

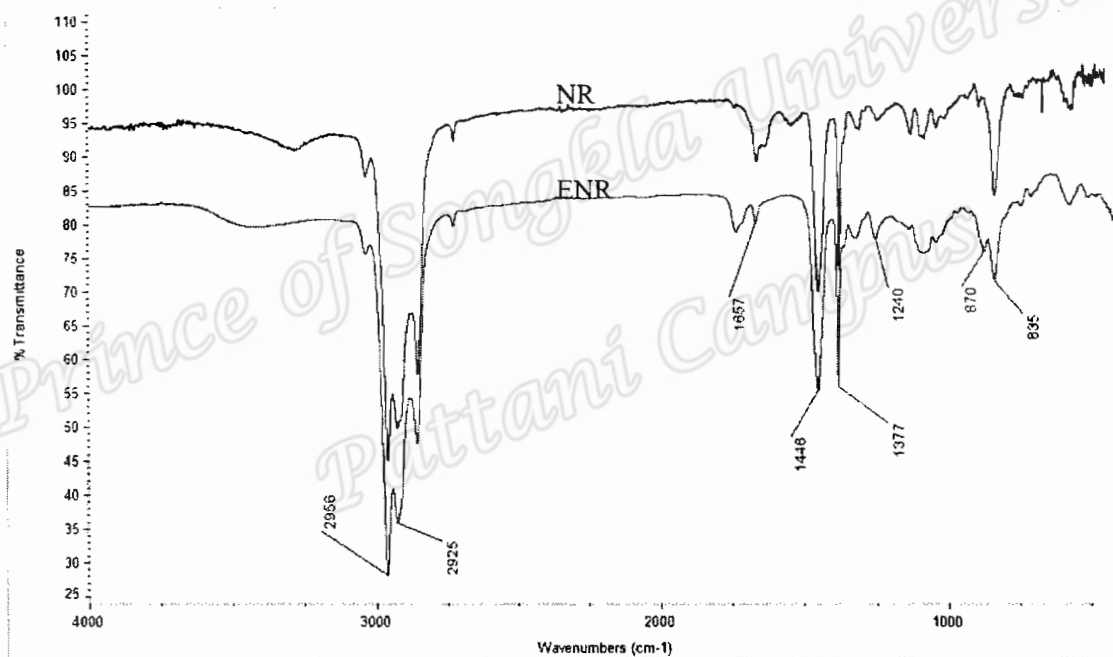
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมยางธรรมชาติพอกไซค์

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

จากการทดลองเตรียมยางธรรมชาติพอกไซค์ โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 ชั่วโมง นำน้ำยางที่ได้จับตัวด้วยเมทานอล นำไปรีดล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำไปอบแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรด แสดงดังในรูปที่ 4.1 พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ สรุปดังตารางที่ 4.1

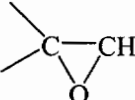


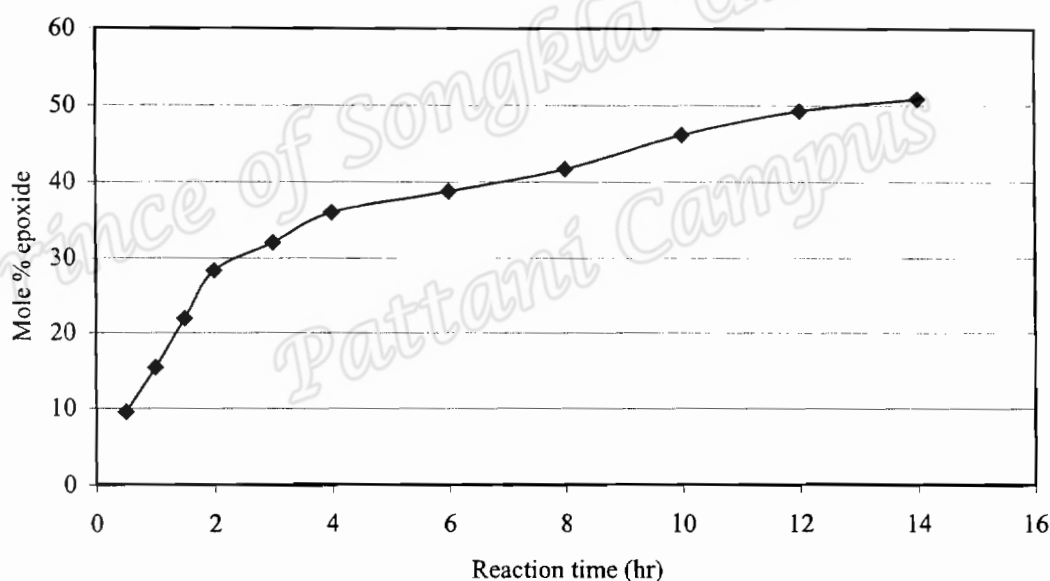
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติพอกไซค์ที่มี 20 โมลเปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสเปกตรัมอินฟราเรดของ NR

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุล มีพีคของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของหมู่พอกไซค์ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240  $\text{cm}^{-1}$  เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870  $\text{cm}^{-1}$  กับตำแหน่งเลขคลื่น 835  $\text{cm}^{-1}$  (ซึ่งแสดงถึง out-of-plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ *cis*-C=C) สามารถคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (absorbance ratio, Ar) ของการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870/835

$\text{cm}^{-1}$  และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Davey and Loadman, 1984) ก็สามารถคำนวณหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ในหน่วยโมลเปอร์เซ็นต์ ได้ผลแสดงดังในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 พิจารณาสเปกตรัมอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Davey and Loadman, 1984)

| Functional Groups   | Wave Number ( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|---|----------------------------------|
| $-\text{CH}_3$  | 2956, 1377                       |
| $-\text{CH}_2$  | 2925, 1446                       |
| $\text{C}=\text{C}$   | 1657                             |
| $-\text{C}=\text{CH}-$  | 835                              |
|  | 870, 1240                        |



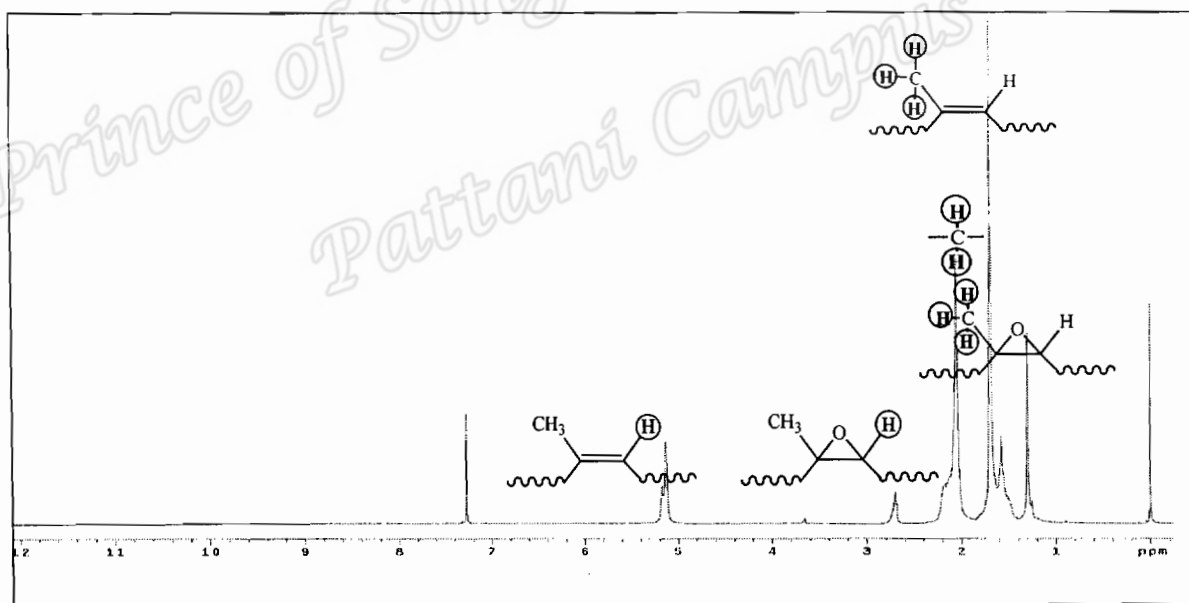
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหมู่เอพอกไซด์กับเวลาการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา จะส่งผลให้เกิดหมู่เอพอกไซด์ในโมเลกุลยางธรรมชาติมีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากกรดเปอร์ฟอร์มิกจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลยางธรรมชาติ แสดงดังในปฏิกิริยาที่ 2.1 และ 2.2 ในรูปที่ 2.2 ได้ผลิตภัณฑ์คือโมเลกุลยางธรรมชาติที่มีวงแหวนอีพอกไซด์บนโครงสร้าง และผลพลอยได้ของปฏิกิริยาคือกรดฟอร์มิกซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้กรดเปอร์ฟอร์มิกซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องจน

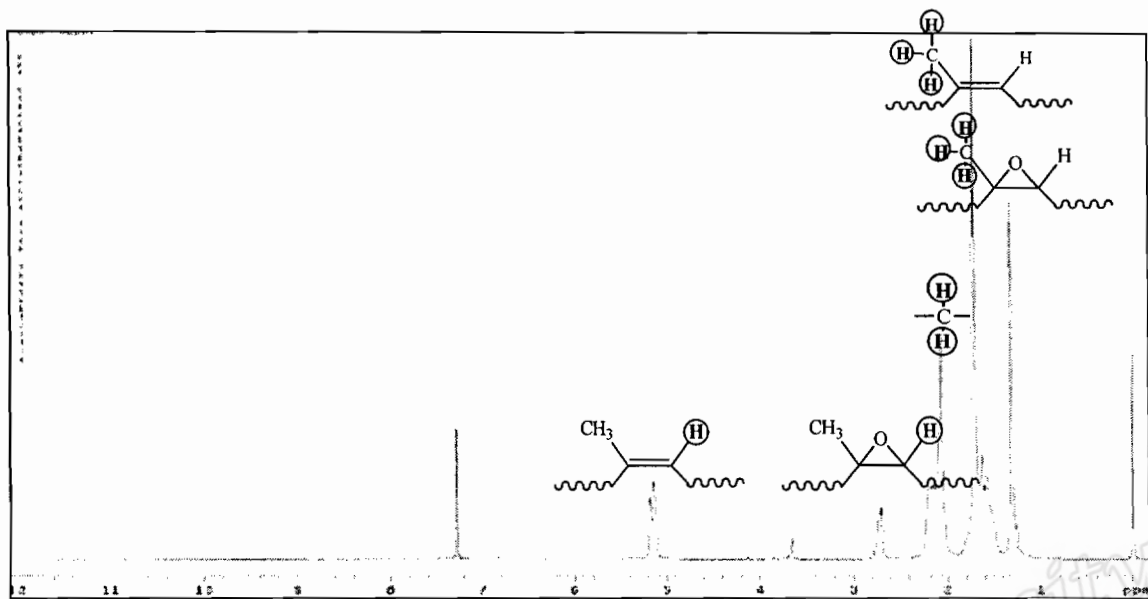
กว่าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยาจะหมด ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจึงส่งผลต่อการเพิ่ม ปริมาณหมู่เอพอกไซด์ เนื่องจากโมเลกุลยางธรรมชาติมีโอกาสดเกิดปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอร์มิกแล้วกลายเป็นโมเลกุลยางที่มีหมู่เอพอกไซด์ในโครงสร้างมากขึ้น อย่างไรก็ตามการมีหมู่เอพอกไซด์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติจะส่งผลต่อความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ กล่าวคือ การมีปริมาณหมู่เอพอกไซด์ในโมเลกุลมากขึ้น จะทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติเอพอกไซด์ที่ได้มีความเป็นขั้ว (polar) เพิ่มสูงขึ้น และสามารถเกิดอันตรกิริยาทางเคมี (chemical interaction) ระหว่างหมู่เอพอกไซด์ในโมเลกุลยางธรรมชาติเอพอกไซด์ ทำให้เกิดการเจลในโครงสร้างสูงขึ้นตามปริมาณหมู่เอพอกไซด์ซึ่งทำให้ละลายในตัวทำละลายได้ยากขึ้น โดยเฉพาะตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว แต่จะเกิดเพียงการบวมพองเท่านั้น

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ( $^1\text{H-NMR}$ )

จากการทดลองนำยางธรรมชาติเอพอกไซด์ที่เตรียมให้มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์ 20 และ 40 โมลเปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ได้สัญญาณของยางธรรมชาติเอพอกไซด์ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ




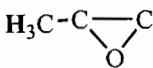
รูปที่ 4.3 สัญญาณ  $^1\text{H-NMR}$  ของยางธรรมชาติเอพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์ 20 โมลเปอร์เซ็นต์ (ENR-20)



รูปที่ 4.4 สัญญาณ  $^1\text{H-NMR}$  ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 40 โมลเปอร์เซ็นต์ (ENR-40)

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 สามารถสรุปตำแหน่ง Chemical shift จากการเกิดเรโซแนนซ์ของโปรตอนในโมเลกุลยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่ามีพีคที่เกิดการเลื่อนของโปรตอนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ ที่ chemical shift ประมาณ 5.1 ppm และโปรตอนตติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ที่ chemical shift ประมาณ 2.7 ppm (Gan and Hamid, 1997) เมื่อนำพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณปริมาณการเกิดปริมาณหมู่อีพอกไซด์ ให้ค่าโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่ง Chemical shift และหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง  $^1\text{H-NMR}$

| Proton resonance  | Chemical shift (ppm) |
|---|----------------------|
| $-\text{CH}_2, -\text{CH}_3$  | 1-2.5                |
| $\text{C}=\text{CH}$  | 5.1                  |
|  | 2.8                  |
|  | 1.4                  |

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่วิเคราะห์จากเครื่อง FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$

| Reaction Time<br>(hr) | Mole%epoxide<br>ที่ต้องการ | Mole%epoxide<br>จาก FT-IR | Mole%epoxide<br>จาก $^1\text{H-NMR}$ |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 2.20                  | 20                         | 20.40                     | 23.08                                |
| 7                     | 40                         | 38.80                     | 39.02                                |

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR เพียงเล็กน้อย ดังนั้นสามารถเลือกใช้วิธีการใดก็ได้ในการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์

#### 4.2 การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตในสถานะน้ำยาง

##### 4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ

เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (Dibutyl phosphate, DBP) ในสถานะน้ำยาง โดยใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 20 โมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) 20 เปอร์เซ็นต์ เดิมลงในปฏิกรณ์ หยด DBP ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของไดบิวทิลฟอสเฟตกับหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เป็น 1 ต่อ 1 กวนด้วยความเร็วรอบ 250 rpm โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจับตัวน้ำยางด้วยเมทานอล และขจัดไดบิวทิลฟอสเฟตและสารเจือปนอื่น ๆ ออกโดยใช้โคคลอโรมีเทน ตามหัวข้อ 3.3.3.1 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  ภายใต้ความดันสูญญากาศ แล้วจึงนำไปทดลองละลายยางที่ได้ในตัวทำละลาย คือ คลอโรฟอร์ม, เตตระไฮโดรฟิวเรน และ คลอโรฟอร์มผสมกับเตตระไฮโดรฟิวเรน พบว่ายาง DSNR ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.4 จึงไม่สามารถนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และ NMR ได้

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการละลายของ DSNR ในตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ เมื่อแปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

| Formulation | Temperature | Solubility |          |                |
|-------------|-------------|------------|----------|----------------|
|             | (°C)        | Chloroform | THF      | Chloroform+THF |
| 1           | 30          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |
| 2           | 40          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |
| 3           | 50          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |
| 4           | 60          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |
| 5           | 70          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |
| 6           | 80          | ไม่ละลาย   | ไม่ละลาย | ไม่ละลาย       |

