หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและการสร้างโนดัลสไลดเบนช แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับทัศนศาสตร์ ได้แก่ การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบเลนส์ และส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลไก ได้แก่ การออกแบบ และการสร้างแท่นยึดเลนส์

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทัศนศาสตร์นั้น ในขั้นแรกได้ออกแบบเลนส์สำหรับคอลลิเมเตอร์ เลนส์หน้าและเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทัศน์เชิงซ้อน เลนส์ทั้งสามที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ เป็นเลนส์อรงค์ชนิดคู่ประกบของเลนส์เว้าและเลนส์นูนซึ่งต่างก็เป็นเลนส์บาง มีผิวหลังของเลนส์อันที่หนึ่งกับผิวหน้าของเลนส์อันที่สองประกบกันสนิท เลนส์นูนทำจากแก้วแบเรียมคราวน์ชนิดแน่น ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.62270 และค่าวีเป็น 56.89 และเลนส์เว้าทำจากแก้วฟลินท์ชนิดแน่นซึ่งมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.69865 และค่าวีเป็น 32.02 ได้คำนวณหารูปร่างที่เหมาะสมของเลนส์อรงค์เพื่อให้มีโคมาเป็นศูนย์และเหลือความคลาดทรงกลมน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยใช้การแกะรอยรังสีใกล้แกนและการแกะรอยรังสีมุขสำคัญใกล้แกน ในการคำนวณออกแบบเลนส์ทั้งสาม สรุปผลได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลจากการคำนวณออกแบบเลนส์ที่ให้ความคลาดรงค์เป็นศูนย์ และโคมาเป็นศูนย์

เลนส์	ทางยาวโฟกัส (มิลลิเมตร)	C_1 (ต่อมิลลิเมตร)	C_2 (ต่อมิลลิเมตร)	C_3 (ต่อมิลลิเมตร)	ความคลาดทรงกลมที่เหลือ (มิลลิเมตร)
เลนส์ - คอลลิเมเตอร์	200	-1.34×10^{-4}	-0.0185	-9.29×10^{-3}	+0.0051
เลนส์หน้า	25	+0.034287	+0.1080	-0.038941	+0.0028
เลนส์ใกล้ตา	25	0.018087	+0.0918	-0.055141	+0.0032

เมื่อได้รูปร่างของเลนส์ทั้งสามแล้ว นำแผ่นแก้วแบเรียมคราวน์ชนิดแน่นและแก้วฟลินท์ชนิดแน่นดังกล่าวมาตัดและฝนให้ได้เลนส์นูนและเลนส์เว้าที่มีผิวโค้งดังคำนวณได้ นำเลนส์ที่ทำสำเร็จแล้วมาวัดรัศมีความโค้งของผิวโดยวิธีวงแหวนของนิวตัน พบว่าแตกต่างไปจากที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบรัศมีความโค้งของผิวที่ได้ออกแบบและจากการสร้าง

	เลนส์อันที่หนึ่ง				เลนส์อันที่สอง			
	รัศมีความโค้งของผิวหน้า (มิลลิเมตร)		รัศมีความโค้งของผิวหลัง (มิลลิเมตร)		รัศมีความโค้งของผิวหน้า (มิลลิเมตร)		รัศมีความโค้งของผิวหลัง (มิลลิเมตร)	
	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง
เลนส์ - คอลลิเมเตอร์	-7.46×10^3	-3.689×10^3	-54.1	-52.82	-54.1	-52.28	-1.08×10^2	-1.158×10^2
เลนส์หน้า	+29.2	+35.26	+9.26	+12.77	+9.26	+10.81	-25.7	-18.59
เลนส์ใกล้ตา	+55.3	+38.96	+10.9	+12.91	+10.9	+13.43	-18.1	-20.31

ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากทูลที่ใช้ฝนผิวเลนส์แต่ละผิวมีค่ารัศมีความโค้งไม่ตรงกับที่ได้ออกแบบไว้ ประกอบทั้งผู้ฝนเองไม่มีความชำนาญพอ จึงทำให้ผิวเลนส์ที่ได้มีรัศมีความโค้งแตกต่างไปจากที่ออกแบบไว้

