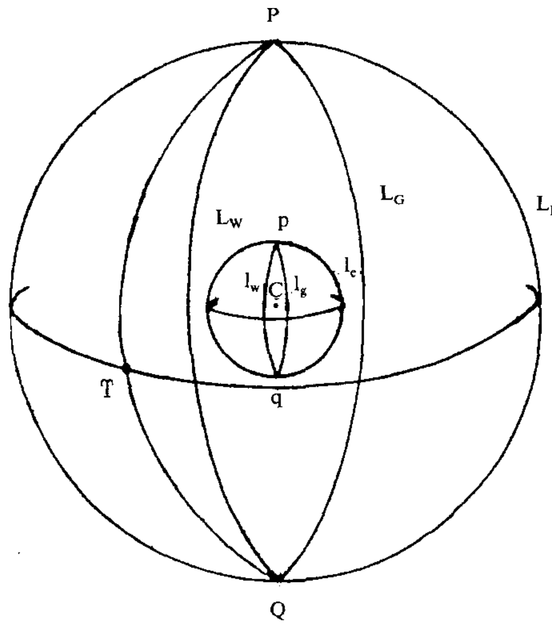
บทที่ 3
เวลา

3.1 บทนำ

ปัจจุบันนี้มนุษย์มีความผูกพันกับเวลามาก การวัดเวลานั้นเป็นการวัดการหมุนของโลก ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเองเทห์ฟากฟ้าต่าง ๆ บนท้องฟ้าปรากฏเคลื่อนที่รอบ ๆ ตัวเราและผ่านเส้นเมริเดียนในแต่ละวัน เวลา พิจารณาได้โดยตำแหน่งวัตถุอ้างอิงบางชนิดบนทรงกลมท้องฟ้าที่เทียบกับเส้นเมริเดียนท้องถิ่น (local meridian) ช่วงระยะเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านเส้นเมริเดียนสองครั้งติดต่อกัน เราเรียกช่วงระยะเวลานี้ว่าหนึ่งวัน ระยะความยาวที่แท้จริงของหนึ่งวันขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วัตถุอ้างอิง ทำให้มีชนิดของวันหลายชนิดที่สอดคล้องกับวัตถุอ้างอิงที่แตกต่างกัน วันถูกแบ่งออกเป็น 24 ส่วนเท่า ๆ กัน เรียกว่าชั่วโมง

ระยะเริ่มแรกของการวัดเวลามนุษย์อาศัยเวลากลางวันและกลางคืน, วัฏจักรของการเกิดข้างขึ้น-ข้างแรมของดวงจันทร์และการเกิดฤดูบนโลก นาฬิกาแดดเป็นนาฬิกาชนิดแรกที่มนุษย์ใช้บอกเวลา ต่อมาได้มีการประดิษฐ์นาฬิกาทราย, นาฬิกาน้ำขึ้นมาใช้แทนนาฬิกาแดด การประดิษฐ์นาฬิกามีความก้าวหน้ามาก ปัจจุบันนี้มนุษย์สามารถประดิษฐ์นาฬิกาอะตอมโดยอาศัยหลักการสั่นของอะตอมของซีเซียม นาฬิกาชนิดนี้เดินเที่ยงตรงมากโดยมีความผิดพลาดประมาณ 1 วินาที ใน 1,000 ปี จากการที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์นาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูงมากทำให้พบว่าการหมุนของโลกไม่คงที่ เนื่องจากปรากฏการณ์การหมุนส่าย (nutation) ด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงถึง 0.003 วินาทีต่อวัน และนักวิทยาศาสตร์ยังพบอีกว่าโลกหมุนรอบตัวเองช้าลงทีละเล็กทีละน้อยประมาณหนึ่งวินาทีต่อปี เทคนิกการวัดการหมุนของโลกที่แม่นยำที่สุดได้แก่การถ่ายภาพดวงดาวที่จุดเซนิทด้วยกล้องโทรทรรศน์ที่มีชื่อเรียกว่า กล้องถ่ายภาพเซนิท (photographic zenith tube : PZT) เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ติดด้วยกล้องถ่ายภาพที่เลนส์ใกล้ตา ทิศทางของกล้องโทรทรรศน์ชี้ไปที่จุดเซนิทเท่านั้น เทคนิกนี้สามารถวัดความเปลี่ยนแปลงของการหมุนของโลกโดยมีความแม่นยำถึงสองสามส่วนในพันของวินาที เวลาที่เราสมมติว่าโลกหมุนรอบตัวเองด้วยอัตราความเร็วคงที่เรียกว่า เวลาอีเฟมเมอริส (Ephemeris Time : ET) ปัจจุบันนี้เวลาอีเฟมเมอริสมีชื่อเรียกใหม่ว่า เวลาพลศาสตร์ (dynamical time)

3.2 เวลาและเส้นลองจิจูด



รูปที่ 3.1

จากบทที่ 1 เรื่องพิกัดการจำแนกตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก จะเห็นได้ว่าค่าลองจิจูดที่ตำบลต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับเส้นเมริเดียนที่ผ่านหอดูดาวกรีนิช ในหัวข้อนี้เราจะศึกษาถึงผลของเส้นลองจิจูดต่าง ๆ ที่มีต่อเวลาที่ตำบลต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 3.1 วงกลมเล็กแทนโลก และวงกลมใหญ่แทนทรงกลมท้องฟ้า โดยมีจุด C เป็นจุดศูนย์กลางร่วมกัน

p และ q เป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ของโลก ต่อขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ออกไปพบทรงกลมท้องฟ้าที่จุด P และ Q ตามลำดับ

$\therefore$ จุด P และ Q จะเป็นขั้วเหนือท้องฟ้าและขั้วใต้ท้องฟ้าตามลำดับ

l_g เป็นเส้นเมริเดียน (ลองจิจูด) ที่ผ่านหอดูดาวกรีนิช

l_w, l_e เป็นเส้นเมริเดียนใด ๆ ที่ผ่านตำบล l ทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกจากเส้นเมริเดียนที่ผ่านหอดูดาวกรีนิช

L_G, L_W และ L_E เป็นเส้นเมริเดียนที่ขยายจากเส้น l_g, l_w และ l_e ไปยังทรงกลมท้องฟ้า

T เป็นตำแหน่งของจุดวสันตวิษุวัตบนเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ณ เวลาใด ๆ

จากหัวข้อที่ 2.4.2.6 เรานิยามว่าเวลาดาราคติ คือค่ามุมชั่วโมงของจุดวสันตวิษุวัต, T, นั่นคือ ถ้าให้ S.T. (l) = เวลาดาราคติ ณ ตำบล (l) ใด ๆ หรือคือค่ามุมชั่วโมงของจุด T ณ ตำบล

(l) นั้น ๆ จะได้ว่า

$$\text{S.T. (G)} = \text{เวลาดาราคติ ที่ตำบลกรีนิช} = G\hat{P}T$$

$$\text{S.T. }(L_W) = \text{เวลาดาราคติ ที่ตำบล } l_w = L_w\hat{P}T$$

$$\text{S.T. }(L_E) = \text{เวลาดาราคติ ที่ตำบล } l_e = L_E\hat{P}T$$

จากรูปที่ 3.1

$$G\hat{P}T = L_W\hat{P}T + G\hat{P}L_W \text{ และ } G\hat{P}L_W = l_g\hat{P}l_w \text{ จะได้ว่า}$$

$$\text{S.T. (G)} = \text{S.T. }(l_w) + \text{ค่าลองจิจูดของตำบล } l_w \tag{3.1}$$

$$G\hat{P}T = L_E\hat{P}T - G\hat{P}L_E \text{ และ } G\hat{P}L_E = l_g\hat{P}l_e \text{ จะได้ว่า}$$

$$\text{S.T. (G)} = \text{S.T. }(l_e) - \text{ค่าลองจิจูดของตำบล } l_e \tag{3.2}$$

นำสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.2) รวมกันได้

$$\text{เวลาดาราคติที่กรีนิช} = \text{เวลาดาราคติที่ตำบล } l \pm \text{ค่าลองจิจูดของตำบล } l \tag{3.3}$$

ใช้เครื่องหมาย + เมื่อตำบล l อยู่ทางทิศตะวันตกของกรีนิช

ใช้เครื่องหมาย − เมื่อตำบล l อยู่ทางทิศตะวันออกของกรีนิช

หน่วยของค่าลองจิจูดของตำบล l จะต้องมีหน่วยชั่วโมง, นาที, วินาที เวลาดาราคติที่ตำบล l เรียกว่า เวลาดาราคติท้องถิ่น (local sidereal time, S.T. (l) หรือ (L.S.T))

ตัวอย่าง เช่น ตำบล (l) มีค่าลองจิจูด = 15° ตะวันตก ถ้าเวลาดาราคติขณะนั้น = $3^{ช}$ จงหาเวลาดาราคติที่กรีนิช

$$\because \quad 15^\circ = 1^{ช}$$

$$\therefore \quad \text{ลองจิจูด } 15^\circ \text{ ตะวันตก} = 1^{ช} \text{ ตะวันตก}$$

จาก $\quad \text{S.T. (G)} = \text{S.T. (l)} + l_w$

แทนค่าจะได้, $\quad \text{S.T. (G)} = 3^{ช} + 1^{ช} = 4^{ช}$

จากสมการที่ (3.3) จะเห็นได้ว่า ตำบลที่อยู่ทางทิศตะวันออกของกรีนิช เวลาดาราคติจะเร็วกว่าตำบลที่อยู่ทางทิศตะวันตกของกรีนิช

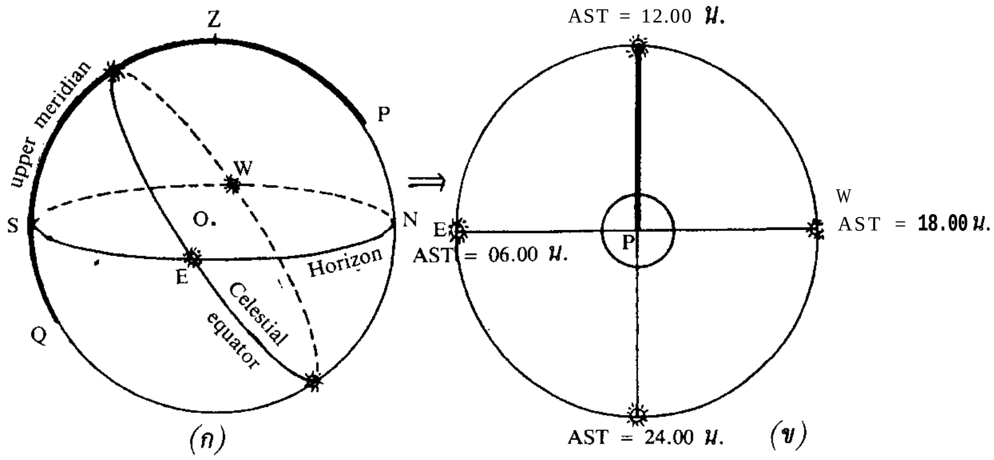
3.3 เวลาสุริยคติ

เวลาดาราคติเราใช้จุด T เป็นจุดบอกเวลา ถ้าจุด T อยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบน เวลาดาราคติ = $0^{ช}$ และเมื่อจุด T เคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ เวลาดาราคติก็จะ = $24^{ช}$ แต่เวลาดาราคติไม่สามารถบอกเวลากลางวันและกลางคืนได้ หรือไม่มีเครื่องหมายใด ๆ บนท้องฟ้าเป็นที่สังเกต

ได้ เพื่อความสะดวกในการบอกเวลาเราจึงใช้ดวงอาทิตย์เป็นตัวกำหนดเวลา เรียกว่าเวลาสุริยคติ (solar time) ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์เพียงดวงเดียวที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับมนุษย์มาก ดังนั้น การบอกเวลาโดยใช้ดวงอาทิตย์จึงมีความสำคัญมาก เวลาสุริยคติแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time : AST) และเวลาสุริยคติเฉลี่ย (Mean Solar Time : MST) หรือเวลาเฉลี่ย (Mean time)

3.3.1 เวลาสุริยคติปรากฏ

เป็นระบบเวลาที่ใช้ดวงอาทิตย์จริง (true sun : สัญลักษณ์ $\odot$) เป็นตัวกำหนดเวลา ตัวอย่างของเวลาชนิดนี้คือ นาฬิกาแดด คำนิยามของเวลาสุริยคติปรากฏคือ เวลาที่ได้จากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์จริงบวกอีก 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 (ก) สมมติผู้สังเกตอยู่ทางซีกโลกภาคเหนือ โดยมีละติจูด $\phi°$ และให้ผู้สังเกตสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ (ในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่บนเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า) ตามรูป ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์จะซ้อนกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าพอดี จากรูปที่ 3.2 (ก) ถ้าเราออกไปนอกทรงกลมท้องฟ้าแล้วมองลงมาที่ทรงกลมท้องฟ้าตรงจุด P เราจะเห็นภาพตามรูปที่ 3.2 (ข)

จากรูปที่ 3.2 (ก) หรือ 3.2 (ข) ถ้าดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบน ค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ = 0°, เวลาสุริยคติปรากฏหรือ AST จะเป็นเวลาเที่ยงวันปรากฏ (apparent noon) หรือ = 12.00 น. ถ้าดวงอาทิตย์โคจรกลับมาสู่ที่เดิม (ที่เส้นเมริเดียนส่วนบน) อีกครั้งหนึ่ง ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์โคจรจากตำแหน่งเริ่มต้นแล้วกลับมาสู่ตำแหน่งเดิม

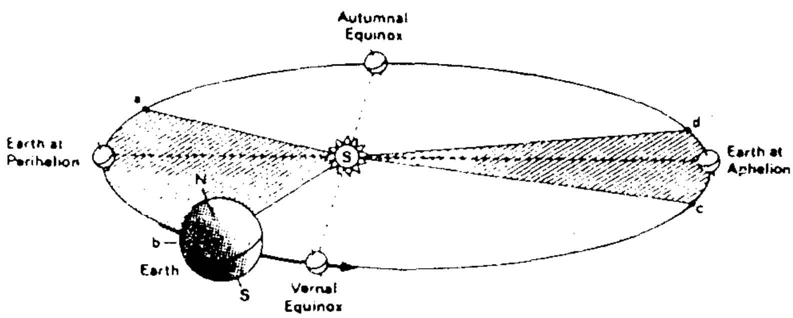
เรียกว่า **หนึ่งวันสุริยคติปรากฏ** (an apparent solar day) จะได้ว่า

$$\text{เวลาสุริยคติปรากฏ} = \text{มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์จริง} + 12^{h}$$

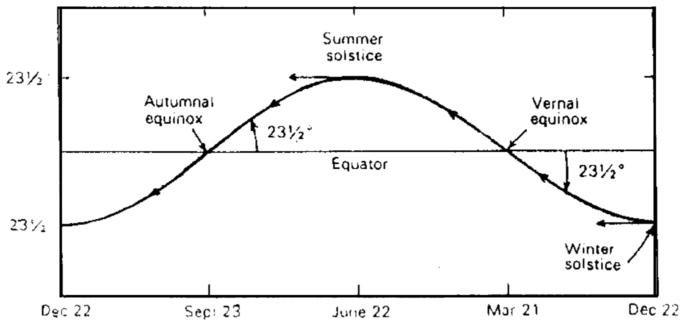
$$\text{หรือ} \quad AST = H.A.\odot + 12^{h} \tag{3.4}$$

เช่น ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งทิศตะวันตก มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ = 6^{h}, AST = 18.00 น. ดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งบนเส้นเมริเดียนส่วนล่าง มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ = 12^{h}, AST = 24.00 น. และถ้าดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งทิศตะวันออก มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ = 18^{h}, AST = 06.00 น. จากการวัดเวลาสุริยคติปรากฏตลอดทั้งปี พบว่าช่วงระยะเวลาหนึ่งวันสุริยคติปรากฏยาวไม่คงที่ ทั้งนี้เพราะผลจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามเส้นสุริยวิถี

