บทที่ 2

การออกแบบสร้างอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน

งานที่ทำแบ่งเป็นสามส่วนคือ งานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสง งานทางช่างกล และงานทางทัศน์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. งานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสง [2, 14, 16]

1.1 แหล่งกำเนิดของแสง แหล่งกำเนิดแสงทางทัศนศาสตร์นั้น จะหมายรวมถึงแหล่งกำเนิดของรังสีใต้แดง (infrared) แสง (light) และรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) อันเป็นย่านความถี่ในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ทางทัศนศาสตร์ครอบคลุมไปถึง[2]

การกำเนิดคลื่นวิทยุ[16] นั้นเราสามารถใช้ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายได้ แต่สำหรับแหล่งกำเนิดของแสง ต้องใช้ทฤษฎีควันตัมมาอธิบาย แม้ว่าปรากฏการณ์บางอย่างสามารถอธิบายได้ โดยคิดว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ตาม ทฤษฎีควันตัมได้กล่าวถึงการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเลคตรอนในอะตอม ซึ่งจะให้พลังงานออกมาอยู่ในรูปของโฟตอน แต่ละโฟตอนจะมีค่าพลังงานเป็น $h\nu$ โดยที่ h คือค่าคงที่ของแพลงค์ และ ν คือความถี่ของโฟตอน สำหรับธาตุหนัก ๆ โฟตอนที่มีความถี่ในย่านของแสงที่มองเห็นจนถึงอุลตราไวโอเลต จะมาจากการเปลี่ยนชั้นของอิเลคตรอนที่วิ่งอยู่ชั้นนอก ๆ ของอะตอม แต่ถ้าเป็นการเปลี่ยนชั้นของอิเลคตรอนวงใน ๆ เข้ามา ความถี่ของคลื่นที่ได้ จะอยู่ในย่านของความถี่ของรังสีเหนือม่วงตอนปลายจนถึงรังสีเอกซ์ สำหรับโฟตอนที่มีความถี่ในย่านรังสีใต้แดง ส่วนมากมาจากการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล หรือการสั่นของไอออนในของแข็ง

1.2 การแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดแสง อาจแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1.2.1 แหล่งกำเนิดแสงที่มีสเปกตรัมต่อเนื่อง แสงที่ได้จะมีสเปกตรัมเป็นแถบ มีหลายความถี่ต่อเนื่องกัน (continuous spectrum) แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ จะมีความหนาแน่นของอนุภาคสูงมาก เช่น ของแข็ง หรือแกสภายใต้ความดันสูง และมักจะให้แสงสว่างเมื่ออุณหภูมิสูงมาก ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ ได้แก่ ไส้หลอดไฟฟ้า หลอดบรรจุแกสความดันสูง เป็นต้น

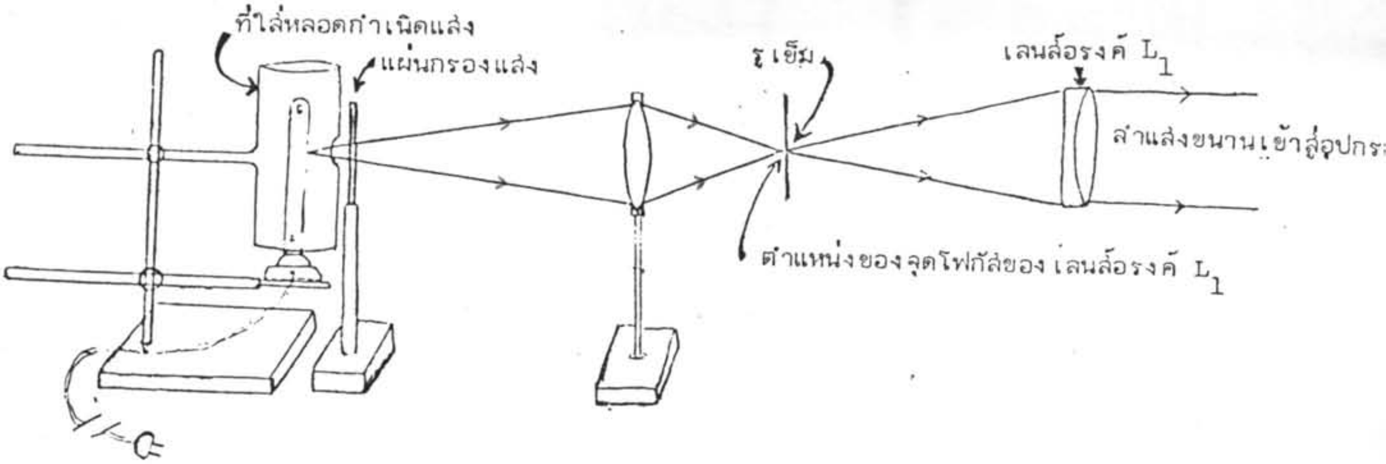
1.2.2 <u>แหล่งกำเนิดแสงที่มีสเปกตรัมเป็นเส้น</u> แสงที่ได้จะมีสเปกตรัมเป็นเส้น ๆ ไม่ต่อเนื่องกัน (line spectrum) แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้จะมีความหนาแน่นอนุภาคต่ำ อนุภาคอาจจะอยู่ในสถานะของอะตอมอิสระ โมเลกุลอิสระ หรือไอออน และจะเปล่งแสงเมื่อมีอุณหภูมิสูง หรือได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ๆ เป็นต้น ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ได้แก่หลอดไอปรอทความดันต่ำ หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ และหลอดนีออนป้ายโฆษณา

เนื่องจากแสงจากแหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้มีสเปกตรัมเป็นเส้น ๆ เราจึงสามารถใช้แผ่นกรองแสงมากรอง ให้สเปกตรัมเส้นใดเส้นหนึ่งผ่านไปได้เพียงเส้นเดียว แสงที่ได้แม้จะมีสเปกตรัมเป็นเส้นเดียว แต่ก็มีความกว้างที่สังเกตได้ด้วยสเปกโตรกราฟกำลังแยกสูง จึงยังไม่ถือว่าเป็นแสงสีเดียว (monochromatic) อย่างแท้จริง ในที่นี้จะเรียกแหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ว่า แหล่งกำเนิดแสงเกือบสีเดียว (quasimonochromatic source)

1.2.3 <u>แหล่งกำเนิดแสงสีเดียว</u> ในปัจจุบันถือได้ว่า เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่ดีที่สุด เพราะมีเส้นสเปกตรัมแคบมาก แคบกว่าแสงที่ได้จากข้อ 1.2.2 อย่างเทียบกันไม่ได้ นอกจากนี้แสงที่ได้จากเลเซอร์ยังมีความเข้มสูง และมีระยะอาพันธ์ยาวมาก เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่เหมาะสมกับอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีนอย่างยิ่ง

1.3 <u>การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงาน</u> เนื่องจากเราไม่สามารถจะหาเลเซอร์ มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในงานนี้ได้ งานที่ทำจึงใช้แหล่งกำเนิดแสงเกือบสีเดียว ที่ทำจากหลอดไอปรอทความดันต่ำ เพราะว่าหลอดดังกล่าวจะให้เส้นสเปกตรัมที่คมชัด เหตุผลประการหนึ่งที่หลอดไอปรอทความดันต่ำ ให้เส้นสเปกตรัมที่คมชัด คืออะตอมปรอทมีมวลมาก การเคลื่อนที่ของอะตอมปรอทเนื่องจากความร้อน จะช้ากว่าอะตอมของธาตุที่เบากว่า (เช่น ไฮโดรเจน หรือฮีเลียม) ดังนั้นการขยายกว้างของเส้นสเปกตรัมเนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler broadening) ในไอปรอทจึงน้อยกว่า เส้นสเปกตรัมจึงแคบ สำหรับแผ่นกรองแสงที่ใช้ประกอบกับหลอดไอปรอทนั้น ใช้แผ่นกรองแสงชนิดอีมัลชั่น (emulsion filter) สีเขียวแกมเหลือง (yellow-green)

1.4 <u>การออกแบบที่ใส่หลอดกำเนิดแสง</u> ในการออกแบบส่วนนี้ จะต้องจัดให้อากาศไหลเวียนผ่านหลอดไอปรอท เพื่อระบายความร้อนได้อย่างสะดวก และขณะเดียวกันจะต้องกั้นไม่ให้แสงจากหลอดเข้าไปรบกวนระบบของอุปกรณ์อีกด้วย ในงานนี้ ใช้เหล็กทรงกระบอกบางยาวประมาณ 18 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ซึ่งจะใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดไอปรอทประมาณ 4



รูป 2.1 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

เท่า ตรงกลางของเหล็กทรงกระบอกบางนี้ เจาะรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องให้แสงออก ตรงข้ามกับรูกลมใช้เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เชื่อมติด เพื่อทำเป็นที่ สำหรับยึดเข้ากับขาตั้ง ที่ใส่หลอดกำเนิดแสงที่ได้จัดสร้างขึ้น มีลักษณะดังแสดงในรูป 2.1 จากรูป 2.1 แผ่นกรองแสงที่ใช้ จะจัดให้ตั้งบนอีกแท่นหนึ่งต่างหาก เพื่อไม่ให้สัมผัสกับที่ใส่หลอดกำเนิดแสง เพราะที่ใส่หลอดกำเนิดแสงดังกล่าวจะร้อน ในขณะที่หลอดกำลังให้แสงสว่าง มีเลนส์นูนรวมแสงที่ผ่านแผ่นกรองแสง ไปรวมที่ตำแหน่งรูเข็ม ตำแหน่งรูเข็มนี้จะเป็นตำแหน่งของจุดโฟกัสของเลนส์อรงค์ L_1 ดังนั้นแสงที่ออกจากเลนส์อรงค์ L_1 จะเป็นแสงขนานเข้าสู่อุปกรณ์ตามต้องการ สำหรับงานที่ทำนั้น รูเข็มและเลนส์อรงค์ L_1 จะจัดให้อยู่คนละปลายของโลหะทรงกระบอกที่ปรับความยาวได้ รายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

2. งานทางช่างกล

หลักทั่วไปในการออกแบบสร้างแต่ละชิ้นงาน มุ่งจะทำให้ทุกอย่างสามารถปรับได้ เพื่อว่าการสร้างจะไม่ต้องใช้ความละเอียดมาก ชิ้นงานที่จะใช้สวมใส่ทัศนอุปกรณ์ ได้แก่เลนส์หรือกระจกนั้น ใช้ทองเหลืองทำเพื่อขจัดปัญหาเรื่องสนิมของโลหะ โลหะส่วนอื่นใช้เหล็กหล่อซึ่งหาได้ง่ายราคาไม่แพง แนวการออกแบบชิ้นงานแต่ละอย่าง ใช้วิธีสังเกตจากอุปกรณ์สำเร็จหลาย ๆ อย่าง นำมาดัดแปลง เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานและสะดวกกับการสร้าง

รูป 2.2 แสดงแบบของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น เมื่อมองจากข้างบนลงมา ในกรอบเส้นประซ้ายมือเป็นส่วนของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งกล่าวไปในตอนที่แล้ว S คือแหล่งกำเนิดแสง F คือแผ่นกรองแสง L คือเลนส์รวมแสง เพื่อให้แสงซึ่งตกที่รูเข็ม (pin hole) มีความเข้มมากขึ้น รายละเอียดของแต่ละชิ้นงานจะได้กล่าวต่อไป โดยหมายเลขของชิ้นงานจะถือตามรูป 2.2

2.1 ยืนงานหมายเลข (1) คือฐานอุปกรณ์ใหญ่ ใช้เหล็กหล่อขนาดหนา 1 เซ่นติเมตร มาเชื่อมติดกันตั้งเป็นฐาน น้ำหนักเฉพาะฐานเหล็กใหญ่นี้ประมาณ 80 กิโลกรัม (น้ำหนักรวมทั้งหมดเมื่อประกอบเสร็จประมาณ 100 กิโลกรัม) การทำให้มีน้ำหนักมากเช่นนี้ เพื่อป้องกันการสะเทือนจากสิ่งแวดล้อม มีวัสดุอย่างหนึ่งซึ่งไม่ได้เขียนลงในแบบ คือ วัสดุรองฐานอุปกรณ์กันสะเทือน ซึ่งใช้ฟองน้ำขนาดหนา โดยใช้ไม้อัดบาง ๆ วางไว้ข้างบน แล้วจึงเอาฐานอุปกรณ์ใหญ่วางบนไม้อีกครั้ง จากภาพถ่ายอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในรูป 2.3 จะเห็นวัสดุกันสะเทือนนี้ ซึ่งจะอยู่ส่วนล่างของฐาน สำหรับรูปแบบของฐานเหล็กหล่อนี้อยู่ในรูป 2.4 ก. ซึ่งจะมีรูเจาะไว้เพื่อติดฐานรอง คือชิ้นงานหมายเลข (2) และ (3)

2.2 ชิ้นงานหมายเลข (2) และ (3) เป็นฐานรองอีกชุดหนึ่ง ซึ่งติดเข้ากับแท่นเหล็กใหญ่ (รูป 2.4 ก.) โดยใช้สกรู รูปแบบของชิ้นงานดังรูป 2.4 ข. และ ค. ตามลำดับ แท่นรองหมายเลข (2) ทำเป็นคานคู่ เพื่อให้กระจกหมายเลข (6) เลื่อนเข้าออกได้ ด้านล่างที่ปลายของแต่ละข้างของคานคู่จะมีรอก ซึ่งทำไว้สำหรับคล้องเชือก เพื่อให้ผู้สังเกต ณ จุดที่ตามอง ดึงเข้าออกได้ ฐานรองหมายเลข (3) เจาะรู และมีรูเป็นส่วนโค้งของวงกลมไม่ยาวนัก เพื่อให้ตัวแบ่งแสง (ชิ้นงานหมายเลข 7) หมุนปรับมุมได้อย่างหยาบ ๆ ตรงขอบของฐานอีกด้านหนึ่ง มีรูเจาะเป็นส่วนโค้งของวงกลม เพื่อให้กระจก (6') เลื่อนไปมาในส่วนโค้งนี้ โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดซึ่งเป็นที่ตั้งของชิ้นงานหมายเลข (9) อันเป็นแท่นตั้งปริซึมหรือแผ่นแก้วที่จะตรวจสอบ

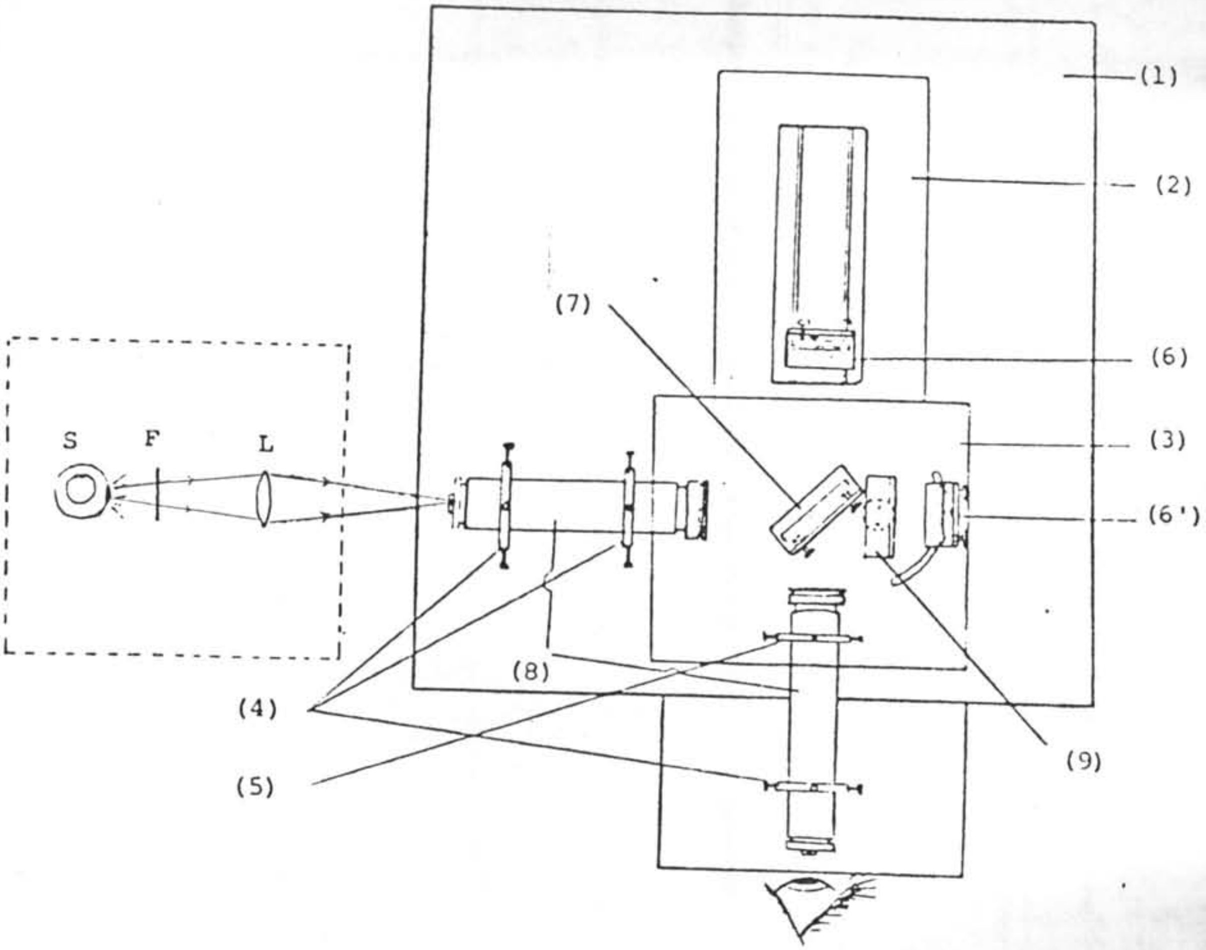
2.3 ชิ้นงานหมายเลข (4) และ (5) เป็นที่ยึดกระบอกใส่เลนส์ (ดูรูป 2.4 ง. และ จ. ตามลำดับ) สามารถปรับได้โดยใช้สกรูสามตัว ลักษณะเหมือนกันทั้งสองชิ้นงาน แต่สูงไม่เท่ากันโดยชิ้นงานหมายเลข (5) เตี้ยกว่าชิ้นงานหมายเลข (4) ดังรูป 2.4 ง. และ จ.

