

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดของการบ่มอิพอกซีเรซินดัดแปร

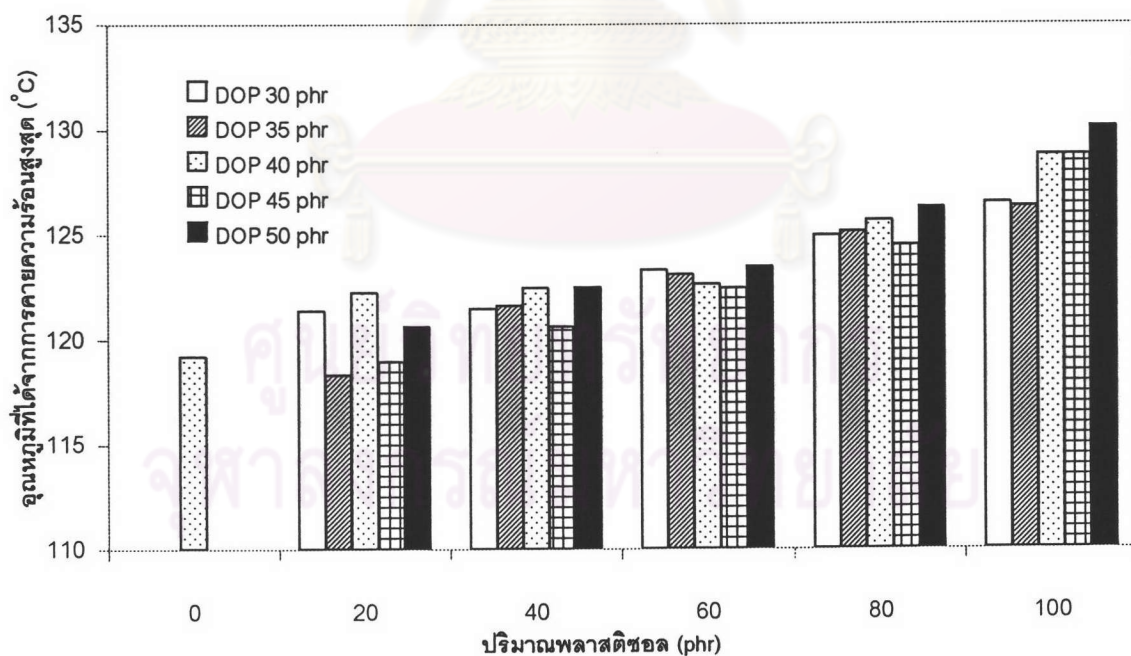
เนื่องจากปฏิกิริยาการบ่มอิพอกซีเรซินดัดแปรเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดของอิพอกซีเรซินดัดแปรที่มีปริมาณพลาสติกไซเซอร์และพลาสติกซอลต่างๆ กัน ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดของอิพอกซีดัดแปร

อิพอกซี/พลาสติกซอล	ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (phr)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
100/0	-	119.22
100/20	30	121.39
	35	118.35
	40	122.29
	45	118.99
	50	120.68
100/40	30	121.51
	35	121.64
	40	122.51
	45	120.65
	50	122.54
100/60	30	123.34
	35	123.13
	40	122.64
	45	122.48
	50	123.50

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดของอิพอกซีดัดแปร (ต่อ)

อิพอกซี/พลาสติกซอล	ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (phr)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
100/80	30	124.96
	35	125.13
	40	125.65
	45	124.48
	50	126.27
100/100	30	126.50
	35	126.31
	40	128.77
	45	128.77
	50	130.11



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

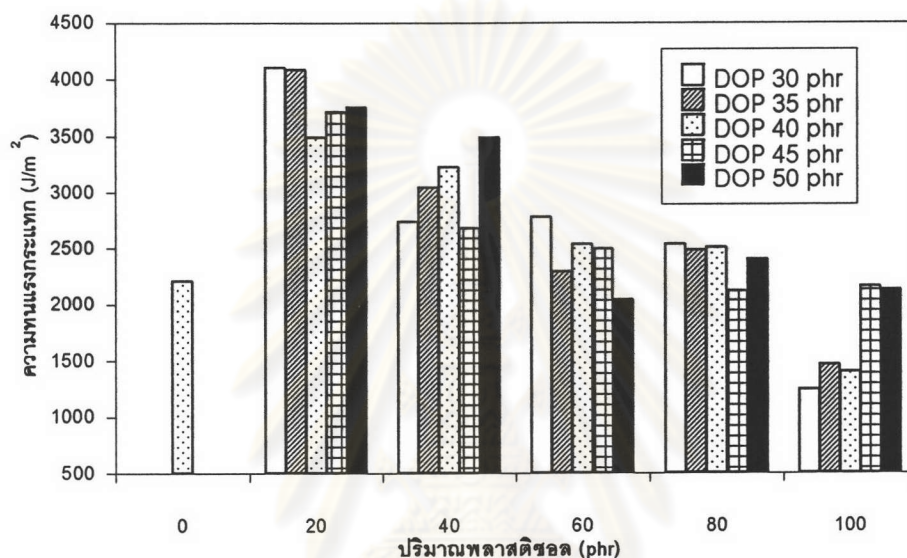
ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดในการบ่มอีพอกซีเรซินที่ถูกต้องแปรด้วยพีวีซีพลาสติก โดยมีความอยู่ในช่วงประมาณ 120-130 องศาเซลเซียส ซึ่งการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มอีพอกซีเรซินต้องคำนึงถึงการเสื่อมสภาพของพีวีซีพลาสติกด้วย (อุณหภูมิเสื่อมสภาพของพีวีซีอยู่ในช่วง 180-190 องศาเซลเซียส) ดังนั้น จึงต้องนำมาพิจารณา ร่วมกับอุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนสูงสุดในการบ่มอีพอกซี นอกจากนี้ ยังขึ้นกับลักษณะของการใช้งานอีกด้วย เช่น การใช้อีพอกซีในงานไฟเบอร์ออฟติกและเซมิคอนดักเตอร์ จะไม่บ่มที่อุณหภูมิไม่เกินกว่า 130 องศาเซลเซียส แต่ในงาน SMT (surface mounting technology) จะบ่มที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้งานทั่วไป จะบ่มที่อุณหภูมิ 120-230 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการบ่มอีพอกซีที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสภาพของพีวีซีพลาสติก โดยทำการบ่มเป็นเวลา 30 45 และ 60 นาที จากการทดลองพบว่าที่เวลา 30 และ 45 นาที อีพอกซีเรซินดัดแปรยังแข็งตัวไม่สมบูรณ์ ในขณะที่เวลา 60 นาที อีพอกซีเรซินสามารถแข็งตัวได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้เลือกใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ในการบ่มชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงดึง และความทนแรงกระแทก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงกระทำของอิพอกซีเรซินดัดแปร

