ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ บร
ผว 18

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ของ

นายกาจพันธ์ สกุลแก้ว

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

เรื่องที่ 1

กิจกรรมทดสอบความชำนาญ : สมบัติการดึงของยาง

ผู้ร่วมดำเนินการ

นางสาวจิราวรรณ หาญวัฒนกุล

นักวิทยาศาสตร์ 6

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ

สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ของ

นายกาจพันธ์ สกุลแก้ว

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

เรื่องที่ 1

กิจกรรมทดสอบความชำนาญ : สมบัติการดึงของยาง

เลขหมู่ วพ บส
อว 18
เลขทะเบียน 13903.
วันที่ 25 ส.ค 49

ผู้ร่วมดำเนินการ

นางสาวจิราวรรณ หาญวัฒนกุล

นักวิทยาศาสตร์ 6

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ

สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถของห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ ทดสอบ และเป็นข้อกำหนดข้อหนึ่งในระบบคุณภาพของห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1 โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฐานะหน่วยงานกลางของรัฐที่มีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ ทดสอบ สมบัติการดึงของยาง ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ ในหัวข้อการทดสอบดังกล่าว จึงได้จัดทำกิจกรรมทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบยางโดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ เรื่องการทดสอบสมบัติการดึงของยางขึ้น ซึ่งในรายการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบความต้านแรงดึง ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 และความยืดเมื่อขาด มีห้องปฏิบัติการที่สนใจเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญครั้งนี้ จำนวน 20 ห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็นหน่วยงานของรัฐจำนวน 2 ห้องปฏิบัติการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ จำนวน 2 ห้องปฏิบัติการ และหน่วยงานเอกชนจำนวน 16 ห้องปฏิบัติการ ก่อนการจัดส่งชิ้นทดสอบยางมาตรฐานให้แต่ละห้องปฏิบัติการ ได้ดำเนินการทดสอบสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity Test) และความคงสมบัติเดิมของยาง (Stability Test) ซึ่งผลจากการทดสอบ พบว่าชิ้นทดสอบยางมาตรฐานมีสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถคงสมบัติเดิม ได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยเริ่มตั้งแต่การจัดส่งจนกระทั่งถึงระยะเวลาที่กำหนดให้แต่ละห้องปฏิบัติการดำเนินการทดสอบ สำหรับการประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทดสอบ ได้ใช้เทคนิคทางสถิติแบบ Robust ตามแนวทางของ National Association of Testing Authorities (NATA) เป็นวิธีอ้างอิงในการวิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบยาง ในแต่ละรายการทดสอบซึ่งประเมินจากจำนวนของห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่ส่งผลการทดสอบกลับมาในแต่ละรายการทดสอบ มีดังนี้ ความต้านแรงดึง (จำนวน 19 ห้องปฏิบัติการ) ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจร้อยละ 78.95 (15 ห้องปฏิบัติการ) อยู่ในเกณฑ์ที่น่าสงสัยร้อยละ 5.26 (1 ห้องปฏิบัติการ) และไม่จัดอยู่ในกลุ่มร้อยละ 15.79 (3 ห้องปฏิบัติการ) ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 (จำนวน 18 ห้องปฏิบัติการ) ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจร้อยละ 88.89(16 ห้องปฏิบัติการ)และไม่จัดอยู่ในกลุ่มร้อยละ11.11(2 ห้องปฏิบัติการ) ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 (จำนวน 19 ห้องปฏิบัติการ) ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจร้อยละ 94.78 (18 ห้องปฏิบัติการ) และไม่จัดอยู่ในกลุ่มร้อยละ 5.26 (1 ห้องปฏิบัติการ) ความยืดเมื่อขาด (20 ห้องปฏิบัติการ) ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจร้อยละ 85.00 (17 ห้องปฏิบัติการ) อยู่ในเกณฑ์ที่น่าสงสัยร้อยละ 10 (2 ห้องปฏิบัติการ) และไม่จัดอยู่ในกลุ่มร้อยละ 5 (1 ห้องปฏิบัติการ) ตามลำดับ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		i
สารบัญ		ii
สารบัญตาราง		iii
สารบัญรูป		v
บทที่ 1	**บทนำ**	1
	1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง	1
	1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
	1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	2
บทที่2	**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	3
	2.1 รูปแบบการทดสอบความชำนาญ	4
	2.2 ค่า Assign Value	4
	2.3 สถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความชำนาญ	4
	2.4 การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟ(Graphic Displays)	7
บทที่ 3	**วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ**	14
	3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	14
	3.2 สารเคมี สารละลายและวิธีเตรียม	14
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	19
บทที่ 5	**วิจารณ์ผลและสรุปผลการศึกษาทดลอง**	27
กิตติกรรมประกาศ		34
บรรณานุกรม		35
ภาคผนวก ก.	Z – Score Bar Chart	37
ภาคผนวก ข.	Scatter Diagram	42
ภาคผนวก ค.	**สูตรยางมาตรฐาน**	44
ภาคผนวก ง.	**ผลการทดสอบสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน**	45
ภาคผนวก จ.	**ผลการทดสอบความคงสมบัติเดิมของชิ้นทดสอบยาง**	49
ภาคผนวก ฉ.	**การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว**	57

สารบัญ

		หน้า
ภาคผนวก ช.	Independent – sample t test	64
ภาคผนวก ซ.	รายชื่อของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมทดสอบความชำนาญ	69
ภาคผนวก ฌ.	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ	70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เกณฑ์กำหนดของ Z-Score	6
2	ผลการทดสอบความต้านแรงดึง, เมกะพาสคัล	19
3	Summary Statistics ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง	20
4	ผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100, เมกะพาสคัล	21
5	Summary Statistics ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	22
6	ผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300, เมกะพาสคัล	23
7	Summary Statistics ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300	24
8	ผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด,ร้อยละ	25
9	Summary Statistics ของผลการทดสอบความความยืด, ร้อยละ	26
10	Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง	30
11	Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง	30
12	Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	31
13	Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	31
14	Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300	32
15	Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300	32
16	Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด	33
17	Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด	33
ค-1	สูตรยางมาตรฐาน	44
ง-1	Homogeneity Test of Tensile Strength	45
ง-2	Homogeneity Test of Tensile Stress at 100% Elongation	46
ง-3	Homogeneity Test of Tensile Stress at 300% Elongation	47
ง-4	Homogeneity Test of Elongation at Break	48

ตารางที่ หน้า

จ-1	Stability Test of Tensile Strength	49
จ-2	Independent Sample Test of Tensile Strength	50
จ-3	Stability Test of Tensile Stress at 100% Elongation	51
จ-4	Independent Sample Test of Tensile Stress at 100 % Elongation	52
จ-5	Stability Test of Tensile Stress at 300% Elongation	53
จ-6	Independent Sample Test of Tensile Stress at 300 % Elongation	54
จ-7	Stability Test of Elongation at Break	55
จ-8	Independent Sample Test of Elongation at Break	56
ฉ-1	ตารางของข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	59
ฉ-2	Percentiles of the F– Distribution ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05	63
ช-1	Percentile of the t-Distribution	67
ฉ-1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ	70

สารบัญรูป

รูปที่	คำบรรยายใต้รูป	หน้า
1	โครงสร้างของระบบการจัดการคุณภาพของห้องปฏิบัติการ	3
2	ตัวอย่างของ Z – Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Strength)ของชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน (Lab. Code No. 10 จัดเป็น Outlier เนื่องจาก Bar Chart มีความสูงเกินเส้นทีบที่จุด Y = 3)	8
3	ตัวอย่างของ Scatter Diagram ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง ของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานจำนวน 2 ชุด	9
4	ลักษณะการกระจายของจุดบนกราฟ ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม	10
5	การกระจายของจุดบนกราฟซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบเพียงอย่างเดียว	11
6	การกระจายของจุดบนกราฟซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มและความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ	12
7	ขนาดของความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ	13
8	Between - Laboratories Z-score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง	37
9	Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง (ไม่รวม Lab code no. 10 และ 13)	37
10	Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง	38
11	Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	38
12	Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	39
13	Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300	39
14	Within - Laboratory Z-score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300	40
15	Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด	40
16	Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด	41
17	Scatter Diagram ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง (Lab Code No. 05, 10, 13 และ 15 ไม่อยู่ใน Diagram)	42

รูปที่	คำบรรยายใต้รูป	หน้า
18	Scatter Diagram ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100	42
19	Scatter Diagram ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 (Lab Code No. 10 และ 13 ไม่อยู่ใน Diagram)	43
20	Scatter Diagram ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด (Lab Code No.10 ไม่อยู่ใน Diagram)	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง

ในข้อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางโดยส่วนใหญ่มักจะมีรายการทดสอบสมบัติการดึงรวมอยู่ด้วยเสมอแม้ว่าผลิตภัณฑ์ยางนั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้งานในรูปแบบของการดึงหรือยืดก็ตาม การทดสอบสมบัติการดึงเป็นวิธีทดสอบวิธีหนึ่งที่ห้องปฏิบัติการทดสอบยางใช้ในการตรวจสอบ และควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง เช่น การกระจายตัวของสารเคมีในเนื้อของยาง การเสริมแรงยางของสารตัวเติม(filler) สถานะการคงรูปของยาง เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถใช้ร่วมกับรายการทดสอบในหัวข้ออื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น การทดสอบเพื่อประเมินความทนต่อการเสื่อมสภาพภายใต้อุณหภูมิสูง การทดสอบความทนต่อน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติข้างต้นควรได้รับการตรวจสอบและควบคุมให้มีความถูกต้องด้วยวิธีการที่เหมาะสม การทดสอบความชำนาญเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพของข้อมูลผลการทดสอบที่สำคัญวิธีหนึ่งที่ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบข้อมูลของผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบนอกจากจะเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผลการทดสอบแล้ว ยังสามารถสอบย้อนกลับไปถึงทักษะของบุคลากรของห้องปฏิบัติการนั้นๆ ตลอดจนถึงเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งจะนำไปสู่การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการช่วยพัฒนาศักยภาพห้องปฏิบัติการทดสอบยางให้ไปตามมาตรฐานสากลได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อศึกษาและประเมินศักยภาพของห้องปฏิบัติการทดสอบยางที่มีอยู่ภายในประเทศ

1.1.2 เป็นแนวทางในการจัดการทดสอบความชำนาญเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติการดึงของยางใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทดสอบความชำนาญในเรื่องยาง ความต้านแรงดึง ความเค้นดึง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 มีดัชนีชี้วัดห้องปฏิบัติการทดสอบที่มีศักยภาพ

1.4.2 เพื่อศึกษาและกำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการทดสอบความชำนาญเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติการดึงของยาง

1.4.3 ได้ข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาและยกระดับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบยางที่เข้าร่วมโครงการ

1.4.4 เพื่อพัฒนาและยกระดับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบยางที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้มาตรฐานสากลและเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติได้

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตุลาคม 2545 – ตุลาคม 2546

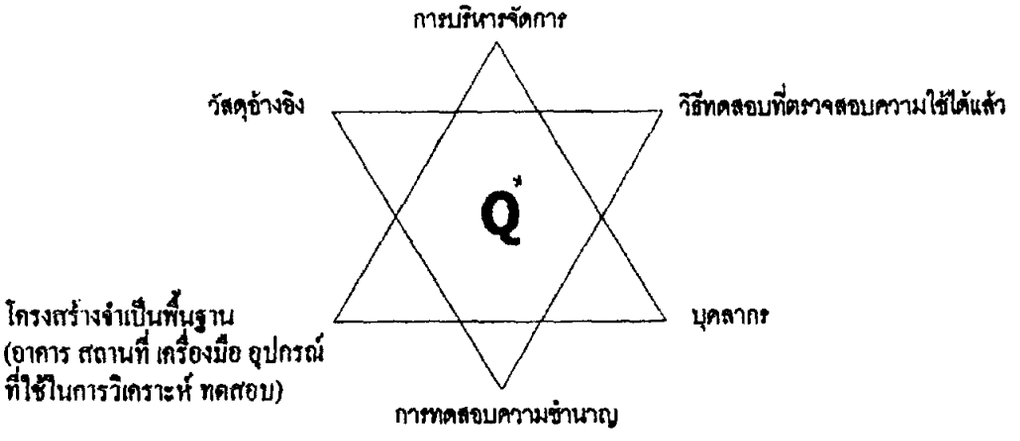
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบความชำนาญ

ข้อมูลจากการทดสอบไม่เพียงแต่จะเป็นการตัดสินคุณภาพของสิ่งที่ได้ทำการทดสอบเท่านั้น แต่ยังส่งผลไปถึงศักยภาพและคุณภาพของห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการทดสอบอีกด้วย ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบนั้นควรมีความถูกต้อง แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ การทดสอบความชำนาญเป็นแผนการดำเนินงานและจัดการทดสอบอย่างเป็นระบบที่ใช้ในการตรวจสอบ และประเมินศักยภาพในการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการ นอกจากนั้นยังเป็นกลไกพื้นฐานหนึ่งในระบบการจัดการคุณภาพ(Quality Management System) ของห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการควบคุม เฝ้าระวัง ประกัน และรักษาระดับคุณภาพของข้อมูลผลการทดสอบให้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับทั้งในระดับชาติและระดับสากล

ระบบการจัดการคุณภาพของห้องปฏิบัติการมีโครงสร้างพื้นฐานโดยสังเขปดังนี้



รูปที่ 1 : โครงสร้างของระบบการจัดการคุณภาพของห้องปฏิบัติการ

ในขั้นตอนการทดสอบความชำนาญนั้น แต่ละห้องปฏิบัติการจะได้รับตัวอย่างมาตรฐานที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความคงสมบัติเดิมภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยเริ่มตั้งแต่การจัดส่งจนถึงระยะเวลาที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการดำเนินการทดสอบ ผลการทดสอบที่ได้จากแต่ละห้องปฏิบัติการจะนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกันโดยวิธีการทางสถิติ เพื่อสร้างดัชนีชี้วัดแสดงถึงศักยภาพในการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการเหล่านั้น

---

* Q คือ ระบบการจัดการคุณภาพของห้องปฏิบัติการ (Quality Management System)

2.1 รูปแบบของการทดสอบความชำนาญ

โดยทั่วไปการทดสอบความชำนาญสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบดังนี้

2.1.1 การทดสอบความชำนาญที่มีหัวข้อเฉพาะเจาะจงเกี่ยวข้องกับเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น ความต้านแรงดึงของยาง ความต้านแรงฉีกขาด ความแข็งของยาง เป็นต้น

2.1.2 การทดสอบความชำนาญที่มีหัวข้อครอบคลุมในเรื่องที่ดำเนินการทดสอบทั้งหมด เช่น การทดสอบสมบัติการดึงของยาง ซึ่งในการทดสอบจะรวมถึง การทดสอบความต้านแรงดึง การทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดที่กำหนด และความยืดเมื่อขาด เป็นต้น

2.2 ค่า Assigned Value

นอกจากความเป็นเนื้อเดียวกัน และความคงสมบัติเดิมของตัวอย่างมาตรฐานแล้ว การกำหนดค่าของ Assigned Value นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการทดสอบความชำนาญ ค่า Assigned Value คือ ค่าตัวเลขที่หาด้วยวิธีการที่เหมาะสมและยุติธรรมเพื่อใช้แสดงสมบัติของตัวอย่างมาตรฐาน และจะนำมาใช้เป็นค่าบรรทัดฐานในการประเมินศักยภาพในการวิเคราะห์ ทดสอบ ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ

ค่า Assigned Value สามารถหาได้หลายวิธีดังนี้

2.2.1 ค่าที่ได้จากการเติมปริมาณ หรือ ความเข้มข้นของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ที่ทราบค่าอย่างแน่นอนแล้วลงไปใน Base Material เช่น เติมปริมาณของโลหะหนักที่ทราบค่าแล้วลงไปในน้ำ เป็นต้น

2.2.2 ค่า Consensus ที่ได้จากกลุ่มของห้องปฏิบัติการที่มีความชำนาญ (Expert Laboratories) ในเรื่องนั้นๆ โดยเฉพาะ

2.2.3 ค่า Consensus ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ โดยใช้ค่ากลางของข้อมูลเป็นเกณฑ์ โดยค่ากลางที่ใช้จะเป็นค่าเฉลี่ย(Mean) หรือ ค่ามัธยฐาน(Median) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของข้อมูลที่ได้

2.3 สถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความชำนาญ

สถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความชำนาญ จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของข้อมูลที่ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Robust Statistics* ตามแนวทางของ National Association of Testing Authorities (NATA) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 Summary Statistics

เป็นสถิติที่ใช้อธิบายหรือบรรยายลักษณะข้อมูลของผลการทดสอบ ได้แก่

2.3.1.1 จำนวนข้อมูลของผลการทดสอบ (Number of Results)

---

* Robust Statistics คือ การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติบนพื้นฐานที่ไม่มีผลกระทบจากข้อมูลที่มีค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุด (Extreme Results) ภายในกลุ่มของข้อมูลชุดนั้น ๆ ค่ามัธยฐาน และ normalized IQR จัดเป็น Robust Statistics

2.3.1.2 **มัธยฐาน** (Median) :

มัธยฐาน คือ ค่าที่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งชุดเมื่อได้เรียงค่าของข้อมูลจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด หรือจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด

ค่ามัธยฐานจะขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูล ดังต่อไปนี้

2.3.1.2.1 ข้อมูลเป็นจำนวนคี่ ค่ามัธยฐาน คือ ข้อมูลตัวที่อยู่ตรงจุดกลางของข้อมูลทั้งหมด

2.3.1.2.2 ข้อมูลเป็นจำนวนคู่ ค่ามัธยฐาน คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสองค่าซึ่งอยู่ระหว่าง กลางของข้อมูลทั้งหมด

ในกรณีแรกค่ามัธยฐาน จะเป็นค่าที่ปรากฏอยู่ในข้อมูลชุดนั้น เช่น มัธยฐานของข้อมูล 21, 22, 23, 24, 25 คือ 23 ถ้าข้อมูลเป็นจำนวนคู่ ค่ามัธยฐานจะไม่ปรากฏอยู่ในข้อมูลชุดนั้น เช่น มัธยฐานของข้อมูล 4, 7, 8, 10, 16, 20 คือ (8+10)/2 = 9

