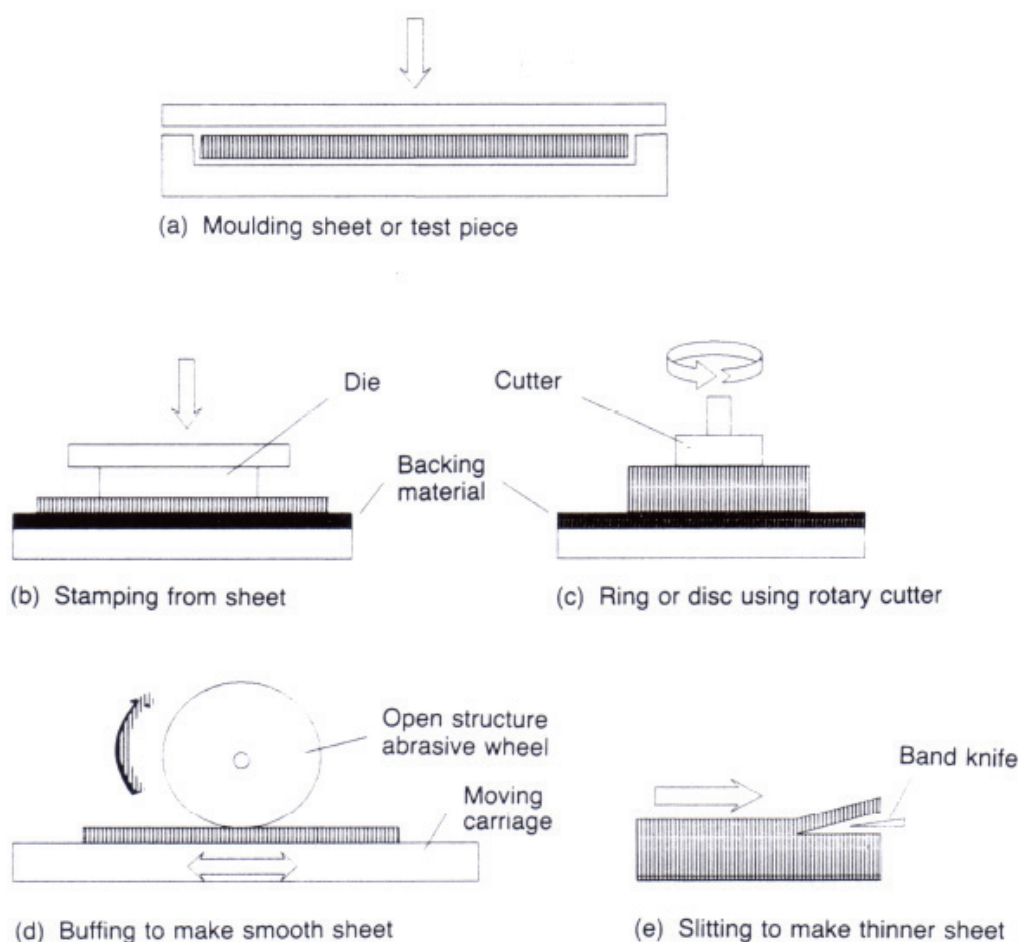


การตรวจเอกสาร

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของยาง

การเตรียมการทดสอบชิ้นยาง

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของยาง Brown (1996) ได้กล่าวไว้ว่ามีการทดสอบในหลายด้าน ซึ่งชิ้นยางนั้นในบางครั้งก็ได้มาจากการขึ้นรูป แต่บางส่วนก็ได้มาจากการทดสอบจากชิ้นงานสำเร็จ ชิ้นยางทดสอบจึงจำเป็นต้องตัดหรือรีดให้อยู่ในรูปทรงทางเรขาคณิตที่เหมาะสมต่อการทดสอบในแต่ละวิธี ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการเตรียมชิ้นยางทดสอบ

ที่มา: Brown (1996)

ในการเตรียมชิ้นยางทดสอบ เพื่อให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงมีมาตรฐานการทดสอบต่างๆขึ้น สำหรับยางวัลคาไนซ์ มาตรฐาน ISO 2393:1994 Rubber test mixes -- Preparation, mixing and vulcanization - Equipment and procedures (International Organization for Standardization [ISO], 1994) ใช้ในการเตรียมชิ้นยางทดสอบ ซึ่งจำแนกการได้มาซึ่งชิ้นยางทดสอบ ดังนี้

1. ชิ้นยางที่ได้จากการผสมและขึ้นรูป
2. ชิ้นยางที่ได้จากผลิตภัณฑ์สำเร็จแล้ว
3. ชิ้นยางที่ได้จากการตัดออกจากแผ่นยาง

เพื่อนำไปใช้ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 37 Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of tensile stress-strain properties (ISO, 2005) เช่นชิ้นยางทดสอบที่เป็นรูปดัมเบล และ ISO 4661-2:1987 Rubber, vulcanized - Preparation of samples and test pieces - Part 2: Chemical tests (ISO, 1987)

สภาพแวดล้อมในการทดสอบจะเป็นไปตาม ISO 1826:1981 Rubber, vulcanized - Time-interval between vulcanization and testing - Specification (ISO, 1981) เช่นที่เก็บรักษาต้องมีอุณหภูมิระหว่าง 10- 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ไม่เกิน 80 %

เงื่อนไขสภาวะการทดลอง เป็นไปตาม ISO 558 Conditioning and testing - Standard atmospheres - Definitions (ISO, 1980) เช่นทดสอบที่ อุณหภูมิ 23 องศา องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % หรือ อุณหภูมิ 27 องศา องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 % สำหรับประเทศเมืองร้อน

สำหรับยางที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (vulcanization) มีวิธีการเตรียมชิ้นยางทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1796:1982 Rubber, raw - Sample preparation (ISO, 1982)

การใช้ศัพท์บัญญัติเป็นไปตาม ศัพท์บัญญัติผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยาง ศ.10-2534 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2534)

วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบทางกายภาพ (Brown, 1996) มีการทดสอบแยกเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

1. ความหนาแน่นและมิติ (Density and dimension)
2. คุณสมบัติความเค้น ความเครียด ชั่วขณะ (Short-term stress and strain properties)
3. ความเค้น ความเครียด เชิงพลวัต (Dynamic stress and strain)
4. แรงเสียดทานและแรงเสียด (Friction and wear)
5. ความล้าในวัตถุ (Fatigue)
6. การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical test)
7. คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)
8. ผลกระทบจากอุณหภูมิ (Effect of temperature)
9. การทนทานจากสิ่งแวดล้อม (Environmental resistance)
10. การรั่วซึม (Permeability)
11. การเกาะติด สึกกร่อน และเกิดสนิม (Adhesion corrosion and staining)
12. การวัดการคืบ การคลายตัวและการก่อรูป (Creep relaxation and set)

การวัดการคืบ (Creep) เป็นวิธีการทดสอบโดยวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เพิ่มขึ้นภายใต้แรงกระทำคงที่ สามารถทดสอบได้หลายวิธี เช่นการวัดการคืบแบบยืดตัว (tension) ยุบตัว (compression) และการเฉือน (shear) การวัดการคืบแบบยุบตัว นิยมใช้ในการทดสอบยางสำหรับใช้ในงานที่ต้องรองรับน้ำหนักอยู่ตลอดเวลาเช่น ยางรองฐานของอาคาร ยางรองฐานของเครื่องจักรกล ยางรองคอสะพาน ถ้ายางมีการคืบมากๆ ในกรณีของยางรองคอสะพาน จะทำให้รอยต่อของสะพานไม่อยู่ในระดับเดียวกัน เป็นต้น

การวัดการคลายความเค้น (Stress relaxation) เป็นวิธีการทดสอบโดยการวัดความเค้นหรือแรงที่ลดลงตามเวลาเมื่อทำให้ยางมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างคงที่ นิยมใช้ในการทดสอบ ปะเก็นยาง (rubber gasket) แหวนยาง (O - ring) สำหรับใช้ในงานเชื่อมต่อเพื่อป้องกันการรั่วไหลของของเหลว ขณะใช้งานเมื่อถูกอัดในบริเวณพื้นที่ที่จำกัดของรอยต่อจะทำให้เกิดความเค้น (ความดัน) ขึ้นในยาง ซึ่งป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลผ่านรอยต่อได้ เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ ความเค้น (ความดัน) ของยางจะค่อยๆลดลง ในที่สุดความดันของของเหลวจะสูงกว่าความเค้น

(ความดัน) ของยางทำให้ของเหลวรั่วไหลออกมาได้ ดังนั้นการออกแบบรูปร่างและสูตรของยางที่ใช้สำหรับงานประเภทนี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

การวัดการผิครูปอยู่ตัว (Set) เป็นวิธีการทดสอบโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เหลืออยู่ หลังจากปล่อยแรงที่กระทำให้ยางมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง นิยมใช้ในการทดสอบยางสำหรับใช้ในงานที่ต้องรองรับน้ำหนักหรือแรงอัดอยู่ตลอดเวลา เช่น ปะเก็นยาง แหวนยาง ยางรองฐานเครื่องจักรกล ยางรองคอสพาน ยางขอบกระจก เพื่อประเมินความสามารถในการคืนสู่รูปร่างเดิมของยาง หลังจากทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่างหรือถูกอัดภายใต้แรงอัดซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของยางในการรักษาระดับความสามารถในการรองรับน้ำหนักหรือแรงอัดได้

การผิครูปอยู่ตัวเกิดขึ้น เมื่อยางขณะอยู่ภายใต้ความเค้น (Stress) หรือแรงที่กระทำ (ได้แก่แรงดึงแรงอัดหรือ แรงเฉือน) เป็นระยะเวลาหนึ่ง เช่นเป็นวันหรือสัปดาห์ ทำให้เกิดความเครียด (strain) ภายในโครงสร้างโมเลกุลที่มีการเชื่อมโยง โครงสร้างโมเลกุลเหล่านั้นจะพยายามปรับตัวเพื่อผ่อนคลายความเครียดที่เกิดขึ้นโดยเกิดการเลื่อนไถลระหว่างกันจนกระทั่งขาดออก จากนั้นเกิดการจัดโครงสร้างการเชื่อมโยงใหม่