2.4 ชิ้นงานหมายเลข (6) และ (6') เป็นที่สวมใส่กระจกราบ ที่สามารถปรับได้ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ พิจารณารูป 2.5 ฉ. และ ช. คือชิ้นงานหมายเลข (6) และ (6') ตามลำดับ ส่วนที่จะสวมใส่กระจกของทั้งสองชิ้นนี้เหมือนกัน แต่ต่างกันตรงฐาน คือชิ้นงานหมายเลข (6) นั้น จะเซาะฐานเป็นร่องสามเหลี่ยม (ดังรูป 2.5 ฉ.) เพื่อให้วางบนคานคู่ได้อย่างมั่นคงไม่สั่นคลอน บริเวณตรงกลางของชิ้นงานส่วนล่าง จะเจาะรูร้อยเชือกแล้วขมวดเป็นปมให้ยึดปากรูทั้งสองข้าง เพื่อใช้ดึงให้กระจกเคลื่อนไปตามคานคู่ เราเจาะรูร้อยเชือกตรงกลาง ก็เพื่อกันการโยกคลอนซึ่งเกิดจากทอร์ค (torque) ขณะดึง ส่วนฐานของชิ้นงานหมายเลข (6') จะติดสกรู 2 ตัว ขนาดใกล้เคียงกับรูบนฐานหมายเลข (3) สำหรับรูป 2.5 ก. เป็นภาพเฉียง (oblique view) แสดงให้เห็นส่วนหน้าท่อนบน ของชิ้นงานหมายเลข (6) และหมายเลข (6') พร้อมกระจก รูป 2.5 ข. เป็นภาพเฉียงฉายให้เห็นส่วนหลังกรอบที่สวมใส่

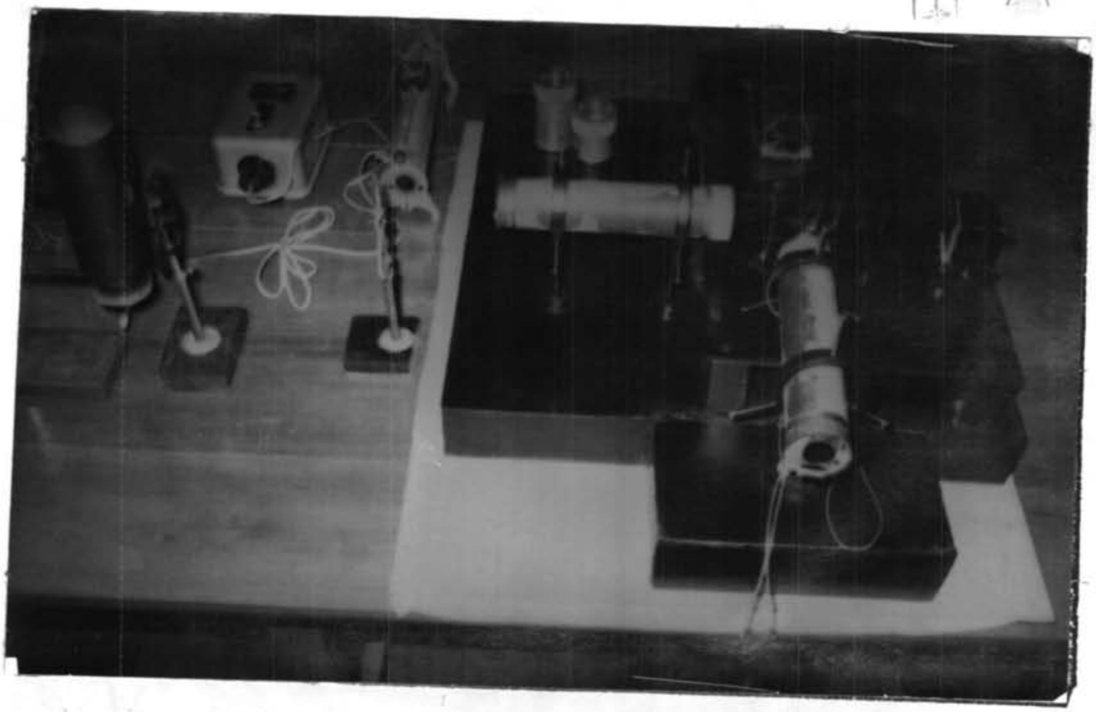
กระจกซึ่งทำด้วยทองเหลืองนั้น ติดลอยอยู่กับแท่นเหล็กฉาก โดยสปริงแข็งเป็นตัวดึง สกรู 3 ตัวซึ่งอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยมมุมฉากเป็นตัวดันและสปริงดังกล่าวจะยึดยันส่วน 2 ยันที่ตำแหน่งจุดมัธยฐานของสามเหลี่ยมนั้น วิธีการปรับมุมกระจกจะให้สกรูตรงยอดมุมฉากตรึงอยู่กับที่ ปรับอีก 2 ตัวที่เหลือ ถ้าปรับตัวบนจะเป็นการปรับมุมกระจกในแนวดิ่ง และปรับตัวล่างจะเป็นการปรับในแนวนอน รูป 2.5 ค. แสดงภาพด้านหน้าไม่มีกระจก แสดงถึงการติดสปริงเข้ากับกรอบที่สวมใส่กระจก รูป 2.5 ง. เป็นภาพตัดขวางด้านข้าง ผ่านตรงจุดที่เจาะรูติดสปริง (ตามระนาบ xx' ในรูป 2.5 ค.) รูป 2.5 จ. เป็นรูปด้านหลัง แสดงจุดที่ติดสปริงเข้ากับแท่นเหล็กฉาก

2.5 <u>ยันงานหมายเลข (7)</u> เป็นที่สวมใส่ตัวแบ่งแสง วางในแนวทำมุม 45 องศากับกระจกทั้งสอง ในลักษณะดังรูป 2.2 ยึดติดอยู่กับแท่นหมายเลข (3) โดยเจาะรูแท่นหมายเลข (3) เป็นส่วนโค้งไว้ เพื่อปรับมุมของตัวแบ่งแสงได้อย่างหยาบ ๆ แล้วจึงมาปรับมุมอย่างละเอียด ที่สกรูยึดกรอบตัวแบ่งแสง รูป 2.6 แสดงยันงานหมายเลข (7) รูป 2.6 ก. เป็นภาพเยื้อง แสดงด้านหน้าของยันงานพร้อมตัวแบ่งแสง รูป 2.6 ข. แสดงให้เห็นด้านหลังของยันงาน รูป 2.6 ค. เป็นภาพด้านข้าง จะเห็นสกรูซึ่งใช้ปรับตัวแบ่งแสง กรณีนี้ใช้สปริงซึ่งสวมอยู่ที่สกรูแต่ละตัว ดันอยู่ระหว่างกรอบที่สวมใส่ตัวแบ่งแสงกับฐานเหล็กฉาก ใช้สกรูทั้งหมด 3 ตัว ลักษณะการปรับมุมของตัวแบ่งแสง จะเหมือนกับของยันงานหมายเลข (6) คือสกรูตัวบนใช้ปรับมุมตัวแบ่งแสงในแนวดิ่ง สกรูตัวล่างใช้ปรับในแนวนอน

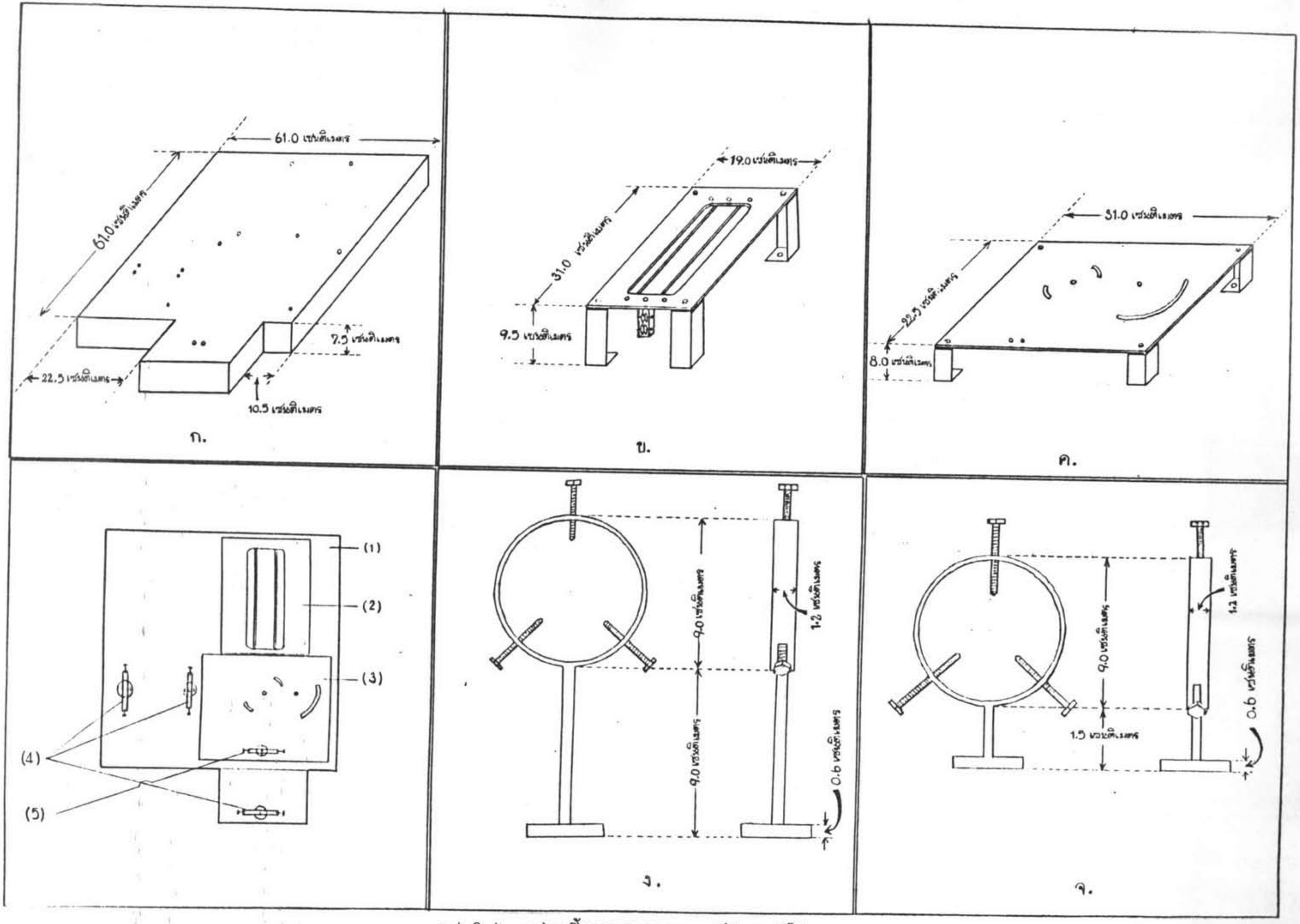
2.6 <u>ยันงานหมายเลข (8)</u> เป็นกระบอกสำหรับสวมใส่เลนส์ที่ใช้ทำแสงขนาน และรวมแสงขนานเข้าตา เนื่องจากเลนส์ที่ใช้มีขนาดความยาวโฟกัสไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการฝนที่ไม่ชำนาญ จำเป็นต้องออกแบบให้ปรับความยาวของกระบอกได้ ต้องมีอุปกรณ์ที่จะหาจุดโฟกัส โดยเฉพาะในกรณีเลนส์ตัวที่จะทำให้เป็นแสงขนาน และจะต้องทำให้สามารถเปลี่ยนขนาดของรูเข็มได้ด้วย ยันงานที่ทำแบ่งเป็นสามส่วนดังรูป 2.7 ซึ่งรูป 2.7 ก. แสดงภาพของยันงาน มี 3 ส่วนคือ กรอบที่สวมใส่เลนส์ (ทำด้วยทองเหลือง) ให้สวมเข้าพอดีในท่อเหล็กอันเป็นส่วนกลาง และส่วนสุดท้ายจะเป็นกรอบที่ใส่แผ่นโลหะบางที่เจาะรูเข็มไว้ และยังเป็นที่ใส่อุปกรณ์สำหรับหาจุดโฟกัส รูป 2.7 ข. ค. และ ง. เป็นกรอบที่สวมใส่เลนส์ โดยที่รูป 2.7 ข. เป็นภาพเยื้องของกรอบที่สวมใส่เลนส์ รูป 2.7 ค. เป็นภาพตัดขวางของกรอบที่สวมใส่เลนส์ (ตรงระนาบ xx' ของรูป 2.7 ข.) แสดงให้เห็นลักษณะการวางเลนส์ในกระบอก และรูป 2.7 ง. เป็นรูปวงแหวนเกลียวที่ใช้อัดเลนส์ ความยาวที่กำหนดเป็นตัวอักษร A ในรูป 2.7 ง. คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงใน ของวงแหวนเกลียวที่ใช้อัดเลนส์ ซึ่งก็คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดหน้าเลนส์ กรณีเลนส์ที่ซื้อมา A = 4.8 เซนติเมตร กรณีเลนส์ที่ฝนขึ้นเอง A = 4.0 เซนติเมตร กรอบที่สวมใส่เลนส์นี้จะทำ 4 ชุด คือใช้ใส่เลนส์ที่ซื้อมา 2 ชุด และใช้ใส่เลนส์ที่ฝนเอง 2 ชุด สำหรับรูป



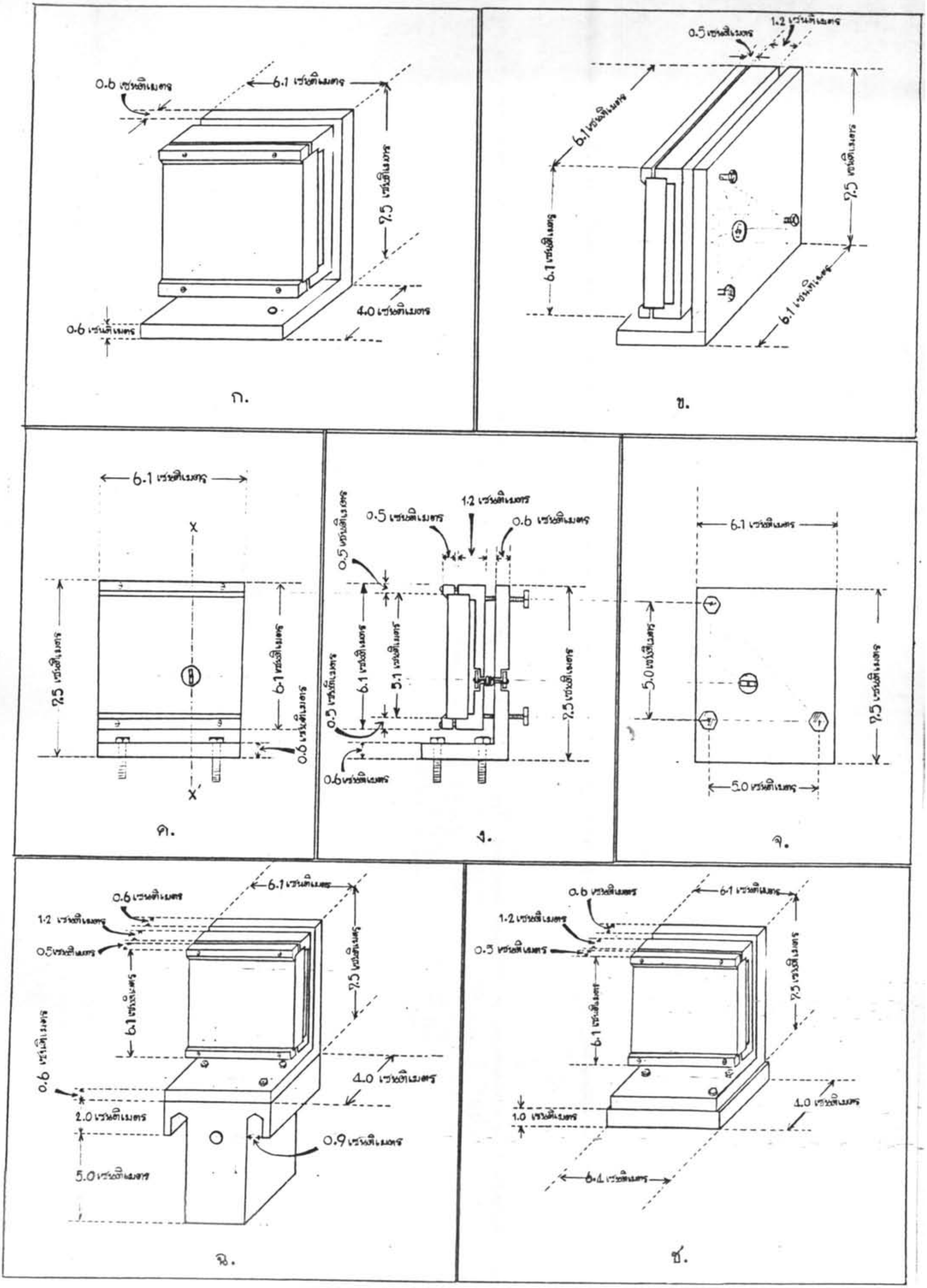
รูป 2.2 ภาพฉายส่วนบนแสดงแบบทั่วไปของอุปกรณ์



