



# วารสารโรงเรียนนายเรือ

๑๐. น.อ.วีระ แป้นสุขเย็น

## บทความ

เวลาและมาตรฐานการวัดเวลาสากล.....น.อ.ไชยวุฒิ นาวิกานุจนะ

Intact Stability.....น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ่ม

ระบบประกันคุณภาพการศึกษาโรงเรียนนายเรือ.....น.อ.หญิง ดร.ประจักษ์ สุนทรวิภาต

วันนี้คุณต้องการความเป็นส่วนตัวแค่ไหน.....น.ต.ดร.ดนัย ปฏิยุทธ์

โปรแกรมประยุกต์ Matlab.....น.ต.สิทธิรักษ์ พรหมณีย์

ฟ้าผ่าและการป้องกัน.....น.อ.เทอดศักดิ์ แท้เที่ยง

สถิติเพื่อการวิจัย (ตอนจบ).....น.อ.หญิง ยุติ เปรมวิชัย

ความรู้กฎหมายสิ่งแวดล้อม.....น.อ.สบสุข ลีละบุตร

เรื่องของปลาหวาสเปอร์ม.....จ.ต.หญิง กนกกร วีระประจักษ์

# วารสารโรงเรียนนายเรือ

วารสารโรงเรียนนายเรือ  
วัตถุประสงค์

โรงเรียนนายเรือเป็นเจ้าของ  
เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้และวิทยาการ เป็นแหล่งแลกเปลี่ยนความรู้  
ระหว่างนักวิชาการ และประชาสัมพันธ์โรงเรียนนายเรือ  
เป็นวารสารราย ๓ เดือน

วาระที่ออก

## ที่ปรึกษา

พล.ร.ท.ไพศาล นภสินธุวงศ์ พล.ร.ต.สมใจ วัฒนโยธิน พล.ร.ต.สมหมาย ปราการสมุทร พล.ร.ต.สมมาตร วิมุกตานนท์

## คณะผู้จัดทำ

พล.ร.ต.วิชัย	พันธุ์พฤกษ์	บรรณาธิการ
น.อ.หญิง สรรพ์ศรี	สุขสิงห์	ผู้ช่วยบรรณาธิการ
น.อ.ศ.ดร.มนต์ชัย	กาทอง	ผู้ช่วยบรรณาธิการ
น.อ.ดร.เศวตนันท์	ประยูรรัตน์	ผู้ช่วยบรรณาธิการ
น.อ.หญิง เกศริน	มาร์ตนะ	ผู้ช่วยบรรณาธิการ

## ประจำกองบรรณาธิการ

น.อ.วีระ	แป้นสุขเย็น	น.อ.หญิง ชนิตา	เดชขำ	น.อ.สิทธิชัย	ต่างใจ
น.อ.วุฒิชัย	สายเสถียร	น.ท.หญิง ผศ.ชนิษาฏ	รัตนพฤกษ์	น.ต.สุศักดิ์	ปานเกษม
น.ส.สุกัญญา	รัตนภรณ์พงศ์	จ.อ.หญิง ยุกา	สุขอุดม		

## ฝ่ายประสานงานการพิมพ์

น.อ.สำเร็จ มาเกิด  
ร.อ.เชิดชาย ครุฑา

## ฝ่ายแจกจ่าย

ร.อ.หญิง นวลเพ็ญ กลีบบัว

ผู้ใดประสงค์จะส่งบทความลงในวารสารฉบับนี้ ส่งได้ที่ผู้จัดทำตามที่อยู่ของสำนักงาน

สำนักงาน

โรงเรียนนายเรือ ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ ๑๐๒๗๐  
โทร. ๔๗๕-๓๘๘๗, ๔๗๕-๓๘๐๖, ๔๗๕-๓๘๖๒

ข้อคิดเห็นในบทความที่นำลงในวารสารโรงเรียนนายเรือเป็นของผู้เขียน มิใช่ข้อคิดเห็นหรือ  
นโยบายของหน่วยงานใด และมีได้ผูกพันต่อทางราชการ การกล่าวถึงคำสั่ง กฎ ระเบียบ เป็นเพียง  
ข่าวสารเบื้องต้นเพื่อประโยชน์แก่การค้นคว้าเท่านั้น

# สารบัญ

ISSN 1513-7627 วารสารโรงเรียนนายเรือ ปีที่ ๒ ฉบับที่ ๒ เมษายน - มิถุนายน ๒๕๕๕

เวลาและมาตรฐานการวัดเวลาสากล .....	น.อ.ไชยวุฒิ นาวิกัญจนะ	๑
Intact Stability .....	น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง	๗
ระบบประกันคุณภาพการศึกษาโรงเรียนนายเรือ .....	น.อ.หญิง ดร.ประอร สุนทรวิภาต	๒๒
วันนี้คุณต้องการความเป็นส่วนตัวแค่ไหน .....	น.ต.ดร.दनัย ปฏิยุทธ	๓๐
โปรแกรมประยุกต์ Matlab .....	น.ต.สิทธิรักษ์ พรมณี	๓๖
ฟ้าผ่าและการป้องกัน .....	น.อ.เทอดศักดิ์ แท้เที่ยง	๔๘
สถิติเพื่อการวิจัย (ตอนจบ) .....	น.อ.หญิง ยุวดี เปรมวิชัย	๕๓
ความรู้กฎหมายสิ่งแวดล้อม .....	น.อ.สบสุข ลีละบุตร	๖๓
เรื่องของปลาวาฬสเปิร์ม .....	ร.ต.หญิง กนกกร วีระประจักษ์	๖๙

จัดพิมพ์โดย ... กองเตรียมช่วยการศึกษา ฝ่ายบริการ โรงเรียนนายเรือ โรงเรียนนายเรือ เจ้าของ  
พลเรือตรี วิชัย พันธุ์พุกาษ์ ผู้บัญชาการ นาวาเอก สำเร็จ มาเกิด ผู้พิมพ์

# เวลาและมาตรฐานการวัดเวลาสากล

อ.อ. ไชยวุฒิ นววิภาญจนะ  
ผู้อำนวยการกองวิชาการเรือและเดินเรือ

เวลา (Time) สำหรับนักเดินเรือ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นมาก ในโรงเรียนนักเดินเรือทั่วไปต้องจัดให้มีการเรียนการสอนในหัวข้อเรื่องเวลาโดยเฉพาะ ทั้งนี้เพราะเห็นว่านักเดินเรือจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจระบบเวลา สามารถนำเวลามาใช้ประกอบการหาตำแหน่งที่เรือทั้งทางภูมิศาสตร์ และทางการเดินเรือดาราศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

ลักษณะทางธรรมชาติของเวลา (The Nature of Time) นั้น มีลักษณะที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะ ทั้ง 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

จากลักษณะทางธรรมชาติของเวลาในปัจจุบันสามารถให้คำจำกัดความของเวลาเชิงวัตถุวิสัย หรือพิจารณาทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้ “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

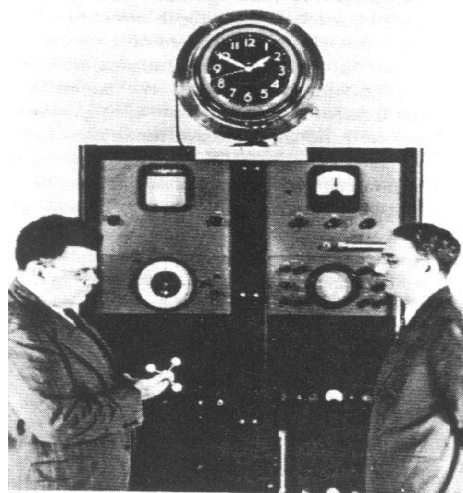
๒. หน่วยสำหรับการวัดเวลา

๓. ระบบการรักษาเวลา

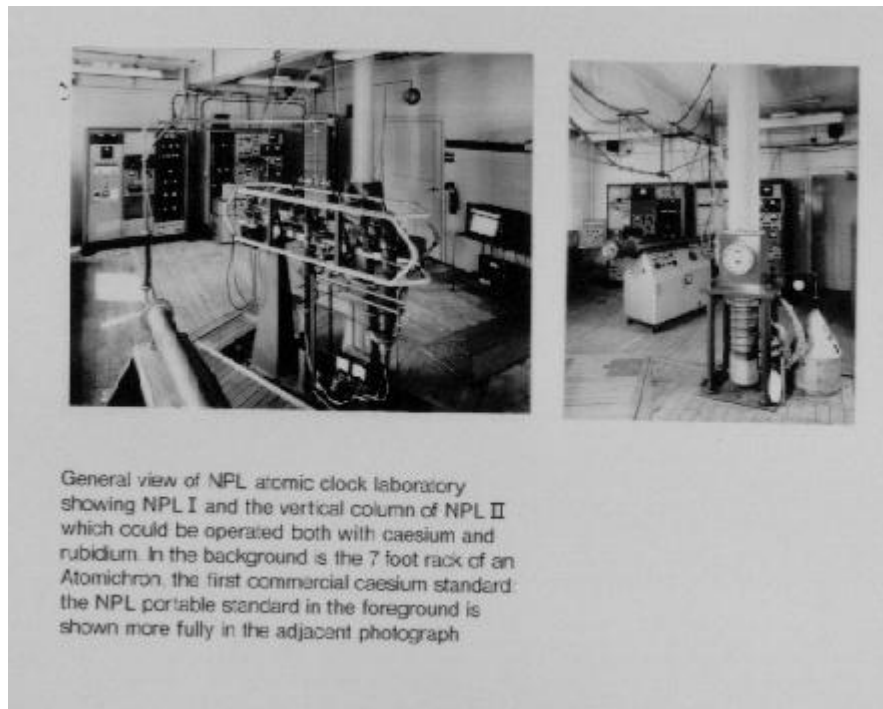
สำหรับนักเดินเรือแล้ว “เวลา” ขณะที่ต้องการสำคัญที่สุด นักเดินเรือจะต้องมีเวลาที่เที่ยงตรง และมีความถูกต้อง แต่เนื่องจากนักเดินเรืออยู่ในทะเลทำอย่างไรจึงจะสามารถหาเวลาที่เที่ยงตรงและถูกต้อง ทั้งเวลาสมมติตำบลที่ (Local mean time) ของนักเดินเรือ เวลาประจำภาค (Zone time) หรือเวลาสมมติที่กรีนิช (Greenwich mean time) ความต้องการของนักเดินเรือทั้งหมดนั้นความสำคัญขึ้นอยู่กับ

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 จากนั้นเป็นต้นมา เริ่มมีการนำความถี่มาตรฐานที่ผลิตได้จากผลึก 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 ประเทศอังกฤษ เป็นต้นมา



นาฬิกาอะตอมเรือนแรกที่สถาบัน National Bureau of Standard - NBS ประเทศสหรัฐอเมริกา



เครื่องผลิตความถี่มาตรฐานด้วยธาตุ Caesium 133 เครื่องแรกอยู่ที่สถาบัน NPL

ความถี่ที่ผลิตได้จาก Caesium 133 นี้ใช้เป็นความถี่มาตรฐานหลักในการกำหนดหน่วยวินาที แทนหน่วยเดิม คือ หน่วย Ephemeris time - ET ได้จากการตรวจวัดเวลาทางดาราศาสตร์อย่างต่อเนื่อง เชื่อกันได้ เป็นรูปแบบเวลาที่แน่นอนมีความละเอียดต้องใช้การตรวจทางดาราศาสตร์ในแต่ละปี ET กำหนดให้ ๑ วินาทีมีค่าเท่ากับความถี่  $31,556,925.9747$  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 อีกประการหนึ่งปัจจุบัน เทคโนโลยีด้านเครื่องผลิตความถี่เจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ความนาน ๑ วินาทีใหม่ มีค่าเท่ากับการแตกตัวหรือการสั่นของอะตอมของธาตุ Caesium 133 คงที่ ที่ความถี่คงที่  $9,192,631,770$  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 caesium 133 atom" กำหนดให้สถาบันการรักษาเวลาและความถี่มาตรฐาน ต่าง ๆ ทั่วโลกใช้ความถี่มาตรฐานของธาตุ Caesium 133 เป็นความถี่มาตรฐานหลัก (The primary frequency standards) ตั้งแต่นั้นมา ความถี่ของธาตุนี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ๑ ถึง  $2 \times 10^{-14}$  ตลอดอายุของธาตุ เป็นธาตุที่มีความถี่คงที่และความเชื่อถือได้ สำหรับความถี่จากธาตุอื่น ๆ สามารถใช้

ในการรักษาเวลาได้ แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของอายุการใช้งานของธาตุ และระดับความคลาดเคลื่อนของความถี่ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบ ปัจจุบันมีการคิดค้นและวิจัยอุปกรณ์ผลิตความถี่อื่น ๆ อีกมาก ทั้งนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงรวมทั้งการพัฒนาและปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลง มีความคงทน ใช้งานได้นานขึ้นและราคาถูกลง เช่นการพัฒนาความถี่จากธาตุ Rubidium ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง การพัฒนา Cryogenic hydrogen maser หรือการใช้ Laser Cooling ในการผลิตความถี่มาตรฐาน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีสิ่งสำคัญสำหรับการพิจารณา ในการเลือกอุปกรณ์ผลิตความถี่มาตรฐาน ก็คือ 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 audoin ของธาตุใด ๆ สำหรับ Medium Term Frequency Stability แบบ Passive ได้ดังนี้

$$\sigma_y(\tau) \approx \frac{1}{Q(S/N(\tau))}$$

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

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

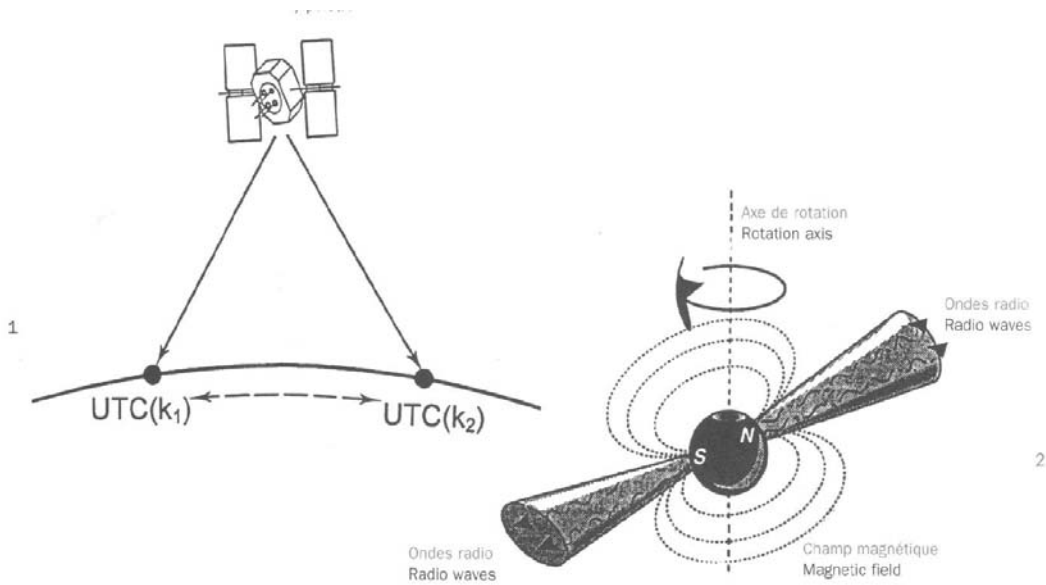
$\tau$  คือ ช่วงเวลาการสังเกตหรือการตรวจวัด

$Q$  คือ atomic line quality factor

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

สำหรับระบบเวลามาตรฐานสากล หน่วยงานสากลที่รับผิดชอบในการกระจายข่าวสารด้านการรักษาเวลามาตรฐานโลกคือ Bureau international des poids et mesures - 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 เดิมที่นักเดินเรือทั่วไปใช้กันอยู่นั่นเอง โดยมอบหมายให้ BIPM เป็น หน่วยควบคุมดูแลรักษาระบบเวลาและบริการเวลา 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 millisecond



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)

ปัจจุบันการให้บริการสัญญาณเวลาและความถี่มาตรฐานกระทำในย่านความถี่ต่างๆเท่าที่อุปกรณ์การติดต่อสื่อสารจะสามารถตอบสนองได้ มีทั้งการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF VHF HF LF หรือ VLF ตลอดจนผสมผสานไปกับระบบการหาตำแหน่งที่เร็ว 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 ทำการดักจับสัญญาณเวลาที่ผสมมากับคลื่นวิทยุจากสถานีชายฝั่ง หรือจากดาวเทียม เพื่อนำเวลาที่ได้อาปรับแก้หรือสอบเทียบเวลาที่มีอยู่ในเรือให้มีความถูกต้องตามเวลาที่ท้องถิ่น หรือตามเวลาที่ต้องการ โดยนักเดินเรือมีความเชื่อมั่นได้ว่าเวลาที่ได้รับมานั้นมีความถูกต้องเที่ยงตรง สามารถนำไปใช้ประกอบการหาตำแหน่งของตนเองได้เป็นอย่างดี

---

---

## 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** . ศักดิ์สยาม , ๒๕๒๕

# Intact Stability

น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา

ก่อนอื่นใคร่ขอเกริ่นนำก่อนว่า ความตั้งใจในเบื้องต้นของผู้เขียนนั้นอยากจะนำเสนอเรื่องราวเกี่ยวกับเกณฑ์ในการพิจารณาการทรงตัวเรือ แต่เกรงว่านักเรียนนายเรือและผู้อ่านที่สนใจหลายท่านอาจไม่ค่อยคุ้นเคยกับเรื่องของการทรงตัวเรือดี ดังนั้นจึงขอใช้โอกาสนี้เสนอเรื่องต่าง ๆ ที่ควรทราบเกี่ยวกับการทรงตัวของเรือ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับเกณฑ์พิจารณาการทรงตัวที่ผู้เขียนจะนำมาเสนอในโอกาสต่อไป

ที่ผ่านมาผู้เกี่ยวข้องกับการใช้งานเรือมักพูดเสมอว่า เรือควรจะมีการทรงตัวที่ดีหรือผู้ที่รู้ลึกสักหน่อยอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า เรือต้องมีระยะ GM เป็นบวก หรือกล่าวกันว่า จุด M ต้องอยู่สูงกว่าจุด G สิ่งนี้เกี่ยวข้องกันที่ว่า การทรงตัวของเรืออย่างไร จะใช้อะไรเป็นตัววัด คำถามเหล่านี้เป็นประเด็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

Intact Stability คือ สถานะการทรงตัวสถิตย์ของเรือในน้ำนิ่ง (Static Condition in Clam Water) ที่ถือว่าเรือลอยทรงตัวได้อย่างปลอดภัยสมบูรณ์ดี ที่กล่าวเช่นนั้นเพราะต่อไปหากเรือทะเลมีน้ำเข้ามาในเรือบางส่วนหรืออาจสูญเสียแรงลอยตัวไปจากการเกยตื้นหรือขณะกำลังถูกนำเข้าอู่แห้งหรือด้วยสาเหตุใดก็ตามที่ทำให้แรงลอยตัวของเรือโดยรวมลดลง จะถือว่าเรือเริ่มทรงตัวไม่ปลอดภัย โดยจะเรียกการทรงตัวภายใต้ สถานการณ์แรงลอยตัวที่ไม่สมบูรณ์ดังเดิมว่าเป็น “Damage Stability”

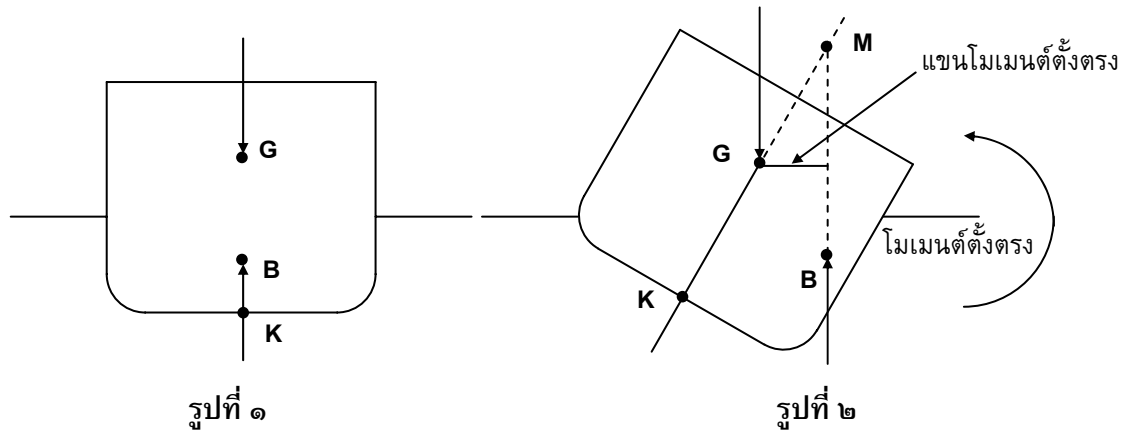
## พิจารณาการทรงตัวเรือจากอะไร ?

สถานะการทรงตัวในแต่ละขณะของเรือพิจารณาได้จากชนิดและขนาดของโมเมนต์แรงคู่ควบที่เป็นแรงระหว่างแรงลอยตัว (ทิศทางขึ้นข้างบน) กับแรงเนื่องจากน้ำหนักเรือ (ทิศทางกระทำลงล่าง) หรือที่เรียกว่าเป็น “โมเมนต์ตั้งตรง” (Righting Moment) ระยะระหว่างแรงลอยตัวกับแรงเนื่องจากน้ำหนัก คือ แขนของโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm) ขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงและความยาวของแขนโมเมนต์จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการแบ่งประเภทสถานะการการทรงตัวของเรือต่อไป ดังนั้นตำแหน่งการกระทำของแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนักเรือจึงมีผลต่อความสามารถในการทรงตัวของเรือในแต่ละขณะ

### ๑. นิยามที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาการทรงตัว

๑.๑ โมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment ; R.M.) ในขณะที่เรือลอยตั้งตรงแรงลัพธ์ของ

แรงลอยตัวที่พุ่งเรือจะกระทำในทิศพุ่งขึ้นผ่านจุดศูนย์กลางการลอย (Center of Buoyancy จุด B) และอยู่ในแนวตั้งเดียวกับแรงเนื่องจากน้ำหนักของเรือซึ่งกระทำผ่านจุดศูนย์กลางถ่วงเรือ G (จุด B และ G อยู่ในแนวเดียวกัน) (ดูรูปที่ ๑ ประกอบ)



เมื่อเรือเอียง (สมมุติว่าไม่มีน้ำหนักใดถูกเคลื่อนย้าย) แรงเนื่องจากน้ำหนักเรือจะยังคงกระทำที่จุด G เช่นเดิม ในขณะที่รูปร่างปริมาตรระวางขับน้ำของเรือย่อมเปลี่ยนไปตามการเอียง ทำให้จุดศูนย์กลางการลอย (B) เคลื่อนที่ไปยังด้านที่เรือเอียง เมื่อเป็นเช่นนี้จุด B และ G จึงไม่อยู่ในแนวเดียวกันอีกต่อไป เกิดโมเมนต์แรงคู่ควมระหว่างแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนักดังกล่าวกระทำกับเรือ (ดูรูปที่ ๒) เห็นได้ว่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีทิศทางต้านการเอียงของเรือหรือกล่าวได้ว่าเป็นโมเมนต์ที่พยายามทำให้เรือกลับไปลอยตั้งตรงดังเดิม ธรรมชาติการลอยเช่นนี้เกิดขึ้นกับเรือหรือวัตถุลอยน้ำใด ๆ เสมอ คือเมื่อเอียงไปย่อมเกิดโมเมนต์ต้านการเอียงขึ้นทันที กล่าวในทางกลับกันคือย่อมเกิดโมเมนต์ที่พยายามดึงเรือหรือวัตถุนั้นให้กลับไปลอยตั้งตรงดังเดิมอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงจึงเป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายความสามารถของการทรงตัวในแต่ละขณะการเอียงของเรือได้เป็นอย่างดี

**๑.๒ โมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment; H.M.)** การลอยและการเอียงของวัตถุใด ๆ จะไม่เป็นดังที่อธิบายในหัวข้อที่ ๑.๑ เสมอ ตัวอย่างเช่น หากตำแหน่งของจุด G ในเรือลำเดียวกันกับในรูปที่ ๒ เลื่อนไปอยู่ทางขวามือของจุด B (ดูรูปที่ ๓) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศไปทางเดียวกับการเอียงของเรือทันที เท่ากับเป็นการเสริมการเอียงให้เรือเอียงต่อไปเรื่อย ๆ จนอาจพลิกคว่ำได้ในที่สุด โมเมนต์ที่ทำให้เรือเอียงต่อไปอีกนี้เรียกว่าเป็น "โมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment; H.M.)" สามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของตำแหน่งจุด G และจุด B ในเบื้องต้นขอให้จุดสังเกตคร่าว ๆ โดยรวมว่า ขณะที่เรือเอียงหากจุดศูนย์กลางถ่วงเรือ (G) สามารถเลื่อนไปทิศทางเดียวกับการเอียงของเรือได้โอกาสที่จะเกิดโมเมนต์คว่ำเรือย่อมมีสูง สาเหตุโดยตรงที่ทำให้จุด G เลื่อนไปก็คือน้ำหนักในเรือเคลื่อนย้ายไปมาได้ในขณะที่เรือเอียง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมของเรือจึงเลื่อนไป แต่ถึงแม้ไม่มีน้ำหนักในเรือเคลื่อนย้ายก็อาจเกิดโมเมนต์คว่ำเรือได้เช่นกันถ้าตำแหน่งจุด G ในขณะนั้นของเรืออยู่สูงมาก ๆ ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วรูปร่างของปริมาตรส่วนใต้น้ำเรือจะเป็นตัวจำกัดให้จุด B เคลื่อนที่ไปได้ไม่มากนัก ดังนั้น

ถ้าจุด G อยู่สูงมากจะทำให้แนวของจุด G เมื่อเรือเอียงไปอยู่เลยแนวของจุด B ออกไป เกิดเป็นโมเมนต์คว่ำเรือในที่สุด นี่เป็นสาเหตุสำคัญที่อธิบายว่าทำไมถึงไม่ควรจัดวางน้ำหนักไว้บริเวณที่สูงบนเรือ อีกทั้งจะต้องผูกมัดสิ่งของอย่าให้เคลื่อนที่ไปมาได้ เพราะอาจทำให้จุดศูนย์ถ่วงรวมของเรืออยู่สูงมากหรือเคลื่อนที่ไปตามการเอียงของเรือเกิดโมเมนต์คว่ำเรือได้ง่ายนั่นเอง

ประสบการณ์สำคัญของชาวเรือที่มีหลักฐานสมบูรณ์ และบทเรียนแก่นาวาสถาปนิก คือ การพลิกคว่ำของเรือ VASA ในศตวรรษที่ ๑๗ เมื่อออกจากท่าได้ไม่นาน ทั้งนี้เนื่องจากจุด G ของเรืออยู่สูงมากทำให้ระยะ GM ของเรือเหลือน้อย ลักษณะนี้ถึงแม้เรือ VASA จะมีการทรงตัวแบบ Stable Equilibrium แต่ถ้าเอียงไปยอมเกิดโมเมนต์ตั้งตรงน้อยและยังเป็นสถานการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมน้ำหนักในเรือได้ด้วยแล้ว เรืออาจเปลี่ยนการทรงตัวไปเป็นแบบ Unstable Equilibrium ได้ เช่นเดียวกับเรือ VASA ของกองทัพเรือสวีเดน ที่เจตนาอยากให้มีอำนาจการยิงมาก จึงสร้างตาดฟ้าปืนขนาดใหญ่ถึง ๒ ชั้นไว้ในที่สูง เป็นเหตุให้จุด G ของเรืออยู่สูงมาก อีกทั้งในการออกจากท่าครั้งแรกและครั้งสุดท้ายนั้น มิได้ระวังปัญหาเรื่องน้ำที่อาจเข้ามาในเรือจึงเปิดช่องบ่อมปืนไว้ ดังนั้น เมื่อเรือเอียงจนกราบเรือแต่น้ำทำให้น้ำเข้ามาในเรือได้ น้ำหนักของน้ำที่เข้ามา ส่วนหนึ่งดึงจุด G ของเรือให้สูงขึ้นเลยจุด M ขึ้นไป และอีกส่วนหนึ่งทำให้เรือหนักขึ้น เรือ VASA จึงเปลี่ยนการทรงตัวไปเป็นแบบ Unstable Equilibrium และคว่ำลงทันที ปัจจุบันซากเรือ VASA พร้อมประวัติดูกจัดเป็นนิทรรศการไว้ที่พิพิธภัณฑ์แห่งชาติสวีเดน เพื่อเป็นความรู้และอุทาหรณ์แก่ชาวเรือรุ่นหลัง ผู้สนใจสามารถดูได้ที่ [www.vasamuseet.se/skeppet/darfor/why.html](http://www.vasamuseet.se/skeppet/darfor/why.html) ซึ่งให้รายละเอียดการสอบสวนความเสียหายที่เกิดขึ้นไว้ด้วย