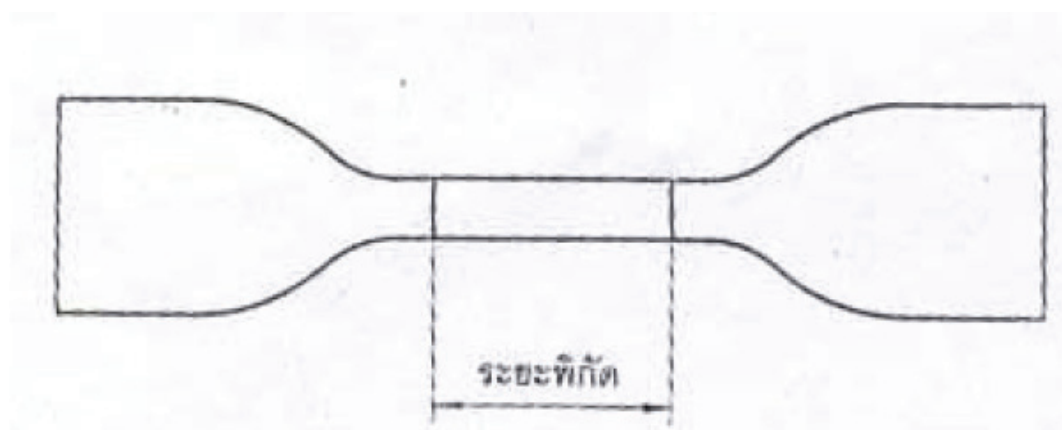
โครงสร้างที่เกิดจากการเชื่อมโยงใหม่นี้มีเสถียรภาพมากกว่าเดิมและด้านการกลับคืนสู่รูปร่างเดิมของยาง หลังจากปล่อยจากความเค้นหรือแรงที่กระทำ อัตราการเกิดการผิครูปอยู่ตัวของยางเมื่ออยู่ภายใต้ความเค้น หรือแรงที่กระทำขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่สูงขึ้นและปริมาณของออกซิเจน(ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการขาดของโครงสร้างที่มีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Devulcanisation))

การทดสอบการผิครูปอยู่ตัวของยางนอกจากเป็นการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของยาง ในการคืนสู่รูปร่างเดิมซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของยางเมื่อใช้งานภายใต้แรงอัดหรือน้ำหนักกดคงที่แล้ว ยังเป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ (Quality control check) ผลที่ได้บอกให้ทราบถึงสถานะการคงรูป (State of cure) ของชิ้นทดสอบยางนั้น ชิ้นทดสอบยางที่ใช้เวลาในการคงรูป (Cure) ต่ำกว่าจุดที่เหมาะสม (Undercured test piece) จะให้ค่าการผิครูปอยู่ตัวค่อนข้างสูง

การทดสอบการผิครูปอยู่ตัวของยาง อาจทดสอบในลักษณะของการยึดตัวหรือการยุบตัวภายใต้ความเค้นคงที่ (Constant stress) หรือความเครียดคงที่ (Constant strain) ก็ได้

การทดสอบการยืดอยู่ตัว (Tension Set)

Brown (1996) ได้กล่าวว่า มาตรฐาน ASTM D 412 : Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers - Tension (American Society for Testing and Material [ASTM], 2000a) กล่าวถึงการทดสอบการยืดอยู่ตัว (tension set หรือ tensile set คือ ความยืดที่เหลืออยู่หลังจากขึ้นทดสอบถูกยืดแล้วปล่อยให้หดกลับตามวิธีที่กำหนด รายงานผลเป็นร้อยละของระยะยืดที่เหลืออยู่เทียบกับระยะเดิมก่อนยืด) และการยืดอยู่ตัวหลังจากขาด (tension set after break หรือ tensile set after break) โดยใช้ขึ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขึ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์

ที่มา: Brown (1996)

การทดสอบการยืดอยู่ตัว ขึ้นทดสอบถูกยืดออกจนถึงระยะยืดที่กำหนดภายในเวลา 15 วินาทีและคงไว้ที่ระยะยัดนั้นเป็นเวลา 10 นาทีแล้วปล่อยกลับ หลังจากทั้งขึ้นทดสอบให้คืนตัวเป็นเวลา 10 นาที วัดระยะห่างระหว่างเครื่องหมายพิักัด (bench marks) ที่ขีดบนขึ้นทดสอบ รายงานผลเป็นร้อยละของระยะยืดที่เหลืออยู่ (ผลต่างของระยะพิักัดหลังยืดกับก่อนยืด) เทียบกับระยะพิักัดเดิมก่อนยืด

สำหรับการทดสอบการยืดอยู่ตัวหลังจากขาด ทดสอบโดยนำขึ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์มาดึงจนขาดทิ้งไว้ 10 นาทีแล้วนำขึ้นทดสอบมาต่อกันตรงรอยขาด วัดระยะห่างระหว่างเครื่องหมายพิักัดรายงานผลโดยใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกับการรายงานผลการยืดอยู่ตัว

การทดสอบความเค้นดึงและความเครียดดึง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress/Strain relationship) มักจะศึกษาในการยืดตัว การบีบอัด การฉีก หรือเหตุการณ์อื่นๆ เนื่องจากในทฤษฎีทั้งหมด ยกเว้นการทดสอบที่เกิดการฝักขาคอยู่ในรูปของฟังก์ชันมอดูลัสอีลาสติก (Function of elastic modulus) การที่มีการทดสอบหลายแบบ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นทดสอบและความสามารถในการวัด นอกจากนี้ความเครียดของยางเชิงฟิสิกส์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายและเข้าใจกันดีนัก

ทฤษฎีทางสถิติแบบโครงข่ายนำไปสู่คำอธิบายของความหนาแน่นของพลังงานความเครียด (Energy stored in unit volume of the rubber) อยู่ในรูปของอัตราส่วนการยืดตัว (extension ratios)

$$W = \frac{1}{2} G(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) \quad (1)$$

เมื่อ W คือ strain energy density และ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ คือ extension ratio ในแกนหลักทั้งสามแกน และในการนี้ให้สมมติฐานว่ายางนั้นไม่สามารถบีบอัดได้

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1 \quad (2)$$

ทฤษฎีทางสถิติแบบโครงข่ายนำไปสู่ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและการเปลี่ยนรูป

1. การเฉือนปกติ

$$\text{Shear stress} = G\gamma \quad (3)$$

2. แรงดึงหรือแรงกดที่จุดปลาย

$$\text{Tensile or compressive stress} = G(\lambda^2 + \lambda^{-4}) \quad (4)$$

เมื่อ G คือ มอดูลัสเฉือน (shear modulus) y คือ ความเครียดเฉือน (shear strain) และ k คือ อัตราส่วนของความยาวหรือสูงของความเครียดไปยังจุดที่ไม่มีความเครียด (ratio of strained to unstrained length or height)

แรงเฉือนพื้นฐานและค่ายังมอดูลัสเป็นความชันของของแรงเฉือน หรือแรงกดเฉือน เส้นโค้งความเค้นความเครียดที่จุดเริ่มต้นและความสัมพันธ์ที่มีเหนือการที่ปรับแต่งทางทฤษฎีที่อธิบายรูปทรงของกราฟความเค้น ความเครียดที่ระดับความเค้นที่สูงขึ้น

ความสัมพันธ์อันเนื่องมาจากทฤษฎีทางสถิติได้อธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังสมการ

$$W = \sum (C_{ij} [I_1 - 3]^i \times [I_2 - 3]^j) \quad (5)$$

เมื่อ I_1 และ I_2 คือ ตัวแปรความเครียดที่อยู่ในรูปแบบของอัตราส่วนการยืดตัว (extension ratio (λ)) ของยางในแนวแกนทั้งสาม ดังนี้

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (6)$$

$$I_2 = 1/\lambda_1^2 + 1/\lambda_2^2 + 1/\lambda_3^2 \quad (7)$$

เมื่อ C_{ij} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน และ ij เป็น ค่าตั้งแต่ศูนย์ถึงอนันต์ และ จากสมการที่ 2 สามารถปรับรูปแบบสมการที่ 5 ได้เป็น

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (8)$$

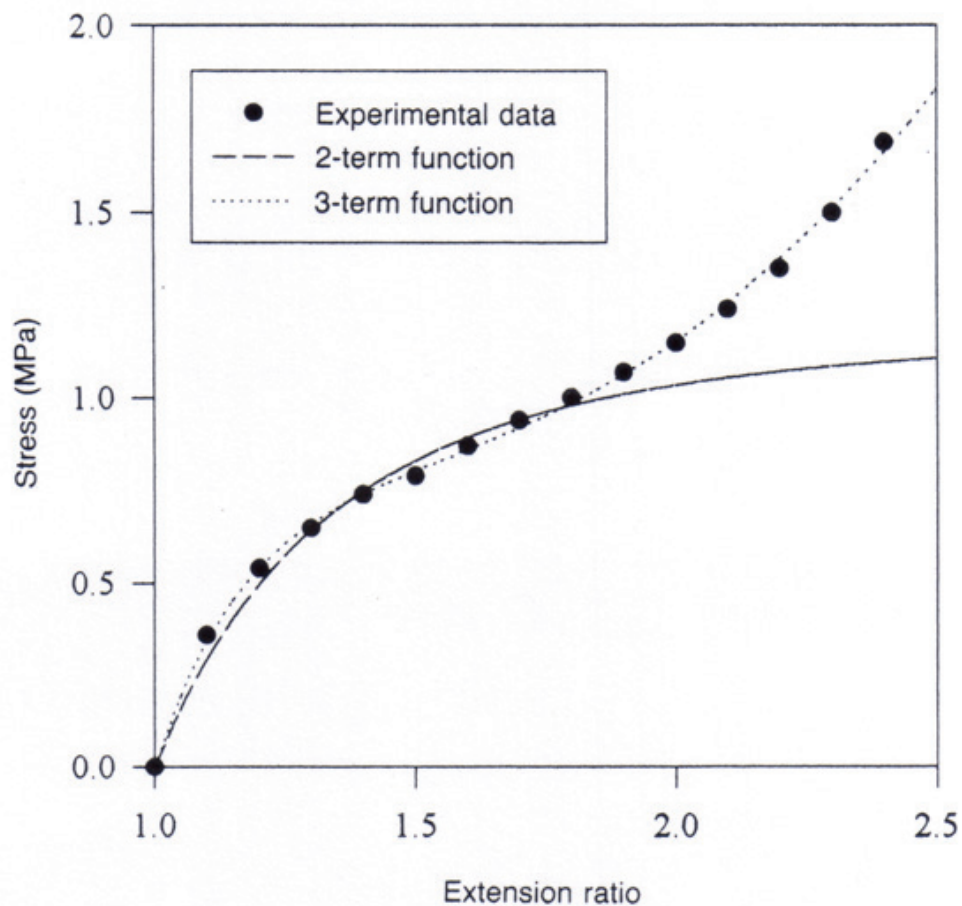
เมื่อค่าคงที่ C_1 และ C_2 นั้นอ้างอิงถึงค่าคงที่มูนีเย-ริวลิน และจากพลังงานสะสมคือพื้นที่ใต้กราฟความเค้น ความเครียด เราสามารถทำนายด้วยแบบจำลองจากส่วนย่อยของ W ที่สัมพันธ์กับความเครียด ในแรงดึงทั่วไป ได้เป็นสมการ

$$\sigma = dW / d\lambda = 2(C_1 + C_2 / \lambda)(\lambda - 1/\lambda^2) \quad (9)$$