ค่ามัธยฐานจะไม่ถูกกระทบกระเทือนโดยข้อมูลบางตัวที่มีค่าสูงมากหรือต่ำมาก เช่น มีข้อมูล 2 ชุดดังนี้

– ข้อมูลชุดที่หนึ่ง : 1 3 5 6 7 9 10

– ข้อมูลชุดที่สอง : 1 3 5 6 7 50 100

ข้อมูลทั้งสองชุดมีค่ามัธยฐานเท่ากันคือ 6 ทั้งๆ ที่ข้อมูลชุดที่สองมีข้อมูลอยู่สองตัวซึ่งมีค่าสูงมาก (50 และ 100) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอื่นๆ ในข้อมูลชุดเดียวกัน

2.3.1.3 Normalised Interquartile Range (Normalised IQR)

คือ ค่าสถิติที่ใช้วัดการกระจาย หรือความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มเดียวกัน

Normalised IQR = 0.7413 × Interquartile Range (IQR)

โดย IQR = Upper Quartile (Q3) – Lower Quartile (Q1)

Upper Quartile (Q3) = ค่าของข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งที่มีจำนวนข้อมูลมากกว่าข้อมูลในตำแหน่งนั้นอยู่ร้อยละ 25 หรือมีจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่าข้อมูลในตำแหน่งนั้นอยู่ร้อยละ 75

Lower Quartile (Q1) = ค่าของข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งที่มีจำนวนข้อมูลมากกว่าข้อมูลในตำแหน่งนั้นอยู่ร้อยละ 75 หรือมีจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่าข้อมูลในตำแหน่งนั้นอยู่ร้อยละ 25

การคำนวณค่า Q1 และ Q3 สามารถทำได้ดังนี้

2.3.1.3.1 **เรียงลำดับข้อมูลจำนวน** n ค่า จากน้อยไปหามาก

2.3.1.3.2 **คำนวณค่า** Q1 : Q1 = (n+1)/4 **ถ้าผลลัพธ์เป็น** 0.5 **ให้ปัดขึ้นเป็นเลขจำนวนเต็ม**

2.3.1.3.3 คำนวณค่า Q3 : Q3 = 3(n+1)/4 ถ้าผลลัพธ์เป็น 0.5 ให้ปัดลงเป็นเลขจำนวนเต็ม

ค่า 0.7413 เป็นค่าคงที่ซึ่งใช้คูณกับ IQR เพื่อปรับ IQR ให้เป็น Normalised IQR ที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานได้

2.3.1.4 Robust Coefficient of Variation (Robust CV)

คือ ค่าสถิติที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบ การกระจาย หรือความแตกต่างของข้อมูลระหว่างกลุ่มตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป มีหน่วยเป็นร้อยละ

$$\text{Robust CV} = \frac{\text{Normalised IQR}}{\text{Median}} \times 100$$

โดยข้อมูลที่มีการกระจายน้อยจะมีค่า Robust CV ต่ำกว่าข้อมูลที่มีการกระจายมาก

2.3.1.5 ค่าสูงสุด (Maximum) คือ ค่าที่ต่ำที่สุดของข้อมูลในกลุ่ม

2.3.1.6 ค่าต่ำสุด (Minimum) คือ ค่าที่สูงที่สุดของข้อมูลในกลุ่ม

2.3.1.7 ค่าพิสัย (Range) คือ ค่าผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของกลุ่มข้อมูลชุดนั้นๆ

2.3.2 Performance statistics

คือ สถิติที่ใช้ในการชี้วัดศักยภาพในการวิเคราะห์ ทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ โดยคำนวณบนพื้นฐานของ Z-Score โดย Z-Score มีเกณฑ์กำหนดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : เกณฑ์กำหนดของ Z-Score

ค่าของ z-score	เกณฑ์กำหนด
$\|Z\| > 3$	Outlier
$2 \le \|Z\| \le 3$	Questionable
$\|Z\| < 2$	Satisfactory

Z-Score สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้ดังนี้

2.3.2.1 Between – Laboratories Z-Score (ZB) คือ คะแนนที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ทดสอบของห้องปฏิบัติการนั้น ๆ กับค่า Consensus ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ

โดย $$ZB = \frac{S - \text{median}(S)}{\text{normIQR}(S)}$$

$$S = \text{Standardised Sum} = \frac{(A + B)}{\sqrt{2}}$$

A = ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐาน A ของแต่ละห้องปฏิบัติการ

B = ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐาน B ของแต่ละห้องปฏิบัติการ

median(S) = มัธยฐานของ standardised sum ของทุกห้องปฏิบัติการ

normIQR(S) = normIQR ของ standardised sum ของทุกห้องปฏิบัติการ

2.3.2.2 Within-Laboratory Z-Score (ZW) คือ คะแนนที่ได้จากการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างผลการ วิเคราะห์ทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานจำนวน 2 ชุดของห้องปฏิบัติการนั้น ๆ กับค่า Consensus ของผลต่างระหว่างผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 2 ชุดนั้น ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ

โดย $$ZW = \frac{D - median(D)}{normIQR(D)}$$

$$D = \frac{(B - A)}{\sqrt{2}}$$ ถ้า median (A) < median (B)

$$D = \frac{(A - B)}{\sqrt{2}}$$ ถ้า median (A) > median (B)

A = ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐาน A ของแต่ละห้องปฏิบัติการ

B = ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐาน B ของแต่ละห้องปฏิบัติการ

median(D) = มัธยฐานของ standardised difference ของทุกห้องห้องปฏิบัติการ

normIQR(D) = normIQR ของ standardised difference ของทุกห้องห้องปฏิบัติการ

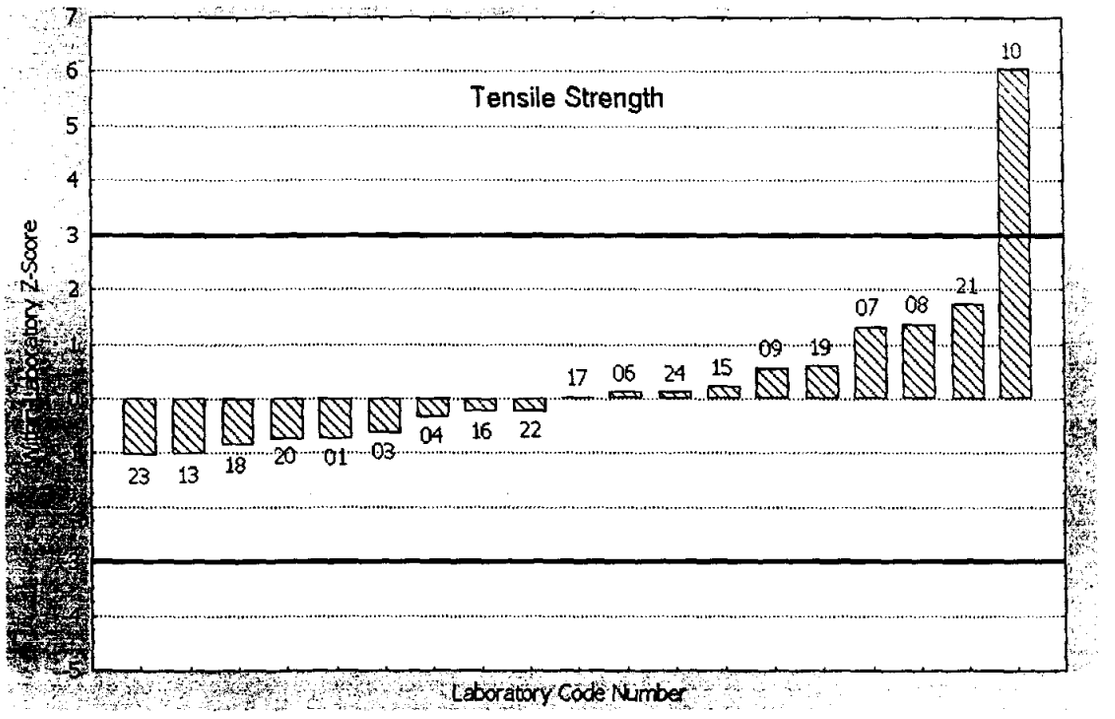
2.4 **การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟ** (Graphical Displays)

นอกจากการเสนอข้อมูลของผลการวิเคราะห์ ทดสอบซึ่งเป็นตัวเลขแสดงค่าสถิติที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้นำข้อมูลเหล่านั้นมานำเสนอในรูปแบบของกราฟ เพื่อช่วยให้สามารถ วิเคราะห์และตรวจสอบ ข้อมูลจากการวิเคราะห์ ทดสอบ ของแต่ละห้องปฏิบัติการได้สะดวกยิ่งขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

ข้อมูลที่นำมาเสนอในรูปแบบของกราฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.4.1 Z – Score Bar Chart

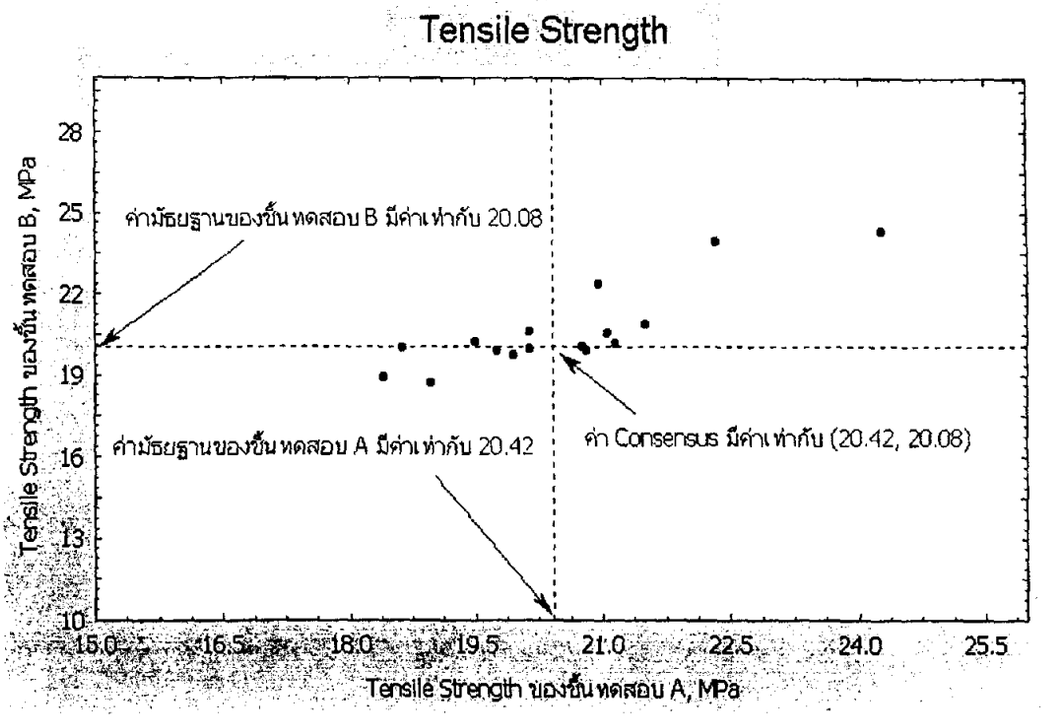
คือ กราฟแท่งที่ Plot จากผลการวิเคราะห์ ทดสอบในแต่ละรายการทดสอบ ซึ่งมีแกนแนวนอน (แกน X) แสดงรหัสหมายเลขของห้องปฏิบัติการ แกนแนวตั้ง (แกน Y) แสดงค่าของ Z-Score โดย Bar Chart ของห้องปฏิบัติการใดที่มีความสูงเกินเส้นทึบ (ที่ขนานกับแกน X) ที่จุด Y= 3 หรือ ต่ำกว่าเส้นทึบที่จุด Y = –3 ผลการวิเคราะห์ ทดสอบของห้องปฏิบัติการนั้นจะถูกจัดเป็น Outlier รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของ Z – Score Bar Chart (Within - Laboratory Z- Score) ของผลการทดสอบความต้านแรงดึงของยาง



รูปที่ 2 : ตัวอย่างของ Z – Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ของชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน (Lab. Code No. 10 จัดเป็น Outlier เนื่องจาก Bar Chart มีความสูงเกินเส้นทึบที่จุด Y = 3)

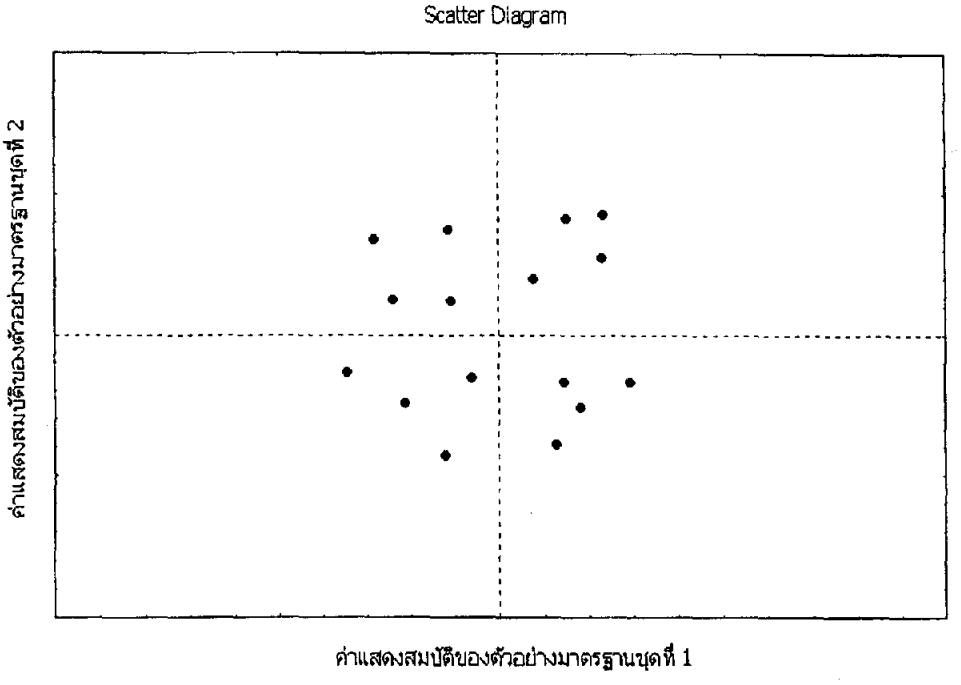
2.4.2.4 Scatter Diagram

คือ กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างตำแหน่งของข้อมูลผลการวิเคราะห์ ทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ กับค่า Consensus ของผลการทดสอบรายการนั้น ๆ จาก Diagram (รูปที่ 3) ค่า Consensus คือ จุดตัดของเส้นตรงประ 2 เส้นในแนวตั้ง (ขนานกับแกน Y) และแนวนอน(ขนานกับแกน X) โดยเส้นตรงประในแนวตั้งจะตัดกับแกน X ที่ X = ค่ามัธยฐานของชิ้นตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 1 และเส้นตรงประในแนวนอนจะตัดกับแกน Y ที่ Y = ค่ามัธยฐานของชิ้นตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 2 ตามลำดับ จุดแต่ละจุดบนกราฟ คือ จุด Coordinate ของผลการวิเคราะห์ ทดสอบชิ้นตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 1 และ ชิ้นตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 2 ที่ได้จากแต่ละห้องปฏิบัติการ



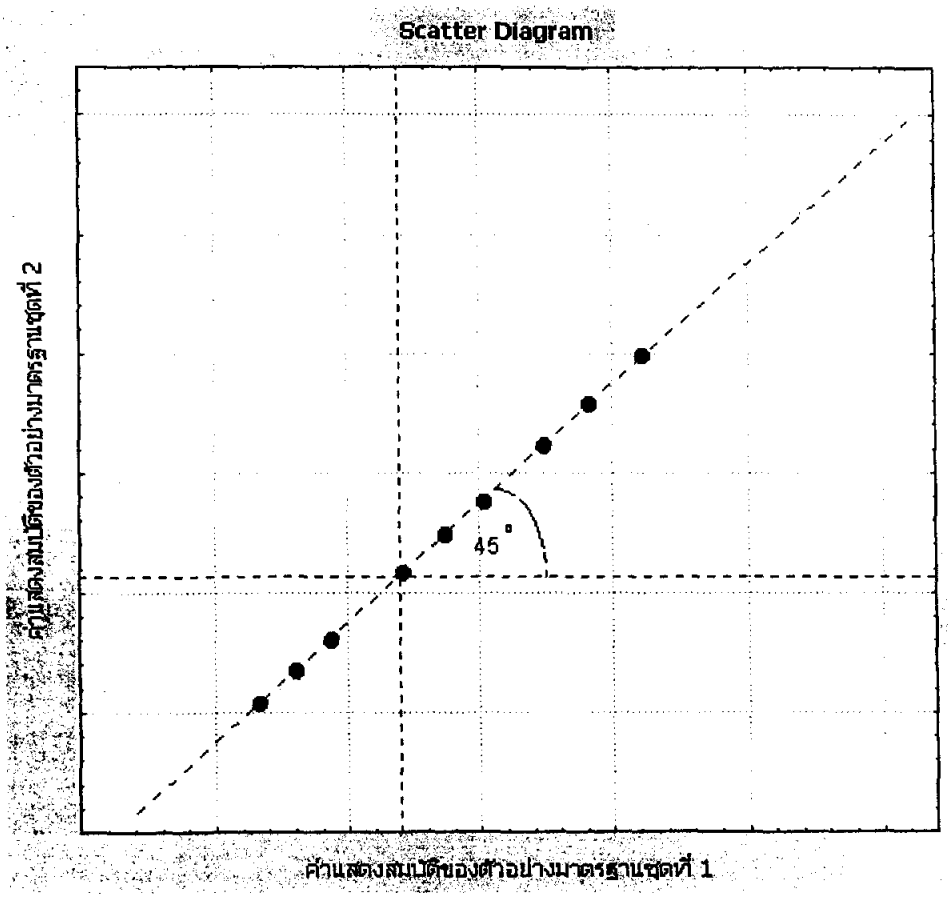
รูปที่ 3 : ตัวอย่างของ Scatter Diagram ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง ของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานจำนวน 2 ชุด

ถ้าผลการทดสอบที่ได้แต่ละห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกัน เนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่ผู้ทดสอบไม่สามารถตรวจสอบ และควบคุมได้ ลักษณะการกระจายของจุดบนกราฟจะปรากฏอยู่ใน 4 Quadrant เท่า ๆ กัน (รูปที่ 4) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติมักจะไม่ค่อยพบลักษณะของการกระจายเช่นนี้มากนัก โดยมากมักจะพบการกระจายของข้อมูลใน Quadrant ทางด้านขาวบน (Upper Right Quadrant) และ ทางด้านซ้ายล่าง (Lower Left Quadrant) มากกว่า



