



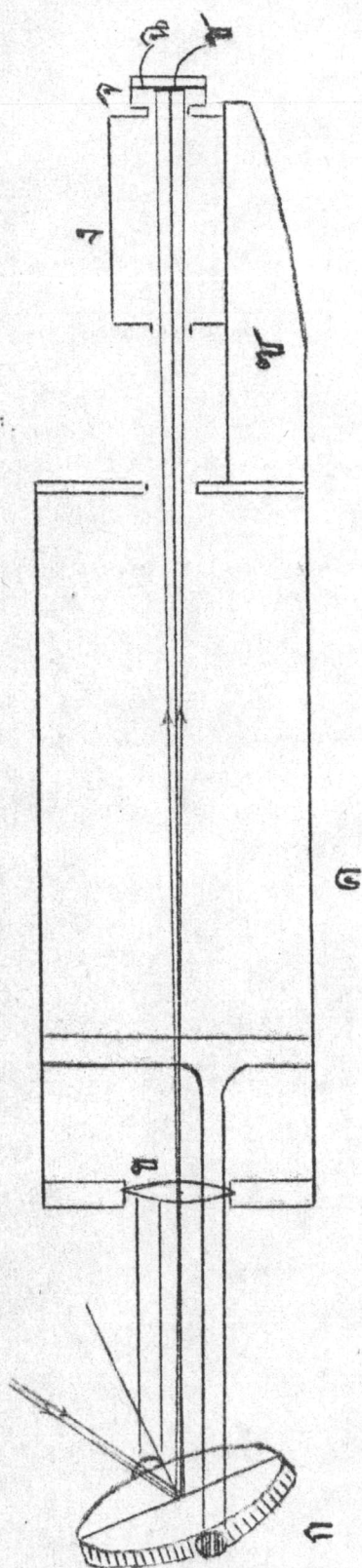
อุปกรณ์และวิธีศึกษา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยกล้องโทรทรรศน์สำรวจดวงอาทิตย์ควบกับเครื่องกรองแสงพิเศษ กล้องถ่ายภาพ และฟิล์มที่ไวต่อแสงสีแดง ทำการถ่ายภาพทุกวันที่สภาพอากาศอำนวยให้ทำการสังเกตได้ แล้วนำฟิล์มไปล้าง และอัดขยายดูรายละเอียดของพัฒนาการที่ปรากฏในแต่ละวัน

2.1 กล้องโทรทรรศน์

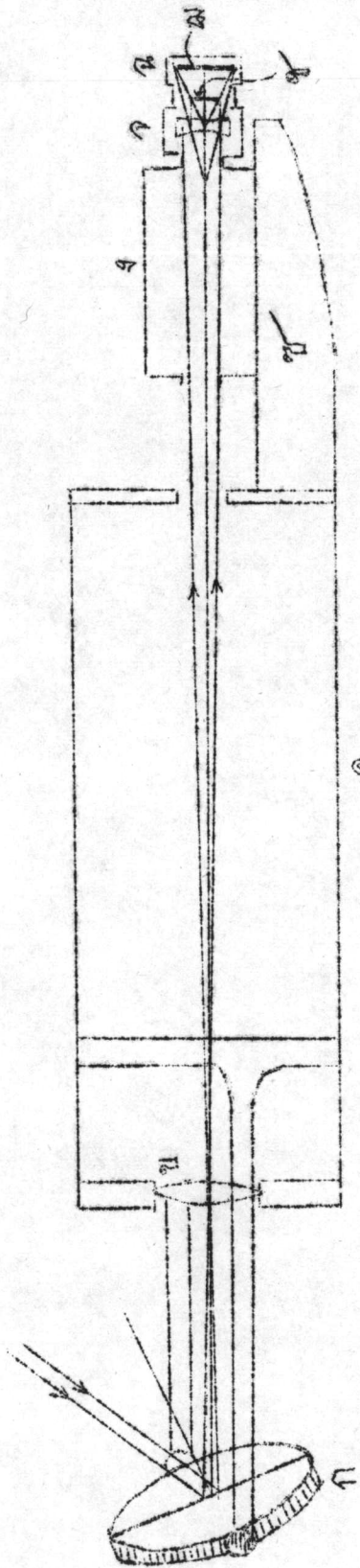
กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเห (refractor) ซึ่งใช้สำรวจดวงอาทิตย์โดยเฉพาะ กล้องนี้ติดตั้งอยู่บนคาค้ำของตึกฟิสิกส์ 1 ในบริเวณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนประกอบของกล้อง มี เลนส์วัตถุ (objective) เป็นเลนส์นูน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม ความยาวโฟกัส 1,500 มม มีกระจกเงารูปวงกลมทำด้วยกระจกเบี่ยงทนความร้อน และไม่ขยายตัวตลอดเวลาที่ใช้เครื่องมือภายใต้แสงสว่างอันร้อนแรงของดวงอาทิตย์ (zero expansion glass ceramic first surface mirror) ติดตั้งไว้หน้ากล้องให้เอียงรอบแกนหมุนอันหนึ่งซึ่งอยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของกระจกพอดิ เพื่อให้กระจกเงานี้สามารถเอียงรับแสงจากดวงอาทิตย์แล้วสะท้อนเข้ากล้องโทรทรรศน์ ผ่านเลนส์วัตถุ ผ่านเครื่องกรองแสงพิเศษ ไปปรากฏภาพของดวงอาทิตย์บนฟิล์มในกล้องถ่ายภาพซึ่งติดตั้งไว้หลังเครื่องกรองแสง โดยให้ฟิล์มอยู่ในตำแหน่งของระนาบโฟกัสของเลนส์วัตถุพอดิ โคอะแกรมของเครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 วิธีการถ่ายภาพเช่นนี้ จะได้ภาพเต็มดวงของดวงอาทิตย์บนฟิล์ม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางซึ่งเปลี่ยนแปลงไปทุกวัน ระหว่าง 13.7 - 14.2 มม

กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้นี้ติดตั้งอยู่บนฐานในระบบโพลาร์เฮลิโอกราฟ (polar heliograph) หัวกล้องอยู่ในแนวขนานกับแกนของโลกตลอดเวลา และตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่รอบแกนอันหนึ่งซึ่งขนานกับแกนของกล้อง โดยมีเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการ



รูปที่ 2.1 แสดงโคอะแกรมของเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพเต็มดวงของดวงอาทิตย์

- ก. กระจกเงาที่ติดตั้งอยู่หน้ากล้องโทรทรรศน์เพื่อสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์
- ข. เลนส์วัตถุ ( Objective )
- ค. ตัวกล้องรูปทรงกระบอก
- ง. เครื่องกรองแสงพิเศษ
- จ. กล้องถ่ายภาพ
- ฉ. फिल्म
- ช. ภาพเต็มดวงของดวงอาทิตย์บนฟิล์ม
- ซ. ฐานรองรับเครื่องกรองแสงติดไว้กับตัวกล้อง



รูปที่ 2.2 แสดงโคอะแกรมของระบบ  
เครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพขยายเพื่อดูบาง  
ส่วนของควงอาทิตย์

- ก. กระจกเงาที่ติดตั้งอยู่หน้ากล้องโทรทรรศน์  
เพื่อสะท้อนแสงจากควงอาทิตย์เข้ากล้อง
- ข. เส้นลวด
- ค. ตัวกล้องโทรทรรศน์รูปทรงกระบอก
- ง. เครื่องกรองแสงพิเศษ
- จ. เส้นลวดขยายภาพ
- ฉ. กล้องถ่ายภาพ
- ช. ภาพปฐมภูมิเกิดจากเส้นลวด
- ซ. รูานรองรับเครื่องกรองแสง
- ด. ภาพทุติยภูมิ เป็นภาพขยายของภาพปฐมภูมิ  
โดยเส้นลวดขยายภาพ จ. จัดให้ภาพทุติยภูมิ  
นี้ตกบนฟิล์มถ่ายภาพพอดี ได้ภาพบนฟิล์ม  
เป็นเพียงบางส่วนของตัวควงอาทิตย์ที่ต้อง  
การศึกษารายละเอียด



เคลื่อนที่หักล้างเคลื่อนไปด้วยอัตราเร็วเท่ากับการหมุนของโลก ตลอดเวลาที่กล้องเคลื่อนที่หมุนไปรอบแกนนี้ กระจกเงาหน้ากล้องจะสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ผ่านแกนของกล้องเสมอ

การถ่ายภาพเพื่อขยายดูรายละเอียดบางส่วน ใช้เลนส์ช่วยขยายภาพติดตั้งไว้ระหว่างเครื่องกรองแสงและ กล้องถ่ายภาพ โดยให้เลนส์ขยายภาพอยู่หน้าภาพปรุรูปเป็นระยะทางน้อยกว่าทางยาวโฟกัสของมันและทำให้เกิดภาพหุติยภูมิที่ฟิล์มถ่ายภาพ โดยภาพที่ได้บนฟิล์มเป็นเพียงบางส่วนของดวงอาทิตย์ที่ต้องการดูรายละเอียด เส้นผ่าศูนย์กลางของภาพดวงอาทิตย์ที่ขยายแล้วนี้มีขนาดโตกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของภาพปรุรูป 3 เท่า โคอะแกรมของระบบเครื่องมือเพื่อถ่ายขยายภาพนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2

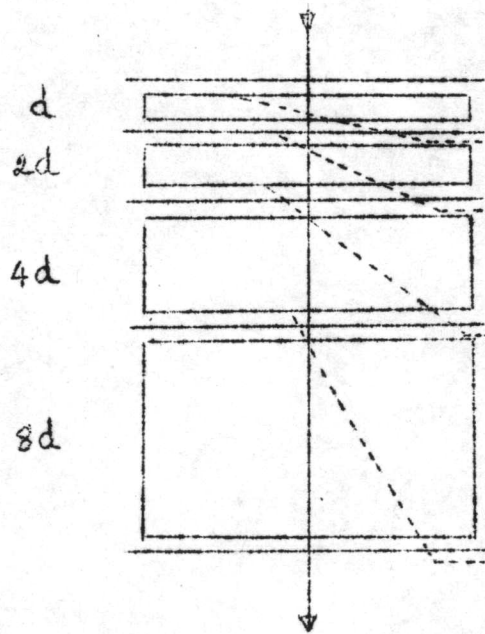
## 2.2 เครื่องกรองแสงไบรฟริงเจนซ์

เครื่องกรองแสงพิเศษที่ใช้ควบกับกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหเพื่อศึกษาริขัยดวงอาทิตย์ เป็นเครื่องมือที่สร้างสำหรับกรองแสงจากดวงอาทิตย์ให้เหลือเพียงแสงสีเดียว คือ เป็นเครื่องมือที่ยอมให้บริเวณแคบๆที่มีความยาวคลื่นที่แน่นอนของสเปกตรัมผ่านไป เครื่องกรองแสงที่ใช้ศึกษาดวงอาทิตย์ที่หอดูดาวจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัยเป็นเครื่องที่กรองให้ได้แสงไฮโดรเจนอัลฟา แต่การสร้างเครื่องกรองแสงนั้นก็อาจสร้างให้สามารถกรองให้ได้แสงในเส้นสเปกตรัม K และ H ของ Ca II หรือเส้นสเปกตรัมอื่นในชุดสเปกตรัมบาล์มเมอร์ ( Balmer Series )