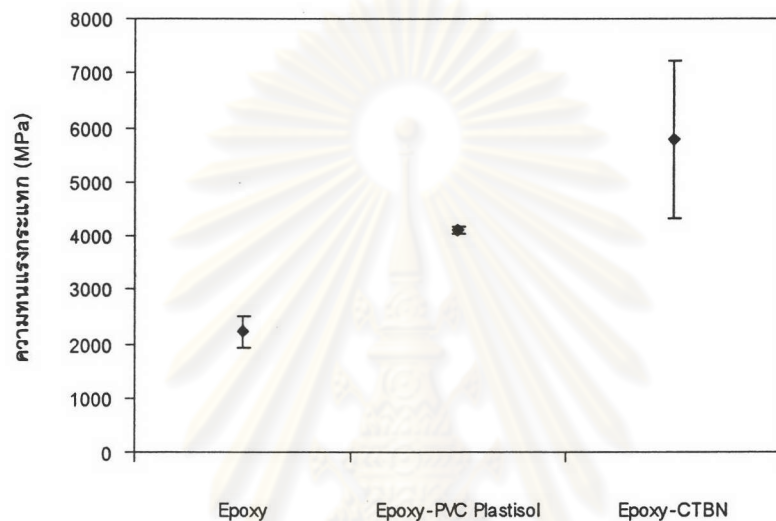
รูปที่ 4.2 แสดงความทนแรงกระทำของอิพอกซีเรซินดัดแปรที่มีปริมาณพลาสติกซอล และปริมาณพลาสติกไฮเซอรต์ต่างๆ กัน



รูปที่ 4.2 ความทนแรงกระทำของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

จากรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อทำการดัดแปรอิพอกซีเรซินด้วยพีวีซีพลาสติกซอล ความทนแรงกระทำของชิ้นงานสูงขึ้นอย่างชัดเจนที่ปริมาณพลาสติกซอล 20 และ 40 phr แต่ในขณะที่ทำการเพิ่มปริมาณพลาสติกซอล ความทนแรงกระทำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความสามารถในการเข้าร่วมตัวกับอิพอกซีเรซินลดน้อยลง และเมื่อพิจารณาผลของพลาสติกไฮเซอรต์ในสูตรที่ใช้พลาสติกซอลในอิพอกซีดัดแปรปริมาณเท่าๆ กัน พบว่าความทนแรงกระทำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสูตรที่ใช้พลาสติกซอล 100 phr จะเห็นว่าค่าความทนแรงกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณพลาสติกไฮเซอรต์ที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความทนแรงกระแทกของอีพอกซีเรซิน กับอีพอกซีเรซินที่ถูกดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล และ CTBN ปริมาณ 20 phr โดยพิจารณาเลือกสูตรอีพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลที่มีความทนแรงกระแทกสูงสุด นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความทนแรงกระแทกและสมบัติเชิงกลอื่นๆ คือ สูตรที่ใช้พลาสติกซอล (PVC/พลาสติกไซเซออร์ = 100/30) ปริมาณ 20 phr



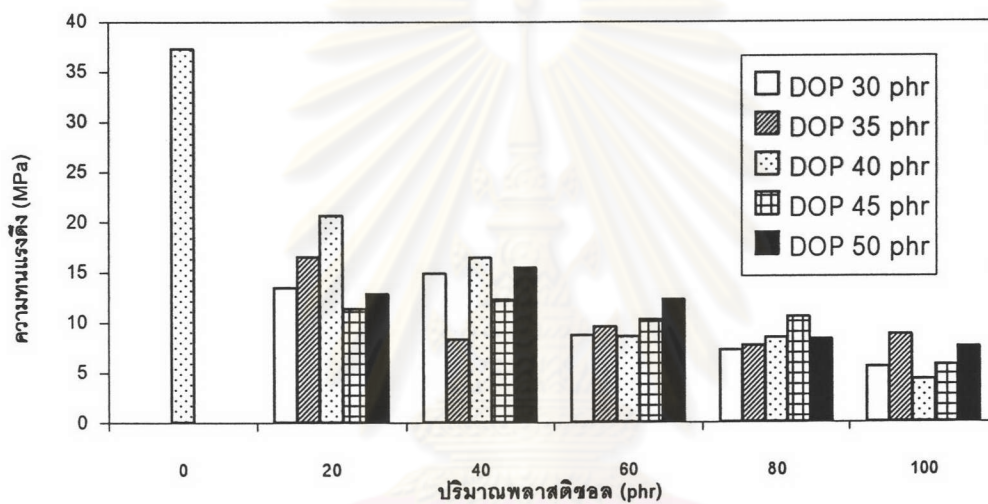
รูปที่ 4.3 ความทนแรงกระแทกของอีพอกซีเรซิน อีพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล และ CTBN

