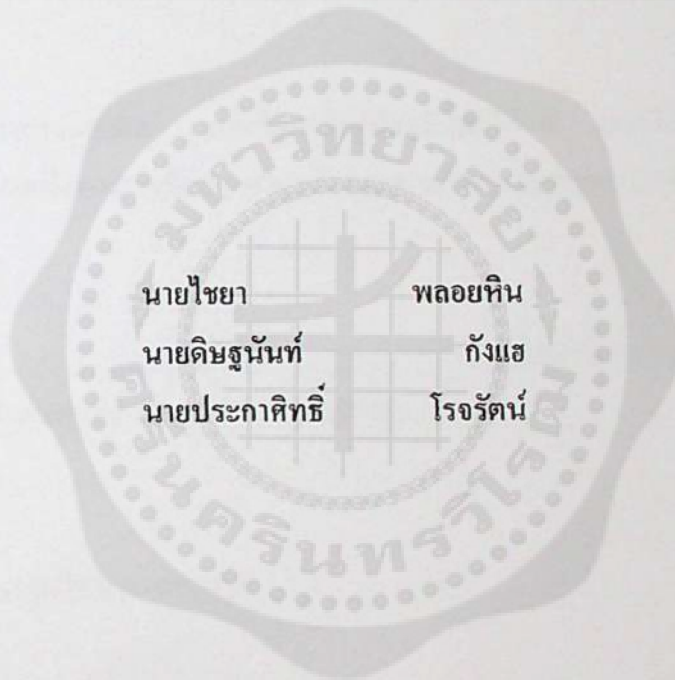


ศึกษาชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น (Stress concentration)

ด้วยวิธี Photoelastic polariscope

21 ส.ย. 2544



โครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ.2542

หัวข้อโครงการวิศวกรรม

ศึกษาชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น

ด้วยวิธี Photoelastic Polariscopes

โดย

นายไชยา

พลอยหิน

นายดิษฐานันท์

กังแฮ

นายประกาศิทธิ์

โรจรัตน์

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เกียรติชัย

รักษาชาติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์



ประธานกรรมการ

(อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

กรรมการ

(อาจารย์วิจิต บัวแก้ว)

กรรมการ

(อาจารย์สำรวย กระระนันท์)

ศึกษาชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration)

ด้วยวิธี Photoelastic Polariscopes

ปีการศึกษา 2542

โดย

นายไชยา พลอยหิน

นายดิษฐนันท์ กังแฮ

นายประกาศิทธิ์ โรงรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตกล่าวถึงการวิเคราะห์และทดลองดูเส้นแรงความเค้นหนาแน่นภายในเนื้อของวัสดุทดสอบ [พลาสติกใส] สามารถทดสอบแรงดึงและแรงกดบนแบบตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของแสง เป็นตัวส่องผ่านแบบทดสอบ ซึ่งแสงที่ส่องผ่านจะมีแผ่นโพลาไรซ์ตัดขวางถ้าแสงอยู่ 2 แผ่นคือ 1.แผ่นอนาไลเซอร์ 2.แผ่นโพลาไรเซอร์ ทำให้เราสามารถมองเห็นความเค้นที่เกิดขึ้นจริงได้เพื่อนำไปพิจารณาในการออกแบบ

Stress concentration by photoelastic polariscope

Academic Year 1999

By

Mr.Chaiya Ployhin

Mr.Dittanan Kanghair

Mr.Prakasit Rojrat

Project Report Advisor

Mr.Keatchai raksachat

Abstract

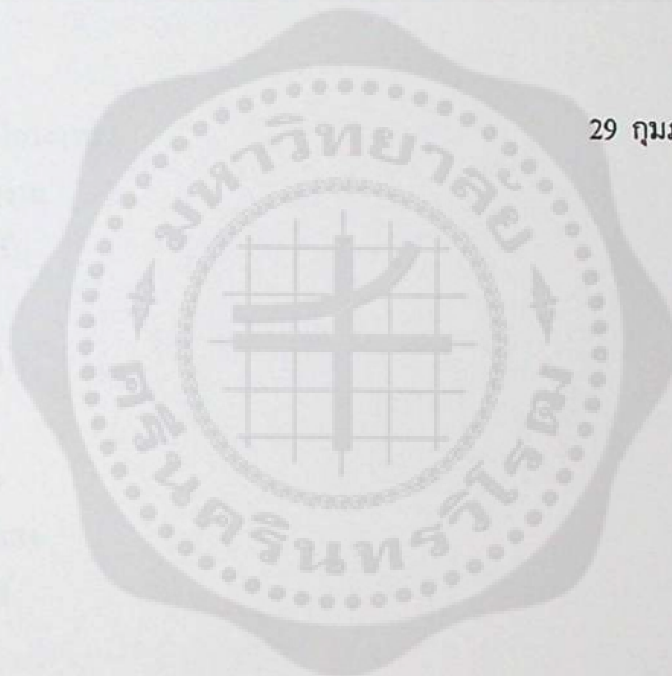
This project is informed the experimental analysis of stress concentration inside of tested material (clear plastic) To test tensile and compression strength by Photoelastic polariscope The light entering a sample by Shedding through Analyzer and Polarizer as follow Ther fore an abserver sees the actual strength in order to considerable design

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ ที่ให้คำแนะนำตลอดจน
ตรวจสอบแก้ไข จนทำให้โครงงานวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้มาตั้งแต่ต้นจน
กระทั่งถึงปัจจุบัน และขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้เอื้อนนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือ
จนกระทั่งคณะผู้จัดทำมีโอกาสเขียนโครงงานวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกลฉบับนี้ได้สำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

29 กุมภาพันธ์ 2543



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
ขอบเขตของโครงการ	1
ประโยชน์ที่จะได้รับ	2
2. ทฤษฎี	3
ธรรมชาติของแสง	3
รังสีของแสง	3
การหักเหของแสง	4
กฎการหักเหของแสง	5
ดัชนีหักเหสัมพัทธ์	6
ต้นกำเนิดแสง	8
สีของแสง	8
การแทรกสอด	9
โพลาไรซ์เชชั้น	10
โพลาไรซ์โมชันโดยการสะท้อน	11
การหักเหสองแนว	12
โพลาไรซ์เชชั้นโดยการหักเหสองแนว	14
เปอร์เซ็นต์ของโพลาไรซ์เชชั้น	15
การกระเจิงของแสง	18
ประโยชน์ของแสงโพลาไรซ์	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
โฟโตอิเล็กทริกซิตี	21
พื้นฐานการจัดวางโพลาริซซ์โคป	22
การผลิตรูปแบบของรีวอย	22
ไอโซโครมาติกส์	24
ไอโซคลินิก	25
ลักษณะของแสงผ่านวัตถุ	26
โครงสร้างของโพลาริซซ์โคป	26
แบบวัดของโฟโตอิเล็กทริก	32
พลาสติก	32
ประโยชน์ใช้สอยของพลาสติก	32
คุณสมบัติของโพลีเมอร์ และพลาสติก	33
ความเค้น	36
ความเค้นหนาแน่น	38
จุดความเค้นหนาแน่นสูงสุด	40
การวัดและการอธิบายถึงการเกิดโฟโตอิเล็กทริก	46
Color matching	47
3. การคำนวณและการออกแบบ	55
หลักการทํางาน	56
ข้อมูลเครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริซซ์โคป	56
การคำนวณ	57
งานทดสอบ	60
4. ผลการทดลอง	61
จุดประสงค์	61
โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริซซ์โคป	61
วิธีการใช้และการทดลอง	62
ผลการทดสอบ	64
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
จุดประสงค์	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ปัญหาที่ประสบในการดำเนินการ	66
ปัญหาในขั้นตอนสอบโปรงแสง	67
ข้อเสนอแนะ	67



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าดัชนีการหักเหของแสง	12
2.2 แสดงความยาวของคลื่นสี	45
4.1 แสดงผลการทดลองชิ้นงานรูปตะขอ	64
4.2 แสดงผลการทดลองชิ้นงานรูปตัวซี	64
4.3 แสดงผลการทดลองชิ้นงานรูปโค้งใน	64
4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการทดลองกับการคำนวณ	65



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลำแสงชนิดต่าง	3
2.2 แสดงการหักเหของแสง	4
2.3 แสดงกฎการหักเหเขียนแบบรังสี	5
2.4 แสดงกฎการหักเหของแสง	7
2.5 แสดงคลื่นในระนาบตั้ง	11
2.6 แสดงชนิดของแสง	11
2.7 แสดงโพลาไรซ์เซชันโดยการสะท้อน	12
2.8 แสดงองค์ประกอบของแสงโพลาไรซ์	12
2.9 แสดงหน้าคลื่นในผลึก	13
2.10 แสดงไดโครอิซึม	15
2.11 แสดงเปอร์เซ็นต์โพลาไรซ์เซชัน	16
2.12 แสดงกฎมัลลัส	17
2.13 แสดงการกระเจิงของแสง	19
2.14 แสดงระนาบแสงโพลาไรซ์	20
2.15 แสดงแกนโพลาไรซ์	22
2.16 แสดงคุณสมบัติการหักเหสองแนวเฉพาะกาล	23
2.17 แสดงการส่องผ่านทะลุอนาไลเซอร์	24
2.18 แสดงแบบจำลองที่รับภาระถูกมองจากโพลาไรซ์สโคป	25
2.19 แสดงการจัดรูปแบบของชนิดเลนส์ Isoclinic	26
2.20 แสดงการจัดรูปแบบของชนิดเลนส์โพลาไรซ์สโคป	27
2.21 แสดงการกระจายของแสงโพลาไรซ์สโคป	28
2.22 แสดงผลของเลนส์กึ่งวงกลมที่จุดรวมความกว้างและช่องรูรับแสงเล็ก	29
2.23 ก. แสดงขอบของเงาในแนวเส้นของแกนของกึ่งวงกลม	29
2.23 ข. การวางแผนโพลาไรซ์สโคป	31
2.24 แสดงแรงที่พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ	36
2.25 แสดงความเค้นดึง	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงความเค้นอัด	38
2.27 แสดงความเค้นเฉือน	38
2.28 แสดงความเค้นในชิ้นเหล็กแผ่น	39
2.29 แสดงตารางค่าคงที่ความเค้นหนาแน่น Flat bars	40
2.30 แสดงความเค้นสูงสุดในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง	41
2.31 แสดงความเค้นในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง	42
2.32 แสดงความเค้นในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง	43
2.33 แสดงความเค้นในเพลลาที่รับแรง	44
2.34 แสดงความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นตามลักษณะชิ้นงาน	44
2.35 แสดงการเกิดเส้นแรงความเค้น	45
2.36 แสดงความเค้นสะสมเนื่องจากชิ้นงานชนิดต่าง ๆ	45
3.1 แสดงรูปวงแหวนวัดแรง (Ring force gage)	56
4.1 แสดงส่วนประกอบชุดโอเวอร์เฮดโพลาริซซ์โคป	62

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
θ	มุมโพลาไรซ์	rad
I	มุมตก	rad
R	มุมหักเห	rad
μ	ไมครอน	ไมครอน
V	ความเร็วคลื่น	-
C	ความเร็วแสงในอากาศ	-
N	ดรรชนีหักเหของตัวกลางสะท้อนแสง	-
O	รังสีธรรมดา	-
E	รังสีเหนือธรรมดา	-
n_o	ดรรชนีการหักเหรังสีธรรมดา	-
n_e	ดรรชนีการหักเหของรังสีเหนือธรรมดา	-
I	ปริมาณแสงที่ผ่านไปได้ที่มุม θ	-
I_{max}	ค่าสูงสุดของปริมาณแสงที่ตกบนโฟโตเซลล์	-
I_{min}	ค่าต่ำสุดของปริมาณแสงที่ตกบนโฟโตเซลล์	-
I_{max}	ปริมาณแสงที่ผ่านไปได้สูงสุด	-
F	แรงกระทำ	N
A	พื้นที่หน้าตัด	mm ²
r	รัศมี	mm
E	Modulus of elasticity	N/mm ²
M	โมเมนต์ดัด	N.mm
τ	ความเค้นเฉือน	N/mm ²
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด	N/mm ²
σ	ความเค้น	N/mm ²
σ_t	ความเค้นดึง	N/mm ²
σ_c	ความเค้นอัด	N/mm ²
σ_{max}	ความเค้นสูงสุด	N/mm ²
σ_{ave}	ความเค้นเฉลี่ย	N/mm ²

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
I	โมเมนต์ความเฉื่อย	mm ⁴
E	ความเครียด	-



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษามีการพัฒนามากขึ้นและเป็นไปอย่างต่อเนื่องเพื่อสามารถรองรับกับการพัฒนาปรับปรุงของเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างต่อเนื่องเช่นกัน นิสิต นักศึกษา สามารถศึกษาจากผลที่เกิดขึ้นจริงที่อ้างอิงมาเป็นทฤษฎีจากชุดทดลองซึ่งจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมาศึกษาในแต่ละวิชาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลได้นำชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น(Stressconcentrate) ด้วยวิธีโฟโตอีลาสติก โพลาริสโคป (Photoelastic polariscope) มาเพื่อให้นิสิต นักศึกษา ศึกษาการเกิดเส้นแรงความเค้นบนชิ้นงาน โดยจะแสดงให้เห็นการเกิดเส้นแรงความเค้นบนชิ้นงานทดสอบที่เป็นโพลีคาร์บอเนตใส เมื่อมีภาระกระทำกับชิ้นงานทดสอบ และเมื่อเพิ่มหรือลดภาระที่กระทำกับชิ้นงาน ทำให้เส้นแรงความเค้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าในแต่ละจุดบนชิ้นงานทดสอบจะมีความเค้นเกิดขึ้นไม่เท่ากัน โดยดูจากเส้นสีที่ปรากฏบนชิ้นทดสอบ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

ในวิชากลศาสตร์วัสดุที่ว่าด้วยความแข็งแรงของวัสดุต่างๆ ที่วิศวกรจะต้องยึดถือเป็นแนวทาง ในการออกแบบงานที่เป็นชิ้นส่วนเครื่องกล จากการศึกษาเฉพาะในตำราเราจะพบว่า นักศึกษาไม่สามารถมองเห็นลักษณะหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้จริงหรือการคาดคะเนสิ่งที่เกิดขึ้นจากการคำนวณตามทฤษฎี จำเป็นต้องมีชุดทดลองหรือจำลองเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกรณีในที่นี้จะศึกษาความเค้นหนาแน่นที่เกิดกับชิ้นงานหรือชิ้นงานทดสอบในชุดทดลอง ดังกล่าวมาแล้ว

วัตถุประสงค์ของโครงการ

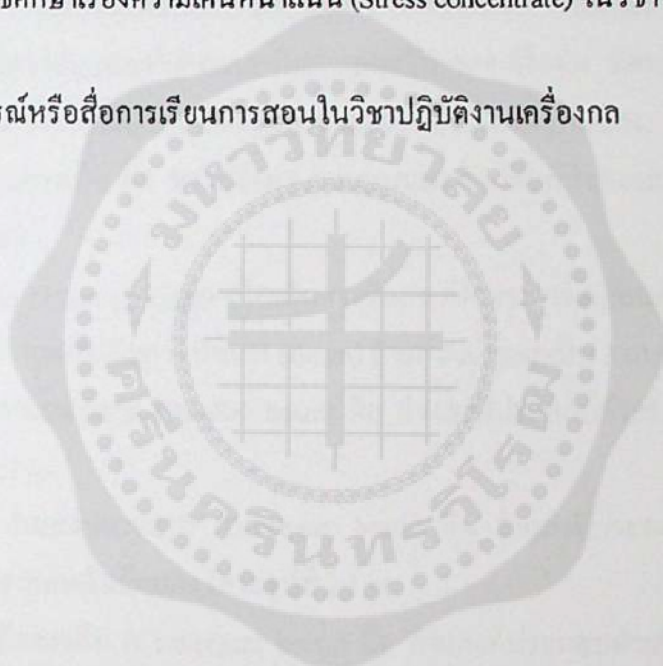
1. เพื่อใช้วิเคราะห์เส้นแรงความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุ
2. เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติงานเครื่องกล

ขอบเขตของโครงการ

1. เป็นชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น (Stress concentrate) ด้วยวิธีโฟโตอิลาสติก โพลาริสโคป (Photoelastic polariscope)
2. วัสดุที่ทำชิ้นงานทดสอบเป็นพลาสติกโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)
3. ในการทดสอบเป็นแบบใช้แรงดึงเท่านั้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ศึกษาเรื่องความเค้นหนาแน่น (Stress concentrate) ในวิชา กลศาสตร์ของแข็ง
2. เป็นอุปกรณ์หรือสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติงานเครื่องกล



บทที่ 2

ทัศนวิ

ธรรมชาติของแสง (The Nature of Light)

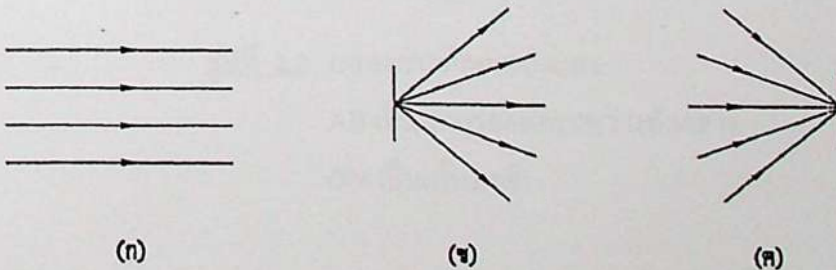
แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งเป็นแบบของพลังงานการแผ่รังสี (Radiant Energy) ซึ่งแพร่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น เปลวไฟ ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ ฯลฯ เป็นต้น ทิศทางของแสงถือว่าเป็นเส้นตรงซึ่งสามารถผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสและสามารถสะท้อนบนวัตถุทึบแสง เมื่อแสงผ่านเข้าตาทำให้เกิดความรู้สึกในการเห็น คือ ทราบถึงคุณภาพของแสง อันได้แก่สีของแสง ปริมาณของแสงได้แก่ ความเข้มของแสง

1. รังสีของแสง (Rays of Light) เป็นเส้นตรงที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแสง รังสีของแสงหลาย ๆ รังสี รวมกันเรียกว่า ลำแสง (Beam) ลำแสงแบ่งออกเป็น 3 แบบ

1.1 ลำแสงขนาน (Parallel beam) คือ ลำแสงที่ประกอบด้วยรังสีของแสงที่มีแนวขนานกัน (ตามรูปที่ 2.1 a)

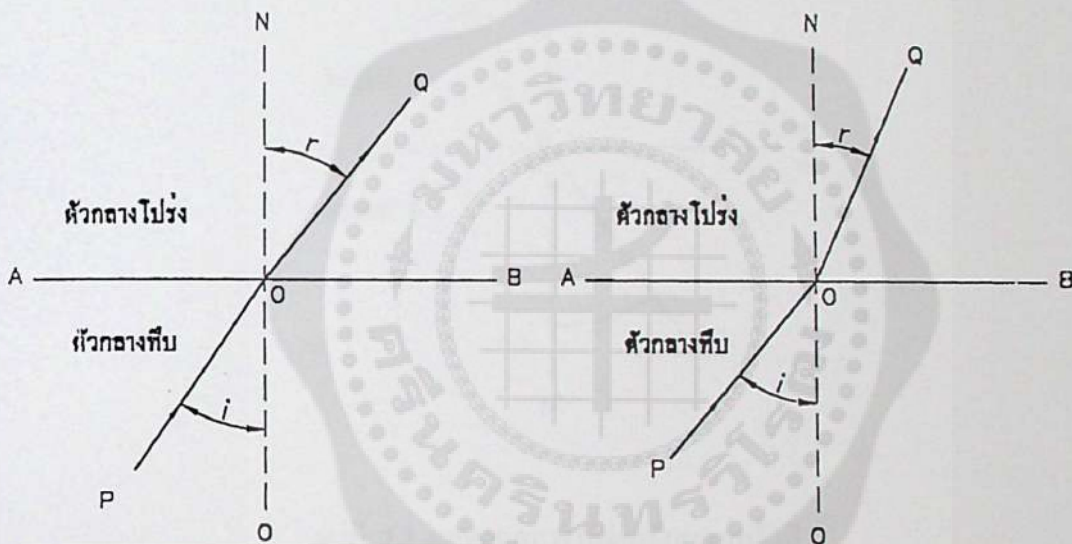
1.2 ลำแสงปลายบาน (Divergent beam) คือ ลำแสงที่ประกอบด้วยรังสีที่มีปลายของลำแสงบานออกจากต้นกำเนิดแสง (ตามรูปที่ 2.1 b)

1.3 ลำแสงตีบ (Convergent beam) คือ ลำแสงที่ประกอบด้วยรังสีที่มีแนวตีบเข้าหากัน (ตามรูปที่ 2.1 c)



รูปที่ 2.1 แสดงลำแสงชนิดต่าง

2. การหักเหของแสง (Refraction of light) โดยปกติแสงเดินทางผ่านตัวกลางเดียวกัน จะไม่มีการหักเหแต่ถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกันจะทำให้เกิดการหักเหของแสงไปจากแนวเดิม เพราะว่าตัวกลาง 2 ชนิด มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ทำให้ความเร็วของแสงในตัวกลางทั้ง 2 ไม่เท่ากัน จึงก่อให้เกิดการหักเห ถ้าแสงผ่านตัวกลางที่ทึบไม่โปร่ง จะเบนออกจากเส้นปกติ และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่โปร่งไม่ทึบจะเบนเข้าหาเส้นปกติ



รูปที่ 2.2 แสดงการหักเหของแสง

AB เป็นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลาง

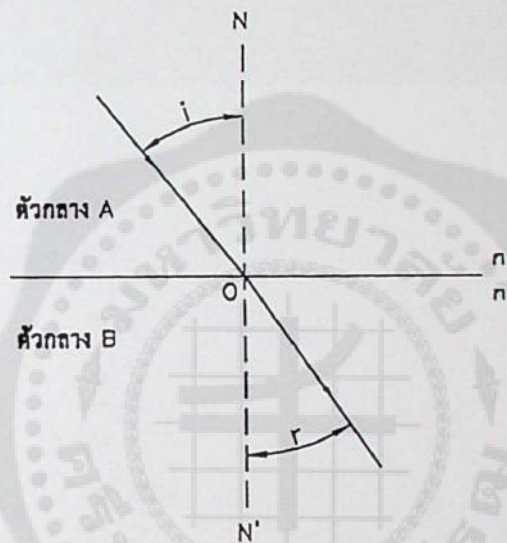
ON เป็นเส้นปกติ

ถ้ารังสีของแสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีความหนาแน่นไม่เท่ากันนั้น ความเร็วและความยาวของคลื่นแสงจะเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นจะคงที่ เช่น ถ้ารังสีของแสงผ่านจากอากาศไปยังน้ำ ความเร็วและความยาวคลื่นของแสงจะลดลงแต่ความถี่คงที่

3. กฎการหักเหของแสง (The Law of Refraction)

3.1 รังสีตก รังสีหักเห จะอยู่ในระนาบเดียวกันกับเส้นปกติ และจะอยู่บนด้านตรงข้ามของเส้นปกติและผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง

3.2 กฎของสเนลล์ (Snell's law) สำหรับตัวกลางคู่ใดคู่หนึ่งอัตราส่วนของ Sine ของมุมตกในตัวกลางแรก (ที่แสงตก) ต่อ Sine ของมุมหักเห ในตัวกลางที่สอง (ที่แสงหักเห) จะมีค่าคงที่และค่าคงที่นี้ คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่สองสัมพันธ์กับตัวกลางแรกตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกฎการหักเหเขียนแบบรังสี

$$\frac{\sin i}{\sin r} = A\mu_B \quad (2.1)$$

$A\mu_B$ คือ ดัชนีหักเหของตัวกลาง B สัมพันธ์ (หรือเทียบเท่ากับ) ตัวกลาง A

i, r คือ ค่าของมุมตกและมุมหักเหในตัวกลาง A และ B ตามลำดับ

กฎของสเนลล์ เมื่อพิจารณาตามทฤษฎีของคลื่น (ตามรูปที่ 2.4)

จากรูป 2.4 ให้ AA' เป็นหน้าคลื่นของแสงขนาน ตกกระทบผิวที่เชื่อมตัวกลาง n' และ n ด้วยมุมตกกระทบ i ให้ความเร็วคลื่นในตัวกลางทั้งสองเป็น v และ v' ตามลำดับ ในขณะที่ P เคลื่อนที่ไปยัง O จุด A จะเคลื่อนที่ไปถึงจุด Q หน้าคลื่นหักเห OB หาได้โดยลากเส้นตรงจาก O ไปสัมผัสกับวงกลม ซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่ A รัศมี $v't$ ที่ Q

จาก สามเหลี่ยม PAO

$$\begin{aligned}\sin I &= \frac{vt}{AO} \\ vt &= AO \sin I\end{aligned}\quad (2.2)$$

จากสามเหลี่ยม QAO

$$\begin{aligned}\sin i &= \frac{v't}{AO} \\ v't &= AO \sin r\end{aligned}\quad (2.3)$$

แต่ $n = \frac{c}{v}$

และ $n = \frac{c}{v'}$

เมื่อ c คือ ความเร็วของแสงในอากาศ

$$\begin{aligned}nv &= n'v' \\ \frac{\sin i}{\sin r} &= \frac{n'}{n} \\ n \sin i &= n' \sin r\end{aligned}$$

เนื่องจาก (2.1)