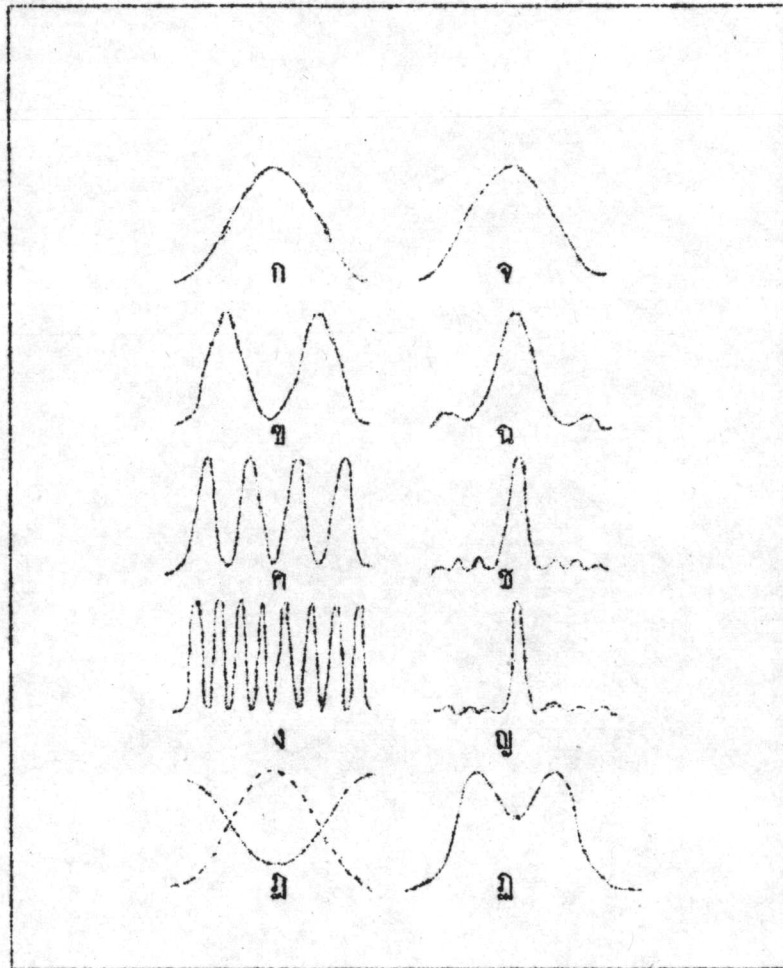
การทำงานของเครื่องมืออาศัยคุณสมบัติทางแสงที่แปลกเป็นพิเศษของผลึกบางชนิด เช่น ควอตซ์ คัลไซต์(ชนิดไอซ์แลนด์สปาร์) ผลึกพวกนี้สามารถหักเหแสงเป็นคู่ (double refraction หรือที่เรียกว่า birefringence ) เช่น ถ้าให้แสงที่โพลาไรซ์เชิงเส้น ( linearly polarized light ) ผ่านเข้าไปในผลึกพวกนี้ โดยทำมุมแน่นอนค่าหนึ่งกับแกนแสง ( optic axis ) ของผลึก แสงจะถูกแยกออกเป็นสองส่วนประกอบสองส่วนที่ถูกโพลาไรซ์ไปในทิศทางตรงข้ามกัน โดยส่วนประกอบทั้งสองนี้จะมีเฟสแตกต่างกัน ( phase difference ) ค่าหนึ่ง ค่าแตกต่างกันของเฟสนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและความหนาของผลึก แสงสองส่วนนี้มารวมกันให้เกิดการแทรกสอด ( interference ) ได้โดยใช้



ตัวโพลาไรซ์ (polarizer) วางไว้หลังผลึก ถ้าประกอบแผ่นโพลาไรซ์ แผ่นผลึก และแผ่นโพลาไรซ์อีกอันที่สองเข้าด้วยกัน เอาทั้งหมดนี้วางไว้หน้าสเปคโตรสโคป จะเกิดมีแถบของแสงสว่างที่แสดงการส่งผ่านและการถูกบังเอาไว้สลับกัน เช่น เกี่ยวกับการแทรกสอดที่ทำให้เกิดการเสริมหรือการหักล้าง (constructive or destructive) ของแสง ดังนั้น ถ้าใช้แท่งผลึกมีความหนาเป็นอัตราส่วน  $1 : 2$  จะทำให้เกิดสิ่งที่เรียกว่า ช่องสเปคตรัม (channel spectra) ซึ่งมีความกว้างและช่องว่าง (widths and spacing) แตกต่างกันเป็นสองเท่าของความกว้างและช่องว่างของสเปคตรัมในแถบที่ส่งผ่านเข้ามา เมื่อใช้แผ่นผลึกชุดหนึ่งมีความหนาเป็น  $d, 2d, 4d, \dots$  ร่วมกับตัวโพลาไรซ์ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างแผ่นผลึก (รูปที่ 2.3) สเปคตรัมที่ผ่านออกมาจากเครื่องกรองแสงที่ประกอบแบบนี้จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไป เป็นชุดของแถบการส่งผ่านที่แยกห่างออกจากกันเป็นแถบเดี่ยวๆ โดยแถบเดี่ยวแต่ละอันจะมีความกว้างประมาณเท่ากับความกว้างของแถบเดี่ยว (single band) ของช่องสเปคตรัม (channel spectrum) ที่ผ่านออกมาจากแผ่นผลึกอันที่หนาที่สุด แถบสเปคตรัมทั้งหลายที่เป็นแถบเดี่ยวๆ นั้น ถูกแยกออกห่างจากกันโดยแถบที่มียอด (peak) ต่ำ



รูปที่ 2.3 หลักของเครื่องกรองแสงไบรฟริงเจนต์



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นรูป (Line profiles) ของแสงที่ผ่านเข้ามาในเครื่องกรองแสงโพริฟริงเจ้น์ ก. เป็นเส้นรูปที่ได้จากการใช้สลิตแผ่นเดียวหนา  $d$  ข., ค., ง. เป็นเส้นรูปที่ได้จากการใช้สลิตแผ่นเดียวหนา  $2d$ ,  $4d$ ,  $8d$  ตามลำดับ จ., ฉ. เป็นเส้นรูปของแสงที่ผ่านเครื่องกรองแสงโดยมีส่วนประกอบเป็นแผ่นผลึก 1 แผ่น, 2 แผ่น, 3 แผ่น, 4 แผ่น ตามลำดับ ฉ. เป็นการแจกแจงสเปกตรัมที่ส่งผ่านออกมาโดยเครื่องกรองแสงเมื่อตั้งให้ศูนย์กลางของแถบการส่งผ่าน (เส้นประในรูป ฉ) อยู่ที่เส้นสเปกตรัมมีคโดยมีความกว้างของระยะระหว่างตำแหน่งที่มีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่ง (ดูเส้นหน้กในรูป ฉ) อยู่ที่เดียวกัน และมีความเข้มเหลืออยู่เป็น 0.20 (สมิธ และ สมิธ, 1963)

มากหลายๆ ออกคึกคักกันซึ่งเกิดจากแท่งผลึกที่บางกว่า รูปที่ 2.4 ก - ฎ แสดงช่องสเปกตรัมของเครื่องกรองแสงแบบง่าย ๆ ที่มีส่วนประกอบเป็น แผ่นผลึก 3 แผ่น เครื่องกรองแสงที่นำมาใช้ในการปฏิบัติจริงนั้น เป็นเครื่องมือที่แผ่นผลึกอันหนาที่สุดเป็นตัวให้แสงบริสุทธิ์สีเดียว และแผ่นผลึกอันที่บางกว่าเป็นตัวทำให้เกิดแถบของการส่งผ่านของแต่ละอันที่มียอดค้ำกึ่งกล่าวแล้วอยู่ติดต่อกัน รวมกันทำให้เกิดช่องว่างเพียงพอระหว่างแถบของแสงบริสุทธิ์สีเดียวที่ได้จากแผ่นผลึกอันหนาที่สุดพอที่เครื่องตรวจจับ เช่น ฟิล์มถ่ายภาพ ภา จะสามารถรับแสงจากแถบเดี่ยวที่มียอด (peak) สูงที่สุดได้เพียงยอดเดียว (Smith and Smith, 1963)

เครื่องกรองแสงที่สร้างด้วยผลึกของควอทซ์และคัลไซต์เช่นนี้มักสร้างให้มันทำงานโดยมีช่วงขนาดคลื่นที่ผ่านเข้าไป (pass band width) แคบเพียง 0.75, 0.5 หรือ 0.25 อังสตรอม ซึ่งทำให้สามารถสังเกต ไฮโดรเจนพลาจ พิลลาเมนต์ บนตัวควงอาทิตย์ได้ เมื่อตั้งให้ศูนย์กลางของแถบการส่งผ่านเข้าไปนั้นอยู่ที่ศูนย์กลางของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา และจะสังเกตความแตกต่างของโครงสร้างละเอียดกับโครงสร้างที่หยาบกว่าของโครโมสเฟียร์ได้ โดยตั้งให้ศูนย์กลางของแถบการส่งผ่านนี้อยู่ห่างศูนย์กลางของเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนอัลฟาออกไป 0.25 และ 0.5 อังสตรอม ตามลำดับ การเลื่อนให้ศูนย์กลางของแถบการส่งผ่านไปยังส่วนต่างๆ ของเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนอัลฟาของเครื่องกรองแสงขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่มีแผ่นควอเตอร์ - เวฟ (quarter - wave plate) และแผ่นโพลาไรซ์ที่ติดตั้งให้หมุนได้ก่อน และแผ่นผลึกอันสุดท้ายของเครื่องหมุนตาม ถ้าหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปจากตำแหน่งปรกติของมัน จะทำให้ศูนย์กลางของแถบการส่งผ่านของเครื่องเลื่อนไปยังข้างใดข้างหนึ่งของความยาวคลื่นที่ส่งเข้ามาตามปรกติ โดยวิธีเช่นนี้ทำให้สามารถใช้วัดปรากฏการณ์ทางคอปปเลอร์ เพื่อดูการเคลื่อนที่และวัดความเร็วของโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ในทิศทางตามแนวเส้นสายตาของผู้สังเกต