จากรูปที่ 4.3 พบว่าอีพอกซีเรซินที่ถูกดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลมีค่าความทนแรงกระแทกสูงขึ้น แต่ไม่มากเท่ากับการดัดแปรด้วย CTBN ทั้งนี้เนื่องจาก CTBN เป็นยางเหลวที่สามารถเข้าร่วมตัวกับอีพอกซีเรซินได้ดีกว่าพีวีซีพลาสติกซอล เนื่องจาก CTBN สามารถเกิดพันธะปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซินได้ โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลใน CTBN และหมู่อีพอกไซด์ในอีพอกซีเรซิน [11] จึงมีผลทำให้ความทนแรงกระแทกของชิ้นงานเพิ่มขึ้นมากกว่าการดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

4.3 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของอิพอกซีเรซินดัดแปร

4.3.1 ความทนแรงดึง

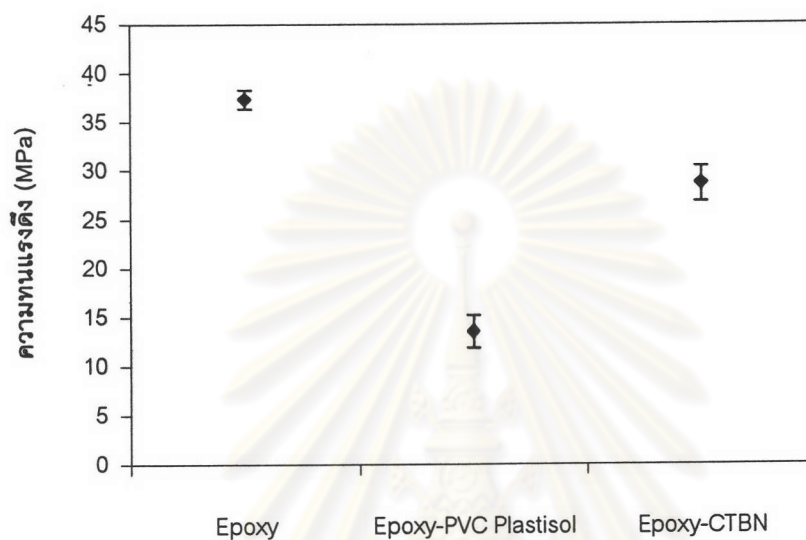
รูปที่ 4.4 แสดงความทนแรงดึงของอิพอกซีเรซินดัดแปรที่มีปริมาณพลาสติกไซเซออร์ และพลาสติกซอลต่างๆ กัน



รูปที่ 4.4 ความทนแรงดึงของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

จากรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อปริมาณพลาสติกซอลในอิพอกซีเรซินดัดแปรเพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงของชิ้นงานมีค่าลดลง โดยเฉพาะเมื่อปริมาณพลาสติกซอลมากกว่า 40 phr ความทนแรงดึงจะลดลงมาก เนื่องจากความสามารถในการเข้ารวมตัวกับอิพอกซีเรซินน้อยลง และเมื่อมีปริมาณพลาสติกซอลเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของพลาสติกไซเซออร์ในสูตรที่ใช้พลาสติกซอลในอิพอกซีดัดแปรปริมาณเท่ากันพบว่า ความทนแรงดึงมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยเฉพาะในสูตรที่ใช้พลาสติกซอลต่ำกว่า 40 phr ทั้งนี้เพราะปริมาณพลาสติกซอลที่ใช้น้อยมาก จึงทำให้การกระจายตัวของพลาสติกซอลในอิพอกซีไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น ผลที่ได้จึงไม่แน่นอน สำหรับสูตรที่ใช้พลาสติกซอลมากกว่า 40 phr พบว่าความทนแรงดึงไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น จึงเห็นได้ว่าปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความทนแรงดึงน้อยมาก

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความทนแรงดึงของอีพอกซีเรซิน กับอีพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล (PVC/พลาสติกไฮเซอร = 100/30) ปริมาณ 20 phr และ CTBN ปริมาณ 20 phr



