หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดสอบ (EXPERIMENTAL TESTING)

<u>ทดสอบโดยการถ่ายภาพ</u> (Test by Photography)

จุดประสงค์สำคัญของเลนซ์ในกล้องถ่ายรูป คือ ถ่ายภาพได้ชัดเจน ดังนั้นจึงมีวิธีที่จะทดสอบคุณภาพของเลนซ์ในกล้องถ่ายรูปโดยการดูภาพที่ถ่ายโดยเลนซ์นั้น ๆ เครื่องมือ ที่ใช้ในการทดลองมีแผนภูมิทดสอบ (Test chart) ดังรูป (3.1) ขนาดของแผน ภูมิทดสอบประมาณ 10 - 12 ฟุต^2 ระบายด้วยสีดำ และขาวบนกำแพงเรียบหรือบนผ้าขาวซึ่งแผนภูมิทดสอบขนาดนี้เหมาะสำหรับเลนซ์ที่มีทางยาวโฟคัส 4 - 6 นิ้ว แผนภูมิทดสอบนี้ส่องสว่างโดยใช้แสงอาทิตย์ หรือต้นแสงอื่นที่เพียงพอ ส่วนเลนซ์ที่จะทดสอบใส่ไว้ในกล้องถ่ายรูป วางกล้องถ่ายรูปบนขาหยั่ง และจัดให้ระดับความสูงอยู่กึ่งกลางของแผนภูมิทดสอบที่จะทดสอบระยะจากกล้องถ่ายรูปถึงแผนภูมิทดสอบไม่ควรต่ำกว่า 40 เท่าของทางยาวโฟคัสของเลนซ์ที่จะทดสอบ อย่างไรก็ตามระยะห่างควรเป็นระยะที่มองเห็นแผนภูมิทดสอบบนฉากฝ้าได้ จัดโฟคัสให้ภาพบนแกนชัดเจนโดยใช้แว่นขยายโฟคัสบนเส้นดำในกระจกฝ้าแล้ว จึงจัดระยะห่างของเลนซ์ในกระจกฝ้า ให้จุดกึ่งกลางของแผนภูมิทดสอบชัดเจนที่สุดพร้อมกับเส้นดำ เมื่อถ่ายภาพเสร็จแล้ว นำไปล้างแล้วจึงนำฟิล์มมาตรวจอย่างถี่ถ้วน โดยใช้กล้องจุลทัศน์กำลังขยายต่ำ (Low power microscope) ความบกพร่องของเลนซ์พิจารณาได้ดังนี้

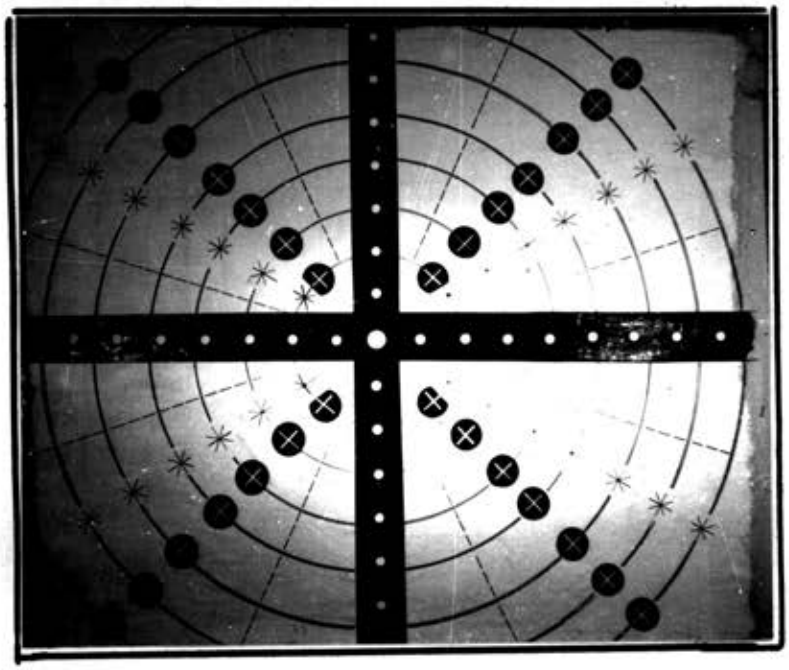
ความคลาดเนื่องจากวัตถุอยู่นอกแกน (Coma) ที่จุดวงกลมขาวจะมีขอบเลือน ๆ

แอสติกมาติซึม (Astigmatism) กากะบาดขาวบนวงกลมดำ จะเห็นชัดเส้นหนึ่ง อีกเส้นหนึ่งไม่ชัด

ความคลาดโค้ง (Field curvature) วงกลมดำที่ร่วมศูนย์กลางกัน จะชัดแถวกลาง ๆ ภาพ และจะไม่ชัดเมื่ออยู่ห่างออกไป

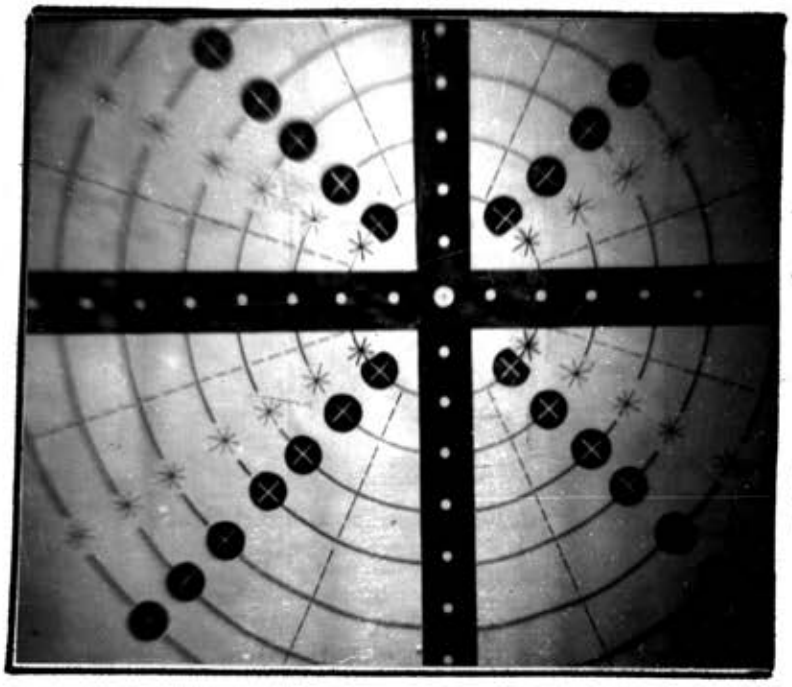
ความบิดเบี้ยว (Distortion) ที่เส้นสี่เหลี่ยมด้านขนานจะบิดเบี้ยวไป

ความคลาดสีและความคลาดทรงกลม (Chromatic & Spherical aberration) เครื่องหมายดอกจันทร์ ให้ภาพที่ไม่ชัดเจนความคม (contrast) ของภาพไม่ดีโดยทั่ว ๆ ไป



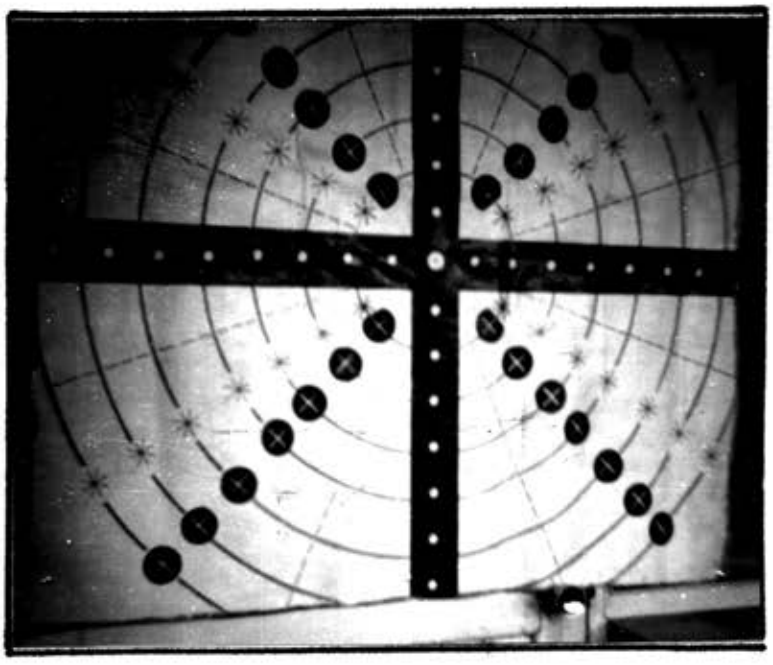
หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 ภาพวงกลมทดสอบความคลาด
ถ่ายด้วยกล้องยาชิกา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 ภาพวงกลมทดสอบที่มีความคลาด เปิดหน้ากล้องแคบ ($\frac{F}{D}$ =11)