ผลึกฟริ่งเจเนซเช่น ควอทซ์ และ คัลไซต์ นี้มีค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทำให้ความยาวคลื่นที่ผ่านเข้าไปในผลึกเปลี่ยนค่าไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ดังนั้นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิของเครื่องกรองแสงให้คงที่ตลอดเวลาที่ปฏิบัติการ

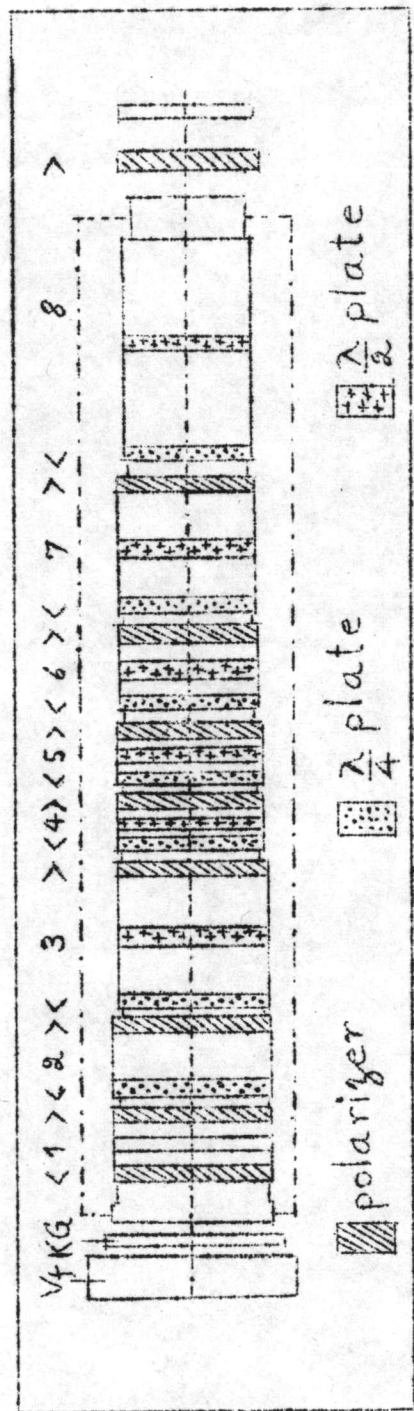


## เครื่องกรองแสงไฮโดรเจนอัลฟา (The Zeiss Hydrogen - Alpha Monochromator)

เครื่องกรองแสงพิเศษที่ใช้ศึกษาดวงอาทิตย์เพื่อเขียนวิทยานิพนธ์นี้สร้างโดยบริษัท Zeiss (Zeiss) แบบ A ส่วนประกอบมี แผ่นผลึกควอทซ์ 32 แผ่น ทิศขนานกับแกนแสง (Optic axis) ของผลึก แผ่นผลึกแคลไซต์ 10 แผ่น ทิศขนานกับแกนแสงของผลึก และแผ่นของตัวโพลาไรซ์ (polarizer) ที่ฉีกไว้ระหว่างแผ่นแก้ว 9 ชุด ส่วนประกอบทั้งหมดประกอบกันเข้าเป็น 8 หน่วยด้วยกัน กังโคอะแกรมในรูปที่ 2.5 รายละเอียดของแต่ละหน่วยแสดงไว้ในตารางหน้า 20 - 21 เครื่องมือทั้งหมดบรรจุอยู่ในภาชนะโลหะรูปสี่เหลี่ยมยาว 28 ซม. หน้าตัด  $15 \times 15$  ซม. มีรูเปิดรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนประกอบในแต่ละหน่วยเท่ากัน แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อยๆ ลดลงจากหน่วยที่ 1 ไปถึงหน่วยที่ 8 ซึ่งเป็นการสะดวกเพราะเครื่องกรองแสงไบรฟริงเจ้นั้นโดยทั่วไปใช้กับลำแสงคู่เข้าที่มาจากเลนส์วัตถุของกล้องรีแฟรคเตอร์

เครื่องกรองแสงอันนี้มี half width 0.25 อังสตรอม และสามารถตั้งให้มี half width 0.5 อังสตรอมได้ และสามารถเลื่อน pass band ไปยังส่วนต่างๆ ของเส้นสเปกตรัมโคห่างจากศูนย์กลางเส้นถึง  $\pm 16$  อังสตรอม ที่ half width 0.25 อังสตรอมจะให้ความ Transmittance  $T = 10\%$  ของรังสีไฮโดรเจนอัลฟาที่ดวงอาทิตย์แผ่ออกมา ถ้าตั้งให้มี half width 0.5 อังสตรอมแล้ว Transmittance จะสูงขึ้นเล็กน้อยราว 2 - 3 % เนื่องจากมีการเว้น polarizing filter ไปอันหนึ่ง การเปลี่ยน half width จาก 0.25 อังสตรอมไปเป็น 0.5 อังสตรอม ทำโดยเลื่อนตัวโพลาไรซ์อันสุดท้ายของหน่วยที่ 8 ออกไปจากทางเดินของแสง หน่วยของแคลไซต์ที่หนาที่สุดไม่มีผลทาง spectroscopic เมื่อเลื่อนตัวโพลาไรซ์นั้นออกไป หน่วยต่างๆ ถูกติดตั้งในหมอนสัมพันธกันด้วยเพื่องที่ติดต่อกันและติดต่อกับเพลาของเฟืองอันที่ติดตั้งให้ไหลออกมาจากครอบโลหะที่บรรจุเพื่อให้หมอนหมุนหาค่าแห่งของคลื่นแสงที่ต้องการได้

$v_f$  ในรูปที่ 2.5 เป็น "เครื่องกรองแสงอันหน้า" (pre-filter) เป็นเครื่องกรองแสงที่มีการแทรกสอดหลายชั้น (multilayer interference filter) สำหรับความยาวคลื่นไฮโดรเจนอัลฟา เครื่องนี้อยู่ในภาชนะที่บรรจุส่วนประกอบทางแสง



รูปที่ 2.5 แสดงโคอะแกรม  
 ของส่วนประกอบทางแสงของเครื่อง  
 กรองแสงไฮโครเจนอัลฟาของไซซ์  
 แบบที่ใช้ในการวิจัยดวงอาทิตย์ ณ  
 หอดูดาวจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 ส่วนรายละเอียดของเครื่องมือแสดง  
 ไว้ในตารางในหน้า 20 - 21

ตารางแสดงส่วนประกอบทางแสงของเครื่องกรองแสงไซซ์ - ไฮโครเจนอัลฟา

หน่วยที่	ส่วนประกอบและชนิดของผลึก	ความหนาของผลึกเป็น มม	การวางตัวของส่วนประกอบภายในศูนย์กลางเส้นไฮโครเจนอัลฟา	Half width เป็น องศา	มุมที่หมุนไปใดระหว่างการเดินทางของเส้นสเปกตรัม
1	ควอตซ์ ควอตซ์ ควอตซ์ ควอตซ์ ควอตซ์	3.5 3.5 3.5	0 45 0 135 90	32	1α
2	ควอตซ์ 2 แผ่น ควอตซ์ ควอตซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 14	90 45 90	16	2α
3	ควอตซ์ 2 แผ่น ควอตซ์ ควอตซ์ 2 แผ่น ควอตซ์ ควอตซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 14 $\frac{\lambda}{2}$ 14	90 135 0 45 90	8	4α
4	ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 1.5 $\frac{\lambda}{2}$ 1.5	90 135 0 45 90	4	8α
5	ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 3.0 $\frac{\lambda}{2}$ 3.0	90 135 0 45 90	2	16α
6	ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอตซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 6.0 $\frac{\lambda}{2}$ 6.0	90 135 0 45 90	1	32α



หน่วยที่	ส่วนประกอบและชนิดของผลึก	ความหนาของผลึกเป็น มม	การวางตัวของส่วนประกอบภายในศูนย์กลางเส้นใต้โครเจนอัลฟา	Half width เป็น องศา	มุม $\alpha$ ที่หมุนไปได้ระหว่างการเดินทางของเส้นสเปกตรัม
7	ควอทซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอทซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ทิวโพลารไรซ์	$\frac{\lambda}{4}$ 12.0 $\frac{\lambda}{2}$ 12.0	90 135 0 45 90	0.5	64°
8	ควอทซ์ 2 แผ่น คัลไซต์ ควอทซ์ 2 แผ่น คัลไซต์	$\frac{\lambda}{4}$ 24.0 $\frac{\lambda}{2}$ 24.0	90 135 0 45	0.25	-
	ทิวโพลารไรซ์		90		ไม่หมุน

และอยู่ทางที่แสงเข้ามา มี half width 60 องศา และ transmittance 80 % ติดอยู่กับ Schott KG heat absorbing filter เครื่องกรองแสงที่อยู่ถัดมาเป็น เครื่องมือที่ใช้กำจัดรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ไม่พึงประสงค์

ส่วนประกอบทางแสงของเครื่องในกล่องโลหะสี่เหลี่ยมจุ่มอยู่ในน้ำมันซิลิโคนซึ่งมีดัชนีหักเหประมาณ 1.5 น้ำมันนี้ช่วยลดการสะท้อนของแสงที่ผิวหน้าของส่วนประกอบแต่ละอัน ดังนั้นจึงช่วยเพิ่ม total transmittance ของเครื่องกรองแสง และช่วยให้ได้ภาพถ่ายของดวงอาทิตย์ขึ้น

การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องกรองแสงให้คงที่อยู่เสมอเพื่อรักษาคุณสมบัติการหักเหแสงสว่างของผลึกไบรฟริงเจนซ์ให้คงเดิม ใช้หลอดหลายอันเป็นตัวให้ความร้อนโดยออกแบบเครื่องกรองแสงให้เหมือนกับเป็นเทอร์โมสแตท (thermostat) และมีเครื่องแอมพลิฟายเป็นตัวให้กระแสไฟฟ้า ตลอดเวลาปฏิบัติการ ให้เครื่องควบคุมอุณหภูมิของเครื่องกรองแสงให้คงที่ที่ 45 °C โดยอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ภายในช่วง  $\pm 0.03$  °C

### 2.3 กล้องถ่ายภาพและฟิล์ม

ในการสังเกตดวงอาทิตย์โดยการถ่ายภาพ ใช้กล้องถ่ายภาพมินอลตา (minolta) และฟิล์มถ่ายภาพโกดักที่ใช้ถ่ายภาพดวงอาทิตย์โดยเฉพาะ แบบ SO - 392 ขนาด 35 มม. น้ำยาล้างฟิล์มสูตร D19 ของโกดัก เวลาทำปฏิกิริยา  $1\frac{1}{2}$  นาที กระดาษอัดรูปโกดัก Bromeskopaper WSG.35 น้ำยาล้างรูปสูตร D72 ของโกดัก เวลาทำปฏิกิริยาไม่เกิน 2 นาที

การถ่ายภาพใช้เวลาเปิดหน้ากล้องแตกต่างกันในแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน เมื่อถ่ายภาพดวงอาทิตย์เต็มดวง ภาพที่ได้เป็นภาพปรุหมุมจากกล้องโทรทรรศน์ สำหรับภาพที่ถ่ายในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 3 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 2 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 1 \text{ \AA}$ , ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{1000}$  วินาที ถ่ายในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 0.75 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 0.5 \text{ \AA}$  ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{500}$  วินาที ถ่ายในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 0.25 \text{ \AA}$  และ  $H_{\alpha}$  ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{250}$  วินาที ถ้าถ่ายขยายบางส่วน ในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 3 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 2 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 1 \text{ \AA}$  ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{125}$  วินาที ในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 0.75 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} \pm 0.5 \text{ \AA}$  ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{60}$  วินาที และในแสงความยาวคลื่น  $H_{\alpha} \pm 0.25 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha}$  ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง  $\frac{1}{30}$  วินาที

### 2.4 วิธีศึกษา

การศึกษาพัฒนาการของอาณานิเวศกับมันต์บนดวงอาทิตย์ จำเป็นต้องดูปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆกันในความสูงหลายระดับในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ชั้นโฟโตสเฟียร์ โครโมสเฟียร์ รวมไปถึงโคโรนาซึ่งเป็นบรรยากาศชั้นนอกสุด แต่การสังเกตดวงอาทิตย์ที่ จะนำมาเขียนวิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตอยู่เพียงในชั้นโฟโตสเฟียร์และโครโมสเฟียร์ จึงขอกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสังเกต เพื่อเป็นแนวทางแห่งความเข้าใจถึงวิธีการที่นำมาใช้ในการศึกษานี้

โฟโตสเฟียร์เป็นบรรยากาศชั้นต่ำสุดของดวงอาทิตย์ ระหว่างความลึก 200 และ 400 กม จากผิวของโฟโตสเฟียร์มันส่งรังสีแสงสว่างซึ่งมีแถบสเปกตรัมสืบเนื่อง (continuous

spectrum) โดยมีเส้นมืดฟรอนโฮเฟอร์ (absorption lines หรือ Fraunhofer lines) ตีความด้วย โฟโตสเฟียร์ไม่เพียงแต่จะเปล่งแสงสว่างออกมาเท่านั้น ยังดูดกลืนแสงด้วย การที่ก๊าซของโฟโตสเฟียร์มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงนี้ ทำให้แสงที่ออกมาจากส่วนลึกของโฟโตสเฟียร์มาถึงผู้สังเกตบนโลกได้ยาก กระบวนการในการเปล่งแสงสว่างและการดูดกลืนแสงนั้น เป็นสิ่งที่กำหนดคุณสมบัติที่สังเกตได้ของก๊าซ การหาความทึบต่อแสงสว่างของก๊าซดูได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficient)  $k_\lambda$  ของมัน

$k_\lambda$  คือจำนวนของพลังงานที่ถูกดูดกลืนในทุกทิศทางต่อวินาทีโดย 1 หน่วยปริมาตรของก๊าซที่มีความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) เฉพาะค่าหนึ่ง

ถ้า  $j_\lambda$  เป็นจำนวนพลังงานที่ปล่อยออกมาทุกทิศทางต่อวินาทีโดย 1 หน่วยปริมาตรของก๊าซที่มีความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) เฉพาะค่าหนึ่ง

อัตราส่วน  $j_\lambda/k_\lambda$  เรียกว่า source function หาได้จาก Kirchhoff's law

$$S_\lambda(T) = j_\lambda / k_\lambda \quad (1)$$

สำหรับ เทหวัตถุสีดำ (black body) มี source function ที่เป็นแบบเฉพาะง่าย ๆ วัตถุแบบนี้ถือว่า มันสามารถดูดกลืนพลังงานได้ทุกความถี่ ในสถานะที่อยู่ภายใต้ความสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกนั้น source function  $S_\lambda(T)$  อาจแทนได้ด้วย Planck function  $B_\lambda(T)$  เพื่อให้จะได้สิ่งที่แสดงค่าของการแผ่รังสีที่ปรากฏออกมาจากผิวดวงอาทิตย์นั้น เราต้อง integrate ไปทั่วทุกความถี่ สำหรับสมการ (1) นั้นใช้ได้เฉพาะชั้นที่บางมากๆ เท่านั้น source function มีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

แม้ว่าในหลักเบื้องต้นเราต้องพิจารณาการแผ่รังสีจากทุกระดับ แต่ตามที่เป็นจริงนั้น ผู้สังเกตบนโลกสามารถมองเห็นลึกลงไปโฟโตสเฟียร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากรังสีที่แผ่ออกมาจะเบาบางลงเมื่อผ่านเข้าไปในก๊าซที่สามารถดูดกลืนพลังงาน ถึงแม้ว่าความหนาแน่นเฉลี่ยจะต่ำมากก็ตาม (มีค่าเพียง  $\frac{1}{1000}$  เท่าของบรรยากาศของโลก) การปล่อยและการดูดกลืนพลังงานของอะตอมและไอออนทั้งหมดในความลึกไม่กี่ร้อยกิโลเมตรก็เพียงพอที่จะบิลบิงเซตที่อยู่ต่ำกว่านั้นเอาไว้โดยสิ้นเชิง โดยการ integrate สัมประสิทธิ์การดูดกลืน  $k_\lambda$  ทั่วความลึก  $h$  จะได้อค่า optical depth ของชั้นระหว่าง 0 ถึง  $h$



$$\tau_\lambda = \int_0^h k_\lambda dh \quad (2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนมีความมาก ความทึบต่อแสงก็มีค่าสูง optical thickness ของชั้นที่กำหนดก็มีความมาก แม้ว่า ความหนาที่แท้จริง (เชิงเรขาคณิต) อาจไม่ลึกมาก ความเข้มของการแผ่รังสีที่ปล่อยออกมาที่ optical depth  $\tau_\lambda$  จะลดลงในรูปของ exponential โดยตัวประกอบ (factor)  $e^{-\tau_\lambda}$  ที่ optical depth เป็น 1 จะมีการแผ่รังสีเพียง 0.368 ของระดับนี้ที่สามารถมาถึงเราได้ ที่  $\tau = 4.6$  รังสีแผ่ ออกมาถึงเราได้เพียง 0.01 สารในโฟโตสเฟียร์มีสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนสูง optical depth มีค่าเป็น 1 (ที่  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ ) เกิดที่ระยะ 300 กม. ห่างจากขอบ และ  $\tau = 10$  เกิดขึ้นที่ความลึกถัดไปอีก 100 กม. เนื่องจากเหตุนี้ทำให้เรามองเห็นดวงอาทิตย์ มีขอบคม และเห็นลึกลงไปได้เพียงเล็กน้อยในโฟโตสเฟียร์ (สมิท และ สมิท, 1963)

เนื่องจากโฟโตสเฟียร์เปล่งแสงสีขาว มองเห็นได้ เป็นแสงในบริเวณที่มีความยาวคลื่นในช่วง 4,000 - 8,000 อังสตรอม ดังนั้นเราจึงศึกษาโฟโตสเฟียร์โดยถ่ายภาพดวงอาทิตย์ในแสงสีขาว หรือศึกษาจากภาพของดวงอาทิตย์ที่ทอดไปจากกล้องโทรทรรศน์ไปปรากฏบนฉากที่ตั้งรับภาพ การสังเกตโฟโตสเฟียร์เพื่อทำวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีถ่ายภาพดวงอาทิตย์ โดยให้แสงจากดวงอาทิตย์ผ่านเครื่องกรองแสงตลอดเวลา โดยมีระบบการติดตั้งกล้องถ่ายภาพไว้หลังเครื่องกรองแสงไบรฟริงเจนต์อีกทีหนึ่งคั้งที่ใดกล่าวมาแล้ว การถ่ายภาพโฟโตสเฟียร์นั้น กระทำโดยตั้งความยาวคลื่นที่ผ่านเครื่องกรองแสงให้อยู่ทางศูนย์กลางเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนอัลฟาออกมาหลายๆ โดยที่การถ่ายภาพดวงอาทิตย์ในแสงที่มีความยาวคลื่นเลข  $H_\alpha \pm 1.0 \text{ \AA}$  ออกไป ภาพที่ได้ค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นภาพดวงอาทิตย์ในแสงขาวมากขึ้น ดังนั้นในปฏิบัติการเพื่อสังเกตพัฒนาการของอาณานิคมที่มีบนดวงอาทิตย์นี้จึงใช้ภาพถ่ายในแสง  $H_\alpha + 3 \text{ \AA}$  (ดูรูปที่ 2.6 ข) หรือ  $H_\alpha - 3 \text{ \AA}$  แทนภาพถ่ายในแสงขาว