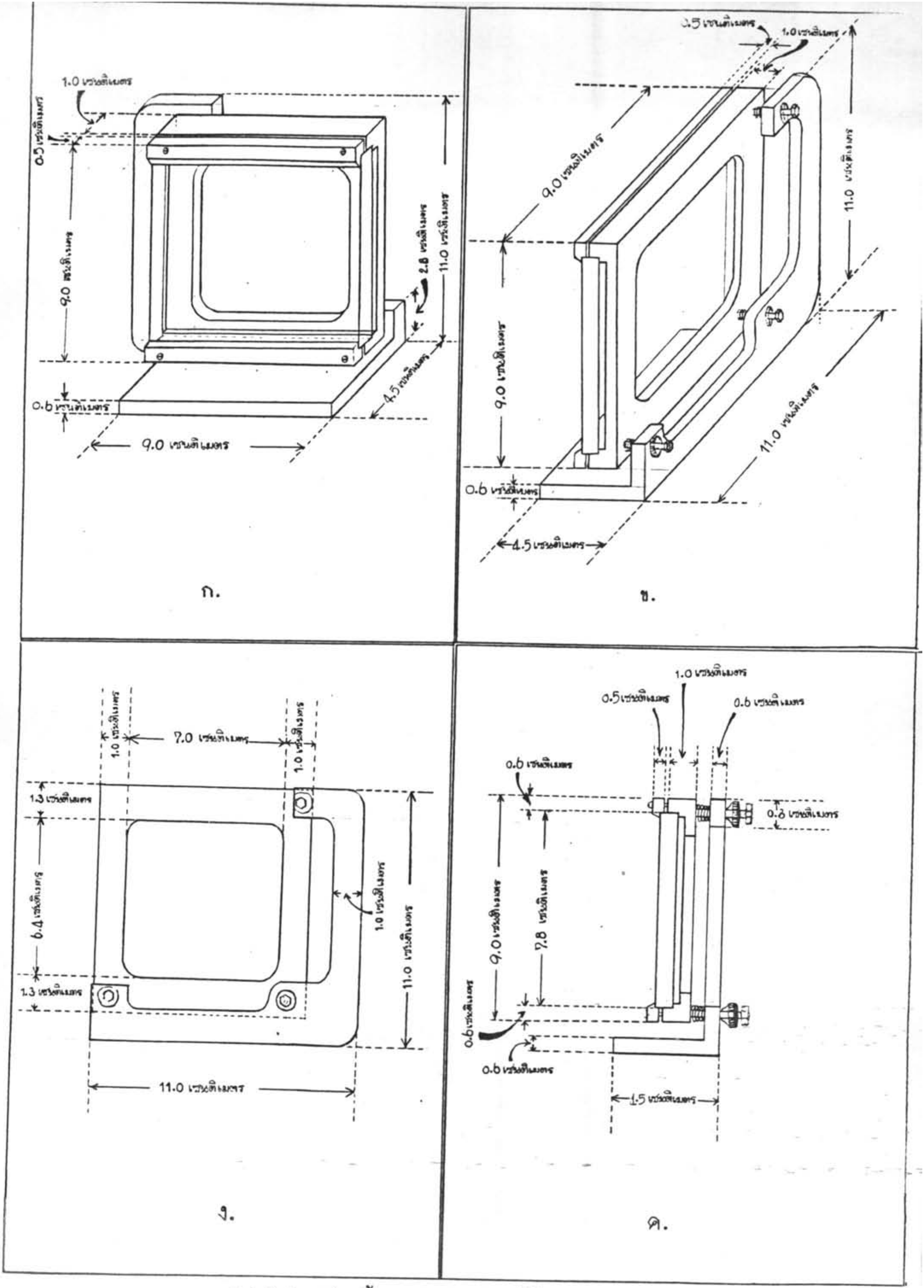
รูป 2.3 ภาพถ่ายอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีนที่สร้าง



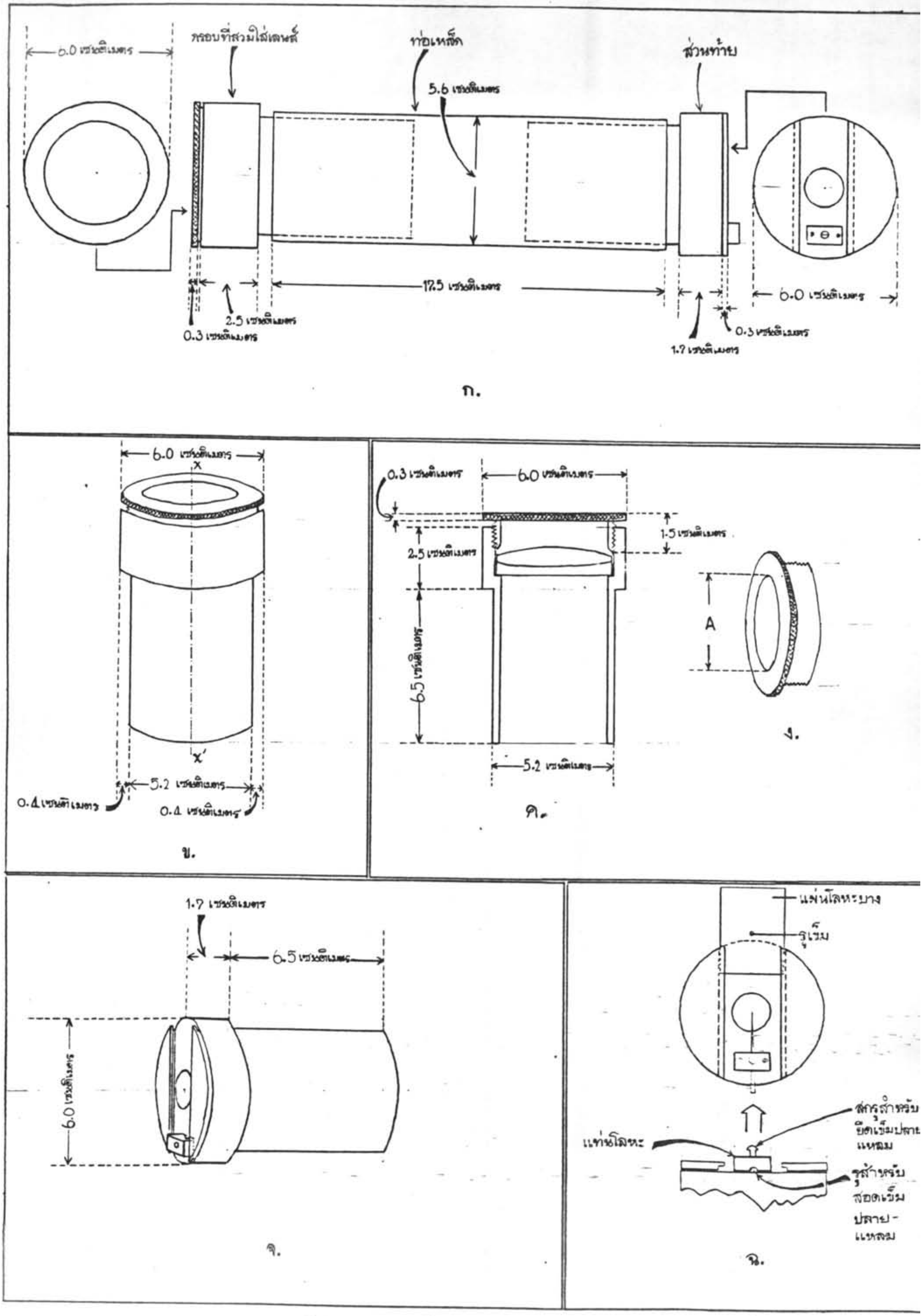
รูป 2.4 แสดงชิ้นงานหมายเลข (1) - (5)



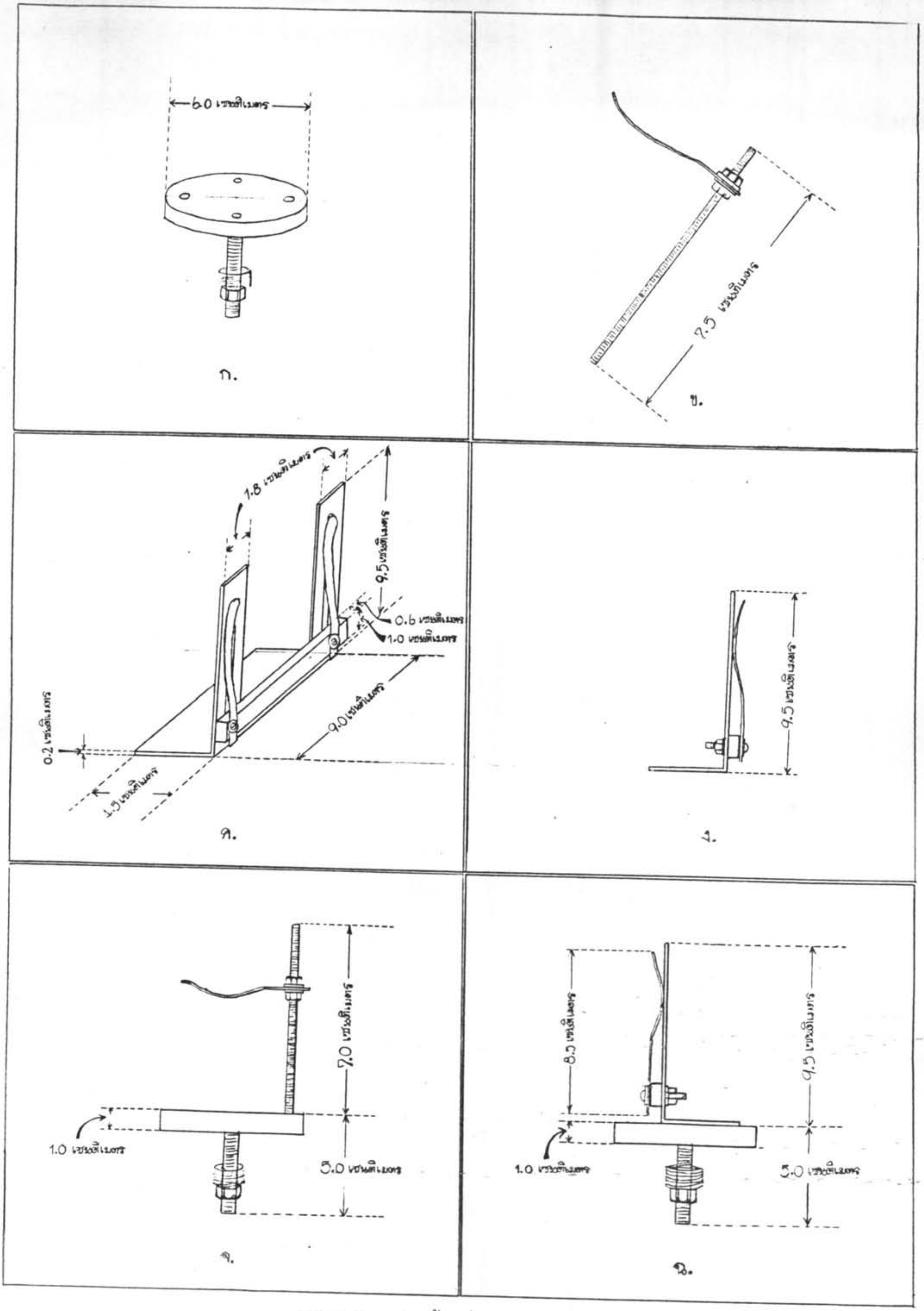
รูป 2.5 แสดงชิ้นงานหมายเลข (6) และ (6')



รูป 2.6 แสดงชิ้นงานหมายเลข (7)



รูป 2.7 แสดงชิ้นงานหมายเลข (8)



รูป 2.8 แสดงชิ้นงานหมายเลข (9)

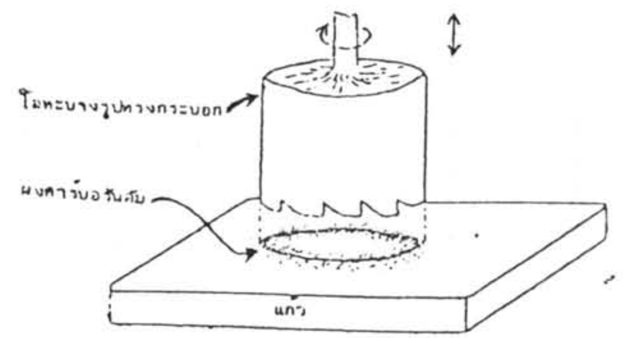
2.7 จ. และ ฉ. เป็นรูปส่วนท้ายซึ่งเป็นกรอบรูปทรงกระบอก จะทำให้เป็นร่องสำหรับสอดแผ่นโลหะบางมีรูเข็มขนาดต่าง ๆ กัน ส่วนล่างของรูป 2.7 ฉ. จะเห็นแท่นโลหะ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่รองแผ่นโลหะบางที่มีรูเข็มแล้ว ยังมีรูสอดเข็มปลายแหลมสำหรับใช้หาจุดโฟกัส เพื่อจะได้วางตำแหน่งของรูเข็มได้ตรงกับจุดโฟกัส บนแท่นโลหะดังกล่าวจะมีสกรูยึดเข็มให้แน่นด้วย

2.7 ชิ้นงานหมายเลข (9) เป็นแท่นสำหรับวางปริซึมหรือแผ่นแก้วที่จะทดสอบ รูป 2.8 แสดงชิ้นงานหมายเลข (9) รูป 2.8 ก. เป็นแท่นโลหะ ซึ่งจะยึดติดกับแท่นหมายเลข (3) แท่นโลหะนี้สามารถหมุนได้รอบตัว รูป 2.8 ข. เป็นสกรูและคลิปซึ่งจะเป็นตัวยึดปริซึม มีเกลียวสำหรับติดเข้ากับแท่นโลหะในรูป 2.8 ก. รูป2.8 ค. และ ง. เป็นที่วางกระจกซึ่งจะมีคลิปสำหรับยึด สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ มีรูสกรูที่จะติดเข้ากับแท่นโลหะในรูป 2.8 ก. และรูป 2.8 จ. และ ฉ. เป็นรูปที่ประกอบเป็นแท่นวางปริซึม และที่วางแผ่นแก้วแล้ว ตามลำดับ

3. งานทางทัศน์

สำหรับงานทางทัศน์นั้น ได้ศึกษาการฝนผิวราบ ผิวโค้ง ต้องออกแบบและสร้างเลนส์อรงค์ เพื่อใช้รวมแสงในอุปกรณ์ จำนวน 2 ตัว และฝนผิวราบ ที่จะต้องนำไปฉาบ (ซึ่งจะได้กล่าวในบทที่ 3) เพื่อทำเป็นกระจกราบสะท้อนแสงส่องแผ่น

3.1 การทำให้ได้รูปที่ต้องการอย่างหยาบ สำหรับชิ้นงานที่ทำนั้น เริ่มจากแก้วที่มีอยู่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมจัตุรัสหนา 2 เซนติเมตร ตัดออกให้หนาชิ้นละ 1 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องตัดที่เป็นจานโลหะกลมติดกากเพชรที่ขอบ และมีระบบการป้อนชิ้นงานแบบอัตโนมัติช้า ๆ ขณะตัดใช้คูลแลนท์ (coolant) (น้ำผสมน้ำมัน) หล่อเพื่อระบายความร้อน เมื่อได้แผ่นแก้วที่มีความหนาตามต้องการแล้ว นำมาตัดให้เป็นแผ่นกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร โดยใช้โลหะรูปทรงกระบอก (ทองแดง) บาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในมากกว่า 5 เซนติเมตร เล็กน้อย ปลายด้านหนึ่งของทรงกระบอกนี้ มีแกนเป็นเดือยติดตั้งได้ศูนย์กับกระบอกพอดี ใช้แกนนี้ใส่เข้ากับเครื่องเจาะในโรงงาน ปลายอีกด้านหนึ่งของทรงกระบอก ทำเป็นช่องลึกโดยใช้เลื่อยโลหะ ช่องนี้จะนำผงคาร์บอรันดัมลงไปกัดเนื้อแก้ว เพราะการที่แก้วขาดได้นั้น เกิดจากการกัดของผงขัด โดยที่โลหะทรงกระบอกที่กำลังหมุนนั้น จะเป็นตัวทำให้เกิดการเสียดสี ตลอดเวลาการตัด ที่ทำนั้น ใช้น้ำหยอด เพื่อระบายความร้อน ข้อควรระวังในการตัดโดยวิธีนี้ คือ ขณะที่แก้วกำลังจะหลุดจากกัน ควรหมั่นยกหัวตัดบ่อย ๆ หรือไม่เช่นนั้น ก็กลับผิวหน้าของแก้วอีกด้านหนึ่งขึ้นมาตัด เพื่อไม่ให้แก้วเข้าไปติดแน่นในโลหะทรงกระบอก ซึ่งจะยากต่อการเอาออก รูป 2.9 แสดงรูปโลหะบางรูปทรงกระบอกที่ใช้ตัดแก้วให้กลม



รูป 2.9 การตัดแก้วโดยใช้โลหะบางรูปทรงกระบอก

3.2 <u>การฝนผิวทางทัศน์</u> เมื่อได้แก้วเป็นแผ่นกลมตามต้องการแล้ว ขั้นต่อไป ต้องทำให้แก้วนั้นมีผิวโค้งตามต้องการ และมีผิวที่ละเอียดสม่ำเสมอพร้อมที่จะขัดใส

