การทำและการทดสอบเลนส์หน้าของกล้องโทรทรรศน์

นายชาตร วิภูษณวนิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แผนกวิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2522

000659

I15516039

CONSTRUCTION AND TEST OF A TELESCOPE OBJECTIVE

Mr. Chacorn Vipusanavanish

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1979

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำและการทดสอบเลนส์หน้าของกล้องโทรทรรศน์
โดย	นายชาคร วิภูษณวนิช
แผนกวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี รักวีรธรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย ดร.ระวี ภาวิไล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ เจริญกูล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ โชวเจริญสุข)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี รักวีรธรรม)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำและการทดสอบเลนส์หน้าของกล้องโทรทรรศน์
ชื่อนิสิต นายชาคร วิภูษณานิช
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี รักวีรธรรม
แผนกวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2521

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ก่อนที่จะมีการสร้างเลนส์ที่จะใช้ในทัศนอุปกรณ์ใด ๆ นั้น ต้องศึกษาว่า ความคลาดใดบ้างที่ต้องกำจัดออกไป จากนั้นโดยอาศัยทฤษฎีของความคลาด ทำให้สามารถคำนวณหารูปร่างของเลนส์ที่จะสร้างขึ้นโดยปราศจากความคลาดนั้น ๆ ได้

เลนส์หน้ากล้องของกล้องโทรทรรศน์ที่จะสร้างนี้ ไม่จำเป็นจะต้องแก้ความคลาดรงค์ เนื่องจากจะนำมาถ่ายภาพดวงอาทิตย์โดยให้แสงอาทิตย์ผ่านเครื่องกรองแสงก่อน ความคลาดที่จะปรากฏเด่นชัดในที่นี้ คือ ความคลาดทรงกลมและโคมา จึงได้ออกแบบเลนส์ในลักษณะที่จะให้โคมาเป็นศูนย์ ส่วนความคลาดทรงกลมนั้นไม่มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ ทำได้เพียงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะมีได้

การฝนและการขัดใสเลนส์ทำแบบดั้งเดิม ไม่ใช้เครื่องมือเข้าช่วย เพียงแต่ยึดแผ่นแก้วแผ่นหนึ่งเข้ากับแท่น แล้ววางแผ่นแก้วอีกแผ่นหนึ่งข้างบน ใช้มือจับแผ่นบนกดและถูลงบนแผ่นล่างอย่างถูกวิธี จนได้รูปร่างตรงตามที่ได้คำนวณไว้

หลังจากการทดสอบพบว่า เลนส์ที่ได้มีความคลาดทรงกลมเหลืออยู่ค่อนข้างมาก แต่เมื่อลองลดขนาดของหน้ารับแสงลงให้เหลือครึ่งหนึ่ง ปรากฏว่าความคลาดทรงกลมจะลดลงไปประมาณ 80 % ของครั้งแรก ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ที่ได้จากเลนส์เมื่อลดขนาดของเลนส์หน้ารับแสงลงแล้วชัดเจนดีกว่าที่ได้เมื่อให้แสงเข้าเต็มหน้า

Thesis Title Construction and Test of a Telescope Objective

Name Mr. Chacorn Vipusanavanish

Thesis Advisor Assistant Professor Rachanee Rukveeradham, Ph.D.

Department Physics

Acadamic Year 1978

ABSTRACT

A preliminary survey of the annulment of aberration will be helpful in lens design. Utilizing the theory of aberration, lenses can be constructed with the undesirable aberrations reduced to zero.

In designing the telescope objective for monochromatic observation, there are two important aberrations to be considered, i.e. spherical aberration and coma. The objective is designed to eliminate coma completely, and to reduce spherical aberration down to minimum. The use of a narrow bandpass filter in observation makes the correction of chromatic aberration unnecessary.

The lens were grinded and polished by hand. This lens-making technique required the use of two discs of glass of equal size, one as the work and the other as a grinding tool. The work was fixed on the supporting stand, and the tool was placed above the work. Then pressure was applied to the center of the tool with hand, and the tool was moved in the proper directions. By this particular control, the proper shapes of

the lens were obtained. The polishing of the lens' surface followed the same method, using a pitch lap.