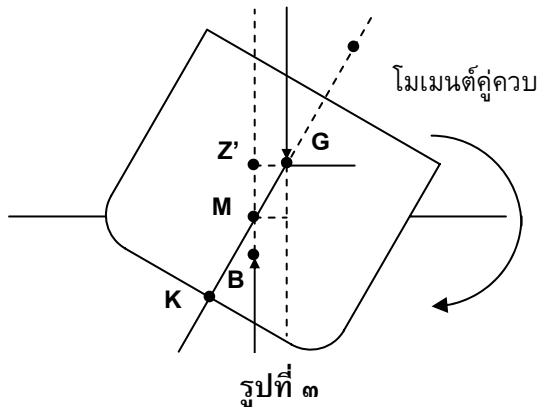
๑.๓ **แขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Arm; R.A.)** แขนของโมเมนต์แรงคู่ควบในรูปที่ ๒ เรียกว่าเป็น “แขนโมเมนต์ตั้งตรง” นิยมกำหนดให้เป็นระยะ GZ ดังนั้นขนาดของโมเมนต์ตั้งตรงในแต่ละขณะ การเอียงคำนวณได้โดยการนำขนาดแขนโมเมนต์คูณเข้ากับน้ำหนักเรือหรือแรงลอยตัวขณะนั้น ดังนี้

$$\text{โมเมนต์ตั้งตรง} = \text{แขนโมเมนต์ตั้งตรง} \times \text{น้ำหนักเรือ} \quad (๑)$$

$$R.M. = (R.A. \times \Delta)$$

โมเมนต์ตั้งตรงเป็นตัวแปรที่สามารถอธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือในแต่ละขณะได้เป็นอย่างดี ถ้าขณะนั้นเรือเกิดโมเมนต์ตั้งตรงมากก็ย่อมสามารถกลับมาตั้งตรงได้ง่าย โมเมนต์ตั้งตรงจึงถูกนำไปพล็อตกับค่ามุมเอียงเป็นเส้นโค้งแสดงสมรรถนะของเรือที่เรียกว่า “เส้นโค้งการทรงตัวเรือ (Stability Curve)” ถ้าน้ำหนักเรือไม่เปลี่ยนแปลงอาจใช้ขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรงเป็นตัวอธิบายความสามารถในการทรงตัวในแต่ละมุมเอียงของเรือที่ระวางขับน้ำขณะนั้นได้ ลักษณะเช่นนี้ทำให้สามารถพล็อตเส้นโค้งการทรงตัวที่แสดงความสามารถในการทรงตัวของเรือที่หลายขนาดระวางขับน้ำได้ในเวลาเดียวกัน เส้นโค้งดังกล่าวเรียกว่าเป็น “เส้นโค้งรวมการทรงตัว (Cross Curve of Stability)” ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อเกี่ยวกับคุณสมบัติการทรงตัวของเรือต่อไป

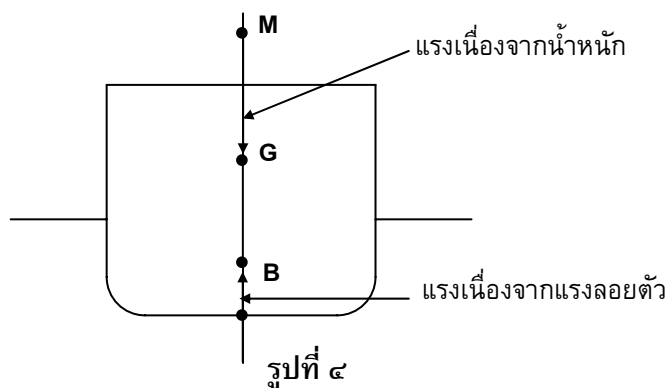
๑.๔ **จุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacenter)** คือ จุด M ในรูปที่ ๒ เป็นจุดตัดของเส้นต่อแนวแรง



กำลังลอยกับแนวเส้นกึ่งกลางทางขวาง (Center Line) ของเรือ ที่เรียกว่าเป็นจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร เพราะว่า ถ้าจุดนี้อยู่ต่ำกว่าจุด G โมเมนต์จะเปลี่ยนเป็นโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) ทันที ดังนั้นตำแหน่งของจุด M (เทียบกับจุด G) จะเป็นตัวกำหนดชนิดของโมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นเมื่อเรือเอียงไป (ดูรูปที่ ๓)

๑.๕ ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacentric Height; GM) คือระยะวัดตามแนวเส้นกึ่งกลางทางขวางจากจุด G ถึงจุด M (ระยะ GM ในรูปที่ ๒) ถ้าจุด M อยู่สูงกว่าจุด G จะถือว่าเป็นระยะ **GM เป็นบวก** ก่อให้เกิดโมเมนต์ตั้งตรง (Righting Moment) หรือเป็น โมเมนต์บวก (Positive Moment) ในทางกลับกันถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G จะถือว่าเป็นระยะ **GM เป็นลบ** และก่อให้เกิดโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) หรือเป็น โมเมนต์ลบ (Negative Moment) ระยะ GM จึงใช้อธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือแทนโมเมนต์ตั้งตรงและแขนโมเมนต์ตั้งตรงได้อีกทางหนึ่ง

๑.๖ รัศมีเปลี่ยนศูนย์เสถียรทางขวาง (Metacentric Radius; BM) คือระยะวัดตามแนว



เส้นกึ่งกลางเรือตามขวางจากจุด B ถึงจุด M (ดูรูปที่ ๔) ที่เรียกว่าเป็นรัศมีเปลี่ยนศูนย์เสถียรก็เพราะว่า ถ้าเรือเอียงไม่มาก (ประมาณไม่เกิน ๑๐ องศา) ระยะจากจุด B ไปถึงจุด M จะมีค่าเกือบคงที่จนสมมติได้ว่าจุด M อยู่คงที่ไม่เคลื่อนไปไหน ระยะ BM ที่วัดตามแนวเส้นกึ่งกลางลำเรือจึงมี

ค่าประมาณเท่ากับระยะจากจุด B ปัจจุบันไปยังจุด M ทำให้ในการออกแบบเรือเบื้องต้นนั้นออกแบบสามารถ หาตำแหน่งของจุด M ได้โดยง่ายเพียงแต่ทราบความสูงของจุด B และคำนวณระยะ BM ดังในสมการที่ (๔) ก็จะได้ทราบความสูงของ จุด M ได้ ถ้าให้ K เป็นจุดอ้างอิงตรงแนวกระดูกงู

$$\text{ดังนั้นระยะ } BM = KM - KB \tag{๒}$$

$$= KB + BG \tag{๓}$$

$$\text{หรือคำนวณได้จากความสัมพันธ์ } BM = \frac{I_T}{\nabla} \tag{๔}$$

โดย  $I_T$  = โมเมนต์อินเนอร์เซียทางขวาง (Transverse Moment of Inertia) ของพื้นที่แนวน้ำ (Waterplane Area) ขณะนั้นของเรือ

$\nabla$  = ปริมาตรระวางขับน้ำ (Volume of Displacement) ขณะนั้น

ตัวอย่างที่ ๑ เรือลำหนึ่งมีขนาดโมเมนต์อินเนอเซียทางขวางของพื้นที่แนวน้ำขณะนั้นเท่ากับ  $1.5978 \times 10^6 \text{ m}^4$  ในขณะที่มีปริมาตรระวางขับน้ำเท่ากับ  $7.2535 \times 10^5 \text{ m}^3$  และมีระยะ KM เท่ากับ 3.2 m. จะคำนวณความสูงของจุดศูนย์กลางการลอย (KB) ได้ดังนี้

$$BM = \frac{1.5978 \times 10^6}{7.253 \times 10^5} = 2.203 \text{ m}$$

เพราะฉะนั้นจุดศูนย์กลางการลอยอยู่สูงจากกระดูกงูเท่ากับ  $KB = KM - RM = 3.2 - 2.203 = 0.907 \text{ m}$ .

ตัวอย่างที่ ๒ เรือลำหนึ่งมีความยาวที่แนวน้ำขณะนั้นเท่ากับ 48 m. มีขนาดครึ่งความกว้างแนวน้ำขณะนั้นดังในตารางที่ ๑ เมื่ออ่านจากเส้นโค้ง Hydrostatic ของเรือพบว่าที่ระดับกินน้ำลึกปัจจุบันนี้เรือมีระวางขับน้ำเท่ากับ 2,000 tonnes ในน้ำทะเล ( $\rho_g = 1.025 \text{ tonne/m}^3$ ) และมีระยะ KB สูง 1.65 m. จะคำนวณหาความสูงของจุดศูนย์เสถียร (Metacenter) ของเรือได้ดังนี้

ST	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1/2 Ordi	0	2.1	3.8	5.2	5.1	4.7	3.5	1.9	0

ตารางที่ ๑

วิธีทำ สร้างตารางคำนวณที่สอดคล้องกับการอินทิเกรตด้วยวิธีการเชิงเลขของ Simpson ได้ดังนี้

ST.	1/2 Ordi.	S.M.	(1/2 Ordi.) <sup>3</sup>	f(I <sub>T</sub> )
0	0	0.00	1	0.00
1	2.1	9.26	4	37.04
2	3.8	54.87	2	109.74
3	5.2	140.61	4	562.43
4	5.1	132.65	2	265.30
5	4.7	103.82	4	415.29
6	3.5	42.88	2	85.75
7	1.9	6.86	4	27.44
8	0	0.00	1	0.00
$\sum f(I_T)$				1503.00

คำนวณหา Transverse Moment of Inertia ของพื้นที่แนวน้ำนี้ได้ จากสมการดังนี้

$$I_T = 2 \times \frac{1}{3} \cdot \int \left( \frac{1}{2} \text{Ordi} \right)^3 dx$$

ดังนั้นด้วยการอินทิเกรต ด้วยวิธีการเชิงตัวเลขของ Simpson จึงคำนวณได้ดังนี้ (H = 48/6 m)

$$I_T = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \times h \times \sum f(I_T) \times 2$$

เพราะฉะนั้น  $BM_T = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{I_T}{\Delta / \rho_g} = \frac{2004}{2000} \times 1.025 = 1.027 \text{ m}$ .

เพราะฉะนั้นจุด Metacenter อยู่สูงจากกระดูกงูเท่ากับ

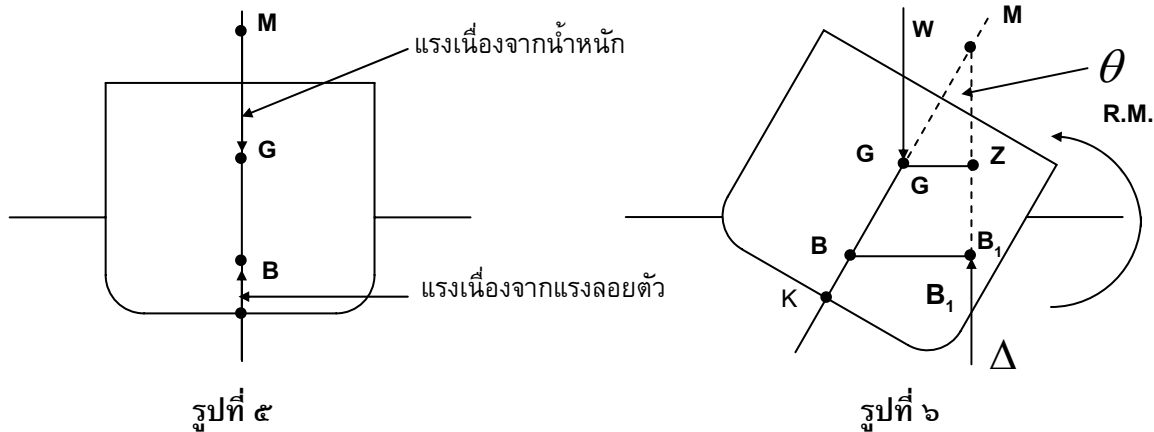
$$KM_T = KB + BM_T = 1.027 + 1.65 = 2.677 \text{ m.}$$

ดังนั้น จุดศูนย์ถ่วงของเรือ (G) จะอยู่สูงกว่า 2.677 m. ไม่ได้ เหตุผลนี้ขอให้คุณในหัวข้อที่จะอธิบายต่อไป

## ๒. คุณลักษณะการทรงตัวของเรือ

### ๒.๑ สถานะการทรงตัวแบบต่าง ๆ

**๒.๑.๑ Equilibrium** คือ การลอยแบบสมดุลในลักษณะที่แรงลอยตัวมีขนาดเท่ากับแรงเนื่องจากน้ำหนักพอดีและกระทำสวนทางกันในแนวเส้นศูนย์กลางเรือทางขวาง (ดูรูปที่ ๕)



เรือที่ทรงตัวในลักษณะนี้มักจะไม่มีเอียงเพราะความสมมาตรกันของเรือ ดังนั้นถ้าเพิ่มน้ำหนักหรือเอาน้ำหนักออกจากเรือในแนวกึ่งกลางลำเรือแล้ว เรือจะจมลงหรือลอยขึ้นในลักษณะขนานกับเส้นแนวน้ำเดิม (Parallel Sinkage)

**๒.๑.๒ Stable Equilibrium** คือ การทรงตัวในช่วงที่เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะสามารถกลับมาตั้งตรงในสถานะแบบ Equilibrium ได้เหมือนเดิม การเอียงในช่วงสถานะเช่นนี้ถือว่าเรือมีการทรงตัว เป็นบวก (Positive Stability) เพราะโมเมนต์แรงคู่ควบระหว่างแรงลอยตัวและแรงเนื่องจากน้ำหนักเป็นโมเมนต์ชนิดตั้งตรงเรือ (Righting Moment) และมักกำหนดให้ มีค่าเป็นบวก (ดูรูปที่ ๖)

การทรงตัวในสถานะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อเรือเอียงจุดศูนย์กลางการลอย (B) จะเลื่อนไปตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของปริมาตรระวางขับน้ำ (ไปทางด้านปริมาตรส่วนใหญ่) ในรูปที่ ๖ คือจากจุด B ไปยังจุด B<sub>1</sub> ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรงลอยตัวจะกระทำผ่านจุด B<sub>1</sub> ตัดกับแนวเส้นกึ่งกลางทางขวางตรงจุด M ถ้าน้ำหนักเรือยังคงที่และไม่มีส่วนใดในเรือเคลื่อนย้ายตามการเอียง แรงเนื่องจากน้ำหนัก (W) จะยังคงกระทำผ่านจุด G เช่นเดิม เมื่อพิจารณาขนาดของแรงนี้กับแรงลอยตัวพบว่าเป็นแรงคู่ควบที่มีแขนยาวเท่ากับ GZ และมีทิศทางด้านการเอียงของเรือ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

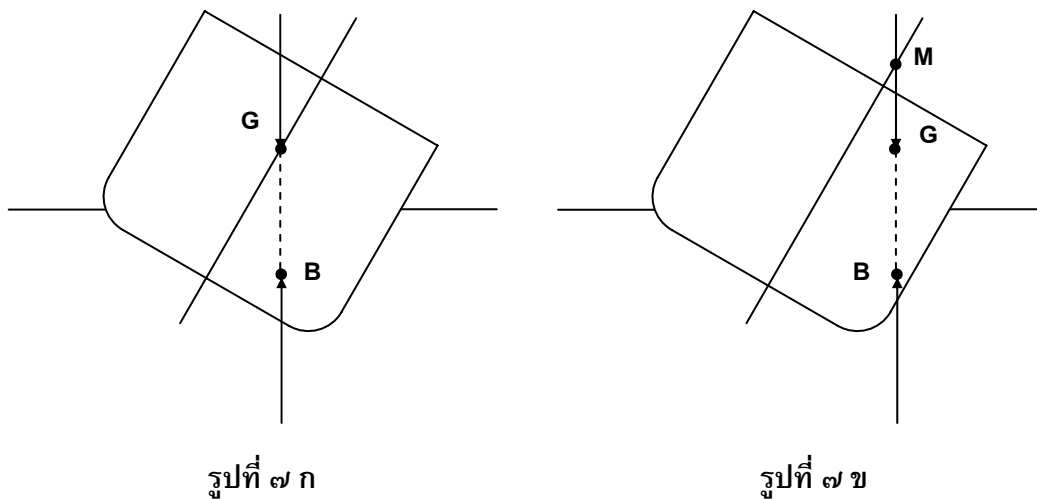
$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์ตั้งตรง} &= \text{ระวางขับน้ำ} \times \text{แขนโมเมนต์ตั้งตรง} \\ \text{(Righting Moment ; R.M.)} &= (\Delta \times GZ) \end{aligned} \quad (๕)$$

โดย  $\Delta$  = ระวังชันน้ำหรือน้ำหนักเรือ  
 $GZ$  = แขนโมเมนต์ตั้งตรง (Righting AR.M.)  
 $= GM \sin \theta$  ( $GM$  = ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร) (๖)

ดังนั้น  $R.M. = \Delta \times GZ = \Delta \times GM \sin \theta$  (๗)

สมการที่ (๖) ใช้พิจารณาเมื่อเรือเอียงไม่มาก ในกรณีที่มุมเอียงมากขึ้นจะใช้สูตรที่เรียกว่า Wall – Sided Formular พิจารณา

**๒.๑.๓ Neutral Equilibrium** คือ การทรงตัวที่เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะไม่กลับมาตั้งตรงได้เองแต่จะเอียงอยู่ถาวรในลักษณะสมดุล คล้ายกับการทรงตัวแบบ Equilibrium



Neutral Equilibrium เป็นสมดุลแบบเรือเอียง สังเกตได้จากรูปที่ ๗ ก เมื่อเรือเอียงไปหากจุด G ยังคงอยู่ในแนวเส้นศูนย์กึ่งกลางทางขวางและจุด B เลื่อนมาอยู่ตรงแนวเดียวกับจุด G จะทำให้จุด M ทับกับจุด G พอดี และเรือก็ยังคงลอยสมดุลอยู่ได้แต่ไม่มีโมเมนต์ตั้งตรงเกิดขึ้นเพราะแขนโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์ ( $GZ = 0$ ) หรือในรูปที่ ๗ ข ถ้าจุด G เลื่อนตามการเอียงของเรือมาอยู่ตรงแนวเดียวกับจุด B ลักษณะเช่นนี้แนวแรงลอยตัวย่อมตัดกับเส้นแนวกึ่งกลางเกิดเป็นจุด M ถึงแม้จุด M จะอยู่สูงกว่าจุด G ก็ตาม (ระยะ GM เป็นบวก) แต่ก็ไม่มีโมเมนต์มาช่วยตั้งเรือเพราะแขนโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน

สถานการณ์ทรงตัวของเรือแบบ Neutral Equilibrium จัดว่าไม่ค่อยปลอดภัยนัก เพราะต่อไปถ้ามีแรงจากภายนอกมากกระทำในทิศเดียวกับการเอียงของเรือ หรือแม้กระทั่งสวนทางการเอียงเรือในรูปที่ ๗ ข ก็ตามที่ เรืออาจเอียงต่อไปจนล่มได้ หรืออาจกลับไปมีสถานการณ์ทรงตัวแบบ Stable Equilibrium (กรณีที่จุด G เลื่อนกลับไป) หรือกลับมาลอยแบบ Neutral Equilibrium ดังเดิมก็เป็นได้

**๒.๑.๔ Unstable Equilibrium** เป็นการทรงตัวในลักษณะกลับกับสถานะ Stable Equilibrium คือ เมื่อเรือเอียงไปแล้วจะไม่กลับไปตั้งตรงได้อีก แต่จะเอียงต่อไปเรื่อย ๆ ด้วยโมเมนต์คว่ำเรือ (Heeling Moment) ซึ่งมีทิศทางเสริมการเอียงของเรือ ดังนั้น เมื่อเทียบกับโมเมนต์ตั้งตรงแล้ว



โมเมนต์คว่ำเรือจึงเป็น โมเมนต์ลบ (Negative Moment) จากรูปที่ ๘ พบว่าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G ความสูงจุดเปลี่ยน ศูนย์เสถียร (GM) ในลักษณะนี้จึง มีค่าเป็นลบ (Negative GM) นอกจากนั้นยังจะถือว่า แขนโมเมนต์มีค่าเป็นลบ (Negative Righting Arm) ด้วย ส่วนสาเหตุนี้นี้อาจเกิดจากเหตุผล 2 ประการนี้คือ

จุด G อยู่สูงเกินไปทำให้เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของจุด B กับจุด G ในขณะเรือเอียงแล้วปรากฏว่าจุด B เคลื่อนที่ทางขวางได้น้อยกว่าจุด G ทำให้จุด G ในรูปที่ ๗ ก แขนไปอยู่ทางขวาของจุด B โมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นจึงมีทิศทางเดียวกับการเอียงของเรือเท่ากับเสริมให้เรือเอียงต่อไปอีกเรื่อย ๆ

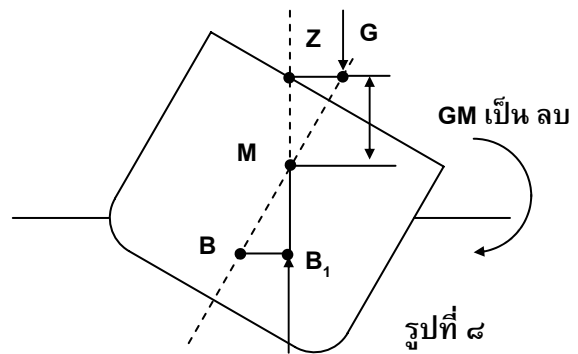
จุด G เคลื่อนที่ไปตามการเอียงของเรือจนแขนไปอยู่ทางขวาของจุด B (ดูรูปที่ ๗ ข) ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำหนักในเรือเคลื่อนที่ไปตามการเอียงทำให้จุดศูนย์กลางถ่วงรวมของเรือเลื่อนไป

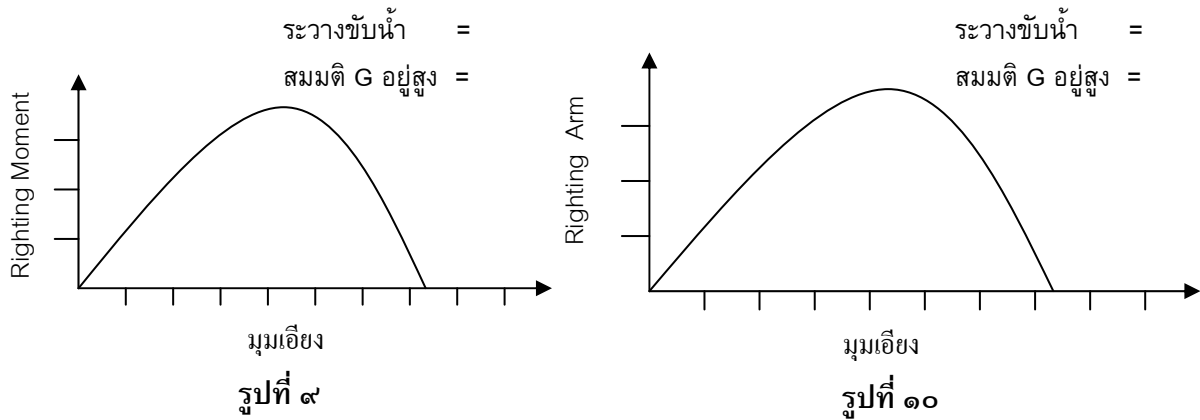
ถึงจุดนี้ผู้อ่านหลายท่านคงพอเข้าใจแล้วว่าทำไมข้อกำหนดเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในเรือทั่วไปจึงแนะนำว่าควรวางสิ่งของต่าง ๆ ในที่ต่ำและผูกมัดจัดเก็บให้อยู่กับที่ โดยเฉพาะรายการที่มีน้ำหนักมาก ๆ เพราะอาจทำให้จุด G ของเรืออยู่สูงเกินไปหรืออาจเลื่อนไปตามการเอียงจนเกิดสถานะการทรงตัวแบบ Neutral Equilibrium หรือ Unstable

Equilibrium ได้ และสิ่งนี้เป็นเหตุผลว่าทำไมเรือสินค้าจึงมีถังอับเฉาขนาดต่าง ๆ อยู่ตามที่ต่าง ๆ ต่ำบ้างสูงบ้างในเรือ หรือบางทีก็อยู่นอกแนวกึ่งกลางลำเรือออกไป ทั้งนี้เพื่อใช้ประโยชน์ในการถ่วงหรือปรับแต่งความสูงของจุด G ให้เหมาะสมนั่นเอง

จากสถานะการทรงตัวแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้นาวาสถาปนิกจะต้องออกแบบให้เรือแต่ละลำให้มีการทรงตัวเป็นแบบ Stable Equilibrium ตลอดเวลา ซึ่งคุณสมบัติของการทรงตัวจะแตกต่างกันตามลักษณะของการบรรทุก โดยอธิบายในเทอมของขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรงหรือปริมาณโมเมนต์ตั้งตรงที่แต่ละมุมเอียงเรือ เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า “เส้นโค้งการทรงตัว (Stability Curve)” เส้นโค้งนี้จะเป็นตัวอธิบายสมรรถนะการทรงตัวของเรือที่ระวางขับน้ำนั้น ๆ แต่อย่างไรก็ตามการนำเสนอข้อมูลการทรงตัวอาจกระทำใน ๔ ลักษณะดังนี้

**๒.๒ เส้นโค้งโมเมนต์ตั้งตรง – มุมเอียง** คือ เส้นโค้งการทรงตัวที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือที่แต่ละระวางขับน้ำในรูปความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรง (ระยะ GZ ในรูปที่ ๖) กับค่ามุมเอียงต่าง ๆ (ดูรูปที่ ๙)



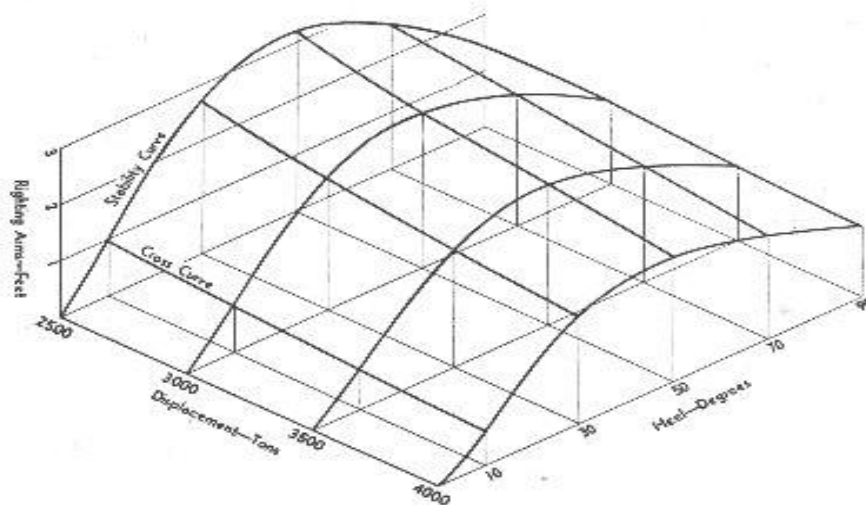


๒.๓ เส้นโค้งแกนโมเมนต์ตั้งตรง – มุมเอียง คือ เส้นโค้งการทรงตัวที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวของเรือที่แต่ละระวางชั้นน้ำในรูปความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตั้งตรง (โมเมนต์ R.M. ในรูปที่ ๒) กับค่ามุมเอียงต่าง ๆ (ดูรูปที่ ๑๐)

การนำเสนอเส้นโค้งการทรงตัว ดังในรูปที่ ๙ และ ๑๐ จะต้องบอกค่าระวางชั้นน้ำของเรือและความสูงจุด G ที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณระยะ GZ กำกับไว้ด้วยเสมอ เพราะถ้าระวางชั้นน้ำและตำแหน่งของจุด G เปลี่ยนตำแหน่งของจุด G และระยะ GZ ย่อมต้องเปลี่ยนไปตามลำดับ เป็นผลให้ขนาดโมเมนต์ตั้งตรงเปลี่ยนไป ถ้าสังเกตสมการที่ (5) ( $R.M. = GZ \times \Delta$ ) จะพบว่าเส้นโค้งการทรงตัวดังในรูปที่ ๙ และ ๑๐ ของเรือลำหนึ่ง ๆ ที่สถานเดียวกันย่อมมีรูปร่างเหมือนกัน จะต่างกันที่หน่วยและขนาดของตัวแปรที่ปรากฏบนแกน Ordinate (แกนตั้ง) เท่านั้น

๒.๔ เส้นโค้งรวมการทรงตัวแบบ “Cross Curve” หรือ Cross Curve of Stability คือ ข้อมูลการทรงตัวที่แสดงในรูปของเส้นโค้งการทรงตัวหลาย ๆ ขนาดระวางชั้นน้ำรวมกัน ดังนั้นจึงถูกเรียกว่าเป็น “Cross Curve of Stability” ซึ่งส่วนใหญ่นิยมพล็อตเป็นแบบ ๒ มิติ ดังในรูปที่ ๑๑ เห็นได้ว่า Cross Curve of Stability แสดงความสัมพันธ์ของแกนโมเมนต์ตั้งตรง มุมเอียง และระวางชั้นน้ำไว้รวมกัน ทำให้สามารถนำไปใช้พิจารณาการทรงตัวที่สถานะการบรรทุกต่าง ๆ กันได้ ส่วนรูปที่ ๑๒ เป็นตัวอย่าง Cross Curve of Stability ที่พล็อตเป็น ๓ มิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตั้งตรง มุมเอียง และระวางชั้นน้ำต่าง ๆ เช่นกัน Cross Curve ในลักษณะหลังนี้จะอ่านค่าได้ค่อนข้างยาก แต่ช่วยให้เห็นขนาดและรูปร่างเส้นโค้งการทรงตัวที่แต่ละระวางชั้นน้ำได้เป็นอย่างดี

รูปที่ ๑๑



รูปที่ ๑๒

๒.๕ ตารางข้อมูลการทรงตัว คือ การนำเสนอข้อมูลการทรงตัวในรูปแบบตารางตัวเลข ซึ่งสามารถนำไปพล็อตเป็นเส้นโค้งการทรงตัวดังในรูปที่ ๙ หรือรูปที่ ๑๐ ได้ในที่สุด วิธีการนี้ให้ความสะดวก เพราะเป็นการอ่านค่าโดยตรงจากตาราง แต่ข้อมูลที่น่าเสนอในลักษณะนี้เป็นข้อมูลชนิดไม่ต่อเนื่อง ไม่เหมือน การนำเสนอข้อมูลการทรงตัวแบบกราฟที่ให้ข้อมูลการทรงตัวต่อเนื่องกัน ในการใช้งานข้อมูลการทรงตัว แบบตารางจึงมักต้องคำนวณหาค่าในระหว่าง (Interpolate) อยู่เสมอ ตัวอย่างเช่น แชนโมเมนต์ที่ตั้งตรง ของเรือในตารางที่ ๒ เมื่อมีระวางขับน้ำเท่ากับ 5,800 tonnes และเอียง ๑๕ องศา คือ ๒.๙๓ m.