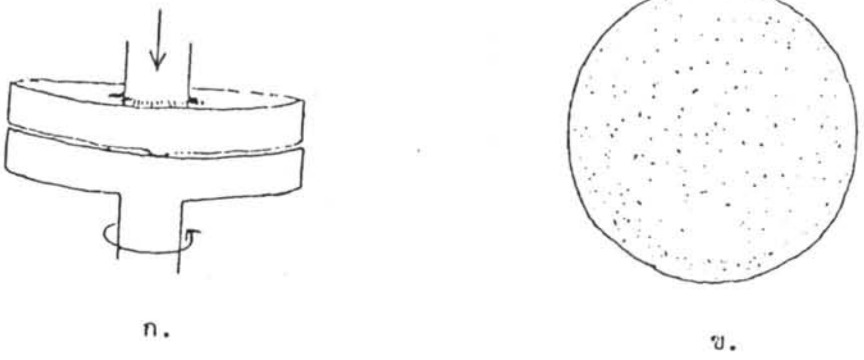
3.2.1 <u>วิธีการฝนผิวทางทัศน์</u>[6,11] การฝนผิวทางทัศน์นั้นมีหลักอยู่ว่า[11] ผิวทรงกลมหรือผิวราบเท่านั้น ที่จะสัมผัสกันตลอดเวลาไม่ว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใด ดังนั้น ถ้าผิวสองผิวถูกันด้วยผงขัดโดยมีแนวการฝนทุกทิศทุกทาง อาจจะได้ผิวทรงกลมหรือผิวราบ ไม่ว่ารูปเดิมของผิวจะเป็นอย่างไร ถ้าหากเวลาที่ใช้ขัดนั้นนานพอ

วิธีการฝน[6] ที่จะกล่าวถึง เป็นการฝนโดยมีแท่นฝน (tool) ซึ่งหมุนในแนวดิ่ง กับอีกแท่นหนึ่งอยู่ข้างบนเคลื่อนที่ไปกลับ ["ช่วงขัด" หรือ "สโตรก" (stroke)] บนผิวอันแรก หลักของการฝนแบบนี้ก็คือ ผิวทั้งสองต้องหมุนในแนวดิ่ง ขณะที่หมุน ผิวบนต้องเคลื่อนที่ไปกลับหน้าหลัง ผ่านจุดศูนย์กลางของการหมุนของผิวล่าง ในอัตราเร็วและช่วงขัดที่สม่ำเสมอตลอด จะได้ผิวฝนที่สม่ำเสมอ

คำว่า "ช่วงขัด[7]" มีความหมายดังนี้ ถ้าหากเราตั้งให้แก้วอยู่ตรงกลางของแท่นหมุนอันล่าง เราเคลื่อนที่แก้วผ่านจุดศูนย์กลางการหมุนของผิวล่าง ให้ขอบทั้งสองของแก้วที่ห่างจากตำแหน่งเดิม เป็นระยะเท่ากับรัศมีของแผ่นแก้วนั้น แล้วกลับมาที่ตั้งเดิม เรียกว่า 1 ช่วงขัด ถ้า $\frac{1}{3}$ ช่วงขัดก็หมายถึง ให้ขอบของแผ่นแก้ว ห่างจากเดิม $\frac{1}{3}$ เท่า ของรัศมีของแผ่นแก้ว เป็นต้น

เมื่อพิจารณาหลักการฝนข้างบนนั้น จะพบว่ามี 2 ประการ[6] คือ ประการแรกผิวอันล่างหมุนในแนวดิ่ง ประการที่สอง ผิวอันบนหมุนด้วย และเคลื่อนที่ไปมาหน้าหลังด้วย สาเหตุที่เป็นดังนี้นั้น เราจะพิจารณาดังต่อไปนี้

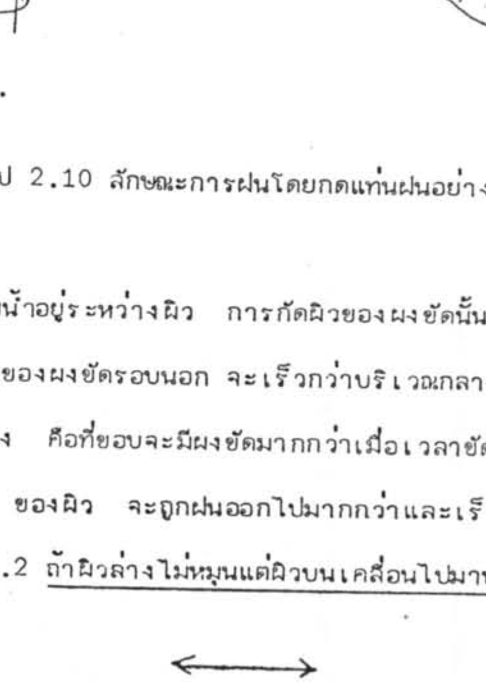
3.2.1.1 ถ้าผิวล่างหมุนอย่างเดียวโดยกดผิวบนอยู่กับที่ ดังรูป 2.10 ก.



รูป 2.10 ลักษณะการฝนโดยกดแท่นฝนอย่างเดียว

ทั้งสองผิวสัมผัสกัน มีผงขัดผสมน้ำอยู่ระหว่างผิว การกัดผิวของผงขัดนั้น จะขึ้นกับอัตราเร็วและปริมาณของผงขัด ในกรณีนี้ อัตราเร็วของผงขัดรอบนอก จะเร็วกว่าบริเวณกลาง ๆ และปริมาณของผงขัดจะเป็นสัดส่วนกับระยะจากจุดศูนย์กลาง คือที่ขอบจะมีผงขัดมากกว่าเมื่อเวลาขัดนาน ดังรูปที่ 2.10 ข. นั่นก็หมายความว่า ลักษณะนี้ขอบ ๆ ของผิว จะถูกฝนออกไปมากกว่าและเร็วกว่าบริเวณกลาง

3.2.1.2 ถ้าผิวล่างไม่หมุนแต่ผิวบนเคลื่อนไปมาหน้าหลังในแนวตรงผ่านศูนย์กลาง



รูป 2.11 ลักษณะการฝนโดยเลื่อนแท่นฝนไปมา

ลักษณะดังรูป 2.11 อัตราเร็วและปริมาณของผงขัด จะสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าสัมผัสทั้งสอง แต่มีสิ่งที่น่าสังเกตคือ ถ้าเราใช้การฝน 1 ช่วงขัดดังรูป จะพบว่า เพียงจุดศูนย์กลางของผิวเท่านั้น ที่จะสัมผัสกับอีกผิวหนึ่งตลอดเวลา โดยที่ขอบ ๆ ของผิวจะถูกฝนเพียงเมื่อผ่านจุดศูนย์กลางเท่านั้น ดังนั้น การฝนแบบนี้บริเวณกลาง ๆ จะถูกฝนออกไปมากกว่าบริเวณขอบๆ

i 17820637

ด้วยเหตุนี้ ถ้าหากเรารวมลักษณะทั้งสองเข้าด้วยกัน ก็จะได้ผิวการฝนที่สม่ำเสมอตลอดผิว

การฝนดังกล่าวนี้ ถ้าผิวบนเป็นแก้ว ขนาดของช่วงขัดและอัตราการหมุน จะเป็นตัวควบคุมรัศมีความโค้งของผิวที่ฝน กล่าวคือ ถ้าช่วงขัดสั้นบริเวณขอบ ๆ จะถูกฝนมากกว่าบริเวณกลาง ๆ แต่ถ้าช่วงขัดยาว บริเวณกลาง ๆ จะถูกฝนไปมากกว่าบริเวณขอบ ๆ การควบคุมโดยการใช้ช่วงขัดนี้ มีประโยชน์มาก(18) ในการฝนผิวหน้าของทัศนอุปกรณ์ ให้ได้ตามความต้องการ

สำหรับงานที่ทำนั้น เครื่องมือที่ใช้มีหลักการฝนเหมือนกัน โดยที่ การเคลื่อนที่ไปกลับและการหมุนของแก้วอันบน จะใช้มือหมุน การฝนใช้ 1 ช่วงขัด ฝน 3 ครั้งแล้วหมุนแก้วไปประมาณ 20-30 องศา โดยหมุนไปทางเดียวกับแท่นฝนอันล่าง แล้วที่ฝน 1 ช่วงขัดอีก 3 ครั้งดังนี้เรื่อยไป กรณีการฝนผิวราบก็ใช้ลักษณะการฝนแบบนี้ แต่แท่นฝนล่างเป็นแท่นฝนผิวราบ

3.2.2 <u>ชนิดของการฝนแบ่งตามวัสดุที่ใช้ฝน</u>(15) มี 2 วิธีคือ

3.2.2.1 <u>ฝนด้วยผงอิสระ</u> (loose grain) ผงขัดอิสระจะลอยอยู่ในน้ำ แล้วเทลงบนแท่นฝน ผงขัดพวกนี้จะกลิ้งไปมาระหว่างผิวทั้งสองในทุกทิศทาง ขอบคม ๆ ของผงขัดพวกนี้ จะถูกกดลงให้ขูดผิวแก้วเป็นรอย รอยแตกที่เกิดนี้จะเกิดใกล้ ๆ กัน แต่ละรอยจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องทั่วผิว ผิวจะแตกออกทางข้าง ๆ ของรอย และรอยแตกนี้ จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอัตราเร็วสัมพัทธ์ของการฝนและแรงที่กด ดังนั้น ผงขัดละเอียดก็อาจจะทำให้เกิดรอยใหญ่ได้ จะเห็นได้ว่าการฝนด้วยผงขัดอิสระเป็นการฝนที่ควบคุมได้ยาก

3.2.2.2 <u>ฝนโดยใช้หัวขัด</u> (bounded grain) หัวขัดที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือหัวขัดซึ่งมีกากเพชร ติดที่ขอบปลายของเหล็กรูปทรงกระบอก มีอายุการใช้งานสูงรูปคงทน การฝนโดยใช้หัวขัดนั้น จะควบคุมการฝนได้ดีกว่าผงขัดอิสระมาก เพราะรอยที่หัวขัดขูดผิวแก้วนั้นไม่ลึกมาก ความลึกของรอยที่ผิวแก้ว ขึ้นกับชนิดของแก้ว และเราสามารถควบคุมความเร็วสัมพัทธ์ และแรงกดที่หัว ขัดได้และที่สำคัญคือ รอยขีดที่เกิดขึ้น จะไม่ลึกเหมือนรอยจากผงขัดอิสระ ทั้งนี้เพราะ แรงที่ฝนโดยหัวขัดกากเพชรจะมีแนวขนานกับผิวแก้ว(15)

จากการพิจารณาการฝนทั้งสองวิธี(15) จะพบว่า การฝนทั้งสองอย่างนั้นต่างกันที่ทิศทางของแรง กล่าวคือ การฝนโดยใช้ผงขัดอิสระ ผงขัดจะถูกกดในแนวตั้งฉากกับผิว ทำให้ผงเข้าไปในเนื้อแก้วก่อให้เกิดการแตกของผิวแก้ว แต่การฝนโดยใช้หัวขัด แรงที่ผงขัดกระทำกับผิว จะกระทำในแนวสัมผัสกับผิวตลอดเวลา ดังนั้น เม็ดของผงขัดจะไม่ฝังที่ผิวของแก้ว แต่จะอยู่ข้างนอก ซึ่งจะตรงกับความต้องการในการฝน ที่ต้องการจะฝนเอาบริเวณที่ไม่ต้องการออก

สำหรับชิ้นงานที่ทำนั้น เราจะใช้วิธีฝนทั้งสองวิธี คือ การฝนอย่างหยาบจะใช้หัวขัดกากเพชร และเมื่อฝนอย่างละเอียดจะฝนด้วยผงขัดอิสระ โดยฝนกับแท่นฝนที่มีรัศมีความโค้งตามต้องการ

3.2.3 ขั้นตอนการฝน แบ่งเป็น

3.2.3.1 การฝนอย่างหยาบ เป็นการฝนที่ต้องการลดผิวของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว อย่างกรณีแผ่นแก้วสี่เหลี่ยมราบ หลังจากตัดให้กลมแล้ว จะทำให้มีรัศมีความโค้งใกล้เคียงกับที่เราต้องการ การฝนในขั้นตอนนี้ ผิวของแก้วอาจจะกระเทาะเป็นร่องรอยได้ วิธีการฝนนั้นแบ่งเป็น 2 วิธีดังกล่าวแล้ว

โดยใช้ผงขัดอิสระ ที่มีชื่อทางการค้าว่าคาร์บอรันดัม (carborundum) มีลักษณะแข็งคมแต่เปราะ เหตุดังกล่าวนี้ จึงไม่ควรจะกดแรงมากขณะฝนในขั้นนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผงขัดชนิดหยาบนี้ประมาณ 200-500 ไมโครเมตร[15] การฝนผิวโค้งให้ได้ตามความต้องการ โดยใช้ผงขัดอิสระกับแท่นฝน จะใช้เวลามากปัจจุบันเราไม่นิยมใช้

โดยใช้หัวขัดกากเพชร วิธีนี้นอกจากจะเร็วแล้วยังประหยัดกว่า การฝนให้ผิวโค้งตามต้องการโดยวิธีนี้ ใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะคร่าว ๆ ดังรูป 2.12 ก. และรูป 2.13 ก. ซึ่งทั้งสองรูปนั้น ๆ A จะเป็นที่วางเลนส์ ในการกลึงแต่ละแนว แท่น A จะหมุนช้า ๆ 1-2 รอบ, C เป็นทรงกระบอกโลหะขอบ ๆ อัดติดด้วยกากเพชรโดยรอบ หน้าตัดของขอบกากเพชรเป็นรูปครึ่งวงกลมรัศมี r , ทรงกระบอก C จะหมุนเร็วมากรอบแกน B , D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหัวขัด C , หัวขัด C จะเลื่อนกัดเลนส์ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสัมผัสกับเลนส์ที่จุดยอด S , ϕ คือมุมระหว่างแกนหมุนของแท่น A กับหัวขัด C , ผิวที่กลึงได้จะมีรัศมีความโค้ง R การใช้หัวขัดกากเพชรฝนผิว แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีใช้หัวขัด ฝนผิวนูนดังรูป 2.12 และกรณีใช้หัวขัด ฝนผิวเว้าดังรูป 2.13

รูป 2.12 แสดงลักษณะของการจัดหัวขัด ในการฝนผิวนูน รูป 2.12 ก. แสดงการวางเลนส์บนแท่นที่วางเลนส์ A ส่วนรูป 2.12 ข. แสดงรายละเอียดของระยะต่าง ๆ จากรูป 2.12 ข. สามารถหาความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{D}{2} = (R+r)\sin\phi$$

$$\sin\phi = \frac{D}{2(R+r)} \qquad \text{-----------(2-1)}$$

รูป 2.13 แสดงลักษณะของการจัดหัวขัด ในการฝนผิวเว้า รูป 2.13 ก. แสดงการวางเลนส์บนแท่นที่วางเลนส์ A ส่วนรูป 2.13 ข. แสดงรายละเอียดของระยะต่าง ๆ จากรูป 2.13 ข. สามารถหาความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{D}{2} = (R-r)\sin\phi$$

$$\sin\phi = \frac{D}{2(R-r)} \qquad \text{---------------(2-2)}$$

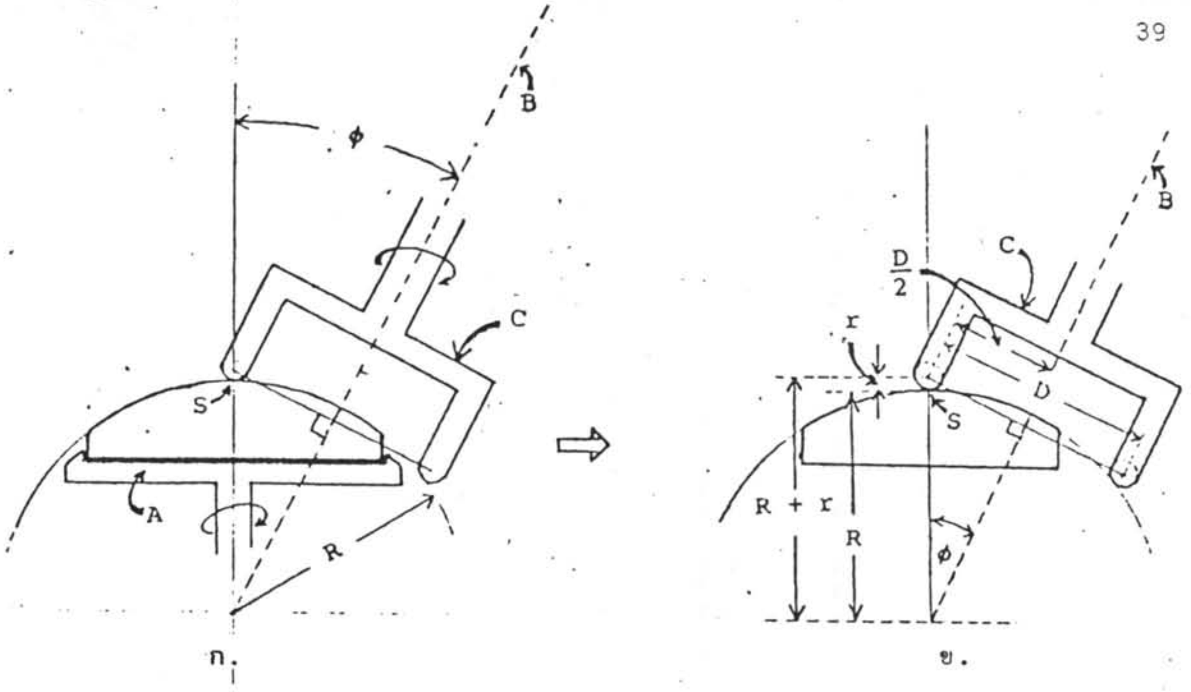
สมการ (2-1) และ (2-3) สามารถนำมาเขียนรวมกัน ได้ดังนี้

$$\sin\phi = \begin{cases} \dfrac{D}{2(R+r)} & \text{กรณีผิวนูน---------------(2-3 a)} \\ \dfrac{D}{2(R-r)} & \text{กรณีผิวเว้า -------------(2-3 b)} \end{cases}$$