It was found that there remained a considerable amount of the residual spherical aberration. When the aperture was reduced to half, the spherical aberration was decreased by about 80%. The solar image photographed at half aperture was of a better quality than that at full aperture.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี รักวีรธรรม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเสนอแนะให้แนวความคิดในการวิจัย พร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งทางด้านทฤษฎี และอุปกรณ์ในการวิจัย นอกจากนี้ ผู้เขียนยังได้รับความกรุณาจากศาสตราจารย์ ดร.ระวี ภาวิไล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ เจริญกูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ โชวเจริญสุข ในการให้ยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในงานวิจัย พร้อมทั้งได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือด้วย จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณสุนทรี ทองประเสริฐ ที่ได้ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอบคุณเพื่อน และน้องทุก ๆ คน ที่ช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
รายการตารางประกอบ ..... ฎ
รายการรูปประกอบ ..... ฐ
บทที่
1. บทนำ 1
1. วัตถุประสงค์ 1
2. วิธีดำเนินงาน 1
3. แก้วทางทัศนศาสตร์ 2
4. เลนส์หน้ากล้องของกล้องโทรทรรศน์ 3
2. ทฤษฎีของความคลาด 7
1. ความคลาดของระบบทัศนศาสตร์ 7
2. ความคลาดทรงกลม 14
3. โคมา 16
4. แอสติกมาติซึม 19
5. ความคลาดโค้ง 22
6. ความบิดเบี้ยว 24
7. ความคลาดรงค์ 27
3. หลักการออกแบบเลนส์ 31
1. ค่าคงที่ของแก้ว 31
1.1 วิธีหาค่ากรรชนีหักเห 31

บทที่		หน้า
	1.1.1 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลื่อนได้	31
	1.1.2 โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์	33
	1.1.3 โดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์	36
	1.2 วิธีหาค่าวี	38
	2. การออกแบบรูปร่างของเลนส์	39
	2.1 การติดตามรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ	39
	2.2 การติดตามรังสีมุขสำคัญ	46
4.	การสร้างเลนส์	50
	1. การทดลองหาค่ากงที่ของแก้ว	50
	1.1 การหาความชันหักเหของแก้วโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลื่อนได้	50
	1.2 การหาค่าความชันหักเหของแก้วโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์	51
	1.3 การหาค่าวีของแก้ว	52
	2. การคำนวณหารูปร่างของเลนส์	56
	3. การฝนและขัดใสเลนส์	66
	4. สรุป	69
5.	การทดสอบคุณภาพของเลนส์	71
	1. การทดลองหาทางยาวโฟกัสของเลนส์	71
	1.1 โดยวิธีวงแหวนของนิวตัน	71
	1.2 โดยการใช้ใบมีดตัดแสง	84
	2. การคำนวณหาปริมาณของความคลาดทรงกลมของเลนส์หน้ากล้องที่สร้างขึ้น	85
	3. การทดสอบความคลาดทรงกลมของเลนส์หน้ากล้องที่สร้างขึ้น	89
	3.1 โดยใช้ใบมีดตัดแสง	89
	3.2 โดยวิธีการทดสอบด้วยค่าว	92
	3.3 โดยวิธีของฮาร์ตแมน	95

บทที่ หน้า

4. การทดสอบกำลังแยกของเลนส์ 99

5. การทดสอบคุณภาพของเลนส์โดยการถ่ายภาพดวงอาทิตย์ 104

6. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดของเลนส์กับค่าดรรชนีหักเหของแก้ว 113

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดทรงกลมน้อยที่สุดของเลนส์กับค่าดรรชนีหักเหของแก้ว 113

2. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างที่เหมาะสมของเลนส์เกี่ยวกับค่าดรรชนีหักเหของแก้ว 125

3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมและโคมาของเลนส์กับค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่ใช้สร้างเลนส์ 129

