เวลาและมาตรฐานการวัดเวลาสากล

น.อ. ไชยวุฒิ นาวิกาญจนะ
ผู้อำนวยการกองวิชาการเรือและเดินเรือ

เวลา (Time) สำหรับนักเดินเรือ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นมาก ในโรงเรียนนักเดินเรือทั่วไปต้องจัดให้มีการเรียนการสอนในหัวข้อเรื่องเวลาโดยเฉพาะ ทั้งนี้เพราะเห็นว่านักเดินเรือจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจระบบเวลา สามารถนำเวลามาใช้ประกอบการหาตำบลที่เรือทั้งทางภูมิศาสตร์ และทางการเดินเรือดาราศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

ลักษณะทางธรรมชาติของเวลา (The Nature of Time) นั้น มีลักษณะที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะทั้ง เวลาเชิงจิตวิสัย (Subjective time) และเวลาเชิงวัตถุวิสัย (Objective time) พอสรุปได้ดังนี้

- เวลาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และสมการทางฟิสิกส์
- เวลาเข้าไปเกี่ยวข้องกับระบบการวัดทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความยาว/ อุณหภูมิ/ ปริมาตร/ น้ำหนักและอื่นๆ
- มนุษย์สามารถรู้สึก หนัก ร้อน และเย็น แต่เวลาไม่สามารถเข้าใจและรับความรู้สึกได้
- เวลาเคลื่อนที่ไปทิศทางเดียว เมื่อเราคิดถึงเวลา เวลาเป็นธรรมชาติที่คิดถึงอดีต ปัจจุบัน และอนาคต แต่ไม่สามารถทำสิ่งใดในอดีต และอนาคตได้ยกเว้นปัจจุบัน

จากลักษณะทางธรรมชาติของเวลาในปัจจุบันสามารถให้คำจำกัดความของเวลาเชิงวัตถุวิสัยหรือพิจารณาทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้ “เวลา คือขนาดหรือปริมาตรทางฟิสิกส์ ที่สามารถสังเกต หรือตรวจวัดได้ด้วย นาฬิกาจักรกล นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์ หรือวิธีธรรมชาติอื่น ๆ“ ใน พจนานุกรมภาษาอังกฤษ ของ Webster’s New Collegiate Dictionary ให้คำจำกัดความของเวลาไว้ดังนี้ “Time : The period during which an action, process, ect. continues, measured or measurable duration ……./ A definite moment, hour, day, or year, as indicated or fixed by the clock or calendar.“ ซึ่งการตรวจวัดเวลานั้นมีหลักเกณฑ์ในการหาไว้ดังนี้