#### 4.2.2 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการเตรียมยาง DSNR

เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.3.1 โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 30 องศาเซลเซียส แล้วทำการแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำ DSNR ไปทำให้บริสุทธิ์ ตามหัวข้อ 3.3.3.1 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้อากาศแห้งแล้วจึงนำไปละลายด้วยคลอโรฟอร์ม, เตตระไฮโดรฟูแรน และ สารผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับเตตระไฮโดรฟูแรน (50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) พบว่า DSNR ก็ไม่สามารถในตัวทำละลายใดๆ

#### 4.2.3 อิทธิพลของปริมาณไดบิวทิลฟอสเฟตต่อการเตรียมยาง DSNR

เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.3.1 โดยใช้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง แล้วทำการแปรอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับหมู่ฮิพอกไซค์ของยางธรรมชาติฮิพอกไซค์ เป็น 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 แล้วนำยาง DSNR ไปขจัดสารปนเปื้อนตามหัวข้อ 3.3.3.1.1 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้อากาศแห้งแล้วจึงนำไปละลายด้วยคลอโรฟอร์ม, เตตระไฮโดรฟูแรน และ คลอโรฟอร์มกับเตตระไฮโดรฟูแรน พบว่า DSNR ก็ไม่สามารถในตัวทำละลายใดๆ

#### 4.2.4 อิทธิพลของปริมาณหมู่ฮิพอกไซค์ต่อการเตรียมยาง DSNR

เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.3.1 โดยใช้อุณหภูมิ 30°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และอัตราส่วนโมลระหว่างยางธรรมชาติฮิพอกไซค์กับไดบิวทิลฟอสเฟต เป็น 1 ต่อ 1 แล้วทำการแปรปริมาณหมู่ฮิพอกไซค์เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ฮิพอกไซค์

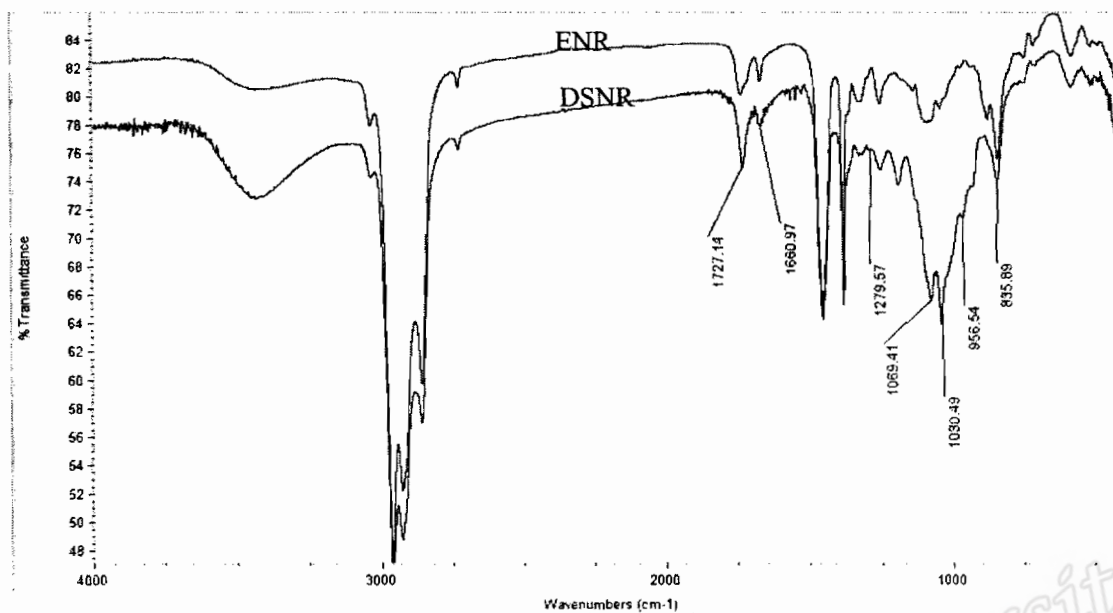
โดยเรียกยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ดัดแปลงโมเลกุลที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตที่เตรียมได้เป็น DSNR-10, DSNR-20, DSNR-30, DSNR-40 และ DSNR-50 แล้วนำ DSNR ไปขจัดสารปนเปื้อนตามหัวข้อ 3.3.3.1.1 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้อากาศสูญญากาศ แล้วจึงนำไปละลายด้วยคลอโรฟอร์ม, เตตระไฮโดรฟิวแรน และ คลอโรฟอร์มกับเตตระไฮโดรฟิวแรน พบว่า DSNR ก็ไม่สามารถในตัวทำละลายใดๆ

จากผลของการเตรียมยาง DSNR ในสถานะน้ำยาง ในรูปแบบต่างๆ ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม, เตตระไฮโดรฟิวแรน และสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับเตตระไฮโดรฟิวแรน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเตรียมยาง DSNR ในสถานะน้ำยางมีการเจลสูงจึงไม่สามารถในตัวทำละลายได้ การเตรียมยาง DSNR ในสถานะน้ำยางจึงไม่สามารถนำยางที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนวิธีการศึกษาเป็นการเตรียมยาง DSNR ในสถานะหลอม

#### 4.3 การเตรียมยาง DSNR ในสถานะหลอม

##### 4.3.1 การวิเคราะห์ DSNR ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองในหัวข้อ 3.3.4.1 แล้ววิเคราะห์ตัวอย่างด้วยด้วยเครื่อง FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรด แสดงดังในรูปที่ 4.5 ซึ่งพบตำแหน่งตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงลักษณะเฉพาะของการมีหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน (dioxaphosphalane) ซึ่งเป็นผลผลิตหลักที่ได้จากการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 956, 1030, 1069 และ 1279  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ รายละเอียดของตำแหน่งการดูดกลืนแสงอินฟราเรดแต่ละตำแหน่งแสดงในตารางที่ 4.5 นอกจากนี้อาจปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่อื่น ๆ เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น แถบการดูดกลืนของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxy group) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3600-3200  $\text{cm}^{-1}$  และหมู่อีเทอร์ (ether group) ที่ 1800-1650  $\text{cm}^{-1}$  เป็นต้น



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมอินฟราเรดของ DSNR เปรียบเทียบกับยาง ENR

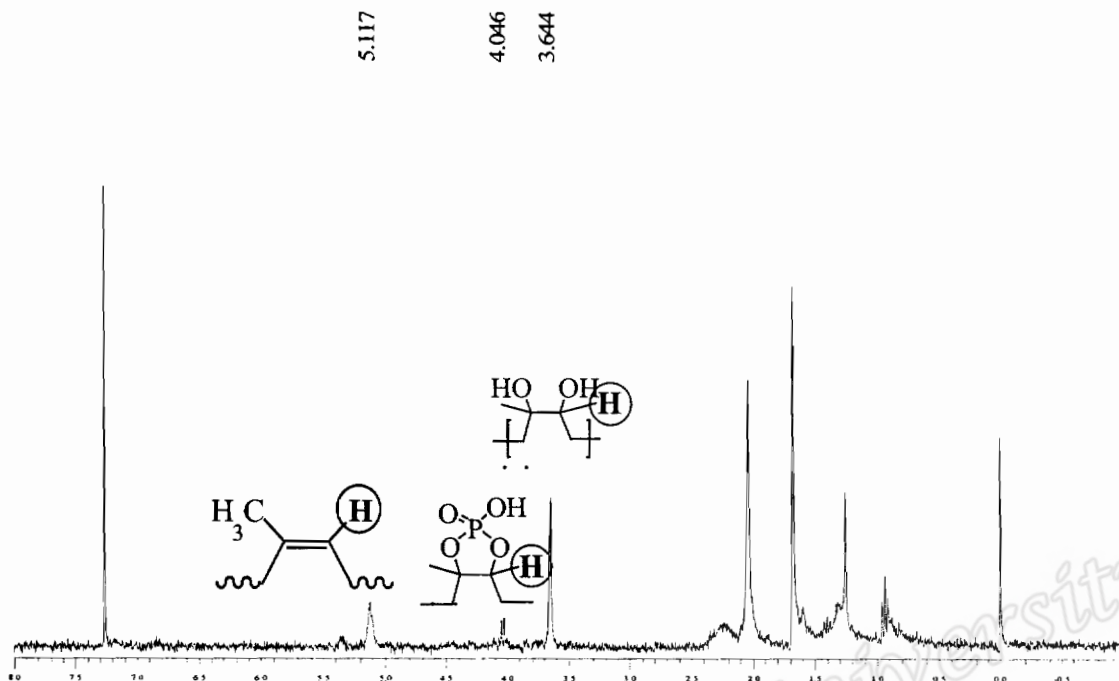
ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งเลขคลื่นของพีคสเปกตรัมอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชันของไดออกซาฟอสโฟเลน (Derouet *et al*, 2001)

| Wavelength ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Group                                   | Literature values ( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|---------------------------------|---|--|
| 1283                            | $(\text{RO})_3\text{P}(\text{O})$       | 1286-1258                              |
| 1064                            | C-O-P                                   | 1080-990                               |
| 1032                            | $\text{P}(\text{O})\text{CH}_2\text{R}$ | 1042-987                               |
| 977                             | $\text{P}(\text{O})\text{CHR}_2$        | 1018-950                               |

#### 4.3.2 การวิเคราะห์ DSNR ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

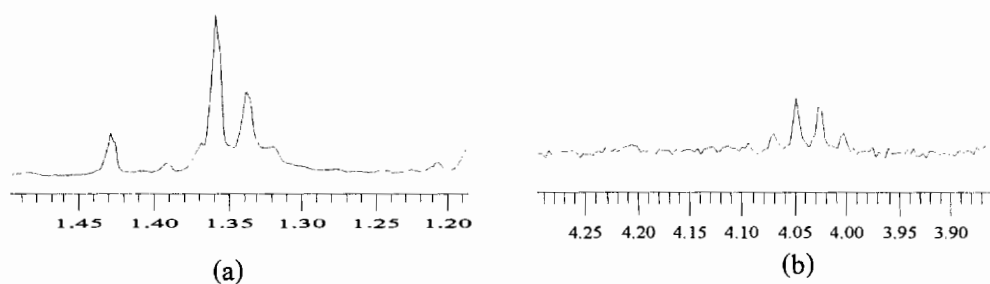
เตรียม DSNR ตามวิธีการในหัวข้อ 3.3.4.1 วิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$  โดยนำยาง DSNR ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วละลายด้วย  $\text{CDCl}_3$  แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง NMR ที่ใช้ความเข้มสนามแม่เหล็ก 11.74 เทสลา ภายใต้ความถี่คลื่นวิทยุ 500 MHz โดยวัด ตำแหน่งสัญญาณที่เกิดขึ้นใช้ตำแหน่งสัญญาณโปรตอนใน Tetramethylsilane (TMS) เป็นตัวอ้างอิง ปรากฏตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ ) แสดงดังในรูปที่ 4.6 และ 4.7





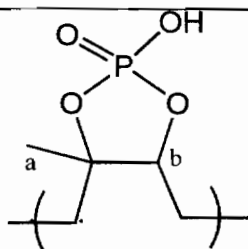
รูปที่ 4.6 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต

จากรูปที่ 4.6 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตในสถานะหลอม จะเกิดตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ที่แสดงถึงการมีหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ขยายดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อนำยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกสเปกโทรสโกปี จะเกิดตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ซึ่งเกิดการเรโซแนนซ์ที่ 4.05 ppm เป็นแบบพีกคู่ และที่ตำแหน่ง chemical shift ที่ 1.36 ppm เป็นแบบพีกเดี่ยว รายละเอียดของโครงสร้างแสดงดังในตารางที่ 4.6

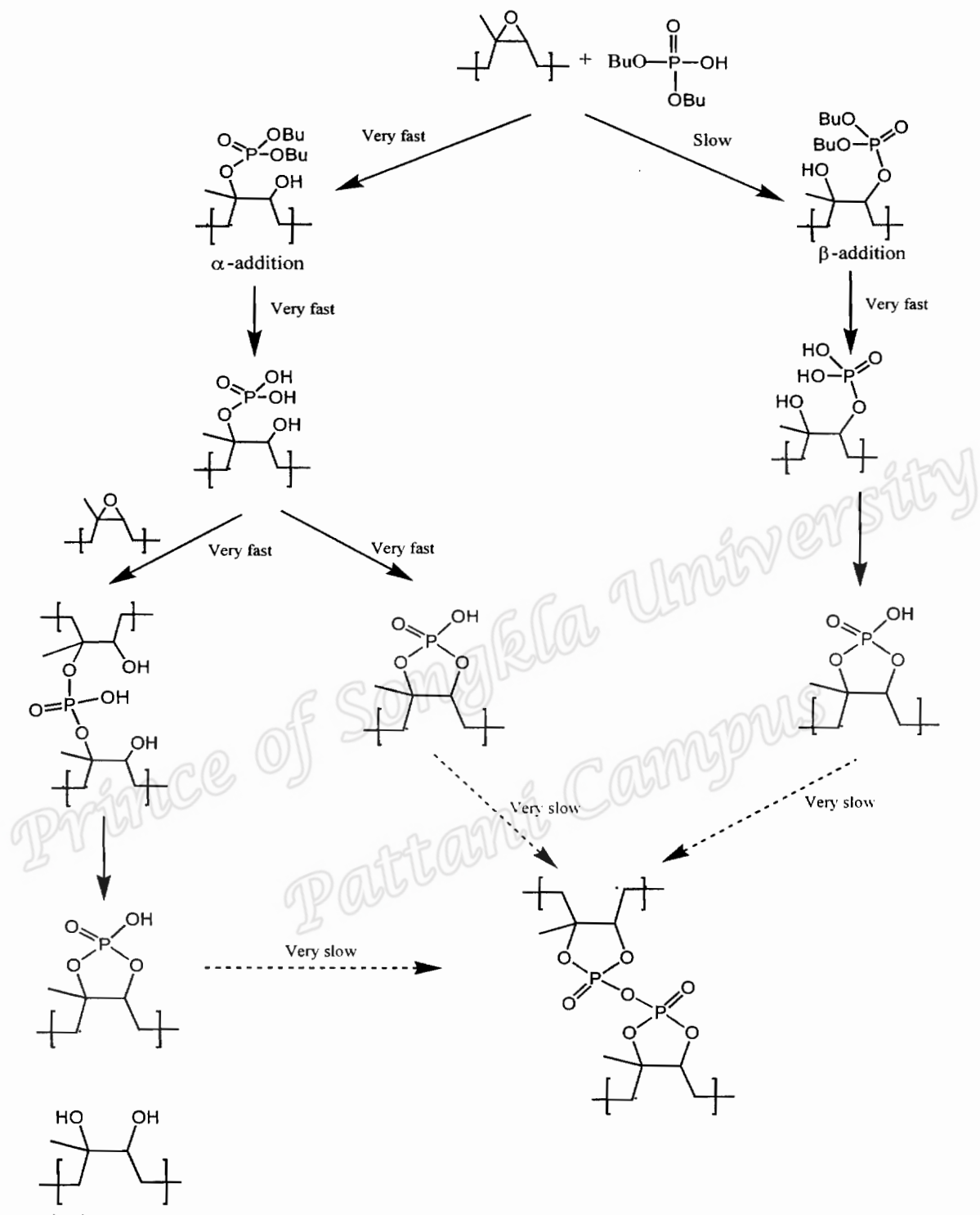


รูปที่ 4.7 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนในยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (a) ตำแหน่ง chemical shift ที่ตำแหน่งอัลฟา และ (b) ตำแหน่ง chemical shift ที่ตำแหน่งเบต้า (บุญญานิช, 2547)