ระวางขับน้ำ มุมเอียง	GZ (m.)					
	5	10	15	20	25	30
5000	1.085	2.135	3.142	4.000	4.695	5.320
5500	1.025	2.030	3.005	3.870	4.580	5.230
6000	0.980	1.940	2.880	3.748	4.465	5.144
6500	0.940	1.868	2.770	3.640	4.375	5.068
7000	0.908	1.800	2.675	3.540	4.280	4.997
7500	0.883	1.750	2.597	3.452	4.210	4.932

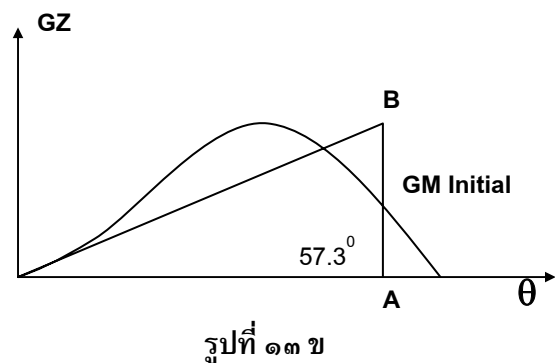
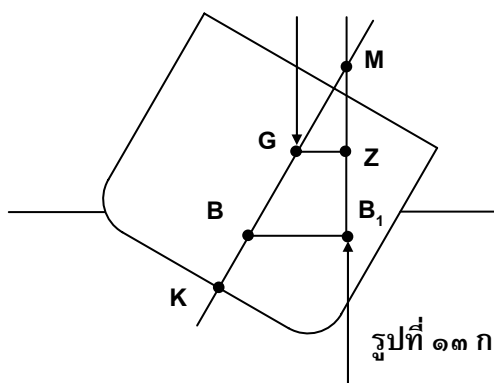
ตารางที่ ๒ Cross Curve of Stability แบบตารางตัวเลข

### ๓. คุณลักษณะและคุณสมบัติของเส้นโค้งการทรงตัว

คุณสมบัติของการทรงตัวจะแตกต่างกันตามลักษณะของการบรรทุก โดยมักอธิบายในเทอมของขนาดแขนโมเมนต์ตั้งตรงหรือปริมาณโมเมนต์ตั้งตรงที่แต่ละมุมเอียงเรือเมื่อพล็อตความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ระวางขับน้ำหนึ่ง ๆ จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า “เส้นโค้งการทรงตัว” เส้นโค้งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาคุณภาพของการทรงตัวเรือในแต่ละขณะต่อไป

เส้นโค้งการทรงตัวมีคุณสมบัติที่สำคัญ ๕ ประการ ซึ่งอธิบายความสามารถในการทรงตัวโดยรวม (Overall Stability) ของเรือ ดังนี้

#### ๓.๑ ให้ค่า Initial Stability



จากที่กล่าวแล้วว่าเมื่อเรือเอียงเล็กน้อย (ประมาณไม่เกิน  $10^0$ ) จะถือว่าตำแหน่งจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (M) ยังคงไม่เปลี่ยนดังนั้นจึงใช้ความสูงจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร ( $\overline{GM}$ ) ในช่วงนี้เป็นตัววัดความสามารถในการทรงตัวแรกเริ่มของเรือก่อนที่จะเอียงไป หรือเรียกว่าเป็น “Initial Stability” ของเรือที่สถานะบรรทุกขณะนั้น (ระยะ AB ในรูป ๑๓ ข) ดังนั้นเมื่อเรือเอียงไปอีกเล็กน้อย (มุมเล็ก ๆ) ความสัมพันธ์ระหว่างแขนโมเมนต์ตั้งตรง

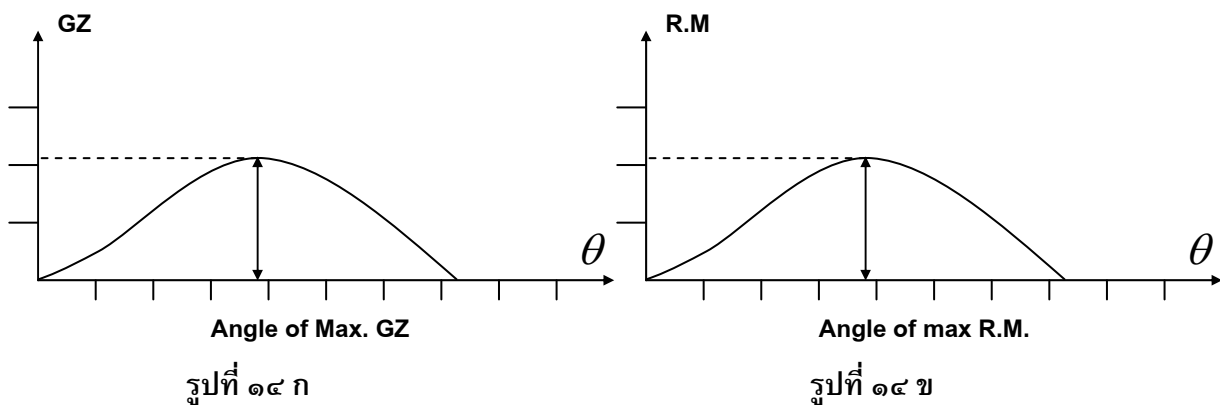
กับมุมเอียง คือ 
$$\overline{GZ} \approx \overline{GM} \theta \quad (\text{มุม } \theta \text{ เล็ก}) \quad (๘)$$

หรือ  $\overline{GZ} = \overline{GM} \sin \theta$  (มุม  $\theta$  มากกว่าประมาณ  $10^\circ$ ) (๙)

จากสมการที่ (๙) พบว่า  $\overline{GM} = \frac{\overline{GZ}}{\theta}$  (๑๐)

หมายถึงเมื่อมุม  $\theta$  เล็ก จะสามารถคำนวณหา GM ได้จากความชันของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง แชนโมเมนต์ตั้งตรง (GZ) และมุมเอียง ( $\theta$ ) โดยตรง การหาค่า Initial Stability หรือ Initial  $\overline{GM}$  ด้วยวิธี กราฟฟิกจะขยายความชันเส้นสัมผัสออกไปให้ตัดกับมุมเอียงที่มีค่าเท่ากับ 1 Radian ( $57.3^\circ$ ) และ ค่า Initial GM โดยต่อเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งการทรงตัวในช่วงมุมเอียงไม่เกินประมาณ  $10^\circ$  ออกไปตัดกับ เส้นทางตั้งตรงมุมเอียง 1 Radian ( $57.3^\circ$ ) (จุด A ในรูปที่ ๑๓ ข) ซึ่งจะช่วยให้สามารถอ่านความยาว เส้น AB บนสเกล GZ ได้เป็นค่า Initial GM ของเรือที่สถานะการบรรทุกขณะนั้นพิสูจน์ได้ ดังนี้

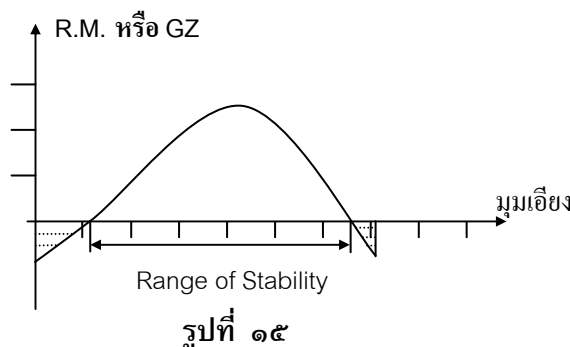
๓.๒ บอกขนาดสูงสุดของแขนโมเมนต์ตั้งตรง หรือโมเมนต์ตั้งตรง (Maximum Righting Arm or Maximum Righting Moment)



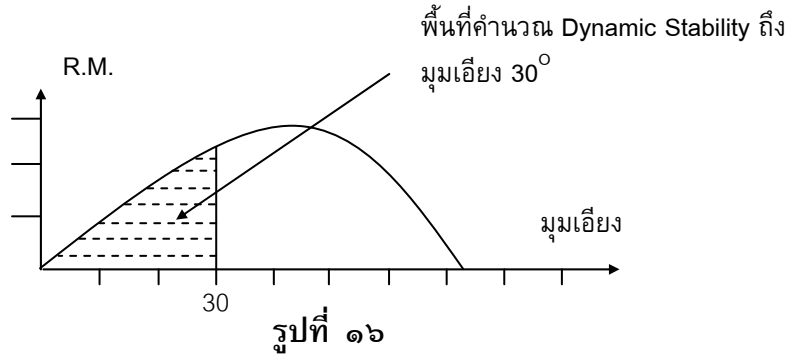
ซึ่งก็คือจุดสูงสุดของเส้นโค้งการทรงตัวในรูปที่ ๑๔ ก และ ๑๔ ข ตามลำดับ

๓.๓ ให้ค่ามุมเอียงที่เกิดแขนโมเมนต์ตั้งตรงหรือมุมเอียงที่เกิดโมเมนต์ตั้งตรงสูงสุด (Angle of Maximum Righting Arm or Angle of Maximum Righting Moment) ซึ่งก็คือมุมตรงจุดสูงสุดของ เส้นโค้งการทรงตัวตั้งในรูปที่ ๑๔ ก และ ๑๔ ข ตามลำดับ

๓.๔ บอกค่าช่วงการทรงตัว (Range of Stability) หมายถึง ช่วงมุมเอียงที่เรือมีสถานะ การทรงตัวแบบ Stable Equilibrium (โมเมนต์ตั้งตรง และระยะ GM เป็นบวก) นอกเหนือช่วงมุมเอียงนี้ เรือจะมีการทรงตัวไม่เสถียร (โมเมนต์เป็นชนิดคว่ำเรือและมีค่า GM เป็นลบ)



๓.๕ เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณหา Dynamic Stability ถึงมุมเอียงที่กำหนด Dynamic Stability คือ งาน (work) ที่ต้องใช้เพื่อเอียงเรือไปถึงมุมที่กำหนด หรือในทางกลับกันคืองานที่ต้องการใช้ในการเอียงเรือจากมุมที่กำหนดให้กลับไปตั้งตรงดั้งเดิม



Dynamic Stability มีค่าเท่ากับขนาดพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทรงตัวถึงมุมที่กำหนดคูณกับขนาดระวางขับนำขณะนั้น เพราะฉะนั้นคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Dynamic Stability} = \Delta \cdot \int_{\theta}^{\theta+\Delta\theta} GZ \cdot d\theta \quad (๑๑)$$

$$= \Delta \cdot \int_0^{\theta} GZ \cdot d\theta \quad (๑๒)$$

เห็นได้ว่าหน่วยของ Dynamic Stability คือ โมเมนต์ - มุม (Radian) หรือ

$$\text{หรือ} \quad \text{Moment} \times \frac{\text{Degree} \times \pi}{180} \quad (๑๓)$$

ตัวอย่างที่ ๓ เรือขนาด 10,000 tonnes มีข้อมูลการทรงตัวตามมุมเอียงต่าง ๆ ดังในตารางที่ ๓ จะคำนวณหา Dynamic Stability ของเรือลำนี้ เมื่อเรือเอียงเป็นมุม 60° ได้ดังนี้

มุมเอียง	GZ	S.M.	f (M <sub>GZ</sub> )
0	0	1	0
15	0.275	4	1.10
30	0.515	2	1.03
45	0.495	4	1.98
60	0.33	1	0.33
75	0.12	-	-
90	-0.1	-	-
$\sum f(M_{GZ})$			4.44

วิธีทำ

ใช้ Simpson's 1<sup>st</sup> Rule คำนวณ Dynamic Stability ในช่วงมุมเอียง 0 ถึง 60° ได้ดังนี้

$$\text{Dynamic} = \Delta \times \frac{h}{3} \times \sum f(M_{GZ})$$

$$\text{Stability} = 10^4 \times \frac{15\pi}{3 \times 180} \times 4.44$$

$$= 3874.63 \text{ tonnes - m-Radian}$$

ตารางที่ ๓

### ๓.๖ Dynamic Stability ทั้งหมด (Total Dynamic Stability)

คือ งานทั้งหมดที่ใช้ในการเอียงหรือต้านการเอียงของเรือในช่วงการทรงตัวตามข้อ ๓.๔ หาได้โดยอินทิเกรตพื้นที่ปิดภายใต้เส้นโค้งการทรงตัวในช่วงการทรงตัวที่เป็นบวกทั้งหมด

## ๔. ความทรงตัวโดยรวม (Overall Stability)

คือคุณสมบัติการทรงตัวของเรือทั้ง ๖ ประการ ตามข้อ ๓.๑ ถึง ๓.๖ ที่อธิบายความสามารถในการทรงตัวโดยรวมของเรือ อันประกอบด้วย

### Initial Stability

ขนาดมากที่สุดของแขนโมเมนต์ตั้งตรง หรือ  
โมเมนต์ตั้งตรงมากที่สุด

มุมเอียงที่เกิดแขนโมเมนต์ตั้งตรง หรือปริมาณ  
โมเมนต์ตั้งตรงที่มากที่สุด

ช่วงการทรงตัวเป็นบวก

Dynamic Stability ถึงมุมเอียงที่กำหนด

Dynamic Stability ทั้งหมด

### รูปที่ ๑๗

## ๕. สรุป

การทรงตัวเรือเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ตำแหน่งของจุดเปลี่ยนศูนย์เสถียร (Metacenter) เป็นตัวกำหนดสถานะการทรงตัว ถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G เรือจะเสียความเสถียรในสถานะที่เรือลอยเสถียรหรือยังมีการทรงตัวที่ได้อยู่จะใช้ระยะแขนโมเมนต์ตั้งตรง (GZ) เป็นตัวบ่งคุณภาพในการทรงตัว เมื่อนำระยะดังกล่าวมาพล็อตกับค่ามุมเอียงจะได้เส้นโค้งการทรงตัวของเรือที่สถานะบรรทุกนั้น ๆ ประโยชน์ของเส้นโค้งการทรงตัวคือแสดงคุณสมบัติการทรงตัวหลายประการพร้อมกันที่เรียกว่าเป็นความทรงตัวโดยรวม (Overall Stability) และเป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาการทรงตัวของเรือ ผู้เขียนหวังว่าความเข้าใจเกี่ยวกับการทรงตัวเรือจะช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจเรื่องเกณฑ์พิจารณาการทรงตัวของเรือได้ง่ายดายต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

K.J. Rawson and E.C. Tupper, *Basic Ship Theory*, Volume 1 (3 rd Ed.), Longman.

Lewis, E.V. (Ed.) (1988), *Principle of Naval Architecture*, Volume I, SNAME, New York.

NAVSEA (1977), *Naval Ships Technical Manual*, NAVSEA 0904 – LP – 079 – 0010,

Chapt. 079, Vol. 1.

น.อ.กำจาย ปองเงิน, *ทฤษฎีการออกแบบเรือเบื้องต้น*, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ, โรงเรียนนายเรือ

เอกสารประกอบการสอนวิชาการคำนวณการทรงตัวเรือ โดย น.อ.ยศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง,

กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ, โรงเรียนนายเรือ.





ผลิตงานวิจัย

# ระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ

น.อ.หญิง ดร. ประอร สุหนทรวีภาต

นายทหารโครงการวิจัย และหัวหน้ากองสถิติและวิจัย

หน่วยเจ้าของโครงการ : โรงเรียนนายเรือ



## คำนำ

การวิจัยระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ ที่ประกอบด้วยหลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบ และเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ และกองทัพเรือ ตลอดจนสังคม และประเทศชาติโดยรวม

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทัพเรือเป็นอย่างสูง ที่เห็นถึงความสำคัญของการวิจัย เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่นี้ และให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย อีกทั้งขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

การวิจัยเรื่องนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เลย หากไม่ได้รับความกรุณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งจากภายนอกและภายในกองทัพเรือ คณะผู้บริหารระดับสูง ระดับกลาง และคณาจารย์ของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ ตลอดจนผู้บังคับบัญชาาระดับสูงของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุนและผู้ใต้บังคับบัญชาที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง และขออภัยที่ไม่สามารถกล่าวนามทุกท่านได้หมด และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณกองบรรณาธิการวารสารโรงเรียนนายเรือ ที่กรุณาให้เกียรตินำผลงานวิจัยนี้ลงตีพิมพ์ เพื่อเป็นการเผยแพร่องค์ความรู้จากผลงานวิจัยให้เป็นที่ประจักษ์แก่ผู้สนใจ ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนทหารอื่น ๆ ในสังกัดกองทัพเรือและกระทรวงกลาโหม เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อไป



## ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการศึกษาในระดับอุดมศึกษาซึ่งเป็นกระบวนการพัฒนาคนเข้าสู่อาชีพระดับสูง อันเป็นการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ เพื่อรองรับการพัฒนาประเทศนั้น สถาบันอุดมศึกษาไทยมีกรอบภารกิจ ๔ ประการที่จะต้องปฏิบัติเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ คือ ๑) การถ่ายทอดความรู้ ๒) การแสวงหาความรู้ใหม่ ๓) การบริการวิชาการแก่สังคม ๔) การทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม ซึ่งสถาบันอุดมศึกษามีความจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติภารกิจ และพัฒนาตนเองให้มีคุณภาพและมาตรฐานทางวิชาการ อยู่เสมอ จึงจะสามารถเป็นที่พึงของสังคมและประเทศชาติได้ในทุกสถานการณ์และสภาพแวดล้อม ทั้งภายในและภายนอกประเทศที่เปลี่ยนแปลงไป ในการนี้ วันชัย ศิริชนะ (๒๕๕๐) ได้สรุปความจำเป็นที่จะต้องมีการประกันคุณภาพการศึกษา ในระดับ อุดมศึกษาขึ้น คือ

๑) ประเทศไทยยังไม่เคยมีระบบการประกันคุณภาพการศึกษา ที่มีรูปแบบชัดเจน การดำเนินการระยะที่ผ่านมาเป็นการกำกับดูแลก่อนเปิดดำเนินการ (Pre-Auditing) ในหลักสูตรต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่ ระบบการติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการดำเนินการยังมีอยู่น้อยมาก และไม่มีกลไกใด ๆ ที่สามารถบ่งชี้ได้ว่า การจัดการศึกษาของสถาบันอุดมศึกษามีคุณภาพหรือไม่เพียงใด

๒) สถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ เริ่มมีความไม่ทัดเทียมกันในคุณภาพการศึกษามากขึ้น

๓) แนวโน้มของการแข่งขันของสถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ มีมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมคุณภาพที่ชัดเจนรองรับ เพื่อประกันความมีคุณภาพของการจัดการศึกษา

๔) ประเทศไทยได้ก้าวเข้าไปอยู่ในสังคมโลกในหลายกิจกรรมแล้ว การอุดมศึกษาเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ต้องมีความเป็นสากล คือ มีองค์ความรู้ทางวิชาการด้านต่าง ๆ และคุณภาพของบัณฑิตที่ทัดเทียมกับนานาชาติที่พัฒนาแล้ว และกลไกการประกันคุณภาพการศึกษาจะเป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อการนี้ จึงจะสามารถ ติดต่อสัมพันธ์และสร้างเครือข่ายร่วมกับนานาชาติได้อย่างทัดเทียม

๕) การมีระบบการประกันคุณภาพการศึกษาที่ดี จะเป็นเครื่องกระตุ้นให้สถาบันอุดมศึกษา และบุคลากรในสถาบันได้มีความตื่นตัวในการพัฒนาตนเอง และพัฒนาคุณภาพต่าง ๆ ในสถาบันอยู่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลดีแก่การศึกษาในระดับอุดมศึกษาโดยตรง

๖) แนวโน้มความต้องการบัณฑิตที่มีคุณภาพ และความรู้ทันสมัยมีมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งในส่วนของภาครัฐและเอกชน ซึ่งหากไม่มีการพัฒนาระบบการศึกษา และการดำเนินการให้ดีแล้ว ย่อมไม่สามารถผลิตบัณฑิตที่สนองความต้องการของสังคมได้

๗) การมีระบบการประกันคุณภาพการศึกษา จะเป็นรากฐานของการพัฒนาองค์ความรู้ในสถาบันอย่างต่อเนื่อง และในระยะยาวจะสร้างความแข็งแกร่งให้กับสถาบันโดยตรง

๘) การสร้างคุณภาพให้เกิดขึ้นในสถาบันต่าง ๆ โดยตัดเทียมกัน จะส่งผลให้บัณฑิตที่จบการศึกษาออกมามีคุณภาพใกล้เคียงกัน (อย่างน้อยขั้นต่ำ)

ทบวงมหาวิทยาลัยในฐานะหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแล และรักษามาตรฐานการศึกษาในระดับอุดมศึกษาตามกฎหมายได้ประกาศนโยบาย และแนวปฏิบัติในการประกันคุณภาพการศึกษาระดับอุดมศึกษาขึ้น เมื่อวันที่ ๘ กรกฎาคม ๒๕๓๙

ในระยะเวลาที่ผ่านมาหลังจากการประกาศนโยบาย และแนวทางปฏิบัติในการประกันคุณภาพการศึกษาระดับอุดมศึกษาแล้ว ทบวงมหาวิทยาลัยได้ดำเนินการส่งเสริมให้สถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ พัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาภายในสถาบันของตนเองขึ้น โดยทบวงมหาวิทยาลัยได้กำหนดหลักการ รูปแบบ และวิธีการ เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นให้กับสถาบันอุดมศึกษา ในการพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของแต่ละสถาบันต่อไป (ทบวงมหาวิทยาลัย, ๒๕๔๑) ซึ่งสถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ ได้เห็นถึงความสำคัญ และให้ความร่วมมือในการพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของแต่ละสถาบันกันไปบ้างแล้ว และในวันที่ ๑๙ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๔๒ ได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๒

ผลจากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๒ ฉบับนี้ ทำให้สถาบันการศึกษาในประเทศไทย ทุกระดับ และทุกสังกัด ไม่เว้นแม้กระทั่งโรงเรียนนายเรือในสังกัดกองทัพเรือ กระทรวงกลาโหม ที่จะต้องจัดให้มีระบบการประกันคุณภาพการศึกษา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษาของชาติ อันประกอบด้วยระบบการประกันคุณภาพภายใน และระบบการประกันคุณภาพภายนอก และให้ถือว่าการประกันคุณภาพภายในเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการบริหารการศึกษาที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยมีการจัดทำรายงานประจำปีเสนอต่อหน่วยงานต้นสังกัด หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเปิดเผยต่อสาธารณชน และเพื่อรองรับการประกันคุณภาพภายนอก ซึ่งจะให้มีการประเมินคุณภาพภายนอกของสถานศึกษาทุกแห่ง อย่างน้อยหนึ่งครั้งในทุก ๕ ปี และหากผลการประเมินภายนอกของสถานศึกษาใดไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ให้สำนักงานรับรองมาตรฐาน และประเมินคุณภาพการศึกษา จัดทำข้อเสนอแนะการปรับปรุงแก้ไขต่อหน่วยงานต้นสังกัด เพื่อให้สถานศึกษาปรับปรุงแก้ไขภายในระยะเวลาที่กำหนดต่อไป (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๒ อ้างถึงใน ประอร สุนทรวิภาต, ๒๕๔๔)

ในการนี้สถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ ของไทยส่วนใหญ่ได้ตื่นตัวและเตรียมพร้อมเพื่อสนองตอบต่อพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติดังกล่าวกันมากแล้ว โดยมีสถาบันอุดมศึกษา ๑๒ แห่งประกอบด้วย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และวิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า ได้เข้าร่วมโครงการนำร่องในการพัฒนาระบบ

การประกันคุณภาพอุดมศึกษาของทบวงมหาวิทยาลัย ใน ๕ สาขาวิชา รวม ๒๒ คณะ ได้แก่ สาขาวิชาแพทยศาสตร์ สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และสาขาวิชาครุศาสตร์ / ศึกษาศาสตร์ ( สำนักมาตรฐานอุดมศึกษา, ๒๕๔๒ อ้างถึงใน ประจักษ์ สุนทรวิภาต, ๒๕๔๔)

กระทรวงกลาโหม โดยกรมยุทธศึกษาทหาร (๒๕๔๓) ได้กำหนดนโยบายในการพัฒนาคุณภาพ และมาตรฐานการศึกษาสถาบันการศึกษาของกระทรวงกลาโหม ที่สอดคล้องกับพระราชบัญญัติ การศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๒ ที่สำคัญคือ การส่งเสริมให้สถาบันการศึกษาของกระทรวงกลาโหม สร้างกลไกการประกันคุณภาพการศึกษา และจัดให้มีระบบการตรวจสอบและประเมินผลการดำเนินงาน ขึ้นเป็นการภายใน โดยได้กำหนดองค์ประกอบของคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพ ในสถาบันศึกษาระดับอุดมศึกษาของกองทัพ ซึ่งสถาบันสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาได้ตาม ความเหมาะสม

โรงเรียนนายเรือ ในฐานะสถาบันอุดมศึกษา สังกัดกองทัพเรือ กระทรวงกลาโหม ก็ได้เห็นถึงความสำคัญและความจำเป็นในอันที่จะต้องจัดให้มีระบบการประกันคุณภาพการศึกษาขึ้น ทั้งนี้เพื่อ ประโยชน์แก่การรักษามาตรฐานผลผลิตการศึกษา ระดับอุดมศึกษาของประเทศ ตามพระราชบัญญัติ กำหนดวิทยฐานะผู้สำเร็จการศึกษาวชิการทหาร พ.ศ. ๒๕๓๓ ที่ให้สภากการศึกษาวชิการทหาร คำนึงถึงมาตรฐานทั่วไปที่ทบวงมหาวิทยาลัยกำหนดสำหรับสถาบันอุดมศึกษา และตามข้อบังคับ จาก พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๒ โดยโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพอื่น ๆ ต่างก็ได้เริ่มกิจกรรมการประกันคุณภาพการศึกษากันบ้างแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๔๒ แต่ยังคงขาดองค์ความรู้ ในการพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาที่เหมาะสม และสอดคล้องกับบริบทของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ ซึ่งต่างไปจากสถาบันอุดมศึกษาอื่น ๆ โดยทั่วไป ด้วยเหตุนี้จึงควรได้มีการศึกษา และ วิจัยเพื่อพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือที่มีความเหมาะสม และสอดคล้องกับบริบท ของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพโดยส่วนรวม



### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ ที่ ประกอบด้วย หลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบ และเกณฑ์ ในการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือ



### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ ระเบียบวิธีวิจัยเชิงบรรยาย ( Descriptive Research ) ประกอบด้วยการดำเนินการวิจัยดังนี้

๑. ศึกษากรอบแนวคิดในการพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือ โดยการศึกษา และวิเคราะห์เอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

๒. ศึกษาและวิเคราะห์หลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบ และเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือ โดยการสัมภาษณ์ สัมภาษณ์ และวิเคราะห์ความคิดเห็นในบริบทของการประกันคุณภาพการศึกษาและการดำเนินงานประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ

๓. สังเคราะห์หลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบและเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพในข้อ ๒ ออกมาเป็นระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ

๔. ประเมินระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือที่พัฒนาขึ้น โดยใช้รูปแบบของคณะกรรมการ ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญในการประกันคุณภาพการศึกษา ผู้ชำนาญการทางทหาร ผู้บริหารระดับสูง และผู้บริหารระดับกลาง / คณาจารย์ของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพเป็น คณะผู้ตัดสินความเหมาะสม และความเป็นไปได้ในการนำระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือที่พัฒนาขึ้นไปใช้ / ประยุกต์ใช้

๕. วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ แล้วนำผลการวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขระบบการประกัน ฯ ให้เหมาะสม

๖. สร้างเครื่องมือตรวจสอบ และประเมินคุณภาพโรงเรียนนายเรือ แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความเหมาะสม ก่อนนำไปทดลองใช้

๗. ทดลองใช้เครื่องมือตรวจสอบ และประเมินคุณภาพการศึกษาที่โรงเรียนนายเรือ โดยคณะกรรมการตรวจสอบคุณภาพภายในที่ตั้งขึ้น ประกอบด้วยคณะกรรมการจากฝ่ายต่าง ๆ ของโรงเรียนนายเรือ ได้แก่ ฝ่ายอำนวยการ ฝ่ายศึกษา กรมนักเรียนนายเรือรักษาพระองค์ ฝ่ายบริการ และกองสถิติและวิจัย ทดลองใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ ทำการตรวจสอบ และประเมินคุณภาพการดำเนินงานระดับสถาบันในแต่ละรายการขององค์ประกอบคุณภาพ ที่แต่ละฝ่ายปฏิบัติงานอยู่ร่วมกับ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านประกันคุณภาพการศึกษาจากภายนอก และปรับปรุงแก้ไข เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ

#### ✦ ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

- ◎ คณะผู้บริหารระดับสูงของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ จำนวน ๒๑ คน
- ◎ คณะผู้บริหารระดับกลาง / คณาจารย์ของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ จำนวน ๘๐ คน

๐ คณะกรรมการประเมินระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน ๓๖ คน

๐ ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณา ความเหมาะสมของเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ จำนวน ๘ คน



### เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

- ๐ แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้บริหารระดับสูงของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ
- ๐ แบบสำรวจความคิดเห็นผู้บริหารระดับกลาง / คณาจารย์ของโรงเรียนนายเรือและโรงเรียนเหล่าทัพ
- ๐ แบบประเมินระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ
- ๐ แบบตรวจสอบคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ

### ✦ การวิเคราะห์ข้อมูล

- ๐ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหา ( Content Analysis )
- ๐ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ด้วยค่าร้อยละ (Percentage) ค่ามัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Mean,  $\bar{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( Standard Deviation, S.D. )

### ✦ ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาบริบทในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนเหล่าทัพ ในเรื่อง หลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบ และเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือและโรงเรียนเหล่าทัพ และสำรวจความคิดเห็นในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือและโรงเรียนเหล่าทัพ ในช่วงปีงบประมาณ ๒๕๕๓ ( ตุลาคม ๕๒ - กันยายน ๕๓ )

### ✦ นิยามศัพท์เฉพาะ

๐ **คุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง การปฏิบัติงานของโรงเรียนนายเรือที่เป็นระบบแบบแผน ตอบสนองภารกิจ และได้ผลผลิต คือ นายทหารสัญญาบัตร ที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ และความต้องการของกองทัพเรือ

๐ **การประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง การรับรองว่าถ้าหาก

โรงเรียนนายเรือได้ปฏิบัติงานที่เป็นระบบ แบบแผน และตอบสนองภารกิจหลักแล้ว จะได้ผลผลิตคือนายทหารสัญญาบัตร ที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ และความต้องการของกองทัพเรือ

◎ **ระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง โครงสร้างของการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ ที่ประกอบด้วยหลักการ วิธีการปฏิบัติ องค์ประกอบ และเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ

◎ **หลักการในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง แนวทาง / หลักการสำคัญ ในการดำเนินงานประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนนายเรือ

◎ **วิธีการปฏิบัติในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง วิธีการปฏิบัติเพื่อให้การดำเนินงานตามแนวทาง / หลักการในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ ได้บรรลุผล

◎ **องค์ประกอบในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง ปัจจัยสำคัญ ในการส่งเสริมสนับสนุนให้โรงเรียนนายเรือสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีคุณภาพ

◎ **เกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ** หมายถึง ข้อกำหนดอันเป็นหลักให้ โรงเรียนนายเรือได้ปฏิบัติงานอย่างมีคุณภาพ

#### ✦ ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

๑. โรงเรียนนายเรือ ควรประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ความรู้ ข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพ การศึกษา แก่บุคลากรของโรงเรียนนายเรือ ให้เห็นความสำคัญ และสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง อย่างต่อเนื่อง

๒. โรงเรียนนายเรือ ควรเตรียมความพร้อม ในการปฏิบัติตามองค์ประกอบ และเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ แม้ในบางรายการตรวจสอบ จะยังไม่เคยมีการปฏิบัติมาก่อน หรือมีอยู่บ้าง แต่ยังไม่เป็นระบบ

๓. โรงเรียนนายเรือ ควรจัดให้มีการประเมินผลการปฏิบัติ ในทุกกิจกรรมอย่างเป็นระบบ เพื่อเป็นข้อมูลย้อนกลับสำหรับการปรับปรุง และพัฒนาการดำเนินงานของโรงเรียนนายเรือ

๔. โรงเรียนเหล่าทัพอื่น สามารถนำผลการวิจัย ไปเป็นองค์ความรู้ในการประกันคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนตนได้เพราะมีบริบทที่ใกล้เคียงกัน

๕. โรงเรียนทหารอื่น ๆ ของกองทัพเรือ และ กระทรวงกลาโหม แม้จะอยู่ในระดับการศึกษาที่ต่างกันก็สามารถนำองค์ความรู้จากผลการวิจัย ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของตนได้อย่างมั่นคงต่อไป

๖. **ควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติม** ให้ลึกลงไปอีก ในเรื่องเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพ ในแต่ละองค์ประกอบ และ รายการตรวจสอบ เพื่อให้มีความเหมาะสม / ง่ายต่อการปฏิบัติยิ่งขึ้น อีกทั้งควรพัฒนาเกณฑ์ในการประเมินผลการตรวจสอบให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นต่อไป

สำหรับรายละเอียดขององค์ประกอบและเกณฑ์ในการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรื่อนั้น ผู้วิจัยขอนำเสนอพร้อมอภิปรายในฉบับต่อไป

---

---

### ✦ เอกสารอ้างอิง

ทบวงมหาวิทยาลัย. แนวทางการประกันคุณภาพการศึกษาระดับอุดมศึกษา, ส่วนการวิจัยและพัฒนาสำนักมาตรฐานอุดมศึกษา ทบวงมหาวิทยาลัย, ๒๕๔๑.

ประอร สุนทรวิภาต, นาวาเอกหญิง. ระบบการประกันคุณภาพการศึกษาของโรงเรียนนายเรือ เอกสารวิจัยโรงเรียนนายเรือ, ๒๕๔๔.

วันชัย ศิริชนะ. “การประกันคุณภาพการศึกษา” ห้องสมุดในกระแสแห่งการปรับเปลี่ยน, สมาคมห้องสมุดแห่งประเทศไทย, ๒๕๔๐.



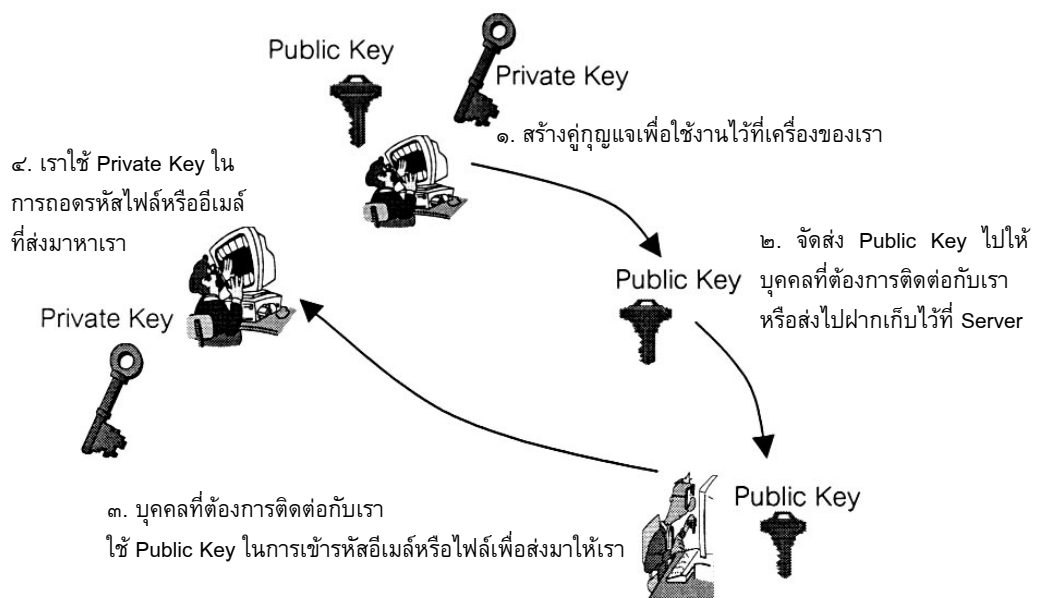
# วิธีหาคำตอบการความเป็นส่วนตัวแค่ไหน

น.ต.ดร.ณัย ปฎิยุทธ  
กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์

## บทนำ

คอมพิวเตอร์มีความสำคัญกับโลกปัจจุบันอย่างยิ่งยวด เราใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานต่าง ๆ มากมาย ขณะที่ความสำคัญของมันเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ความเป็นส่วนตัวของคุณถูกลบล้างน้อยถอยลง เราจะเห็นได้ว่า อีเมลที่ส่งระหว่างบุคคลมีคนแอบอ่าน มีคนเข้ามาเปลี่ยนเนื้อหาหรือกระทั่งทำลายไฟล์ที่เราสร้างขึ้นมา ไดรฟ์ที่ใช้ร่วมกันกับบุคคลอื่นมีคนถือวิสาสะเข้ามาดู ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้กำลังพยายามแก้ไขและทำให้ดีขึ้น วิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีคือการใช้ PGP(Pretty Good Privacy)ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกสร้างขึ้นโดย Mr.Phillip R. Zimmermann ในปี พ.ศ.๒๕๓๔ จุดประสงค์หลักก็คือการใช้เข้าและถอดรหัส อีเมลเพื่อให้การส่งข้อความตอบโต้ระหว่างบุคคลเป็นความลับมากขึ้น แต่ประโยชน์ของ PGP อย่างอื่น ๆ ก็มี อาทิเช่น การเข้าและถอดรหัสไฟล์ทุกชนิด การลบไฟล์ทิ้งอย่างถาวร การผลิตลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงการสร้างไดรฟ์ลับ โดยที่โปรแกรม PGP นี้ ใช้ RSA (Rivest Shamir and Adleman) หรือ Diffie-Hellman/DSS เป็นอัลกอริทึมสำหรับการแลกเปลี่ยนกุญแจ และ IDEA (International Data Encryption Algorithm) เป็นอัลกอริทึมสำหรับการเข้ารหัสอีเมล และ PGP ใช้รูปแบบจำลองที่เรียกว่า Web of Trust ซึ่งหลักการทำงานต่าง ๆ ของ PGP มีอยู่ด้วยกัน ๓ ชนิดดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

### ๑. หลักการทำงานของ PGP สำหรับการเข้า - ถอดรหัสอีเมลและไฟล์ (Encryption-Decryption)



รูป ๑ ขั้นตอนการเข้า - ถอดรหัสอีเมลและไฟล์

<sup>๑</sup> การเข้ารหัส (encryption) เป็นกรรมวิธีในการนำเอาข้อมูลมาแปลงจนไม่สามารถอ่านข้อมูลนั้นได้ จนกว่าจะได้มีการถอดรหัส (Decryption) เพื่อแปลงข้อมูลที่ถูกรหัสจนอ่านไม่ได้กลับมาอ่านได้เหมือนเดิม

<sup>๒</sup> กุญแจ (Key) คือโค้ดโปรแกรมที่ใช้การเข้าและถอดรหัส

การจะรับและส่งอีเมลหรือไฟล์ให้ปลอดภัยนั้นมีขั้นตอนการเข้า - ถอดรหัสอีเมลและไฟล์มีดังต่อไปนี้ (แสดงในรูป ๑)

๑. ขั้นตอนแรก คือ การสร้างคู่กุญแจสำหรับตัวเองโดยใช้โปรแกรม PGP โดยคู่กุญแจนั้นประกอบด้วยกุญแจส่วนตัว (Private Key) ซึ่งจะเก็บไว้ที่ตัวเราและใช้ในการถอดรหัสอีเมลที่ถูกเข้ารหัสและส่งมาถึงเรา และกุญแจสาธารณะ (Public Key) ที่ใช้สำหรับเข้ารหัสโดยจะอยู่ตามบุคคลที่เราต้องการติดต่อด้วย สำหรับคู่กุญแจนี้เราสามารถกำหนดไว้ว่าต้องการให้หมดอายุเมื่อไหร่หรือไม่หมดอายุเลยก็ได้ โดยคู่กุญแจที่เราสร้างนี้จะไปอยู่ที่ Keyring<sup>๓</sup> (คลังกุญแจ) ของเรา

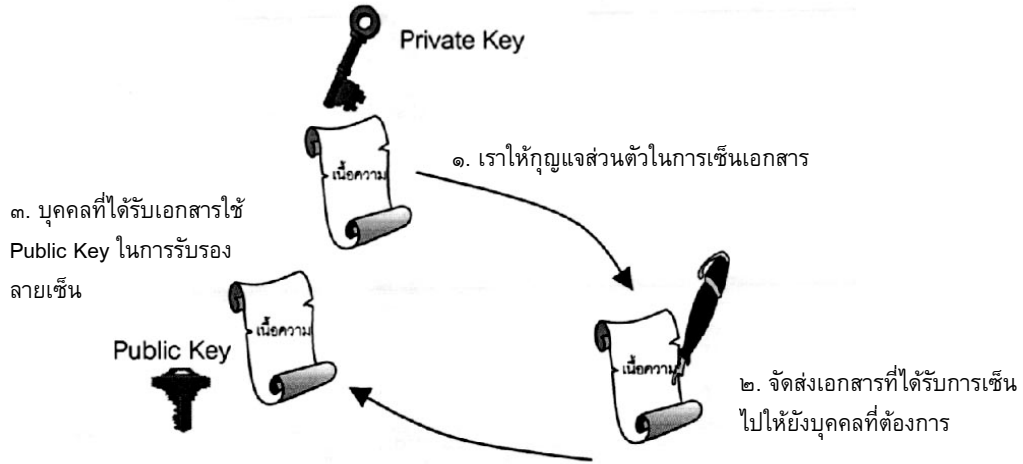
๒. ถ้าเราต้องการให้บุคคลที่เราติดต่อด้วยส่งอีเมลหรือไฟล์ที่จะเข้ารหัสมาหาเรา เราก็ส่ง Public Key ไปให้บุคคลนั้น (ในทำนองกลับกัน ถ้าคนอื่นต้องการให้เราส่งอีเมลและไฟล์ที่จะเข้ารหัสไปหาบุคคลนั้นก็ต้องส่ง Public Key ของตัวเองมาให้เรา) หรือบางครั้งเราก็สามารถส่ง Public Key ของเราไปฝากเก็บไว้ที่ Server เมื่อเพื่อนของเราต้องการใช้ ก็สามารถดึงไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องรอให้เราส่งไปให้

๓. เมื่อบุคคลที่เราต้องการติดต่อด้วยได้รับ Public Key บุคคลนั้นก็บอกโปรแกรม PGP ให้ใช้ Public Key ตัวนั้น ๆ เพราะจะมีแต่เราเท่านั้นที่สามารถเปิดอ่านอีเมลหรือไฟล์ได้ เนื่องจากการเข้ารหัสโดยใช้ Public Key นั้น ต้องใช้ Private Key ในการถอดรหัสเท่านั้น (กระบวนการที่เข้ารหัสโดย Public Key และถอดรหัสโดย Private Key เรียกว่า Asymmetric Encryption ส่วนกระบวนการที่เข้ารหัสโดย Private Key และถอดรหัสโดย Private Key เรียกว่า Symmetric Encryption) หรือบางครั้งโปรแกรม PGP อาจสั่งให้ผลิตกุญแจชั่วคราว (Session Key) เพื่อใช้ในการเข้ารหัสในครั้งนั้น ๆ โดย Session Key จะถูกเข้ารหัสโดย Public Key อีกทอดหนึ่ง

๔. เมื่อเราต้องการเปิดอีเมลหรือไฟล์ที่ถูกเข้ารหัส (จะต้องเข้ารหัสโดยใช้ Public Key ของเราเท่านั้น) ส่งมาให้เรา เราก็ถอดรหัสโดยใช้ Private Key ของเรา

## ๒. หลักการทำงานของ PGP สำหรับการผลิต (เซ็นต์) - รับรองลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ (Signature – Verification)

<sup>๓</sup> Keyring คือ ไฟล์ที่ใช้เก็บคู่กุญแจที่เราสร้างขึ้นมา และ Public Key ของคนอื่นที่ส่งมาให้เราหรือที่เราไปดาวน์โหลดมาจาก Server

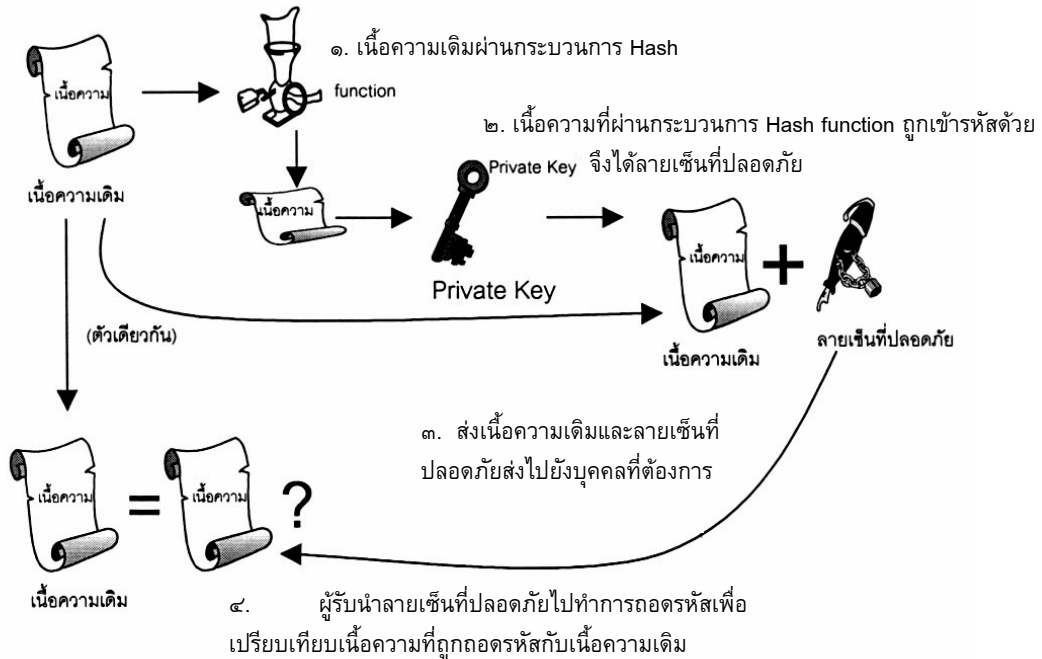


รูป ๒ ขั้นตอนการผลิตและรับรองลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์

หากเราไม่ต้องการเข้ารหัสอีเมลหรือไฟล์ที่เราส่งออกไป เพียงแต่ต้องการรับรองเฉย ๆ ว่าเป็นอีเมลหรือไฟล์ที่ส่งออกจากเราจริง ๆ (คือมีคุณสมบัติ Authentication) เนื้อหาภายในยังคงไม่เปลี่ยนแปลง (คือมีคุณสมบัติ Integrity) และผู้ส่งไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าไม่ได้ส่งไฟล์หรืออีเมลนั้น ๆ มา (คือมีคุณสมบัติ Non-repudiation) ขั้นตอนการผลิตลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์มีดังต่อไปนี้ (แสดงในรูป ๒)

๑. ขั้นตอนแรก คือ การเซ็นรับรองเอกสารซึ่งอาจจะเป็นอีเมลหรือไฟล์ด้วยกุญแจส่วนตัว (Private Key) ของคุณเอง (Private Key ที่ได้มาจากการสร้างคู่กุญแจนั่นเอง)
๒. ส่งไฟล์หรืออีเมลที่ได้รับการเซ็นไปยังบุคคลที่ต้องการได้เอกสารนั้น ๆ
๓. หลังจากที่รับเอกสารที่ผ่านการเซ็นกำกับ บุคคลนั้น ๆ ก็จะใช้กุญแจสาธารณะ (Public Key) ในการรับรองลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์โดยตรวจสอบว่าเอกสารนั้น ๆ ส่งมาจากบุคคลที่ได้กล่าวอ้างจริง ๆ เนื้อหาภายในยังคงเหมือนเดิม และผู้ส่งไม่สามารถปฏิเสธได้ เพราะมีแต่ผู้ส่งเท่านั้นที่สามารถเข้ารหัสเอกสารด้วยกุญแจส่วนตัวของตนเอง

ส่วนการทำให้ลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นนั้นเราสามารถกระทำได้ตั้งกระบวนการต่อไปนี้ (แสดงในรูป ๓)



รูป ๓ ขั้นตอนการเข้ารหัสและรับรองลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์อย่างปลอดภัย

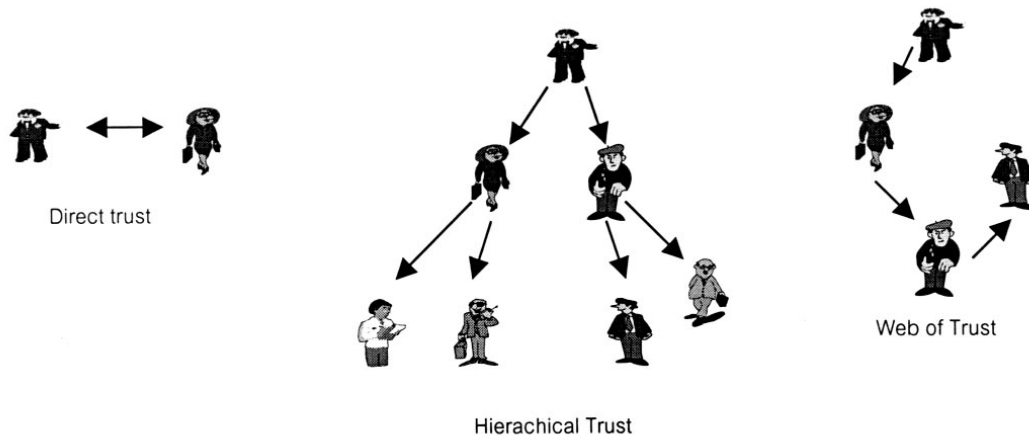
๑. นำเนื้อความที่ต้องการส่งไปผ่านกระบวนการ Hash Function
๒. จากนั้นจึงนำเนื้อความที่ผ่านกระบวนการ Hash Function (เนื้อความที่ผ่านกระบวนการ Hash Function เรียกว่า Message digest<sup>๔</sup>) ไปเข้ารหัสด้วยกุญแจส่วนตัว (Private Key) เราก็จะได้ลายเซ็นที่ปลอดภัย
๓. ส่งข้อความเดิมและลายเซ็นที่ปลอดภัยไปยังบุคคลที่ติดต่อกับเรา
๔. ผู้รับนำลายเซ็นที่ปลอดภัยไปทำการถอดรหัส (รายละเอียดของกระบวนการมีดังต่อไปนี้ กล่าวคือ ขั้นแรกสุด นำลายเซ็นที่ปลอดภัยไปถอดรหัสโดยใช้กุญแจสาธารณะของบุคคลที่ส่งลายเซ็นมาให้ซึ่งทำให้เราได้ Message digest หลังจากนั้นเราก็นำ Message digest ไปผ่านกระบวนการ Hash Function เพื่อให้ได้เนื้อความเดิม) เพื่อให้ได้เนื้อความเดิมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับเนื้อความเดิมที่ไม่ได้ทำอะไรกับมัน ถ้าเนื้อความเหมือนกันจึงสามารถสรุปได้ว่าลายเซ็นนั้น ๆ เป็นลายเซ็นของจริง

### ๓. ความเชื่อถือ

ถ้าเราต้องการทราบให้แน่ชัดว่า Certificate นั้น ๆ เป็นของใครจริงหรือไม่ มีวิธีการตรวจสอบหลายวิธีด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบ Public Key จากบุคคลนั้นโดยตรง การตรวจสอบว่า Certificate ไม่ได้ถูกถอดถอนการใช้งาน หรือการให้ความเชื่อถือ (Trust) ต่อบุคคลหรือองค์กรที่ออก Certificate

<sup>๔</sup> Message digest คือ เนื้อความที่ผ่านโปรแกรม Hash Function และจะมีความยาวน้อยลงเนื่องจากถูกบีบโดยโปรแกรม Hash Function

รูปแบบจำลองของการเชื่อถือมี ๓ แบบด้วยกันคือ Direct trust (คือความเชื่อถือโดยตรงระหว่างบุคคลกับบุคคลหรือองค์กรกับองค์กรที่รู้จักกัน), Hierarchical trust (คือความเชื่อถือตั้งแต่ต้นของ CA จนถึงปลายทาง) และ Web of trust (คือการที่เราโยงความเชื่อถือระหว่างบุคคลตั้งแต่ต้นสายจนกระทั่งถึงปลายทางของการติดต่อ) ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูป ๔ รูปแบบจำลองต่าง ๆ ของความเชื่อถือ (Trust)

ซึ่งการเชื่อถือกันระหว่างบุคคลต่าง ๆ มีระดับของความน่าเชื่อถือไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากความสนิทสนมที่ไม่เท่ากัน PGP ได้แบ่งระดับความเชื่อถือ (Trust) จากมากที่สุดคือ *Trusted* ไปจนถึงระดับที่ต่ำที่สุด คือ *Untrusted* เป็น ๓ ระดับคือ Complete trust, Marginal trust และ Notrust (Untrusted)

## สรุป

ในขณะที่การรับ - ส่ง อีเมลเป็นการสื่อสารยอดฮิตในยุคอินเทอร์เน็ตพีเวอร์ เพื่อให้คุณแน่ใจว่าเมลล์ของคุณเป็นความลับ มีความเป็นส่วนตัวไม่มีใครสามารถอ่านข้อความได้ เราจำเป็นต้องใช้โปรแกรมในการเข้ารหัสอีเมลนั้น ๆ โปรแกรมหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ก็คือ PGP ข้อดีของโปรแกรม PGP คือเป็นโปรแกรมที่ใช้ได้กับทุกระบบปฏิบัติการ (โดยเมื่อคุณติดตั้ง PGP เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมก็จะฝังตัวเองเข้าไปในโปรแกรมการรับ - ส่งอีเมลของเครื่องนั้น ๆ ที่ PGP สนับสนุนการใช้งาน (อาจจะ เป็น Microsoft Outlook Express หรือ Eudora) โดยจะมีปุ่มคำสั่งเพิ่มขึ้นมาสำหรับการเรียกใช้ PGP) อีกทั้งยังเป็นฟรีแวร์ (โดยเราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ <http://www.pgpi.org>) ทำให้เป็นที่นิยมของผู้คน ข้อดีของ PGP อีกข้อหนึ่งก็คือความสามารถในการใช้กุญแจที่เปลี่ยนไปกับอีเมลต่าง ๆ (ใช้กุญแจที่ไม่ซ้ำกันกับอีเมลที่ต่างกัน) ทำให้ยากต่อการเดาหรือตรวจจับกุญแจ นอกจากนั้นการใช้โปรแกรม Message digest ใน PGP ก็ยังเป็นการรับประกันได้ว่าลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์นั้น ๆ ปลอดภัยจากการนำไปใช้โดยผู้อื่น หากไฟล์ที่เราสร้างขึ้นมา (อาจจะสร้างมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอะไรก็ได้ อาทิ เช่น Word, Excel, Powerpoint, Access) เป็นเรื่องสำคัญ เราก็สามารถใช้ PGP ในการเข้ารหัสไฟล์เพื่อป้องกันการถูกอ่าน หากเครื่องของเรามีผู้ใช้งานร่วมกัน หากเราไม่ต้องการให้คนอื่นมาเปิดงานหรือ



