สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คอมโพสิท	4
2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิท	4
2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิท	5
2.1.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิท	6
2.2 พอลิเมอร์เมทริกซ์	8
2.3 เส้นใย	8
2.4 อีพ๊อกซีเรซิน	14
2.4.1 การพัฒนา	14
2.4.2 การเตรียมอีพ๊อกซีเรซินจาก บิสฟีนอล เอ (bisphenol A) และอีพิคลอโรไฮดริน (epichlorhydrin)	15
2.4.3 สารเชื่อมขวางของอีพ๊อกซีเรซิน	16
2.4.4 สมบัติของอีพ๊อกซีที่มีการเชื่อมขวางโมเลกุล	21
2.5 ปัจจัยที่พิจารณาในการเลือกวิธีขึ้นรูปคอมโพสิท	22
2.6 การขึ้นรูปคอมโพสิทด้วยเทคนิคการใช้มือ	23
2.7 นิยามอินเตอร์เฟส	24
2.7.1ความสำคัญของอินเตอร์เฟส	24

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.8 กลไกการยึดเกาะ	26
	2.9 ช่องว่างในคอมโพสิท	30
	2.10 ประวัติความเป็นมาของไมโครเวฟ	32
	2.10.1 หลักการให้ความร้อน	34
	2.10.2 การเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าของโมเลกุลในสนามไฟฟ้า	36
	2.11 การตรวจสอบเอกสาร	37
3.	วิธีการวิจัย	49
	3.1 วัสดุและสารเคมี	49
	3.2 อุปกรณ์	51
	3.3 วิธีดำเนินการ	53
	3.3.1 การวัดการปล่อยคลื่นของเตาอบไมโครเวฟ	53
	3.3.2 การอบอีพ๊อกซีและอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ	53
	3.3.3 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง	56
	3.3.4 การทดสอบสมบัติการทนต่อการดัดโค้ง	57
	3.3.5 การทดสอบการต้านแรงกระแทก	58
	3.3.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMTA	58
	3.3.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA	59
	3.3.8 การทดลองวัดความหนืดและอุณหภูมิของอีพ๊อกซี	59
	3.3.9 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	59
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	60
	4.1 สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเรซิน 5 สูตรที่ได้จากการอบด้วยเตาอบความร้อนและเตาอบไมโครเวฟ	60
	4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดึง	60

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้ง	66
	4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทก	71
4.2	สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท 5 สูตรที่ได้จากการอบด้วยเตาอบความร้อนและเตาอบไมโครเวฟ	73
	4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท	73
	4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท	78
	4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท	82
4.3	สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I ที่ได้จากการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบหลายระดับความร้อน	84
	4.3.1 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเรซินสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ	86
	4.3.2 สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ	88
4.4	สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II ที่ได้จากการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบหลายระดับความร้อน	93
4.5	ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	99
4.6	ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA	102
4.7	ผลการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์	106
4.8	ผลการทดสอบความหนืดและอุณหภูมิของอีพ๊อกซีที่ระดับความร้อนต่างๆ เมื่อเวลาอบเพิ่มขึ้นจากการอบในเตาอบไมโครเวฟและเตาอบความร้อน	108
4.9	การหาเวลาอบจริงของอีพ๊อกซีที่อบในเตาอบไมโครเวฟ	112
5.	สรุปผลการทดลอง	117
5.1	สรุปผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	117
5.2	สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	118
5.3	สรุปผลการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมททริค อนาไลเซอร์ (TGA)	118

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์ (DMTA)	118
5.5 สรุปผลการวัดความหนืดและอุณหภูมิของอีพ๊อกซีที่เวลาอบต่างๆ ในเตาอบความร้อนและเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อนต่างๆ	119
5.6 สรุปผลการวัดเวลาที่ใช้ในการอบอีพ๊อกซีเปรียบเทียบระหว่าง การอบในเตาไมโครเวฟกับเตาอบความร้อน	119
5.7 ข้อเสนอแนะ	120
บรรณานุกรม	121
ภาคผนวก	126
ก. รูปวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	127
ข. สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีสูตร I และ II อบแบบหลายระดับความร้อน	132
ค. manuscript	137
ประวัติผู้เขียน	165

