บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและสร้างเครื่องเอกรงค์ แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับทัศนศาสตร์ ได้แก่ การออกแบบ การสร้าง และ การทดสอบเลนส์ และส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลไก ได้แก่ การออกแบบและการสร้าง แท่นวางตัวกระจายแสง กล้องยึดเลนส์กับช่องแคบแผ่นสไลด์ และฐาน

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทัศนศาสตร์นั้น ในขั้นแรกได้ออกแบบรูปร่างของเลนส์คอลลิเมเตอร์ และของเลนส์โทรทัศน์ให้เป็นเลนส์คู่ประกบเพื่อลดความคลาดรงค์ จากนั้นคำนวณหารูปร่างที่เหมาะสมของเลนส์อรงค์โดยวิธีแกะรอยรังสีใกล้แกนและแกะรอยรังสีมุขยสำคัญใกล้แกนเพื่อให้ความคลาดทรงกลมมีค่าน้อยที่สุด และไม่มีโคมา เลนส์อรงค์ชนิดคู่ประกบนี้เป็นเลนส์นูนกับเลนส์เว้า มีผิวหลังของเลนส์อันแรกประกบสนิทกับผิวแรกของเลนส์อันหลัง เลนส์นูนทำจากแก้วคราวน์ชนิดแน่นที่มีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.62280 และมีค่าวีเป็น 56.90 เลนส์เว้าทำจากแก้วฟลินท์ชนิดแน่นที่มีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.69865 และมีค่าวีเป็น 32.02 คำนวณหารูปร่างของเลนส์โดยวิธีแกะรอยรังสีใกล้แกน และแกะรอยรังสีมุขยสำคัญใกล้แกนด้วยเครื่องคำนวณ คาซีโอ เอฟเอกซ์-102 แล้วใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณซ้ำเพื่อตรวจสอบผลการคำนวณอีกครั้งหนึ่ง จากนี้ได้สร้างเลนส์จากแผ่นแก้วแบเรียมคราวน์ชนิดแน่นและแผ่นแก้วฟลินท์ชนิดแน่นให้มีรูปร่างดังคำนวณไว้ นำเลนส์ที่สร้างเสร็จแล้วไปคำนวณหารัศมีความโค้งของผิวโดยวิธีวงแหวนของนิวตัน พบว่าแตกต่างไปจากที่ออกแบบไว้แสดงในตารางที่ 7.1 รัศมีความโค้งของผิวเลนส์ที่สร้างขึ้นคลาดเคลื่อนไปจากที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากรัศมีความโค้งของทูลที่ใช้ฝนเลนส์แต่ละผิวไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ และผู้ทดลองไม่มีความชำนาญในการฝนเลนส์ .

จากนั้นทดสอบหาทางยาวโฟกัสของเลนส์ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีต่าง ๆ กัน สรุปผลที่ได้ในตารางที่ 7.2 ทางยาวโฟกัสจากสมการเกาส์เซียน และจากการแกะรอยรังสีเป็นผลจากการคำนวณเมื่อทราบรัศมีความโค้งของผิวเลนส์จากการทดสอบโดยวิธีวงแหวนของนิวตัน และทราบค่าดัชนีหักเหของตัวกลางระหว่างผิวเลนส์ สำหรับทางยาวโฟกัสต่างอื่น เป็นผลจาก

ตารางที่ 7.1 รัศมีความโค้งของผิวเลนส์จากการออกแบบ และจากการสร้าง

ชื่อเลนส์	รัศมีความโค้งของผิวเลนส์ (เซนติเมตร)							
	เลนส์นูน				เลนส์เว้า			
	ผิวที่ 1		ผิวที่ 2		ผิวที่ 1		ผิวที่ 2	
	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง
คอลลิเมเตอร์	312.508	310.415	-6.960	-6.841	-6.960	-6.805	-13.699	-14.425
โทรทัศน์	16.340	15.525	-11.671	-11.421	-11.671	-11.395	-76.923	-84.345

การทดลอง จะเห็นว่า ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างไปจากผลของการทดลอง อาจจะเป็นเพราะความคลาดที่มีในเลนส์และการวัดระยะต่าง ๆ ไม่มีความละเอียดแม่นยำพอ เมื่อนำรัศมีความโค้งของผิวเลนส์ที่สร้างขึ้นไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมและ

ตารางที่ 7.2 ทางยาวโฟกัสของเลนส์จากการทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ

ชื่อเลนส์	ทางยาวโฟกัส (เซนติเมตร)						
	สมการเกาส์เซียน	แกะรอยรังสี	ทดสอบกำลังขยาย	ทดสอบด้วยดาว	ทดสอบด้วยคมมีด	วิธีของฮาร์ตแมนน์	ทดสอบกำลังแยก
คอลลิเมเตอร์	25.474	25.468	25.691	25.570	25.650	25.668	26.631
โทรทัศน์	23.991	23.984	24.273	23.940	23.940	24.931	24.293

โคมาของเลนส์คอลลิเมเตอร์และเลนส์โทรทัศน์ ด้วยวิธีเดียวกับหัวข้อที่ 2 ในบทที่ 3 จะได้ดังแสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ความคลาดทรงกลมและโคมาจากการออกแบบและจากการสร้างโดยการคำนวณ

ชื่อเลนส์	ความคลาดเชิงหน้าคลื่น			
	ความคลาดทรงกลม ($\times 10^{-5}$ เซนติเมตร)		โคมา ($\times 10^{-5}$ เซนติเมตร)	
	ออกแบบ	สร้าง	ออกแบบ	สร้าง
คอลลิเมเตอร์	9.500	4.057	0	2.944
โทรทัศน์	4.700	6.116	0	0.237

เมื่อเปิดให้แสงตกตามโซนต่าง ๆ ของเลนส์ที่สร้างขึ้น แล้วหาค่าความคลาดทรงกลมเชิงรังสีด้วยวิธีต่าง ๆ กัน จะได้ผลดังตารางที่ 7.4 เลนส์คอลลิเมเตอร์และเลนส์โทรทัศน์ต่างก็มีความคลาดทรงกลมเชิงรังสีเป็นลบ เนื่องจากขาดเครื่องมือที่เหมาะสม จึงไม่สามารถทดสอบหาโคมาของเลนส์ทั้งสองได้ ค่าความคลาดทรงกลมเชิงหน้าคลื่นจะเปลี่ยนให้เป็นค่าความคลาดทรงกลมเชิงรังสีได้ด้วยความสัมพันธ์[9]

$$\delta\ell' = -\frac{4({}_{o}W_{40})}{n'(U')^2}$$

ในเมื่อ $\delta\ell'$ เป็นค่าความคลาดทรงกลมเชิงรังสี

${}_{o}W_{40}$ เป็นสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมเชิงหน้าคลื่น

n' เป็นค่าดัชนีหักเหของตัวกลางด้านภาพ

ตารางที่ 7.4 ความคลาดทรงกลมเชิงรังสีจากผลการทดลองด้วยวิธีต่าง ๆ

ความคลาดทรงกลมเชิงรังสี (เซนติเมตร)			
เลนส์	แกะรอยรังสี	คมมีดของฟูคอลท์	อาร์ตแมนน์
คอลลิเมเตอร์	-0.017	-0.330	-0.491
โทรทัศน์	-0.028	-0.290	-0.628

U' เป็นมุมชันของรังสีหักเหผ่านผิวสุดท้าย (เรเดียน)

ในกรณีของเลนส์โทรทัศน์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความคลาดทรงกลมเชิงหน้าคลื่นเป็น $+ 6.116 \times 10^{-5}$ เซนติเมตร มุมชันของรังสีหักเหผ่านผิวสุดท้ายเป็น + 0.084 เรเดียน และค่าดัชนีหักเหของตัวกลางด้านภาพ เป็น 1.00 จะคำนวณได้ค่าความคลาดเชิงรังสีเป็น-0.035 เซนติเมตร

ในงานที่เกี่ยวข้องกับด้านกลไก ได้ออกแบบและสร้างแท่นวางตัวกระจายแสงให้เป็นแผ่นวงกลมสองแผ่นซ้อนกันสามารถปรับระดับของแผ่นบนให้เอียงทำมุมต่าง ๆ กันกับแผ่นล่างได้ด้วยสกรูสามตัว ช่วยในการปรับตัวกระจายแสงให้อยู่ในลักษณะที่ต้องการ และยังปรับแท่นวางตัวกระจายแสงให้ขึ้นลงตามแนวดิ่งได้ กล้องยึดเลนส์กับช่องแคบออกแบบและสร้างเป็นทรงกระบอกสองชั้นซ้อนกันเลื่อนเข้าออกได้ในระยะ ±5.0 ซม. เพื่อสำหรับปรับระยะโฟกัสของเลนส์ ปลายข้างหนึ่งของทรงกระบอกชั้นในยึดติดกับตัวจับช่องแคบ และที่ปลายข้างหนึ่งของทรงกระบอกชั้นนอกยึดติดกับตัวจับเลนส์ กล้องยึดเลนส์กับช่องแคบยึดติดกับแขนที่สามารถเคลื่อนไปรอบ ๆ แกนหมุนด้วยตัวยึดกล้อง ซึ่งสามารถปรับแนวแกนมุขยสำคัญของกล้องให้เอียงทำมุมใด ๆ กับแนวระดับได้ สำหรับแผ่นสเกลวงกลมได้ออกแบบและสร้างสเกล 360 ช่อง อ่านค่าได้ช่องละ 1 องศา อ่านได้