สำหรับยางและสารประกอบที่ใส่เล็กน้อย (Lightly filled compounds) สมการนี้มักอยู่ในรูปกราฟความเค้น ความเครียดที่มีระยะยืดได้ถึง 150% หรือสูงกว่า อย่างไรก็ตามสำหรับสารประกอบที่ใส่หนาแน่น (highly filled compounds) ฟังก์ชันนี้ใช้งานได้ถึงระดับความเครียดที่ 50% ซึ่งสามารถพิจารณาขอบเขตได้ได้ด้วยอนุกรมอนันต์ที่นิยามโดย

$$W = C_1(l_1 - 3) + C_2(l_2 - 3) + C_3(l_1 - 3)(l_2 - 3) \quad (10)$$

กราฟความเค้น ความเครียดสามารถเป็นแบบจำลองได้ใกล้เคียงกับความเครียดที่เกิน 100% ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างการยืดกับความเค้น (Mooney-Rivlin function)

ที่มา: Brown (1996)

อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)

เมื่อวัสดุนั้นยืดตัวออก จะมีการหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับทิศที่แผ่ออก อัตราส่วนนี้เรียกว่า อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) สำหรับวัสดุที่บีบอัดไม่ได้ อัตราส่วนปัวซองจะอยู่ที่ 0.5 และยางที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง ก็จะมีค่าประมาณนี้

ยังไม่มีมาตรฐานในการวัดค่าอัตราส่วนปัวซองสำหรับยางในปัจจุบัน แต่ที่เห็นเด่นชัดคือการใช้เครื่องวัดระยะยืดอันดับสองเพื่อที่จะวัดการเปลี่ยนความกว้างของชิ้นงาน แต่เครื่องเหล่านี้จะต้องมีความเที่ยงตรงที่สูงมาก และบริเวณที่วัดนี้มีความอ่อนไหวสูง ซึ่งทำให้เป็นการยากที่จะได้ผลลัพธ์ อีกวิธีที่ใช้กันคือการใช้ไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือการคำนวณอัตราส่วนปัวซองจากการวัดมอดูลีทั้งสอง

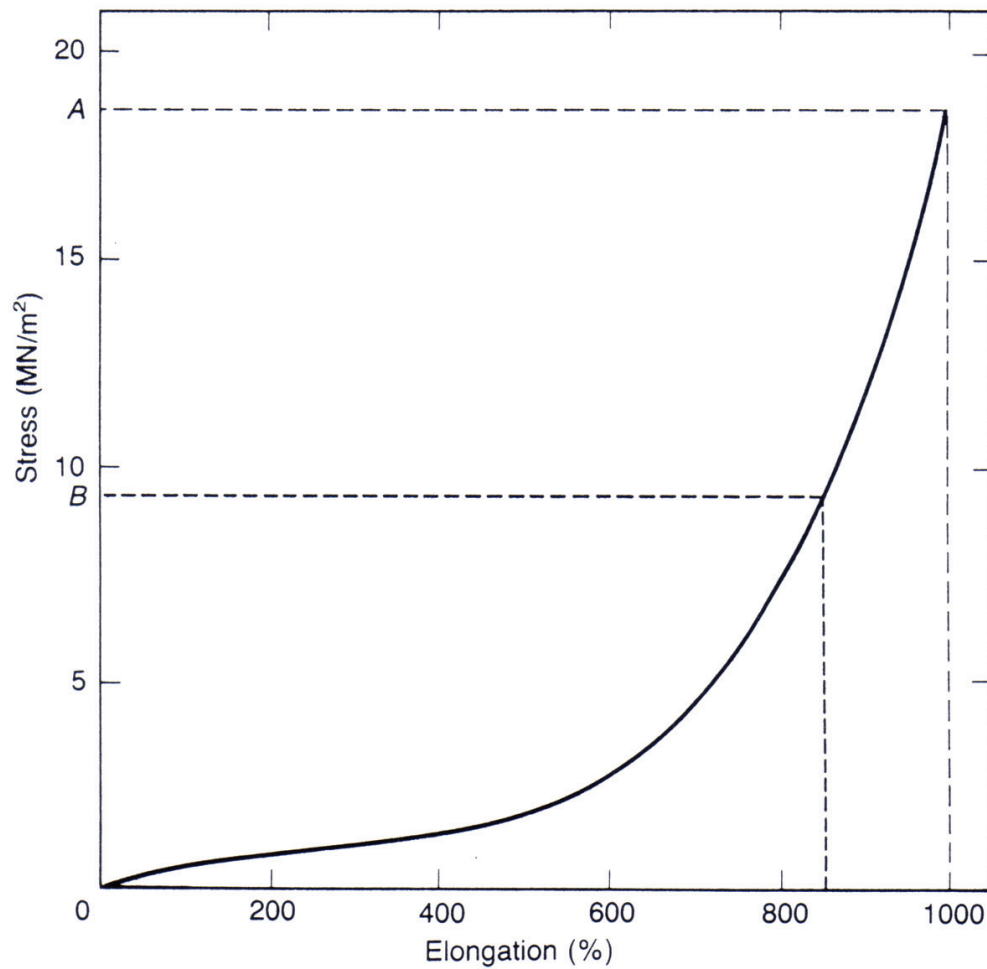
ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อีลีเมนต์

จากการทดสอบต่างๆ ที่กระทำมาและต้องการข้อมูลการวัดรวมทั้งกราฟความเค้นความเครียดนั้น ก็เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าของการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finite element analysis; FEA) เช่นในรูปแบบของค่าคงที่มูนีย์-ริวลิน (Mooney - Rivlin constants)

ความเค้นดึงและความเครียดดึง

วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาสมบัติทางแรงดึงปัจจุบันอยู่ในระดับที่เป็นมาตรฐานมากขึ้น โดยทดสอบในรูปชิ้นยางคัมป์เบลล์ หรือเป็นวงแหวน ทำการบันทึกการยืดด้วยการยืดและแรงคงที่

กราฟความเค้นดึงและความเครียดดึง แสดงให้เห็นว่าจะไม่มีช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นในช่วงเริ่มต้น นักวิชาการส่วนใหญ่จึงบันทึกข้อมูลเป็นระยะที่ยืดออก (Elongation) ดังภาพที่ 4 เป็นกราฟความเค้นดึงและความเครียดดึงที่ได้จากยางวัลคาไนซ์ที่ระดับความเค้นแตกต่างกัน และถ้าต้องการค่ามอดูลัสก็สามารถนำมาได้จากการวัดที่ละเอียดในช่วงแรกของความเค้นและความเครียด



ภาพที่ 4 กราฟแสดงร้อยละการยืดกับความเค้น

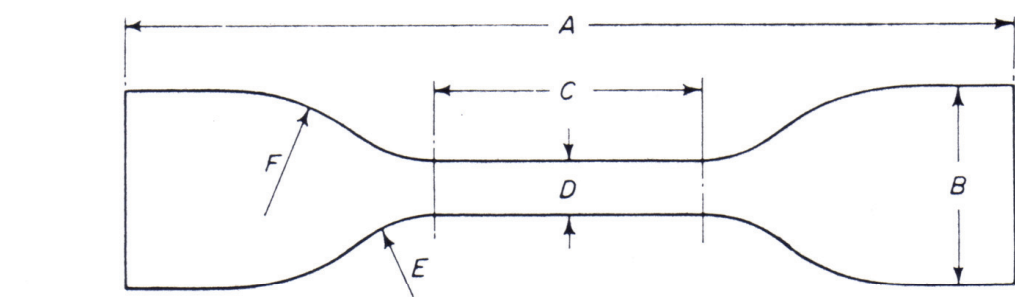
ที่มา: Brown (1996)

รูปแบบของชิ้นยางทดสอบ

รูปแบบของชิ้นยางทดสอบที่ใช้อยู่โดยทั่วไปมีสองประเภท ได้แก่ แบบวงแหวนและแบบคัมป์เบลล์ ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน ISO 37 (ISO, 2005) และ ASTM D412 (ASTM, 2000a) การใช้ยางแบบวงแหวนมีข้อดีคือไม่มีปัญหาเรื่องตัวยึดจับ ข้อเสียคือการกระจายความเครียดในวงแหวนนั้นไม่กระจายเสมอกัน (uniform)

ชิ้นยางทดสอบแบบคัมป์เบลล์มีความยากลำบากในการจับยึดและการวัดระยะยึดนั้นไม่สามารถกระทำได้จากตัวแยกเนื่องจากความเครียดที่เคลื่อนผ่านชิ้นทดสอบทั้งหมดนั้นไม่กระจายเสมอกัน แต่บริเวณชิ้นทดสอบตรงกลางนั้นจะได้ค่าความเค้นและความเครียดที่กระจายเสมอกัน

ในภาพที่ 5 แสดงถึงมิติของชิ้นยางทดสอบที่อยู่ในมาตรฐาน ISO 37 (ISO, 2005) และ ASTM D412 (ASTM, 2000a)



Dimension	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
A Overall length (minimum)	115	75	50	35
B Width of ends	25.0 ± 1.0	12.5 ± 1.0	8.5 ± 0.5	6.0 ± 0.5
C Length of narrow portion	33.0 ± 2.0	25.0 ± 1.0	16.0 ± 1.0	12.0 ± 0.5
D Width of narrow portion	$6.0^{+0.4}_{-0.0}$	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.0 ± 0.1
E Transition radius outside	14.0 ± 1.0	8.0 ± 0.5	7.5 ± 0.5	3.0 ± 0.1
F Transition radius inside	25.0 ± 2.0	12.5 ± 1.0	10.0 ± 0.5	3.0 ± 0.1

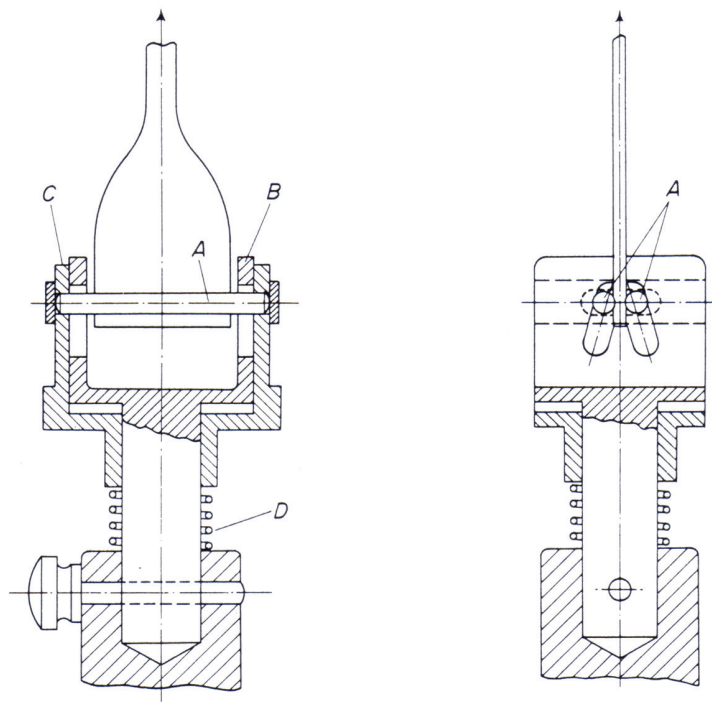
ภาพที่ 5 มิติของชิ้นทดสอบรูปคัมป์เบลล์

ที่มา: Brown (1996)