(2.2)

$$\frac{v}{v'} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

4. ดัชนีหักเหสัมพัทธ์ (Relative index of refraction) ดัชนีหักเหของตัวกลางที่สอง สัมพัทธ์หรือเทียบกับตัวกลางที่หนึ่ง หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในตัวกลางที่หนึ่ง ต่อความเร็วของแสงในตัวกลางที่สอง

$${}_A\mu_B = \frac{V_A}{V_B}\quad (2.4)$$

${}_A\mu_B$ เป็นดัชนีหักเหของตัวกลาง B (ที่แสงหักเห) สัมพัทธ์หรือเกี่ยวกับตัวกลาง A (ที่แสงตก) V_A และ V_B เป็นความเร็วของแสงในตัวกลาง A และตัวกลาง B ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \text{แต่ } \frac{V_A}{V_B} &= A \mu_B \\ A \mu_B &= \frac{C}{\mu_B} \times \frac{\mu_B}{C} \end{aligned}$$

$$A \mu_B = \frac{\mu_B}{\mu_A} \quad (2.7)$$

$$\text{หรือ } A \mu_B = \frac{\mu_B}{\mu_A} = \frac{\mu_A}{\mu_B}$$

$$\frac{V_A}{\mu_A} = \frac{V_B}{\mu_B} \quad (2.8)$$

6. ต้นกำเนิดแสง เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานของการแผ่รังสีที่ส่งออกมาต่อ 1 หน่วยเวลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของผิววัตถุ รังสีที่แผ่ออกมาที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันที่ 300 °C ให้รังสีได้แดง (Infrared) ที่ 800 °C ให้แสงที่ตามองเห็นทุกความยาวคลื่นจึงปรากฏเป็นแสงขาว หลอดไฟฟ้าแบบมีไส้หลอดทำด้วยขดลวดทังสเตน (Tungsten) ภายในหลอดบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน (Argon) เพื่อลดการระเหยของไส้หลอด หลอดไฟฟ้ามีขนาดต่าง ๆ กันตั้งแต่ขนาดเล็กเท่าเมสซิ่งข้าวไปจนถึงขนาดใหญ่มีกำลังเป็นพันวัตต์ ดันแสงที่ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการเป็นหลอด ถ่ายประจุชนิดปรอท (Mercury discharge) เมื่อปรอทอยู่ในที่ความดันต่ำ อะตอมของปรอทจะให้แสงสีเหลือง , เขียว , น้ำเงิน และม่วง อาจใช้แก้วกรองแสงแยกเอาแสงสีใดสีหนึ่งออกมาได้ แสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น 589.3 m/μ ได้จากหลอดไฟโซเดียม (Sodium) แต่ละขั้วเป็นไส้หลอดที่จะให้อิเล็กตรอนผ่านแก๊สเฉื่อย เมื่อเกิดการถ่ายประจุตัวครุอุณหภูมิจะสูงจนทำให้ความดันไอของโซเดียมสูงพอที่จะให้แสงสีเหลืองออกมาได้ หลอดไฟโซเดียมบางที่ก็ใช้ข้างถนน เพราะมันเป็นแสงเอกรงค์จึงไวต่อประสาทตา

7. สีของแสง รังสีที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ทำให้เกิดความรู้สึกในทางสีต่างกัน สำหรับตาคนปกติ รังสีที่อยู่ในช่วง 0.40 μ ถึง 0.45 μ จะเห็นเป็นสีม่วง 0.45 μ ถึง 0.48 μ สีน้ำเงิน 0.48 μ ถึง 0.51 μ สีน้ำเงินแกมเขียว 0.51 μ ถึง 0.55 μ เขียว 0.55 μ ถึง 0.57 μ เขียวแกมเหลือง 0.57 μ ถึง 0.59 μ เหลือง 0.59 μ ถึง 0.63 μ สีส้ม ตั้งแต่ 0.63 μ ขึ้นไปเป็นสีแดง ถ้าสเปกตรัมทั้งหมดนี้มีความเข้มเท่า ๆ กันรวมกันเข้าจะเห็นเป็นแสงขาว ถ้าสีหนึ่งสีใดมีความเข้มเด่นขึ้นมาจนมองเห็นเป็นสีชัด ๆ งาม ๆ ของสีนั้น ถ้าความเข้มของแสงนั้นเพิ่มขึ้นอีก ความเข้มของสีนั้นก็เพิ่ม

ขึ้น ความเข้มสูงสุดเรียกว่าแสงเอกรงค์ ดังนั้นการเพิ่มแสงขาวให้แก่แสงที่เข้มอยู่แล้วจะทำให้สีเดิมจางลง

แสงสีต่าง ๆ จำนวนมาก อาจทำให้เกิดขึ้นได้จากส่วนผสมของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ส่วนผสมของแสงสีแดงกับสีเขียวให้สีส้ม เหลือง หรือเขียวแกมเหลืองแล้วแต่ปริมาณของส่วนผสม ส่วนผสมของแสงสีน้ำเงินกับสีเขียว ให้สีน้ำเงินแกมเขียว สีแดงกับสีน้ำเงินให้สีม่วง สีแดง เขียวและน้ำเงินผสมกันให้ถูกส่วนจะให้สีขาว ถ้าส่วนผสมสีใดสีหนึ่งมากเกินไป จะได้สีจาง ๆ ของสีนั้นเช่น แดง เขียว น้ำเงิน ถ้าส่วนผสมของสีใดสีหนึ่งน้อยเกินไปจะได้สีจาง ๆ ของสีเหลือง น้ำเงินแกมเขียว หรือม่วงแกมเมื่อแสงต้องสีมารวมกันแล้วให้แสงขาวสีทั้งสองเรียกว่าเป็นส่วนเติมเต็ม (Complementary) ยกตัวอย่างดังได้กล่าวมาแล้วว่า แสงสีแดง เขียว และน้ำเงินผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมจะให้แสงขาว คราวนี้ถ้าเอาแสงสีน้ำเงินออกไปที่เหลือเป็นส่วนผสมของสีแดงและเขียวซึ่งให้แสงสีเหลือง เมื่อรวมกับสีน้ำเงินจะให้แสงสีขาว ดังนั้นแสงสีน้ำเงินและสีเหลืองจึงเป็นส่วนเติมเต็มซึ่งกันและกัน

เมื่อส่องแสงขาวไปยังวัตถุที่ไม่มีแสงสว่างในตัวเองและสะท้อนแสงทุกความยาวคลื่นได้เท่ากันหมด วัตถุนั้นจะปรากฏเป็นสีขาวหรือสีเทาขึ้นอยู่กับสภาพสะท้อน (Reflectivity) ถ้าวัตถุดูดกลืนแสงบางความยาวคลื่นไป และสะท้อนแสงส่วนที่เหลือออกมา วัตถุนั้นจะปรากฏเป็นสี ตัวอย่าง เช่น วัตถุที่สะท้อนเฉพาะความยาวคลื่น 0.6μ จะเห็นเป็นสีแดง วัตถุที่สะท้อนแสงที่มีความยาวคลื่นเกินกว่า 0.5μ จะปรากฏเป็นสีเหลือง วัตถุที่สะท้อนแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.5μ จะปรากฏเป็นสีน้ำเงินแกมเขียว ดังนั้นส่วนผสมของสีทาบานสีเหลือง กับสีน้ำเงินแกมเขียวจะไปสะท้อนสีเหลืองและสีน้ำเงิน แต่จะสะท้อนเฉพาะสีที่สะท้อนร่วมกันทั้งสองส่วนได้แก่สีเขียวหลักโดยทั่ว ๆ ไป วัตถุจะปรากฏเป็นสีอะไรนั้นขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนมาเข้าตา

8. การแทรกสอด ทราบแล้วว่าแสงเดินเป็นเส้นตรง ในตัวกลางเอกพันธ์ และ แสงหักเหไปด้วยมุมที่แน่นอน เมื่อผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เรื่องเหล่านี้ศึกษาโดยใช้วิชาเรขาคณิตเข้าช่วยเรียกว่า ทศนศาสตร์เรขาคณิต (Geometrical optics) ต่อไปนี้เราจะพูดถึงเรื่องการแทรกสอด (Interference) อาศัยเพียงความรู้ทางทศนศาสตร์เรขาคณิตไม่พอ จะต้องหันกลับไปหาหลักเบื้องต้นที่ว่าแสงเป็นคลื่นและผลที่เกิดจากคลื่นหลายๆ ขบวนมาพบกันที่จุดเดียวซึ่งขึ้นอยู่กับเฟส และอัมพลิจูด (Amplitude) ของคลื่นแต่ละขบวน การศึกษาส่วนนี้เรียกว่า ทศนศาสตร์การภาพ (Physical optics)

ที่จุดใด ๆ เมื่อมีคลื่น 2 ขบวนหรือมากกว่ามาพบกัน เราถือว่ามันแทรกสอดกัน ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าคลื่นแต่ละขบวนจะกีดขวางทางเดินของกันและกัน แต่จะให้ผลร่วมกัน ณ จุดที่มาพบกัน หลักของการซ้อนกัน (Super position) กล่าวว่า

“การขจัดผลลัพธ์ที่จุดใด ๆ หนึ่งใด ๆ อาจหาได้จากผลบวกของการขจัดที่ควรเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแต่ละขบวนปรากฏแต่ลำพัง” คำว่าการขจัดในเรื่องแสงหมายถึง ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก

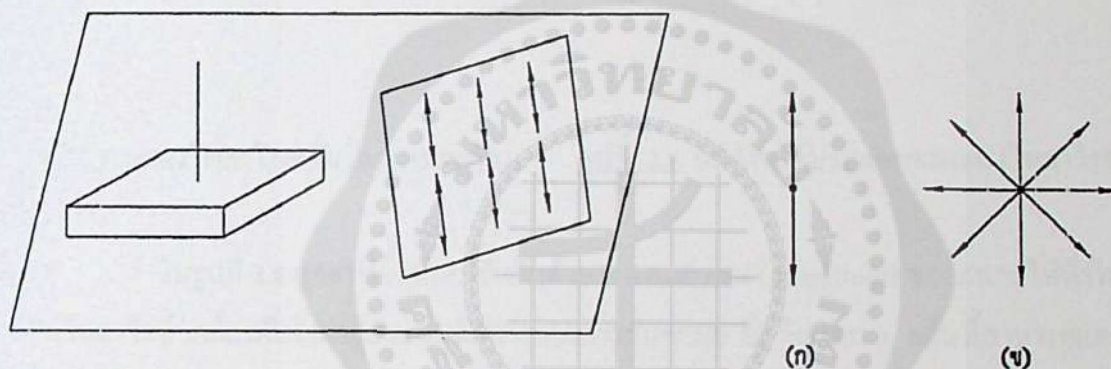
เพื่อความกระจ่างสมมติมีดวงไฟสองดวง ส่งคลื่นมายังจุดเดียวกันบนจอ ให้คลื่นมีเฟสตรงกันตอนออกจากดวงไฟทั้งสองซึ่งอยู่ห่างจากจอไม่เท่ากัน เมื่อตอนพบกันบนจออาจจะมีเฟสตรงกันอีกก็ได้ ถ้าเป็นเช่นนั้นมันก็จะเสริมกันให้ช่วงกว้างผลลัพธ์มาก แต่การเสริมกันเช่นนี้จะคงอยู่ในระยะเวลาสั้นมาก เพราะดวงไฟดวงใดดวงหนึ่งอาจมีการเปลี่ยนเฟสอย่างกะทันหัน อันเป็นสมบัติของอนุหรือปริมาณของดวงไฟ ทำให้การเสริมกันยุติลง เพื่อที่จะสังเกตปรากฏการณ์แทรกสอดให้ได้ จะต้องมียอดไฟสองดวงซึ่งให้คลื่นที่มีเฟสตรงกันเสมอตอนออกจากดวงไฟ อันเป็นสิ่งสุดวิสัย มีอยู่ทางเดียวที่จะต้องมาจากคลื่นแสงเดียวกัน แล้วแยกออกเป็นสองส่วนจะโดยวิธีใดก็ตาม แต่ละส่วนเดินไปคนละทาง แล้วในที่สุดมาพบกันที่บนจอในกรณีเช่นนี้แม้จะมีการเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นที่ดวงไฟ แต่ละส่วนของคลื่นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงพร้อม ๆ กัน ดวงไฟเช่นนี้เรียกว่า ดวงไฟอาพันธ์ (Coherent sources)

โพลาไรเซชัน (Polarization)

ปรากฏการณ์แทรกสอดและเลี้ยวเบนอาจเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิดเช่นคลื่นเสียงหรือคลื่นบนผิวน้ำ ต่อไปนี้เราจะพิจารณาปรากฏการณ์บางอย่างในทางแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับไม่เพียงแต่ว่าแสงเป็นคลื่น แต่ต้องเป็นคลื่นขวางด้วย ปรากฏการณ์ที่ว่านี้คือ โพลาไรเซชัน (Polarization)

จากเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไปจากเสาอากาศวิทยุ สมมติว่าเสาอากาศอยู่ในแนวตั้ง และเราพิจารณาน้ำคลื่นในระนาบตั้ง ณ จุดที่ไม่อยู่ใกล้เสาอากาศเกินไป ความเข้มของสนามไฟฟ้า E ที่ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นนี้อยู่ในแนวตั้ง ถ้าขณะใดขณะหนึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้าในหน้าคลื่นนี้มีค่าสูงสุดในทิศทางขึ้นข้างบน หน้าคลื่นที่อยู่ห่างออกไปข้างหน้าหรือข้างหลังครึ่งช่วงคลื่น ความเข้มของสนามไฟฟ้า จะมีค่าสูงสุดในทิศทางลงข้างล่าง ที่จุดใด ๆ ในทางเดินของคลื่นเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า E จะสั่นขึ้นลงในแนวตั้งคลื่นเช่นนี้ เรียกว่า โพลาไรเซชัน (Linearly polarized) เพื่อป้องกันความสับสน ความเข้มของสนามแม่เหล็ก ซึ่งตั้งฉากกับความเข้มของสนามไฟฟ้า E ที่ทุก ๆ จุดไม่ได้แสดงในภาพเสาอากาศที่ส่งคลื่นแสงออกมาเป็นโมเลกุลของสิ่งที่ประกอบเป็นดวงไฟ อนุภาคที่มีประจุในโมเลกุลได้รับพลังงานโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง แล้วคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น คลื่นที่ออกมาจากโมเลกุลใดๆ ถือได้ว่าเป็นคลื่นโพลาไรซ์คล้ายกับคลื่นจากเสาอากาศวิทยุ แต่เนื่องจากดวงไฟ ประกอบด้วยโมเลกุลจำนวน

มหาศาลเรียกตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบแสงที่ให้ออกมาจึงเป็นส่วนผสมของคลื่นที่โพลาไรซ์ในทิศทางต่างๆ กันทุกทิศทาง ให้ระนาบหน้ากระดาษ แทนหน้าคลื่นในลำแสงที่เดินทางเข้าหาผู้สังเกต และจุดตรงกลางเป็นรังสีหนึ่งลำแสง แสงที่โพลาไรซ์ ตามเส้นแสดงโดยลูกศรชี้ขึ้นและลง ซึ่งแสดงว่าสนามไฟฟ้าจะสั่นในทิศทางดังเท่านั้น ลำแสงธรรมดา ซึ่งถูกแสดงส่วนผสมของคลื่นที่โพลาไรซ์ในทุกทิศทาง

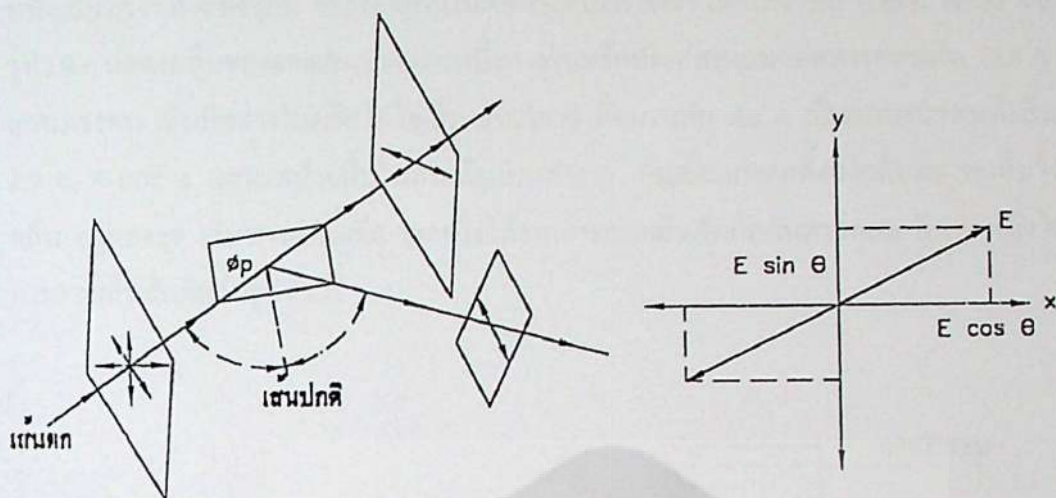


รูปที่ 2.5 หน้าคลื่นในระนาบตั้ง

รูปที่ 2.6 ก. แสงโพลาไรซ์

ข. แสงธรรมดา

1. โพลาไรโมชันโดยการสะท้อน วิธีที่จะแยกคลื่นที่มีการสั่นของสนามไฟฟ้าในแนวเดียวออกมาทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนจากแสงธรรมดามีอยู่หลายวิธี วิธีหนึ่งที่รู้จักดีคือ โดยการสะท้อนเป็นแสงธรรมดาตกกระทบผิวสะท้อนแสง ปรากฏว่าแสงส่วนที่มีทิศทางของ E ตั้งฉากกับระนาบของรังสีตก สะท้อนได้ดีกว่า(ระนาบของรังสีตก หมายถึง ระนาบที่ผ่านรังสีตกและเส้นปกติ) รูปที่ 2.7 ยกเว้นเมื่อแสงตกตั้งฉากกับผิวซึ่งแสงสะท้อนได้ดีเท่ากันหมดไม่ว่า E จะมีทิศทางใด มีมุมตกอยู่มุมหนึ่งซึ่งทำให้แสงที่สะท้อนมีแต่ส่วนที่มีทิศทางของ E ตั้งฉากกับระนาบของรังสีตกเท่านั้น มุมนี้เรียกว่า มุมโพลาไรซ์



รูปที่ 2.7 แสดงโพลาไรเซชันโดยการสะท้อน รูปที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบของแสงโพลาไรซ์

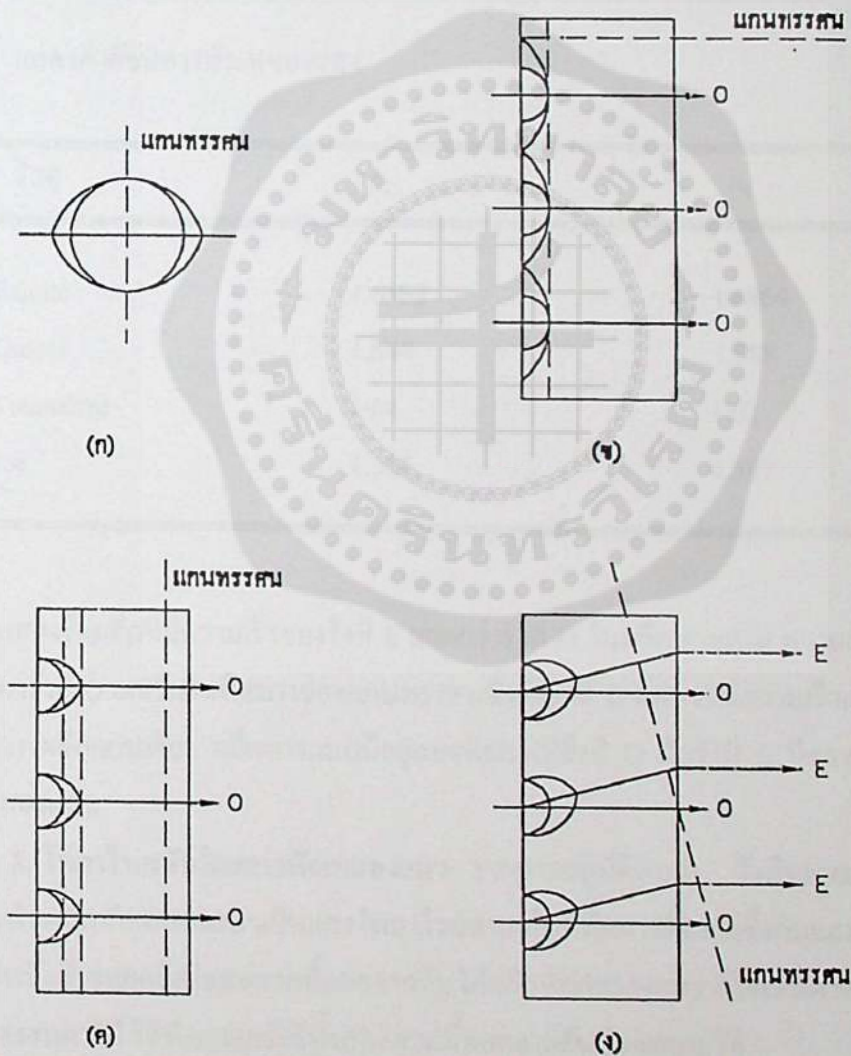
ในรูปที่ 2.8 ลูกศรที่ชี้กลับมากำกับด้วย E แทนแอมพลิจูด (Amplitude) ของสนามไฟฟ้าในคลื่นโพลาไรซ์ เคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ทิศทางของการสั่นทำมุม θ กับแกน x คลื่นนี้สามารถแตกออกได้เป็นสองแนวโพลาไรซ์ไปตามแนวแกน x และแกน y มีช่วงกว้าง $E \cos \theta$ และ $E \sin \theta$ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ทั้งหลายในลำแสงธรรมชาติซึ่งแทนด้วยรูปดอกจันอาจแตกออกได้เป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งตั้งฉากและอีกส่วนหนึ่งขนานกับระนาบของรังสีตก

ถ้า n เป็นดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงเดินทางมาก่อนการสะท้อน และ n' เป็นดัชนีหักเหของตัวกลางสะท้อนแสง มุมโพลาไรซ์หาได้จาก

$$\tan \theta_p = \frac{n'}{n} \quad (2.9)$$

2. การหักเหสองแนว การเคลื่อนที่ของคลื่น ในตัวกลางสมลักษณะ (Isotropic) เช่น แก้ว อาจหาได้โดยใช้หลักของฮอยเกน คลื่นทุติยภูมิในตัวกลางเช่นนี้จะเป็นทรงกลม มีผลึกโปร่งในหลายชนิดที่เป็นเนื้อเดียวกันแต่เป็นอสมลักษณะ (Anisotropic) นั่นคือความเร็วของแสงในตัวกลางเช่นนี้ไม่เท่ากันทุกทิศทาง ผลึกที่มีสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ผลึกหักเหสองแนว (Roublyrefracting) บน

หน้าคลื่นที่เคลื่อนที่ในตัวกลางชนิดนี้ จะมีคลื่นของฮอยเกนอยู่สองชุด ชุดหนึ่งเป็นทรงกลมอีกชุดหนึ่งเป็นทรงรี ทั้งสองชุดนี้ จะสัมผัสกันในทิศทางหนึ่งเรียกว่า แกนทรรสน (Optic Axis) ของผลึก รูป 2.9 ก แสดงคลื่นของฮอยเกนจากจุดๆหนึ่งในผลึกหักเหสองแนวทิศทางของเส้น $Ao A$ เป็นแกนทรรสน เป็นทิศทางในผลึกไม่ใช่เส้น เส้นใด ๆ ที่ขนานกับ $Ao A$ เป็นแกนทรรสนทั้งสิ้นรูปที่ 2.9 ข, ค และ ง. แสดงหน้าคลื่นในภาคตัดแบบต่าง ๆ กันเมื่อแสงตกตั้งฉากกับผิว จะเห็นได้ว่ามีคลื่น อยู่สองชุด เดินทางผ่านผลึก ชุดหนึ่งได้จากการลากเส้นสัมผัสกับทรงกลม อีกชุดหนึ่งได้จากการลากเส้นสัมผัสกับรูปทรงรี



รูปที่ 2.9 แสดงหน้าคลื่นในผลึก

จะเห็นได้จากรูปที่ 2.9 ง ว่ารังสีตกตั้งฉากกับผิวแตกออกเป็นสองรังสี เมื่อผ่านผลึกรังสีที่สอดคล้องกับคลื่นทรงกลมจะไม่หักเห เรียกว่า รังสีธรรมดา (Ordinary) O ส่วนรังสีที่สอดคล้องกับคลื่นรูปทรงรีจะมีการหักเห ถึงแม้ว่ารังสีจะตกตั้งฉากกับผิวเรียกว่า รังสีเหนือธรรมดา (Extraordinary) E ยิ่งกว่านั้นเมื่อแสงตกไม่ตั้งฉากกับผิว กฎของสเนลล์ใช้ได้กับรังสี O เท่านั้น เพราะว่าคุณสมบัติของรังสี E เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง

ดัชนีหักเหของรังสี E ก็เปลี่ยนแปลงตามทิศทางด้วย นิยมบอกค่าดัชนีหักเหในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนทรนซึ่งเป็นทิศที่ความเร็วของคลื่นมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดค่าดัชนีหักเหบางค่าแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าดัชนีการหักเหของแสง

วัสดุ	n_o	n_E
Ealcite	1.6582	1.4864
Quartz	1.544	1.553
Toumaline	1.64	1.62
Ice	1.306	1.307

ในรูปที่ 2.9 แสดงถึงผลึกที่มีความเร็วของรังสี E มากกว่ารังสี O ในผลึกบางแบบ ความเร็วของรังสี E น้อยกว่าของรังสี O ยกเว้นในทิศทางของแกนทรนซึ่งทั้งรังสี O และ E มีความเร็วเท่ากัน ผลึกพวกนี้ เรียกว่า ผลึกแกนเดี่ยว ผลึกบางแบบมีอยู่สองทิศทางที่รังสี O กับรังสี E มีความเร็วเท่ากัน เรียกว่า ผลึกสองแกน

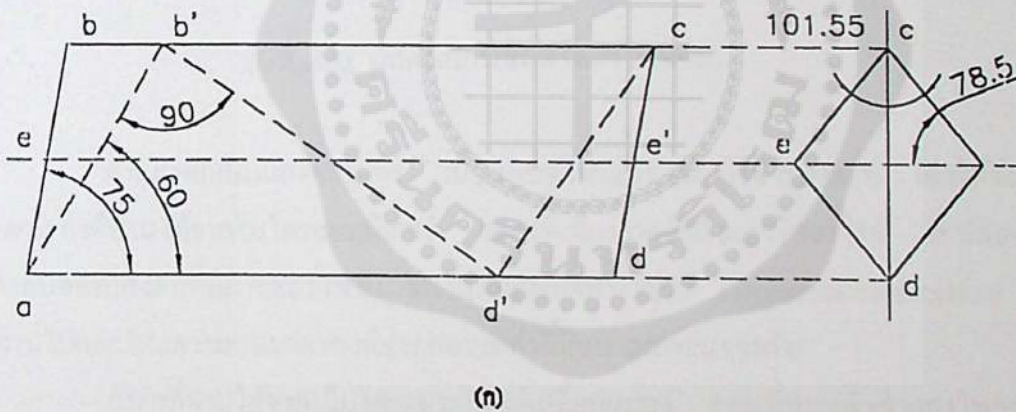
3. โพลาริเซชันโดยการหักเหสองแนว จากการปฏิบัติพบว่า รังสีธรรมดาและรังสีเหนือธรรมดาในผลึกหักเหสองแนวเป็นแสงโพลาไรซ์ตามเส้นมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังนั้นถ้ามีวิธีใดวิธีหนึ่งที่จะแยกรังสีสองพวกนี้ออกจากกันได้ผลึกหักเหสองแนว ก็ใช้เป็นตัวทำแสงโพลาไรซ์จากแสงธรรมดาได้ วิธีที่จะแยกรังสีทั้งสองพวกนี้ออกจากกันมีอยู่หลายวิธี