เหนือระดับโฟโตสเฟียร์ขึ้นไปเป็นชั้นโครโมสเฟียร์ เป็นชั้นพลาสมาบางมากมีความหนา 5,000 - 10,000 กม. โครโมสเฟียร์นี้โปร่งใสไม่สามารถมองเห็นได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมปรกติ อาจศึกษาโครโมสเฟียร์ได้โดยตรงในระหว่างเวลาที่เกิดสุริยุปราคาเต็มดวง

เมื่อควงจันทร์บังโฟโตสเฟียร์ไว้หมด จะเห็นโครโมสเฟียร์อยู่ 2 - 3 วินาที มีสีแดงและดูสว่างอยู่รอบเงามืดของควงจันทร์ และในระหว่างนั้น เส้นสเปกตรัมมีฟรอนโฮเฟอร์เปลี่ยนไปเป็นเส้นสเปกตรัมสว่างในทันทีทันใด ซึ่งเรียกเส้นสเปกตรัมสว่างที่เห็นในช่วงระยะเวลา 2 - 3 วินาทีนี้ว่า "สเปกตรัมวาบ" ( flash spectrum )

ปรากฏว่าโครโมสเฟียร์นี้โปร่งใสต่อรังสีที่แผ่ออกมาแบบต่อเนื่อง ( continuous spectrum ) เช่น รังสีของแสงสว่างสีขาว แต่มันจะแสดงการที่บดบังสีในใจกลางของเส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ที่แรงที่สุด เช่น เส้นสเปกตรัม H<sub>α</sub> และ เส้นสเปกตรัม H และ K ของ Ca<sup>+</sup> เป็นต้น การศึกษาโครโมสเฟียร์ที่ควงและขอบของควงอาทิตย์ ทำได้โดยดู หรือ ถ่ายภาพผ่านเครื่องโทรทรรศน์ควบกับเครื่องกรองแสงที่ให้แสงสีเดียวกันที่กล่าวไว้ข้างต้น จะได้ภาพควงอาทิตย์ในแสงสีเดียวกันที่คมมาก ซึ่งโดยทั่วไปมักทำในแสงของเส้นสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ เนื่องจากที่ความยาวคลื่นเหล่านี้ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนมีค่ามาก ซึ่งโครโมสเฟียร์มันทับต่อรังสีที่แผ่ออกมาที่ความยาวคลื่นนั้น ชุดของฟิลเตอร์แกรมนี่ภายในแสงของเส้นสเปกตรัมต่างๆกัน หรือภายในส่วนต่างๆของเส้นสเปกตรัมอันเดียวกัน จะให้ภาพในระดับต่างๆกันในโครโมสเฟียร์ของควงอาทิตย์ ดังนั้น ภาพเหล่านี้มีความสำคัญในการศึกษาโครงสร้าง 3 มิติของโครโมสเฟียร์ โดยอาศัยการพิจารณาและตีความหมายของรูปลักษณะ ( feature ) ต่างๆที่ปรากฏในฟิลเตอร์แกรมนั้น และรู้ความสูงของระดับที่ปรากฏรูปลักษณะนั้นๆ ความสูงเหล่านั้น คือ ค่าของความสูง  $h^*$  ในโครโมสเฟียร์ ซึ่ง ค่า radial optical depth ที่ความยาวคลื่นที่ใหม่ค่าเป็น 1 ( เคอ จาเกอร์, 1965)

ความสูงที่คำนวณจากแบบจำลองของโครโมสเฟียร์ที่กำหนดให้ หรือที่ได้จากความสูงที่สังเกตได้เมื่อ tangential optical depth มีค่าเป็น 1 ( คือความสูงของเส้นสเปกตรัมสว่างของโครโมสเฟียร์เหนือขอบควง) แสดงไว้ในตารางหน้า 26 ( เคอ จาเกอร์, 1965)

กระบวนการที่ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมมีค่านับซ้อนมาก และเส้นสเปกตรัมที่ปรากฏนั้นควรแคบที่สุดตามเหตุผลและรายละเอียดต่างๆที่นักฟิสิกส์ทั้งหลายได้สรุปไว้ แต่ตามความจริงที่ปรากฏนั้น เส้นสเปกตรัมปรากฏมีความกว้าง ( line width ) โดยมีขอบเขตที่สังเกตได้ และมีเหตุผลที่อธิบายต่อไปคือ การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนเป็นสาเหตุสำคัญอันหนึ่ง

ตารางแสดงค่าสูงเฉลี่ย ( $h^*$ ) ของโครโมสเฟียร์  
ที่ให้ emission ของเส้นสเปกตรัมฟรอนไฮเพอร์บางเส้น  
 (ตาม เคอ จาเกอร์, 1965)

เส้นสเปกตรัม	$\Delta \lambda$	$h^*$ ( $\cdot 10^3$ กม)	
		จากการคำนวณ แบบจำลอง	จากเส้นสเปกตรัม สว่างที่สังเกตได้
$H_\alpha$	0.0	4.0	5.0
	0.2	4.0	
	0.4	3.5	
	0.6	3.0	
	0.8	1.0	
$H_\beta$	0.0	3.0	
	0.2	2.5	
	0.4	1.0	
$H_\gamma$	0.0	2.0	
	0.2	1.0	
$H_\delta$	0.0	1.5	
	0.2	0.8	
$K(Ca^+)$	0.0	4.0	3.0
	0.2	3.2	
	0.3 (K2)	2.0	1.6
	0.6 (K1)	0.6	
	1.0	0.2	
	1.5	0.1	



ในสาเหตุสำคัญหลายประการของการกว้างออกของเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ การเคลื่อนที่นั้นมีทิศทางปะปะไปตามยดากรรม โดยส่วนประกอบของการเคลื่อนที่ในทิศทางที่อยู่ในแนวสายตาของผู้สังเกตเป็นสิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของความถี่ก็คือ การเคลื่อนที่ของอะตอมเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของรังสีที่มันแผ่ออกมา และก็คือการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นของรังสีนั้นๆด้วย การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เกิดขึ้นแบบนี้ เรียกว่า ผลของคอปเปลอร์ ( Doppler effect ) จำนวนความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของอะตอม

$$\Delta \lambda = \lambda \frac{v}{c}$$

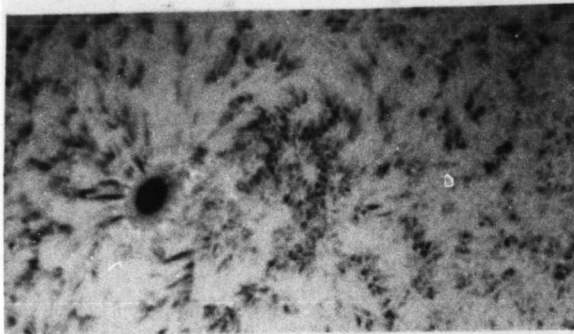
เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นปรกติ  $v$  เป็นความเร็วของอะตอมในทิศทางที่อยู่ในแนวเดียวกับสายตาของผู้สังเกต  $c$  เป็นความเร็วของแสง การเคลื่อนที่ปั่นป่วนเนื่องจากสาเหตุอื่นๆทำให้เกิดผลคอปเปลอร์ด้วย และการกว้างออกของเส้นสเปกตรัมนั้นยังมาจากสาเหตุสำคัญอื่นๆอีกหลายประการ ( สมิท และ สมิท, 1963 ) การกว้างออกของเส้นสเปกตรัมนี้ ทำให้แมงเส้นสเปกตรัมออกได้เป็นหลายส่วน ประกอบด้วย ศูนย์กลางของเส้น ( line center หรือ line core ) และมี ปีก ( line wing ) อยู่สองข้าง ซึ่งมีความยาวคลื่นแตกต่างออกไปเล็กน้อย ปีกของเส้นสเปกตรัมข้างที่อยู่ทางด้านเดียวกับแสงสีแดงของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ เรียกว่า ปีกแดง ( red wing ) ส่วนปีกของเส้นสเปกตรัมข้างที่อยู่ทางด้านเดียวกับแสงสีน้ำเงินของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ เรียกว่า ปีกน้ำเงิน ( blue wing )

ถ้าใช้กล้องโทรทรรศน์สำรวจดวงอาทิตย์ประกอบเข้ากับเครื่องกรองแสงพิเศษซึ่งกำจัดแสงจากโฟโตสเฟียร์ออกไป เหลือเพียงแสงสเปกตรัมบริสุทธิ์ที่มาจากอะตอมของธาตุใดธาตุหนึ่ง ภาพถ่ายของดวงอาทิตย์ในแสงเช่นนี้ จะเป็นภาพของโครโมสเฟียร์ที่คลุมอยู่ทั่วตัวดวงแสดงลักษณะที่ไม่เป็นเนื้อเดียว โครโมสเฟียร์ที่อยู่ในแสงที่มาจากอะตอมของธาตุต่างชนิดกันจะมีลักษณะผิดแผกกันออกไป หรือถ้าดูในแสงที่มีขนาดคลื่นต่างกันของธาตุชนิดเดียวกัน หรือดูในแสงที่มาจากตำแหน่งที่แตกต่างกันในเส้นสเปกตรัมเดียวกันแล้ว โครโมสเฟียร์ก็จะมีลักษณะผิดแผกกันออกไปด้วย ( รัวี ภาวิไล, 1965 )

