่อตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ผลการทดลอง	
		ห้องปฏิบัติการ (จรัญ, 2547)	ปฏิกรณ์ต้นแบบ (งานวิจัยนี้)
ความเร็วรอบในการกวนผสม (rpm)	ประสิทธิภาพในการกราฟต์ (%)	-	(+)
	ร้อยละการกราฟต์ (%)	-	(+)
	ร้อยละการเปลี่ยน (%)	-	(-)
	ร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซล (%)	-	(-)
	ร้อยละการบวมพองในทูลออื่น (%)	-	(-)
	300% โมคูลัส	-	(+)
หมายเหตุ	-	หมายถึง ไม่มีผลการทดลอง	
	(+)	หมายถึง มีค่าเพิ่มขึ้น	
	(-)	หมายถึง มีค่าลดลง	

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ต่อตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ผลการทดลอง	
		ห้องปฏิบัติการ (จรัญ, 2547)	ปฏิกรณ์ต้นแบบ (งานวิจัยนี้)
ความเข้มข้นของอะครีโลไนไตรล์ (%mol)	ประสิทธิภาพในการกราฟต์ (%)	(-)	(-)
	ร้อยละการกราฟต์ (%)	(+)	(+)
	ร้อยละการเปลี่ยน (%)	(-)	(-)
	ร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซล (%)	(-)	(-)
	ร้อยละการบวมพองในทูลออื่น (%)	(-)	(-)
	300% โมคูลัส	(+)	(+)
หมายเหตุ	-	หมายถึง ไม่มีผลการทดลอง	
	(+)	หมายถึง มีค่าเพิ่มขึ้น	
	(-)	หมายถึง มีค่าลดลง	

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ผลการทดลอง	
		ห้องปฏิบัติการ (จรัญ, 2547)	ปฏิกิริยาด้านแบบ (งานวิจัยนี้)
ความเข้มข้นของ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (mmol/L)	ประสิทธิภาพในการกราฟต์ (%)	(-)	(+)
	ร้อยละการกราฟต์ (%)	(-)	(-)
	ร้อยละการเปลี่ยน (%)	(+)	(-)
	ร้อยละการบวมพองในน้ำมันดีเซล (%)	(-)	(-)
	ร้อยละการบวมพองในทูลอีน (%)	(-)	(-)
	300 % โมคูลัส	(+)	(+)
หมายเหตุ	- หมายถึง ไม่มีผลการทดลอง		
	(+) หมายถึง มีค่าเพิ่มขึ้น		
	(-) หมายถึง มีค่าลดลง		

จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ในปฏิกิริยาแบบกึ่งแบบทซ์ขนาดต้นแบบ ปริมาตร 50 ลิตร เปรียบเทียบกับผลการทดลองในปฏิกิริยาระดับห้องปฏิบัติการ ปริมาตร 1.0 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 18 ถึงตารางที่ 20 พบว่าผลการศึกษาในปฏิกิริยาทั้งสองขนาดให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันเป็นส่วนใหญ่แสดงว่า งานวิจัยนี้สามารถขยายขนาดของปฏิกิริยาสำหรับทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน เพื่อเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยไม่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา

#### 4.7 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์โดยใช้ปฏิกิริยาแบบกึ่งแบบทซ์ ปริมาตร 50 ลิตร

ในการคำนวณต้นทุนในการผลิตน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์โดยใช้ปฏิกิริยาแบบกึ่งแบบทซ์ ปริมาตร 50 ลิตรนั้น จะทำการคำนวณราคาของวัตถุดิบ และค่าไฟฟ้าที่ใช้ดำเนินการผลิตในแต่ละครั้ง พบว่าต้นทุนในการผลิตน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์เท่ากับ 369 บาทต่อกิโลกรัม โดยรายละเอียดของราคาวัตถุดิบ และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต แสดงได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ต้นทุนในการผลิตน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไตรล์  
โดยใช้ปฏิกิริยกึ่งแบบซ์ ปริมาตร 50 ลิตร

วัตถุดิบ	ราคาต่อกิโลกรัม (บาทต่อกิโลกรัม)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ต้นทุนรวม (บาท)
60% DRC HA Latex	51.00	18,200	928.20
Acrylonitrile	3206.02	448.00	1436.30
Tetraethylenepentamine	6268.29	332.90	2086.71
Cumenehydroperoxide	8847.28	257.82	2281.00
Potassium hydroxide	481.50	25.81	12.42
Lauric acid	3894.80	92.15	358.90
รวม		19356.68	7122.38
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อกิโลกรัม)			368.00
ค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลกรัม)		=	1.00
ต้นทุนรวม (บาทต่อกิโลกรัม)			369.00

หมายเหตุ ค่าไฟฟ้า 7.54 หน่วย ราคาหน่วยละ 2.5 บาท ค่าไฟฟ้า เท่ากับ 18.85 บาท ต่อแบบซ์