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี (เกือบเป็นวงกลม) โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่ง (ตามกฎข้อที่ 1 ของเคปเลอร์ ดูรายละเอียดในบทที่ 7) ตำแหน่งที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเรียก เพริฮีเลียน (perihelion) (ดูรูปที่ 3.3) โดยห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทาง 1.47×10^{8} กิโลเมตร และตำแหน่งที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดเรียก แอฟีเลียน (aphelion) โดยอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทาง 1.52×10^{8} กิโลเมตร โลกจะโคจรมาอยู่ที่ตำแหน่งเพริฮีเลียนในเดือนมกราคม และตำแหน่งแอฟีเลียนในเดือนกรกฎาคม เมื่อโลกโคจรเข้าใกล้ตำแหน่งเพริฮีเลียนความเร็วของโลกในวงโคจรจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งความเร็วของโลกในวงโคจรมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งเพริฮีเลียน หลังจากนั้นความเร็วของโลกในวงโคจรจะช้าลง จนกระทั่งโลกเคลื่อนมาอยู่ที่ตำแหน่งแอฟีเลียนความเร็วของโลกในวงโคจรช้าที่สุด อีกสาเหตุหนึ่งเนื่องจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามเส้นสุริยวิถี จากรูปที่ 3.4 ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดวสันตวิษุวัต



รูปที่ 3.3 โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี



รูปที่ 3.4 ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ปรากฏไปตามเส้นสุริยวิถีโดยมีทิศทางชี้ไปทางทิศตะวันออก

หลังจากวันที่ 21 มีนาคม ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศเหนือ จนถึงวันที่ 22 มิถุนายน ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดครีษมายัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศตะวันออก หลังจากนี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศใต้ จนถึงวันที่ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดเหมายัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศตะวันออก หลังจากนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ก็จะชี้ไปทางทิศเหนืออีกครั้งหนึ่ง เราจะเห็นได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือและทิศใต้จะหักล้างกันหมด เหลือแต่ทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเท่านั้น จากสาเหตุทั้งสองประการนี้จึงทำให้ช่วงระยะเวลาหนึ่งวันสุริยคติปรากฏยาวไม่เท่ากันตลอดทั้งปี

3.3.2 เวลาสุริยคติเฉลี่ย

จากหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่า การใช้ดวงอาทิตย์จริงเป็นตัวกำหนดเวลาไม่สะดวกเป็นอย่างมาก นักดาราศาสตร์จึงได้กำหนดเวลาขึ้นมาอีกระบบหนึ่ง เรียกว่า เวลาสุริยคติเฉลี่ย โดยสมมติให้มีดวงอาทิตย์อีกดวงหนึ่งมีชื่อเรียกว่า ดวงอาทิตย์เฉลี่ยหรือดวงอาทิตย์สมมติ (mean sun or fictutious sun: อักษรย่อ M.S.) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. เคลื่อนที่รอบโลกโดยอยู่บนเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าและมีอัตราความเร็วคงที่ตลอดทั้งปี

2. มีอัตราการเพิ่มค่าไรท์แอสเซนชันคงที่ตลอดทั้งปี กล่าวคือ *ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นวันละ 59′ 8″.33 หรือ* $3^{\text{ม}}56^{\text{ว}}.556$* โดยที่ดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่จุด ♈ จะมีค่าไรท์แอสเซนชัน = $0^{\text{ช}}$ ค่าไรท์แอสเซนชันจะเพิ่มขึ้นทุก ๆ วัน ๆ ละ $3^{\text{ม}}56^{\text{ว}}.556$ จนถึง $24^{\text{ช}}$ (ครบหนึ่งปี)

---

*59′ 8″.33 หรือ $3^{\text{ม}}56^{\text{ว}}.556$ ได้มาจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ใช้เวลา 365.2422 วัน และโลกโคจรรอบ 1 รอบ คิดเป็น 360° หรือ $24^{\text{ช}}$ ∴ ใน 1 วัน โลกจะเคลื่อนที่ไปได้ = 59′ 8″.33 หรือ $3^{\text{ม}}56^{\text{ว}}.556$

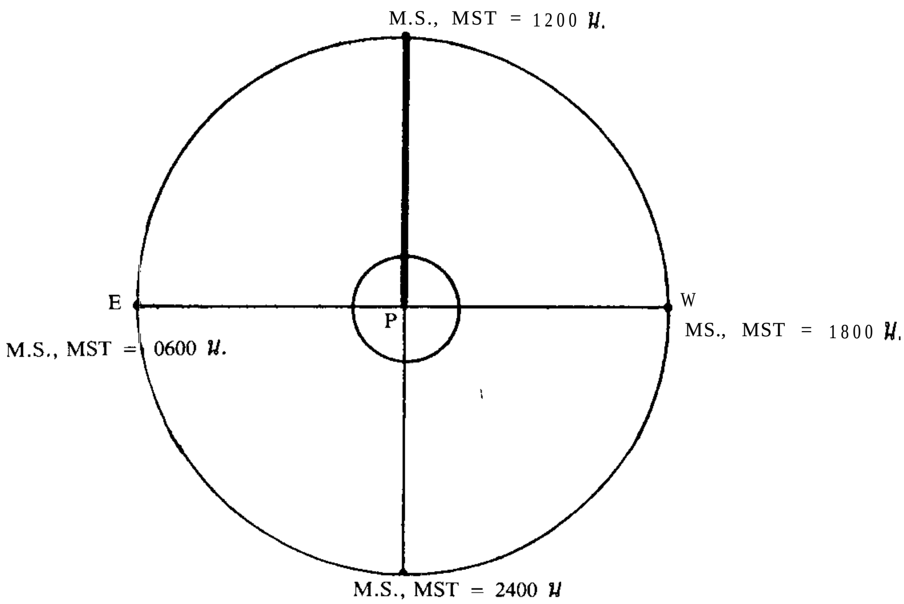
เวลาสุริยคติเฉลี่ยเป็นเวลาที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ คำนิยามของเวลาสุริยคติเฉลี่ยคือ "เวลาที่ได้จากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยบวกด้วย 12 ชั่วโมง ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์เฉลี่ยเคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่สองครั้งติดต่อกัน ช่วงระยะเวลานี้เรียกว่าหนึ่งวันสุริยคติเฉลี่ย หรือหนึ่งวันสุริยคติเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยของช่วงระยะเวลาของวันสุริยคติปรากฏตลอดทั้งปี"

ถ้าดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบน มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Hour Angle Mean Sun, H.A.M.S) = $0^{ช}$, เวลาสุริยคติเฉลี่ยมีค่า = 12.00 น. จะได้ว่า

$$\text{MST} = \text{H.A.M.S.} + 12^{ช} \tag{3.5}$$

เมื่อ MST = เวลาสุริยคติเฉลี่ย

จากสมการที่ (3.4) และ (3.5), เวลา AST และ MST มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังนั้น รูปที่ 3.2 (ข) เราจึงเขียนใหม่ได้รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5

ในขณะใด ๆ ถ้าเราให้ดวงอาทิตย์เฉลี่ยเป็นดาวฤกษ์ชนิดพิเศษดวงหนึ่งบนทรงกลมท้องฟ้า สมมติว่าในขณะนั้นค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย = H.A.M.S และค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยในวันนั้น = R.A.M.S จากสมการที่ 2.1 จะได้

$$\text{Sid. Time} = \text{H.A.M.S} + \text{R.A.M.S} \tag{3.6}$$

และในขณะเวลานั้นดาวดวงหนึ่งมีค่ามุมชั่วโมง = H.A.X, และมีค่าไรท์แอสเซนชัน = R.A.X จะได้ว่า

$$\text{H.A.X} + \text{R.A.X} = \text{H.A.M.S} + \text{R.A.M.S} \tag{3.7}$$

ถ้าเรารู้ค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์จริง (H.A.$\odot$) และค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์จริง (R.A.$\odot$) จะได้ว่า

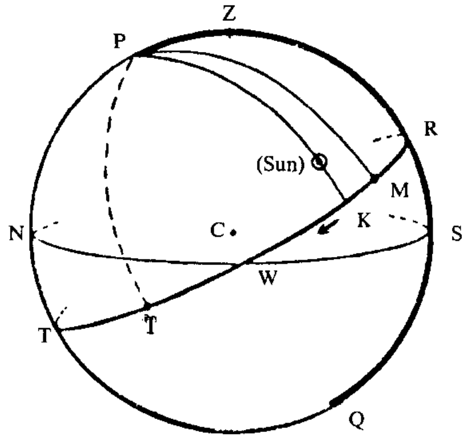
$$\text{Sid. time} = \text{H.A.}\odot + \text{R.A.}\odot \tag{3.8}$$

จากสมการที่ (3.6) และ (3.8) จะได้

$$\text{H.A.M.S} + \text{R.A.M.S} = \text{H.A.}\odot + \text{R.A.}\odot \tag{3.9}$$

ปกติในแต่ละวันเราจะรู้ค่า H.A.M.S., R.A.M.S. ค่า H.A.$\odot$ เราสามารถวัดได้ จากสมการที่ (3.9) เราสามารถคำนวณหาค่า R.A.$\odot$ ในแต่ละวันได้

3.4 สมการของเวลา



รูปที่ 3.6

สมการของเวลา (equation of time : E) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์เฉลี่ย นักดาราศาสตร์ให้คำนิยามของสมการของเวลาดังนี้ "สมการของเวลาหมายถึงค่าความแตกต่างกันระหว่างไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยกับค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์จริง" สามารถเขียนเป็นสมการง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$E = \text{R.A.M.S.} - \text{R.A.}\odot \tag{3.10}$$

เมื่อ E = สมการของเวลา

ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่จุด ♈ หลังจากวันที่ 21 มีนาคม เป็นต้นไป ดวงอาทิตย์จริงจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นสุริยวิถี ในขณะที่ดวงอาทิตย์เฉลี่ยเคลื่อน

ที่ไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า จากรูปที่ 3.6, สมมติในวันหนึ่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนทรงกลมท้องฟ้า ดังรูป โดยมีลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์เฉลี่ยในวันนั้น สมมติในวันนี้ค่าของ E มีค่าเป็นบวก, M แทนดวงอาทิตย์เฉลี่ย, $\odot$ แทนดวงอาทิตย์จริง

ให้ T เป็นจุดวสันตวิษุวัตในขณะเวลาใด ๆ

$R\hat{P}T$ หรือ RT เป็นค่ามุมชั่วโมงของจุด T ซึ่งก็คือค่าเวลาดาราคติท้องถิ่น (local sidereal time)

จากรูป 3.6 TK = ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์จริง

= R.A.$\odot$

K$\odot$ = ค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์จริง

จากสมการที่ (3.10) และค่าของ E เป็นบวก, R.A.M.S จะมีค่ามากกว่าค่า R.A.$\odot$ ถ้ารู้ค่า R.A.$\odot$, K$\odot$, E และตำแหน่งของดวงอาทิตย์เฉลี่ย (M)

$R\hat{P}M$ หรือ RM คือมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์สมมติ

= H.A.M.S

แต่ RK = RM + KM

จะได้ H.A.$\odot$ = H.A.M.S + E

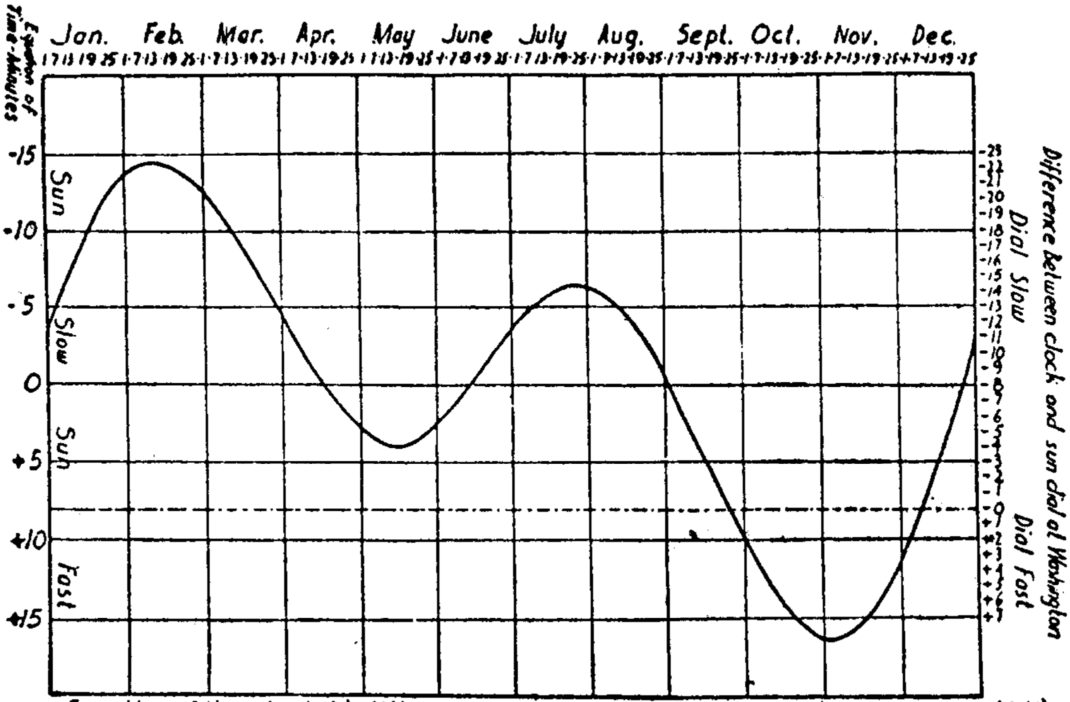
หรือ E = H.A.$\odot$ − H.A.M.S (3.11)

เราสามารถพิจารณาค่าของ E ในเทอมของเวลาสุริยคติปรากฏและเวลาสุริยคติเฉลี่ยดังนี้

สมการของเวลา = เวลาสุริยคติปรากฏ − เวลาสุริยคติเฉลี่ย (3.12)

จากสมการที่ (3.10) และ (3.11) เป็นสมการที่แสดงสมการของเวลา จากการหาค่า E ตลอดทั้งปี จะได้กราฟดังรูปที่ 3.7 และตารางที่ 3.1 โดยแกนตั้งแสดงถึงค่าสมการของเวลา แกนนอนแสดงถึงวันและเดือนในหนึ่งปี ค่าของ E เป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้ ถ้าสมการของเวลามีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงว่าในวันนั้นดวงอาทิตย์จริงวิ่งนำหน้าดวงอาทิตย์เฉลี่ย หรือเวลาของนาฬิกาแดด (บอกเวลาสุริยคติปรากฏ) เดินเร็วกว่าเวลาของนาฬิกาข้อมือ (บอกเวลาสุริยคติเฉลี่ย) ถ้าสมการของเวลามีเครื่องหมายเป็นลบ (−) แสดงว่าในวันนั้นดวงอาทิตย์จริงวิ่งตามหลังดวงอาทิตย์เฉลี่ย หรือเวลาของนาฬิกาแดดเดินช้ากว่าเวลาของนาฬิกาข้อมือ

หมายเหตุ เวลาบนนาฬิกาข้อมือนี้ ผู้สังเกตจะต้องอยู่ที่ตำบลที่เส้นบอกเวลามาตรฐานผ่าน ตำบลนอกจากนี้จะต้องแก้ค่าให้ถูกต้องตามหัวข้อที่ 3.8



Equation of time (at Left) - Difference between sundial and standard time at Washington (right)

รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่าสมการของเวลาตลอดระยะเวลาหนึ่งปี