๑. เวลาขณะที่ต้องการ

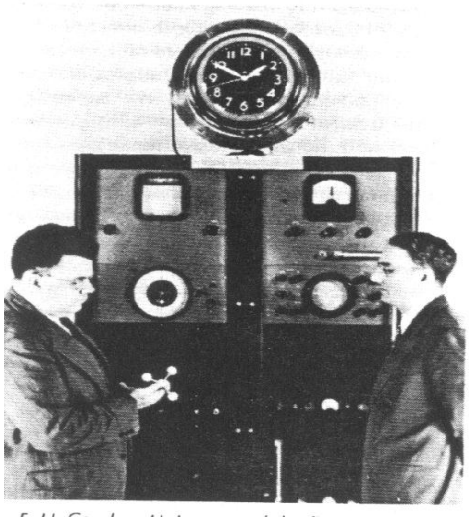
๒. หน่วยสำหรับการวัดเวลา

๓. ระบบการรักษาเวลา

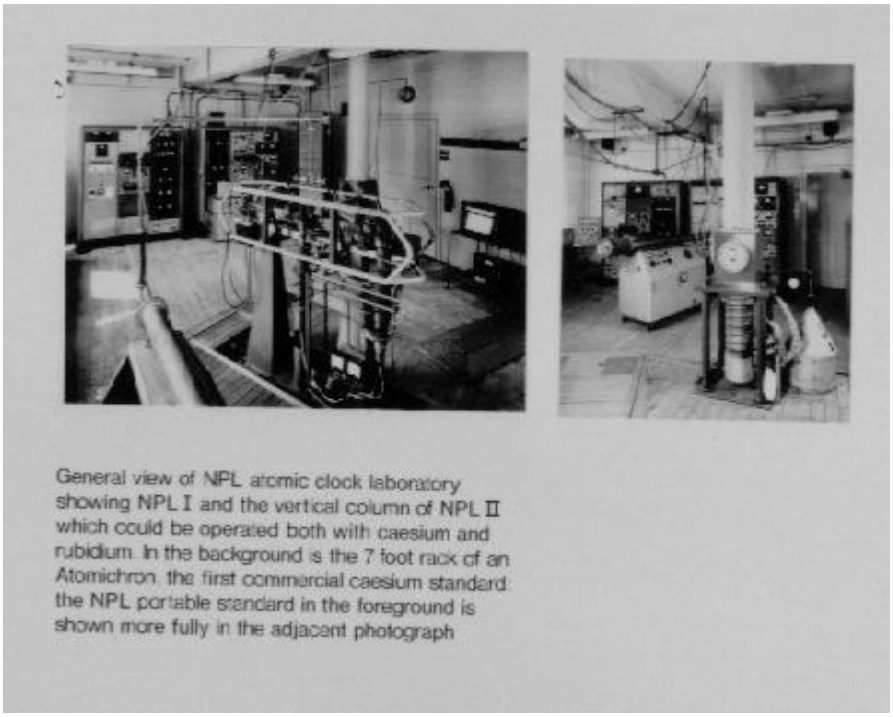
สำหรับนักเดินเรือแล้ว “เวลา” ขณะที่ต้องการสำคัญที่สุด นักเดินเรือจะต้องมีเวลาที่เที่ยงตรงและมีความถูกต้อง แต่เนื่องจากนักเดินเรืออยู่ในทะเลทำอย่างไรจึงจะสามารถหาเวลาที่เที่ยงตรงและถูกต้อง ทั้งเวลาสมมติตำบลที่ (Local mean time) ของนักเดินเรือ เวลาประจำภาค (Zone time) หรือเวลาสมมติที่กรีนิช (Greenwich mean time) ความต้องการของนักเดินเรือทั้งหมดนั้นความสำคัญขึ้นอยู่

กับระบบการรักษาเวลาของนักเดินเรือในเรือ ตลอดจนการรับคลื่นสัญญาณเวลาที่เที่ยงตรงและถูกต้องจากการกระจายสัญญาณเวลาของสถานีบริการสัญญาณเวลามาตรฐานต่าง ๆ ทั่วโลก หรือจากสัญญาณเวลาจากดาวเทียม ปัจจุบันสถานีส่งสัญญาณเหล่านี้รับสัญญาณเวลามาตรฐานมาจากสถาบันเวลามาตรฐานสากลของรัฐชายฝั่ง ซึ่งสถาบันฯ นี้รักษาเวลามาตรฐานด้วยนาฬิกาอะตอม หรือเครื่องผลิตความถี่ (Oscillator) มาตรฐานคุณภาพสูงจากธาตุ Quartz Rubidium Caesium หรือ Hydrogen เป็นอุปกรณ์มาตรฐานหลักในการรักษาเวลา

การใช้ความถี่มาตรฐานที่ผลิตได้จากธาตุสำหรับการรักษาเวลามาตรฐานเริ่มจากผลึก Quartz เป็นความถี่ที่ผลิตจากธาตุแรกที่ได้ใช้ในการรักษาเวลา Quartz ค้นพบครั้งแรก เมื่อ ค.ศ.๑๘๘๐ โดย P.Curie และได้รับรางวัล Nobel ปี ค.ศ.๑๙๐๓ ต่อมาปี ค.ศ.๑๙๐๗ Lee de Forest ผลิต triode หรือ electronic amplifier ขึ้นใช้งานนับเป็นการเริ่มต้นของการพัฒนาเทคโนโลยีสาขานี้ จากนั้นเป็นต้นมาเริ่มมีการนำความถี่มาตรฐานที่ผลิตได้จากผลึก Quartz มาใช้ทำอุปกรณ์ติดต่อสื่อสารและใช้ในห้องทดลอง ช่วงสงครามโลกครั้งที่ ๒ มีการนำอุปกรณ์ความถี่มาใช้อย่างกว้างขวาง และมีการทดลองและวิจัยเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างมากทั้งนี้เพื่อเป็นการสนับสนุนด้านการทหาร ในที่สุดมีการสร้างนาฬิกาอะตอมขึ้นเป็นเรือนแรก (The First atomic clock) โดย Dr. I.I Rabi ที่สถาบัน National Bureau of Standard - NBS ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อ ค.ศ.๑๙๓๙ และได้รับรางวัล Nobel ในปี ค.ศ.๑๙๔๔ นาฬิกาอะตอมเรือนแรกใช้หลักการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ได้จากธาตุแอมโมเนีย จากหลักการดังกล่าวต่อมาจึงมีการประดิษฐ์เครื่องผลิตความถี่มาตรฐานด้วยธาตุ Caesium 133 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องของความถี่สูงกว่าเป็นเครื่องแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ Dr. Essen และ Parry เมื่อ ค.ศ.๑๙๕๗ และนำมาใช้เป็นอุปกรณ์รักษาความถี่มาตรฐานที่สถาบัน National Physical Laboratory - NPL ประเทศอังกฤษเป็นต้นมา