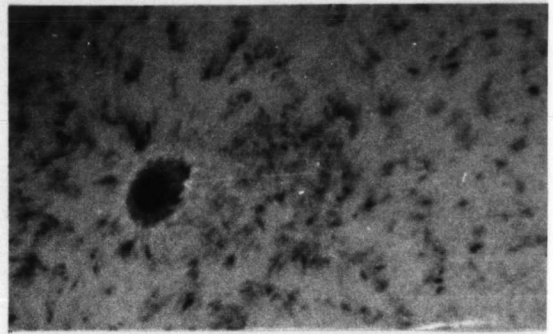
เส้นสเปกตรัม  $H_{\alpha}$  เป็นเส้นสเปกตรัมที่เด่นชัดที่สุดที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนในโครโมสเฟียร์ ประกอบด้วยแสงซึ่งมีขนาดคลื่นต่างๆตั้งแต่ประมาณ 6561.8 อังสตรอมถึง 6563.8 อังสตรอม รวมกันอยู่ โดยมีค่ามากที่สุดที่ 6562.8 อังสตรอม ที่ศูนย์กลางของเส้น เครื่องกรองแสงที่ใช้นั้นสามารถจัดให้แสงผ่านเข้าไปในช่วงขนาดคลื่นแคบเพียง 0.25 อังสตรอมคงโคกลาวมาแล้ว และสามารถจัดให้เลื่อนตำแหน่งเพื่อเลือกขนาดคลื่นใดๆที่ต้องการในส่วนต่างๆของเส้นสเปกตรัมให้ผ่านไปได้ ภาพถ่ายของโครโมสเฟียร์ในแสงส่วนต่างๆเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไป คือ ภาพของโครโมสเฟียร์ที่ศูนย์กลางเส้นจะเป็นอย่างหนึ่ง แต่ภาพของโครโมสเฟียร์ที่  $6562.8 + 0.5 \text{ \AA}$  จะมีลักษณะแตกต่างออกไปแต่ก็ยังสามารถเทียบเคียงกันได้ ทั้งนี้เพราะแสงที่มีขนาดคลื่นตามตำแหน่งต่างๆในบริเวณเส้นสเปกตรัมมาจากระดับต่างกันโครโมสเฟียร์ทั้งที่โคกลาวมาแล้ว การที่ลักษณะโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ซึ่งมาจากแสงของธาตุต่างชนิดกัน แต่อยู่ในระดับความสูงเดียวกันไม่เหมือนกันนั้น ยังไม่มีผู้ใดให้เหตุผลชัดเจน (ระวี ภาวิไล, 1965)

รูปที่ 2.6 ก - ข เป็นภาพเปรียบเทียบของโครโมสเฟียร์บนตำแหน่งเดียวกันบนดวงอาทิตย์ที่เรามองเห็น ถ่ายจากแสงในความยาวคลื่นต่างๆผ่านกล้องโทรทรรศน์ควบกับเครื่องกรองแสงพิเศษที่ให้ช่วงกว้างของขนาดคลื่นเพียง 0.25 อังสตรอมผ่านไปได้ แสงซึ่งมาสร้างภาพในรูป ข. เป็นแสงในใจกลางเส้น  $H_{\alpha}$  มีความยาวคลื่น 6562.8  $\text{\AA}$  มาจากระดับสูงสุดในโครโมสเฟียร์ คือ ประมาณ 5,000 กม จากผิว ภาพ ค. และ ง. เป็นภาพในแสง  $H_{\alpha} - 0.5 \text{ \AA}$  และ  $H_{\alpha} + 0.5 \text{ \AA}$  เป็นแสงในโครโมสเฟียร์ระดับที่ต่ำลงไป คือ ราว 3,500 กม จากโฟโตสเฟียร์ ภาพ ค. แสดงโครงสร้างในระดับนี้ที่กำลังเคลื่อนเข้าหาผู้สังเกต ส่วนภาพ ง. แสดงโครงสร้างในระดับนี้ที่กำลังเคลื่อนออกไปจากผู้สังเกต ทั้งนี้เป็นไปตามหลักของคอปป์เลอร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยของความยาวคลื่นที่สังเกตได้ คงโคกลาวมาแล้ว

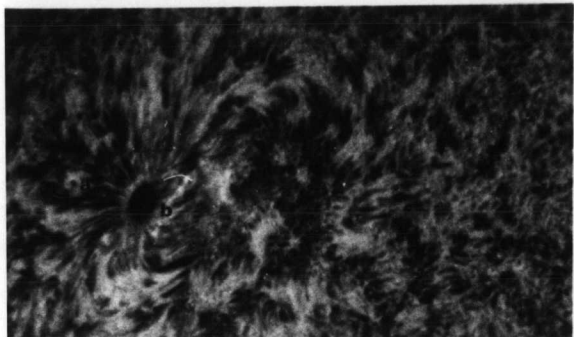
ถ้าพิจารณาเทียบเคียงภาพทั้ง 7 จาก ก - ข ในรูปที่ 2.6 อย่างถี่ถ้วน ก็จะพบการสืบเนื่องของรูปลักษณะที่ปรากฏในแต่ละภาพ โดยแต่ละภาพยังรักษาเค้าโครงเดิมบางอย่างซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับภาพอื่นๆแต่ละภาพด้วย เมื่อนำลักษณะสืบเนื่องในรูปลักษณะอัน



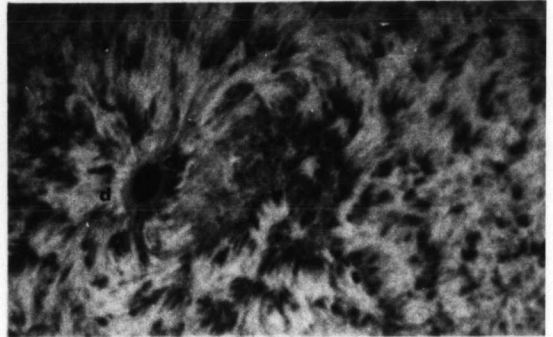
ก.  $H_{\alpha} - 0.75 \text{ \AA}$  09:55:37



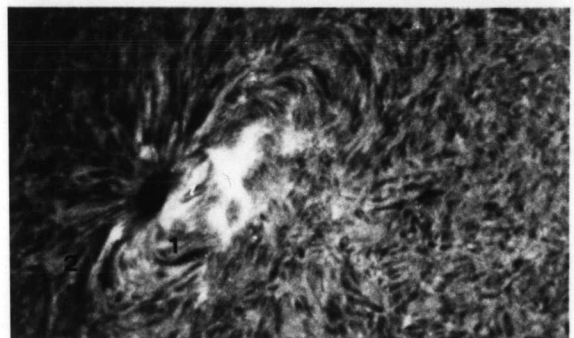
ข.  $H_{\alpha} + 0.75 \text{ \AA}$  09:55:12



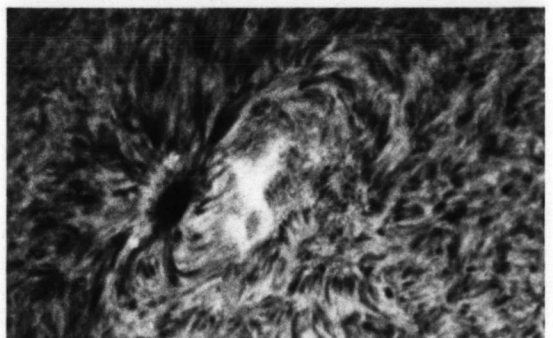
ค.  $H_{\alpha} - 0.5 \text{ \AA}$  09:55:33



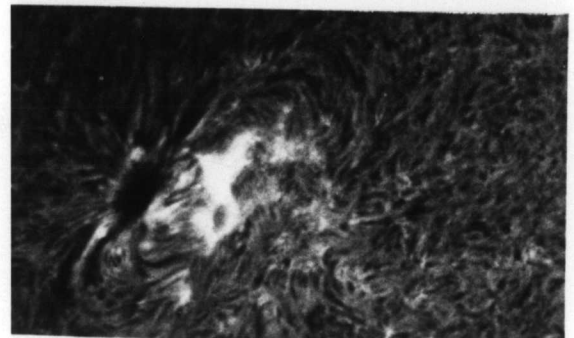
ง.  $H_{\alpha} + 0.5 \text{ \AA}$  09:55:17



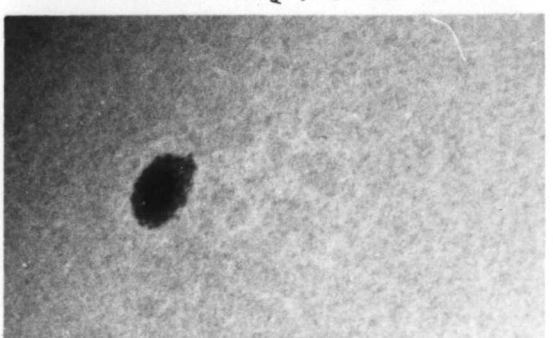
จ.  $H_{\alpha} - 0.25 \text{ \AA}$



ฉ.  $H_{\alpha} + 0.25 \text{ \AA}$



ช.  $H_{\alpha}$



ซ.  $H_{\alpha} + 3 \text{ \AA}$

รูปที่ 2.6 ก.-ช. เป็นภาพถ่ายของโครโมสเฟียร์ในแสงที่ปีกสองข้างและใจกลางเส้น  $H_{\alpha}$  และ ซ. ภาพถ่ายในแสง  $H_{\alpha} + 3 \text{ \AA}$  ใช้แทนภาพถ่ายในแสงขาว

0 50 100



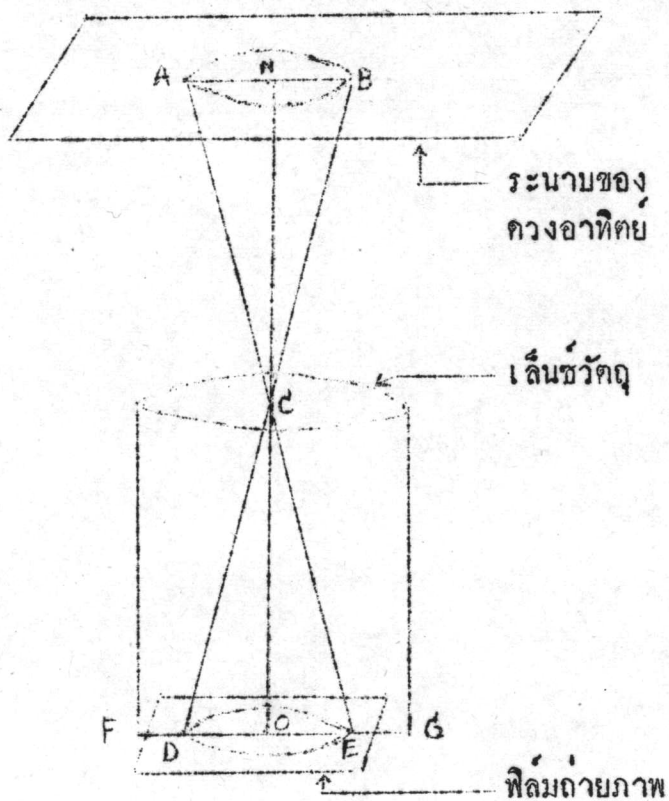
เกี่ยวกับของหลายๆภาพมาวิเคราะห์ ก็จะช่วยให้ภาพพจน์ของโครงสร้าง 3 มิติของโครโมสเฟียร์มีความชัดเจนมากขึ้น แต่การที่จะตัดสินว่าโครโมสเฟียร์มีโครงสร้างที่แท้จริงเป็นอย่างไรนั้น ย่อมต้องการการค้นคว้าสังเกตอีกมาก เครื่องมือที่ใช้จะต้องมีกำลังแยกสูงพอที่จะให้ภาพชัดเจนของรูปลักษณะที่เล็กที่สุด ความรู้เกี่ยวกับกลไกทั้งหลายที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ต้องพัฒนาไปมากพอ และสภาพบรรยากาศบนพื้นโลกต้องอำนวยให้การสังเกตเป็นไปได้