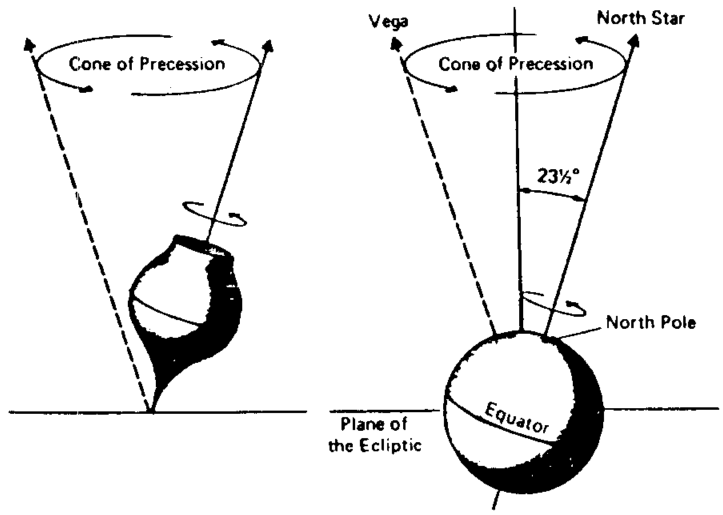
ตารางที่ 3.1

THE EQUATION OF TIME

Day	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
	slow	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	slow	fast	fast	fast
1	3^m12^s	13^m33^s	12^m34^s	4^m08^s	2^m51^s	2^m25^s	3^m33^s	6^m16^s	s0^m12^s	10^m05^s	16^m20^s	11^m11^s
2	3 40	13 41	12 23	3 40	2 59	2 16	3 45	6 13	f0 07	10 24	16 22	10 49
3	4 08	13 48	12 11	3 32	3 06	2 06	3 57	6 09	0 26	10 43	16 23	10 26
4	4 36	13 55	11 58	3 14	3 12	1 56	4 08	6 04	0 45	11 02	16 23	10 02
5	5 03	14 01	11 45	2 57	3 18	1 46	4 19	5 59	1 05	11 20	16 22	9 38
	slow	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	fast	fast	fast	fast
6	5 30	14 06	11 31	2 40	3 23	1 36	4 29	5 53	1 25	11 38	16 20	9 13
7	5 57	14 10	11 17	2 23	3 27	1 25	4 39	5 46	1 45	11 56	16 18	8 48
8	6 23	14 14	11 03	2 06	3 31	1 14	4 49	5 39	2 05	12 13	16 15	8 22
9	6 49	14 16	10 48	1 49	3 35	1 03	4 58	5 31	2 26	12 30	16 11	7 56
10	7 14	14 18	10 33	1 32	3 38	0 51	5 07	5 23	2 47	12 46	16 06	7 29
	slow	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	fast	fast	fast	fast
11	7 38	14 19	10 18	1 16	3 40	0 39	5 16	5 14	3 08	13 02	16 00	7 02
12	8 02	14 20	10 02	1 00	3 42	0 27	5 24	5 05	3 29	13 18	15 53	6 34
13	8 25	14 19	9 46	0 44	3 44	0 15	5 32	4 55	3 50	13 33	15 46	6 06
14	8 48	14 18	9 30	0 29	3 44	f0 03	5 39	4 44	4 11	13 47	15 37	5 38
15	9 10	14 16	9 13	s0 14	3 44	s0 10	5 46	4 33	4 32	14 01	15 28	5 09
	slow	slow	slow	change	fast	slow	slow	slow	fast	fast	fast	fast
16	9 32	14 13	8 56	f0 01	3 44	0 23	5 52	4 21	4 53	14 14	15 18	4 40
17	9 52	14 10	8 39	0 15	3 43	0 36	5 58	4 09	5 14	14 27	15 07	4 11
18	10 12	14 06	8 22	0 29	3 41	0 49	6 03	3 57	5 35	14 39	14 56	3 42
19	10 32	14 01	8 04	0 43	3 39	1 02	6 08	3 44	5 56	14 51	14 43	3 13
20	10 50	13 55	7 46	0 56	3 37	1 15	6 12	3 30	6 18	15 02	14 30	2 43
	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	slow	fast	fast	fast	fast
21	11 08	13 49	7 28	1 00	3 34	1 28	6 15	3 16	6 40	15 12	14 16	2 13
22	11 25	13 42	7 10	1 21	3 30	1 41	6 18	3 01	7 01	15 22	14 01	1 43
23	11 41	13 35	6 52	1 33	3 24	1 54	6 20	2 46	7 22	15 31	13 45	1 13
24	11 57	13 27	6 34	1 45	3 21	2 07	6 22	2 30	7 43	15 40	13 28	0 43
25	12 12	13 18	6 16	1 56	3 16	2 20	6 24	2 14	8 04	15 47	13 11	f0 13
	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	slow	fast	fast	fast	change
26	12 26	13 09	5 58	2 06	3 10	2 33	6 25	1 58	8 25	15 54	12 53	s0 17
27	12 39	12 59	5 40	2 16	3 03	2 45	6 25	1 41	8 46	16 01	12 34	0 47
28	12 51	12 48	5 21	2 26	2 56	2 57	6 24	1 24	9 06	16 06	12 14	1 16
29	13 03	12 42	5 02	2 35	2 49	3 09	6 23	1 07	9 26	16 11	11 54	1 45
30	13 14	xx xx	4 44	2 43	2 41	3 21	6 21	0 49	9 46	16 15	11 33	2 14
31	13 24	xx xx	4 26	x xx	2 33	x xx	6 19	0 31	x xx	16 18	xx xx	2 43
	slow	slow	slow	fast	fast	slow	slow	slow	fast	fast	fast	slow

This table shows for each day of the year the number of minutes and seconds by which a sun-dial is fast or slow as compared with an accurate clock which shows local mean time. For places not on a standard time meridian, further correction is necessary as explained in the text. The table shows average values, and may be in error by as much as 10–15 seconds in December and January of some years.

3.5 การหมุนควงของแกนหมุนของโลก



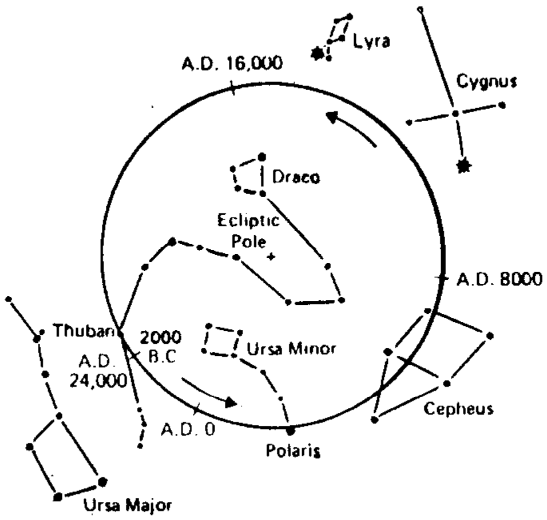
รูปที่ 3.8 การหมุนควงของแกนหมุนของโลกคล้ายกับการหมุนควงของลูกข่าง

ในขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์นั้น แกนหมุนของโลกมีการหมุนควง (precession) ตลอดเวลา ลักษณะการหมุนควงของแกนหมุนของโลกมีลักษณะคล้ายกับการหมุนควงของลูกข่างที่กำลังจะล้มลงสู่พื้นดิน (ดูรูปที่ 3.8) การหมุนควงของแกนหมุนของโลกพบโดยนักดาราศาสตร์ชาวกรีกชื่อ ฮิพพาราซุส (Hipparachus) เมื่อสองพันปีล่วงมาแล้ว

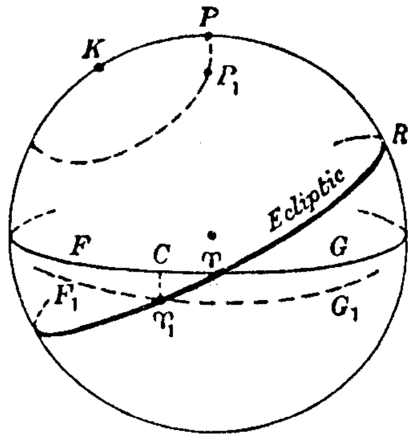
การหมุนควงของแกนหมุนของโลก เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์, ดวงจันทร์ที่มีต่อโลก เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23°.5 กับแนวดิ่ง ดวงอาทิตย์และดวงจันทร์พยายามดึงแกนหมุนนี้ให้เข้าสู่แนวดิ่ง จึงทำให้แกนหมุนของโลกเกิดการหมุนควง ลักษณะการหมุนควงเกิดจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์เรียกว่า การหมุนควงดวงจันทร์-ดวงอาทิตย์ (Luni-solar precession) ยังมีแรงดึงดูดเกิดจากดาวเคราะห์ต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกับดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ การหมุนควงของแกนหมุนของโลกเกิดเนื่องจากดาวเคราะห์ต่าง ๆ เรียกว่า การหมุนควงดาวเคราะห์ (planetary precession)

การหมุนควงของแกนหมุนของโลกใช้เวลาครบรอบประมาณ 26,000 ปี ช่วงระยะเวลานี้เรียกว่า วัฏจักรของการหมุนควง การหมุนควงของแกนหมุนของโลกจะทำให้ตำแหน่งของขั้วท้องฟ้าเหนือและใต้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยหมุนรอบ ๆ ขั้วเส้นสุริยวิถี ในปัจจุบันนี้ขั้วท้องฟ้าเหนือชี้ไปที่ดาวโพลาริส (polaris) โดยอยู่ห่างจากดาวโพลาริสประมาณ 1° อีกประมาณ 12,000 ปี ขั้วท้องฟ้าเหนือจะชี้ไปที่ดาววีกา (Vega) (ดูรูปที่ 3.9) จากการหมุนควงของแกนหมุนของโลกทำให้จุดวสันตวิษุวัตเคลื่อนที่ไปบนท้องฟ้าครบรอบใช้เวลา 26,000 ปีด้วย ลักษณะ

เช่นนี้เรียกว่าการหมุนควงของจุดวสันตวิษุวัต (precession of the equinoxes) พบว่า *จุดวสันต-วิษุวัตเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกตามเส้นสุริยวิถีด้วยอัตราความเร็ว 50."3 ต่อปี* การเคลื่อนที่ของจุดวสันตวิษุวัตมีผลทำให้ค่าไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของเทห์ฟากฟ้าเปลี่ยนแปลง เมื่อประมาณ 2000 ปีที่แล้วจุดวสันตวิษุวัตมีตำแหน่งอยู่ที่กลุ่มดาวราศีเมษ (Aries) จึงเรียกจุดวสันต-วิษุวัตว่า จุดแรกของราศีเมษ (First Point of Aries) ในปัจจุบันจุดวสันตวิษุวัตอยู่ที่กลุ่มดาวราศีมีน (Pisces) และอีกประมาณ 600 ปี จุดวสันตวิษุวัตจะปรากฏที่กลุ่มดาวราศีกุมภ์ (Aquarius)



รูปที่ 3.9 แสดงการเดินของขั้วท้องฟ้าเหนือ เนื่องจากเกิดการหมุนควงของแกนหมุนของโลก รัศมีของวงกลมมีค่า 23.°5 รอบ ๆ ขั้วของเส้นสุริยวิถี



รูปที่ 3.10

จากรูปที่ 3.10, K เป็นขั้วสุริยวิถีเหนือ โดยมีเส้น RT เป็นเส้นสุริยวิถี

P เป็นตำแหน่งของขั้วท้องฟ้าเหนือ (สมมติในปี พ.ศ. 2500)

P_1 เป็นตำแหน่งของขั้วท้องฟ้าเหนือ (ของอีกหนึ่งปีต่อมา (ปี พ.ศ. 2501))

PP_1 เป็นส่วนโค้งของวงกลมเล็กที่มี K เป็นขั้วของวงกลม

FTG เป็นเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยมี P เป็นขั้ว

$F_1T_1G_1$ เป็นเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยมี P_1 เป็นขั้ว

และจุด T เป็นจุดวสันตวิษุวัตสำหรับปี พ.ศ. 2500

จุด T_1 เป็นตำแหน่งของจุดวสันตวิษุวัตสำหรับปี พ.ศ. 2501

สมมติว่าการเคลื่อนที่ของจุดขั้วท้องฟ้าเหนือเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตามส่วนโค้งวงกลมเล็ก PP_1 และจุด T เคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอไปทางทิศตะวันตกตามเส้นสุริยวิถี จากจุด T ไปยังจุด T_1 ด้วยอัตรา $50''.3$ ต่อปี

ถ้าเราคิดคาบเวลาที่โลกหมุนรอบตัวเอง โดยคิดเทียบจากช่วงระยะเวลาที่โลกผ่านจุดคงที่สองครั้งติดต่อกัน กับคิดเทียบจากช่วงระยะเวลาที่โลกผ่านจุด T (ที่เคลื่อนที่ด้วย) สองครั้งติดต่อกัน ช่วงระยะเวลาอันหลังจะสั้นกว่าช่วงระยะเวลาอันแรก (หรือช่วงระยะเวลาอันแรกยาวนานกว่าช่วงระยะเวลาอันหลัง)

จากรูปที่ 3.10 ถ้าลากส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ CT_1 โดยลากผ่านจุด T_1 ไปตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า FTG ที่จุด C

TC จะเป็นค่าไรท์แอสเซนชันที่เปลี่ยนไปภายใน 1 ปี เมื่อจุด T เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกตามเส้นสุริยวิถี

จากสามเหลี่ยมทรงกลม $TCT_1, T\hat{C}T_1 = 90°$ จะได้

$$TC = TT_1 \cos \varepsilon$$

เมื่อ ε = มุมที่เกิดจากระนาบเส้นสุริยวิถีตัดกับระนาบเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

$= 23° \, 27'$

แทนค่า $TT_1 = 50''.3$ และ $\varepsilon = 23° \, 27'$ ลงในสมการจะได้

$$TC = 50''.3 \cos(23° \, 27')$$

$$= 46''.15 \text{ ต่อปี}$$

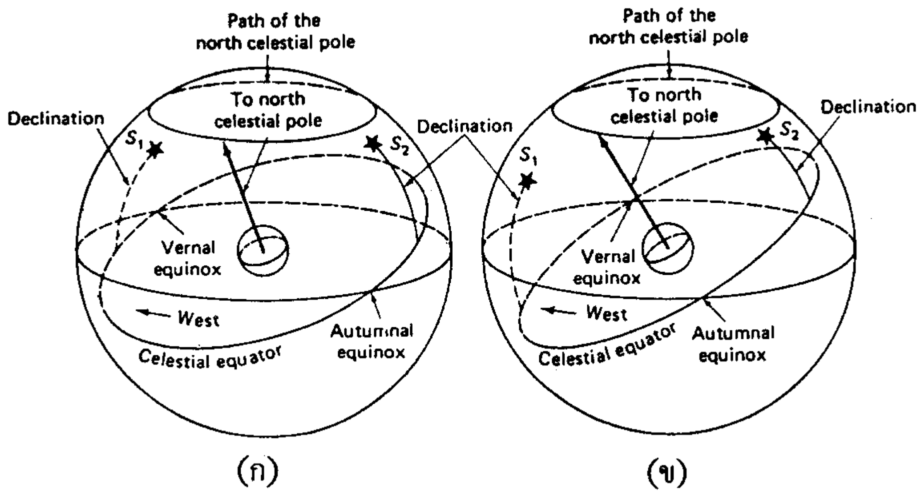
นั่นคือค่าไรท์แอสเซนชันเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกด้วยอัตราประมาณ 0.008 วินาทีต่อวัน

จากผลการหมุนควงของแกนหมุนของโลก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จุด ♈ จะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกด้วยอัตราค่าไรท์แอสเซนชัน 0.008 วินาที/วันดาราคติ

2. ทิศทางการเคลื่อนที่ของจุด ♈ ไปทางทิศตะวันตกบนท้องฟ้าซึ่งตรงข้ามกับการเพิ่มขึ้นของค่าไรท์แอสเซนชัน

3. จากผลข้อที่ 2 ทำให้จุด ♈ เคลื่อนที่ผ่านเส้นเมริเดียนส่วนบนเร็วขึ้นวันละ 0.008 วินาที นั่นคือช่วงระยะเวลาที่ได้จากจุด ♈ เคลื่อนที่ (moving equinox) เคลื่อนผ่านเส้นเมริเดียนส่วนบนสองครั้งติดต่อกันจะสั้นกว่า (= 0.008 วินาที) ช่วงระยะเวลาที่ใช้จุด ♈ คงที่ (fixed equinox or star) เคลื่อนผ่านเส้นเมริเดียนส่วนบนสองครั้ง ติดต่อกันช่วงระยะเวลาแรกเรียกว่าหนึ่งวันดาราคติ ช่วงระยะเวลาหลังเรียกว่า คาบเวลาการหมุนของโลก



