บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

1. มูลเหตุของการศึกษาดวงอาทิตย์

ความสนใจในการศึกษาดวงอาทิตย์ มีเหตุสำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1.1 ในระบบสุริยะ ดวงอาทิตย์มีมวลมากที่สุดและเป็นศูนย์กลางของการโคจรของดาวเคราะห์ทั้งปวง รวมทั้งโลกที่เราอาศัยอยู่นี้ด้วย

1.2 ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในระบบสุริยะ โดยเฉพาะเป็นต้นกำเนิดของพลังงานเกือบทุกชนิดบนโลก

1.3 ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ดวงเดียวซึ่งอยู่ใกล้มากพอที่จะศึกษารายละเอียดบนผิวดวงได้ ความรู้เกี่ยวกับดวงอาทิตย์จึงช่วยเพิ่มพูนความเข้าใจในดาวฤกษ์อื่น ๆ ที่อยู่ไกลออกไป

2. ข้อมูลทางดาราศาสตร์เกี่ยวกับดวงอาทิตย์

2.1 ลักษณะทั่วไป ในการคำนวณหาขนาดและค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (absolute magnitude) ของวัตถุท้องฟ้าจำเป็นจะต้องทราบระยะทางจากผู้สังเกตไปยังวัตถุนั้น ระยะทางจึงเป็นปริมาณพื้นฐานที่จำเป็นต่อการศึกษาวัตถุท้องฟ้าในด้านต่าง ๆ สำหรับระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันมีดังนี้ ระยะทางเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด คือที่ตำแหน่งเพริฮีเลียน (perihelion) มีค่าเท่ากับ 1.471×10^{13} เซนติเมตร ระยะทางที่ไกลที่สุดคือที่ตำแหน่งอะพีเลียน (aphelion) มีค่าเท่ากับ 1.521×10^{13} เซนติเมตร เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้จึงคิดค่าเฉลี่ยเป็นมาตรฐานมีชื่อเรียกว่าหน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical Unit) มีค่าเท่ากับ 1.496×10^{13} เซนติเมตร

เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงมุมของดวงอาทิตย์ซึ่งวัดจากโลกที่ระยะ 1 หน่วยดาราศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1919 ฟิลิปดา เมื่อทราบระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์ก็คำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเส้นของดวงอาทิตย์ได้เท่ากับ 1.392×10^{11} เซนติเมตร และจากมวลของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1.989×10^{33} กรัม ก็คำนวณหาความหนาแน่นเฉลี่ยออกมาได้เท่ากับ 1.409 กรัมต่อเซนติเมตร^3 และได้ค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงที่ผิวดวงเท่ากับ 2.740×10^4 เซนติเมตรต่อวินาที^{2}

ค่าคงที่สุริยะ (solar constant) คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรในเวลา 1 วินาที ที่ระยะ 1 หน่วยดาราศาสตร์วัดนอกบรรยากาศโลก มีค่าเท่ากับ 1.360×10^6 เออร์กต่อเซนติเมตร^2-วินาที ความโชติช่วง (luminosity) คือพลังงานทั้งหมดที่ดวงอาทิตย์ปล่อยออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 3.826×10^{33} เออร์กต่อวินาที อาศัยค่าความโชติช่วงและระยะทางโลกถึงดวงอาทิตย์ จึงคำนวณหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (absolute magnitude) ได้เท่ากับ +4.83 ส่วนค่าโชติมาตรปรากฏ (apparent magnitude) ได้เท่ากับ -26.7 และสเปคตรัมของดวงอาทิตย์จัดอยู่ในแบบ G 2 V (Allen , 1976)

ความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์วัดได้โดยติดตามสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดบนผิวดวง เช่น จุดมืด (sunspot) หรือการเลื่อนดอปเปลอร์ (Doppler shift) ของเส้นสเปคตรัมของแสงที่มาจากขอบดวง พบว่าความเร็วที่เส้นรุ้งต่างกันจะมีค่าต่างกันไปด้วย บริเวณเส้นศูนย์สูตรมีคาบของการหมุนรอบตัวเองสั้นที่สุดเป็นเวลา 25 วันดาราคติ (sidereal day) หรือด้วยความเร็วเชิงมุม 14.4 องศาต่อวัน บริเวณเส้นรุ้งเหนือขึ้นไปหรือใต้ลงมาการหมุนจะช้าลง เช่นที่เส้นรุ้ง 35 องศา ความเร็วเชิงมุมลดลงเหลือ 13.5 องศาต่อวัน ระนาบศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์เอียงทำมุม 7 องศา 15 ลิปดา กับระนาบอิคลิปติก (Goldberg , 1965)