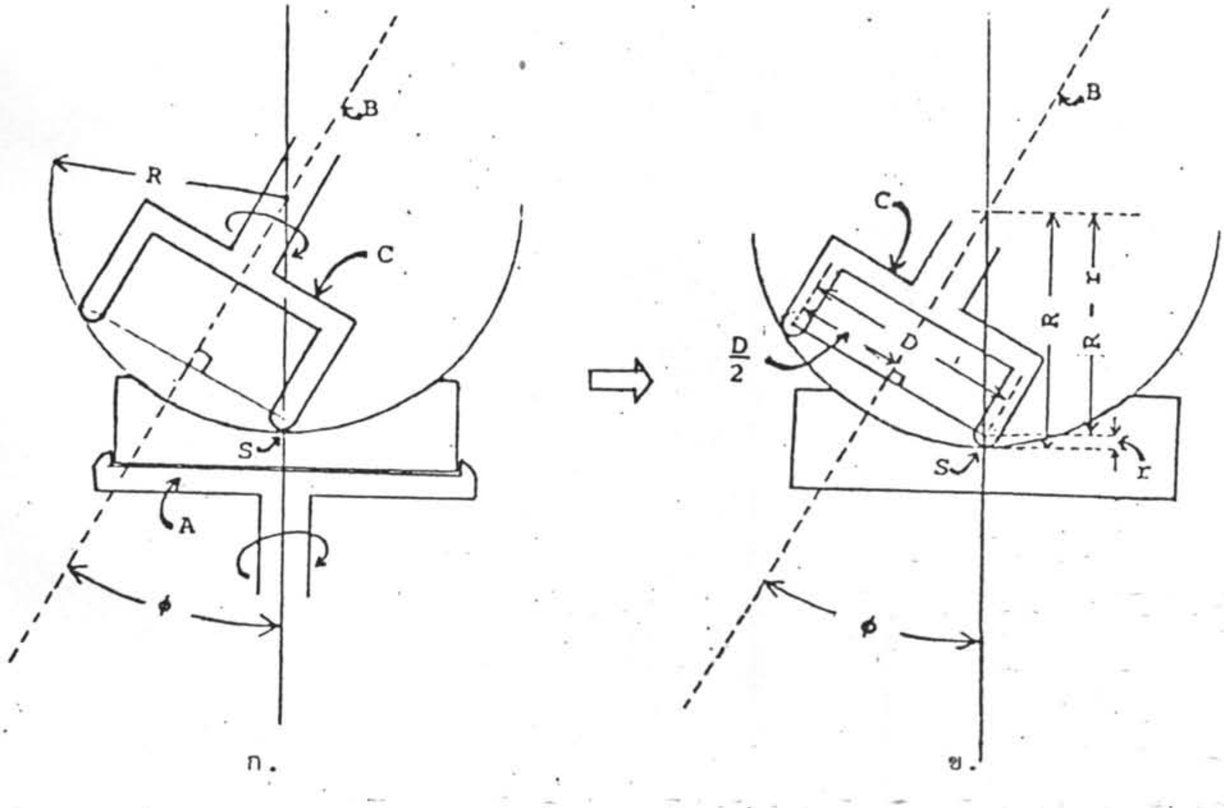
สมการ (2-3 a) และ (2-3 b) เป็นสมการที่ใช้หามุม ϕ ซึ่งเป็นมุมที่แกนหมุนของหัวขัดทำกับแนวดิ่ง ค่า R ค่าหนึ่งจะให้มุม ϕ ดังสมการ (2-3 a) หรือ (2-3 b) การตั้งมุมนี้ต้องละเอียดพอสมควร เลนส์ติดอยู่บนแท่น A ซึ่งอาจจะใช้ที่ยึดหรือใช้ระบบสูญญากาศ การฝนในตอนแรกสามารถจะป้อนชิ้นงานคราวละมาก ๆ ได้ เพราะพื้นที่ที่กัดยังมีน้อยอยู่ แต่ต่อ ๆ ไป ควรจะลดลงกว่าเดิม และต้องมีคูลแลนท์คอยระบายความร้อนด้วย ลักษณะของผิวเลนส์ที่ฝนโดยวิธีนี้ จะเป็นฝ้าหลุมละเอียดเล็ก ๆ ที่มีขนาดเท่า ๆ กัน อุปกรณ์มีข้อเสียที่ว่า จะตั้งศูนย์ (centring) เลนส์ไม่ได้ แต่ก็มีข้อดีคือด้วยอุปกรณ์เดียวกันนี้ เราฝนเลนส์ได้ทุกรัศมีความโค้ง เพราะเราตั้งมุม ϕ ได้ และถ้าตั้ง $\phi = 0$ อาจจะใช้เจาะแก้วหรือฝนผิวราบได้

สำหรับชิ้นงานที่ทำนั้น เราจะฝนอย่างหยาบโดยใช้หัวกากเพชร ซึ่งกำหนดค่าของรัศมีความโค้งของผิวที่จะฝน โดยสมการ (2-3 a) และ (2-3 b)

3.2.3.2 <u>การฝนอย่างละเอียด</u>[15,18] เป็นขั้นตอนที่ใช้ฝนผิว ให้ได้ถูกต้องตามความต้องการ และพร้อมที่จะขัดใส หลังจากที่ฝนอย่างหยาบ ด้วยหัวขัดกากเพชรแล้ว การฝนอย่างละเอียดนี้ จะใช้แท่นฝนที่หมุนในแนวดิ่ง ชิ้นงานคือแก้วอยู่ข้างบน ซึ่งควบคุมการหมุนและเคลื่อนไปกลับด้วยมือ ทุกขั้นตอนของการฝนต้องใช้คูลแลนท์ (แต่งานที่ทำจะใช้น้ำ) เพื่อระบายความร้อน และน้ำยังช่วยให้เกิดการกัดผิวมากกว่าการที่จะฝนแห้ง ๆ[6] แท่นฝนที่ใช้นั้นเป็นเหล็กอ่อน ซึ่งมีรัศมีความโค้งเท่ากับ

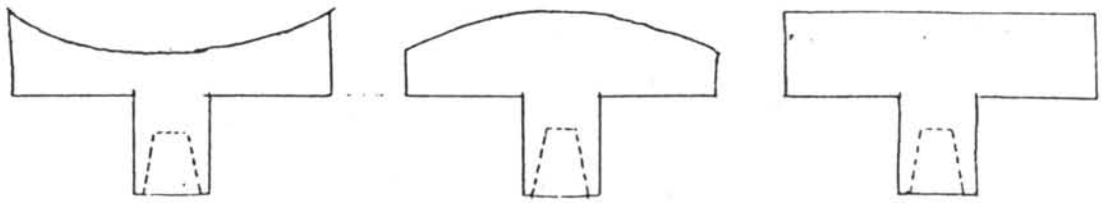


รูป 2.12 การฝนผิวนูน โดยใช้หัวขัดกากเพชร



รูป 2.13 การฝนผิวเว้า โดยใช้หัวขัดกากเพชร

ผิวที่เราต้องการ แท่นฝน ผิวทรงกลมที่ใช้ฝน แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ แท่นฝนผิวนูน แท่นฝนผิวเว้า และแท่นฝนผิวราบ ดังรูป 2.14 ซึ่งรูป 2.14 ก. เป็นแท่นฝนผิวนูน ที่ใช้สำหรับฝนผิวนูน



ก. แท่นฝนผิวนูน ข. แท่นฝนผิวเว้า ค. แท่นฝนผิวราบ

รูป 2.14 แท่นฝนที่ใช้ฝนผิวแบบต่าง ๆ

รูป 2.14 ข.เป็นแท่นฝนผิวเว้า ที่ใช้สำหรับฝนผิวเว้า และรูป 2.14 ค. เป็นแท่นฝนผิวราบ เป็นแท่นที่ใช้สำหรับฝนผิวราบ การฝนอย่างละเอียดที่กระทำนั้น จะฝนโดยใช้ผงขัดอิสระ ฝนกับแท่นฝน ดังได้กล่าวไปแล้ว ผงขัดที่ใช้มีชื่อว่า เอมิรี่ (emery = Al_2O_3) ฝนให้ผิวละเอียดมากขึ้น จนมีสภาพพร้อมที่จะขัดใส ผงขัดดังกล่าวนั้นจะมี 2 ขนาด[15] คือ

อย่างละเอียดปานกลาง	มีเส้นผ่าศูนย์กลาง	30-80	ไมโครเมตร
อย่างละเอียด	มีเส้นผ่าศูนย์กลาง	5-20	ไมโครเมตร

ขนาดของผงขัดในขั้นนี้นับว่าสำคัญ ถ้าผงขัดมีขนาดใหญ่ อาจจะทำให้เกิดรอยขีดที่ผิว ควรตรวจดูขนาดของผงขัดนี้บ่อย ๆ การฝนนั้นจะใช้ขนาดของช่วงขัด 1 ช่วงขัด ฝน 3 ครั้ง แล้วจึงหมุนแก้ว (ตามการหมุนของแท่นฝน) ไปประมาณ 20 - 30 องศา แล้วก็ฝน 1 ช่วงขัด อีก 3 ครั้ง ดังนี้เรื่อยไป

3.2.3.3 <u>การขัดใส</u> หลักการขัดใสนั้นเหมือนกับการฝนเลนส์ แต่แท่นที่ขัดใสเราจะใช้พิทช์ (pitch) และพิทช์ที่ใช้มี 2 อย่าง คือ พิทช์ยางมะตอยบริสุทธิ์ผสมยางสน ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และพิทช์แบบ เบอร์กันดี (burgundy pitch) ขนาดและจำนวนช่วงขัดที่ใช้เหมือนกัน คือ 1 ช่วงขัด สิ่งที่สำคัญในการขัดใส ก็คือ ต้องพยายามทำรูปของพิทช์ ให้แนบสนิทกันดีกับผิวของชิ้นงาน ถ้าทำให้สัมผัสกันจริง ๆ แล้ว จะช่วยให้การขัดใสดำเนินไปได้เร็วขึ้น สำหรับการเตรียมแท่นพิทช์นั้น เราจะ

หล่อพิทช์บนแท่นฝนเหล็กอ่อน ที่ใช้ฝนละเอียดผิวนั้น แล้วหลอมให้เข้ารูปโค้งของผิวเลนส์ โดยใช้ไฟลนพิทช์ให้อ่อนตัว แล้วใช้ผิวของเลนส์ที่จะขัดใส่จุ่มน้ำอุ่น ค่อย ๆ กดคลึงให้ทั่วผิว จนแน่ใจว่าแต่ละจุดของพิทช์สัมผัสกันดีกับผิวเลนส์แล้ว จึงใช้ไฟลนพิทช์ให้อ่อน ใช้มีดจุ่มน้ำกรีดเป็นร่องลึก และกว้างเป็นตารางสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เท่า ๆ กัน แล้วทำให้ผิวของพิทช์ สัมผัสกับผิวเลนส์อีกครั้งหนึ่ง ร่องที่กรีดด้วยมีดให้ลึก เพื่อแบ่งหน้าพิทช์ให้เป็นหน้าสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ไม่ควรแบ่งให้สมมาตร การกรีดแบ่งดังกล่าวมีเหตุผล 3 ประการ คือ เพื่อให้ผงขัดและน้ำกระจายไปทั่วผิว เพื่อให้อากาศผ่านได้ ไม่ให้เกิดการติดแน่นระหว่างผิวแก้วกับผิวของพิทช์ และสุดท้ายร่องดังกล่าว จะเป็นที่ไหลลงมาของพิทช์ขณะขัดใส ร่องนี้ควรทำให้ลึกมาก ๆ เท่าที่จะทำได้

การขัดใส เป็นขบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อน จะเป็นการรวมปฏิกิริยาเคมี ฟิสิกส์ และการฝนเข้าไว้ด้วยกัน จึงทำให้การนิยามการขัดใสเป็นไปได้ยาก แต่ผลที่สังเกตได้คือ การขัดใสต้องเป็นการทำให้ผิวของแก้วที่ไม่เรียบเป็นมันขึ้น เดิมเชื่อกันว่าการขัดใสนั้น มีขบวนการเหมือนกับการฝนหยาบหรือละเอียด และเป็นการฝนที่อยู่ในระดับละเอียดลงไปอีก ในที่สุดจะทำให้ผิวเป็นมันได้ แต่นั่นเป็นการอธิบายที่ยังไม่ชัดเจนเพียงพอ การขัดใสนั้น จะต้องมีขบวนการฝนเกิดขึ้นแน่นอน เพราะในระหว่างการขัดใส ความหนาของผิวแก้วจะลดลง อย่างไรก็ตาม ขบวนการฝนในการขัดใส จะไม่เหมือนกันเลยทีเดียว กับการฝนหยาบถึงละเอียดซึ่งเราเรียกว่า การฝนเชิงกล (mechanical abrasion) ปัจจุบันเราทราบว่า การฝนเป็นสิ่งสำคัญที่รองลงไปในขั้นตอนการขัดใส ซึ่งสิ่งที่สำคัญคือ การทำให้ผิวบริเวณยอดสูง ๆ ลาดต่ำลงมากลบบริเวณที่ต่ำกว่า ซึ่งทำให้เกิดการขัดใส ในการขัดใส วัสดุที่จะใช้หล่อหรือคลุม บนแท่นฝนเหล็กอ่อน เพื่อจะทำเป็นแท่นสำหรับขัดใส นอกจากจะใช้พิทช์ ดังได้กล่าวข้างต้นแล้ว อาจจะใช้ ผ้าสักหลาดหรือขี้ผึ้ง ก็ได้ และผงขัดใสที่ใช้ต้องละเอียดมาก ๆ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 ไมโครเมตร)[15]

อาจจะสรุปเหตุที่ทำให้ผลการขัดใสดีนั้น มีดังนี้ ประการแรก ผงขัดใสต้องเปราะร่วนเป็นผงได้เร็ว ถ้าไม่เปราะร่วน จะทำให้เกิดรอยตัดเรียบที่เรียกว่าขนแมว ประการที่สอง พิทช์ นอกจากจะขึ้นกับชนิดของพิทช์ ยังขึ้นกับความแข็งอ่อนของพิทช์ด้วย ถ้าแข็งไปทำให้เกิดรอยขนแมวและอาจทำให้ผิวบิดไปได้

สำหรับชิ้นงานที่ทำนั้น พิทช์ที่ใช้มีทั้งพิทช์ยางมะตอย และพิทช์แบบเบอร์กันดี พิทช์ชนิดหลังขัดให้ใสได้เร็วกว่าอย่างแรก การขัดใสใช้ช่วงการขัดเหมือนการฝน ผงขัดใสที่ใช้คือ ซีเรียมออกไซด์ (cerium oxide)

3.3 <u>การฝนผิวราบและการทดสอบ</u>[6,7,17,18] ผิวราบทางทัศน์ (optical flat) ได้แก่ผิวกระจกหรือผิวราบมาตรฐาน ควรทำจากควอทซ์หรือแก้วไพเรกซ์[7] (quartz or pyrex glass)

เพื่อไม่ให้ผิวหน้าบิดไป เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความหนาของผิวราบก็สำคัญ เช่นผิวราบซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 35 เซนติเมตร ควรหนาอย่างน้อย $\frac{1}{5.5}$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของผิวราบ[21] เพื่อเหตุผลอย่างเดียวกัน สำหรับความราบของผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวราบมาตรฐาน ควรจะมีความราบมากกว่า $\frac{\lambda}{8}$ [13,21]

3.3.1 <u>การฝนผิวราบ</u> แผ่นแก้วที่จะนำมาฝนให้เป็นผิวราบ เพื่อใช้จริง ๆ ในอุปกรณ์ที่สร้างมีจำนวน 2 แผ่น คือ แผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังได้ทดลองฝนผิวราบ ซึ่งเป็นแผ่นแก้วกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตรอีก 2 แผ่น เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการขัดแก้เพื่อให้ได้ผิวราบและยังมีประโยชน์ในการตีความจากริ้วการแทรกสอด ที่ได้จากอุปกรณ์ที่สร้างอีกด้วย หลักและขั้นตอนการฝน จนถึงการขัดใสได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น แต่แท่นฝนใช้แท่นฝนผิวราบ และขัดใสด้วยแท่นพิทช์ราบ

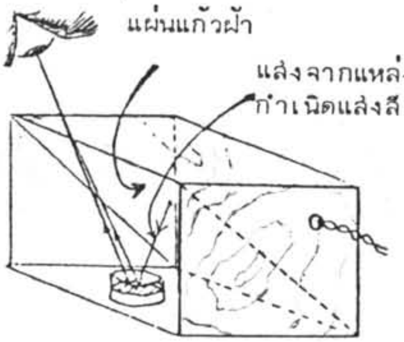
3.3.2 <u>การทดสอบผิวราบ</u> ใช้การทดสอบผิวราบโดยการแทรกสอด ในการทดสอบผิวราบโดยการแทรกสอด เราจะต้องมีแผ่นแก้วผิวราบที่ถือได้ว่าเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว นำแผ่นแก้วผิวราบที่ฝนเองและขัดใสแล้ว ไปวางประกบกับแผ่นแก้วผิวราบมาตรฐาน สังเกตริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ถ้าริ้วเป็นเส้นตรงก็แสดงว่าผิวที่เราฝนเองนั้นราบจริง สำหรับรายละเอียดในการทดสอบมีดังนี้