รูปที่ 3.11 การหมุนควงของแกนหมุนของโลกมีผลทำให้ค่าพิกัดของเทห์ฟากฟ้าในระบบพิกัดเส้นศูนย์สูตรมีการเปลี่ยนแปลง

4. จะทำให้ค่าไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของเทห์ฟากฟ้าบนท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 3.11 จากรูปค่าไรท์แอสเซนชันของเทห์ฟากฟ้าทุกดวงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเดคลิเนชันของเทห์ฟากฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับเทห์ฟากฟ้าที่อยู่ใกล้จุดวสันตวิษุวัต (♈) และค่าเดคลิเนชันของเทห์ฟากฟ้ามีค่าลดลงสำหรับเทห์ฟากฟ้าที่อยู่ใกล้จุดศารทวิษุวัต (♎)

การแก้ค่าพิกัดของตำแหน่งเทห์ฟากฟ้าเนื่องจากการหมุนควงของแกนหมุนของโลก

จากหัวข้อที่แล้ว จะเห็นได้ว่าแกนหมุนของโลกมีการหมุนควงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นพิกัดของเทห์ฟากฟ้า (เช่น ดาวฤกษ์ต่าง ๆ, แกแลกซี) ในระบบพิกัดเส้นศูนย์สูตรจึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นักดาราศาสตร์จึงได้กำหนดค่าพิกัด (ค่า α, δ) ของดาวฤกษ์ที่

ถูกต้องที่สุด ในปีใดปีหนึ่ง ปีที่นักดาราศาสตร์กำหนดให้ค่าพิกัดของเทห์ฟากฟ้าถูกต้องที่สุด จะมีชื่อเรียกว่า จุดเริ่มยุค (EPOCH) เช่น กำหนดปี ค.ศ. 1950.0 เป็นปีเริ่มยุค หมายความว่า ค่าพิกัดของเทห์ฟากฟ้า (ในระบบพิกัดเส้นศูนย์สูตร) เริ่มต้นปี ค.ศ. 1950 จะมีความถูกต้องที่สุด เราสามารถหาค่าพิกัดของดาวฤกษ์ที่ถูกต้องในปีต่าง ๆ ได้ โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\alpha_1 = \alpha_0 + (m + n \sin \alpha_0 \tan \delta_0) \times N \qquad (3.13)$$

$$\delta_1 = \delta_0 + (n' \cos \alpha_0) \times N \qquad (3.14)$$

เมื่อ α_0, δ_0 = ค่าพิกัดของดาวฤกษ์ในปี 1950.0

α_1, δ_1 = ค่าพิกัดของดาวฤกษ์ใหม่ในปีที่ต้องการรู้

N = จำนวนปีตั้งแต่ปี 1950.0 จนถึงปีที่ต้องการ

m, n, n' = ตัวเลขใด ๆ (ดังตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2

Epoch	m (วินาที)	n (วินาที)	n′ (วิลิปดา)
1900.0	3.072 34	1.336 46	20.0468
1950.0	3.073 27	1.336 17	20.0426
1975.0	3.073 74	1.336 03	20.0405
2000.0	3.07420	1.335 89	20.0383

ถ้าให้ปี 1950.0 เป็นปีเริ่มยุค สมการที่ (3.13), (3.14) จะได้

$$\alpha_1 = \alpha_0 + (3^{\text{ว}}.07327 + 1^{\text{ว}}.33617 \sin \alpha_0 \tan \delta_0) \times N \qquad (3.15)$$

$$\delta_1 = \delta_0 + (20''.0426 \cos \alpha_0) \times N \qquad (3.16)$$

ตัวอย่าง ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีค่า $a, = 9^{\text{ช}}\ 10^{\text{น}}\ 43^{\text{ว}}$ และ $\delta_0 = 14''\ 23'\ 25''$ ในปี 1950.0 จงหาไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดาวฤกษ์ดวงนี้ในปี 1979.5

$$\alpha_0 = 9'\ 10''\ 43^{\text{ว}}, \qquad \delta_0 = 14^\circ\ 23'\ 25''$$

$$= 9^{\text{ช}}.178611 \qquad = 14^\circ.390278$$

$$= 137^\circ.679\ 1\ 6\ 5$$

จากสมการที่ (3.15)

$$\alpha_1 = \alpha_0 + (3^{\text{ว}}.07327 + 1^{\text{ว}}.33617 \sin \alpha_0 \tan \delta_0) \times N$$

แทนค่า $\alpha_0 = 137^\circ.679165, \quad \delta_0 = 14^\circ.390278$

$N = 1979.5 - 1950.0 = 29.5$ ลงในสมการบนจะได้

$\alpha_1 \;=\; 137°.679165 + (3^{ว}.07327 + 1^{ว}.33617 \sin 137°.679165 \tan 14°.390278) \times 29.5$

$\;=\; 137°.679165 + 97^{ว}.470657$

$\;=\; 9^{ช}\ 10^{น} 43^{ว} + 97^{ว}.470657$

$\;=\; 9^{ช}\ 12^{น}\ 20^{ว}$ **ตอบ**

จากสมการที่ (3.16)

$\delta_1 \;=\; \delta_0 + (20''.0426 \cos\ \alpha_0) \times N$

แทนค่า $\delta_0 = 14°.390278$, $\alpha_0 = 137°.679165$, $N = 29.5$ ลงในสมการบนจะได้

$\delta_1 \;=\; 14°.390278 + (20''.0426 \cos 137°.679165) \times 29.5$

$= 14°.390278 + (-437''.167111)$

$= 14°.390278 - 437''.167111$

$= 14°.390278 - 0°.121435$

$= 14°.268843$

$= 14”\ 16’\ 08”$ **ตอบ**

3.6 ปีดาราคติและปีทรอปิก

ปีดาราคติ หมายถึงช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามเส้นสุริยวิถีครบหนึ่งรอบ หรือหมายถึงช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนผ่านจุดคงที่บนเส้นสุริยวิถีสองครั้งติดต่อกัน

ปีทรอปิก (tropical year) หมายถึงช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านจุด T (จุด T จะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกตามเส้นสุริยวิถีเนื่องจากการหมุนควงของแกนหมุนของโลก) สองครั้งติดต่อกัน ปีทรอปิกนี้เป็นปีที่เราใช้เป็นปีปฏิทิน

จากรูปที่ 3.9 สมมติดวงอาทิตย์เริ่มต้นที่จุด T (ค่าไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ = 0) ในขณะที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามเส้นสุริยวิถีในทิศทาง TR, จุด T จะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ในทิศทางตรงกันข้าม ให้จุด T_1 เป็นจุดวสันตวิษุวัตที่เคลื่อนที่มาพบกับดวงอาทิตย์อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นปีทรอปิกจึงเป็นช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่น้อยกว่า $360° = TT_1$ จากการสังเกตพบว่า

ปีทรอปิก $= 365^{วัน}\ 5^{ช}\ 48^{น}\ 46^{ว}$

$= 365.2422$ วันสุริยคติเฉลี่ย

ความสัมพันธ์ระหว่างปีทรอปิกกับปีดาราคติมีดังนี้

ปีดาราคติ : ปีทรอปิก $= 360° : (360° - 50''.3)$

เมื่อ 50″.3 = ค่าของการเคลื่อนที่ของจุด ♈ ในหนึ่งปีทรอปิก

จะได้ว่า ปีดาราคติ = $365^{\text{วัน}}\ 6^{\text{ช}}\ 9^{\text{น}}\ 10^{\text{ว}}$

= 365.2564 วันสุริยคติเฉลี่ย

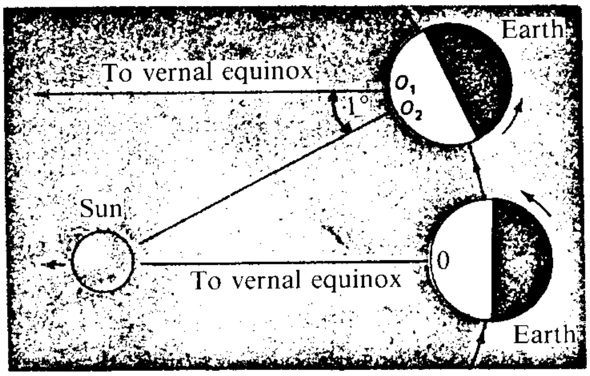
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยคติเฉลี่ยกับเวลาดาราคติเฉลี่ย

เนื่องจาก 1 ปีทรอปิก = 365.2422 วันสุริยคติเฉลี่ยและค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก $0^{\text{ช}}$ ถึง $24^{\text{ช}}$ ด้วย ดังนั้นหนึ่งวันสุริยคติเฉลี่ยค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ย (R.A.M.S.) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนี้

$$= 360'' \div 365.2422$$

$$= 59'\ 8''.33$$

$$\text{หรือ} = 3^{\text{น}}\ 56^{\text{ว}}.556$$



รูปที่ 3.12 ช่วงระยะเวลาหนึ่งวันสุริยคติเฉลี่ยยาวกว่าช่วงระยะเวลาหนึ่งวันดาราคติประมาณ 1 องศา

จากรูปที่ 3.12 ให้ 0 เป็นตำแหน่งของผู้สังเกตบนโลก เมื่อเวลาดาราคติและเวลาสุริยคติเฉลี่ย = $0^{\text{ช}}$ ซึ่งจุด ♈ และดวงอาทิตย์จะอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบนตรงกับตำแหน่ง 0 พอดี หลังจากนั้นโลกจะหมุนรอบตัวเองในขณะเดียวกันโลกก็จะโคจรรอบดวงอาทิตย์ (ตามรูปที่ 3.12) อีกหนึ่งวันต่อมา จุด ♈ จะปรากฏบนเส้นเมริเดียนส่วนบนที่ตำแหน่ง O_1 ในขณะที่จุด 0 จะต้องเคลื่อนที่อีกประมาณ 1° ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงจะปรากฏบนเส้นเมริเดียนส่วนบนที่ตำแหน่ง O_2 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเวลาดาราคติจะสั้นกว่าเวลาสุริยคติเฉลี่ยประมาณ 1° (หรือ 59′ 8″.33 หรือ $3^{\text{น}}\ 56^{\text{ว}}.556$)

เราอาจจะหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยคติเฉลี่ยกับเวลาดาราคติเฉลี่ยได้จากการคำนวณ ดังนี้

ให้ H_1 = ค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย

R_1 = ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ย เมื่อดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีมุมชั่วโมง $= H_1$

และให้ t_1 = เวลาดาราคติเฉลี่ยของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่มี H_1 และ R_1

จะได้
$$t_1 = H_1 + R_1 \tag{3.17}$$

ให้ t_2 = เวลาดาราคติเฉลี่ยของอีก 1 วันสุริยคติเฉลี่ยต่อมา

$\therefore$ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น $= 360^\circ$ หรือ $24^{ช}$

และค่าไรท์แอสเซนชันเพิ่มขึ้น $= 59'\ 8''.33$ หรือ $3^{น}\ 56^{ว}.556$

จะได้
$$t_2 = (H_1 + 24^{ช}) + (R_1 + 3^{น}\ 56^{ว}.556) \tag{3.18}$$

นำสมการที่ (3.18) – (3.17) จะได้

$$t_2 - t_1 = 24^{ช}\ 3^{น}\ 56^{ว}.556$$

ค่า $t_2 - t_1$ คือช่วงระยะเวลาดาราคติที่สอดคล้องกับ $24^{ช}$ ของเวลาสุริยคติเฉลี่ย นั่นคือ

$24^{ช}$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย $= 24^{ช}\ 3^{น}\ 56^{ว}.556$ เวลาดาราคติเฉลี่ย (3.19)

จากสมการที่ (3.19) เราจะสามารถคำนวณได้ว่า

$24^{ช}$ เวลาดาราคติเฉลี่ย $= (24^{ช} - 3^{น}\ 55^{ว}.910)$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย (3.20)

จากความสัมพันธ์ของเวลาสุริยคติเฉลี่ยกับเวลาดาราคติเฉลี่ยหมายความว่า ถ้าเรามีนาฬิกาสองเรือน เรือนแรกบอกเวลาสุริยคติเฉลี่ย อีกเรือนบอกเวลาดาราคติเฉลี่ย เริ่มต้นตั้งนาฬิกาทั้งสองเรือนที่เวลา $0^{ช}$ และปล่อยให้เดินพร้อม ๆ กัน อีก 1 วันสุริยคติเฉลี่ยต่อมา ก็คือนาฬิกาเรือนแรกบอกเวลา $24^{ช}$ แต่นาฬิกาเรือนที่สองจะบอกเวลา $24^{ช}\ 3^{น}\ 56^{ว}.556$ หรือนาฬิกาเรือนที่สองบอกเวลา $24^{ช}$ แต่นาฬิกาเรือนแรกจะบอกเวลาเพียง $(24^{ช} - 3^{น}\ 55^{ว}.910) = 23^{ช}\ 56^{น}\ 4^{ว}.090$

ดังนั้นจะได้ตาราง 2 ตาราง แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยคติเฉลี่ยกับเวลาดาราคติเฉลี่ย

ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนเวลาสุริยคติเฉลี่ยไปเป็นเวลาดาราคติเฉลี่ย

$24^{ช}$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย	$\equiv$	$(24^{ช} + 3^{น}\ 56^{ว}.556)$ เวลาดาราคติเฉลี่ย
$1^{ช}$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย	$\equiv$	$(1^{ช} + 9^{ว}.8565)$ เวลาดาราคติเฉลี่ย
$1^{น}$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย	$\equiv$	$(1^{น} + 0^{ว}.1643)$ เวลาดาราคติเฉลี่ย
$1^{ว}$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย	$\equiv$	$(1^{ว} + 0^{ว}.0027)$ เวลาดาราคติเฉลี่ย

ตารางที่ 3.4 การเปลี่ยนเวลาดาราคติเฉลี่ยไปเป็นเวลาสุริยคติเฉลี่ย

$24^{ช}$ เวลาดาราคติเฉลี่ย $\equiv$ ($24^{ช} - 3^{น}\ 55\overset{ว}{.}910$) เวลาสุริยคติเฉลี่ย

$1^{ช}$ เวลาดาราคติเฉลี่ย $\equiv$ ($1^{ช} - 9\overset{ว}{.}8296$) เวลาสุริยคติเฉลี่ย

$1^{น}$ เวลาดาราคติเฉลี่ย $\equiv$ ($1^{น} - 0\overset{ว}{.}1638$) เวลาสุริยคติเฉลี่ย

$1^{ว}$ เวลาดาราคติเฉลี่ย $\equiv$ ($1^{ว} - 0\overset{ว}{.}0027$) เวลาสุริยคติเฉลี่ย

การเปลี่ยนเวลา GMT (Greenwich Mean Time) **ไปเป็น** GST (Greenwich Sidereal Time)

จากหัวข้อที่ 3.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยคติเฉลี่ยกับเวลาดาราคติเฉลี่ย หัวข้อนี้เรามีวิธีเปลี่ยนเวลาสุริยคติเฉลี่ยไปเป็นเวลาดาราคติเฉลี่ยได้อีกวิธีหนึ่ง วิธีนี้ให้ความแม่นยำถึง 1 วินาที ถ้าเลือกตัวคงที่ B ให้ถูกต้อง

ตารางที่ 3.5

A : 0.065 709 8 C : 1.002 738 D : 0.997 270

B :

1975 : 17.397 610	1990 : 17.373 487
1976 : 17.413 525	1991 : 17.389 402
1977 : 17.363 730	1992 : 17.405 316
1978 : 17.379 643	1993 : 17.355 521
1979: 17.395 558	1994 : 17.371 435
1980: 17.411 472	1995 ; 17.387 349
1981 : 17.361 677	1996 : 17.403 263
1982 : 17.377 592	1997 : 17.353 468
1983 : 17.393 506	1998 : 17.369 382
1984 : 17.409421	1999 : 17.385 297
1985 : 17.359 625	2000: 17.401 211
1986 : 17.375 539	
1987 : 17.391 453	
1988 : 17.407 368	
1989 : 17.357 573	

ตัวคงที่ A และ B เป็นตัวเลขใดที่ไม่ขึ้นอยู่กับปีใด ๆ ดังในตารางที่ 3.5 ส่วนตัวคงที่ B มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามปี ค่าที่แม่นยำสำหรับปี ค.ศ. 1975 ถึง 2000 ได้แสดงในตารางที่ 3.3

ตัวอย่าง จงหาเวลาดาราคติเฉลี่ยกรีนิชเมื่อเวลาเฉลี่ยกรีนิชมีค่าเท่ากับ 14 ชั่วโมง 36 นาที 51.67 วินาที ของวันที่ 22 เมษายน 1980?