2.2 <u>อุณหภูมิยังผลของดวงอาทิตย์</u> การวัดอุณหภูมิที่ผิวของดวงอาทิตย์โดยตรงย่อมทำไม่ได้ ต้องอาศัยการคำนวณจากค่าความเข้มของการแผ่รังสี โดยใช้กฎของ

สเตฟาน-โบลท์ซมาน (Stefan-Boltzman law) ซึ่งกล่าวว่า ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิของวัตถุดำยกกำลังสี่ ความสัมพันธ์นี้เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\pi F = \sigma T^4 \qquad (1.1)$$

โดยที่ πF เป็นฟลักซ์ที่ผิวของวัตถุดำที่ใช้เป็นตัวแทนของดวงอาทิตย์มีหน่วยเป็นเออร์ก ต่อเซนติเมตร^2 - วินาที

T เป็นอุณหภูมิของวัตถุดำ มีหน่วยเป็นองศาเคลวิน

σ เป็นค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลท์ซมาน มีค่าเท่ากับ 5.670×10^{-5} เออร์ก ต่อเซนติเมตร^2-วินาที-เคลวิน^4

สำหรับดวงอาทิตย์ ค่าฟลักซ์ที่ผิวดวงหาได้จากความโชติช่วง L และรัศมี R ตามสมการ

$$\pi F = \frac{L}{4\pi R^2} \qquad (1.2)$$

เมื่อแทนค่าตัวที่รู้ค่าทุกตัวลงไป จะคำนวณอุณหภูมิยังผลได้เท่ากับ 5770 องศาเคลวิน (Allen , 1963)

3. โครงสร้างดวงอาทิตย์

โครงสร้างของดวงอาทิตย์มีส่วนสำคัญแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

3.1 โครงสร้างภายใน (Interior structure) เป็นส่วนที่ซ่อนอยู่ภายในไม่สามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ได้โดยตรง ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างภายในและวิวัฒนาการของมันจึงได้มาจากการคำนวณ โดยอาศัยทฤษฎีทางฟิสิกส์และกำหนดสภาวะขอบเขต (boundary condition) ด้วยข้อมูลจากสังเกตการณ์ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ มวล รัศมี ความโชติช่วง และอัตราการปล่อยนิวตริโน ต่างก็สัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติรวมของดวงอาทิตย์ ข้อมูลอื่น อาทิ กัมมันตภาพ และสนามความเร็ว (velocity field) อันเป็นผลจากขบวนการพลวัต (dynamic process) ที่ปรากฏให้สังเกตได้บนผิวดวงก็ถูกนำไปใช้ประกอบการคำนวณหาลักษณะโครงสร้างภายในด้วย (Ulrich , 1977)

โดยทั่วไปโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ แกนกลาง (core) ชั้นแผ่รังสี (radiative zone) และชั้นการพา (convective zone)

3.1.1 แกนกลาง จากการอนุมานทางทฤษฎี แกนกลางของดวงอาทิตย์มีมวลประมาณ 1.0×10^{33} กรัม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5×10^{10} เซนติเมตร อุณหภูมิที่ศูนย์กลางเท่ากับ 15.5×10^{6} องศาเคลวิน ส่วนผิวนอกมีอุณหภูมิ 8.0×10^{6} องศาเคลวิน ความหนาแน่นที่ศูนย์กลางและผิวนอกประมาณ 160 และ 27.2 กรัมต่อเซนติเมตร^3 ตามลำดับ ส่วนประกอบของมวลเป็นไฮโดรเจนร้อยละ 71 ฮีเลียมร้อยละ 26.5 และธาตุอื่น ๆ รวมกันไม่เกินร้อยละ 2.5 (Allen , 1976)

ในแกนกลางมีอุณหภูมิและความหนาแน่นที่สูงมาก จึงเกิดปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์หลอมไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานออกมา จากการคำนวณพบว่าพลังงานที่ถูกปล่อยออกมามีค่าเฉลี่ย 2.0 เออร์กต่อกรัมต่อ-วินาที ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการปลดปล่อยพลังงานทั้งหมดของดวงอาทิตย์ ปฏิกริยาที่สำคัญ คือ ปฏิกริยาโปรตอน-โปรตอน (ซึ่งยังมีแบ่งย่อยประเภทไปอีก) ส่วนวัฏจักรคาร์บอนในดวงอาทิตย์ (carbon cycle) นั้น ให้พลังงาน (ต่อหน่วยมวลต่อวินาที) น้อยกว่าปฏิกริยาแรกถึง 1/12 เท่า (Epstein , 1950)