ร่วมใช้งานที่เราทำได้ เราก็สามารถใช้ PGP เพื่อสร้างไดรฟ์ป้องกันไม่ให้บุคคลอื่นเข้าไปดูไฟล์ใด ๆ  
ของเราได้ การป้องกันของ PGP กรณีที่เราไม่แน่ใจว่า Public Key ที่เราใช้นั้นเป็นของบุคคลที่เราติดต่อ  
หรือไม่นั้นและหมดอายุการใช้งานหรือยัง โดยการใช้โปรแกรมที่เรียกว่า Digital certificates<sup>๕</sup> ซึ่งจะถูก  
ส่งไปกับ Public Key อื่นๆในการเข้า - ถอดรหัสอีเมลล์และไฟล์นั้น ทั้งทางผู้ส่งและผู้รับจะต้องติดตั้ง  
โปรแกรม PGP ทั้งคู่

---

## เอกสารอ้างอิง

๑. นิพนธ์ กิตติปภัสสร. *เข้ารหัสถอดรหัสไฟล์และอีเมลล์ด้วยโปรแกรม PGP 6.5.*

กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น, ๒๕๔๔

---

<sup>๕</sup> Digital certificate คือ โปรแกรมที่ใช้แสดงว่า Public Key นั้น ๆ เป็นของผู้ส่งจริง ประกอบด้วย Public Key, ข้อมูลของผู้ส่ง, Digital signature ขององค์กรที่น่าเชื่อถือ

# โปรแกรมประยุกต์ Matlab

น.ต.สิทธิรักษ์ พรหมณีย์  
กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์

โปรแกรม Matlab เป็นโปรแกรมประยุกต์โปรแกรมหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ช่วยในการประกอบ การเรียนที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณต่าง ๆ ตั้งแต่ขั้นพื้นฐานจนกระทั่งขั้นประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้านใน การเรียนสาขาทางวิศวกรรมไฟฟ้าต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น ระบบควบคุม ระบบสื่อสาร เป็นต้น หรืออาจจะ นำไปใช้ในการออกแบบและทดลองระบบทางไฟฟ้าต่าง ๆ ขณะนี้มีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถ ใช้งานได้สะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของโปรแกรมสามารถใช้กับระบบปฏิบัติการของ วินโดวส์ได้เป็นอย่างดี (Window 95 / 98 / 2000 / Me / Xp) และปัจจุบันพัฒนาถึง version 6.0 (Releases 12) ผู้เขียนเคยมีประสบการณ์การใช้โปรแกรมนี้ในช่วงที่ศึกษาอยู่ต่างประเทศจึงเห็น ประโยชน์ที่จะแนะนำนักเรียนนายเรือและผู้ที่สนใจเพื่อนำไปใช้กับคำสั่งและการเขียนโปรแกรม การทำงาน เนื่องจากวิชาที่เปิดสอนสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสามารถแสดงผลการทำงานของสมการต่าง ๆ ด้วยวิธีสร้างแบบจำลองจากโปรแกรมได้จึงเป็นการช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายขึ้น เนื้อหาจะเป็นการแนะนำ การใช้งานของคำสั่งที่จำเป็นในการคำนวณขั้นพื้นฐานที่สำคัญ จนกระทั่งถึงขั้นการเขียนโปรแกรม สำหรับการประมวลผล โดยจะเน้นวิชาการระบบควบคุมเสียเป็นส่วนใหญ่

## การเข้า และ การออกจากโปรแกรม

เมื่อติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จะเรียกโปรแกรมมาใช้งานสามารถกระทำได้โดยการคลิกเมาส์ ที่ไอคอนของ Matlab หรือที่ Matlab bar ในโปรแกรมไฟล์ก็จะเป็นการเข้าสู่โปรแกรม เมื่อเข้าไปใน โปรแกรมแล้วสักครู่จะมีสัญลักษณ์ที่เรียกว่า **prompt (>> หรือ EDU >>)** ปรากฏขึ้น แสดงว่าโปรแกรม พร้อมจะรับคำสั่งเพื่อทำงานทันทีที่มีการป้อนคำสั่ง สำหรับการออกจากโปรแกรมกระทำได้โดยการพิมพ์ คำสั่ง **quit** หรือ **exit** หรืออาจจะใช้วิธีการปิดโดยตรงที่เครื่องหมายกากบาทที่ขอบด้านบนขวามือ

## การใช้ help และ demo

การใช้คำสั่ง **demo** โปรแกรมจะแสดงตัวอย่างการใช้ Matlab tools เพื่อเป็นการแนะนำการ ใช้เครื่องมือรวมทั้งแบบจำลองต่าง ๆ ที่กำหนดให้ไว้ในโปรแกรมพร้อมการแสดงกราฟของวงจรมัน ๆ ด้วยการเปิดหน้าต่างใหม่

**>> demo**

การใช้คำสั่ง **help** เพื่อช่วยในการค้นหาความหมายของคำสั่งบางคำสั่งที่ไม่เข้าใจวิธีการใช้ หรือใช้คำสั่ง **helpdesk** จะเป็นการเข้าสู่หน้าต่างของวินโดวเพื่อค้นหาคำสั่งที่ต้องการต่อไป

>> **help** (จะปรากฏ tools box ของแต่ละระบบ)

>> **help** คำสั่งที่ต้องการค้นหา (จะปรากฏคำอธิบายคำสั่งนั้น)

>> **helpdesk** (เปิดหน้าวินโดวใหม่)

**การป้อนคำสั่ง**

การป้อนคำสั่งต่าง ๆ ของโปรแกรม ด้วยวิธีการพิมพ์คำสั่งหลังเครื่องหมาย Prompt ; >> เมื่อจบคำสั่งกด Enter จะเป็นการขึ้นบรรทัดใหม่ เพื่อแสดงผลหรือรอรับคำสั่งใหม่ต่อไป

การป้อนคำสั่งด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมจะใช้คำสั่ง **input** (ด้วยตัวพิมพ์เล็ก) รูปแบบของคำสั่ง **input** ('ใส่ความหมายของคำสั่งที่ต้องการให้แสดงผล : (เว้นช่องว่าง)') ความหมาย คือค่าที่ป้อนหรือค่าที่กำหนด จะถูกเก็บไว้ที่พารามิเตอร์ที่กำหนด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> M = input ('Enter the values for M in bracket:   ')

```

```
Enter the values for M in bracket: 2 (พิมพ์หมายเลข 2)

```

```
M = 2

```

**การแสดงผล**

การแสดงผลของโปรแกรม ปกติเมื่อกด Enter จะมีการประมวลผลการทำงานทันที แต่ถ้าต้องการให้แสดงผลของการเขียนโปรแกรมหรือกราฟจะต้องมีการใช้คำสั่ง ดังนี้

**disp** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการแสดงเกี่ยวกับกลุ่มค่าหรืออักษร รวมทั้งผลของค่าต่าง ๆ ที่เก็บไว้ในค่าของตัวแปร รูปแบบของคำสั่ง **disp** (ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าแล้ว) หรือ **disp** ('อักษรหรือข้อความที่ต้องการให้แสดง') ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> temp = 0:2:10;

```

```
>> disp( ' The number of temp is : ' ); disp( temp )

```

```
The number of temp is :

```

```
0 2 4 6 8 10

```

**fprintf** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการแสดงผลอีกแบบหนึ่งที่คล้ายกับคำสั่ง **disp** แต่สามารถควบคุมการแสดงผลได้ รูปแบบของคำสั่ง **fprintf** ('ตัวอักษรหรือข้อความที่ต้องการให้แสดง % รูปแบบการ



แสดงจำนวน (format) , ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าแล้ว) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> temp = 5
```

```
>> fprintf (' The number of temp is %s \n' , temp)
```

```
The number of temp is 5
```

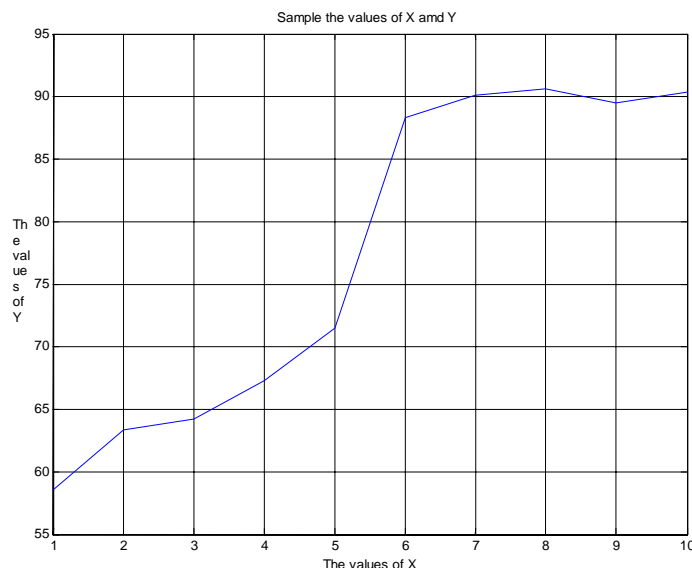
**plot** เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงผลในรูปแบบของกราฟที่สัมพันธ์กับแกน (X, Y) คำสั่งนี้จะมีคำสั่งที่ทำงานร่วมกันคือ **title** เป็นคำสั่งที่ใช้กำหนดความหมายของกราฟ และ **xlabel** กับ **ylabel** ใช้ในการกำหนดความหมายของแกน **x** และ **y** รูปแบบของคำสั่ง **plot** (พารามิเตอร์หรือ ตัวแปรของแกน **x**, พารามิเตอร์หรือตัวแปรของแกน **y** ), **title** ( ' ตัวอักษรหรือข้อความที่ต้องการให้แสดง ' ), **xlabel** กับ **ylabel** ( ' ตัวอักษรหรือข้อความที่ต้องการให้แสดง ' ), **grid** (เป็นคำสั่งการแสดงตารางของกราฟ) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> x = 1:1:10 ;
```

```
>> y = [ 58.5 63.4 64.2 67.3 71.5 88.3 90.1 90.6 89.5 90.4 ] ;
```

```
>> plot(x,y), title('Sample the values of X and Y')
```

```
>> xlabel('The values of X'),ylabel('The values of Y'),grid
```



## คำสั่งเกี่ยวกับจำนวน สเกลาร์ เวกเตอร์ และ เมตริกซ์ (Scalars, Vectors and Matrices)

Matlab จะแสดงจำนวนแบ่งออกเป็น ๓ แบบ คือ จำนวนสเกลาร์ (Scalar) จำนวนเวกเตอร์ (Vector) และ เมตริกซ์ (Matrices) รวมทั้งตัวอักษรที่ใช้กำหนดความหมายหรือขยายความ การป้อนคำสั่งก็พิมพ์หลังเครื่องหมาย prompt การเขียนคำสั่งเช่นเดียวกับการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```

>> A = 1.2      (สำหรับจำนวน สเกลลา)
A = 1.200
>> B = [1.5 3.1] (สำหรับจำนวนเวกเตอร์ระหว่างจำนวนต้องเว้นวรรค)
B = 1.5 3.1
>> C = [1,2,3 ; 4,5,6 ; 7,8,9]
C = 1 2 3
    4 5 6
    7 8 9
  
```

### การใช้ Semicolon ( ; ) และ Colon ( : )

**Semicolon ( ; )** ใช้ในการขึ้นบรรทัดใหม่เมื่อวางไว้ที่ท้ายบรรทัดนั้น ๆ แสดงว่าการทำงานของคำสั่งยังต่อเนื่องกับบรรทัดต่อไป โดยที่โปรแกรมยังไม่แสดงผล ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```

>> D = [1.5 3.1];
>> E = [3.0 4.5; D]
E = 3.0000 4.5000
    1.5000 3.1000
  
```

เมื่อนำไปใช้กับ เมตริกซ์ จะหมายถึงการเริ่มบรรทัดใหม่ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```

>> D = [3.0 4.5; 1.5 3.1]
D = 3.0000 4.5000
    1.5000 3.1000
  
```

**colon ( : )** ใช้ระหว่างจำนวนตัวเลขสองจำนวนจะแสดงค่าการเพิ่มของตัวเลขระหว่างสองจำนวนนั้นทีละหนึ่ง แต่ถ้าแบ่งระหว่างสามจำนวนจะเป็นการเพิ่มค่าระหว่าง จำนวนแรกกับจำนวนสุดท้าย โดยมีอัตราการเพิ่มเท่ากับจำนวนที่อยู่ระหว่างสองจำนวน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```

>> E = 1 : 3      (เพิ่มทีละหนึ่ง)
E = 1 2 3
>> F = 1 : 2 : 9  (เพิ่มทีละสอง)
F = 1 3 5 7 9
  
```

### การบวก ลบ คูณ หาร จำนวนสเกลลา เวกเตอร์ และ เมตริกซ์

เงื่อนไขในการบวก ลบ คูณ หาร จำนวนสเกลลา เวกเตอร์ และ เมตริกซ์ มีรายละเอียดดังนี้

ชนิด	รูปแบบ	Matlab
บวก	$a + b$	$a + b$
ลบ	$a - b$	$a - b$
คูณ	$a \times b$	$a * b$
หาร	$a / b$	$a / b$
เอ็กซ์โพเนนเชียล	$a^b$	$a ^ b$

ตั้งตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> a = 5; b = 5;
>> c = a + b      (การ บวก ลบ คูณ หาร เปลี่ยนเครื่องหมาย)
c      =      10
>> A = [ 2 5 6 ]; B = [ 2 ; 3 ; 5 ];
>> C = A * B
C      =      49
```

### การใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

โปรแกรม Matlab สามารถที่ใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทุกอย่าง สำหรับฟังก์ชันที่สำคัญมี ดังนี้

#### Mathematical Function

คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ทั่วไปมีดังนี้

<b>abs(x)</b> การหาค่า absolute ของค่า x	<b>sqrt(x)</b> การหาค่า square root ของค่า x
<b>rem(x,y)</b> การแสดงเศษของผลหารของ x กับ y	<b>exp(x)</b> การหาค่า exponential ของ x
<b>log(x)</b> การหาค่า natural logarithms ของ x ฐาน e	<b>log10(x)</b> การหาค่าของ $\log_{10} x$

#### Trigonometric และ Hyperbolic Functions

การใช้คำสั่งนี้มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ ค่าที่คำนวณได้จะมีค่าเป็นเชิงมุม (Radian angle) ดังนั้นการที่จะต้องการให้แสดงผลออกมาเป็น มุมองศา (Degree angle) ทำได้โดยการแทนค่าดังนี้

$$\text{มุมองศา} = \text{มุมเรเดียน} * (180 / \pi)$$

$$\text{มุมเรเดียน} = \text{มุมองศา} * (\pi / 180)$$

คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชัน มีดังนี้

<b>sin(x)</b> การหาค่าของ sine ของ x	<b>cos(x)</b> การหาค่าของ cosine ของ x
<b>tan(x)</b> การหาค่าของ tangent ของ x	<b>asin(x)</b> การหาค่าของ arcsine ของ x
<b>acos(x)</b> การหาค่าของ arccosine ของ x	<b>atan(x)</b> การหาค่าของ arctangent ของ x

**atan 2( y, x )** การหาค่าของส่วนกลับของ  $y / x$

**sinh(x)** การหาค่าของ hyperbolic sine ของ  $x$

**cosh(x)** การหาค่าของ hyperbolic cosine ของ  $x$

**tanh(x)** การหาค่าของ hyperbolic tangent ของ  $x$

**asinh(x)** การหาค่าของ inverse hyperbolic sine ของ  $x$

**acosh(x)** การหาค่าของ inverse hyperbolic cosine ของ  $x$

**atanh(x)** การหาค่าของ inverse hyperbolic tangent ของ  $x$

ส่วนฟังก์ชันอื่นที่นอกเหนือจากคำสั่งนี้สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\sec(x) = \frac{1}{\cos(x)} \quad ; \quad \csc(x) = \frac{1}{\sin(x)} \quad ; \quad \cot(x) = \frac{1}{\tan(x)}$$

$$\operatorname{arcsec}(x) = \arccos\left(\frac{1}{x}\right) \quad ; \quad \operatorname{arccsc}(x) = \arcsin\left(\frac{1}{x}\right) \quad ; \quad \operatorname{arccot}(x) = \arccos\left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)$$

$$\operatorname{coth}(x) = \frac{\cosh(x)}{\sinh(x)} \quad ; \quad \operatorname{sech}(x) = \frac{1}{\cosh(x)} \quad ; \quad \operatorname{csch}(x) = \frac{1}{\sinh(x)}$$

$$\operatorname{a coth}(x) = \ln \sqrt{\frac{x+1}{x-1}} \quad ; \quad \operatorname{a sech}(x) = \ln\left(\frac{1+\sqrt{1-x^2}}{x}\right) \quad ; \quad \operatorname{a csch}(x) = \ln\left(\frac{1}{x} + \frac{\sqrt{1+x^2}}{|x|}\right)$$

### ฟังก์ชันของจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number Functions)

สำหรับฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อน จะเขียนอยู่ในรูปแบบ คือ  $a \pm b * j$  หรือ  $a \pm b * i$  ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\gg X = 1 + 5 * i$$

$$X = 1.0000 + 5.000i$$

**ข้อควรระวัง** คือ ขณะที่ใช้ฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อนอยู่ จะต้องไม่มีการกำหนดตัวแปรอื่นเป็น  $i$  หรือ  $j$

คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันมีดังนี้

**conj(x)** การหาค่า Conjugate ของ  $X$  เช่น  $X = 1 + 5j$  ค่า Conjugate ของ  $X$  คือ

$$X = 1 - 5j$$

**real(x)** การแสดงค่าจำนวนจริงของจำนวนเชิงซ้อน เช่น  $X = 1 + 5j$  ค่า **real(X)** คือ 1

**imag(x)** การแสดงค่าจำนวนจินตภาพของจำนวนเชิงซ้อน เช่น  $X = 1 + 5j$  ค่า **imag(X)** คือ 5

**abs(x)** การแสดงขนาด (Magnitude) ของจำนวนเชิงซ้อน เช่น  $X = 1 + 5j$  ค่า **abs(X)** คือ 5.0990

**angle(x)** การแสดงค่ามุมของจำนวนเชิงซ้อน หรือ ใช้คำสั่ง

$$a \tan 2(\operatorname{imag}(x), \operatorname{real}(x))$$
 เป็นการแสดงค่าของ

มุมที่อยู่ระหว่าง  $\pi$  และ  $-\pi$

### Polynomial Function

ฟังก์ชันของตัวแปรเดียวที่มีรูปแบบดังนี้

$$f(x) = a_0x^N + a_1x^{N-1} + a_2x^{N-2} + \dots + a_{N-2}x^2 + a_{N-1}x^1 + a_N$$

การใช้คำสั่งเกี่ยวกับ โพลีโนเมียล จะนำเฉพาะสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของสมการมาเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ที่ เรียงลำดับจากอันดับสูงสุดไปถึงน้อยสุด ในการป้อนคำสั่งจะต้องมีการกำหนดค่าของ **X** ทุกครั้ง คำสั่งที่เกี่ยวกับฟังก์ชันมีดังนี้

**polyval( a,x )** การหาค่าโพลีโนเมียลของ **X** ที่กำหนด โดยการกำหนดสัมประสิทธิ์มาเขียนเวกเตอร์ เท่ากับ **a** ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> x = 5;
>> a = [1, 2, 3, 4];
>> f = polyval( a, x )
f = 194
```

### การบวกและลบ Polynomial Function

การบวกและลบ สมการที่เป็นโพลีโนเมียลสามารถกระทำได้ด้วยการนำเวกเตอร์สัมประสิทธิ์ของ ทั้งสองสมการที่มีขนาดเท่ากันมาทำการ บวกและลบ (ตัวที่ไม่มีค่าให้แทนด้วยศูนย์) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> a = [2, 4, 6, 0, 2];
>> b = [1, 3, -2, 4, 9];
>> c = a + b
c = 3 7 4 4 11
```

**conv( a,b )** การหาค่าผลคูณของโพลีโนเมียลสองจำนวนแสดงอยู่ในรูปของเวกเตอร์ สัมประสิทธิ์ อาจจะมีขนาดไม่เท่ากันก็ได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> a = [3, -5, 6, -2];
>> b = [1, 3, 0, -1, 0, 2.5];
>> g = conv( a,b )
g = [3, 4, -9, 13, -1, 1.5, -10.5, 15, -5]
(g(x) = 3x8 + 4x7 - 9x6 + 13x5 - x4 + 1.5x3 - 10.5x2 + 15x - 5)
```

**[ q,r ] = deconv( n,d )** การหาค่าผลหารของโพลีโนเมียลสองจำนวนแสดงอยู่ในรูปของ เวกเตอร์สัมประสิทธิ์ อาจจะมีขนาดไม่เท่ากันก็ได้ โดยที่ค่า **q** จะเป็นจำนวนจริง และ **r** เป็นเศษที่เหลือ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> g = [3, 4, -9, 13, -1, 1.5, -10.5, 15, -5];
>> b = [1, 3, 0, -1, 0, 2.5];
```

```
>> [q,r] = deconv( g,b )
q      = 3 -5 6 -2
r      = 0 0 0 0
```

**roots( a )** การหารากของสมการพหุนามในรูปแบบของเวกเตอร์สัมประสิทธิ์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> p = [1, -2, -3, 10] ;
>> r = roots( p )
r      = -2.0000    2.0000 + 1.0000i    2.0000 - 1.0000i
```

**poly( r )** การแปลงค่ารากของสมการให้อยู่ในรูปแบบของพหุนาม

```
>> a = poly( [-1, 1, 3] )
a      = 1 -3 -1 3
```

## การสร้างโปรแกรมใช้งานในโปรแกรม Matlab

การเขียนโปรแกรมที่ต้องให้มีการทำงานแบบกำหนดเงื่อนไขและแสดงความเป็นเหตุ – ผล คำสั่งที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

๑. คำสั่ง **if** เป็นคำสั่งที่แสดงเงื่อนไขในการทำงานเป็นเหตุ – ผล มีรูปแบบดังนี้

**if** การแสดงเงื่อนไขทางตรรกวิทยา (**logical expression**)

สถานการณ์ที่ต้องการให้กระทำ (**Statements**)

**end**

```
>> if g < 50
```

```
count = count + 1 ;
```

```
disp( g );
```

```
end
```

การทำงานของโปรแกรมนี้หมายความว่า ถ้า g มีค่าน้อยกว่า 50 ก็ให้ทำการบวกเพิ่ม 1 จนกว่าค่า g = 50 โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงานทันที

๒. คำสั่ง **else** และ **elseif** คำสั่งนี้จะใช้ร่วมกับคำสั่ง **if** เป็นการแสดงเงื่อนไขที่นอกเหนือจากที่กำหนดด้วย **if** โดยที่ **elseif** จะใช้กำหนดเงื่อนไขที่นอกเหนือจาก **if** ส่วน **else** จะแสดงเงื่อนไขสุดท้ายที่เหลือ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> if temperature > 100
```

```
disp('Too hot – equipment malfunctioning.')
```

```
elseif temperature > 90
```

```
disp('Normal operating range')
```

```
elseif temperature > 50
disp('Teperature below desired operating range.')
else
disp('Too cold – turn off equipment')
end
```

๓. คำสั่ง **for** ใช้ในการกำหนดการทำงานในลักษณะที่เป็นวงรอบจะทำซ้ำจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนด ส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับคำสั่ง **if** มีรูปแบบดังนี้ คือ

```
for ค่าเริ่มต้น : จุดประสงค์หรือเงื่อนไข
สถานภาพที่กำหนด
end
```

ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> for k = 1 : 10
if k < 10
k = k+1 ; disp(k) ;
else
disp ('ok')
end (สำหรับ if statement)
end (สำหรับ for statement)
```

๔. คำสั่ง **while** ใช้ในการกำหนดการทำงานในลักษณะที่เป็นวงรอบจะทำซ้ำจนกระทั่งเงื่อนไขที่กำหนดจะเป็นจริง มีรูปแบบดังนี้คือ

```
while จุดประสงค์หรือเงื่อนไข
สถานภาพที่กำหนด
end
```

### การใช้กับสมการเชิงเส้นตรง เวกเตอร์ และ เมตริกซ์

๑. การ transpose เมตริกซ์ เป็นการกลับ ตำแหน่งจากแถว (row) ให้เป็นสดมภ์ (column) หรือจาก สดมภ์ให้เป็นแถว เช่น กำหนดให้  $A = (i, j)$  เมื่อ transpose  $A'$  จะได้  $A = (j, i)$  ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
A = [1 2 3];
>> A'
ans 1
    2
    3
```

๒. การ dot product ของเวกเตอร์จำนวนสองเวกเตอร์จะได้ผลลัพธ์ดังสมการ dot product =  $A \cdot B = \sum_{i=1}^N a_i b_i$  สำหรับเมตริกส์จะเป็นการผลบวกของผลคูณในแต่ละสดมภ์ รูปแบบของคำสั่ง dot ( **A , B** ) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> A = [1 2 ; 3 4 ; 5 6];
>> B = [2 8 ; 7 5 ; 1 3];
>> dot ( A , B )
ans = 28 54
```

๓. การคูณเมตริกส์ ระหว่างสองเมตริกส์ ( เมตริกส์  $A$  กับ เมตริกส์  $B$  ) เป็นการนำ dot product ระหว่างแถวที่  $i$  ของเมตริกส์ตัวแรก กับ สดมภ์ที่  $j$  ของเมตริกส์ตัวสอง จะได้ผลดังสมการ  $c_{i,j} = \sum_{k=1}^N a_{i,k} b_{k,j}$  ข้อควรระวังคือค่า  $k$  ของเมตริกส์ทั้งสองจะต้องเท่ากัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> A = [2 5 1 ; 0 3 -1];
>> B = [1 0 2 ; -1 4 -2 ; 5 2 1];
>> C = A * B
C = 2 22 -5
-8 10 -7
```

4. เมตริกส์ยกกำลัง (Matrix Powers) เป็นการนำเมตริกส์นั้นๆ มาคูณซ้ำกันเท่ากับจำนวนกำลังที่กำหนด เช่น เมตริกส์  $A^3 = A * A * A$  เมตริกส์ที่สามารถยกกำลังได้จะต้องเป็นเมตริกส์จัตุรัสเท่านั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> A = [2 -5 1 ; 6 2 -1 ; 1 8 9];
>> A^3
ans = -106 229 131
-163 -223 12
690 463 642
```

๕. การ Inverse เมตริกส์ เป็นการหาส่วนกลับของเมตริกส์ เช่น กำหนดหา inverse ของเมตริกส์  $A = A^{-1}$  มีรูปแบบของคำสั่ง คือ  $inv(A)$  เมตริกส์ที่สามารถหา inverse ได้จะต้องเป็นเมตริกส์จัตุรัสเท่านั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> A = [1 -3 5 ; 4 -1 4 ; 2 3 7];
>> inv (A)
ans = -0.1712 0.3243 -0.0631
-0.1802 -0.0270 0.1441
0.1261 -0.0811 0.0991
```



๖. ค่า Determinants ของเมตริกซ์ สามารถใช้คำสั่งที่มีรูปแบบของคำสั่ง คือ  $\det(A)$  เมื่อกำหนดให้  $A$  เป็นเมตริกซ์ใด ๆ เมตริกซ์ที่หาค่า Determinants ได้นั้นจะต้องเป็นเมตริกซ์จัตุรัสเท่านั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้ Determinants ของเมตริกซ์

$$\gg A = [1 \ -3 \ 5; 4 \ -1 \ 4; 2 \ 3 \ 7];$$

$$\gg \det(A)$$

$$\text{ans} = 111$$

๗. การใช้เมตริกซ์แก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่มีหลายตัวแปร สำหรับสมการที่มีหลายตัวแปรจะใช้วิธีการจัดรูปแบบสมการให้เป็นเมตริกซ์ เช่น

$$3x + 2y - z = 10$$

$$-x + 3y + 2z = 5$$

$$x - y - z = -1$$

กำหนดให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ดังนี้ คือ  $AX = B$  เมื่อกำหนดให้

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 2 & -1 \\ -1 & 3 & 2 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 10 \\ 5 \\ -1 \end{bmatrix}$$

สำหรับคำตอบของตัวแปร คือ เมตริกซ์  $X$  จาก  $X = A^{-1}B$  มีรูปแบบของคำสั่ง คือ  $X = \text{inv}(A)*B$  ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\gg A = [3 \ 2 \ -1; -1 \ 3 \ 2; 1 \ -1 \ -1];$$

$$\gg B = [10; 5; -1];$$

$$\gg X = \text{inv}(A)*B$$

$$X = \begin{matrix} -2.0000 & (x = -2, y = 5, z = -6) \\ 5.0000 \\ -6.0000 \end{matrix}$$

การเขียนคำสั่งของสมการที่มีตัวแปรและการประมวลผลสมการ

การเขียนสมการที่มีตัวแปรและใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญเพื่อทำการแก้สมการเหล่านี้สามารถกระทำได้โดยจะกล่าวเป็นรายละเอียดดังนี้ คือ

๑. การแสดงสมการที่มีสัญลักษณ์ของตัวแปรอยู่ การเขียนสมการหรือฟังก์ชัน ลักษณะนี้จะต้องเขียนอยู่ในเครื่องหมายคำพูดที่มีรูปแบบ คือ 'สมการที่มีตัวแปร' ดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้ '  $\tan(y/x)$  ' '  $x^3-2x^2+3$  ' '  $3a*b-6$  ' เป็นต้น

๒. คำสั่งที่เกี่ยวกับการแยกตัวประกอบ

**symvar(S)** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบตัวแปรที่มีอยู่ในสมการของฟังก์ชัน **S** ดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

$$\gg S = '3 * a * b - 6';$$

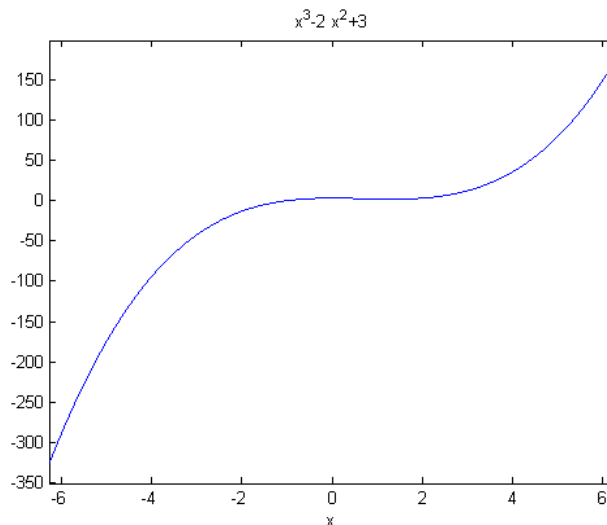
```
>> symvar(S)
```