การทดสอบเลนส์ที่สร้างขึ้นในขั้นถัดมา คือ การตรวจสอบทางยาวโฟกัสของเลนส์โดยวิธีต่าง ๆ กัน ผลที่ได้ดังสรุปในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ทางยาวโฟกัสของเลนส์จากวิธีต่าง ๆ

	ทางยาวโฟกัส (มิลลิเมตร)				
	สมการเกาส์เซียน	การแกะรอยรังสี	วิธีทดสอบกำลังขยาย	วิธีทดสอบของฮาร์ตแมนน์	วิธีทดสอบด้วยคมมีดของโฟคอลท
เลนส์ - คอลลิเมเตอร์	+226.8	+226.8	+231.7±16.2	+227.2±0.6	+226.3±0.5
เลนส์หน้า	+21.7	+21.7	+20.6±1.2	-	-
เลนส์ใกล้ตา	+24.3	+24.3	+20.3±1.9	-	-

ทางยาวโฟกัสที่ได้จากสมการเกาส์เซียนและการแกะรอยรังสีนั้นเรียกได้ว่าค่าจากการคำนวณ ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่ารัศมีความโค้งของผิวที่วัดได้จากวิธีวงแหวนนิวตัน ส่วนค่าที่ได้อีก 3 วิธีหลังในตารางที่ 6.3 นั้น ได้จากการทดลอง

จากตารางที่ 6.3 เห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการคำนวณ 2 วิธีนั้น ให้ค่าตรงกัน แต่แตกต่างไปจากผลที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้คงเนื่องจากความคลาดที่มีในเลนส์ทั้งสาม

เลนส์ทั้งสามที่ออกแบบไว้นี้ ได้ทำให้ความคลาดกรงค์และโคมาเป็นศูญ แต่มีความคลาดทรงกลมเหลืออยู่บ้าง ซึ่งความคลาดทรงกลมจะไม่มีทางที่จะเป็นศูญได้ตราบเท่าที่ผิวนั้นเป็นผิวทรงกลม เนื่องจากผิวที่สร้างมีรัศมีความโค้งแตกต่างไปจากที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในตารางที่ 6.2 ดังนั้น ถ้านำค่ารัศมีความโค้งของผิวที่สร้างได้มาคำนวณหาความคลาดทรงกลมและโคมาของเลนส์ทั้งสาม ดังวิธีที่แสดงในหัวข้อที่ 2 ของบทที่ 3 จะได้ความคลาดดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ความคลาดเชิงหน้าคลื่นจากการคำนวณ

	ความคลาดทรงกลม (มิลลิเมตร)		โคมา (มิลลิเมตร)	
	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง
เลนส์ → คอลลิเมเตอร์	+0.0045	−0.002683	0	+0.003535
เลนส์หน้า	+0.0025	+0.017779	0	+0.031095
เลนส์ใกล้ตา	+0.0022	+0.009975	0	+0.034370

เมื่อนำเลนส์มาทดสอบหาความคลาดทรงกลมด้วยวิธีต่าง ๆ โดยให้แสงเข้าเต็มหน้าเลนส์ได้ผลดังนี้