รูปที่ 3.3 ภาพวงกลมทดสอบที่มีความคลาดมากขึ้น เปิดหน้ากล้องกว้าง ($\frac{F}{D}$ =4)

ภาพ 3.2 เป็นภาพถ่ายด้วยกล้องบอกซ์ ใช้เลนซ์เดี่ยวรูปเดียว (Meniscus) ทางยาวโฟคัส 4.5 นิ้ว เปิดหน้ากล้องแคบ จะเห็นว่ามีความคลาดหลายประการ

ความคลาดเนื่องจากวัตถุอยู่นอกแกน (Coma) ที่จุดวงกลมขาวจะเห็นชัดเฉพาะตรงกลาง เมื่อห่างจากแกนกลางรูปร่างของจุดขาวจะเริ่มพร่าเปลี่ยนรูปเป็นรูปรีมองดูคล้ายดาวหาง

ความบิดเบี้ยว (Distortion) ที่เส้นสี่เหลี่ยมด้านขนานเอียงไปอย่างเห็นได้ชัด และรูปโดยทั่วไปก็โค้งเล็กน้อย เกิดความบิดเบี้ยวเป็นรูปหมอนปักเข็ม (Pincushion distortion)

แอสติกมาติซึม (Astigmatism) กากะบาดขาวบนวงกลมดำ จะเห็นชัดเพียงเส้นเดียว อีกเส้นไม่ชัด แสดงว่าแสงมาโฟคัสทั้งสองแกนไม่พร้อมกัน ภาพไม่มีพื้นราบ (Flat field)

ความคลาดโค้ง (Field curvature) วงกลมดำที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันจะเห็นชัดเมื่ออยู่กลางภาพ และจะไม่ชัดเมื่ออยู่ห่างออกไป โดยที่เป็นกล้องราคาถูก จึงมีความคลาดชนิดนี้มาก จะเห็นว่าวงกลมที่ชัดนั้นมีเพียงวงเดียว นอกนั้นพร่ามัว

ความคลาดสีและความคลาดทรงกลม (Chromatic & Spherical aberration) เครื่องหมายดอกจันทร์ ให้ภาพที่ไม่ชัดเจนเกือบจะโดยตลอดของภาพ ความคม (Contrast) ของภาพไม่ดีอย่างมาก โดยทั่วไป นอกจากนั้นกำลังแยก (Resolution) ของภาพยังไม่ดีอีกด้วย เพราะเส้นโค้งวงกลมเป็นเส้นคู่ กล้องบอกซ์นี้แยกไม่ออกเลย

ภาพ 3.3 . เป็นภาพที่ถ่ายด้วยกล้องบอกซ์เหมือนภาพ 3.2 แต่เปิดหน้ากล้องกว้างเต็มที่ ($\frac{F}{D} = 4$) จะเห็นว่าความคลาดทุกประการมีมากขึ้นอย่างเห็นชัด แทบจะไม่มีส่วนชัดเจนของภาพ เนื่องจากเปิดหน้ากล้องกว้างมาก ทำให้แสงตกไปที่ฟิล์มมากกว่าที่ควร ความเร็วของกล้องก็เปลี่ยนค่าไม่ได้ ฉนั้นความคม (Contrast)

ของภาพยิ่งเลวลงมาก กำลังแยกของกล้องต่ำมาก เส้นวงกลมดำแยกไม่ออกเลยสักวงเดียว

<u>ทดสอบกำลังแยกของเครื่องมือ</u> (Resolution test)

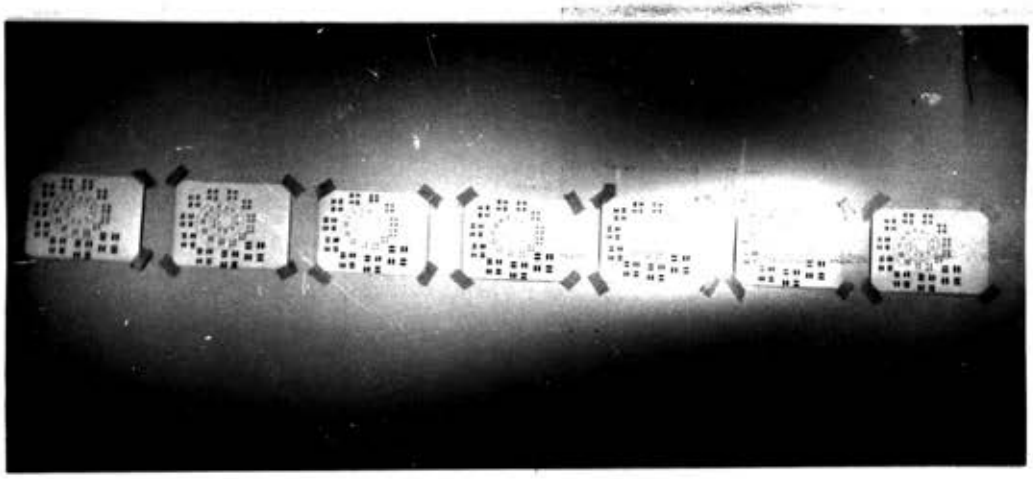
การทดสอบกำลังแยกของเลนซ์ ทำโดยการถ่ายภาพของแผนภูมิของคอบบ์ (Cobb chart) รูป 3.5 ซึ่งใช้เป็นวัตถุวัดวางในแนว ซึ่งตั้งฉากกับแนวแกนของเลนซ์และกล้องถ่ายรูปตั้งเรียบร้อยแล้วคล้ายกับตอนถ่าย แผนภูมิทดสอบ (Test chart) ฉนั้นกล้องถ่ายรูปจึงอยู่ระดับเดียวกับแผนภูมิของคอบบ์ ระยะจากกล้องถ่ายรูปถึงแผนภูมิของคอบเห็นได้ชัดเจนทั้งหมด 7 ภาพ เวลาถ่ายภาพมองดูในกล้องว่าเห็นชัดที่ไกลสุด (มุมกว้าง) ที่สุดเท่าไรแล้ววางแผน ภูมิของคอบนี้วตรงริมทั้งสองข้างนั้นก่อน แล้วจึงนำแผนที่เหลือวางเรียงกันไป ดังรูป 3.4 ระยะห่างของกล้องที่ชัดที่สุดประมาณ 10 เมตร เลนซ์ที่ใช้ทดสอบมีทางยาวโฟคัส 4.5นิ้ว เราวางเรียงแผนภูมิของคอบเป็นมุมต่างกัน เมื่อจัดได้ภาพดีแล้ว นำไปล้าง นำฟิล์มมาตรวจอย่างรอบคอบด้วยกล้องจุลทัศน์แผนภูมิที่วางเรียบเป็นมุมต่าง ๆ กัน ตรงที่ทำมุมต่างกันนั้น กลุ่มภาพที่เริ่มต้นแยกได้ คือที่ขีดดำทั้งสองติดกันมีเงาทับกัน ดูตรงข้างบนของขีดทั้งสองจะเห็นยุบเป็นร่องตรงกลาง ตรงนั้นแหละที่สำคัญ แสดงว่าตั้งแต่จุดชัดตรงกลางมาจนถึงกลุ่มนั้นที่เลนซ์นั้นยังแยกออก

ในการทดสองใช้กล้องโรลไลคอร์ด (Rolleicord) , ยาชิกา (Yachica) และกล้องบอกซ์ ทำการถ่ายแผนภูมิของคอบบ์ (Cobb chart)