วิธีทำ	ตัวอย่าง		
1. หาจำนวนวันตั้งแต่ 0.0 มกราคมจนถึงวันที่ต้องการ	จำนวนวัน	=	113.0
2. คูณจำนวนวันด้วยค่าคงที่ A		×	0.065 709 8
		=	7.425 207
3. ลบด้วยค่าคงที่ B		−	17.411 472
ผลลัพธ์ก็คือ T_0 ,	T_0	=	−9.986 265
4. เปลี่ยน GMT ไปเป็นทศนิยมชั่วโมง	GMT	=	14.614 353
5. คูณด้วยค่าคงที่ C		×	1.002 738
		=	14.654 367
6. จากข้อ 5 บวกค่า T_0		+	−9.986 265
ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่า 24, ให้เอา 24 ลบออก			
ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าติดลบ, ให้บวกด้วย 24			
ค่าที่ได้จะเป็นค่า GST หน่วยชั่วโมง	GST	=	4.668 102
7. เปลี่ยนผลลัพธ์ให้เป็นชั่วโมง, นาทีและวินาที	GST	=	04 ชั่วโมง 40 นาที 5.17 วินาที

การเปลี่ยนเวลา GST ไปเป็น GMT

ค่าตัวคงที่ A, B (ในตารางที่ 3.5) และตัวคงที่ D จะมีค่าเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับปีใด ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ความแม่นยำในการคำนวณวิธีนี้เหมือนกับการคำนวณในหัวข้อที่ 3.7 ซึ่งมีความแม่นยำถึง 1 วินาที ถ้าเลือกตัวคงที่ B ให้ถูกต้อง

ตัวอย่าง ที่เวลาดาราคติกรีนิช 04 ชั่วโมง 40 นาที 5.17 วินาที ในวันที่ 22 เมษายน 1980 จงหาเวลาเฉลี่ยกรีนิช?

วิธีทำ	ตัวอย่าง		
1. หาจำนวนวันตั้งแต่ 0.0 มกราคมจนถึง วันที่ต้องการ	จำนวนวัน	=	113.0
2. คูณจำนวนวันด้วยค่าคงที่ A		×	0.065 709 8
		=	7.425 207
3. ลบด้วยค่าคงที่ B		−	17.411 472
ถ้าผลลัพธ์เป็นลบ, ให้บวกด้วย 24		=	−9.986 265
ค่าที่ได้คือ T_0		+	24.0
	T_0	=	14.013 735
4. เปลี่ยนเวลา GST เป็นทศนิยมชั่วโมง	GST	=	4.668 103
5. จากข้อ 4 ลบด้วย T_0		−	14.013 735
ถ้าผลลัพธ์เป็นลบ, ให้บวกด้วย 24		=	−9.345 633
		+	24.0
		=	14.654 367
6. จากข้อ 5 คูณด้วยค่าคงที่ D		×	0.997 270
ค่าที่ได้จะเป็นค่า GMT หน่วยชั่วโมง		=	14.614 361
7. เปลี่ยนผลลัพธ์ให้เป็นชั่วโมง, นาทีและวินาที	GMT	=	14 ชั่วโมง 36 นาที 51.70 วินาที

3.8 เวลาสากล

เมื่อดวงอาทิตย์เฉลี่ยปรากฏอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบนที่ตำบล I ที่ตำบล I จะเป็นเวลา = เที่ยงวันเฉลี่ยท้องถิ่น (local mean noon)

และถ้าดวงอาทิตย์เฉลี่ยปรากฏอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบนที่กรีนิช ที่กรีนิชจะเป็นเวลา = เที่ยงวันเฉลี่ยกรีนิช (Greenwich mean noon)

มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่กรีนิชเรียกว่า G.M.A.T. (Greenwich Mean Astronomical time)

จากรูปที่ 3.6 เมื่อดวงอาทิตย์เฉลี่ยปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนล่าง, T, มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยในขณะนั้นมีค่า = 12^h เราเรียกว่าเที่ยงคืนเฉลี่ย (mean midnight)

เมื่อ G.M.A.T. = $12^{\text{ช}}$ ก็จะหมายความว่าเวลาขณะนั้นที่กรีนิชจะเป็นเวลาเที่ยงคืนเฉลี่ย (24.00 น.) วันใหม่ก็จะเริ่มต้นที่กรีนิช

เวลาเฉลี่ย (mean time) หรือเวลาสุริยคติเฉลี่ย (mean solar time) เป็นเวลาที่ได้จากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ยบวกอีก $12^{\text{ช}}$ (หรือเป็นเวลาที่นับจากเวลาเที่ยงคืน ดูรายละเอียดหัวข้อที่ 3.3.2)

เวลาเฉลี่ยที่ตำบล (l) ต่าง ๆ มีชื่อเรียกว่า เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น (local mean time, Local M.T.) และเวลาเฉลี่ยที่กรีนิชเรียกว่า *เวลาสากล* (Universal time, U.T.) *หรือ* Greenwich Mean Time(G.M.T.) จะได้ว่า

$$\text{U.T.} \equiv \text{G.M.T.} = \text{G.M.A.T.} + 12^{\text{ช}} \tag{3.21}$$

และ

$$\text{Local M.T.} = \text{Local M.A.T.} + 12^{\text{ช}} \tag{3.22}$$

$$= \text{H.A.M.S.} \pm 12^{\text{ช}} \tag{3.23}$$

เมื่อ Local M.A.T. = Local Mean Astronomical Time

จากสมการที่ (3.3) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาดาราคติที่กรีนิชกับเวลาดาราคติที่ตำบล (l) ต่าง ๆ และจากรูปที่ 3.1, สมการที่ (3.21), (3.22) เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่กรีนิช (หรือเวลาสากล) กับเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นที่ตำบล (l) ต่าง ๆ ดังนี้

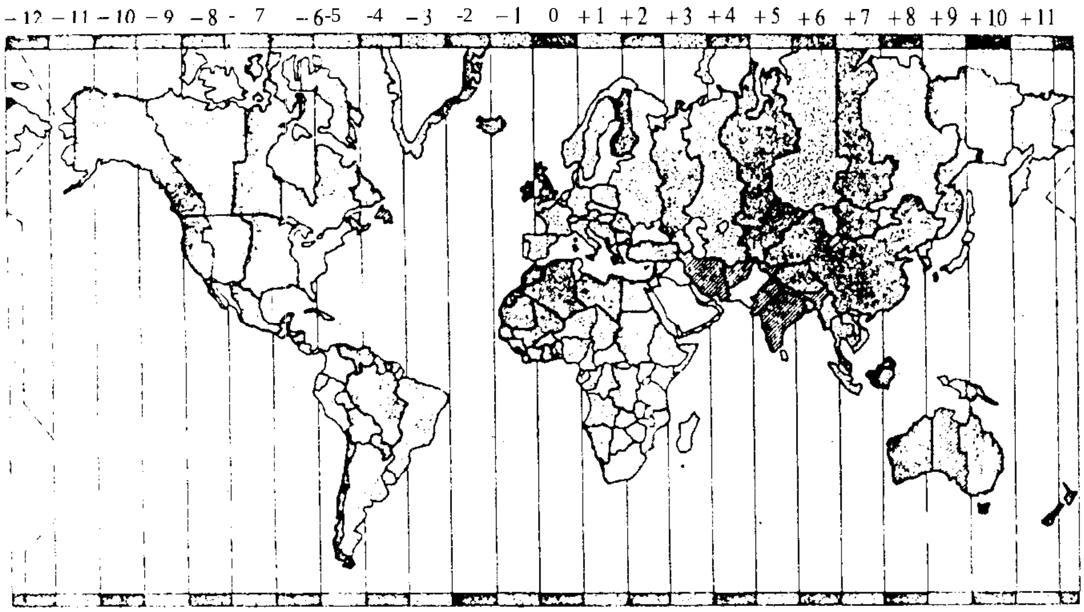
$$\text{U.T.} \equiv \text{G.M.T.} = \text{Local M.T.} \pm \text{long. of l} \tag{3.24}$$

เครื่องหมาย (+) ใช้เมื่อลองจิจูดของตำบล (l) อยู่ทางทิศตะวันตกของกรีนิช
เครื่องหมาย (−) ใช้เมื่อลองจิจูดของตำบล (l) อยู่ทางทิศตะวันออกของกรีนิช

3.9 เวลามาตรฐานและแถบเวลา

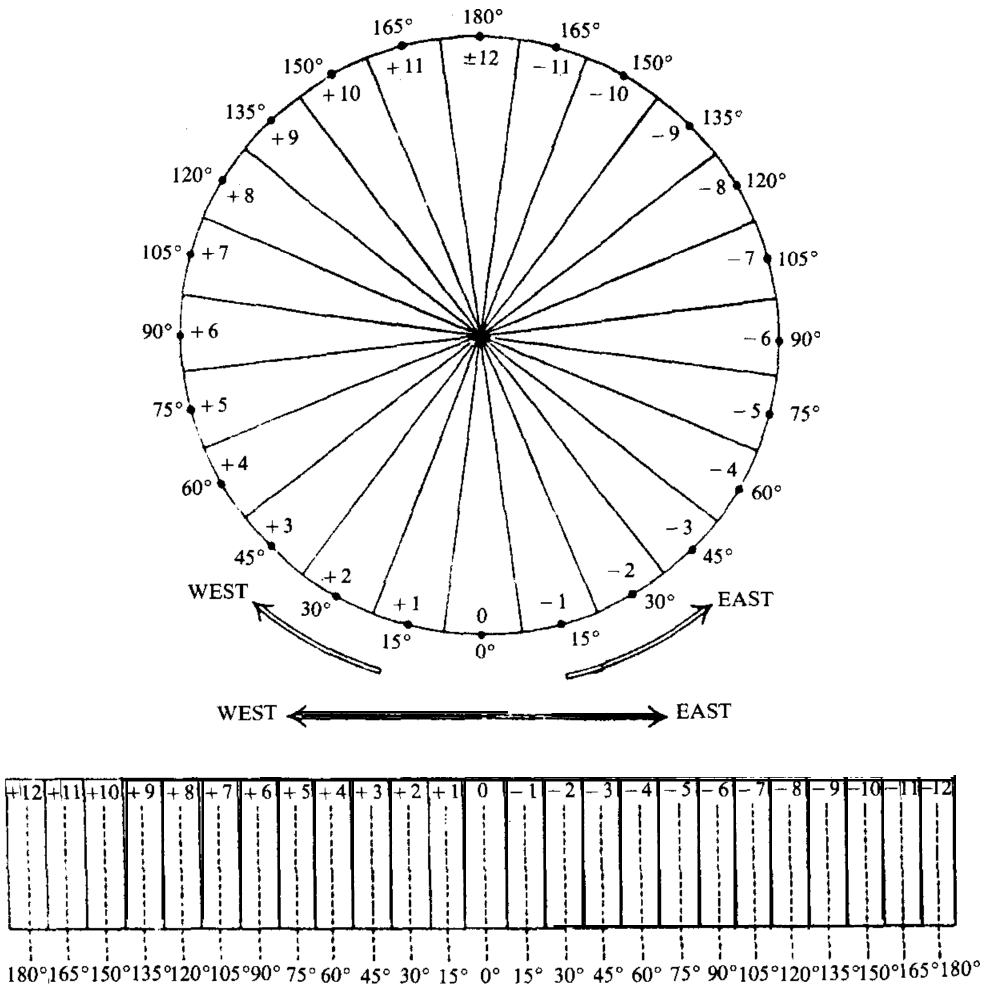
จากการที่โลกหมุนรอบตัวเองในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ตำบลต่าง ๆ ที่อยู่ทางทิศตะวันออกจะเคลื่อนเข้ารับแสงอาทิตย์ก่อนตำบลที่อยู่ทางทิศตะวันตก ดังนั้น ตำบลที่อยู่ทางทิศตะวันออกจึงมีเวลาเร็วกว่าตำบลที่อยู่ทางทิศตะวันตก เช่น ประเทศญี่ปุ่นอยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศไทย เวลาที่ประเทศญี่ปุ่นเร็วกว่าเวลาที่ประเทศไทย 2 ชั่วโมง และประเทศอังกฤษอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย ดังนั้น เวลาที่ประเทศไทยจึงเร็วกว่าเวลาที่ประเทศอังกฤษ 7 ชั่วโมง เวลาที่ตำบลต่าง ๆ มีชื่อเรียกว่าเวลาเฉลี่ยท้องถิ่น (local mean time หนังสือบางเล่มเรียกว่าเวลาชุมชนท้องถิ่น (local civil time) *เวลาเฉลี่ยท้องถิ่นที่แตกต่างกันสองแห่งบนโลกจะเท่ากับค่าความแตกต่างของเส้นลองจิจูดทั้งสองตำบลนั้น* โดยแบ่งเส้นลองจิจูดบนโลกเป็นองศาได้ทั้งหมด 360 องศา (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 1.3) และหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง นั่นคือ เส้นลองจิจูด

ต่างกัน 1° เวลาแตกต่างกันเท่ากับ 4 นาที เส้นลองจิจูดต่างกัน 15° เวลาแตกต่างกันเท่ากับ 1 ชั่วโมง ดังนั้นตำบลที่อยู่บนเส้นลองจิจูดต่างกัน เวลาเฉลี่ยท้องถิ่นก็มีความแตกต่างกันด้วย การบอกเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นที่เป็นจริงจึงไม่ได้รับความสะดวก เช่น กรุงเทพฯ, นครปฐม ฯลฯ ถ้าคิดเวลาเฉลี่ยตามท้องถิ่น กรุงเทพฯ เป็นเวลาหนึ่งในขณะที่นครปฐมเป็นอีกเวลาหนึ่ง จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าการบอกเวลาที่ตำบลต่าง ๆ โดยใช้เส้นลองจิจูดที่ผ่านตำบลนั้นจะทำให้เกิดความสับสนมากสำหรับผู้ที่เดินทางภายในประเทศ



รูปที่ 3.13 แสดงแถบเวลาที่ใช้กันบนโลกนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่าตำราบางเล่มให้ลองจิจูดทางตะวันออกมีแถบเวลาเป็นบวก, ลองจิจูดทางตะวันตกมีแถบเวลาเป็นลบ

จากการที่แต่ละท้องถิ่นในอดีตไม่มีระบบมาตรฐานการบอกเวลาที่เหมือนกัน ในปี ค.ศ. 1884 ภายใต้แรงกระตุ้นอย่างมากของหนังสือพิมพ์สองฉบับโดยซานฟอร์ด เฟลมมิง (Sanford Fleming) การประชุมระหว่างประเทศได้จัดขึ้นที่กรุงวอชิงตัน, ดี.ซี. มี 26 ประเทศเข้าประชุมด้วย ที่ประชุมได้ตกลงตั้งระบบการนับเวลาโดยแบ่งโลกออกเป็น 24 แถบเวลานานาชาติ (international time zone) แต่ละแถบเวลากว้าง 15° ในเส้นลองจิจูด การใช้แถบเวลาบนพื้นดินขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศที่จะกำหนดเวลาใน แถบเวลานั้น ๆ ที่ทะเลให้แต่ละพื้นที่ใช้แถบเวลาที่เส้นเมริเดียนมาตรฐานผ่านกึ่งกลางของแถบเวลาของพื้นที่นั้น ๆ จำนวนตัวเลขของแถบเวลาเรียงตามลำดับจากเส้นเมริเดียนกรีนิชโดยทางตะวันตกของกรีนิชเป็นเครื่องหมายบวก (+) และทางตะวันออกของกรีนิชเป็นเครื่องหมายลบ (–)