วิธีหนึ่งแยกโดยใช้นิคอลปริซึม (Nicolpresim) ซึ่งสร้างจากผลึกแคลไซต์ (Calcite) ซึ่งรูปร่างของมันแสดงโดยเส้นเต็มในรูปที่ 2.10 ก ในการทำนิคอลปริซึม จะต้องเฉือนปลายทั้งสองออกทางฝั่งมุมป้าน ดังแสดงด้วยเส้นประ แล้วผ่าผลึกตามเส้นทะแยงมุมด้านสั้น จากนั้นประกบกลับเข้าไปใหม่ด้วยกาวใส (Canada balsam) ครรชนหักเหของกาวใสมีค่าพอดีที่ทำให้รังสีธรรมดา

สะท้อนกลับหมด แตรังสีเหนือธรรมชาติสะท้อนกลับหมด แตรังสีเหนือธรรมชาติผ่านไปด้ดังรูปที่ 2.10 ก

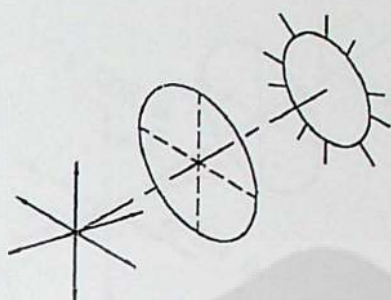
ผลึกหักเหสองแนว บางอย่างแสดงอาการไดโครอิซึม (Dichroism) คือว่าแสงโพลาไรซ์ ในแนวหนึ่งจะถูกดูดกลืนมากกว่าในอีกแนวหนึ่ง ดังนั้นถ้าผลึกหนาพอแสงโพลาไรซ์ในแนวหนึ่งจะถูกดูดกลืนหมดไป เหลือเพียงแนวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทัวมาลีน (tourmaline) เป็นตัวอย่างหนึ่งของผลึกพวกนี้

วัสดุที่ประดิษฐ์ขึ้นใหม่ ที่ใช้ในการทำแสงโพลาไรซ์ คือ โพลารอยด์ (Polaroid) โพลารอยด์ แบบหนึ่งประกอบด้วยชั้นบาง ๆ ของผลึกไดโครอิด (Dichroic) ซึ่งเป็นเส้นเล็ก ๆ คล้ายเข็มวางเรียงกันเป็นแนวเดียว ผังอยู่ในเนื้อของพลาสติกใส และอาจมีแผ่นแก้วในประกบไว้ทั้งสองหน้า เพื่อป้องกันการขีดข่วน โดยวิธีนี้ทำให้เราสามารถสร้างแผ่นทำแสงโพลาไรซ์ขนาดใดๆ แสงที่ได้ออกมาจะมีสีเล็กน้อย และไม่เป็นแสงโพลาไรซ์ที่สมบูรณ์นัก



รูปที่ 2.10 แสดงไดโครอิซึม

4. เปอร์เซ็นต์ของโพลาไรเซชัน เมื่อแสงตกบนตัวทำแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 2.11 แสงโพลาไรซ์ก็จะผ่านออกไป ตัวทำแสงโพลาไรซ์อาจเป็นแผ่นแก้วซ้อนกันหลาย ๆ แผ่น บิคอลปริซึม หรือแผ่นโพลารอยด์ ก็ได้ เส้นประที่ตัวทำแสงโพลาไรซ์ แสดงทิศทางของเวกเตอร์ ไฟฟ้า ในแสงที่ผ่านไป เมื่อแสงตกบนโฟโตเซลล์ (Photocell) กระแสไฟฟ้าที่ผ่านได้จากไมโครแอมมิเตอร์ ซึ่งต่ออยู่กับโฟโตเซลล์จะเป็นปฏิกากับปริมาณของแสงที่ผ่านมา



รูปที่ 2.11 แสดงเปอร์เซ็นต์โพลาไรเซชัน

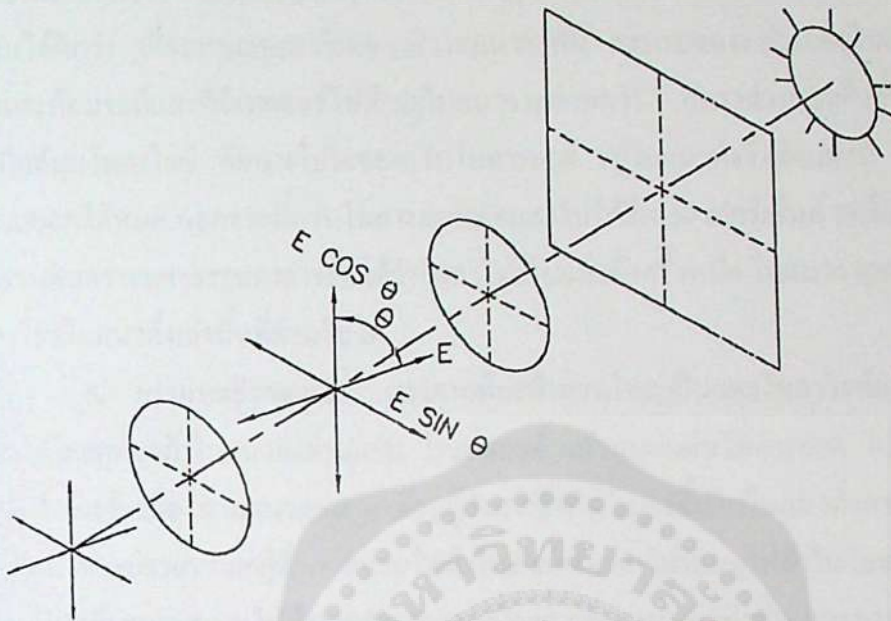
ถ้าแสงตกเป็นแสงธรรมชาติ เมื่อหมุนตัวทำแสงโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ โดยให้รังสีตกเป็นแกน ค่าที่อ่านได้จากไมโครแอมมิเตอร์ จะคงที่เนื่องจากตัวทำแสงโพลาไรซ์ จะปล่อยองค์ประกอบของแสงตกที่มีเวกเตอร์ไฟฟ้า ขนานกันกับทิศทางโปร่ง (Transmission direction) ของมันผ่านไปและโดยความสมมาตรองค์ประกอบเหล่านี้มีขนาดเท่ากันรอบทิศ

ถ้าค่าที่อ่านได้จาก ไมโครแอมมิเตอร์เปลี่ยนแปลง ขณะที่หมุนตัวทำแสงโพลาไรซ์ แสดงว่าแสงตกไม่ใช่แสงธรรมชาติ แต่อาจเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน

ในกรณีที่ไมโครแอมมิเตอร์อ่านได้ไม่คงที่ ให้ $I_{\max}$ และ $I_{\min}$ แทนค่าสูงสุดและค่าสุดของปริมาณแสงที่ตกบนโฟโตเซลล์ เปอร์เซ็นต์ของการโพลาไรเซชันหาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของการโพลาไรเซชัน} = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})} \times 100 \quad (2.10)$$

ต่อไปสมมติว่าสอดโพลาไรซ์แผ่นที่สองเข้าไปในทางเดินของแสงระหว่างตัวทำแสงโพลาไรซ์กับโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงกฎของมอลัส

ให้ทิศทางโปร่งของโพลาไรซ์ แผ่นที่สองหรือตัววิเคราะห์อยู่ในแนวตั้ง และของตัวทำแสงโพลาไรซ์ทำมุม θ กับแนวตั้ง แสงที่ผ่านมาได้จากตัวทำแสงโพลาไรซ์อาจแตกออกได้เป็นสองแนวตั้งแสดง ส่วนหนึ่งขนานและอีกส่วนหนึ่งตั้งฉากกับทิศทางโปร่งของตัววิเคราะห์ ส่วนที่ขนานซึ่งมีช่องกว้าง $E \cos \theta$ เท่านั้นที่จะผ่านตัววิเคราะห์ไปได้แสงที่ผ่านไปจะมีค่าสูงสุด เมื่อ $\theta = 0^\circ$ และมุมศูนย์เมื่อ $\theta = 90^\circ$ คือเมื่อตัวนำแสงโพลาไรซ์กับตัววิเคราะห์วางขัดกัน เนื่องจากปริมาณของพลังงานเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับกำลังสองของช่องกว้าง ที่มุมค่าใด ๆ จะได้

$$I = I_{\max} \cos^2 \theta \quad (211)$$

เมื่อ $I_{\max}$ เป็นปริมาณแสงที่ผ่านไปได้สูงสุดและ I เป็นปริมาณของแสงที่ผ่านไปได้ที่มุม θ ความสัมพันธ์นี้พบโดย อีเตียน หลุยส์ มอลัส (Etienne Louis Malus) ในปี ค.ศ. 1809 เรียกว่ากฎของมอลัส

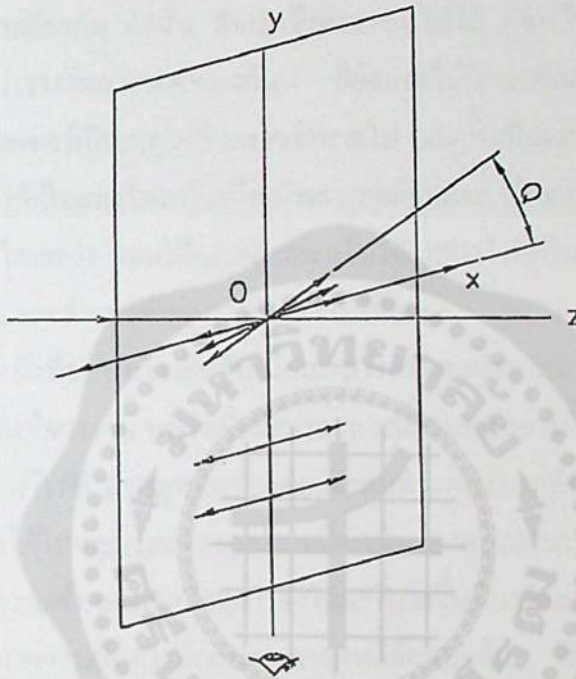
ในปัจจุบันนี้นิยมใช้แว่นกันแดดชนิดโพลาไรซ์กันมากมันทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์
 ดังรูปเราทราบแล้วว่า เมื่อแสงธรรมชาติสะท้อนแสงที่มีเวกเตอร์ไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบของรังสีตก
 สะท้อนได้ดีกว่า เมื่อแสงแดดสะท้อนจากผิวในแนวระดับ ระนาบของรังสีตกอยู่ในแนวตั้งดังนั้น
 ในแสงสะท้อนจะมีแสงที่มีเวกเตอร์ไฟฟ้าอยู่ในแนวราบมากกว่า อัตราส่วนจะเพิ่มขึ้นถ้ามุมตกยัง
 เข้าไปใกล้มุมโพลาไรซ์ ทิศทางไปรับของแว่นโพลาไรซ์ อยู่ในแนวตั้งจึงตัดแสงที่ โพลาไรซ์ใน
 แนวราบออกได้หมด นอกจากนี้แว่นโพลาไรซ์ยังตัดแสงไปได้อีก 50 เปอร์เซ็นต์ เหมือนกับแว่นกัน
 แดดธรรมดาเพราะแสงธรรมชาติอาจถือได้ว่าโพลาไรซ์ในแนวตั้งครึ่งหนึ่ง ในแนวราบครึ่งหนึ่ง ส่วน
 ที่โพลาไรซ์ในแนวตั้งเท่านั้นที่ผ่านไปได้

5. การกระเจิงของแสง แสงจากท้องฟ้าส่วนใหญ่เป็นแสงโพลาไรซ์ตามเส้นซึ่งอาจ
 ทดลองได้โดยดูท้องฟ้าในแนวตั้งผ่านแผ่น โพลาไรซ์ แล้วหมุนแผ่นโพลาไรซ์ ไปรอบ ๆ แสง
 แด่มาจากทางซ้ายมือ ตามแนวแกน z ผ่านผู้สังเกตซึ่งกำลังมองขึ้นไปในแนวตั้งตามแนวแกน y
 โมเลกุลหนึ่งของบรรยากาศอยู่ที่ o สนามไฟฟ้าในลำแสงจะทำให้ประจุไฟฟ้าในโมเลกุลกลั่น เนื่อง
 จากแสงเป็นคลื่นขวางสนามไฟฟ้าจากลำแสงจะอยู่ในแนวระนาบ xy เท่านั้น และการสั่นของประจุ
 ไฟฟ้าก็จะอยู่ในระนาบเดียวกันจะไม่มีสนามไฟฟ้าและไม่มีการสั่นของประจุในแนวแกน z

ให้องค์ประกอบใด ๆ ของแสงตกมีเวกเตอร์ไฟฟ้าทำมุม θ กับแกน u ทำให้ประจุไฟ
 ฟ้าในโมเลกุลกลั่นในแนวเดียวกันดังแสดงด้วยเส้นหนักรผ่าน o โดยวิธีธรรมดาเราสามารถแยกการสั่น
 นี้ออกเป็นสองแนว แนวหนึ่งไปตามแกน x และอีกแนวหนึ่งไปตามแนวแกน y สันด้วยความถี่
 เดียวกับแสงตก และวางตัวอยู่ในแนวแกน x และ y

เราทราบจากบทที่หนึ่งแล้วว่า เสาอากาศไม่ส่งคลื่นไปในทิศทางของตัวเอง ดังนั้น
 เสาอากาศในแนวแกน y จะไม่ส่งแสงไปยังผู้สังเกตเบื้องล่าง แต่มันจะส่งแสงออกไปในทิศทางอื่น
 แสงที่ไปถึงผู้สังเกตมาจากองค์ประกอบที่สั่นตามแนวแกน x แสงนี้โพลาไรซ์ตามเส้นโดยมีสนาม
 ไฟฟ้าขนานกับเสาอากาศ เวกเตอร์ที่เขียนอยู่บนแกน y แสดงทิศทางการสั่นของแสงที่ไปถึงผู้สังเกต
 วิธีการที่อธิบายมาข้างบนเรียกรกระเจิง (Scattering) การสั่นของประจุไฟฟ้าในโมเลกุลเป็นการ
 สั่นจำยอม เหมือนกับการสั่นของมวลสารที่ปลายสปริงซึ่งช่วงกว้างของการสั่นจำยอมจะยิ่งโตขึ้น
 เมื่อความถี่ขับยิ่งเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของระบบความถี่ธรรมชาติของประจุไฟฟ้าในโมเลกุลมีค่า
 เดียวกันกับความถี่ของรังสีเหนือม่วง ความถี่ของแสงในเขตที่ตามองเห็นมีค่าต่ำกว่านี้ แต่เมื่อความถี่
 ขับยังมีค่าใกล้ความถี่ธรรมชาติของประจุไฟฟ้าในโมเลกุลเท่าไร ช่วงกว้างของความถี่จำยอมก็จะยิ่ง
 โตขึ้น และความเข้มของแสงกระเจิงก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น โดยเหตุนี้แสงสีม่วงจึงกระเจิงได้ดีกว่าแสงสีแดง
 จึงทำให้เราเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน ในตอนเย็นเนื่องจากแสงแดดเดินทางผ่านบรรยากาศที่ห่อหุ้ม
 โลกชั้นกว่าเดิมมาก กว่ามาถึงบริเวณเหนือหรือเกือบเหนือของผู้สังเกต แสงสีม่วง สีน้ำเงิน
 กระเจิงได้ดีกว่าสีแดง ส่วนที่เหลือจึงเป็นสีเหลืองหรือแดง เมื่อแสงพวกนี้สะท้อนจากก้อนเมฆเข้า

ดาวผู้สังเกต จึงทำให้เห็นเป็นสีเหลือง หรือแดง ถ้าโลกไม่มีบรรยากาศห่อหุ้ม เราจะไม่ได้รับแสงจากท้องฟ้า ท้องฟ้าจะมีดเหมือนตอนกลางคืน ความจริงข้อนี้นักบินอวกาศได้ประสบมาแล้ว



รูปที่ 2.13 การกระเจิงของแสง

6. โพลาริเซชันของแสง (Polarization) จากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วได้แสดงให้เห็นว่า แสงเป็นคลื่นแต่ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นคลื่นตามขวางหรือตามยาว ปรากฏการณ์โพลาริเซชันเป็นสิ่งที่พิสูจน์ว่าแสงเป็นคลื่นตามขวาง เพราะคลื่นตามขวางเท่านั้นที่เกิดปรากฏการณ์โพลาริเซชันได้

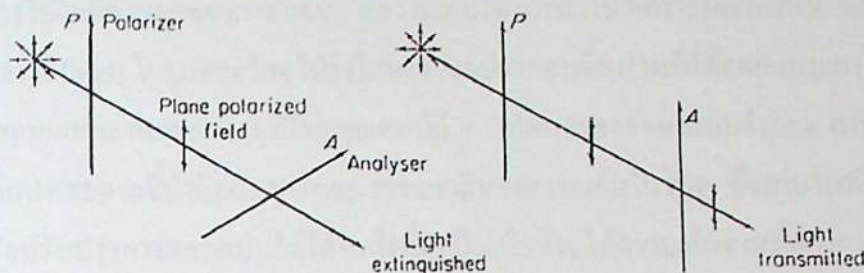
แสงโดยปกติจะมีระนาบการแผ่ของคลื่นหลายระนาบ ถ้าแสงใดที่มีระนาบการแผ่เพียงระนาบเดียวเราเรียกแสงนั้นว่าแสงโพลาริซ์ สำหรับแสงที่มีระนาบการแผ่หลายระนาบเรียกแสงไม่โพลาริซ์ แสงระนาบเดียวมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายระนาบคลื่นที่เกิดจากการกระตุกเชือก คลื่นที่เห็นเพียงระนาบเดียวจะเป็นโพลาริซ์

ประโยชน์ของแสงโพลาไรซ์

การพิจารณาบอกว่า ลำแสงเป็นแสงระนาบโพลาไรซ์หรือไม่นั้นเป็นของไม่ยากนัก ตัวอย่างเช่น สมมติว่าลำแสงอันหนึ่งทำให้เป็นแสงระนาบโพลาไรซ์ (ซึ่งเรียกว่า โพลาไรเซอร์) ถ้าตอนนี้มีโพลาไรเซอร์อีกแผ่นหนึ่ง (ซึ่งเรียกว่า อานาไลเซอร์) วางไว้ในลำแสงนั้นแสงที่จะผ่านไปย่อมขึ้นอยู่กับแนวทิศของโพลาไรเซอร์ ถ้าโพลาไรเซอร์ทั้งสองมีแกนขนาน ดังในรูป 2.14 ก ทั้งคู่ยอมให้แสงผ่านทะลุไปในระนาบเดียวกัน ดังนั้น ลำแสงจึงผ่านทะลุไปได้ อย่างไรก็ดี ถ้าแกนของโพลาไรเซอร์ตั้งฉากกัน (เรียกว่าวางโพลาไรเซอร์ขวางกัน) ก็ย่อมจะไม่มีแสงผ่านทะลุออกาไลเซอร์ไปได้ ฉะนั้น ถ้าการหมุนอานาไลเซอร์เป็นเหตุให้ลำแสงขาดหายไป แสงนั้นเป็นแสงระนาบโพลาไรซ์แสงที่ไม่เป็นโพลาไรซ์ถูกทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์โดยโพลาไรเซอร์อันแรก (โพลาไรเซอร์) ในรูป (ก) โพลาไรเซอร์อันที่สอง (อานาไลเซอร์) ยอมให้แสงผ่านทะลุไปได้ อย่างไรก็ดีในรูป (ข) โพลาไรเซอร์และอานาไลเซอร์ขวางกัน และลำแสงผ่านอานาไลเซอร์ไม่ได้เลย

มีอยู่กรณีหนึ่งที่น่าสนใจเกิดขึ้นเมื่อเอาสารละลายน้ำตาลมาขวางกันลำแสงไว้ในระหว่างโพลาไรเซอร์ทั้งสองที่ขวางกัน พบว่าเมื่อมีสารละลายน้ำตาลอยู่อย่างนั้นเป็นสาเหตุให้ผ่านทะลุออกาไลเซอร์ไปได้ อย่างไรก็ดี ถ้าหมุนอานาไลเซอร์จะพบตำแหน่งใหม่ที่ทำให้แสงขาดหายไปอีก แปลว่าสารละลายน้ำตาลได้ไปหมุนระนาบของโพลาไรเซชันของแสงระนาบโพลาไรซ์ หมุนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสารไวแสง จึงใช้ผลที่เกิดขึ้นนี้มาวัดความเข้มข้นของสารเหล่านี้ได้ สารไวแสงส่วนมากการเป็นการหักเหสองทางภายใต้ความเค้น ข้อเท็จจริงนี้สามารถใช้วัดความเค้นในวัสดุได้เมื่อเอาวัตถุที่อยู่ภายใต้ความเค้นวิวิธพันธ์มาวางไว้ในระหว่างโพลาไรเซอร์ที่ขวางกัน (ขวางแบบที่ไม่ยอมให้แสงผ่านไปถ้าไม่มีสารไวแสงมาคั่นไว้) จะได้กระสวนแบบเส้นมืดและเส้นสว่างสลับกันจะใกล้ชิดกันตรงที่มีความเค้นสูง วิธีนี้จึงใช้สำหรับการวิเคราะห์การแจกแจงความเค้นได้ การวิเคราะห์กระสวนดังเช่นแบบหนึ่งที่แสดงไว้นี้เป็นสาขาวิชาหนึ่งทางวิศวกรรมศาสตร์

แสงโพลาไรซ์ยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกมาก ตัวอย่างเช่น วัสดุหลายชนิดที่ตรวจสอบโดยนักชีววิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นวัสดุหักเหสองทาง รายละเอียดส่วนมากจะดูได้ชัดภายใต้แสงธรรมดาเมื่อมองดูวัตถุนั้นผ่าน โพลาไรเซอร์ ที่ขวางกัน การประยุกต์อื่น ๆ จะดูได้จากหนังสือที่มีชื่อหัวเรื่องว่า "Polarized Light"



รูปที่ 2.14 แสดงระนาบแสงของโพลาไรซ์

โฟโตอีลาสติคิตี (Photoelasticity)

เมื่อวัตถุแข็งเกร็งอยู่ในภาวะรับภาระความเค้น (Stress) ถูกทำให้เกิดขึ้นภายในวัสดุ ความเค้นนี้มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของโมเลกุล (Molecules) สัมพันธ์กับส่วนอื่นแต่ละส่วนในของแข็งโปร่งใสแต่ละชนิด การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการจัดวางโมเลกุล นำพาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ วัสดุโปร่งใสที่ถูกทำให้เกิดความเค้นแบบนี้จะกลายเป็นการหักเหออกหรือหักเหแบบสองแนวทาง (Birefringent or double refracting) ปรากฏการณ์แบบนี้ได้กลายเป็นสิ่งที่รู้จักกันดีในชื่อว่า โฟโตอีลาสติคิตี

ถ้ารังสีของแสงโพลาไรซ์ (Polarized light) ถูกทำให้ผ่านเข้าไปในวัตถุหักเหแสงโปร่งใสที่อยู่ในภาวะรับภาระ แสงถูกแยกออกเป็นลำรังสีสองแนว ระนาบของการตั้งของทั้งสองรังสีอยู่ทางมุมขวาเทียบกับส่วนอื่น ๆ (รังสีตั้งฉาก) รังสีที่ส่วนต่างกันจะเคลื่อนที่ตามกันผ่านเข้าไปในวัสดุเดินทางด้วยความเร็วต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลของวัสดุที่แสงเดินทางผ่านเมื่อรังสีของแสงผ่านออกมาอีกด้านหนึ่งรังสีทั้งสองจะมีเฟสไม่ตรงกันซึ่งเป็นผลที่ตามมาจากการเดินทางที่ต่างกันระหว่างการเดินทางผ่านวัสดุ และรูปภาพที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากมันจะนำพาให้เกิดรูปแบบการแทรกสอด (Interference) หรือริ้วรอย

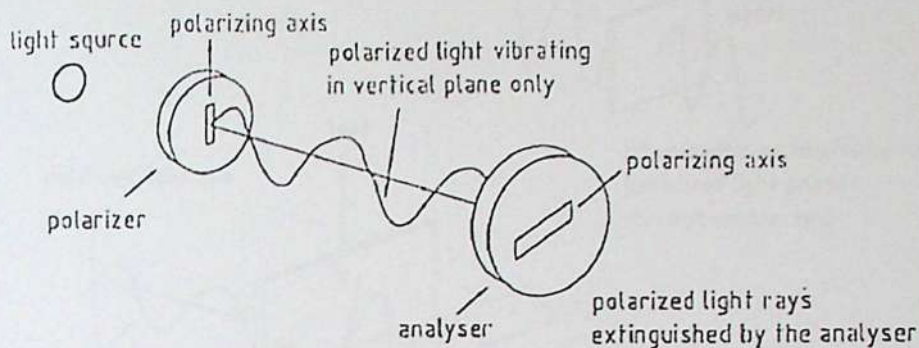
ณ จุดใดจุดหนึ่งในวัสดุ โปร่งใส ระนาบของการหักเหจะมีความเกี่ยวพันกันกับทิศทางของระนาบความเค้นหลัก (Principle planes of stress) และความแตกต่างระหว่างความเร็วของรังสีจะมีความเกี่ยวพันกันกับความแตกต่างระหว่างขนาดของความเค้นหลัก รูปแบบของการแทรกสอดก่อให้เกิดขึ้นโดยการผ่านแสงโพลาไรซ์ทะลุผ่านของแข็งโปร่งใสที่มีความเค้นเช่นนี้เป็น

ฟังก์ชันของทิศทางและขนาดของความเค้น ณ ทุกจุดบนทางเดินของรังสีของแสง การสังเกตการณ์รูปแบบของการแทรกสอดยังผลให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับความเค้นภายในของแข็งที่เป็นรากฐานของเทคนิคทางโฟโตอีลาสติกของการวิเคราะห์ความเค้นในการนำไปวิเคราะห์เช่นนี้นั้น วิศวกรจะสร้างแบบจำลอง (Model) ในรูปของวัตถุโปร่งใสขององค์ประกอบชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบเอาไว้แล้ว และจะตรวจสอบผลกระทบของภาระที่มีต่อคุณสมบัติ ทางทัศนศาสตร์ของแบบจำลอง การศึกษาถึงรูปแบบการแทรกสอดจะขึ้นไปถึงตำแหน่งและธรรมชาติของความเค้นในวัสดุ ซึ่งสามารถที่จะดัดแปลงแก้ไขหรือปรับปรุงการออกแบบให้ได้ในสิ่งที่จำเป็นเพื่อที่จะได้ความเค้นตามที่ต้องการและเพื่อให้ได้มาซึ่งการออกแบบที่น่าพอใจก่อนที่จะมีการสร้างตัวต้นแบบจะถูกกำหนดออกมา