4. สรุป 133

7. สรุปและข้อเสนอแนะ 134

เอกสารอ้างอิง 137

ภาคผนวก 138

ประวัติ 143

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลการหาค่าดรรชนีหักเหของแก้วโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลื่อนได้	51
4.2	ผลการหาค่าดรรชนีหักเหของแก้วโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์มีแสงเหลืองจากหลอดโซเดียมเป็นต้นกำเนิด	52
4.3	ผลการหาค่าดรรชนีหักเหของแก้ว โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์มีแสงสีฟ้าจากหลอดไฮโดรเจนเป็นต้นกำเนิด	53
4.4	ผลการหาค่าดรรชนีหักเหของแก้ว โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์มีแสงสีแดงจากหลอดไฮโดรเจนเป็นต้นกำเนิด	53
4.5	ผลการหาค่าดรรชนีหักเหของแก้วเมื่อใช้แสงสีต่าง ๆ	54
4.6	การคำนวณหาค่าความคลาดทรงกลมและโคมาของเลนส์เดี่ยว	63
4.7	ผลการคำนวณค่าความคลาดทรงกลมและโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.516	64
5.1	ผลการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวนนิวตันของผิวที่หนึ่งของเลนส์หน้ากล้องที่สร้างขึ้น	76
5.2	ผลการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวนนิวตันของผิวโค้งนูนที่จะใช้ช่วยในการหารัศมีความโค้งของผิวที่สองของเลนส์หน้ากล้อง	79
5.3	ผลการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวนนิวตันของผิวโค้งที่ 2 ของเลนส์หน้ากล้องที่สร้างขึ้น	81
5.4	ผลการทดลองหาทางยาวโฟกัสของเลนส์หน้ากล้องโดยใช้ใบมีดตัดแสง	85
5.5	ผลการติดตามรังสีผ่านขอบเลนส์และรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ	90
5.6	ผลการทดลองหาทางยาวโฟกัสของเลนส์หน้ากล้องเมื่อให้แสงผ่านบริเวณขอบเลนส์โดยใช้ใบมีดตัดแสง	91
5.7	ผลการทดสอบความคลาดทรงกลมของเลนส์หน้ากล้องโดยวิธีของฮาร์ตแมน	96

ตารางที่ หน้า

6.1 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงแลม และโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.400 114

6.2 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.450 114

6.3 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.500 115

6.4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.550 116

6.5 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์เดี่ยวที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.600 116

6.6 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมที่น้อยที่สุดของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเหแตกต่างกัน 117

6.7 ผลการหารูปร่างที่เหมาะสมของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเหแตกต่างกัน ... 125

6.8 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาที่เปลี่ยนแปลงตามค่าดรรชนีหักเหของแก้ว 129

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1 (ก)	ภาพจานกลมแอรี่	5
1.1 (ข)	การกระจายของความเข้มของการส่องสว่างบนฉากของภาพจานกลมแอรี่	5
1.2	กำลังแยกของเลนส์	5
2.1	ความคลาดเชิงรังสี และความคลาดเชิงหน้าคลื่น	8
2.2	ระนาบแทนเยนเชียลและระนาบซากิตตัล	9
2.3	คลื่นในบริเวณด้านภาพ	10
2.4	ความคลาดทรงกลม	15
2.5	การเกิดโคมาในระนาบแทนเยนเชียล	17
2.6	การเกิดโคมา	18
2.7	การเกิดแอสติกมาติซึม	20
2.8	เส้นแนวของภาพในระนาบแทนเยนเชียลและระนาบซากิตตัล	21
2.9(ก)	ความคลาดโค้ง	22
2.9(ข)	แอสติกมาติซึม	22
2.10	การเปลี่ยนของแอสติกมาติซึมเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะระหว่างเลนส์	24
2.11(ก)	ระบบทัศนศาสตร์ที่ไม่มีความบิดเบี้ยว	25
2.11(ข)	ภาพที่ไม่มีความบิดเบี้ยว	25
2.11(ค)	ความบิดเบี้ยวรูปถังเบียร์	25
2.11(ง)	ความบิดเบี้ยวรูปหมอนปักเข็ม	25
2.12	ความคลาดรงค์	28
2.13	ความคลาดรงค์ตามแนวนอนและแนวดิ่ง	29
2.14	เลนส์รงค์	30
3.1	ส่วนลึกจริง และส่วนลึกปรากฏของวัตถุเมื่อมองผ่านแก้ว	32
3.2	มุมเบี่ยงเบนน้อยที่สุดของปริซึม	34