3.1.2 ชั้นแผ่รังสี เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากแกนกลางออกมาจนถึงระยะรัศมีประมาณ 5.99×10^{10} เซนติเมตร เป็นชั้นที่อุณหภูมิและความหนาแน่นลดลงอย่างรวดเร็วตามแนวรัศมี สสารส่วนใหญ่ได้แก่ไฮโดรเจนและฮีเลียม นิวเคลียสของไฮโดรเจนมีมากกว่าฮีเลียมประมาณ 10 เท่า และมีธาตุหนักอื่น ๆ ประมาณ ร้อยละ 1 รังสีแกมมาจากแกนกลางจะถูกสสารในชั้นนี้ดูดกลืนและแผ่รังสีต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อถึงผิวดวง รังสีส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นในช่วงของแสงสว่าง (Gibson , 1973)

3.1.3 ชั้นการพา เป็นส่วนนอกสุดของโครงสร้างภายในซึ่งอยู่ติดกับบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ มีความลึกวัดจากขอบล่างที่สุดของชั้นโฟโตสเฟียร์ไปประมาณ 9.70×10^{9} เซนติเมตร อุณหภูมิของขอบในมีค่าประมาณ 5.0×10^{5} องศาเคลวิน และขอบนอกประมาณ 6.6×10^{3} องศาเคลวิน เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำ อีเลคตรอนอิสระ

เคลื่อนที่ช้าจึงมีโอกาสมากที่จะรวมตัวกับไอออนเป็นอะตอม หรือเป็นไอออนที่มีสถานะต่ำลง อะตอมมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดกลืนโฟตอนได้ดี จึงเกิดเป็นชั้นที่ปิดกั้นการแผ่รังสีของพลังงานจากชั้นใน มีการสะสมพลังงานจนเกรเดียนท์ของอุณหภูมิ (temperature gradient) มีค่าสูงมาก จนก่อให้เกิดการไหลวนของสสาร ซึ่งเป็นขบวนการพาพลังงานขึ้นไปถ่ายเทออกไปสู่ชั้นบรรยากาศอีกแบบหนึ่ง (Gibson , 1973)

3.2 <u>บรรยากาศ</u> (Solar atmosphere) เป็นส่วนนอกสุดที่หุ้มห่อดวงอาทิตย์อยู่ สสารในชั้นนี้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีความแตกต่างกันทั้งโครงสร้าง ความหนาแน่น และอุณหภูมิ กำหนดขอบเขตแยกจากโครงสร้างภายในที่ตำแหน่งผิวดวงซึ่งมีความลึกทัศน์ (optical depth) เท่ากับ 1 ในแสงความยาวคลื่น 5000 อังสตรอม จากวิชาทัศนศาสตร์ได้นิยามความลึกทัศน์ดังนี้