ตารางที่ 4.6 ตำแหน่ง chemical shift ของ  $^1\text{H-NMR}$  ของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (Derouet *et al*, 2005)

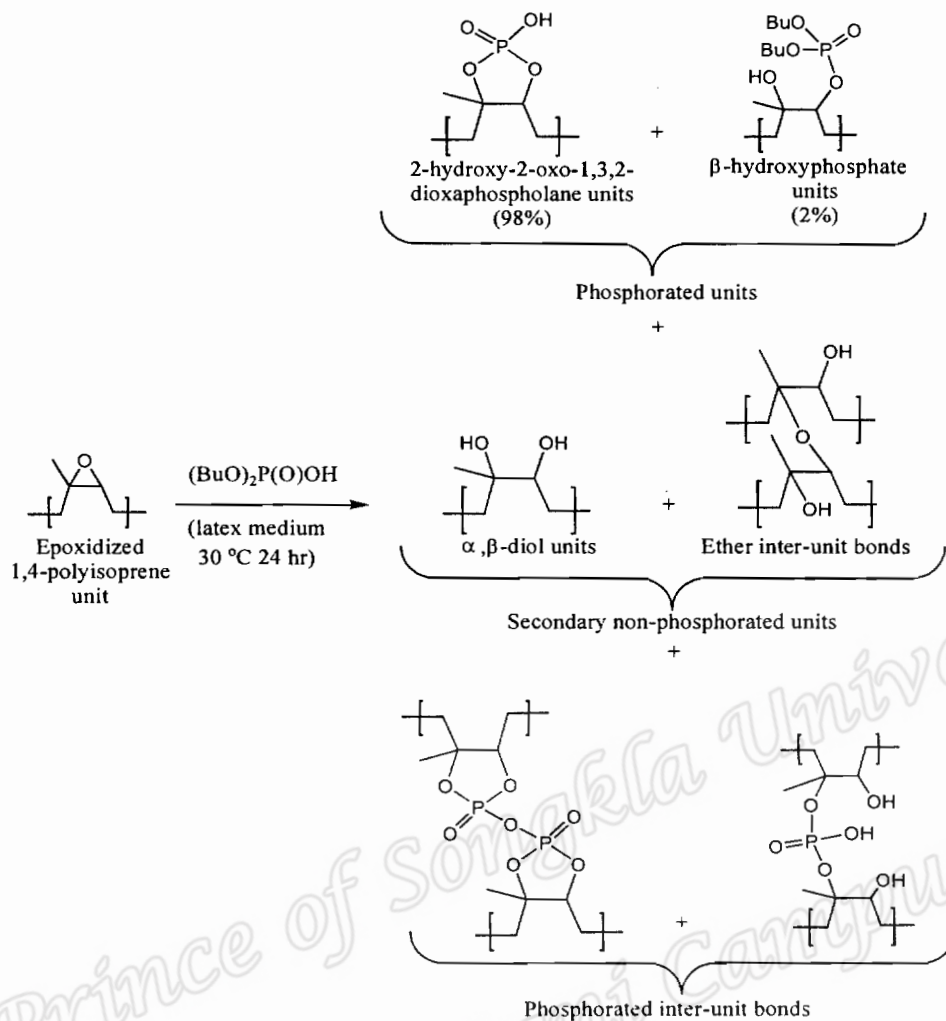
| Structure   | $^1\text{H-NMR}$  |                         |
|---|-------------------|-------------------------|
|   | Protons           | $\delta(\text{ppm})$    |
|  <p>dioxaphospholane</p> | <p>a</p> <p>b</p> | <p>1.36</p> <p>4.05</p> |

ดังนั้นกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยหมู่ฟังก์ชันของกรด (acid function, P-OH) ของไดบิวทิลฟอสเฟตจะเข้าทำปฏิกิริยาแบบแทนที่ในตำแหน่งอัลฟาและเบตาที่วงแหวนออกซิเรนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกิดเป็นเบต้าไฮดรอกซีฟอสเฟต ( $\beta$ -hydroxyphosphate) แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน (2-butoxy-2-oxo-1, 3, 2-dioxaphospholane) อย่างรวดเร็วโดย  $\beta$ -hydroxyphosphate จะเกิดการเติมที่ตำแหน่งแอลฟาได้ดีกว่าตำแหน่งเบตา เนื่องจากมีความว่องไวสูงกว่า ดังแสดงกลไกของปฏิกิริยาในรูปที่ 4.8 นอกจากนี้ยังเกิดผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งเป็นส่วนน้อยได้แก่ ไดออล (diol) และอีเทอร์ (ether) แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับโมเลกุลยางธรรมชาติอีพอกไซด์

(Derouet *et al.*, 2003)

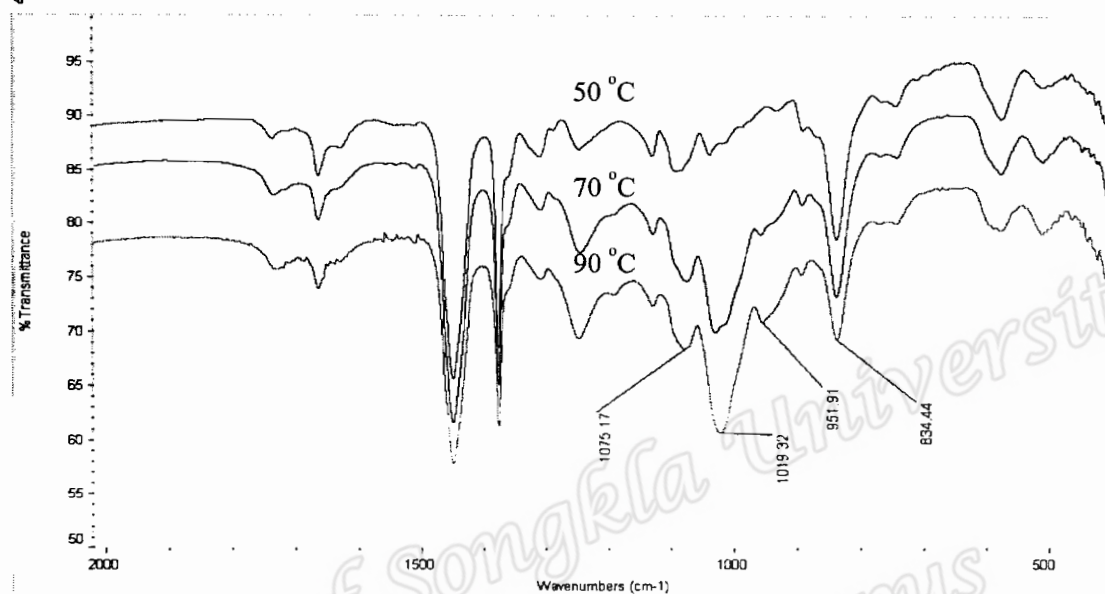


รูปที่ 4.9 ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของธรรมชาติฟอสเฟตกับไดบิวทิลฟอสเฟต (Derouet *et al.*, 2003)

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติฟอสเฟตกับไดบิวทิลฟอสเฟตประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่มหลักด้วยกัน คือ หน่วยฟอสโฟเรท (phosphorated unit), หน่วยที่ไม่ใช่ฟอสโฟเรททุติยภูมิ (secondary non-phosphorated unit) และ พันธะระหว่างหน่วยฟอสโฟเรท (phosphorated inter-unit bonds) ดังนั้นการเชื่อมโยงจึงสามารถเกิดขึ้นระหว่างการเตรียมยาง DSNR ในสถานะน้ำยาง และไม่สามารถละลายยาง DSNR ด้วยตัวทำละลายใด ๆ ได้ จึงไม่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างของยาง DSNR ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ชนิดโปรตอน ( $^1\text{H-NMR}$ )

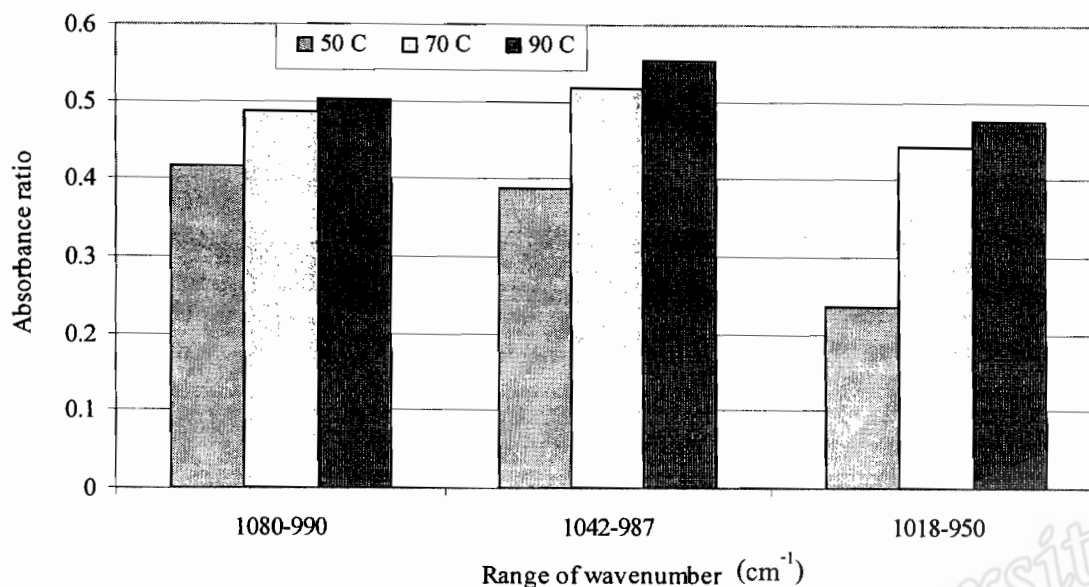
### 4.3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา

เตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่คัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR) ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.4.1 แล้วทำการแปรอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาเป็น 50, 70, 90, 110 และ 130 องศาเซลเซียส แล้ววิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล ด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 4.10



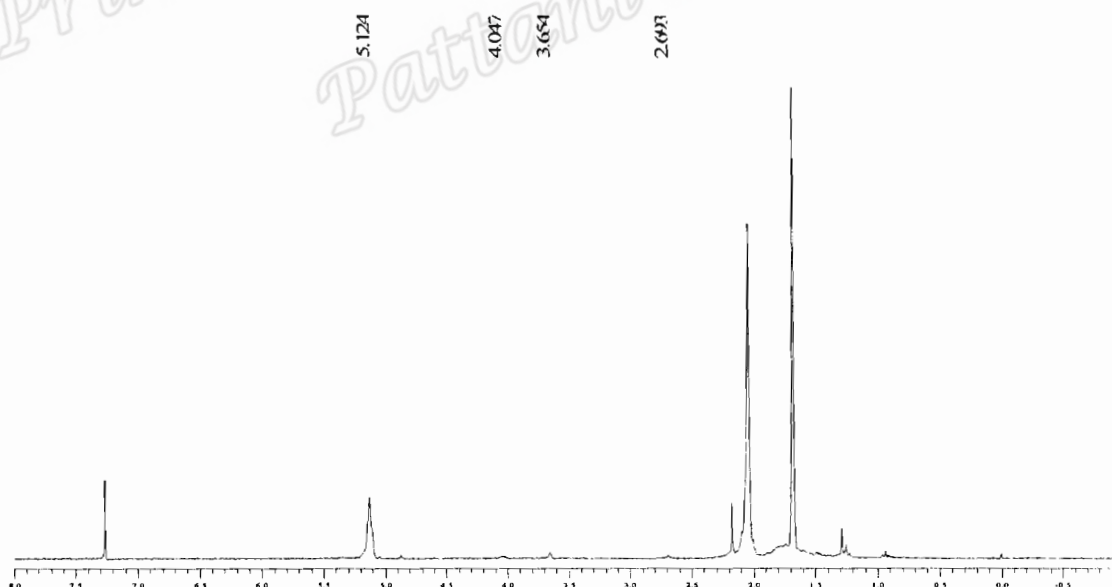
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมอินฟราเรดของยาง DSNR ที่แปรอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยเลือกแสดงผลที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเกาะติดของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนบนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และเมื่อนำค่าสเปกตรัมอินฟราเรดวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการดูดกลืน (absorbance ratio) ของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน กล่าวคือคำนวณโดยใช้ความสูงของพีคอินฟราเรด ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 951, 1019 และ 1075  $\text{cm}^{-1}$  เปรียบเทียบกับตำแหน่ง 835  $\text{cm}^{-1}$  ได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.11 พบว่าที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50 °C จะให้ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนของสเปกตรัมอินฟราเรดต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 70 และ 90 °C การใช้อุณหภูมิจากการทำปฏิกิริยาที่ 110 และ 130 °C ไม่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ได้ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเจลในปริมาณที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้การละลายของยาง DSNR ทำได้ยากมาก มีผลให้สเปกตรัมอินฟราเรดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ไม่สมบูรณ์

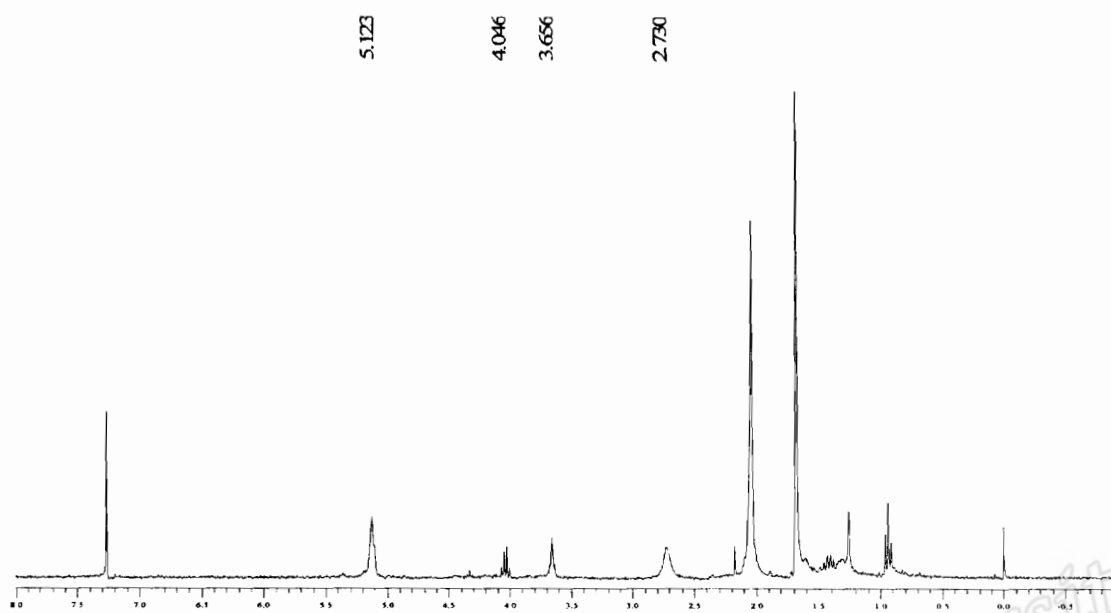


รูปที่ 4.11 อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ที่แถบเลขคลื่น 1018-950, 1042-987 และ 1080-990 cm<sup>-1</sup> เทียบกับ 835 cm<sup>-1</sup> โดยแปรอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