อุปกรณ์ที่ใช้วัด

จากมาตรฐาน ISO 37 (ISO, 2005) ได้อ้างถึงมาตรฐาน ISO 5893:2002 (ISO, 2002) สำหรับคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญดังนี้

ที่จับยึดชิ้นทดสอบ (Grips) ชิ้นยางทดสอบจะถูกจับยึดด้วยตัวหนีบยึดทั้งสองด้าน ตัวจับยึดชิ้นยางทดสอบที่เป็นที่นิยม ได้แก่ ตัวจับยึดชิ้นยางทดสอบแบบกาลวิน (Gavin-type grips) ซึ่งใช้กับชิ้นยางทดสอบแบบคัมป์เบลล์



ภาพที่ 6 ตัวจับยึดขึ้นยางทดสอบ (Grip)

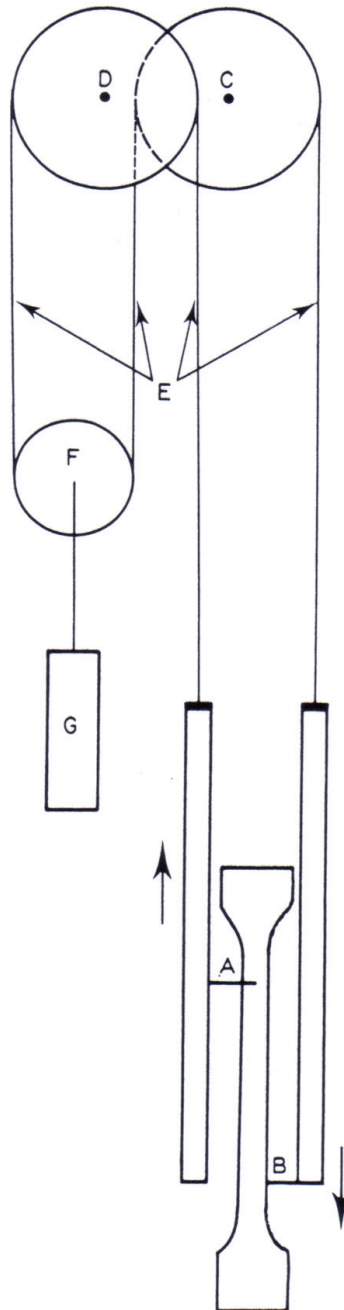
ที่มา: Brown (1996)

แรงกระทำ ขึ้นยางจะต้องยึดออกอย่างราบเรียบด้วยความเร็วคงที่และคงรักษาพลังที่ใช้ตั้งได้อย่างสม่ำเสมอ มาตรฐานการแยกออกจากกันของตัวจับยึดขึ้นยางทดสอบสูงสุดอยู่ที่ 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ความแปรเปลี่ยนของความเร็วในระดับ $\pm 10\%$ นั้นสามารถละทิ้งได้

การวัดแรงกระทำ โดยใช้แบบลูกตุ้มคลาสสิกเป็นวิธีที่ทนทาน ไม่ต้องดูแลรักษามากและมีราคาถูก แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องความคลาดเคลื่อนเชิงพลวัตเนื่องมาจากความเฉื่อยและแรงเสียดทาน จึงมีการใช้ระบบทรานสดูเซอร์ (Electrical transducer systems) ซึ่งมีข้อดีกว่า ได้แก่

1. ระบบจะอยู่นิ่งและคงที่
2. สามารถตัดปัญหาเรื่องความเฉื่อยและแรงเสียดทาน
3. โหลดเซลล์สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามการใช้งาน
4. สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้แม่นยำและสะดวก

การวัดระยะยืด (Elongation measurement) หลักการที่ใช้อยู่เป็นดังภาพที่ 7 โดยแรงดึงจะส่งไปยังเส้น E ไปยังรอก C และ D โดยมีรอก F และน้ำหนักถ่วง G คอยรักษาสมดุลไว้ จุด A และ B จะเป็นจุดที่ใช้ในการเก็บค่าเพื่อนำมาประมวลผล



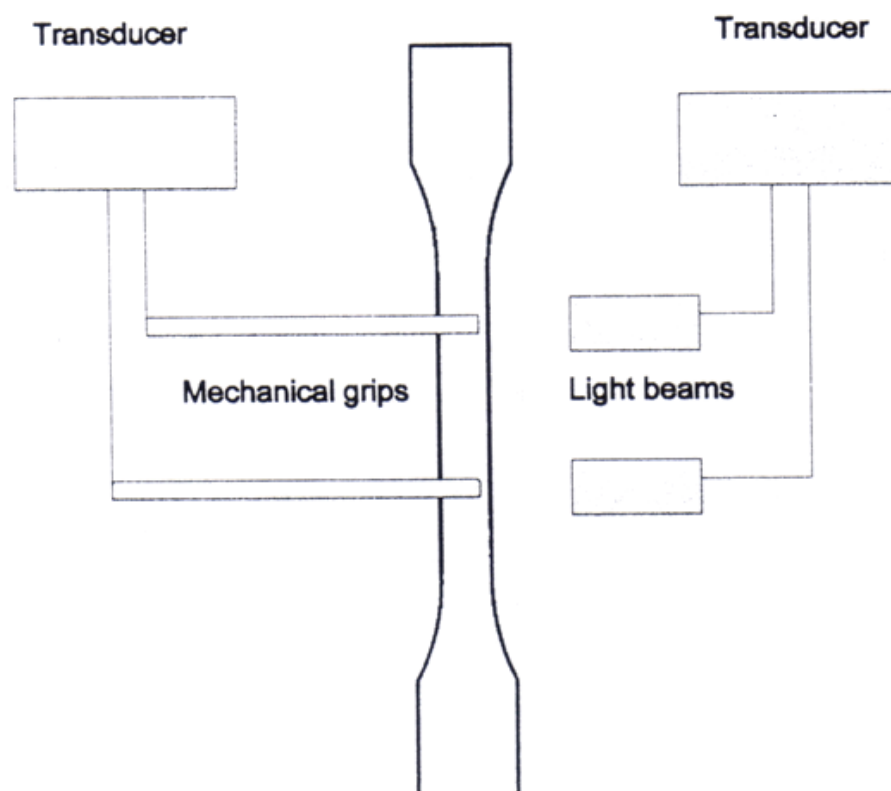
ภาพที่ 7 เครื่องวัดระยะยืดของยางรูปดัมพ์เบลล์

ที่มา: Brown (1996)

ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องวัดระยะยัดของยางแบบไม่สัมผัส ซึ่งมีข้อดีที่เห็นได้ชัด คือ

1. ไม่เกิดตัวจับยัดขึ้นยางทดสอบลื่นไถลและการเสียหายของชิ้นยางทดสอบ
2. สามารถทดสอบในสถานที่ที่ไม่ต้องจัดสถานะแวดล้อม

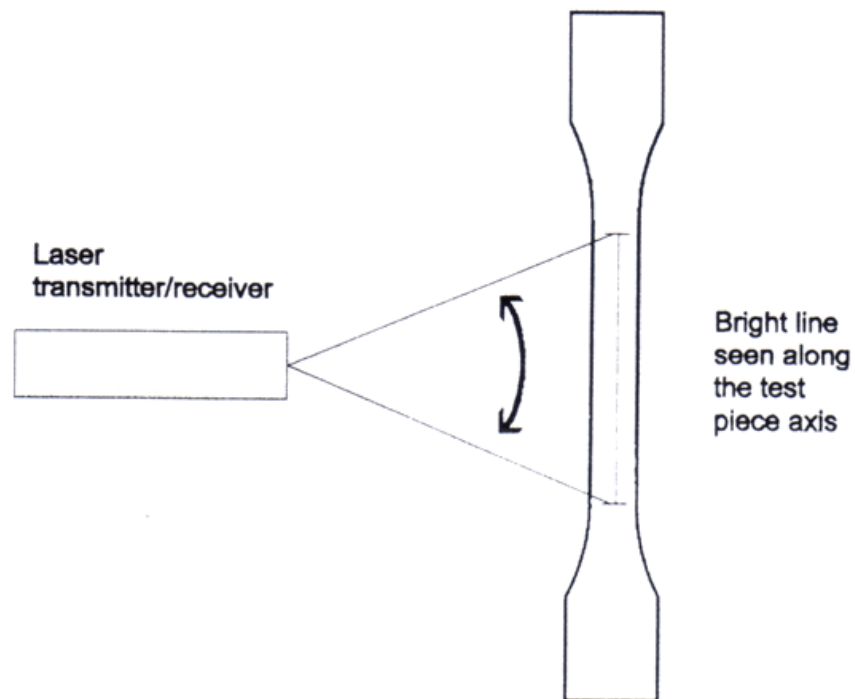
เครื่องวัดระยะยัดของยางแบบไม่สัมผัส ในยุคแรก เป็นแบบที่ใช้แสงเช่น อินฟราเรดฉายไปยังชิ้นทดสอบแล้วสะท้อนกลับมาโดยให้ทรานสดูเซอร์เป็นตัวตรวจสอบแสงที่เข้าและการเคลื่อนที่ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องวัดระยะยัดของยางแบบเชิงแสงและแบบเชิงสัมผัส

ที่มา: Brown (1996)

ต่อมาได้พัฒนาโดยใช้แสงเลเซอร์ซึ่งแสงจะกราดไปทำมุมกับจุดบ่งชี้ที่ขึ้นยาง โดยจะมีการวัดมุมที่ได้แล้วนำมาคำนวณหาระยะยัด แต่ระบบนี้ก็จะมีความเสี่ยงที่ความเครียดน้อยๆ เนื่องจากมุมของแสงเลเซอร์ยังมีจำกัด ทำให้ค่าคลาดเคลื่อน ดังภาพที่ 9