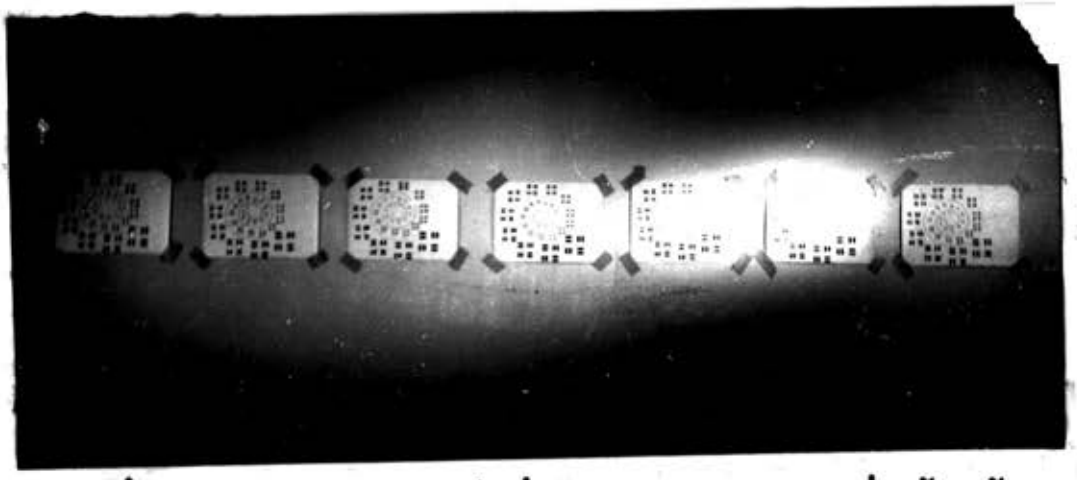
การการถ่ายภาพเปิดหน้ากล้องขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อดูกำลังแยกสำหรับหน้ากล้องต่าง ๆ กันด้วย ส่วนฟิล์มที่ใช้ต้องเป็นชนิดเนื้อละเอียด (Fine grain)

ในการทดสอบใช้กล้องยาชิกา (Yachica) ทางยาวโฟคัสของเลนซ์ 12 ซ.ม. ในเวลา $\frac{1}{50}$ วินาที

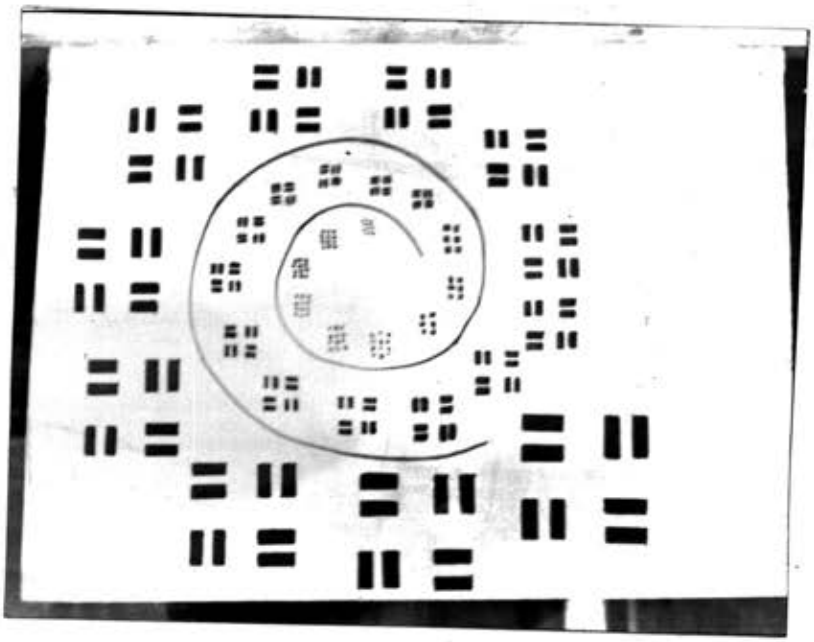
รูป 3.4 ระยะห่าง 4 เมตร เปิดหน้ากล้อง 3.5 ภาพจะเริ่มแยกได้ที่กลุ่มที่ 2 ส่วนภาพที่ทำมุมห่างออกไปจะทั้งสองข้างจะเกิดความคลาดอื่น ๆ มากจนแยกในแนวนอนแทบมิได้ทุกภาพนอกจากแกนตั้ง



รูปที่ 3.5 ดูกำลังแยกของเลนซ์เมื่อวางแผนภูมิทำมุมกับแกน เปิดหน้ากล้องกว้างขึ้น เปรียบเทียบกับรูป 3.4 กำลังแยกดีขึ้น ดูที่แผนภูมิของคอบบ์หมู่ที่ 3



รูปที่ 3.4 ดูกำลังแยกของเลนซ์ เมื่อวางแผนภูมิทำมุมกับแกน ถ่ายด้วยกล้องยาชิกา



รูปที่ 3.6 ดูกำลังแยกของเลนซ์ ถ่ายตรง ด้วยกล้องอาซาฮีเพนแทค

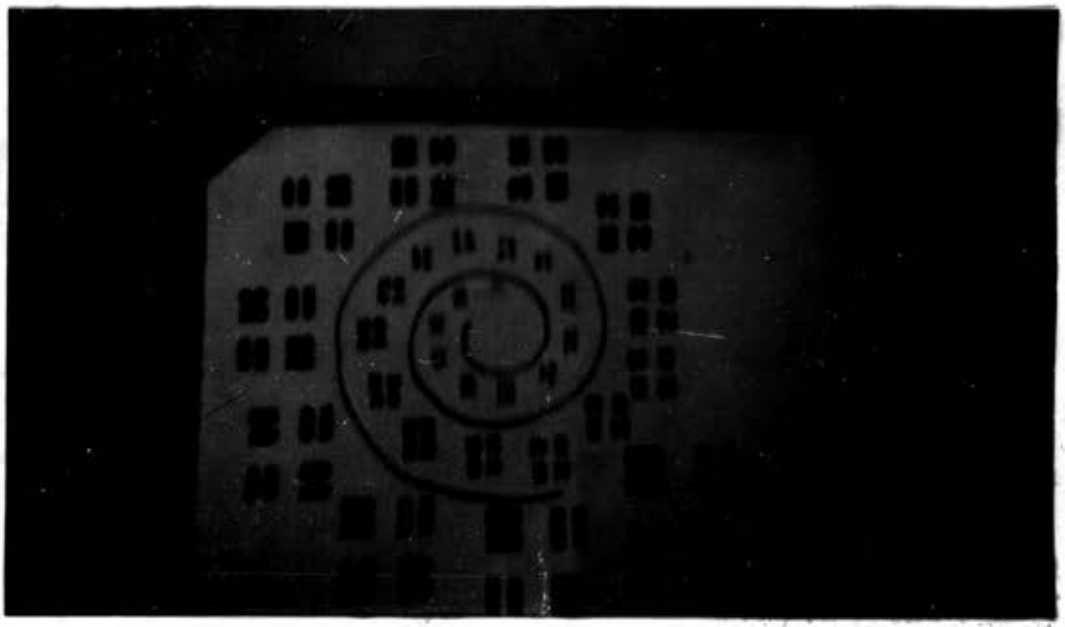
รูป 3.5 ระยะห่าง 4 เมตรเท่าเดิมเปิดหน้ากล้อง 8, ($\frac{F}{D}$ = 8) ภาพจะเริ่มแยกได้กลุ่มที่ 3 ส่วนอื่น ๆ เหมือนภาพที่ 3.4

โดยที่กล้องโรลโลคอร์ด และยาชิกา ก็เป็นกล้องระดับดีเหมือนกัน ฉนั้นคุณภาพก็ดีใกล้เคียงกัน ภาพที่ถ่ายได้คล้ายคลึงกันมาก ส่วนกล้องบอกซ์นั้นกำลังแยกต่ำมากดังรูปที่นำมาแสดงในหน้าต่อไป คือรูป 3.7 และรูป 3.8