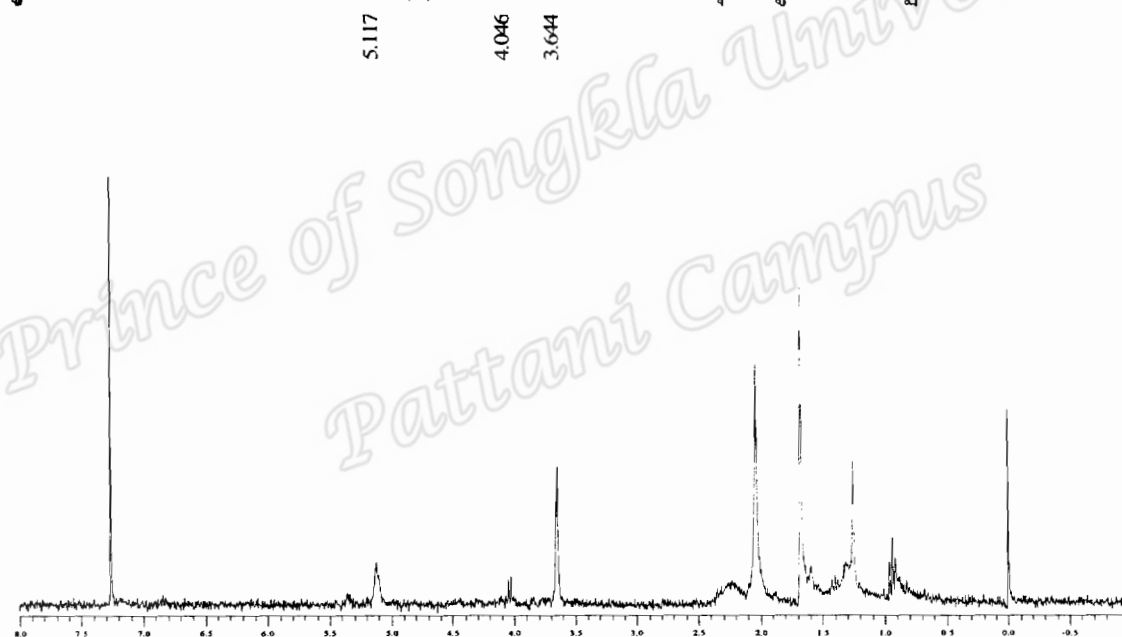
เมื่อนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์คัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ได้สัญญาณ chemical shift ( $\delta$ ) ของ <sup>1</sup>H-NMR ที่เวลาของการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.12 ถึง 4.16



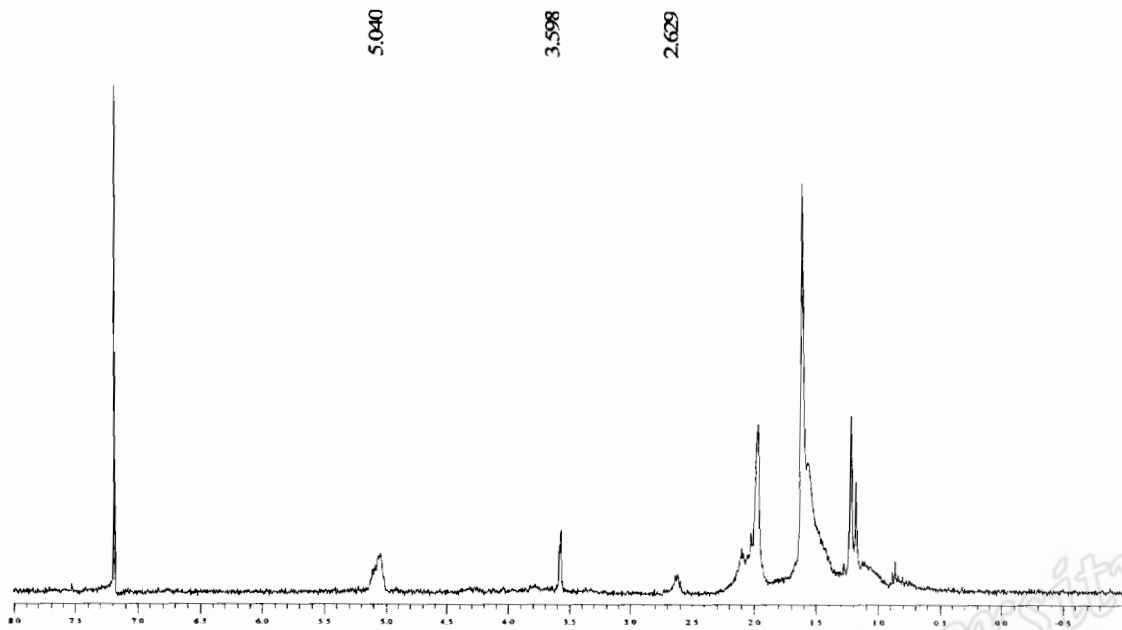
รูปที่ 4.12 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ ) <sup>1</sup>H-NMR ของยาง DSNR ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 50 °C



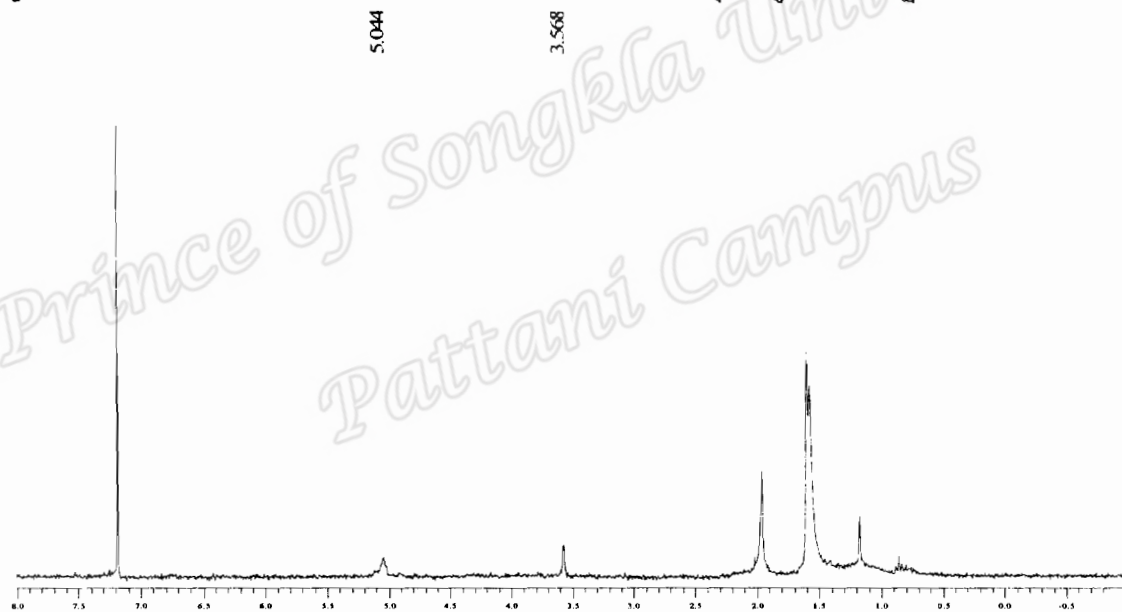
รูปที่ 4.13 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของ DSNR ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา  $70^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.14 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของ DSNR ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา  $90^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.15 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของ DSNR ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา  $110^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.16 ตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ )  $^1\text{H-NMR}$  ของ DSNR ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาเป็น  $130^\circ\text{C}$

จากรูปที่ 4.12 ถึง 4.16 พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณการเกาะติดของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่  $110$  และ  $130^\circ\text{C}$  จะไม่ปรากฏตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ ) ที่  $1.36$  ppm และที่  $4.05$  ppm ซึ่งหมายถึงการใช้อุณหภูมิ  $110$  และ  $130$  องศาเซลเซียสในการทำปฏิกิริยาจะไม่เกิดโครงสร้างของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน (2-hydroxy-2-

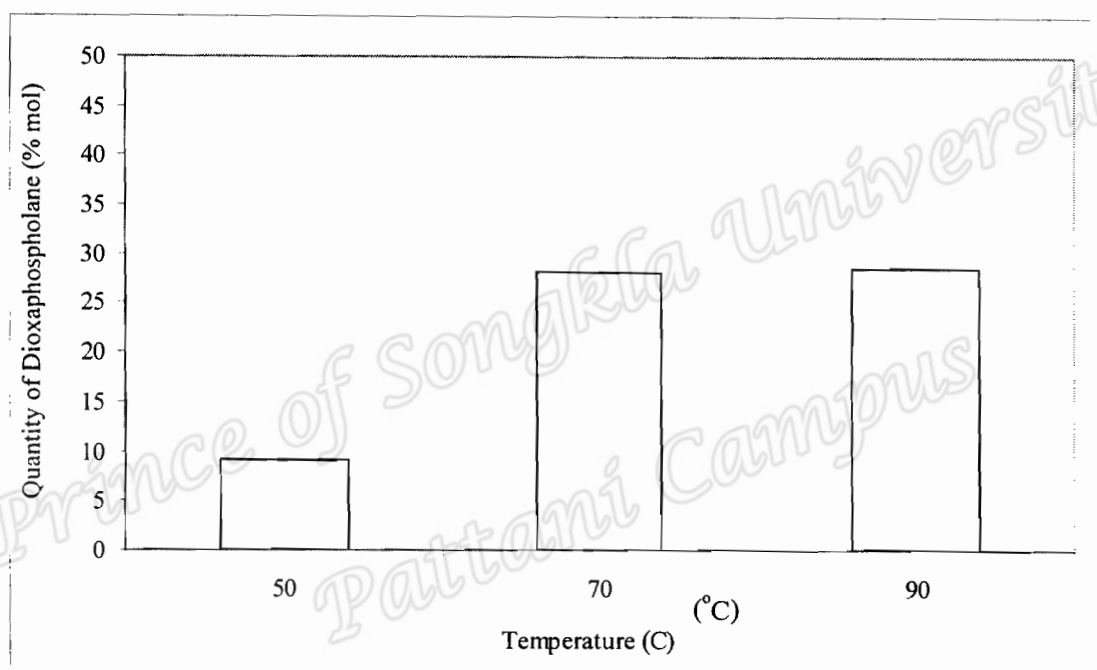


oxo-1,3,2-dioxaphospholane) และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณ โดยโมลของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ตามสมการที่ 4.1 ได้ผลแสดงดังในรูปที่ 4.17

$$\text{Dioxaphospholane (\% mol)} = \frac{A_{4.05}}{(A_{5.12} + A_{4.05})} \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ  $A_{5.12}$  คือ พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง chemical shift 5.12 ppm (*cis* and *trans* isoprene units)

$A_{4.05}$  คือ พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง chemical shift 4.05 ppm (2-hydroxy-2-oxo-1,3,2-dioxaphospholane unit)



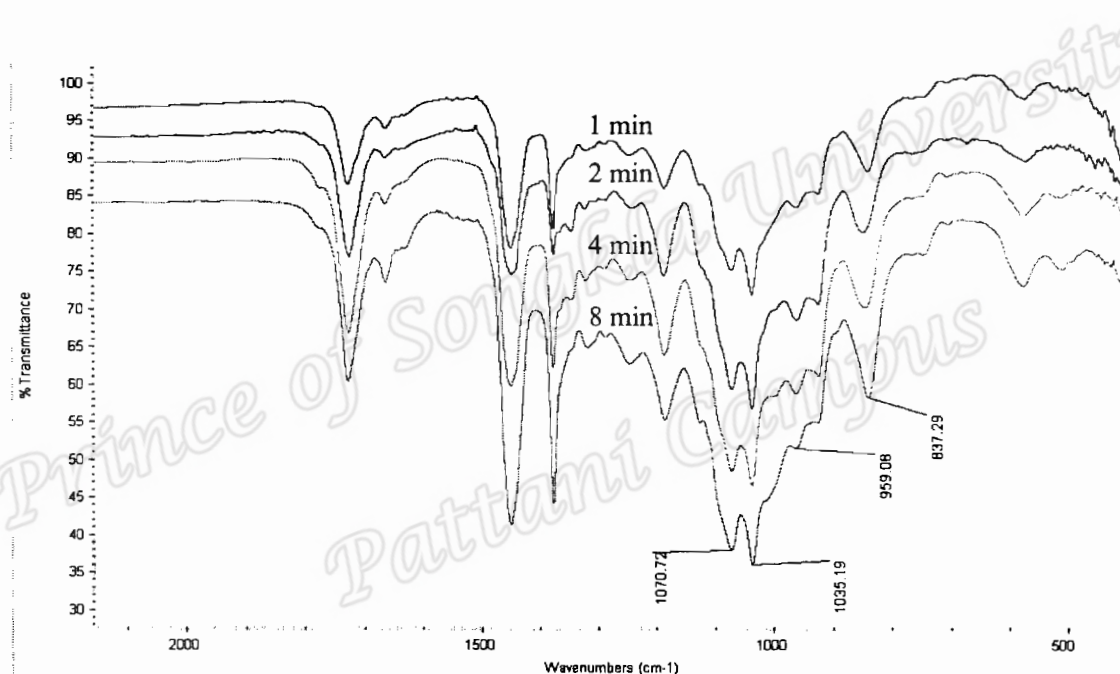
รูปที่ 4.17 ปริมาณ dioxaphospholane ที่เตรียมจากการแปรรูปหมูมิในการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 90°C จะให้ค่าปริมาณหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนสูงที่สุด โดยคำนวณโดยใช้สัญญาณโปรตอนตำแหน่ง chemical shift ( $\delta$ ) 4.05 ppm และ 5.12 ppm ของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนและไอโซพรีนตามลำดับ ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ควรใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 90°C เนื่องจากให้ปริมาณหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนสูงที่สุด การใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50°C จะทำให้ปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์เกิดต่ำกว่า แต่ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า 90°C ทำให้การเกิดเจลเกิดขึ้นก่อนข้างสูง ซึ่งสาเหตุของการเกิดเจลเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างหน่วยของ 2-hydroxy-2-oxo-1,3,2-dioxaphospholane เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล และเกิดเป็นพันธะระหว่างฟอสโฟเรท

(phosphate inter-unit bonds) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ยังก่อให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง เช่นเกิดหมู่ไดออล ( $\alpha,\beta$ -diol units) และอีเทอร์ (ether inter-unit bonds) เป็นต้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการออกมาด้วย แสดงดังรูปในที่ 4.9