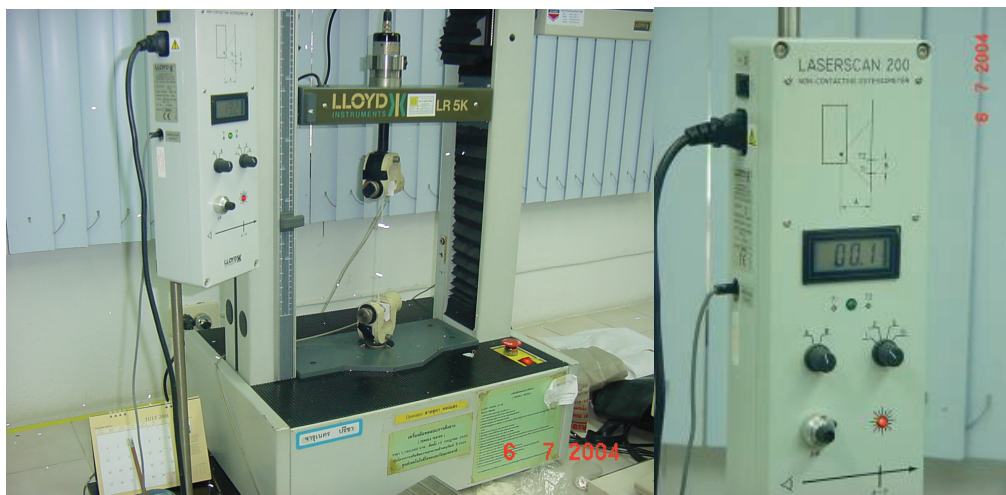


ภาพที่ 9 เครื่องวัดระยะยืดของยางแบบใช้แสงเลเซอร์
ที่มา: Brown (1996)

และในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องวัดระยะยืดของยางแบบใช้กล้องวิดีโอ (video extensometer) ซึ่งช่วยขจัดอุปสรรคที่มีมาในเครื่องวัดระยะยืดที่เคยมีมาในอดีต โดยใช้วิธีการจับภาพเคลื่อนไหวเข้ามาคำนวณระยะยืดของชิ้นงานทดสอบ

เครื่องวัดระยะยืดของยางตัวอย่าง

อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของยาง (Hofmann, 1989; Schade, 1946) ที่มีใช้กันแพร่หลายได้แก่เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ของสถาบันวิจัยยาง

ในเครื่องทดสอบแรงดึงนี้จะถูกใช้เพื่อเก็บข้อมูลสองค่าคือแรงที่ใช้ดึงชิ้นงานและระยะยืดที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นงาน ตามรายละเอียดใน (Hofmann, 1989; Schade, 1946) ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความคงทนแข็งแรงตามลักษณะเฉพาะของยางแต่ละชนิด

ประเภท

เครื่องวัดระยะยี่ห้อของยางตัวอย่างยังจำแนกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับระยะการยัดของยาง และความแม่นยำในการวัด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องวัดระยะยี่ห้อของยางตัวอย่างแบบต่างๆ

ประเภทสัมผัสชิ้นงาน	ประเภทไม่สัมผัสชิ้นงาน	ความละเอียด	ระยะยัด
Clip on	Video	สูงสุด	สั้น
Macro	Video	สูง	ปานกลาง
Multisense	Video	สูง	ยาว
Longstroke	Laser/Photo Diode	ปานกลาง	ยาว

ที่มา: Zwick (2002)

หลักการทำงานของเครื่องวัดระยะยี่ห้อของยางตัวอย่าง

ในการทำงานของเครื่องวัดระยะยี่ห้อของยางแบบกราดแสงเลเซอร์ มีกระบวนการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แสงเลเซอร์จะกราดไป ณ จุดที่ได้ทำตำแหน่งไว้บนชิ้นยางทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อชิ้นยางเลื่อนขึ้น ตัวทำตำแหน่งก็จะเคลื่อนที่ตาม

ขั้นตอนที่ 3 อุปกรณ์รับภาพเลเซอร์จะรับแสงสะท้อนที่ต่างองศาขึ้นมาคำนวณ

ขั้นตอนที่ 4 ได้ระยะห่างที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อชิ้นยางทดสอบถูกดึงจนถึงสภาพ Non elastic แล้วเลิกขาด

ขั้นตอนที่ 6 ระบบเลเซอร์จะไม่สามารถบันทึกข้อมูลต่อได้ พร้อมทั้งแรงดึงจะเปลี่ยนไป

ขั้นตอนที่ 7 ระบบจะเลื่อนเข้าสู่ค่าเริ่มต้น ส่งข้อมูลโดยรวมออกทางเครื่องคอมพิวเตอร์

พร้อมเริ่ม การทดสอบชิ้นงานใหม่ต่อไป

มาตรฐานการวัดระยะยืดของยางตัวอย่าง

การเก็บระยะยืดยางนั้นมีมาตรฐานในการทดสอบอยู่ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายมาตรฐาน นานาชาติที่เกี่ยวข้อง ทั้งเครื่องมือวัดและชิ้นยางทดสอบ ได้แก่

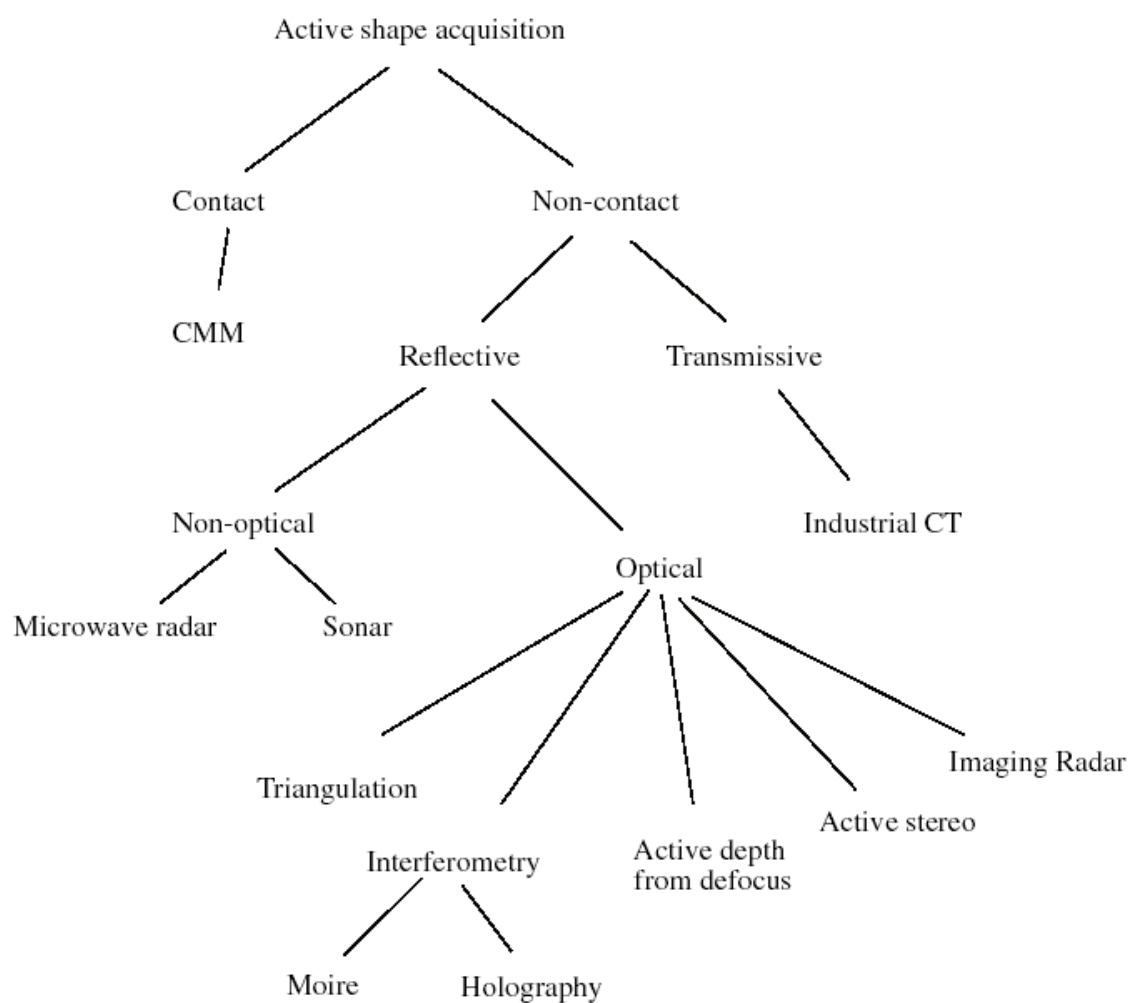
1. NF T 46-002 Vulcanized rubber or thermoplastic rubber (Registered French Standard, 1986)
2. ISO 376, Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines (ISO, 1999a)
3. ISO 5893:2002 Rubber and plastics test equipment — Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse) Specification (ISO, 2002)
4. ISO 7500-1 :1999 Metallic materials Verification of static uniaxial testing machines Part 1: Tension/compression testing machines Verification and calibration of the force measuring system (ISO, 1999b)
5. ISO 7500-2 :1996 Metallic materials Verification of static uniaxial testing machines Part 2 Tension creep testing machines - Verification of the applied load (ISO, 1996)

นอกจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องแล้ว ในการทดลองที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025-1999 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO, 1999c) อีกด้วย ทั้งนี้จะได้นำมาพิจารณาในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว

การสแกนภาพรับข้อมูล

การจำแนก

Curless (1997) กล่าวว่าไว้ว่าวิธีการในการสแกน (Scan) วัตถุรูปทรงต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการประมวลผล มีอยู่หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุ และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เทคนิควิธีการต่างๆ ในการรับภาพ

ที่มา: Curless (1997)

การเลือกการสแกนภาพรับข้อมูลที่เหมาะสม

Winsborough (2002) ได้กล่าวไว้ในการสแกน (Scan) วัตถุรูปทรงต่างๆ จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ ซึ่งคลื่นแต่ละประเภท มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความเร็วในการจับภาพ การให้สี ความถูกต้อง ขอบเขตขนาดของวัตถุที่สามารถวัดได้ ความปลอดภัย การเป็นที่ยอมรับ และความเร็วในการประมวลผล ดังที่ ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเทคนิคการสแกนด้วยวิธีต่างๆ

	Type of Eletromechanical Wave					
	Structured Light	Infra- Red	Laser Progressive	Stereo Matching	Focal Plane	Radar
Capture speed	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✗
Colour	✓	✗	✗	✓	?	✗
Accuracy	✓	✓	✓	?	✓✓	✗
Range	✓	✓	✓	✓✓	✗✗	✓
Safety/Acceptability	✓	?	✗	✓	✓	✗
Processing Speed	✓	✓	✓	✗	✗✗	✗

หมายเหตุ กำหนดให้ ✓ สามารถทำได้ ✗ สามารถทำได้ไม่ดี ? ยังไม่สามารถสรุปได้
 ✓✓, ✓, ✗, ✗✗ แทนค่าระดับความสามารถสูงสุดถึงต่ำสุด
 ตามลำดับ ในแต่ละแถวหรือหลักของประเภทเดียวกัน

