ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเครื่องมือ

1. เครื่องมือ Brabender plasticoder รุ่น Docking station mixer 350 E ประเทศเยอรมัน มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้
   1.1 เปิดสวิทซ์เครื่องไฟเพื่อต่อเข้ากับชุด mixer
   1.2 ตรวจเช็คสวิทซ์ที่ชุด mixer ให้อยู่ในตำแหน่ง remote และ forward ทุกครั้ง และหมุนปรับ speed ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์
   1.3 เปิดสวิทซ์ชุด drive และชุด mixer โดยกดปุ่มเหลืองลง
   1.4 ตรวจเช็คชุด mixer เพื่อดูว่าน๊อตล็อคแน่นหรือไม่ และต่อสาย safety plug
   1.5 ดึง emergency switch
   1.6 กดสวิทซ์ start
   1.7 เปิดสวิทซ์ชุด PC
   1.8 คลิกไอคอน Winmix.32 ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์
   1.9 เมื่อเข้าสู่ mixer software ให้คลิกที่ File แล้วเลือก New หรือคลิกที่ Tool bar รูปหนังสือ
   1.10 เมื่อหน้าจอแสดง Parameter ให้ใส่ค่าในช่อง Parameter ให้ครบ
   1.11 คลิกที่ Run เลือก start หรือคลิกที่ Tool bar รูปมือ
   1.12 หน้าจอจะแสดงอุณหภูมิ และเมื่ออุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้แล้วให้กด Continue
   1.13 Drive จะเริ่มหมุนและ software จะทำการ calibration
   1.14 จะมีคำสั่งให้เติมสารที่จะทำการผสมลงใน mixer พร้อมกับกด start
   1.15 เครื่องจะทำการผสมและจะหยุดตามเวลาที่กำหนด
   1.16 บันทึกหรือพิมพ์ข้อมูล
   1.17 ทำความสะอาดชุด mixer โดยการคลายน๊อตที่ล็อคชุด mixer
   1.18 ดึง safety plug ออกหรือกดสวิทซ์ stop
   1.19 ใช้สองมือจับที่ด้ามจับ mixer แผ่นหน้าออกมาวางที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วทำความสะอาด

1.20 ปรับสวิทซ์ที่ชุด mixer ให้อยู่ในตำแหน่ง local และ reward

1.21 ใช้สองมือจับที่ด้ามจับ mixer แผ่นกลางพร้อมกับกดปุ่มที่ด้ามจับและดึงเข้าหาตัว นำ
ออกมาวางที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วทำความสะอาด

1.22 ทำความสะอาดใบกวนโดยใช้ประแจด้ามสีแดงคลายน๊อตที่รูกลางใบกวน

1.23 ใช้เครื่องมือ negative device ช่วยดึงใบกวนออกจากชุด mixer แล้วทำความ สะอาดใบ
กวน

1.24 ระวังลิ่มสแกนอุณหภูมิหาย

2. เครื่องมือบดสองลูกกลิ้ง (two roll-mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีขั้นตอนการ ใช้งานดังนี้
   2.1 หมุนปุ่มเปิดสวิทซ์ไฟฟ้าเข้า
   2.2 ปรับความกว้างของลูกกลิ้ง
   2.3 กดปุ่มเริ่มการทำงาน(ลูกกลิ้งหมุน)
   2.4 ใส่ยางลงไปรีดเป็นแผ่นบางแล้วเติมสารเคมีลงไปบดผสมตามต้องการ
   2.5 กดปุ่มหยุดการทำงาน(ลูกหยุดกลิ้งหมุน)
   2.6 หมุนปุ่มปิดสวิทซ์ไฟฟ้า

3. เครื่องมือ Oscillating Disk Rheometer รุ่น Alpha technologies MDR 2000 มีขั้นตอนการ ใช้งานดังนี้
   3.1 เสียบปลั๊กปั๊มลมและเปิดวาล์วลม
   3.2 เปิด breaker สีดำโดยการโยกไปที่ตำแหน่ง ON
   3.3 กดปุ่มสีแดงของเครื่อง MDR 2000 ซึ่งอยู่ทางด้านข้างของเครื่อง
   3.4 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง printer
   3.5 ไฟภายในของเครื่อง MDR 2000 จะสว่าง ประตูของเครื่องจะเปิดขึ้น หน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า “ALPHA TECHNOLOGIES MDR 2000” และจะมีไฟสีแดงขึ้นที่ปุ่ม stand by
   3.6 เข้าสู่โปรแกรม A 2000R
   3.7 คลิก Data เลือก Compound เลือก New เพื่อตั้งชื่อสารที่ต้องการทดสอบ คลิก OK