$$I_\lambda = I_{\lambda,o}\, e^{-\tau_\lambda} \qquad (1.3)$$

โดยที่ τ_λ เป็นความลึกทัศน์ของวัตถุต่อรังสีที่มีความยาวคลื่น λ

$I_{\lambda,o}$ เป็นความเข้มของรังสีความยาวคลื่น λ ที่ตกกระทบวัตถุนั้น

I_λ เป็นความเข้มของรังสีความยาวคลื่น λ ที่ทะลุผ่านวัตถุนั้น

โดยทั่วไปความลึกทัศน์ของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความหนาของวัตถุ ความหนาแน่นของเนื้อวัตถุ และสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีที่ความยาวคลื่น λ ของเนื้อวัตถุนั้น ดังนั้น วัตถุชนิดเดียวกันต่างชิ้นกัน ชิ้นที่มีความลึกทัศน์มากก็ย่อมมีความหนามากกว่าด้วย ค่าความลึกทัศน์ยังแปรตามความยาวคลื่นของรังสีอีกด้วย ดังนั้น ความลึกทัศน์ของวัตถุชิ้นเดียวกันต่อแสงความยาวคลื่นต่างกัน ก็อาจมีค่าต่างกัน จากสมการ (1.3) ถ้าให้ความลึกทัศน์เป็น 0.695 จะได้ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านเป็น 1/2 เท่าของความเข้มของรังสีตกกระทบ และถ้าความลึกทัศน์เป็น 1 ความเข้มของรังสีทะลุผ่านจะเหลือเพียง 1/2.718 หรือ 0.368 เท่าของความเข้มตกกระทบ สำหรับดวงอาทิตย์ ตามที่กำหนดไว้ข้างต้นนั้น หมายความว่า แสงความยาวคลื่น 5000 อังสตรอมที่ส่งผ่านออกมานอกชั้นบรรยากาศมีค่าความเข้มเป็น 0.368 เท่าของความเข้มแสงที่ตำแหน่งผิวดวง (Aller , 1963)

บรรยากาศของดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามความลึกทัศน์ที่วัดในความยาวคลื่น 5000 อังสตรอม ดังนี้ ชั้นในสุดเรียกว่า โฟโตสเฟียร์ (photosphere) เริ่มต้นจากขอบในสุดที่ความลึกทัศน์เป็น 1 หรือที่ผิวดวงจนถึงขอบนอกที่ความลึกทัศน์เป็น 0.005 เทียบเท่ากับความสูงทางเรขาคณิตจากผิวดวง 3.20×10^7 เซนติเมตร ชั้นกลางเรียกว่า โครโมสเฟียร์ (chromosphere) ขอบในอยู่ที่ความลึกทัศน์ 0.005 ซึ่งก็คือขอบนอกของโฟโตสเฟียร์ จนถึงขอบนอกที่ระดับความลึกทัศน์เป็น 10^{-8} เทียบเท่ากับความสูงทางเรขาคณิตจากผิวดวง 2.00×10^8 เซนติเมตร และชั้นนอกสุดเรียกว่าโคโรนา (corona) ขอบในสุดสูงกว่าขอบนอกของโครโมสเฟียร์เล็กน้อย คือสูงจากผิวดวงประมาณ 2.10×10^8 เซนติเมตร ส่วนขอบนอกมีค่าไม่แน่นอน เพราะโคโรนาแผ่กระจายออกไปจากดวงอาทิตย์เป็นระยะหลายเท่าของรัศมีดวงอาทิตย์ และเปลี่ยนแปลงขนาดไปตามวัฏจักรสุริยะ (Allen, 1976)

3.2.1 โฟโตสเฟียร์ ในชั้นนี้ปริมาณต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ ความดันและความหนาแน่นเป็นต้น จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตามแนวรัศมี กล่าวคือ ที่ผิวดวงมีอุณหภูมิ 6430 องศาเคลวิน ความดันแก๊ส 1.35×10^5 ไดน์ต่อเซนติเมตร^2 ความหนาแน่นอนุภาค 1.51×10^{17} อนุภาคต่อเซนติเมตร^3 และสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของมวลที่ความยาวคลื่น 5000 อังสตรอม เป็น 0.724 เซนติเมตร^2 ต่อกรัม ปริมาณเหล่านี้ลดลงไปอย่างรวดเร็ว ที่ระดับสูงสุดของชั้นนี้มีอุณหภูมิ 4560 องศาเคลวิน ความดันแก๊ส 8.51×10^3 ไดน์ต่อเซนติเมตร^2 ความหนาแน่นอนุภาคเหลือ 1.35×10^{16} อนุภาคต่อเซนติเมตร^2 และสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 5000 อังสตรอมเป็น 2.82×10^{-2} เซนติเมตร^2 ต่อกรัม รังสีจากภายในที่ส่งผ่านออกมาจนถึงชั้นนี้จะเป็นแสงสว่างเป็นส่วนใหญ่ และจะแผ่ออกไปสู่อวกาศรอบนอก อะตอมของสสารในชั้นนี้ประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียม ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในสภาพเป็นกลาง และอะตอมของโลหะที่ส่วนมากแตกตัวเป็นไอออน แสงบางความยาวคลื่นจะถูกอะตอมและไอออนเหล่านี้ดูดกลืน ทำให้สเปกตรัมของแสงจากโฟโตสเฟียร์ปรากฏเส้นมืดหรือเส้นเฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer lines) ซึ่งมีจำนวนมากกว่า 2000 เส้น (Allen, 1976)