1. พื้นฐานการจัดวางโพลาไรสโคป แผ่นโพลาไรเซอร์ (Polarizer) อาจจะถูกพิจารณาเพื่อความเหมาะสมให้เป็นอนุกรมของช่องในแนวตั้งโดยแสงที่ทะลุผ่านจะเป็นแสงโพลาไรซ์ โดยสั้นในระนาบเดียวเท่านั้นเมื่อมีทิศทางทางเดียวกับแบบจำลองที่ไม่มีความเค้นระนาบแสงโพลาไรซ์นี้จะผ่านทะลุโดยไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลงหรือเกิดขึ้น รูปที่ 2.15 ข และสามารถทำให้การทะลุผ่านสิ้นสุดลงได้โดยสมบูรณ์โดยแผ่น โพลาไรเซอร์ แผ่นที่สอง หรือ อนาไลเซอร์ (Analyser) ซึ่งแกนโพลาไรซ์ตั้งฉากกับ โพลาไรเซอร์ นี่เป็นตัวอย่างพื้นฐานของโพลาไรสโคปซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์ทาง โฟโตอีลาสติก

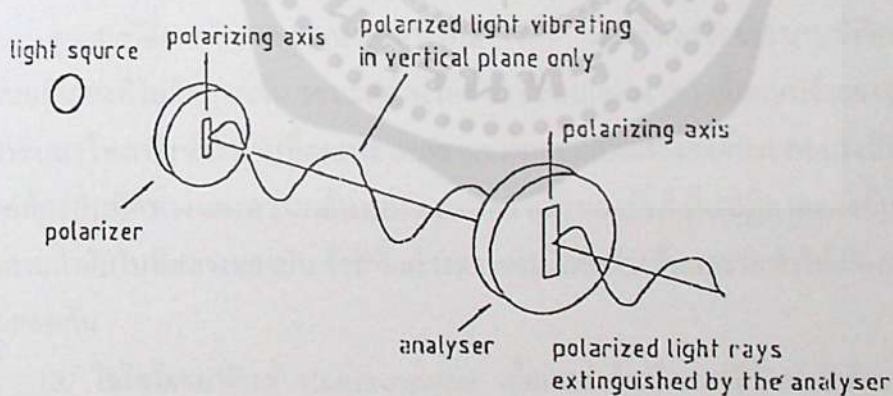
2. การผลิตรูปแบบของริ้วรอย เมื่อแบบจำลองถูกทำให้มีความเค้น ระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่ตกกระทบจะแยกออกเป็นสององค์ประกอบรังสี ทิศทางของรังสีที่ซึ่ง ณ จุดใดก็ตามจะตรงกับทิศทางของความเค้นหลัก ณ จุดนั้น จากรูปที่ 2.14 ความเร็วของลำรังสีสองลำที่ทะลุผ่านแบบจำลองจะเป็นสัดส่วนกับขนาดของแต่ละความเค้นในทิศทางของมัน ผลที่ตามมานั้นรังสีที่ทะลุผ่านแบบจำลองมานั้นจะเป็นรังสีที่มีเฟสไม่ตรงกัน เมื่อเทียบกับส่วนอื่นองค์ประกอบของรังสี จะทะลุผ่าน อนาไลเซอร์ จากรูปที่ 2.5 และจะรวมตัวกันอีกครั้งหนึ่งเพื่อที่จะทำให้เกิดรูปแบบริ้วรอยของการแทรกสอดดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

จำนวนของการแทรกสอด ณ จุดใดก็ตามแปรผันตรงกับค่าของ $(p-q)$ ณ จุดนั้น ดังนั้นสำหรับความเค้นเฉือนสูงสุด $\tau_{\max}$ แล้ว $\tau_{\max} = 0.5 (p-q)$



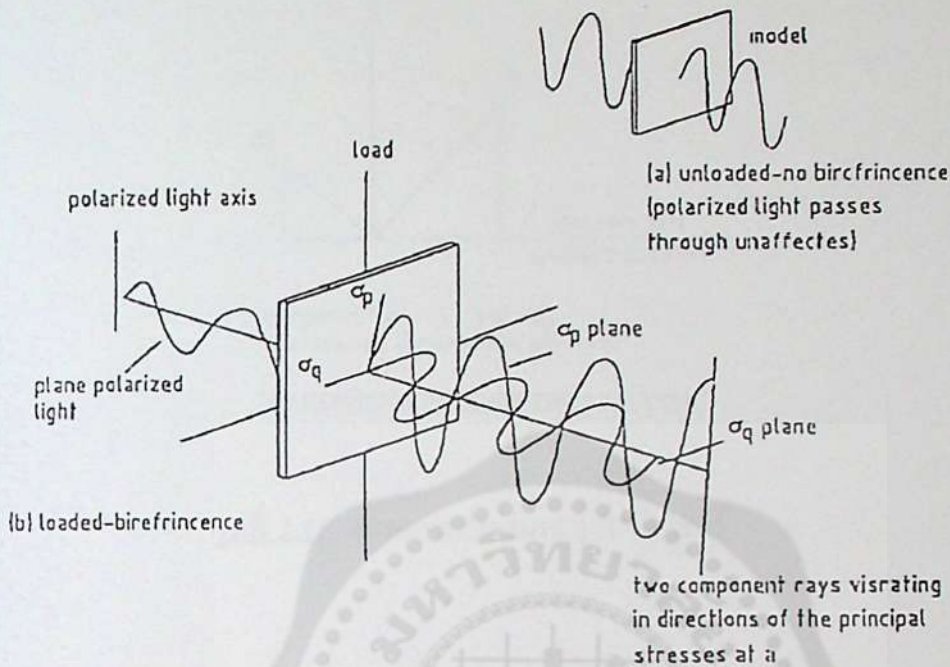
รูปที่ 2.15 ก แสดงแกนโพลาไรซ์แบบขวางกัน

การปรับแบบขวางเมื่อโพลาไรเซอร์ และอนาไลเซอร์ถูกจัดวาง แกนโพลาไรซ์แบบขวางกัน แสงโพลาไรซ์ระนาบจากโพลาไรเซอร์ถูกบดบังอย่างสมบูรณ์โดย อนาไลเซอร์



รูปที่ 2.15 ข แสดงแกนโพลาไรซ์แบบขนานกัน

การปรับแบบขนานเมื่อโพลาไรเซอร์และอนาไลเซอร์ถูกจัดวางโดยแกนโพลาไรซ์แบบขนานกัน แสงโพลาไรซ์แบบขนานจะทะลุผ่านอนาไลเซอร์

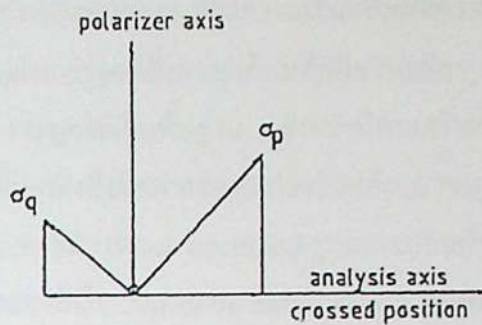


รูปที่ 2.16 แสดงคุณสมบัติการหักเหสองแนวเฉพาะกาล

คุณสมบัติการหักเหสองแนวเฉพาะกาล (ก) แสงโพลาไรซ์ระนาบมีทิศทางไปทางเดียวกับแบบจำลองที่ไม่มีความเค้น จะทะลุผ่านโดยไม่เปลี่ยนแปลง (ข) เมื่อแบบจำลองถูกทำให้อยู่ภายใต้ภาระแสงโพลาไรซ์ระนาบที่ตกกระทบจะถูกแยกออกเป็นสององค์ประกอบรังสีทิศทางของรังสีสอดคล้องกับทิศทางของความเค้นหลักและอัตราเร็วของรังสีเป็นปฏิภาคตรงกับขนาดของความเค้นตามลำดับในทิศทางของมัน รังสีที่แผ่กระจายจะมีเฟสต่างกันและจะทำให้เกิดลวดลายของการแทรกสอดกัน

3. ไอโซโครมาติกส์ (Isochromatics) เมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่มีแสงสีเดียว คือ หลอดโซเดียมหรือหลอดปรอท ถูกนำมาใช้ รูปแบบของริ้วรอยจะอยู่ในรูปของอนุกรมของเส้นสีดำที่เด่นชัดอยู่บนฉากหลังสีเหลือง (โซเดียม) หรือสีเขียว (ปรอท) ริ้วรอยสีดำสอดคล้องกันกับจุดที่ซึ่งรังสีสองรังสีมีมุมเฟสต่างกัน 180° อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อแสงขาวถูกนำมาใช้ความยาวคลื่นของแสงขาวแต่ละองค์ประกอบจะถูกทำให้เป็นกลางและเราก็จะได้รูปแบบริ้วรอยหลายสีที่เรียกกันว่า ไอโซโครมาติกส์

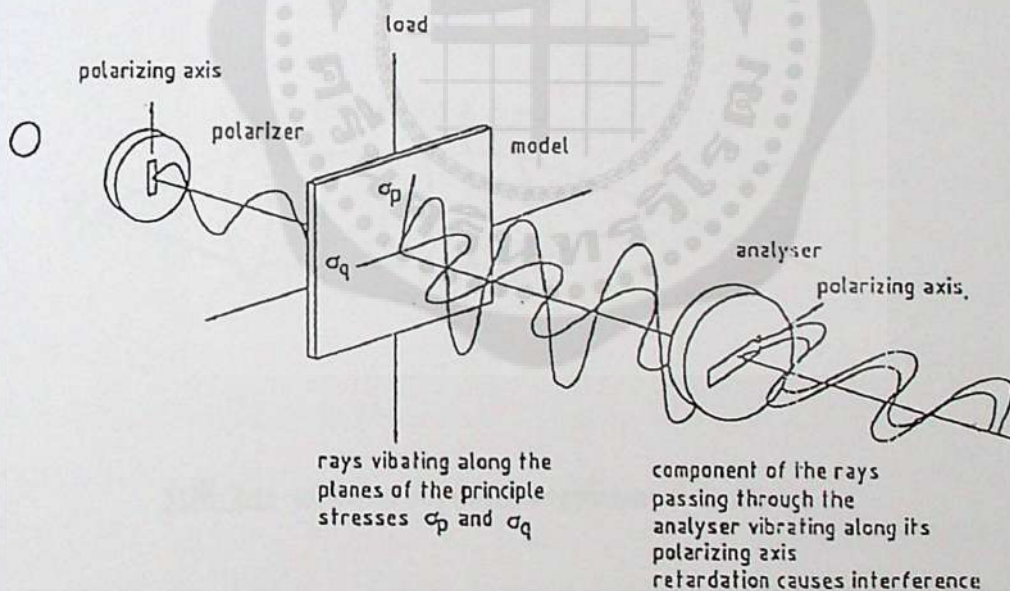
แหล่งกำเนิดแสงสีเดียว ถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินขนาดของความเค้นที่แม่นยำ แหล่งกำเนิดแสงขาวโดยทั่วไปจะถูกใช้ในการสังเกต ในทิศทางของความเค้น



component of σ_p and σ_q
transmitted through the analyser

TRANSMISSION THROUGH THE ANALYSER

รูปที่ 2.17 แสดงการส่งผ่านทะลุอนาไลเซอร์



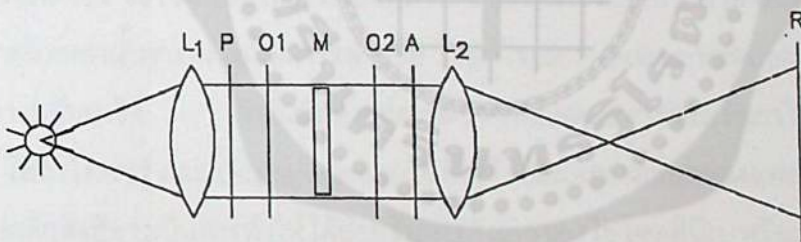
รูปที่ 2.18 แสดงแบบจำลองที่รับภาระถูกมองจากโพลาไรสโคปที่ถูกปรับแบบขวาง

4. ไอโซคลีนิก (Isoclinics) เซอร์คิวลาร์โพลาไรเซชัน (Circular polarization) ถ้าหากแสงโพลาไรซ์แบบระนาบ ถูกใช้ความยุ่งยากก็จะถูกนำมาสู่ผลของรูปแบบริ้วรอยอนุกรม ของเส้นดำหรือ ไอโซคลีนิก จะถูกวางซ้อนอยู่บนสีที่มีสีเหมือนกัน (Coloured isochromatics)

(เส้นไอโซคลีนิก เป็นทางเดินของทุกจุด ณ ที่ซึ่งความเค้นหลักที่มีความเค้นเหมือนกัน ยกตัวอย่าง เช่น ไอโซคลีนิก 10° ที่ทะลุผ่านทุกจุดที่ซึ่งความเค้นหลักมีความเค้น 10 องศา กับแนวตั้งและแนวราบ) ไอโซคลีนิก อาจจะถูกใช้เป็นพื้นฐาน สำหรับโครงสร้างของวิถีโคจรของ ความเค้น (Stress trajectories) อันที่ซึ่งแสดงถึงทิศทางของความเค้นหลัก ณ ทุกจุดบนแบบจำลอง

ถ้าหากว่าแถบรอยสีดำ (Black isoclinics) ถูกตรวจสอบกับริ้วรอยสีดำ (Black fringes) ที่เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดแสงสีเดียว (Monochromatic source) รูปแบบอาจจะสับสนดังนั้นจึงเป็นที่ชอบมากกว่าที่จะสังเกตทั้งหลายต่อริ้วรอยที่มีหลายสีจากแหล่งกำเนิดแสงขาว

เพื่อป้องกันการแทรกสอดของ ไอโซคลีนิก (Isoclinics interfering) กับการวิเคราะห์ของขนาดความเค้น จึงต้องขจัดไอโซโครมาติก หรือ ริ้วรอยเชิงทัศนศาสตร์ โดยการสอดแผ่นเศษหนึ่งส่วนสี่คลื่น (Quarter-wave plates) ที่มีแกนทัศนศาสตร์ (Optical axes) ที่ 45° กับทั้งโพลาไรเซอร์ และอนาไลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 การกำจัดคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางสีเดียวของแสงนี้ โดยการเปลี่ยนแปลงให้เป็นแสงแบบเซอร์คิวลาร์โพลาไรซ์ รูปแบบของริ้วรอยยังคงไม่ถูกเปลี่ยนแปลงแต่ถูกมองเห็นได้อย่างแจ่มแจ้งโดยปราศจากไอโซคลีนิก



รูปที่ 2.19 แสดงการจัดรูปแบบของชนิดเลนส์ Isoclinics

การจัดวางโพลาไรสโคปแบบเซอร์คิวลาร์ไอโซคลีนิกจะถูกขจัดออกไปจากริ้วรอย โดยการสอดแผ่นเศษหนึ่งส่วนสี่คลื่นที่ แกนทัศนศาสตร์ทำมุม 45° กับทั้ง โพลาไรเซอร์ และอนาไลเซอร์ แสงโพลาไรเซอร์คิวลาร์จึงเกิดขึ้น

ลักษณะของแสงที่ผ่านวัตถุ

1. วัตถุโปร่งใส หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปได้เกือบทั้งหมดอย่างเป็นระเบียบ เราจึงสามารถมองผ่านวัตถุนี้ได้ชัดเจน ตัวอย่างวัตถุนิดนี้ ได้แก่ กระจกใส แก้วใส เป็นต้น

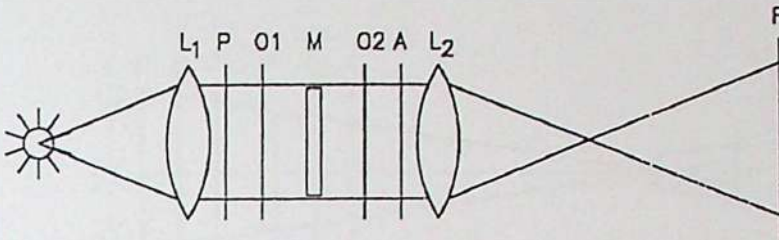
2. วัตถุโปร่งแสง หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปได้โดยไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุนี้ได้ชัด ตัวอย่างของวัตถุนิดนี้ ได้แก่ น้ำขุ่น กระดาษฝ้า และกระดาษชุบไข เป็นต้น

3. วัตถุทึบแสง หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปได้เลย แสงทั้งหมดจะถูกดูดกลืนไว้ หรือสะท้อนกลับเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุนิดนี้ได้ ตัวอย่างของวัตถุนิดนี้ ได้แก่ ไม้ ผืนผ้า คีบอร์ด และกระจกเงา เป็นต้น

โครงสร้างของโพลาไรสโคป (Polariscope)

โพลาไรสโคป ประกอบด้วยพื้นฐานของแหล่งกำเนิดแสง และการหมุน โพลาไรเซอร์ (Polarizer) 2 อันระหว่างที่ซึ่งที่ชิ้นงานทดสอบอยู่ สำหรับการสังเกตในแสงวงกลมโพลาไรซ์ Two quarter-wave plate เป็นการนำระหว่าง โพลาไรเซอร์ บนแต่ละด้านของ ชิ้นงานทดสอบ, The quarter-wave plate อาจจะเป็นการเพิ่มขึ้นของการ โค้งของโพลาไรเซอร์ แต่จะเป็นความสามารถในการหมุนอย่างอิสระ ในบางครั้งของ โพลาไรซ์สโคป, Quarter-wave plate เป็นการถอดได้ในการยอมให้การสังเกตของ ไอโซคลินิกในระนาบโพลาไรซ์ในผลกระทบอื่นๆ สามารถแยกโดยหมุนจนกระทั่งแกนหลักเหล่านั้นขนานกับโพลาไรซ์ หรือ โพลาไรเซอร์ Quarter-wave plate การประกอบอาจจะเป็นการกลับมาได้ ดังนั้นมันตั้งอยู่ภายนอกขอบเขตแสงวงกลมโพลาไรซ์ประกอบด้วย ระนาบของ โพลาไรเซอร์ และ Quarter-wave plate ยึดเข้าด้วยกันทางเลือกของแหล่งกำเนิดแสงเป็นการให้โดยปกติแสงสีขาวเป็นการทำให้ได้สำหรับการสังเกตของไอโซคลินิก หรือสำหรับการถือว่า เป็นเดียวกันของชิ้นการโปร่งไอโซโครเมติกจากสีซึ่งแสงโมโนโครมาติก แสงใช้สำหรับผลิตแบบ ไอโซโครมาติกในแสงวงกลมโพลาไรซ์การหมุนของ Quarter-wave plate จะต้องให้แนวทางเดินวิถีทางที่ตอบโต้ตั้งฉากกับความยาวคลื่น (Wavelength) ของการใช้แสง โมโนโครเมติก สำหรับการสังเกตของไอโซคลินิกเป็นประโยชน์ถ้าแผ่นโพลาไรเซอร์สองแผ่นสามารถหมุนขึ้นในเวลาเดียวกัน

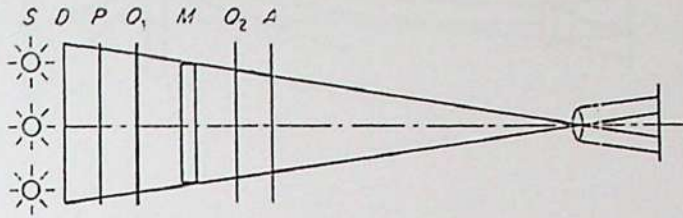
โพลาไรซ์สโคปสำหรับคนทั่ว ๆ ไปที่สังเกตเห็นโดยการส่งถ่ายแสง อาจจะแบ่งแยกไปใน 2 กลุ่ม ชนิดเลนส์หรือการกระจายชนิดแสง ตามนั้น (ฉะนั้น) ในระบบของการทำให้สว่างของ ชิ้นงานทดสอบรูปที่ 2.20 แสดงการจัดรูปแบบของชนิดเลนส์โพลาไรซ์สโคป



รูปที่ 2.20 แสดงการจัดรูปแบบของชนิดเลนส์โพลาไรซ์สโคป

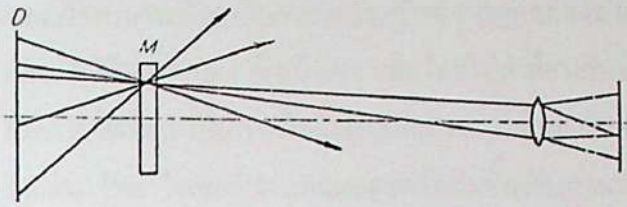
ในรูปตัวอย่างจุดประมาณของแหล่งกำเนิดแสง เป็นที่จุดรวม(Focus)ของ Collimating lens L_1 ดังนั้นถ้าแสงจะมากหรือน้อยที่แสงขนานผ่านแผ่นโพลาไรเซอร์ P, A, Quarter-wave plate Q_1 , Q_2 และ ชิ้นงานทดสอบ M แสงจะปรากฏให้เห็นจากโพลาไรเซอร์อันที่ 2 (เรียก อนาไลเซอร์) จะฉายโดยเลนส์ตัวที่ 2 L_2 ไปสู่แบบที่ปรากฏให้เห็นของชิ้นงานทดสอบฉะนั้น (ทางเลือก)แบบการโปร่งอาจจะเป็นการถ่ายรูปโดยตำแหน่งของกล้อง ดังนั้นแสงจาก L_2 เข้าไปในเลนส์กล้อง ในบางโพลาไรซ์สโคปการนำเอาระหว่างเลนส์ L_2 และฉากในการลดทอนของชิ้นในระหว่างระหว่างชิ้นงานทดสอบ รับการผลิตของแสงโมโนโครเมติก จากหลอดไอปรอทความเหมาะสมของ ตัวป้องกัน จะต้องใส่ในระบบด้วยด้วยวัตถุของการลดทอนในหลาย ๆ อย่างที่เกี่ยวกับเลนส์ในส่วนประกอบอื่น ๆ เป็นรวมความถี่ เช่น การเพิ่มขึ้นของเลนส์ที่กรองและหยุดวงกลมบังคับแสงสว่างที่ ปากกล้องระหว่างแหล่งกำเนิดและ Collimating lens L_1 และหยุดส่วนที่ 2 ระหว่างเลนส์ L_1 และจากหลักการที่ใช้ประโยชน์ของเลนส์โพลาไรซ์สโคป เป็นภาพที่ขยายใหญ่อาจจะเป็นการผลิตขึ้น ดังนั้นขนาดของขอบเขตและของชิ้นงานทดสอบ สามารถเป็นการเทียบกับสิ่งที่เล็ก ๆ ข้อเสียเปรียบคือ ราคาของเลนส์จะสูงมากสำหรับขนาดที่เหมาะสมและมีคุณภาพดีบางครั้งความไม่สบายของตาเมื่อค่าของแสงที่เข้าตาในทิศทางที่สังเกต เพิ่มขึ้นของการหักเหของแสงภายในผลึกพีไรต์ที่ได้จะเป็นภาพที่ไม่ดี และเกี่ยวกับแสงที่เข้าตาชั่วขณะใดขณะหนึ่ง

การกระจายของแสงโพลาไรซ์สโคป จะไม่มีเลนส์เหมือนกับเลนส์กล้อง ด้วยระบบนี้แสงจากแหล่งกำเนิดตกบนตัวกระจาย D เช่นกับพื้นฉากแก้ว รูปที่ 2.21 ด้วยขอบเขตของ ที่ใหญ่ ๆ โพลาไรซ์สโคป แหล่งกำเนิดอาจจะประกอบด้วยหลอดหลายตัวกระจายภายในเรือนในเช่นนั้น เป็นแบบการผลิตประมาณเป็นแบบเดียวกันในการทำให้หนาแน่นขึ้นของการทำให้แสงสว่างบนตัวกระจายแสง



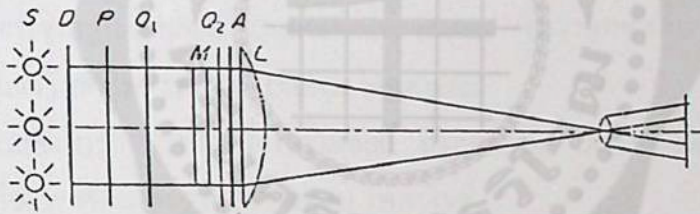
รูปที่ 2.21 แสดงการกระจายของแสงโพลาไรซ์สโคป

เปรียบเทียบกับเลนส์ โพลาไรซ์สโคป จะเป็นประโยชน์ (i) การวัดขอบเขตที่ใหญ่ สามารถผลิตที่ราคาต่ำเมื่อเทียบกับอันอื่น, (ii) ตั้งแต่ความเที่ยงตรงตามบางในแนวระดับแกนเลนส์ จะไม่ต้องการ ส่วนประกอบ (ส่วนเล็ก ๆ) ซึ่งจะตั้งอยู่บนด้านตรงข้างของ ชิ้นงานทดสอบ สามารถที่จะเป็นรูปแบบในหน่วยที่แยกอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นภาระที่ชิ้นงานทดสอบจะเป็นอิสระจากการจำกัดซึ่งอาจจะเป็นอีกอย่างหนึ่งเป็นการบังคับโดยการสร้างของชนิดที่ตั้งของ โพลาไรซ์สโคปซึ่งจะเป็นที่น่าพอใจมากสำหรับทิศทางที่มองเห็นของ ชิ้นงานทดสอบ ข้อเสียหาย เกิดขึ้นจากความจริง ชิ้นงานทดสอบ จะไม่ทำให้สว่างโดย Collimated beam ของแสงที่ตกจนกระทั่งที่ตั้งฉาก ดังนั้นแสงจากหลาย ๆ จุดของตัวกระจายจะผ่านแต่ละจุดของ ชิ้นงานทดสอบ 1 แสงนี้เป็นความแตกต่างของทิศทางและจะเข้าตาหรือเลนส์กล้องจะตั้งอยู่ภายในท่อทรงกระบอก Subtended โดยช่องรับแสง เลนส์ที่จุดบน ชิ้นงานทดสอบ แสดงในรูปที่ 2.31 การหักเหของแสง 2 แนวแกน (Birefringence) สังเกตการณ์กล่าวเกี่ยวกับค่าที่ได้ตอบในทุกทิศทางของการส่งถ่ายภายในทรงกระบอก (Cone) ผลกระทบชัดเจนมากก็ขึ้นอยู่กับขนาดของช่องรับแสงและระยะห่างของเลนส์จาก ชิ้นงานทดสอบ ซึ่งในการหมุนขึ้นอยู่กับความยาวจรววมของแสง โดยคั้งเลือกที่เหมาะสมของขนาดนั้นผลกระทบสามารถทำได้โดยไม่ใส่ใจได้ผลกระทบอื่น ๆ เป็นผลลัพธ์จากการเอียงของแสงจะขนานกับแสง ผ่านด้านหน้าและที่ขอบแนวหลังของ ชิ้นงานทดสอบ จะไม่เหมือนกัน (เกิดขึ้นพร้อมกัน) ผลลัพธ์การได้ตอบภาพจะไม่เหมือนกัน และการผลิตที่ขอบจะเป็นผลกระทบของเราซึ่งอาจจะปกปิดแบบ 'ไอโซโครเมติก ขอบเขตที่สำคัญ



