# วิทยาสาร มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE-ARTS KHON KAEN UNIVERSITY

ปี[illegible] คม-ธันวาคม 2520

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวกับกิจการห้องสมุด

การทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยซิลิคอนโซล่าเซล

โรคกับพันธุกรรม

ค่าความผิดพลาดในการวัด

ประโยชน์ ๕ ประการของการใช้ห้องปฏิบัติการภาษา-
กับนักศึกษาระดับสูง

ช่วงความยาวแสงและนาฬิกาชีวะ

เทคนิคการใช้กระดานดำในการสอนภาษาอังกฤษ

พีชคณิต

ศาลาวิทยาสาร

ข่าวสั้น

# วิทยาสาร มข.

**วัตถุประสงค์**

- □ เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และอักษรศาสตร์
- □ เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษาค้นคว้า ของอาจารย์และนักศึกษา
- □ เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้และแนวความคิดทางวิชาการ ระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจทั้งภายในและภายนอกสถาบัน


| | |
|---|---|
| **เจ้าของ** | คณะวิทยาศาสตร์–อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| **ที่ปรึกษา** | รองศาสตราจารย์ ดร. วีระพงษ์ โพธิ์เมือง<br>คณบดีคณะวิทยาศาสตร์–อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| **บรรณาธิการ** | ดียู ปาลีคุปต์ |
| **บรรณาธิการผู้ช่วย** | ปริญญา ธีรมงคล |
| **กองบรรณาธิการ** | มนตรี บุญเสนอ จิรัชย์ สุขะเกตุ<br>พรรณี ฐิตาภิชิต อรุณีย์ แสงอริยวนิช<br>ปิยะนาถ คุณวัฒน์ สุพล บริพันธุ์<br>นวลจันทร์ แก้วทับทิม |
| **ฝ่ายศิลปและภาพ** | เฉลิม คิดชัย |
| **ฝ่ายจัดการ** | คมสันต์ คมน์ทิพยรัตน์ |
| **สำนักงาน** | สำนักงานวารสารวิทยาสาร มข. คณะวิทยาศาสตร์–อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โทร. 236199, 237272 ต่อ 132 และ 139 |
| **กำหนดออก** | ปีละ 3 ฉบับ |
| **ค่าบำรุง** | ปีละ 20 บาท |
| **การบอกรับเป็นสมาชิก** | แจ้งความจำนงเป็นจดหมายหรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาณัติ หรือเช็คไปรษณีย์ ในนามของ นายคมสันต์ คมน์ทิพยรัตน์ ฝ่ายจัดการ สั่งจ่าย ป.ท. เทพารักษ์ ขอนแก่น. |

# ใบสมัครเป็นสมาชิก "วิทยาสาร มข."

เขียนที่..................................................

วันที่..........เดือน..............................พ.ศ..............

*เรียน บรรณาธิการวารสาร "วิทยาสาร มข."*

ข้าพเจ้า..................................................................................

ที่ทำงาน..................................................................................

ที่อยู่......................................................................................

มีความประสงค์จะรับวารสาร "วิทยาสาร มข." ตั้งแต่ฉบับที่..............ปีที่..............

จนถึงฉบับที่..............ปีที่..............รวม..............ฉบับ พร้อมนี้ได้ส่งเงิน

จำนวน..............................บาท มาทาง..................................................

ขอแสดงความนับถือ

..................................................

(..................................................)

**วิทยาสาร มข.** คณะวิทยาศาสตร์–อักษรศาสตร์

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม–ธันวาคม 2520 **มหาวิทยาลัยขอนแก่น**


พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวกับกิจการห้องสมุด **3**

การทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยซิลิคอนโซล่าเซล **11**

โรคกับพันธุกรรม **25**

ค่าความผิดพลาดในการวัด **30**

ประโยชน์ 5 ประการ ของการใช้ห้องปฏิบัติการภาษากับนักศึกษาระดับสูง **47**

ช่วงความยาวแสงและนาฬิกาชีวะ **55**

เทคนิคการใช้กระดานดำในการสอนภาษาอังกฤษ **59**

พีชคณิต **67**

ศาลาวิทยาสาร **72**

ข่าวสั้น **73**

# จากบรรณาธิการ

**วิทยาสาร มข.** ฉบับที่ 2 ออกมาทันส่งท้ายปีเก่า และต้อนรับปีใหม่กับท่านผู้อ่านพอดี เหตุที่ล่าช้าไปนิดเพราะเราพยายามสรรหาสิ่งน่ารู้มาเสนอ อย่างเช่นในฉบับนี้ เราได้สรุปผลการประชุมสัมนาทางวิชาการเรื่อง "โครงการวิจัยและการเขียนบทความในวารสารทางวิทยาศาสตร์" ซึ่งจัดโดยคณะวิทยาศาสตร์–อักษรศาสตร์ร่วมกับคณะ อนุกรรมการกลุ่มบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่าง วันที่ 2 - 3 ธันวาคม 2520 ที่ผ่านมานี้ โดยนำเสนอในคอลัมน์ **ข่าวสั้น** ที่ไม่สั้นตามชื่อเพราะกินเนื้อที่ถึง 6 หน้ากระดาษ แต่ก็มีสาระประโยชน์ยิ่งโดยเฉพาะสำหรับผู้อ่านที่สนใจการเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการหรือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งคณะของเราจะได้ใช้หลักการเตรียมและการเขียนบทความทางวิชาการดังกล่าวเป็นแนวทางในการจัดทำ **วิทยาสาร มข.** ด้วย

**ศาลาวิทยาสาร** เป็นชื่อใหม่สำหรับคอลัมน์ **ย่อเอกสารทางวิชาการ** และในฉบับนี้จะเป็นข้อคิดเล็ก ๆ น้อย ๆ เกี่ยวกับผลกระทบระหว่างความเจริญของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่กับสภาพแวดล้อมปัจจุบัน

และก่อนจะถึงปีต่อไป คณะผู้จัดทำขอเรียนด้วยความยินดีว่าในปีใหม่นี้ **วิทยาสาร มข.** จะเพิ่มจำนวนการพิมพ์เผยแพร่เป็นปีละ 3 ฉบับ จึงขอเชิญชวนผู้อ่านทุกท่านต่ออายุการเป็นสมาชิกหรือสมัครเป็นสมาชิก **วิทยาสาร มข.** สำหรับปี 2521 ที่จะมาถึงนี้โดยทั่วกัน

ธันวาคม 2520

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว กับกิจการห้องสมุด

## KING RAMA VI AND LIBRARIES IN THAILAND

ศรีทอง สีหาพงศ์ *

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้ทรงวางรากฐานเกี่ยวกับการทำนุบำรุงกิจการห้องสมุดไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2440 เป็นต้นมา ทั้งนี้เพราะพระองค์มีพระปรีชาสามารถและหยั่งรู้ถึงวิธีการที่ให้การศึกษาแก่ทวยราษฎร์ของพระองค์ ทั้งระบบในโรงเรียนและระบบนอกโรงเรียน หรือตามที่นักการศึกษาสมัยใหม่เรียกว่า การศึกษาตลอดชีวิต (Life Long Education) อันเป็นพื้นฐานการศึกษาของมนุษยชาติที่เจริญแล้วและจะเจริญต่อไปในอนาคต แต่ก่อนที่ข้าพเจ้าจะเรียนให้ท่านผู้อ่านทราบว่าพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้ทรงจัดการเกี่ยวกับห้องสมุดอย่างไรบ้างนั้น ข้าพเจ้าขอเสนอพระราชประวัติโดยย่อของพระองค์ท่านไว้บ้างเพียงเล็กน้อย เพื่อที่จะให้ท่านผู้อ่านได้เข้าใจในกิจการห้องสมุดที่องค์พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ ได้ทรงกระทำไว้ได้ดียิ่งขึ้น

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชสมภพเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2423 เป็นพระราชโอรสของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวกับสมเด็จพระศรีพัชรินทราบรมราชินีนาถ เมื่อเยาว์วัยทรงพระนามว่าเจ้าฟ้ามหาวชิราวุธ ได้เสด็จไปศึกษาในประเทศอังกฤษตั้งแต่พระชนมายุได้ 14 พรรษา และทรงประทับศึกษาอยู่ในอังกฤษเป็นเวลาเก้าปีจึงได้เสด็จนิวัติประเทศไทย พระองค์เสด็จขึ้นเถลิงถวัลย์ราชสมบัติเมื่อ พ.ศ. 2453 เสด็จสวรรคต พ.ศ. 2468

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงเป็นนักปราชญ์รอบรู้ศิลปวิทยาการต่างๆ อย่างดีเลิศ ทรงเชี่ยวชาญในการนิพนธ์วรรณคดีทั้งแบบเก่าและแบบใหม่ ได้ทรงพระราชนิพนธ์หนังสือไว้เป็นจำนวนมาก มีทั้งประเภทร้อยแก้ว ร้อยกรอง และบทละคร

---

* อาจารย์ ศรีทอง สีหาพงศ์ ภาควิชาบรรณารักษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์—อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หนังสือที่ทรงนิพนธ์ ถ้าแยกตามเนื้อหาสาระสำคัญแล้ว มีอยู่หลายเรื่อง เช่น บทปลุกใจให้คนไทยรักชาติและให้คนไทยตื่นตัวในการที่จะรักษาเอกราช และเอกลักษณ์ของความเป็นชาติไทย ประวัติศาสตร์ ศาสนา สารคดีต่าง ๆ บันเทิงคดี และเรื่องเบ็ดเตล็ดอีกมากมาย เนื่องจากพระองค์ทรงเชี่ยวชาญด้านอักษรศาสตร์ และรอบรู้ในศิลปวิทยาการต่างๆ อย่างไม่เคยมีกษัตริย์ไทยองค์ใดทรงพระปรีชาสามารถเท่าพระองค์ จึงได้รับสมญานามว่า "พระมหาธีระราชเจ้า"

ในด้านการปกครองพระองค์ก็ทรงหยั่งรู้ว่า ประเทศชาติจะเจริญได้ย่อมมาจากทวยราษฎร์ที่เจริญด้วยการศึกษาและศิลปวิทยาการต่าง ๆ ดังนั้นพระองค์จึงทรงสนพระทัยในการที่จะจัดการศึกษาให้อาณาประชาราษฎร์ไทยทั่วทั้งราชอาณาจักรได้มีความรู้ โดยทรงประกาศใช้พระราชบัญญัติประถมศึกษาในปี พ.ศ. 2464 ทั้งนี้ก็เพื่อจะให้ราษฎรไทยที่อยู่ห่างไกลพระนครหลวง ได้มีโอกาสทางการศึกษาเท่าเทียมกับประชาชนในพระนคร และเพื่อจะให้เป็นความรู้พื้นฐานแก่อาณาประชาราษฎร์ ในอันที่จะทำการศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองต่อไปในอนาคต โดยการอ่านหนังสือจากห้องสมุดต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

กิจกรรมห้องสมุดที่พระองค์ได้ทรงวางรากฐานและทำนุบำรุงมีดังต่อไปนี้

เมื่อ พ.ศ. 2440 พระองค์ทรงได้เป็นสภานายก (ประธานกรรมการ) ของคณะกรรมการ (กรรมสัมปาทิก) จัดการหอพระสมุดวชิรญาณ และพระองค์ได้ทรงดำรงตำแหน่งนี้ติดต่อกันมาจนกระทั่งเสด็จเถลิงถวัลยราชสมบัติ ในสมัยที่พระองค์ทรงเป็นประธานกรรมการคณะกรรมการหอพระสมุดวชิรญาณ ได้ทรงปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกิจการหอพระสมุดวชิรญาณโดยการรวมเอาหอพระมณเฑียรธรรม หอพุทธศาสนสังคหะมาเข้ากับหอพระสมุดวชิรญาณ และเปลี่ยนชื่อจากหอพระสมุดวชิรญาณมาเป็นหอสมุดสำหรับพระนคร ทั้งนี้ก็เนื่องจากวัตถุประสงค์เดิมของหอพระสมุดวชิรญาณนั้นมีไว้สำหรับให้เจ้านายเชื้อพระวงศ์และขุนนางผู้ใหญ่เท่านั้นเข้าทำการศึกษาหาความรู้ พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ ทรงเห็นว่า ประชาชนชาวพระนครควรจะได้มีโอกาสทำการศึกษาจากหอสมุดด้วย ดังนั้นพระองค์จึงได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหอพระสมุดวชิรญาณ ให้กลายเป็นหอพระสมุดสำหรับพระนคร และเพื่อจะให้ประชาชนเข้าไปใช้หอสมุดสำหรับพระนครได้โดยสะดวก พระองค์ทรงดำเนินกิจการหอสมุดสำหรับพระนครเป็นขั้น ๆ ดังนี้—

ขั้นที่ 1 ว่าด้วยสถานที่และที่ตั้งของหอสมุดสำหรับพระนคร เนื่องจากที่ตั้งหอพระสมุดวชิรญาณเดิม ซึ่งได้สถาปนาขึ้นเป็นหอสมุดสำหรับพระนครตั้งอยู่ที่ตึกใหญ่หน้าประตูพิมานไชยศรีในบริเวณพระบรมมหาราชวังนั้น ไม่เหมาะสมที่จะเป็นที่ตั้งหอสมุดสำหรับพระนคร คณะกรรมการจึงได้ดำริจัดหาสถานที่ใหม่ ภายหลังมาก็ได้สถานที่ใหม่ซึ่งตั้งเป็นหอสมุดแห่งชาติมาจนถึง พ.ศ. 2509

ขั้นที่ 2 ว่าด้วยเจ้าหน้าที่ประจำหอสมุดสำหรับพระนคร ได้รวมเอาหอพระสมุดวชิรญาณ หอมณเฑียรธรรมและหอพุทธศาสนสังคหะมาอยู่ด้วยกัน หอสมุดแต่ละแห่งต่างก็มีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่แล้ว เมื่อเอามารวมกันเข้าสภานายกและคณะกรรมการจัดการหอสมุดพระนคร จึงได้จัดวางระเบียบงานและความรับผิดชอบของพนักงานเจ้าหน้าที่หอสมุดสำหรับพระนครให้รัดกุมขึ้น

ขั้นที่ 3 ว่าด้วยการเงินของหอสมุดสำหรับพระนคร สภานายกและคณะกรรมการได้รวบรวมเงินคงคลังของหอพระสมุดวชิรญาณกับหอพุทธศาสนสังคหะเข้าด้วยกัน งบประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับหอสมุดสำหรับพระนคร ได้เงินงบประมาณแผ่นดินปีละ 25,000 บาท (สองหมื่นห้าพันบาท) คณะกรรมการได้ปรึกษาตกลงเกี่ยวกับการจะใช้เงิน ตลอดจนมอบหมายให้พระคลังข้างที่รับทำหน้าที่เป็นธนาคารของเงินหอสมุดสำหรับพระนคร

ขั้นที่ 4 ว่าด้วยการจัดหอสมุด (Library Organization) คณะกรรมการได้ให้ทำการตรวจสอบ (Inventory) หนังสือทั้งหมดที่อยู่ในหอสมุดสำหรับพระนครจากการสำรวจปรากฏว่าหนังสือของหอพระสมุดวชิรญาณเดิมนั้นไม่ค่อยหายแต่มีการสับเปลี่ยนเอาฉบับที่ไม่ดีมาไว้แทนฉบับที่ดีกว่า ส่วนหนังสือของหอมณเฑียรธรรมเดิมนั้นขาดหายไปเป็นจำนวนมาก คัมภีร์พระไตรปิฎกไม่มีฉบับใดยังครบบริบูรณ์ ส่วนหนังสือของหอพุทธศาสนสังคหะนั้นไม่ขาดหายเลย เสร็จแล้วได้กำหนดระบบงานหอสมุดสำหรับพระนครขึ้นโดยแบ่งออกเป็น 3 แผนก คือ

1. แผนกหนังสือคัมภีร์พระพุทธศาสนา
2. แผนกหนังสือต่างประเทศ
3. แผนกหนังสือไทย

หลังจากได้ทำการสำรวจหนังสือแล้วก็ได้พบปัญหาเกี่ยวกับหนังสือหาย และหนังสือถูกสับเปลี่ยนฉบับ โดยเอาฉบับดีของหอสมุดไปและเอาฉบับไม่ดีมาไว้แทน ดัง

นั้นสภานายกและกรรมการจึงได้ทรงดำริจัดการป้องกันและแก้ไขโดยได้วางระเบียบการยืมให้รัดกุมยิ่งขึ้น โดยกำหนดให้มีหนังสืออ้างอิง และหนังสือหายากขึ้นในห้องสมุด หนังสือสองประเภทนี้ไม่ยอมให้ยืมออกไปนอกห้องสมุด และได้แก้ไขระเบียบบางประการที่เห็นว่าไม่ได้ประโยชน์ เช่น

1. ให้ยกเลิกการสโมสร ซึ่งเคยจัดให้เป็นส่วนหนึ่งของหอสมุด

2. ให้งดการยืมหนังสือหายาก เช่นหนังสือเขียนลายมือเป็นต้น

3. ให้หอสมุดจัดหาหนังสือพิมพ์ข่าวทั้งในเมืองไทย และข่าวต่างประเทศมาไว้ให้สมาชิกได้อ่าน

ขั้นที่ 5 การจัดหาหนังสือเข้าหอสมุด คณะกรรมการจัดการหอสมุดได้ออกประกาศขอความร่วมมือจากประชาชนคนไทยทั้งหลายที่มีหนังสือเกี่ยวกับพระพุทธศาสนา และหนังสือไทยอื่น ๆ ไว้ในครอบครองให้นำมาขายหรือมอบให้แก่หอสมุดประการหนึ่ง อีกประการหนึ่ง พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ ทรงรู้ว่าหนังสือที่เกี่ยวกับเรื่องเมืองไทยนั้นปรากฏว่ามีอยู่ในต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ให้คณะกรรมการติดต่อขออนุญาตจากรัฐบาลต่าง ๆ นำเอาต้นฉบับมาคัดลอกแล้วจึงส่งคืนต้นฉบับให้แก่เจ้าของเดิม ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ปรากฏว่าหอสมุดแห่งชาติได้รับหนังสือจากประชาชนทั้งที่บอกขาย และให้เป็นอภินันทนาการนั้นเป็นจำนวนมาก ทำให้มีหนังสือเพิ่มขึ้นมากในระยะเวลาอันสั้น ส่วนหนังสือต่างประเทศนั้นนอกจากหนังสือที่เกี่ยวกับพงศาวดารเมืองไทยแล้ว คณะกรรมการตกลงให้ซื้อหนังสือเกี่ยวกับที่จะใช้ในราชการบ้านเมือง เช่น หนังสืออภิธานศัพท์และหนังสือตำราต่าง ๆ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าฯ ได้พระราชทานเงินเพื่อจัดหาหนังสือต่างประเทศเพิ่มขึ้นอีกปีละ 13,000.— บาท (หนึ่งหมื่นสามพันบาทถ้วน)

ขั้นที่ 6 การจัดหาตู้สำหรับเก็บหนังสือ ถ้าจะจัดทำขึ้นใหม่เงินก็ไม่พอเพราะมีงบประมาณจำกัด ดังนั้นสภานายกและคณะกรรมการจึงได้หาทางออกโดยรวบรวมตู้ฝีมือประดับมุกดี และตู้ทองลายรดน้ำที่ชำรุดมาซ่อมแซม และให้เก็บรวบรวมตู้ดังกล่าวจากวัดวาอารามต่าง ๆ มาเก็บไว้ในหอพระสมุด และใช้เป็นตู้เก็บหนังสือของหอพระสมุดซึ่งการนี้ทำให้เกิดประโยชน์ถึง 2 ประการคือ เป็นการประหยัดทรัพย์แผ่นดินประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งเป็นการสงวนงานฝีมือของช่างอันเป็นศิลปะประจำชาติ ให้คงเหลือตกทอดไปเป็นสมบัติของชาติไทย

ข้อที่ 7 ว่าด้วยการพิมพ์หนังสือ ทำให้เกิดประเพณีพิมพ์หนังสือแจกในงานศพและงานมงคลอื่นๆ คณะกรรมการตกลงกันออกประกาศเชิญชวนผู้มีจิตศรัทธาพิมพ์หนังสือแจกเพื่อเป็นการกุศล ในการนี้คณะกรรมการหอสมุดจะรับหน้าที่เป็นผู้หาเรื่องและจัดพิมพ์ให้ โดยวิธีนี้หอสมุดไม่ต้องใช้จ่ายเงินของตนเลย เป็นแต่ผู้หาเรื่องและจัดพิมพ์ ส่วนค่าพิมพ์นั้นผู้มีจิตศรัทธาออกให้ ปรากฏว่าได้รับความร่วมมือเป็นอันมากจนเกิดประเพณีพิมพ์หนังสือแจกในงานศพและงานมงคลอื่น ๆ สืบต่อมาจนถึงทุกวันนี้

ในด้านห้องสมุดสถานศึกษา เช่น กระทรวง กรม มหาวิทยาลัย โรงเรียน และห้องสมุดประชาชนนั้น พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวได้มอบให้กรมราชบัณฑิตสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ (เวลานั้นชื่อกระทรวงธรรมการ) เป็นผู้ดำเนินการจัดและรับผิดชอบโดยตรง ซึ่งมีปรากฏในระบบการศึกษา พ.ศ. 2453–2459 ว่า "กรมราชบัณฑิตมีหน้าที่สร้าง รวบรวม และรักษาสรรพแบบอย่างสำหรับศึกษาเล่าเรียนทั่วไป"

ที่ว่า **มีหน้าที่สร้าง** นั้นได้แก่การแต่งตำรับตำรา วิชาการใหม่ ๆ ที่ต้องการใช้ในการให้การศึกษาแก่อาณาประชาราษฎร์ ตรวจสอบตำราที่มีผู้แต่งขึ้นว่าควรจะใช้เป็นแบบแผนการศึกษาหรือไม่ จัดการให้ตำราที่ควรใช้ได้เปิดแผ่ให้แพร่หลาย และจัดการเรื่องให้มีที่ซื้อขาย เพื่อให้ตำรับตำราเหล่านั้นได้ซื้อหากันสะดวกแก่การเล่าเรียน

ที่ว่า **มีหน้าที่รวบรวม** ได้แก่รวบรวมสรรพหนังสือเก่าใหม่ให้มีตัวอย่างอยู่ทุกชนิดและทุกเรื่องอันจะเรียกว่า **บรรณาคาร** (Library) ซึ่งทุกวันนี้เรียกว่าห้องสมุด เป็นเจ้าหน้าที่รวบรวมหนังสือใน **บรรณาคารสำหรับกระทรวง ออกแบบแผนจัดระเบียบให้แก่บรรณาคารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่ในกระทรวงเป็นหน้าที่ที่จะกระทำกิจ ซึ่งเกี่ยวข้องแก่บรรณาคารอื่น** เช่นที่อ่านหนังสือสำหรับประชาชน ห้องสมุดโรงเรียนต่างๆ

ที่ว่า **รักษาสรรพแบบอย่างสำหรับศึกษาเล่าเรียนทั่วไป** นั้นก็ได้แก่การรวบรวมสรรพพัสดุ ซึ่งจะเป็นตัวอย่างให้ความรู้ในการศึกษาทั่วไปที่เรียกว่ามิวเซียม (museum) หรือพิพิธภัณฑ์สถาน ทั้งสำหรับประเทศ และกระทรวงและสำหรับโรงเรียนทั่วไป

จากหน้าที่ของกรมราชบัณฑิตอันดับที่สอง เกี่ยวกับการจัดการห้องสมุดกระทรวงก็เพื่อให้ข้าราชการในกระทรวงได้ทำการศึกษาค้นคว้าหาความรู้อยู่เป็นนิจสิน เพื่อ

---

* กระทรวงศึกษาธิการ 2507 ประวัติกระทรวงศึกษาธิการ 2435-2503 องค์การค้าของคุรุสภา

ให้ข้าราชการในกระทรวงมีโอกาสเพิ่มพูนความรู้ให้แก่ตนเองอยู่เสมอ และจะได้นำเอาความรู้นั้น ๆ นำมาปรับปรุงงานราชการให้ดีขึ้น ส่วนในสถาบันการศึกษานั้นก็มีระเบียบการเก็บเงินค่าบำรุงห้องสมุดโรงเรียนประจำจังหวัดทุกแห่ง และให้โรงเรียนประจำจังหวัดจัดห้องสมุดให้นักเรียนได้ทำการอ่านประกอบการเรียน และหาความรู้เพิ่มพูนให้แก่ตนเองจากการอ่านโดยมีเจ้าหน้าที่กรมราชบัญฑิตเป็นผู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจตราดูแลการจัดห้องสมุดในกระทรวงศึกษาธิการและในสถานศึกษา เช่น มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน กิจการห้องสมุดของกรมราชบัณฑิตได้ขยายตัวและเจริญขึ้นเรื่อย ๆ ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงหน้าที่ของส่วนราชการ กระทรวงธรรมการในปี พ.ศ. 2460 ปรากฏว่ากรมราชบัณฑิตได้ขยายหน่วยงานเพิ่มขึ้น มีอาทิ กองกลาง แผนกแบบเรียน แผนกพิมพ์แบบเรียน แผนกรวบรวมปทานุกรม แผนกจำหน่ายแบบเรียน และ **แผนกห้องสมุด**