```
ans = 'a' 'b'
```

**ezplot(S)** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการพล็อตฟังก์ชันใด ๆ ที่สมมติมีตัวแปรเดียวเปรียบเทียบกับ การแทนค่าตัวแปรในสมการ แต่ถ้าสมการมีสองตัวแปรจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าของทั้งสองตัวแปรนั้น แสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> S = 'x^3-2*x^2+3';
```

```
>> ezplot(S)
```



**collect(S)** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการรวบรวม สัมประสิทธิ์ของสมการ **S** ดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> S = '(x-3)^2+(y-4)^2';
```

```
>> collect(sym(S))
```

```
ans = x^2-6*x+9(y-4)^2
```

**factor(S)** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการแยกแฟคเตอร์ของสมการ **S** ดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> S = 'x^3-1';
```

```
>> factor(sym(S))
```

```
ans = (x-1)*(x^2+x+1)
```

**expand(S)** เป็นคำสั่งที่ใช้ในการขยายฟังก์ชัน **S** ดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

```
>> S = '(x-3)^2+(y-4)^2';
```

```
>> expand(sym(S))
```

```
ans = x^2-6*x+25+y^2-8*y
```

# ฟ้าผ่าและการป้องกัน (ตอนที่ ๑)

น.อ.เทอดศักดิ์ แก้วเที่ยง

กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์

## การเกิดฟ้าผ่า

มนุษย์คุ้นเคยกับไฟฟ้าแรงสูงในชีวิตประจำวันโดยไม่รู้ตัวมานานแล้วตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ นั่นก็คือไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นปรากฏการณ์ฟ้าผ่าตามธรรมชาติ อันเป็นผลจากการเกิดดีสชาร์จหรือการคายประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๑๐๐ เมกกะโวลท์ โดยเป็นไปตามหลักการเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์ในก๊าซ เพียงแต่ดีสชาร์จของฟ้าผ่าเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องมีอิเล็กโตรด การสะสมของประจุที่มีขั้วต่างกันเป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างกลุ่มประจุเหล่านั้น ถ้าประจุสะสมรวมกัน มีปริมาณมากขึ้น จะทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเกินค่าวิกฤติความคงทนของอากาศต่อแรงดันไฟฟ้า และจะส่งผลให้เกิดการดีสชาร์จของประจุขึ้น อันเป็นจุดเริ่มต้นของการนำไปสู่การเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์ขึ้น การเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์นี้อาจเกิดระหว่างก้อนเมฆซึ่งเรียกว่า ฟ้าแลบ หรือระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลก ซึ่งเรียกว่า ฟ้าผ่า

## ฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลง

ฟ้าผ่าพื้นโลก อาจจะเริ่มต้นจากก้อนเมฆในบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าวิกฤติ เกิดการแตกตัวของอนุภาคโมเลกุลในอากาศ แล้วขยายตัวออกไปเป็นลีดเดอร์วิ่งลงสู่พื้นโลก ทำให้เกิดการดีสชาร์จประจุลงสู่พื้นโลกเป็นลำฟ้าผ่าเรียกว่า ฟ้าผ่าลง

ฟ้าผ่าอาจจะมีต้นกำเนิดจากพื้นโลกไปสู่ก้อนเมฆ เรียกว่า ฟ้าผ่าขึ้น โดยมากลีดเดอร์จะเริ่มต้นก่อตัวจากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างสูง ๆ ในพื้นที่ราบจะเริ่มจากยอดที่สูงจากพื้นตั้งแต่ ๑๐๐ เมตรขึ้นไป เช่น ยอดเสาหรือหอคอยสูง ๆ หรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนยอดเขาสูง แต่กระแสฟ้าผ่าขึ้นจะมีค่าต่ำเป็นร้อย ๆ แอมแปร์เท่านั้น ส่วนมากที่สังเกตจะพบว่าฟ้าผ่าขึ้นมักจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากฟ้าผ่าลง โดยที่ลำฟ้าผ้านำประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้นโลกมากเกินไป จึงเกิดการย้อนกลับสู่ก้อนเมฆเป็นฟ้าผ่าขึ้น

ทั้งฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลงจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นและรวดเร็ว ไม่สามารถจะแยกได้ว่าเป็นฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง แต่อาจสังเกตดูจากลำแสงฟ้าผ่าซึ่งมีลักษณะของฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลงต่างกัน กล่าวคือ ถ้าเป็นฟ้าผ่าลงจะมีแขนงแตกจากลำฟ้าผ่ากระจายลงสู่พื้นโลก มีลักษณะคล้าย รากต้นไม้ ทั้งนี้เนื่องจากลีดเดอร์ที่กรุยทางลงมาจะขยายตัวลงมาหลาย ๆ ทางแล้วแต่ว่าทางใดจะเกิดการแตกตัวของอนุภาคโมเลกุลในอากาศได้ง่ายกว่ากัน ในทางตรงกันข้ามฟ้าผ่าขึ้นจะสังเกตเห็นการขยายตัวของแขนงขึ้นไปสู่เบื้องบน

## ชื่อของกระแสฟ้าผ่า

กระแสฟ้าผ่าเป็นกระแสที่ไหลทางเดียวอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ฉะนั้นชั้วบวกหรือลบจึงเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของฟ้าผ่า กระแสฟ้าผ่าบวกหมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุบวกจากก้อนเมฆดีสซาร์จลงสู่พื้นโลก กระแสฟ้าผ่าลบหมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุลบจากก้อนเมฆดีสซาร์จลงสู่พื้นโลก จากการบันทึกรวบรวมข้อมูลฟ้าผ่าพบว่าประมาณร้อยละ ๘๐ ของฟ้าผ่าสู่พื้นโลกเป็นฟ้าผ่าลบ ส่วนที่เหลือร้อยละ ๒๐ เป็นฟ้าผ่าบวก

## ขนาดกระแสฟ้าผ่า

ขนาดกระแสฟ้าผ่า หมายถึง ค่ายอดของรูปคลื่นฟ้าผ่า จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าเป็นฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลงและเป็นกระแสฟ้าผ่าบวกหรือกระแสฟ้าผ่าลบ จากการบันทึกข้อมูลฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานีวิจัยฟ้าผ่าบนยอดเขา SAN SALVATORE ที่อยู่ทางภาคใต้ของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พบว่ากระแสฟ้าผ่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ ๓๐ กิโลแอมป์ โดยที่กระแสฟ้าผ่าลบมีค่าสูงสุดถึง ๘๐ กิโลแอมป์ และกระแสฟ้าผ่าบวกมีค่าสูงสุดถึง ๒๗๐ กิโลแอมป์ แต่โอกาสที่กระแสฟ้าผ่าขนาดมากกว่า ๑๐๐ กิโลแอมป์ มีโอกาสเกิดขึ้นประมาณ ๖%และที่มากกว่า ๒๐๐ กิโลแอมป์มีโอกาสดังกล่าวเพียง ๐.๗% เท่านั้น

## จำนวนฟ้าผ่าต่อเนื่อง

ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟ้าผ่าก็คือจำนวนฟ้าผ่าซ้ำซ้อนในแต่ละครั้ง เมื่อลำฟ้าผ่าวิ่งไปตามแนวที่เกิดการแตกตัวของอากาศระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน เนื่องจากกระแสมีค่าสูงมาก และไหลอยู่เป็นเวลานาน เช่น เมื่อผ่าลงมาแล้ว ๑๐ มิลลิวินาที แต่ยังคงมีกระแสไหลอยู่ ๒๐๐ - ๓๐๐ แอมป์ หรือแม้ว่ากระแสจะหยุดไหลไปแล้ว ๑๐ - ๑๐๐ มิลลิวินาทีก็ตาม แต่อากาศในแนวที่ลำฟ้าผ่าวิ่งผ่านลงมานั้นยังไม่คืนตัวเป็นฉนวนได้ทันที จึงเป็นเหตุให้ประจุในก้อนเมฆที่เกิดขึ้นใหม่สามารถคายประจุติดต่อกันได้อีกเรียกว่า ฟ้าผ่าตาม ซึ่งอาจเกิดซ้ำซ้อนได้หลายครั้ง ฟ้าผ่าตามนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีแขนง จากการบันทึกข้อมูลฟ้าผ่าของการผ่าซ้ำซ้อนหลาย ๆ ครั้งพบว่าประมาณร้อยละ ๓๐ - ๖๐ เป็นการผ่าซ้ำซ้อน ๒ ครั้งร้อยละ ๒๐ เป็นการผ่าซ้ำซ้อน ๕ ครั้งและการผ่าซ้ำซ้อนอาจผ่าซ้ำได้ถึง ๔๐ ครั้ง

## ผลของฟ้าผ่า

ผลของฟ้าผ่า ก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตราย แยกออกเป็น ๓ ประเภทคือ

๑. ผลทางความร้อน
๒. แรงบิดและแรงระเบิด
๓. ผลทางไฟฟ้า

**๑. ผลทางความร้อน** ในขณะที่เกิดฟ้าผ่า จะสังเกตเห็นลำแสงที่เรียกว่า ลำฟ้าผ่า ซึ่งจะเกิดประจุจากการไอออนไนเซชันในอากาศโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นสิบ ๆ เมตร ที่ใจกลางของลำฟ้าผ่ามีลำแคบ ๆ แสงจ้า เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นเซนติเมตรและมีอุณหภูมิสูงถึง  $30,000^{\circ} \text{K}$  อุณหภูมิสูงมากเช่นนี้ย่อมทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ จากผลการวิเคราะห์ความร้อนเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าแสดงให้เห็นว่า เมื่อฟ้าผ่าลงสิ่งที่มีความต้านทานสูง ๆ เช่น ต้นไม้หรือกำแพงปูน ความร้อนซึ่ง เกิดจากกระแสมากเช่นนี้ทำให้ต้นไม้หรือกำแพงปูนเหล่านั้นแตกหักหรือระเบิดได้ ในกรณีที่ฟ้าผ่าลงบนวัสดุฉนวน กระแสฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ความชื้นที่มีอยู่ภายในจะเปลี่ยนเป็นไอที่มีความดันทำให้เกิดการระเบิดได้ เช่นกัน

**๒. แรงบิดและแรงระเบิด** ผลของฟ้าผ่า นอกจากจะเกิดความร้อนแล้ว ยังทำให้เกิดแรงบิดได้อีก เช่นเมื่อกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านตัวนำในระบบส่งจ่ายโดยกระแสไหลในทิศทางเดียวกันจะทำให้เกิดแรงดูดกันระหว่างตัวนำทั้งสอง และจะเกิดแรงผลักกันเมื่อกระแสไหลสวนทางกันทำให้สายส่งแกว่งได้ แรงบิดที่เกิดขึ้นนี้เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับกระแสยกกำลังสอง แต่เป็นปฏิกิริยากลับกับระยะห่างระหว่างสายนำทั้งสอง ส่วนแรงระเบิดสามารถเกิดได้เช่น ลำฟ้าผ่าที่มีอุณหภูมิสูงมากถึง  $30,000^{\circ} \text{K}$  หรือมากกว่า ทำให้อากาศรอบ ๆ ลำฟ้าพ้านั้นเกิดการขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดคลื่นความดันในย่านความเร็วเหนือเสียงแผ่กระจายออกไปรอบลำฟ้าผ่า เกิดเสียงดังสนั่นหวั่นไหวที่เราเรียกว่า เสียงฟ้าผ่า หรือได้ยินเสียงมาแต่ไกล เรียกว่า ฟาร็อง นั้นเอง

**๓. ผลทางไฟฟ้า** ผลจากฟ้าผ่าซึ่งมีผลทางไฟฟ้านั้น นอกจากก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร หรือเกิดความเสียหายแก่เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวสูงต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะอันเนื่องมาจากค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำ และจากค่าความต้านทานของดินที่กระแสฟ้าผ่าวิ่งผ่าน

ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะนี้อาจสูงมากพอที่จะทำให้เกิดการสปาร์คด้านข้างได้ ถ้าค่าความต้านทานของดินหรือค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำมีค่าสูง และมีสิ่งที่เป็นโลหะหรือสิ่งมีชีวิตอยู่ใกล้บริเวณนั้น เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบฟาราเดย์ ประกอบด้วย สายอากาศล่อฟ้า สายนำ ลงดิน และรากสายดิน ถ้าหากรากสายดินในระบบป้องกันฟ้าผ่าผุร่อนหรือขาดออกจากกัน และถ้าเราไปยืนในบริเวณนั้น ขณะเกิดฟ้าผ่าจะเกิดการสปาร์คด้านข้างเข้าหาตัวเราก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต ทางกลับกันถ้าระบบป้องกันฟ้าผ่าดังกล่าวนี้สมบูรณ์ไม่ผุร่อนหรือขาดออกจากกัน จะเป็นพื้นที่ปลอดภัยแห่งหนึ่ง

ถ้าหากฟ้าผ่าลงบนสายดินซึ่งอยู่เหนือสายไฟในระบบส่งจ่ายและที่ฐานเสาโครงเหล็กมีค่าความต้านทานสูง จะทำให้เสาโครงเหล็กมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าในสายไฟในระบบส่งจ่าย จึงเป็นเหตุให้เกิดการราวไฟตามผิวของพวงลูกถ้วยที่ยึดสายไฟนั้นได้ ทำให้กระทบกระเทือนต่อเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

ถ้าหากฟ้าผ่าลงบนสายส่งไฟฟ้ากำลัง จะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันสูงเป็นคลื่นจรวิ่งไปตามสายส่ง และค่าแรงดันสูงนี้เมื่อวิ่งมาถึงจุดที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลง อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกร

จนวนของหม้อแปลงนั้นได้ ถ้าหากระบบป้องกันของหม้อแปลงไม่มีหรือไม่ทำงาน

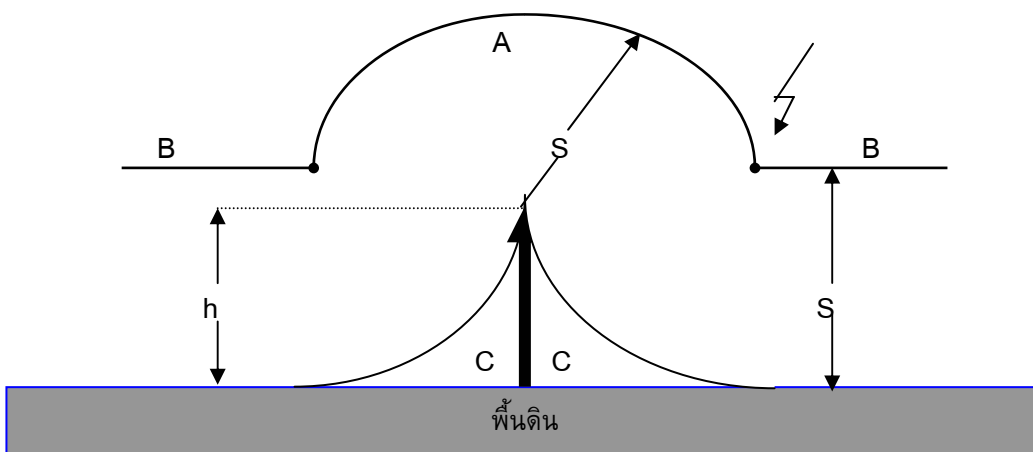
## หลักการฟ้าผ่าลงที่ใด

ดั่งที่ทราบแล้วว่าลำฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่ลีดเดอร์นำทางด้วยการเกิดการแตกตัวของอากาศ และลีดเดอร์เคลื่อนที่เป็นจังหวะก้าวเข้าใกล้พื้นโลกในทิศทางที่เคลื่อนที่ได้สะดวกที่สุด จนมาถึงระยะหนึ่ง ใกล้พื้นโลกจะทำให้เกิดสตรีมเมอร์ จากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างบนพื้นโลกมีแนวและทิศทางเข้าหา ลีดเดอร์ที่วิ่งลงมา เป็นการชักจูงหรือล่อให้ลีดเดอร์วิ่งเข้าหา ระยะช่วงสุดท้ายที่ลีดเดอร์ถูกล่อหรือชักจูงด้วยรูปลักษณะของวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนพื้นโลก จนทำให้เกิดฟ้าผ่าลง ณ จุดนั้น ระยะ ดังกล่าว เรียกว่า ระยะฟ้าผ่า

ระยะฟ้าผ่า เป็นระยะช่วงสุดท้ายของลีดเดอร์ที่จะวิ่งเข้าหาวัตถุที่อยู่ใกล้ที่สุด จากสถิติของการบันทึกภาพ พบว่า ระยะฟ้าผ่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๑๕๐ เมตร โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ ๕๐ เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่านั้นเอง ถ้าปริมาณประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีค่ามาก ระยะฟ้าผ่าก็จะไกล ในทำนองเดียวกัน ถ้าปริมาณประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีค่าน้อย ระยะฟ้าผ่าก็จะใกล้

## ย่านปลอดภัยจากฟ้าผ่า

ย่านปลอดภัยจากฟ้าผ่า หมายถึง บริเวณที่ปลอดภัยจากฟ้าผ่า ย่านดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้เสาหรือสายล่อฟ้าเป็นตัวรับฟ้าผ่า แล้วให้กระแสฟ้าผ่าวิ่งลงสู่ดินตามสายนำลงดิน แผ่กระจายหายไป ในดินโดยผ่านทางรากสายดิน เมื่อพิจารณาถึงกลไกการเกิดฟ้าผ่าแล้ว จะเห็นว่ารูปร่างของวัตถุที่อยู่ติดดินไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลีดเดอร์ในการล่อให้ฟ้า จนกว่าลีดเดอร์จะเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในช่วงระยะฟ้าผ่า เมื่อลีดเดอร์วิ่งมาถึงจุดนี้แล้วฟ้าจะผ่าลงสู่จุดที่อยู่ใกล้ลีดเดอร์ที่สุด

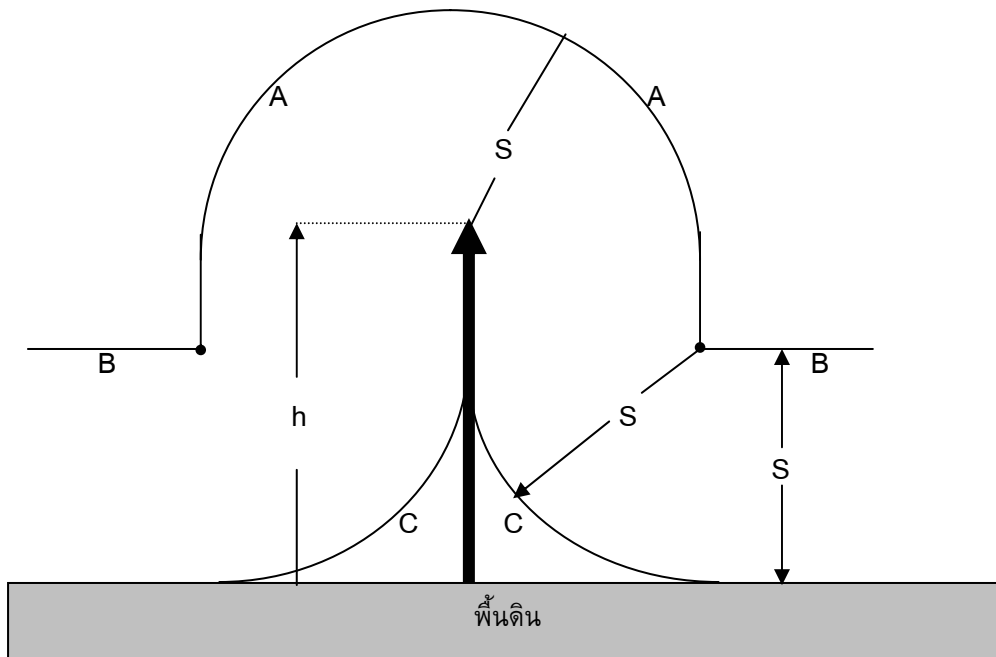


กรณี  $h < S$  ลีตเตอร์ของฟ้าผ่าจะเคลื่อนที่ทะลวงลงมาโดยตรงหรือทำมุมกับเสาหล่อฟ้าได้ถึงพื้นที่โค้ง A ฟ้าจะผ่าลงยอดเสาหล่อฟ้า แต่ถ้าลีตเตอร์เคลื่อนที่เข้ามาทางด้านข้าง คือแนวพื้นที่ B ฟ้าจะผ่าลงพื้นดิน ฉะนั้นย่านปลอดภัยคือบริเวณที่ได้จากการหมุนเส้นโค้งไฮเปอร์โบลารอบแกนเสาหล่อฟ้า คือพื้นที่ C นั่นเอง

$h$  = ความสูงของเสาหล่อฟ้า

$S$  = ระยะฟ้าผ่า

$C$  = ย่านปลอดภัย



กรณี  $h > S$  เช่นเสาอากาศส่งวิทยุ ทีวี ย่านปลอดภัยจะได้จากการหมุนเส้นโค้งไฮเปอร์โบลารอบแกนเสาหล่อฟ้าคือพื้นที่ C นั่นเอง จากรูปจะแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่ฟ้าจะผ่าเข้าด้านข้างเสาหล่อฟ้าจะเป็นไปได้

$h$  = ความสูงของเสาหล่อฟ้า

$S$  = ระยะฟ้าผ่า

$C$  = ย่านปลอดภัย

## เอกสารอ้างอิง

๑. Naidu, M. & Kamaraju, V, High Voltage Engineering, Tata Mc Graw Hill
๒. Khalifa, M., High Voltage Engineering, Mareel Dekker, New York
๓. ดร. สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

# สถิติเพื่อการวิจัย (ตอนจบ)

น.อ.หญิง ยุวดี เปรมาวิชัย  
กองวิชาบริหารงานวิเคราะห์

สถิติเพื่อการวิจัยทั้งสองตอน ที่นำเสนอไปแล้วนั้น เป็นความหมายของการวิจัย และ สิ่งจำเป็น  
ขั้นแรกเริ่มของการวิจัย ได้แก่ การกำหนดประชากรที่จะศึกษา และการเลือกขนาด ตัวอย่างที่จะนำมา  
ศึกษาแทนประชากร ซึ่งเป็นสองขั้นตอนแรกของระเบียบวิธีทางสถิติ ที่มีด้วยกันทั้งหมด ๔ ขั้นตอน  
ตามที่ผู้เขียนได้กล่าวไว้ใน สถิติเพื่อการวิจัย (ตอนที่ ๑) ในตอนนี้ผู้เขียนจะขอเสนอวิธีการทางสถิติ  
ที่นำไปสู่ขั้นตอน การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการตีความหมายจากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็น  
สองขั้นตอนสุดท้ายของระเบียบวิธีทางสถิติ และเป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดของการวิจัยเพราะหากขาดไปก็จะ  
ทำให้งานที่ท่านทำการศึกษาอยู่เป็นเพียงรายงาน (report) เท่านั้น มิใช่งานวิจัย (research) เต็มรูปแบบ  
ตามที่ท่านมุ่งหมาย อย่างไรก็ตามงานวิจัยก็มีหลายประเภทหากเป็นงานวิจัยเอกสาร (Document Research)  
ก็จะมีวิธีการทางสถิติเลย แต่การวิจัยที่มีการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ทางเกษตรศาสตร์ หรือทาง  
สังคมศาสตร์ จำเป็นต้องมีวิธีการทางสถิติเสมอ วิธีการทางสถิติจึงเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิจัยควร  
ทำการศึกษาให้เข้าใจเพื่อเลือกใช้วิธีการให้เหมาะกับงานวิจัยแต่ละงาน เพราะบางครั้งถ้าข้อมูลเป็น  
แบบตัวอักษรเช่น การถูก การผิด การชอบ การไม่ชอบ ลำดับ ตำแหน่ง เหล่านี้เราจะใช้วิธีการแตกต่างกัน  
ออกไปที่เรียกว่า การทดสอบแบบนอนพาราเมตริกซ์ (Non-Parametric Test) ซึ่งจะยังไม่กล่าวใน  
ที่นี่ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะงานวิจัยที่มีข้อมูลเป็นแบบตัวเลข (Parametric Test) โดยข้อมูลอาจได้มาจาก  
ข้อมูลดิบ หรือแบบสอบถาม ผู้วิจัยจะต้องมีความรู้พื้นฐานเบื้องต้นในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อ  
การวิเคราะห์ทางสถิติบ้างแล้ว เช่น โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นและสถิติขั้นสูง  
หรือ โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถเตรียม  
ข้อมูลเข้า (Data Entry) ที่ถูกต้องพร้อมใช้งานสำหรับแต่ละโปรแกรมที่ท่านเลือกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์  
ครั้งนี้เรียบร้อยแล้ว การเลือกวิธีการทางสถิติเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลให้เหมาะสมนั้น สามารถแยกออก  
ได้ตามประเภทของกลุ่มเป้าหมายในการศึกษาของผู้วิจัย คือ กรณีประชากรกลุ่มเดียว และกรณีประชากร  
ตั้งแต่ ๒ กลุ่มขึ้นไป ดังนี้

## ๑. กรณีประชากรกลุ่มเดียว

หมายถึงกรณีที่ผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลตัวอย่าง ที่เป็นข้อมูลซึ่งได้มาจากประชากรเพียง  
กลุ่มเดียว ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งเป้าหมายไว้แล้วตั้งแต่เริ่มลงมือทำการวิจัยแล้วว่าจะศึกษาข้อมูลจากประชากร  
เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น ปัญหาที่ผู้วิจัยพบคือไม่รู้จะเลือกวิธีการทางสถิติอะไรมาทดสอบ ผู้เขียนจึง  
ขอเสนอว่า หากท่านทำการวิจัยประชากร ๑ กลุ่ม แล้ว วิธีการทางสถิติที่นิยมมีเพียง ๒ วิธีเท่านั้น วิธีแรก



คือ การทดสอบเกี่ยวกับการประมาณค่า (Estimation) พารามิเตอร์ ได้แก่ การประมาณค่าเฉลี่ย (Mean) การประมาณค่าสัดส่วน (Proportion) ของประชากร ด้วยค่าของตัวอย่าง และวิธีที่ ๒ คือ การทดสอบแบบ Pair Observations เป็นการศึกษาความแตกต่างก่อนและหลังการทดลองใด ๆ ของประชากรกลุ่มเดียวกัน เช่นกรณีศึกษาดังนี้