เลนส์คอลลิเมเตอร์

ความคลาดทรงกลมเชิงรังสีจากวิธีทดสอบของฮาร์ตแมนน์ ได้ค่าเป็น +3.5 มิลลิเมตร

ความคลาดทรงกลมเชิงรังสีจากวิธีทดสอบด้วยคมมีดของโฟกอลท์ ได้ค่าเป็น +5.1 มิลลิเมตร

เลนส์หน้าและเลนส์ใกล้ตา

เนื่องจากขนาดของเลนส์เล็กมากไม่สามารถทดสอบได้ด้วยวิธีทั้งสอง

ใช้การแกะรอยรังสีหาความคลาดเชิงรังสีของเลนส์หน้า
ของกล้องจุลทัศน์ ได้ว่าเลนส์หน้านี้มีความคลาดเชิงรังสีเป็น −2.18 มิลลิเมตร แต่จากการแกะรอยรังสีเพื่อหาความคลาดเชิงหน้าคลื่น เมื่อรังสีตกกระทบเลนส์หน้านี้ขนานกับแกนมุขยสำคัญ ได้ว่าเลนส์หน้ามีสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมเชิงหน้าคลื่นเป็น + 0.0269 มิลลิเมตร เมื่อเปลี่ยนให้เป็นความคลาดเชิงรังสีโดยใช้ความสัมพันธ์ (2)

$$\delta 1' = - \frac{4\ {}_{0}W_{40}}{n'(u')^2}$$

ในเมื่อ $\delta 1'$ เป็น ความคลาดทรงกลมเชิงรังสี

${}_{0}W_{40}$ เป็น สัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลม มีค่าเป็น +0.0269 มิลลิเมตร

n' เป็น ดัชนีหักเหของตัวกลางด้านภาพ มีค่าเป็น 1.0

u' เป็น มุมซันของรังสีหักเห มีค่าเป็น +0.230220

ได้ความคลาดทรงกลมเชิงรังสีของเลนส์หน้าเป็น −2.03 มิลลิเมตร

อย่างไรก็ตาม ตารางที่ 6.4 แสดงว่าเลนส์ของคอลลิเมเตอร์มีความคลาดทรงกลมแก้เกิน ส่วนเลนส์หน้าและเลนส์ใกล้ตามีความคลาดทรงกลมแก้ขาด

เนื่องจากขาดเครื่องมือที่เหมาะสม จึงไม่สามารถหาโคมาของเลนส์ทั้งสามได้

สำหรับงานส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลไกของเครื่องโนดัลสไลดเบนช ก็คือ การประกอบกล้องคอลลิเมเตอร์ กล้องจุลทัศน์เชิงซ้อน การสร้างแท่นวางเลนส์ทดสอบให้หมุนรอบแกนดิ่ง มีสเกลบอกมุมที่บิดเลนส์ไป แท่นของกล้องจุลทัศน์เชิงซ้อนตั้งอยู่บนฐานเดียวกันกับแท่นวางเลนส์ทดสอบ แนวแกนของกล้องจะอยู่ในแนวราบ และผ่านแกนหมุนของแท่นวางเลนส์ แท่นของกล้องนี้สามารถเลื่อนเข้าออกตามแนวแกนของกล้องได้เป็นระยะทาง 150 มิลลิเมตร เพื่อโฟกัสได้ตามต้องการ

เมื่อประกอบทุกส่วนเรียบร้อยแล้ว ได้นำโนดัลสไลดเบนชมาลองใช้วัดทางยาวโฟกัสของเลนส์หนาอันหนึ่ง ซึ่งมีค่าทางยาวโฟกัสกำกับอยู่บนกรอบของเลนส์เป็น +190.5 มิลลิเมตร

และได้ตรวจสอบหาทางยาวโฟกัสของเลนส์นี้ โดยวิธีทดสอบกำลังขยายอีกด้วย ได้ว่าทางยาวโฟกัสของเลนส์มีค่าเป็น $+190.2 \pm 2.1$ มิลลิเมตร ค่าที่วัดได้จากโนดัลสไลดเบนช์ที่สร้างขึ้นนี้เป็น $+190.2 \pm 0.2$ มิลลิเมตร ผลที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่กำกับบนกรอบเลนส์ 0.16 เปอร์เซนต์ นับได้ว่า เครื่องที่สร้างขึ้นใช้วัดหาทางยาวโฟกัสของเลนส์หนาได้ถูกต้องพอใช้

นอกจากจะใช้หาทางยาวโฟกัสของเลนส์หนาแล้ว ยังอาจใช้โนดัลสไลดเบนช์หาความคลาดของเลนส์ได้อีกด้วย ซึ่งสมควรจะได้มีผู้ศึกษาเรื่องนี้ต่อไป