รายการตาราง

ต า ร า ง

หน้า

2.1 สมบัติบางประการของวัสดุต่างๆ เทียบกับวัสดุคอมโพสิท 7

2.2 ตัวอย่างการใช้งานวัสดุคอมโพสิท 7

2.3 สมบัติบางประการของพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก 9

2.4 สมบัติของเส้นใยชนิดต่างๆ 10

2.5 องค์ประกอบและสมบัติของเส้นใยแก้วแต่ละชนิด 12

3.1 สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 50

3.2 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 51

3.3 เปรียบเทียบระหว่างระดับความร้อนที่ใช้กับกำลังไฟของเตาอบไมโครเวฟ 52

3.4 ส่วนผสมของอีพ๊อกซีสูตรต่างๆ 54

3.5 สภาวะอบอีพ๊อกซีสูตรต่างๆที่อบแบบขั้นตอนเดียว 55

3.6 สภาวะอบอีพ๊อกซีสูตร I และ II อบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ 55

4.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเรซินสูตรต่างๆ 64

4.2 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเรซินสูตรต่างๆ 69

4.3 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเรซินสูตรต่างๆ 72

4.4 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตรต่างๆ 76

4.5 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตรต่างๆ 80

4.6 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตรต่างๆ 83

4.7 สภาวะอบของอีพ๊อกซีสูตร I อบด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบหลายระดับความร้อน 85

4.8 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อน 86

4.9 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท สูตร I อบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ 88

4.10 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท สูตร I 90

4.11 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I 92

4.12 สภาวะอบของอีพ๊อกซีสูตร II อบด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบหลายระดับความร้อน 93

4.13 การทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II 94

4.14 ผลการทดสอบสมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II 96

รายการตาราง (ต่อ)

ต า ร า ง

หน้า

4.15 การทดสอบการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II 98
4.16 ช่วงเวลาการปล่อยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับความร้อนต่างๆ ของเตาอบไมโครเวฟ 113
4.17 เวลาอบแท้จริงที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟของอีพ๊อกซีสูตร I ที่สภาวะอบต่างๆ 114
4.18 เวลาอบแท้จริงที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟของอีพ๊อกซีสูตร II ที่สภาวะอบต่างๆ 114
ข.1 สภาวะอบของอีพ๊อกซีสูตร I อบแบบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ 132
ข.2 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อนในไมโครเวฟ 133
ข.3 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีสูตร II อบแบบหลายระดับความร้อนในไมโครเวฟ 135
ข.4 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อนในไมโครเวฟ 135

รายการรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเทอร์โบสแตรคติกแกรไฟต์ในเส้นใยคาร์บอน	11
2.2	การยึดเกาะของสารคู่ควบจำพวกไซเลนบนพื้นผิวเส้นใยแก้ว	13
2.3	กลไกการสังเคราะห์อีพ็อกซีจากบิสฟีนอล เอ และอีพิคลอโรไฮดริน	15
2.4	สารเชื่อมขวางกลุ่มเอมีนตติยภูมิ	16
2.5	สารเชื่อมขวางกลุ่มพอลิฟังก์ชันนอลเอมีน	17
2.6	สารเชื่อมขวางกลุ่มกรดแอนไฮไดรด์	18
2.7	กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอีพ็อกซีและแอนไฮไดรด์	19
2.8	สูตรโครงสร้างของอีพ็อกซีที่ใช้สารเชื่อมขวางประเภทแอนไฮไดรด์	20
2.9	แบบจำลองวัสดุคอมโพสิทแบบเป็นชั้นหรือลามิเนต แสดงความสำคัญของความแข็งแรงการยึดเกาะที่อินเตอร์เฟส	25
2.10	(a) การยึดติดระหว่างพื้นผิวขรุขระของของแข็งสองชนิด สังเกตจุดสัมผัสเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดการยึดเกาะที่ไม่แข็งแรง (b) มุมสัมผัส (θ) และแรงตึงผิว (surface tension, γ) ของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง สัญลักษณ์ SV, SL และ LV แทนของแข็ง – ก๊าซ ของแข็ง – ของเหลว และของเหลว – ก๊าซ ตามลำดับ	28
2.11	กลไกการยึดเกาะชนิดต่างๆ: (a) อินเตอร์ดิฟฟิวชัน; (b) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต; (c) แรงดึงดูดระหว่างประจุของโมเลกุลที่มีประจุลบกับพื้นผิวที่มีประจุบวก; (d) พันธะเคมีเกิดระหว่างหมู่ A บนพื้นผิวหนึ่งกับหมู่ B บนอีกพื้นผิวหนึ่ง; (e) การยึดเกาะเชิงกล	29
2.12	ช่องว่างเนื่องจากการหายไปของเส้นใยในวัสดุคอมโพ	31
2.13	ภาพสองมิติแสดงช่องว่างในวัสดุคอมโพสิทจากเครื่อง ซี-สแกน	32
2.14	ช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	33
2.15	การตอบสนองของวัสดุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ	34
2.16	การให้ความร้อนแบบธรรมดาและการให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ	35
2.17	โมเลกุลกลับตัวไปมาตามสนามไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว	36
4.1	สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ็อกซีเรซินใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและเตาอบไมโครเวฟ: (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรงดึง; (c) ความเครียด ณ จุดขาด; สูตร I ไม่ทราบชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา	65
4.2	ความเค้นที่เกิดในวัสดุขณะรับแรงดัด	66

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.3 สมบัติการต้านการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเรซินใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ: (a) มอดุลัส; (b) ความคงทนต่อการดัดโค้ง; (c) ความเครียดดัดโค้ง ณ จุดขาด; สูตร I ไม่ทราบชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 70

4.4 การต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเรซินใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ 72

4.5 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ: (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรงดึง; (c) ความเครียด ณ จุดขาด; สูตร I ไม่ทราบชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 77

4.6 สมบัติต้านการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ: (a) มอดุลัส; (b) ความคงทนต่อการดัดโค้ง; (c) ความเครียดดัดโค้ง ณ จุดขาด; สูตร I ไม่ทราบชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 81

4.7 การต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตรต่างๆใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% และ 4% อบในเตาอบความร้อนและไมโครเวฟ 82

4.8 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเรซินสูตร I : (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรงดึง; (c) ค่าความเครียด ณ จุดขาด ความทนต่อแรงดึง; (c) ความเครียด ณ จุดขาด 87

4.9 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I : (a) มอดูลัสของยัง;(b) 89

4.10 สมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิท สูตร I : (a) มอดุลัส; (b) ความคงทนต่อการดัดโค้ง; (c) ความเครียดดัดโค้ง ณ จุดขาด 91

4.11 การต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I 92

4.12 สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II : (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรงดึง; (c) ค่าความเครียด ณ จุดขาด 95

4.13 สมบัติการดัดโค้งของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II : (a) มอดุลัส; (b) ความคงทนต่อการดัดโค้ง; (c) ความเครียดดัดโค้ง ณ จุดขาด 97

4.14 สมบัติการต้านแรงกระแทกของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II 98

4.15 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I: (a) อบแบบ OV; (b) อบแบบ 1S; (c) อบแบบ 2S; (d) อบแบบ 3S 101