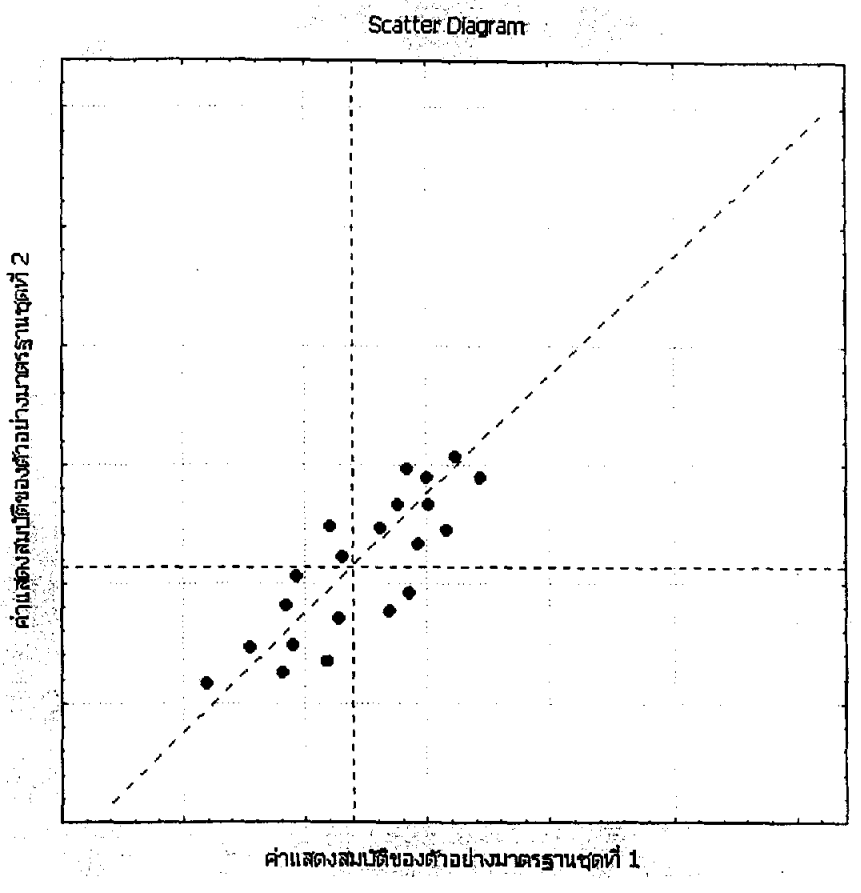
รูปที่ 4 : ลักษณะการกระจายของจุดบนกราฟ ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

ในขณะเดียวกัน ถ้าความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ ทดสอบ เกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ(Systematic Error) เพียงอย่างเดียว ซึ่งความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ เป็นความคลาดเคลื่อนที่ผู้วิเคราะห์ทดสอบสามารถตรวจสอบ และควบคุมได้ เช่น ความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลการวัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทดสอบ ซึ่งสามารถตรวจสอบและแก้ไขให้ถูกต้องได้โดยการนำไปสอบเทียบ เป็นต้น ซึ่งลักษณะการกระจายของจุดทุกจุดบนกราฟในกรณีนี้ จะกระจายอยู่บนเส้นทแยงมุม ซึ่งทำมุม 45 องศา กับเส้นตรงประ 2 เส้นที่ลากตั้งฉากกับกับแกน X และ แกน Y (รูปที่ 5) นั่นคือถ้าผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 1 มีค่ามาก ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 2 ย่อมมีค่ามากด้วย หรือในทางกลับกัน ถ้าผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 1 มีค่าน้อย ผลการทดสอบของตัวอย่างมาตรฐานชุดที่ 2 ย่อมมีค่าน้อยด้วย (เนื่องจากตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 2 ชุดที่แต่ละห้องปฏิบัติการได้รับ จะมีสมบัติเหมือน หรือใกล้เคียงกัน)



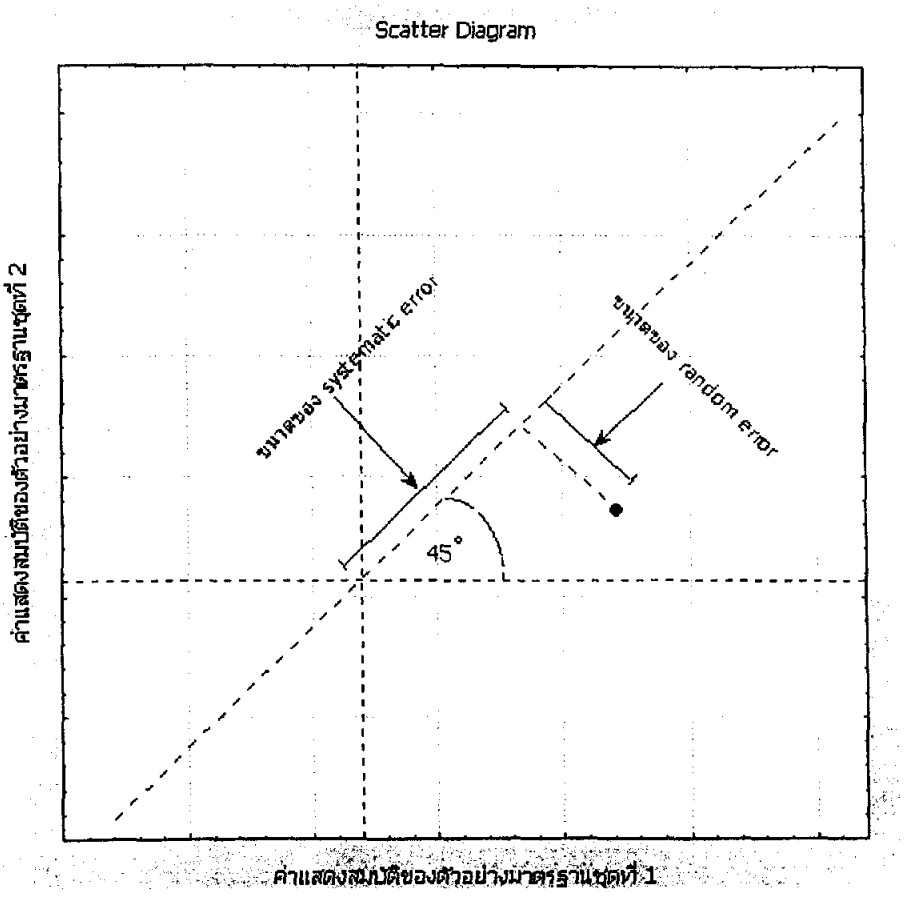
รูปที่ 5 : การกระจายของจุดบนกราฟซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบเพียงอย่างเดียว

ในทางปฏิบัติแล้วความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมักจะปรากฏอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นลักษณะการกระจายของจุดบนกราฟจะมีลักษณะคล้ายวงรี โดยมีเส้นทแยงมุม 45 องศา เป็นแกนของวงรี (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 : การกระจายของจุดบนกราฟซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มและความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

โดยขนาดของความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มมีค่าเท่ากับ ความยาวของเส้นตรงซึ่งลากอย่างตั้งฉากจากจุดบนกราฟ ไปตัดกับเส้นทแยงมุม 45 องศา และขนาดของความคลาดเคลื่อนเชิงระบบมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างจุดตัดของเส้นตรง 2 เส้น ซึ่งตั้งฉากกับแกน X และแกน Y กับ จุดตัดซึ่งลากอย่างตั้งฉากจากจุดบนกราฟมาตัดกับเส้นทแยงมุม 45 องศา (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 : ขนาดของความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม และความ คลาดเคลื่อนเชิงระบบ

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 เครื่องบดผสมแบบปิด(Internal Mixer) ของ Kneader ®

3.1.2 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง(Two-Roll Mill) ของ Hayakawa®

3.1.3 เครื่อง Rheometer แบบ Rotor type ของ rheOTECH®

3.1.4 แบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบยาง

3.1.5 เครื่องอัดไฮดรอลิกพร้อมแผ่นให้ความร้อน(Hydraulic Press)

3.1.6 หัวตัด(Cutting Die)รูปดัมบ์เบลล์(Die C) ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D412

3.1.7 เครื่องทดสอบแรงดึงของ Zwick

3.1.8 Dial gauge ของ Mitutoyo ID-C S/N 543

3.1.9 เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม ของ Precica 4000C

3.2 สารเคมี สารละลาย และวิธีเตรียม

3.2.1 ยาง

– ยางธรรมชาติ(ยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทไทยบำรุงเคมิเคิล จำกัด

3.2.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)

– กำมะถัน (Sulfur Powder for Rubber Vulcanizing) มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.93 มีเถ้า (Ash) ร้อยละ 0.01 ความชื้นร้อยละ 0.04 เป็นสารเคมีของบริษัทโคซัน (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator)

– MBTS (Dibenzothiazyl Disulfide) ชื่อทางการค้า "Oricel-DM" มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีเถ้า (Ash) ร้อยละ 0.3 ความชื้นร้อยละ 0.3 เป็นสารเคมีของบริษัทโคซัน (ประเทศไทย) จำกัด

– DPG (Diphenylguanidine) ชื่อทางการค้า " Soxinol " มีลักษณะเป็น ผงสีขาว มีเถ้า (Ash) ร้อยละ 0.2 ความชื้นร้อยละ 0.2 เป็นสารเคมีของ บริษัทโคซัน (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.3 สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activator)

– Zinc Oxide มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ความชื้นร้อยละ 0.2 เป็นสารเคมีของบริษัทเกรดแมน (ประเทศไทย) จำกัด

– Stearic Acid (Rubber Grade) มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กสีขาว เป็นสารเคมีของบริษัทเกรดแมน (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.4 สารตัวเติม(Filler)

– แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดเคลือบผิวด้วยกรดไขมัน (Fatty Acid) ชื่อทางการค้า" Turbo 1" มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.5 เป็นสารเคมีของบริษัทปูนคุณภาพ จำกัด

– เคลย์ (Kaolin Clay) มีลักษณะเป็น ผงสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.60 เป็นสารเคมีของบริษัทกิจไพบูลย์เคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.2.5 สารช่วยการแปรรูป

– Naphthenic Oil เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.927 เป็นสารเคมีของบริษัทลักซ์เคมอินเตอร์เนชันแนล จำกัด

3.1.2.6 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ

– Anox T (Alkylated Phenol) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.927 เป็นสารเคมีของบริษัทโคซัน(ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.7 สีแดง(Red Pigment) มีลักษณะเป็น ผงสีแดง เป็นสารเคมีของบริษัทกิจไพบูลย์เคมีภัณฑ์ จำกัด

3.2.3 วิธีเตรียม

บดผสมยางกับสารเคมีตามสูตรดังแสดงในตารางที่ ค-1 (ภาคผนวก ค) โดยมีขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้

สถาบันวิทยบริการ

นำยางคอมเปาวด์ที่ได้จากการบดผสม (ประมาณ 20 กรัม) ไปทดสอบสมบัติวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Rheometer ที่อุณหภูมิ 150°C เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูป แล้วนำยางส่วนที่เหลือมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 15 ซม.× 15 ซม.× 0.2 ซม. ด้วยเทคนิคการอัดแบบ(Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 นาที (ระยะเวลาที่เหมาะสมซึ่งหาด้วยวิธีการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) จากนั้นนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์ด้วยแบบตัดแบบ C (die C) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 เพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบยางมาตรฐานต่อไป

ชิ้นทดสอบยางมาตรฐานที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการทดสอบความชำนาญนั้น จะต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถคงสมบัติเดิม หรือสมบัติที่ต้องการตรวจสอบได้ตลอดระยะเวลาของการดำเนินการทดสอบความชำนาญ โดยเริ่มตั้งแต่การจัดส่งจนกระทั่งถึงระยะเวลาที่กำหนดให้แต่ละห้องปฏิบัติ

ดำเนินการทดสอบ ดังนั้นก่อนการจัดส่งชิ้นทดสอบยางมาตรฐานให้กับห้องปฏิบัติการ ที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ จึงได้ดำเนินการทดสอบสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน และ ความคงสมบัติเดิมของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานที่เตรียมได้ ดังนี้

3.2.3.1 การทดสอบสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน

ในการทดสอบสมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เลือกสุ่มชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้งหมดที่เตรียมได้ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) มาจำนวน 100 ชิ้น แล้วจัดแบ่งอย่างสุ่มออกเป็น 10 กลุ่ม ๆ ละ 10 ชิ้น นำชิ้นทดสอบแต่ละกลุ่มมาทดสอบสมบัติการดึงได้แก่ ความต้านแรงดึง ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 และความยืดเมื่อขาด แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละรายการมาวิเคราะห์สมบัติความเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยวิธีทางสถิติที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว(One Way Analysis of Variance) ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มของตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป (ภาคผนวก ฉ) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล(ภาคผนวก ง) สรุปว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานแต่ละกลุ่มในแต่ละรายการทดสอบไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05(ความเชื่อมั่นร้อยละ 95) หรือชิ้นทดสอบยางมาตรฐานแต่ละกลุ่มมีสมบัติการดึงไม่แตกต่างกัน

3.2.3.2 การทดสอบความคงสมบัติเดิม

สำหรับการทดสอบความคงสมบัติเดิม ได้เลือกสุ่มชิ้นทดสอบส่วนที่เหลือด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 50 ชิ้น แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ภายหลังจากจัดส่งชิ้นทดสอบยางมาตรฐานให้กับห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญแล้ว นำชิ้นทดสอบทั้งหมดที่เก็บรักษาไว้มาทดสอบสมบัติการดึง ได้แก่ ความต้านแรงดึง ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 และความยืดเมื่อขาด ในสัปดาห์ที่ 3 แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละรายการมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติที่เรียกว่า Independent samples t-test (ภาคผนวก ช) ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย ที่ได้จากกลุ่มของตัวอย่างจำนวน 2 กลุ่ม (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแรกคือค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สุ่มมาจากข้อ 3.2.3.1 จำนวน 50 ค่า) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ(ภาคผนวก จ) สรุปว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้ง 2 กลุ่มมีสมบัติการดึงไม่แตกต่างกันภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์

ภายหลังจากการทดสอบสมบัติต่างๆของยางมาตรฐานแล้ว ได้ดำเนินการจัดส่งชิ้นทดสอบ ทางไปรษณีย์(พัสดุลงทะเบียน) และกำหนดให้ถึงผู้รับภาย 1 สัปดาห์ โดยห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญจะได้รับหมายเลขของห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการรายงานผล และอ้างถึงในการสรุปผลการทดสอบ พร้อมกับชิ้นทดสอบยางมาตรฐานจำนวน 2 ชุด (A และ B) ซึ่งเป็นยางสูตรเดียวกัน (ตารางที่ ค-1) ที่ได้จากการเลือกสุ่มอย่างง่าย เอกสารแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบ และแบบฟอร์มรายงาน

ผลการทดสอบ ซึ่งห้องปฏิบัติการนั้น จะต้องดำเนินการทดสอบสมบัติการดึงของยางตามวิธีทดสอบใน มาตรฐาน ASTM D 412 ได้แก่ ความต้านแรงดึง ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ความเค้นดึงที่ ความยืดร้อยละ 300 และความยืดเมื่อขาด ภายใน 2 สัปดาห์ภายหลังจากที่ได้รับชิ้นทดสอบ และ ส่งแบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบกลับมายังโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ภายใน 1 สัปดาห์ เพื่อการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 : ผลการทดสอบความต้านแรงดึง, เมกะพาสคัล

Lab Code No.	Test Piece		Between-Labs Z-Score	Within-Lab Z-Score
	A	B		
01	19.95	19.74	-0.37	0.17
03	18.97	18.71	-1.08	0.23
04	20.15	20.58	0.01	-0.55
05	20.68	-		
06	19.51	20.21	-0.36	-0.86
07	18.63	20.00	-0.75	-1.62
08	20.97	22.37	0.94	-1.65
09	20.83	19.88	0.00	1.01
10	97.29	93.22	53.52§	4.56§
13	0.53	0.48	-14.19§	-0.01
15	14.62	15.38	-3.83§	-0.93
16	18.41	18.91	-1.21	-0.63
17	21.52	20.89	0.61	0.65
18	19.76	19.90	-0.38	-0.22
19	21.16	20.19	0.48	0.22
20	20.14	19.93	-0.23	0.17
21	22.33	23.95	1.99	-1.90
22	21.06	20.56	0.32	0.50
23	24.28	24.32	2.82	-0.11
24	20.78	20.08	0.05	0.73

Note : 1. § denotes an outlier, i.e. $|z - score| > 3$.

2. – denotes no result returned for this sample.

3. The results obtained from individual laboratories are reported as the median value.

ตารางที่ 3 : Summary Statistics ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง

Summary Statistics	Test piece A	Test piece B
No. of results	20	19
Median	20.15	20.08
Normalised IQR	1.39	0.87
Robust CV (%)	6.79	4.32
Minimum	0.53	0.48
Maximum	97.29	93.22
Range	96.76	92.74

ตารางที่ 4 : ผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100, เมกะพาสคัล

Lab Code No.	Test Piece		Between-Labs Z-Score	Within-Lab Z-Score
	A	B		
01	1.61	1.71	0.01	0.00
03	1.60	1.59	-0.34	-1.47
04	1.67	1.61	-0.10	-0.65
05	-	-		
06	1.57	1.44	-0.84	0.49
07	1.53	1.38	-1.11	0.82
08	1.94	1.83	1.25	0.16
09	1.54	1.51	-0.73	-1.14
10	2.32	2.24	3.42§	-0.33
13	-	-		
15	1.86	1.71	0.70	0.82
16	1.78	1.88	0.95	0.00
17	1.63	1.60	-0.23	-1.14
18	1.60	1.71	-0.01	0.16
19	1.71	1.70	0.26	-1.47
20	1.16	1.05	-3.04§	0.16
21	1.93	2.05	1.83	0.33
22	1.94	1.76	1.06	1.31
23	1.84	1.85	1.03	-1.47
24	1.65	1.60	-0.18	-0.82

Note : 1. § denotes an outlier, i.e. $|z - score| > 3$.