สังเกตการณ์เกี่ยวกับโครโมสเฟียร์เพื่อศึกษาพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์บนดวงอาทิตย์ได้กระทำไปพร้อมๆกับการศึกษาโฟโตสเฟียร์ ทำโดยถ่ายภาพดวงอาทิตย์ผ่านกล้องโทรทรรศน์สำรวจดวงอาทิตย์ควบกับเครื่องกรองแสงพิเศษ ในแสงจากศูนย์กลางเส้นไฮโดรเจนอัลฟาและแสงจากส่วนต่างๆในปีกทั้งสองข้างของเส้นไฮโดรเจนอัลฟาด้วย โดยมีแถบขวางคลื่นผ่านเข้าไปในเครื่องกรองแสงกว้างเพียง 0.25 อังสตรอม การเปลี่ยนความยาวของช่วงคลื่นที่ผ่านเข้าไปนั้น ใช้ความยาวของคลื่นดังนี้คือ  $H_{\alpha} + 3 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} + 2 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} + 1 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} + 0.75 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} + 0.5 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} + 0.25 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\alpha} - 0.25 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} - 0.5 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} - 0.75 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} - 1 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} - 2 \text{ \AA}$ ,  $H_{\alpha} - 3 \text{ \AA}$  การถ่ายภาพนั้นกระทำทุกวัน ตั้งแต่ ต้นเดือน กันยายน พ.ศ. 2517 ไปจนถึงปลายเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2517 เว้นแต่วันใดฝนตกหรือมีเมฆปกคลุมท้องฟ้ามาก ก็ไม่สามารถทำการถ่ายภาพดวงอาทิตย์ได้ เวลาที่เริ่มเปิดกล้องจะเริ่มประมาณ 8.00 น. และ ปิดกล้องในเวลาประมาณ 13 หรือ 14 น. ซึ่งในช่วงเวลาของการสังเกตในแต่ละวันนั้น ไขว่จะสามารถถ่ายภาพได้โดยสะดวกติดต่อกัน บางวันถ่ายได้เพียง 2 - 3 ภาพก็ต้องคอยไป 1 - 2 ชั่วโมง จึงจะถ่ายภาพต่อไปได้ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากปฏิบัติการนี้จึงอาจขาดตอนไปเป็นบางช่วง และสังเกตการณ์ที่ทำในเดือนกันยายน - ตุลาคม นั้น เนื่องจากสภาพอากาศไม่อำนวย จึงทำการสังเกตได้น้อยมาก

นำฟิล์มที่ถ่ายภาพได้ไปล้างแล้วทำรายการเก็บรวบรวมไว้ และนำมา อธิบายภาพที่ต้องการ เพื่อวิเคราะห์หารายละเอียดของพัฒนาการของอาณาบริเวณกัมมันต์

### การวัดขนาดบนดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ที่ปรากฏเป็นดวงกลมบนท้องฟ้านั้นมีขนาดจริงรับมุมที่ตาของคนบนพื้นโลกโตประมาณ ครึ่งองศา ขนาดปรากฏนี้เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยทุกวัน ขนาดปรากฏของดวงอาทิตย์แต่ละวันในรอบปีจะดูได้จากตารางที่ตีพิมพ์ในหนังสือ *Astronomical Ephemeris* ซึ่งจะบอกรัศมีของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันเป็นขนาดของมุมที่ปรากฏแก่ตา ตัวอย่างเช่น รัศมีของดวงอาทิตย์ในวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2517 มีขนาดเป็น  $16' 17''.23$



รูปที่ 2.7

ในรูปที่ 2.7 ให้ C เป็นจุดศูนย์กลางของเลนส์วัตถุ ( Objective ) FG เป็น  
 ระนาบโฟกัสของเลนส์วัตถุ CO เป็นแกนแสง ( optical axis ) ของกล้องโทรทรรศน์  
 ซึ่งตั้งฉากกับ FG ที่จุด O ฟิล์มถ่ายภาพซึ่งอยู่ในกล้องถ่ายภาพติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ให้  
 การที่มีปฏิกริยาต่อแสงที่เข้ารับแสงและอยู่ในระนาบโฟกัสของกล้องโทรทรรศน์พอดี แสง  
 จากดวงอาทิตย์ที่ทอดไปยังกระจเงเบื้องหน้ากล้องโทรทรรศน์แล้วสะท้อนเข้าปากกล้อง  
 เพื่อไปปรากฏเป็นภาพดวงอาทิตย์ที่ฟิล์มถ่ายภาพนั้น ก็จะได้ผลเช่นเดียวกับให้ดวงอาทิตย์  
 ปรากฏอยู่หน้ากล้องโทรทรรศน์โดยตรง เพียงแต่ได้ภาพกลับซ้ายเป็นขวาคงภาพที่ปรากฏ  
 ในกระจเงเท่านั้น

เมื่อแนวแกนแสงของกล้องผ่านศูนย์กลางของดวงอาทิตย์พอดี และรังสีของแสง  
 จากดวงอาทิตย์ ANB ผ่านเลนส์วัตถุไปเกิดเป็นภาพ DOE ซึ่งเป็นวงกลมขนาดเล็กบนฟิล์ม  
 รัศมี AN ของดวงอาทิตย์ ขนานกับ รัศมี EO ของภาพบนฟิล์ม

$$\text{ให้ } \angle \text{ACN} = \angle \text{ECO}$$

คือมุมที่รองรับด้วยรัศมีของดวงอาทิตย์

$$\text{รัศมีของภาพดวงอาทิตย์บนฟิล์ม} = EO = CO \tan \rho$$

ค่าของมุม  $\rho$  ดูจากหนังสือ Astronomical Ephemeris ดังที่กล่าวมาแล้ว  
 เนื่องจาก  $\rho$  เป็นมุมเล็ก ทำให้เป็นหน่วยเรเดียน

$$57.3^\circ = 1 \text{ เรเดียน}$$

$$\therefore \rho = \frac{\rho}{57.3} = \rho \text{ เรเดียน}$$

$$\text{รัศมีของภาพดวงอาทิตย์บนฟิล์ม} = CO \tan \rho$$

$$= CO \times \rho \quad \text{เมื่อ } \rho \text{ เป็นมุมเล็ก}$$

$$= CO \times \frac{\rho}{57.3}$$

ในวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2517 มุม  $\rho = 16' 17'' .23$

ขนาดของภาพดวงอาทิตย์ที่ถ่ายผ่านกล้องโทรทรรศน์ทางยาวโฟกัส 1,500 มม

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ วันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2517 จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง} &= \frac{2 \times 1500 \times 977.23}{57.3 \times 3600} \text{ มม} \\ &= 14.2 \text{ มม} \end{aligned}$$



$$\text{รัศมีของดวงอาทิตย์} = 696,000 \text{ กม}$$

เทียบขนาดของมุมที่ตา  $16' 17''.23 =$  ระยะทางที่มองเห็นบนดวงอาทิตย์  $696,000 \text{ กม}$

นั่นคือ มุมที่ตา  $1'' =$  ระยะทางที่มองเห็นบนดวงอาทิตย์  $712 \text{ กม}$

หรือจะใช้เวลาประมาณ เป็น  $1'' =$  ระยะทาง  $720 \text{ กม}$  บนดวงอาทิตย์

เมื่อเทียบขนาดในภาพ กับ ระยะทางบนดวงอาทิตย์ จะได้เป็น

จากภาพถ่ายเต็มดวงของดวงอาทิตย์ในวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2517

$$\text{ระยะ } 14.2 \text{ มม ในภาพ} = 2 \times 696,000 \text{ กม บนดวงอาทิตย์}$$

$$= 2 \times 16' 17''.23 \text{ (มุมที่ตา)}$$

$$\text{หรือ ระยะ } 1 \text{ มม ในภาพ} = 98,028 \text{ กม บนดวงอาทิตย์}$$

$$= 2' 17''.64 \text{ (มุมที่ตา)}$$

ถ้าขยายภาพให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตเป็น 10, 15 หรือ 20 เท่า ก็คิดขนาดขยายขึ้นตามส่วน ตัวอย่างเช่น ถ้าขยายภาพจากฟิล์มให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตขึ้นอีก 20 เท่า

ก็จะได้ ระยะ  $14.2 \times 20 \text{ มม ในภาพ} = 2 \times 696,000 \text{ กม บนดวงอาทิตย์}$

$$= 2 \times 16' 17''.23 \text{ (มุมที่ตา)}$$

$$\text{หรือ ระยะ } 1 \text{ มม ในภาพ} = 4901 \text{ กม บนดวงอาทิตย์}$$

$$= 6''.88 \text{ (มุมที่ตา)}$$

ส่วนการถ่ายขยายโดยใช้เลนส์ขยาย 3 เท่านี้ เมื่อทดสอบขนาดของภาพบน

ฟิล์มจากการอัดขยายภาพที่ถ่ายบริเวณขอบดวงให้โตขึ้นอีก 9.5 เท่า วัดและคำนวณหา

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของภาพบนฟิล์มที่ถ่ายแบบขยาย ดังนี้

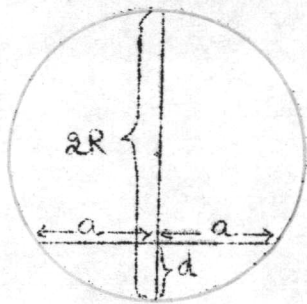
จากขอบดวงที่ได้ลากคอร์ดขึ้นเส้นหนึ่งยาว  $2a$