**แผนกห้องสมุด** มีหน้าที่จัดและดูแลห้องสมุดของกระทรวงธรรมการและสามัคยาจารย์สมาคมตลอดเป็นเจ้าหน้าที่ **ห้องอ่านหนังสือสำหรับประชาชนด้วย** ในปี พ.ศ. 2460 แผนกห้องสมุดของกรมราชบัณฑิตได้เปิดห้องอ่านหนังสือสำหรับประชาชนเพิ่ม 2 แห่ง คือที่โรงเรียน มหาวชิราวุธจังหวัดสงขลา กับที่ว่าการอำเภอชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ ในปี พ.ศ. 2460 ปรากฏในรายงานของกรมราชบัณฑิตว่า ได้มีห้องอ่านหนังสือสำหรับประชาชนแล้ว 5 แห่งด้วยกัน ในปี พ.ศ. 2462 กรมราชบัณฑิตได้ตั้งห้องอ่านหนังสือสำหรับประชาชนที่จังหวัดบุรีรัมย์ เพิ่มขึ้นอีก 4 แห่ง คือ แห่งที่หนึ่งอยู่ที่ว่าการอำเภอบุรีรัมย์ แห่งที่สองเปิดที่ที่ว่าการอำเภอพุทไธสง แห่งที่สามเปิดที่ที่ว่าการอำเภอนางรอง และแห่งที่สี่เปิดที่ที่ว่าการอำเภอตลุง

จากที่กล่าวมานี้ท่านผู้อ่านจะเห็นได้ว่าพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ นั้นได้ทรงวางรากฐานการศึกษานอกระบบโรงเรียนไว้ ก่อนการทรงประกาศใช้พระราชบัญญัติประถมศึกษาหลายปีทีเดียวทั้งนี้ก็เพราะว่าพระองค์มี **พระปรีชาญาณ หยั่งรู้ว่าการให้การศึกษาแก่ทวยราษฎร์แต่เฉพาะในระบบโรงเรียนนั้นยังไม่เป็นการเพียงพอ** การศึกษาอยู่ในโรงเรียนประถมศึกษาก็ดี หรือโรงเรียนมัธยมและแม้กระทั่งในวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยก็ดี เป็นแต่เพียงการเรียนขั้นพื้นฐานอันจะเป็นทางนำให้อาณาประชาราษฎร์ทั้งหลายได้รู้วิธีการที่จะทำการศึกษาหาความรู้ใส่ตนไปได้ตลอดชีวิต เพราะสมอง

คนจะเจริญ คิดทำอะไรได้ รู้ดีรู้ชั่วได้ จะต้องได้กินอาหารคือความรู้ ซึ่งส่วนมากมีอยู่ในหนังสือ ร่างกายจะแข็งแรงมีกำลังวังชาทำกิจการงานได้ดีต้องกินอาหาร คนเราจึงต้องกินอาหารไปจนตลอดชีวิต ถ้าเราหยุดกินอาหารแม้แต่เพียงวันเดียวร่างกายของเราก็อ่อนเปลี้ยเพลียแรงแล้ว สมองของมนุษย์เราก็เช่นเดียวกันกับร่างกายจำเป็นจะต้องกินความรู้ไปตลอดชีวิตเหมือนกัน จึงจะทำให้สมองเจริญมีสติปัญญาเฉลียวฉลาดรู้ว่าอะไรดีอะไรชั่ว รู้จักประกอบสัมมาอาชีวะและเป็นพลเมืองดีของประเทศชาติ ด้วยพระปรีชาญาณหยั่งรู้เช่นนี้ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ พระองค์จึงได้ทรงมอบให้กระทรวงธรรมการตระเตรียมจัดแหล่งอาหารทางสมอง คือห้องสมุดประชาชนไว้ให้อาณาประชาราษฎร์ของพระองค์ได้ทำการศึกษาหรือดื่มกิน เพื่อให้สมองของทวยราษฎร์ของพระองค์เจริญ เขาจะได้รู้ว่าอะไรดี อะไรชั่ว อะไรควรกระทำ อะไรควรละเว้น และจะได้เอาความรู้ที่ได้จากการอ่านไปประกอบสัมมาอาชีวะให้เป็นผลดีให้มีกินมีอยู่และให้มีความสุขทั่วไปทั้งขอบขัณฑสีมาไทย การจัดห้องสมุดประชาชนของกรมราชบัณฑิตได้กระทำติดต่อกันมาเรื่อย ๆ ทุกปี ตลอดรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ แต่เป็นที่น่าเสียดายเมื่อสิ้นสมัยของพระองค์แล้ว หามีผู้ใดมีความเข้าใจในการให้การศึกษาแก่ทวยราษฎร์ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ ไม่ ดังนั้นกระทรวงศึกษาธิการก็มุ่งแต่จัดการศึกษาในระบบโรงเรียนอย่างเดียว ได้ทอดทิ้งการจัดห้องอ่านหนังสือสำหรับประชาชนหรือห้องสมุดประชาชนเสีย **จนกระทั่งคนไทยทั้งชาติมีทัศนคติว่า ถ้าจะหาความรู้ต้องเข้าเรียนในโรงเรียน** หรือ **วิทยาลัยและมหาวิทยาลัยซึ่งทำให้เกิดผลเสียหายแก่ประเทศชาติอย่างใหญ่หลวง**เพราะคนไทยส่วนมากไม่มีอาหารให้สมองได้กิน ดังนั้นเมื่อเข้าเรียนในโรงเรียนประถมศึกษา จบออกมาไม่มีโอกาสเข้าเรียนชั้นมัธยมศึกษาและอุดมศึกษาแล้วก็เป็นอันว่าไม่มีโอกาสได้อ่านได้ดูหนังสือกัน และในที่สุดความรู้ทางหนังสือที่เรียนในโรงเรียนสี่ปีนั้นก็ลืมเลือนและหดหายไป ดังนั้นประชากรไทยส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ตามชนบท จึงกลับกลายเป็นคนอ่านไม่ออกเขียนไม่ได้มีสติปัญญาต่ำ ไม่มีความสามารถในการประกอบสัมมาอาชีวะให้ได้ผลดี ผลที่ตามมาก็คือความยากจนค่นแค้นมีโจรผู้ร้ายชุกชุมและถูกหลอกให้เป็นคอมมิวนิสต์ได้ง่าย สร้างความปั่นป่วนให้แก่ประเทศชาติของเราอยู่ในเวลานี้ สาเหตุใหญ่เนื่องมาจากการศึกษา**ประชาชนส่วนใหญ่ไม่มีอาหารให้สมองกินตลอดชีวิตสมองจึงไม่เจริญและทำให้สมองพิกลพิการด้วย** ดังนั้นถ้าจะแก้ปัญหาอันเกิดขึ้นแก่ประเทศ

ชาติเราทุกวันนี้ นักการศึกษาไทยควรจะย้อนไปศึกษาวิธีการจัดการศึกษาให้แก่อาณาประชาราษฎร์ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ ดูบ้างว่าพระองค์ท่านได้ทรงกระทำอะไรไว้บ้าง เพื่อจะได้นำมาประยุกต์ให้เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบันและหาทางแก้ไขกันอย่างจริงจังต่อไป

กิจการห้องสมุดอันเป็นแหล่งอาหารของสมองที่จะให้โอกาสแก่ทวยราษฎร์ได้ดื่มกิน เพื่อท่านบำรุงสมองที่พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ ได้ทรงวางรากฐานไว้นั้นได้ถูกปล่อยปละละเลยและถูกทอดทิ้งมาตั้งแต่สิ้นรัชสมัยพระองค์มาจนถึง พ.ศ. 2494 ปรากฏว่าห้องสมุดประชาชนทั้งหลายที่เคยมีถูกปิดตายบ้าง ถูกทำลายสูญหายไปหมดบ้าง ห้องสมุดในสถานศึกษาอย่างเช่น ห้องสมุดจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ก็กลายเป็นห้องสมุดปิด หอสมุดสำหรับพระนคร ซึ่งภายหลังมาได้เปลี่ยนชื่อเป็นหอสมุดแห่งชาติก็ขาดการทำนุบำรุงไม่ได้เอื้ออำนวยความสะดวกให้ชาวพระนครเข้าทำการศึกษาหาความรู้ ดังนั้นการศึกษาของคนไทยจึงกระถดถอยเข้ามาทำอยู่แต่ในโรงเรียน ในวิทยาลัย และในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ผู้เขียนเข้าใจเอาเองว่า ถ้าหากพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้า ฯ ทรงมีพระชนม์ชีพยืนนาน เมื่อพระองค์ได้ทรงประกาศใช้พระราชบัญญัติประถมศึกษา และจัดการประถมศึกษาให้มีทั่วถึงตลอดขอบขัณฑสีมาไทยแล้ว **พระองค์คงจะประกาศใช้พระราชบัญญัติห้องสมุดประชาชน** เพื่อให้มีสถาบันการศึกษานอกระบบคือห้องสมุดสำหรับประชาชน ซึ่งเป็นของควรมีควบคู่กับการศึกษาระดับประถมศึกษา และเป็นการให้โอกาสแก่ทวยราษฎร์ได้ทำการศึกษาตลอดชีวิตเมื่อออกจากโรงเรียนแล้ว เป็นการป้องกันการลืมหนังสือ และเป็นการยกระดับการศึกษาของชาวชนบทให้มีเท่าเทียมกับคนในเมืองใหญ่หรือเมืองหลวง ที่ผู้เขียนเขียนเข้าใจเช่นนี้ก็เพราะว่าประเทศต่าง ๆ ในยุโรปเขามีพระราชบัญญัติห้องสมุดประชาชนมานานนับเป็นศตวรรษแล้วนั่นเอง

**บรรณานุกรม:**

ดำรงราชานุภาพ, สมเด็จกรมพระยา **ตำนานหอพระสมุด พ.ศ. 2459**

แม้นมาส ชวลิต. 2509. **ประวัติหอสมุดแห่งชาติ** กรมศิลปากรจัดพิมพ์เนื่องในงานพิธีเปิดหอสมุดแห่งชาติทำวาสุกรี.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. 2507. **ประวัติกระทรวงศึกษาธิการ 2435–2503** องค์การค้าของคุรุสภา

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# การทดลองในห้องปฏิบัติการ ด้วยซิลิคอนโซล่าเซล

## LABORATORY EXPERIMENTS WITH SILICON SOLAR CELLS*

ทวีศักดิ์ แก้วซิม**

**บทคัดย่อ**

ในที่ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงการใช้ซิลิคอนโซล่าเซล (silicon solar cells) สำหรับการทดลองในการสอนปฏิบัติการระดับชั้นปริญญาตรี ทฤษฎีขั้นพื้นฐานของเซลเหล่านี้ตลอดจน equivalent circuits และ characteristic equations การทดลองขั้นมูลฐานที่เกี่ยวกับกำลังงานที่ออกมา (power output) และประสิทธิภาพ (efficiency) ซึ่งเหมาะสำหรับนักศึกษาที่ไม่ได้เลือกวิทยาศาสตร์เป็นวิชาเอกโดยละเอียด ตลอดจนการทดลองขั้นสูงที่เกี่ยวกับ cell parameters

## I บทนำ

เทคนิคของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) ให้เป็นพลังงานรูปอื่นได้มีการกล่าวขวัญถึงอย่างมากมายในระยะนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา การแปลงการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) โดยตรงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (electrical energy) โดยทางโฟโตโวลตาอิคเอฟเฟค (photovoltaic effect) เป็นสิ่งที่เป็นไปได้และกำลังเป็นเรื่องที่สถาบันหลายแห่งสนใจ และกำลังทำการวิจัยอย่างเร่งด่วน ประดิษฐ์กรรมทางโฟโตโวลตาอิค (photovoltaic devices) ที่ธรรมดาสามัญมากที่สุดคือ ซิลิคอนโซล่าเซล (silicon solar cell) ซึ่งขณะนี้ก็อาจจะหาซื้อตามท้องตลาดได้แล้ว

---

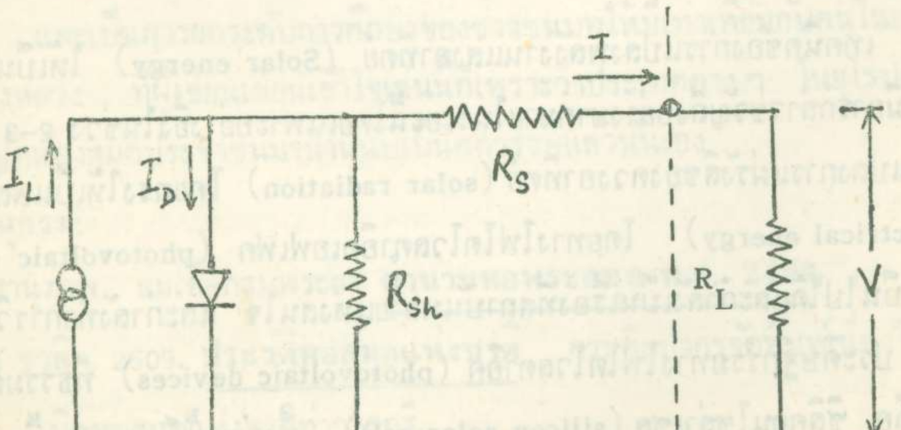
* ถอดความจาก Kammer, D.W. and Luding, M.A. 1977. "Laboratory Experiments with Silicon Solar Cells." Am. J. Phys. 45 (7) : 602-605.

** ทวีศักดิ์ แก้วซิม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ - อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ทฤษฎีและเทคโนโลยีของเซลเหล่านี้เปิดโอกาสให้การทดลองในห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับเซลเหล่านี้เหมาะสำหรับหลักสูตร (courses) ต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์

## II ทฤษฎีเกี่ยวกับซิลิคอนโซล่าเซลและเทคโนโลยี

โซล่าเซล (Solar cells) โดยหลักการแล้วก็คือ p–n junctions ที่ layer อันหนึ่งได้ทำไว้อย่างบาง ๆ เพื่อที่ว่าโฟตอน (photons) สามารถทะลุผ่านเข้าไปได้แล้วเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับอีเลคตรอน (electrons) ที่ตรงใกล้ ๆ กับ junction อีเลคตรอนที่ดูดกลืน (absorb) โฟตอนเข้าไว้ก็จะกระโดดจาก valence band ขึ้นไปสู่ conduction band ทำให้ minority carriers density เพิ่มขึ้นในแต่ละชนิดของ semiconductor (Cummerow, 1954) Carriers เหล่านี้อาจจะเลื่อนไปเป็นระยะทางอันหนึ่งก่อนที่จะมีการรวมตัวกันอีกครั้ง (recombining) ถ้า carriers เหล่านี้มาถึง junction ก่อนที่จะมีการรวมตัวกัน (recombination) มันก็จะถูกกวาดให้ข้ามไปโดย junction field เมื่อไรก็ตามที่ข้าม junction ไปได้แล้ว carriers ก็จะมีอิสระที่จะเคลื่อนออกไปสู่วงจรภายนอก และทำให้มีกำลังงานเกิดขึ้นที่ load เซลรุ่นใหม่นี้สามารถที่จะผลิต open-circuit voltage ได้ถึงประมาณ 0.6 V และ short-circuit current density ได้ประมาณ 0.38 $mA/cm^2$ (Rosen blatt, 1974)

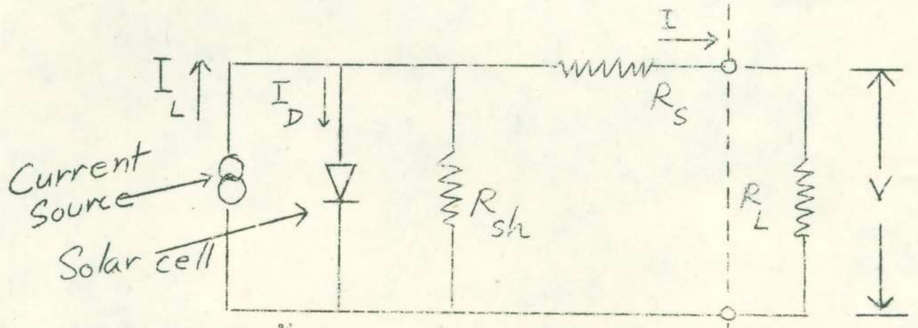



รูปที่ 1 Equivalent circuit ของ siliicon solar cell ตัวต้านทานอนุกรม (series

วิทยาสาร มข. ปีที่ ๕ ฉบับที่ ๒ ,๒๕๒๐

## แก้คำผิด

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| หน้า | ๗ | ใส่เครื่องหมาย * | เหนือข้อความต้นย่อหน้าที่ ๓ | | |
| " | ๑๑ | ในเชิงอรรถ | Luding | แก้เป็น | Ludington |
| " | ๑๒ | บรรทัดที่ ๑๑ | ให้ข้ามไป | " | ให้ข้าม junction ไป |




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| หน้า | ๑๒ | บรรทัดสุดท้าย | ssilicon | แก้เป็น | silicon |
| " | ๑๓ | บรรทัดที่ ๓ | ได้แสดงประกอบ | " | $R_L$ ได้แสดงประกอบ |
| " | ๑๓ | " ๘ | (incident rdiation) | " | (incident radiation) |
| " | ๑๖ | " ๙ | จะมีค่า | " | จะมีค่า |
| " | ๑๗ | " ๑๐ | Thekackara | | Thekaekara |
| " | ๑๘ | " ๕ | poly paks | " | Poly Paks |
| " | ๒๐ | " ๔ | ค่าความเข้ม | " | ค่าความเข้มของแสง |
| " | ๒๒ | " ๑ | reserve | " | reverse |
| " | ๒๒ | " ๔ | $I_{o2} = 7.42 \times 10^{11}$ A | " | $I_{o2} = 7.42 \times 10^{-11}$ A |
| " | ๒๓ | " ๔, ๕ | $(V - IR_s)$ | " | $(V + IR_s)$ |
| " | ๒๖ | " ๘ | (genetic councelling) | เป็น | (genetic counseling) |
| " | ๒๖ | " ๑๙ | ยีนด้อย(recessive gene) | เป็น | ยีนเด่น |
| " | ๒๘ | " ๗ | (genetic councellor) | เป็น | (genetic counsellor) |
| " | ๓๐ | " ๓ | Significant Error | เป็น | Significant Figure |
| " | ๓๖ | " ๑ | $\perp$ | " | $\pm$ |
| " | ๓๗-๔๐ | " | Y ทุกตัว | " | y |

ข้อความที่ต่อจากหน้า ๓๗ คือข้อความในหน้า ๔๐

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| หน้า | ๔๑ | บรรทัดที่ ๒๐ | หาก | แก้เป็น | หา |
| " | " | " | อยาก | " | ยาก |
| หน้า | ๕๕ | บรรทัดที่ ๑๘ | นิวยอร์คต่างกัน | " | นิวยอร์คซึ่งต่างจากกรุงปารีส |

resistor) $R_S$ และตัวต้านทานขนาน (shunt resistor) $R_{Sh}$ จะแทนถึงการสูญเสียเนื่องจากการต้านทานภายในเซล. ความต้านทานภายนอก (external load) ได้แสดงประกอบไว้ด้วยทางขวามือของเส้นประ

รูปที่ 1 แสดง equivalent circuit ของโซล่าเซล (Elliott, 1966) ในกรณีที่เป็นกรณีอุดมคติ (ideal case) ค่า $R_S$ อาจจะพิจารณาได้ว่ามีค่าน้อย ๆ และ $R_{Sh}$ มีค่ามาก ๆ ดังนั้นแล้วผลเกี่ยวข้องของทั้งสอง ($R_S$ และ $R_{Sh}$) ก็สามารถที่จะตัดทิ้งเสียได้, กำเนิดของกระแสคงที่ (Constant current source) ก็จะแทนกระแสที่เกิดโดยการแผ่รังสีตกกระทบ (incident rdiation) คือ $I_L$ และไดโอด (diode) ก็แทนด้วย p-n junction ของเซล (cell) ค่า output current ที่ได้สำหรับกรณีอุดมคติ (ideal case) (ให้กระแสไหลตามทิศทางที่แสดงในรูป) คือ

$$I = I_L - I_D \quad \text{......................... (1)}$$

ค่า diode current, $I_D$ หาได้จาก

$$I_D = I_o \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \text{......................... (2)}$$

โดยที่ $I_o$ คือ reverse saturation current

$q$ คือ electronic charge

$V$ คือ output voltage

$k$ คือค่า Boltzmann constant

และ $T$ คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (Shockley, 1950)

I – V characteristic ของ photovoltaic ก็จะกลายเป็น

$$I = I_L - I_o \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \text{......................... (3)}$$

ประสิทธิภาพตามทฤษฎีของเซลอุดมคติ (ideal cell) ประมาณ 22% (Prince, 1954)

ด้วยเหตุผลต่าง ๆ หลายประการ เซล (cells) ที่ใช้งานจริง (ในทางปฏิบัติ) จะมีประสิทธิภาพมากกว่าครึ่งหนึ่งของที่กล่าวมาแล้วเพียงเล็กน้อย (Wolf, 1971) การสูญเสียเหล่านั้นเราจะได้พูดถึงต่อไป

ก. **ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันท์** (Series and Shunt resistances)

layer บางๆ ซึ่งเป็น n–type หรือ p–type ที่อยู่ส่วนบนของเซลจะทำให้เกิดความต้านทานกระจายทั่วไป ซึ่งก็มักจะแทนได้ด้วย singled lumped resistance ที่ต่ออนุกรมอยู่กับ output terminal ดังที่แสดงไว้ด้วย $R_S$ ในรูปที่ 1 ความต้านทานสัมผัส (contact resistance) และความต้านทานชั้นล่าง (bottom layer resistance) ก็มีส่วนทำให้เกิดความต้านทานอันนี้ด้วย เซลส่วนมากประดิษฐ์ขึ้นด้วย dendritic voltage contact บน layer ชั้นบน ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้ลดค่าความต้านทานอนุกรม, การรั่ว (leakage) ที่เกิดขึ้นตรง junction แทนได้ด้วยค่าความต้านทานชันท์ $R_{sh}$ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งตามปรกติแล้วจะมีค่าค่อนข้างมากดังนั้นผลของมันอาจจะตัดทิ้งเสียได้

ข. Additional curve factor

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า I–V characteristic ที่สังเกตุเห็นได้นั้นไม่ได้เป็นไปตามที่ได้คาดการเอาไว้โดย ideal equivalent circuit ถึงแม้ว่าเราจะได้พิจารณาถึงค่าความต้านทานชันท์ด้วยก็ตาม เพราะว่าโวลท์เตท (Voltage) ที่ได้จะน้อยกว่า open–circuit voltage ดังนั้นองค์ประกอบที่เรียกว่า "additional curve factor" จะต้องเติมเข้าไปใน exponential ของ diode current (Löferski, 1961) และ (Wolf, 1963)

ผลลัพธ์ของ I–V characteristic ก็จะกลายเป็น (Wolf, 1961)

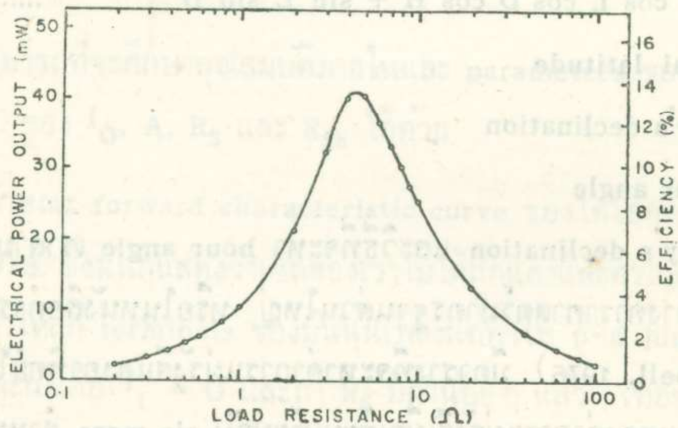
$$I = I_L - I_o \left\{ \exp\left[ \left(\frac{q}{AkT}\right)(V + IR_s) \right] - 1 \right\} - (V + IR_S)/R_{Sh} \quad ....(4)$$