นาฬิกาอะตอมเรือนแรกที่สถาบัน National Bureau of Standard - NBS ประเทศสหรัฐอเมริกา



เครื่องผลิตความถี่มาตรฐานด้วยธาตุ Caesium 133 เครื่องแรกอยู่ที่สถาบัน NPL

ความถี่ที่ผลิตได้จาก Caesium 133 นี้ใช้เป็นความถี่มาตรฐานหลักในการกำหนดหน่วยวินาที แทนหน่วยเดิม คือ หน่วย Ephemeris time - ET ได้จากการตรวจวัดเวลาทางดาราศาสตร์อย่างต่อเนื่องเชื่อถือได้ เป็นรูปแบบเวลาที่แน่นอนมีความละเอียดต้องใช้การตรวจทางดาราศาสตร์ในแต่ละปี ET กำหนดให้ ๑ วินาทีมีค่าเท่ากับความถี่ ๓๑,๕๕๖,๙๒๕.๙๗๔๗ รอบ ณ Tropical year ของปี ค.ศ. ๑๙๐๐ ค่าหน่วยวินาทีอันนี้ใช้เป็นมาตรฐานวินาที Ephemeris Time ตั้งแต่ปี ค.ศ.๑๙๕๖ - ๑๙๖๗ ต่อมาปี ค.ศ. ๑๙๖๗ ในการประชุมครั้งที่ ๑๓ ของคณะกรรมการมาตรวัดสากล (The Thirteenth Conference General des Poids et Mesures) เห็นว่าวินาทีจากหน่วย ET นั้นยุ่งยากใช้เวลาในการดำเนินการนาน สถาบันเวลาทั่วโลกต้องทำการตรวจวัดทางดาราศาสตร์ อีกประการหนึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีด้านเครื่องผลิตความถี่เจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ความนาน ๑ วินาทีใหม่ มีค่าเท่ากับการแตกตัวหรือการสั่นของอะตอมของธาตุ Caesium 133 คงที่ ที่ความถี่คงที่ ๙,๑๙๒,๖๓๑,๗๗๐ รอบ ในระดับพลังงานพื้นฐาน “The second is the duration of 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caessium 133 atom ” กำหนดให้สถาบันการรักษาเวลาและความถี่มาตรฐาน ต่าง ๆ ทั่วโลกใช้ความถี่มาตรฐานของธาตุ Caesium 133 เป็นความถี่มาตรฐานหลัก (The primary frequency standards) ตั้งแต่นั้นมา ความถี่ของธาตุนี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ๑ ถึง ๒ X ๑๐ $^{-๑๔}$ ตลอดอายุของธาตุ เป็นธาตุที่มีความถี่คงที่และความเชื่อถือได้ สำหรับความถี่จากธาตุอื่น ๆ สามารถใช้

ในการรักษาเวลาได้ แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของอายุการใช้งานของธาตุ และระดับความคลาดเคลื่อนของความถี่ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบ ปัจจุบันมีการคิดค้นและวิจัยอุปกรณ์ผลิตความถี่อื่น ๆ อีกมาก ทั้งนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงรวมทั้งการพัฒนาและปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลง มีความคงทน ใช้งานได้นานขึ้นและราคาถูก เช่นการพัฒนาความถี่จากธาตุ Rubidium ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง การพัฒนา Cryogenic hydrogen maser หรือการใช้ Laser Cooling ในการผลิตความถี่มาตรฐาน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีสิ่งสำคัญสำหรับการพิจารณา ในการเลือกอุปกรณ์ผลิตความถี่มาตรฐานก็คือ ความคงที่ของความถี่ (Frequency Stability) อัตราความคลาดเคลื่อนของธาตุที่ผลิตความถี่ ปกติตัวธาตุเองย่อมมีความเบี่ยงเบนของความถี่ที่ผลิตออกมา ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้เมื่อใช้การตรวจวัดเป็น เวลานาน ๆ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากชนิดของธาตุ อายุของธาตุ และสภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น คุณภาพ และความคงที่ของความถี่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของ atomic resonance และ signal to noise ratio ของการสังเกต อาจสามารถแสดงในรูปสมการ vanier and aaudoin ของธาตุใด ๆ สำหรับ Medium Term Frequency Stability แบบ Passive ได้ดังนี้