ถ้าเราพิจารณาแผ่นแก้วสองแผ่น เมื่อทำความสะอาดให้ดี แล้วนำมาประกบกัน อาจจะต้องออกแรงกดบ้าง วางในตำแหน่งที่ให้แสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสง เข้าตาผู้สังเกต จะพบว่ามีริ้วการแทรกสอด เป็นสีสรรอยู่ระหว่างผิวทั้งสองที่สัมผัสกัน จำนวนแถบนั้นจะไม่มาก ถ้าแหล่งกำเนิดแสงเป็นท้องฟ้าหรือหลอดไฟ แต่ถ้าใช้แสงสีเดียวในห้องมืดจะมีจำนวนริ้วมากขึ้น เมื่อกดเบา ๆ รูปของริ้วจะเปลี่ยนไป ลักษณะของริ้วจะบอกแนวความหนาบางของฟิล์มอากาศ ริ้วที่ได้เป็นริ้วของความหนาเท่า และลักษณะของริ้วจะบอกลักษณะของผิวที่นำมาสัมผัสกัน ว่า นูน เว้า หรือราบ หรือลักษณะอื่น ๆ ถ้าผิวสัมผัสอีกอันหนึ่งเป็นผิวราบมาตรฐาน ในกรณีนี้ความหนาของฟิล์มบางของอากาศ จะเท่ากันในแต่ละริ้วการแทรกสอด ความหนาจะเปลี่ยนไปมากหรือน้อยเป็นช่วง ๆ จากริ้วหนึ่งไปอีกริ้วหนึ่ง กล่าวคือ บริเวณริ้วหนึ่งจะอยู่ ณ ตำแหน่งสูงหรือต่ำจากริ้วที่สองเป็น $\frac{\lambda}{2}$ และเป็น λ จากริ้วที่สาม เหตุนี้รูปของริ้วการแทรกสอดที่ได้ จะเปรียบเสมือนแนวที่บอกถึงความสูงต่ำในแผนที่โดยมีผิวราบมาตรฐานเสมือนระดับน้ำทะเล

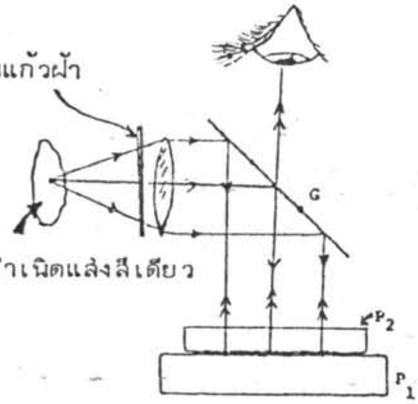
ดังนั้นการศึกษาลักษณะ และระยะระหว่างริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น จะทำให้สามารถลงความเห็นถึงลักษณะของผิวที่มาตรวจสอบว่าเป็นอย่างไร การพิจารณาว่าผิวที่นำมาตรวจสอบนั้น บริเวณใดเป็นที่นูน หรือบริเวณใดเป็นที่เว้า (เมื่อเทียบกับผิวราบมาตรฐาน) ทำได้ 2 วิธีคือ

3.3.2.1 <u>โดยการกดเบา ๆ ตรงตำแหน่งของริ้วใดริ้วหนึ่ง</u> ถ้าริ้วนั้นเคลื่อนไปบริเวณใดของผิวที่มาตรวจสอบ บริเวณนั้นจะเป็นที่เว้า ถ้าริ้วนั้นวิ่งออกจากบริเวณใด บริเวณนั้นเป็นที่นูน ทั้งนี้เพราะริ้วการแทรกสอดจะเคลื่อนเข้าหาบริเวณที่ความหนาของฟิล์มอากาศมาก

3.3.2.2 <u>โดยการมองริ้วการแทรกสอด ให้ทำมุมโตขึ้นจากแนวเส้นตั้งฉาก</u> เนื่องจากการใช้แรงกดอาจทำให้ผิวทั้งสองบิดได้ วิธีนี้ทำโดยไม่ต้องกด กล่าวคือ มองริ้วการแทรกสอดให้ทำมุมโตขึ้นจากแนวเส้นตั้งฉาก ริ้วจะเคลื่อนที่เข้าหาบริเวณที่มีความหนาของฟิล์มอากาศมาก ทั้งนี้เพราะ ณ ริ้วใด ๆ ค่า $2nt\cdot\cos\theta' = \begin{cases}(m+\frac{1}{2})\lambda \\ m\lambda\end{cases}$ จะยังคงที่ ถ้ามองด้วยมุมคงที่อันหนึ่ง แต่ถ้ามองทำมุมมากขึ้น ความหมายก็คือ θ' มีค่ามากขึ้น ค่า $\cos\theta'$ จะมีค่าน้อยลง ดังนั้นค่าของ t ที่ริ้วใด ๆ จะต้องมากขึ้น เพื่อจะให้ค่าดังกล่าวคงที่นั่นเอง จึงสรุปได้ว่า ถ้ามองมุมเอียงมากขึ้น (จากแนวดิ่ง) ริ้วเคลื่อนที่ไปบริเวณใดบริเวณนั้นจะเป็นที่เว้า ถ้าริ้วเคลื่อนออกจากบริเวณใด ผิวของบริเวณนั้นจะเป็นที่นูน แต่ถ้าผิวที่ทดสอบเป็นผิวราบจริง จะให้ริ้วการแทรกสอด เป็นเส้นตรงระยะห่างเท่า ๆ กันและขนานกัน (เกิดขึ้นเพราะมีฝุ่นแทรกอยู่ระหว่างผิว ทำให้เกิดลิ่มอากาศขึ้นระหว่างผิวทั้งสอง) ตอนที่นำมาประกบกับแผ่นราบมาตรฐานนั้น ควรปัดฝุ่นที่ผิวหน้าทั้งสองด้วยแปรงขนอูฐ เพื่อให้ผิวทั้งสองสัมผัสกันดี และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนที่ผิวทั้งสอง ควรจะวางให้แก้วแผ่นที่ใหญ่กว่าอยู่ข้างล่าง แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป ข้อสำคัญอยู่ที่ว่าผิวทั้งสองต้องสะอาดดีพอ และขอบของผิวที่มาตรวจสอบนั้น ควรจะขัดฝนให้เรียบร้อยไม่ขรุขระเพราะอาจจะทำให้เกิดรอยที่ผิวราบมาตรฐานได้ ในการทดลองนี้ จัดอุปกรณ์การตรวจสอบผิวราบดังรูป 2.15 และ 2.16



รูป 2.15 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบความราบในโรงงาน

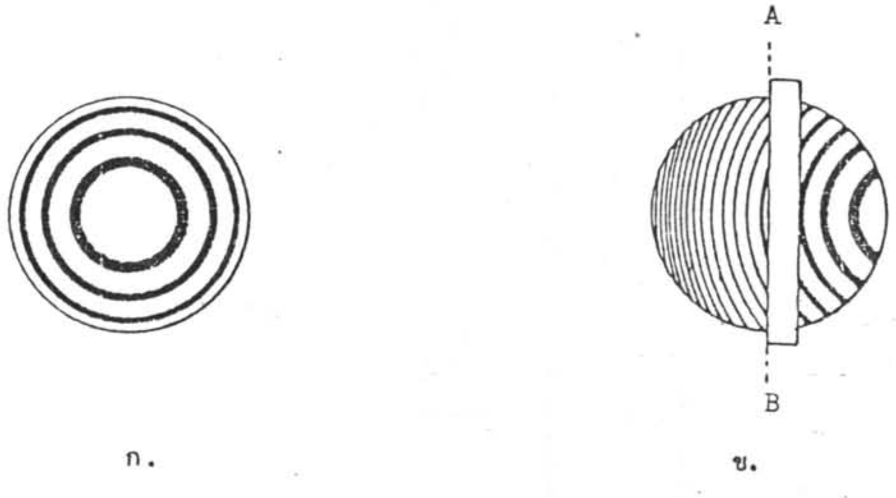


รูป 2.16 การจัดอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบความราบในห้องปฏิบัติการ

รูป 2.15 เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในโรงงาน ให้ความถูกต้องไม่ค่อยดีนัก จึงจำเป็นต้องตรวจสอบอีกครั้ง โดยจัดวางอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการดังรูป 2.16 G เป็นแผ่นแก้วใส P_1 และ P_2 เป็นผิวราบมาตรฐานและผิวราบที่จะตรวจสอบตามลำดับ แหล่งกำเนิดแสงสีเดียวที่ใช้ในอุปกรณ์สำหรับตรวจความราบในโรงงานใช้หลอดไอปรอท แต่การตรวจสอบความราบในห้องปฏิบัติการ ใช้หลอดโซเดียม เมื่อตรวจสอบจนทราบแล้วว่า ผิวแก้วของเราเว้าหรือนูน ขั้นต่อไปคือการขัดแก้ ซึ่งจะแก้ในขั้นตอนขัดใสจนได้ริ้วเป็นเส้นตรงหรือมีความสว่างสม่ำเสมอทั่วผิว ในตอนนี้ผิวของเราอาจจะราบจริง หรืออาจจะมีผิวหนึ่งเว้าผิวหนึ่งนูนพอดีกัน (ในกรณีที่ผิวราบมาตรฐานของเราบิดไป) จำเป็นต้องใช้ผิวที่สามมาตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง

3.3.3 <u>การตีความจากริ้วการแทรกสอด</u> ในระหว่างการขัดใสอยู่นั้น ต้องมีการทดสอบผิวบ่อย ๆ โดยเฉพาะเมื่อผิวที่ขัดใกล้จะเป็นผิวราบ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจผิวบ่อยขึ้นเพื่อจะได้ขัดแก้ สำหรับวิธีการขัดแก้นั้นจะได้กล่าวในตอนหลัง การตีความจากริ้วการแทรกสอดที่ได้ ที่กล่าวมาข้างต้นจะบอกได้ว่า บริเวณใดเป็นผิวเว้าหรือนูน ในขั้นนี้จะพิจารณาปริมาณของความเว้าหรือความนูน การตีความลักษณะนี้ มีวิธีทำได้สามวิธีคือ [7,17]

3.3.3.1 <u>พยายามจัดให้ริ้วกลางมาอยู่ที่จุดศูนย์กลางของผิวแก้ว</u> [17]



รูป 2.17 การตีความริ้วการแทรกสอด

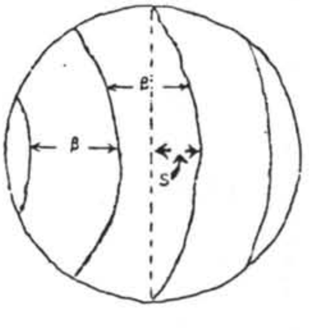
ดังรูปที่ 2.17 ก. นับจำนวนริ้วที่เหลือได้ 3 ริ้ว ถ้าเป็นริ้วของผิวเว้าจะได้ว่าผิวของเราเว้า $\frac{3\lambda}{2}$ หรือคือ บริเวณกลางของผิวต่ำจากขอบ ๆ $\frac{3\lambda}{2}$ โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของแสง ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.3.2 <u>โดยทำให้เกิดลิ่มอากาศเล็กน้อย</u>[17] แล้ววางวัตถุขอบตรง โดยให้ขอบหนึ่งผ่านเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นแก้ว (แนวเส้นตรง AB ในรูป 2.17 ข.) โดยให้เส้นนี้ขนานกับขอบลิ่ม แล้วนับจำนวนริ้วที่เส้นผ่าศูนย์กลางนั้นตัดผ่าน ดังรูป 2.17 ข. จะได้ว่าผิวของเราเว้า 3 ริ้ว

3.3.3.3 <u>ในกรณีผิวเกือบราบ</u>[7] (เมื่อเทียบกับผิวราบมาตรฐาน) อาจจะมีริ้ว 3-4 ริ้วแต่ยังไม่ตรงดังรูป 2.18 ส่วนโค้งที่เหลือเราอาจหาได้[7] โดยวัดระยะ β และ S ดังรูป 2.18 แล้วคำนวณส่วนโค้งได้คือ

$$\text{ส่วนโค้งที่เหลืออยู่} = \frac{S}{\beta}$$

ค่านี้จะเป็นเลขแสดงจำนวนเท่าของ $\frac{\lambda}{2}$ ซึ่งผิดจากผิวราบ วัดจากแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง



รูป 2.18 การหาส่วนโค้งที่ยังเหลืออยู่

โดยที่ S คือระยะแซกกิตตา (sagitta) ของริ้วที่ต่อระหว่างจุดปลายของเส้นผ่าศูนย์กลาง , β คือระยะระหว่างริ้ว , λ คือความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ในการทดสอบ

ในทางปฏิบัติแล้ว ค่าส่วนโค้งที่เหลืออยู่ มักจะบอกอยู่ในรูปของความยาวคลื่นของแสง ที่ใช้ในการทดสอบผิว (คือบอกเป็นความคลาดหน้าคลื่นที่เหลืออยู่ของผิว) เช่น วัดระยะ S ได้เป็น $\frac{\beta}{2}$ นั่นคือ ส่วนโค้งที่ยังเหลืออยู่ จะมีค่าเป็น $\frac{\beta}{2} \cdot \frac{1}{\beta} = \frac{1}{2}$ เท่าของ $\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4}$ หรืออาจกล่าวได้ว่าความคลาดเชิงหน้าคลื่นที่เหลืออยู่ ของผิวนี้มีค่าเป็น $\frac{\lambda}{4}$ โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของแสง ที่ใช้ในการทดสอบผิว

3.3.4 การสังเกตริ้วการแทรกสอด ถ้ามองเอียงทำให้เกิดความไม่ถูกต้องแน่นอน ทั้งนี้จากการทดลองของปีเตอร์ (C.G. Peter) ได้กล่าวว่า [17] ในทางปฏิบัติ ซึ่งต้องการค่าความแม่นยำดีกว่า $\frac{\lambda}{10}$ จะต้องดูริ้วการแทรกสอดด้วยตา ในแนวตั้งฉาก (หรือเกือบ ๆ ตั้งฉาก) กับจุดกลางของผิว และระยะที่สังเกต (ระยะระหว่างตากับแผ่นแก้ว) ต้องมากกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของผิว ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการอ่านริ้วการแทรกสอด น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาของฟิล์มอากาศระหว่างผิวทั้งสอง คือ ถ้าความหนาของฟิล์มอากาศ 10 λ ค่าความผิดพลาดจะไม่เกิน 0.1 λ จากหลักนี้ถือได้ว่าระยะที่สังเกตยิ่งมาก ฟิล์มอากาศระหว่างผิวก็ถือว่ายิ่งบางมาก เมื่อเทียบกับระยะที่สังเกต ความแม่น-ยำ จากการอ่านค่าก็มากขึ้น

3.3.5 ข้อพึงระวังในการทดสอบ ในการทดสอบผิวราบ มีข้อพึงระวังดังนี้

3.3.5.1 ระวังการเกิดรอยบนผิวราบระหว่างการประกบของสองผิว

3.3.5.2 มือต้องสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดรอยยึด

3.3.5.3 ถ้าริ้วไม่เกิดก็แยกมาทำความสะอาด ใช้แปรงปัดฝุ่นออกเสียแล้วประกบใหม่

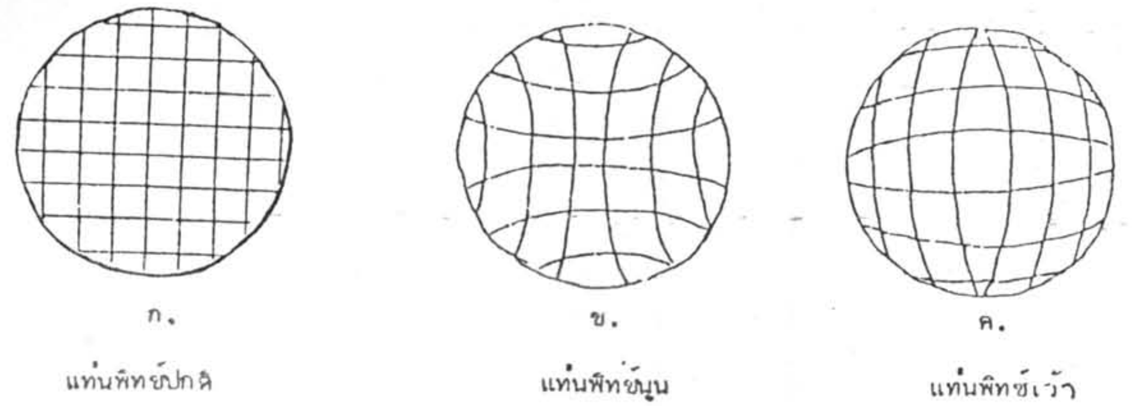
3.3.5.4 ในการตรวจสอบควรกระทำเวลาที่อุณหภูมิคงที่

3.3.5.5 ควรหลีกเลี่ยงการกดหรือการเลื่อนผิวทั้งสอง เพื่อป้องกันการเกิดรอยยึดข่วน

3.3.6 การขัดแก้ให้ได้ผิวราบ [17] ในการขัดแก้ผิวให้ราบนั้น จะกระทำในขั้นตอนการขัดใส เพราะหลังจากการฝนละเอียด และขัดให้ผิวใสแล้ว ผิวจะผิดจากความราบประมาณ 5-30 λ ซึ่งพอที่จะขัดแก้ได้ โดยใช้แท่นพิทช์แบบต่าง ๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

3.3.6.1 การเตรียมแท่นพิทช์ พิทช์ที่ใช้ในการขัดแก้มี 3 แบบใหญ่ ๆ คือ

3.3.6.1.1 แท่นพิทช์ปกติ (normal pitch lap) เป็นแท่นพิทช์ผิวราบ โดยทำร่องให้เป็นหน้าสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ มีขนาดประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร เท่า ๆ กัน ใช้ขัดใสเพื่อให้ผิวราบ ลักษณะดังรูป 2.19 ก.