รูปที่ 2.22 แสดงผลของเลนส์กึ่งกลางที่จุมรวมความยาวกว้างและช่องรับแสงเล็ก

ผลกระทบที่ได้มากกว่าโดยใช้เลนส์กึ่งกลางของจุมรวมความยาวที่กว้างและช่องรับแสงเล็ก อาจเป็นการใส่ระหว่างเลนส์กึ่งกลางและ อนุไลเซอร์ ที่ปิด ชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นแบบจำลองที่จะต้องให้แสงต้องขนานกับชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 2.23 ก แสดงขอบของเงาในแนวเส้นของแกนของกึ่งกลาง

ขอบของเงาผลกระทบอาจจะเป็นการแยกตำแหน่งจากขอบเขตของการใส่โดยตำแหน่ง ชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นขอบเขตในแนวเส้นของแกนของกึ่งกลาง

แหล่งกำเนิด โมโนโครเมติก สามารถหันเหจุมรวมของเสานำไปสู่ที่จะเลือกตำแหน่งกำเนิดได้ The quarter-wave plate จะยึดติดโดยสถักชนิดของ Coupling และมีแหวนรองรับตามด้วย โพลารไรเซอร์ และอาจเลื่อนการสังเกตได้ในระนาบแสง โพลารไรซ์

การกระจายของแสงทั้งสองใน โพลารไรซ์สโคป เป็นประเภทของโต๊ะและการกลั่นของเลนส์ที่จะเปลี่ยนแสงที่ทำให้หักเหจากจุดแหล่งกำเนิดลำแสงซึ่งทำให้สว่างรอบ ๆ แผ่น โพลารไรเซอร์ การเลือกสีขาวและแหล่งเป็น โมโนโครเมติก อาจจะเป็นการหมุนไปในตำแหน่งที่จุมรวมหลักของเลนส์ที่กลั่นกรอง ส่วนประกอบต่าง ๆ ของ โพลารไรซ์สโคป เป็นการรวมกันใน 2 ส่วนที่

แยกกัน ซึ่งสามารถที่จะตั้งไว้ให้เป็นอิสระต่อกันของชิ้นส่วนนั้นสะดวกที่จุดและระยะทางแสงสีขาวหรือแสง โมโนโครเมติกสามารถที่จะเลือกและเปิดสวิตช์จากชุดกล้องฉายแสง โมเดลที่แสดงอยู่ในช่วงของ 150 mm แต่จะไม่เกิน 200 mm ซึ่งเป็นการผลิตโดยให้เหมือนกับบริษัทผลิต

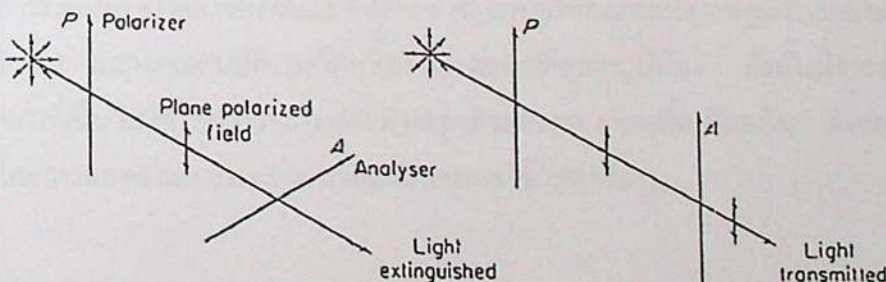
แสดง โพลาริซสโคป เป็นการติดตั้งชุดส่องแสงสว่างและการออกแบบชุดจับยึดของแผ่น โพลาริเซอร์ ซึ่งแผ่น โพลาริเซอร์ 2 แผ่นและชุดจับยึดชิ้นงานสามารถเลื่อนปรับระยะห่างระหว่างแสงสว่างกับแผ่น โพลาริเซอร์ ได้ตามความต้องการ

ในสหรัฐอเมริกา ช่วงกว้างของ โพลาริซสโคป เป็นกรรมวิธีผลิตโดย Photoelastic Inc. ซึ่งการออกแบบลักษณะเฉพาะสำหรับที่จะใช้ในให้ขอบเป็นแนวให้แหลมขึ้น (Fringe sharpening) และรวมหลายแนว

ในชนิดของรูปร่างลักษณะทั้งสอง โพลาริซสโคป จะเป็นการพัฒนาสำหรับการใช้ประโยชน์เฉพาะเหมือนกับการสะท้อนของ โพลาริซสโคป c และกระจายแสง โพลาริซสโคป ขอบเขตของ โพลาริซ ในแบบวงกลม โพลาริซสโคป (Circular polariscope)

วงกลมโพลาริซสโคป เป็นการบรรจุโดยการใส่ Two-quarter-wave plates ระหว่างโพลาไรซ์ในระนาบ โพลาริซกับแกนหลักที่ 45° ถึงโพลาไรซ์ แกนของโพลาไรซ์ อาจจะขวางหรือขนานและอาจจะอยู่ในลักษณะ Quarter-wave plates. ชิ้นงานทดสอบ อาจจะอยู่ในที่กลุ่มของวงกลมของแสงโพลาริซ ระหว่าง Quarter-wave plate.

การจัดแสดงในรูป 2.23 ก ซึ่งโพลาไรซ์ ทั้งสองและ Quarter-wave plate อยู่ในแนวขวางทำให้เรารู้ที่ขวางหรือมาตรฐานของวงกลม โพลาริซ



รูปที่ 2.23 ข แสดงการวางแผ่นโพลาริซสโคป

จากผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนก่อน ๆ นั้นเราเห็นระนาบคลื่น โพลาไรซ์ ปรากฏจากโพลาไรซ์ คือแปลงโดย Quarter-wave plate ตัวแรกในการหมุนทวนเข็มนาฬิกาของคลื่น โพลาไรซ์ เป็นวงกลม Quarter-wave plate ตัวที่ 2 ทำการเปลี่ยนจากเดิมเข้าไปในระนาบคลื่น โพลาไรซ์ การสั่นในระนาบแนวตั้งเหมือนกันกับการปรากฏจาก โพลาไรซ์ ยกเว้นสำหรับการสูญเสียการทำให้หนาแน่นขึ้นด้วยแกนของ อนาไรเซอร์ อยู่ในแนวนอน, แสงจะดับลงหรือลดลง ดังนั้นเมื่อโมเดลถูกใส่ในเครื่อง มันจะปรากฏเป็นด้านหลังมืดอีกครั้ง ถ้า อนาไรเซอร์ หมุนผ่าน 90° จากตำแหน่งที่แสดงคั่นนั้นจะขนานกับโพลาไรซ์, แสงกำลังจะปรากฏออกมาจาก Second quarter-wave plate คือจะส่งถ่ายและด้านหลังจะสว่าง

การจัดแจงใหม่ดังแสดงใน รูป 2.23 ข คือ รู้ว่าขนานกับวงกลมโพลาไรซ์ แกนของโพราลอยด์ขนานซึ่งกันและกันและเหมือนกันนั่นคือ Quarter-wave plates

ผลกระทบของ Two quarter wave plate เป็นการหมุนระนาบของการสั่นของระนาบคลื่น โพราลอยด์ เริ่มต้นจนผ่าน 90° i.e. จากระนาบในแนวตั้งไปในแนวระดับ (แนวนอน) นำแกนของ อนาไรเซอร์ มาในแนวตั้ง ดังนั้นจะทำให้คลื่นนี้ดับลงดับและด้านหลังจะมีมืด ถ้า อนาไรเซอร์ หมุนผ่าน 90° จากตำแหน่งที่แสดงในระนาบแนวนอนจนสุดท้ายคลื่นจะส่งถ่ายแสงด้านหลังจะปรากฏแสงสว่างจากทั้งสองกรณีนี้ ดังนั้นเราเห็นวงกลมของ โพลาไรซ์ ถ้า โพราลอยด์ และ Quarter-wave plate ขวางทั้งคู่หรือขนานทั้งคู่ ทางด้านหลังจะมีมืด ถ้า โพราลอยด์ ขวางและ Quarter-wave plate ขนานหรือถ้าโพราลอยด์ขนานและ Quarter-wave plate ขวางด้านหลังจะสว่าง

แบบวัสดุของโฟโตอีลาสติก (Photoelastic model material)

วัสดุชิ้นงานทดสอบในโฟโตอีลาสติกเป็นการวิเคราะห์การแบ่งในส่วนของวัสดุชิ้นงานในการทดสอบ ชนิดค่าของคุณสมบัติอื่น ๆ ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิวิกฤตอื่น ๆ ที่ให้ได้ในตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในค่าที่เป็นไปได้ระหว่างความแตกต่างของตัวอย่างของวัสดุที่เหมือนกัน ค่าของมันจะใช้ในการหาโดยการแสดงในการทดสอบปรับแต่งของการใช้วัสดุจริง ๆ

พลาสติก (Plastic)

พลาสติก คือ สารที่ประกอบไปด้วย คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อาจจะมีพวกอินทรีย์สาร หรือ อนินทรีย์สาร (Organic and inorganic elements) ก็ได้ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เมื่อรวมตัวกันเป็นของแข็ง จะได้น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) มาก และเมื่อถูกความ

ร้อนสามารถจะสลายตัวเป็นของเหลว (Liquid) ได้ และสามารถทำให้รูปร่างเปลี่ยนไปได้มากมาย โดยการใช้ความร้อนหรือความดัน พลาสติกแต่ละชนิดจะอ่อนตัวและหลอมให้ป็นรูปร่างได้ง่าย ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยโมเลกุลซ้อน ซึ่งนักเคมีสร้างขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาถูกโซ่ของอะตอม จากธาตุเบื้องต้นพลาสติกค้นพบสำเร็จเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1868 โดยหนุ่มชาวอเมริกันชื่อ John Wesley Hyatt ซึ่งเขาพบว่า เมื่อนำเซลลูโลสไนเตรท (เป็นรูปที่ได้จากปฏิกิริยาของกรดไนตริก กับเส้นใยฝ้าย หรือ เซลลูโลส) ผสมกับแคมเฟอร์ (Camphor) เมื่อพลาสติกซีเชอร์และทำตามกรรมวิธีในความดันและความร้อนที่เหมาะสมจะทำให้ได้สารที่สามารถหล่อให้เป็นรูปร่างและขนาดที่ต้องการได้ เราเรียกสารใหม่นี้ว่าเซลลูลอยด์ (Celluloid) จากนั้นจึงได้มีการคิดค้นและใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลาย

ประโยชน์ใช้สอยของพลาสติก

1. มีน้ำหนักเบา ในขณะที่เดียวกันมีความแข็งแรงค่อนน้ำหนักสูงกว่าวัสดุชนิดอื่นที่เป็นวัสดุจำพวกเกี่ยวกับการออกแบบ
 2. สามารถหลอมให้เป็นของเหลว เพื่อเทเข้าไปในแบบให้เป็นรูปร่างได้ตามต้องการ และสามารถทำให้แข็งตัวได้โดยการทำให้เย็นตัวลง
 3. ผิวงานเรียบร้อมกว่าวัสดุอื่น เมื่อเขาออกมาจากแบบแล้วไม่ต้องทำการตกแต่งผิวงานสามารถทำให้เป็นสีต่าง ๆ ได้อย่างสวยงาม
 4. พลาสติกบางชนิดทนการกัดกร่อนของน้ำยาเคมีได้ดี นอกจากนั้นยังสามารถทนสภาพความร้อนหนาวของอากาศได้ดีอีกด้วย
 5. สามารถใช้แทนวัสดุอื่นบางชนิดได้ จึงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้
- พลาสติก แม้ว่าจะมีมากมายหลายชนิดแต่ถ้าจะแยกออกเป็นพวกใหญ่ ๆ แล้วสามารถแยกออกได้เพียง 2 พวกคือ ;

1. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) พวกนี้เมื่อถูกความร้อนจะแข็งตัว ไม่สามารถหลอมให้เป็นของเหลวได้จะมีสารโพลิเมอร์ (Polymer) ประกอบอยู่
2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) พวกนี้เมื่อถูกความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อถูกความเย็นจะแข็งตัวสามารถทำกลับไปกลับมาได้หลายครั้ง

คุณสมบัติของโพลิเมอร์ และ พลาสติก

1. คุณสมบัติทางเคมีระหว่างการผลิต (Chemical properties during manufacturing) ในขณะที่มีการทำปฏิกิริยาของโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerizaytion) เราสามารถใช้เครื่องมือเคมีวิเคราะห์ ปฏิกิริยานี้ได้ อาจจะใช้ Chromatography : Mas and Infrared Spectroscopy : X-ray Diffraction และ Thermo analysis ก็ได้แต่่วาวิธีการตรวจสอบเหล่านี้ต้องใช้เวลาและเงินทองมากดัง

นั้นเขาจึงไม่ค่อยทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของพลาสติกเท่าใดนัก จะไปทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านอื่นแทน

2. คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ในการวัดคุณสมบัติทางกลส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเคิฟความเค้น-ความเครียดในรูปเป็นเคิฟความเค้น-ความเครียดโดยทั่วไปของพลาสติกที่ได้จากการดิ่ง

2.1 ความเค้นดิ่ง (Tensile strength)

2.1.1 ถ้าเป็นพวกความหนาแน่นต่ำเช่นพวก โพลีเอธิลีน (Polyethylene)

มีค่า Tensile Strength ต่ำกว่า 3,000 psi

2.1.2 ถ้าเป็นพวก ไวนิล (Vinyls) มีค่าประมาณ 1,100 psi

2.1.3 ถ้าเป็นพวก ไนลอน (Nylon) มีค่าตั้งแต่ 6 - 50,000 psi (พวก Glass

Rein Forced Thermosets)

2.2 การยืด (Elongation)

2.2.1 เราวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ หมายความว่าเมื่อพลาสติกได้รับแรงดึงแล้วมีความยาวเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร

2.2.2 พวกฟีโนลิก (Phenolics) และ สไตรีน (Styrenes) จะยืดได้เพียงนิดเดียวเท่านั้นก็จะขาด

2.2.3 พวกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene) สามารถยืดได้มากกว่าความยาวเดิมหลายเท่าจึงจะขาด

The Modulus of elasticity (E) ได้แก่ แรงที่ใช้ดึงวัสดุให้ยืดออกไปจนถึงความยาวที่กำหนดเรามักใช้หน่วยเหมือนความเค้น คือ psi ในการวัดโดยทั่ว ๆ ไป จะวัดที่ 0.1% ของการยืด

พวกโพลีเอธิลีน (Polyethylene) จะต้องใช้แรงถึง 2,500 psi ถึงจะเกิดการยืดเพียง 0.1% เท่านั้น

พวก เมลามีน (Melamine) ใช้แรง 1,300,000 psi

พวก Fir Wood ใช้แรง 1,900,000 psi

พวกเหล็กกล้า ใช้แรง 31,000,000 psi

2.3 Impact Strength : เราใช้วิธีการทดลองของ Izod โดยการเตรียมชิ้นทดลอง (Specimen) เท่ากับที่กำหนดไว้ให้ บากตรงกลางให้เป็นร่องไว้หน้อยทั้งนี้เพื่อจะให้เกิดความเค้นหนาแน่นที่จุดนั้น จะได้ไม่หักที่จุดอื่นเมื่อเราใส่แรงเข้าไป

2.4 Hardness : เป็นการทดสอบความแข็งของพลาสติก โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Sharpindentor มีปลายแหลมกดลงไปบนเนื้อของพลาสติกโดยออกแรงให้คงที่ถือว่าสามารถกดลงไปได้ลึกแค่ไหน

2.5 Specific Gravity : หมายถึง น้ำหนักของวัตถุหนักเป็นกี่เท่าของน้ำเมื่อมี ปริมาตรเท่ากับพลาสติกที่เบาที่สุดโดยโพลีโพรพิลีนมีค่า 0.905 Vinyls มีค่า 1.4 Glass rein forced Plastics มีค่า 2 หรือมากกว่านี้

2.6 Creep : เป็นการวัดคุณสมบัติของพลาสติก ว่าภายหลังจากการใส่ภาระเป็น จำนวนคงที่ค่าหนึ่งเป็นเวลานาน ๆ strength เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

2.7 Softening Point : เป็นการวัดคุณสมบัติในการทนความร้อนของพลาสติก ว่ามีอุณหภูมิเท่าไรพลาสติกจึงจะเริ่มอ่อนตัวจุดนั้นเรียกว่า Softening temperature

3. คุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ (Optical properties)

3.1 ได้แก่ คุณสมบัติในทางยอมให้แสงส่องผ่านไปได้มากน้อยแค่ไหน

3.2 สามารถดูดกลืนความร้อนที่ตกลงบนผิวหรือสามารถสะท้อนแสงออกไป ได้มากน้อยแค่ไหน

3.3 คุณสมบัติในการส่งแสงออกมาได้เป็นประกายแค่ไหน เมื่อมันถูกแสงสว่าง ในการวัดคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เราจะใช้เครื่องมือเกี่ยวกับ Photoelectric instruments หรืออาศัยการ สังเกตก็ได้

4. คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties)

ได้แก่ คุณสมบัติในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า (เป็นฉนวน) และพวกโพลี เมอร์ มีความต้านทานต่อไฟฟ้าสูงมาก

4.1 Volume resistivity ได้แก่ ความต้านทานของวัสดุต่อกระแสไฟฟ้าวัดออกมาเป็น Ohm

การแบ่งชนิดของพลาสติก ตามกรรมวิธีการผลิตและส่วนประกอบทางเคมี (Major Classes of Plastic Materials)

1. Acrylics : รวมทั้ง Acrylonitrile copolymers
2. Epoxies
3. Polyimides (Nylon)
4. Phenolic
5. Polyesters
6. Polyfluorocarbons
7. Polyformaldehyde
8. Polyolefines : รวมทั้ง Polyethylenes : Polypropylene
9. Polystyrenes and Copolymers

10. Acrylonitrile - butadiene - styrene (abs)
11. Polyurethanes
12. Silicones
13. Ureas
14. Vinyls : รวมทั้ง Polyvinylchloride (pvc)
15. Poly carbonates : รวมทั้ง Polyphenyl - oxide (ppo) Poly fulsones
16. Allyls

เท่าที่กล่าวมานี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ในปัจจุบันมีผู้คิดค้นพลาสติกขึ้นมาใช้อีกมากกว่า 60 ชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามแต่ความต้องการนำไปใช้งาน
อครีลิก (Acrylics)

อครีลิกโพลีเมอร์ (Acrylic polymer) รู้จักกันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมพลาสติก เพราะว่ามีคุณสมบัติหลายอย่างเช่น :

1. มีความแข็งแรงดี
2. ชิ้นงานมีความสวยงามดีสามารถใส่สีได้หลายสี
3. สามารถสะท้อนแสงได้แวววาวดี
4. ทนทานความร้อน และสารเคมีได้ดีเป็นพิเศษ
5. สามารถคงรูปอยู่ได้ทุกสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะร้อนหรือหนาว

ประโยชน์ใช้สอย

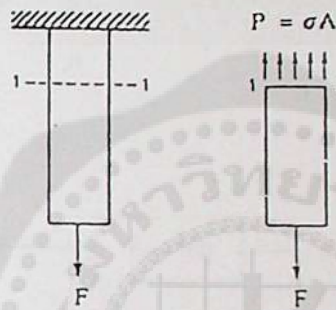
ใช้ทำพวกของเล่นสักลึงถ่ายภาพรูป : ฐานตะเกียง : Reflectors : ทำเครื่องประดับแวววาวเหมือนเพชรพลอย : ทำเครื่องมือทางการแพทย์ นอกจากนั้นก็ยังสามารถนำไปใช้เกี่ยวกับส่วนประกอบของรถยนต์ได้อีกด้วย ทำกรอบไฟท้าย ทำไฟเลี้ยว เป็นต้น

กรรมวิธีในการทำงาน : การที่จะนำ Acrylic molding powder มาใช้ทำงานนั้นต้องใช้กรรมวิธี Injection และ Extrusion processes ในขณะที่เป็นของเหลว มีความเหนียวพอสมควร แต่ไม่ติดแบบ อุณหภูมิในการเทแบบเริ่มตั้งแต่ 150 - 250 °F เมื่อเย็นตัวมันจะแข็งตัวเป็นของแข็ง

โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) พลาสติกชนิดนี้จะผลิตจากแผ่นแบนโดยใช้บริษัท Bayer Chemicals(U.K. distributors M&B plastics LTD.) และภายใต้ชื่อทางการค้าคือ Makrolon มันจะให้ความรู้สึกการเห็นด้วยค่าการยืดตัวสูง (E; Modulus of Elasticity) ซึ่งมันเป็นคุณสมบัติที่เป็นตัวเลขสูงพิเศษโพลีคาร์บอเนตในการปฏิบัติมันจะไม่มีผลกระทบกับ time-edge และแสดงการเคลื่อนที่น้อยที่อุณหภูมิห้อง แม้ว่าจะได้รับความเค้นเริ่มต้น (สะสม) จากกรรมวิธีผลิตจะเกิดขึ้นบ่อย ๆ แต่ก็สามารถกำจัดได้โดยให้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือ แรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดของวัตถุนั้น หรือคือแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ การพิจารณาหาค่าความเค้นนั้น เราจะพิจารณาท่อนวัตถุนั้นที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A อยู่ภายใต้แรงดึง F ที่ผ่านจุดศูนย์กลางความเค้น คือ แรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัด A ของวัตถุ ถ้าแรง F มีค่าน้อย วัตถุจะยืดออกไปไม่มาก แล้วก็จะไม่ยืดออกไปอีก ถ้าตัดวัตถุที่หน้าตัด 1-1 ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงแรงที่พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว แรงภายนอกที่มากระทำบนวัตถุใด ๆ จะต้องมีความภายในด้านโดยมีขนาดรวมแล้วเท่ากับ แรงภายนอกของท่อนวัตถุนั้นที่ถูกกระทำด้วยแรงในแนวแกนที่พยายามทำให้เกิดการยืดตัวหรือหดตัวตามแนวแกน

$$\text{แรงภายนอก} = \text{แรงภายใน}$$

$$F = p = \sigma A \quad (2.12)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.13)$$

โดยที่ A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุนั้น

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ เป็นแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งเรียกว่า ความเค้น}$$

ความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ความเค้นดึง (Tensile Stress) หรือ σ_t จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึงจะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้น

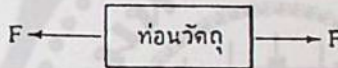
ถ้าให้ σ_t คือความเค้นดึงที่เกิดขึ้น

A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

F คือแรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุ

จะได้ความสัมพันธ์

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$



รูปที่ 2.25 แสดงความเค้นดึง

2. ความเค้นอัด (Compressive stress) หรือ σ_c จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงอัด โดยแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุที่กระทำนั้น

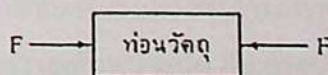
ถ้าให้ σ_c คือความเค้นอัดที่เกิดขึ้น

A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุ

F คือแรงอัดที่กระทำกับท่อนวัตถุ

จะได้ความสัมพันธ์

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$



รูปที่ 2.26 แสดงความเค้นอัด

3. ความเค้นเฉือน (Shear stress) หรือ τ เป็นแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้น โดยพยายามทำให้วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น

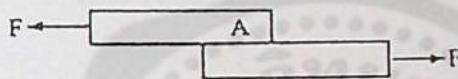
ถ้าให้ τ คือความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น

A คือพื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง

F คือแรงเฉือนที่กระทำกับท่อนวัตถุ

จะได้ความสัมพันธ์

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.14)$$



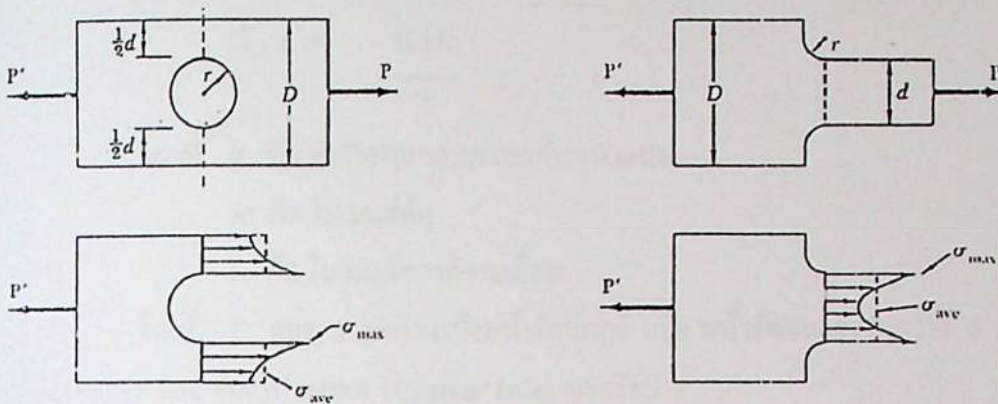
รูปที่ 2.27 แสดงความเค้นเฉือน

ความเค้นหนาแน่น (Stress concentration)

ในการออกแบบวิศวกรควรให้ความสนใจในจุดหรือบริเวณที่เกิดความเค้นหนาแน่นขึ้นในชิ้นงาน ในจุดดังกล่าวจะมีค่าความเค้นมากกว่าค่าความเค้นเฉลี่ยของชิ้นงานเช่นในชิ้นงานการเจาะรูวงกลม (Circular hole) ในชิ้นเหล็กแผ่น (รูปที่ 2.28) ความเค้นกระจายผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลมพื้นที่บริเวณเส้นรอบวงของรูเจาะจะเกิดความเค้นหนาแน่นสูงสุดหรืออีกกรณีเป็นชิ้นเหล็กแผ่นลบมุม (Fillet) จะเกิดความเค้นหนาแน่นขึ้นที่ขอบชิ้นเหล็กแผ่นในส่วนที่มีความกว้างน้อยกว่า