รูปที่ 3.14 รูปแผนภาพของแถบเวลาของโลกเมื่อมองตรงขั้วโลกเหนือลงมา จำนวนองศา คือค่าลองจิจูดของเส้นเมริเดียนมาตรฐานของแถบเวลาใด ๆ จากเส้นเมริเดียนของกรีนิช ข้างในวงกลมแสดงถึงจำนวนชั่วโมงของแถบเวลาต่าง ๆ เมื่อเครื่องหมาย – แสดงถึงเวลาที่เร็วกว่า และเครื่องมาย + แสดงถึงเวลาที่ช้ากว่า

เวลามาตรฐาน (standard time) เป็นเวลาที่ใช้สำหรับในท้องถิ่นต่าง ๆ ที่อยู่ในแถบเวลาเดียวกัน โดยใช้เส้นเมริเดียนมาตรฐานในแถบเวลานั้นเป็นเส้นบอกเวลามาตรฐาน เช่น จากรูปที่ 3.13 และ 3.14 แสดงค่าลองจิจูดต่าง ๆ โดยเส้นเมริเดียนที่ผ่านกรีนิชเป็นเส้นลองจิจูดที่ 0° แถบเวลาที่กรีนิชจะเป็นแถบเวลาที่ 0 ชั่วโมง แถบเวลานี้มีขอบเขตที่เส้นลองจิจูดที่ 7°.5 ตะวันออกถึง 7°.5 ตะวันตก, แถบเวลาที่ +1 ชั่วโมงจะมีเส้นลองจิจูดที่ 15° ตะวันตกเป็นเส้นบอกเวลามาตรฐานและเริ่มต้นตั้งแต่เส้นลองจิจูดที่ 7°.5 ตะวันตกจนถึงเส้นลองจิจูดที่ 22°.5 ตะวันตก

สำหรับประเทศไทยอยู่แถบเวลาที่ −7 ชั่วโมง โดยมีเส้นลองจิจูดที่ 105° ตะวันออก ซึ่งผ่านจังหวัดอุบลราชธานีเป็นเส้นบอกเวลามาตรฐาน ดังนั้นเวลาของทุก ๆ ตำบลในประเทศไทยใช้เส้นบอกเวลามาตรฐานที่ 105° ตะวันออกเป็นเส้นบอกเวลาเดียวกันหมดทั้งประเทศไทย

เราสามารถหาเวลามาตรฐานได้จากเวลาสุริยคติปรากฏหรือนาฬิกาแดด ดังตัวอย่างเช่น สมมติว่า กรุงเทพฯอยู่ที่เส้นลองจิจูดที่ 100 องศาตะวันออก ในวันที่ 16 มีนาคม พบว่าเวลาสุริยคติปรากฏบอกเวลา 11.30 น. จากตารางที่ 3.1 สมการของเวลาในวันที่ 16 มีนาคมพบว่าเวลาสุริยคติปรากฏช้ากว่าเวลาสุริยคติเฉลี่ย 8 นาที 56 วินาที ดังนั้น เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น (หรือเวลาเฉลี่ยที่กรุงเทพฯ) คือ 11.30 น.+8 นาที 56 วินาที = 11 นาฬิกา 38 นาที 56 วินาที แต่ประเทศไทยใช้เวลามาตรฐานที่เส้นลองจิจูด 105 องศาตะวันออกบอกเวลาทั้งประเทศไทย ดังนั้น กรุงเทพฯจึงมีค่าลองจิจูดแตกต่างจากเส้นลองจิจูดมาตรฐาน $= 105° - 100° = 5°$ คิดเป็นเวลาที่กรุงเทพฯแตกต่างจากเส้นบอกเวลามาตรฐาน = 5 องศา×4 นาที/องศา = 20 นาที ∴ เวลาเฉลี่ยที่กรุงเทพฯจึงช้ากว่า (∵ อยู่ทางตะวันตกของเส้นบอกเวลามาตรฐาน) เวลามาตรฐาน 20 นาที นั่นคือ เวลามาตรฐานในประเทศไทย คือ 11 นาฬิกา 58 นาที 56 วินาที (หมายเหตุ เวลานี้ตรงกับเวลาบนนาฬิกาข้อมือของเรานั่นเอง) จากตัวอย่างนี้เราสามารถหาค่าลองจิจูดของตำแหน่งที่เราอยู่ได้ถ้าเราทราบเวลามาตรฐาน, เวลาสุริยคติปรากฏและสมการของเวลาในวันที่ที่เราหาค่าซึ่งเราสามารถคำนวณย้อนกลับวิธีของตัวอย่างข้างต้นได้

3.10 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 3.1 ถ้าเวลาดาราคติที่กรีนิช = 3 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งซึ่งมีลองจิจูด = $40° 30' 30''$ ตะวันตก ละติจูด $15° 30' 30''$ ใต้ จะตรงกับเวลาดาราคติอะไร

จากสูตร

เวลาดาราคติที่กรีนิช = เวลาดาราคติที่ตำบล 1 ± ลองจิจูดของ 1

ตำบล 1 มีค่าลองจิจูด = $40° 30' 30''$ ตะวันตก คิดเป็นชั่วโมง, นาทีและวินาทีได้ดังนี้

$$40° 30' 30'' = 2^{ช} 42^{น} 2^{ว}$$

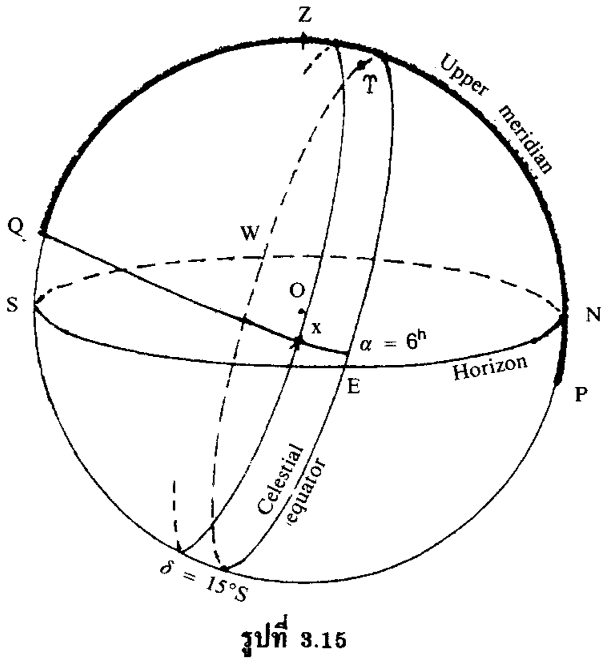
แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการบนจะได้

$$3^{ช} = \text{เวลาดาราคติที่ } 1 + 2^{ช} 42^{น} 2^{ว}$$

$$= 17^{น} 58^{ว}$$

∴ เวลาดาราคติที่ลองจิจูด $40° 30' 30''$ จะมีค่า = $17^{น} 58^{ว}$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.2 จากตัวอย่างที่ 3.1 ถ้าดาวดวงหนึ่งมีค่าไรท์แอสเซนชัน (α) = 6 ชั่วโมง เดคลิเนชัน (δ) = 15° ใต้ ดาวดวงนี้จะปรากฏที่ตำแหน่งใดบนท้องฟ้า



รูปที่ 3.15

จากตัวอย่างที่ 3.1 เวลาดาราคติ = 17น 58ว หมายความว่ามุมชั่วโมงของจุด T = 17น 58ว (ตำแหน่งของจุด T ดังรูปที่ 3.15)

จาก เวลาดาราคติ = มุมชั่วโมงของดาว X + ไรท์แอสเซนชันของดาว X

แทนค่าจะได้

$$17^{น}\ 58^{ว} = \text{มุมชั่วโมงของดาว X} + 6^{ช}$$

$$\text{มุมชั่วโมงของดาว X} = -5^{ช}\ 43^{น}\ 2^{ว}$$

$$\therefore \text{มุมชั่วโมงของดาว X} = 24 - 5^{ช}\ 43^{น}\ 2^{ว}$$

$$= 18^{ช}\ 17^{น}\ 58^{ว}$$

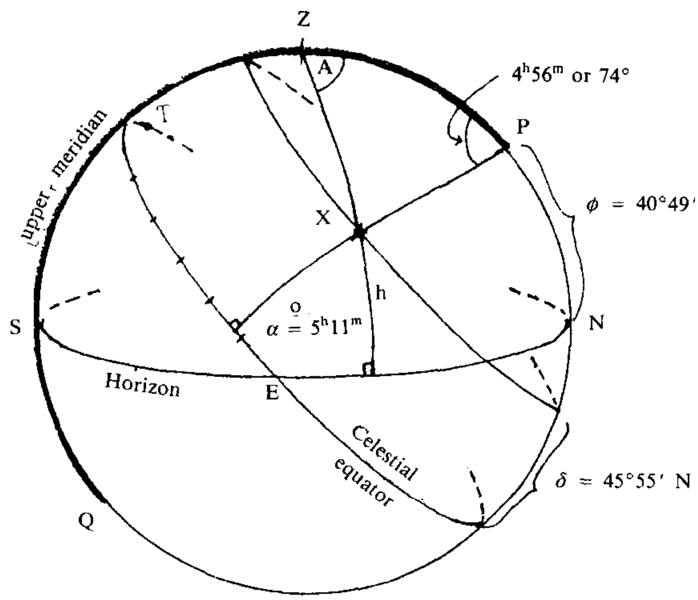
ตำแหน่งของดาวจะปรากฏบนท้องฟ้าดังรูปที่ 3.15 **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.3 ดาวคาเพลลา (ไรท์แอสเซนชัน = 5 ชั่วโมง 11 นาที, เดคลิเนชัน = 45° 55′ เหนือ) ขณะมีตำแหน่งการข้ามส่วนบนที่กรีนิช จงหาค่าอัลติจูดและแอซิมัทของดาวนี้ ในขณะเวลาเดียวกันนี้ที่หอดูดาวมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย, นิวยอร์ค (New York, Columbia University Observatory : ละติจูด 40° 49′ เหนือ ลองจิจูด 4 ชั่วโมง 56 นาที ตะวันตก)

∵ ดาวคาเพลลามีตำแหน่งการข้ามส่วนบนที่กรีนิช ดังนั้นมุมชั่วโมงของดาวคาเพลลาที่กรีนิช มีค่า = 0 ชั่วโมง

นั่นคือ เวลาดาราคติที่กรีนิช มีค่า = ค่าไรท์แอสเซนชันของดาวคาเพลลา

$$= 5^{ช}\ 11^{น}$$



รูปที่ 3.16

$\therefore$ เวลาดาราคติที่หอดูดาวมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย = เวลาดาราคติที่กรีนิช – ลองจิจูดที่หอดูดาวแห่งนี้ตั้งอยู่

$= 5^{ช} 11^{น} - 4^{ช} 56^{น}$

$= 15^{น}$

$\therefore$ มุมชั่วโมงของจุด ♈ = $15^{น}$ ตำแหน่งของจุด ♈ ดังรูปที่ 3.16

จากรูปที่ 3.16, X เป็นตำแหน่งของดาวคาเพลลา ปรากฏที่หอดูดาวมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สามเหลี่ยมทรงกลม XPZ, ZP = $90° - 40° 49' = 49° 11'$, XP = $90° - 45° 55' = 44°5'$, $Z\hat{P}X = 4^{ช}56^{น} = 74°$ จากสูตรหลัก A

$$\cos ZX = \cos ZP \cos PX + \sin ZP \sin PX \cos Z\hat{P}X$$

แทนค่าจะได้

$$\cos ZX = \cos 49°11' \cos 44°5' + \sin 49°11' \sin 44°5' \cos 74"$$

$$= 0.6536 \times 0.7183 + 0.7568 \times 0.6957 \times 0.2756$$

$$= 0.6146$$

$$ZX = 52° 5'$$

ค่าอัลติจูดของดาว $= 90° - ZX$

$= 90" - 52" 5'$

$= 37° 55'$ **ตอบ**

จากสูตรหลัก B

$$\frac{\sin X\hat{Z}P}{\sin PX} = \frac{\sin Z\hat{P}X}{\sin ZX}$$

แทนค่าจะได้

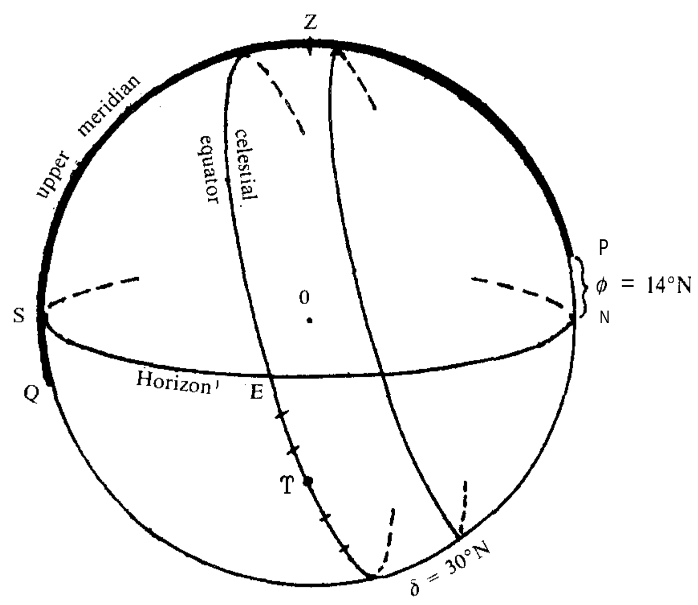
$$\sin X\hat{Z}P = \frac{\sin 74" \sin 44°5'}{\sin 52°5'}$$

$$= \frac{0.9613 \times 0.6957}{0.7889} = 0\ 8477$$

$$X\hat{Z}P = 57° 58'$$

ค่าแอซิมัทของดาว $= 57° 58'$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.4 ผู้สังเกตอยู่ที่กรุงเทพฯ (ละติจูด 14° เหนือ) สังเกตเห็นดาวดวงหนึ่ง (มีค่าไรท์-แอสเซนชัน 15 ชั่วโมง, เดคลิเนชัน 30° เหนือ) ปรากฏอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบน จงคำนวณหาเวลาเฉลี่ยท้องถิ่น (local mean time) ขณะที่ดาวดวงนี้ปรากฏอยู่บนเส้นเมริเดียนส่วนบน ในวันที่ 29 มิถุนายน ค.ศ. 1989



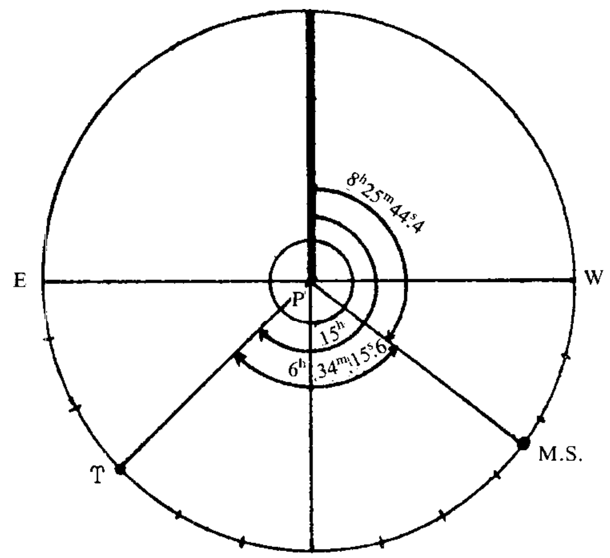
รูปที่ 3.17 (ก)

∵ ดาว X ปรากฏบนเส้นเมริเดียนส่วนบน ดังนั้นมุมชั่วโมงของดาวดวงนี้ = 0 ชั่วโมง

นั่นคือ เวลาดาราคติ = ไรท์แอสเซนชันของดาว X

= 15 ชั่วโมง

จะได้ว่า มุมชั่วโมงของจุด T = 15 ชั่วโมง ด้วย, ซึ่งจุด T จะปรากฏบนท้องฟ้าดังรูปที่ 3.17 (ก) หรือ 3.17 (ข)