โดยที่ A คือ additional curve factor

## III การทดลองขั้นมูลฐาน (Basic Experiments)

การทดลองที่ถือว่าเป็นขั้นมูลฐานที่สุดก็ได้แก่การหาค่ากำลังงาน (power) ที่เกิดขึ้นและหาประสิทธิภาพของเซล (ประสิทธิภาพคืออัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลต่อกำลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซล). อันนี้เราสามารถทำการทดลองได้โดยเอาเซลไปวางไว้ให้ถูกแสงอาทิตย์แล้วทำการวัดค่า Voltage ที่เกิดขึ้นคร่อมบนหีบความต้านทาน (Decade resistance box) ที่สามารถเปลี่ยนค่า $R_L$ ได้ทีละ 0.1 โอห์ม. ก็จะมีค่ากระแสต่าง ๆ เกิดขึ้นตามค่าความต้านทาน (load resistance) $R_L$ ต่าง ๆ ซึ่งก็สามารถทราบได้โดยการใช้กฎของโอห์ม (Ohm's Law). กำลังงานที่ออกมา (power output) ก็จะสามารถคำนวณได้และสามารถนำเอามาเขียนกราฟเทียบกับพารามิเตอร์ (parameters) ตัวอื่น ๆ

รูปที่ 2 แสดงถึงค่าของกำลังงานที่ออกมาและประสิทธิภาพของเซล เมื่อเขียนกราฟกับค่าความต้านทาน $R_L$ สำหรับกรณีย์ของ Poly Paks type N220CG solar cell ซึ่งตัวเซลอันนี้มีพื้นที่ 3.4 $cm.^2$ (พื้นที่ – หมายถึงพื้นที่ที่รับแสงอาทิตย์) กำลังงานออกมาที่ได้สูงสุดถึง 41 mW เกิดขึ้นที่ $R_L \simeq 5$ โอห์ม




รูปที่ 2 กำลังงานไฟฟ้าที่ออกมาและประสิทธิภาพเมื่อคิดเป็นฟังค์ชั่นของ external load resistance, $R_L$ สำหรับซิลิคอนโซลาเซล ข้อมูลเหล่านี้ได้รับจากการทด

ลองในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและแสงอาทิตย์ตอนเที่ยงวัน ดังนั้น จึงได้ค่าออกมาสูงถึง 40.5 mW จึงประมาณใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ และประสิทธิภาพสูงถึง 13% ซึ่งก็เป็นค่าเฉพาะตัวของโซลาเซล (solar cell) ชนิดนี้

เพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพ ค่าการแผ่รังสีตกกระทบของแสงอาทิตย์จะต้องรู้ค่าที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีมาสู่ยังบรรยากาศของโลกประมาณ 140 $mW/_{cm^2}$ (Gray, 1972) บรรยากาศจะดูดกลืนแสงและทำให้แสงกระจัดกระจาย และนอกจากนั้นยังเปลี่ยนสเปคตรัมของมันด้วย เราสามารถที่จะประมาณค่าความเข้มของการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกได้โดยไม่ต้องทำการวัดโดยตรง สำหรับวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งแจ่มใสดี มันจะมีค่า 95.6 $mW/_{cm^2}$ โดยที่ขณะนั้นดวงอาทิตย์อยู่ตรงเหนือศีรษะพอดี (Thekackara, 1974) สำหรับเมื่อดวงอาทิตย์ทามุมอื่นๆ เราจะต้องพิจารณาถึงปริมาณที่เรียกว่า "air mass" (มวลอากาศ) ซึ่งได้กำหนดไว้ว่าคือ $(\sin\beta)^{-1}$ โดยที่ $\beta$ คือ solar altitude

ค่า solar altitude นั้นหาได้จาก

$$\sin\beta = \cos L \cos D \cos H + \sin L \sin D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

โดยที่ L คือ local latitude

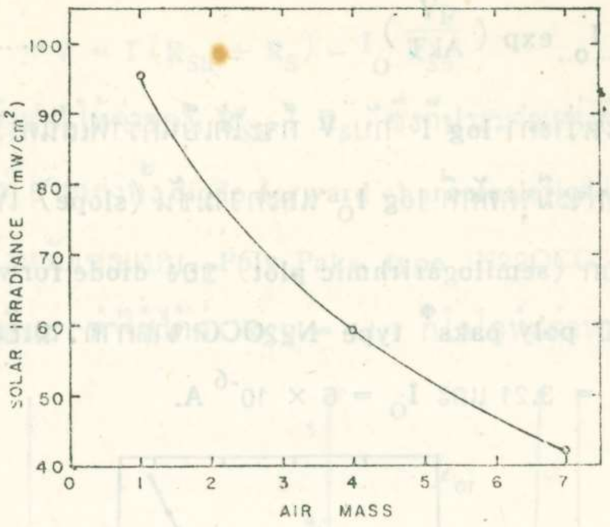
D คือ day's declination

และ H คือ hour angle

ค่า day's declination และวิธีที่จะหา hour angle เราสามารถที่จะค้นหาได้จากหนังสือคู่มือทางดาราศาสตร์มาตรฐานส่วนใหญ่ หรือในหนังสือตำราเรียน (Percy, 1976) และ (Abell, 1975) มีตารางที่จะหาค่าการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ได้ถ้าทราบค่า air mass* รูปที่ 3 แสดงค่าการแผ่รังสีเมื่อเขียนเทียบกับ air mass สำหรับในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งแจ่มใส

---

* ค่า air mass คือ การวัดของระยะทางในบรรยากาศของโลกที่ซึ่งการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะต้องเดินทาง เมฆหรืออากาศที่สกปรกจะมีผลทำให้เส้นกราฟนี้เปลี่ยนไป




รูปที่ 3 ค่าการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่เป็นฟังค์ชั่นของ air mass สำหรับวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

เราอาจจะให้นักศึกษาคำนวณหาพื้นที่และราคาของโซล่าเซลที่ต้องใช้สำหรับค่ากำลังงานที่ออกมาตามที่เราต้องการได้ สำหรับข้อมูลของเซลจากรูปที่ 2 ถ้าต้องการกำลังงานที่ออกมาถึง 1000 W ก็จะต้องใช้พื้นที่ (พื้นที่ของเซ็ลที่รับแสงอาทิตย์) ถึง 8.4 $m^2$ และราคาอาจแพงมากถึง 1,000,000 บาท ถ้าสั่งซื้อแต่ละเซลมาต่างหาก

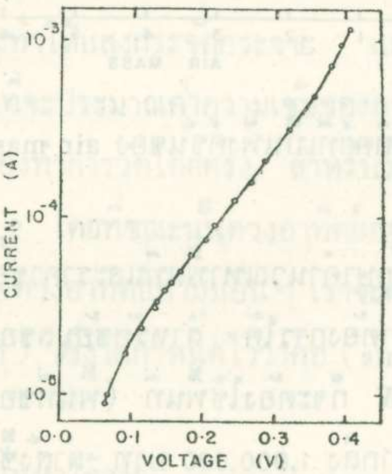
**IV การทดลองขั้นสูงขึ้น** (Advanced Experiments)

เราสามารถที่จะศึกษาคุณสมบัติภายในและ parameters ของเซลได้ และสามารถหาค่าต่าง ๆ ของ $I_O$, A, $R_S$ และ $R_{Sh}$ ได้ด้วย

จากลักษณะ forward characteristic curve ของไดโอดทำให้หาค่า A และ $I_O$ ได้ (Wolf, 1963) ซึ่งนั่นก็แสดงว่าเซลของเราไม่ได้ถูกแสงและค่าโวลท์เตจ (voltage) ขนาดต่าง ๆ ที่เราให้แก่ terminals ของมันนั้นเพียงแต่ทำให้ p-n junction เป็น forward biased และนั่นคือ $I_L = O$ และถ้า $R_S$ มีค่าน้อย ๆ แล้ว เทอม $IR_S$ ก็สามารถตัดทิ้งไปเสียได้ และ V มีค่ามากดังนั้นเทอมเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ก็จะยิ่งมีค่ามากกว่าหนึ่งมากทีเดียว และตัว $R_{Sh}$ เองก็มีค่ามาก ดังนั้นสมการ (4) ก็จะลดรูปลงลงมาเป็น

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) \qquad \text{.......................} (6)$$

เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างค่า log I กับ V ก็จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ถ้าข้อสมมติที่กล่าวข้างต้นใช้ได้โดยกราฟจะมีจุดตัดที่ $\log I_O$ และความชัน (slope) เท่ากับ $\left(\frac{q}{AkT}\right)$ รูปที่ 4 แสดงถึงกร๊าฟเซมิล๊อก (semilogarithmic plot) ของ diode forward characteristic สำหรับโซล่าเซลแบบ poly paks* type N22OCG จากค่าความเอียงและจุดตัดของเส้นกร๊าฟทำให้ได้ค่า $A = 3.21$ และ $I_O = 6 \times 10^{-6}$ A.



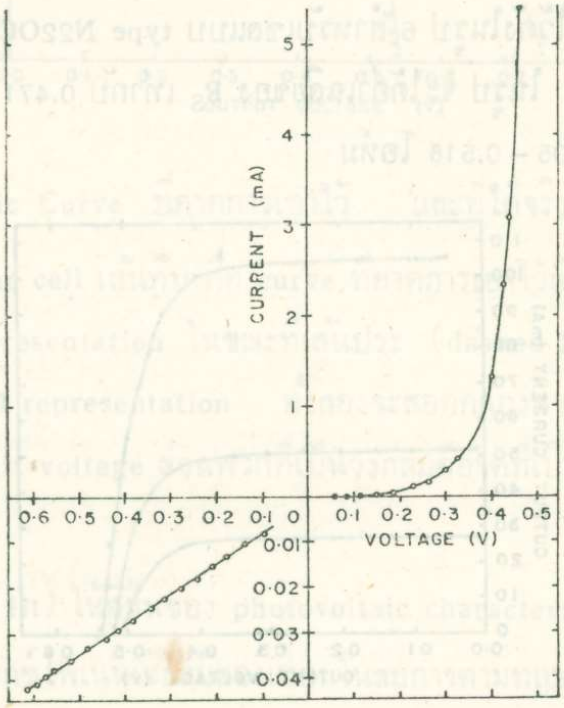

รูปที่ 4 กร๊าฟของ diode forward characteristic สำหรับ silicon solar cell ที่ไม่ได้ถูกแสงสว่าง ดังนั้น photocurrent ก็จะไม่มี จากกร๊าฟนี้ทำให้หาค่า diode parameters ได้

ส่วนค่าสำหรับ $R_{Sh}$ นั้นหาได้จากกร๊าฟของ diode reverse characteristic ซึ่งก็ในทำนองเดียวกันเซลไม่ต้องถูกแสงสว่าง และเราเปลี่ยนค่าโวลท์เตจ (voltage) ต่าง ๆ กันให้แก่ terminals ของเซลซึ่งนั่นก็คือ p-n junction จะเป็น reverse biased สำหรับกรณีนี้จาก equivalent circuit บอกให้รู้ว่า I-V characteristic เป็นเส้นตรงและมีรูปดังนี้

* Poly Paks ชื่อบริษัทผู้ผลิต

$$V = I(R_{Sh} + R_S) - I_O R_{Sh} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

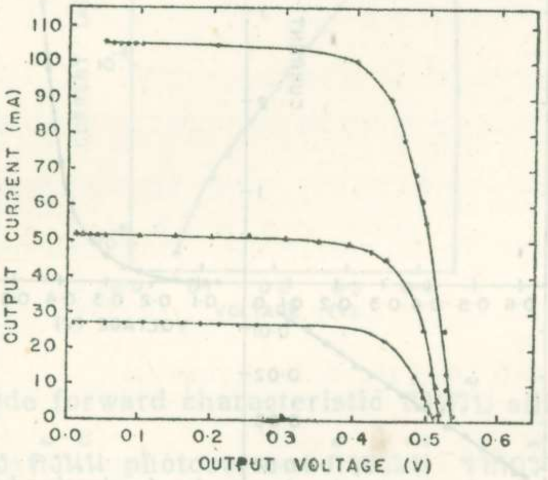
ความเอียงของเส้นกร๊าฟจะให้ค่าของ $R_{Sh} + R_S$ ซึ่งก็ประมาณเท่ากับ $R_{Sh}$ เพราะว่า $R_S << R_{Sh}$. รูปที่ 5 แสดงทั้ง diode forward characteristics และ diode reverse characteristics สำหรับเซลแบบ Poly Paks type N22OCG. จากความเอียงของ reverse characteristic ทำให้ได้ค่า $R_{Sh}$ = 14.7 กิโลโอห์มสำหรับเซลนี้




รูปที่ 5 Characteristic curve สำหรับ silicon solar cell ที่ไม่ถูกแสงสว่าง ความชันของส่วนที่เป็น reverse biased ทำให้หาค่า effective shunt resistance ใน equivalent circuit ได้

ส่วนค่าความต้านทานอนุกรม $R_S$ สามารถที่จะหาได้จากการเขียนกราฟของ I-V photovoltaic characteristic ที่ระดับของความส่องสว่าง (illumination) ค่าต่างๆ กัน (Wolf, 1963)

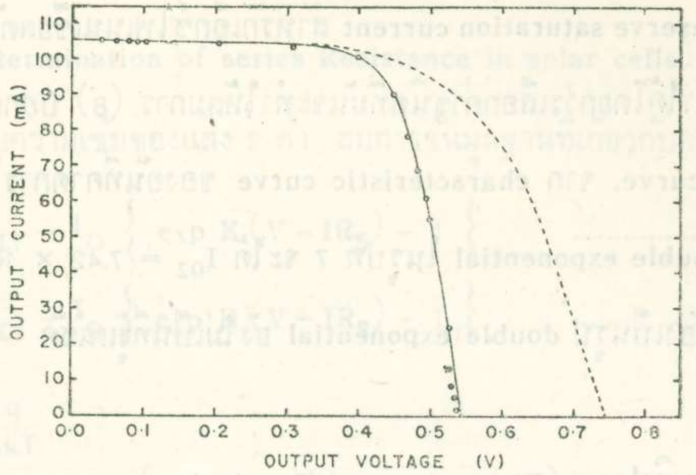
ในภาคผนวกได้แสดงให้เห็นชุดของ I–V photovoltaic characteristics ที่ค่าความเข้มของแสงต่าง ๆ กัน ถ้าแกนของ Voltage ได้ขยับที่ (shifted) ไปเป็นจำนวน $\Delta I_L R_S$ และแกนของกระแสขยับที่ไปเป็นจำนวน $\Delta I_L$ ดังนั้นโดยการเอาเข้าชุดกัน (matching) ของ I–V curves ที่ค่าความเข้มต่าง ๆ และโดยการวัดแกนที่ขยับที่ไปสำหรับในการที่จะให้เข้าชุดก็จะทำให้หาค่า $R_S$ ได้ เมื่อใช้ Crossed Polaroid filters แล้วจะมีประโยชน์มากสำหรับการเปลี่ยนค่าระดับความเข้มของแสง ชุดของ I–V characteristics ซึ่งได้แสดงไว้ดังในรูป 6 สำหรับเซลแบบ type N22OCG. จากการ matching ค่าของ curves ต่าง ๆ ในรูป จะได้ค่าเฉลี่ยของ $R_S$ เท่ากับ 0.471 โอห์ม, กับมีช่วงพิสัย (range) ระหว่าง 0.405 – 0.518 โอห์ม




รูปที่ 6 Photovoltaic curves เมื่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่าง ๆ

เราสามารถที่จะศึกษาพารามิเตอร์ของเซลที่เป็นพารามิเตอร์ ที่ขึ้นกับอุณภูมิได้อย่างคราว ๆ โดยการใช้ heatgun (เครื่องเป่าผมจะใช้แทนได้อย่างดี) และเทอร์โมมิเตอร์พบว่าค่า $I_O$ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และค่า A จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยการใช้ค่าเซลพารามิเตอร์ (cell parameters) ทุกค่าที่หาได้จากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ เราอาจจะลองพยายามปรับ (fit) ค่าของ I–V photovoltaic characteristic ลงไปในสมการที่ได้มาจาก equivalent circuit การปรับค่าเช่นนี้จะไม่ค่อยดีนักสำหรับค่า Voltages ที่ใกล้ค่า open–circuit voltage ดังแสดงในรูปที่ 7




รูปที่ 7 Photovoltaic Curve ที่คาดการเอาไว้ และที่ได้จริงจากการทดลองสำหรับ silicon solar cell เส้นทึบ คือ curve ที่คาดการเอาไว้สำหรับ double exponential representation ในขณะที่เส้นประ (dashed line) สำหรับ single exponential representation ทั้งสองจะสอดคล้องห่างกันออกไปเรื่อยจนถึง open-circuit voltage ส่วนพวกที่เป็นวงกลมคือจุดที่เป็นข้อมูลจากการทดลอง

เราพบว่าการปรับค่า (fit) ให้ดีขึ้นของ photovoltaic characteristic นั้นสามารถทำได้ถ้าเราสมมติว่าเทอมเอกซ์โพเนนเชียลมีสองเทอมในสมการตามทฤษฎี (Wolf and Rauschenbach, 1963) เอกซ์โพเนนเชียลเทอมแรกเราได้กล่าวถึงแล้วแต่ตอนต้น ส่วนเอกซ์โพเนนเชียลเทอมในเทอมที่สองนี้จะมีค่า A = 1 และค่า $I_O$ น้อยกว่าของเทอมแรกมาก ๆ ค่าเอกซ์โพเนนเชียลเทอมในเทอมที่สองนี้จะมีค่าน้อย ๆ (ซึ่งอาจตัดทิ้งได้) เมื่อค่า voltages ยิ่งห่างออกจากค่า open-circuit voltage. รูปฟอร์มที่ถูกต้องจะเป็นดังนี้

$$I = I_L - I_{01}\left\{\exp\left[\left(\frac{q}{AkT}\right)(V + IR_S)\right] - 1\right\} - I_{02}\left\{\exp\left[\left({}^{q}/kT\right)(V + IR_S)\right] - 1\right\} \quad \ldots\ldots (8)$$

โดยที่เราไม่คำนึงถึงผลของ $R_{Sh}$

ค่า reserve saturation current สำหรับเอ็กซ์โพเนนเชียลตัวที่สอง (คือ $I_{02}$) สามารถที่จะหาค่าได้โดยการเลือกค่าชนิดที่มันจะทำให้สมการ (8) บอกค่า I–V ที่อยู่บน experimental curve, จาก characteristic curve ของอันที่คาดการไว้ (predicted) → อันที่เป็น double exponential ในรูปที่ 7 จะได้ $I_{02} = 7.42 \times 10^{-11}$ A. เหตุผลที่ว่าทำไมถึงจะต้องเป็นรูป double exponential ยังไม่เป็นที่รู้แน่ชัด

## V บทสรุปและอภิปราย (Discussion and Conclusion)

จะเห็นได้ว่าซิลคอนโซล่าเซลเป็นหัวข้อที่ดีเรื่องหนึ่งในการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีการทดลองหลายเรื่องที่ค่อนข้างจะตรงไปตรงมาที่เหมาะสำหรับการทดลองของพวกนักศึกษาที่ไม่ได้เลือกวิทยาศาสตร์เป็นวิชาเอก และมีบางเรื่องที่ซับซ้อนพอสมควรที่เหมาะสำหรับนักศึกษาที่เลือกเรียนวิชาฟิสิกส์ระดับสูง (advanced physics course) อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีปัญหาอยู่อย่างหนึ่ง คือเรายังไม่มีการทดลองอะไรที่จะไปบังคับพวกเมฆได้ การทดลองต่างๆ (ที่เกี่ยวกับโซล่าเซล) สามารถที่จะกระทำได้โดยใช้จุดกำเนิดแสงเทียม แต่แสงอาทิตย์ยังเป็นที่ต้องการมากกว่าเว้นเสียแต่ว่าจุดกำเนิดแสงเทียม (artificial sources) มีการแจกแจงเปคตรัม (spectral distribution) เหมือนกันกับของดวงอาทิตย์ข้อมูลที่เกี่ยวกับโวลท์เตจ ถ้าใช้ดิจิทัลโวลมิเตอร์ (digital voltmeter) จะเก็บรวบรวมได้ง่ายกว่าที่ใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ (potentiometer)

คาดว่าคงจะมีนักศึกษาสนใจเกี่ยวกับการทดลองเหล่านี้มากพอสมควร เพราะนักศึกษาส่วนใหญ่คงเคย ได้ยิน เรื่องราวของ โซล่าเซล ที่เกี่ยว ข้องกับ วิกฤตกาลพลังงาน (energy crisis) และคงจะสนใจที่มีโอกาสได้ศึกษาถึงประดิษฐกรรมนี้ ซึ่งดูเหมือนว่ามีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตพลังงานในอนาคต

**ภาคผนวก :** การหาค่าของความต้านทานอนุกรมของโซล่าเซล

(Appendix : Determination of series Resistance in solar cells)

สำหรับความเข้มของแสง 2 ค่า สมการชั้นมูลฐานที่เกี่ยวกับกระแสก็คือ

$$I = I_{L1} - I_O \left\{ \exp K(V - IR_S) - 1 \right\} \quad \text{(ผ.1)}$$

$$I = I_{L2} - I_O \left\{ \exp K(V - IR_S) - 1 \right\} \quad \text{(ผ.2)}$$

โดยที่ $K = \frac{q}{AkT}$

ให้ $\triangle I_L = I_{L2} - I_{L1}$, ดังนั้นสมการ (ผ.1) อาจจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$I + \triangle I_L = I_{L2} - I_O \left\{ \exp \left[ K(V - R_S \triangle I_L) + (I + \triangle I_L) R_S \right] - 1 \right\} \quad \text{(ผ.3)}$$

สมการ (ผ.3) นี้ก็จะมีฟอร์มแบบเดียวกันกับสมการ (ผ.2) โดยที่มีแกนกระแส (current axis) ขยับที่ (shifted) ไปเท่ากับ $\triangle I_L$ และแกน voltage (Voltage axis) ขยับที่ไปเท่ากับ $\triangle I_L R_S$.

การวัดค่าที่ขยับที่ไปเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะปรับค่าให้เข้าชุด (match) ของ Curves ทั้งหลายที่มีค่าความส่องสว่าง (Illuminations) ต่าง ๆ กัน ซึ่งอันนี้ก็จะมีผลทำให้หาค่า $R_S$ ได้

**หมายเหตุ :** หนังสือและผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับ Silicon Solar Cells อาจหาซื้อได้จาก

1. Poly Paks, P.O. Box 942 South Lynnfield, MA 01940
2. Edmunds Scientific Co., 430 Edscorp Bldg., Barrington, N.J. 08007
3. Herbach and Rademan, Inc., 401 East Eric Ave., Philadelphia, PA 19134.

## เอกสารอ้างอิง


Abell, G. O. 1875. Exploration of the Universe. New York : Holt, Rinehart and Winston.

Cummerow, R. L. 1954. Phys. Rev. 95 : 16.

Elliott, J. F. 1966. Direct Energy Conversion. Edited by G. W. Sutton. New York : Mc Graw-Hill.

Gray, D. E. (ed.) 1972. American Institute of Physics Handbook. New York: McGraw-Hill.

Löferski, J. J. 1961. Energy. Conversion for Space Power, Edited by N. W. Snyder. New York : Academic Press.

Percy, J. R. (ed.) 1976. The Observers Handbook, Toronto : Royal Astronomy Society of Canada.

Prince, M. B. 1954. J. Appl. Physics. 26 : 534.

Rosenblatt, A. 1974. Electronics. 47 : 99.

Shockley, W. 1950. Electrons and Holes in Semiconductors. New York : Van Nostrand.

Thekaekara, M. P. 1974. Energy Primer. Edited by R. Morrill et al. Menlo Park : Portola Institute.

Wolf. M. 1961. Energy. Conversion for Space Power. Edited by N. W. Snyder. New York : Academic Press.

1971. Adv. Energy Convers. 11 : 63.

Wolf, M. and Rauschenbach, H. 1963. Adv. Energy Convers. 3 : 455.