#### 4.3.4 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

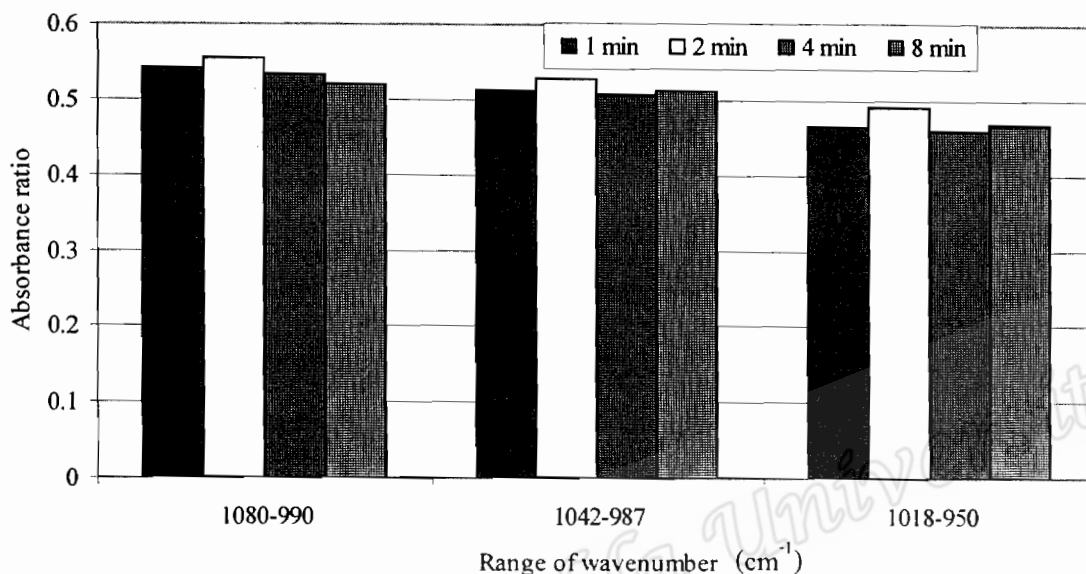
เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.4.1 โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น  $90^{\circ}\text{C}$  และทำการแปรเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็น 1, 2, 4 และ 8 นาที วิเคราะห์ยาง DSNR ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ได้สเปกตรัมอินฟราเรด แสดงดังในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมอินฟราเรดของ DSNR ที่แปรเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.18 เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันจะให้สเปกตรัมอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันส่งผลโดยตรงต่อการเกิดหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน กล่าวคือเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อีพอกไซด์และไดบิวทิลฟอสเฟตเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาของโมเลกุลทั้งสองเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งแสดงว่าการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกาะติดของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน อย่างไรก็ตาม สเปกตรัมอินฟราเรดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงไม่สามารถบอกความแตกต่างของสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน จะต้องนำไปวิเคราะห์อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน

โดยใช้อัตราส่วนความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงถึงหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน เปรียบเทียบกับความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่ง  $835\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.19



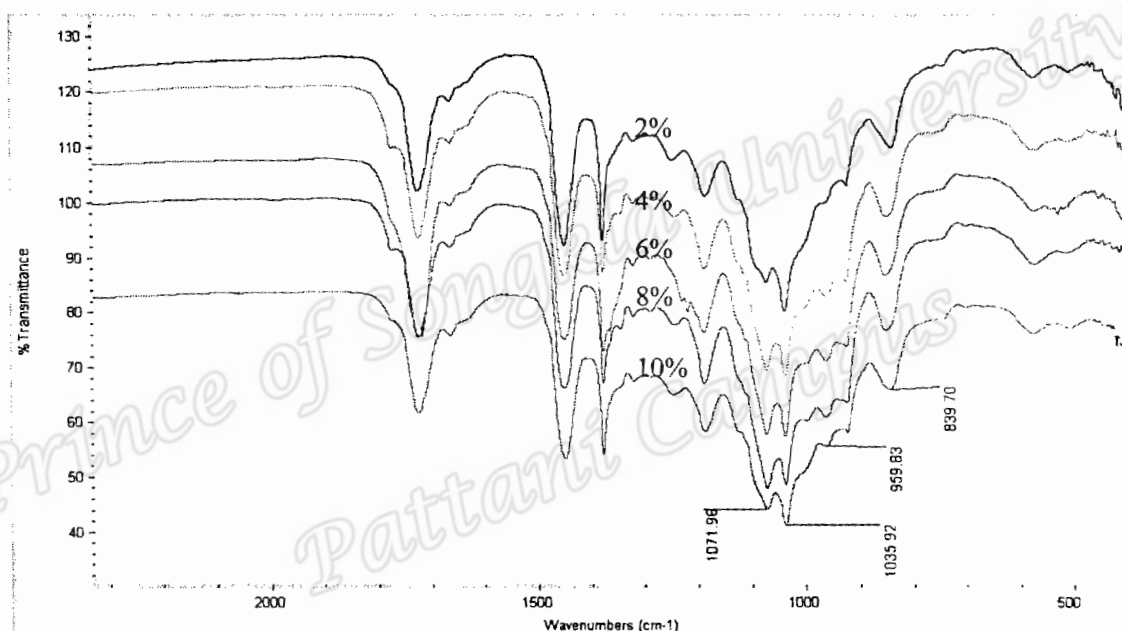
รูปที่ 4.19 อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ที่แถบเลขคลื่น 1018-950, 1042-987 และ 1080-990  $\text{cm}^{-1}$  เทียบกับ  $835\text{ cm}^{-1}$  โดยแปรเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.19 พบว่าความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติ อีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ กับไดบิวทิลฟอสเฟต มีผลต่ออัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ กับไดบิวทิลฟอสเฟต เป็นปฏิกิริยาที่รุนแรง และสามารถเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไดบิวทิลฟอสเฟตเป็นสารที่มีความเป็นกรดและสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเอง ซึ่งในขณะที่เกิดปฏิกิริยาไดบิวทิลฟอสเฟตจะแตกตัวให้ฟังก์ชันกรด (acid function, P-OH) และเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ อย่างไรก็ตามการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานเกินไปจะทำให้อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนที่แถบเลขคลื่น 1018-950, 1042-987 และ 1080-990  $\text{cm}^{-1}$  เทียบกับ  $835\text{ cm}^{-1}$  มีค่าลดลง เนื่องจากการเกิดเจล และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ เช่น สารในกลุ่ม ไดออล และ คีโตน เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 นาทีน่าจะเหมาะสมเนื่องจากปริมาณการเกาะติด

ของไดออกซาฟอสโฟเลน มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1, 4 และ 8 นาที

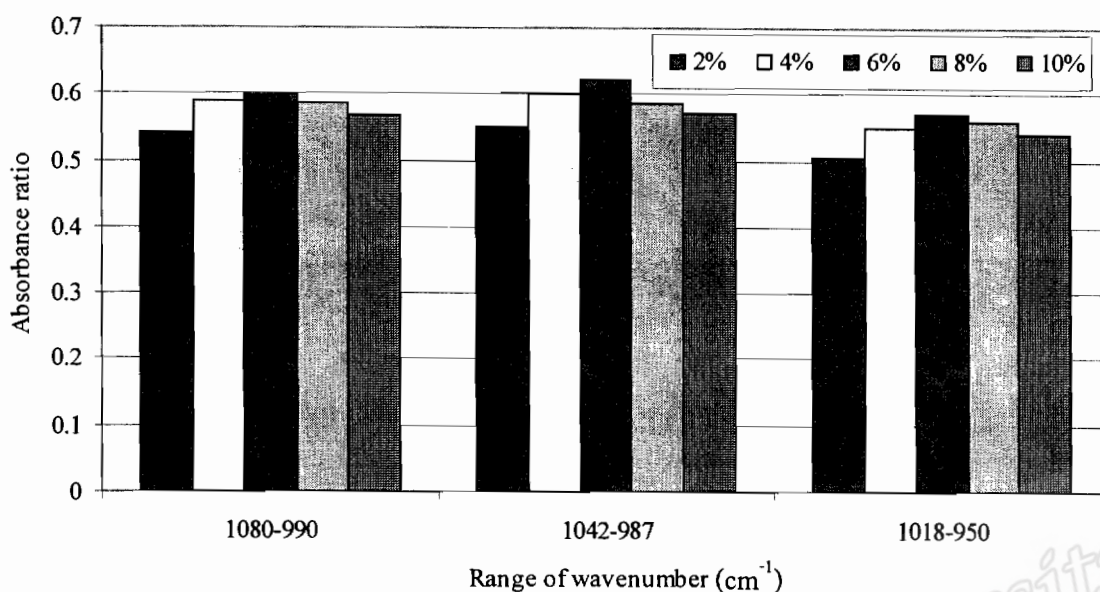
#### 4.3.5 อิทธิพลของปริมาณไคบิวทิลฟอสเฟตต่อการเตรียมยาง DSNR

เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.4.1 โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เป็น  $90^{\circ}\text{C}$  และเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 นาที แล้วทำการแปรปริมาณของไคบิวทิลฟอสเฟตเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แล้ววิเคราะห์การเกาะติดของไคบิวทิลฟอสเฟตด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งได้ผลสเปกตรัมดังแสดงดังในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 สเปกตรอินฟราเรดของ DSNR ที่แปรปริมาณของไคบิวทิลฟอสเฟต

จากรูปที่ 4.20 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไคบิวทิลฟอสเฟต โดยแปรปริมาณของไคบิวทิลฟอสเฟตในการทำปฏิกิริยา เป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามในแต่ละตำแหน่งของสเปกตรัมอินฟราเรดจะให้ค่าการดูดกลืนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน โดยใช้อัตราส่วนความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงถึงหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน เปรียบเทียบกับความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงดังรูปที่ 4.21



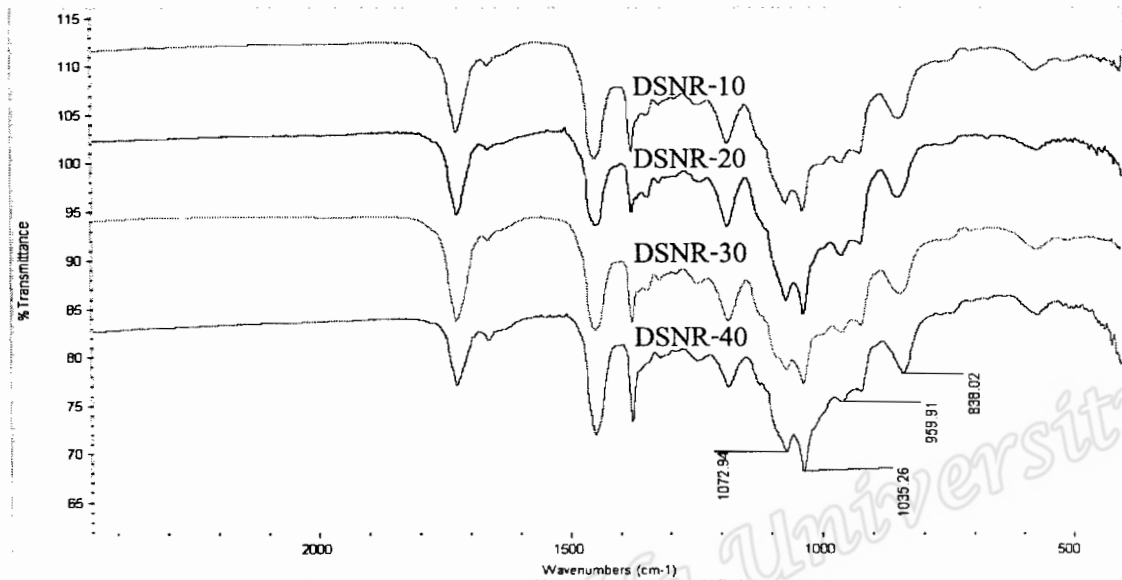
รูปที่ 4.21 อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ที่แถบเลขคลื่น 1018-950, 1042-987 และ 1080-990  $\text{cm}^{-1}$  เทียบกับ  $835 \text{ cm}^{-1}$  โดยแปรปริมาณของไดบิวทิลฟอสเฟต

จากรูปที่ 4.21 เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ที่แถบเลขคลื่น 1080-990, 1042-987 และ 1018-950  $\text{cm}^{-1}$  เทียบกับ  $835 \text{ cm}^{-1}$  ปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไดบิวทิลฟอสเฟตในปฏิกิริยากับยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ค่าการดูดกลืนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไดบิวทิลฟอสเฟตที่ใช้โดยมีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และอัตราส่วนการดูดกลืนจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปริมาณของไดบิวทิลฟอสเฟตสูงกว่า 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนเป็นผลมาจากการเข้าแทนที่ของหมู่ฟังก์ชัน P-OH ของไดบิวทิลฟอสเฟตในตำแหน่งอัลฟาและเบต้าที่วงแหวนออกซิเรนของยางธรรมชาติอิพอกไซด์เกิดเป็น  $\beta$ -hydroxyphosphate และจะเปลี่ยนไปเป็น 2-butoxy-2-oxo-1, 3, 2-dioxaphospholane อย่างรวดเร็วโดย  $\beta$ -hydroxyphosphate จะเกิดการเติมที่ตำแหน่งอัลฟา เนื่องจากมีความว่องไวสูงกว่า นอกจากนี้ยังเกิดผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งเป็นส่วนน้อยได้แก่ ไดออล (diol) และอีเทอร์ (ether) เป็นต้น

#### 4.3.6 อิทธิพลของปริมาณหมู่อิพอกไซด์ต่อการเตรียมยาง DSNR

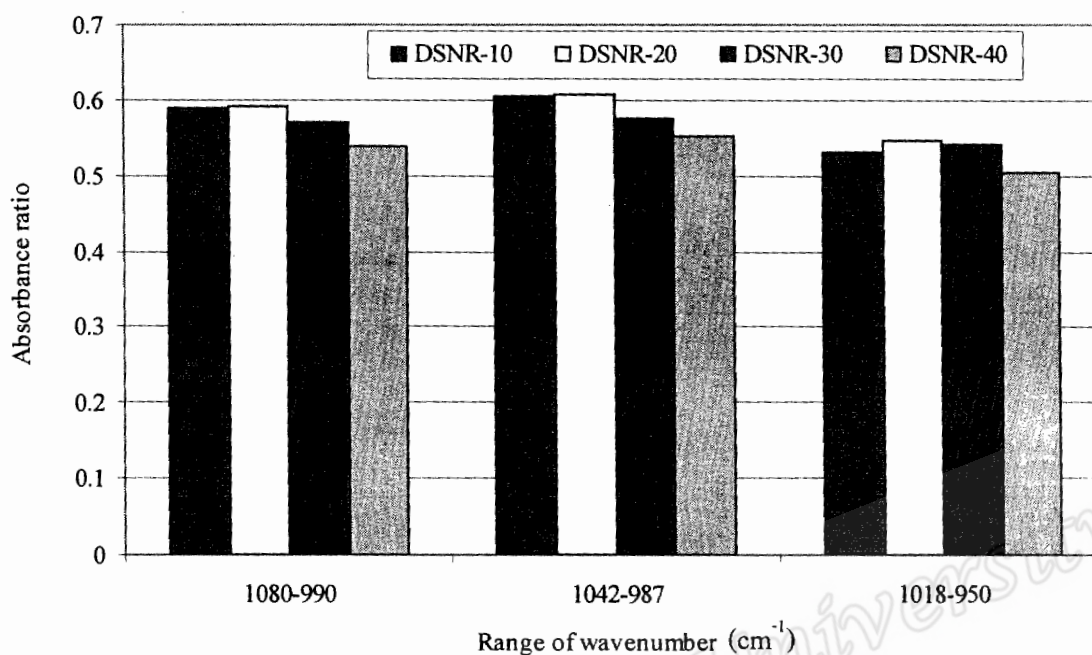
เตรียมยาง DSNR ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.4.1 โดยใช้ฉนวนหมุมิทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ปริมาณของ DBP ที่ใช้เป็น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา เป็น 2 นาที แล้วทำการแปรปริมาณหมู่อิพอกไซด์เป็น 10, 20, 30 และ 40

โมลเปอร์เซ็นต์ แล้ววิเคราะห์การเกาะติดของไคบิวทิลฟอสเฟตบน โมเลกุลของยางด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งได้ผลแสดงดังในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 สเปกตรัมอินฟราเรดของยาง DSNR โดยแปรปริมาณของหมู่อิพอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.22 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ที่โมลเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไคบิวทิลฟอสเฟต โดยแปรปริมาณของหมู่อิพอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 10, 20, 30 และ 40 โมลเปอร์เซ็นต์ จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนค่าการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน โดยใช้อัตราส่วนความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงถึงหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน เปรียบเทียบกับความสูงของพีคอินฟราเรดตำแหน่ง  $835 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.23