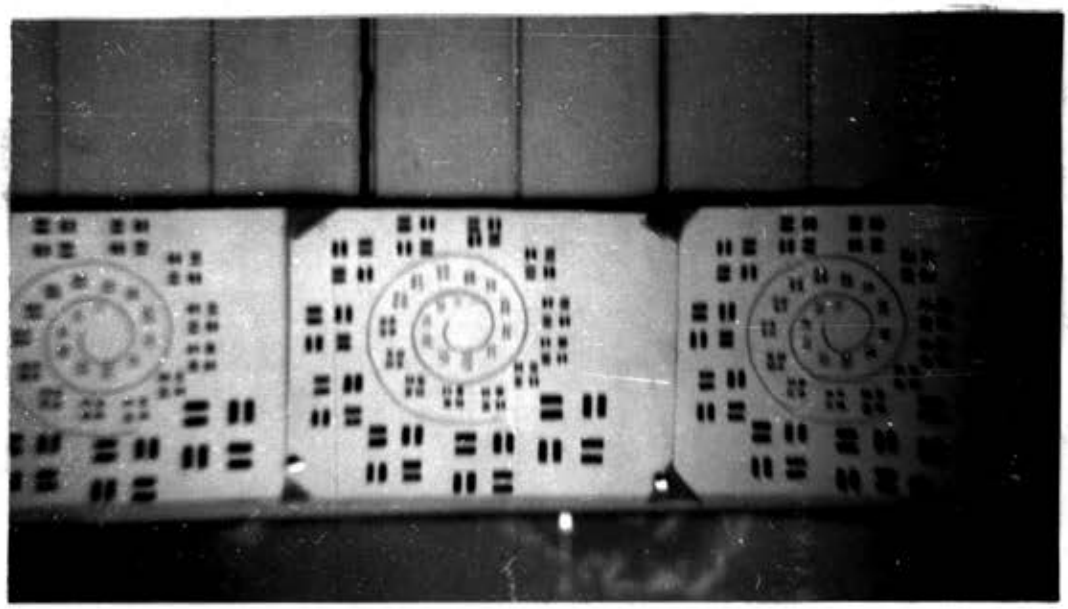
รูป 3.6 ถ่ายด้วยกล้อง อาซาฮี-เพนเทกซ์ (ASASHI - Pentex) ทางยาวโฟกัส 50 ม.ม. เปิดหน้ากล้อง 4, ($\frac{F}{D}$ = 4) ถ่ายที่ระยะโฟกัสของเลนซ์ 1.8 ฟุต กำลังแยกออกกลุ่มที่ 18 นอกนั้นภาพชิดกันมาก แม้จะเป็นกล้องชั้นดีก็ยังแยกไม่ได้

รูป 3.7 ถ่ายด้วยกล้องบอกซ์ ทางยาวโฟกัส 4.5 ฟุต เปิดหน้ากล้องกว้าง จะเห็นว่ากำลังแยกของกล้อง แยกเส้นคู่ได้เพียงกลุ่มที่ 6 เท่านั้น นอกนั้นแยกไม่ได้ โดยที่เป็นกล้องราคาถูก มีความคลาดหลายประการ โดยเฉพาะแอสติคมาติซึม (Astigmatism) มีมาก จะเห็นว่าเส้นคู่ในแนวดิ่งชัดเจน แต่เส้นคู่ในแนวราบจะพร่ามัวตลอด

รูป 3.8 ถ่ายด้วยกล้องบอกซ์ เช่นเดียวกับภาพ 3.5 แต่เปิดหน้ากล้องแคบ กำลังแยกยังลดลง แยกเส้นคู่ได้เพียงกลุ่มที่ 5 เท่านั้น ในภาพเส้นคู่ในแนวดิ่งเห็นชัดเจน ว่าชัดกว่าเส้นในแนวราบมาก เนื่องจากกล้องมีความคลาดเอียงอย่างมาก รวมทั้งความคลาดทุกประการด้วย จึงทำให้ภาพไม่ชัดเจน ที่ถ่ายภาพเรียงกันเพื่อจะดูว่า ภาพที่มีมุมเอียงไปจากแนวแกนจะมีกำลังแยกเป็นอย่างไร แต่โดยที่กล้องมีความคลาดอย่างอื่นมากจนไม่สามารถจะดูกำลังแยกของแผ่นแผนภูมิของคอบบ์ (Cobb chart) ที่วางทำมุมกับแกนได้



รูปที่ 3.7 ดูกำลังแยกของเลนซ์ ถ่ายด้วยกล้องบอกซ์ หน้ากล้องกว้าง

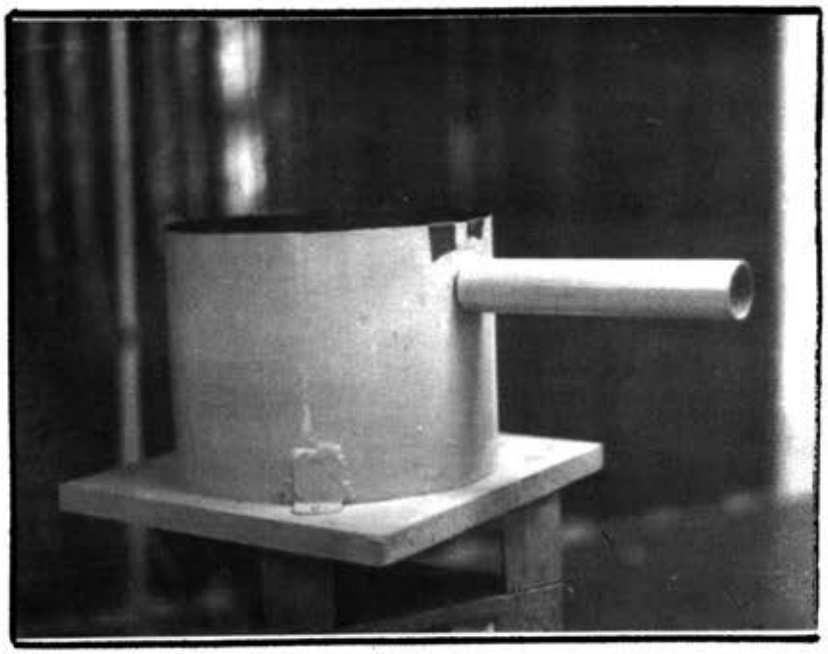


รูปที่ 3.8 ดูกำลังแยกของเลนซ์ เมื่อวางแผนภูมิทำมุมกับแกน ถ่ายด้วยกล้องบอกซ์ เปิดหน้ากล้องแคบลง

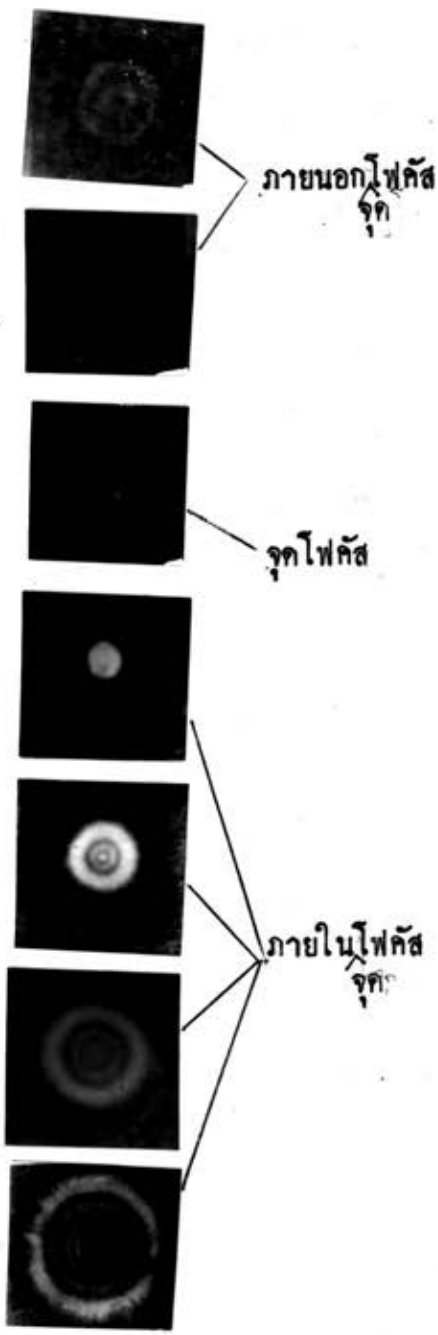
<u>สตาร์เทสซ์</u> (Star test)