แล้วคลิก search และคลิกหาชื่อสารที่ตั้งไว้แล้ว จากนั้นให้คลิก test parameter แล้วใส่ parameter ที่ต้องการทดสอบ คลิก OK

3.8 คลิก Test เลือกคลิก manual test แล้วคลิกsearch และคลิกหาชื่อสารที่ตั้งไว้แล้ว คลิก OK จากนั้นให้ใส่ชื่อ operator, shift และ batch แล้วคลิก OK ด้านล่างของหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า “Please Activate the test” แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทดสอบ

3.9 ใส่ชิ้นทดสอบที่มีน้ำหนักประมาณ 4-4.5 กรัม (ควรวางแผ่นพลาสติกหุ้มทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อป้องกันยางติดเครื่องทดสอบ)

3.10 กดปุ่ม stand by ไฟสีแดงจะหายไป ให้รอจนกว่าไฟสีเขียวแสดงที่ปุ่ม ready

3.11 กดปุ่ม Platens แล้วประตูของเครื่องจะปิดลง

3.12 เมื่อเครื่องกำลังทำการทดสอบที่ด้านล่างของหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า “test activate”

3.13 เมื่อครบตามเวลาที่ต้องการทดสอบ ประตูของเครื่องจะเปิดขึ้น และจะพิมพ์กราฟแสดงผลการทดสอบออกมา

3.14 กดปุ่ม stand by แล้วนำชิ้นทดสอบออก ทำความสะอาดเครื่อง

3.15 กดปุ่ม Platens แล้วประตูของเครื่องจะปิดลง

3.16 กดปุ่มสีแดงของเครื่อง MDR 2000 ซึ่งอยู่ทางด้านข้างของเครื่อง เพื่อหยุดการทำงานของเครื่องตัว Platens ภายในของเครื่องจะยกตัวขึ้นโดยที่ประตูยังคงปิดอยู่และไฟภายในจะดับลง

3.17 ปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง printer

3.18 ปิด breaker สีดำโดยการโยกไปที่ตำแหน่ง OFF

3.19 ปิดวาล์วลมและถอดปลั๊กปั๊มลม

4 เครื่องมือ compression molding มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

4.1 เปิด main switch ที่ข้างเสา

4.2 เปิดปุ่ม source power ไปที่ ON

3.3 เปิดปุ่ม heating ทั้งสองตัวไปที่ ON

4.4 ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบโดยการกด set แล้วกดตัวเลขอุณหภูมิแล้วกด set อีกครั้ง

4.5 กด setting เพื่อตั้งเวลาการอบ เวลาการกดแช่ และเวลาการกดย้ำครั้งแรก แล้วกด monitor enter สองครั้ง

4.6 วางชิ้นยางคอมปาวด์บนแผ่นเพลทและนำไปวางบนเครื่อง compression mold

4.7 หมุนสวิทซ์ไปที่ Auto เริ่มการทำงานของเครื่องโดยกด start เมื่อครบเวลาการกดอัด เครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติ

4.8 นำแผ่นเพลทออกแล้วแกะแผ่นยางออกมา

4.9 เมื่อได้ปริมาณยางที่กดอัดตามต้องการแล้ว ให้หมุนสวิทซ์ไปที่ stop เพื่อหยุดการทำงาน

4.10 ปิดปุ่ม source power ไปที่ OFF

4.11 ปิดปุ่ม heating ทั้งสองตัวไปที่ OFF

4.12 ปิด main switch ที่ข้างเสา

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารในการผสม

ตารางที่ 22 ปริมาณสารที่ใช้ในการผสม

component	phr	specific gravity	volume[(a)]
NR	80	0.92	86.96
PP	20	0.905	22.10
RR	40	1.19	33.61
SNR	5	0.913	5.48
ZnO	5	5.57	0.90
stearic acid	2	0.85	2.35
sulphur	1	2.07	0.48
MBTS	2	1.51	1.32
DPPD	0.5	1.20	0.42
TMTD	1.5	1.42	1.06

carbon black	40	1.85	21.62
wax	1	0.90	1.11
total	198		177.41

[a]volume = (phr)/(specific gravity)

ตารางที่ 23 การหาค่า volume of compound

volume of brabender	fill factor	volume of compound[b]
350	0.80	280

[b]volume of compound = (volume of brabender) × (fill factor)