$$\sigma y(\tau) \approx \frac{1}{Q\left(S/N(\tau)\right)}$$

เมื่อ $\sigma y(\tau)$ คือ time – domain frequency stability

$S/N(\tau)$ คือ amplitude signal to noise ratio สำหรับช่วงเวลาการสังเกต

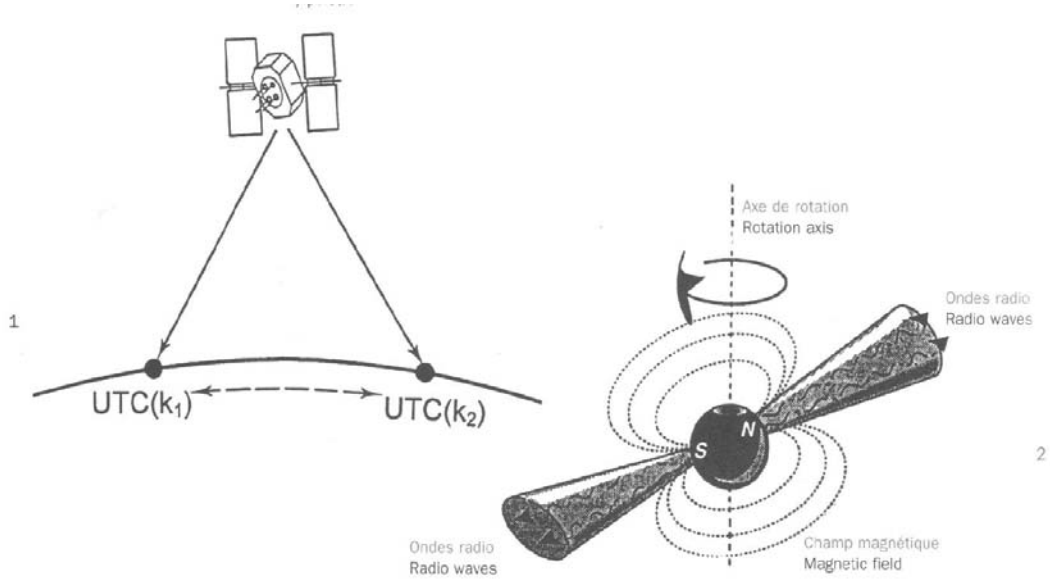
τ คือ ช่วงเวลาการสังเกตหรือการตรวจวัด

Q คือ atomic line quality factor

ดังนั้น สถาบันมาตรฐานเวลาต่าง ๆ ทั่วโลก จึงต้องพิจารณาจัดหาอุปกรณ์ผลิตความถี่ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สามารถใช้เป็น Primary frequency standard ได้ อีกทั้งต้องมีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนความถี่ที่ผลิตออกมาตลอดระยะเวลาอายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ

สำหรับระบบเวลามาตรฐานสากล หน่วยงานสากลที่รับผิดชอบในการกระจายข่าวสารด้านการรักษาเวลามาตรฐานโลกคือ Bureau international des poids et measures - BIPM ตั้งอยู่ที่ประเทศฝรั่งเศส ปัจจุบัน งานด้านวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม งานกล ระบบสารสนเทศ และระบบอื่น ๆ ทั่วโลกจำเป็นต้องใช้เวลาและความถี่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งจะต้องมีมาตรฐานสากลเดียวกัน ดังนั้น International Telecommunication Union - ITU และสถาบันวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ จึงได้กำหนดระบบเวลาสากลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้เป็นเวลาสากลที่เรียกว่า UTC (Coordinated Universal Time) ซึ่ง ความจริงก็คือเวลา GMT เดิมที่นักเดินเรือทั่วไปใช้กันอยู่นั้นเอง โดยมอบหมายให้ BIPM เป็น หน่วยควบคุมดูแลรักษาระบบเวลาและการบริการเวลา UTC ทั่วโลก (ตาม ITU Recommendation ที่ ITU – R TF.๖๘๕) ซึ่งสถาบันเวลาต่าง ๆ ทั่วโลกจะต้องพยายามรักษาเวลาระบบมาตรฐานของ UTC ของตนเอง หรือเรียกว่า UTC (K) นี้ ให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ๑ millisecond (๑ ใน ๑๐๐๐ วินาที) และต้องทำการเปรียบเทียบเวลากับสถาบันเวลาอื่น ๆ ด้วย สำหรับวิธีในการกระจายสัญญาณเวลาหรือ