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# โรคกับพันธุกรรม

## DISEASE AND GENETICS

พรรณี ฐิตาภิชิต*

ร่างกายคนเราประกอบขึ้นด้วยเซลล์ ภายในเซลล์หนึ่งๆ ประกอบด้วยนิวเคลียส (nucleus) และไซโตปลาสซึม (cytoplasm) สิ่งที่สำคัญภายในนิวเคลียสได้แก่ โครโมโซม (chromosome) ซึ่งโครโมโซมของคนๆ หนึ่งนั้นครึ่งหนึ่งจะมาจากพ่อ อีกครึ่งหนึ่งมาจากแม่ ตัวโครโมโซมยังประกอบด้วย DNA (deoxyribonucleic acid) และโปรตีน (protein) DNA ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) หลายๆ อันมาต่อกัน และนิวคลีโอไทด์ตั้งแต่หนึ่งชิ้นไปอาจทำหน้าที่เป็นยีน (gene) และยีนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยกรรมพันธุ์ หรือเป็นตัวการที่ทำให้คนแต่ละคนมีลักษณะแตกต่างกันไปตั้งแต่สีผิวจนกระทั่งอุปนิสัยใจคอรวมทั้งระดับสติปัญญา (I.Q.) ยีนจะถูกถ่ายทอดต่อ ๆ ไปจากพ่อแม่ไปยังลูกหลานเรื่อย ๆ ซึ่งทำให้ลูกมีลักษณะคล้ายพ่อแม่หรือบรรพบุรุษ

คนปกติจะมีโครโมโซม 46 เส้นหรือ 23 คู่ โดยเป็นโครโมโซมร่างกาย (autosome) ซึ่งเป็นโครโมโซมที่ไม่เกี่ยวกับการบ่งบอกเพศ 22 คู่ ส่วนอีก 1 คู่ เป็นโครโมโซมที่กำหนดเพศ (sex chromosome) คือถ้าเป็นเพศหญิงจะเป็นโครโมโซมเพศ X ทั้งสองเส้น แต่ถ้าเป็นเพศชายจะเป็นโครโมโซม X หนึ่งเส้น และโครโมโซม Y อีกหนึ่งเส้น ความผิดปกติของโครโมโซมไม่ว่าจะเป็นโครโมโซมร่างกายหรือโครโมโซมเพศ เช่น น้อย หรือ มากกว่าปกติ หรือแม้แต่ผิดไปจากปกติเพียงยีนเดียวก็จะทำให้ร่างกายหรืออาจรวมทั้งจิตใจและระบบทางเคมีผิดปกติไปด้วย เรียกว่าเป็นโรคที่เกี่ยวกับพันธุกรรมหรือเป็นโรคกรรมพันธุ์ (hereditary or genetic disease)

ในบรรดาโรคต่างๆ ที่แพทย์ได้จำแนกออกเป็นกลุ่ม ๆ นั้น โรคกรรมพันธุ์เป็นโรคที่สร้างปัญหาต่อสุขภาพให้กับวงการสาธารณะสุขของประเทศที่พัฒนาแล้วเป็นอย่างยิ่ง แต่ในประเทศที่กำลังพัฒนา ความรู้สึกถึงปัญหานี้ยังมีน้อยหรืออาจจะไม่มีเลย ทั้งนี้เพราะประเทศเหล่านี้ต้องต่อสู้กับปัญหาโรคติดต่อและภาวะทุโภชนาการ ซึ่งต้องแก้

* อาจารย์พรรณี ฐิตาภิชิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ไขอย่างเร่งด่วน มีผู้ประมาณว่าโดยเฉลี่ยทั้งในประเทศพัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนา ปริมาณทารกที่มีชีวิตซึ่งป่วยเป็นโรคกรรมพันธุ์จะสูงถึง 6% และเคยมีรายงานของสหรัฐอเมริกาว่าในแต่ละปี ทารกประมาณสองแสนคนที่เกิดในสหรัฐอเมริกาจะเป็นโรคกรรมพันธุ์ เช่น มีรูปร่างหรือจิตใจผิดปกติ รวมทั้งมีความผิดปกติอย่างมากเกี่ยวกับระบบทางเคมีในร่างกาย ถ้ามีวิธีการที่สะดวกในการตรวจชนิดของยีนของคู่สมรสเช่นเดียวกับการตรวจหาโรคซิฟิลิสแล้ว ปัญหาเกี่ยวกับความผิดปกติของเด็กทารกอันเนื่องจากพันธุกรรมก็จะลดลงได้มาก นี่คือที่มาของการตั้งคลีนิคให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับกรรมพันธุ์ (genetic councelling) ซึ่งปัจจุบันได้เปิดบริการแล้วในต่างประเทศ ในสหรัฐอเมริกามีรายงานว่าระหว่างปี คศ. 1969 มีศูนย์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากจำนวน 20 แห่งเป็น 114 แห่ง ศูนย์ดังกล่าวจะช่วยบิดามารดาซึ่งมีบุตรผิดปกติอันเนื่องมาจากกรรมพันธุ์ในการตัดสินใจว่าควรจะมีบุตรคนต่อ ๆ ไปหรือไม่ นอกจากนี้ศูนย์ยังแนะนำชายหญิงที่กำลังจะแต่งงานกันให้ทราบถึงประวัติครอบครัวเกี่ยวกับโรคกรรมกรรมพันธุ์ของแต่ละคนอีกด้วย

โรคหลายชนิดเกิดจากความผิดปกติของยีนเพียงยีนเดียว ตัวอย่างของโรคที่เกิดจากความผิดปกติของยีนบนโครโมโซมร่างกาย ได้แก่ achondroplastic dwarfism ซึ่งเกิดจากยีนเด่น (dominant gene) เมื่อบุตรคนใดได้รับการถ่ายทอดยีนนี้ก็จะเป็นโรคซึ่งมีลักษณะทางร่างกายคือตัวเตี้ย แคระ อันเกิดจากความผิดปกติของกระดูกตั้งแต่ยังเป็นตัวอ่อนในครรภ์มารดา การให้คำแนะนำทางพันธุกรรมแก่ครอบครัวที่มีบิดาหรือมารดาคนใดคนหนึ่งที่เป็นโรคที่เกิดจากยีนด้อย (recessive gene) บนโครโมโซมร่างกาย ก็คือครึ่งหนึ่งของบุตรของครอบครัวนี้จะมีโอกาสเสี่ยงที่จะเป็นโรคดังแผนผังข้างล่าง

| | | | |
|---|---|---|---|
| พ่อแม่ | Aa | × | aa |
| | เป็นโรค | ↓ | ปกติ |
| ลูก | Aa | : | aa |
| | เป็นโรค | : | ปกติ |

โรคที่พบบ่อยที่สุดส่วนใหญ่เกิดจากยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย ซึ่งคนที่จะมีอาการผิดปกติต้องมียีนด้อยทั้ง 2 ตัว ถ้ามีเพียงตัวเดียวก็จะไม่แสดงอาการเพียงแต่จะเป็นตัวนำ (carrier) ซึ่งถ้าบุคคลที่เป็นตัวนำสองคนแต่งงานกัน แล้วมีบุตร บุตรหนึ่งในสี่จะมีโอกาสเป็นโรค ดังแผนผังต่อไปนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| พ่อแม่ | Aa | × | Aa |
| | ตัวนำ | ↓ | ตัวนำ |
| ลูก | AA : | 2 Aa : | aa |
| | ปกติ | ตัวนำ | เป็นโรค |

ตัวอย่างโรคที่พบบ่อยที่เกิดจากยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย ได้แก่ cystic fibrosis ซึ่งมีอาการคือปอดและอวัยวะอื่นๆ มีเมือกมาก โดยพบในทารกอย่างต่ำทุกหนึ่งใน 1600 คน

โรคบางชนิดเกิดจากยีนด้อยที่อยู่บนโครโมโซมเพศ X (sex-linked recessive gene) ที่สำคัญได้แก่โรค hemophilia (โลหิตไหลหยุดยาก) เมื่อผู้หญิงที่เป็นตัวนำของโรคนี้แต่งงานกับผู้ชายปกติ ครึ่งหนึ่งของจำนวนบุตรชายจะมีโอกาสเป็นโรคนี้โดยที่อีกครึ่งหนึ่งจะปกติ และครึ่งหนึ่งของบุตรหญิงจะเป็นตัวนำในขณะที่บุตรหญิงอีกครึ่งหนึ่งปกติ ดังแผนผังต่อไปนี้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| พ่อแม่ | $X^AX^a$ | × | $X^AY$ | |
| | ตัวนำ | ↓ | ปกติ | |
| ลูก | $X^AX^A$ : | $X^AX^a$ : | $X^AY$ : | $X^aY$ |
| | ปกติ | ตัวนำ | ปกติ | เป็นโรค |

จะเห็นว่าโรคกรรมพันธุ์ที่เกิดจากยีนด้อยบนโครโมโซมเพศ X นี้จะมีโอกาสเป็นกับผู้ชายมากกว่าผู้หญิง ทั้งนี้เพราะผู้หญิงจะเป็นโรคนี้ได้ต่อเมื่อมียีนด้อยอยู่บนโคร

โมโซม X ทั้งสองตัว แต่ผู้ชายจะเป็นโรคทันทีเมื่อมียีนด้อยเพียงตัวเดียว (บนโครโมโซมเพศ X)

โรคกรรมพันธุ หลายชนิดเช่นโรค hemophilia อันเป็นโรคที่เกิดกับเชื้อพระวงศ์ในยุโรป ซึ่งนิยมแต่งงานกันในระหว่างเจ้านายของประเทศต่าง ๆ นั้น นักพันธุศาสตร์สามารถศึกษาและคำนวณย้อนกลับไปถึงประวัติครอบครัว (family tree) ได้เมื่อทราบประวัติครอบครัวของบุคคลสองคนที่จะสมรสกันแล้ว นักพันธุศาสตร์หรือผู้ให้คำแนะนำทางกรรมพันธุ์ (genetic councellor) ก็จะสามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้ว่าบุคคลคู่นั้นเมื่อแต่งงานกันแล้วจะมีโอกาสเสี่ยงที่จะมีบุตรผิดปกติเท่าใด อย่างไรก็ตามยีนที่ผิดปกติก็ยังอาจจะเกิดขึ้นได้โดยเราไม่อาจรู้ล่วงหน้าได้โดยการผ่าเหล่า (mutration)/Dr. Kurt Hirschhorn แห่ง New York City's Mount Sinai School of Medicine ได้เคยกล่าวไว้ว่า มนุษย์แต่ละคนจะมียีนผิดปกติหรือยีนที่จะทำให้เกิดโรคที่เป็นยีนด้อยที่เกิดจากการผ่าเหล่าจำนวนตั้งแต่ 3 ถึง 8 ยีน แต่จะไม่ทำให้บุคคลนั้นแสดงอาการ นอกจากว่ายีนเหล่านั้นจะมีโอกาสเข้าคู่หรือไปผสมกับยีนที่เป็นคู่ของมันอีกตัวซึ่งเป็นยีนด้อยเหมือนกันจึงจะทำให้บุคคลหรือทารกนั้น ๆ แสดงอาการตั้งแต่กำเนิด

นอกจากความผิดปกติของยีนจะทำให้เกิดโรคแล้ว โรคบางชนิดเกิดจากสาเหตุของโครโมโซมซึ่งอาจเกิดจากจำนวนที่ต่างไปจากคนปกติ หรือบางส่วนของโครโมโซมขาดหรือเกิน ตัวอย่างได้แก่โรค Mongolism หรือ Down's Syndrome ซึ่งได้แก่การมีลักษณะตัวเตี้ย จมูกแบน มือและเท้ากว้าง ตาสองข้างอยู่ห่างกันผิดปกติ หูต่ำและมักจะมีระดับ I.Q. ต่ำ โรคนี้อาจเกิดจากโครโมโซมคู่ที่ 21 มีเกินมาหนึ่งเส้น ซึ่งถ้าเป็นกรณีนี้จะพบว่าพ่อแม่ที่เคยมีบุตรซึ่งเป็นโรคนี้จะมีโอกาสที่จะมีบุตรที่ผิดปกติเช่นนี้อีกน้อยมาก กล่าวคือโรคนี้เป็นโรคเกี่ยวกับพันธุกรรม (genetic) แต่ไม่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ แต่ถ้าเป็น Down's Syndrome ชนิดที่จำนวนโครโมโซมปกติ แต่เกิดจากความผิดปกติของโครโมโซมแล้ว โรคนี้จะถูกถ่ายทอดจากคนรุ่นหนึ่ง (generation) ไปยังอีกรุ่นหนึ่ง

ปัจจุบัน เริ่มมีผู้ใช้วิธีคาดคะเนการเป็นโรคพันธุกรรมโดยวิธีทดสอบความเป็นตัวนำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแต่ก่อนนี้เคยอาศัยเฉพาะแต่กฎของการเฉลี่ย (law of averages) การทดสอบอาจจะได้แก่การทดสอบเลือด ปัสสาวะและทดสอบอย่างอื่นๆ ซึ่งพบว่าสามารถตรวจสอบโรคพันธุกรรมได้มากกว่าหนึ่งร้อยชนิดเช่น cystic fibrosis, phenylketonuria, hemophilia และโรคบางชนิดที่เกี่ยวกับความผิดปกติของกล้ามเนื้อหลายชนิด จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผู้ให้คำแนะนำทางพันธุกรรมจะสามารถบอกพี่หรือน้องสาวของผู้ชายที่เป็นโรค hemophilia ด้วยความเชื่อมั่นว่าเธอเป็นตัวนำของโรคนี้หรือไม่

นักวิจัยยังสามารถตรวจหาโรคทางพันธุกรรมได้ก่อนที่ทารกจะเกิดโดยวิธี amniocentesis ซึ่งเป็นวิธีการที่ฝังเข็มเข้าไปในมดลูกของหญิงที่กำลังตั้งครรภ์เพื่อนำตัวอย่างของเหลว (fluid) หรือเซลล์ที่อยู่ในมดลูกมาเลี้ยงในอาหาร (tissue culture) วิธีนี้จะทำให้นักวิจัยสามารถตรวจสอบว่าโครโมโซมของเซลล์ในเนื้อเยื่อผิดปกติ หรือมีปฏิกริยาทางเคมีผิดปกติหรือไม่ Dr. Henry L. Nadler แห่ง Northwestern University Medical School ได้กล่าวไว้ว่าวิธีนี้ (intrauterine detection) เป็นการนำทัศนะใหม่ของการให้การศึกษาทางพันธุกรรมมาใช้ เพราะแพทย์สามารถจะให้คำตอบแก่ผู้จะเป็นบิดามารดาว่าเขาทั้งสองจะได้ลูกที่ปกติหรือไม่อย่างไร Dr. Nadler ได้ตรวจคนไข้รายหนึ่งซึ่งเป็นหญิงตั้งครรภ์วัย 39 ปี พบว่าหญิงคนนั้นมียีนพิเศษที่จะทำให้เกิดโรค Mongolism จึงได้ป้องกัน โดยให้หญิงคนนี้ทำแท้ง (therapeutic abortion) เสียก่อน สามเดือนต่อมาหญิงคนนี้ก็ตั้งครรภ์อีก แต่ในคราวนี้ Dr. Nadler ได้ตรวจสอบพบว่าเธอจะให้กำเนิดบุตรที่ปกติ ซึ่งความจริงก็เป็นไปตามที่ทำนายไว้

เรียบเรียงจาก "How Are your Genes" ของ L. Hirasawa และ L. Markestein. 1975. Developing Reading Skill. 2 nd ed. Massachusetts: Newsbury House, Inc. pp. 70–77.

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# ค่าความผิดพลาดในการวัด

## ERROR OF MEASUREMENT

ขาว เหมือนวงศ์*

**บทคัดย่อ**

ผู้เขียนได้แสดงให้เห็นความสำคัญและการหาความผิดพลาดของการวัด ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ทั้งแบบธรรมดาและการใช้ Least Square Solution นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงความสำคัญและการหา Significant Error จึงนับว่าบทความนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นอย่างมาก

การปฏิบัติการทดลองทางวิชาฟิสิกส์นั้นจะเกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณทั้งทางตรงเช่นการวัดน้ำหนัก หรือระยะทางและทางอ้อม คือการหาค่าปริมาณของสิ่งซึ่งไม่อาจวัดได้โดยตรงแต่สามารถคำนวณหาได้โดยการวัดปริมาณอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประกอบในการคำนวณ ค่าที่ได้ออกมาทั้งสองกรณีนี้จะไม่มีความหมายเลยหากผู้ทำการวัดไม่สามารถบอกได้ว่ามีค่าของความผิดพลาดเท่าใด เช่น ในการทดลองวัดหาค่าอัตราเร่งที่ผิวโลกนั้นหากได้คำตอบออกมาว่าเท่ากับ 981 ซม./วินาที$^2$ ซึ่งตรงกับค่าที่นิยมใช้กันโดยไม่ระบุค่าความผิดพลาดเอาไว้ด้วย ผู้ทำการทดลองวัดจะสรุปว่าผลการทดลองครั้งนี้ดีมากไม่ได้ เพราะความจริงแล้วค่าอัตราเร่งบนผิวโลกนั้นแปรเปลี่ยนไปตามตำบลต่าง ๆ บนผิวโลกบ้างเล็กน้อย ดังนั้นผลการทดลองจึงไม่มีความหมายอะไรในทางวิชาฟิสิกส์เพราะไม่สามารถจะนำไปวิเคราะห์ถึงลักษณะทางภูมิศาสตร์ของตำบลที่ทำการทดลองวัดได้

ความผิดพลาดในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. *ความผิดพลาดที่สามารถแก้พิกัดได้ (Systematic Error)*
2. *ความผิดพลาดที่อยู่นอกเหนืออำนาจการแก้ไข (Accidental Error)*

ความผิดพลาดทั้งสองประเภทนี้มีโอกาสเกิดขึ้นในการวัดปริมาณได้เท่าเทียมกัน

---

*ดร. ขาว เหมือนวงศ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## Systematic Error

เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยผู้ทำการวัดสามารถหาทางแก้ไขให้หมดไปได้โดยสิ้นเชิงสำหรับการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทั้งนี้เพราะความผิดพลาดประเภทนี้จะเกิดขึ้นโดยมีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน ซึ่งสามารถจะค้นหาได้และสามารถจะสร้างเป็นสูตรคำนวณเพื่อการแก้ไขได้โดยเฉพาะ เช่นในการทดลองหาค่าสนามแม่เหล็กโลกโดยใช้แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ซึ่งใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ อาจเกิดความผิดพลาดประเภทนี้ได้เพราะปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองไหลไม่คงที่ตลอดเวลา กล่าวคือขณะเริ่มกดสวิชไฟฟ้ากระแสไฟจะไหลมากที่สุดแล้วค่อย ๆ ลดลงตามลำดับเพราะแบตเตอรี่ไฟฟ้ามีปริมาณไฟฟ้าสะสมอยู่เพียงจำนวนจำกัด แต่เนื่องจากแอมมิเตอร์ที่ใช้ไม่มีความละเอียดพอ เพราะจำนวนกระแสไฟที่ลดลงนั้นมีอัตราต่ำจนทำให้เข็มแอมมิเตอร์ชี้เสกลบนหน้าปัทเปลี่ยนไปน้อยกว่าความหนาของเข็มแอมมิเตอร์เอง แต่กระแสที่เปลี่ยนไปนี้สามารถทำให้เข็มแม่เหล็กในแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เปลี่ยนไปได้มาก ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากเข็มบนหน้าปัทของเครื่องมือทั้งสองจะไม่ใช่ค่าที่เป็นคู่กันตามที่คิด อย่างไรก็ตามหากทำการทดลองวัดเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ โดยกระบวนการวัดที่เป็นจังหวะแน่นอนจากผู้ทดลองคนเดียวกันตลอดเวลา ก็สามารถจะแก้ไขความผิดพลาดนี้ได้ เช่นอาจจะกระทำได้โดยการเขียนกราฟของตัวเลขที่เข็มทิศบนกัลวานอมิเตอร์ชี้กับเวลาที่เริ่มนับจากเริ่มต้นการทดลองจะทำให้คำนวณหาอัตราการลดลงของกระแสไฟที่เวลาต่าง ๆ ได้ จากนั้นจึงทำการคำนวณแก้ตัวเลขที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ที่เวลานั้น ๆ เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟที่ควรจะเป็นต่อไป

นั้นหมายความว่า เมื่อได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าปริมาณทางฟิสิกส์ใด ๆ แล้ว ก่อนที่ผู้ทดลองจะนำเอาข้อมูลไปใช้ต่อไปจะต้องนำข้อมูลนั้นมาทำการวิเคราะห์หาความผิดพลาดชนิด Systematic Error เสียก่อน เมื่อแน่ใจว่าข้อมูลชุดนั้นปราศจากความผิดพลาดชนิดนี้แล้วจึงจะสามารถนำไปใช้ในการประกอบการคำนวณต่อไปได้

## Accidental Error

ไม่ว่าข้อมูลที่วัดได้นั้นจะมี Systematic Error หรือไม่ก็ตาม โดยธรรมชาติของการวัดแล้วจะต้องมี Accidental Error เสมอไปในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ ที่เสร็จสิ้นไปแล้ว ผู้ทดลองไม่อาจจะแก้ไขให้ Accidental Errorลดลงได้ ข้อนี้ต่างไปจาก Systematic Error ซึ่งสามารถจะกำจัดให้หมดไปได้โดยสิ้นเชิงหากใช้ความพยายาม

สมมติว่าในการวัดความหนาของแผ่นกระดาษโดยใช้ ไม โคร มิ เตอร์ ครั้ง หนึ่ง หลังจากทำการแก้ไข Systematic Error อันเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิของห้องทดลองเปลี่ยนแปลงและความเมื่อยล้าร่างกายของผู้ทดลองเองแล้วทำให้ได้ข้อมูล มา ชุด หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าจากการวัดความหนาของแผ่นกระดาษ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นที่หนึ่งตารางนิ้ว สิ่งที่ต้องการจากข้อมูลชุดนี้คือตัวเลขตัวหนึ่งซึ่งจะใช้แทนข้อมูลทั้งชุด เพื่อบอกค่าความหนาของแผ่นกระดาษและตัวเลขอีกตัวหนึ่งซึ่งใช้เป็นหลักประ กัน ใน ความ เชื่อ ถือแห่งความถูกต้องของตัวเลขที่ใช้เป็นตัวแทนนั้น

ให้ m เป็นจำนวนข้อมูลของการวัดความหนาของแผ่นกระดาษซึ่งมีค่า $n_1$, $n_2, n_3 \ldots n_m$ และให้ $x_o$ เป็นค่าซึ่งจะเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาเพื่อบอกให้ทราบถึงความหนาของแผ่นกระดาษภายในอาณาบริเวณที่กำหนดให้วัด ให้ $v_1, v_2$ $v_3 \ldots v_m$ เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าข้อมูลใด ๆ กับค่า $x_o$ นั่นคือ

$$v_1 = n_1 - x_o$$

$$v_2 = n_2 - x_o$$

$$v_3 = n_3 - x_o$$

$$\vdots$$

$$v_m = n_m - x_o$$

ในที่นี้ v เรียกว่า Residual

หากยกกำลังสองของแต่ละสมการแล้วบวกกันจะได้

$$[v^2] = [(n - x_o)^2]$$

$$= [n^2] - 2x_o[n] + mx_o^2 \qquad \text{.......................}(1)$$

เพื่อความสะดวกในการพิมพ์สัญลักษณ์ $[t^k]$ หมายถึง $\sum_{i=1}^{m} t_i^k$

หากว่าได้ทำการทดลองหลายชุดแต่ละชุดให้มีจำนวนข้อมูล m เท่ากันอาจจะสรุปได้ว่า $[v^2]$ ไม่ควรจะขึ้นกับ $x_o$

ดังนั้น $\frac{d[v^2]}{dx_o} = 0$

หรือ $-2[n] + 2mx_o = 0$

นั่นคือ $x_o = \frac{[n]}{m}$ .............................(2)

ซึ่งสรุปได้ว่าค่าที่จะใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดใด ๆ ก็คือค่าตัวกลางเลขคณิต-(Arithmetical Mean) ของข้อมูลชุดนั้นนั่นเอง เมื่อเป็นเช่นนี้หากหันกลับไปพิจารณาว่า $v = n - x_o$ แล้ว ค่า Residual ก็คือค่าความผิดพลาดของการวัดแต่ละครั้ง (individual Error) ซึ่งจะเรียกต่อไปว่า error

หากการวัดแต่ละครั้งไม่มีความลำเอียง Error ควรจะมีการกระจายเป็นรูประฆังคว่ำ หรือที่เรียกว่าโค้งปรกติ (Normal Curve) และเพื่อให้เกียรติแก่ Gauss และ Maxwell ผู้ทำการศึกษาธรรมชาติของการกระจายชนิดนี้เรียกว่า Gaussian Distribution บ้าง Maxwellian Distribution บ้างดังแสดงในรูป Fig. 1

จากรูปที่แสดงจะเห็นได้ว่าจำนวนของค่า Error ที่เป็นลบจะเท่ากับจำนวนที่เป็นบวกสำหรับค่า Error ใด ๆ ที่กำหนดให้ดังนั้นในการพิสูจน์สมการ (2) จึงจำเป็นต้องเอา Error แต่ละตัวมายกกำลังสองก่อนแล้วจึงบวกกัน

นอกจากนี้การพิจารณารูปที่แสดงจะเห็นได้ว่าค่า Error สูงจะมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าค่า Error ต่ำและส่วนใหญ่จะอยู่แถว ๆ บริเวณที่ Error เท่ากับ o ซึ่งเป็นบริเวณที่คาดว่าความหนาของกระดาษที่แท้จริงน่าจะอยู่ซึ่งอาจจะเท่ากับ $x_o$ ก็ได้ ถึงกระนั้นก็ดียังไม่มีทฤษฎีใดสามารถจะบอกได้ว่าอยู่ในที่ใดแน่ อย่างไรก็ตามเราสามารถจะใช้ทฤษฎีทางสถิติเพื่อหาโอกาสแห่งความเป็นไปได้ (Probability) ที่ค่าที่แท้จริงควรจะอยู่ภายในขอบเขตมาตรฐานที่กำหนดให้ ค่าขอบเขตมาตรฐานนี้คือตัวเลขตัวที่สองที่เราต้องหาจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ค่าขอบเขตมาตรฐานที่จะใช้กำหนดค่า Probability ของท้อยู่ที่แท้จริงของค่าของสิ่งที่ต้องการวัดมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. Mean Error (m.e.)
2. Average Error (a.e.)
3. Probable Error (p.e.)