จากที่กล่าวมาข้างต้นเราสามารถทำการทดลองลักษณะการเกิดความเค้นหนาแน่นด้วยวิธีการโฟโตอีลาสติก (Photoelastic method) ทำให้วิศวกรสามารถนำชิ้นงานที่มีการออกแบบลักษณะเบื้องต้นไปวิเคราะห์ว่าจุดใดในชิ้นงานที่จะเกิดความเค้นหนาแน่นสูงสุด ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายที่จุดนั้นก่อน วิศวกรจะให้ความสนใจกับจุดที่เกิดความเค้นหนาแน่นมากกว่าค่าความเค้นที่กระจายในชิ้นงานเมื่อเราให้ชิ้นงานรับแรงสามารถหาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น(K) โดยจะเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเค้นหนาแน่น กับ ค่าความเค้นเฉลี่ยที่กระจายในชิ้นงาน

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ave}}} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.28 ความเค้นในชิ้นเหล็กแผ่น

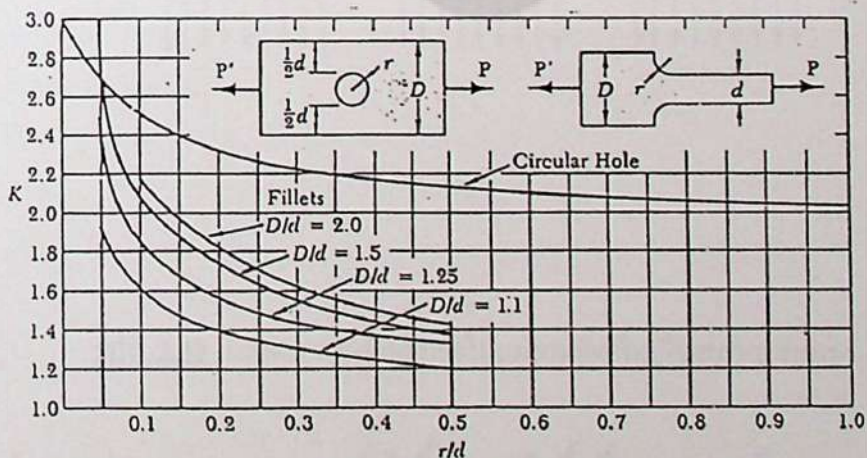
ค่าความเค้นเฉลี่ย (Average Stress)

$$\sigma_{avg} = \frac{P}{A} \quad (2.16)$$

โดยที่ P คือ แรงที่กระทำกับวัตถุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับแรง

เราสามารถหาค่า K ได้จากตารางในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ตารางแสดงค่าคงที่ความเค้นหนาแน่น Flat bars

ค่าความเค้นสูงสุดในหน้าตัดขวางวิกฤติ

$$\sigma_M = \frac{K M c}{I} \quad (2.17)$$

โดยที่ K คือ ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น

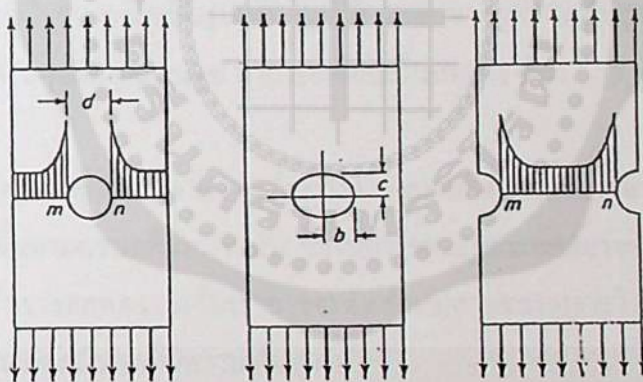
M คือ โมเมนต์ดัด

I คือ โมเมนต์ของความเฉื่อย

โดยที่ C และ I จะกล่าวถึงหน้าตัดวิกฤติ หรือ หน้าตัดของความกว้าง d และการ
ลบมุม (Fillet) และ ช่องรูปวงกลม (Circular hole) ของรัศมี r

จุดความเค้นหนาแน่นสูงสุด (Stress concentration)

ตัวอย่างของความเค้นหนาแน่นในเหล็กแผ่นรูปสี่เหลี่ยม โดยมีรูกลมเล็กที่จุดศูนย์กลาง
กลางของแผ่น และเหล็กแผ่นอยู่ในสภาวะรับแรงดึง



รูปที่ 2.30 แสดงความเค้นสูงสุดในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง

จากรูป Stress concentration ที่เกิดขึ้นสูงจะเกิดขึ้นที่ขอบวงกลมที่จุด m และ n ความ
เค้นจะเกิดขึ้นมากตามเส้นตัดขวาง ของจุดกึ่งกลางของวงกลม แสดงไว้ดังรูป ถ้าขนาดของวงกลม
เล็กลงกว่า ในเหล็กแผ่นรูปสี่เหลี่ยม เราสามารถคำนวณหา Normal stress ที่จุดต่างๆ บนเส้น

ตัดขวาง จากสูตร

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\frac{(2 + d^2)}{4r^2} + \frac{(3)}{16d^4/r^4}} \quad (2.18)$$

ความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามลักษณะงาน พื้นผิว รูปร่างของชิ้นส่วน การที่จะดูว่าความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นที่จุดไหน เกิดขึ้นมากน้อยนั้นให้ดูที่ขอบเขตของรอยแตกร้าว ซึ่งจะส่งผลทำให้ชิ้นส่วนหักและมากไปในที่สุด

เราสามารถที่จะดูความเค้นหนาแน่นในจุดที่มีค่าสูงสุดในแบบ ที่ m และ N มีค่า $\sigma = 3\sigma_0$ โดยมีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในระยะทางที่ไม่เกิดจุดที่มากที่สุดของความเค้นสูงสุด ซึ่งระยะของคมที่อยู่ภายในรูเจาะ จะมีค่าเท่ากับรัศมีของรู ($\lambda = d$) $\sigma = 17/32 \sigma_0$ เท่านั้น จุดกำหนดของแรงบิดที่กระทำโดยรอบรูป ตามรูปที่ 2.30 ก จะเป็น Compressive Stress ที่จุด σ_0 ที่จุดต่ำและบนของรู

ในวัสดุที่มีรูขนาดเล็กเป็นรูปวงรี รูปที่ 2.30 ข ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าเท่ากันตามแนวขวางความเค้นผ่านศูนย์กลางของรูป สามารถเขียนเป็นสมการ คือ $\sigma_{max} = \sigma_0 (1 + 2b/c)$

ความเค้นที่เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนระหว่าง b/c จะน้อยลงตามขนาดทิศทางตั้งฉากตามทิศทางการบิดของชิ้นส่วนและจะมากขึ้นตามความเค้นหนาแน่น ซึ่งในการขยายรูเจาะออกอาจทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นมากขึ้นโดยถ้าเราจะลดความเค้นเราอาจจะตัดส่วนปลายของรูเจาะให้เป็นรัศมีหรือตัดปลายเพื่อลดความเค้นหนาแน่นในจุดที่มีความเค้นสูงได้

สาเหตุการเกิดความเค้นสะสม

1. Internal cracks การแตกร้าวภายในเนื้อวัสดุ
2. Cavities in welds โพรงเนื่องจากการเชื่อม
3. Air holes in steel and coneverts หลุดอากาศในเหล็กและคอนกรีต
4. ในอโลหะทั่วไป

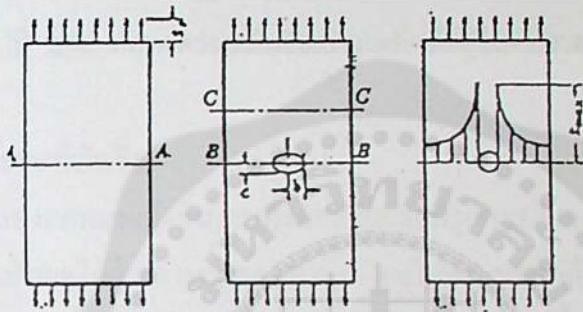
แรงดันที่เกิดขึ้นแต่ละจุดบนพื้นที่ที่รับ Load จะทำให้เกิดความเค้นขึ้น เช่น

1. การสัมผัสกันระหว่างล้อกับรางรถ
2. การสัมผัสกันของบอลในแบริ่ง (เมื่อแบริ่งรับ Load และเกิดการเคลื่อนที่)
3. การสัมผัสกันของคานและจุดรองรับ
4. การสัมผัสกันของพื้นเพื่อง

ระดับความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุได้โดยผ่านกระจกสองอันซึ่งงานอยู่กลางเงื่อนไขที่เกี่ยวกับการเกิดความเค้นสะสมคือการผลิตที่ผิดพลาดผิวขรุขระสามารถสัมผัสด้วยมือ ในการผลิตซึ่งเกิดการลดขนาดจากใหญ่มาเล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดความเครียดในเนื้อวัสดุถึงเหล่านี้ออกแบบต้องนำไปพิจารณาเช่นกัน

ความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนที่มีรูและรอยบาก

เมื่อออกแรงดึงชิ้นส่วนที่มีรูตัดขวางคงรูป ความเค้นที่เกิดขึ้นจะแสดงเป็นแถบของคลื่น เมื่อมีแรงดึงเกิดขึ้นแถบของคลื่นจะเกิดตรงบริเวณภาคตัด A-A



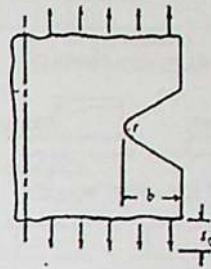
รูปที่ 2.31 แสดงความเค้นในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง

ถ้ารูปเป็นวงรีดังรูปที่ 2.31 ข ความเค้นที่เกิดขึ้นจะเกิดตรงภาคตัด C-C แต่ความเค้นเหนือภาคตัด B-B ที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นอย่างนี้เสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Load ที่มากระทำแต่ความเค้นที่สูงสุดที่จะทำให้ชิ้นส่วนแตกหักก็จะเกิดขึ้นที่ภาคตัด C-C สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$S_{\max} = \frac{S_0 (1+2b)}{c} \quad (2.19)$$

สำหรับชิ้นส่วนที่รอยบากทดลองโดยการใช้แรงดึง จะสังเกตได้ว่าความเค้นสะสมจะเกิดขึ้นมากน้อยจะขึ้นอยู่กับความลึกของรอยบากและรัศมีของรอยบาก ในการคำนวณหาความเค้นสะสมสูงสุดจึงคำนึงถึง ความลึก รัศมีรอยบาก แล้วมาเปรียบเทียบกัน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$S_{\max} = \frac{S_0 (1+2b)}{r} \quad (2.20)$$

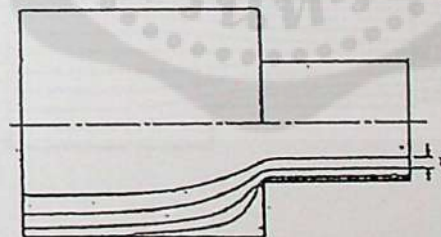


รูปที่ 2.32 แสดงความเค้นในแผ่นเหล็กที่อยู่ในสภาวะรับแรง

การสังเกตความเค้นสะสมที่เกิดขึ้น

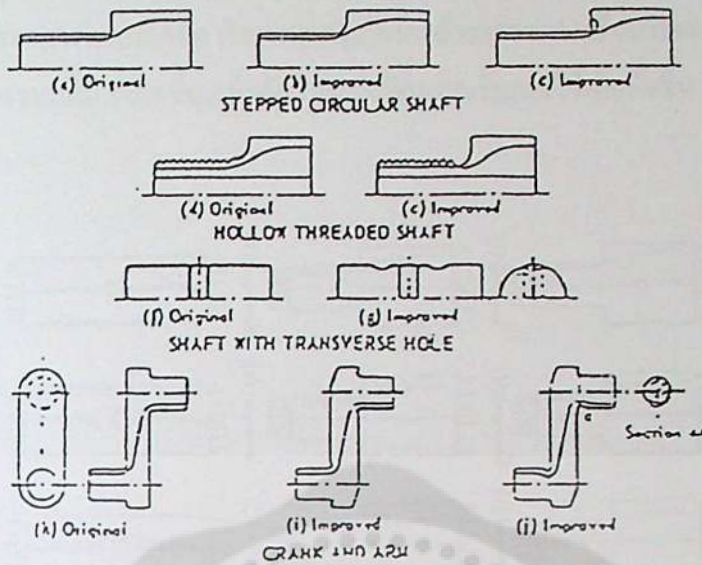
เมื่อทดลองออกแรงดึงชิ้นงานที่รอยบากและมีรูเจาะจะพบเห็นเส้นแรงของการเกิดความเค้นสะสม ซึ่งจะสังเกตได้ด้วยการทดลองเท่านั้น โดยไม่สามารถรู้ได้จากวิธีอื่นเลย

พิจารณาเพลลาที่รับแรงดึง จะเห็นว่าความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นรอบ ๆ เพลลาจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดและพื้นที่หน้าตัด รวมทั้งการรับแรงบิดและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นด้วย ดังรูป 2.33

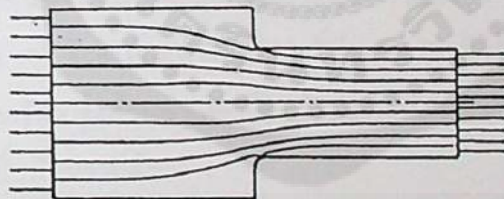


รูปที่ 2.33 แสดงความเค้นในเพลลาที่รับแรง

สังเกตว่า ความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นน้อยและมีลักษณะลาดเอียง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะงาน จากรูป 2.34 เห็นว่าความเค้นที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ชิ้นส่วนแตกหักนั้น ภาระที่กระทำซ้ำ ๆ หรือ ย้ำไปตรงที่เดิมมีผลต่อการแตกหักประมาณ 40% ซึ่งจะแสดงให้เห็นทางภาพ Section และอีก 50-60% เกิดจาก Moment of inertia



รูปที่ 2.34 แสดงความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นตามลักษณะชิ้นงาน

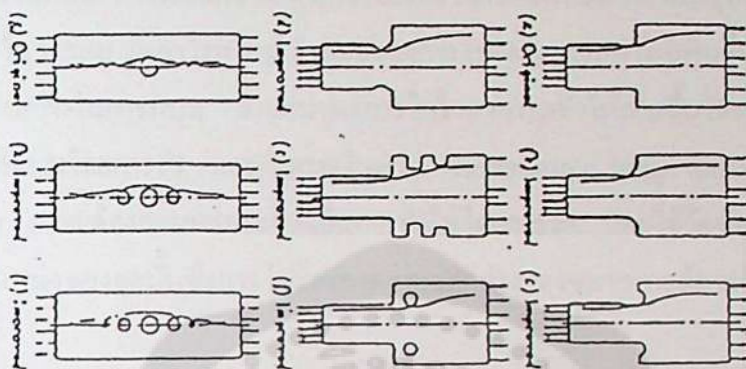


รูปที่ 2.35 แสดงการเกิดเส้นแรงความเค้น

จากรูป 2.35 แสดงการเกิดเส้นแรงความเค้นในชิ้นส่วนที่รับแรงดึงจะเห็นว่าจะเกิดการกระจายของความเค้นจะสอดคล้องกับการกระจายของแรงดึง พิจารณาตรงมุมที่มีการดกบ่าและมุมโค้ง จะเห็นว่าเส้นแรงความเค้นเริ่มมีมุมหักเหและสังเกตว่าตรงบริเวณดกบ่าความเค้นจะหนาแน่นที่สุดซึ่งจะมีผลทำให้เป็นจุดที่จะเริ่มมีการแตกหัก

จากรูปก็พอที่จะสรุปได้ว่าถ้าเราต้องการที่จะลดความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นก็คือ ต้องลดความโค้งหรือ ความชัน ของเส้นแรงลงโดยการ ออกแบบ รูปร่างชิ้นส่วนใหม่ ตามรูป a, b, c, d, e, f

สำหรับรูป g, h, i พิจารณาว่าการที่มีรูเจาะตรงกลางรูเดียวทำให้เส้นแรงความเค้นมาโค้งมากตรงบริเวณตรงกลางทางแก๊ก็คือ ทำการเจาะรูเล็กข้างซ้ายและขวา หรืออาจจะเจาะแบบรู คือ ไล่ขนาดลงไปทำให้ ความเค้น ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยกันไปทำให้ชิ้นส่วนรับแรงได้เต็มทั้งชิ้น



รูปที่ 2.36 แสดงความเค้นสะสมเนื่องจากชิ้นงานชนิดต่างๆ

ความเค้นสะสมเนื่องจากความเครียด

มันจะแสดงเด่นชัดขึ้นมาโดยไม่ต้องให้ชิ้นส่วนรับแรงใด ๆ ทั้งสิ้นที่เป็นอย่างนี้ก็เนื่องจาก ขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เมื่อนำไปทดลองค่าที่ได้อาจจะไม่เป็นค่าคงที่แท้จริงหรือไม่ก็บริเวณที่มีความเครียด ซึ่งส่วนมากจะเป็นบริเวณที่ผ่านการ Machine มา นักออกแบบก็ต้องเพื่อความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นกับช่วงนี้ด้วย

ถ้าวัสดุที่นำมาทำชิ้นส่วนที่รอยแตกร้าวจะทำให้ชิ้นส่วนนั้นมีความเค้นความเครียดภายในจะทำให้รูปที่ 2.31 ค เมื่อมีแรงมากระทำเส้นแรงที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นลักษณะดังรูป แต่จะมีลักษณะเป็นอย่างอื่น เพราะคุณสมบัติของวัสดุจะเปลี่ยนไป ต้องรอนกว่าจะเกิดความเค้นสูงสุดหรือจนแตกหักถึงจะรู้ว่าจุดไหนเกิดความเค้นสะสมมากที่สุด สำหรับวัสดุที่เปราะเช่น เหล็กหล่อ จะมีความสัมพันธ์กับจุดยึดตัวของโลหะและการผลิต ซึ่งมีการแตกหักมาก่อนแล้วอาจมีผลในการเกิดเส้นแรงความเค้นได้ ซึ่งรอยแตกร้าวนี้จะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.31 ค

การวัดและอธิบายถึงการเกิดโฟโตอีลาสติก

การพิจารณากำหนดอันดับหรือขนาดของไอโซโครมาติกส์(Isochromatics)จะแสดงความแตกต่างในความเค้นหลักหรือความเค้นเฉือนสูงสุดที่หลายจุดใน โฟโตอีลาสติก โมเดล เป็นสัดส่วนโดยตรงถึงการโปร่งออกของ 2 สี ไอโซโครมาติกส์ คือ n ที่หลาย ๆ จุดบนขอบเขตที่ไม่

มีแรง ความเค้นหลักตั้งฉากในขอบเขตเป็นศูนย์ และภายใต้การโปร่งออกจะให้ค่าของทิศทางของความเค้นหลักอื่น ๆ

ในหลายประเภทการกระจายของความเค้นหลักตามขอบเขตที่ไม่มีแรง หรือของความเค้นเฉือนสูงสุดภายในของโมเดลสามารถที่จะแสดงด้วยความแน่นอนโดยใช้การรวมขนาดชั้นการโปร่งไอโซโครมาติกส์ถ้าการผลิตความเค้นหลักมีจำนวนเพียงพอและเป็นเหตุผลที่ดีของการกระจายบนโมเดลในวงกลม โพลาริสโคป จำนวนของการโปร่งสามารถทำให้เพิ่มขึ้นโดยการปรับให้มีสีแดงด้านหลังสว่างในการหมุน จำนวนของการโปร่งสามารถทำให้เพิ่มขึ้นโดยใช้วิธีการของการเพิ่มการโปร่ง ซึ่งพัฒนาโดยการส่ง และกำหนดในส่วน Isochromatic fringe multiplication and fringe sharpening ความต้องการการกระจายเป็นการทำได้โดยการวัด โดยใช้วัดจากภาพถ่ายของแบบการโปร่งตำแหน่งของจุดนั้นซึ่งการโปร่งของความแตกต่างของขนาดการตัดจะปิดเส้นภายในโมเดล

วิธีการของการแสดงขนาดของการโปร่งโดยการนับในทิศทางของขนาดเพิ่มขึ้นจากจุดที่รู้ขนาดศูนย์ ด้วยแสงสีขาว จุดที่เป็นศูนย์จะง่ายในการแสดงตั้งแต่มันปรากฏเป็นสีดำ ดังนั้น จุดอื่น ๆ อาจจะเป็นฉนวนหรือเส้นหรือกลุ่ม ทิศทางของการเพิ่มขึ้นของขนาดการโปร่งสามารถแสดงจากทิศทางการโปร่ง ซึ่งจะแปรผันจากสีแดงไปถึงสีน้ำเงินหรือสีเขียวในทิศทางตามนี้

ด้วยแสงโมโนโครมาติกส์ (Monochromatic) มันเป็นปัญหาย่อยถึงการนับจากจุดที่รู้ตามเป็นศูนย์ เช่นกันกับการฉายที่ไม่มีแรงที่มุม วิธีทั่วไปส่วนมากเป็นการสังเกตการเติบโตของแบบความเค้นตามที่จะเพิ่มแรงทีละน้อย ขนาดของการโปร่งที่สังเกตที่จุดสามารถแสดงได้โดยการนับจำนวนของการโปร่งซึ่งที่จุดจะปรากฏต่อเนื่องกัน ดังนั้นการโปร่งเกิดหรือเริ่มที่จุดของชั้นสูงสุด และมันเคลื่อนที่ถึงจุดของชั้นต่ำสุด ซึ่งเหมือนกันกับการเพิ่มแรงทิศทางของการเพิ่มหรือชั้นการโปร่งน้อยลงสามารถเป็นหลักฐานแน่นอน

เมื่อจำนวนหรือการกระจายของการโปร่งเป็นเช่นนั้น แบบของความเค้นโดยตัวของมันไม่น่าที่จะใช้เป็นหลักฐานในการแสดงของการกระจายความเค้น มันกลายเป็นทางเลือกของการโดยไม่ทำการอินดิเกรตชันของการโปร่งที่จุดระหว่างกลาง วิธีการสังเกตความแตกต่าง ซึ่งมันสามารถทำให้สำเร็จจะได้ต้องกำหนดรูปร่างก่อน

Colour matching

เหมือนกันที่เขาเคยเห็นมาแต่ก่อน ด้วยแสงสีขาวของไอโซโครมาติกส์ ในกลุ่มของความเค้นไม่มีรูปแบบซึ่งจะแปรผันในสีเหมือนกับองค์ประกอบความแตกต่างของความยาวคลื่น เป็นการดับไปแบบต่อเนื่องกัน ในการทำให้การส่งถ่ายหนาแน่นขึ้นให้ความยาวคลื่น (λ) ในวงกลม โพลาริสโคป เป็นสัดส่วนคือ $\sin^2 \alpha/2$ หรือ $\sin^2 \pi R/\lambda$ เมื่อ $R=n\lambda$ คือ การหน่วงสัมพัทธ์ แต่ละความยาวคลื่นหรือสี การดับไฟเกิดจากการหมุน เมื่อสีที่เหลือเป็นการส่งถ่ายความ

แตกต่างของการทำให้หนาแน่นขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น และการสังเกตเป็นสีตรงกันข้าม จะทำให้เป็นการดับไฟ

ที่จุดใด ๆ ถ้าการหน่วงเป็นศูนย์ จะไม่มีความยาวคลื่นคั่นที่จุดศูนย์นี้ชั้นของการ โปร่งจะเป็นสีดำ เมื่อเพิ่มการหน่วงทีละน้อย ๆ เส้นที่ 1 หรือเส้นแรกจะซึ่งความยาวคลื่นสั้นมากในการแยกสีออกอย่างชัดเจน และในขอบเขตของการส่งถ่ายของแสงจะเปลี่ยนจากสีดำทะลุผ่านสีเทา ไปเป็นสีขาวที่ 200 mu สีจะปรากฏในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 mu เมื่อความยาวคลื่นของ แรงไวโอเลตเป็นการแผ่อกและสีระดับใจ เมื่อทำการหมุนโดยสีอื่น ๆ จะแยกออกเป็นสีในแต่ละ ชั้น เช่น สีคราม, สีน้ำเงิน, สีเขียว, สีเหลือง, สีส้มและสีแดง ในทางตรงกันข้ามสีจะแปรผันเป็น ลำดับ คือ สีเหลือง, สีส้ม, สีแดง, สีคราม, สีน้ำเงินและสีเขียว ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 800 mu แสงแรกสีจะดับไปอย่างสมบูรณ์

เมื่อการหน่วงคือการเพิ่มขึ้นยาว ๆ นาน ๆ มันจะกลายเป็นการเท่ากันในการหมุนทั้ง 2 รอบของความยาวคลื่น ซึ่งจะแยกออกเป็นสีอย่างเห็นได้ชัด และสีนี้จะดับไปทั้ง 2 เวลา สีเส้นที่สอง และชั้นนอกสุดจะไม่เหมือนกัน (ไม่ถือว่าเป็นอันเดียวกัน) อย่างไรก็ตามเราจะเห็นได้ในชั้นแรก ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเมื่อมีการหน่วงจะกลายเป็นตัวอย่างมากกว่า 1 ความยาวคลื่น, ดังนั้น อาจชั้น 1 จะหมดไปของความลึก สีแดง (770 mu) ปักอยู่ถึง 2 การหมดไปของสีไวโอเลต (400mu) การหมดไปที่ 2 ของสีระหว่างสีเหลืองและสีแดงลึก (590-770 mu) จะทับกันสนิทด้วย (3) การหมดไปของสีระหว่างสีไวโอเลตและสีเขียว (400-520 mu) ที่การหน่วงสูง ๆ (มาก ๆ) จำนวนของความยาวคลื่นซึ่งจะเป็นเพิ่มการดับพร้อมกันนี้เป็นการสังเกตการรวมของสีที่ตรงกันข้ามของแต่ละความยาวคลื่นของการดับ จากผลลัพธ์ สีขาวจะเป็นการเกิดต่อไป ๆ และไม่เหมือนกันน้อยมาก ชั้นทั้งคู่ที่ 3 (ที่ 200 mu) สีจะไม่เหมือนกันน้อยลง คือการสลับกันระหว่างสีชมพูและสีเขียวอ่อน จนกระทั่งชั้นสูงสุดการผสมกันของสีที่ตรงข้ามกันคือเหมือนแสงสีขาวใหญ่ ๆ (มาก) เป็นการสร้างโดยแท้จริง ในขอบเขตนั้น การทำให้หมดไปโดยเฉพาะของความยาวคลื่นสามารถแสดงโดยระยะคลื่น (Spectroscope)