ทดสอบโดยใช้กล้องโทรทัศน์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการทดสอบ กล้องนี้วางห่างจากต้นแสง 15 เมตร พยายามจัดให้แลเห็นแสงตรงจุดโฟคัสที่ชัดที่สุดก่อน จึงดูที่ตำแหน่งอื่น โดยเหตุที่กล้องที่ทำการทดสอบ มีความคลาดน้อยมาก จึงทำให้ดูภาพความคลาดได้ไม่ชัดเจน ส่วนตัวต้นแสง ใช้หลอดไฟขนาด 6 โวลต์ บรรจุไว้ในกล่องรูปทรงกระบอก มีเลนซ์รวมแสงให้ตกบนรูเข็ม รูป 3.10 แสงจากต้นแสง ตกลงบนเลนซ์ใกล้วัตถุของกล้องโทรทัศน์ ซึ่งตั้งอยู่บนขาตั้ง การจัดภาพต้องใช้ขาตั้งที่เปลี่ยนระยะให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ เคลื่อนที่ไปข้าง ๆ ได้ เพื่อรักษาให้จุดศูนย์อยู่ตรงกลาง (Correct centring) พอดี ดังรูป 3.9 ในการถ่ายภาพใช้ฟิล์มชนิดแพนโครมาติค (Panchromatic) ชนิดมีความไวเป็นพิเศษ ส่วนเวลาใช้ $\frac{1}{8}$ วินาทีล้างฟิล์ม (Develope) ภายใต้สถานะเดียวกันหมด เช่น ล้างในถาดเดียวกัน ใช้เวลา 4 นาที ถ่ายภาพที่ตำแหน่งโฟคัสที่ภายในและภายนอกโฟคัส จากภาพถ่าย 3.11 จะเห็นว่ากล้องที่ทดสอบนี้มีความคลาดทรงกลม และความคลาดสีบ้าง เพราะว่าลวดลาย (Pattern) ที่ถ่ายออกมาได้ที่จุดภายในโฟคัสและภายนอกโฟคัสไม่เหมือนกัน ระยะที่ภาพที่รับได้ใกล้เข้ามา หรือห่างออกไปจากเลนซ์ใกล้วัตถุ (Objective) นั้น สังเกตจากลวดลายวงกลมที่ปรากฏ (Diffraction ring pattern) จำนวนริ้ว (ring) ที่เพิ่มขึ้นที่ระยะห่างออกไปจากจุดโฟคัส ถ้าหากว่าริ้ว (Circular ring) เหล่านี้ สมตรี (Symmetry) กันทั้งภายในและภายนอกจุดโฟคัสแสดงว่าเลนซ์ใกล้วัตถุ (Objective) นี้มีคุณภาพดี ไม่มีความคลาด แต่ถ้าเป็นชนิดแก้มากไป (Over - correction) ริ้ว (Ring system) ที่ภายนอกจุดโฟคัสจะชัดเจนกว่าจุดที่รับภาพภายในจุดโฟคัส ถ้าเป็นพวกแก้น้อยไป (Under correction) ริ้ว (Ring system) ก็จะกลับกัน จากภาพถ่าย 3.11 จะเห็นว่า ภาพถ่ายที่ภายในโฟคัส ลวดลายที่รับได้ชัดเจนกว่าภาพที่ถ่ายจากจุดภายนอกโฟคัส ฉนั้นเลนซ์ใกล้วัตถุ (Objective) นี้มีความคลาดทรงกลม และความคลาดสี พวกที่เรียกว่าแก้น้อยไป (Under corrected Objective) ส่วนใหญ่ของการเกิดความคลาดก็คือ ภาพเกิดขาดสมตรี (Symmetry) ภาพจะชัดเจนที่สุดเมื่อภาพของสตาร์ (Star) เล็กที่สุด

รูปที่ 3.9 รูปกล้องโทรทัศน์ที่ใช้ในสตาร์เทสท์



รูปที่ 3.10 รูปต้นแสงที่ใช้ในสตาร์เทสท์



รูปที่ 3.11 สตาร์เทสต์ ทดสอบด้วยกล้องโทรทัศน์ดูริ้วที่ปรากฏภายนอกจุดโฟกัสได้ภาพไม่ชัดเจนเท่าภายในจุดโฟกัส

<u>วิธีทดสอบแบบฮาร์ทแมน</u> (Hartmann test)

วิธีที่จะวัดความคลาดทรงกลม (Spherical aberration) ของ Hartmann ก็เป็นวิธีที่สดวกวิธีหนึ่ง วิธีทำก็คือ ใช้เลนซ์ที่จะทดสอบวางในแนวเดียวกันกับต้นแสงซึ่งเป็น star หรือ artificial star ใช้กระดาษเจาะเป็นรูให้แสงผ่านดังรูป (3.13) ตั้งเครื่องมือดังรูป (3.12) h_1 h_2 เป็นการเปิดหน้ากล้อง (aperture) วางหลังเลนซ์ที่จะทดสอบ เส้นผ่าศูนย์กลางของรูควรเท่ากับ $\frac{1}{200}$ ของทางยาวโฟคัสของเลนซ์ ฉากที่จะรับภาพจัดให้อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกนของแสง (optical axis) เมื่อจัดได้ดีแล้วนำกล้องถ่ายรูปที่ไม่มีเลนซ์มาจับภาพที่ 2 ตำแหน่ง คือภายในและภายนอกของจุดโฟคัสที่เราทราบแล้ว เมื่อถ่ายภาพออกมาแล้วจะได้ภาพวงกลมที่เกิดจากการเลี้ยวมุมของแสง (diffraction) จากรูป (3.5) A_1, A_2 เป็นตำแหน่งของฉากภายนอกโฟคัสและภายในโฟคัส ℓ_1, ℓ_2 เป็นระยะห่างของวงกลมที่เกิดจากการเลี้ยวมุมของแสงมาตัดกัน (diffraction disc) บนฉากทั้งภายในและภายนอกของจุดโฟคัส

จาก Δ เท่ากัน ทั้ง 2 รูป $\therefore$ $\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{A_2 - A}{A - A_1}$

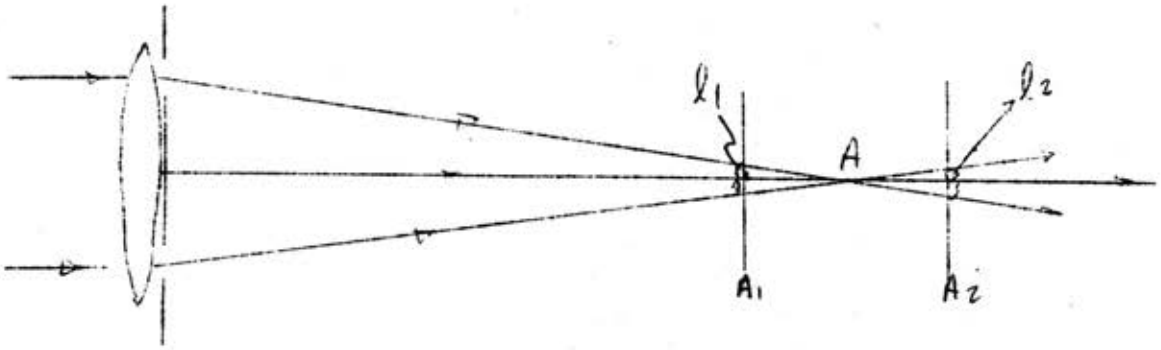
$$A\ell_2 - A_1\ell_2 = A_2\ell_1 - A\ell_1$$

$$A(\ell_1 + \ell_2) = A_1\ell_2 + A_2\ell_1$$

$$= A_1(\ell_2 + \ell_1) + (A_2 - A_1)\ell_1$$

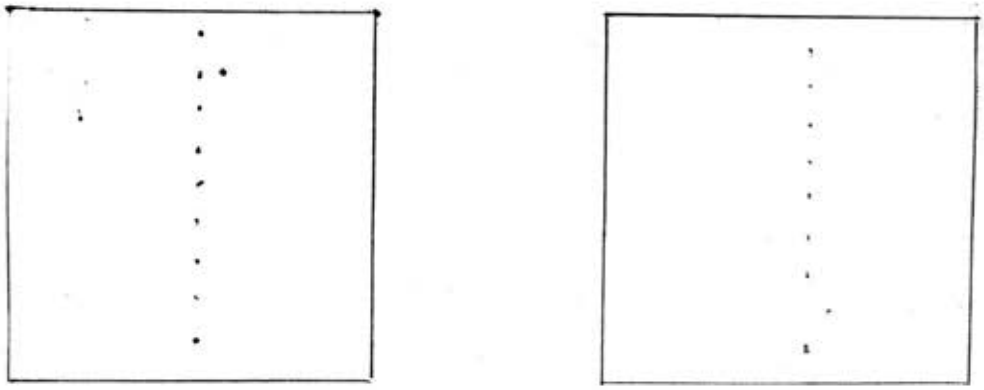
$$A = A_1 + \frac{\ell_1(A_2 - A_1)}{(\ell_1 + \ell_2)}$$