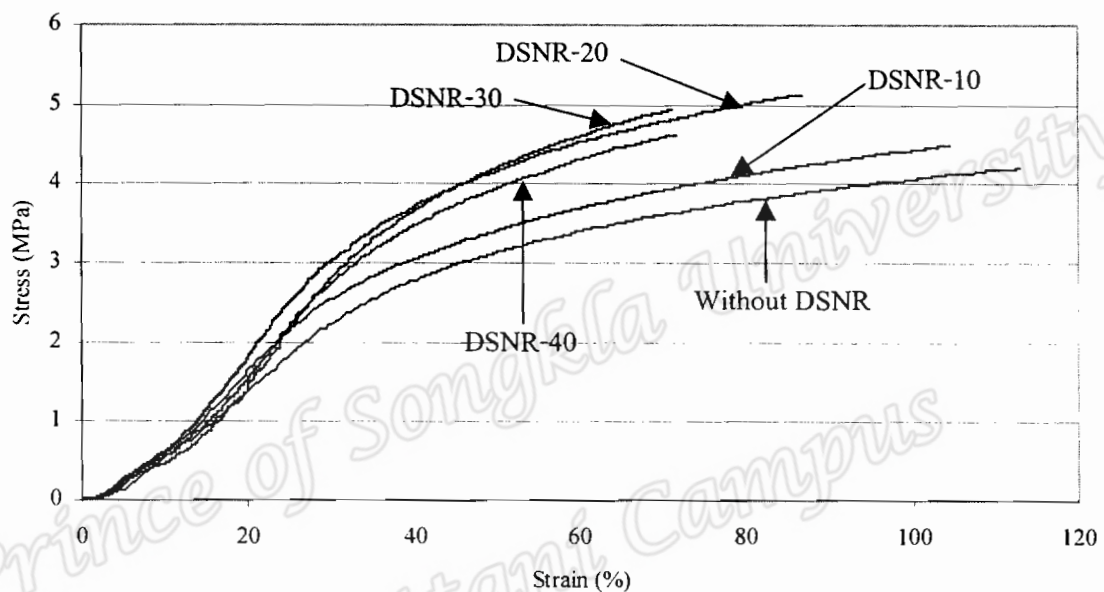
รูปที่ 4.23 อัตราส่วนการดูดกลืนของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลน ที่แถบเลขคลื่น 1018-950, 1042-987 และ 1080-990 cm<sup>-1</sup> เทียบกับ 835 cm<sup>-1</sup> โดยแปรปริมาณหมู่ฟอสโฟไซด์

จากรูปที่ 4.23 เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนการดูดกลืนเมื่อแปรปริมาณของหมู่ฟอสโฟไซด์ ที่แถบเลขคลื่น 1080-990, 1042-987 และ 1018-950 cm<sup>-1</sup> เทียบกับ 835 cm<sup>-1</sup> ปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของหมู่ฟอสโฟไซด์อัตราส่วนการดูดกลืนจะเพิ่มขึ้นน้อย โดยค่าการดูดกลืนเมื่อใช้ยางธรรมชาติฟอสโฟไซด์ 20 โมลเปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าการดูดกลืนที่สูงที่สุด และอัตราส่วนการดูดกลืนจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณของหมู่ฟอสโฟไซด์มากกว่า 20 โมลเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ยางธรรมชาติฟอสโฟไซด์ที่มีปริมาณของหมู่ฟอสโฟไซด์ มากกว่า 20 โมลเปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้โอกาสการเกิดเจลค่อนข้างสูง ซึ่งสาเหตุของการเกิดเจลเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างหน่วยของ 2-hydroxy-2-oxo-1,3,2-dioxaphospholane เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล และเกิดเป็นพันธะระหว่างฟอสโฟเรท (phospholane inter-unit bonds) เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้ยางธรรมชาติฟอสโฟไซด์ที่มีปริมาณหมู่ฟอสโฟไซด์น้อยกว่า 20 โมลเปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้โอกาสของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติฟอสโฟไซด์และไดบิวทิลฟอสเฟต น้อยลงเนื่องจากการที่มีหมู่ออกซิเจน น้อยเกินไป โอกาสของการเข้าทำปฏิกิริยาของฟังก์ชันกรด (acid function, P-OH) ก็จะมีค่าลดลงเนื่องจากฟังก์ชันกรด จะเข้าทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติฟอสโฟไซด์ในตำแหน่งของหมู่ฟอสโฟไซด์ ดังนั้นถ้าปริมาณของหมู่ฟอสโฟไซด์ลดลง โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาก็จะลดลง

#### 4.4 การใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเบลนด์ NR/EVA

##### 4.4.1 อิทธิพลของชนิด DSNR ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

ทำการเบลนด์ NR/EVA ตามการทดลองในหัวข้อ 3.3.5.1 โดยทำการแปรชนิดของ DSNR ที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้เป็น DSNR-10, DSNR-20, DSNR-30 และ DSNR-40 ที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ ในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/EVA = 60/40 เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ได้ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแสดงดังในรูปที่ 4.24

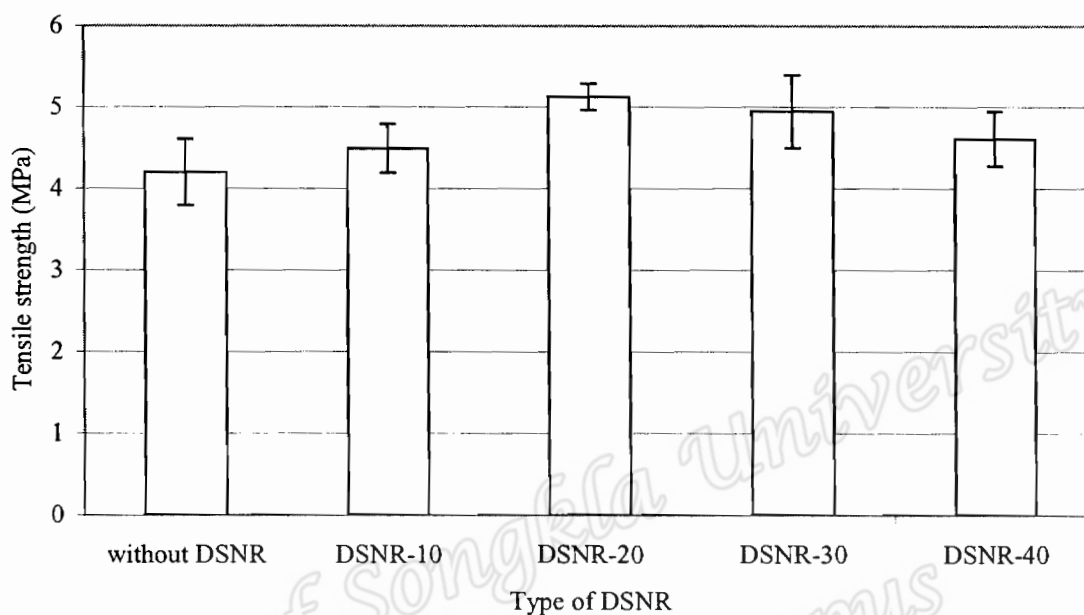


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้

จากรูปที่ 4.24 พบว่าการใช้ DSNR-10, DSNR-20, DSNR-30 และ DSNR-40 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความเค้นที่ความเครียดใด ๆ สูงกว่ากรณีไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการมีปริมาณหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนในโมเลกุลของ DSNR ซึ่งเป็นหมู่ที่จะสามารถทำปฏิกิริยาหรืออันตรกิริยาเคมีกับหมู่วินิลอะซิเตทใน EVA จึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ โดยการเชื่อมประสานระหว่างเฟสยางธรรมชาติกับ EVA และเมื่อใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่าทำให้ความเค้นที่จุดขาดสูงสุดเนื่องจากการมีหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนในปริมาณสูง (รูปที่ 4.23) ในการทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางธรรมชาติกับ EVA

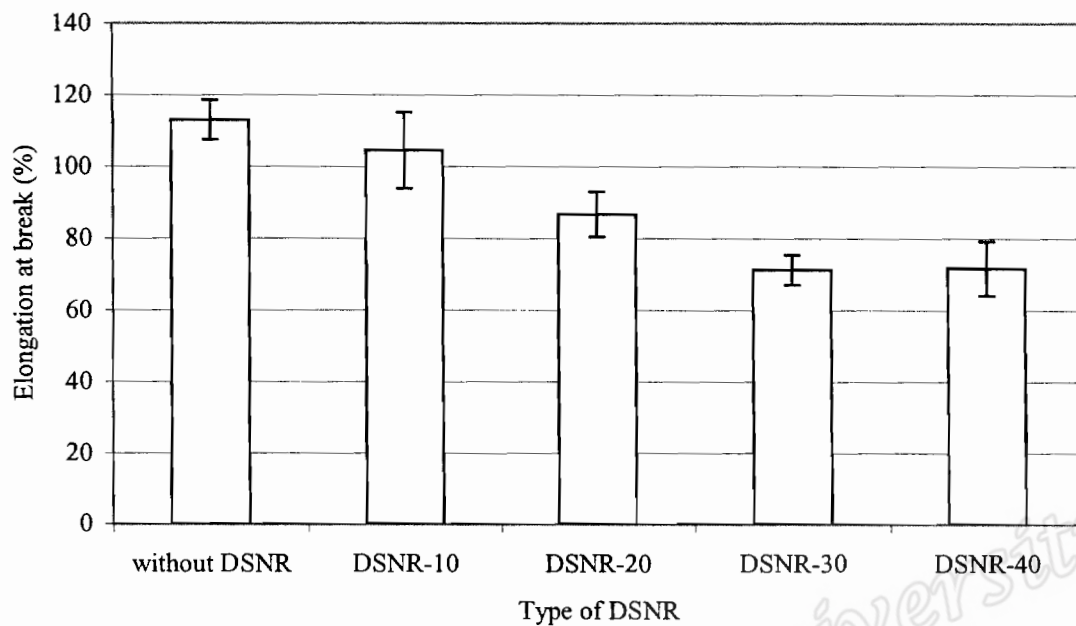


จากจุดขาดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์ สามารถนำมาหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดจนขาดได้ผลการทดลอง แสดงดังในรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้

จากรูปที่ 4.25 พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ของ NR/EVA ที่ใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าในกรณีที่ไม่ใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทั้งนี้เนื่องจาก DSNR ที่ใช้เป็นโมเลกุลที่มีส่วนที่มีขั้ว สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันในส่วนของไวนิลอะซิเตท นอกจากนี้ยังมีส่วนที่ไม่มีขั้วอยู่ภายในโมเลกุล ซึ่งสามารถเข้ากันได้ดีกับยางธรรมชาติจึงทำให้ DSNR ทำหน้าที่เสมือนสะพานเชื่อมระหว่างเฟสยางธรรมชาติและ EVA นอกจากนี้พบว่าเมื่อใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจาก DSNR-20 มีปริมาณการเกาะติดของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนสูงที่สุด จึงสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่าง NR กับ EVA ได้ดีกว่าในกรณีที่ไม่ใช้ DSNR และใช้ DSNR ที่มีปริมาณหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนต่ำ เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

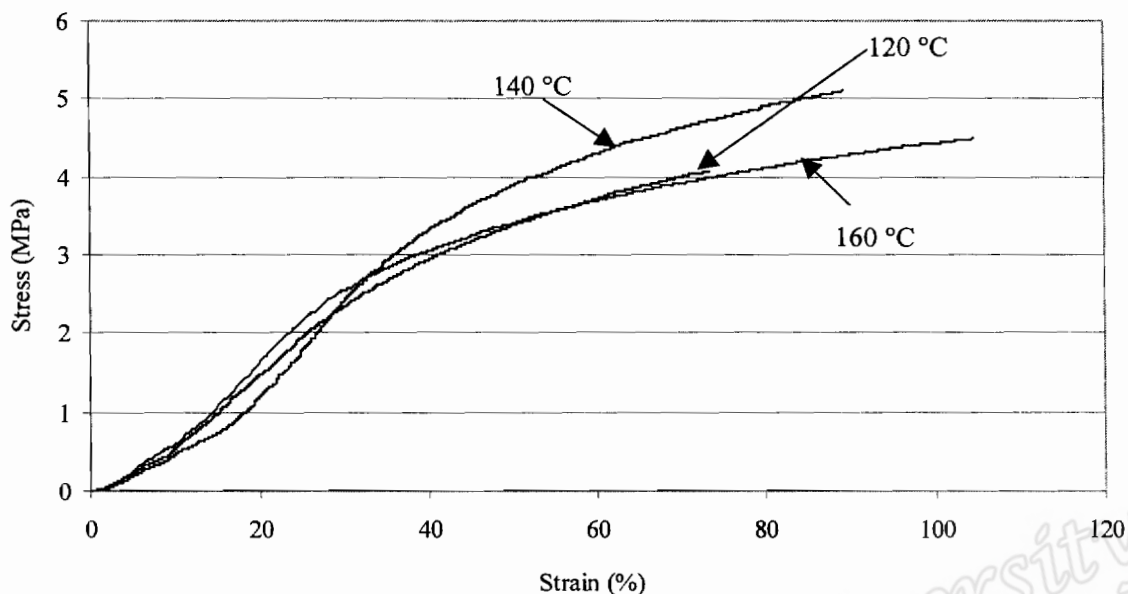


รูปที่ 4.26 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้

จากรูปที่ 4.26 พบว่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ไม่ใช้ DSNR เนื่องจากโมเลกุลของ DSNR มีหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วสามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไวนิลอะซิเตทใน EVA นอกจากนี้ส่วนที่ไม่มีขั้วของ DSNR จะเข้ากันได้กับ NR จึงทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสทั้งสองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ DSNR จึงส่งผลให้ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าต่ำแต่มีความแข็งแรงสูงกว่าในกรณีที่ไม่ใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

#### 4.4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเบลนด์

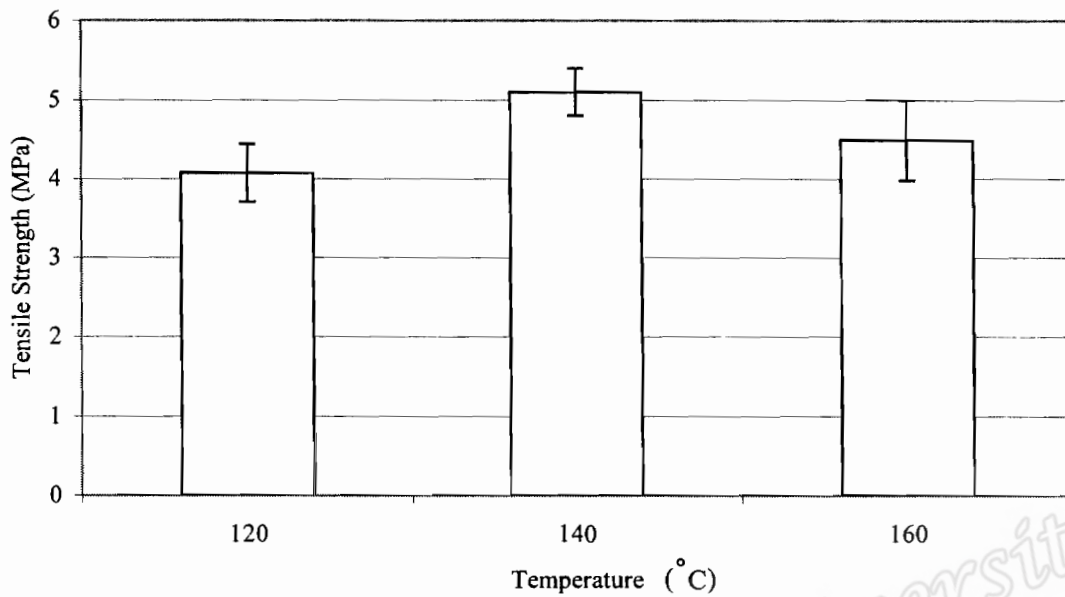
ทำการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ NR/EVA = 60/40 ตามการทดลองในหัวข้อ 3.3.5.1 ด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ พลาสติกอร์เคอร์ ที่ความเร็วรอบโรเตอร์เท่ากับ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8) โดยแปรอุณหภูมิในการเบลนด์เป็น 120, 140 และ 160°C ใช้ DSNR ที่เตรียมจากยางธรรมชาติอิพอกไซค์ 20 โมลเปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ได้ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 แสดงดังในรูปที่ 4.27