2. - denotes no result returned for this test.

3. The results obtained from individual laboratories are reported as the median value.

ตารางที่ 5 : Summary Statistics ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100

Summary Statistics	Test piece A	Test piece B
No. of results	18	18
Median	1.66	1.71
Normalised IQR	0.19	0.18
Robust CV (%)	11.39	10.33
Minimum	1.16	1.05
Maximum	2.32	2.24
Range	1.16	1.19

ตารางที่ 6 : ผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300, เมกะพาสคัล

Lab Code No.	Test Piece		Between-Labs Z-Score	Within-Lab Z-Score
	A	B		
01	3.72	3.65	0.06	-0.22
03	3.39	3.40	-0.35	-0.66
04	3.87	3.75	0.24	0.15
05	3.79	3.10	-0.28	4.33§
06	3.60	3.45	-0.16	0.37
07	3.17	2.93	-0.84	1.03
08	4.66	4.56	1.38	0.00
09	3.51	3.43	-0.24	-0.15
10	0.36	0.34	-4.68§	-0.59
13	-	-		
15	3.45	3.35	-0.34	0.00
16	4.02	4.66	1.00	3.96§
17	3.70	3.60	0.01	0.00
18	3.12	3.14	-0.73	-0.59
19	3.69	3.73	0.10	-0.44
20	3.09	2.83	-0.97	1.17
21	4.85	5.01	1.84	0.44
22	4.79	4.32	1.30	2.71
23	4.37	4.31	1.00	-0.29
24	3.71	3.57	0.00	0.29

Note : 1. § denotes an outlier, i.e. $|z - score| > 3$.

2. - denotes no result returned for this test.

3. The results obtained from individual laboratories are reported as the median value.

ตารางที่ 7 : Summary Statistics ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300

Summary Statistics	Test piece A	Test piece B
No. of results	19	19
Median	3.70	3.57
Normalised IQR	0.47	0.87
Robust CV (%)	12.62	24.29
Minimum	0.36	0.34
Maximum	4.85	5.01
Range	4.49	4.67

ตารางที่ 8 : ผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด,ร้อยละ

Lab Code No.	Test piece		Between-Labs Z-Score	Within-Lab Z-Score
	A	B		
01	620.0	605.0	0.05	0.17
03	608.3	585.5	-0.14	0.65
04	585.8	589.3	-0.26	-0.54
05	628.0	668.0	0.49	1.71
06	775.0	775.0	2.06	-0.75
07	675.5	713.0	1.06	1.55
08	508.0	522.5	-1.15	0.14
09	634.2	630.7	0.30	-0.54
10	182.5	182.5	-5.27§	-0.75
13	450.0	440.0	-2.02	-0.14
15	560.0	590.3	-0.41	1.11
16	567.8	526.3	-0.76	1.80
17	610.6	608.8	0.02	-0.64
18	694.5	700.6	1.10	-0.38
19	636.0	621.0	0.25	0.17
20	724.2	740.6	1.54	0.26
21	501.8	501.5	-1.32	-0.73
22	440.0	466.0	-1.92	0.85
23	620.0	620.0	0.14	-0.75
24	605.4	608.5	-0.02	-0.56

Note : 1. § denotes an outlier, i.e. $|z - score| > 3$.

2. - denotes no result returned for this test.

3. The results obtained from individual laboratories are reported as the median value.

ตารางที่ 9 : Summary Statistics ของผลการทดสอบความยืด, ร้อยละ

Summary Statistics	Test piece A	Test piece B
No. of results	20	20
Median	609.5	606.8
Normalised IQR	74.95	92.66
Robust CV (%)	12.30	15.27
Minimum	182.5	182.5
Maximum	775.0	775.0
Range	592.5	592.5

บทที่ 5

วิจารณ์ผลและสรุปผลการศึกษาทดลอง

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 ความต้านแรงดึง

ความต้านแรงดึง คือ ความต้านทานแรงสูงสุดเมื่อยางยืดตัวออก โดยที่ยางนั้นไม่ขาดออกจากกัน จากผลการทดสอบความต้านแรงดึงของห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ พบว่า Between – Laboratories Z-Score ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการนั้นๆ กับค่า Consensus ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ (Satisfactory) ร้อยละ 78.85 ของจำนวนห้องปฏิบัติการทั้งหมด ในขณะเดียวกันมีคะแนนของห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 13 และ 15 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 15.79 ของจำนวนห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่ส่งผลการทดสอบกลับมา มีคะแนนไม่จัดอยู่ในกลุ่ม(Outlier) เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 3 ซึ่งเป็นตารางแสดงผลการทดสอบความต้านแรงดึง พบว่าค่า Between – Laboratories Z-Score ของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 มีค่าที่ค่อนข้างสูงผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 53.52 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านแรงดึงที่ได้ คือ 97.29 MPa และ 93.22 MPa สำหรับชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน A และ B ตามลำดับ โดยที่ค่า Concensus ของความต้านแรงดึงของกลุ่มห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญมีค่าเพียง 20.42 MPa และ 20.08 MPa เท่านั้นสำหรับชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน A และ B โดยทั่วไปในการทดสอบความต้านแรงดึงของยาง จะใช้อุปกรณ์ที่มีความสำคัญซึ่งจัดอยู่ในอันดับต้นๆ อยู่ 2 ประการ คือ เครื่องทดสอบแรงดึงซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าของแรงดึงขณะยืดชิ้นทดสอบออกจนกระทั่งขาดออกจากกัน และอุปกรณ์สำหรับวัดความหนาของชิ้นทดสอบ ความต้านแรงดึงของยางมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบยางขาดออกจากกัน (ซึ่งจะต้องวัดค่าโดยห้องปฏิบัติการ) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ โดยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากับความกว้างของชิ้นทดสอบ(ชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้ง 2 ชุดมีความกว้างเท่ากับ 6.00 มิลลิเมตร ซึ่งผู้จัดการทดสอบความชำนาญได้แจ้งให้แต่ละห้องปฏิบัติการทราบล่วงหน้าแล้ว) คูณกับความหนาของชิ้นทดสอบ(ซึ่งจะต้องวัดค่าโดยห้องปฏิบัติการ แต่ผู้จัดการทดสอบความชำนาญทราบก่อนล่วงหน้าว่าชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้ง 2 ชุดมีความหนา 2.00 ± 0.20 มิลลิเมตร) เมื่อตรวจสอบสถานะการสอบเทียบ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความต้านแรงดึงของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 (ตารางที่ ฌ-1 ของภาคผนวก ฌ) พบว่าอุปกรณ์ทั้งสอง ได้แก่ เครื่องทดสอบแรงดึง และอุปกรณ์สำหรับวัดความหนา ได้รับการสอบเทียบ แต่มีข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ อุปกรณ์ที่ห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 ใช้วัดความหนาของชิ้นทดสอบ ห้องปฏิบัติการนั้นได้ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ วัดความหนาของชิ้นทดสอบ ซึ่งในการทดสอบความต้านแรงดึงของยางตามวิธีทดสอบมาตรฐานของ ASTM D 412 :

Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer–Tension (วิธีทดสอบอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบความชำนาญในครั้งนี้) ระบุว่าในการวัดความหนาของชิ้นทดสอบให้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Dial Gauge ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวเมื่อสัมผัสกับผิวหน้าของชิ้นทดสอบ จะมีแรงสัมผัสไปกระทำกับผิวหน้าของยางอย่างคงที่และสม่ำเสมอในการวัดความหนาแต่ละครั้ง โดยชิ้นทดสอบยางหนึ่งชิ้นจะต้องวัดความหนา 3 ครั้ง การใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความหนาของชิ้นทดสอบยางผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญที่สูงมาก เนื่องจากในการใช้งานเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จะต้องออกแรงดันเพื่อเลื่อนให้ก้านทั้งสองของเวอร์เนียร์ไปสัมผัสกับผิวหน้าของยางซึ่งมีความนิ่มและยืดหยุ่นสูง ดังนั้นถ้าใช้แรงสัมผัสที่ผิวหน้าของยางในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน จะทำให้ค่าความหนาที่วัดได้ไม่มีความแม่นยำและคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่า การที่ผลการทดสอบความต้านแรงดึงของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 มีค่าค่อนข้างสูงผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นๆ อาจจะเนื่องมาจากการใช้เครื่องมือวัดความหนาของชิ้นทดสอบยางไม่เหมาะสม และผู้ใช้อาจจะไม่มีความชำนาญอย่างเพียงพอ ในการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความหนาของชิ้นทดสอบยาง สำหรับ Within-Laboratory Z-Score ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้จากการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างผลการทดสอบของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชุด ของแต่ละห้องปฏิบัติการกับค่า Consensus ของผลต่างระหว่างผลการทดสอบของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชุดนั้น ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทั้งหมด พบว่าห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 จัดเป็น Outlier เพียงห้องปฏิบัติการเดียว ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่า ห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 อาจจะมีความไม่สม่ำเสมอในวิธีดำเนินการทดสอบในแต่ละครั้ง จึงทำให้ Within-Laboratory Z-Score มีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ทั้ง ๆ ที่ชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชุดที่ห้องปฏิบัติการนั้นได้รับเป็นยางที่มีคุณสมบัติเดียวกัน

5.1.2 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100

การทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 เป็นการวัดค่าของแรงดึงเมื่อยืดยางออกไป 2 เท่าของความยาวเดิม ถ้าใช้แรงดึงมากแสดงว่ายางมีความตึงตัวมาก จากผลการทดสอบความความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ของห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ พบว่า Between – Laboratories Z-Score ของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 และ 20 จัดเป็น Outlier ซึ่งในการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 นอกจากการวัดค่าของแรงดึงแล้ว จะต้องวัดความยืดของยางด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ในการวัดความยืดของยางจะต้องมีความแม่นยำสูง และต้องได้รับการสอบเทียบ(Calibration)อย่างสม่ำเสมอ เมื่อตรวจสอบสถานะการสอบเทียบของอุปกรณ์ที่วัดความยืดของยาง ซึ่งห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 (ตารางที่ ฌ-1 ของภาคผนวก ฌ) ใช้ในการทดสอบความชำนาญครั้งนี้ พบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวไม่ได้รับการสอบเทียบ ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้ Between – Laboratories Z-Score ของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 จัดเป็น Outlier อาจจะเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ได้รับการสอบเทียบอย่างเหมาะสม นอกเหนือจากสาเหตุที่ได้อธิบายในข้อ 5.1.1 แล้ว ส่วน Between – Laboratories Z-Score ห้องปฏิบัติการหมายเลข 20 จัดเป็น Outlier ด้วย ทั้งๆ ที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้รับการสอบเทียบ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะและรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้วัดความยืดของยาง ซึ่งเป็นแบบ

Clip – on และในการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องใช้ Grip ของอุปกรณ์ทดสอบหนีบบนชิ้นทดสอบด้วย เพื่อติดตามการยืดตัวของยาง ในบางครั้ง Grip ซึ่งจับอยู่บนชิ้นทดสอบในขณะที่ยางกำลังยืดตัวออก อาจจะมีการเคลื่อนตัวออกจากระยะพิกัดอ้างอิงได้ เมื่อยางมีการยืดตัวมากๆ · ดังนั้นผู้ดำเนินการทดสอบจะมีทักษะและความชำนาญ และต้องคอยติดตาม ตรวจสอบอยู่เสมอขณะทำการทดสอบว่ามีเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าผู้ดำเนินการทดสอบไม่มีทักษะและความชำนาญที่เพียงพออาจจะไม่ทราบสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าสาเหตุที่ทำให้ Between – Laboratories Z- Score ห้องปฏิบัติการหมายเลข 20 จัดเป็น Outlier ทั้งๆ ที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้รับการสอบเทียบ อาจจะเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของ Grip ของอุปกรณ์วัดความยืดที่ใช้ในการทดสอบ จึงทำให้ข้อมูลของผลการทดสอบไม่จัดรวมอยู่ในกลุ่มของห้องปฏิบัติการทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ สำหรับ Within-Laboratory Z-Score จัดอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และไม่มีห้องปฏิบัติการใดจัดเป็น Outlier

5.1.3 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300

การทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 3 เป็นการวัดค่าของแรงดึงเมื่อยืดยางออกไป 4 เท่าของความยาวเดิม จากผลการทดสอบความความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ของห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ พบว่า Between – Laboratories Z-Score ของห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 จัดเป็น Outlier ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับข้อ 5.1.2 สำหรับ Within-Laboratory Z-Score พบว่าห้องปฏิบัติการหมายเลข 05 และ 16 จัดเป็น Outlier ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับข้อ 5.1.2 เช่นเดียวกัน

5.1.4 ความยืดเมื่อขาด

การทดสอบความยืดเมื่อขาดเป็นการทดสอบความสามารถในการยืดตัวของยาง ถ้ายางมีความสามารถในการยืดตัวมากก็จะมีค่าความยืดเมื่อขาดสูงตามไปด้วย จากตรวจสอบ Between – Laboratories Z-Score ของการทดสอบความยืดเมื่อขาด พบว่าห้องปฏิบัติการหมายเลข 10 มี Between – Laboratories Z-Score จัดเป็น Outlier ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับข้อ 5.1.2 สำหรับ Within-Laboratory Z-Score จัดอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และไม่มีห้องปฏิบัติการใดจัดเป็น Outlier แสดงว่าขั้นตอนที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละครั้งของแต่ละห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ มีความสม่ำเสมอดี

5.2 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบความชำนาญของสมบัติการดึงของยาง ในแต่ละรายการทดสอบที่ได้จากแต่ละห้องปฏิบัติการ(ตัวเลข 01 ถึง 24 คือรหัสของห้องปฏิบัติการ) สามารถสรุปโดยใช้ Z-Score เป็นเกณฑ์ได้ดังนี้

5.2.1 ความต้านแรงดึง

ตารางที่ 10 : Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง

Between-Laboratories Z-Score									
Satisfactory					Questionable	Outlier			
01	03	04	06	07					
08	09	16	17	18	23	10	13	15	
19	20	21	22	24					

Satisfactory : 78.95%, Questionable : 5.26%, Outlier : 15.79%

ตารางที่ 11 : Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง

Within-Laboratory Z- Score						
Satisfactory					Questionable	Outlier
01	03	04	06	07		
08	09	13	15	16		10
17	18	19	20	21		
22	23	24				

Satisfactory : 94.74%, Outlier : 5.26%

5.2.2 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100

ตารางที่ 12 : Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100

Between-Laboratories Z-Score		
Satisfactory	Questionable	Outlier
01 03 04 06 07 08 09 15 16 17 18 19 21 22 23 24		10 20

Satisfactory : 88.89%, Outlier : 11.11%

ตารางที่ 13 : Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100

Within-Laboratory Z- Score		
Satisfactory	Questionable	Outlier
01 03 04 06 07 08 09 10 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24		

Satisfactory : 100.00%

5.2.3 ความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300

ตารางที่ 14 : Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300

Between-Laboratories Z-Score							
Satisfactory						Questionable	Outlier
01	03	04	05	06			
07	08	09	15	16			10
17	18	19	20	21			
22	23	24					

Satisfactory : 94.74%, Outlier : 5.26%

ตารางที่ 15 : Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300

Within-Laboratory Z- Score							
Satisfactory						Questionable	Outlier
01	03	04	06	07			
08	09	10	15	17		22	05 16
18	19	20	21	23			
24							

Satisfactory : 84.21%, Questionable : 5.26%, Outlier : 10.53%

5.2.4 ความยืดเมื่อขาด

ตารางที่ 16 : Between-Laboratories Z-Score ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด

Between-Laboratories Z-Score		
Satisfactory	Questionable	Outlier
01 03 04 05 07 08 09 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	06 13	10

Satisfactory : 85.00%, Questionable : 10.00%, Outlier : 5.00%

ตารางที่ 17 : Within-Laboratory Z- Score ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด

Within-Laboratory Z- Score		
Satisfactory	Questionable	Outlier
01 03 04 05 06 07 08 09 10 13 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24		

Satisfactory : 100.00%

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินงานขอขอบคุณผู้อำนวยการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม คุณธิดา เกิดกำไร และหัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1 คุณพายับ นามประเสริฐ ในการให้คำปรึกษาและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้กิจกรรมทดสอบความชำนาญสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านในการให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องบดผสมและขึ้นรูปยาง สำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน และขอขอบคุณ Mr. Mark Bunt ซึ่งเป็น Statistician ของหน่วยงาน Proficiency Testing ของ National Association of Testing Authorities (NATA) ประเทศออสเตรเลีย ในการให้คำปรึกษาและข้อแนะนำเกี่ยวกับ Robust Statistics ซึ่งใช้ในการประมวลผลข้อมูลจากทดสอบความชำนาญในครั้งนี้

บรรณานุกรม

1. American Society for Testing and Materials. Rubber–Material, Equipment and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets. In **Annual Book of ASTM standard : Rubber**. Washington, DC. : ASTM 2000.p.447-452.

2. American Society for Testing and Materials. Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer–Tension. In **Annual Book of ASTM standard : Rubber**. Washington, DC. : ASTM 2001.p.43-55.

3. National Association of Testing Authorities. **Guide to NATA Proficiency Testing 2002 version 2**. Australia. p.14-24.