การใช้วิธีนี้, ขนาดตัวอย่างทดสอบคือ การยกออก, สำหรับกรณีตัวอย่างการใส่แรงเป็นชั้นคอนและคงที่ในตัวอย่างการค้ำบนศูนย์กลางขอบเขตของมัน ซึ่งสีจะมากหรือน้อยซาร์ทหรือตาราง การเตรียมของการสังเกตสีเหมือนการเพิ่มแรง แต่ละชนิด ตาราง 2.2 ให้คำได้ตอบของการหน่วงมีหน่วยเป็นมิลลิไมครอนและการส่งถ่ายสี

ในการขวาง โพลาริซโคป กับแหล่งกำเนิดแสงสีขาวให้แยกแยกออกเป็นสีต่อเนื่องกันไปคล้ายกับตารางสามารถรวบรวมสำหรับแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เช่นกันนั้นหลอดไฮปรอท, จากแสงนี้เป็นการรวม (ประกอบ) เพียง ช่วงกว้างความยาวคลื่นที่แดงเล็กน้อย

วิธีนี้จะไม่เกิดแน่นเฉพาะ ดังนั้นมันก็ขึ้นอยู่กับความรู้สึกที่ตาสังเกตเห็นของสีที่เปลี่ยนน้อยมาก แต่กระนั้นค่าของมันจะแสดงเป็นแบบชั้นไอโซโครมาติกส์ ในขอบเขตที่การหมุนเปลี่ยนแปลงช้ามากจากจุดต่อถึงจุด และความถี่ที่ได้รับในวิธีเคลือบทำโดยใช้วิธีโฟโตอิลลาสติกส์ (หัวข้อ 11.5) ในขณะจำกัดความหนาของการลิมิตในการเคลือบในชั้นของการเกิดคือไอโซโครมาติกส์ มุม 18° , 36° , 54° เป็นต้น และจุดตัดผ่านกันของชั้นศูนย์ของไอโซโครมาติกส์ เป็นเครื่องหมายบนไอโซคลินิก ในทางนี้จุดของชั้นไอโซโครมาติกส์ เป็น 0.4, 0.2 เป็นการบรรจบบนไอโซคลินิก การพัฒนานี้เป็นการว่าตามสำหรับแต่ละไอโซคลินิก ในการหมุนสุดท้าย, แบบไอโซโครมาติกส์สมบูรณ์เป็นการบรรจุ (เต็ม) โดยการเขียนโค้งผ่านจุดของชั้นเท่ากัน

การใช้วิธีนี้, ขนาดตัวอย่างทดสอบคือ การยกออก, สำหรับกรณีตัวอย่างการใส่แรงเป็นขั้นตอนและคงที่ในตัวอย่างการค้ำบนศูนย์กลางขอบเขตของมัน ซึ่งสีจะมากหรือน้อยซาร์ทหรือตาราง การเตรียมของการสังเกตสีเหมือนการเพิ่มแรง แต่ละชนิด ตาราง 2.2 ให้คำตอบของการหมุนมีหน่วยเป็นมิลลิไมครอนและการส่งถ่ายสี

ในการขวาง โพลาริซโคป กับแหล่งกำเนิดแสงสีขาวให้แยกแยกออกเป็นสี่ต่อเนื่องกันไปคล้ายกับตารางสามารถรวบรวมสำหรับแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เช่นกันนั้นหลอดไฮปรอท, ซึ่งจากแสงนี้เป็นการรวม (ประกอบ) เพียง ช่วงกว้างความยาวคลื่นที่แคบเล็กน้อย

วิธีนี้จะไม่เกิดแน่นเฉพาะ ดังนั้นมันก็ขึ้นอยู่กับความรู้สึกที่ตาสังเกตเห็นของสีที่เปลี่ยนน้อยมาก แต่กระนั้นค่าของมันจะแสดงเป็นแบบชั้นไอโซโครมาติกส์ ในขอบเขตที่การหมุนเปลี่ยนแปลงช้ามากจากจุดต่อถึงจุดและความถี่ที่ได้รับในวิธีเคลือบทำโดยใช้วิธีโฟโตอิลลาสติกส์ ในขณะจำกัดความหนาของการลิมิตในการเคลือบในชั้นของการเกิดคือไอโซโครมาติกส์ มุม 18° , 36° , 54° เป็นต้นและจุดตัดผ่านกันของชั้นศูนย์ของไอโซโครมาติกส์เป็นเครื่องหมายบนไอโซคลินิก ในทางนี้จุดของชั้นไอโซโครมาติกส์ เป็น 0.4, 0.2 เป็นการบรรจบบน ไอโซคลินิก การพัฒนานี้เป็นการว่าตามสำหรับแต่ละไอโซคลินิก ในการหมุนสุดท้าย, แบบไอโซโครมาติกส์สมบูรณ์เป็นการบรรจุ (เต็ม) โดยการเขียนโค้งผ่านจุดของชั้นเท่ากัน

คล้ายกันกับการพัฒนาการจ้างใน Tardy method ของการแก้จะเท่ากันดีมากในการแก้ไข (ประยุกต์) ในลักษณะนี้ ด้วยวงกลมของแสงโพลาไรซ์ในการตกของแสงบนโมเดล, Second quarter wave plate จะตั้งที่ 45° ในทิศทางการได้ตอบความเค้นหลักในไอโซคลินิก โดยเฉพาะ i.e. สำหรับไอโซคลินิกของพารามิเตอร์ 4 แกนของ Quarter-waveplate ที่เอียงที่ $4 + 45^\circ$ ในทิศทางอ้างอิง อนุโลมเซอร์ คือชั้นคั่นตั้งขนานกันในทิศทางอ้างอิง และหมุนจากตำแหน่งนี้ ในการหมุนผ่านไป 18° , 36° เป็นต้น จุดตัดผ่านของชั้นศูนย์ของไอโซโครมาติกส์ และ ไอโซคลินิก จะเป็นเครื่องหมายก่อน

ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวของคลื่นสี

Values of retardation and corresponding colours of transmitted light in crossed polariscope with source

retardation	colour transmitted	retardation	colour transmitted
0	black	843	yellow green
40	iron grey	866	green yellow
57	lavender grey	910	clear yellow
158	grey blue	948	orange
218	grey	998	brilliant orange red
234	green white	1101	dark violet red
259	off white	1128	bright blue violet
267	yellow white	1151	indigo
275	pale straw yellow	1258	green blue
281	straw yellow	1334	sea green
308	bright yellow	1376	brilliant green
332	brilliant yellow	1426	green yellow
430	brown yellow	1495	flesh colour
505	red orange	1534	crimson
536	red	1621	dull purple
551	deep red	1652	violet grey
565	purple	1682	grey blue
575	violet	1711	dull sea green
583	indigo	1744	blue green
664	sky blue	1811	bright green
728	green blue	1927	bright green grey
747	green	2007	white green
826	bright green	2048	flesh red

โดยเป็นกลางคล้ายคลึงกับการพัฒนา, เส้น $\tau_{xy} = \text{constant}$ (Section 8.5) อาจจะเป็น การวาดบน โมเดล อาจใช้แทนพารามิเตอร์ของเส้นของความเค้นเฉือนคงที่ และไอโซโครมาติกส์ ใช้โดย n_τ และ n_σ ตามลำดับ ซ้ายได้ความสัมพันธ์

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2 \sin 24} \quad (2.21)$$

สามารถแสดงให้อยู่ในรูป

$$n_\tau = \frac{1}{2} n_\sigma \sin 24 \quad (2.22)$$

หรือ

$$n_\sigma = \frac{2n_\tau}{\sin 24} \quad (2.23)$$

ค่าของมุม α ผ่านไปซึ่งอนาไลเซอร์จะเป็นการหมุนไปแสดงจุดของการตัดกันของ เส้น $\tau_{xy} = n_\tau$ ด้วยไอโซคลินิคของพารามิเตอร์ 4 เป็นดังนั้นเพื่อให้โดย

$$\alpha = \frac{360n_\tau}{\sin 24} \quad (2.24)$$

Photometric method

ประโยชน์ของวิธี Tardy และ Senasment ของการแก้เป็นการทำให้เกิดขั้นตอนของ การปฏิบัติและดังนั้นมันเป็นเพียงการใช้ให้เหมาะสมเมื่อสถานะของความเค้น หยุดหนึ่ง หรือเปลี่ยน แปลงไปในสามารถที่จะตัดสินใดเท่าที่มีอยู่ในระยะระหว่างของการเลือกเวลาในการกระทำในทาง ปฏิบัติ โดยตรงกลางของวิธี โพโตเมตริก หรือการทำให้เพิ่มขึ้น (หนาแน่นขึ้น) มันเป็นปัญหาใน การแสดงทั้ง 2 อย่าง คือความต่างของเฟส (Phase difference) และทิศทางของความเค้นหลักที่จุด จากการปฏิบัติแบบเดียว ถ้าต้องการเพียงความต่างของเฟสจะไม่เคลื่อนที่ของส่วนเล็ก ๆ

ของโพลาไรสโคปที่ทั้งหมดคือ ความจำเป็น (บังคับ) ต้องการบอกให้รู้คือการได้จากเครื่องมือวัด ทำด้วยโฟโตเซลล์ (Photocell) หรือ โฟโตมัลติไฟเลอร์ (Photomultiplier) ของการทำให้หนาแน่นขึ้นของการส่งถ่ายแสงโดยอนาไลเซอร์ นานาความแตกต่างในการจัดรูปแบบของโพลาไรสโคป เป็นปัญหา, ในขณะที่การตกของแสงบนโมเดลอาจจะเป็นระนาบอื่น ๆ หรือ โพลาไรซ์วงกลม

การทำให้หนาแน่นขึ้นของการส่งถ่ายแสงในระนาบโพลาไรสโคป เมื่อโพลาลอยด์ (Polaroide) เป็นการขวางแสงขนาน ตามลำดับ จะให้โดย

$$I = I_0 \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (2.25)$$

$$I = I_0 (1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\alpha}{2}) \quad (2.26)$$

การทำให้หนาแน่นสูงสุดด้วยโพลาลอยด์ขวาง และการทำให้หนาแน่นต่ำสุดด้วยโพลาลอยด์ขนานเป็นการบรรจุ เมื่อใช้แทน(แสดงว่า)การได้ตอบการทำให้หนาแน่นขึ้นโดย และจะได้

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{\sin^2 \alpha}{2} = \frac{1}{2} \times (1 - \cos 2) \quad (2.27)$$

$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{\cos^2 \alpha}{2} = \frac{1}{2} \times (1 + \cos 2) \quad (2.28)$$

ขณะที่จาก

$$\cos \alpha = \frac{(I_2 - I_1)}{I_0} = \frac{(1 - 2I_1)}{I_0} = \frac{(2I_2) - 1}{I_0} \quad (2.29)$$

เมื่อ

$$I_0 = I_1 + I_2 \quad (2.30)$$

ในการใช้วิธีนี้ เป็นการเคลื่อนที่ของไมโครสโคป (Microscope) เป็น 1 พิกัดบนจุดที่ต้องการบนโมเดล หรือภาพบนจอของมัน หรือฟิล์ม แวนในกล้องจุลทรรศน์จะเคลื่อนที่ และหัวโฟโตมัลติไฟเลอร์ (Photomultiplier) เปลี่ยนมาในช่องมองภาพโพลาลอยด์ขวางขณะหมุน จนกระทั่งการส่งถ่ายทำให้หนาแน่นขึ้นคือสูงสุด และค่าการได้ตอบของค่า I จะใช้เป็นเครื่องหมาย

ในการหมุนอนาไลเซอร์อย่างอิสระให้ผ่าน 90° ไปจะได้ I_2 ความต่างของเฟสจะได้จากสมการ 6.5 และทิศทางของความเค้นหลักที่ 45° กับแกนของ โพราลอยด์ แสดงโดยสมการ (5.10) การทำให้หนาแน่นขึ้นรวม I เป็นการเท่ากันในการรวมของการทำให้หนาแน่นขึ้นวัดด้วยอนาไลเซอร์ในทั้งสองที่ตำแหน่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน ด้วยแหล่งแสงที่เป็นสม่ำเสมอ (เสถียรภาพ), สามารถเป็นการแสดงการสังเกตเบื้องต้น (ขั้นต้น) เป็นเพียงทางเลือกในการปฏิบัติแผนการเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับการหมุนของโพราลอยด์ในการขวางหรือขนานกับตำแหน่งจนกระทั่งการส่งถ่ายเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับไปถึงสูงสุดหรือต่ำสุด

ทิศทางของความเค้นหลักไม่สามารถที่จะได้โดยวิธีทั้งคู่ที่จุดเมื่อความต่างของเฟส (α) คือ ขณะที่จำนวนของความยาวคลื่น เมื่อให้แสงโมโนโครมาติกในแบบนี้การตกทอดแสงจะเกิดขึ้นสำหรับที่ตำแหน่งทั้งหมดด้วยโพราลอยด์ขวาง และการทำให้หนาแน่นสูงสุด สำหรับจุดทั้งหมดด้วยโพราลอยด์ขนาน โพโดมัลติเพลเออร์ให้ความรู้สึกที่เพียงพอ, อย่างไรก็ตามการดับระหว่างไอโซคลินิค และ ไอโซโครมาติกส์ ถ้าใช้แสงสีขาวหรือด้วยหลอดไอปรอท, ถ้า ฟิลเตอร์ (Filters) เคลื่อนที่

แสง Polarized วงกลม ถ้า Quarter-wave plate เป็นการใส่ระหว่างโพลาไรเซอร์ และ โมเดลกับแกนมันที่ 45° ของ โพลาไรเซอร์, แสงจะเข้าโมเดลเป็นรูปโพลาไรซ์วงกลม โดยไม่คำนึงถึงสิ่งใด ๆ ของความเค้นหลักในโมเดล รวมความต่างของเฟสระหว่างส่วนประกอบที่โฟล์หรือปรากฏออกมาดังนั้น เพราะสมการ 6.5 จะกลายเป็น

$$\pm \sin \alpha = \frac{(I_2 - I_1)}{I_0} = \frac{(1 - 2I_1)}{I_0} = \frac{(2I_2) - 1}{I_0} \quad (2.31)$$

ก่อนหน้านี้, การทำให้หนาแน่นขึ้นสูงสุด และต่ำสุดเป็นการส่งถ่ายเมื่อแกนของอนาไลเซอร์อยู่ที่ 45° กับความเค้นหลักในโมเดลถ้าการทำให้หนาแน่นขึ้นรวม I_0 เป็นค่าที่เราทราบทั้งหมดเป็นการเลือกในการบอกให้รู้ซึ่งสามารถทำได้โดยการหมุนเพียงอนาไลเซอร์ไปในตำแหน่งที่จะทำให้หนาแน่นขึ้นสูงสุดหรือต่ำสุด เป็นการยากมากในการใช้ประโยชน์ในวิธีก่อนเมื่อโพลาไรสโคปไม่มีเครื่องประกอบพร้อมด้วยตรงกลางสำหรับการหมุนโพราลอยด์ ทั้งสองในเวลาเดียวกัน

ทิศทางของความเค้นหลักไม่สามารถที่จะแสดงโดยพัฒนารูปร่างลักษณะที่จุดเมื่อแสงปรากฏออกมาจากชิ้นงานทดสอบ หรือ วงกลม โพลาไรซ์ ตั้งแต่การทำให้เพิ่มขึ้น คือเวลานั้นเหมือน

สำหรับทิศทางทั้งหมดของอนาไลเซอร์ การเกิดขึ้นนี้เมื่อความแตกต่างของระยะที่ต่างกลับไปกลับมา คือการเท่ากันในจำนวนรวมของ Half wave lengths ที่จุดนั้น ๆ ทิศทางสามารถทำได้โดยการหมุน Quarter-wave plate และเป็นตามการพัฒนาสำหรับระนาบแสงโพลาไรซ์

ในการพัฒนาที่ต้องการความเที่ยงตรง เพียงใช้โพลาไรเซอร์ เป็นแบบ Quarter-wave plate การจัดรูปร่างเป็นแบบปกติ คือขวางหรือขนานกับโพลาไรสโคป ทำให้ความหนาแน่นขึ้น โดยเป็นการตั้งให้ด้านหลังมืดหรือสว่างได้เหมือนกับเป็นการที่ตั้งระนาบที่ 45° ระยะความแตกต่างที่กลับไปกลับมาจะบอกค่าที่เพิ่มขึ้นของการที่ส่งถ่ายในวงกลมเพื่อตั้งให้ด้านหลังมืดหรือสว่างตามลำดับ

เครื่องหมายแสดงขอบเขตความเค้น (Sign of boundary stresses) การพิจารณาโหนดที่บ่งชี้ขอบเขตของโมเดลเครื่องหมายของความเค้นเป็นการรู้ด้วยความแน่นอนจะต้องเปลี่ยนแปลงตามความยาวที่ขอบ และสามารถเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายที่จุดเมื่อชั้นไอโซโครมาติกส์ เป็นศูนย์กลางไม่ติสนำเสมอในการกำหนดในแบบความเค้น อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเครื่องหมายโดยสามารถแสดงความแน่นอนจากการตรวจสอบของแบบชั้นการโปร่งเพียงอย่างเดียวในลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า “ Nail test “ จะให้วิธีตัวอย่างแสดงเครื่องหมายตำแหน่งของการกดที่ตั้งฉากกับจุดขอบเมื่อต้องการแสดงการใช้การโปร่งหรือตึงของเครื่องมือวัด โดยการสังเกตผลลัพธ์การเคลื่อนที่ของไอโซโครมาติกส์ในขอบเขตของโหนดที่มาทับกด ถ้า σ_1 ใช้แทนความเค้นในแนวเส้นสัมผัส และ σ_2 เป็นความเค้นอัดกระทำในทิศทางตั้งฉากเราจะได้ความเข้าใจได้ ถ้า σ_1 คือความเค้นดึง

$$\sigma_1 - \sigma_2 > \sigma_1 \quad (2.32)$$

ชั้นของการโปร่งจะเพิ่มขึ้นหรือสูงกว่าชั้นของไอโซโครมาติกส์จะปรากฏให้เห็นที่ขอบ ถ้าชั้นโปร่งเพิ่มขึ้นถึงขอบไอโซโครมาติกส์ ของชั้นต่ำกว่าจะเคลื่อนที่ถึงภายในบนด้านอื่น ๆ ถ้า σ_1 คือแรงอัด ดังนั้น

$$\sigma_1 - \sigma_2 < \sigma_1 \quad (2.33)$$

ชั้นโปร่งที่เกิดขึ้นและไอโซโครมาติกส์ของชั้นต่ำกว่าจะเคลื่อนที่ถึงขอบเทคนิคที่แสดงโดยการประยุกต์ในลักษณะการคัดล้น ๆ อย่างเดียวการเคลื่อนที่ในทิศทางที่อ้างถึงจะเห็นได้ชัดเจนมาก ถ้าเส้นโปร่งน้อยลงจะเคลื่อนที่ในทิศทางกลับกัน

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

จากที่กล่าวมาแล้วในบทนำเบื้องต้น วิศวกรหรือผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของวัสดุ และการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล จำเป็นจะต้องทราบถึงคุณสมบัติลักษณะจำเพาะ และขีดจำกัดของวัสดุที่นำมาผลิตชิ้นส่วนเครื่องกลเมื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องกลแล้ว สามารถใช้งานได้ ตรงกับความต้องการ มีความแข็งแรง ปลอดภัยจากความต้องการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการศึกษาเรื่อง ความแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนเครื่องกล เช่น แรงดึง แรงอัด แรงเฉือน และการเกิดโมเมนต์ดัด ซึ่งสามารถทำให้ชิ้นส่วนเครื่องกลเกิดความเสียหายได้ ในที่นี้เราจะศึกษาเฉพาะการเกิดความเค้นหนาแน่นขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องกล ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ แต่จากการนำเอาวิชาการทางด้าน โฟโตอีลาสติคซิตี (Photoelasticity) มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาการเกิดความเค้นหนาแน่นขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องกล ด้วยชิ้นงานทดสอบโปรงแสงของชิ้นส่วนเครื่องกล เช่น เรซิน พลาสติกใส โพลีคาร์บอเนต ซึ่งสามารถจำลองเส้นแรงความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องกลได้ ชัดเจน และถูกต้อง

เครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริสโคป (Overhead Polariscope)

1. ใช้เครื่องฉาย ข้ามศีรษะ (Over head) เป็นอุปกรณ์ร่วมในการทำงาน
2. ใช้หลักการเบื้องต้นของ โฟโตอีลาสติคซิตี ในการออกแบบ
3. ตัวโครงเป็นตัวจับยึดอุปกรณ์ทั้งหมดโดยชิ้นงานทดสอบ จะจับยึดกับสลักเกลียว สามารถขึ้นปรับแรงอัดหรือแรงดึงได้และจับยึดแผ่นโพราไรเซอร์ 2 แผ่น ประกอบกับชิ้นงานทดสอบ อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถถอดประกอบได้โดยสะดวก
4. สามารถวัดแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบได้ด้วยวงแหวนวัดแรงแสดงผลด้วยเข็มชี้สเกลตามแรงที่ขึ้นสลักเกลียว ดึงหรือ กด ชิ้นงานทดสอบ
5. ใช้โพลีคาร์บอเนตเป็นชิ้นงานทดสอบ และต้องมีความหนาไม่เกิน 4 mm เพื่อให้มีความหนาพอที่จะรับแรงดึงและแรงกด ป้องกันการบิดตัว โค้งตัว ขณะรับแรง

หลักการทํางาน

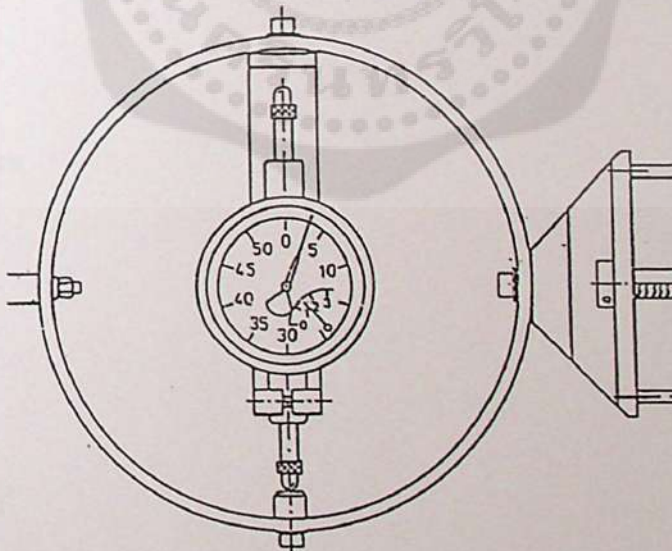
1. ทํางานด้วยหลักการเบี่ยงค้้นของ โฟโตอิลาสติคซิตี้
2. ให้เครื่องฉาย ข้ามศีรษะ (Over head) เป็นแหล่งกํานัดแสงสีขาว
3. แสดงเส้นแรงความเค้นหนาแน่นภายใต้แรงค้้ง แรงกด และ โมเมนต์ค้ด
4. ขึ้นสํคักเก็ยวที่ข้ดข้้งงานทดสอบเพื่อเพิ่มหรือลดแรงที่กระทำกับข้้งงานทดสอบ
5. วัดแรงที่กระทำกับข้้งงานทดสอบได้โดย วงแหวนวัดแรง (Ring force gage)
6. คํานวณแรงที่จุดที่มีความหนาแน่นสูงสํคสุดจากทฤษฎีการคํานวณเรื่องความแข็งแรง

ของวัสดุ

ข้อมูลของ เครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริสโคป

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1. มิติของโครงสร้าง (ก x ข x ค) | 280 x 280 x 90 mm |
| 2. ความกว้างแผ่นโพลาริเซอร์ | $\varnothing$ 165 mm |
| 3. โครงสร้างรับแรง | 500 x 190 mm |
| 4. วงแหวนวัดแรง (Ring force gage) | 0 - 250 N |
| 5 น้ำหนัก | 8 kg. |

ค่าปรับเทียบจากวงแหวนวัดแรง (Ring force gage) 1 ช่วงขีดสเกล = 5.54 N



รูปที่ 3.1 แสดงรูปวงแหวนวัดแรง (Ring force gage)

การคำนวณ

ชิ้นงานทดสอบรูป ตัวสี่

แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ

$$F = 5 \times 5.54 = 27.7 \text{ N}$$

โมเมนต์ ที่เกิดจากแรง F

$$\begin{aligned} M &= Fd \\ &= 27.7 \times 35 \\ &= 969.5 \text{ N mm} \end{aligned}$$

ความเค้นที่เกิดจากแรง F

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = 2 \times 20 = 40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{27.7}{40} \\ &= 0.6925 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ M

$$\begin{aligned} I &= \frac{bh^3}{12} \\ &= \frac{2(20^3)}{12} \\ &= 1333.33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$C = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{MC}{I} \\ &= \frac{969.5(10)}{1333.33} \\ &= 7.27 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

รวมความเค้นดึงทั้งหมด

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma + \sigma_m \\ &= 0.6925 + 7.27 \\ &= 7.9625 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

จากค่า Modulus of elasticity $E = 2240.786 \text{ N/mm}^2$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$= \frac{7.9625}{2240.786}$$

$$= 0.0035$$

ค่า ϵ จากการทดสอบ 0.00152

ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณและจากการทดลอง

$$\% \text{ Error} = \frac{[(3.55 - 1.52)]}{3.55} \times 100 = 57 \%$$

ชิ้นงานทดสอบรูป ตัวโค้ง

แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ

$$F = 5 \times 5.54 = 27.7 \text{ N}$$

โมเมนต์ ที่เกิดจากแรง F

$$M = Fd$$

$$= 27.7 \times 40$$

$$= 1108 \text{ N.mm}$$

ความเค้นที่เกิดจากแรง F

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = 2 \times 20 = 40 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{27.7}{40}$$

$$= 0.6925 \text{ N/mm}^2$$

ความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ M

$$\begin{aligned} I &= Ayr \\ &= 40 \times 10 \times 40 \\ &= 16000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$C = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_M &= \frac{MC}{I} \\ &= \frac{1108(10)}{16000} \end{aligned}$$

$$= 0.6925 \text{ N/mm}^2$$

รวมความเค้นดึงทั้งหมด

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma + \sigma_M \\ &= 0.6925 + 0.6925 \\ &= 1.385 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

จากค่า Modulus of elasticity $E = 2240.786 \text{ N/mm}^2$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\sigma}{E} \\ &= \frac{1.385}{2240.786} \end{aligned}$$

$$\epsilon = 0.00062$$

ค่า ϵ จากการทดสอบ 0.001175

ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณและการทดลอง

$$\begin{aligned} \% \text{ Error} &= \frac{[(1.175 - 0.6)] \times 100}{1.175} = 49\% \end{aligned}$$