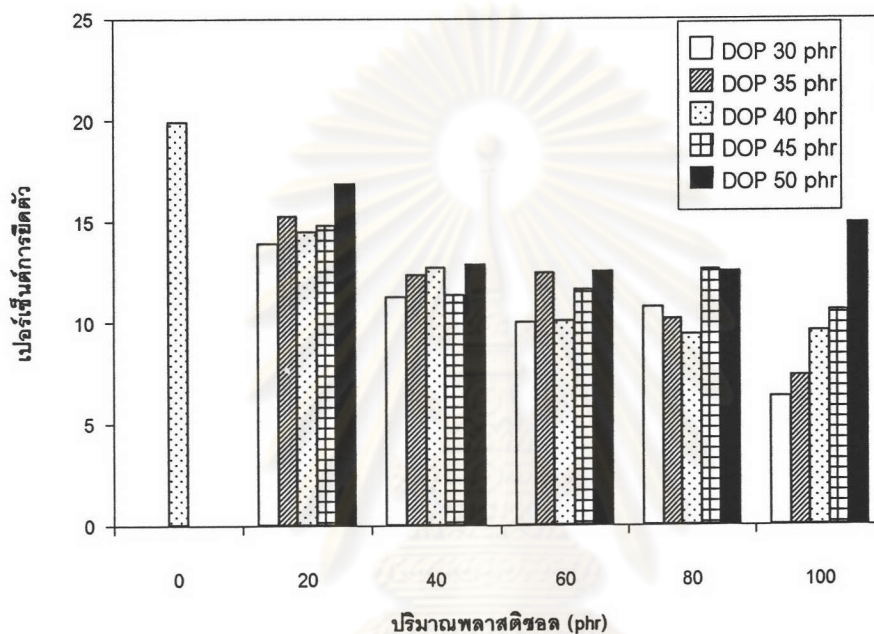
รูปที่ 4.5 ความทนแรงดึงของอีพอกซีเรซิน อีพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล และ CTBN

จากรูปที่ 4.5 พบว่าอีพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลมีความทนแรงดึงต่ำที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการเข้ารวมตัวกับอีพอกซีเรซินต่ำกว่า CTBN ทั้งนี้เนื่องจาก CTBN สามารถเกิดพันธะปฏุมภูมิกับอีพอกซีเรซินได้ โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลใน CTBN และ หมู่อีพอกไซด์ในอีพอกซีเรซิน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว [11] ดังนั้น การดัดแปรอีพอกซีเรซินด้วย CTBN จึงทำให้มีค่าความทนแรงดึงสูงกว่าที่ดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 เปอร์เซ็นต์การยึดตัว

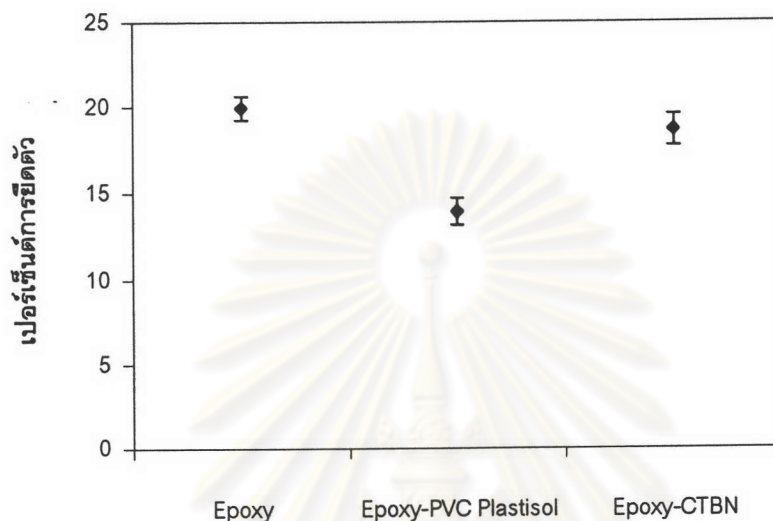
รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของอิพอกซีเรซินดัดแปรที่มีปริมาณพลาสติกซอล และปริมาณพลาสติกไซเซอรที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณพลาสติกซอลเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยึดตัวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลจากความสามารถในการเข้ารวมตัวกับอิพอกซีเรซินต่ำลง และการมีปริมาณพลาสติกไซเซอรเพิ่มขึ้นในสูตรที่ใช้พีวีซีพลาสติกซอลเท่ากัน ทำให้เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกไซเซอรทำให้พลาสติกซอลมีความสามารถในการไหลมากขึ้น จึงสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อของอิพอกซีได้มากขึ้น

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของอิพอกซีเรซิน กับอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล (PVC/พลาสติกไซเซอร = 100/30) ปริมาณ 20 phr และ CTBN ปริมาณ 20 phr



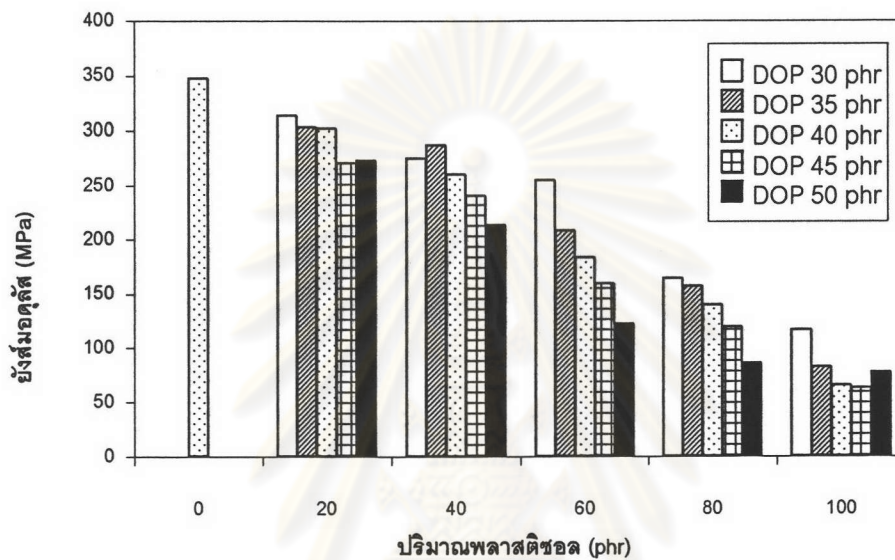
รูปที่ 4.7 เปอร์เซนต์การยึดตัวของอิพอกซีเรซิน อิพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล และ CTBN