แบ่งครึ่งคอร์ดนี้ ที่จุดแบ่งครึ่งลากเส้นตั้งฉากกับคอร์ดไปพบขอบดวง สมมุติ

ยาว  $a$  และเส้นตั้งฉากนี้เมื่อลากต่อไปอีกข้าง

หนึ่งยอมผ่านจุดศูนย์กลางของภาพดวงอาทิตย์

ให้  $2R =$  เส้นผ่าศูนย์กลางของภาพดวงอาทิตย์



$$a \times a = (2R - d) \times d$$

$$R = \frac{a^2 + d^2}{2d}$$

$$R = \frac{(2a)^2 + 4d^2}{8d}$$

จากภาพที่อัดขยาย 9.5 เท่าจากฟิล์มขยาย วันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2517

$$\beta = 16 \quad 16'' .60 \quad 2a = 22 \text{ มม} \quad d = 3.25 \text{ มม}$$

$$R = \frac{(22)^2 + 4 \times (3.25)^2}{8 \times 3.25}$$

$$= 20.24 \quad \text{มม}$$

$$\text{กำลังขยาย} = \frac{20.24}{9.5 \times 0.71} = 3.0007 \approx 3 \text{ เท่า}$$

ดังนั้น จากภาพบนฟิล์มซึ่งขยายขึ้นอีกเป็น 3 เท่าของภาพปฐมภูมิ จะได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะ } 14.2 \times 3 \text{ มม ของภาพ} &= 2 \times 696,000 \text{ กม บนดวงอาทิตย์} \\ &= 2 \times 16 \quad 16'' .60 \quad (\text{มุมที่ตา}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ ระยะ } 1 \text{ มม ของภาพ} &= 32676.0 \text{ กม บนดวงอาทิตย์} \\ &= 45'' .849 \quad (\text{มุมที่ตา}) \end{aligned}$$

ถ้าขยายภาพให้โตเป็น 20 เท่าของภาพบนฟิล์ม จะได้

$$\text{ระยะ } 1 \text{ มม ของภาพ} = 2'' .29$$

ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นการวัดระยะทางที่ปรากฏในการสังเกตของคนบนโลก ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับขนาดที่มองเห็นจริง ถ้ารูปลักษณะที่ถูกสังเกตปรากฏอยู่ในบริเวณกลางดวง หรือ บริเวณดัดขอบดวงโฟโตสเฟียร์ออกไป ถ้ารูปลักษณะที่ถูกสังเกตปรากฏอยู่ในบริเวณที่อยู่ดัดขอบดวงเข้ามา ขนาดของรูปลักษณะนั้นที่ปรากฏแตกต่างไปจากขนาดจริง เพราะรูปลักษณะนั้นวางตัวอยู่บนผิวดวงอาทิตย์ซึ่งโค้งลงห่างออกไปจากผู้สังเกต การวัดขนาดต่างๆในวิทยานิพนธ์นี้จะเทียบขนาดเป็นมุมที่ตาเสมอ

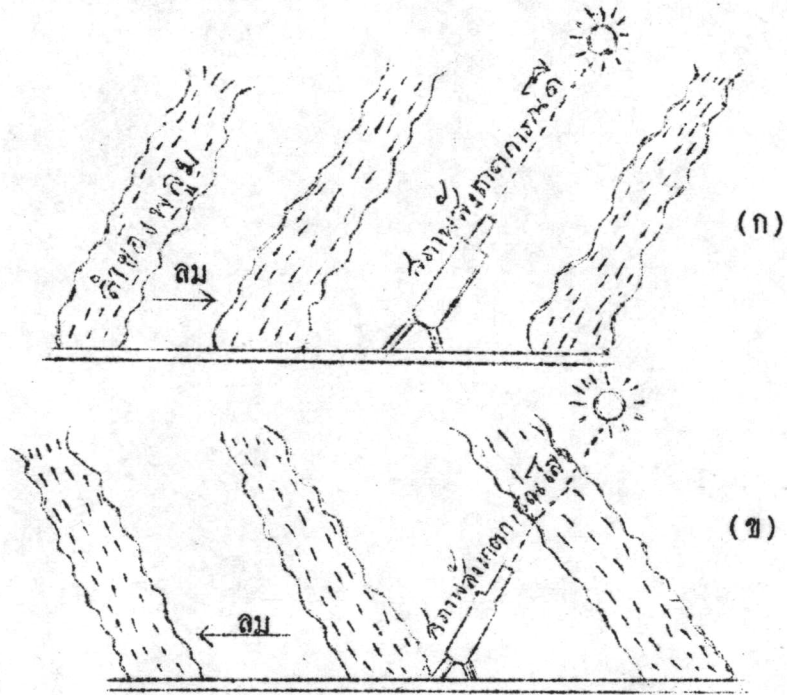
## 2.5 สภาพสังเกตการณ์ ( seeing )

การศึกษาวิจัยดวงอาทิตย์นั้น จำเป็นที่ต้องใช้ภาพถ่ายที่แสดงโครงสร้างละเอียดของส่วนที่ตองการศึกษาอย่างชัดเจน แต่ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ มักจะมีคุณภาพความละเอียดไม่ชัดเจนพอที่จะใช้เป็นข้อมูลศึกษาธรรมชาติของดวงอาทิตย์ ถ้าเอาภาพเหล่านี้มาขยายให้โตยิ่งขึ้นก็จะได้ภาพที่พร่ามัวไม่ชัดเจน สาเหตุสำคัญที่ทำให้ภาพถ่ายของดวงอาทิตย์ไม่ชัดเจนก็คือบรรยากาศซึ่งคั่นอยู่ระหว่างกล้องกับดวงอาทิตย์ซึ่งมีสภาพแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้สภาพการสังเกตแปรปรวนไปด้วย ดังนั้นภาพถ่ายของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการสังเกตแต่ละวันจะมีลักษณะที่แบ่งได้เป็นประเภท คือ เลิศ ( excellent ) ดี ( good ) พอใช้ ( fair ) เลว ( poor ) และ เลวมาก ( very poor ) ภาพประเภทที่ถือว่าดีเลิศนั้น ถ่ายได้ในสภาพสังเกตการณ์ดีมากได้ภาพที่มีกำลังแยก ( resolving power ) ถึง 1 พิลิปดาหรือดีกว่า การศึกษาโครงสร้างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษารายละเอียดของจุดบนดวงอาทิตย์ หรือ รายละเอียดของโฟโตสเฟียร์ ต้องการให้ได้ภาพประเภทนี้ ตลอดเวลาที่ทำการสังเกตเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์นี้ ได้ภาพถ่ายของดวงอาทิตย์อยู่ในประเภท พอใช้ เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นก็จะเป็นประเภท เลว และ เลวมาก ส่วนภาพประเภท ดี และ ดีเลิศนั้นมีน้อย

ความแตกต่างกันของอุณหภูมิของอากาศในชั้นต่างๆทำให้ลักษณะของความหนาแน่นของอากาศไม่เป็นเนื้อเดียว แสงจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นอากาศเหล่านี้จะหักเหไปมากอนที่จะตกกระทบแผ่นฟิล์ม ภาพของดวงอาทิตย์ที่ได้จึงแปรไปจากที่เป็นจริง และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในตอนเช้าหลังดวงอาทิตย์ขึ้นเล็กน้อย แมวอุณหภูมิจะยังคงต่ำ อากาศสงบ แต่ถาทำการสังเกตตอนนั้น แสงจากดวงอาทิตย์ส่องเฉลียงผ่านบรรยากาศส่วนใหญ่ทำให้ได้ภาพไม่ชัด สังเกตการณ์ตอนเช้าอาจเหมาะสำหรับหอดสังเกตการณ์ที่ตั้งอยู่บนยอดเขาสูง ในตอนสาย พื้นดินดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์แล้วแผ่รังสีความร้อนออกมา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นๆลงๆของอุณหภูมิ เกิดการปั่นป่วนของอากาศใกล้พื้นดิน ทำให้สภาพสังเกตการณ์เลวลง นอกจากนี้ การรอนขึ้นของกล้องโทรทรรศน์และส่วนของอาคารที่อยู่โดยรอบใกล้ๆกันกับกล้องก็มีส่วนช่วยให้สภาพสังเกตการณ์เลวลงด้วย ในตอนใกล้



เพียง สภาพของอากาศเข้าสู่สมดุขยบางประการ คืออากาศที่ปั่นป่วนรวมกันเข้าเป็นลำสูงประมาณ 20 เมตร พุ่งขึ้นจากพื้นดินในสภาพของการพาความร้อน ลำของกระแสอากาศนี้เรียกว่า พลุมน ( plume ) บริเวณของอากาศที่ล้อมรอบอยู่ใกล้ๆพลุมนเป็นอากาศที่เย็นกว่า มีอุณหภูมิสม่ำเสมอกว่า เป็นอากาศที่กำลังเคลื่อนที่ลง ถ้าแนวของการสังเกตที่ตรงไปยังดวงอาทิตย์วางอยู่ในโซนที่มีอุณหภูมิของอากาศสม่ำเสมอ ( รูปที่ 2.8 ก) ภาพถ่ายของดวงอาทิตย์ที่ได้จะมีคุณภาพดี แต่พลุมนนั้นจะเอนเอียงไปในทิศทางต่างๆตามกระแสลมที่พัดในระดับผิวพื้นดิน ดังนั้น ถ้าแนวทิศทางการสังเกตผ่านเข้าไปในลำของพลุมน ( รูปที่ 2.8 ข) ภาพถ่ายที่ได้จะมีคุณภาพเลว กระแสลมที่พัดไปมาเป็นพิกๆทำให้เกิดผลต่อสภาพสังเกตการณ์ ภาพที่ถ่ายตามลำลำกับกันอาจจะได้ภาพที่ชัดสุดอยู่ระหว่างภาพ 2 ภาพที่เลวที่สุดก็ได้ ถ้าสภาพสังเกตการณ์เลว เมื่อคุณภาพของดวงอาทิตย์ในกล้องโทรทรรศน์ผ่านเลนส์ตา จะเห็นขอบของดวงอาทิตย์กระพริบมากหรือน้อยแล้วแต่ความปั่นป่วนของอากาศจะมากหรือน้อย ถ้าอากาศสงบ สภาพสังเกตการณ์ดี จะเห็นขอบของดวงอาทิตย์อยู่นิ่ง



รูปที่ 2.8

ตลอดระยะเวลาของสังเกตการณ์ เริ่มทำการสังเกตตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 น. จนถึง 13 หรือ 14 น. ทุกวันที่สามารถสังเกตได้ ซึ่งเป็นช่วงที่อาจได้สภาพสังเกตการณ์ดี