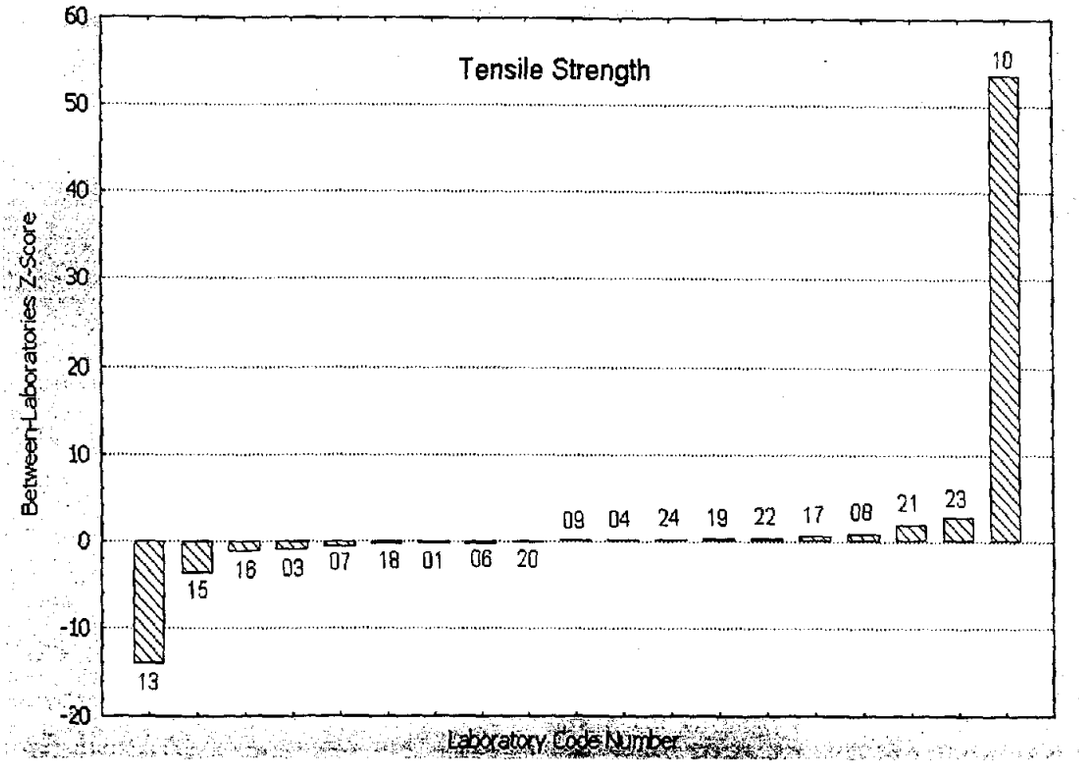
4. W.J. Youden. Graphical Diagnosis of Interlaboratory Test Results. **Industrial Quality Control** May, 1959, Vol. *xv*, no.11, p.133-137.

5. Grant T. Wernimont **Use of Statistics to Develop and Evaluate Analytical Methods**. Arlington : AOAC International, 1993.

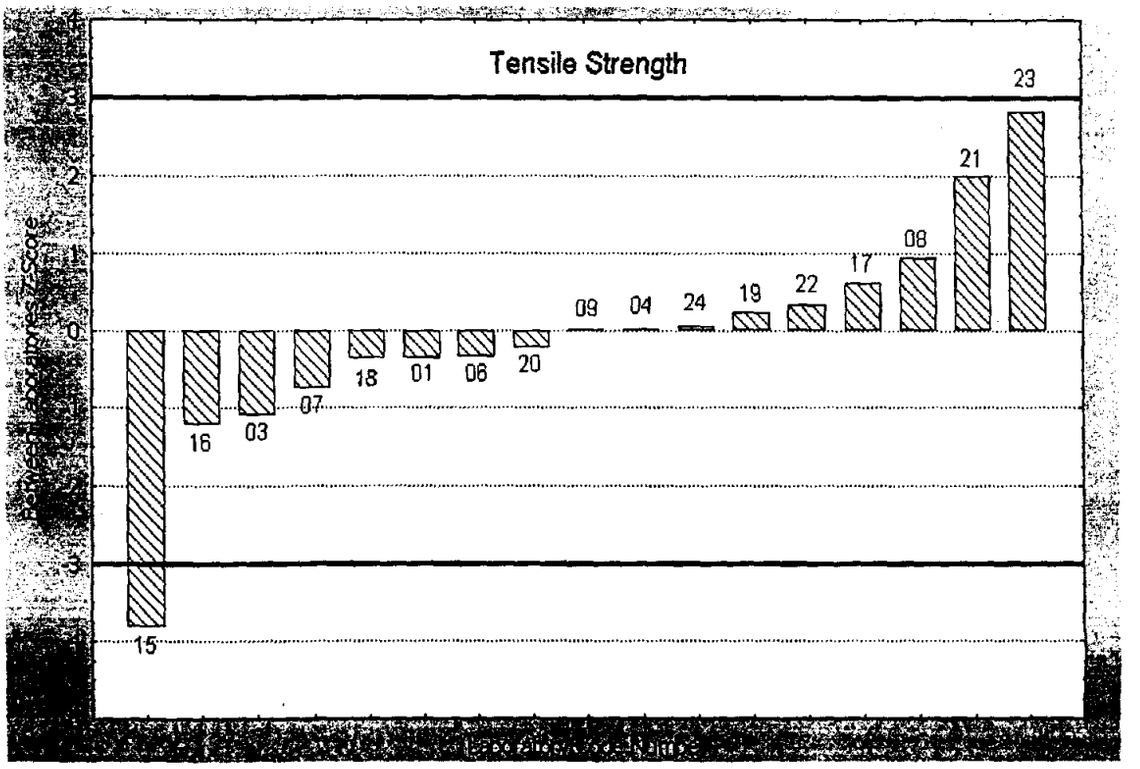
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Z – Score Bar Chart

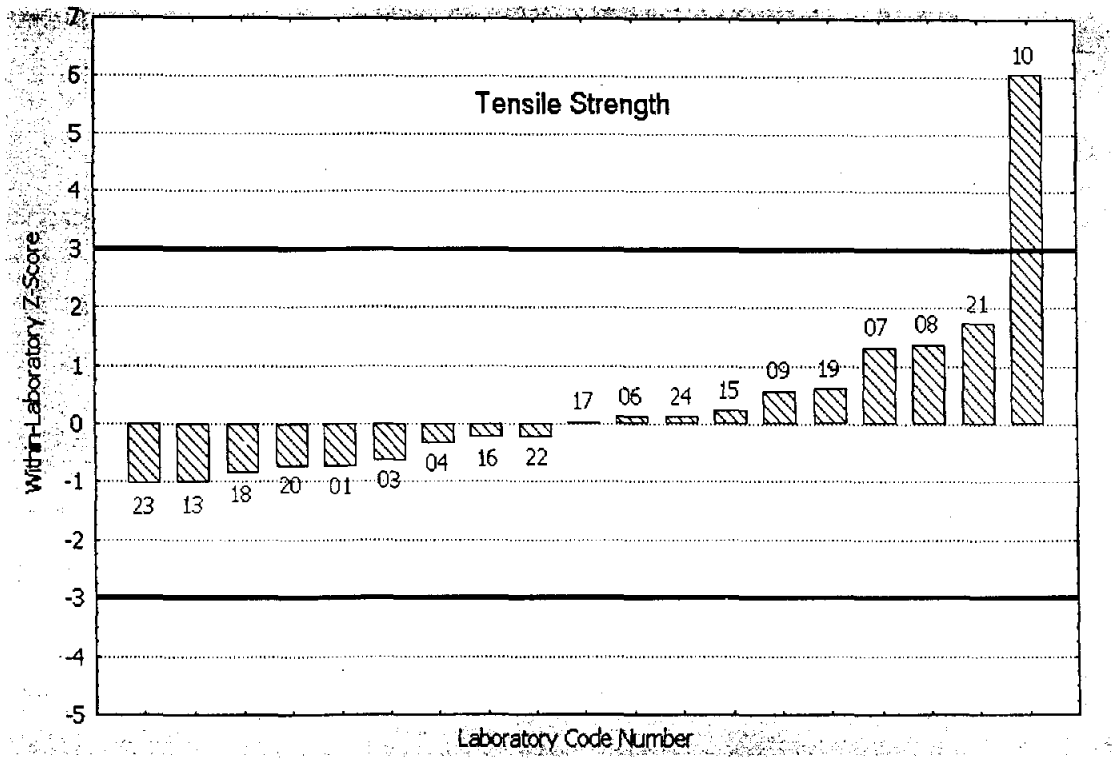


รูปที่ 8 : Between - Laboratories Z-score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง

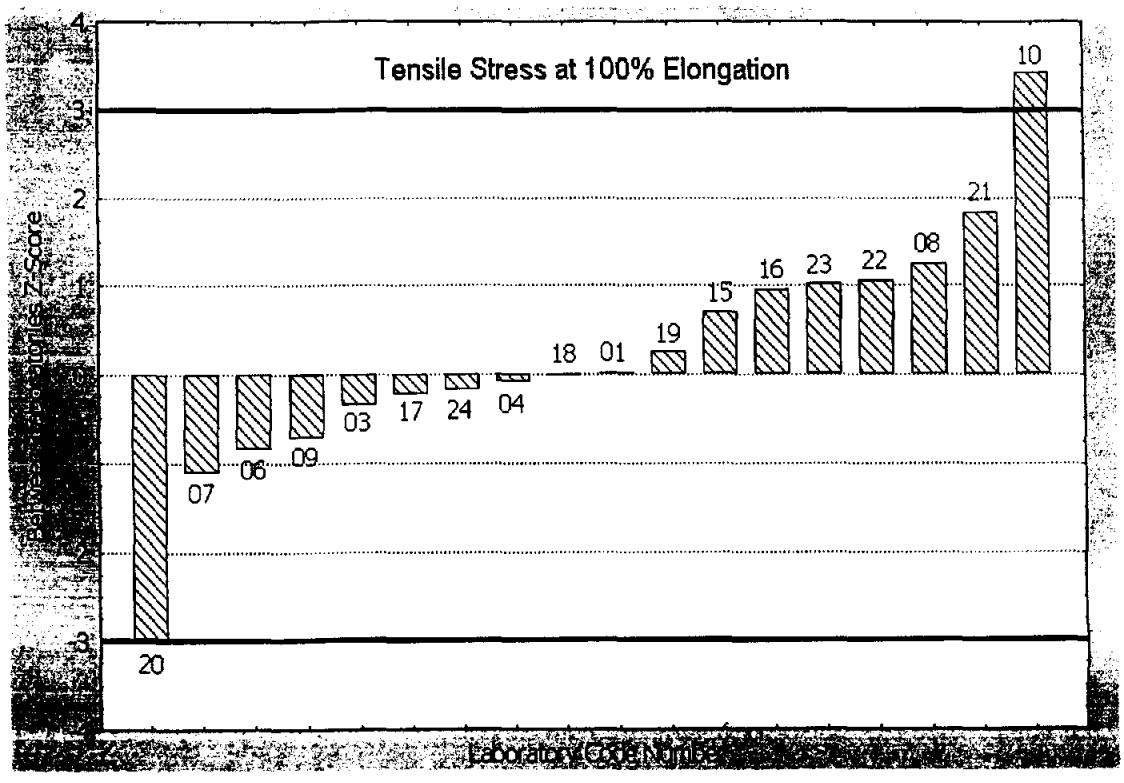


รูปที่ 9 : Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง

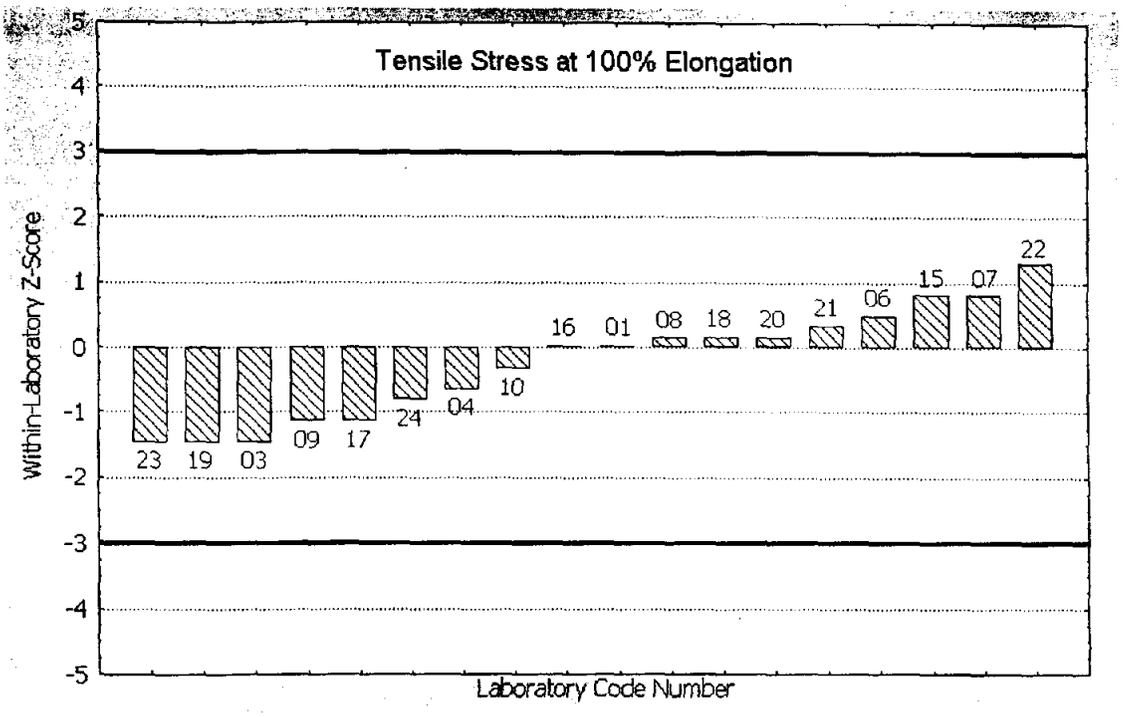
(ไม่รวม Lab code no. 10 และ 13)



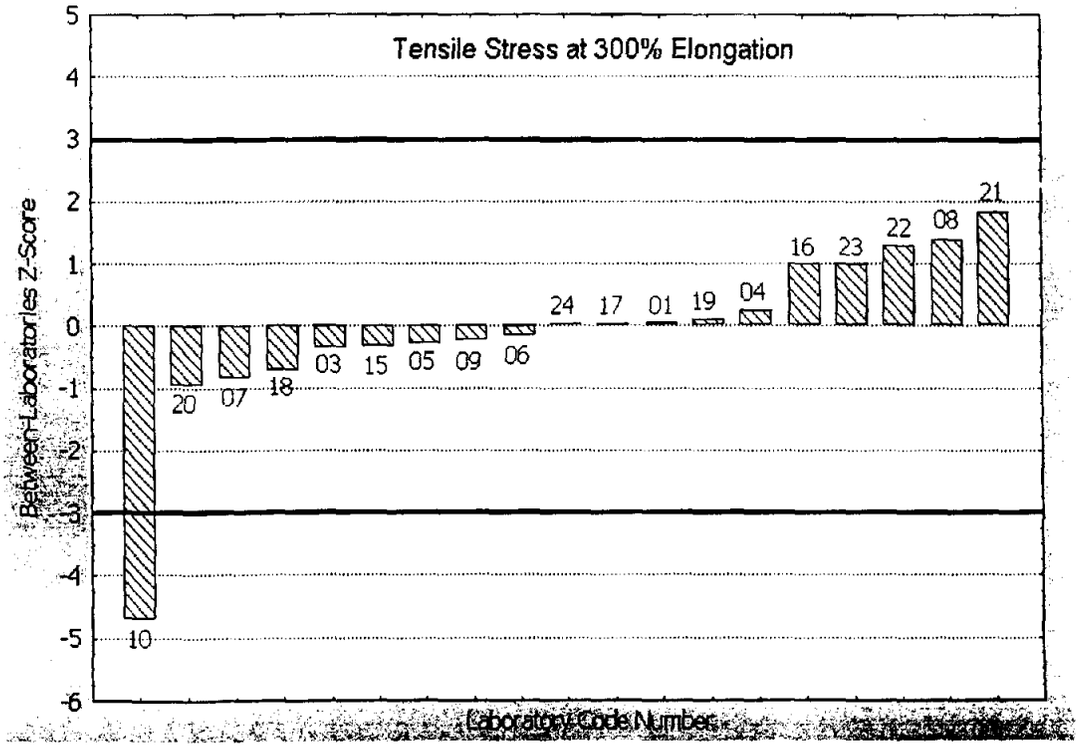
รูปที่ 10 : Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง



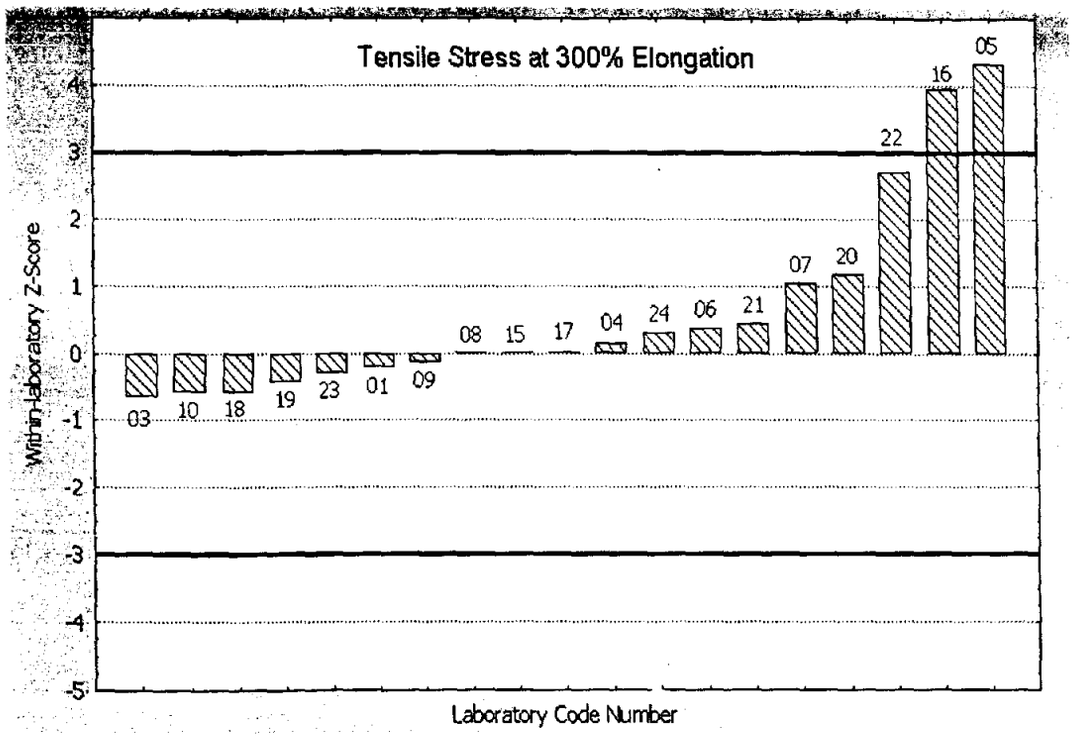
รูปที่ 11 : Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100