จากรูปที่ 4.7 พบว่าอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลมีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวต่ำที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการเข้ารวมตัวกับอิพอกซีเรซินต่ำกว่า CTBN ทำให้การยึดตัวเกิดได้จำกัด นอกจากนี้ CTBN ยังสามารถเกิดพันธะประสานภูมิกับอิพอกซีเรซินได้ โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลใน CTBN และหมู่อีพอกไซด์ในอิพอกซีเรซิน [11] ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การดัดแปรอิพอกซีเรซินด้วย CTBN จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากกว่าที่ดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ยั่งส์มอดุลัส

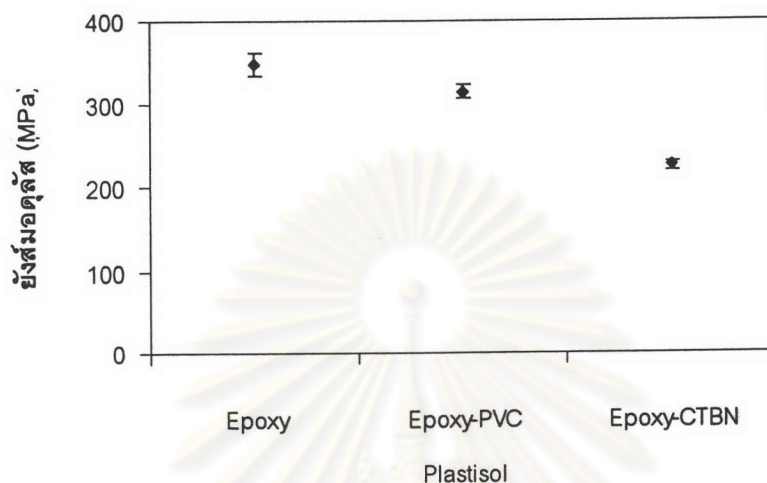
รูปที่ 4.8 แสดงยั่งส์มอดุลัสของอิพอกซีเรซินดัดแปรที่มีปริมาณพลาสติกซอล และปริมาณพลาสติกไซเซอรต่างๆ กัน



รูปที่ 4.8 ยั่งส์มอดุลัสของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อมีปริมาณพลาสติกซอลเพิ่มขึ้น ยั่งส์มอดุลัสของอิพอกซีเรซินดัดแปรมีค่าลดลง เนื่องจากการมีปริมาณพลาสติกซอลเพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งตึง (stiffness) ลดลง และการมีปริมาณพลาสติกไซเซอรเพิ่มขึ้นในสูตรที่ใช้พีวีซีพลาสติกซอลเท่ากัน ทำให้ยั่งส์มอดุลัสของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณพลาสติกไซเซอรที่เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ความแข็งตึงจึงลดลง

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบยังสัมดูล์สของอิพอกซีเรซิน กับอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล (PVC/พลาสติกไซเซอร์ = 100/30) ปริมาณ 20 phr และ CTBN ปริมาณ 20 phr

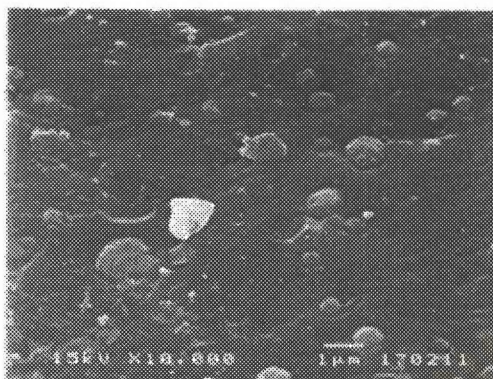


รูปที่ 4.9 ค่ายังสัมดูล์สของอิพอกซีเรซิน อิพอกซีดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล และ CTBN

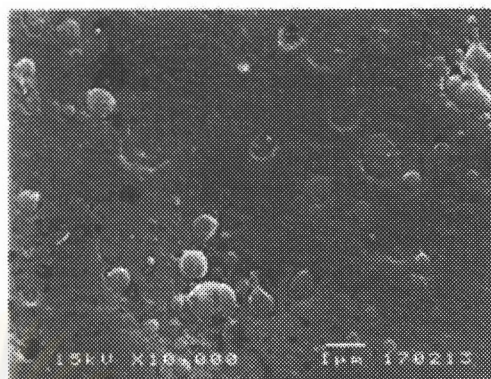
จากรูปที่ 4.9 พบว่าอิพอกซีเรซินที่ถูกดัดแปรด้วย CTBN มียังสัมดูล์สต่ำที่สุด เนื่องจากสามารถเข้ารวมตัวกับอิพอกซีเรซินได้ดีกว่าพีวีซีพลาสติกซอลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีผลทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงได้มากกว่า