ตารางที่ 24 การหาค่า total specific gravity, total mass of brabender และ ค่า multiplying factor

total specific gravity[c]	total mass of brabender[d]	multiplying factor[e]
1.12	312.50	1.58

[c]total specific gravity = total of phr/ total of volume

[d]total mass of brabender = volume of compound × total specific gravity

[e]multiplying factor = total mass of brabender/ total of mass

ตารางที่ 25 น้ำหนักของสารสำหรับการผสม

component	mass[f]
NR	126.26
PP	31.57
RR	63.13

SNR	7.89
ZnO	7.89
stearic acid	3.16
sulphur	1.58
MBTS	3.16
DPPD	0.79
TMTD	2.37
carbon black	63.13
wax	1.58
total	312.50

[f] mass = phr × multiplying factor

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากผลการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมโยง
และคุณสมบัติเชิงกลจากแปรผันสารเคมีปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 26 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณยางธรรมชาติ

NR	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	($N.mm/mm^3$)
30	7.54	1.24	99.20	0.27	37.98	0.55	20.50	1.29	16.52	1.54	184.32
40	4.28	1.27	97.70	1.42	38.04	1.16	21.33	2.08	13.28	0.57	169.72
50	4.09	1.30	95.80	1.40	42.60	3.41	22.33	0.58	12.12	0.89	222.92
60	4.05	1.32	93.40	0.84	44.64	4.53	25.33	0.58	13.64	0.54	513.85
70	3.46	1.34	91.30	0.82	50.30	2.87	26.00	0.00	15.37	0.90	834.72
80	3.44	1.46	86.60	0.89	76.17	4.12	34.33	0.58	15.55	0.80	1196.46
100	4.23	1.43	77.00	0.55	62.62	0.81	42.00	0.58	15.51	1.63	2658.76

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ตารางที่ 27 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณยางรีเคลม

RR	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	(N.mm/mm^3)
0	5.21	1.20	92.60	0.58	57.71	3.43	31.00	0.89	15.02	0.84	647.63
10	5.16	1.24	92.20	0.84	49.32	1.09	31.67	1.53	13.33	1.77	621.32
20	4.16	1.34	89.40	0.55	56.60	2.41	32.33	1.15	14.71	0.91	976.48
30	4.10	1.40	87.80	0.45	60.97	4.07	33.00	1.00	15.56	1.14	1102.36
40	3.47	1.43	87.00	0.71	65.12	3.89	33.33	0.58	15.97	1.03	1224.93
50	3.44	1.46	86.60	0.89	76.17	4.72	34.33	0.58	15.55	0.80	1196.46

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ตารางที่ 28 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณเขม่าดำ

CB	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	(N.mm/mm^3)
0	5.07	2.45	76.60	0.55	32.59	6.55	52.40	0.55	8.30	0.46	822.54
10	4.34	2.40	80.20	0.84	59.91	8.94	47.20	0.45	11.57	0.63	1333.36
20	3.44	2.15	82.80	0.45	67.85	4.85	43.00	0.71	12.67	0.76	1640.74
30	4.01	2.02	85.00	0.71	53.38	8.54	37.60	0.55	14.97	0.17	1295.56
40	4.09	1.52	87.60	0.55	59.33	9.12	35.40	0.55	16.51	1.06	1609.76
50	4.23	1.45	89.60	0.55	56.05	6.47	33.40	0.89	15.18	1.59	1100.47

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ตารางที่ 29 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณ SNR

SNR	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	(N.mm/mm^3)
0	5.28	1.36	88.00	1.00	58.64	3.10	36.60	0.55	15.48	0.33	981.70
5	4.02	1.43	87.40	0.55	62.80	4.65	37.20	0.45	19.55	1.23	1582.65
10	4.05	1.49	86.00	1.64	66.20	7.59	37.60	0.55	16.63	1.00	1610.71
15	4.15	1.54	85.00	0.71	70.57	9.49	38.00	0.71	16.36	0.65	1851.16
20	4.21	1.54	84.20	0.45	58.90	7.37	37.00	0.71	16.30	0.59	1817.79

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ตารางที่ 30 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณกำมะถัน

Sulfur	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	(N.mm/mm^3)
1	7.24	2.32	83.20	0.84	54.56	5.80	38.00	0.00	20.37	1.22	2826.10
2	4.50	2.00	85.40	0.55	60.92	5.86	39.33	0.58	19.62	1.00	2294.75
2.5	4.50	1.57	86.20	0.84	62.17	5.09	41.00	0.00	18.78	1.12	2235.21
3	3.59	1.40	86.60	0.55	61.60	5.05	40.00	1.00	16.81	0.60	1178.59
4	3.49	1.32	87.60	1.34	51.16	6.71	38.67	0.58	15.98	0.52	1030.49