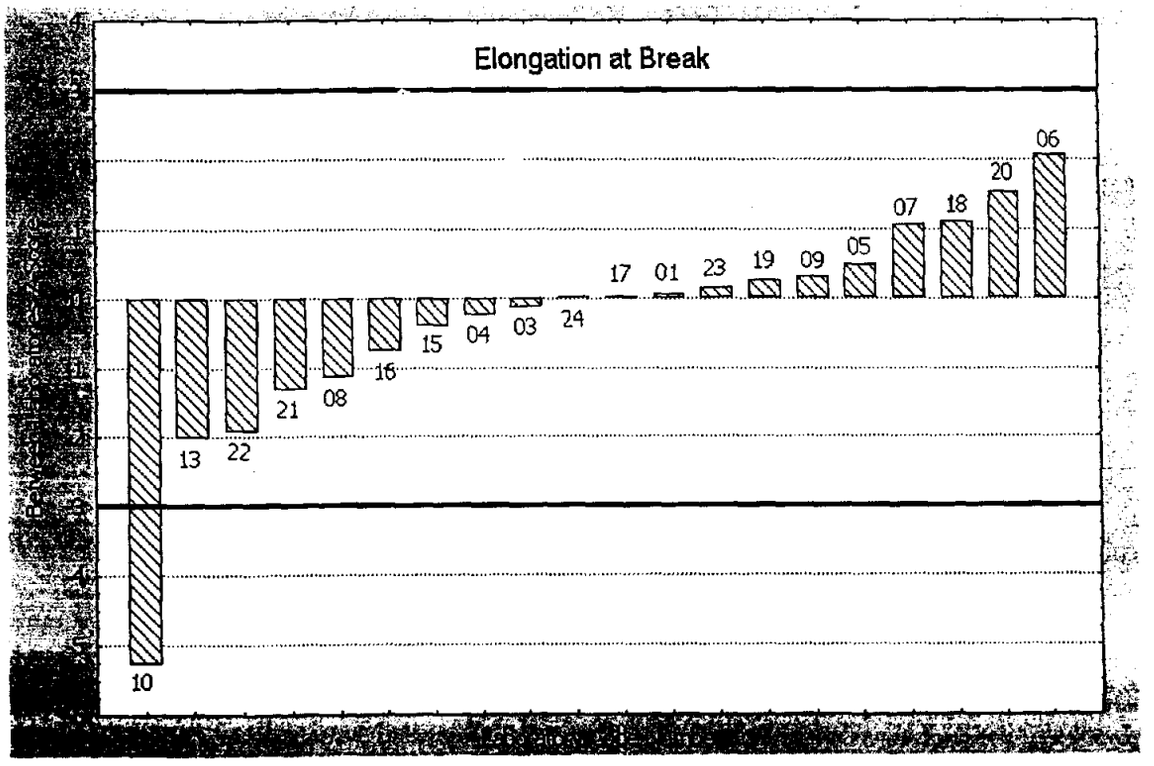
รูปที่ 12 : Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100



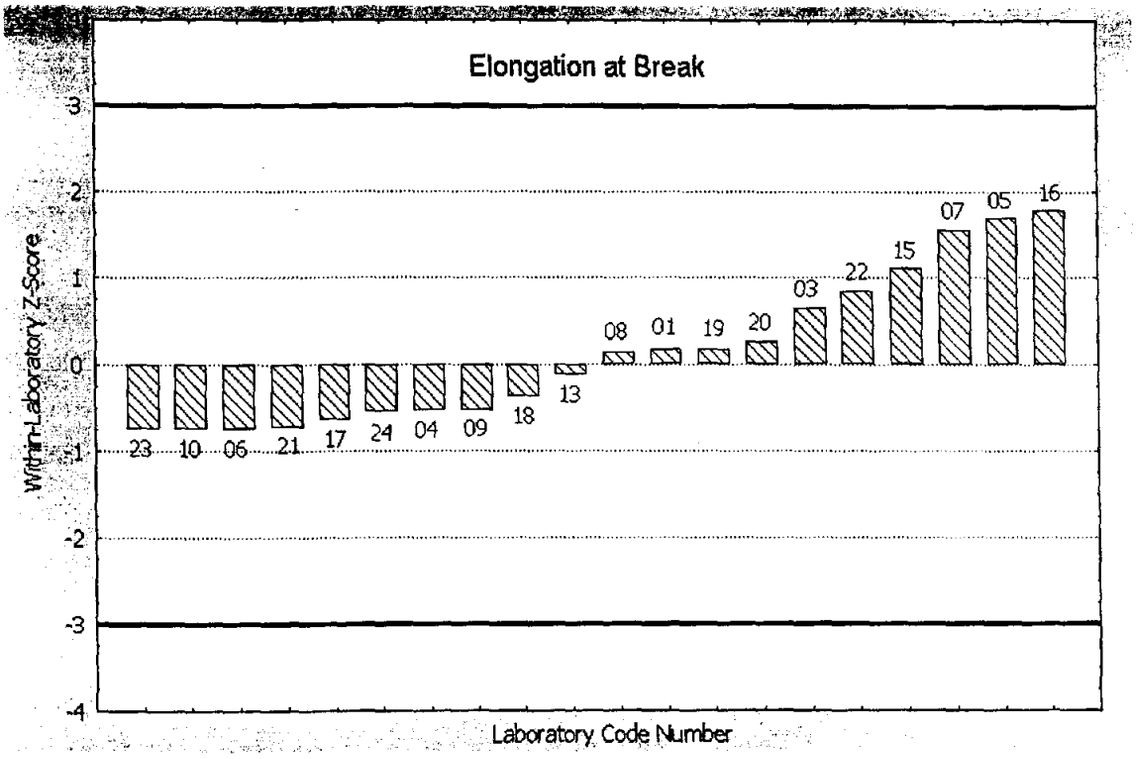
รูปที่ 13 : Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300



รูปที่ 14 : Within - Laboratory Z-score Bar Chart ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300



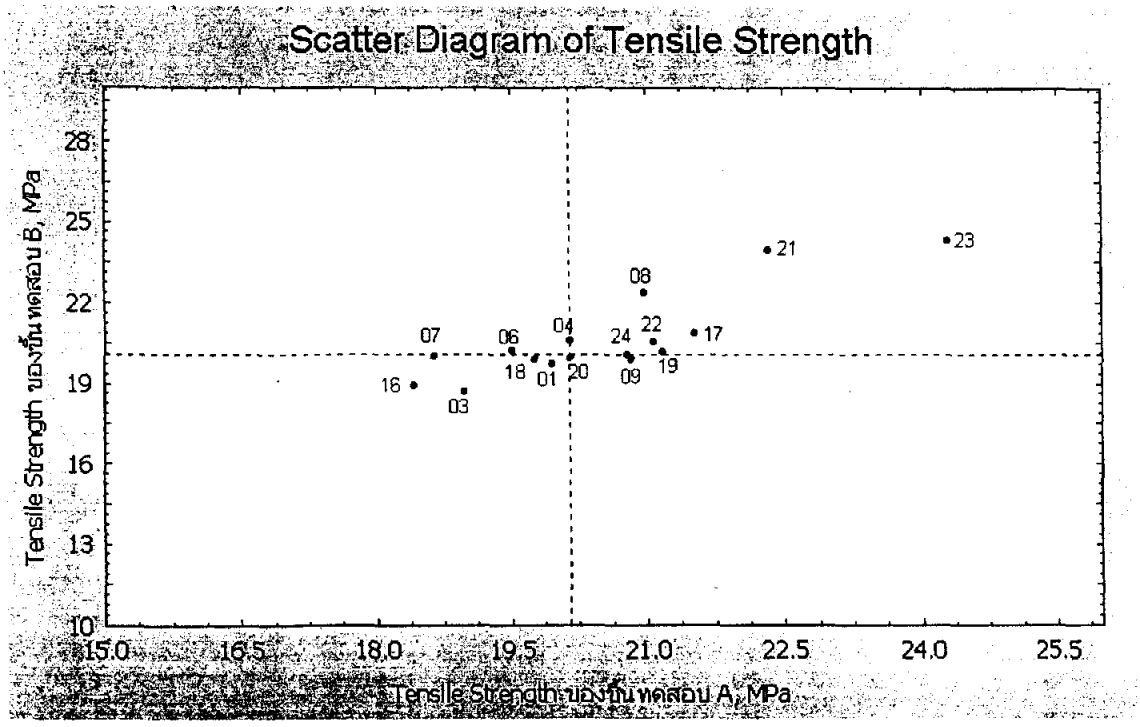
รูปที่ 15 : Between - Laboratories Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด



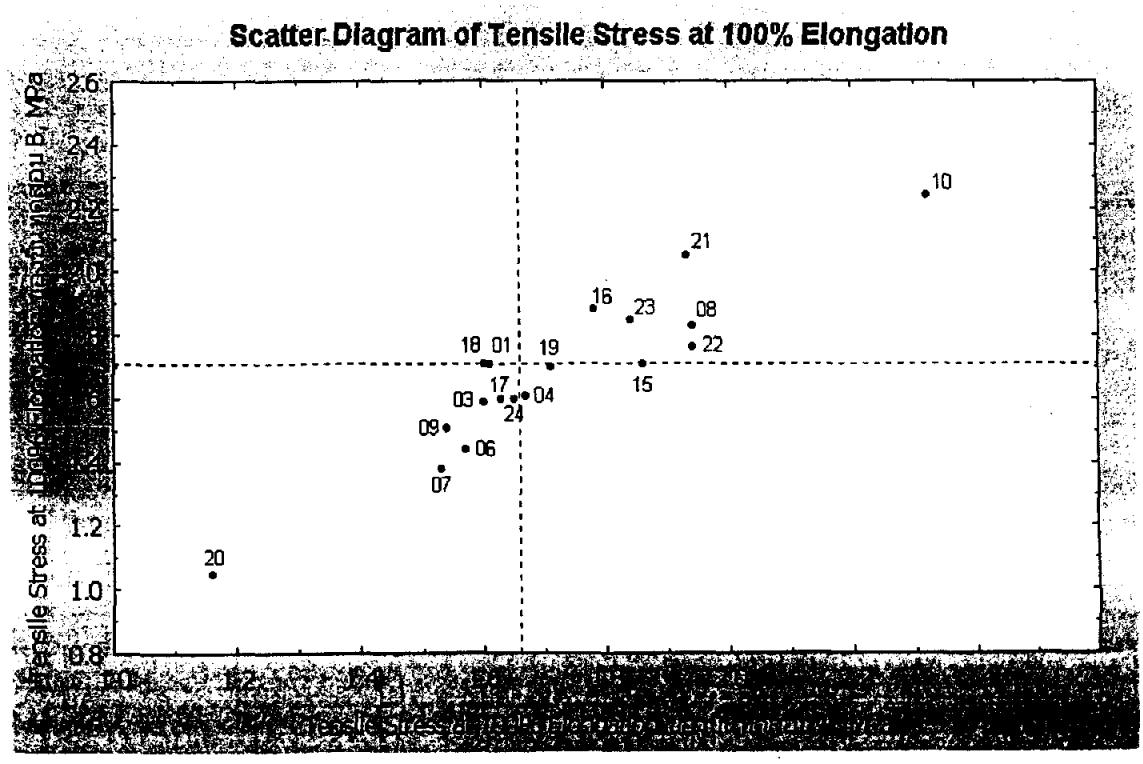
รูปที่ 16 : Within - Laboratory Z-Score Bar Chart ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด

ภาคผนวก ข

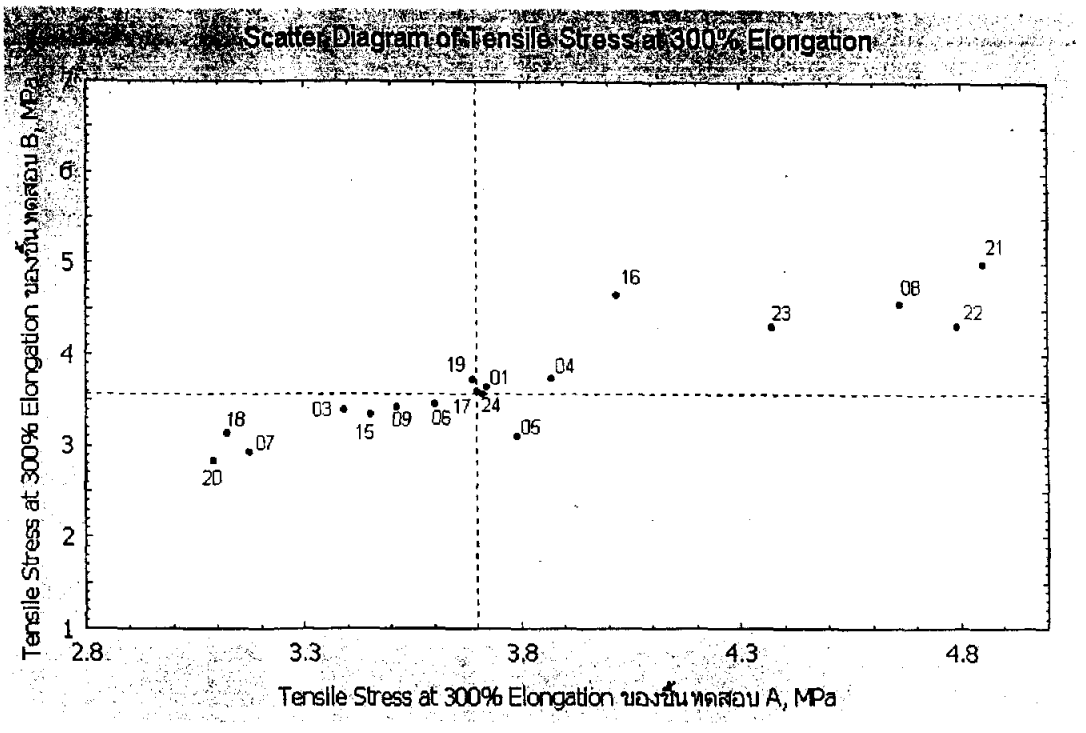
Scatter Diagram



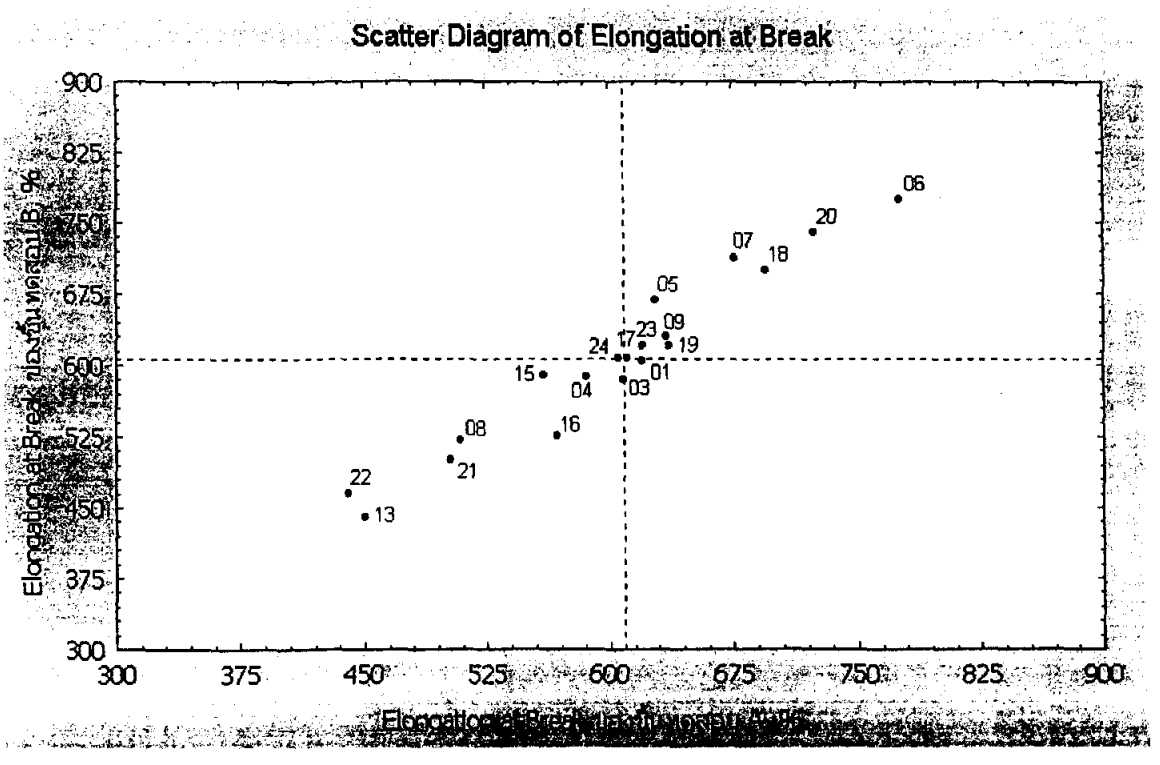
รูปที่ 17 : Scatter Diagram ของผลการทดสอบความต้านแรงดึง (Lab Code No. 05, 10, 13 และ 15 ไม่อยู่ใน Diagram)



รูปที่ 18 : Scatter Diagram ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100



รูปที่ 19 : Scatter Diagram ของผลการทดสอบความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 300 (Lab Code No. 10 และ 13 ไม่อยู่ใน Diagram)



รูปที่ 20 : Scatter Diagram ของผลการทดสอบความยืดเมื่อขาด (Lab Code No.10 ไม่อยู่ใน Diagram)

ภาคผนวก ค

สูตรยางมาตรฐาน

ตารางที่ ค-1 : สูตรยางมาตรฐาน

ยางและสารเคมี	น้ำหนัก (กรัม)
ยางธรรมชาติ	100
Zinc Oxide	5
Stearic Acid	3
แคลเซียมคาร์บอเนต	25
เคลย์	25
Naphthenic Oil	5
สารเร่ง MBTS	1.5
สารเร่ง DPG	0.5
สารป้องกันยางเสื่อม	1
กำมะถัน	2
สีแดง	2

ตารางที่ ง-1 : Homogeneity Test of Tensile Strength

Test Piece No.	Tensile Strength, MPa									
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
1	19.36	20.31	20.19	20.92	21.31	20.93	20.21	20.88	22.03	21.80
2	20.61	20.10	21.66	20.39	19.31	20.50	21.00	20.26	19.38	20.66
3	20.72	20.19	21.86	20.27	20.44	20.63	21.56	19.38	19.02	19.31
4	20.99	19.55	20.67	20.17	20.53	19.11	20.02	20.62	22.14	21.03
5	19.22	22.24	20.31	20.39	20.55	21.57	20.58	20.55	20.95	19.67
6	20.66	19.11	21.01	20.02	21.31	21.07	19.98	20.71	20.32	20.75
7	19.61	21.22	19.83	20.40	20.24	22.21	21.91	20.17	21.69	20.15
8	20.63	19.86	21.59	20.16	19.95	19.07	20.37	21.31	20.62	20.85
9	20.63	20.21	19.89	21.21	20.79	21.71	20.96	20.37	21.74	22.25
10	20.45	21.25	20.05	19.82	21.61	22.28	20.14	20.39	20.63	22.19

ANOVA : Single Factor

Source of Variation	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	4.54	9	0.505	0.76	0.65
Within Groups	59.55	90	0.662		
Total	64.09	99			

The significance value (Sig.) of F > 0.05 therefore it can be concluded that there is no significant difference between the test results.