3.2.2 โครโมสเฟียร์ ฐานหรือขอบในของโครโมสเฟียร์กำหนดอยู่ที่ระดับความลึกทัศน์ 0.005 วัดในแสงความยาวคลื่น 5000 อังสตรอม หรือความสูงจากผิวดวง 3.20×10^7 เซนติเมตร ที่ระดับฐานยังคงคุณสมบัติเช่นเดียวกับขอบบนของโฟโตสเฟียร์ ถัดออกมาตามแนวรัศมีอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลง และมีค่าต่ำสุด 4180 องศาเคลวิน ที่ระดับความสูงจากฐาน 2.00×10^7 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าความดันอิเลกตรอน 6.92×10^2 ไดน์ต่อเซนติเมตร^2 ความหนาแน่นอนุภาค 2.24×10^{15} อนุภาคต่อเซนติเมตร^3 ต่อจากระดับนี้ออกมาตามแนวรัศมีอุณหภูมิกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ขอบนอกของโครโมสเฟียร์ซึ่งสูงจากฐาน 2.10×10^8 เซนติเมตร มีอุณหภูมิ 4.70×10^5 องศาเคลวิน ความดันอิเลกตรอน 6.67×10^{-2} ไดน์ต่อเซนติเมตร^2 และความหนาแน่นอนุภาค 2.09×10^9 อนุภาคต่อเซนติเมตร^3 ลักษณะโครงสร้างของโครโมสเฟียร์เป็นเอนกพันธ์อย่างชัดเจน ถ้าสังเกตโครโมสเฟียร์ที่ขอบดวงในแสงจากเส้นไฮโดรเจนอัลฟา จะเห็นลำสสารพุ่งขึ้นในแนวค่อนข้างตามแนวรัศมี เรียกว่า สปิกุล (spicule) สปิกุลมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.00×10^8 เซนติเมตร และมีความสูงเฉลี่ย 7.00×10^8 เซนติเมตร สปิกุลปรากฏอย่างหนาแน่นมากจนทำให้ขอบดวงของโครโมสเฟียร์ดูสูงกว่าที่ควรจะเป็นตามแบบจำลอง (Allen , 1976) และเมื่อสังเกตโครโมสเฟียร์ในบริเวณกลางดวงโดยใช้แสงจากกลางเส้นมืดของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา จะพบโครงสร้างลักษณะดอกดวง ส่วนสำคัญแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะที่สังเกตเห็นคือ มอตเติลมืด (dark mottle) กับมอตเติลสว่าง (bright mottle) ถ้าสังเกตในแสงจากปีกของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา ($H\alpha \pm 0.5$ A$^\circ$) จะเห็นมอตเติลมืดชัดเจนกว่ามอตเติลสว่าง ขนาดและอายุเฉลี่ยของมอตเติลทั้ง 2 ชนิดใกล้เคียงกับสปิกุล (Kundu , 1965)

3.2.3 โคโรนา เป็นส่วนของชั้นบรรยากาศนอกสุดของดวงอาทิตย์ เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมากแต่มีความหนาแน่นของอนุภาคต่ำ เมื่อห่างจากตัวดวงออกไปอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ความหนาแน่นลดลง อุณหภูมิสูงสุด 1.80×10^6 องศาเคลวิน อยู่ที่บริเวณห่างจากศูนย์กลางมาเป็นระยะ 2 เท่าของรัศมีของดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นอิเลกตรอน 3.3×10^6 อนุภาคต่อเซนติเมตร^3 ถัดจากบริเวณนี้ออกไปตาม

แนวรัศมีอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงที่ระยะ 1 หน่วยดาราศาสตร์เหลือเพียง 2.0×10^5 องศาเคลวิน และมีความหนาแน่นอิเลกตรอน 5 อนุภาคต่อเซนติเมตร ^{3} (Allen, 1976) แสงจากโคโรนาเกิดจากบริเวณต่าง ๆ โดยกลไกที่ต่างกัน ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

ก. โคโรนา-อี (E-corona) เป็นแสงที่ปล่อยจากไอออนชั้นสูงของโลหะปรากฏเป็นเส้นสว่าง พบที่บริเวณใกล้ขอบดวง ฟลักซ์ของแสงส่วนนี้มีค่าประมาณ 1 ในร้อยเท่าของแสงจากโคโรนาทั้งหมด