การให้บริการเวลาของสถาบันเวลาต่าง ๆ นั้น อาจสามารถกระทำได้ เช่น การส่งสัญญาณเวลาทางคลื่นวิทยุ การส่งผ่านดาวเทียม หรือการบริการสัญญาณทางโทรศัพท์ ซึ่งอาจทำให้เวลาที่ออกไปยังผู้รับมีความผิด หรือความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เนื่องจากระยะทางระหว่างสถานีส่ง และผู้รับ เช่น ผลกระทบจากบรรยากาศชั้น ionosphere เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีสถาบันเวลาของชาติจะต้องสามารถกระจายสัญญาณเวลาให้ถึงผู้รับโดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ ITU กำหนดโดยไม่เกิน ๑๐๐ mellisecond



การส่งสัญญาณเวลาผ่านระบบดาวเทียมในการสอบเทียบเวลาและการแกว่งของโลก ITU ได้กำหนดโดยถือเป็นเกณฑ์ของความถี่สำหรับการกระจายเวลาและความถี่ดังนี้

ความถี่	20.0	±	0.05	KHz	2.5	±	0.005	KHz
ความถี่	5.0	±	0.005	KHz	10.0	±	0.005	KHz
ความถี่	15.0	±	0.01	KHz	20.0	±	0.01	KHz
และความถี่	25.0	±	0.10	KHz				

สำหรับการกระจายสัญญาณเวลาและความถี่มาตรฐานในอดีตจนถึงปัจจุบัน มีแบบที่ถือว่าเป็นมาตรฐานในการให้บริการสัญญาณเวลาและความถี่ คือ การส่งสัญญาณความถี่ย่าน LF ของสถานี NBS (The National Bureau of standards) ที่ Fr.Collins Colorado สหรัฐอเมริกา ส่ง WWVB (16.0 KHz) และ WWVL (20 KHz) หรือสถานี Rugby ของประเทศอังกฤษ GBR (16.0 KHz)

ปัจจุบันการให้บริการสัญญาณเวลาและความถี่มาตรฐานกระทำในย่านความถี่ต่าง ๆเท่าที่อุปกรณ์การติดต่อสื่อสารจะสามารถตอบสนองได้ มีทั้งการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF VHF HF LF หรือ VLF ตลอดจนผสมผสานไปกับระบบการหาตำบลที่เรือ เช่นระบบเดินเรือ LORAN – C OMEGA

DECCA นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่งความถี่ผ่านระบบดาวเทียม GPS INMARSAT GOES Transit และ GLONASS (ของรัสเซีย) ระบบโทรทัศน์ หรือ ระบบ multi purpose satellites (INSAT) และอื่น ๆ อีก ซึ่งการส่งในแต่ละระบบก็มีความคลาดเคลื่อนของความถี่และเวลาต่างกัน

สำหรับนักเดินเรือแล้วการตรวจสอบและเทียบเวลาจะใช้อุปกรณ์สื่อสารหรือเครื่องรับตามที่กล่าวมาที่มีอยู่ในเรือ ทำการดักรับสัญญาณเวลาที่ผสมมากับคลื่นวิทยุจากสถานีชายฝั่ง หรือจากดาวเทียม เพื่อนำเวลาที่ได้มาปรับแก้หรือสอบเทียบเวลาที่มีอยู่ในเรือให้มีความถูกต้องตามเวลาท้องถิ่น หรือตามเวลาที่ต้องการ โดยนักเดินเรือมีความเชื่อมั่นได้ว่าเวลาที่ได้รับมานั้นมีความถูกต้องเที่ยงตรง สามารถนำไปใช้ประกอบการหาตำบลที่ของตนเองได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

๑. James A.Barnes, **From Sundials to Atomic Clocks “Understanding Time and Frequency”** . National Bureau of Standards Monograph 155,1980.

๒. Paul Formen , **The Atomic Clock from Concept to Commercial Product** . Proceedings of The Ieee , Vol.73,1985.

๓. BIPM , **Le BIPM et la Convention du Me’tre** . Bureau international des poids et mesures, Juin 1995.

๔. ระวี ภาวิไล , **ดาราศาสตร์และอวกาศ** . ศึกษิตสยาม ,๒๕๒๕