ซึ่งแต่ละชนิดให้ค่า Probability ต่างกัน คือ m.e. ให้มากที่สุดและ p.e. ให้น้อยที่สุดตามที่แสดงไว้ด้วยพื้นที่ใต้โค้งในรูป อนึ่งตัวย่อที่ใช้ทั้ง 3 นี้ เป็นตัวย่อที่ใช้กันเป็นสากล แต่เป็นที่น่าสนใจว่า p.e. นั้นมักจะถูก "เดา" ว่าเป็น "Percentage error" เสมอแม้ในหมู่นักวิชาการในต่างประเทศเอง Mean Error คือ Standard Error หรือ Standard Deviation of Error นั่นเอง ซึ่งหาได้จาก

$$m.e. = \sqrt{\frac{[v^2]}{m-1}} \qquad \text{.................................}(3)$$

จากรูปแบบของสมการ (3) ทำให้เรียก m.e. ได้อีกอย่างว่า Root-Mean Square Error คือเอา Square มาหา Mean ให้จึงถอด Root

Average Error

หาได้จาก

$$a.v. = \frac{[|v|]}{m-1} \qquad \text{..............................(4)}$$

กล่าวคือเอาค่าสมบูรณ์ของ Error ทุกตัวมาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวน Degree of Freedom

Probable Error

เป็นค่าพิกัดที่ระบุว่าในจำนวนข้อมูลที่ได้จากการวัดครึ่งหนึ่งของมันจะมีค่าสัมบูรณ์ของ Error มากกว่าและอีกครึ่งหนึ่งน้อยกว่าพิกัดนี้ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูป p.e. จะแบ่งพื้นที่ใต้โค้งซีกใดซีกหนึ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน

จากทฤษฎีทางสถิติโดยการคำนวณโดยตรงจาก Gaussian Distribution ทำให้หาความสัมพันธ์ระหว่างกันได้ดังนี้

p.e. = 0.6745 m.e. ..............................(5)

a.e. = 0.7979 m.e. ..............................(6)

เมื่อ m.e. หาได้โดยตรงจากสมการ (3)

โดยทั่วไปนิยมใช้ p.e. เพราะสามารถวาดภาพพจน์โอกาสความน่าจะเป็นของตำแหน่งที่อยู่ของคำตอบที่แท้จริงจากค่าจำกัดความของ p.e. เมื่อเวลาเขียนค่าคำตอบที่สมบูรณ์แบบจึงต้องเอาค่า p.e. แสดงกำกับไว้ด้วยเพื่อเป็นการระบุค่าความผิดพลาดในการวัด (Error of Measurement) เช่นความหนาของแผ่นกระดาษที่ได้จากการวัดจะเขียนได้เป็น

$x_o \pm p.e.$ ซ.ม.

ซึ่งตีความได้ว่ามีโอกาส 50% ที่ค่าความหนาที่แท้จริงของกระดาษจะอยู่ระหว่าง $x_o - p.e.$ และ $x_o + p.e.$ 25% อยู่ต่ำกว่า $x_o - p.e.$ และอีก 25% อยู่สูงกว่า $x_o + p.e.$ โดยทั่วไปจะต้องระบุลงไปด้วยว่าค่าความผิดพลาดในการวัดที่ใช้นั้นเป็นชนิดใดใน 3 ชนิดนี้ เป็นต้นว่าในการวัดหาค่าอัตราเร่งที่ผิวโลกที่กล่าวมาแต่ตอนต้นนั้นหากหาได้ว่า p. e. เท่ากับ 1 ซม./วินาที$^2$ ก็จะเขียนในลักษณะที่สมบูรณ์แบบได้เป็น

$$g = 981 \pm 1 \quad \text{(p.e.)} \qquad \text{ซม./วินาที}^2$$

โปรดสังเกตด้วยว่าค่าความผิดพลาดในการวัดทั้ง 3 ชนิดมีหน่วยเดียวกันกับค่าของตัวคำตอบที่ได้มาโดยการหาค่าตัวกลางเลขคณิต

**Least Square Solution**

เท่าที่กล่าวมานั้นเป็นการ หาค่าเฉลี่ยและค่าความผิดพลาดจากการวัดโดยตรง เช่น ความหนาของกระดาษเมื่อวัดได้มาเป็นข้อมูลชุดหนึ่งก็ทำการหาค่าตัวกลางเลข คณิต และค่าความผิดพลาดได้ทันที แต่ในการทดลองทางฟิสิกส์มีกรณีที่เกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ที่เราต้องการหาปริมาณทางฟิสิกส์ซึ่งไม่อาจจะวัดโดยตรงได้ แต่จะต้องวัดปริมาณอื่นอีกหลายอย่าง เพื่อเอามาเข้าสูตรเพื่อทำการคำนวณหาต่อไป และปริมาณต่าง ๆ ที่ทำการวัดมานั้นก็ล้วนแต่มี Accidental Error ทั้งสิ้นและสิ่งที่เราต้องการในที่นี้คือนอกเหนือจากค่าคำตอบของสิ่งที่เราต้องการทราบแล้ว เรายังต้องการทราบค่าความผิดพลาดของมันซึ่งติดมากับปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่นในการทดลองเพื่อหาค่าคงตัวของ Planck (h) โดยการประยุกต์ retarding potential V ไปยังโฟโตเซลล์แล้วฉายแสงความถี่ $\nu$ เข้าไป จะเขียนเป็นสูตรได้

$$eV = h\nu - \phi \qquad \text{.............................(7)}$$

เมื่อ e เป็นค่าประจุไฟฟ้าของอีเล็กตรอน และ $\phi$ เป็นค่า Work function ของโฟโตเซลล์ สิ่งที่จะต้องวัดคือ V และ $\nu$ ซึ่งมีความผิดพลาดในการวัดติดตัวอยู่ สิ่งที่ต้องการออกมาคือค่าของ h และ $\phi$ รวมทั้งค่าความผิดพลาดด้วย

Least Square Solution นั้นมิได้ใช้เฉพาะกรณีที่เกิดขึ้นกับสมการเชิงเส้นแบบสมการ (7) เท่านั้น แม้ในกรณีของสมการที่มีการคูณหารกันในเทอมเดียวกันก็ใช้ได้ เช่นการทดลองหา Young's Modulus จากสูตร

$$Y = \frac{mgL}{A\triangle L} \qquad \text{.............................(8)}$$

เมื่อ Y เป็น Young's Modulus ซึ่งต้องการหาค่าและค่าความผิดพลาดซึ่งติดมาจากการวัดความยาวของเส้นลวด L มีพื้นที่ตัดขวาง A ต้องยืดออก $\triangle L$ เพราะมีมวล

m มาถ่วงไว้ด้วยน้ำหนัก mg จะเห็นได้ว่าข้างขวามือของสมการ (8) ล้วนแล้วแต่มีความผิดพลาดในการวัดติดตัวมาทั้งสิ้น

เพื่อที่จะกล่าวให้คลุมสภาพที่จะต้องประสบได้ทั่วถึงจึงจะขอกล่าวถึง กรณี ของสมการเชิงเส้นในลักษณะของสมการ (7) เพราะโดยลักษณะแล้วรูปแบบของสมการ (8) ก็คือสมการ 7 ที่ลดรูปนั่นเอง

ให้ $x, y$ และ $z$ เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่เราต้องการทราบจากการทดลอง และจากสูตรทางฟิสิกส์เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ได้เป็น

$$ax + by + cz = n \qquad \text{......................................(9)}$$

กล่าวคือปริมาณที่สามารถวัดได้โดยตรงนั้นคือ a, b, c และ n เราเรียกสมการ (9) นี้ว่า Equation of Condition เขียนเป็นสัญลักษณ์ว่า E-of-C ซึ่งเป็น Equation ที่สร้าง Condition ให้แก่การแก้ปัญหาเพื่อหาค่าต่าง ๆ เรียงตามลำดับจาก x ถึง z และโดยความจริงแล้วจะมีสักกี่ตัวก็ได้สุดแท้แต่ Condition จะกำหนด

สมมติให้มีการวัดจำนวน m ครั้งเพื่อหาค่า a, b, c และ n เป็นชุด ๆ จำนวน m ชุด ดังนั้นสมการ (9) จึงเขียนได้เป็น E-of-C จำนวน m สมการ คือ

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z &= n_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z &= n_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z &= n_3 \qquad \text{..............................(10)} \\ &\vdots \\ a_mx + b_my + c_mz &= n_m \end{aligned}$$

ดังนั้นจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$[a^2]\,x + [ab]\,y + [ac]\,z = [an] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(16)$$

$$[ab]\,x + [b^2]\,y + [bc]\,z = [bn] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

$$[ac]\,x + [bc]\,y + [c^2]\,z = [cn] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(18)$$

เรียกสมการทั้งสามนี่ว่า **Normal Equations** ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า ณ บัดนี้จำนวนสมการที่จะต้องแก้เท่ากับจำนวนตัวแปรค่าที่เราต้องการหาค่าย่อมจะสามารถแก้สมการได้ โดยวิธีสามัญทั่วไปถ้าหากเราต้องการเพียงเพื่อหาค่าของมันเท่านั้น แต่เนื่องจากเราต้องการหาค่าความผิดพลาดของมันด้วย ดังนั้นกรรมวิธีจึงซับซ้อนขึ้นอีกเล็กน้อยดังนี้คือสมการทั้ง 3 สามารถเขียนได้ในรูปของ **Matrix** เป็น

$$\begin{bmatrix} [a^2] & [ab] & [ac] \\ [ab] & [b^2] & [bc] \\ [ac] & [bc] & [c^2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [an] \\ [bn] \\ [cn] \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(19)$$

ในการแก้สมการ (19) เราจะต้องหา **Inverse Matrix** ของเทอมหน้าซึ่งจะทำให้สามารถหาค่าตัวแปรค่าได้คือ

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \beta_{12} & \gamma_{13} \\ \alpha_{21} & \beta_{22} & \gamma_{23} \\ \alpha_{31} & \beta_{32} & \gamma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [an] \\ [bn] \\ [cn] \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(20)$$

ในเมื่อเทอมแรกทางขวามือของสมการ (20) คือ **Inverse Matrix** ของเทอมแรกทางซ้ายมือของสมการ (19) ซึ่งจะทำให้เราได้ค่า x, y และ z ออกมาทันที

จากนั้นเอาค่า x, y และ z ซึ่งคำนวณหาได้แล้วนี้ไปแทนในสมการ (11) เพื่อคำนวณหาค่า **Residual v** ซึ่งจะมีอยู่ m ค่า ค่าที่ได้นี้เป็นค่าผลต่างระหว่างทางขวา

มือของสมการ (10) ซึ่งได้จากทดลองโดยตรง (Observed) กับค่าทางซ้ายมือของสมการเดียวกันซึ่งใช้ค่า x, y และ z ที่ได้จากการคำนวณโดยตรง (Calculated) จากสมการ (20) จึงเรียก Residual v เหล่านี้ว่า Observed – Calculated เขียนย่อในแบบมาตรฐานสากลว่า O–C ซึ่งก็คือ Error นั่นเอง เราทำการหา Root–Mean–Square Error หรือ m.e. ได้จาก

$$\text{RMS. Error} = \sqrt{\frac{[(O-C)^2]}{m-3}} \qquad \text{.......................(21)}$$

โปรดสังเกตจำนวน Degree of Freedom ว่าเท่ากับจำนวนข้อมูลลบด้วยจำนวนตัวแปรค่า ค่า RMS. Error นี้คือดัชนีที่ชี้ความถูกต้องของการวัดจากห้องทดลองและของ Condition ที่ตั้งเอาไว้ในสมการ (9) ด้วย เพราะเป็นพฤติกรรมร่วมกัน จากนั้นจึงทำการคำนวณหา m.e. ของ x; y และ z ได้จาก

$$m.e._x = \text{RMS. Error} \sqrt{\alpha_{11}} \qquad \text{.......................(22)}$$

$$m.e._y = \text{RMS. Error} \sqrt{\beta_{22}} \qquad \text{.......................(23)}$$

$$m.e._z = \text{RMS. Error} \sqrt{\gamma_{33}} \qquad \text{.......................(24)}$$

ซึ่งถ้าหากต้องการใช้ค่า p.e. ก็สามารถจะเปลี่ยนจาก m.e. เป็น p.e. ได้โดยใช้สมการ (5) ดังนั้นเราจึงอยู่ในฐานะที่จะทราบความน่าเชื่อถือของผลจากการทดลองของเราว่ามีมากน้อยเพียงไร แบบมาตรฐานของการเขียนค่าตอบของสมการ E–of–C เขียนได้ดังนี้ เช่น

$$N = xA + yB + zC \qquad \text{.......................(25)}$$
$$\pm\, m.e._x \quad \pm\, m.e._y \quad \pm\, m.e._z$$

จะเห็นได้ว่าไม่มี RMS. Error มาเกี่ยวข้องด้วย แต่เราได้กล่าวมาแล้วว่า RMS. Error เป็นดัชนีที่จะใช้วัดความถูกต้องของพฤติกรรมรวมระหว่างความถูกต้องในการวัดกับความถูกต้องของ Conditon สมมุติว่าในการทดลองครั้งหนึ่งเราได้ RMS,

จะเห็นได้ว่าเรามี m สมการเพื่อที่จะแก้สำหรับหาค่าตัวแปร 3 ตัว ดังนั้นจำนวนสมการจึงมีมากเกินความจำเป็นถ้าหากพิจารณาตามแบบฉบับของหลักการการแก้สมการ โดยแท้จริงแล้วจำนวนสมการที่ได้มานี้จะเป็นเท่าไรก็ได้และยิ่งมากยิ่งดี ดังนั้นการแก้สมการนี้จึงไม่ใช้วิธีแบ่งกันออกเป็นส่วน ๆ ส่วนละ 3 สมการแล้วเอาค่า x, y และ z ที่หาได้จากแต่ละส่วนมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งถ้าทำได้เช่นนี้ก็นับว่าโชคดีมาก เพราะ โดยแท้จริงแล้วจำนวนสมการที่ได้มาไม่จำเป็นจะต้องหารได้ลงตัวด้วยจำนวนตัวแปรค่าเสมอไป

ให้ $v_1, v_2, v_3 ........ v_m$ เป็น Residual ของแต่ละสมการซึ่งเขียนได้ในลักษณะ

$$v_1 = n_1 - (a_1x + b_1y + c_1z)$$

$$v_2 = n_2 - (a_2x + b_2y + c_2z)$$

$$v_3 = n_3 - (a_3x + b_3y + c_3z) \qquad \text{........................(11)}$$

$$\vdots$$

$$v_m = n_m - (a_mx + b_ny + c_mz)$$

ถ้าเอาแต่ละสมการมายกกำลังสองแล้วบวกกันโดยเขียนด้วยสัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการ (1) จะได้

$$[v^2] = [(n - (ax + by + cz))^2]$$

$$= [n^2] - 2[(ax + by + cz)n] + [(ax + by + cz)^2] \quad \text{....(12)}$$

เราอาจจะแสดงได้ว่า $[v^2]$ ไม่ควรจะขึ้นกับ x, y และ z ดังนั้น

$$\frac{d[v^2]}{dx} = -2[an] + 2[(ax + by + cz)a] = 0 \qquad \text{........................(13)}$$

$$\frac{d[v^2]}{dy} = -2[bn] + 2[(ax + by + cz)b] = 0 \qquad \text{........................(14)}$$

$$\frac{d[v^2]}{dz} = -2[cn] + 2[(ax + by + cz)c] = 0 \qquad \text{........................(15)}$$

Error สูงมาก แต่เรามั่นใจว่าการวัดของเรานั้นน่าจะได้รับความเชื่อถือได้ เพราะวัดอย่างปราณีตจริง ๆ ดังนั้น เราจึงเชื่อแน่ว่า Condition ของเราผิด เป็นต้นว่า Condition ที่แท้จริงอาจจะมีแค่ 2 เทอมเท่านั้น วิธีที่จะพิจารณาว่าเทอมใดใน 3 เทอมที่เราเขียนไว้ใน E-of-C ควรจะไปก็โดยพิจารณาว่า สัมประสิทธิ์ของเทอมใดมีค่าน้อยกว่า 3 เท่าของค่า m.e. ของมันบ้าง เพราะโดยทางสถิติเราถือว่า Standard Deviation ของ Normal Curveชุดใดควรมีค่าประมาณหนึ่งในสามของค่าที่นับจากจุดกึ่งกลางของ Normal Curve ไปจนถึงปลายทางของมันไม่ว่าจะเป็นทางด้านซ้ายหรือขวาก็ตาม ดังนั้นถ้า Condition ถูกต้อง m.e. ควรน้อยกว่าหนึ่งในสามของค่าของสัมประสิทธิ์ เช่นถ้าเราพบว่า $m.e._z$ มีค่ามากกว่าหนึ่งในสามของ z ที่หามาได้ เราก็ควรจะทิ้งเทอม z ออกไปจาก E-of-C แล้วทำการคำนวณใหม่โดยใช้ E-of-C ที่มีเพียง 2 เทอม

เหตุที่ต้องพูดถึงหลักการ "หนึ่งในสาม" ตามข้างบนนี้ เพราะได้เขียนถึง Systematic Error ไว้ในตอนต้นและได้กล่าวว่าอันว่า Systematic Error ของการทดลองใด ๆ นั้น สามารถจะแก้ไขให้หมดไปได้โดยสิ้นเชิงหากใช้ความพยายาม ที่กล้ากล่าวเช่นนั้นเพราะเรามี Least Square Solution กับเทคนิค "หนึ่งในสาม" เป็นอาวุธอันสำคัญในการหาสมการที่จะแก้ตัวเลขที่ได้จากการทดลองที่มี Systematic Error ติดตัวมา เรากระทำได้โดยการเขียน E-of-C ให้มีเทอมต่าง ๆ ซึ่งเราคิดว่าน่าจะเป็นไปแล้วทำการแก้สมการ จากนั้นจึงพิจารณาเปรียบเทียบค่า m.e. ของสัมประสิทธิ์แต่ละตัวกับตัวของสัมประสิทธิ์นั้น ๆ ก็จะทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งนิยมเรียกว่า Model ที่จะใช้แทนความเป็นจริงทางฟิสิกส์ซึ่งไม่อาจพิสูจน์ได้โดยตรง ยกตัวอย่างเช่นการทดลองเพื่อหากสมมูลย์กลความร้อนนั้นจะต้องแก้ Systematic Error ด้วยความอยากลำบากจากการเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้ขณะเครื่องมือเย็นตัวกับเวลาซึ่งนับว่า ยุ่งยากมาก แต่ในเมื่อเรารู้ว่าอุณหภูมินั้นจะลดลงเป็นลักษณะ Polynomial กับเวลาก็สามารถจะเอาข้อมูลนั้นมาแก้สมการ E-of-C ได้ในรูปของ

$$a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 = f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(26)$$

แล้วคำนวณหา m.e. ของแต่ละเทอม เพื่อพิจารณาว่าเทอมใดบ้างควรจะอยู่เทอมใดบ้างควรจะไป อย่างไรก็ตามการหา Inverse Matrix ขนาดความจุ 5 x 5 นั้นไม่ใช่ของน่าสนุกนักอีกทั้งยังไม่แน่ด้วยว่าจะต้องหากี่หนจึงจะได้คำตอบที่น่าพอใจ โดยแท้จริงแล้วเราเขียนเป็นโปรแกรมให้คอมพิวเตอร์รับภาระนี้แทนเรา

ผู้เขียนขออ้อนกล่าวถึงลักษณะของสมการ (7) ที่ว่า

$$eV = h\nu - \phi$$

นั้น สามารถจะเขียนเป็น

$$\frac{h}{e}\nu - \frac{\phi}{e} = V \qquad \text{.............................(27)}$$

จะเห็นได้ว่าเทอมที่สองของซ้ายมือของสมการ (27) ก็ดี เทอมแรกของสมการ (26) ก็ดีต่างก็คงเป็นเทอมคงที่ด้วยกัน ในลักษณะเช่นนี้ผู้เขียนต้องขอประทานโทษต่อผู้อ่านในการที่จะให้คำอธิบายโดยไม่จำเป็นว่า เราถือ "เถรตรง" ตามสมการ (16), (17) และ (18) กล่าวคือ เราถือตัวสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น สมการ (27) จึงเขียนเป็น E-of-C ได้เป็น

$$ax + y = n \qquad \text{.............................(28)}$$

ในที่นี้ $\nu$ คือ a, $\frac{h}{e}$ คือ x และ $\frac{\phi}{e}$ คือ y ซึ่งต้องการหาค่า Normal Equations จะเขียนได้ในลักษณะ

$$[a^2]x + [a]y = [an] \qquad \text{.........................(29)}$$

$$[a]x + my = [n] \qquad \text{.........................(30)}$$

เมื่อ m เป็นจำนวน E-of-C จากนั้นจึงดำเนินการหา Inverse Matrix ต่อไปจนเสร็จสิ้นกระบวนการตามที่กล่าวมาแล้ว

ผู้เขียนใคร่ขออนุญาตจากผู้อ่านเพื่อเตือนความทรงจำท่านอย่างหนึ่งดังนี้ คือ สมมุติว่าในการทดลองเรื่อง Young's Modulus สมการ (8) อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{AY}{Lg} \triangle L = m$$

และสามารถเขียนเป็น E–of–C ได้เป็น

$$\triangle Lx = m \qquad \text{.........................(31)}$$

ดังนั้น Normal Equation ของ (31) คือ

$$[\triangle L^2]x = [\triangle Lm] \qquad \text{.........................(32)}$$

สิ่งที่ผู้เขียนอยากจะถือโอกาสนี้เตือนความจำผู้อ่านมี 2 ประการคือ

1. Inverse Matrix ของ $[\triangle L^2]$ นั้นมิใช่อื่นไกลที่แท้คือเศษส่วนกลับของนั่นเอง

2. เมื่อหาค่า m.e. ของ x ได้นั้นโปรดเข้าใจด้วยว่าในจำนวน m.e. นั้นนั้นมีทั้ง m.e. ของ A,L และ g ซึ่งหาได้โดยตรงจากการวัดล่วงหน้าก่อนแล้วดังนั้น m.e. ของ x จึงมิใช่ของ y แต่ผู้เดียว การจะหาว่า m.e. เฉพาะส่วนของ y เป็นเท่าไรก็อาจจะหาได้จากการใช้ Total Differentiation เข้าช่วยเหลือแก้ปัญหา

อีกประการหนึ่งมีกรณีที่ว่าค่าของปริมาณ ทาง ฟิสิกส์ ที่ ต้องการ วัด นั้น อยู่ ในลักษณะเป็นตัวหารของสัมประสิทธิ์ที่หามาได้ เช่นในการทดลองเรื่อง Simple Pendulum โดยใช้สมการ

$$\frac{4\pi^2}{g} L = T^2$$

ซึ่งเขียนเป็น E–of–C ได้เป็น

$$Lx = T^2$$

ดังนั้นค่า m.e. ของ x จึงมิใช่ค่า m.e. ของ g ท่านจะต้องใช้ความรู้เรื่อง Total Differentiation เพื่อแก้ปัญหานี้เช่นกัน

อนึ่ง มีคำนิยมใช้กันอยู่ทั่วไปคำหนึ่งคือ Significant Figure หรือ ตัวเลขนัยสำคัญมีปัญหาเกิดขึ้นอยู่เสมอว่าในการเขียนรายงานผลการวัดนั้นควรจะใช้เลขทศนิยมกี่หลัก ถ้าหากพิจารณาลักษณะการเขียนรายงานผลการคำนวณว่าอยู่ในแบบของ

$$x_o \pm \text{p.e.}$$

ดังนั้นจำนวนหลักทศนิยมของ $x_o$ จะมากกว่าของ p.e. ไม่ได้ หากหันไปพิจารณาสมการ (5) และ (6) จะเห็นได้ว่า p.e. ควรมีทศนิยมได้ถึง 4 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตามเรามิได้พิจารณาถึงจำนวนหลักทศนิยมแต่เรากำลังพูดถึงจำนวนตัวเลข ที่ใช้เขียนว่าควรจะมีได้