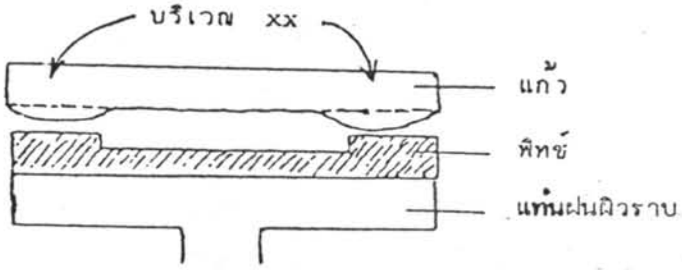
รูป 2.19 แท่นพิทช์แบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการขัดแก้ให้ได้ผิวราบ

3.3.6.1.2 <u>แท่นพิทช์นูน</u> (convexing pitch lap) เป็นแท่นพิทช์ที่ใช้ขัดใส่ผิวที่มีความเว้าเล็กน้อย โดยแบ่งพิทช์ให้มีลักษณะ ดังรูป 2.19 ข. โดยให้หน้าเล็ก ๆ อยู่บริเวณกลางแท่นพิทช์ และบริเวณขอบมีขนาดใหญ่ เพื่อจะให้เกิดการขัดบริเวณตรงกลางน้อยกว่าบริเวณขอบ

3.3.6.1.3 <u>แท่นพิทช์เว้า</u> (concaving pitch lap) เป็นแท่นพิทช์ที่ใช้ขัดผิวที่นูนเล็กน้อย โดยแบ่งหน้าของพิทช์ให้มีลักษณะดังรูป 2.19 ค. คือขนาดหน้าที่บริเวณขอบจะเล็กกว่า บริเวณตรงกลาง จะมีขนาดหน้าใหญ่กว่า เพื่อให้เกิดการขัดมากบริเวณกลาง

3.3.6.2 <u>วิธีการขัด</u> เมื่อเริ่มแรกเราจะขัดใส่ให้ทั่วผิว ด้วยแท่นพิทช์ปกติดังรูป 2.19 ก. ซึ่งมีพิทช์หน้าเล็ก ๆ เสมอกันหมด ต้องหมั่นตรวจสอบริ้วการแทรกสอดอย่างสม่ำเสมอ ถ้าพบว่าเว้าเล็กน้อยก็ขัดด้วยแท่นพิทช์นูนดังรูป 2.19 ข. ซึ่งจะทำให้ความเว้าลดลง ช่วงขัดที่ใช้สั้น ๆ หรือไม่ต้องมีช่วงขัด ถ้านูนเล็กน้อย ก็ขัดด้วยแท่นพิทช์เว้า ดังรูป 2.19 ค. จะทำให้ผิวนูนลดลง ทั้งแท่นพิทช์นูนและเว้า อาจจะทำให้เกิดผิวเป็นโซนที่ไม่ราบสม่ำเสมอ (zonal error) ได้ ดังนั้นหลังจากขัดด้วยแท่นพิทช์เหล่านี้แล้ว ต้องขัดด้วยแท่นพิทช์ปกติอีกครั้ง

กรณีที่มีความบกพร่องเป็นแถบวงกลมขนาดใหญ่ที่ผิวแก้ว วิธีการฝนแก้ที่ทำ[17] ใช้พิทช์รูปวงแหวนดังรูป 2.20 แผ่นบนคือแผ่นแก้วที่กำลังขัดแก้ให้ได้ผิวราบ มีลักษณะนูนเป็นวงแหวนโดยรอบผิวแก้ว บริเวณ xx คือส่วนที่นูนขึ้นมา



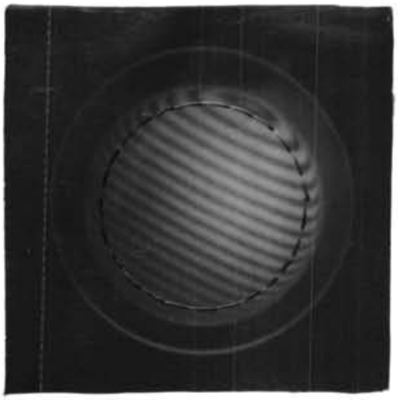
รูป 2.20 **แท่นพิทช์รูปวงแหวน**

เราต้องลดความหนาบริเวณ xx ลงไป ทำได้โดยใช้พิทช์รูปวงแหวนดังรูป 2.20 โดยขนาดวงแหวนเท่ากับแถบ พิทช์ชนิดนี้มีสมรรถนะสูงในการลดแถบxx โดยการใช้ช่วงขัดตรง ๆ โดยให้จุดกลางของพิทช์ถึงขอบกระจก แท่นพิทช์ชนิดนี้จะไม่ให้ผิวราบเลยทีเดียว ต้องมาขัดด้วยแท่นพิทช์ปกติอีกครั้ง

3.3.7 <u>ชิ้นงานที่ทำ</u> ได้ทดลองฝนผิวราบทั้งหมด 4 แผ่น เริ่มแรกฝนโดยใช้แท่นฝนเหล็กอ่อนผิวราบ โดยฝนกับผงขัดตั้งแต่หยาบจนละเอียดสุด เมื่อเห็นว่าราบเนียนดี จึงขัดใสด้วยแท่นพิทช์ปกติกับผงขัดใสจนใสทั่วผิว แล้วจึงตรวจด้วยผิวราบมาตรฐาน เพื่อพิจารณาลักษณะของผิว เพื่อจะได้นำมาขัดแก้ โดยใช้แท่นพิทช์นูนหรือแท่นพิทช์เว้า จากการทำนั้น ปรากฏว่า หลังจากขัดให้ใสทั่วผิวโดยใช้พิทช์ราบปกติแล้ว ทุกผิวที่ได้จะเป็นผิวเว้าเล็กน้อย (10 - 60 ริ้วหรือประมาณ 5-30λ) ทั้งนี้เข้าใจว่า เนื่องมาจากแท่นฝนเหล็กอ่อนที่เราได้หล่อพิทช์ติดอยู่นั้น เป็นแท่นฝนนูนเล็กน้อย จึงทำให้พิทช์มีเนื้อบริเวณกลาง ๆ แน่นกว่าริม เป็นเหตุให้ผิวที่ได้มีแนวโน้มที่จะเป็นผิวเว้ามากกว่าจะราบ ดังนั้นในการขัดแก้จึงต้องใช้แท่นพิทช์นูน ในขั้นตอนการขัดแก้ได้ตรวจสอบกับผิวราบมาตรฐานเสมอ เพื่อสังเกตลักษณะของผิวชิ้นงาน และสามารถหาแนวทางการขัดแก้ได้อย่างถูกต้อง ว่าจะใช้แท่นพิทช์อย่างไรและช่วงขัดอย่างไร โดยเฉพาะเมื่อใกล้จะได้ริ้วเป็นเส้นตรง (ผิวเกือบจะราบ) ต้องระวังเป็นพิเศษต้องหมั่นตรวจสอบเสมอ รูป 2.21 ก. ข. ค. และ ง. เป็นรูปแสดงริ้วการแทรกสอดของผิวงานทั้งสี่ กับผิวราบมาตรฐาน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4 เซนติเมตร ก่อนที่จะนำไปฉาบผิว ขนาดของรูปเป็น $\frac{5}{8}$ เท่าของของจริง ใช้กล้องเพนแทกซ์ (Pentax) ฟิล์มขาวดำโกดักไตรเอกซ์ เอ.เอส.เอ. 400 ขนาดหน้ากล้องและความเร็วดังแสดงไว้ใต้รูป

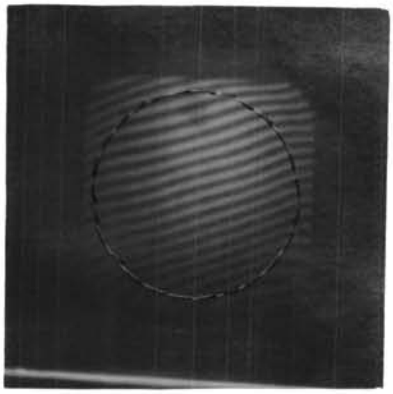
รูป 2.21 ก. เป็นริ้วการแทรกสอด ได้จากผิวที่ฝนเองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ข้างล่าง กับแผ่นแก้วผิวราบมาตราฐานซึ่งอยู่ข้างบน ผิวล่างนี้ใช้เวลาขัดแก้ หลังจากขัดให้ใสแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง (คิดเฉพาะเวลาขัดแก้เท่านั้น) จากลักษณะของริ้วนั้นบอกว่าผิวทั้งสองทำมุมกันเล็กน้อย บริเวณขอบของผิวที่ฝนขึ้น จะโค้งลง (turn down) ถ้าพิจารณาผิวเพียงบริเวณในเส้นประ (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร) บอกได้ว่าผิวนี้ราบประมาณ $\frac{\lambda}{4}$ แต่ถ้าพิจารณาตลอดผิว (คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร) ผิวนี้จะราบประมาณ 1 λ (ถือว่าผิวราบมาตรฐานที่นำมาตรวจสอบ เป็นผิวราบอย่างแท้จริง) การตีความจากริ้วการแทรกสอด จะถือตามหัวข้อ 3.3.3 ของบทนี้

รูป 2.21 ข. เป็นริ้วการแทรกสอด ได้จากผิวที่ฝนเอง รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ข้างล่าง กับแผ่นแก้วผิวราบมาตราฐาน ซึ่งอยู่ข้างบน ผิวรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ใช้เวลาขัดแก้ $30\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จากลักษณะของริ้วบอกว่าผิวทั้งสองทำมุมกันเล็กน้อย ลักษณะของผิวที่ฝนนั้นขอบจะโค้งลง ผิวที่ได้ไม่ราบดีนักคือ ถ้าพิจารณาผิวเพียงบริเวณภายในเส้นประ (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร) บริเวณกลาง ๆ จะเว้า $\frac{\lambda}{8}$ บริเวณนอกถัดออกมาจะนูน $\frac{\lambda}{8}$ แล้วริม ๆ ของผิวจะโค้งลง แต่ถ้าพิจารณาตลอดผิว (คือขนาด 5X5 เซนติเมตร) บริเวณขอบจะต่ำกว่าผิวบริเวณกลาง ๆ ประมาณ $\frac{\lambda}{4}$ (ถือว่าผิวราบมาตรฐานที่นำมาตรวจสอบ เป็นผิวราบจริงอย่างแท้จริง)



ก.

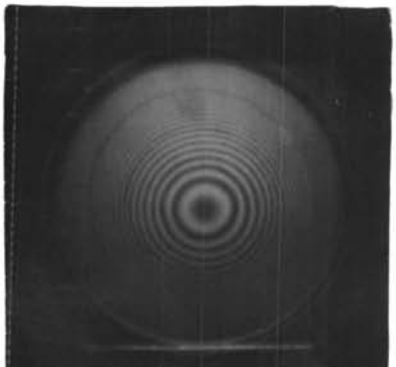
f/16 ; $\frac{1}{8}$ วินาที



ข.

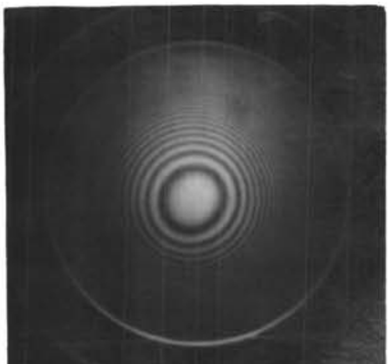
f/16 ; $\frac{1}{8}$ วินาที

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ



ค.

f/16 ; $\frac{1}{4}$ วินาที



ง.

f/16 ; $\frac{1}{4}$ วินาที

รูป 2.21 ริ้วการแทรกสอดจากผิวที่ฝนขึ้นเองเทียบกับผิวราบมาตรฐาน

ดังนั้นผิวที่จะนำไปใช้ในงานได้จริง ๆ นั้น จึงเป็นบริเวณที่อยู่ภายในเส้นประดังรูป 2.21 ก. และ ข. เท่านั้น

รูป 2.21 ค.และ ง. เป็นภาพแสดงริ้วการแทรกสอด ระหว่างผิวที่ฝนเองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร อยู่ข้างบน กับผิวล่างซึ่งเป็นผิวราบมาตราฐานและมีขนาดเล็กกว่า ผิวที่ฝนขึ้นเองทั้งสองแผ่นนี้หลังจากที่ขัดให้ใสแล้ว ใช้เวลาขัดแก้อีกประมาณ 10 ชั่วโมง จากลักษณะของริ้วที่เห็น เป็นริ้วของผิวเว้าเหลือประมาณ 60-80 ริ้ว (30-40 λ) คิดเฉพาะบริเวณที่ตรวจสอบได้ คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4 เซนติเมตร เท่ากับแผ่นราบมาตรฐาน พบว่าในเวลาขัดแก้เท่า ๆ กันแล้ว ผิวของแก้วยังเหลือความโค้งมากกว่าสองแผ่นแรกมาก ผิวที่ฝนเองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น จะนำแผ่นในรูป 2.20 ง. ไปฉาบผิวให้เป็นผิวสะท้อนแสง เพื่อใช้ประกอบในการตีความจากริ้วการแทรกสอดที่ได้จากอุปกรณ์ที่สร้าง เพราะเราทราบว่า ผิวที่ฝนขึ้นนี้เป็นผิวเว้า เมื่อเทียบกับผิวราบมาตราฐาน ดังนั้น เมื่อทดสอบด้วยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ริ้วการแทรกสอดที่ได้จากอุปกรณ์ ก็ควรเป็นริ้วจากผิวเว้าเช่นกัน จากการทดลองฝนผิวราบรูปต่าง ๆ กัน ขนาดต่างกัน ดังกล่าวมาข้างต้น พอจะมีข้อสังเกตดังนี้

3.3.7.1 ผิวที่ฝนเมื่อใหญ่ขึ้น การขัดแก้ให้ราบก็ยิ่งยากขึ้น จะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญมากกว่านี้

3.3.7.2 ผิววงกลมมีแนวโน้มจะขัดให้ราบได้ง่ายกว่าผิวสี่เหลี่ยม

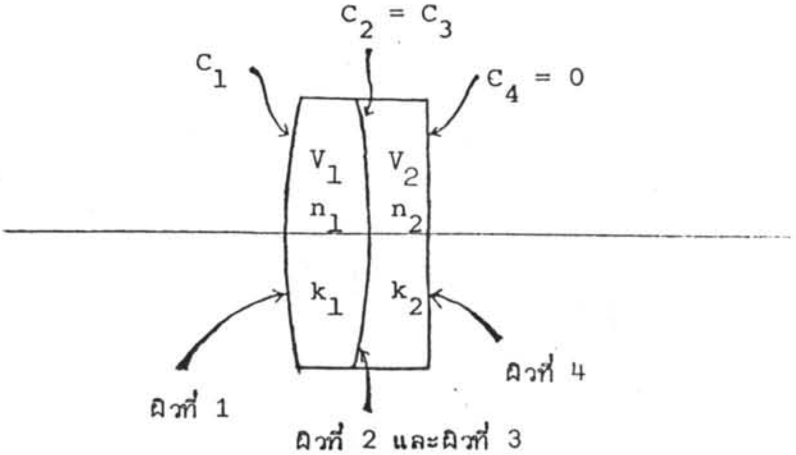
3.3.7.3 แท่นฝนที่ใช้รองพิทช์ในการขัดใสผิวราบ ควรใช้แท่นฝนราบด้วย เพื่อผิวที่ได้จะมีแนวโน้มที่จะราบ

3.4 <u>การออกแบบและฝนเลนส์อรงค์</u> จากรูป 1.6 ในบทที่ 1 จะพบว่า เลนส์อรงค์ที่ใช้ในอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดทไวแมนและกรีน มี 2 ตัว คือ L_1 และ L_2 งานที่ทำนั้น ได้สั่งซื้อเลนส์อรงค์จำนวน 2 ตัว เป็นเลนส์อรงค์ที่ประกบเรียบร้อยแล้ว แต่ละตัวมีความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังได้ออกแบบและฝนเลนส์อรงค์ขึ้นอีก 2 ตัว ซึ่งเลนส์อรงค์ที่จะฝนเองนี้ต้องการให้มีความยาวโฟกัสประมาณ 25 เซนติเมตร (เท่ากับความยาวโฟกัส ของเลนส์อรงค์ที่ซื้อมา) เพื่อที่จะได้ใช้กระบอกสำหรับสวมใส่เลนส์ชุดเดียวกันได้

3.4.1 <u>การออกแบบ</u> เนื่องจากแท่นฝนที่มีอยู่ในโรงงาน ที่จะนำมาใช้ฝนเลนส์ให้ได้ผิวโค้งต่าง ๆ กัน มีรัศมีความโค้งอยู่เพียงบางค่าเท่านั้น จึงไม่สามารถจะออกแบบให้เลนส์มีความยาวโฟกัสเท่ากับ 25 เซนติเมตรพอดีได้ ดังนั้น จุดประสงค์ของการออกแบบ ก็คือ เพื่อหาขนาดรัศมีความโค้งของแท่นฝนที่มีอยู่ในโรงงานซึ่งเมื่อนำไปฝนผิวต่าง ๆ ของเลนส์อรงค์แล้ว จะให้ความยาวโฟกัสใกล้เคียง

กับ 25 เซ่นติเมตรที่สุด

เลนส์อรงค์ที่ออกแบบ เป็นเลนส์นูนประกบกับเลนส์เว้า มีลักษณะดังรูป 2.22



รูป 2.22 เลนส์อรงค์

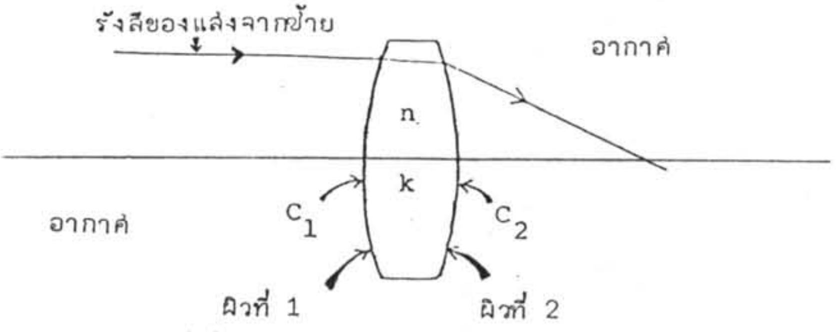
จากรูป 2.22 n_1 และ V_1 คือดัชนีหักเห และค่าวี (V -value) ของแก้วที่ทำเป็นเลนส์นูนตามลำดับ , k_1 คือกำลังของเลนส์นูน [คำว่า กำลังของเลนส์ในที่นี้และที่จะกล่าวถึงต่อไป หมายถึง กำลังของเลนส์เมื่ออยู่ในอากาศ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ ส่วนกลับของความยาวโฟกัสของเลนส์นั้น ๆ] n_2 และ V_2 คือ ดัชนีหักเหและค่าวี ของแก้วที่ทำเป็นเลนส์เว้าตามลำดับ, k_2คือกำลังของเลนส์เว้า, C_1, C_2, C_3 และ C_4 คือความโค้ง (ส่วนกลับของรัศมีความโค้ง) ของผิวที่ 1 ผิวที่ 2 ผิวที่ 3 และผิวที่ 4 ของเลนส์อรงค์ตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการฝน จะออกแบบให้ผิวที่ 4 ราบ คือ $C_4 = 0$ และให้ผิวที่ 2 กับ 3 มีความโค้งเท่ากัน คือ $C_2 = C_3$