รูปที่ 3.17 (ข)

ตั้งแต่ 21 มีนาคม ถึง 29 มิถุนายน รวมทั้งสิ้น = 100 วัน

ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มวันละ = $3^{น}\ 56^{ว}.556$

∴ ในวันที่ 29 มิถุนายน ดวงอาทิตย์เฉลี่ยจะมีค่าไรท์แอสเซนชัน = $3^{น}\ 56^{ว}.556 \times 100$

$= 6^{ช}\ 34^{น}\ 15^{ว}.6$

มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย $= 15^{ช} - 6^{ช}\ 34^{น}\ 15^{ว}.6$

$= 8^{ช}\ 25^{น}\ 44^{ว}.4$

จากสูตร

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย $+ 12^{ช}$

แทนค่าจะได้

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น $= 8^{ช}\ 25^{น}\ 44^{ว}.4 + 12^{ช}$

$= 20^{ช}\ 25^{น}\ 44^{ว}.4$

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น ประมาณ 20 นาฬิกา 25 นาที 44 วินาที **ตอบ**

หมายเหตุ ในการคำนวณหาค่าเวลาเฉลี่ยท้องถิ่น เราอาจจะหาได้จากรูปที่ 3.17 (ข)

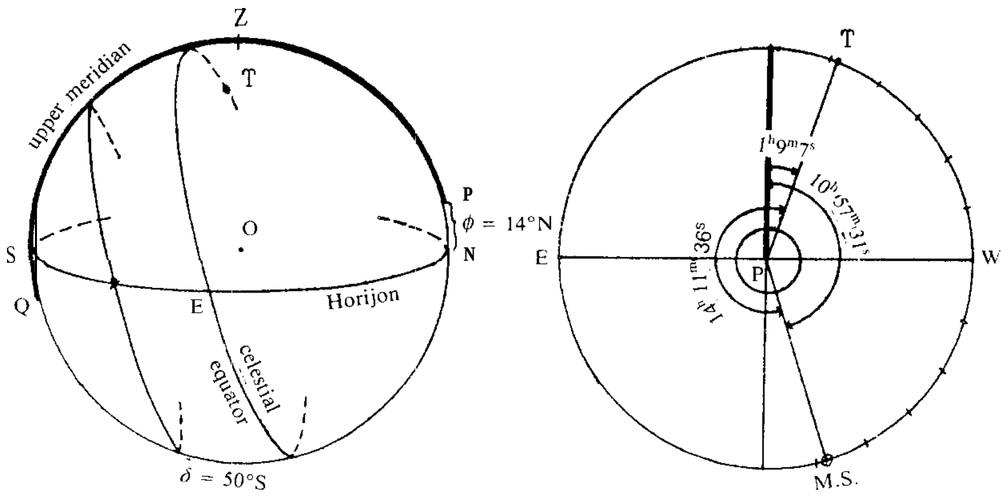
เมื่อเราหาค่าเวลาดาราคติได้ เราก็จะรู้ตำแหน่งของจุด T หลังจากนั้นหาค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ย ก็จะทำให้เรารู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เฉลี่ย จากตำแหน่งของดวงอาทิตย์เฉลี่ย ทำให้เราสามารถบอกเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นได้ (ดูรูปที่ 3.17 ประกอบ)

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่นที่คำนวณได้จากตัวอย่างข้างบนเป็นค่าประมาณเท่านั้น ถ้าต้องการเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นที่แม่นยำกว่านี้ (ดีกว่าเศษหนึ่งส่วนสิบของหนึ่งวินาที) เราสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนเวลาดาราคติไปเป็นเวลาเฉลี่ยโดยวิธีการตามหัวข้อที่ 3.7 ดังเช่นตัวอย่างข้างต้น เวลาดาราคติ = 15 ชั่วโมงในวันที่ 29 มิถุนายน ค.ศ. 1989 เราสามารถเปลี่ยนไปเป็นเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นได้ดังนี้

วิธีทำ

1. หาจำนวนวันตั้งแต่ 0.0 มกราคม ค.ศ. 1989 ถึงวันที่ 29 มิถุนายน ค.ศ. 1989	จำนวนวัน	=	180.0
2. คูณจำนวนวันด้วยตัวคงที่ A		×	0.065 709 8
		=	11.827 764
3. จากข้อ 2 ลบด้วยตัวคงที่ B ถ้าผลลัพธ์เป็น		−	17.357 573
ลบให้บวกด้วย 24 ค่าที่ได้คือ T_0		=	−5.529 809
		+	24.0
	T_0	=	18.470 191
4. เปลี่ยนเวลาดาราคติให้เป็นทศนิยมชั่วโมง	เวลาดาราคติ	=	15.0
5. จากข้อ 4 เอา T_0 มาลบออก ถ้าผลลัพธ์เป็นลบ		−	18.470 191
ให้บวกด้วย 24		+	24.0
		=	20.529 809
6. ผลลัพธ์ข้อ 5 คูณด้วยตัวคงที่ D ค่าที่ได้จะเป็น		×	0.997 270
เวลาท้องถิ่นเฉลี่ย		=	20.473 763
7. เปลี่ยนผลลัพธ์ให้เป็นชั่วโมง, นาที และวินาที	เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น	=	20 นาฬิกา 28 นาที 25.5 วินาที

ตัวอย่างที่ 3.5 จงคำนวณหาเวลาดาราคติและเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นขณะที่ดาวฤกษ์ดวงหนึ่ง (ไรท์-แอสเซนชัน 6 ชั่วโมง, เดคลิเนชัน 50 องศาใต้) กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า เมื่อสังเกตที่กรุงเทพฯ (ละติจูด = 14 องศาเหนือ) ในวันที่ 23 ตุลาคม ค.ศ. 1989



(ก) **รูปที่ 3.18** (ข)

จากสูตรการคำนวณหามุมชั่วโมงของดาวฤกษ์ขณะกำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า ในกรณีที่ดาวฤกษ์มีค่าเดคลิเนชันองศาใต้และตำบลที่สังเกตมีค่าละติจูดองศาเหนือ

$$\cos H = \tan \phi \tan \delta$$

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} \cos H &= \tan 14° \tan 50° \\ &= 0.2493 \times 1.1918 \\ &= 0.2971 \\ H &= 72^\circ\!.72 \end{aligned}$$

$\therefore$ มุมชั่วโมงของดาวฤกษ์ขณะกำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า $= 360° - 72^\circ\!.72$
$= 287^\circ\!.28$
$= 19^{\text{ช}}\ 9^{\text{น}}\ 7^{\text{ว}}$

จากสูตร

เวลาดาราคติ = มุมชั่วโมงของดาว X + ไรท์แอสเซนชันของดาว X

แทนค่าจะได้

เวลาดาราคติขณะที่ดาวฤกษ์กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า $= 19^{\text{ช}}9^{\text{น}}7^{\text{ว}} + 6^{\text{ช}}$
$= 25^{\text{ช}}9^{\text{น}}7^{\text{ว}}$
$= 1^{\text{ช}}9^{\text{น}}7^{\text{ว}}$ **ตอบ**

นั่นคือ มุมชั่วโมงของจุด T = $1^{\text{ช}}\ 9^{\text{น}}\ 7^{\text{ว}}$

ตั้งแต่วันที่ 21 มีนาคม ถึง 31 ตุลาคม รวมทั้งสิ้น = 216 วัน

ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มวันละ $= 3^{น}\,56^{ว}.556$

$\therefore$ ในวันที่ 23 ตุลาคม ดวงอาทิตย์เฉลี่ยจะมีค่าไรท์แอสเซนชัน $= 3^{น}\,56^{ว}.556 \times 216$

$= 14^{ช}\,11^{น}\,36^{ว}$

มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย $= 1^{ช}\,9^{น}\,7^{ว} - 14^{ช}\,11^{น}\,36^{ว}$

$= -13^{ช}\,2^{น}\,29^{ว}$

$= -13^{ช}\,2^{น}\,29^{ว} + 24^{ช}$

$= 10^{ช}\,57^{น}\,31^{ว}$

จากสูตร

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย $+ 12^{ช}$

$= 10^{ช}\,57^{น}\,31^{ว} + 12^{ช}$

$= 22^{ช}\,57^{น}\,31^{ว}$

$\therefore$ เวลาเฉลี่ยท้องถิ่นขณะที่ดาวฤกษ์ดวงนี้กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า $= 22^{ช}\,57^{น}\,31^{ว}$ หรือจะคำนวณหาเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นขณะที่ดาวฤกษ์ดวงนี้กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้าได้จากรูปที่ 3.18 (ข)

เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 3.4 ถ้าเราต้องการหาเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นขณะที่ดาวฤกษ์ดวงนี้กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้าที่แม่นยำ (ดีกว่าเศษหนึ่งส่วนสิบของหนึ่งวินาที) เราสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนเวลาดาราคติขณะที่ดาวฤกษ์ดวงนี้กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้าไปเป็นเวลาเฉลี่ยท้องถิ่นตามวิธีในหัวข้อที่ 3.7 จะได้ค่าเวลาเฉลี่ยท้องถิ่น ดังนี้

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่นขณะที่ดาวฤกษ์กำลังจะขึ้นจากเส้นขอบฟ้า = 23 นาฬิกา 3 นาที 33.9 วินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.6 ถ้าเวลาสากล (U.T.) ของวันหนึ่ง = 20 ชั่วโมง ผู้สังเกตอยู่ที่ลองจิจูด 15 องศาตะวันตก ละติจูด 45 องศาเหนือ ได้สังเกตเห็นดาวฤกษ์ (X) ดวงหนึ่งปรากฏว่ามีค่าอัลติจูด 30 องศา แอซิมัท 60 องศา

กำหนดให้ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ยในวันนั้นมีค่า 0 ชั่วโมง 21 นาที จงคำนวณหาค่ามุมชั่วโมง, ไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดาวฤกษ์ (X) ดวงนี้

จากสูตร

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น ± ค่าลองจิจูดของ 1

$\because$ ตำบลที่ผู้สังเกตอยู่ทางทิศตะวันตกของกรีนิช ดังนั้นสมการบนจะได้

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น + ค่าลองจิจูดของ 1

แทนค่า

$$20^{\text{ช}} = \text{เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น} + 1^{\text{ช}} \text{ (หรือ } 15^\circ)$$

$$\text{เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น} = 19^{\text{ช}}$$

จาก

$$\text{เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น} = \text{มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย (H.A.M.S.)} + 12^{\text{ช}}$$

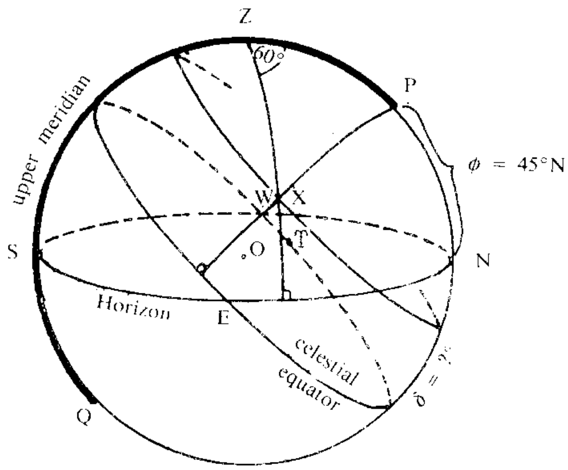
$$\therefore \quad \text{H.A.M.S.} = 19^{\text{ช}} - 12^{\text{ช}} = 7^{\text{ช}}$$

ดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีมุมชั่วโมง $= 7^{\text{ช}}$ โจทย์กำหนดไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ย $= 0^{\text{ช}}\,21^{\text{น}}$

$$\text{ดังนั้นเวลาดาราคติในขณะนั้น} = \text{R.A.M.S.} + \text{H.A.M.S.}$$

$$= 0^{\text{ช}}\,21^{\text{น}} + 7^{\text{ช}} = 7^{\text{ช}}\,21^{\text{น}}$$

มุมชั่วโมงของจุด ♈ $= 7^{\text{ช}}21^{\text{น}}$ ด้วย ตำแหน่งของจุด จะปรากฏบนท้องฟ้าดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19

ตำแหน่งของดาวฤกษ์ (X) จะปรากฏอยู่บนท้องฟ้าดังรูปที่ 3.19

สามเหลี่ยมทรงกลม **ZPX, ZP** $= 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$, **ZX** $=$ **90” -30”** $= 60^\circ$, $X\hat{Z}P = 60^\circ$,

จากสูตรหลัก **A**

$$\cos PX = \cos ZX \cdot \cos ZP + \sin zx \sin ZP \cos X\hat{Z}P$$

แทนค่าจะได้

$$\cos PX = \cos 60'' \cos 45^\circ + \sin 60'' \sin 45'' \cos 60''$$

$$= 0.5 \times 0.707 + 0.866 \times 0.707 \times 0.5$$

$= 0.660$

PX = 48” 44’

∴ ค่าเดคลิเนชันของดาวฤกษ์ (X) $= 90° - PX$

$= 90° - 48° 44'$

= 41" 16' **ตอบ**

จากสูตรหลัก B

$$\frac{\sin Z\hat{P}X}{\sin ZX} = \frac{\sin X\hat{Z}P}{\sin PX}$$

แทนค่าจะได้

$$\sin Z\hat{P}X = \frac{\sin 60” \sin 60”}{\sin 48° 44’}$$

$$= \frac{0.866 \times 0.866}{0.152}$$

$$= 0.997$$

$$Z\hat{P}X = 85° 47' = 5^{\text{ช}} 43^{\text{น}}$$

∴ มุมชั่วโมงของดาวฤกษ์ (X) $= 24^{\text{ช}} - 5^{\text{ช}} 43^{\text{น}}$

$= 18^{\text{ช}} 17^{\text{น}}$ **ตอบ**

จาก เวลาดาราคติ = ไรท์แอสเซนชันของ X + มุมชั่วโมงของ X

แทนค่าจะได้

$7^{\text{ช}} 21^{\text{น}}$ = ไรท์แอสเซนชันของ X + $18^{\text{ช}} 17^{\text{น}}$

ไรท์แอสเซนชันของ X = $-10^{\text{ช}} 56^{\text{น}}$

∴ ไรท์แอสเซนชันของดาวฤกษ์ (X) $= 24^{\text{ช}} - 10^{\text{ช}} 56^{\text{น}} = 13^{\text{ช}} 4^{\text{น}}$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.7 ณ ตำแหน่งหนึ่งซึ่งมีลองจิจูด = 40° 30′ 30″ ตะวันตก ละติจูด 15° 30′ 30″ ใต้ จงหาว่าตำแหน่งนี้อยู่ในแถบเวลาอะไรและเส้นเมริเดียนศูนย์กลางของแถบเวลาดังกล่าวมีลองจิจูดเท่าใด

แถบเวลาที่ 1 ชั่วโมง ประกอบด้วยเส้นเมริเดียนที่ 7°.5 W และ 7°.5 E

ตะวันตก ←						→ ตะวันออก
เส้นเมริเดียน	+52°.5	+37°.5	+22°.5	+7°.5	−7°.5	−22°.5
+60°	+45°	+30°	+15°	0°	−15°	−30°
แถบเวลาที่	+3	+2	+1	0	−1	−2

รูปที่ 3.20

จากโจทย์ตำแหน่งนี้มีลองจิจูด = 40° 30′ 30″ ตะวันตกและจากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่โจทย์ถามจะอยู่ในแถบเวลาที่ +3 ชั่วโมง เส้นเมริเดียนศูนย์กลางของแถบเวลาที่ +3 ชั่วโมง = 45° ตะวันตก **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.8 ขณะที่ดวงจันทร์มีตำแหน่งการข้ามส่วนบน ณ วิกตอเรีย (Victoria) ซึ่งมีลองจิจูด 8 ชั่วโมง 13 นาที 40 วินาทีตะวันตก ดวงจันทร์มีไรท์แอสเซนชัน 10 ชั่วโมง 38 นาที 55 วินาที และดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีไรท์แอสเซนชัน 4 ชั่วโมง 6 นาที 55 วินาที จงคำนวณหาเวลาสากล (U.T.) ขณะนั้น