(๑) ทำการวิจัยประดิษฐ์รถสำหรับหุ่นแรงในการยกของที่หนักมากในเรือสินค้า พบว่าการใช้รถนี้ต้องสังเกตเครื่องมือวัดความเร็วของเชือกด้วย เฉลี่ยแล้วต้องมีความเร็วเชือกไม่เกิน ๑๒ เมตรต่อวินาที เพื่อเป็นการยืนยันความจริงนี้ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลโดยใช้รถที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ยกของน้ำหนักต่าง ๆ กัน แล้วสุ่มจดบันทึกข้อมูลความเร็วของเชือกที่ปรากฏบนเครื่องมือวัดความเร็วของเชือก แล้วนำข้อมูลนั้นไปทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ว่าค่าเฉลี่ยของความเร็วของเชือกมีค่าไม่เกิน ๑๒ เมตรต่อวินาที จริงหรือไม่ กรณีนี้ ประชากรมีกลุ่มเดียวคือ ความเร็วของเชือก โดยต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรว่า เป็น ๑๒ เมตรต่อวินาที วิธีการทางสถิติที่ถูกนำมาใช้คือการทดสอบการประมาณค่าเฉลี่ย (Mean)

(๒) กองกำลังพลแห่งหนึ่ง ต้องการปรับระเบียบการลาออกของข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศ ว่าเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วควรกลับมารับราชการอย่างน้อยตั้งแต่ ๑๐ ปีขึ้นไป จึงสมควรอนุญาตให้ลาออกจากราชการโดยไม่ต้องขอใช้ค่าปรับ เพื่อยืนยันว่าระยะเวลา ๑๐ ปีนี้เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะกำหนดไว้เป็นระเบียบ เพราะข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศส่วนใหญ่มักจะลาออกเร็วกว่า ๑๐ ปี ส่วนหลังจากรับราชการมาแล้ว ๑๐ ปี มักจะไม่ลาออกแล้ว จึงทำการวิจัยโดยศึกษาข้อมูลอายุการทำงานก่อนที่จะลาออกของข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศ กรณีนี้ประชากรมีกลุ่มเดียวคือ ข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศแล้วลาออก และกำลังศึกษาเกี่ยวกับอายุการทำงานก่อนที่จะลาออกของข้าราชการเหล่านี้ โดยต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรว่า น้อยกว่า ๑๐ ปี วิธีการทางสถิติที่ถูกนำมาใช้คือการทดสอบการประมาณค่าเฉลี่ย (Mean)

(๓) บริษัทรับจัดทำโฆษณาสินค้าชิ้นหนึ่งต้องการศึกษาผลของการโฆษณาสินค้านี้ในรายการโทรทัศน์ว่าทำให้ผู้นิยมบริโภคสินค้านี้มากขึ้นหรือไม่ จึงทำการศึกษาความนิยมจากแบบสอบถามที่จัดทำให้ผู้ทดสอบกลุ่มหนึ่งแสดงความคิดเห็นในสินค้านี้ ก่อนดูโฆษณา และหลังจากดูโฆษณาแล้วนำมาเปรียบเทียบความนิยมกันโดยใช้ผู้ทดสอบกลุ่มเดิม กรณีนี้ประชากรมีกลุ่มเดียว คือ ระดับความคิดเห็นของผู้ทดสอบกลุ่มนั้นจากแบบสอบถาม โดยต้องการศึกษาว่าคนกลุ่มนี้มีระดับความคิดเห็นก่อนและหลังชมโฆษณาแตกต่างกันหรือไม่ วิธีการทางสถิติที่ควรใช้คือการทดสอบแบบ Pair Observations

ดังนั้นจะเห็นว่า หากท่านทำการวิจัยประชากร ๑ กลุ่ม แล้วจะทดสอบเพียง ๒ วิธีการนี้เท่านั้น และแต่ละวิธีการมีสมมติฐาน วิธีการคำนวณค่าสถิติ และการใช้คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนี้

### ๑.๑ วิธีการทดสอบเกี่ยวกับการประมาณค่าเฉลี่ย (Mean, $\mu$ ) ค่าสัดส่วน (proportion, p)

เป็นวิธีการทดสอบว่าค่าต่าง ๆ ของประชากรกลุ่มหนึ่งที่กำลังศึกษาอยู่ว่า มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า หรือ น้อยกว่า ค่าที่เราเชื่ออยู่หรือไม่ ซึ่งในความเป็นจริงเราจะหาค่านั้นจากการคำนวณไม่ได้เพราะประชากรอาจมีขนาดใหญ่มาก เช่น ช่วงอายุเฉลี่ยของยุ้งตัวเมีย เป็นต้น ต้องใช้วิธีเลือกตัว

อย่างซึ่งจะมีขนาดเล็กพอที่สามารถหาค่าได้ แล้วเก็บข้อมูลมาทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ต้องการนั้น แต่ถ้านำไปใช้อ้างอิงเลยก็จะเชื่อถือไม่ได้ จึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเสียก่อนว่าเชื่อถือได้หรือไม่ ถ้าเชื่อถือได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะนำค่านั้นไปใช้ได้ ค่าที่นิยมทดสอบส่วนใหญ่คือ ค่าเฉลี่ย (Mean,  $\mu$ ) และค่าสัดส่วน (proportion,  $p$ )

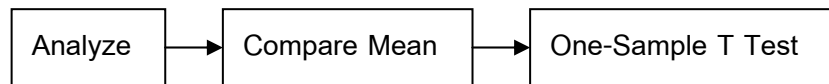
#### ๑.๑.๑ การทดสอบการประมาณค่าเฉลี่ย ( mean, $\mu$ )

สมมติฐาน  $H_0$  :  $\mu = \mu_0$  หรือ  $\mu \geq \mu_0$  หรือ  $\mu \leq \mu_0$

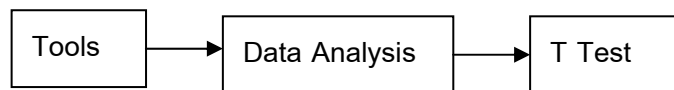
$H_1$  :  $\mu \neq \mu_0$  หรือ  $\mu < \mu_0$  หรือ  $\mu > \mu_0$

ค่าสถิติ t - test หรือ Z - test

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel คือ



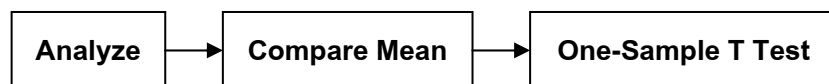
#### ๑.๑.๒ การทดสอบการประมาณค่าสัดส่วน (proportion, $p$ )

สมมติฐาน  $H_0$  :  $p = p_0$  หรือ  $p \geq p_0$  หรือ  $p \leq p_0$

$H_1$  :  $p \neq p_0$  หรือ  $p < p_0$  หรือ  $p > p_0$

ค่าสถิติ t - test หรือ Z - test

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel คือ



กรณีศึกษา (๒) กองกำลังพลแห่งหนึ่ง ต้องการปรับระเบียบการลาออกของข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศ ว่าเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วควรกลับมารับราชการอย่างน้อยตั้งแต่ ๑๐ ปีขึ้นไป จึงสมควรอนุญาตให้ลาออกจากราชการโดยไม่ต้องชดใช้ค่าปรับ เพราะเชื่อว่าส่วนใหญ่มักลาออกก่อนครบ

๑๐ ปี จึงควรตั้งระเบียบไว้เพื่อกันผู้ที่ต้องการลาออกก่อน ๑๐ ปี เพื่อยืนยันว่าระยะเวลา ๑๐ ปีนี้เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะกำหนดไว้เป็นระเบียบ จึงเก็บข้อมูลอายุการทำงานก่อนที่จะลาออกของข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศ จำนวน ๑๖ คน ดังนี้

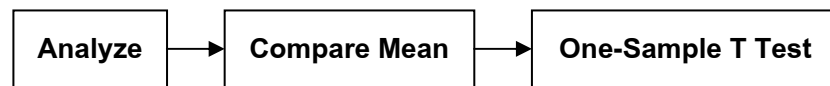
๕      ๙      ๗      ๑๑      ๑๑      ๘      ๓      ๗  
๖      ๘      ๖      ๔      ๘      ๒      ๕      ๖

กำหนดระดับความเชื่อมั่น ๙๕% ( $\alpha = .๐๕$ )

สมมติฐาน  $H_0$  :  $\mu \leq ๑๐$

$H_1$  :  $\mu > ๑๐$

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



ได้ผลลัพธ์ (Output) ดังตารางที่ ๑

### ตารางที่ ๑

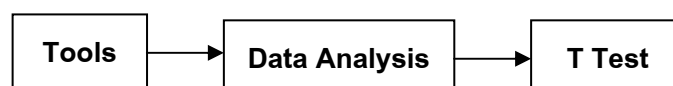
One-Sample Test

	Test Value = 10 T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
VAR00001	-5.288	15	.000	-3.38	-4.74	-2.01

ในที่นี้ VAR00001 = อายุการทำงานก่อนที่จะลาออกของข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศ มีจำนวนข้อมูล ๑๖ ตัว และเนื่องจากเรามี  $H_1 : \mu > ๑๐$  เป็นปลายขวา บริเวณที่จะปฏิเสธสมมติฐานจึงต้องได้ค่า t เป็นบวก และ ค่าครึ่งหนึ่งของค่า Sig. (2-tailed) ที่ปรากฏใน output ต้องน้อยกว่า  $\alpha$  ที่เรากำหนดเป็น  $= .05$  ข้างต้น

ดังนั้นการแปลผลการวิเคราะห์ตามตารางซึ่งให้ ผลลัพธ์ค่า t เป็นลบ ( -5.288 ) ค่าครึ่งหนึ่งของค่า Sig. (2-tailed) เป็น .000 จึง หมายถึง ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานว่า  $\mu \leq ๑๐$  ได้ แสดงว่า เป็นความจริงที่ข้าราชการที่สำเร็จการศึกษาจากต่างประเทศจะลาออกก่อนครบ ๑๐ ปี ด้วยระดับความเชื่อมั่น ๙๕%

หรือถ้าใช้คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel คือ



ได้ผลลัพธ์( Output ) ดังตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒

t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	6.625	10
Variance	6.5166667	0
Observations	16	16
Pearson Correlation	#DIV/0!	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	15	
t Stat	<b>-5.28836</b>	
P(T<=t) one-tail	<b>4.552E-05</b>	
t Critical one-tail	1.753051	
P(T<=t) two-tail	9.104E-05	
t Critical two-tail	2.1314509	

จะเห็นว่าได้ค่า t จากการคำนวณเท่ากับ คือ  $-5.288$  และค่า p-value ของ one-tail คือ  $4.552E-05$  หรือ  $.000$  เท่ากับการคำนวณโดยโปรแกรม SPSS จึงสรุปได้ผลเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

**๑.๒ การทดสอบแบบ Pair Observations**

เป็นการทดสอบทางสถิติที่ข้อมูลได้มาจากประชากรเดียวกัน แต่สนใจที่จะเปรียบเทียบค่า ๒ ค่า จากประชากรนั้น ความแตกต่างของค่าที่กำลังสนใจนั้นย่อมแฝงลักษณะที่สัมพันธ์กันอยู่ เพราะเป็นประชากรชุดเดียวกัน หรืออาจทดสอบกับประชากร ๒ กลุ่มก็ได้ สนใจที่จะเปรียบเทียบค่าใดค่าหนึ่งของประชากร แต่ประชากรต้องมีความสัมพันธ์กัน (Dependent) คือเหมือนกัน หรือ คล้ายกันมากที่สุด เวลาเลือกตัวอย่างก็จะเลือกขึ้นมา ๒ กลุ่มแต่ละกลุ่มมาจากแต่ละประชากรแล้วนำมาทดสอบเรียกว่า การเลือกแบบจับคู่หรือ เลือกตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระกัน เช่นกรณีศึกษา ดังนี้ วงการแพทย์ต้องการทดสอบว่า ยาชนิดหนึ่งมีผลทำให้ความดันโลหิตลดลงหรือไม่ ทำการศึกษาโดยเลือกคนไข้แบบสุ่มมา แล้ววัดความดันโลหิตก่อนทานยา แล้วให้ยาไปทาน หลังจากนั้น ๖ เดือนก็เรียกคนไข้มา

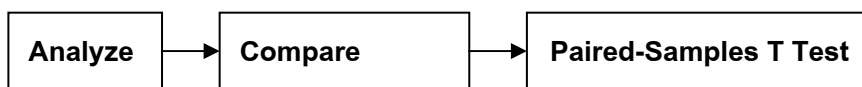
วัดความดันโลหิตอีก เป็นต้น การทดสอบแบบนี้จึงเรียก Pair Observations

สมมติฐาน  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  , หรือ  $\mu_1 - \mu_2 \geq 0$  หรือ  $\mu_1 - \mu_2 \leq 0$

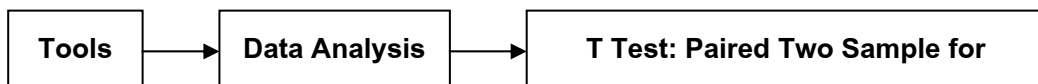
$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$  , หรือ  $\mu_1 - \mu_2 < 0$  หรือ  $\mu_1 - \mu_2 > 0$

ค่าสถิติ t – test หรือ Z – test

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป Excel คือ



## ๒. กรณีประชากรตั้งแต่ ๒ กลุ่มขึ้นไป

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติของประชากรตั้งแต่ ๒ กลุ่มขึ้นไปมีหลายวิธีขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการวิจัยว่าลึกซึ้ง ซับซ้อนเพียงใด ถ้ามีความซับซ้อนมากก็มีสถิติขั้นสูง เช่น Factor Analysis, Discriminant Function หากเป็นสถิติเบื้องต้นก็จะมีทดสอบเช่น Analysis of Variance (ANOVA), Regression, Correlation, Chi - Square เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะตัวแปรที่กำลังศึกษาอยู่ว่ามีสภาพอย่างไร ในงานวิจัยขั้นพื้นฐานส่วนใหญ่หากกำลังศึกษาประชากรตั้งแต่ ๒ กลุ่มขึ้นไปมักทำการวิเคราะห์เบื้องต้น คือ การหาความแตกต่างระหว่างประชากรกลุ่มต่าง ๆ นี้ว่าเหมือนกันหรือแตกต่างกัน เรียกว่าการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของประชากร (Analysis of Variance : ANOVA) และอีกวิธีหนึ่งคือการศึกษาว่าประชากรหลายกลุ่มนั้นมีบางลักษณะที่สัมพันธ์กันหรือไม่ เรียกว่า การทดสอบ Chi - Square วิธีการโดยสรุป ดังนี้

### ๒.๑ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของประชากร (Analysis of Variance : ANOVA)

เป็นการศึกษาลักษณะ (Factor) ของประชากร ตั้งแต่ ๒ กลุ่ม (Group) ขึ้นไป ว่ามีความเหมือนกันหรือแตกต่างกัน โดยประชากรที่ศึกษานั้นต้องเป็นอิสระกัน วิธีการศึกษาใช้เลือกกลุ่มตัวอย่างที่มาจากแต่ละประชากร นำมาทดสอบว่ามีความแปรปรวน (Variance :  $\sigma^2$ ) เท่ากันหรือต่างกัน ความเท่ากันหรือต่างกันนี้จะสังเกตจาก **ตัวเลขอัตราส่วน** ระหว่างความแปรปรวนภายในกลุ่ม กับความแปรปรวนระหว่างกลุ่มหากมีค่าเข้าใกล้ ๑ แสดงว่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน หากมีค่าน้อยหรือมากเกินไป แสดงว่าความแปรปรวนแตกต่างกัน ตัวเลขอัตราส่วน นั้นใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ F

วิธีการนี้จึงเรียก F-Test เช่น ศึกษาว่า เพศชายและเพศหญิงมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการชมฟุตบอลแตกต่างกันหรือไม่ แสดงว่าประชากรมี ๒ กลุ่ม เพศชายและเพศหญิง ลักษณะที่ศึกษาคือ ความคิดเห็นเกี่ยวกับการชมฟุตบอล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ANOVA ก็มีรายละเอียดที่ซับซ้อนขึ้น เมื่อลักษณะหรือ Factor นั้นซับซ้อนขึ้นตามประเภทข้อมูล ในที่นี้ขอเสนอเฉพาะพื้นฐานของ ANOVA หรือ One-Way ANOVA เท่านั้น

สมมติฐาน  $H_0$  : ลักษณะของประชากรไม่แตกต่างกัน

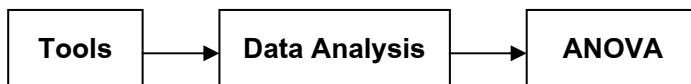
$H_1$  : ลักษณะของประชากรแตกต่างกัน

ค่าสถิติ F – test

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel คือ



**กรณีศึกษา** เครื่องบรรจุอาหารกระป๋องถูกนำเสนอเพื่อจำหน่ายให้โรงงานผลิตอาหารกระป๋องแห่งหนึ่ง โดยบริษัทจำหน่ายนำเครื่องบรรจุอาหารกระป๋องมาเสนอขาย ๓ ผลิตภัณฑ์ ต่างกันด้วย ราคา และรูปแบบ ฝ่ายผลิตของโรงงานผลิตอาหารกระป๋องต้องการเครื่องที่ให้ความเร็วสูงเพื่อผลทางการตลาด แต่ฝ่ายการเงินบอกว่าถ้าเครื่องที่ความเร็วสูงราคาสูงเกินไปไม่ควรซื้อเพราะจากความเร็วที่บริษัทโฆษณา คือ ทั้ง ๓ เครื่อง มีความเร็วเฉลี่ย ๒๔.๙๓, ๒๒.๖๑ และ ๒๐.๕๙ วินาที ต่อการบรรจุ ๑ กระป๋องแตกต่างกันน้อยมากเรียกได้ว่าไม่แตกต่างกันควรซื้อเครื่องราคาปานกลางจะเหมาะสมกว่า บริษัทจึงตัดสินใจด้วยการทดสอบว่าความเร็วในการบรรจุอาหารว่าแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยการเก็บข้อมูลความเร็วในการบรรจุจากเครื่องบรรจุอาหารกระป๋อง ๓ เครื่องจาก ๓ ผลิตภัณฑ์ เป็นตัวเลข เครื่องละ ๕ ตัวเลขรวมเป็น ๑๕ ค่า แล้วใช้การทดสอบ ANOVA ตั้งสมมติฐานว่า ๓ เครื่องนี้ไม่แตกต่างกัน ถึงค่าความเร็วของเครื่องที่มีราคาสูงเพราะโฆษณาว่าเร็วมากก็ตาม แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ปรากฏผลดังนี้

## ตารางที่ ๓

## ANOVA

## MACHINE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	47.164	2	23.582	25.602	.000
Within Groups	11.053	12	.921		
Total	58.217	14			

สรุปผลการวิเคราะห์โดยดูจากค่า Sig. ซึ่งคือค่า p-value = .000 ซึ่งน้อยกว่า  $\alpha$  แนนอน จึงต้อง ปฏิเสธสมมติฐานว่า ๓ เครื่อง นี้ไม่แตกต่างกัน ยอมรับว่าความเร็วของเครื่องแตกต่างกัน ดังนั้นฝ่ายการเงินต้องยอมให้ฝ่ายผลิตซื้อเครื่องที่มีราคาแพงเพราะให้ความเร็วสูงกว่ากันจริง

## ๒.๒ การทดสอบ Chi-Square

เป็นการทดสอบประชากรตั้งแต่ ๒ กลุ่มขึ้นไป ข้อมูลจะอยู่ในรูปตาราง โดยต้องการทดสอบความสัมพันธ์ทาง row และ col ว่าสัมพันธ์กันหรือไม่ มีหลายรูปแบบของการทดสอบ Chi-Square และจะเรียกชื่อการทดสอบแตกต่างกันไปตามประเภทของข้อมูล เช่น Independent Test, Goodness of Fit Test, Test of Homogeneity การทดสอบที่นิยมมากที่สุด คือการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของลักษณะตั้งแต่ ๒ ลักษณะว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ หรือเรียก Independent Test วิธีการโดยสรุปดังนี้

## ๒.๒.๑ Independent Test

สมมติฐาน  $H_0$  : ลักษณะทั้งสองลักษณะไม่สัมพันธ์กัน (Independent)

$H_1$  : ลักษณะทั้งสองลักษณะมีความสัมพันธ์กัน

ค่าสถิติ  $\chi^2$

คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS คือ



แล้วเลือก คำสั่งย่อย Statistics และ Chi-square ตามลำดับ

ส่วนคำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel ไม่มีให้ แต่ทุกท่านสามารถสร้างสูตรคำนวณจากตารางคำนวณได้โดยตรง โดยดูจากสูตร  $\chi^2$  **กรณีศึกษา** ในการจัดเวรยามรักษาความปลอดภัยของบริษัทยามในหมู่บ้านแห่งหนึ่ง ผู้จัดได้นำข้อมูลปีก่อนที่เก็บรวบรวมไว้ว่าเวลาใดที่เกิดเหตุการณ์ไม่เรียบร้อยทั้งกรณี เล็กน้อย และกรณีร้ายแรง ของแต่ละช่วงเวลามาพิจารณาเพื่อจะจัดเพิ่มเวรยามให้มากขึ้นเฉพาะช่วงเวลาที่เป็น เพราะถ้าเพิ่มไม่เหมาะสมก็สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ขณะเดียวกันก็เห็นว่าการเกิดเหตุการณ์ไม่เรียบร้อยนั้นคาดล่วงหน้าไม่ได้เพิ่มเวรยามไปก็อาจเสียเปล่าก็ได้ เวลาแต่ละผลัดกับจำนวนเหตุการณ์ที่ไม่เรียบร้อยไม่น่าเกี่ยวข้องกัน ข้อมูลปีก่อนที่เก็บรวบรวมไว้ ดังนี้

เหตุการณ์ไม่ เรียบร้อย	ผลัด-เวลา		
	๐๘๐๐ - ๑๖๐๐	๑๖๐๐ - ๒๔๐๐	๒๔๐๐ - ๐๘๐๐
เล็กน้อย	๑๓๐	๙๕	๔๘
กรณีร้ายแรง	๕๐	๓๕	๑๒
รวม	๑๗๐	๑๓๐	๖๐

สมมติฐาน  $H_0$  : เวลาแต่ละผลัดกับจำนวนเหตุการณ์ที่ไม่เรียบร้อยไม่เกี่ยวข้องกัน / ไม่สัมพันธ์กัน

เมื่อนำข้อมูลไปใช้ คำสั่งในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ได้ output ดังนี้

ตารางที่ ๔

TYPE \* TIME Crosstabulation

Count		TIME			Total
		๑	๒	๓	
TYPE	๑	๑๓๐	๙๕	๔๘	๒๗๓
	๒	๕๐	๓๕	๑๒	๙๗
Total		๑๗๐	๑๓๐	๖๐	๓๖๐



## Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	1.145	2	.564
Likelihood Ratio	1.157	2	.561
Linear-by-Linear Association	.056	1	.814
N of Valid Cases	360		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 14.50.

สรุปผลการวิเคราะห์โดยดูจากค่าครึ่งหนึ่งของ Asymp. Sig. (2-sided) หรือ p-value ในบรรทัดแรกคือ Pearson Chi-Square ปรากฏว่าได้  $= 0.564/2 = 0.282$  ซึ่งมากกว่า  $\alpha$  แน่นนอน จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่าเวลาแต่ละผลัดกับจำนวนเหตุการณ์ที่ไม่เรียบริ้อยไม่เกี่ยวข้องกัน หรือไม่มีความสัมพันธ์กันดังนั้นการจัดเวรยามเพิ่มก็ไม่เกิดประโยชน์

ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเป็นการนำเสนอสถิติเพื่อการวิจัยสำหรับผู้สนใจงานวิจัย แต่มีพื้นฐานทางสถิติเพียงเล็กน้อย ให้ได้เข้าใจความหมายและวิธีการทางสถิติเพื่อใช้ในการวิจัยเบื้องต้น ตลอดจนให้ผู้สนใจทำงานวิจัยมีความมั่นใจในการเลือกใช้วิธีการทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลว่า การที่ท่านจะเลือกใช้วิธีการอย่างไรนั้นสำคัญที่จำนวนกลุ่มของประชากรของท่านว่ามีจำนวนกี่กลุ่ม หากท่านผู้อ่านสนใจวิธีการทางสถิติอื่นๆ หรือมีข้อเสนอแนะประการใดเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติ สามารถติดต่อผู้เขียนได้ที่ กองบริหารงานวิเคราะห์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ หรือ e-mail : [youwadee@navy.mi.th](mailto:youwadee@navy.mi.th)

## เอกสารอ้างอิง

๑. กัลยา วานิชย์บัญชา การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Windows, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ๒๕๕๒.
๒. มัลลิกา บุนนาค สถิติเพื่อการตัดสินใจ, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ๒๕๓๙.
๓. วิเชียร เกตุสงฆ์,ดร. คู่มือการวิจัย : การวิจัยเชิงปฏิบัติ, โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช ๒๕๔๑.
๔. Mark L.Berenson /David M.Levine . Business Statistics. Prentice-Hall,Inc. U.S.A. 1998.