ตารางที่ ง-2 : Homogeneity Test of Tensile Stress at 100% Elongation

Test Piece No.	Tensile Stress at 100% Elongation, MPa									
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
1	1.68	1.69	1.64	1.59	1.69	1.76	1.71	1.72	1.65	1.63
2	1.72	1.65	1.64	1.64	1.73	1.72	1.70	1.70	1.60	1.65
3	1.70	1.64	1.63	1.71	1.64	1.67	1.69	1.64	1.70	1.67
4	1.64	1.67	1.65	1.64	1.62	1.67	1.65	1.72	1.61	1.60
5	1.71	1.66	1.72	1.62	1.71	1.60	1.67	1.64	1.73	1.70
6	1.68	1.62	1.67	1.73	1.62	1.66	1.68	1.67	1.61	1.67
7	1.65	1.71	1.65	1.64	1.58	1.65	1.69	1.67	1.68	1.62
8	1.73	1.61	1.68	1.65	1.72	1.71	1.71	1.63	1.66	1.59
9	1.63	1.72	1.61	1.70	1.65	1.69	1.64	1.62	1.59	1.69
10	1.64	1.58	1.60	1.62	1.65	1.71	1.67	1.60	1.71	1.72

ANOVA : Single Factor

Source of Variation	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	0.015	9	0.002	0.94	0.49
Within Groups	0.159	90	0.002		
Total	0.174	99			

The significance value (Sig.) of F > 0.05 therefore it can be concluded that there is no significant difference between the test results.

ตารางที่ ง-3 : Homogeneity test of tensile stress at 300% elongation

Test Piece No.	Tensile Stress at 300% Elongation, MPa									
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
1	3.85	3.65	3.91	3.69	4.03	3.63	3.86	3.64	3.58	3.67
2	3.84	3.93	3.89	3.57	3.65	3.71	3.64	3.59	3.49	3.66
3	4.02	3.70	3.72	3.64	3.65	3.70	3.82	3.62	3.73	3.84
4	3.74	3.95	3.85	3.82	3.67	3.69	3.65	3.56	3.82	3.47
5	3.68	3.78	3.78	3.65	4.01	3.80	3.64	3.70	3.69	3.71
6	3.56	3.63	3.62	3.59	3.58	3.73	3.56	4.00	3.63	3.91
7	3.65	3.93	3.59	3.85	3.46	3.83	3.60	3.69	3.89	3.80
8	3.64	3.90	3.56	3.81	3.61	3.93	3.65	3.76	3.60	3.79
9	3.89	3.44	3.53	3.63	3.64	3.77	3.73	3.62	3.77	3.53
10	4.01	3.58	3.65	3.70	3.51	3.79	3.64	3.64	3.53	3.62

ANOVA : Single Factor

Source of Variation	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	0.14	9	0.016	0.83	0.59
Within Groups	1.71	90	0.019		
Total	1.86	99			

The significance value (Sig.) of F > 0.05 therefore it can be concluded that there is no significant difference between the test results.

ตารางที่ ง-4 : Homogeneity Test of Elongation at Break

Test Piece No.	Elongation at Break, %									
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
1	599.1	599.4	612.0	621.3	596.5	608.6	581.8	590.9	578.4	603.5
2	601.6	612.4	614.5	623.9	593.9	603.3	607.1	582.9	612.4	601.3
3	591.7	604.1	608.0	612.5	591.0	607.7	600.0	608.7	596.0	618.8
4	599.7	599.2	611.3	623.6	601.4	597.5	609.8	612.0	602.7	592.7
5	599.9	588.0	604.3	585.6	625.5	591.6	598.9	610.5	609.8	604.1
6	601.1	608.0	595.3	603.0	606.1	619.7	592.6	592.8	597.3	622.2
7	618.2	610.8	598.5	596.0	603.5	603.6	609.0	603.5	618.0	606.9
8	605.2	598.3	613.1	604.6	611.2	602.4	613.3	605.8	602.6	579.0
9	594.6	605.5	625.0	592.7	614.0	597.3	592.2	598.3	589.9	614.1
10	599.2	601.6	606.0	608.8	620.6	591.9	598.0	592.8	597.3	609.5

ANOVA : Single Factor

Source of Variation	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	936.57	9	104.06	1.00	0.44
Within Groups	9324.80	90	103.61		
Total	10261.37	99			

The significance value (Sig.) of F > 0.05 therefore it can be concluded that there is no significant difference between the test results.

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบความคงสมบัติเดิมของยาง

ตารางที่ จ-1 : Stability Test of Tensile Strength

Test Piece No.	Tensile Strength, MPa		Test Piece No.	Tensile Strength, MPa		Test Piece No.	Tensile Strength, MPa	
	Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)
1	21.61	21.40	18	20.17	20.92	35	20.10	20.44
2	19.86	21.32	19	20.39	21.46	36	20.19	20.30
3	20.2[illegible]	21.55	20	20.02	20.05	37	19.55	20.75
4	21.25	19.95	21	20.40	21.10	38	22.24	19.40
5	20.19	21.74	22	20.16	21.34	39	19.11	21.00
6	21.66	20.08	23	21.21	20.29	40	21.22	20.14
7	21.86	20.37	24	19.36	20.39	41	19.82	19.10
8	20.67	20.41	25	20.61	20.79	42	21.31	21.29
9	20.31	21.09	26	20.27	21.13	43	19.31	20.84
10	21.13	21.03	27	20.99	21.67	44	20.44	20.63
11	19.83	19.87	28	19.22	20.28	45	20.53	21.35
12	21.59	20.15	29	20.66	20.50	46	20.55	22.79
13	19.89	19.80	30	19.61	21.66	47	21.31	21.29
14	20.05	20.08	31	20.63	20.63	48	20.24	21.65
15	20.92	20.02	32	20.63	19.09	49	19.95	21.05
16	20.39	21.55	33	20.45	20.89	50	20.79	20.94
17	20.27	20.37	34	20.31	20.31			

ตารางที่ จ-2 : Independent Sample Test of Tensile Strength

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Tensile strength, MPa Equal variances assumed	0.302	0.584	-1.732	98	0.086	- 0.2470	0.14259	- 0.52997	0.03597
Equal variances not assumed			-1.732	97.830	0.086	- 0.2470	0.14259	- 0.52997	0.03597

The significance value (Sig.(2-tailed)) of t > 0.05 therefore it can be concluded that the test pieces are stable.

ตารางที่ จ-3 : Stability Test of Tensile Stress at 100% Elongation

Test Piece No.	Tensile Stress at 100% Elongation, MPa		Test Piece No.	Tensile Stress at 100% Elongation, MPa		Test Piece No.	Tensile Stress at 100% Elongation, MPa	
	Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)
1	1.62	1.63	18	1.65	1.65	35	1.65	1.69
2	1.69	1.72	19	1.73	1.65	36	1.72	1.63
3	1.73	1.70	20	1.63	1.64	37	1.67	1.70
4	1.64	1.64	21	1.64	1.59	38	1.65	1.65
5	1.62	1.60	22	1.69	1.69	39	1.68	1.63
6	1.71	1.69	23	1.65	1.69	40	1.61	1.71
7	1.62	1.65	24	1.64	1.72	41	1.60	1.58
8	1.58	1.69	25	1.67	1.73	42	1.59	1.65
9	1.72	1.68	26	1.66	1.68	43	1.64	1.61
10	1.65	1.66	27	1.62	1.67	44	1.71	1.65
11	1.65	1.70	28	1.71	1.70	45	1.64	1.64
12	1.68	1.67	29	1.61	1.71	46	1.62	1.60
13	1.72	1.65	30	1.72	1.73	47	1.73	1.62
14	1.70	1.70	31	1.58	1.63	48	1.64	1.65
15	1.64	1.65	32	1.64	1.66	49	1.65	1.66
16	1.71	1.71	33	1.64	1.70	50	1.70	1.64
17	1.68	1.64	34	1.63	1.63			

ตารางที่ จ-4 : Independent Sample Test of Tensile Stress at 100 % Elongation

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
100% Modulus, MPa	Equal variances assumed	0.793	0.375	- 0.478	98	0.634	- 0.0038	0.00795	- 0.01958	0.01198
	Equal variances not assumed			- 0.478	96.862	0.634	- 0.0038	0.00795	- 0.01959	0.1198

The significance value (Sig.(2-tailed)) of t > 0.05 therefore it can be concluded that the test pieces are stable.

ตารางที่ จ-5 : Stability Test of Tensile Stress at 300% Elongation

Test Piece No.	Tensile Stress at 300% Elongation, MPa		Test Piece No.	Tensile Stress at 300% Elongation, MPa		Test Piece No.	Tensile Stress at 300% Elongation, MPa	
	Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)
1	3.63	3.54	18	3.89	3.77	35	3.68	3.62
2	3.81	3.65	19	3.91	3.68	36	3.74	3.68
3	3.85	3.69	20	3.58	3.60	37	4.02	4.01
4	3.59	3.73	21	3.44	3.57	38	3.84	3.98
5	3.65	3.82	22	3.90	3.65	39	3.85	3.68
6	3.82	3.87	23	3.93	3.67	40	3.70	3.62
7	3.64	3.64	24	3.63	4.01	41	4.03	3.63
8	3.57	3.70	25	3.78	4.03	42	3.65	3.74
9	3.69	3.59	26	3.95	3.86	43	3.65	3.65
10	3.65	3.97	27	3.70	3.78	44	3.67	3.75
11	3.53	3.72	28	3.93	4.03	45	4.01	3.61
12	3.56	3.66	29	3.65	3.88	46	3.58	3.63
13	3.59	3.76	30	4.01	4.03	47	3.46	3.58
14	3.62	3.65	31	3.89	3.80	48	3.61	3.70
15	3.78	3.72	32	3.64	3.89	49	3.64	3.72
16	3.85	3.67	33	3.65	4.03	50	3.51	3.67
17	3.72	3.68	34	3.56	3.58			

ตารางที่ จ-6 : Independent Sample Test of Tensile Stress at 300 % Elongation

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
300% Modulus, MPa	Equal variances assumed	1.065	0.305	- 0.645	98	0.521	- 0.0192	0.02978	- 0.07829	0.03989
	Equal variances not assumed			- 0.645	97.319	0.521	- 0.0192	0.02978	- 0.07830	0.03990

The significance value (Sig.(2-tailed)) of t > 0.05 therefore it can be concluded that the test pieces are stable.

ตารางที่ จ-7 : Stability Test of Elongation at Break

Test Piece No.	Elongation at Break, %		Test Piece No.	Elongation at Break, %		Test Piece No.	Elongation at Break, %	
	Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)		Control (t_0)	Test ($t_{3\ weeks}$)
1	607.6	584.5	18	611.4	606.8	35	621.5	615.8
2	614.9	611.0	19	607.0	602.8	36	586.5	588.6
3	598.0	603.7	20	609.9	603.1	37	616.6	600.1
4	595.7	602.1	21	600.9	582.4	38	594.7	604.2
5	610.9	621.4	22	576.2	577.5	39	614.8	609.8
6	605.3	611.9	23	615.4	570.8	40	598.0	617.7
7	602.4	599.5	24	604.3	570.4	41	610.9	609.8
8	602.9	600.9	25	615.5	571.9	42	623.0	608.2
9	590.9	591.4	26	600.8	598.3	43	607.5	605.0
10	596.7	608.5	27	590.8	596.7	44	601.5	607.0
11	592.4	619.6	28	618.7	606.0	45	606.5	602.2
12	598.6	605.3	29	603.5	599.1	46	605.2	614.7
13	601.6	616.6	30	606.2	602.0	47	599.1	610.9
14	585.4	614.6	31	621.4	598.8	48	594.3	616.5
15	612.2	626.7	32	610.1	585.6	49	594.0	601.4
16	616.4	604.9	33	633.5	596.8	50	613.6	602.9
17	609.0	600.1	34	625.8	603.8			

ตารางที่ จ-8 : Independent Sample Test of Elongation at Break

	Levene's Test for Equality of Variances		t- test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Elongation at break, % Equal variances assumed	0.033	0.856	1.419	98	0.159	3.394	2.3914	-1.3517	8.1397
Equal variances not assumed			1.419	96.520	0.159	3.394	2.3914	-1.3526	8.1406

The significance value (Sig.(2-tailed)) of t > 0.05 therefore it can be concluded that the test pieces are stable.

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way Analysis of Variance)

ในการศึกษา วิจัย และพัฒนาสูตรยาง กระบวนการผลิต หรือวิธีการทดสอบใหม่ ๆ มักจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสถิติที่เรียกว่า การทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของตัวอย่างเสมอ ซึ่งพบว่ามีปัจจัย ที่สำคัญอยู่สองประการที่ทำให้ข้อมูลของผลการวิเคราะห์ ทดสอบเหล่านั้นมีความแตกต่างกัน ประการแรก คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือไม่สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวัดในแต่ละครั้ง ภายในกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน มีความแตกต่างกัน แม้ว่าได้ดำเนินการภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน ประการที่สอง คือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controlled or Fixed – Effect Factor) และตรวจสอบได้ ซึ่งใช้ในการกำหนดเงื่อนต่าง ๆ ให้กับกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม แล้วศึกษาผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้นเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเหตุ และผลระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ข้อมูลของผลการวิเคราะห์ ทดสอบ ที่ได้มีความแตกต่างกัน จึงมีวิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งเทคนิคในการวิเคราะห์ จะแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลเหล่านั้นมีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between – Groups Variance) : ค่าที่แสดงขนาดและความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างต่างๆ ถ้าระหว่างกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมีค่ามากด้วย

2. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within – Group Variance) : ค่าที่แสดงการกระจายของข้อมูลภายในกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะมีการกำหนดปัจจัย หรือตัวแปรอิสระในเรื่องที่สนใจให้กับกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกันด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อตรวจสอบว่า ปัจจัยที่กำหนดนั้น จะส่งผล หรือมีอิทธิพลต่อกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่

การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากได้แก่

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียว (One – Way Analysis of Variance or Single – Factor Analysis of Variance)

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง หรือแบบมีสองปัจจัย (Two – Way Analysis of Variance or Two – Factor Analysis of Variance)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เท่านั้น การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว คือ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ที่ได้รับปัจจัย 1 ตัว ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตั้งแต่ 3 ประเภทขึ้นไป จะส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม แตกต่างกันหรือไม่ ตัวอย่าง เช่น การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของยางสูตรเดียวกัน โดย

ใช้ชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 3 แบบ มีผลทำให้ค่าความต้านแรงดึงที่วัดได้แตกต่างกันหรือไม่ ดังนั้น ปัจจัยมีหนึ่งตัว คือ รูปร่างของชิ้นทดสอบยาง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบ(ประเภทของปัจจัย) เช่น แบบ A, B และ C เป็นต้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

1. ตั้งสมมติฐาน

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_K$ (K = จำนวนกลุ่ม)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \ldots \neq \mu_K$

โดย H_0 คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานที่แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

H_1 คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานที่แสดงให้เห็นว่า มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

2. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ* (Level of Significance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

สมมติว่าต้องการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยสุ่มหยิบชิ้นทดสอบยางมาตรฐานเหล่านั้นมาจำนวนหนึ่ง จากกลุ่มของชิ้นทดสอบยางมาตรฐานทั้งหมดที่เตรียมได้ แล้วนำมาจัดเป็นกลุ่มย่อย ๆ จำนวน k กลุ่ม ดังนั้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่างจะประกอบด้วยสมาชิกจำนวนหนึ่งคือ $n_1, n_2, \ldots, n_k$ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนสมาชิกทั้งหมดคือ $n_1 + n_2 + \ldots + n_k$ ดังที่แสดงในตาราง n-1

---

* ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (ใช้สัญลักษณ์ α อ่านว่า อัลฟา) คือ โอกาส หรือขอบเขตของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น เนื่องจากการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ทั้ง ๆ ที่ สมมติฐาน H_0 เป็นจริง ส่วนระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หมายถึง โอกาสที่ไม่เป็นไปตามข้อสรุป มีเพียง 0.05 ใน 1.00 หรือ 5 ส่วนใน 100 ส่วน หรือในทางกลับกัน ข้อสรุปนั้นเชื่อถือได้ร้อยละ 95

3. จัดข้อมูลในรูปของตาราง เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์

ตาราง ค-1 : ตารางของข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	...	กลุ่มที่ k
X_{11}	X_{21}	.	X_{1k}
X_{21}	X_{22}	.	X_{2k}
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
$X_{n1}1$	$X_{n2}2$	.	$X_{nk}k$
T_1	T_2	...	T_k
$\sum_{i=1}^{n1} X_{i1}^2$	$\sum_{i=1}^{n2} X_{i2}^2$	...	$\sum_{i=1}^{nk} X_{ik}^2$

โดย $X_{1k}, X_{2k}, \ldots, X_{nk}k$ คือ ข้อมูลตัวที่ 1, 2, ... , n_k ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ k

T_k คือ ผลรวมของข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง k

$\sum_{i=1}^{nk} X_{ik}^2$ คือ ผลรวมของข้อมูลแต่ละตัวที่ยกกำลังสอง ในกลุ่มตัวอย่าง k

4. คำนวณ Between – Groups Sum of Squares (SS_B) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหา Mean Square Between – Groups (MS_B) หรือความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

$$SS_B = \sum_{i=1}^{k}\left[\frac{T_i^2}{n_i}\right] - \frac{T^2}{N}$$

4.1 คำนวณค่าของ T_i และ T_i^2

T_i = ผลรวมของข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ตามคอลัมน์

T_i^2 = ผลรวมของข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ยกกำลังสอง นั้นคือ $T_1^2, T_2^2, \ldots, T_k^2$

4.2 คำนวณค่าของ n

โดย n คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

4.3 คำนวณค่าของ N

เมื่อ N คือ ผลรวมของจำนวนข้อมูลของทุกกลุ่มตัวอย่าง

$$N = n_1 + n_2 + \ldots + n_k$$

4.4 คำนวณค่าของ T

โดย T คือ ผลรวมของข้อมูลทุกตัว จากทุกกลุ่ม

$$T = T_1 + T_2 + \ldots + T_k$$

4.5 นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้แทนค่าในสูตรของ SS_B

$$SS_B = \left[\frac{T_1^2}{n_1} + \frac{T_2^2}{n_2} + \ldots + \frac{T_k^2}{n_k}\right] - \frac{T^2}{N}$$

5. คำนวณ Total Sum of Squares (SS_T) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหา Mean Square Total (MS_T)หรือความแปรปรวนรวม

$$SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$$

5.1 คำนวณค่าของ $\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$

$$\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = \sum_{i=1}^{n_1} X_{i1}^2 + \sum_{i=1}^{n_2} X_{i2}^2 + \ldots + \sum_{i=1}^{n_k} X_{ik}^2$$

โดย $\sum_{i=1}^{n_1} X_{i1}^2 = X_{11}^2 + X_{21}^2 + \ldots + X_{n_1 1}^2$

$$\sum_{i=1}^{n_2} X_{i2}^2 = X_{12}^2 + X_{22}^2 + \ldots + X_{n_1 2}^2$$

.