ข. โคโรนา-เค (K-corona) เป็นแสงจากโฟโตสเฟียร์ที่ถูกกระเจิง (scatter) โดยอิเลกตรอนอิสระ พบในบริเวณขอบดวงจนถึงระยะ 1.3 เท่าของรัศมีของดวงอาทิตย์ สเปกตรัมเป็นแบบต่อเนื่อง มีเส้นเฟรานโฮเฟอร์จางมาก เนื่องจากอิเลกตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในขณะที่กระเจิงแสง จนผลดอปเปลอร์ (Doppler effect) สามารถทำให้เส้นสเปกตรัมเลื่อนไปเกือบหมด

ค. โคโรนา-เอฟ (F-corona) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนแสงและกระเจิงแสงจากโฟโตสเฟียร์ของฝุ่นละอองในอวกาศรอบดวงอาทิตย์ ยังคงปรากฏเส้นเฟรานโฮเฟอร์ และเป็นแสงโปลาไรซ์ (polarized light) (Kundu , 1965)

4. ปรากฏการณ์สำคัญในโฟโตสเฟียร์

โฟโตสเฟียร์เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างภายในที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรงกับบรรยากาศภายนอกที่สามารถสังเกตเห็นปรากฏต่าง ๆ ได้ ดังนั้นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่โฟโตสเฟียร์จะมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างภายในและในชั้นบรรยากาศภายนอก ปรากฏการณ์ที่สำคัญในโฟโตสเฟียร์มีดังนี้

4.1 <u>ดอกดวง</u> (Granulation) จากภาพของดวงอาทิตย์ที่ถ่ายในสภาพสังเกตการณ์ (seeing) ดีมาก หรือถ่ายจากยานที่ส่งขึ้นไปสูง ๆ เช่น บัลลูน แสดงให้เห็นลักษณะดอกดวงปรากฏอยู่ทั่วไปในชั้นโฟโตสเฟียร์ ดอกดวงเหล่านี้มีรูปร่างหลายเหลี่ยม

มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5-2.5 ฟิลิปดา หรือ 3.6×10^7 ถึง 1.8×10^8 เซนติเมตร ขนาดเฉลี่ย 1.3 ฟิลิปดา หรือ 1.0×10^8 เซนติเมตร ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างดอกดวง 1.6 ฟิลิปดา หรือ 1.2×10^8 เซนติเมตร ในชั่วขณะใด ๆ จะมีจำนวนดอกดวงอยู่บนผิวโฟโตสเฟียร์ประมาณ 4×10^6 ดวง ดังนั้นดอกดวงแต่ละดวงจะกินพื้นที่เฉลี่ย 1.5×10^{16} ตารางเซนติเมตร ตอนกลางของดอกดวงจะสว่างกว่าบริเวณขอบประมาณ 1.3 เท่า และมีอุณหภูมิต่างกัน 300 องศาเคลวินโดยประมาณอายุเฉลี่ยของดอกดวง 8 นาที ส่วนที่สว่างเป็นสสารที่พุ่งขึ้นด้วยความเร็วเฉลี่ย 4×10^4 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วของการสั่น (oscillatory velocity) ประมาณ 5×10^4 เซนติเมตรต่อวินาที และมีคาบการสั่น 295 วินาที ดอกดวงเหล่านี้รวมตัวกันเป็นร่างแหหรือดอกดวงขนาดใหญ่ (supergranulation) มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 3.2×10^9 เซนติเมตร ด้วยอายุเฉลี่ย 20 ชั่วโมง และสสารที่ไหลจากศูนย์กลางไปยังขอบมีความเร็วประมาณ 4×10^4 เซนติเมตรต่อวินาที (Allen , 1976)

4.2 <u>จุดมืด</u> (Sunspot) คือปรากฏการณ์ในบริเวณกัมมันต์ (active region) ของดวงอาทิตย์ สังเกตเห็นได้ในแสงขาว ลักษณะเริ่มแรกเป็นบริเวณมืดเรียกว่าจุมืด (pore) แล้วพัฒนาจนมีเงามัว (penumbra) อยู่รอบนอกและเงามืด (umbra) อยู่ตรงกลาง พบว่าในบริเวณเงามืดมีสนามแม่เหล็กแรงมากมีค่าประมาณ 150-4000 เกาส์เพิ่มตามขนาดของจุดมืด จุดมืดแต่ละจุดมีขนาดแตกต่างกันไป เส้นผ่าศูนย์กลางของเงามืดมีค่าอยู่ระหว่าง 2.0×10^8 ถึง 2.0×10^9 เซนติเมตร และเงามัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 4.0×10^8 ถึง 5.0×10^9 เซนติเมตร