กี่ตัว ส่วนหลักของตัวเลขนั้นใช้เขียนในรูปของสิบยกกำลังได้จึงมาถึงปัญหาที่ว่า $x_o$ และ p.e. ควรจะมีเลขนัยสำคัญกี่ตัว เราพิจารณาปัญหานี้ ได้ 2 กรณี คือ

1. ถ้า $x_o$ เป็นตัวเลขที่ได้มาจากการวัดโดยตรงมิใช่ได้มาจากการวัดปริมาณอื่น ๆ แล้วนำมาคำนวณหาทีหลัง p.e. ไม่ควรจะมีค่าที่ละเอียดมากกว่าความละเอียดของเครื่องมือที่ทดลองวัด เช่น เมื่อเอาไม้เมตรมาใช้วัดขนาดความกว้างของโต๊ะควรจะอ่านละเอียดได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ดังนั้น p.e. ไม่ควรจะมีทศนิยมที่ละเอียดเกินกว่า 1 มิลลิเมตร และ $x_o$ ก็ไม่ควรจะบอกได้ละเอียดกว่า 1 มิลลิเมตร หรือถ้าใช้เครื่องชั่งชนิดความไวสูงและสามารถวัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิกรัม p.e. ก็ไม่ควรจะบอกได้ละเอียดถึงเศษส่วนของมิลลิกรัม

2. ถ้า $x_o$ เป็นปริมาณที่ไม่ได้วัดมาได้โดยตรงแต่เป็นปริมาณที่ได้มาจากการคำนวณหาโดยใช้การวัดปริมาณอื่นที่สามารถวัดได้โดยตรง เช่น การหา Young s Modulus จากสมการ (8) จะเห็นได้ว่าความยาว L ของเส้นลวดนั้นใช้วัดด้วยไม้เมตรซึ่งอ่านละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร ส่วนที่ยืดออกของเส้นลวด $\triangle L$ วัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตรเพราะใช้เวอร์เนียร์วัดพื้นที่ภาคตัดขวาง A ของเส้นลวดวัดได้ละเอียดถึง 0.02 มม.$^2$ เพราะใช้ไมโครมิเตอร์วัดรัศมีของเส้นลวดซึ่งอ่านละเอียดได้ถึง 0.01 มม. และมวล m วัดได้ละเอียดถึง 1 กรัม เพราะเป็นหน่วยน้ำหนักที่ต่ำสุดที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นเราจึงไม่อาจจะใช้หลักการในข้อ 1 ได้ ในกรณีเช่นนี้ยึดหลักว่าการวัดแต่ละอย่างนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดให้เลขได้กี่ตำแหน่ง เมื่อเอาตัวเลขเหล่านั้นมาเข้าสูตรคำนวณ จำนวนตัวเลขนัยสำคัญของ $x_o$ จะต้องเท่ากับจำนวนตำแหน่งเลขที่น้อยที่สุดของปริมาณที่ใช้ในการคำนวณ เช่นในที่นี้ L วัดได้เกินกว่า 100 ซม. ควรมีเลข 4 ตำแหน่ง $\triangle L$ มีความยาวสูงสุด 12 มม. จึงมีเลขได้ 3 ตำแหน่งพื้นที่ภาคตัดขวาง A ขนาด 0.20 มม.$^2$ มีเลขได้ 2 ตำแหน่ง และ มวล m มีได้สูงถึง 5000 กรัม มีเลขได้ 4 ตำแหน่ง ดังนั้นในการบอกค่า Young s Modulus จึงมีเลขนัยสำคัญได้เพียง 2 ตำแหน่ง ส่วน p.e. นั้นจะมีค่าละเอียดได้ไม่เกินกว่าตำแหน่งสุดท้ายของมัน เช่นในการทดลองได้ Young s Modulus เป็น $x_o = 6.7 \times 10^{11}$ dynes/cm$^2$ ค่า p.e. ไม่ควรจะละเอียดกว่า 0.1 $\times 10^{11}$ dynes/cm$^2$

อย่างไรก็ตามในการเขียนรายงานผลการคำนวณทั้งสองกรณี ดังกล่าว นั้น ไม่มีการปัดเศษทศนิยม ไม่ว่าจะเป็นการปัดทิ้งหรือปัดเก็บ เพราะการกระทำเช่นนั้นเท่ากับเป็นการทำลายหลักฐานสำหรับผู้อื่นที่จะนำเอาตัวเลขนี้ไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป เนื่องจากการปัดเศษเช่นนั้นเท่ากับเป็นการเพิ่มความผิดพลาดในตัวเลขนั้นเอง และนอกจากนั้นยังเป็นการทำให้เกิดการแพร่สะพัดของความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นนี้ไปยังตัวเลขที่จะเกิดขึ้นใหม่จากการเอาตัวเลขที่ถูกปัดเศษนี้ไปเข้าสูตรคำนวณหา เรียกพฤติการเช่นนี้เป็นภาษาวิชาการว่า Propogation of Error ดังนั้นในการเขียนรายงานผลการคำนวณในทั้งสองกรณีนี้จึงเขียนให้มีจำนวนตัวเลขมากกว่าจำนวนตัวเลขที่เป็นนัยสำคัญไว้ 1 ตัว ทั้งนี้ด้วยความมุ่งหมายที่จะเก็บหลักฐานไว้ให้คนอื่นได้ทราบสถานการณ์ที่แท้จริงอันเกี่ยวกับความถูกต้องในการวัด ซึ่งก็หมายความว่า ผู้ที่จะเอาตัวเลขนั้นไปใช้ต่อไป จะต้องเข้าใจเอาเองว่าตัวเลขตัวสุดท้ายนั้นมีไว้สำหรับตนได้พิจารณาดำเนินการ และจะต้องไม่ทึกทักว่าตัวเลขตัวนั้นมีความหมายสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาผลการ ที่ นำ มัน ไป ใช้ ในการศึกษาต่อไป

จากการที่ได้พรรณนามาทั้งหมด ผู้เขียนหวังว่าท่านที่ทำงานอยู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดปริมาณต่าง ๆ คงจะได้รับประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อย และสำหรับผู้อ่านที่เป็นนักศึกษาซึ่งจะต้องเข้าห้องปฏิบัติการทดลองวิชาฟิสิกส์ คงจะได้นำวิธีการนี้ไปใช้ในการเขียนรายงานการทดลอง

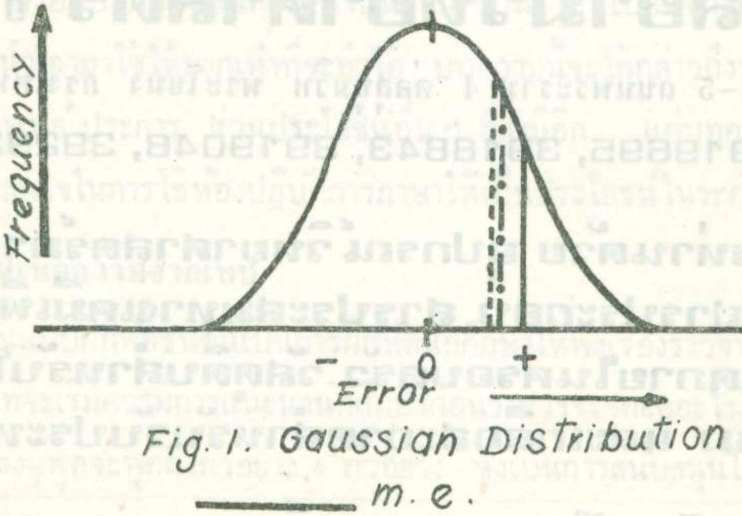
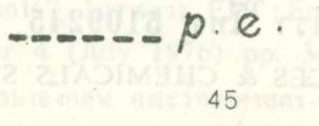



Fig. 1. Gaussian Distribution



อภินันทนาการ

จาก

บริษัท สิทธิพรแอสโซซิเอส จำกัด

ชั้น 8 อาคารโอลิมเปียไทย

956 ถนนพระราม 4 กรุงเทพ ฯ 5

โทร. 2334565

ผู้จัดจำหน่าย เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

สำหรับใช้ในมหาวิทยาลัยทุกสาขา

บริษัท สยามวิทยาศาสตร์ จำกัด

4862/4-5 ถนนพระราม 4 ต่อสุขุมวิท พระโขนง กรุงเทพ ฯ

โทร. 3919695, 3918843, 3919048, 3929222

บริการท่านด้วย อุปกรณ์วิทยาศาสตร์มาตรฐาน
เคมีภัณฑ์ สารประกอบ สารประสมทางเคมีเพื่อใช้ทำ
ความสะอาดภายในครอบครัว วัสดุดิบสำหรับโรงงาน
อุตสาหกรรม และเกลือสะอาดสำหรับรับประทาน

โรงงานผลิตเกลือสะอาด เลขที่ 60 หมู่ 11 กม. 9

รามอินทรา โทร. 5109245

LABORATORY APPLIANCES & CHEMICALS SUPPLY HOUSE

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# ประโยชน์ ๕ ประการของการใช้ห้องปฏิบัติการภาษากับนักศึกษาระดับสูง

# FIVE USES OF THE LANGUAGE LABORATORY WITH ADVANCED STUDENTS

สรชญา เหล่าจัน *

เนื่องจากห้องปฏิบัติการภาษาประกอบด้วยอุปกรณ์ราคาแพงมากชิ้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่าห้องปฏิบัติการภาษามีอยู่ตามมหาวิทยาลัยและ วิทยาลัยครู มากกว่าในโรงเรียนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา ตามความเป็นจริงแล้ว เรามักจะมุ่งไปในทางผลิตบทเรียนในห้องปฏิบัติการภาษาสำหรับนักเรียนที่เรียนภาษาอังกฤษในระยะเริ่มแรก หรือระดับกลางมากกว่าที่จะเตรียมบทเรียนในห้องปฏิบัติการภาษาสำหรับนักเรียนที่มีความรู้ภาษาอังกฤษในระดับสูง นี่คงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ห้องปฏิบัติการภาษาหลายร้อยแห่งในโลกไม่ได้รับการนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เต็มที่ ในบางแห่งห้องปฏิบัติการภาษาจึงเป็นเพียงห้องสะสมฝุ่นเท่านั้นเอง

เรายังมีวิธีใช้ห้องปฏิบัติการภาษาสำหรับนักศึกษาที่ผ่านขั้นตอน ซึ่งต้องฝึกจากแบบฝึกหัด หรือแบบฝึกหัดชนิดอื่น ๆ ที่เหมือน ๆ กัน เป็นที่น่าเสียดายว่าประโยชน์เหล่านี้ไม่ได้นำเอามาใช้ให้มากเท่าที่จะทำได้ บทความนี้จะได้กล่าวถึงประโยชน์ของห้องปฏิบัติการภาษา 5 ประการ ส่วนประโยชน์อื่น ๆ ก็ยังมีอีก แต่บทความนี้จะเน้นถึงสิ่งกระตุ้นความสนใจในการใช้ห้องปฏิบัติการภาษาให้เป็นประโยชน์ในระดับสูงมากกว่า

## ๑. การสรุปเนื้อความจากเทป

ในแบบฝึกหัดชนิดนี้เป็นการฝึกหัดนักศึกษาให้ฟังเรื่องราวจากเทปและเขียนย่อไว้ แต่ก่อนที่จะเริ่มควรมีการแนะนำนักศึกษาก่อนว่าควรจะจดย่ออะไรไว้บ้าง (ตัวอย่างเช่น ในคำสั่งผู้พูดจะพูดถึงตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นการสนับสนุนในการให้ความช่วย

---

* บทความเรื่องนี้ถอดความจาก Ronald Frost, "Five Uses of the Language Laboratory With Advanced Students" ในวารสาร ELT: English Language Teaching Journal Volume XXX, Number 4 (July 1976) pp. 332-339.

* สรชญา เหล่าจัน ภาควิชาภาษาอังกฤษ คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เหลือแก่ประเทศที่กำลังพัฒนา ให้เขียน (หรือพูดอัดลงเทป) เป็นประโยคจนครบ 4 ประโยคนั้น) คำถามนั้นอาจจะเป็นแบบที่ต้องค้นคว้าคำตอบหรือให้นักศึกษาแสดงความคิดของตนเองในแต่ละหัวข้อเรื่อง เราไม่ควรที่จะจำกัดงานอยู่เพียงการย่อความของข้อความที่จะโต้เถียงกันเท่านั้น ถึงแม้ว่าการจำกัดความนั้น จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีก็ตามแต่ บทสนทนาที่ไม่ต้องมีคำอธิบายกำกับก็อาจจะใช้ให้นักศึกษาฟังได้ และอาจใช้ถามคำถามที่เกี่ยวข้องกัน เป็นการไม่สมควรหากเราจะใช้บทเรียนซึ่งมีไว้เพื่อพิมพ์แต่เอามาฝึกในห้องปฏิบัติการภาษาและไม่ให้โอกาสแก่นักศึกษาได้ฝึก ฟัง และโต้ตอบเป็นภาษาอังกฤษ ในห้องปฏิบัติการภาษาเลย

จึงมีการแนะนำให้จำกัดเวลาในการฟังเทปที่อัดไว้ เพื่อเป็นการสนับสนุนให้นักศึกษาได้ทำอะไรอย่างอื่นบ้าง แทนที่จะอัดส่วนที่ตนเองได้ฟังจากเทปหรือการสนทนานั้น ๆ อีกประการหนึ่งเราควรจะให้เวลาแต่ละคนเพื่อที่จะเล่นเทปบางตอนได้อีก เพราะในเวลานั้นนักศึกษากำลังฝึกการทำแบบฝึกหัดไม่ได้ทำการทดสอบ ในการสอนภาษาและในการใช้ห้องปฏิบัติการภาษาทุกครั้งเราไม่ควรจะให้บรรยากาศดูเป็นการทดสอบมากกว่าเป็นการสอน

การสนองตอบของนักศึกษานั้น อาจจะเป็นไปในรูปเขียนหรืออัดลงในเทป ขณะที่การเรียนแบบนี้อาจจะนำไปสู่การฝึกการเขียนก็ได้ เราควรตระหนักให้ดีก่อนว่า การใช้ประโยชน์ของห้องปฏิบัติการภาษานั้นอาจจะไม่ได้ใช้ได้เต็มที่ ถ้าหากว่าจะใช้วิธีเรียนแต่เพียงแบบนี้ บางคราวครูบางคนชอบที่จะให้นักศึกษาเขียนคำตอบย่อๆ แทนที่จะเป็นการตอบแบบปากเปล่าหรือพูดออกมา โดยเหตุที่ว่าพวกครูนั้นมีความคิดดั้งเดิมว่า ถ้าตอบแบบปากเปล่าแล้วจะให้คะแนนไม่ได้ เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าการทำแบบฝึกหัดในห้องปฏิบัติการภาษาต่าง ๆ นั้น ไม่สามารถจะแก้ที่ผิดได้หลังจากที่นักศึกษาทำผิดแล้ว และยังไม่มีคำตอบที่แน่นอนที่เขาจะเรียนเทียบการอัดเสียงลงเทปได้ ในกรณีที่จะเปรียบกับแบบฝึกหัดนั้น ๆ แต่การแก้ที่ผิดนั้นก็ทำได้ในภายหลัง ถึงที่นักศึกษาอัดลงเทปแล้วนั้นอาจารย์ควรจะเปิดฟังหลังจากที่นักศึกษาได้เรียนในห้องปฏิบัติการภาษาแล้ว และอาจารย์ควรจะวิจารณ์และให้ความเห็นด้วยเช่นเดียวกับการแก้ที่ผิดในสมุดแบบฝึกหัด

## ๒. การทำความเข้าใจในกลุ่ม

เป็นที่น่าเสียดายว่า นักศึกษาหลายคนซึ่งเรียนภาษาอังกฤษเป็นเวลาหลายปีแล้วไม่เข้าใจการตั้งถามคำถามอย่างถูกต้อง สาเหตุอาจเนื่องมาจากโรงเรียนบางแห่งนั้นนักศึกษาได้รับการสนับสนุนให้ตอบคำถามแต่ไม่เคยได้รับการสอนให้ตั้งคำถาม นี่คือผลสะท้อนให้เห็นว่าการศึกษาที่นักศึกษาได้รับจากสถาบันแห่งนั้นเป็นอย่างไร วิธีการทำงานแบบทำความเข้าใจในกลุ่มนั้นเป็นการฝึกให้นักศึกษารู้จักวิธีตั้งคำถามพร้อม ๆ กับตอบคำถามไปด้วย วิธีนี้ยังช่วยให้นักศึกษาฝึกฝนการให้คะแนนไปในตัวด้วย การฝึกแบบนี้ให้โอกาสนักศึกษาแต่ละคนในการที่จะทำงานร่วมกันในกลุ่ม และฝึกในการฟังแบบเข้มข้น (intensive) จะเห็นได้ว่าเป็นการฝึกหัดสำหรับนักศึกษาที่เตรียมตัวไปเป็นครูสอนภาษาอังกฤษ

วิธีฝึกแบบนี้กำหนดให้นักศึกษาทำงานเป็นคู่ๆ พร้อมด้วยเครื่องเทปสำหรับแต่ละคู่ จะให้นักศึกษาฝึกทีละคู่ก็ได้แล้วแต่จำนวนหูฟังจะมีในห้องปฏิบัติการภาษานั้น ในระยะแรกให้นักศึกษาทุกคนฟังเสียงจากเทปที่อัดแบบสนทนา จากนั้นนักศึกษาแต่ละคู่ก็เขียนคำถามลงบนกระดาษคำตอบแล้วส่งให้คู่อื่นต่อไป (ต้องตกลงกันก่อนว่า จะให้ส่งกระดาษคำตอบไปทางซ้ายหรือทางขวา) เพื่อให้แน่ใจว่าระบบนี้จะใช้ได้ดี นักศึกษาแต่ละคู่ควรจะได้รับคำสั่งให้เขียนคำตอบลงให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพื่อที่จะทำให้ทุกคนได้มีโอกาสเขียนตลอดเวลา คำตอบของแต่ละคำถามก็ส่งไปยังนักศึกษาคู่ที่สามผู้ที่จะเป็นคนให้คะแนนและถ้าเป็นไปได้ก็ควรจะวิจารณ์คำถามนั้นด้วย จะทำแบบอื่นก็ได้โดยให้ส่งคำตอบกลับไปยังนักศึกษาคู่ที่เขียนคำถามนั้น แต่เท่าที่เป็นมาแล้วพบว่าวิธีที่ให้นักศึกษาคู่ที่สามเป็นคนตรวจและให้วิจารณ์คำถามนั้น ๆ เป็นวิธีที่ดีที่สุด กระดาษตอบอาจจะมีรูปแบบดังนี้ คือมี ๓ ช่อง แบ่งเป็นช่องคำถาม ช่องคำตอบ และช่องตรวจ และมีที่ให้นักศึกษาเขียนชื่อ เลขที่นั่ง และชื่อตัวเองด้วย ตลอดเวลาที่ทำแบบฝึกหัดนั้น ควรจะให้นักศึกษาเปิดปิดม้วนเทปได้เพื่อที่จะได้หมุนเทปกลับไปฟังที่ ๆ ยังไม่เข้าใจ ถ้าหากต้องมีการปรึกษากันควรจะปรึกษากันเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

เมื่อนักศึกษาแต่ละคู่ได้เขียนคำถาม คำตอบ และตรวจแล้วก็ส่งไปให้อาจารย์ตรวจ อาจารย์อาจจะให้ความเห็นอีกว่าคำถาม–คำตอบนั้นดีหรือไม่ หรืออาจจะแก้ภาษา

อังกฤษให้ก่อนที่จะส่งกระดาษคำตอบกลับ ถ้าหากมีจำนวนนักศึกษาไม่มากนัก การตรวจแบบฝึกหัดอาจทำให้เสร็จได้ภายในชั่วโมงนั้นๆ

**๓. ลักษณะอรรถาธิบายของแบบฝึกหัด**

ปัญหาข้อหนึ่งซึ่งอาจารย์ผู้สอนนักศึกษาภาษาอังกฤษระดับสูงมักพบเสมอ คือ นักศึกษาพวกนี้ยังจำเป็นต้องฝึกฝนการใช้ลักษณะของประโยค แม้จะเป็นนักศึกษาขั้นสูงแล้วก็ตาม อาจารย์ที่มีความหวังดีต่อนักศึกษาเท่านั้นที่พอจะมีความหวังว่าลูกศิษย์ของตนจะฝึกฝนทักษะในการใช้โครงสร้างประโยคในภาษาอังกฤษโดยการอ่านหรือเขียนเรียงความด้วยตนเองบ้างเมื่อมีเวลา

ห้องปฏิบัติการภาษาจะใช้ประโยชน์ได้ในสถานะการณ์เช่นนี้ โดยอาศัยแบบฝึกหัดของ L.A. Hill ที่ชื่อว่า Advanced Refresher Course (O.V.P.) ผู้เขียนได้ดัดแปลงแบบฝึกหัดมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบฝึกหัดทุกบทได้มีการคัดตอนมาเป็นอย่างดีแล้ว สำหรับผู้ที่ยังไม่ค่อยคุ้นเคยกับแบบฝึกหัดของฮิลล์นั้น ผู้เขียนจะคัดตอนจากบทแนะนำดังนี้

"แต่ละแบบฝึกหัดแบ่งเป็น 4 ตอน ขั้นแรกนักศึกษาต้องอ่านแบบฝึกหัดนั้นอย่างดี โดยให้ความสนใจต่อประโยคที่พิมพ์ด้วยหมึกตัวเข้ม จากนั้นนักศึกษาทำแบบทดสอบ A ซึ่งจะถามเกี่ยวกับเนื้อความในตัวพิมพ์ตัวเข้ม นักศึกษาต้องเติมคำในช่องว่างจากความจำโดยที่ไม่ต้องอ่านตัวบทอีก จากนั้นพวกเขาต้องทำแบบทดสอบ B และทำแบบฝึกหัดในทำนองเดียวกัน แบบทดสอบ B ทดสอบข้อความในบทแรกของแบบฝึกหัด ซึ่งได้ทดสอบไปครั้งหนึ่งแล้วในบททดสอบ A แต่ในแบบทดสอบ B นี้ ข้อความจะเปลี่ยนใหม่"

แบบฝึกหัดเหล่านี้ ทำไว้เพื่อนักศึกษาฝึกในห้องเรียน แต่นักศึกษาอาจเอามาใช้ทำในห้องปฏิบัติการภาษาได้โดยที่อาจารย์อัดบทความที่จะใช้ในแบบทดสอบ A เพราะฉะนั้นควรจะเว้นช่องว่างไว้ในเทป นักศึกษาจะฟังแต่ละประโยคและพูดอัดข้อความที่ได้ยินลงในเทปนักศึกษา โดยการทวนสิ่งที่ได้ยินอาจารย์พูดทุกคำโดยใช้คำแนะนำ จากข้อความที่อยู่ตรงหน้า ด้วยวิธีนี้นักศึกษาจะได้ฝึกการฟัง การพูด ขณะเดียวกันฝึกการออกเสียง การเน้นเสียง นักศึกษาฝึกทั้งแบบฝึกหัดด้วยวิธีนี้ ถ้าจำเป็นก็ฝึกมากกว่าหนึ่งครั้ง

จากนั้นจึงจะทำแบบทดสอบ A และอ่านข้อความโดยที่เติมคำที่ถูกต้องขณะที่ทำแบบฝึกหัด ตัวอย่างเช่น ประโยคที่นักศึกษาจะได้ยินในการอ่านครั้งแรกเป็นเช่นนี้

You will have the neighbours COMPLAINING if you don't have your gate REPAIRED soon.

ประโยคนี้จะเป็นในรูปนี้เพื่อให้นักศึกษาเติมให้ถูกต้อง

You will have the neighbours (1. Complain) if you don't have your gate (2. repair) soon.