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ตารางที่ 31 ผลการทดลองจากการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากการแปรผันปริมาณ DPPD

DPPD	cure time	scorch time	hardness		tear strength (kN/m)		resilience		tensile strength (MPa)		toughness
(phr)	(min)	(min)	value*	SD	value*	SD	value*	SD	value*	SD	(N.mm/mm^3)
0	7.29	2.54	80.60	0.84	62.62	1.66	38.67	0.58	20.09	1.24	3263.02
0.5	6.09	2.40	80.80	1.58	72.62	1.73	38.00	0.00	21.51	0.75	3062.85
1	6.04	2.32	81.00	1.10	57.46	5.98	38.00	0.00	20.57	1.23	2826.10
2	5.38	2.27	82.20	0.89	49.68	5.26	36.33	0.58	18.39	0.79	2781.06

* เป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากการทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

ภาคผนวก ง

มาตรฐาน ASTM D 430-95

มาตรฐาน ASTM D 430-95 กำหนดรอยแตกจากการทดสอบหาการแตกของยางเมื่อมีการหักงอไปมาด้วยเครื่องมือ De Mattia Flexing Machine โดยสามารถประเมินผลการทดลองด้วยการตรวจดูลักษณะรอยแตกจากความลึก ความยาวและจำนวนของรอยแตกด้วยสายตา ซึ่งมีรายละเอียดการประเมินแสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 Evaluation of De Mattia Bend Flexing Specimens

Grade 0	No cracking has occurred
Grade 1	Cracks at this stage appear as pin pricks to the naked eye. Grade as 1 if the pin pricks are less than 10 in number and less than 0.5 mm in length.
Grade 2	Assess as Grade 2 if either of the following applies: (1) The pin pricks are in excess of 10 in number, or (2) The number of cracks is less than 10 but one or more cracks have developed beyond the pin prick stage, that is, they have perceptible length without much depth, but their length is still less than 0.5 mm.
Grade 3	Assess as Grade 3 if one or more of the pin pricks have become obvious cracks with a length greater than 0.5 mm but not greater than 1.0 mm
Grade 4	The length of largest crack is greater than 1.0 mm but not greater than 1.5 mm (0.06 in.).
Grade 5	The length of largest crack is greater than 1.5 mm but not greater than 3.0 mm (0.12 in.).
Grade 6	The length of largest crack is greater than 3.0 mm but not greater than 5.0 mm (0.20 in.).
Grade 7	The length of largest crack is greater than 5.0 mm but not greater than 8.0 mm (0.31 in.).
Grade 8	The length of largest crack is greater than 8.0 mm but not greater than 12.0 mm (0.47 in.).

Grade 9	The length of largest crack is greater than 12.0 mm but not greater than 15.0 mm (0.60 in.).
Grade 10	The length of largest crack is greater than 15.0 mm. This indicates complete failure of the specimen.

ที่มา: ASTM D 430 - 95 (Reapproved 2000). Standard Test Methods for Rubber Deterioration Dynamic Fatigue.