(Kundu , 1965)

จุดมืดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การทำนายการเกิดของจุดมืดแต่ละจุดไม่สามารถทำได้ แต่มีลักษณะทางสถิติที่น่าสนใจ คือการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณจุดมืดเรียกว่า วัฏจักรสุริยะ (solar cycle) คาบวัฏจักรนี้มีค่าเฉลี่ย 11.0 ปี ลักษณะของวัฏจักรก็คือ ในปีต้น ๆ จะมีจุดมืดเกิดขึ้นเป็นปริมาณน้อยและมักเกิดอยู่บริเวณเส้นรุ้ง 45 องศาเหนือและใต้ของดวงอาทิตย์ก่อน จากนั้นจึงเกิดใกล้เส้นศูนย์สูตรเข้ามาเรื่อย ๆ

พร้อมทั้งปริมาณของจุดก็เพิ่มขึ้น ลักษณะการแจกแจงของจุดมืดที่เกิดขึ้นตามเส้นรุ้งตลอดวัฏจักรมีรูปร่างคล้ายผีเสื้อ จึงเรียกว่าแผนภาพผีเสื้อ (butterfly diagram) ในขณะที่จุดมืดเคลื่อนที่ไปตามการหมุนของดวงอาทิตย์ มันยังมีการเคลื่อนที่ไปตามผิวดวงอีกด้วย จุดมืดมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสนามแม่เหล็ก จากการตรวจสอบผลซีมาน (Zeeman effect) ของเส้นสเปกตรัมจากธาตุบางชนิดในบริเวณจุดมืด พบสนามแม่เหล็กความเข้มสูงตามแนวดิ่งบริเวณเงามืด และค่อย ๆ โค้งออกเมื่อห่างจากเงามืดออกไป นอกจากนี้ จุดมืดยังมีแนวโน้มที่จะก่อตัวขึ้นเป็นกลุ่ม ซึ่งแบ่งออกเป็นแบบขั้วเดี่ยว (monopolar) ขั้วคู่ (bipolar) และหลายขั้ว (multipolar) ส่วนใหญ่จะพัฒนาเป็นกลุ่มขั้วคู่ภายใน 2-3 วันหลังจากที่ปรากฏขึ้นมา ซึ่งมักประกอบด้วยจุดหลัก 2 จุดที่มีขั้วต่างกันและจุดย่อย ๆ หลายจุด (Kiepenheuer , 1965)

4.3 <u>แฟคคิวเลของโฟโตสเฟียร์</u> (. Photospheric faculae) คือบริเวณสว่างขนาดใหญ่ที่ปรากฏให้เห็นในแสงขาว สังเกตได้เฉพาะที่ขอบดวงเท่านั้น แต่เมื่อสังเกตจากแสงเอกรงค์ (monochromatic) บางความยาวคลื่นจะพบได้ทั่วดวง มีอายุเฉลี่ย 15 วัน แต่แฟคคิวเลที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ อาจมีอายุถึง 2.7 เดือน แฟคคิวเลของโฟโตสเฟียร์มีความสัมพันธ์กับแฟคคิวเลของโครโมสเฟียร์ โดยที่ทั้งคู่จะปรากฏอยู่ในศูนย์กลางของกัมมันตภาพหรืออยู่ใกล้จุดมืด และมักมีอายุยืนนานกว่าจุดมืดที่สัมพันธ์กันเสมอ (Kundu , 1965)

5. <u>วัตถุประสงค์</u>

ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ จำเป็นจะต้องทราบโครงสร้างบรรยากาศของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการคำนวณและทดสอบด้วยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ เพื่อเปรียบเทียบกับผลสังเกตการณ์ การสังเกตการมืดที่ขอบดวงเป็นวิธีหนึ่งที่ให้ข้อมูลสำหรับการคำนวณโครงสร้างบรรยากาศของดวงอาทิตย์ได้ และการถ่ายภาพสเปคตรัมของดวงอาทิตย์ด้วยสเปคโตรกราฟสามารถให้ข้อมูลการมืดที่ขอบดวงในหลายความยาวคลื่นได้พร้อม ๆ กัน แต่การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปคโตรกราฟมีขบวนการหลายขั้นตอน และค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อศึกษาปัญหาในขั้นตอนเหล่านี้ จึงได้วางโครงการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ คือ