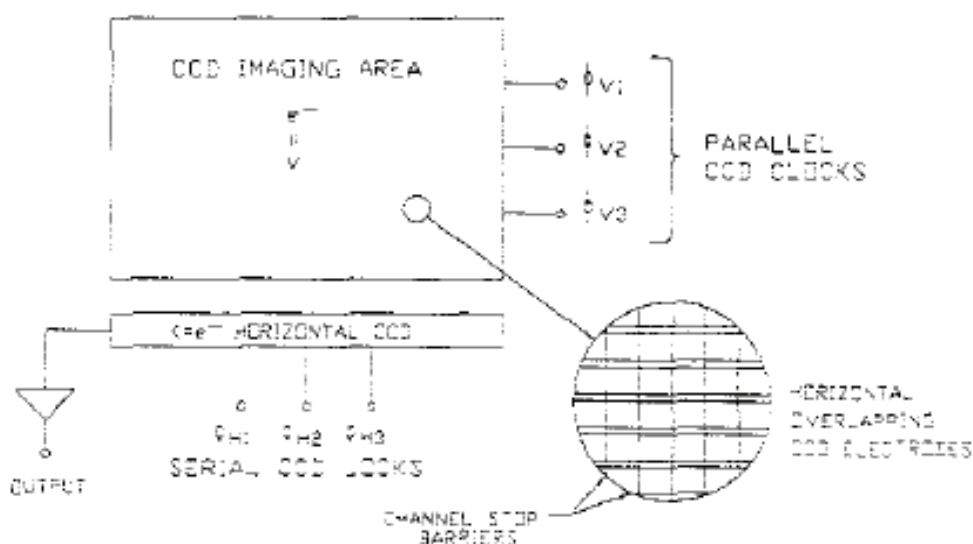
ที่มา: Winsborough (2002)

เทคโนโลยีการรับภาพ

1CCD

Suni (1995) ได้กล่าวไว้ว่า CCD (Charge-Coupled Devices) คืออุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์พิเศษที่มาจากเทคโนโลยีมอส (MOS technology) CCD อยู่ในหมวดของอุปกรณ์ลำเลียงประจุไฟฟ้าที่มีสะพานเชื่อมโยงขนาดใหญ่ การนำไปใช้ที่พบได้บ่อยคืออุปกรณ์รับภาพแบบ CCD ซึ่งพบได้ทั่วไปในเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น กล้องวิดีโอ เครื่องโทรสาร กล้องถ่ายภาพนิ่ง อิเล็กทรอนิกส์ สแกนเนอร์ตั้งโต๊ะ นอกจากนี้ยังใช้ในงานภาคการทหาร อุตสาหกรรมและการทดลองทางวิทยาศาสตร์

ภาพที่ 12 แสดงถึงโครงสร้างตัวรับภาพ CCD โดยทั่วไปแบบสองมิติ ซึ่งเรียกรอกแบบ เช่นนี้ว่า สถาปัตยกรรม CCD แบบเต็มกรอบ (Full-Frame CCD Architecture) รูปแบบขนาดนี้ใช้โดยทั่วไปในการผลิตเวเฟอร์ CCD และ CCD ขนาดพื้นที่กว้างอื่นๆ



ภาพที่ 12 โครงสร้างตัวรับภาพแบบ 1CCD

ที่มา: Suni (1995)

พื้นที่รับภาพของอุปกรณ์ประกอบด้วยเกตอิเล็กโทโรดที่เรียงกันเป็นแนวนอนและแนวตั้ง ทำการปรับช่องหยุดเพื่อส่งสัญญาณภาพทางแนวนอน ซึ่งแต่ละจุดภาพนั้นแสดงโดยเกตอิเล็กโทโรด ทั้ง 3 เฟส และช่องแคบที่หยุดขวางไว้ซึ่งมีขนาดกว้างเพียง 2-4 ไมครอน

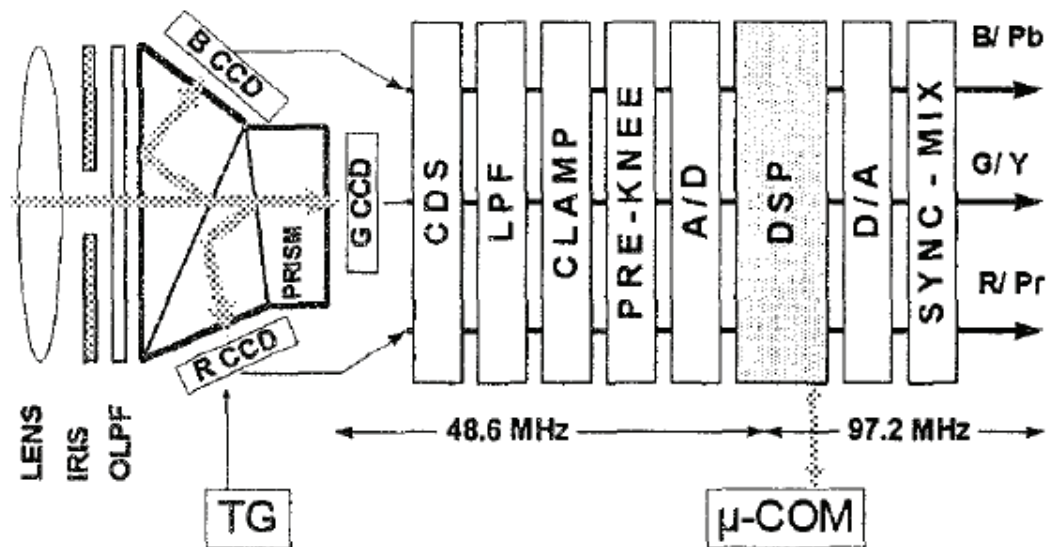
หลังจากแต่ละช่วงการรวม โฟโตอิเล็กตรอนจะลำเลียงทางแนวตั้ง ไปยัง register แนวนอน ซึ่งมีตัว multiplexor ที่จะเรียกเส้นแนวนอนของแพ็คเกจประจุนสัญญาณในแต่ละช่วงเวลาที่ส่งประจุ ไปยัง CCD Amplifier แบบจุดต่อจุด

3CCD

Lee et al. (1996) กล่าวว่า ใ้ว่า แสงเหตุการณ์หรือภาพที่เราถ่ายนั้นจะเข้ามายังเลนส์ที่เป็นระบบ optical system ก่อนที่จะเข้ามายังระบบ CCD แสงของวัตถุจะส่งไปยังปริซึมผ่านทาง iris และ optical low pass filter เนื่องจากแสงธรรมชาตินั้นมีช่วงของคลื่นความถี่กว้าง ที่จะชักสัญญาณที่ CCD ตัวเดียว ซึ่งมีเพียงจุดภาพจำนวนจำกัด สัญญาณแรกที่รับเข้าเหมือนกันจึงถูกกดโดยตัวกรองก่อน จากนั้นปริซึมจะแยกแถบช่วงคลื่นความถี่ของแสงแต่ละช่วงไปยังช่วง แดง เขียว และน้ำเงินก่อนที่จะนำส่งไปยัง CCD แต่ละชุด รวมกันเป็น 3 ชุด 3 CCD ดังภาพที่ 13

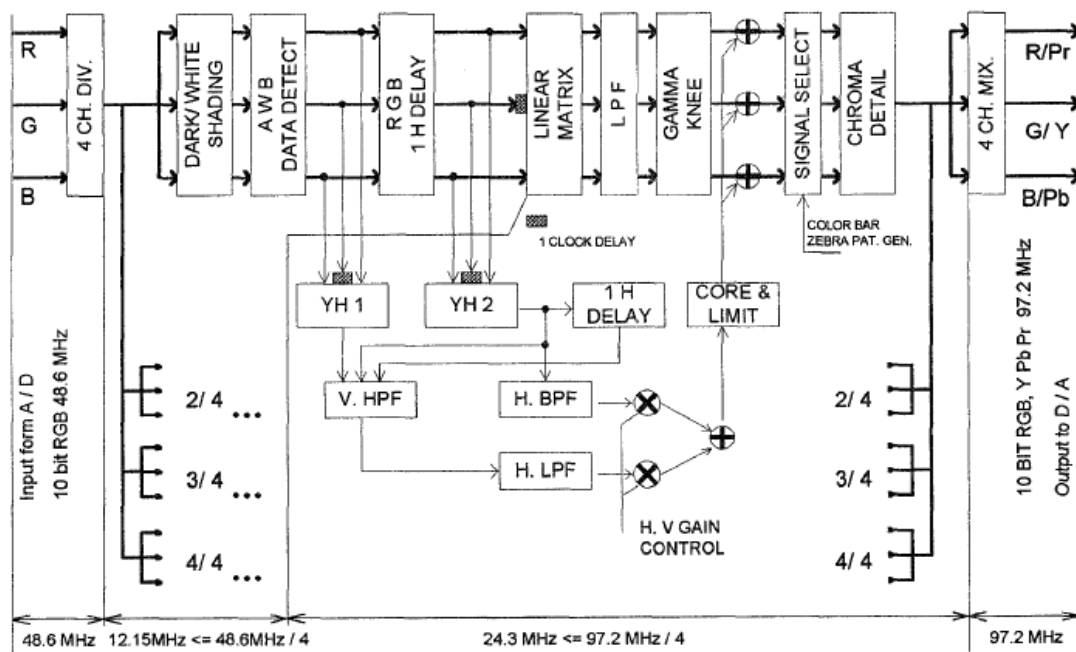
แต่ละ CCD ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 48.6 MHz ที่คุณลักษณะเฉพาะที่ 30 fps 1125 เส้นต่อเฟรม และ 1440 จุดภาพต่อเส้น จำนวนสัมฤทธิ์ของจุดภาพใน CCD ตัวอย่างนี้คือ 1035x1258 นั่นคือความจุของ 1.3 ล้านจุดภาพ แต่เพื่อให้ได้ความละเอียดสูงกว่านี้ เราจะใช้วิธียกระดับจุดภาพเชิงพื้นที่ระหว่างช่อง G CCD และ RB CCD นั่นคือ ทำให้ปริซึมยกระดับครึ่งไปในแนวนอน โดย CDS แล้วทำให้สอดคล้องกันด้วยการะบวนการทางอนาลอก

เมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการต่างๆ แสงแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อเข้าสู่ระบบการประมวลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ต่อไป ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 ระบบกล้องรับภาพแบบ 3CCD

ที่มา: Lee et al. (1996)



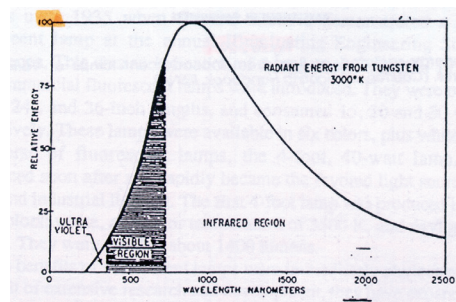
ภาพที่ 14 ผังระบบประมวลสัญญาณดิจิทัล (DSP Block)

ที่มา: Lee et al. (1996)