ภาคผนวก จ

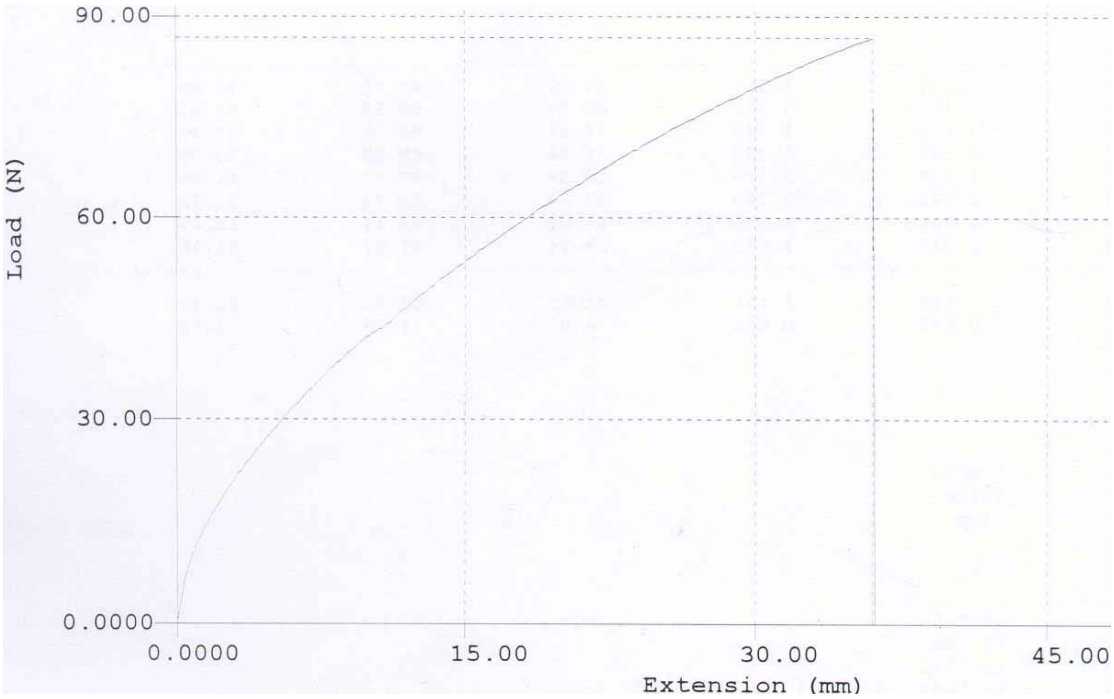
ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการรับพลังงาน (toughness)

1. คำนวณหาค่า stress กับ strain ดังสมการ

$$\text{stress} = \frac{\text{force at break (N)}}{\text{original area } (\text{mm}^2)}$$

$$\text{strain} = \left(\frac{\text{length at break - original length}}{\text{original length}}\right) \times 100$$

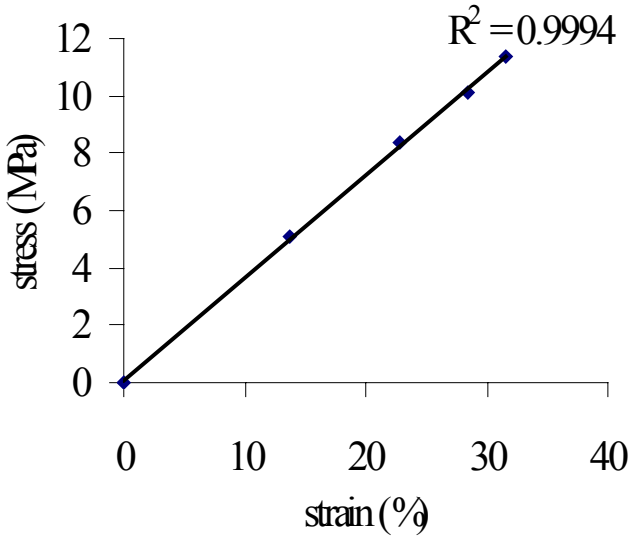
จากผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของสูตร NR/PP/RR (30/45/25) แสดงดังภาพประกอบที่ 44



ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (load) กับระยะยืดของสูตร NR/PP/RR (30/45/25)

เลือกพิกัด 5 พิกัด จากภาพประกอบที่ 44 เพื่อนำมาคำนวณหาค่า stress กับ strain ที่พิกัดจุดเหล่านั้น อันได้แก่ พิกัดที่ (0,0), (30,5.53), (54.23,15), (79.62,30), (87.69,36.32) ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain ดังภาพประกอบที่ 45

2. สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain ได้ดังภาพประกอบที่ 45



ภาพประกอบที่ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain ของสูตร NR/PP/RR (30/45/25)

3. คำนวณค่า toughness จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดระหว่าง stress กับ strain โดยใช้สูตรการคำนวณจากจุดแรกไปยังจุดที่สองในภาพประกอบที่ 45 ด้วยสูตรพื้นที่สามเหลี่ยม และคำนวณพื้นที่จากจุดที่สองไปยังจุดที่สามด้วยสูตรพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งจะคำนวณเช่นนี้ไปจนจุดสุดท้าย แสดงผลการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Toughness} = [\tfrac{1}{2}\times 13.64\times 5.07]+[\tfrac{1}{2}\times(5.07+8.34)\times(22.73-13.64)]+$$
$$[\tfrac{1}{2}\times(8.34+10.14)\times(28.41-22.73)]+[\tfrac{1}{2}\times(10.14+11.35)\times(31.57-28.41)]$$
$$\text{Toughness} = 56.463\ \tfrac{\text{N.mm}}{\text{mm}^3}$$