# ความรู้กฎหมายสิ่งแวดล้อม :

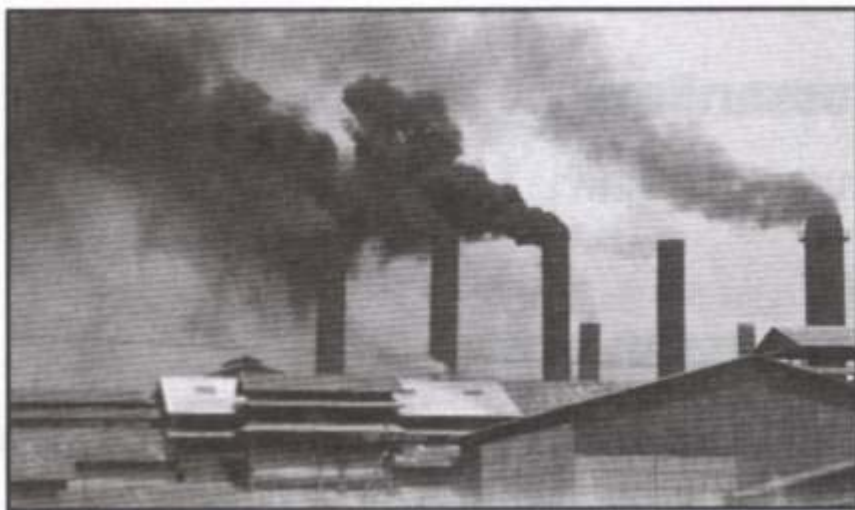
## การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

### (ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT)

น.อ.สพสุข ลีละบุตร

รองผู้อำนวยการกองวิชาฟิสิกส์และเคมี

ปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยในปัจจุบันทวีความรุนแรงขึ้น ทั้งปัญหาทรัพยากรธรรมชาติที่ลดน้อยลง ปัญหามลพิษที่มีผลกระทบต่อ ดิน น้ำ อากาศ ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคน ทั้งในเมืองหลวงและชนบท ดังเช่น ปัญหาขยะล้นเมือง ปัญหาน้ำเน่าเสีย อากาศเป็นพิษซึ่งเกิดจากปริมาณฝุ่นละออง คาร์บอนจากโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหาจากการวางท่อแก๊ส และปัญหาการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้จากข่าวสารต่าง ๆ ที่มีการต่อต้านของประชาชนในท้องถิ่นมากขึ้น รัฐบาลพยายามหามาตรการต่าง ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นรวมทั้งมาตรการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งระบบการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT : EIA) เป็นมาตรการหนึ่งที่น่ามาใช้



ระบบ EIA ตามร่างกฎหมายของสหรัฐอเมริกา The American National Policy Act : 1980 ได้ให้ความหมายว่า การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นระบบของกรรมวิธี ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย

๑. การนำเสนอวัตถุประสงค์ของการพัฒนาอันอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
๒. การนำเสนอสภาพแวดล้อมในปัจจุบันที่ได้รับผลกระทบ
๓. การประเมินความเป็นไปได้ของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น
๔. การออกข้อกำหนดเพื่อรักษาสภาพแวดล้อม
๕. การเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม
๖. การจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อลดผลกระทบ

## ความเป็นมาของ EIA

การศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เริ่มต้นมีในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ๒๕๑๒ ได้มีกฎหมายทางด้านสิ่งแวดล้อม (The Nation Environmental Policy Act : NEPA) วัตถุประสงค์หลักของกฎหมายฉบับนี้ คือ เพื่อปกป้องรักษาทรัพยากรสิ่งแวดล้อมมิให้ถูกทำลายโดยมนุษย์และจัดตั้งสภาทางด้านสิ่งแวดล้อม เรียกว่า Council on Environmental Quality (CEQ) เป็นองค์กรหลักในการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม

## ความเป็นมาของ EIA ในประเทศไทย

นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย เริ่มมีในรัฐธรรมนูญ พ.ศ. ๒๕๑๗ เป็นครั้งแรก เป็นผลสืบเนื่องมาจากความเคลื่อนไหวและการตื่นตัวของนานาชาติ ที่เริ่มตระหนักถึงภัยอันตรายต่อมนุษยชาติอันเกิดจากปัญหาความเสื่อมโทรมของธรรมชาติ การร่อยหรอลงไปอย่างรวดเร็วของทรัพยากรธรรมชาติ และสถานะเน่าเสียของดิน น้ำ อากาศ ซึ่งสภาพความรุนแรงของปัญหาปรากฏเด่นชัดในภูมิภาคหลายส่วนของโลก โดยเฉพาะประเทศไทยในระหว่างปี พ.ศ. ๒๕๑๓ และ พ.ศ. ๒๕๑๕ สมัยนั้นเกิดปัญหาน้ำเน่าเสียในแม่น้ำแม่กลองอย่างรุนแรง สาเหตุมาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายที่ตั้งอยู่สองฝากฝั่งได้ปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ โดยมีได้มีการบำบัด ทำให้เกิดความตระหนักถึงสภาพปัญหาและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อความเป็นอยู่ที่ดี และสุขภาพอนามัยของประชาชน จึงเห็นความจำเป็นที่จะต้องกำหนดนโยบายและการจัดการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์ธรรมชาติอย่างถูกต้องและเหมาะสม ได้ถูกกำหนดไว้เป็นนโยบายแห่งชาติอันเกี่ยวกับผลประโยชน์ที่สำคัญของชาติอย่างหนึ่ง ดังในมาตรา ๗๗ กล่าวว่า “ รัฐพึงบำรุงรักษาความสมดุลของสภาพแวดล้อม และความงามทางธรรมชาติ รวมทั้งป่าไม้ ต้นน้ำลำธาร และน่านน้ำ” และมาตรา ๘๗ กล่าวว่า “รัฐพึงบำรุงรักษาสิ่งแวดล้อมให้สะอาดและพึงขจัดสิ่งเป็นพิษ ซึ่งทำลายสุขภาพและอนามัยของประชาชน”

ในสมัยรัฐบาล นายสัญญา ธรรมศักดิ์ เป็นนายกรัฐมนตรี ได้มีการประกาศใช้กฎหมายสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นทางการฉบับแรก คือพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๑๘ ต่อมาในปี พ.ศ. ๒๕๓๕ สมัยรัฐบาลนายอานันท์ ปันยารชุน ได้มีการปรับปรุงพัฒนาระบบ EIA ทางด้านกฎหมายสิ่งแวดล้อม และได้ประกาศออกมาเป็นพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ โดยส่วนของการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมอยู่ในหมวดที่ ๓ ส่วนที่ ๔ ตั้งแต่มาตรา ๔๖ ถึงมาตรา ๕๑

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นเสมือนเครื่องมือที่จะช่วยในการวางแผนและตัดสินใจเพื่อการคุ้มครองและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม จากการพัฒนาโครงการหรือกิจกรรมที่กำลังจะเกิดขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าการอนุมัติหรือการเห็นชอบในโครงการหรือกิจการ ได้กระทำบนรากฐานของการได้รับรู้ถึงผลที่อาจจะเกิดจากโครงการหรือกิจกรรมนั้นๆ ต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยได้เตรียมมาตรการควบคุมป้องกันและแก้ไขไว้เป็นการรองรับ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

การพัฒนาโครงการหรือกิจการต่าง ๆ ไม่ว่าขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ย่อมต้องมีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งทางบวกและทางลบไม่มากก็น้อย ซึ่งการจะบังคับให้โครงการหรือกิจการทุกประเภททุกขนาด ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นย่อมเป็นไปได้ยาก ดังนั้นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการคุ้มครองและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม) ซึ่งมีการประเมินประเภทและขนาดของโครงการหรือกิจการที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อกำหนดให้ต้องมีการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาตรา ๔๔ ถึงมาตรา ๕๑ ใน พรบ.สิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๓๕ และประกาศเพิ่มเติมประเภทและขนาดของโครงการหรือกิจการที่ต้องวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพราะลักษณะของการพัฒนาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต มีการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลา และอาจจะมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม (ตามตารางท้ายบท)

## กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมมีหลายฉบับ ไม่ว่าจะเป็นกฎหมายว่าด้วยการอนุรักษ์ธรรมชาติ กฎหมายว่าด้วยการสำรวจและใช้ทรัพยากร กฎหมายว่าด้วยการใช้ประโยชน์ดินและน้ำ และกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งกฎหมายแต่ละฉบับจะมีวัตถุประสงค์และข้อกำหนดที่แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม นอกจาก พรบ.สิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๓๕ แล้ว ยังต้องมีการนำกฎหมายอื่น ๆ มาร่วมวิเคราะห์ด้วยเพื่อมิให้เกิดความขัดแย้งกันเอง โดยที่กฎหมายแต่ละฉบับยังให้สิทธิแก่หน่วยราชการสามารถออกข้อกำหนดในรูปของประกาศ ประกาศกระทรวงฯ และอื่น ๆ ซึ่งผู้วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องทราบ และสามารถนำมาวิเคราะห์อย่างถูกต้อง

กฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของสิ่งแวดล้อมของประเทศ รวมทั้งการควบคุมผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโครงการพัฒนาต่าง ๆ เช่น

- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๗ (พ.ศ. ๒๕๓๗) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๘ (พ.ศ. ๒๕๓๗) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง การคิดคำนวณพื้นที่ใช้สอย จำนวนอาคารและจำนวนห้องของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ ความถี่ และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำ
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำท่าจีน
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำแม่กลอง
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทของแหล่งน้ำในแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๑๒ (พ.ศ. ๒๕๒๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๑๒ เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๒๖) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน
- ประกาศกรมเจ้าท่า ที่ ๒๑๓/๒๕๓๗ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร
- ประกาศกรมเจ้าท่า ที่ ๒๑๓/๒๕๓๗ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

**ประเภทและขนาดของโครงการหรือกิจการที่จะต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์  
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประกาศ ณ วันที่ ๒๔ สิงหาคม ๒๕๓๕**

ลำดับที่	ประเภทโครงการหรือกิจการ	ขนาด
๑.	เขื่อนเก็บกักน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ	ที่มีปริมาตรเก็บกักน้ำ ตั้งแต่ ๑๐๐,๐๐๐,๐๐๐ ลูกบาศก์เมตร ขึ้นไปหรือมีพื้นที่เก็บน้ำตั้งแต่ ๑๕ ตารางกิโลเมตรขึ้นไป

ลำดับที่	ประเภทโครงการหรือกิจการ	ขนาด
๒.	การชลประทาน	มีพื้นที่การชลประทานตั้งแต่ ๘๐,๐๐๐ ไร่ขึ้นไป ทุกขนาด
๓.	สนามบินพาณิชย์	ทุกขนาด
๔.	โรงแรมหรือสถานที่พักตากอากาศ ที่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำ ฝั่งทะเล ทะเลสาบหรือชายหาด หรือที่อยู่ใกล้หรือในอุทยานแห่งชาติ ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ทุกขนาดที่มีจำนวนห้องพักตั้งแต่ ๘๐ ห้องขึ้นไป
๕.	ระบบทางพิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการทางพิเศษหรือโครงการที่มีลักษณะเช่นเดียวกับทางพิเศษ หรือระบบขนส่งมวลชนที่ใช้ราง	ทุกขนาด
๖.	การทำเหมืองตามกฎหมายว่าด้วยแร่	ทุกขนาด
๗.	นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรมหรือโครงการที่มีลักษณะเช่นเดียวกับนิคมอุตสาหกรรม	ทุกขนาด
๘.	ท่าเรือพาณิชย์	ที่สามารถรองรับเรือขนาดตั้งแต่ ๕๐๐ ตันกรอส ขึ้นไป
๙.	โรงไฟฟ้าพลังความร้อน	ที่มีกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ ๑๐ เมกกะวัตต์ ขึ้นไป
๑๐.	การอุตสาหกรรม (๑) อุตสาหกรรมปิโตรเคมี (๒) อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (๓) อุตสาหกรรมแยกหรือแปรสภาพก๊าซธรรมชาติ (๔) อุตสาหกรรมคลอ-แอลคาไลน์ (Chlor-alkaline industry) (๕) อุตสาหกรรมเหล็ก และ/หรือ เหล็กกล้าที่ใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นวัตถุดิบในการผลิตโซเดียมคาร์บอเนต (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	ที่ใช้วัตถุดิบซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และ/หรือการแยกก๊าซธรรมชาติในการผลิตตั้งแต่ ๑๐๐ ตันต่อวัน ขึ้นไป  ที่มีกำลังผลิตสารแต่ละชนิดหรือรวมกันตั้งแต่ ๑๐๐ ตัน ต่อวัน ขึ้นไป  ที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ ๑๐๐ ตัน ต่อวัน ขึ้นไป (กำลังผลิตให้คำนวณโดยใช้กำลังผลิตของเตาเป็นตัวต่อชั่วโมงคูณด้วย ๒๔ ชั่วโมง

ลำดับที่	ประเภทโครงการหรือกิจการ	ขนาด
๑๑.	<p>กรดไฮโดรคลอริก (HCl) คลอรีน (Cl<sub>2</sub>)</p> <p>โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl)</p> <p>ปูนคลอรีน (Bleaching power)</p> <p>(๖) อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์</p> <p>(๗) อุตสาหกรรมถลุงแร่หรือหลอมโลหะซึ่งไม่ใช่อุตสาหกรรมเหล็กหรือเหล็กกล้า</p> <p>(๘) อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ</p> <p>โครงการทุกประเภทที่อยู่ในพื้นที่ที่คณะกรรมการได้มีมติเห็นชอบกำหนดให้เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น ๑ บี</p>	<p>ทุกขนาด</p> <p>ที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ ๕๐ ตัน ต่อวัน ขึ้นไป</p> <p>ที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ ๕๐ ตัน ต่อวัน ขึ้นไป</p> <p>ทุกขนาด</p>

### เอกสารอ้างอิง

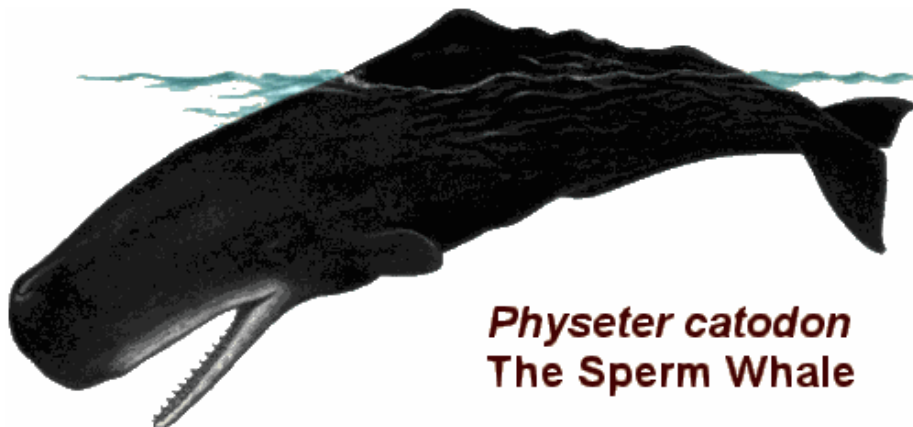
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. คู่มือกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับประชาชนรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ กองส่งเสริมและเผยแพร่ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ๒๕๔๒.
- ทวิวงศ์ ศรีบุรี การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม, บริษัท มายด์ พับลิชชิ่ง จำกัด ๒๕๔๑.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม “พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ และกฎหมายเกี่ยวข้อง” ๒๕๓๗
- Clark, B.D., A. Gilard, R. Sisret and T. Tomlison, “ Perspectives on Environmental Impact Assessment” .D. Reidel Publishing Company, 1984

# เรื่องของปลาวาฬสเปิร์ม

ร.ศ.หญิงกนกกร วีระประจักษ์  
กองวิชาภททนายและสังคมศาสตร์

เมื่อครั้งที่ผู้เขียนยังเป็นเด็กนักเรียนชั้นสามัญจำได้ว่าอาจารย์ที่สอนวิชาสังคมบอกว่าปลีสติกที่เราใช้ทาปากนั้นทำมาจากซี่ปลาวาฬ ผู้เขียนก็นำความรู้ที่ได้มาถ่ายทอดไปยังน้องๆ ไม่มีใครเชื่อ ตกลงเรื่องนี้กลายเป็นเรื่องตลกอยู่นาน ทำเอาผู้เขียนหมดความมั่นใจในตัวเอง (และอาจารย์สอนสังคม) ไปมากเลยทีเดียว

กระทั่งมีโอกาสสนทนากับอาจารย์สอนประวัติศาสตร์จากประเทศออสเตรเลีย ท่านพูดถึงเรื่องการล่าปลาวาฬโดยเฉพาะปลาวาฬที่ชื่อว่า สเปิร์ม (Sperm Whale) ที่มีทั้งรูปร่างและคุณสมบัติโดดเด่นแตกต่างจากปลาวาฬอื่นจนกระทั่งกลายเป็นภัยทำร้ายตัวเอง

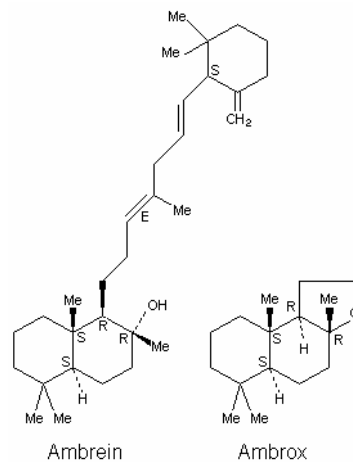


ปลาวาฬสเปิร์ม หรือ ปลาวาฬ cachalots ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Physeter catodon* L. มีลักษณะเด่นจำได้ง่ายคือมีหัวตัดตรงจนดูเหมือนสี่เหลี่ยม หากใครได้ดูภาพยนตร์เรื่อง Moby Dick ที่สร้างจากบทประพันธ์ของ Herman Melville เกี่ยวกับการล่าปลาวาฬก็คงคุ้นตากับปลาวาฬชนิดนี้ ปลาวาฬชนิดนี้เองเป็นที่มาของซี่ปลาวาฬ (ambergris) ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำเครื่องสำอางและน้ำมันในสมอง (spermaceti หรือ sperm oil) ของมันใช้ทำยาและเทียนไข

หากเปิดพจนานุกรมอังกฤษไทยของ สอ. เศรษฐบุตร หน้า ๒๒ แถวแรกจะเห็นคำศัพท์ ๒ คำสุดท้ายที่อยู่ติดกัน คำแรกคือ amber แปลว่า อำพัน หรือ สีเหลืองอย่างอำพัน อีกคำคือ ambergris แปลว่าซี่ปลาวาฬใช้ทำน้ำหอม จึงสงสัยว่าอำพันมาเกี่ยวอะไรกับซี่ปลาวาฬ แล้วทำไมซี่ปลาวาฬจึงหอมขนาดเอามาทำเป็นน้ำหอม อำพันมีกลิ่นหอมหรือ



สมัยโบราณชาวตะวันตกเชื่อว่าขี้ปลาวาพเกิดจากปลาวาพกลืนน้ำสีดำจากแม่น้ำสีดำแถบตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปแอฟริกา ชาวตะวันออกกลางแถบเปอร์เซีย (อิหร่านในปัจจุบัน) เรียกขี้ปลาวาพว่า อันบาร์ (anbar) แต่เมื่อแพร่หลายไปยังยุโรปชาวฝรั่งเศสสืบสนจึงเรียกขี้ปลาวาพว่า อำพันเทา (ambre gris) เพื่อจะแยกความแตกต่างกับอำพันเหลือง (ทอง) (ambre jaune) ซึ่งเป็นอำพันปรัสเซีย ที่เป็นอำพันแท้มีสีเหลือง สิ่งที่เหมือนกันของอำพันทั้งสองอย่างคือ หายาก ราคาแพง และมาจากแถบชายทะเล



ปัจจุบันนี้มีการศึกษาวิจัยกันว่าขี้ปลาวาพนั้นเป็นก้อนไขมันมีเจดสีตั้งแต่สีเทาไปจนถึงสีดำมีลายสีส้มหรือสีขาวคล้ายหินอ่อนที่พบเฉพาะในลำไส้ของปลาวาพสเปอร์ม มีส่วนประกอบของคอเรสเตอรอลและไขมัน ๘๐% กรดเบนโซอิก และแอลกอฮอล์เชิงซ้อนซึ่งทำให้เกิดกลิ่น (ambrein) ปลาวาพชนิดนี้กินสัตว์น้ำประเภทปลาหมึกเป็นอาหารหลัก วิธีกินของปลาวาพไม่มีการเคี้ยวให้ละเอียดเหมือนอย่างสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่เป็นวิธีการกลืนไปทั้งตัวแล้วไปย่อยสลายในกระเพาะ แต่คอเรสเตอรอลของปลาหมึกนั้นหาได้ย่อยสลายได้โดยง่ายประกอบกับปลาหมึกมีปากแข็ง ๆ ระบายเนื้อเยื่อ คอเรสเตอรอลจึงไปสะสมอยู่ในบริเวณลำไส้เพื่อห่อหุ้มปากปลาหมึกเกิดเป็นก้อนไขมัน เมื่อพบบริเวณลำไส้คนจึงเรียกว่าขี้ปลาวาพ

ขี้ปลาวาพเมื่อยังอยู่ในท้องหาได้มีกลิ่นหอมพุ่งจรัใจ แต่มีกลิ่นเหม็นและมีลักษณะเป็นก้อนสีดำนิ่ม ๆ เมื่อนำออกมาจากตัวปลาวาพและทำปฏิกิริยากับสายลมและแสงแดดแล้วก็จะแข็งตัวและมีกลิ่นหอมว่ากันว่าหากใช้ขี้ปลาวาพผสมในน้ำหอมแล้วกลิ่นจะติดทนนานเป็นเดือน ในตะวันตกจึงใช้ผสมหัวน้ำหอม (Perfume) น้ำมันหอม (essential oil) และ น้ำหอม (fragrance) ในขณะที่ชาวตะวันออกอย่างจีนหรือญี่ปุ่นใช้เป็นเครื่องเทศผสมในอาหารและไวน์

เมื่อเป็นของล้ำค่าเช่นนี้ คนจึงเริ่มเสาะแสวงหา วิธีการได้มามีอยู่สองวิธี วิธีแรกไปเดินเก็บตามชายหาดหรือกลางทะเล เหตุด้วยปลาวาพได้สำรอกออกมาลอยอยู่กลางมหาสมุทร ส่วนมากพบแถบประเทศจีน ญี่ปุ่น ทวีปแอฟริกา ทวีปอเมริกา ทวีปออสเตรเลีย หมู่เกาะเซตร้อน และหมู่เกาะบาฮามาส วิธีนี้ต้องรอนานหน่อยเพราะไม่รู้ว่าจะคายออกมาเมื่อไหร่ อีกวิธีหนึ่งคือการล่าปลาวาพนำมาผ่าท้อง

ถ้าโชคดีก็จะได้ซี่ปลาวาฬ ถ้าโชคไม่ดีจะได้น้ำมันปลาวาฬ (Sperm oil) จากส่วนสมอง ได้ไขมันปลาวาฬ และเนื้อปลาอีกเป็นจำนวนมาก ชาวยุโรปผู้มีอันจะกินนิยมรับประทานซี่ปลาวาฬกับไข่เป็นอาหารเช้า หากแต่ไม่นิยมรับประทานเนื้อของมัน ในยุโรปเนื้อปลาส่วนใหญ่ถูกทิ้งไว้ให้เน่าเสีย เพียงแค่นำกระดูกไปใช้ทำเสื้อรัดทรง (corset) เป็นที่นิยมกันมากสมัยพระราชินีวิกตอเรียแห่งสหราชอาณาจักรอังกฤษ

ผิดกับในประเทศญี่ปุ่นที่เนื้อปลาวาฬถือเป็นอาหารชั้นยอด นิยมมาทำซาซิมิ และซูชิ ว่ากันว่าอร่อยนุ่มลิ้นมีชั้นของไขมันปนเป็นริ้วขาวสลับชมพู การกินปลาดิบทำให้ได้โปรตีนมากกว่าการเอาไปทำให้สุกด้วยความร้อน น้ำมันจากเนื้อปลา มีสารโอเมก้า ๓ ดีสำหรับสุขภาพอนามัยและสมอง ยิ่งกินปลา น้ำลึกมากเท่าไร ก็จะได้ปลาที่สด สะอาด ปราศจากโรค

การล่าปลาวาฬมีมาตั้งแต่ก่อนปีค.ศ. ๑๐๐๐ (หรือศตวรรษที่ ๑) หากแต่ในศตวรรษที่ ๑๙ เมื่อชาวสวีเดนได้ประดิษฐ์ฉมวกแทงปลาวาฬ (Harpoon) ขึ้น การล่าปลาวาฬจึงเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ล่ากันมากกว่าปีละสองร้อยตัว จนกระทั่งปลาวาฬสีน้ำเงิน (Blue Whale) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลกสูญพันธุ์ แนวความคิดเรื่องการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกลายเป็นประเด็นสำคัญสำหรับประชากรโลกทุกคน ไม่ใช่เรื่องเฉพาะสำหรับคนบางกลุ่ม เช่นนักวิทยาศาสตร์ หรือนักชีววิทยาอีกต่อไป

ในปี พ.ศ. ๒๕๑๕ (ค.ศ. ๑๙๗๒) ได้มีการตกลงกันระหว่างประเทศตามอนุสัญญาระหว่างประเทศว่าด้วยการค้าระหว่างประเทศซึ่งชนิดของสัตว์ป่าและพืชป่าที่ใกล้จะสูญพันธุ์ เรียกกันโดยย่อว่าอนุสัญญาไซเตส (CITES) ประเทศสหรัฐอเมริกาให้สัตยาบันและออกพระราชบัญญัติคุ้มครองสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล ปีค.ศ. ๑๙๗๒ (The Marine Mammal Protection Act of 1972) การตีความตามพระราชบัญญัตินี้ครอบคลุมถึงการห้ามล่าปลาวาฬและห้ามนำเข้าซี่ปลาวาฬ ดังนั้นการได้มาซึ่งซี่ปลาวาฬถือว่าเป็น ส่วนหนึ่งของสัตว์สงวนไม่ว่าโดยวิธีใดนับว่าผิดกฎหมาย รวมทั้งการนำเข้าสินค้าที่ทำจากซี่ปลาวาฬ เช่น การแกะสลักซี่ปลาวาฬ หรือสินค้ามีส่วนประกอบของซี่ปลาวาฬ เช่น น้ำหอม หากแต่ความต้องการยังมีอยู่ในที่อื่นของโลก จึงยังมีคนไปประเทศฝรั่งเศส หรือประเทศตุรกี หรือประเทศจีนเพื่อจะ มาซื้ออุปโภคบริโภค เพราะมีข้อโต้แย้งว่าสามารถเก็บซี่ปลาวาฬได้ในทะเลหรือบนฝั่ง ดังนั้นจึงเป็นการส่งเสริมการล่าปลาวาฬและเอาแต่ซี่ไปใช้ประโยชน์ และส่วนที่เหลือทิ้งไปเพราะกลัวถูกจับได้ เป็นการ ใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า

แต่เดิมนิยามเรามีพระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่าปี พ.ศ. ๒๕๐๓ และได้แก้ไขเพิ่มเติมปี พ.ศ. ๒๕๓๕ (ค.ศ. ๑๙๙๒) สมัยท่านนายกรัฐมนตรี อานันท์ ปันยารชุน มาตรา ๑๖ บัญญัติไว้ว่า ห้ามมิให้ผู้ใดล่า หรือพยายามล่าสัตว์ป่าสงวนหรือสัตว์ป่าคุ้มครองเว้นแต่เป็นการกระทำโดยทางราชการ ที่ได้รับยกเว้นตามมาตรา ๒๖ มาตรา ๑๙ ห้ามมิให้ผู้ใดมีไว้ในครอบครองซึ่งสัตว์ป่าสงวน สัตว์ป่าคุ้มครองซากของสัตว์ป่าสงวน หรือซากของสัตว์ป่าคุ้มครอง เว้นแต่จะเป็นสัตว์คุ้มครองชนิดที่กำหนดตาม มาตรา ๑๗ ที่ได้มาจากการเพาะพันธุ์หรือซากของสัตว์ป่าดังกล่าว ต้องได้รับอนุญาตจากอธิบดีและต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในใบอนุญาต โดยที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



เป็นผู้ดูแล มีกรมป่าไม้เป็นผู้รับผิดชอบ แต่รายชื่อทั้งสัตว์สงวนและสัตว์ป่าคุ้มครองมิได้รวมถึงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทางทะเล เช่นปลาวาฬ และปลาโลมา คงมีแต่พะยูนหรือหมูน้ำ (Dugong dogon) เป็นสัตว์สงวนลำดับที่ ๑๕ ตามพระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่าปี พ.ศ. ๒๕๓๕ หากแต่ประเทศไทยเราเป็นสมาชิกอนุสัญญาไซเตสปี พ.ศ. ๒๕๒๖ การคุ้มครองปลาวาฬและปลาโลมาดังกล่าวจึงมีผลผูกพันกับประเทศไทยด้วย การที่ประเทศญี่ปุ่นไม่ยอมลงนามในความตกลงระหว่างประเทศในประเด็นการล่าปลาวาฬ โดยอ้างว่าเป็นการล่าเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ ประเด็นนี้ถูกคิดได้เหมือนกันว่าจริงทั้ง ๑๐๐% หรือไม่ ที่ตลาดค้าปลา ทสีกิจิ กลางกรุงโตเกียวเป็นตลาดค้าปลาที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีเนื้อปลาขายทุกชนิดรวมทั้งเนื้อปลาวาฬ

ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์จากพืชบางชนิดมาใช้ทดแทนกลิ่นหอมของซี่ปลาวาฬ หากทว่าความทนทานของกลิ่นที่ติดทนได้เป็นเดือนนั้นยังหาอะไรมาทดแทนไม่ได้

Ben Jonson -

From *Neptune's Triumph*:

Why do you smell of amber-grise,  
Of which was formed *Neptune's* Neice,  
The Queene of Love; unless you can,  
Like Sea-borne *Venus* love a man?

***The Poems of Ben Jonson*, ed. Barnard H. Newdigate. Oxford: Shakespeare Head Press, 1936, pg. 328.**

Herman Melville -

In Chapter 20 of *Moby Dick* Ishmael makes these observations on ambergris:

Now this ambergris is a very curious substance, and so important as an article of commerce, that in a certain Nantucket-born Captain Coffin was examined at the bar of the English House of Commons on that subject. For at that time, and indeed until a comparatively late day, the precise origin of ambergris remained, like amber itself, a problem to the learned. Though the word ambergris is but the French compound for grey amber, yet the two substances are quite distinct. For amber, though at times found on the sea-coast, is also dug up in some far inland soils, whereas ambergris is never found except upon the sea. Besides, amber is a hard, transparent, brittle, odorless substance, used for



mouth-pieces to pipes, for beads and ornaments; but ambergris is soft, waxy, and so highly fragrant and spicy, that it is largely used in perfumery, in pastiles, precious candles, hair-powders, and pomatum. The Turks use it in cooking, and also carry it to Mecca, for the same purpose that frankincense is carried to St. Peter's in Rome. Some wine merchants drop a few grains into claret, to flavor it. Who would think, then, that such fine ladies and gentlemen should regale themselves with an essence found in the inglorious bowels of a sick whale! Yet so it is. By some, ambergris is supposed to be the cause, and by others the effect, of the dyspepsia in the whale. How to cure such a dyspepsia it were hard to say, unless by administering three or four boat loads of Brandreth's pills, and then running out of harm's way, as laborers do in blasting rocks. I have forgotten to say that there were found in this ambergris, certain hard, round, bony plates, which at first Stubbs thought might be sailors' trousers buttons; but it afterwards turned out that they were nothing more than pieces of small squid bones embalmed in that manner. Now that the incorruption of this most fragrant ambergris should be found in the heart of such decay; is this nothing? Bethink thee of that saying of St. Paul in Corinthians, about corruption and incorruption; how that we are sown in dishonor, but raised in glory. And likewise call to mind that saying of Paracelsus about what it is that maketh the best musk. Also forget not the strange fact that of all things of ill-savor, Cologne-water, in its rudimental manufacturing stages, is the worst.

---

---

## อ้างอิง

๑. กรมป่าไม้ [www.forest.go.th](http://www.forest.go.th)
๒. CD 680 พระราชบัญญัติปี ๒๐๐๐, พระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่าปี พ.ศ. ๒๕๓๕
๓. Randy D. Ralph, Ph.D., [www.netstrider.com/ambergris](http://www.netstrider.com/ambergris)
๔. พิชัย วาสนาส่ง, ช้างคร้ว, สำนักพิมพ์สีดา, พิมพ์ครั้งที่ ๓ , เมษายน ๒๕๔๓