ทฤษฎีการประมวลผลด้วยภาพ

วิศวกรรมแสงสว่าง

Spectral Energy Distribution ของหลอด Incandescent Lindsey (1991) หลอด Incandescent แผ่รังสีในช่วงแสงที่ตามองเห็นในช่วงที่น้อย ส่วนใหญ่แล้วจะแผ่รังสีอินฟราเรดมากกว่า และแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตน้อย ดังภาพที่ 15

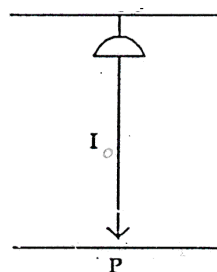


ภาพที่ 15 Spectral Energy Distribution ของหลอด Incandescent

ที่มา: Lindsey (1991)

การคำนวณการส่องสว่าง Lindsey (1991) ในการคำนวณการส่องสว่าง ณ จุดหนึ่ง ความส่องสว่าง ณ จุดซึ่งตั้งฉากกับพื้นผิว สามารถหาได้จากสมการ

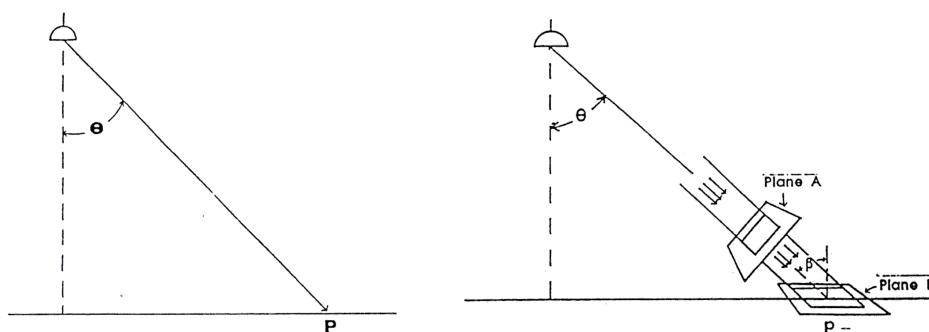
$$E = \frac{I}{D^2} \text{ หรือ } F_c = \frac{\text{Candlepower}}{\text{Distance}^2} \quad (11)$$



ภาพที่ 16 การคำนวณการส่องสว่างแบบ Inverse Square Law

ที่มา: Lindsey (1991)

ในความเป็นจริงความส่องสว่างจะต้องคำนวณบนระนาบ ซึ่งไม่ได้ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสง ดังภาพ กรณีนี้การใช้ Inverse Square Law ดังภาพที่ 16 จะได้ค่าที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากพื้นที่เหนือบริเวณที่ฟลักซ์แสงนั้นกระจายตัวอยู่นั้นมากกว่า 1 ตารางฟุต ดังภาพที่ 17 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ไขให้ถูกต้อง



ภาพที่ 17 การคำนวณการส่องสว่างปรับแก้ไขให้ถูกต้อง

ที่มา: Lindsey (1991)

จุด ณ ตำแหน่งที่แสงทำการคำนวณ นั้นไม่ได้อยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสงเสมอไป เมื่อจุด ณ ที่ความส่องสว่างได้ถูกคำนวณ นั้นไม่ได้อยู่บนระนาบตั้งฉากกับฟลักซ์แสงของแหล่งกำเนิดแสงที่กระจายครอบคลุมพื้นที่มากกว่า ดังนั้นการคำนวณจึงควรเป็นดังสมการ

$$E = \frac{I \cos \beta}{D^2} \quad (12)$$

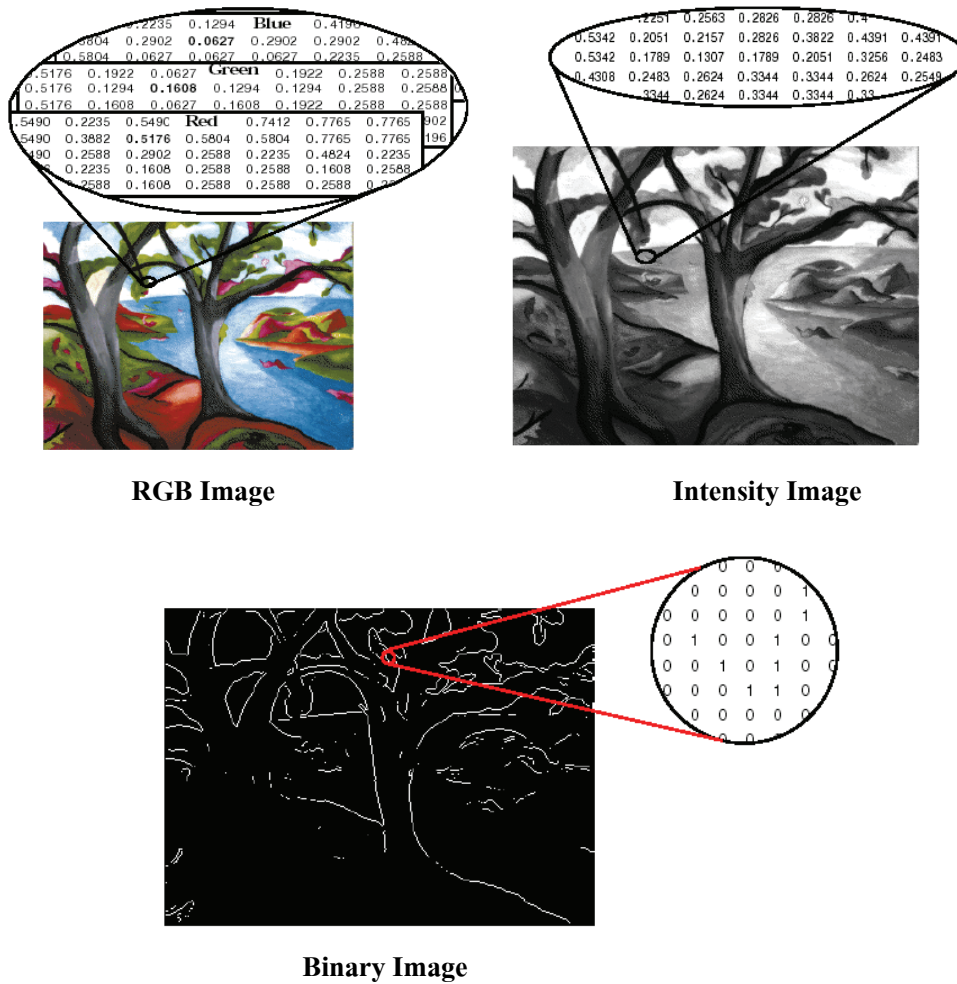
การประมวลผลภาพ

ชนิดของภาพ (Image Type) (MathWorks, 2001) ในการประมวลผลภาพ จะมีการเก็บข้อมูลของภาพในรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งลักษณะทั่วไปของภาพแต่ละประเภทมีดังนี้

ภาพสี (RGB Images) ภาพ RGB บางครั้งเรียกว่า ภาพ True color ซึ่งเก็บอยู่ในโปรแกรมเป็นเมตริกซ์ 3 มิติขนาดข้อมูล $M \times N \times 3$ ซึ่งระบอบองค์ประกอบสี แดง เขียว น้ำเงิน ไว้ในแต่ละพิกเซลสีของแต่ละพิกเซลนั้นเกิดจากการรวมความเข้มกันของสีแดง เขียว น้ำเงิน เก็บไว้ในแต่ละ plane ณ ตำแหน่งพิกเซลนั้น รูปแบบ (Format) ของภาพนั้น เก็บอยู่ในลักษณะ ภาพ 24 บิต โดยแต่ละองค์ประกอบสีแดง เขียว และน้ำเงิน นั้นมีขนาดละ 8 บิต ซึ่งแสดงผลได้ถึง 16 ล้านสี เสมือนสีในชีวิตจริง

ภาพระดับความเข้ม (Intensity Images) ภาพระดับความเข้มเป็นเมตริกซ์ข้อมูล (Data Matrix) ซึ่งค่า ณ พิกเซลนั้นๆ จะแสดงถึงความเข้มในแต่ละระดับ โดยเก็บไว้ในเมตริกซ์ 2 มิติ โดยแต่ละตำแหน่งของเมตริกซ์ นั้นแสดงถึงแต่ละตำแหน่งของพิกเซล ค่าความเข้มนั้น จะถูกแทนด้วยความเข้มที่แตกต่างกันไป หรือเรียกว่าระดับเทา (Grayscale) โดยระดับความเข้ม 0 แทนด้วยสีดำ และความเข้ม 1, 255 หรือ 65535 มักจะแทนด้วยความสว่างสูงสุด หรือสีขาวนั่นเอง

ภาพสองระดับ (Binary Images) ในภาพสองระดับ แต่ละพิกเซลจะถูกแทนด้วยค่าเต็มหน่วย (Discrete Value) เพียงสองค่า ในการเปรียบเทียบกับภาพระดับความเข้ม (Intensity Image) เราอาจเปรียบได้กับระดับ ดำ หรือ ขาว



ภาพที่ 18 ชนิดของภาพ

ที่มา: MathWorks (2001)

Image Enhancement (Gonzalez and Woods, 2001)

Arithmetic/Logic Operations ในภาพนั้นเป็นการกระทำระหว่างมูลฐาน (basis) พิกเซลต่อพิกเซลระหว่างภาพสองภาพ หรือมากกว่า (ไม่รวม การกระทำ NOT ซึ่งกระทำในภาพเดียว)

การกระทำแบบตรรกะ Logic Operations

NOT Operator เป็นการนำเบสิส ณ พิกัดเดียวกัน กระทำแบบนิเสธกัน

AND Operator เป็นการนำเบสิส ณ พิกัดเดียวกัน กระทำแบบและกัน

OR Operator เป็นการนำเบสิส ณ พิกัดเดียวกัน กระทำแบบหรือกัน

A	NOT A
0	1
1	0

NOT Operator

A	B	A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND Operator

A	B	A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR Operator

ภาพที่ 19 การกระทำแบบตรรกะ

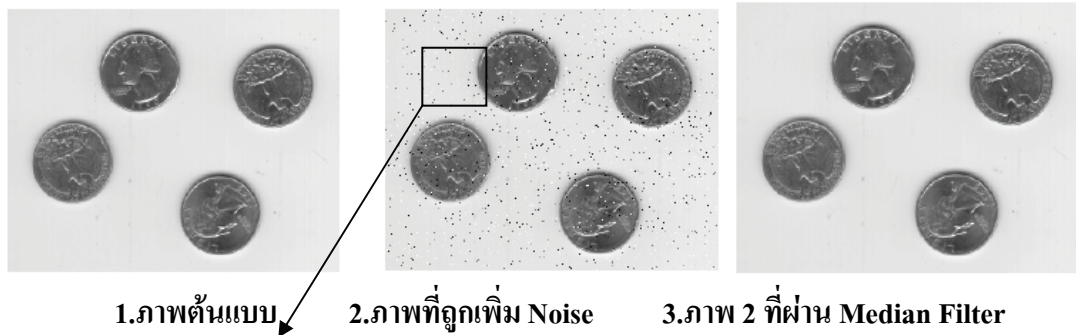
ที่มา: Gonzalez and Woods (2001)