ในการทดสอบนี้ Hartmann ไดอาแฟรม ไม่ได้มี 2 รู แต่มีอยู่หลายคู่ แต่ละคู่ของรูจะเป็นการเปิดหน้ากล้อง (Aperture) แต่ละคราว เพื่อจุดโฟคัสของการเปิดหน้ากล้องเท่าใด จะได้ค่า A จากสมการข้างบน ฉนั้นก็อาจจะหา ความคลาดทรงกลมได้



รูปที่ 3.12 แสดงการทดลองของฮาร์ตแมน

รูปที่ 3.13 กระดาษแข็งเจาะเป็นรูให้แสงผ่าน



รูปที่ 3.14 ภาพที่รับได้ภายในและภายนอกจุดโฟกัส

จากการทดลอง

$h_1 h_2$ (ซ.ม.)	A_1 (ซ.ม.)	A_2 (ซ.ม.)	ℓ_1 (ซ.ม.)	ℓ_2 (ซ.ม.)
6.0	40	60	.512	.501
5.0	40	60	.436	.414
4.0	40	60	.324	.310
3.0	40	60	.240	.224

จาก $A = A_1 + \frac{\ell_1 (A_2 - A_1)}{\ell_1 + \ell_2}$

$= 40 + .512 \frac{(60 - 40)}{.512 + .501}$

$= 40 + 10.108$ ซ.ม.

จุดโฟคัสเมื่อแสงตกขอบเลนซ์ = 50.108 ซ.ม.

$A = 40 + .240 \frac{(60 - 40)}{.240 + .224}$

$= 40 + 10.345$ ซ.ม.

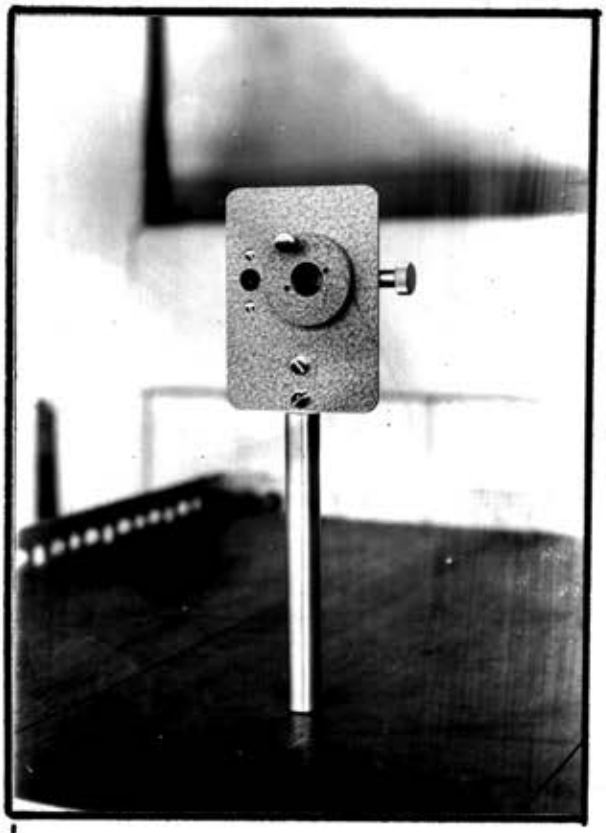
จุดโฟคัสเมื่อแสงตกตามแนวแกน 50.345 ซ.ม.

วัดความคลาดทรงกลมได้ 50.345 - 50.108 = .237 ซ.ม.

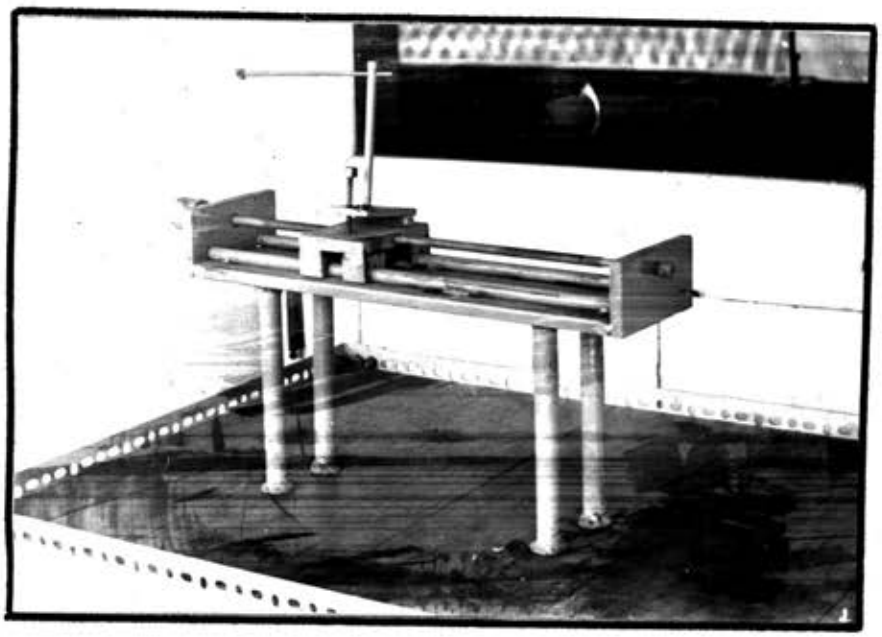
วิธีทดสอบของฟูโคลท์ (Foucault knife-edge test)

วิธีนี้ใช้สำหรับทดสอบความคลาดทรงกลมโดยเฉพาะเมื่อมีรูรับแสงกว้าง เช่นเลนซ์หรือกระจกที่ใช้ในกล้องดูดาว

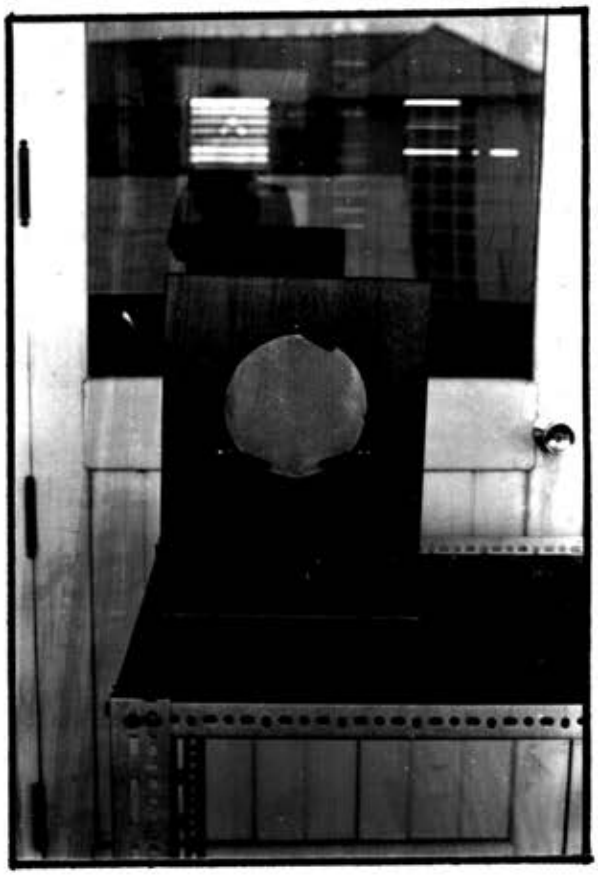
วิธีทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยใช้กระจกโค้งที่มีรัศมีความโค้งยาว 14 เมตร ใช้โลหะบาง ๆ เจาะรูเล็กด้วยปลายเหล็กแหลม ให้แสงจากต้นแสงซึ่งใช้หลอดไฟ 6 โวลท์ ใช้เลนซ์รวมแสงให้ตกบนพินโฮลท์-ไนฟ์เอจ (Pinhole - knife - edge) ดูรูป 3.14 ซึ่งวางไว้ใกล้จุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกโค้งดังรูป 3.16 แสงจากต้นแสงเดินไปสท้อนที่ผิวกระจก ให้ภาพที่ระยะเท่ากันบนด้านตรงข้ามของจุดศูนย์ความโค้ง เมื่อมองดูภาพนี้ก็จะเป็นจุดที่รับแสงจากทุกส่วนของกระจกโค้ง รูรับแสง (Aperture) จะได้รับแสงเต็มที่ ฉนั้นเมื่อมีฉากมาตัดแสง เช่นใบมีด (knife - edge) เคลื่อนที่ตัดแสงตรงจุดโฟคัส ภาพที่เห็นจะปรากฏสีดำอย่างสม่ำเสมอ ในการทดสอบกระจกโค้งนี้ใช้ใบมีด (knife - edge) ที่สร้างขึ้นเองดังรูป 3.15 ตัดแสงแต่เมื่อทำจริง ๆ แล้ว ใบมีดที่ตัดแสงนี้ ได้คำที่ไม่สู้ละเอียดเพราะตัวใบมีดโกนที่ใช้ติดกับแท่นใช้ได้ไม่คล่องแคล่วเท่าที่ควร จึงใช้พินโฮลท์ - ไนฟ์เอจ (Pinhole - knife - edge) ตัดแสงแทนซึ่งก็ได้คำที่ดีขึ้น และเมื่อใช้ใบมีดเคลื่อนที่ตัดแสงภายในโฟคัสเงาของภาพที่ปรากฏจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับใบมีด รูปที่ 3.17 ก. ถ้าใช้ใบมีดตัดแสงที่ภายนอกจุดโฟคัส เงาของภาพจะเคลื่อนที่ในทิศตรงข้าง ดังรูป 3.17 ค. โดยวิธีนี้เราก็สามารถหาจุดโฟคัสของกระจกโค้งได้แน่นอน ในกรณีที่กระจกมีข้อบกพร่อง แสงทั้งหมดจะไม่หักเหมารวมกันที่จุดเดียว และถ้าใบมีด ตัดลำแสงที่สท้อนจากกระจกนี้ ภาพที่ปรากฏจะได้รับความเข้มแสงไม่เท่ากัน แสงบางตอนจะถูกตัดโดยสิ้นเชิงโดยใบมีด ซึ่งบางลำแสงก็จะผ่านไปกับตาผู้สังเกตได้ ทำให้แลเห็นเป็นเงามืดสว่างไม่เป็นระเบียบ โดยที่กระจกที่นำมาทดสอบ เป็นกระจกโค้งอย่างค่อนข้างดีมาก ฉนั้นในการทดสอบหาความบกพร่อง จึงสังเกตได้ยากมาก แม้จะได้ความพยายามหลายครั้งก็ตาม รูปที่แลเห็นก็ยังคงไม่แสดงความบกพร่องอย่างชัดเจนอยู่นั่นเอง