จากรูป 2.22 นั้น ถ้ากำหนดให้ K คือกำลังของเลนส์อรงค์ที่จะออกแบบ (ส่วนกลับของความยาวโฟกัสของเลนส์อรงค์) แล้ว เราสามารถหากำลังของเลนส์องค์ประกอบ (คือ k_1 และk_2) ที่จะมาประกบเป็นเลนส์อรงค์ ในเทอมของ K ได้(2)

$$k_1 = \frac{V_1 K}{V_1 - V_2} \qquad \text{------------------------(2-4 a)}$$

$$k_2 = -\frac{V_2 K}{V_1 - V_2} \qquad \text{------------------------(2-4 b)}$$

จากสมการ (2-4) ถ้าทราบค่า V_1 และ V_2 ซึ่งเป็นค่าวีของแก้วที่ใช้ทำเลนส์นูน และเลนส์เว้าตามลำดับและทราบค่า K คือกำลังของเลนส์อรงค์ แล้ว ก็สามารถหากำลังของเลนส์นูนและเลนส์เว้า (คือ k_1 และ k_2) ที่จะประกบเป็นเลนส์อรงค์ได้



รูป 2.23 เลนส์บางในอากาศ

เมื่อทราบกำลังของเลนส์องค์ประกอบแต่ละตัวแล้ว ก็สามารถหารัศมีความโค้งของแต่ละผิวของเลนส์องค์ประกอบได้ โดยอาศัยสมการของเลนส์บางในอากาศ หรือที่เรียกว่า สมการสำหรับช่างทำเลนส์ รูป 2.23 เป็นรูปแสดงเลนส์บางซึ่งอยู่ในอากาศ n คือดัชนีหักเหของแก้ว C_1 คือความโค้งของผิวที่ 1 (ผิวที่แสงซึ่งมาจากทางซ้ายมือตกกระทบเป็นผิวแรก) C_2 คือ ความโค้งของผิวที่ 2 จากรูป 2.23 นั้น เราสามารถหาความสัมพันธ์ได้ว่า[2]

$$k = (n-1)(C_1-C_2) \qquad \text{------------------------(2-5)}$$

สมการ (2-5) นี้คือ สมการสำหรับช่างทำเลนส์ หรือสมการของเลนส์บางที่อยู่ในอากาศ จากรูป 2.22 ซึ่งเป็นรูปของเลนส์อรงค์ที่ออกแบบ ถ้าอาศัยสมการ (2-5) เราสามารถหาค่ากำลังของเลนส์ย่อยทั้งสอง (คือ k_1 และ k_2) ที่มาประกบกันเป็นเลนส์อรงค์ ดังรูป 2.22 ได้

$$k_1 = (n_1-1)(C_1-C_2) \qquad \text{------------------------(2-6 a)}$$

$$k_2 = (n_2-1)(C_3-C_4) \qquad \text{------------------------(2-6 b)}$$

สมการ (2-6) ถ้าเราทราบค่า k_1 และ k_2 คือ กำลังของเลนส์นูน และเลนส์เว้า ที่จะมาประกบเป็นเลนส์อรงค์ ก็สามารถหาความโค้งของแต่ละผิวที่จะฝนได้ เพราะเราออกแบบให้ผิวที่ 4 ราบ คือ $C_4 = 0$ และผิวที่ 2 กับผิวที่ 3 มีความโค้งเท่ากัน คือ $C_2 = C_3$ ดังนั้น ถ้าแทน $C_4 = 0$ และ $C_2 = C_3$ ลงในสมการ (2-6) จะได้ว่า

$$C_1 = \frac{k_1}{n_1-1} + C_2 \qquad \text{--------------------------(2-7 a)}$$

$$C_2 = C_3 \qquad \text{--------------------------(2-7 b)}$$

$$C_3 = \frac{k_2}{n_2-1} \qquad \text{--------------------------(2-7 c)}$$

$$C_4 = 0 \qquad \text{--------------------------(2-7 d)}$$

การคิดเครื่องหมายของระยะต่าง ๆ ในสมการ (2-4),(2-5),(2-6) และ (2-7) และที่จะใช้ต่อ ๆ ไป ตอนหลัง จะใช้หลักการคิดเครื่องหมาย โดยถือว่า แสงเข้ามาทางซ้ายมือ ระยะต่าง ๆ ที่วัดไปทางขวามือ มีเครื่องหมายบวก และระยะที่ไปทางซ้ายมือ มีเครื่องหมายลบ ระยะที่วัดไปเหนือแกนมุขยสำคัญเป็นบวก และระยะที่วัดไปใต้แกนมุขยสำคัญเป็นลบ

ในการออกแบบเลนส์ที่ทำนั้น ใช้สมการ (2-4),(2-6) และ (2-7) ซึ่งจะต้องทราบค่าดัชนีหักเห และค่าวี ของแก้วที่จะนำมาฝน โดยปกติค่าดัชนีหักเหและค่าวีของแก้วต่าง ๆ จะบอกเป็นค่าในเส้นสเปกตรัม D (สีเหลือง λ = 589.3 นาโนเมตร) ซึ่งจะเขียนเป็น n_D และ V_D ตามลำดับ นั่นคือ n_D และ V_D หมายถึง ค่าดัชนีหักเห และค่าวีของแก้ว ในแสงสีเหลืองλ = 589.3 นาโนเมตร และแก้วที่จะนำมาฝนก็เช่นเดียวกัน มีค่าต่าง ๆ ที่กำหนดมาด้วยกับแก้วดังนี้

แก้วที่จะนำมาฝนเป็นเลนส์นูน เป็นแก้วคราวน์ (dense barium crown) มีดัชนีหักเห (n_D) = 1.62270 และค่าวี (V_D) = 56.8909 ดังนั้น จากรูป 2.22 n_1 = 1.62270 และ V_1 = 56.8909

ส่วนแก้วที่จะนำมาฝนเป็นเลนส์เว้า เป็นแก้วฟลินท์ (dense flint) มีดัชนีหักเห (n_D) = 1.68881 และค่าวี (V_D) = 30.9700 ดังนั้น จากรูป 2.22 n_2 = 1.68881 และ V_2 = 30.9700

ต้องการออกแบบเลนส์อรงค์ ให้มีความยาวโฟกัส 25 เซ่นติเมตร โดยใช้แก้วดังกล่าวข้างต้น นั่นคือเลนส์อรงค์ที่ต้องการ มีความยาวโฟกัส 25 เซ่นติเมตร หรือ 0.25 เมตร ดังนั้น กำลังของเลนส์อรงค์ (K)มีค่าเป็น

$$K = \frac{1}{0.25} = 4.00 \quad (\text{เมตร})^{-1}$$

ดังนั้นถ้าแทนค่า K = 4.00 (เมตร)$^{-1}$, V_1 = 56.8909 และ V_2 = 30.9700 ลงในสมการ (2-4) จะได้กำลังของเลนส์องค์ประกอบที่จะต้องฝน มีค่า

$$k_1 = \frac{56.8909 \times 4}{56.8909 - 30.9700} = 8.77915 \text{ (เมตร)}^{-1} \quad \text{---------(2-8 a)}$$

$$k_2 = -\frac{30.9700 \times 4}{56.8909 - 30.9700} = -4.77915 \text{ (เมตร)}^{-1} \quad \text{---------(2-8 b)}$$

ใช้ค่า k_1 และ k_2 ในสมการ (2-8) กับค่า $n_1 = 1.62270$ และค่า $n_2 = 1.68881$ แทนลงในสมการ (2-7) จะได้ความโค้งของแต่ละผิว ของเลนส์อรงค์ที่จะฝน ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= 7.16025 \text{ (เมตร)}^{-1} \\ C_2 &= -6.93827 \text{ (เมตร)}^{-1} \\ C_3 &= -6.93827 \text{ (เมตร)}^{-1} \\ C_4 &= 0 \text{ (เมตร)}^{-1} \end{aligned}\right\} \text{------------(2-9)}$$

สมการ (2-9) เป็นความโค้งของผิวต่าง ๆ ของเลนส์อรงค์ที่ออกแบบ อาจจะหารัศมีความโค้งของผิวต่าง ๆ จากสมการ (2-9) ได้

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{C_1} = 0.1397 \text{ เมตร} \\ R_2 &= \frac{1}{C_2} = -0.1441 \text{ เมตร} \\ R_3 &= \frac{1}{C_3} = -0.1441 \text{ เมตร} \\ R_4 &= \frac{1}{C_4} = \infty \text{ เมตร} \end{aligned}\right\} \text{---------(2-10)}$$

โดยที่ R_1, R_2, R_3 และ R_4 คือรัศมีความโค้งของผิวที่ 1 ผิวที่ 2 ผิวที่ 3 และผิวที่ 4ของเลนส์อรงค์ที่ออกแบบ ตามลำดับ สมการ (2-10) มีความหมายว่า ถ้าต้องการให้เลนส์อรงค์ มีความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตรแล้ว จะต้องฝนให้แต่ละผิวมีรัศมีความโค้งตรงตามสมการ (2-10) แต่แท่นฝนผิวนูนและผิวเว้าที่มีอยู่ในโรงงาน มีรัศมีความโค้ง 13 เซนติเมตร เท่านั้นที่นับว่าใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นผิวต่าง ๆ ของเลนส์อรงค์ที่จะฝน จะใช้แท่นฝนที่มีอยู่ดังนี้

ผิวที่ 1 และผิวที่ 2 ซึ่งเป็นผิวนูน จะฝนด้วยแท่นฝนผิวนูน ที่มีรัศมีความโค้ง 13 เซนติเมตร

ผิวที่ 3 ซึ่งเป็นผิวเว้าจะฝนด้วยแท่นฝนผิวเว้าที่มีรัศมีความโค้ง 13 เซนติเมตร

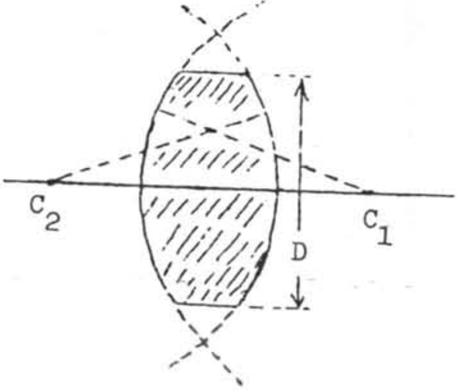
และผิวที่ 4 ซึ่งเป็นผิวราบจะฝนด้วยแท่นฝนผิวราบ

ส่วนความหนาของเลนส์องค์ประกอบที่น้อยที่สุด จะหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ว่า เลนส์นูน

ควรมีความหนาไม่น้อยกว่า h^2k โดยที่ h คือครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์, k คือกำลังของเลนส์ ส่วนเลนส์เว้าควรจะมีความหนาไม่น้อยกว่า $\frac{h}{5}$ จะทำให้เราทราบว่า เลนส์นูนควรจะหนามากกว่า 5.5 มิลลิเมตร และเลนส์เว้าควรจะหนามากกว่า 5 มิลลิเมตร ตัวเลขนี้คิดค่า h = 2.5 เซนติเมตร

3.4.2 <u>การดำเนินงานการฝนเลนส์</u> แก้วที่นำมาฝนนั้นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตัดให้กลม ให้มียนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ด้วยโลหะบางรูปทรงกระบอก ซึ่งมีลักษณะดังรูป 2.9 แล้วฝนอย่างหยาบโดยใช้หัวขัดกากเพชร ซึ่งมีลักษณะดังรูป 2.12 ก. และรูป 2.13 ก. ใช้สมการ(2-3 ในการตั้งหัวขัด ในการฝนอย่างหยาบผิวที่ 1 และผิวที่ 2 ซึ่งเป็นผิวนูนของเลนส์อรงค์ทั้งสองชุดนั้น จะฝนให้มีค่ารัศมีความโค้งเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของแท่นฝนผิวนูนที่ใช้ฝน คือ 13 เซนติเมตร และการฝนอย่างหยาบผิวที่ 3 ซึ่งเป็นผิวเว้าของเลนส์อรงค์ทั้งสองชุด จะฝนให้มีค่ารัศมีความโค้งเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของแท่นฝนผิวเว้าที่ใช้ฝน คือ 13 เซนติเมตร แล้วฝนอย่างละเอียด ผิวที่ 1 และผิวที่ 2 ด้วยแท่นฝนผิวนูน และผิวที่ 3 ฝนอย่างละเอียดด้วยแท่นฝนผิวเว้า ส่วนผิวที่ 4 ฝนอย่างหยาบถึงละเอียดด้วยแท่นฝนผิวราบ รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนการฝน ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว จึงจะไม่กล่าวถึงอีก และเมื่อขัดใส่ผิวของเลนส์เรียบร้อยแล้ว ต้องฝนแต่งขอบของเลนส์ให้เรียบร้อย ข้อสำคัญอยู่ตรงที่ว่า ขอบของเลนส์จะต้องมีศูนย์กลางร่วมกับเส้นตรงต่อจุดศูนย์กลางความโค้งของผิว หรือคือแกนมุขยสำคัญของเลนส์ จะต้องอยู่กลางระหว่างขอบเลนส์(15)

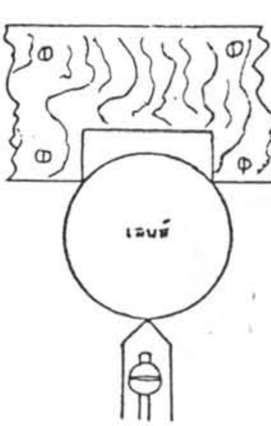
รูป 2.24 แสดงแนวแกนมุขยสำคัญของเลนส์ ซึ่งเป็นแนวโยงระหว่างจุดศูนย์กลางความโค้งของผิวทั้งสอง (ซึ่งก็คือแนวที่ผ่าน C_1 และ C_2) D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ การแต่งขอบของเลนส์นี้ ยังช่วยไม่ให้ขอบกระเทาะหรือบิ่นได้ง่าย การหาแนวแกนมุขยสำคัญหรือการตั้งศูนย์หาได้โดยเอาเลนส์ติดพิทย์ที่ปลายท่อเหล็กอ่อน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์



รูป 2.24 แสดงแกนมุขยสำคัญของเลนส์นูนซึ่งเป็นเส้นตรงที่ผ่านจุด C_1 และ C_2

เล็กน้อย ท่อนี้ติดด้วยเกลียวแน่นกับแกนหมุนซึ่งอยู่ในแนวราบ การหมุนของแกนจะต้องเที่ยง มีความแม่นยำสูง ผิวหลังของเลนส์ จะต้องสัมผัสกับขอบของโลหะทรงกระบอก ซึ่งขอบนี้จะตั้งฉากกับแกนมุขสำคัญ วิธีการตั้งศูนย์ วางแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นดวงไฟไว้หน้าเลนส์ หมุนเลนส์ช้า ๆ ดูภาพที่สะท้อนจากผิวทั้งสองของเลนส์ ถ้าภาพยังไม่นิ่งแสดงว่าเลนส์ยังไม่ได้ศูนย์ แก้โดยให้ความร้อนกับโลหะที่ติดเลนส์แล้วค่อย ๆ เลื่อนเลนส์จนได้ศูนย์ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ก่อนจะฝนขอบต้องปล่อยให้ชิพซ์เย็นเสียก่อน การฝนขอบทำโดยค่อย ๆ เลื่อนแผ่นเหล็กที่มีผงขัดติดอยู่และอยู่ใต้เลนส์ขึ้นไปสัมผัสกับขอบของเลนส์ โดยวิธีนี้ความถูกต้องจะดีกว่าวิธีอื่น

3.4.3 <u>การประกบเลนส์</u> หลังจากแต่งขอบเลนส์เรียบร้อยแล้ว ถ้าจะทำเลนส์คู่ ต้องนำเลนส์มาประกบกัน โดยที่ก่อนประกบต้องทำความสะอาดเลนส์ให้ดี อย่างระมัดระวังเสร็จแล้วจึงนำเลนส์มา ซ้อนกันดูจำนวนริ้วของวงแหวนนิวตัน จนแน่ใจว่าผิวทั้งสองเหมาะที่จะประกบกัน คือมีรัศมีความโค้งเท่ากัน ใช้กาวอีพอกซี (epoxy resin)[15] เชื่อมผิวประกบติดกัน วิธีการคือ



รูป 2.25 แท่นยึดในการประกบเลนส์

เอาเลนส์เว้าหงายขึ้น หยดกาวลงตรงกลาง เอาเลนส์นูนผิวที่จะประกบวางลงบนกาว ค่อย ๆ กดและคลึงช้า ๆ เพื่อไล่ให้ฟองอากาศออกและเพื่อให้กาวแผ่กระจายเป็นฟิล์มบาง การประกบจะต้องแน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศหรือผงฝุ่นติดอยู่ ชั้นของกาวไม่ควรหนากว่า 0.02 มิลลิเมตร[15] และเพื่อป้องกันการเคลื่อนของเลนส์ควรมีที่ยึด สำหรับชิ้นงานที่ทำ ที่ยึดมีรูปคร่าว ๆ ดังรูป 2.25 และความหนาของชั้นกาวของเลนส์อรงค์ที่ฝนขึ้นเองทั้งสองตัว มีค่าประมาณ 0.05 มิลลิเมตร