4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของอิพอกซีเรซินดัดแปร

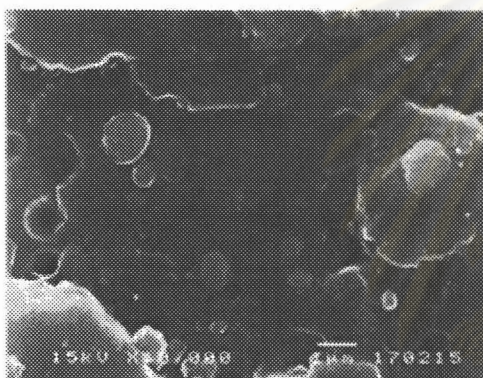
รูปที่ 4.10–4.11 แสดงสัณฐานวิทยาพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานอิพอกซีเรซินที่ถูกดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล 40 และ 80 phr ตามลำดับ ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 10,000 เท่า โดยตรวจสอบจากชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบหาความทนแรงกระแทกแล้ว



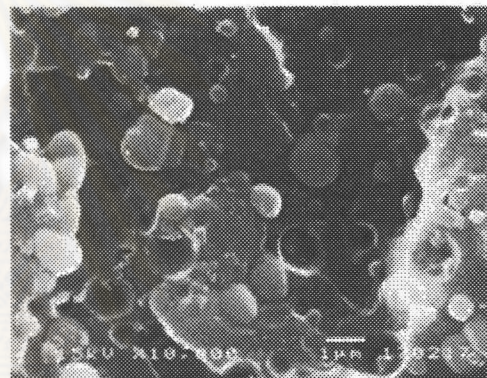
(น)



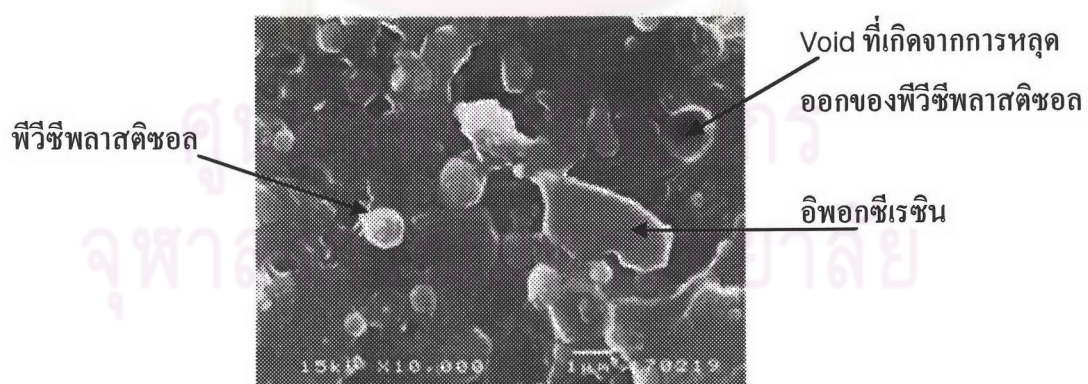
(ข)



(ค)

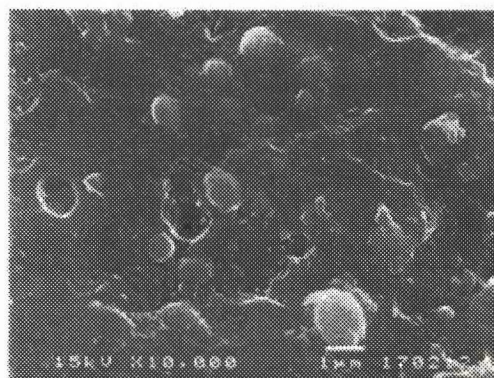


(ง)

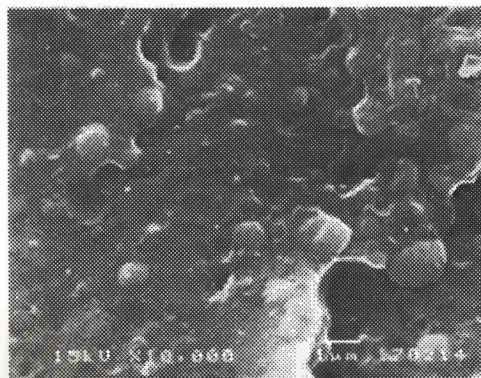


(จ)

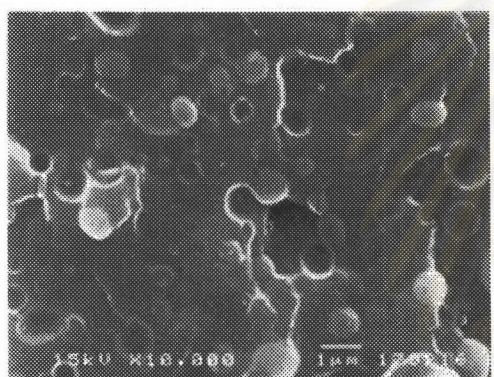
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพลาสติกซอล 40 phr ซึ่งพลาสติกซอลประกอบด้วยพลาสติกไซเซอร์ (น) 30 phr (ข) 35 phr (ค) 40 phr (ง) 45 phr และ (จ) 50 phr