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II: (a) อบแบบOV; (b) อบแบบ1S; (c) อบแบบ 2S; (d) อบแบบ3S	102
4.17	ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของอีพ๊อกซีสูตร I: (b) เป็นรูปขยายของรูป (a)	104
4.18	ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของอีพ๊อกซีสูตร II: (b) เป็นรูปขยายของรูป (a)	105
4.19	ค่า T_g ของอีพ๊อกซีสูตร II จากการวิเคราะห์ด้วยทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์	107
4.20	ความหนืดที่เวลาอบต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อนต่างๆ กับเตาอบความร้อนที่ 150 ^{o}C; (a) อีพ๊อกซีสูตร I; (b) อีพ๊อกซีสูตร II	109
4.21	อุณหภูมิที่เวลาอบต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อนต่างๆ กับเตาอบความร้อนที่ 150 ^{o}C; (a) อีพ๊อกซีสูตร I; (b) อีพ๊อกซีสูตร II	111
ก.1	เตาอบไมโครเวฟรุ่น Sanyo™ EM-X 412	127
ก.2	เตาอบความร้อนรุ่น D 06061, UM 500	127
ก.3	เครื่องทดสอบแรงดึงและดัดโค้งรุ่น AG –100kN	128
ก.4	เครื่องทดสอบแรงกระแทก รุ่น ZWICK 5102.202	128
ก.5	เครื่อง DMTA รุ่น DMTA V 9002-50010	129
ก.6	ช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DMTA รุ่น DMTA V 9002-50010	129
ก.7	เครื่อง DSC รุ่น PERKIN ELMER DSC7	129
ก.8	เครื่อง TGA รุ่น PERKIN ELMER TGA7	130
ก.9	กล้อง SEM รุ่น JSM-5800 LV	130
ก.10	เครื่องเลื่อยจิกซอร์ (scroll saw) รุ่น CH-S16	131
ก.11	เบ้าพิมพ์ที่ทำจากเทฟลอน	131
ก.12	เส้นใยแก้วชนิดเส้นใยสานแบบสุ่ม	131
ข.1	สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเรซินสูตร I: (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรงดึง; (c) ค่าความเครียด ณ จุดขาด	134
ข.4	สมบัติการต้านแรงดึงของอีพ๊อกซีเรซินสูตร II: (a) มอดุลัสของยัง; (b) ความคงทนต่อแรง ดึง; (c) ค่าความเครียด ณ จุดขาด	136

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
Al	aluminium	อลูมิเนียม
^{o}C	degree of Celsius	องศาเซลเซียส
cm	centimeter	เซนติเมตร
cPs	centipoise	เซนติพอยด์
g	gram	กรัม
GHz	gigahertz	จิกะเฮิรตซ์
GPa	gigapascal	จิกะปาสคาล
Hz	hertz	เฮิรตซ์
K	degree of Kelvin	องศาเคลวิน
kg	kilogram	กิโลกรัม
kJ	kilojoules	กิโลจูล
kN	kilonewton	กิโลนิวตัน
l	litre	ลิตร
Mg	magnesium	แมกนีเซียม
MHz	megahertz	เมกะเฮิรตซ์
m^2	square metre	ตารางเมตร
min	minute	นาที
ml	millilitre	มิลลิลิตร
mm	millimetre	มิลลิเมตร
MPa	megapascal	เมกะปาสคาล
N	newton	นิวตัน
PEEK	polyetheretherketone	โพลิเอสเธอร์เอสร์คีโตน
sec	second	วินาที
Ti	titanium	ไททาเนียม
V	volt	โวลต์
W	watt	วัตต์

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
μm	micrometer	ไมโครเมตร
ρ	density	ความหนาแน่น
α	thermal expansivity	ความขยายตัวทางความร้อน
K	thermal conductivity	ความสามารถในการนำความร้อน
σ_*	tensile strength	ความคงทนต่อแรงดึง
$\in_*$	failure strain	ระยะยืด
E	Young's modulus	มอดุลัสของยัง
ν	Poisson's ratio	อัตราส่วนของปัวซอง