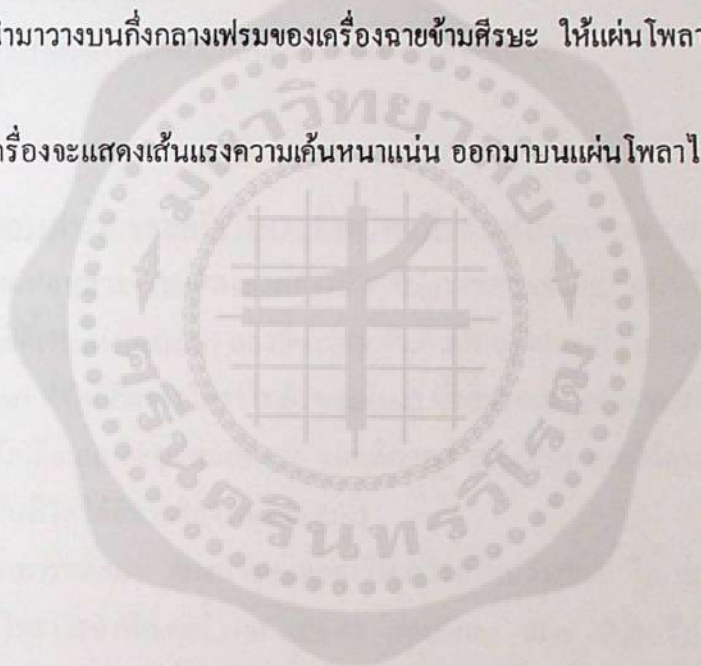
งานทดสอบ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. สามารถแสดงเส้นแรงความเค้นหนาแน่นได้ตรงตามวัตถุประสงค์เบื้องต้นได้
2. ทดสอบความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ตรงตามข้อกำหนดได้
3. ตรวจสอบ และแก้ไข การทำงานที่ผิดพลาด หรือ บกพร่องของอุปกรณ์

วิธีทดสอบ

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบที่เป็น โพลีคาร์บอเนตใสโปร่งแสง
2. เตรียมเครื่องฉายข้ามศีรษะ(Over head)
3. ติดตั้งแบบจำลองที่เป็นโพลีคาร์บอเนตเข้ากับโครงสร้างรับแรงดึง หรือแรงกด โดยให้ชิ้นงานทดสอบอยู่กึ่งกลางระหว่างแผ่นโพลาริเซอร์ ทั้ง 2 แผ่น ขึ้นสลับเกลียวให้ตรงกับชิ้นงาน
4. นำมาวางบนกึ่งกลางเฟรมของเครื่องฉายข้ามศีรษะ ให้แผ่นโพลาริเซอร์ รับแสงเต็มที่
5. เครื่องจะแสดงเส้นแรงความเค้นหนาแน่น ออกมาบนแผ่นโพลาริเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นจอ



บทที่ 4

ผลการทดลอง

จุดประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ได้จากการทดลองกับค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณของการทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น
2. เพื่อสังเกตการเกิดแนวเส้นแรงความเค้นหนาแน่น

โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริสโคป (Overhead Polariscopes)

การทดสอบสามารถแสดงภาพการเกิดเส้นแรงความเค้นหนาแน่นโดยหลักการเบื้องต้น โฟโตอีลาสติซิตี (Photoelasticity) แสงสีขาวจากคั่นกำเนิดของแสง คือ โอเวอร์เฮด โปรเจคเตอร์ (Overhead Projector) ทำให้เกิดการโพลาไรซ์ (Polarized) ซึ่งขึ้นทดสอบทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทาง ออปติคัล (Optical) ภายใต้การมีแรงกระทำ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นเส้นสีโฟโตอีลาสติค (Photoelastic)

เมื่อทำการทดลอง ต้องนำชุดทดลองโพลาริสโคปวางบน โอเวอร์เฮด โปรเจคเตอร์ เพื่อให้แผ่นวงกลมโพลาไรซ์ฟิลเตอร์ (b) (Circle polarizing filter (b)) รับแสงเต็มที่จัด จิตสัญลักษณ์บนแผ่นวงกลมโพลาไรซ์ฟิลเตอร์ (b) ตามวิธีการทดลองที่กล่าวถึงต่อไป โครงสร้างทำให้เกิดแรงกับขึ้นทดสอบ สามารถรับการทำให้เกิดแรงกด แรงดึง การดัด การโก่ง ในคานโดยสามารถวัดแรงได้จากวงแหวนวัดแรง (Ring force gage)

ส่วนประกอบของโอเวอร์เฮด โพลาริสโคป

1. เครื่องฉายโอเวอร์เฮด (Overhead projector)
2. แผ่นวงกลมโพลาไรซ์ฟิลเตอร์ 2 แผ่น
3. โครงสร้างทำให้เกิดแรงกับขึ้นทดสอบ และวงแหวนวัดแรง (Loading frame with model and ring force gage)



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบชุด โอเวอร์เฮดโพลาริซสโคป

วิธีการใช้และการทดลอง

เครื่องโอเวอร์เฮด โพลาริซสโคป (Overhead Polariscope)

1. เตรียมเครื่องฉายโอเวอร์เฮด (Overhead Projector) และอุปกรณ์การทดลองทุกอย่างให้พร้อม
2. ประกอบชิ้นทดสอบ (Model) ที่เป็นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) กับชุดโครงสร้างทำให้เกิดแรงกับชิ้นทดสอบ
3. นำชุดโครงสร้างทำให้เกิดแรง ประกอบเข้ากับ ชุดโพลาไรซิงฟิลเตอร์ (Polarizing filter) โดยให้ชิ้นทดสอบที่ประกอบกับชุดโครงสร้าง ทำให้เกิดแรงอยู่ตรงกลางแผ่นวงกลมโพลาไรซิงฟิลเตอร์ (Circle Polarizing filter)
4. นำชุดโพลาริซสโคป (Polariscopoe) วางบนเครื่องฉายโอเวอร์เฮด
5. เปิดเครื่องฉายโอเวอร์เฮด ให้แสงส่องผ่านชุดโพลาไรสโคปซึ่งมีชิ้นทดสอบ และเมื่อเราใส่แรงให้กับชิ้นทดสอบทำให้เกิดริ้วสีของชิ้นทดสอบ ในการฉายของโอเวอร์เฮด บันทึกค่าแรงที่ใส่กับชิ้นทดสอบ
6. เลือกสีที่เราสนใจและมีพื้นที่มากพอที่สามารถคิด สเตรนเกจ (Strian gage) ได้

7. ติดสเตรนเกจ บนชิ้นทดสอบ แล้วใส่แรงให้กับชิ้นทดสอบ ให้เท่ากับแรงที่ใส่กับชิ้นทดสอบ ในข้อ 5

8. อ่านค่าที่ได้จาก สเตรนเกจ บันทึกค่าที่อ่านได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

การใช้สเตรนเกจ (Strian gage)

1. เชียบสายสัญญาณระหว่างเครื่องอ่านค่า สเตรนเกจ กับ สเตรนเกจ บนชิ้นทดสอบ
2. เปิดสวิทช์เครื่องแล้วกดปุ่ม INITIALISE แล้วกดปุ่มหมายเลข 4 เพื่อป้อนค่าตัวแปร
3. เลือกช่องสัญญาณตามคำสั่งของเครื่องโดยกดหมายเลข 1 แล้วกด ENTER
4. ตั้งค่าที่หน้าจอโดยใช้ปุ่ม SELECT และ BACK ตั้งหน้าจอให้เป็น

Rang = 2000 (Lo)

Active Arms = 2

Half Bridge

แล้วกดปุ่ม ENTER

5. ใส่ค่าเกนแฟคเตอร์ 2.10 (หรือตามที่ผู้ผลิต Strain gauge กำหนด) แล้วกดปุ่ม ENTER
6. กดปุ่ม FUNCTION แล้วกดปุ่มหมายเลข 2 เพื่อปรับค่าเริ่มต้นการวัดให้เป็น 0
7. กดปุ่มหมายเลข 1 เพื่อเลือกช่องสัญญาณปรับค่า เริ่มต้นการวัดให้เป็น 0 แล้วกด

ENTER

8. กดปุ่ม FUNCTION แล้วกดปุ่มหมายเลข 4 เพื่อทำการอ่านค่า

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองขึ้นงานรูปตะขอ

ครั้งที่	แรงดึง	ค่าจากเครื่อง ($\times 10^{-6}$)	%ความผิดพลาด
1	110.8	1360	4.27
2	110.8	1442	1.48
3	110.8	1460	2.7
	MEAN	1420	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองขึ้นงานรูปตัวซี

ครั้งที่	แรงดึง	ค่าจากเครื่อง ($\times 10^{-6}$)	%ความผิดพลาด
1	27.7	1505	0.66
2	27.7	1520	0.33
3	27.7	1520	0.33
	MEAN	1515	

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองขึ้นงานโค้งใน

ครั้งที่	แรงดึง (N)	ค่าจากเครื่อง ($\times 10^{-6}$)	%ความผิดพลาด
1	27.7	1145	2.55
2	27.7	1190	1.26
3	27.7	1190	1.26
	MEAN	1175	

จากการทดลองกับชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้นซึ่งได้ใช้การอ้างอิงของเส้นสีที่เกิดเนจุดอ้างอิงโดยใช้สีม่วงเป็นสีทดสอบซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อทำการเทียบกับชิ้นงานทดสอบแล้วได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการทดลองกับการคำนวณ

ชิ้นงานทดสอบ	ค่าจากคำนวณ ($\times 10^{-6}$)	ค่าจากเครื่อง ($\times 10^{-6}$)	%ความผิดพลาด
ตะขอ	-	1420	-
ตัวซี	3500	1515	57
โค้งใน	4000	1175	70

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบชิ้นงานทดสอบพอที่จะสรุปได้ว่าชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้น หลังจากทำการวัดจากเครื่องวัดความเครียดแล้วพบว่าเส้นสีที่เกิดขึ้นสามารถที่จะประมาณความเค้นในวัตถุได้ว่ามีความเค้นเกิดขึ้นในระดับที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจมีความผิดพลาดบางอันเนื่องมาจากความเข้มของเส้นสีซึ่งอาจจะไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดค่าที่คลาดเคลื่อนซึ่งค่าที่เกิดการคลาดเคลื่อนนี้ก็เป็นไปด้วยกันกับการคำนวณซึ่งค่าที่คำนวณได้ก็มีความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้เกิดความใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาชุดทดลองเส้นแรงความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration) ด้วยวิธี โฟโตอีลาสติโพลาริสโคป (PhotoelasticPolariscope) จะอาศัยวิชาการว่าด้วยเรื่องทัศนศาสตร์ (Optical) และคุณสมบัติของโฟโตอีลาสติก (Photoelastic) ทำให้ชุดทดลองสามารถแสดงรูปแบบการเกิดเส้นแรงความเค้นหนาแน่น โดยแสดงผ่านชิ้นทดสอบ (Model) ที่เป็นวัสดุโปร่งแสง เช่น พลาสติกโพลีคาบอเนต (Polycarbonate) และออกแบบให้ชิ้นทดสอบเหมือนกับชิ้นงานจริง

สิ่งสำคัญที่จะทำให้ชุดทดลองสามารถทำงานหรือนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ คือ การเตรียมการ การวางแผน การกำหนดขอบเขต และแนวทางที่จะทำการศึกษา และดำเนินการค่อนข้างประสบปัญหาในด้านวิชาการ เนื่องจากวิชาการในเรื่อง ทัศนศาสตร์ ไม่ได้เป็นวิชาที่ศึกษามาโดยตรง จำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งค่อนข้างมีจำกัด และปัญหาด้านอื่น ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

จุดประสงค์

1. ศึกษาการเกิดความเค้นหนาแน่นในชิ้นทดสอบ เมื่อชิ้นทดสอบถูกแรงกระทำ
2. ศึกษาจุดที่เกิดความเค้นหนาแน่น ในชิ้นทดสอบ เมื่อชิ้นทดสอบถูกแรงกระทำ

ปัญหาที่ประสบในการดำเนินการ

ในการปฏิบัติงานจริง ๆ แม้จะเตรียมแผนการดำเนินงานที่ดี แต่ไม่สามารถทำได้ตามแผนการที่กำหนดไว้ ในบางครั้งเกิดการติดขัดในขั้นตอนต่าง ๆ ทำให้ต้องเสียเวลาในบางขั้นตอนไปมาก ไม่สามารถทำตามลำดับขั้นที่วางแผนเอาไว้จึงต้องปรับแผนการดำเนินงานกันใหม่ เพื่อให้เหมาะสม และสามารถดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งจะแบ่งปัญหาที่ประสบระหว่างดำเนินงานออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ปัญหาในขั้นตอนทดสอบวัสดุโปรงแสง

1. ขนาดความหนาชิ้นงานทดสอบที่จะนำมาทดสอบเนื่องจากแรงที่ใส่ให้กับชิ้นทดสอบสูงสุดที่ 250 นิวตัน ชิ้นทดสอบต้องหนาไม่เกิน 4 มิลลิเมตร ถ้าชิ้นทดสอบหนาเกินไปไม่สามารถนำมาประกอบเข้ากับชุดทดลองได้ และในขั้นตอนแต่ละขั้นรับแรงได้จำกัด และมีขนาดแรงที่รับแรงสูงสุดไม่เท่ากัน ต้องทดสอบแรงสูงสุดที่ชิ้นทดสอบแต่ละขั้นรับได้และกำหนดเป็นค่ากำหนดค่าแรงสูงสุดที่ใส่ให้กับชิ้นทดสอบแต่ละขั้น ถ้าใส่แรงให้กับชิ้นทดสอบเกินค่าที่กำหนดจะทำให้ชิ้นทดสอบได้รับความเสียหายได้

2. วัสดุที่นำมาทำขั้นตอนครั้งแรก ใช้ชิ้นทดสอบทำจากอคริลิกใน ผลที่ได้จากการทดลองไม่เป็นไปตามต้องการ เส้นแรงความเค้นหนาแน่นที่ปรากฏเป็นเส้นสีไม่ชัดเจน ไม่สามารถระบุลักษณะเส้นสีของเส้นแรงความเค้นได้ ไม่สามารถเลือกบริเวณสีที่ต้องการติดสเตรนเกจ (Strian gage) ได้ และใส่แรงได้น้อยในขั้นตอนบางขั้น โดยรูปร่างลักษณะไม่มีความยืดหยุ่น แดกหักง่าย จึงไม่ได้ผลการทดลองตามที่ต้องการ

ในการทดลองครั้งใหม่ เปลี่ยนวัสดุชิ้นทดสอบมาเป็นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) มีความหนา 2 มิลลิเมตร จากการทดสอบได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ วัสดุมีความยืดหยุ่นสามารถรับแรงดึงได้มากกว่าอคริลิก และปรากฏเส้นสีของเส้นแรงความเค้นหนาแน่นได้ละเอียดและชัดเจน สามารถเลือกบริเวณสีที่ต้องการติด สเตรนเกจ (Strian gage) ได้

ข้อเสนอแนะ

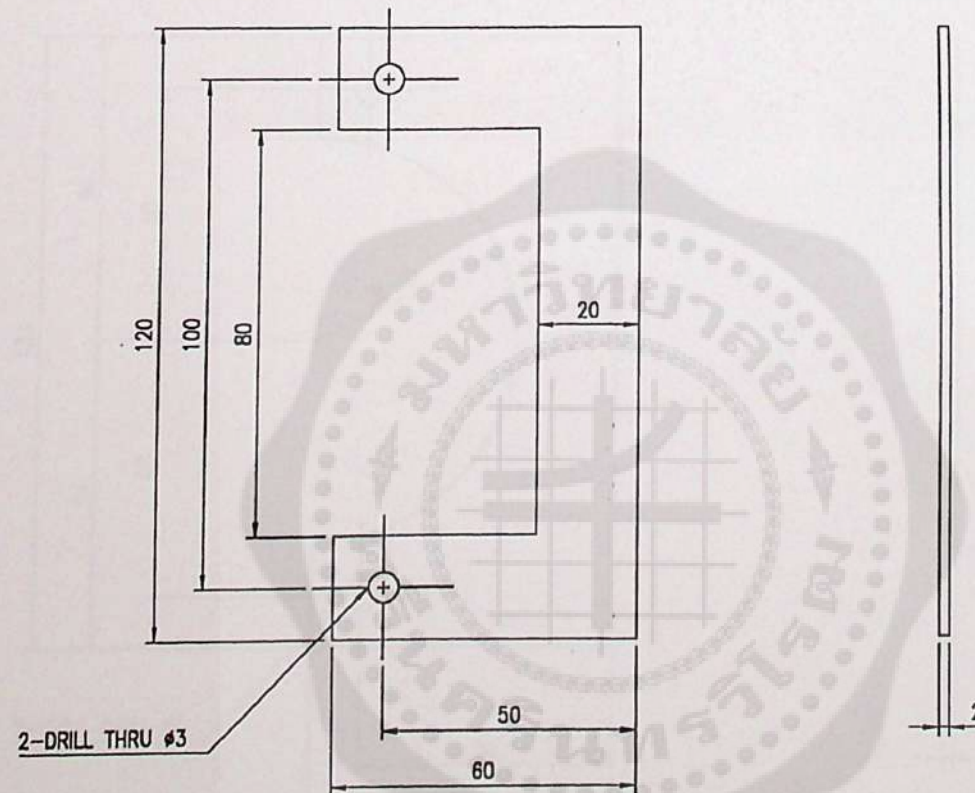
1. ทำการทดสอบวัสดุที่นำมาทำขั้นตอน ที่เป็นวัสดุ โปรงแสง ซึ่งมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการเบื้องต้นนำมาทดสอบเปรียบเทียบผลการทดลอง เลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการนำมาทำขั้นตอน

2. ควรมีแผนสำรองไว้ หรือ คาดการณ์ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นไว้ล่วงหน้า แล้วเตรียมหาหนทางแก้ไขปัญหาไว้ก่อน เมื่อแผนการที่ดำเนินอยู่เกิดปัญหานั้นจะได้นำแผนสำรองมาดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

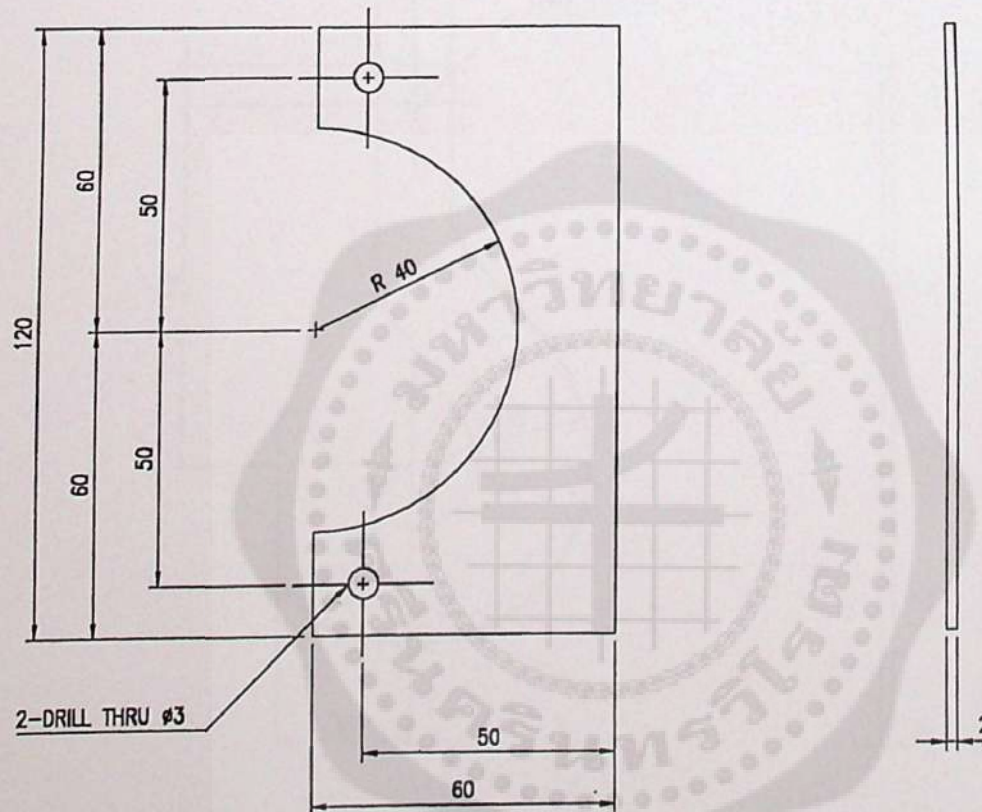
3. การทดสอบค่าแรงในแต่ละแถบสีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนในขั้นตอนนั้นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ทราบค่าที่ถูกต้อง

บรรณานุกรม

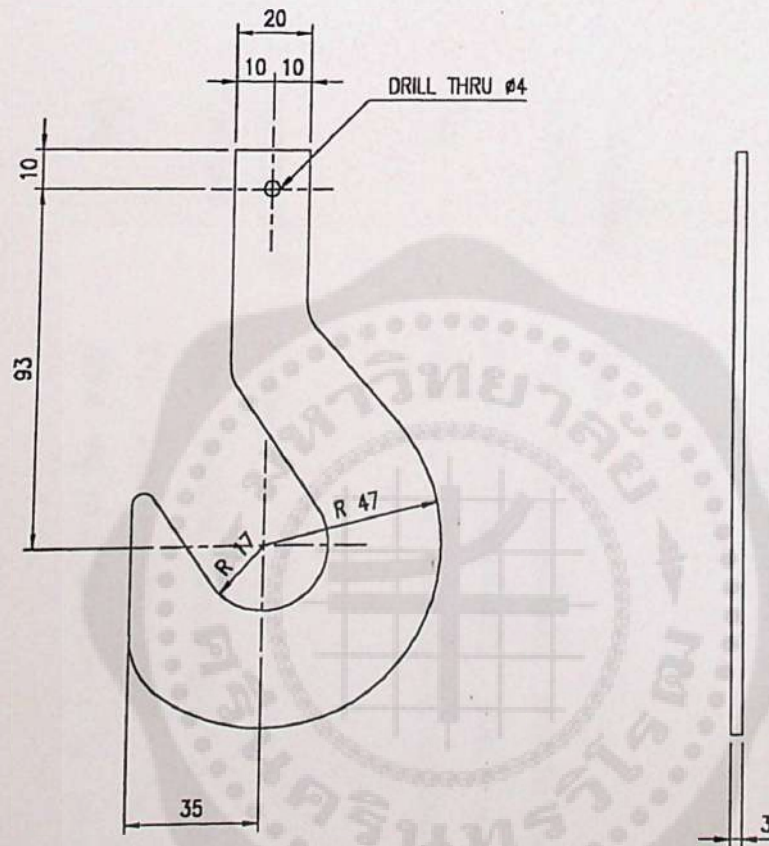
1. ประมวล เสริมสาธน์สวัสดิ์, Light-Sound. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
วิทยาเขตพระนครเหนือ
2. ชนะ กสิภาร, ความแข็งแรงของวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3. สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, กลศาสตร์ของแข็ง. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทเวศน์
4. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston JR , Mechanics of Materials. London:
Mc Graw Hill 1992
5. Albrecht Kuske, George Robertson , Photoelastic Stress Analysis. London:
John Wiley & Sons
6. S.A. Paipetis, G.S Holister, Photoelasticity in engineering practice. London and
New York: Elsevier Applied Science Publishers 1985



ลำดับที่	จำนวน	ชื่อ ศึกษาพฤติกรรมของเส้นแรงความเค้นหน่วง (stress concentration) ด้วยวิธี photoelastic polariscope				-
ผู้เขียน	นายคณินท์ กังแสง นายประภาสิทธิ์ ไรรัตน์	ผู้ตรวจ	นายโชชา ทอดหิน	ผู้สนับสนุน	อ.เกียรติชัย-03-02-43	-
มหาวิทยาลัยนครพนม องค์รักษ์				วันที่:	03-02-43	มาตราส่วน 1 : 1.3
				จำนวนรูปตัว		
				3	แก้ไขครั้งที่	หน้า
				-	-	3



ลำดับที่	จำนวน	ชื่อ ศึกษาจากทดลองแสงแรงความเค้นหนาแน่น (stress concentration) ทวิวิธี photoelastic polariscope				-
ผู้เขียน นายคณวัฒน์ กิ่งแสง นายประภาสิทธิ์ โรจรัตน	ผู้ตรวจ นายไพชา ท่ออหิน	ผู้อนุมัติ-วันที่	05-02-43	-	วันที่ : 05-02-43	มาตราส่วน 1 : 1.5
มหาวิทยาลัยนครินทรวิโรฒ องครักษ์		ชิ้นงานโค้งใน				
		2	นักใช้ครั้งที่	-	แผ่นที่	1



ลำดับที่	จำนวน	ชื่อ ศึกษาพฤติกรรมของเส้นแรงความเค้นหนาแน่น(stress concentration) ควอวีซี photoelastic polariscope			-	
ผู้เขียน	นายคณวัฒน์ กิ่งแสง นายประภาสิทธิ์ ไร่รัตน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ-วันที่		วันที่:	มาตราส่วน
		นายวิชา พงอฮิน	อ.ม.ศิริชัย-05-02-43	-	05-02-43	1:2
มหาวิทยาลัยนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชิ้นงานรูปตัวตะขอ			
			1	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่	
			-		1	

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. นายไชยา พลอยหิน
การศึกษา ปวช. วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี สาขาวิชาช่างกลโรงงาน
ปวศ. โรงเรียนเทคโนโลยีกรุงเทพ สาขาวิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
ประวัติการทำงาน ปี 34 – 37 บริษัทพัฒนาผลิตภัณฑ์มหาชน
ปี 37 – 39 บริษัทเทพสยามจำกัด
ปี 39 – ปัจจุบัน บริษัทฝ้าย จำกัดมหาชน
ที่อยู่ 55 หมู่ 4 ต. บ้านไร่ อ. เมือง จ. ราชบุรี 70000
2. นายดิษฐนันท์ กังแธ
การศึกษา ปวช. วิทยาลัยเทคนิคตรัง สาขาวิชาช่างยนต์
ปวศ. วิทยาลัยเทคนิคตรัง สาขาวิชาช่างยนต์
ที่อยู่ 101/2 หมู่ 8 ต. แหยมสอม อ. ปะเหลียน จ. ตรัง 92180
3. นายประกาศิทธิ์ โรจรัตน์
การศึกษา ปวช. วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี สาขาวิชาช่างยนต์
ปวศ. วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี สาขาวิชาช่างยนต์
ที่อยู่ 699/4 หมู่ 10 ต. วัฒนานคร อ. วัฒนานคร จ. สระแก้ว 27160