5.1 เพื่อให้เข้าใจในหลักการและวิธีการสร้างสเปคโตรกราฟจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ ให้ใช้เก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative) ได้

5.2 เพื่อให้รู้จักการเก็บข้อมูลด้วยการถ่ายภาพสเปคตรัมของดวงอาทิตย์และการทดสอบหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์

5.3 เพื่อให้รู้จักการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากฟิล์ม ตลอดจนนำวิธีการทางสถิติมาช่วยในการกลั่นกรองข้อมูลให้ดีขึ้น

6. วิธีดำเนินงาน

6.1 สร้างสเปคโตรกราฟ โดยใช้เกรติงแบบแสงผ่าน (transmission grating) เป็นตัวกระจายแสง (dispersive element) และไม่ต้องใช้เลนส์ทำแสงขนาน (collimator) ส่วนที่ต้องสร้างขึ้นใหม่ได้แก่

6.1.1 สลิต (slit) ที่มีความกว้าง 0.4 มิลลิเมตร และยาวกว่า 5.6 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้เป็นทองเหลือง

6.1.2 กรอบยึดเกรติงกับเลนส์กล้อง ทำจากแผ่นพลาสติกหนาครึ่งนิ้ว กลึงให้เป็นช่องกลมสวมเข้าพอดีกับขอบของเลนส์กล้อง และมีขอบยึดเกรติงไว้

6.1.3 กล่องดำกันแสง โครงเป็นลวด และใช้กระดาษดำปิดหุ้มทั้งภายในและภายนอก เปิดช่องเฉพาะหัวท้าย ขนาดหน้ากว้าง 50 x 50 เซนติเมตร^2 และยาว 200 เซนติเมตร

6.2 ทดสอบสเปคโตรกราฟ เพื่อหาการกระจาย (dispersion) และหารูปลักษณ์ (instrumental profile) ของสเปคโตรกราฟ โดยใช้หลอดธีเลียมเป็นต้นกำเนิดแสง

6.3 การเก็บข้อมูล นำสเปคโตรกราฟที่สร้างขึ้นไปต่อกับกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสงขนาด 8 นิ้ว ความยาวโฟกัส 1200 เซนติเมตร ซึ่งติดตั้งอยู่บนหลังคาตึกฟิสิกส์ 1 ทำการถ่ายภาพสเปคตรัมของดวงอาทิตย์ โดยจัดภาพดวงอาทิตย์ให้อยู่ที่ระนาบเดียวกับสลิต และช่องสลิตพาดผ่านกลางดวงอาทิตย์ครอบคลุมตั้งแต่กลางดวงถึงขอบดวง

6.4 การเทียบมาตรฐานฟิล์ม (film calibration) ใช้แผ่นบันไดทอนแสง (photographic step tablet) ติดหน้าสลิตแล้วถ่ายภาพสเปคตรัมดวงอาทิตย์ที่มีแผ่นบันไดทอนแสงบังอยู่ในฟิล์มม้วนเดียวกับข้อ 6.3

6.5 คัดเลือกภาพ นำฟิล์มที่ผ่านขบวนการล้างเรียบร้อยแล้วมาคัดเลือกภาพสเปคตรัมที่ดีสำหรับวิเคราะห์

6.6 วิเคราะห์ข้อมูล

6.6.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างความเทา (density) ของฟิล์มกับความเข้มแสงที่ตกบนฟิล์ม โดยใช้ฟิล์มที่ถ่ายเทียบมาตรฐานในข้อ 6.4

6.6.2 วัดความเทาที่จุดต่าง ๆ ตามแนวระยะทางบนดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

6.6.3 เปลี่ยนความเทาของฟิล์มไปเป็นความเข้มแสงที่ตกบนฟิล์ม นำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มแสงกับระยะบนดวงอาทิตย์

6.6.4 หาความชันของกราฟทุกเส้นในข้อ 6.6.3

6.6.5 เอาข้อมูลความชันในข้อ 6.6.4 มาเขียนกราฟกับตำแหน่งบนดวงอาทิตย์ แล้วปรับเส้นกราฟให้เรียบเป็นเส้นเดียวในข้อมูลแต่ละชุด

6.6.6 แปลงค่าความชันที่ปรับแล้วกลับเป็นความเข้มแสง แล้วนำความเข้มแสงที่ได้มาเขียนกราฟกับตำแหน่งบนดวงอาทิตย์ที่เป็นก่ามุม จะได้เส้นโค้งการมืดที่ขอบดวงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