จากนั้นนักศึกษาทำแบบฝึกหัดทดสอบ B ด้วยวิธีเดียวกันโดยที่อ่านข้อความอย่างละเอียดและตัดสินว่าจะใช้รูปคำใด ขั้นสุดท้ายนักศึกษาจะฟังเทปทดสอบ B ซึ่งอาจารย์เฉลยคำตอบไว้แล้วอย่างถูกต้อง (ผู้เขียนอยากจะเรียกแบบทดสอบเหล่านี้ว่า แบบฝึกหัดการทดสอบมากกว่า)

สิ่งที่เป็นข้อได้เปรียบจากการทำแบบฝึกเหล่านี้ในห้องปฏิบัติการภาษามากกว่าที่จะทำแบบฝึกหัดเหล่านี้ในห้องเรียนมี ๓ ประการคือ

1. นักศึกษาแต่ละคนสามารถพูดและได้ฝึกการพูดในขณะที่ทำแบบฝึกหัดลักษณะประโยค
2. นักศึกษาสามารถได้รับความเอาใจใส่เฉพาะบุคคลได้ ขณะที่กำลังทำแบบฝึกหัด
3. นักศึกษาสามารถจะทำงานได้ตามความสามารถของตน โดยที่สามารถหมุนเทปกลับไปฟังได้อีกถ้าต้องการ

**๔. การจดความจากข้อความที่อัดไว้**

แบบฝึกหัดนี้เป็นการปรับปรุงมาจากแบบฝึกหัดเขียนคำบอก แต่เอามาใช้เป็นประโยชน์ได้ดีกว่า หลังจากที่ฟังบทความทั้งบทแล้ว นักศึกษาสามารถหมุนเทปกลับและหมุนไปทีละกลุ่มคำ และเขียนคำนั้น ๆ ลงบนกระดาษ วิธีนี้ได้เปรียบกว่าการเขียนคำบอกที่ใช้กันมานานโดยที่ตัวบทความนี้อาจารย์จะอ่านไปด้วยวิธีธรรมชาติที่สุด ซึ่งวิธีนี้จะทำได้ยากถ้าจะอ่านบทความทั้งบทในห้องเรียน นอกจากนั้นนักศึกษาแต่ละคนยังสา-

มารถหมุนเทปไปฟังอีกได้เท่าที่ต้องการ ถ้าบทความสำหรับการจดข้อความนั้นได้พิมพ์เป็นตัวใหญ่หรือตัวพิมพ์แล้ว นักศึกษาสามารถจะแก้ที่ผิดด้วยตัวเองได้เป็นการช่วยแบ่งเบาภาระการตรวจงานของอาจารย์ได้อีกด้วย

เราไม่ควรคิดว่าแบบฝึกหัดนี้ง่ายเกินไป ความง่ายหรือยากนั้นขึ้นอยู่กับการเลือกบทความ ที่จริงแล้วเป็นแบบฝึกหัดที่ใช้ความอุตสาหะมากกว่าการเขียนคำบอกธรรมดา ๆ การเลือกตัวบทความสำหรับให้นักศึกษาเขียนนั้นควรจะเลือกตามความสนใจของนักศึกษา

## ๕. บทเสริมท้าย

### ก. การเตรียมเพื่อถกเถียงหรือโต้วาทีเป็นภาษาอังกฤษ

งานในห้องปฏิบัติการภาษา ควรจะ ให้ ใกล้เคียงกับ การงาน ที่ทำ ในวิชา ภาษา ก่อนที่จะเตรียมการโต้วาทีนั้นนักศึกษาควรจะเตรียมงานในห้อง ปฏิบัติการ ภาษา เสีย ก่อน การถกเถียงหรือโต้วาทีนั้นอาจจะเอามาจากรายการวิทยุซึ่งได้อัดเอาไว้ นักศึกษาฟังรายการนั้นในที่นั่งของตัวเอง อาจฟังข้อความซ้ำแล้วซ้ำอีกถ้าจำเป็น อาจารย์อาจจะอัดเทปการพูดที่น่าสนใจและให้นักศึกษาได้ศึกษาหัวข้อนั้น ๆ สำหรับการพูดค้านหรือสนับสนุนโดยให้เตรียมล่วงหน้าในห้องปฏิบัติการภาษา วิธีนี้กินเวลามากกว่าการอ่านตัวเรื่องธรรมดา ๆ แต่ก็เป็นประโยชน์สำหรับการทำความเข้าใจในการฟัง เพราะเป็นการฟังที่มีจุดมุ่งหมาย ในเวลาเดียวกันนักศึกษาจะได้ชินกับภาษาพูด ซึ่งเป็นแบบอย่างที่ใช้ในการโต้วาทีมากกว่าภาษาเขียน

ในห้องปฏิบัติการภาษานั้น เป็นไปได้ที่นักศึกษาจะได้ฝึกสิ่งที่ต้องการจะพูดในการโต้วาทีและจะได้ฟังสิ่งที่พูดไปแล้วด้วยคำแนะนำจากอาจารย์ การฝึกแบบนี้อาจจะทำได้เป็นกลุ่มหรือเป็นคู่ ๆ ถ้าห้องปฏิบัติการภาษามีที่พอ ขณะเดียวกันนักศึกษาจะมีโอกาสแก้ที่ผิดของกันและกันด้วย

ข. การฟังเพื่อความพอใจ

นักศึกษาอาจจะรู้สึกเบื่อบ้างถ้านั่งอยู่ในห้องปฏิบัติการภาษาเพื่อเรียนอย่างเดียว อาจจะเปลี่ยนบรรยากาศได้ โดยการให้นักศึกษาฟังบทละครสั้น ๆ หรือการอ่านโคลง ตลอดจนฟังเพลงสนุก ๆ และแทนที่จะให้ทั้งชั้นฟังเทปม้วนเดียวกันก็ให้โอกาสนักศึกษาเลือกเทปฟังเพื่อเปลี่ยนบรรยากาศเองได้ เทปละครหรือโคลงหรือเพลงควรจัดไว้ในที่ที่หยิบง่ายด้วย

อาจารย์ไม่ควรจะถามนักศึกษาว่าเลือกเอาเทปอะไรไปฟังบ้าง ในทางตรงกันข้ามอาจารย์ควรจะสนับสนุนการฟังวิธีนี้โดยการพูดถึงการอัดเทปแต่ละชนิด เราจะต้องไม่ลืมว่าการที่จะให้นักศึกษาอัดเทปในสิ่งที่เขาได้ยินให้ได้ผลนั้นจะต้องมาจากความสนุกสนานในการเลือกเทปฟังเอง

---

ด้วยอภินันทนาการ

จาก

ห้างหุ้นส่วนจำกัด **รัชนอร์**

ผู้แทนจำหน่ายกล้องจุลทรรศน์ "โอลิมปัส"

111 ทองหล่อซอย 5 สุขุมวิท 55 พระโขนง กรุงเทพฯ 11

โทร. 3916122

ด้วยอภินันทนาการ

จาก

**ห้างหุ้นส่วนจำกัด**

**ขอนแก่นวัสดุก่อสร้าง**

183–185 ถนนหน้าเมือง อ. เมือง จ. ขอนแก่น โทร. 236368

**จำหน่าย :-** เครื่องมือ และอุปกรณ์ก่อสร้างทุกชนิด

และรับเหมาก่อสร้าง

วิทยาสาร มข. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 2520

# ช่วงความยาวแสงและนาฬิกาชีวะ

## PHOTOPERIOD AND BIOLOGICAL CLOCK

สุภาพ ณ นคร*

เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนถือว่าเป็นชีวิตประจำวันของคนเรานั้น บางครั้งอาจจะเป็นปัญหาขึ้นมา แต่อาจจะไม่ต้องการคำตอบเพราะถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่จะต้องเกิดขึ้นอยู่ตามธรรมชาติอยู่แล้ว อย่างเช่นคนเราหลับในเวลากลางคืนตื่นในตอนเช้า ทำงานในตอนกลางวัน สัตว์บางชนิดเช่นหนูออกหากินในเวลากลางคืนและพักผ่อนในเวลากลางวัน หรือดอกไม้บางชนิดจะบานในตอนเช้าและหุบในตอนเย็น ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้หากเราคิดว่าเป็นปัญหา และพยายามหาคำตอบว่ามีกลไกอะไรหรือเปล่าที่มีผลต่อกิจกรรม (activities) ต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลก ก็พบว่าช่วงความยาวแสง (photoperiod) ซึ่งมีขึ้นพร้อมกับกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกนั้นเองมีบทบาทสำคัญทีเดียว

นักค้นคว้าที่มีความสนใจต่อบทบาทของช่วงความยาวแสง ที่มีต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลก (photoperiodism) ได้พบว่าในชีวิตประจำวันช่วงความยาววัน (daylength) มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มปริมาณ (growth) การเจริญเติบโต (development) และพฤติกรรม (behavior) ของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ และในห้องทดลองก็พบว่าแสงสังเคราะห์ (artificial light) ก็มีผลต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่นนักวิจัยได้เลี้ยงผึ้งไว้ในห้องทดลองในกรุงปารีสโดยให้อยู่ในห้องที่มีสภาพที่ต่างจากโลกภายนอกคือใช้แสงสังเคราะห์ ผึ้งฝูงนี้จะได้รับน้ำหวานเป็นเวลาทุกวัน ชั่วระยะหนึ่งผึ้งก็จะเรียนรู้เวลาอาหารโดยจะไปรวมกลุ่มอยู่รอบ ๆ จานก่อนเวลาเล็กน้อย ต่อมาผึ้งฝูงนี้จะถูกส่งไปเลี้ยงในห้องทดลองในกรุงนิวยอร์คต่างกันอยู่ 5 ชม. และผึ้งจะรวมกลุ่มรอบ ๆ จานเร็วขึ้น 5 ชม.

ในคนเราก็เช่นกันในกรณีที่เราได้มีโอกาสเดินทางไปยังประเทศที่มีเวลาแตกต่างไปจากประเทศไทยเช่นเวลาในเมืองไทยอาจจะเป็นกลางวันแต่ในประเทศอื่นเป็นเวลา

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุภาพ ณ นคร ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์—อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กลางคืน ในระยะแรกเราก็คงจะต้องพบความแปลกประหลาดอย่างแน่นอน เช่นว่าทำไมเวลาก็ดึกดื่นแล้วเราก็ยังไม่ง่วงนอน หรือว่าทำไมเราง่วงนอนในเวลากลางวัน หลังจากที่เราได้ปรับตัวสักระยะหนึ่งเราก็จะชินกับเวลากลางวัน–กลางคืนของแหล่งใหม่ได้ คำตอบที่เราควรจะค้นหาก็คือว่า ช่วงความยาวแสงเป็นตัวสั่งการโดยตรงเกี่ยวกับกิจกรรมต่าง ๆ หรือว่ามีกลไกภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ สั่งการเอง คำตอบที่ได้ค้นพบแล้วก็คือว่าช่วงความยาวแสงนั้นมีบทบาทต่อกลไกภายในร่างกาย ซึ่งเรียกว่า **นาฬิกาชีวะ** (biological clock) แล้วนาฬิกานี้จะเป็นผู้สั่งการเกี่ยวกับกิจกรรมต่าง ๆ ต่อไป

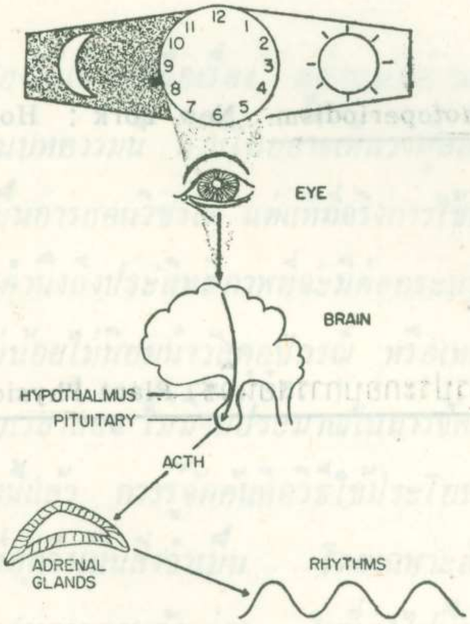
คำถามต่อมาก็คือ **นาฬิกาชีวะคืออะไร มีรูปร่างอย่างไร ชี้ให้เห็นได้หรือไม่ว่า เป็นอวัยวะอันใดอันหนึ่ง** นาฬิกาเรือนนี้บ่งบอกไม่ได้ว่าเป็นอวัยวะเช่นเดียวกับ สมอง ตับ ไต หรือส่วนอื่น ๆ แต่เป็นระบบการทำงานทางเคมี (chemical system) ในการสั่งการต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่สมดุลย์กัน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีใครแจกแจงระบบการทำงานทางเคมีของนาฬิกาเรือนนี้ได้

ลักษณะที่ 2 ของนาฬิกาชีวะก็คือ ต้องมีความถูกต้องเกี่ยวกับความร้อนหนาว (temperature–corrected) เพราะคุณสมบัติข้อนี้จึงพบว่านาฬิกาชีวะของสัตว์เลือดอุ่น เช่น นก คน นั้นเชื่อถือได้ แต่สำหรับสัตว์เลือดเย็นเช่นปลา แมลง เป็นนาฬิกาที่เชื่อไม่ได้และไม่มีประสิทธิภาพ

ลักษณะที่ 3 ของนาฬิกาชีวะก็คือเดินอยู่ตลอดเวลา (run continuously) ทั้งนี้โดยมีหลักว่าสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม (environmental signals) ไม่ใช่ตัวทำให้นาฬิกาเริ่มเดินหรือหยุดได้ แต่นาฬิกาชีวะนี้ก็ถูกบงการ (regulate) โดยสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม เพราะคุณสมบัติข้อนี้ของนาฬิกานั่นเองที่ทำให้ photoperiodism เป็นไปได้โดยที่ช่วงกลางวันและกลางคืนเป็นสัญญาณให้นาฬิกาชีวะของสิ่งมีชีวิตถูกตั้งไว้ถูกต้องตามเวลาท้องถิ่นในแต่ละวัน

เป็นอันว่าเราทราบแล้วว่านาฬิกาชีวะไม่ได้เป็นอวัยวะ หรือโครงสร้างอันหนึ่งอันใด โดยเฉพาะภายในอวัยวะแต่ควรจะเป็นการทำงาน (function) ที่ขึ้นอยู่กับขบวนการต่าง ๆทางสรีระอื่น ๆมากมายที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสัตว์หรือภายในลำต้นพืช(phy

siological and endogenous process) สำหรับในสัตว์ Beck (1963) ได้อธิบายว่า ฮอร์โมนซึ่งถูกผลิตจากต่อมหมวกไต (adrenal gland) จะควบคุมขบวนการทางสรีระอื่นๆ มากมายเช่นอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต การทำงานของตับและอื่นๆ Beck ได้สรุปความเกี่ยวข้องระหว่างช่วงความยาวแสงกับนาฬิกาชีวะ เป็นแผนภาพไว้ดังนี้




อธิบายได้ว่าตาเป็นอวัยวะที่รับทราบเกี่ยวกับกลางวันและกลางคืน และส่งข้อมูลไปยังสมอง การเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างมีผลไปกระตุ้นการทำงานของ gland cells ของ hypotholamus ให้ผลิตฮอร์โมนออกมา ซึ่งฮอร์โมนนี้จะควบคุมต่อมปิตวอิตารี (pitui tary) ให้สร้าง ACTH (adrenocorticotropic hormone) ออกสู่กระแสโลหิต ACTH จะไปกระตุ้นให้ adrenal cortex ปล่อยฮอร์โมนออกมา ซึ่งฮอร์โมนนี้เองเป็นตัวควบคุมเกี่ยวกับกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายให้เป็นระเบียบแบบแผนที่เรียกว่า "rhythms".

สำหรับในพืชนั้นพบว่าพฤติกรรมบางอย่างเช่นการเบิด–หุบ ของใบ phytochrome ซึ่งเป็นสารที่มีสีชนิดหนึ่งในพืช มีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ด้วยโดยที่ช่วงเวลากลางวัน

และเวลากลางคืน มีผลทำให้สภาพของ phytochrome เปลี่ยนแปลงไปและเกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวะของพืช และในที่สุดก็มีผลทำให้เกิดการเปิด–หุบของใบเป็นไปตามแบบแผนที่เรียกว่า "rhythms" เช่นกัน.

**เอกสารอ้างอิง :**

Beck, S.D. 1963. Animal Photoperiodism. New York : Holt, Rinehart and Winston, Inc.

**บรรณานุกรม**

สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. 2520. เอกสารประกอบการสอนวิชา Plant Physiology มหาวิทยาลัยขอนแก่น

# เทคนิคการใช้กระดานดำในการสอนภาษาอังกฤษ

## TECHNIQUES OF USING THE BLACKBOARD FOR ENGLISH TEACHING

ดียู ปาลีคุปต์*

*เพียงได้เห็นแต่ชื่อเรื่อง ผู้อ่านบางท่านอาจมองไม่เห็นว่าจะมีอะไรแปลกใหม่หรือน่าสนใจในบทความนี้ ทั้งนี้โดยอาจเห็นว่าผู้สอนและกระดานดำเป็นของควบคู่กันอยู่แล้วไม่ว่าจะเป็นการสอนวิชาใด แต่แท้ที่จริงการใช้ประโยชน์จากกระดานดำมิใช่ของที่ทำได้ง่ายนักเมื่อคำนึงถึงประสิทธิภาพที่จะมีต่อกระบวนการเรียนการสอน และในขณะที่ผู้สอนจำนวนไม่น้อยไม่นิยมนำวัสดุอุปกรณ์ หรือเทคนิควิธีสอนแบบใหม่มาใช้ด้วยเหตุผลที่ว่า ทำให้เสียเวลาสอน ไม่มีงบประมาณในการจัดหา หรือไม่มีความรู้และประสบการณ์ในการใช้เหล่านี้แล้ว การรู้จักค้นคิดวิธีใช้ประโยชน์จากกระดานดำที่มีอยู่ให้เกิดผลดีต่อการสอนมากที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะสำหรับผู้ที่เบื่อหรือมีอุปสรรคในการใช้อุปกรณ์ประกอบการสอนดังกล่าว ในที่ต่อไปนี้ผู้เขียนจึงจะขอกล่าวถึงเทคนิคบางประการในการใช้กระดานดำให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนภาษาอังกฤษมากที่สุด*

กระดานดำหรือกระดานชอล์ค เป็นอุปกรณ์ประกอบการสอนประเภททัศนวัสดุ (**visual material**) ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง คุณประโยชน์ของกระดานดำที่เห็นได้ชัดคือเป็นอุปกรณ์ที่จัดหาได้ง่าย ใช้ประโยชน์ได้ทุกเวลาและโอกาส ไม่ชำรุดหรือเสียหายง่าย ดึงความสนใจจากผู้เรียนได้ทั่วทั้งห้อง และสามารถใช้เขียนหรือลบได้รวดเร็ว นอกจากนี้ผู้สอนและผู้เรียนยังสามารถใช้กระดานดำร่วมกันในกิจกรรมการเรียนการสอนต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุดังกล่าวผู้สอนจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงการใช้กระดานดำให้เกิดประโยชน์มากที่สุด หลักในการใช้กระดานดำที่ดีคือ

---

* อาจารย์ดียู ปาลีคุปต์ ภาควิชาภาษาอังกฤษ คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. สิ่งที่เขียนบนกระดานดำจะต้องเป็นระเบียบและมีขนาดใหญ่พอที่ผู้เรียนทั้งห้องจะสามารถมองเห็นได้อย่างทั่วถึงและชัดเจน

2. จะต้องลบสิ่งที่ไม่ต้องการใช้แล้วออกให้หมด และใช้กระดานเพื่อการสอนทีละสิ่งหรือทีละหัวข้อเท่านั้น

3. เขียนกระดานด้วยเส้นที่หนัก ชัดเจน และสม่ำเสมอ ใช้ชอล์คสีเพื่อการเน้นเท่านั้นมิใช่ใช้เพื่อความสวยงาม

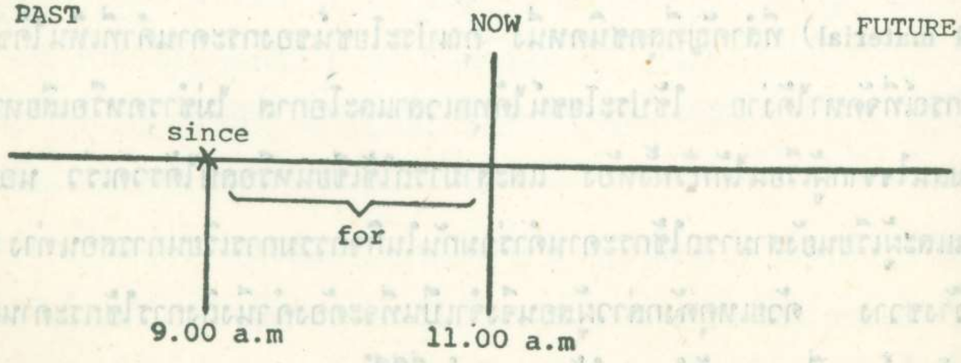
4. การวาดภาพบนกระดาน (blackboard drawing) ควรใช้ภาพสะเก็ตซ์หรือภาพลายเส้นแบบที่วาดได้ง่ายและรวดเร็ว แทนที่จะใช้ภาพวาดที่ต้องอาศัยการแต่งเติมรายละเอียดและภาพที่วาดจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเห็นได้ชัดเจนทั่วทั้งห้อง

**เทคนิควิธีการใช้กระดานดำในการเรียนการสอนวิชาภาษาอังกฤษให้เกิดประโยชน์เต็มที่อาจได้แก่**

**1. การเขียนกระดานดำ** (blackboard writing)

นอกจากการเขียนกระดานประกอบการสอนตามปกติ เช่น การเขียนคำศัพท์หรือประโยคประกอบการอธิบาย การให้คัดลอกสิ่งที่เขียนบนกระดาน การมอบหมายการบ้านหรือการทดสอบแล้ว กระดานดำยังให้ประโยชน์จากเทคนิคปลีกย่อยดังต่อไปนี้คือ

**การสอนไวยากรณ์** การสอนเรื่องเวลาหรือกาล (tenses) จะเป็นประโยชน์และช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้นหากผู้สอนจะได้เขียนแผนภาพ (diagram) ประกอบดังตัวอย่าง



It has been raining since nine.

It has been raining for two hours.