.

.

$$\sum_{i=1}^{n_k} X_{ik}^2 = X_{1k}^2 + X_{2k}^2 + \ldots + X_{n_k k}^2$$

6. คำนวณค่าของ Within – Group Sum of Squares (SS_W) ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหา Mean Square Within – Group (MS_W) หรือความแปรปรวนภายในกลุ่ม

$$SS_{WW} = SS_T - SS_B$$

7. คำนวณค่าของ Mean Square Between – Group (MS_B) และ Mean Square Within – Group (MS_W)

$$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$$

$$MS_W = \frac{SS_W}{N-k}$$

k = จำนวนกลุ่มของตัวอย่าง

N = ผลรวมของจำนวนข้อมูลของทุกกลุ่มตัวอย่าง

8. คำนวณค่าของ F โดย $F = \frac{MS_B}{MS_W}$

9. นำค่าของ F ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของ F ในตาราง ฉ-2 ที่ $df_1 = k-1$ และ $df_2 = N-k$ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ตั้งไว้ข้างต้น คือ 0.05

10. นำค่าของตัวเลขต่าง ๆ ที่คำนวณได้ข้างต้นมาใส่ในตาราง เพื่อนำเสนอผลของการวิเคราะห์

Source of Variation	SS	df	MS	F
Between Groups	$SS_B = \sum_{i=1}^{k}\left[\frac{T_i^2}{n_i}\right] - \frac{T^2}{N}$	k -1	$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
Within Groups	$SS_{WW} = SS_T - SS_B$	N - k	$MS_W = \frac{SS_W}{N-k}$	
Total	$SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$	N - 1		

df = degrees of freedom

11. สรุปผลและแปลความหมายของผลการวิเคราะห์

11.1 ถ้าค่าของ F ที่คำนวณได้ น้อยกว่าค่าของ F ในตาราง จะยอมรับสมมติฐาน H_0 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ไม่แตกต่างกัน

11.2 ถ้าค่าของ F ที่คำนวณได้ มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ F ในตารางจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (ยอมรับ H_1) หมายความว่า มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอย่างแสดงตารางของข้อมูลและผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ของชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

Test piece No.	Tensile strength, MPa									
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
1	19.36	20.31	20.19	20.92	21.31	20.93	20.21	20.88	22.03	21.80
2	20.61	20.10	21.66	20.39	19.31	20.50	21.00	20.26	19.38	20.66
3	20.72	20.19	21.86	20.27	20.44	20.63	21.56	19.38	19.02	19.31
4	20.99	19.55	20.67	20.17	20.53	19.11	20.02	20.62	22.14	21.03
5	19.22	22.24	20.31	20.39	20.55	21.57	20.58	20.55	20.95	19.67
6	20.66	19.11	21.01	20.02	21.31	21.07	19.98	20.71	20.32	20.75
7	19.61	21.22	19.83	20.40	20.24	22.21	21.91	20.17	21.69	20.15
8	20.63	19.86	21.59	20.16	19.95	19.07	20.37	21.31	20.62	20.85
9	20.63	20.21	19.89	21.21	20.79	21.71	20.96	20.37	21.74	22.25
10	20.45	21.25	20.05	19.82	21.61	22.28	20.14	20.39	20.63	22.19

ANOVA : Single Factor

Source of Variation	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	4.54	9	0.505	0.76	0.65
Within Group	59.55	90	0.662		
Total	64.09	99			

การแปลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for the Social Science) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความรวดเร็ว และแม่นยำ

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าค่าของ F ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.76 และค่า *Sig. หรือ Significance* ของ F มีค่าเท่ากับ 0.65 ค่า Sig. คือ โอกาส หรือขอบเขตของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น เนื่องจากการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ทั้ง ๆ ที่ สมมติฐาน H_0 เป็นจริง ถ้า Sig. < α จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แต่ถ้า Sig. > α จะไม่ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวข้างต้น ค่า Sig.ของ F มีค่ามากกว่า ค่า α (=0.05) ดังนั้นจึง

ยอมรับสมมติฐาน H_0 นั้นคือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน หรือชิ้นทดสอบยางมาตรฐานมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

ตาราง ฉ-2 : Percentiles of the F– Distribution ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

n_1 = degrees of freedom for numerator $F_{.95}(n_1, n_2)$

n_2 = degrees of freedom for denominator

n_2 \ n_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

วิธีใช้ตาราง ฉ-2

สมมติว่า $df_1 = 15,\ df_2 = 9$

จากตาราง df_1 หรือ n_1 = degrees of freedom for numerator

df_2 หรือ n_2 = degrees of freedom for denominator

ดังนั้น $F_{\text{ตาราง}} = 3.01$

ภาคผนวก ช

Independent – sample t test

Independent – sample t test เป็นการทดสอบ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน(ไม่มีสมาชิกร่วมกัน) เช่น การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบความต้านแรงดึงของยาง ก่อนและ ภายหลังจากเก็บตัวอย่างนั้นไว้ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ (ชิ้นทดสอบทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระจากกัน เนื่องจากการทดสอบความต้านแรงดึงเป็นการทดสอบแบบทำลาย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำชิ้นทดสอบที่ได้ทดสอบแล้วมาทดสอบซ้ำอีกได้) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกันด้วยวิธี Independent – sample t test ค่าของ t จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบกัน ดังนี้

1. ความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มเท่ากัน

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}} \qquad ①$$

เมื่อ degrees of freedom (df) = $n_1 + n_2 - 2$

$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

S_1^2 = ความแปรปรวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

S_2^2 = ความแปรปรวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

n_1 = จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

n_2 = จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

2. ความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มแตกต่างกัน

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad ②$$

เมื่อ degrees of freedom (df) = $\dfrac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1}+\frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}}$

$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

S_1^2 = ความแปรปรวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

S_2^2 = ความแปรปรวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

n_1 = จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

n_2 = จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

ดังนั้นก่อนการทดสอบ Independent – sample t test จึงต้องทดสอบความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มก่อนว่าเท่ากันหรือไม่ เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าของ t ในแต่ละกรณีจะมีความแตกต่างกัน ในการทดสอบค่า F โดยทั่วไปเราไม่สามารถหาความแปรปรวนของกลุ่มประชากร(σ^2) ได้ ดังนั้นจึงประมาณความแปรปรวนของกลุ่มประชากร ด้วยความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (S^2) ดังนั้น

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

S_1^2 = ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่ามาก

S_2^2 = ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าน้อย

ขั้นตอนในการทดสอบความแปรปรวน

1. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

2. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ โดยกำหนดที่ $\alpha = 0.05$

3. ทดสอบค่า F : $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

โดย $df_1 = n_1 - 1$, $df_2 = n_2 - 1$

หมายเหตุ : n_1, n_2 = จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

df_1, df_2 = ค่า Degrees of freedom ของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

4. นำค่า F ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่า F ในตาราง ฉ-2 (ภาคผนวก ฉ) ที่ $df_1 = n_1 - 1$ และ $df_2 = n_2 - 1$

5. สรุปผลและแปลความหมายของผลการวิเคราะห์

5.1 ถ้าค่าของ F ที่คำนวณได้ น้อยกว่าค่าของ F ในตาราง จะยอมรับสมมติฐาน H_0 หมายความว่า ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม เท่ากัน ดังนั้นจะต้องใช้สูตรของ t ที่ความแปรปรวนของ

ประชากร 2 กลุ่มเท่ากัน (สูตรที่ 1)

5.2 ถ้าค่าของ F ที่คำนวณได้ มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ F ในตาราง จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่า ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ไม่เท่ากัน ดังนั้นจะต้องใช้สูตรของ t ที่ความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มไม่เท่ากัน (สูตรที่ 2)

ขั้นตอนในการทดสอบ Independent – sample t test

1. ตั้งสมมติฐาน

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

โดย H_0 คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานที่แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

H_1 คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานที่แสดงให้เห็นว่า มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

2. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Level of Significance) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ α 0.05

3. ทดสอบความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยการทดสอบค่า F

4. คำนวณค่าของ t และ df โดยจะใช้สูตร ① หรือ ② ขึ้นอยู่กับผลการทดสอบค่าของ F ในข้อ 3.

5. นำค่าของ t ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของ t ในตาราง ซ-1 ที่ df ที่คำนวณได้ในข้อ 4.

6. สรุปผลและแปลความหมาย

6.1 ถ้าค่าของ t ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าของ t ในตาราง จะยอมรับ H_0 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน

6.2 ถ้าค่าของ t ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ t ในตารางจะปฏิเสธ H_0 (ยอมรับ H_1) หมายความว่า มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง ซ-1 : Percentile of the t-Distribution

df	$t_{.60}$	$t_{.70}$	$t_{.80}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$
1	.325	.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	.289	.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	.277	.584	.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	.271	.569	.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	.267	.559	.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	.265	.553	.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	.263	.549	.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	.262	.546	.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	.261	.543	.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	.260	.542	.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	.260	.540	.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	.259	.539	.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	.259	.538	.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	.258	.537	.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	.258	.536	.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	.258	.535	.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	.257	.534	.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	.257	.534	.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	.257	.533	.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	.257	.533	.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	.257	.532	.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	.256	.532	.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	.256	.532	.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	.256	.531	.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	.256	.531	.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	.256	.531	.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	.256	.531	.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	.256	.530	.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	.256	.530	.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	.256	.530	.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	.255	.529	.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	.254	.527	.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	.254	.526	.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	.253	.524	.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Data originated from Table III of Fisher & Yates: *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, published by Longman Group Ltd, London (previously published by Oliver and Boyd Ltd, Edinburgh) and by permission of the authors and publishers.

ตัวอย่างแสดงตารางผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ 100 ของกลุ่มตัวอย่างชิ้นทดสอบยางมาตรฐานจำนวน 2 กลุ่ม ด้วยวิธี Independent – sample t test **จากโปรแกรม** SPSS

Independent Sample Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
100% Modulus, MPa	Equal variances assumed	0.793	0.375	- 0.478	98	0.634	- 0.0038	0.00795	- 0.01958	0.01198
	Equal variances not assumed			- 0.478	96.862	0.634	- 0.0038	0.00795	- 0.01959	0.1198

การแปลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล

Levene's Test for Equality of Variances **เป็นการทดสอบ ความเท่ากันของความแปรปรวนของกลุ่มประชากร 2 กลุ่ม จากตารางผลการทดสอบ ค่า** F = 0.793 **และ ค่า** Sig. **หรือ** Significance **ของ** F **มีค่าเท่ากับ** 0.375 **ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า** α (=0.05) **ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน** H_0 **นั้นคือ ความแปรปรวนของกลุ่มประชากรทั้งสองกลุ่ม เท่ากัน จึงใช้บรรทัด** Equal variances assumed **ในการสรุปการทดสอบ** Independent – sample t test **จากตารางผลการทดสอบ t มีค่าเท่ากับ** -0.478 **และ** Sig.(2-tailed) **หรือ** Significance **ของ** 2 – tailed test **มีค่าเท่ากับ** 0.634 **ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า** α (=0.05) **ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน** H_0 **นั้นคือ ค่าความเค้นดึงที่ความยืดร้อยละ** 100 **ของกลุ่มตัวอย่างชิ้นทดสอบยางมาตรฐาน 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน**

ภาคผนวก ซ

รายชื่อของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมทดสอบความชำนาญ

1. บริษัท ตะวันออกโพลิเมอร์ จำกัด
2. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
3. บริษัท อินเตอร์แนชชั่นแนลรับเบอร์พาทส์ จำกัด
4. บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด
5. กรมวิทยาศาสตร์บริการ
6. บริษัท เอ็ม เอส ซี พีอาร์สอง จำกัด
7. บริษัท ไทยเอเชีย โพลิเมอร์ จำกัด
8. ห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติทางกล (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)
9. บริษัท ศรีสำอางค์ ซัพพลายเออร์ จำกัด
10. บริษัท วีรับเบอร์อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
11. บริษัท เอ็กซ์เซลเล้นท์ รับเบอร์ จำกัด
12. บริษัท เอ็กซ์เท็นซีฟว์ รีเสิร์ช โพลีเมอร์ จำกัด
13. บริษัท เอส. เค. โพลิเมอร์ จำกัด
14. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
15. บริษัท Goodyear (Thailand) Co., Ltd.
16. บริษัท พงศ์พาราโคดันรับเบอร์ จำกัด
17. บริษัท แอนเซลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
18. บริษัท เอส อี ที ไอ (ประเทศไทย) จำกัด
19. บริษัท เอ็น. ซี. อาร์. รับเบอร์อินดัสตรี้ จำกัด
20. บริษัท ไลอ้อนไทร์ส (ประเทศไทย) จำกัด

หมายเหตุ รายชื่อไม่ได้เรียงตามลำดับรหัสของห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก ฌ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ฌ-1 : เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ

Lab Code No.	เครื่องทดสอบแรงดึง	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความยืด	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความหนา	สถานะการสอบเทียบ
01	LLOYD รุ่น L500	☑	ไม่บรรทัด	☒	Thickness gauge ของ Teclock	☒
03	Alpha 2000	☑	Clip – on extensometer ของ Alpha รุ่น T8000	☑	Thickness gauge ของ Alpha	☑
04	Instron 5565	☑	Clip – on extensometer ของ Instron รุ่น 2603 - 080	☑	Digital measuring gauge ของ Mitutoyo รุ่น IDF150E	☑
05	Instron 1001	☑	Clip – on extensometer ของ Instron รุ่น 1001	☑	Thickness gauge ของ Peacock	☑
06	Shimadzu S-500-C	☑	ไม่บรรทัด	☒	Thickness gauge ของ Teclock	☑
07	Myungji รุ่น Tensometer 500	☑	Clip – on extensometer ของ Myungji รุ่น Tensometer 500	☑	ไมโครมิเตอร์ ของ Mitutoyo รุ่น 7301	☑
08	LLOYD รุ่น LR10K	☑	Clip – on extensometer ของ LLOYD รุ่น EXL 750	☑	Digital outside micrometer ของ Mitutoyo รุ่น 293-721-30	☑
09	Instron 1011	☑	Clip – on extensometer ของ Instron รุ่น 2603-068	☑	Dial thickness gauge ของ Saginomiya รุ่น TCM-N 1010	☑
10	Hungta 8011	☑	Clip – on extensometer ของ Hungta รุ่น DN 3000	☒	เวอร์เนียร์ ของ Mitutoyo รุ่น CD8C9	☑

ตารางที่ ฌ-1 : เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

Lab Code No.	เครื่องทดสอบแรงดึง	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความยืด	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความหนา	สถานะการสอบเทียบ
13	Hungta	☒	ไม้บรรทัดเหล็กเลื่อน	☒	Dial thickness gauge ของ Peacock รุ่น Model H (1916)	☒
15	Kao Tieh รุ่น KT-3010A2	☑	แถบวัด	☒	Micrometer ของ Teclock	☒
16	Instron 5564	☑	Clip – on extensometer ของ Instron รุ่น 5564	☑	Digital linear gauge (Height gauge) ของ Peacock รุ่น PDN 25 N	☑
17	Instron 5402	☑	Clip – on extensometer ของ Instron รุ่น 2603-070	☑	Micrometer ของ Mitutoyo รุ่น 293-721-30	☒
18	LLOYD รุ่น LR–5K	☑	Clip – on extensometer ของ LLOYD รุ่น LR–5K	☑	Dial Tecklock รุ่น SM-112	☑
19	Monsanto รุ่น ST10-1118	☑	Clip – on extensometer ของ Monsanto รุ่น ST10-1118	-	Dial gauge (digital) ของ Sylvac รุ่น S 229	☑
20	Shimadzu รุ่น S-100	☑	Clip – on extensometer ของ Shimadzu รุ่น S-100	☑	Thickness gauge ของ Teclock รุ่น SM-112	☑
21	LLOYD รุ่น LR–50K	☑	Laser extensometer	☑	Thickness gauge ของ Peacock รุ่น No.107	☑

22	Shimadzu รุ่น AGS-500A	☑	Clip – on extensometer ของ Shimadzu รุ่น SES-1000	☒	Digimatic caliper ของ Mitutoyo รุ่น 500173	☑

ตารางที่ ฌ-1 : เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

Lab Code No.	เครื่องทดสอบแรงดึง	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความยืด	สถานะการสอบเทียบ	อุปกรณ์วัดความหนา	สถานะการสอบเทียบ
23	NMB รุ่น U3B1-1005	☑	ไม้บรรทัด	☒	Thickness gauge ของ Teclock รุ่น 0.01 mm Pat. No. 200959	☑
24	Zwick รุ่น BZ 005/TH2S	☑	Optical extensometer ของ Zwick รุ่น B066975.02	☑	Dial gauge ของ Mitutoyo รุ่น 404101	☑

หมายเหตุ : 1. **เครื่องหมาย** ☑ หมายถึง ได้รับการสอบเทียบ

2. **เครื่องหมาย** ☒ หมายถึง ไม่ได้รับการสอบเทียบ

3. **เครื่องหมาย** - หมายถึง ไม่ได้รายงานสถานะการสอบเทียบ