รูปที่ หน้า

3.3 มุมวิกฤตในพูลฟริชรีแฟรกโตมิเตอร์ 36

3.4 การติดตามรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ 40

3.5 การติดตามรังสีใกล้แกนมุขสำคัญในผิวโค้ง 2 ผิว 45

3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดทรงกลมและโคมาเทียบกับค่าตัวประกอบของรูปร่างของเลนส์ 49

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหของแก้วกับความยาวคลื่นของคลื่นแสง 55

4.2 กราฟแสดงความคลาดทรงกลมและโคมาที่ได้จากการคำนวณ เพื่อใช้ในการออกแบบรูปร่างของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.516 65

5.1 การหารัศมีความโค้งของผิวโค้ง 71

5.2 แสดงการจัดเครื่องมือเพื่อให้เกิดวงแหวนของนิวตัน 74

5.3 กราฟแสดงการรัศมีความโค้งของผิวที่หนึ่งของเลนส์หน้ากล้อง โดยวิธีวงแหวนของนิวตัน 77

5.4 กราฟแสดงการหารัศมีความโค้งของผิวโค้งนูน โดยวิธีวงแหวนของนิวตัน 80

5.5 กราฟแสดงการหารัศมีความโค้งของผิวที่สองของเลนส์หน้ากล้องโดยวิธีวงแหวนนิวตัน 82

5.6 การติดตามรังสีขนาน 86

5.7 แสดงถึงภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบด้วยดาว 94

5.8 ก. กระดาษดำเจาะเป็นรูให้แสงผ่าน 95

ข. การทดสอบแบบฮาร์ตแมน 95

5.9 แสดงถึงภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบแบบฮาร์ตแมน 98

5.10 แสดงถึงภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบกำลังแยกของเลนส์ 101

5.11 แสดงถึงภาพถ่ายของกำลังแยกของเลนส์โดยฟิล์ม 103

5.12 การจัดเครื่องมือเพื่อใช้ในการถ่ายภาพดวงอาทิตย์เต็มดวง 104

รูปที่		หน้า
5.13	การจัดเครื่องมือเพื่อใช้ในการถ่ายภาพขนาดขยายของดวงอาทิตย์	105
5.14	แสดงถึงภาพถ่ายดวงอาทิตย์เมื่อเปิดหน้ารับแสง 10 เซนติเมตร	110
5.15	แสดงถึงภาพถ่ายดวงอาทิตย์เมื่อเปิดหน้ารับแสง 5 เซนติเมตร	112
6.1	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.400	118
6.2	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.450	119
6.3	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.500	120
6.4	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.550	121
6.5	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม และโคมาของเลนส์ที่สร้างจากแก้วที่มีดรรชนีหักเห = 1.600	122
6.6	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมที่น้อยที่สุดของเลนส์ที่ทำด้วยแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหแตกต่างกัน	124
6.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหของแก้วกับค่าตัวประกอบของรูปร่างของเลนส์ ในขณะที่โคมาเป็นศูนย์	126
6.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบของรูปร่างของเลนส์กับค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมของเลนส์ในขณะที่ค่าโคมาเป็นศูนย์ ...	127
6.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหของแก้วกับค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมของเลนส์เกี่ยวที่มีรูปร่างคงที่	131
6.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหของแก้ว กับค่าสัมประสิทธิ์ของโคมาของเลนส์เกี่ยวที่มีรูปร่างคงที่	132