∵ ดวงจันทร์มีตำแหน่งการข้ามที่วิกตอเรีย ∴ มุมชั่วโมงของดวงจันทร์มีค่า $0^{ช}$, ค่าไรท์แอสเซนชันของดวงจันทร์ = $10^{ช}\ 38^{น}\ 55^{ว}$

∴ เวลาดาราคติขณะนั้น = $10^{ช}\ 38^{น}\ 55^{ว}$

ดวงอาทิตย์สมมติมีไรท์แอสเซนชัน = $4^{ช}\ 6^{น}\ 55^{ว}$

∴ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย = เวลาดาราคติ – ไรท์แอสเซนชันของดวงอาทิตย์เฉลี่ย

= $10^{ช}\ 38^{น}\ 55^{ว} - 4^{ช}\ 6^{น}\ 55^{ว}$

= $6^{ช}\ 32^{น}$

จากสูตร

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย + $12^{ช}$

แทนค่าได้

เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น = $6^{ช}\ 32^{น} + 12^{ช}$

= $18^{ช}\ 32^{น}$

และจากสูตร

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น ± ลองจิจูดของ I

∵ วิกตอเรีย อยู่ที่ลองจิจูด $8^{ช}\ 13^{น}\ 40^{ว}$ ตะวันตกดังนั้นสูตรบน

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ยท้องถิ่น + ลองจิจูดของ I

แทนค่าได้

เวลาสากล = $18^{ช}\ 32^{น} + 8^{ช}\ 13^{น}\ 40^{ว}$

= $26^{ช}\ 45^{น}\ 40^{ว}$

= $2^{ช}\ 45^{น}\ 40^{ว}$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.9 จงหาเวลาดาราคติเฉลี่ย (mean sidereal time) **ที่กรีนิชในวันที่** 24 **กุมภาพันธ์** 1931, **ในขณะเวลาสุริยคติเฉลี่ย** (mean solar time) = $8^{ช}\ 47^{น}\ 38^{ว}.52$ กำหนดให้เวลาดาราคติ ณ กรีนิช

ขณะ $0^{ช}$ U.T. (Universal Time) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 1931 คือ $10^{ช}\ 11^{น}\ 37^{ว}.67$

เนื่องจากต้องการหาเวลาดาราคติเฉลี่ยที่สอดคล้องกับเวลาสุริยคติเฉลี่ย $= 8^{ช}\ 47^{น}\ 38^{ว}.52$ ดังนั้น เราจึงใช้จากตารางที่ 3.3 เปลี่ยนเวลาสุริยคติเฉลี่ยไปยังเวลาดาราคติเฉลี่ยได้ดังนี้

เวลาสุริยคติเฉลี่ย	**เวลาดาราคติเฉลี่ย**
$8^{ช}$	$= 8^{ช} + 8 \times 9^{ว}.8565$ หรือ $8^{ช} + 1^{น}\ 18^{ว}.25$
$47^{น}$	$= 47^{น} + 47 \times 0^{ว}.1643$ หรือ $47^{น} + 7^{ว}.72$
$38^{ว}$	$= 38^{น} + 38 \times 0^{ว}.0027$ หรือ $38^{ว} + 0^{ว}.10$
$0^{ว}.52$	$= 0^{ว}.52 + 0.52 \times 0^{ว}.0027$ หรือ $0^{ว}.52 + 0^{ว}.00$

ผลบวกทั้งหมด

$$8^{ช}\ 47^{น}\ 38^{ว}.52 \ = \ 8^{ช}\ 49^{น}\ 5^{ว}.19$$

นั่นคือ ในช่วงเวลา $8^{ช}\ 47^{น}\ 38^{ว}.52$ ทางสุริยคติเฉลี่ยย่อมสอดคล้องกับช่วงเวลา $8^{ช}\ 49^{น}\ 5^{ว}.19$ ทางดาราคติเฉลี่ย

แต่ที่เวลา $0^{ช}$ U.T., เวลาดาราคติเฉลี่ยคือ $10^{ช}\ 11^{น}\ 37^{ว}.67$

$\therefore$ เวลาดาราคติเฉลี่ยที่กรีนิชในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 1931 สอดคล้องกับเวลาสุริยคติเฉลี่ย $8^{ช}\ 47^{น}\ 38^{ว}.52$ คือ

$$8^{ช}\ 49^{น}\ 5^{ว}.19 + 10^{ช}\ 11^{น}\ 37^{ว}.67 \ = \ 19^{ช}\ 0^{น}\ 42^{ว}.86$$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.10 จงหาเวลาสุริยคติเฉลี่ย (mean solar time) ที่กรีนิชในวันที่ 5 เมษายน 1931 ในขณะเวลาดาราคติเฉลี่ย (mean sidereal time) $= 18^{ช}\ 31^{น}\ 52^{ว}.38$ กำหนดให้เวลาดาราคติ ณ กรีนิช ขณะ $0^{ช}$ U.T. ในวันที่ 5 เมษายน 1931 คือ $12^{ช}\ 49^{น}\ 19^{ว}.83$

ในวันที่ 5 เมษายน เวลาดาราคติเฉลี่ย $= 18^{ช}\ 31^{น}\ 52^{ว}.38$ ซึ่งในวันนั้น เวลาดาราคติขณะ $0^{ช}$ U.T. คือ $12^{ช}\ 49^{น}\ 19^{ว}.83$

ดังนั้นช่วงเวลาดาราคติเฉลี่ยสอดคล้องกับเวลาสุริยคติเฉลี่ยคือ $18^{ช}\ 31^{น}\ 52^{ว}.38 - 12^{ช}\ 49^{น}\ 19^{ว}.83 = 5^{ช}\ 42^{น}\ 32^{ว}.55$

จากตารางที่ 3.4 เปลี่ยนเวลาดาราคติเฉลี่ยไปเป็นเวลาสุริยคติเฉลี่ยได้ดังนี้

เวลาดาราคติเฉลี่ย	**เวลาสุริยคติเฉลี่ย**
$5^{ช}$	$= 5^{ช} - 5 \times 9^{ว}.8296 = 5^{ช} - 49^{ว}.15$
$42^{น}$	$= 42^{น} - 42 \times 0^{ว}.1638 = 42^{น} - 6^{ว}.88$
$32^{ว}$	$= 32^{ว} - 32 \times 0^{ว}.0027 = 32^{ว} - 0^{ว}.09$
$0^{ว}.55$	$= 0^{ว}.55 - 0^{ว}.55 \times 0^{ว}.0027 = 0^{ว}.55 - 0^{ว}.00$

ผลบวกทางด้านขวามือ $= 5^{ช} 42^{น} 32\overset{s}{.}55 - 56\overset{s}{.}12$

$= 5^{ช} 41^{น} 36\overset{s}{.}43$

$\therefore$ เวลาสุริยคติเฉลี่ยที่กรีนิชในวันที่ 5 เมษายน 1931 ซึ่งสอดคล้องกับเวลาดาราคติเฉลี่ย $18^{ช} 31^{น} 52\overset{s}{.}38$ คือ $5^{ช} 41^{น} 36\overset{s}{.}43$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.11 ประเทศไทยใช้เส้นเมริเดียนมาตรฐานที่ 105° ตะวันออกเป็นเส้นบอกเวลามาตรฐานทั่วทั้งประเทศไทย ถ้าผู้สังเกตอยู่ที่กรุงเทพฯ (ละติจูด 13° 45′ เหนือ, ลองจิจูด 100° 32′ ตะวันออก) สังเกตเห็นนาฬิกาบนข้อมือบอกเวลา 12.00 น. จงหาเวลาเฉลี่ยที่กรุงเทพฯ ในขณะนั้น

ค่าลองจิจูดที่แตกต่างกันระหว่างที่กรุงเทพฯและที่เส้นเมริเดียนมาตรฐาน $= 105° - 100° 32'$

$= 4° 28'$

เปลี่ยนเป็นนาที, วินาทีจะได้ = 17 นาที 52 วินาที

จากสูตร

เวลาเฉลี่ย (ที่ตำบลใด) = เวลามาตรฐาน ± ค่าลองจิจูดที่แตกต่างกัน

ในกรณีนี้กรุงเทพฯ อยู่ทางทิศตะวันตกของเส้นเมริเดียนมาตรฐาน ดังนั้น สูตรข้างบนจะได้ว่า

เวลาเฉลี่ย (ที่ตำบลใด) = เวลามาตรฐาน – ค่าลองจิจูดที่แตกต่างกัน

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการบนจะได้ว่า

เวลาเฉลี่ยที่กรุงเทพฯ = 12.00 น. – 17 นาที 52 วินาที

= 11 ชั่วโมง 42 นาที 8 วินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.12 ผู้สังเกตผู้หนึ่งอยู่ที่กรุงเทพฯ เขาสังเกตเห็นว่าเมื่อดวงอาทิตย์ปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนบน นาฬิกาบนข้อมือบอกเวลา 12 ชั่วโมง 7 นาที 52 วินาที ถ้าในวันนั้นสมการของเวลามีค่าเท่ากับ $+10^{น}$ จงหาค่าลองจิจูดของกรุงเทพฯ

เมื่อดวงอาทิตย์ปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนบน เวลาสุริยคติปรากฏ (AST) ขณะนั้นเท่ากับเที่ยงวันปรากฏ (12.00 น.)

จากสูตร

สมการของเวลา = เวลาสุริยคติปรากฏ – เวลาสุริยคติเฉลี่ย

แทนค่า

+10 นาที = 12.00 ชั่วโมง – เวลาสุริยคติเฉลี่ย (ที่กรุงเทพฯ)

$\therefore$ เวลาสุริยคติเฉลี่ย (ที่กรุงเทพฯ) = 11 ชั่วโมง 50 นาที

จากโจทย์เวลามาตรฐาน = 12 ชั่วโมง 7 นาที 52 วินาที

จากสูตร

$$\text{เวลาเฉลี่ย (ที่ตำบลใด ๆ)} = \text{เวลามาตรฐาน} \pm \text{ค่าลองจิจูดที่แตกต่างกัน}$$

แทนค่าจะได้

$$11^{ช} 50^{น} = 12^{ช} 7^{น} 52^{ว} - \text{ค่าลองจิจูดที่แตกต่าง}$$

$$\therefore \text{ ค่าลองจิจูดที่แตกต่าง} = 17^{น} 52^{ว}$$

$$= 4° 28'$$

$$\therefore \text{ ค่าลองจิจูดที่กรุงเทพฯ} = 105° - 4° 28'$$

$$= 100° 32'$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 3.13 ชายผู้หนึ่งนำไม้ยาว 10 เซนติเมตรปักลงบนพื้นราบในแนวดิ่ง เขาสังเกตเห็นเงาของไม้นี้สั้นที่สุด = 10 เซนติเมตร โดยมีทิศชี้ไปทางทิศเหนือ ถ้าวันนั้นดวงอาทิตย์มีค่า $\delta = -20°$, $\alpha = 15^{ช}$, $E = +10^{น}$ และชายผู้นี้อยู่ตำบลที่เส้นเมริเดียนมาตรฐานบอกเวลาผ่านพอดี และอยู่ทางซีกโลกตะวันออกจากกรีนิช และสมมติว่าบรรยากาศของโลกไม่มีผลต่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จงหา

ก. ค่าละติจูดของตำบลที่ชายผู้นี้อยู่ ถ้าชายผู้นี้อยู่ทางซีกโลกภาคเหนือ

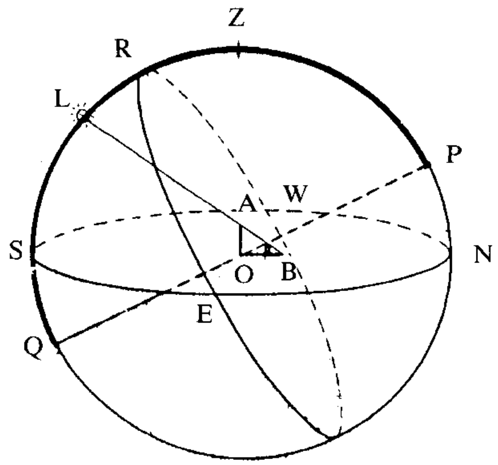
ข. เวลาเฉลี่ยขณะที่ดวงอาทิตย์ปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนบน

ค. ถ้าเวลาสากลขณะนั้นเท่ากับ 04.50 นาฬิกา จงหาค่าลองจิจูดของตำบลที่ชายผู้นี้อยู่

ง. มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ขณะกำลังจะตกลับหายจากเส้นขอบฟ้าในวันนี้

จ. ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏบนท้องฟ้าในวันนี้

ฉ. เวลาดาราคติขณะที่ดวงอาทิตย์กำลังจะตกลับหายจากเส้นขอบฟ้าในวันนี้



รูปที่ 3.21

การที่เงาไม้สั้นที่สุดแสดงว่าดวงอาทิตย์ปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนบน ดังนั้น เวลาสุริยคติปรากฏขณะนี้เท่ากับ 12.00 น.

จากรูปที่ 3.21 OA เป็นไม้ยาว 10 เซนติเมตร

OB เป็นเงาของไม้นี้ยาว 10 เซนติเมตร

$$\text{ค่าอัลติจูดของดวงอาทิตย์, h,} = \tan^{-1}\{\frac{OA}{OB}\}$$

$$= \tan^{-1}\{\frac{10}{10}\}$$

$$h\cdot = 45^\circ$$

$$SZ = SL + LR + RZ$$

$$SZ = h + \delta + \phi$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการจะได้ว่า

$$90^\circ = 45^\circ + 20^\circ + \phi^\circ$$

ก. $\phi = 25^\circ$ เหนือ **ตอบ**

ดวงอาทิตย์ปรากฏที่ตำแหน่งการข้ามส่วนบน เวลาสุริยคติปรากฏ = 12.00 น. จากสูตร

E = เวลาสุริยคติปรากฏ – เวลาสุริยคติเฉลี่ย

แทนค่า

$10^{น}$ = 12.00 น. – เวลาสุริยคติเฉลี่ย

ข. ∴ เวลาเฉลี่ย = 11.50 น. **ตอบ**

จากสูตร

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ย (l) ± ค่าลองจิจูด l

ในกรณีนี้ตำบลที่ผู้สังเกตอยู่ทางตะวันออกของกรีนิช ดังนั้น

เวลาสากล = เวลาเฉลี่ย (l) – ค่าลองจิจูด l

แทนค่า

04.50 น. = 11.50 น. – ค่าลองจิจูด l

ค่าลองจิจูด l = 7.00 ชั่วโมง

ค.

∴ ค่าลองจิจูดของตำบลนี้ = 105° ตะวันออก **ตอบ**

จากสูตรการหามุมชั่วโมงของเทห์ฟากฟ้าขณะที่กำลังจะขึ้นหรือกำลังจะตกลับหายจากเส้นขอบฟ้า เมื่อผู้สังเกตอยู่ที่ ϕ° เหนือ และวัตถุมีค่าเดคลิเนชัน δ° ใต้

$$\cos H = \tan\phi \tan\delta$$

แทนค่า

$$\cos H = \tan 25^\circ \tan 20^\circ$$
$$= 0.1697$$
$$H = 80^\circ\!.23$$
$$= 5^{h}\!.349$$

ง. มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ขณะกำลังจะตกลับหายจากเส้นขอบฟ้า = 5.349 ชั่วโมง

ตอบ

ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏบนท้องฟ้า $= 2H$

$= 2 \times 5^{h}\!.349$

จ. = 10 ชั่วโมง 41 นาที 50 วินาที **ตอบ**

เวลาดาราคติขณะที่ดวงอาทิตย์กำลังจะตกลับหายจากเส้นขอบฟ้า $= H + \alpha$

$= 5^{h}\!.349 + 15^{h}$

ฉ. $= 20^{h}\!.349$ **ตอบ**