รูปที่ 3.14 Pinhile - knife-edge

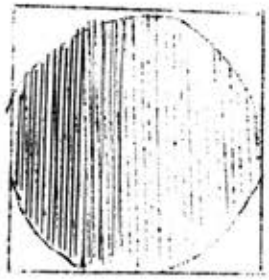


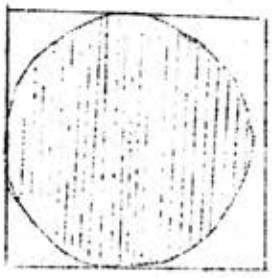
รูปที่ 3.15 Foucault knife-edge

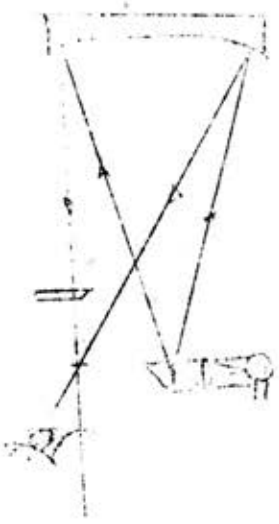


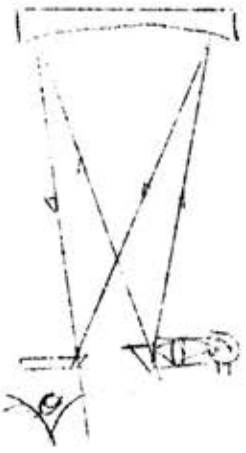
หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

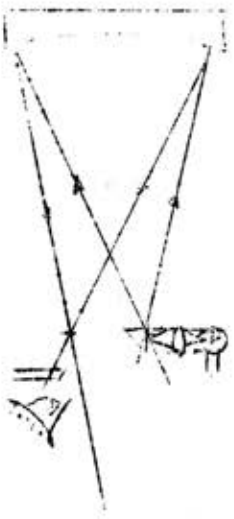
รูปที่ 3.16 รูปกระจกโค้งใหญ่
ทดสอบโดยวิธี Foucault- knife - edge











ตัดภายในโฟคัส

รูปที่ 3.17 ก.

ตัดที่จุดโฟคัส

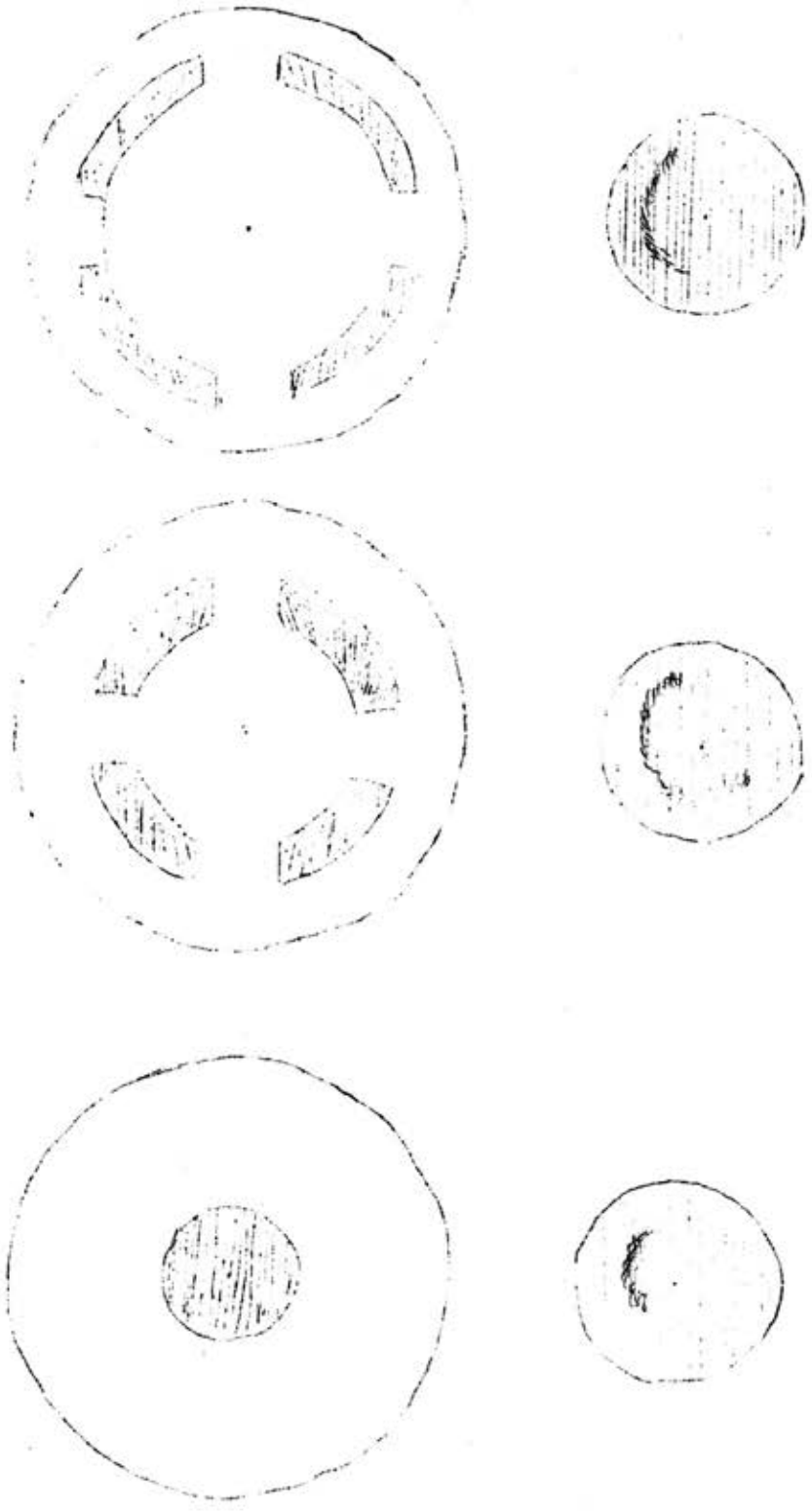
รูปที่ 3.17 ข.