Order-statistical Filter เป็น spatial filter ที่มีพื้นฐานจากการเรียงลำดับ (ranking) พิกเซลที่มีอยู่ในพื้นที่ภาพที่อยู่ภายใน (encompassed) หน้าต่าง filter ผลตอบสนองของ filter ณ จุดใดๆ นั้นพิจารณาจากผลลัพธ์การจัดลำดับ

ตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter) เป็น filter ที่แทนที่ค่าของพิกเซลนั้นด้วยการหาค่ามัธยฐาน (median) จากค่าระดับในบริเวณโดยรอบพิกเซลนั้นๆ ค่า median ξ ของค่าเซตนั้นเป็นค่ากลางของค่าในเซตที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ ξ และอีกครั้งหนึ่งนั้นมากกว่าหรือเท่ากับ ξ

ให้ $\hat{f}(x, y)$ แทนด้วย มูลฐานที่ถูกกระทำด้วย Median filter ของ $g(s, t)$ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\hat{f}(x, y) = \underset{(s, t) \in S_{xy}}{\text{median}}\{g(s, t)\} \quad (13)$$



15	15	13
10	15	15
175	220	15

หน้าต่างขนาด 3x3

10	13	15	15	15	15	15	175	220
----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

เรียงลำดับค่าเพื่อค้นหาค่ากลาง

15
นำค่ากลางที่ได้
แทนลงในพิกเซล

ภาพที่ 20 ตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter)

ที่มา: Gonzalez and Woods (2001)

Image Segmentation

การพิจารณาระดับป้งชี้ (Thresholding) เป็น การแบ่งส่วนของภาพโดยใช้ค่า Intensity ในเบสิสนั้นๆพิจารณาดังสมการ

$$\text{If } f(x, y) > T \text{ then } f(x, y) = 0 \text{ else } f(x, y) = 255 \quad (14)$$

เมื่อ T เป็นค่า Threshold $\in [0, 255]$ เพื่อให้การแบ่งส่วนของภาพนั้นมีความทนทาน (Robust) ค่า Threshold ควรจะถูกคำนวณอัตโนมัติโดยระบบ โดยพิจารณาจากชนิดวัตถุ การนำไปใช้ และสิ่งแวดล้อมในภาพ เช่น คุณสมบัติทางระดับความเข้มของวัตถุ ขนาดของวัตถุ ส่วนย่อยของภาพที่ปรากฏโดยวัตถุ จำนวนชนิดของวัตถุที่ปรากฏในภาพ



1.ภาพต้นแบบ (Intensity Image)



2. ภาพผ่านการทำ Threshold

ภาพที่ 21 การพิจารณาระดับป้งชี้ (Thresholding)

ที่มา: MathWorks (2001)

Otsu's method (Otsu, 1979) วิธีการหาค่า Threshold นี้ อยู่ในพื้นฐานที่การเลือกจุดต่ำสุดระหว่างกลุ่ม (peak) ทั้งสอง จากนั้นทำการกำหนดการวิเคราะห์แยกแยะ โดยมีฟังก์ชันเกณฑ์เฉพาะส่วน (particular criterion function) ใช้ในการวัดการแยกแยะทางสถิติ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แยกการคำนวณความแปรปรวนเป็น 2 ประเภท ได้แก่

$$\sigma_T^2 = \text{ความแปรปรวนรวม} \quad (15)$$

$$\sigma_w^2 = \text{ความแปรปรวนในประเภท}$$

ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยในแต่ละประเภทจากค่าเฉลี่ยระดับความเข้มทั้งหมดของทุกๆ พิกเซล นิยามว่า ความแปรปรวนระหว่างประเภท (Between-classes variance) σ_b^2 ฟังก์ชันบรรทัดฐานมีส่วนร่วมในการลดอัตราส่วนของความแปรปรวนระหว่างประเภท สู่ ความแปรปรวนรวม

$$\eta(t) = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_t^2} \quad (16)$$

ค่าของ t ซึ่งให้ค่าน้อยที่สุดสำหรับ n นั่นคือค่า Threshold ที่ได้ผลดีที่สุด σ_T^2 และค่าเฉลี่ยรวม μ_T นั้นได้มาจากภาพ

ความแปรปรวนระหว่างประเภทนั้นคำนวณจาก

$$\sigma_b^2 = w_0 w_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (17)$$

$$\text{เมื่อ} \quad w_0 = \sum_{i=0}^t p_i \quad w_1 = 1 - w_0$$

โดย p_i เป็นค่าความน่าจะเป็นของระดับความเข้ม i หรือค่าฮิสโทแกรม ณ i หารด้วยจำนวนรวมของพิกเซล และ

$$\mu_0 = \frac{\mu_t}{w_0}, \quad \mu_1 = \frac{\mu_T - \mu_t}{1 - w_0}, \quad \mu_t = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i \quad (18)$$

$\eta(t)$ นั้นคำนวณจากทุกๆค่าที่เป็นไปได้ของ t และค่า t ที่ให้ค่า η ที่น้อยที่สุด นั่นคือค่า Threshold ที่ได้ผลดีที่สุด

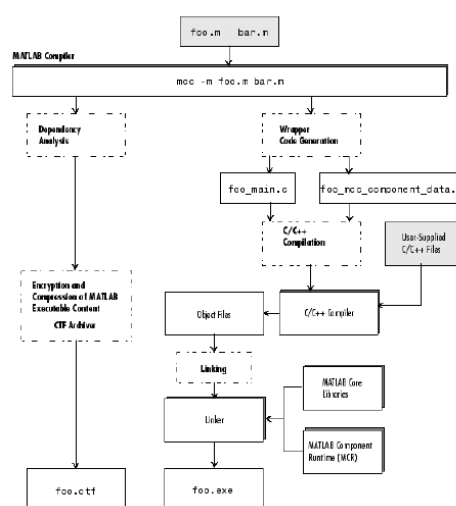
โปรแกรม MATLAB

โปรแกรม MATLAB Compiler

MathWorks (2006a) กล่าวว่า โปรแกรม MATLAB Compiler เป็นโปรแกรมที่แปลงโปรแกรม MATLAB ไปสู่โปรแกรมที่ทำงานได้ด้วยตนเองโดยอัตโนมัติ และองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ต่างๆ และเชื่อมต่อกับผู้ใช้ปลายทาง (end users) ซึ่งโปรแกรมหากล่าวจะไม่ต้องทำงานภายใต้ MATLAB อีกต่อไป ตัวแปลงภาษา ทำให้โปรแกรมของ MATLAB เช่น M-files, MEX-files, หรือ MATLAB executable code เป็นตัวเข้า และสร้างองค์ประกอบซอฟต์แวร์แบบ stand-alone

โปรแกรม MATLAB Compiler สามารถสร้างโปรแกรมหรือองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. โปรแกรมที่ทำงานได้ด้วยตนเอง
2. โปรแกรมภาษา C และ C++ และไลบรารี เช่น DLL (dynamically linked libraries)
3. ส่วนเพิ่มเติมของ Excel (Excel add-ins). Requires MATLAB Builder for Excel
4. ระบบ COM และวัตถุแบบสถาปัตยกรรม .NET



ภาพที่ 22 การแปลง MATLAB เป็นโปรแกรมประจำที่ (standalone application)

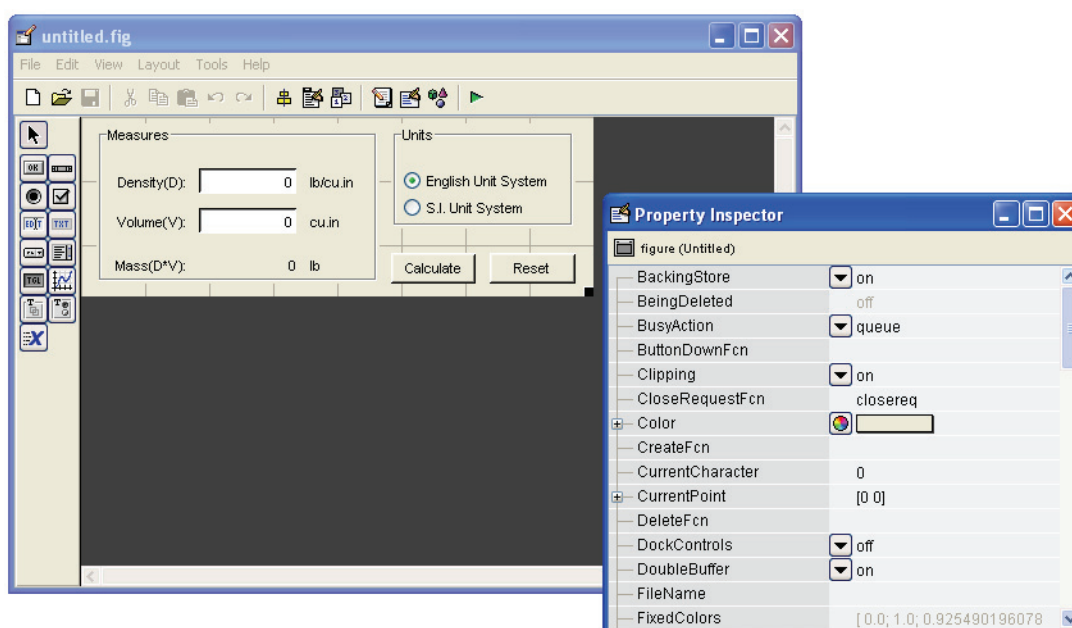
ที่มา: MathWorks (2006a)

โปรแกรม MATLAB GUI

MathWorks (2006b) กล่าวว่าโปรแกรม MATLAB GUI หรือ GUIDE (MATLAB Graphical User Interface development environment) มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแบบตอบสนองผู้ใช้งานแบบกราฟิก ประกอบด้วยการจัดวางรูปแบบ และการโปรแกรม

การจัดวางรูปแบบ (Laying Out a GUI) ในส่วนนี้สามารถเลือกและลากส่วนประกอบต่างๆ เช่น แกน เป็นกด ปุ่ม กล้องข้อความ และอื่นๆ ลงไปยังพื้นที่จัดรูปแบบ ซึ่งสามารถปรับแต่งขนาด มุมมอง และการจัดวางรูปลักษณ์ได้

การโปรแกรม (Programming the GUI) สามารถสร้าง m file ที่ควบคุมการทำงานของแบบตอบสนองผู้ใช้งานแบบกราฟิก ในส่วนนี้จะได้จัดเตรียมส่วนโปรแกรมเริ่มต้นและขอบเขตการทำงานและฟังก์ชันย้อนกลับ เพื่อตอบสนองต่อผู้ใช้งาน



ภาพที่ 23 การแสดงผลผู้ใช้งานแบบกราฟิก

ที่มา: MathWorks (2006b)