ละเอียดที่สุด 1/10 องศา ด้วยเวอร์เนียร์สเกล และในกรณีแขนของกล้องโทรทัศน์ทำให้เคลื่อนที่ไปรอบแกนได้อย่างละเอียดด้วยสกรูที่อยู่ด้านข้างแขนของกล้อง

จากการทดลองใช้เครื่องเอกรงค์ที่สร้างขึ้นกับแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ คือ หลอดโซเดียม, ฮีเลียม ปรอท และ ไฮโดรเจน จะได้เส้นสเปกตรัมสีต่าง ๆ ที่ตำแหน่งสเกลต่างกัน ซึ่งถ้าจะใช้แหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวกับเครื่องเอกรงค์นี้ สามารถใช้ตารางที่ 6.2 หรือสมการ (6.1) เลือกเส้นสเปกตรัมที่ต้องการได้

ในการทดลองวัดการสองสว่างของแสงที่ออกมาจากช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ด้วยเครื่องโฟโตมิเตอร์ โมเดล 8020 พบว่าการสองสว่างที่มากที่สุดที่ความยาวคลื่นแสง 553.5 นาโนเมตร เป็น 0.01 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการสองสว่างรวม เกรตติงที่ใช้ในการทดลองทำให้การสองสว่างรวมที่ช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ลดลงไป 3.3 เปอร์เซ็นต์ของการสองสว่างรวมเมื่อเอาเกรตติงออก และเมื่อตัดกระดาษดำให้มีช่องเปิดเท่ากับช่องเปิดของเกรตติงนี้ใส่แทนที่เกรตติง การสองสว่างรวมลดลงไป 1.1 เปอร์เซ็นต์ของการสองสว่างรวมเมื่อเอาเกรตติงออก

จากการหาความบริสุทธิ์ของแสงที่ออกมาจากช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ พบว่าเมื่อช่องแคบกว้างเกินไป ความบริสุทธิ์ของแสงจะลดลง และเมื่อช่องแคบแคบลงแสงที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น แต่ปริมาณแสงที่ผ่านช่องแคบนั้นลดลงไปด้วย ดังนั้นความกว้างของช่องแคบดังกล่าวที่จะให้ปริมาณแสงและความบริสุทธิ์ที่พอยอมรับได้จะต้องมีขนาดอยู่ในช่วง 0.018 ถึง 0.05 เซนติเมตร จึงควรเปิดช่องแคบให้กว้างอยู่ในขนาดดังกล่าวเมื่อใช้เครื่องเอกรงค์นี้

สรุปแล้วเครื่องเอกรงค์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ได้เป็นอย่างดี และให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร เมื่อจะใช้ความยาวคลื่นค่าใด ๆ ในช่วงความยาวคลื่นนี้ จะต้องคำนวณหาตำแหน่งของสเกลด้วยสมการ (6.1) เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว จึงเลื่อนกล้องโทรทัศน์ของเครื่องเอกรงค์จนเวอร์เนียร์อ่านตำแหน่งเป็นค่าของมุมได้ตามที่คำนวณไว้

ถ้าเปลี่ยนช่องแคบเปิดแสงออกเป็นเลนส์ใกล้ตา เครื่องเอกรงค์ที่สร้างขึ้นจะเป็นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งใช้สำหรับวัดมุมของปริซึม, วัดมุมเบี่ยงเบน และ คำนวณหาค่าดัชนีหักเหของแก้วที่ใช้ทำเป็นปริซึมได้ ทำนองเดียวกัน โดยการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อาจใช้เป็นสเปกโตรสโคป หรือ สเปกโตรกราฟได้ (4)