ตัดที่นอกจุดโฟคัส

รูปที่ 3.17 ค.

ความคลาดแถบของฟูโคลท์ (Zonal knife - edge test)

ใช้กระจกโค้งอันเดิมและ Pinhole - knife - edge อันเดิม แต่ให้แสงตกกระทบกระจกเป็นแถบ ๆ โดยใช้กระดาษแข็งสีดำเจาะเป็นรูปโค้งดังรูป 3.18 ให้มีรัศมีความโค้งที่เปิดออกรับแสงต่าง ๆ กัน รวมทั้งจุดกึ่งกลางด้วย เมื่อแสงออกจากต้นแสงไปตกกระทบกระจกโค้งซึ่งมีกระดาษแข็งเจาะเป็นช่องให้แสงตก เมื่อรับภาพที่จุดโฟคัส เมื่อให้แสงสท้อนของกระจก จุดโฟคัสจะเลื่อนไปจากเดิม 1.8 ซ.ม. ใกล้เข้ามา และเมื่อรับภาพที่จุดโฟคัส เมื่อให้แสงตกกลางเลนซ์ (กระดาษดำปิดขอบเลนซ์ไว้) จุดโฟคัสจะเลื่อนห่างออกไปจากเดิม 1.6 ซ.ม. และเมื่อใช้ใบมีดตัดแสงที่ระยะใกล้กว่าจุดโฟคัส เงาของภาพที่แลเห็นเลื่อนลางมาก รวมทั้งใช้ใบมีดตัดแสงที่นอกจุดโฟคัส เงาของภาพที่แลเห็นก็เช่นกัน เลื่อนลางจนสังเกตได้ยากมาก โดยเหตุที่ใช้แถบกระดาษปิดกระจกไว้ให้แสงผ่านแต่ละส่วน และจุดโฟคัสเลื่อนไปเล็กน้อย แสดงว่ากระจกโค้งนี้มีความคลาดชนิดความคลาดทรงกลมอยู่บ้าง

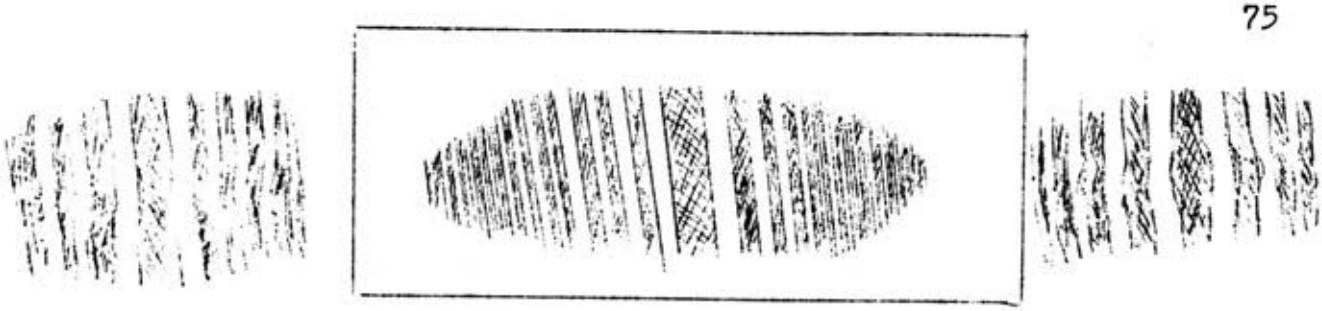


รูปที่ 3.18

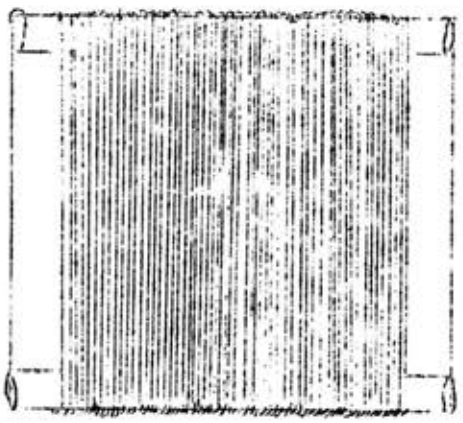
กระดาษแข็งเปิดช่องให้แสงผ่านต่าง ๆ กันและเงาที่แลเห็น

การทดสอบแบบรอนชิ (Ronchi test)

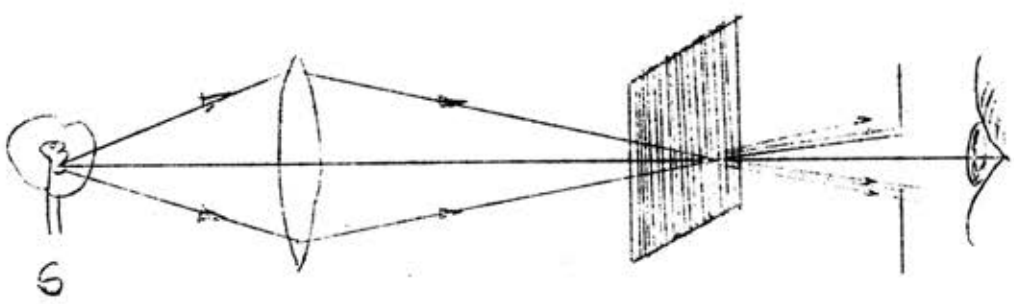
เครื่องมือที่ใช้ก็มีเลนซ์ที่จะทดสอบ ต้นแสง เป็นหลอดไฟ 6 โวลท์ ที่สร้างโลหะรูปทรงกระบอกครอบไว้ เกรทติ้ง (Grating) ที่จะใช้ควรเป็นเกรทติ้งราคาถูกที่มี 10 - 20 เส้นต่อ ม.ม. แต่โดยที่เกรทติ้งชนิดที่ต้องการไม่มี มีแต่อย่างดีจำนวนเส้นเป็นหมื่น ๆ เส้นต่อนิ้วทั้งนั้น จึงประกอบขึ้นเองโดยใช้หมึกดำขีดเส้นขนานกระดาษแข็งสีขาว และถ่ายภาพนั้นอีกที ฟิล์มที่ถ่ายภาพได้จะมีเส้นทึบและโปร่งสลับกัน ทำหน้าที่คล้ายเกรทติ้งขนาด 2 เส้น / ม.ม. เมื่อนำเกรทติ้งที่เป็นแผ่นฟิล์มมาให้แสงที่มาจากเลนซ์ที่จะทดสอบผ่าน จะเกิดปรากฏการเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction) ดังรูป เงาที่ปรากฏไม่เป็นเส้นขนานตรง ๆ แต่ขนานกันอย่างเอียง ๆ ดังรูป 3.19 (เมื่อใช้ pinhole ตัดแสง) เมื่อรับภาพภายในจุดโฟกัสเส้นขนานที่แลเห็น จะแลเห็นเป็นรูปป่องกลางเล็กน้อย ถ้าตัดที่ภายนอกจุดโฟกัสจะเห็นเส้นขนานเอียงนั้นบุบตรงกลางเล็กน้อย (เกือบมองไม่เห็น) เพราะเหตุที่เลนซ์ที่ใช้ทดสอบไม่มีความคลาดมากนักเงาเส้นขนานที่แลเห็นจึงชัดเจนพอสมควร นอกจากนี้ยังลองใช้ตะปูเกลียวฉะเอียด บัดกรีต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมใช้ลวดทองแดงขนาดเล็กพันขนาด 55 เส้นต่อ 20 ม.ม. ดังรูป 3.20 ให้ทำหน้าที่คล้ายเกรทติ้ง ได้ผลเกิดปรากฏการเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction) เหมือนกัน และให้เส้นขนานที่ขนานกันเอียง ๆ แสดงว่ามีแอสติคมาติซึม (Astigmatism) อยู่เล็กน้อย ภาพของเงาที่แลเห็น ก็เกือบจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกันดี แสดงว่าเลนซ์ที่นำมาทดสอบไม่ค่อยจะมีความคลาดมากนัก



รูปที่ 3.19
ริ้วที่แลเห็น ในจุดโฟคัส ที่จุดโฟคัส และนอกจุดโฟคัส



รูปที่ 3.20 เกรทติ้งของรอนชิ



รูป 3.21 แสดงวิธีการทดลองของรอนชิ