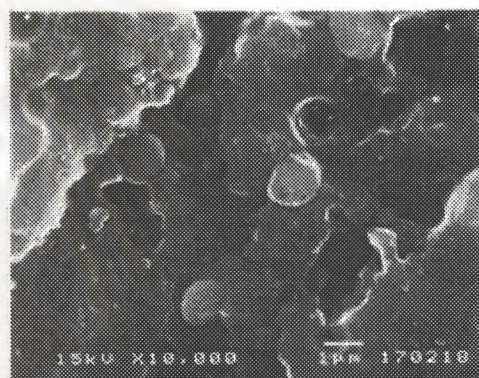
(ก)



(ข)

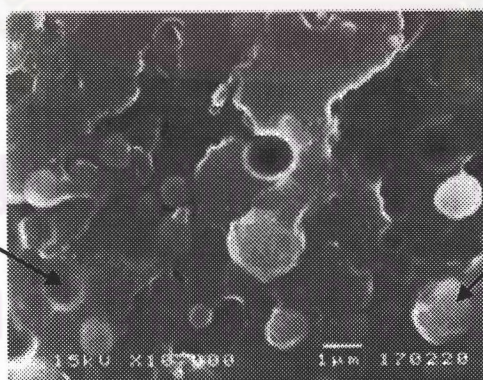


(ค)



(ง)

Void ที่เกิดจากการหลุดออก
ของพีวีซีพลาสติกซอล



(จ)

พีวีซีพลาสติกซอล

รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพลาสติกซอล 80 phr ซึ่งพลาสติกซอลประกอบด้วยพลาสติกไซเซออร์ (ก) 30 phr (ข) 35 phr (ค) 40 phr (ง) 45 phr และ (จ) 50 phr

ภายหลังการทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทก ชิ้นงานที่เกิดการแตกหักตามแนวภาคตัดขวางได้ถูกนำไปตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยให้มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ซึ่งจากรูปที่ 4.10-4.11 แสดงให้เห็นถึงการเข้าร่วมตัวของอิพอกซีเรซินและฟิวซีพลาสติคอลได้ยังไม่ดีพอ โดยจะเห็นอนุภาคทรงกลมของฟิวซีพลาสติคอลกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของอิพอกซีเรซิน ซึ่งบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสทั้งสองจะเป็นแนวบกพร่องที่อยู่ในชิ้นงาน นอกจากนี้ ยังเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าอิพอกซีเรซินและมีความยืดหยุ่นต่ำกว่าฟิวซีพลาสติคอล ดังนั้น เมื่อชิ้นทดสอบได้รับแรงกระแทก จะทำให้อนุภาคของฟิวซีพลาสติคอลหลุดออกจากตำแหน่งเดิมได้ง่าย ดังแสดงในรูป และถ้าปริมาณฟิวซีพลาสติคอลเพิ่มขึ้นยิ่งจะเป็นการเพิ่มแนวบกพร่องดังกล่าวให้มากขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าความทนแรงกระแทกที่ลดลงเมื่อมีปริมาณพลาสติคอลเพิ่มขึ้น และในส่วนของแรงกระแทกผ่านฟิวซีพลาสติคอลโดยตรง ความทนแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าฟิวซีพลาสติคอลสามารถรับแรงกระแทกได้ดีในระดับหนึ่ง

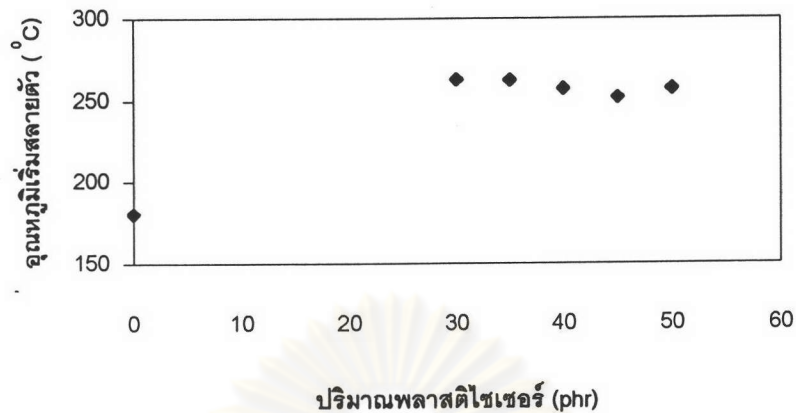
4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของอิพอกซีเรซินดัดแปร

4.5.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส

ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวของฟิวซีเรซิน และฟิวซีพลาสติคอลที่มีปริมาณพลาสติไซเซอร์ต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของฟิวซีเรซิน และฟิวซีพลาสติคอล

สาร	ปริมาณพลาสติไซเซอร์ (phr)	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (°C)
ฟิวซีเรซิน	-	180-190
ฟิวซีพลาสติคอล	30	262
ฟิวซีพลาสติคอล	35	262
ฟิวซีพลาสติคอล	40	256
ฟิวซีพลาสติคอล	45	251
ฟิวซีพลาสติคอล	50	257



รูปที่ 4.12 อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของพีวีซีเรซิน และพีวีซีพลาสติกซอล

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของพีวีซีเรซินที่อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส และของพีวีซีพลาสติกซอลที่อุณหภูมิ 251-262 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องมาจากการมีสเติมไลเซอร์ภายในพีวีซีพลาสติกซอล และแสดงให้เห็นว่าพีวีซีพลาสติกซอลไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเดือดของพลาสติกไซเซอร์ ทั้งนี้ เนื่องจากพีวีซีเรซินสามารถเกิดพันธะทุติยภูมิที่แข็งแกร่งกับพลาสติกไซเซอร์ จึงทำให้พลาสติกไซเซอร์ไม่ระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อน หากแต่สลายตัวไปพร้อมๆ กับพีวีซีเรซิน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลที่มีปริมาณพลาสติกไซเซอร์ต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพลาสติกซอล

อิพอกซี/พียูพลาสติกซอล	ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (phr)	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (°C)
100/0	-	368.1
100/20	30	292.6
	35	292.5
	40	300.4
	45	299.9
	50	301.5
100/40	30	280.7
	35	284.0
	40	281.4
	45	289.1
	50	286.6
100/60	30	280.1
	35	283.6
	40	284.2
	45	284.5
	50	285.4
100/80	30	282.6
	35	282.0
	40	282.9
	45	281.9
	50	283.7
100/100	30	280.8
	35	280.9
	40	281.4
	45	281.6
	50	282.3

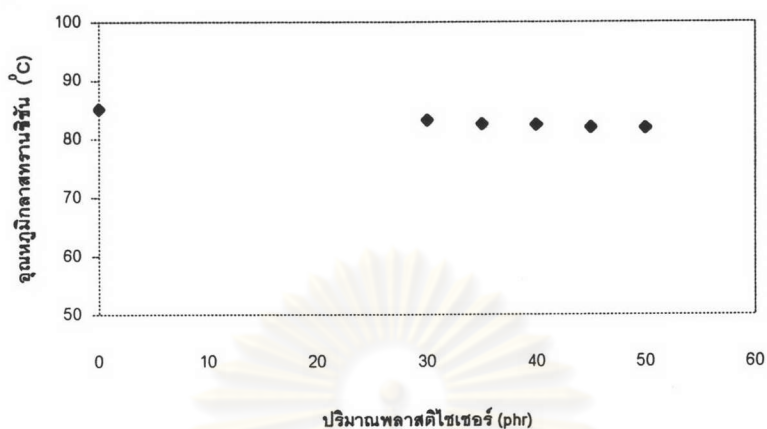
จากตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของอิพอกซีเรซินมีค่าเท่ากับ 368 องศาเซลเซียส และของอิพอกซีที่ดัดแปรด้วยฟิวซีพลาสติซอลมีค่า 280-301 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของฟิวซีพลาสติซอลและอิพอกซีเรซิน ทั้งนี้เนื่องจากการเสถียรภาพของฟิวซีพลาสติซอลที่อยู่ในอิพอกซีเรซินมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของอิพอกซีเรซินดัดแปรต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่ไม่ได้ถูกดัดแปร และเมื่อปริมาณพลาสติซอลในอิพอกซีเรซินเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มสลายตัวมีค่าลดลงมากขึ้นเข้าใกล้อุณหภูมิเริ่มสลายตัวของฟิวซีพลาสติซอล ดังนั้น เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของฟิวซีเรซิน เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาานาน จึงควรใช้งานอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยฟิวซีพลาสติซอลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 180 องศาเซลเซียส

4.5.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี เพื่อหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของฟิวซีเรซิน และฟิวซีพลาสติซอลที่มีปริมาณพลาสติไซเซอร์ต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของฟิวซีเรซิน และฟิวซีพลาสติซอล

สาร	ปริมาณพลาสติไซเซอร์ (phr)	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (°C)
ฟิวซีเรซิน	-	85.0
ฟิวซีพลาสติซอล	30	83.1
ฟิวซีพลาสติซอล	35	82.4
ฟิวซีพลาสติซอล	40	82.3
ฟิวซีพลาสติซอล	45	81.9
ฟิวซีพลาสติซอล	50	81.8



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพีวีซี และพีวีซีพลาสติกซอล

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพีวีซีพลาสติกซอลลดลงเมื่อมีปริมาณพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพีวีซีเรซิน เนื่องจากกลไกการทำงานของพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพีวีซี จึงทำให้พีวีซีสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น แต่เนื่องจากพีวีซีเรซินสามารถรับพลาสติกไซเซออร์ได้จำกัด จึงทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพีวีซีพลาสติกซอลลดลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี เพื่อหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีเรซินดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอลที่มีพลาสติกไซเซออร์ปริมาณต่างๆ กัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีเรซิน และอิพอกซีที่ดัดแปรด้วยพีวีซีพลาสติกซอล

อิพอกซี/พีวีซีพลาสติกซอล	ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (phr)	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (°C)
100/0	-	117.9
100/20	30	114.9
	35	112.6
	40	113.3
	45	112.3
	50	112.6
100/40	30	110.2
	35	108.2
	40	106.5
	45	107.2
	50	108.8
100/60	30	108.8
	35	106.1
	40	104.9
	45	104.4
	50	106.6

จากตารางที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีเรซินดัดแปรมีค่าอยู่ในช่วง 104-115 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อปริมาณพีวีซีพลาสติกซอลเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีเรซินเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอิพอกซีเรซินมีโครงสร้างเป็นร่างแหที่หนาแน่น จึงทำให้การเคลื่อนไหวของพีวีซีเกิดได้ยาก และพีวีซีเรซินรับพลาสติกไซเซออร์ได้จำกัด จึงมีผลทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีดัดแปรลดลงไม่มากนัก และปริมาณพลาสติกไซเซออร์ในพลาสติกซอลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิพอกซีดัดแปรเพียงเล็กน้อย