**รูปที่ 4.27** ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรอุณหภูมิในการเบลนด์

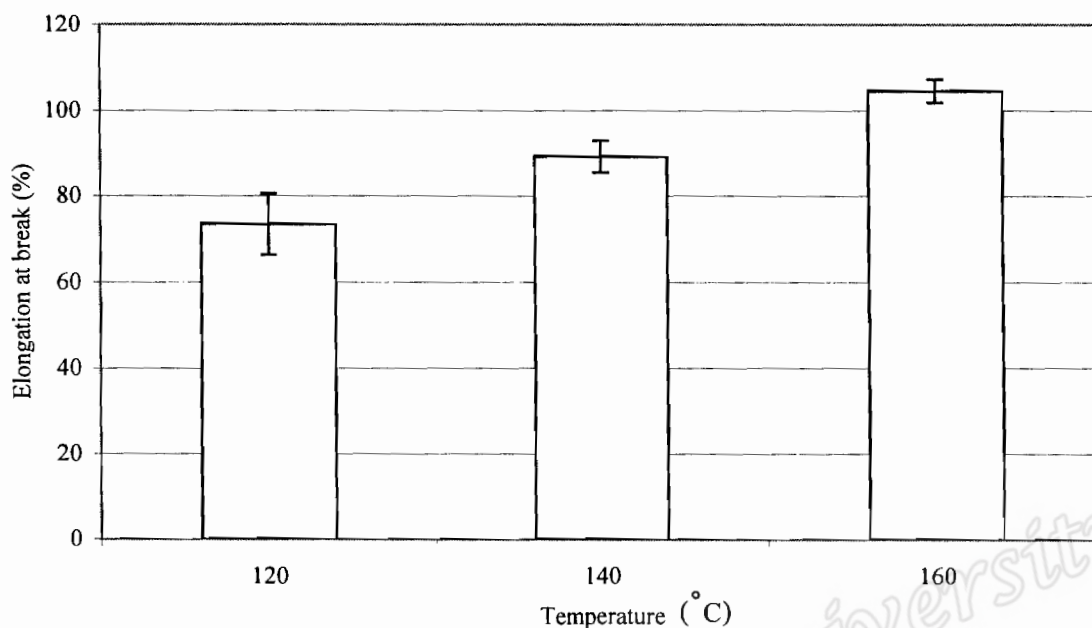
จากรูปที่ 4.27 พบว่าการใช้อุณหภูมิ 120 และ 160 °C จะทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความเค้นที่ความเครียดสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ต่ำกว่ากรณีใช้อุณหภูมิการเบลนด์ที่ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ หมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนในโมเลกุลของ DSNR ซึ่งเป็นหมู่ที่จะสามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไวนิลอะซิเตทใน EVA ได้ดีในอุณหภูมินี้ จึงส่งผลให้มีค่าความเค้นที่ระยะยืดใด ๆ สูง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิการเบลนด์ที่ 120 องศาเซลเซียส พบว่าทำให้ความเค้นที่ระยะยืดใด ๆ ต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวอาจจะต่ำเกินไปต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเฟส ส่วนที่อุณหภูมิ 160 °C อาจจะทำให้เกิดการเสื่อมของอนุภาคยางและ EVA จึงส่งผลให้ค่าความเค้นที่ระยะยืดใด ๆ ต่ำ

จากจุดขาดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์สามารถนำมาหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดจนขาดได้ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



**รูปที่ 4.28** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรอุณหภูมิในการเบลนด์

จากรูปที่ 4.28 ความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ของ NR/EVA โดยใช้อุณหภูมิการเบลนด์ที่ 120, 140 และ 160 °C และใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงจะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิการเบลนด์ ที่ 140 °C จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิการเบลนด์ ที่ 140 °C จะให้ผลของการเชื่อมโยงระหว่างเฟสของยางธรรมชาติ และเฟสของ EVA ได้ดีกว่าอุณหภูมิการเบลนด์ที่ 120 และ 160 °C

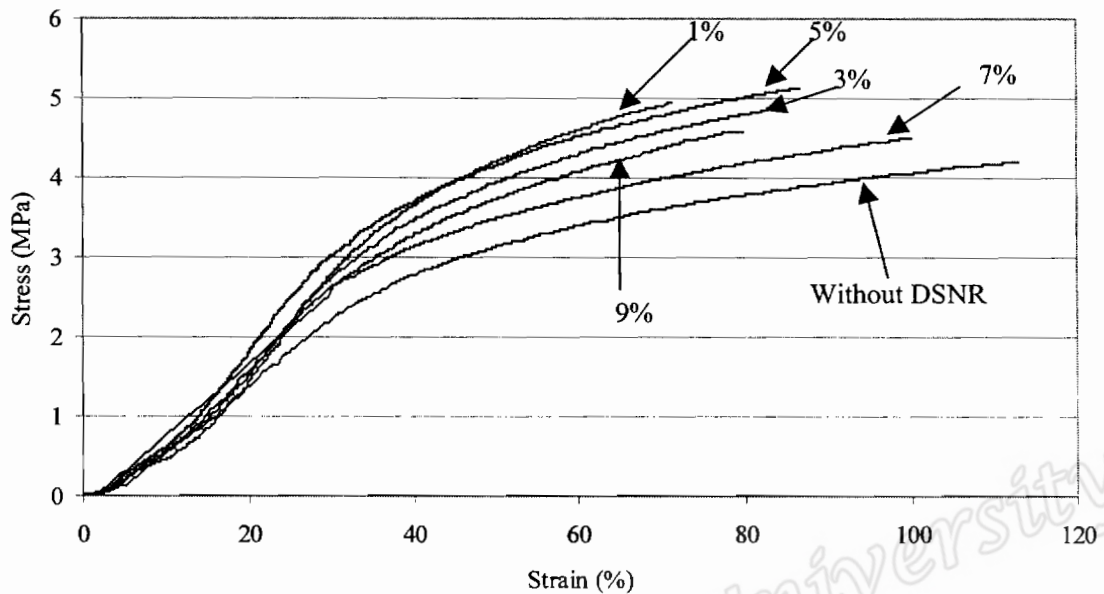


**รูปที่ 4.29** ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรอุณหภูมิในการเบลนด์

จากรูปที่ 4.29 พบว่าค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการเบลนด์ โดยที่อุณหภูมิการเบลนด์  $160^{\circ}\text{C}$  จะให้ค่าความสามารถในการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์สูงที่สุด เนื่องจาก อาจเกิดการเชื่อมของยางธรรมชาติ และ EVA ขึ้น ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติและ EVA ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA เพิ่มขึ้น แต่ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการเบลนด์ที่  $140^{\circ}\text{C}$

#### 4.4.3 อิทธิพลของปริมาณ DSNR ที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/EVA

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ NR/EVA ตามการทดลองในหัวข้อ 3.3.5.1 ด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ พลาสติกอร์เดอร์ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสความเร็วรอบโรเตอร์เท่ากับ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8) โดยแปรปริมาณของ DSNR เป็น 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ โดย DSNR จะเตรียมจากยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทดสอบสมบัติเชิงกลได้ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA แสดงดังในรูปที่ 4.30 ดังต่อไปนี้

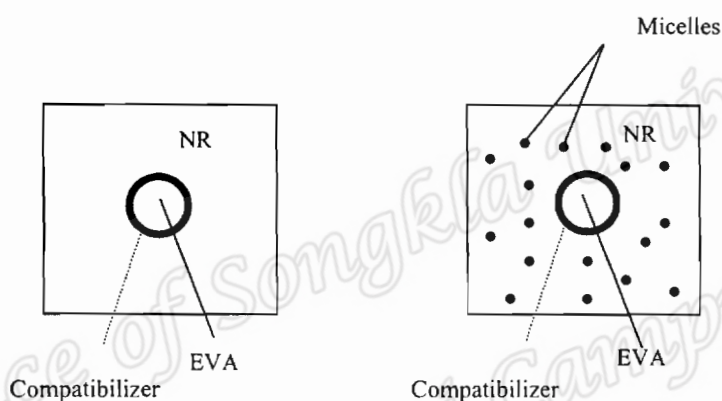


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรปริมาณของ DSNR

จากรูปที่ 4.30 พบว่าการใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ จะให้ค่าความเค้นที่ความเครียดใด ๆ สูงกว่าในกรณีที่ไม่ใช้ DSNR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการมีปริมาณของหมู่ไดออกซาฟอสโฟเลนในโมเลกุลของ DSNR ซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไวนิลอะซิเตทใน EVA ซึ่งระดับของการเกิดอันตรกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของ DSNR และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ DSNR ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติและค่าความเค้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ DSNR มากหรือน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ

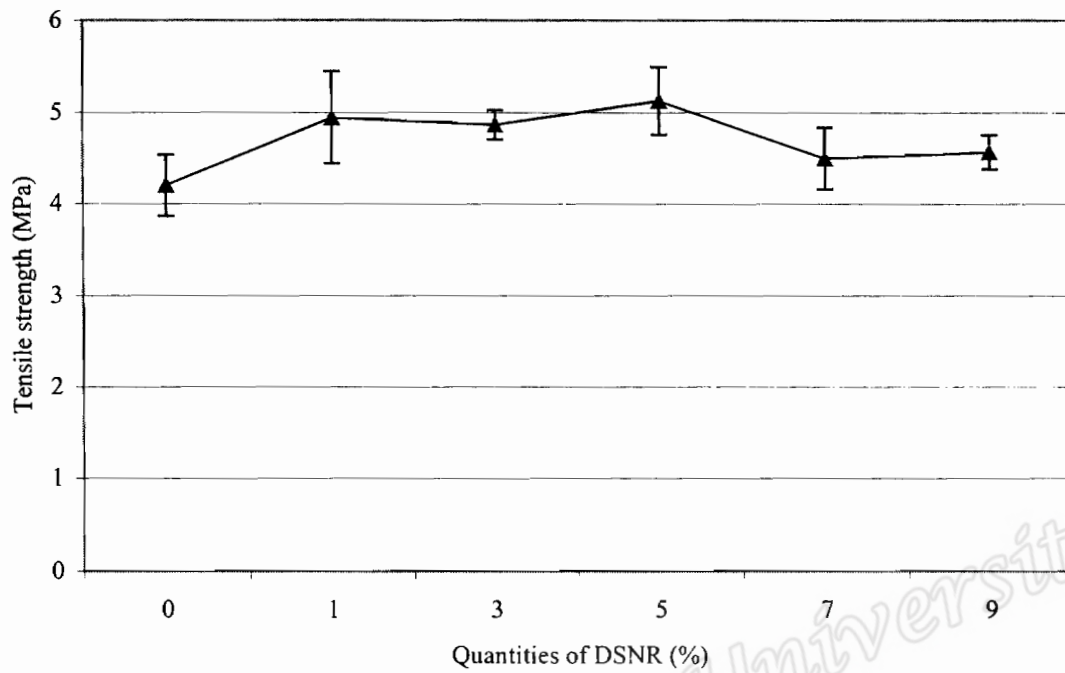
การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ในพอลิเมอร์เบลนด์ สารเพิ่มความเข้ากันได้จะเข้าไปเคลือบอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างผิวของพลาสติกซึ่งเป็นเฟสกระจาย (เนื่องจากการทดลองนี้ ใช้ยาง EVA ปริมาณน้อยกว่า คือ NR/EVA เท่ากับ 60/40) กับเฟสยางซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง หรือผิวประจัญ (Interface) ทำให้ความหนาระหว่างผิวประจัญ (Interfacial thickness) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การส่งผ่านแรงระหว่างเฟสทั้งสองมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้แรงดึงผิวระหว่างเฟส (Interfacial tension) ลดลง กล่าวคือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวประจัญ (Interfacial adhesion) เพิ่มขึ้น ดังนั้นความเค้นที่ความเครียดใด ๆ ของพอลิเมอร์เบลนด์จึงเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ DSNR ที่ปริมาณมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ จะทำให้ค่าความ

เกินที่ความเครียดใด ๆ ของพอลิเมอร์เบลนด์ลดลง ซึ่งปริมาณในการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ อาจจะมีจุดวิกฤติของความเข้มข้นไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) โดยที่จุดดังกล่าวจะเกิดการอิ่มตัวระหว่างผิว (Interface saturation) ของพอลิเมอร์เบลนด์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทำให้ความเข้มข้นของสารเพิ่มความเข้ากันได้มีค่ามากกว่า CMC ตัวสารเพิ่มความเข้ากันได้จะไม่สามารถทำหน้าที่ปรับปรุงบริเวณผิวประจัญ แต่จะมีการจัดเรียงตัวใหม่ในรูปแบบไมเซลล์แยกออกมาเป็นอีกเฟสหนึ่งในพอลิเมอร์เบลนด์ดังแสดงรูปที่ 4.31 (George *et al.*, 1995 และ George *et al.*, 1999) จึงทำให้มีเฟสที่ 3 เกิดขึ้น ซึ่งจะมีผลในการเกิดหล่อลื่น (Lubricating effect) มีผลทำให้ความเค้นเฉือนปรากฏของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าลดลง



รูปที่ 4.31 ลักษณะการเกิดไมเซลล์ภายในพอลิเมอร์เบลนด์ เมื่อมีการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้มากเกินไปจนเกิดการฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์ (ดัดแปลงจาก George *et al.*, 1999)

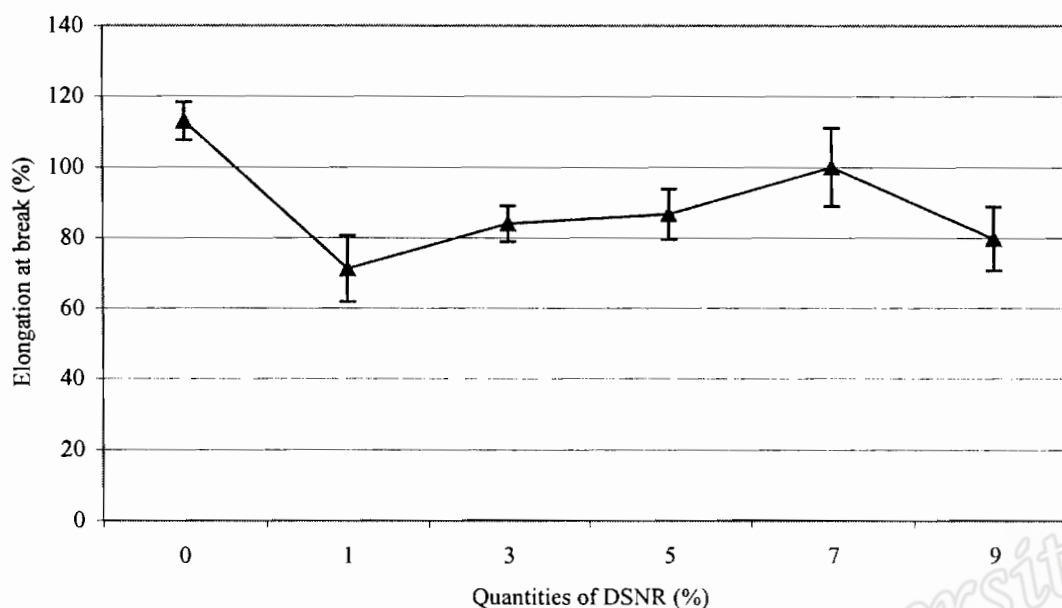
จากจุดขาดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์สามารถนำมาหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดจนขาดได้ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ



รูปที่ 4.32 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรปริมาณ DSNR ในการเบลนด์

จากรูปที่ 4.32 พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงในกรณีที่ใช้ DSNR-20 ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด เนื่องจาก DSNR-20 ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ จะให้ผลของการเชื่อมโยงระหว่างเฟสของยางธรรมชาติ และเฟสของ EVA ได้ดีกว่า DSNR-20 ปริมาณ 0, 1, 3, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ





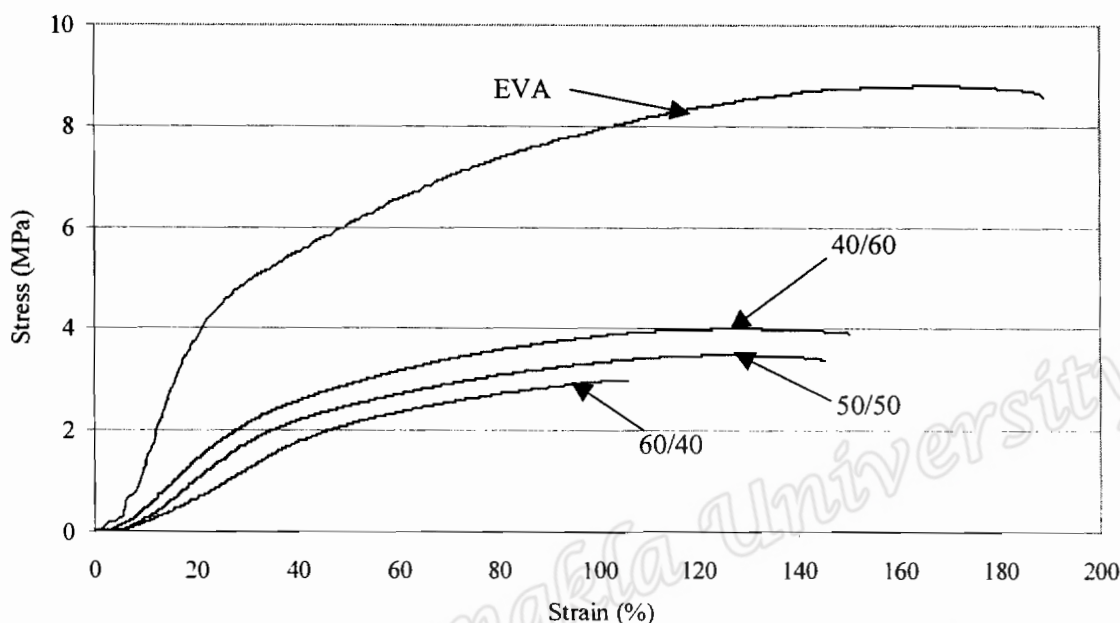
**รูปที่ 4.33** ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรปริมาณ DSNR ในการเบลนด์

จากรูปที่ 4.33 พบว่าค่าความสามารถในการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้มีค่าสูงสุด ส่วนการใช้ DSNR-20 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ที่ 1 เปอร์เซ็นต์จะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ต่ำที่สุด และค่าความสามารถในการยืดจนขาดจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของ DSNR-20 ที่ใช้ โดยที่ DSNR-20 ในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ จะให้ค่าความสามารถในการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์สูงที่สุด เนื่องจาก DSNR-20 มีสมบัติเป็นยางจะนั้นเมื่อเพิ่มโมเลกุลยางลงไปในพอลิเมอร์เบลนด์จะส่งผลให้ความสามารถของการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์เพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.4.4 อิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ NR/EVA

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่ทำการเตรียมจากพอลิเมอร์เบลนด์ของ NR/EVA ตามการทดลองในหัวข้อ 3.3.5.1 ด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ พลาสติกอร์เคอร์ ที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  ความเร็วรอบโรเตอร์เท่ากับ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8) โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 60/40, 50/50 และ 40/60 ใช้ DSNR ที่เตรียมจากยางธรรมชาติฟอกไซค์ 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ

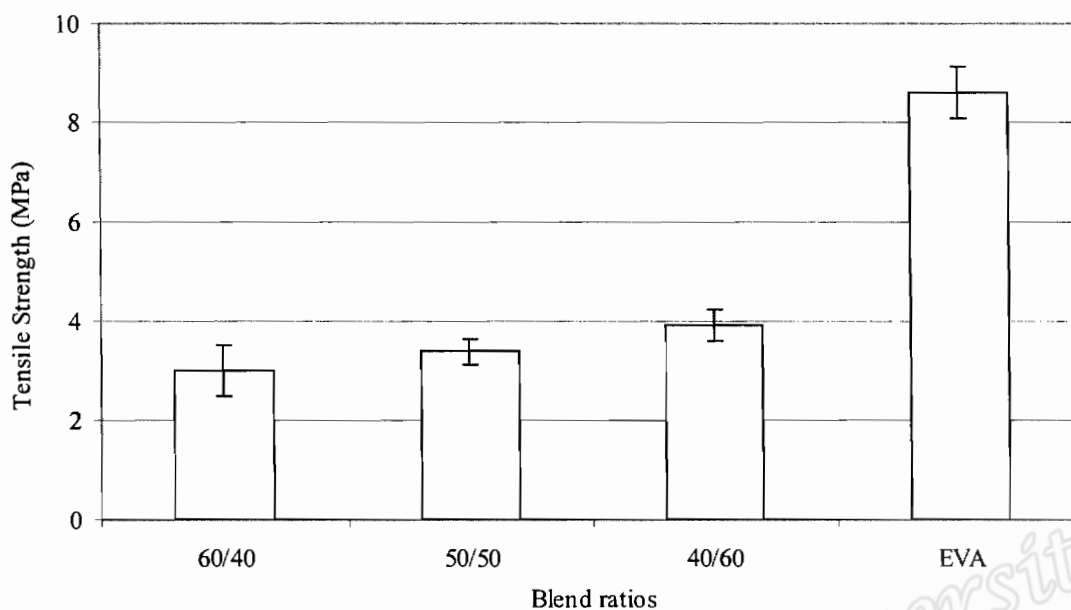
ชาติ เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทดสอบสมบัติเชิงกลได้ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของพอลิเมอร์เบลนค์ NR/EVA แสดงดังในรูปที่ 4.34 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของพอลิเมอร์เบลนค์ NR/EVA โดยแปรอัตราส่วนในการเบลนค์เปรียบเทียบกับ EVA

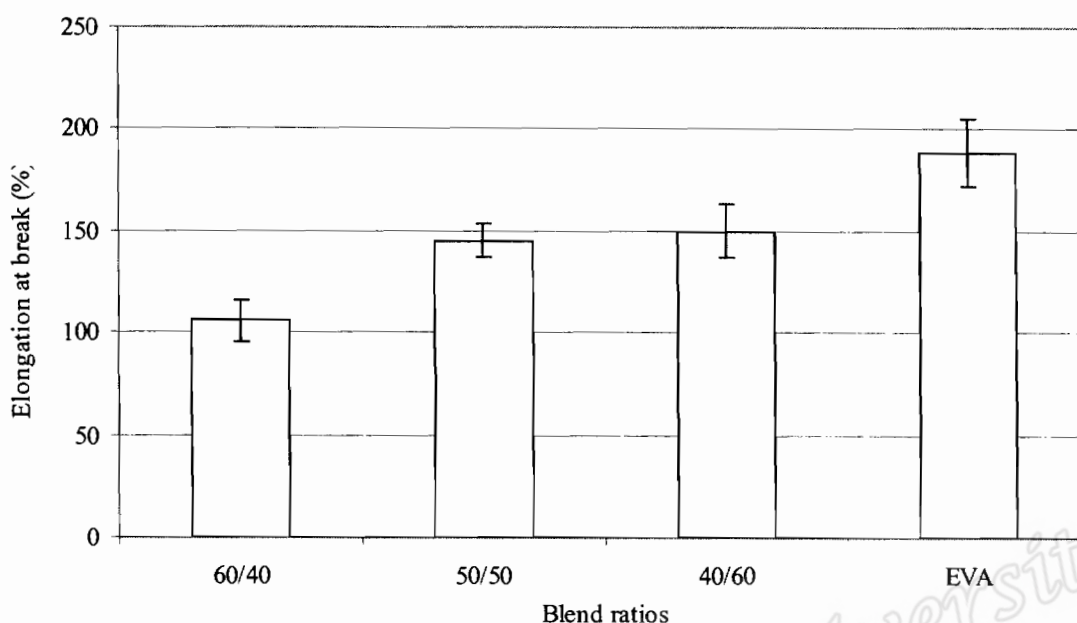
จากรูปที่ 4.34 พบว่า EVA ให้ค่าความเค้นที่ระยะยืดใด ๆ สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ พอลิเมอร์เบลนค์ที่อัตราส่วนการเบลนค์ NR/EVA เท่ากับ 40/60, 50/50 และ 60/40 เรียงตามลำดับ การใช้อัตราส่วนการเบลนค์ NR/EVA ที่ 60/40 พอลิเมอร์เบลนค์มีค่าความเค้นต่ำกว่ากรณีที่ใช้อัตราส่วนการเบลนค์อื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการมีปริมาณของ EVA ในพอลิเมอร์เบลนค์ต่ำที่สุด ดังนั้นสมบัติของพอลิเมอร์เบลนค์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการเบลนค์ กล่าวคือการเพิ่มปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์เบลนค์จะทำให้ความชันของกราฟและความเค้นที่ความเครียดใด ๆ เพิ่มขึ้น

จากจุดขาดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนค์สามารถนำมาหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดจนขาดได้ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.35 และ 4.36 ตามลำดับ



**รูปที่ 4.35** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรอัตราส่วนในการเบลนด์เปรียบเทียบกับ EVA

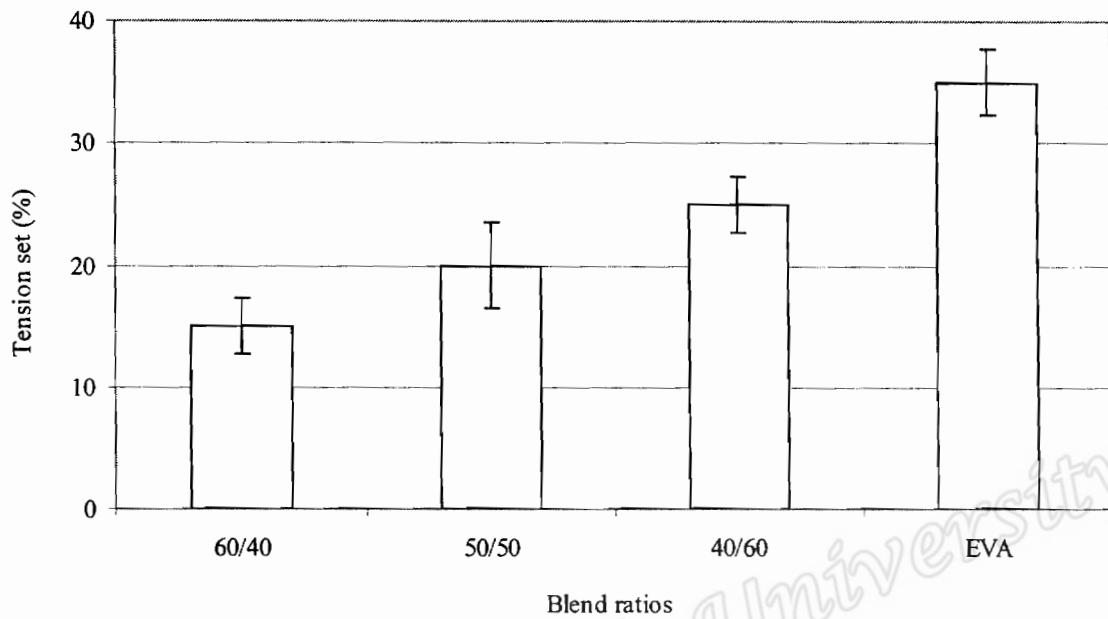
จากรูปที่ 4.35 พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ EVA ซึ่งกรณีที่ใช้อัตราส่วนการเบลนด์ NR/EVA ที่ 40/60 จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของพลาสติก (EVA) ที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูง ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันได้ทำการทดสอบความสามารถในการยึดจลนศาสตร์ของพอลิเมอร์เบลนด์ แสดงดังในรูปที่ 3.36



รูปที่ 4.36 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรอัตราส่วนในการเบลนด์เปรียบเทียบกับ EVA

จากรูปที่ 4.36 พบว่าความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ก็ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพลาสติก (EVA) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้แนวโน้มเดียวกับค่าความต้านทานต่อแรงดึง สามารถอธิบายได้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืด สามารถเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ประกอบไปด้วยเฟสยางธรรมชาติ และเฟส EVA ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงสูตรโครงสร้างของ EVA พบว่าโครงสร้างประกอบไปด้วยหมู่ไวนิลอะซีเตต ปริมาณ 18 % ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความเกะกะ ส่งผลให้ โครงสร้างไม่เป็นระเบียบเพิ่มความสามารถในการยืด ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้น และ EVA ซึ่งเป็นมีหน่วยของเอธิลีนที่โครงสร้างมีความเป็นระเบียบสูง ทำให้มีความแข็งแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลสูงมีผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ EVA ทั้งนี้เห็นว่าอัตราส่วนของพลาสติกที่เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่ม EVA ในอัตราส่วน NR/EVA เป็น 40/60 จะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดจนขาด มีค่าสูงสุด ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติกขึ้นก็เท่ากับเป็นการเพิ่มทั้งสมบัติของความสามารถในการยืด ที่ได้จาก EVA และค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ได้จากหน่วยเอธิลีนใน EVA นั้นเอง

นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่าง ๆ ทดสอบ Tension set เปรียบเทียบกับ EVA จะได้ผลการทดลองค่า Tension set ของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA แสดงดังในรูปที่ 3.37



**รูปที่ 4.37** ค่า Tension set ของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA โดยแปรอัตราส่วนในการเบลนด์เปรียบเทียบกับ EVA

จากรูปที่ 4.37 เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางเพิ่มขึ้น ค่า Tension set ของพอลิเมอร์เบลนด์ NR/EVA ลดลง เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีปริมาณของยางมากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการคืนรูปดีขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของ EVA ในพอลิเมอร์เบลนด์ จะทำให้ค่าความสามารถในการคืนรูปแย่ลง เนื่องจากพอลิเมอร์เบลนด์ยืดออกแล้วไม่สามารถหดตัวกลับได้ทันที แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์เบลนด์มีความเป็นอีลาสติก (Elastic) ต่ำ และอีกเหตุผลหนึ่งอาจเนื่องจากสมบัติของ EVA ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดที่ต่ำ เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่มีความเป็นอีลาสติกที่สูงกว่า เมื่อปริมาณของ EVA เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการคืนรูปด้อยลง