การเขียนแผนภูมิ (chart) และการใช้ตารางการแทนที่ (substitution table) บนกระดานดำเพื่อสอนไวยากรณ์ จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจรูปแบบและวิธีการใช้ได้รวดเร็วและถูกต้องยิ่งขึ้น เช่น :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | you | speak with her<br>go there<br>have enough time | | | |
| If | she | comes<br>is there<br>asks about me | , | give her my kind regards<br>remember me to her<br>tell her about my new job | . |
| | it | is easy for you<br>is possible<br>is not too difficult | | | |

**การสอนออกเสียง** ในบางครั้งผู้สอนอาจสอนการออกเสียงด้วยการใส่เครื่องหมายหรือหมายเลขแสดงระดับของเสียงกำกับคำ หรือประโยคบนกระดานดำเพื่อความชัดเจนและง่ายแก่การฝึกฝนที่ถูกต้อง

2 The boy is 3 speaking. 1      The boy is speaking. ↓

2 Is the boy 3 speaking? 3      Is the boy speaking? ↑

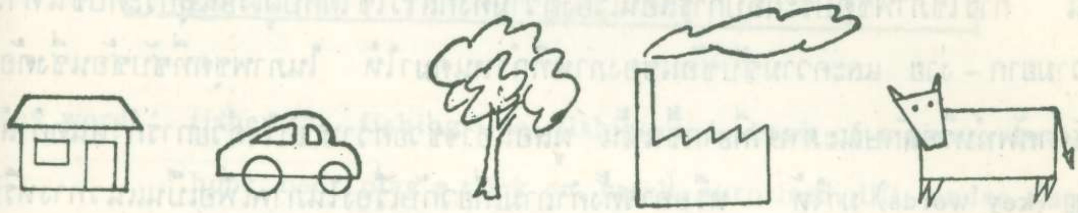
**การสอนเขียน** การสอนหรือฝึกให้ผู้เรียนเขียนเรียงความบนกระดานดำถือเป็นการฝึกเขียนเรียงความแบบควบคุม (controlled composition) ที่ดี ผู้เรียนจะได้เรียนรู้วิธีการเขียนเรียงความที่ดีจากเรียงความตัวอย่าง (model composition) ที่ให้ไว้บนกระดาน ผู้สอนอาจมอบหมายให้ผู้เรียนคนใดคนหนึ่งเป็นผู้เขียนกระดานในขณะที่ผู้

เรียนคนอื่น ๆ ทั้งห้องช่วยกันแต่งเรียงความนั้น นอกจากนี้ผู้สอนอาจสอนเขียนภาษาอังกฤษด้วยการกำหนดคำสำคัญ (key words) และแนวคิด (theme) ให้ไว้บนกระดานดำเพื่อให้ผู้เรียนแต่งประโยคหรือเรียงความ การให้ผู้เรียนมีส่วนในการใช้กระดานดำในการเขียนเรียงความเป็นการเปลี่ยนบรรยากาศของการเรียนได้บ้าง เป็นการฝึกให้ผู้เรียนมีความเชื่อมั่นในตนเอง ตลอดทั้งฝึกความคิดสร้างสรรค์แก่ผู้เรียนอีกด้วย

## 2. การเขียนภาพประกอบการสอนบนกระดานดำ (blackboard drawing)

ภาพที่เขียนบนกระดานในที่นี้มิได้หมายถึงภาพที่วาดอย่างวิจิตรบรรจงมีลายละเอียดงดงาม หากแต่หมายถึงภาพสะเก็ตช์หรือภาพลายเส้นแบบง่าย ๆ ที่เขียนขึ้นเพื่อช่วยเสริมให้เรื่องหรือบทเรียนที่สอนนั้นชัดเจนและเข้าใจง่าย โดยธรรมชาติแล้วผู้เรียนโดยเฉพาะผู้เรียนเยาว์วัยจะให้ความสนใจและเข้าใจง่ายในสิ่งที่เป็นรูปธรรม ภาพที่ปรากฏบนกระดานจะช่วยลบล้างความน่าเบื่อหน่ายของบทเรียน สามารถนำโลกภายนอกเข้ามาจำลองไว้ในห้องเรียน ผู้เรียนจะรู้สึกสนุกและอยากร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนมากขึ้น ฉะนั้นจึงควรที่ผู้สอนทุกคนจะได้ใช้กระดานดำในการเขียนภาพประกอบการสอนดังกล่าว การเขียนภาพสะเก็ตช์หรือภาพลายเส้นแบบง่ายๆนั้นเป็นสิ่งที่ฝึกฝนกันได้ในเวลาอันรวดเร็ว และไม่ต้องการความถนัดในเชิงช่างหรือศิลปิน เพราะหากเป็นเช่นนั้นก็ยิ่งจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการสอนอย่างเต็มที่ เพราะศิลปินเท่านั้นที่จะประดิษฐ์ภาพอย่างวิจิตรบรรจงจึงเป็นการเสียเวลาโดยไม่จำเป็น ภาพที่เขียนบนกระดานนี้ควรจะเป็นภาพที่เขียนได้ง่ายรวดเร็ว และลบออกได้ง่ายเมื่อไม่ต้องการใช้ ความสำคัญจึงมิได้อยู่ที่ความสวยงามหากอยู่ที่ว่าภาพนั้นเป็นตัวแทนที่ดีของสิ่งที่ต้องการเชื่อมโยงกับบทเรียนหรือไม่ กล่าวคือภาพที่เขียนขึ้นจะถือว่าใช้ได้และสมบูรณ์เพียงเมื่อประกอบด้วยรายละเอียดที่จำเป็นต่อการสอนอย่างครบถ้วน และไม่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจผิดเป็นอย่างอื่น ลักษณะของภาพที่เหมาะสำหรับการวาดบนกระดานได้แก่ภาพลายเส้นแบบง่าย ๆ หากเป็นภาพคนก็ควรใช้ภาพที่เรียกว่า "คนก้านไม้ขีด" (match-stick man) หรือ "คนเข็มหมุด" (pin man) ซึ่งรวมเรียกว่า "stick figures" ภาพสัตว์หรือสิ่งของเครื่องใช้ก็วาดได้ด้วยลายเส้นง่าย ๆ เช่นกันดังตัวอย่างข้างล่างนี้

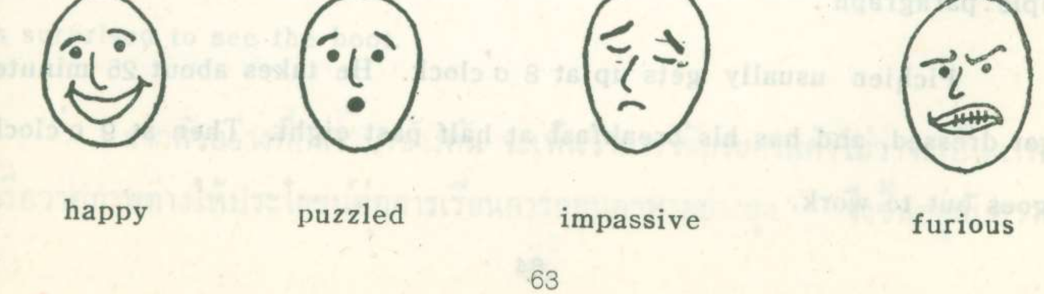
walking running playing football raking the ground pushing the car



a house a car a tree a factory a cow

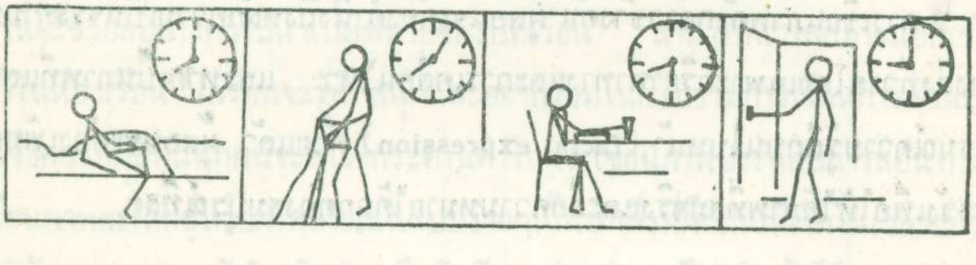
การเขียนภาพดังกล่าวข้างต้น ผู้สอนจะต้องคำนึงถึงหลักความเป็นจริงตามธรรมชาติของสิ่งที่วาดโดยเฉพาะกริยาท่าทางและการเคลื่อนไหว และหากเป็นภาพที่แสดงวัยและอารมณ์ความรู้สึกบนใบหน้า (facial expression) ด้วยแล้ว ผู้สอนจะต้องเพิ่มความระมัดระวังเพื่อให้ได้ภาพที่สมจริงและสื่อความหมายได้ถูกต้องสมบูรณ์ที่สุด

a baby a boy a man an old man



happy puzzled impassive furious

ในบางครั้งหากผู้สอนสามารถเขียนภาพชุดซึ่งบอกเหตุการณ์ต่อเนื่องหรือผูกเป็นเรื่องบนกระดานดำได้ด้วยภาพลายเส้นที่ไม่ต้องการความสวยงามและใช้ stick figures เป็นพื้นฐานแล้ว ก็ถือเป็นสิ่งที่ให้ประโยชน์ต่อการเรียนการสอนมากทีเดียว เช่นในการสอนศัพท์ การสอนเรียงความปากเปล่า (oral composition) หรือการสอนเขียนเรียงความซึ่งรวมทั้งการใช้ไวยากรณ์ การลำดับเหตุการณ์ตลอดทั้งการสะกดคำที่ถูกต้องเป็นต้น การใช้ภาพชุดประกอบการสอนเรียงความดังกล่าวใช้ได้กับผู้เรียนทุกระดับชั้นตามความยาก – ง่าย และความซับซ้อนของภาพที่กำหนดมาให้ ในภาพชุดที่ซับซ้อนซึ่งต้องใช้คำศัพท์หรือลักษณะภาษาที่ยากขึ้นนั้น ผู้สอนอาจช่วยความเข้าใจด้วยการกำหนดคำสำคัญ (key words) มาให้ หรืออาจตั้งคำถามเกี่ยวกับเรื่องในภาพเพื่อเป็นแนวทางหรือเพื่อทดสอบว่าผู้เรียนเข้าใจเรื่องได้ถูกต้องหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ดังตัวอย่าง:



Guided questions :

When does Pichien usually get up ?

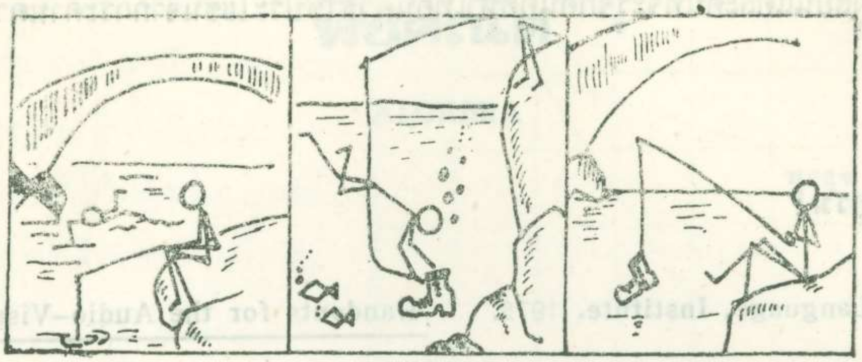
What does he do after he gets up?

Does he eat before he goes out ?

At what time does he go out to work ?

Sample paragraph :

Pichien usually gets up at 8 o'clock. He takes about 25 minutes to get dressed, and has his breakfast at half past eight. Then at 9 o'clock, he goes out to work.



Key words : fisherman, fishing line, fishing rod, bank of a river, bather, hook, boot, play a trick on, catch, surprised, lift, under water.

Guided questiens :

What is the fisherman doing ?

Where is the bather ?

Where is the boot ?

What is the bather doing ?

What is the fisherman surprised to see ?

Sample paragraph :

There is a fisherman fishing on the bank of a river. While he is fishing, a bather is swimming near him. The bather swims under the water and sees a boot at the bottom of the river. Then he gets an idea to play a trick on the fisherman. He takes the fising line and hooks the boot. When the fisherman thinks he has caught a fish, he lifts his fishing rod. But he is surprised to see the boot.

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าการใช้กระดานดำไม่ว่าจะเป็นการเขียนหรือวาดภาพต่างให้ประโยชน์ต่อการเรียนการสอนภาษาอย่างสูง จึงขึ้นอยู่กับความสา-

มารถของผู้สอนแต่ละคนที่จะรู้จักค้นคิดหาเทคนิควิธีใช้ประโยชน์จากกระดานดำให้เกิดผลดีมากที่สุด

**บรรณานุกรม :**

English Language, Institute. 1975. Handouts for the Audio-Visual Aids Course. Wellington : Victoria University of Wellington,

Finocchiaro, Mary and Michael Bonomo. 1973. The Foreign Language Learners. New York : Regents Publishing Company, Inc.

# พีชคณิต

## ALGEBRA

พูลสุข ธันวารชร*

บทคัดย่อ

พีชคณิตได้พัฒนามาจนความเข้าใจดั้งเดิมที่ว่าพีชคณิตเป็นวิชาที่ว่าด้วยความสัมพันธ์และคุณสมบัติของตัวเลขเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง บทความต่อไปเป็นความพยายามที่จะอธิบายขอบข่ายของพีชคณิตเท่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

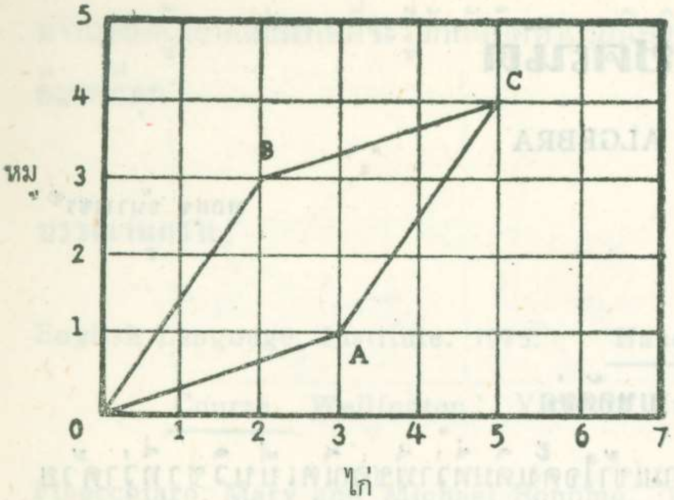
---

ประวัติความเป็นมาของพีชคณิตแบ่งออกได้เป็นสองยุค ยุคแรกคือก่อนพุทธศตวรรษที่ 23 และยุคหลังนับจากพุทธศตวรรษที่ 23 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ในยุคแรกนั้น พีชคณิตคือวิชาที่ว่าด้วยความสัมพันธ์และคุณสมบัติของตัวเลข แต่ตั้งแต่ต้นพุทธศตวรรษที่ 24 เป็นต้นมา พีชคณิตได้เริ่มพัฒนากว้างขวางออกไปโดยไม่ขีดวงจำกัดอยู่ในเฉพาะระบบของตัวเลข แต่รวมไปถึงระบบของสัญลักษณ์อะไรก็ได้ โดยมีกฎเกณฑ์ในการจัดการกับสัญลักษณ์เหล่านั้นกำหนดไว้ด้วย

ในวิชาพีชคณิตเบื้องต้น สัญลักษณ์ x ที่ใช้นั้นใช้แทนตัวเลข ส่วนเครื่องหมาย + เป็นเครื่องหมายที่บอกให้ทราบว่าจะต้องเอาตัวเลขมารวมกัน แต่เมื่อพีชคณิตได้พัฒนาไปรวมถึงระบบที่สัญลักษณ์เป็นอะไรก็ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นตัวเลขแล้ว นักพีชคณิตก็ยังคงใช้เครื่องหมาย + อยู่อีก แต่เครื่องหมาย + ที่ใช้ในที่นี้เป็นเพียงเครื่องชี้ให้เห็นว่า ในขณะนั้นได้มีการกระทำบางอย่างเกิดขึ้นกับสัญลักษณ์เหล่านั้น โดยกฎเกณฑ์ที่เตือนให้นักคณิตศาสตร์ระลึกถึงกฎของการบวก ตัวอย่างการใช้เครื่องหมาย + ในความหมายที่กว้างขึ้น เช่น

---

* อาจารย์พูนสุข ธันวารชร ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น




ไก่ 3 ตัว และหมู 1 ตัว + ไก่ 2 ตัว และหมู 3 ตัว = ไก่ 5 ตัว และหมู 4 ตัว ในรูปข้าง ๆ นี้ แกนตามแนวนอนแสดงจำนวนของไก่ แกนตามแนวดิ่งแสดงจำนวนของหมูดังนั้นจุด A แทนไก่ 3 และหมู 1 ตัว จุด B แทนไก่ 2 ตัว และหมู 3 ตัว ส่วนจุด C นั้นแทนไก่ 5 ตัว และหมู 4 ตัว ดังนั้นในกรณีนี้ จึงสามารถเขียนได้ว่า C = A + B แต่ถ้าให้ผู้ที่ไม่ทราบว่าจุดต่าง ๆ หมายถึงอะไรอธิบายภาพที่แลเห็นย่อมจะได้รับคำอธิบายว่า มีจุดอยู่ 4 จุด ซึ่งเมื่อลากเส้นต่อจุดเหล่านั้น จะได้รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังนั้นการที่จะเขียน C = A + B ก็ดูจะไม่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามรูปนี้ได้มาจากข้อความ ไก่ 3 ตัว และหมู 1 ตัว + ไก่ 2 ตัว และหมู 3 ตัว = ไก่ 5 ตัว และหมู 4 ตัว ดังนั้นจะเห็นได้ชัดว่ารูปเรขาคณิตสี่เหลี่ยมด้านขนานนี้ มีคุณสมบัติทางพีชคณิตเกี่ยวกับการบวกอยู่ การบวกโดยใช้รูปสี่เหลี่ยมด้านขนานนี้คือการบวกเวคเตอร์ เส้นตรง OA, OB และ OC มีชื่อเรียกว่าเวคเตอร์ และมักจะเขียนอยู่ในรูปลูกศร

ได้กล่าวมาแล้วว่า เครื่องหมาย + ในระบบใหม่นี้ เป็นเครื่องบ่งให้เห็นว่ามีขบวนการบางอย่างเกิดขึ้นกับสมาชิกของระบบ ซึ่งเตือนให้นักคณิตศาสตร์ระลึกถึงกฎของการบวก คุณสมบัติสำคัญที่โอเปอเรชั้น (Operation) ใหม่จะต้องมีเหมือนกับการบวกคือ กฎการสลับที่ (Commutative law) ซึ่งกล่าวว่าไม่ว่า a และ b จะแทนอะไรก็ตามเมื่อนำมารวมกัน จะโดยวิธีการที่ยุ่งยากสลับซับซ้อนเพียงใดก็ตามผลลัพธ์ที่ได้นั้น a + b จะต้องเหมือนกับ b + a เสมอ นอกจากนี้ กฎการจัดหมู่ (Associative law) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ได้ว่า $(a+b)+c = a+(b+c)$ จะต้องเป็นจริงด้วยตัวอย่างเช่นในการซื้อหนังสือ 3 เล่ม ราคาเล่มละ 120 บาท 150 บาท และ 200 บาท ตามลำดับนั้น ไม่ว่าผู้ซื้อจะจ่ายเงินค่าหนังสือเล่มใดก่อน ผลสุดท้ายก็ยังต้องจ่ายเงินจำนวนเท่ากันอยู่ดี ในตัวอย่างนี้มีทั้งกฎการสลับที่และกฎการจัดหมู่

ในระบบตัวเลข การคูณมีคุณสมบัติของกฎการสลับที่ด้วย กล่าวคือ 2 × 3 มีค่าเท่ากับ 3 × 2 ความจริงแล้วคุณสมบัติของการคูณใกล้เคียงกับการบวกเป็นอย่างมาก และโดยความจริงข้อนี้ที่ทำให้สามารถสร้างตาราง logarithms ซึ่งเปลี่ยนการคูณมาเป็นการบวกได้ เมื่อพีชคณิตได้ขยายขอบเขตออกไปกว้างขวางกว่า เฉพาะเรื่องตัวเลข นักคณิตศาสตร์ได้ตกลงใช้เครื่องหมาย + สำหรับระบบที่กฎการสลับที่เป็นจริง และเครื่องหมาย × สำหรับโอเปอเรชั่นที่ไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติข้อนี้ นั่นคือ a × b อาจเท่าหรือไม่เท่ากับ b × a ก็ได้ ตัวอย่างการคูณที่กฎการสลับที่ไม่เป็นจริงคือการคูณใน matrix algebra อย่างไรก็ตาม ถึงแม้กฎการสลับที่ไม่เป็นจริง แต่กฎการจัดหมู่ยังคงเป็นจริงใน matrix algebra ตัวอย่างง่าย ๆ ที่กฎการจัดหมู่ไม่จริงคือข้อความ **"โคลงเรือ"** จะเห็นได้ว่า การจัดแบ่งวรรคตอนสำคัญ เพราะถ้าจัดแบ่งวรรคตอนต่างกัน จะได้ความหมายต่างกัน กล่าวคือ **"โค ลง เรือ"** หรือ **"โคลง เรือ"**

คุณสมบัติพื้นฐานข้อที่สามของการบวกเลขคือ กฎการกระจาย ซึ่งเขียนในรูปสัญลักษณ์ได้ว่า a (b + c) = ab + ac ถ้าให้ b แทนคำว่าเส้นเขตแดน ให้ K แทนจังหวัดขอนแก่น ให้ N แทนจังหวัดนครศรีธรรมราช จะเห็นว่า b (K + N) = bK + bN แต่ถ้า N แทนจังหวัดนครราชสีมาแล้ว กฎการกระจายจะไม่เป็นจริง เรื่องเส้นเขตแดน (boundaries) นี้พบมากในวิชา Topology และบางส่วนของ Calculus ดังนั้นนอกจากพีชคณิตจะมีบทบาทในวิชาเรขาคณิตแล้ว ยังมีบทบาทในสาขาอื่นของคณิตศาสตร์อีกด้วย

ในวิชาพีชคณิต "field" คือระบบที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับระบบของตัวเลขมากที่สุดโอเปอเรชั่นใน field เหมือนกับการบวกลบคูณหารในวิชาเลขคณิต กล่าวคือ เป็นไปตามกฎการสลับที่ กฎการจัดหมู่ และกฎการกระจาย ใน field ทุก field จะมีสมาชิกตัวหนึ่งให้ชื่อว่า o ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเลขศูนย์ และมีสมาชิกอีกตัวหนึ่งเรียกว่า e ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเลขหนึ่ง fields มีอยู่มากมายหลายชนิด นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Evariste Galois เป็นผู้ค้นพบ field ที่มีจำนวนสมาชิกจำกัด (finite) ในปี พ.ศ. 2373 ตารางข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างของ Galois field ที่มีสมาชิก 4 ตัว ตารางทาง

ซ้ายเมื่อโอเปอเรชั่นเป็นบวก ตารางทางขวาเมื่อโอเปอร์เรชั่นเป็นคูณ สูตรต่าง ๆ ในวิชาพีชคณิตเบื้องต้น

| + | o | e | a | b | × | o | e | a | b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| o | o | e | a | b | o | o | o | o | o |
| e | e | o | b | a | e | o | e | a | b |
| a | a | b | o | e | a | o | a | b | e |
| b | b | a | e | o | b | o | b | e | a |

ล้วนแล้วแต่เป็นจริงใน Galois field ด้วย เช่นสูตร $(a+b)(a-b) = a^2 + b^2$ เมื่อคำนวณใน Galois field โดยใช้ตารางข้างบนนี้ $(a+b)(a-b)$ และ $a^2+b^2$ จะมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ e จะเห็นว่าพีชคณิตได้พัฒนามาถึงขั้นที่สัญลักษณ์ที่ใช้ ไม่ได้แทนตัวเลขใด ๆ ความจริงแล้วมิได้มีการกล่าวถึงเลยว่า o e a b เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวเลข สัตว์ ต้นไม้ หรือสิ่งอื่นใด

ระบบอื่น ๆ ที่ค้นพบใหม่ในวิชาพีชคณิตนอกเหนือไปจาก field คือ ring และ group ใน ring นั้น สามารถทำการบวกลบและคูณได้ แต่หารไม่ได้ ตัวอย่างของ ring คือเซทของเลขจำนวนเต็มทั้งหมด แต่สำหรับ group แล้วจะมีโอเปอเรชั่นเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นการคูณในความหมายที่กว้างขึ้น โอเปอเรชั่นใน group จะต้องมีคุณสมบัติของการจัดหมู่และ group จะต้องมีสมาชิก e ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเลขหนึ่งอยู่ นอกจากนี้ยังต้องทำการหารใน group ได้ด้วย

นอกเหนือไปจาก field ring และ group ที่กล่าวมาแล้ว นักคณิตศาสตร์ยังคงค้นคว้าหาระบบใหม่ ๆ ที่น่าสนใจ และอาจเป็นประโยชน์ในสาขาวิชาอื่น ๆ อยู่เรื่อย ๆ บางระบบที่พบได้มาจากการพยายามแก้ปัญหาคณิตศาสตร์สาขาอื่น เช่น การจัดหมวดหมู่ (classification) ของสมการดิฟเฟอเรนเชียล ได้นำไปสู่ lie groups การแก้ปัญหาบางอย่างใน Topology ก่อให้เกิดวิชาใหม่คือ homological algebra เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า พัฒนาการของวิชาพีชคณิตเริ่มมาจากความคิดที่ว่า คณิตศาสตร์ไม่ควรจะจำกัดตัวเองอยู่แต่ในแวดวงของตัวเลข หากแต่ควรจะครอบคลุมไปถึงระบบที่สมาชิกจะเป็นอะไรก็ได้ แม้ว่าอะไรก็ได้ในที่นี้มักจะมีส่วนเกี่ยวข้องหรือความสัมพันธ์บางประการกับตัวเลขก็ตาม นักคณิตศาสตร์บริสุทธิ์ (Pure mathematicians) มักไม่สนใจว่า สิ่งที่ค้นพบนั้นจะนำไปเป็นประโยชน์อะไรได้บ้าง นอกจากจะพอใจอยู่กับแบบที่สวยงามน่าสนใจของสิ่งที่ได้พบ แต่นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานเกี่ยวข้องอยู่กับคณิตศาสตร์สนใจและพบว่าบางเรื่องในวิชาพีชคณิตมีประโยชน์ต่อสาขาวิชาของตนโดยมิเคยคาดคิดมาก่อน เช่นมีการนำเอา Boolean algebra มาใช้ในการออกแบบวงจรโทรศัพท์และในเครื่องคำนวณอีเลคโทรนิค เป็นต้น ดังนั้นนักคณิตศาสตร์ประยุกต์ หรือนักวิทยาศาตร์จึงควรที่จะสนใจและคอยดูว่า บางสิ่งบางอย่างที่นักคณิตศาสตร์บริสุทธิ์ค้นพบ อาจนำมาประยุกต์ให้เป็นประโยชน์ในสาขาวิชาของตนได้.

## บรรณานุกรม


Birkhoff, G. and S. Maclane. 1948. A Survey of Modern Algebra. New York: Macmillan.

Fraleigh, John B. 1969. A First Course in Abstract Algebra. Massachusetts: Addison Wesley.

Sawyer, W.W. 1964 "Scientific American." November

# ศาลาวิทยาสาร

## ในอวกาศก็มีขยะ?

ในปี 1975 หน่วยป้องกันภัยทางอวกาศของทวีปอเมริกาเหนือรายงานว่า สิ่งของต่าง ๆ ที่มนุษย์ส่งขึ้นไปเพิ่มในห้วงอวกาศรอบๆโลกมีจำนวนถึง 929 ชิ้น เท่าที่ทราบในจำนวนนี้ 151 ชิ้นตกกลับมายังพื้นโลก ที่เหลือ 778 ชิ้นยังคงลอยเคว้งในอวกาศ สิ่งของเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนของจรวดและดาวเทียมที่ชำรุดแล้ว

ลองคิดดูง่าย ๆ ว่าในปัจจุบัน ( 1977 ) หรือต่อไปในอนาคต อวกาศรอบโลกเราจะสกปรกสักเพียงไหน โชคดีที่ประเทศไทยเราไม่มีส่วนร่วมในขบวนการทิ้งขยะนี้ เพราะเท่าที่ทราบบ้องไฟของเรายังขึ้นสูงไม่ถึงชั้นอวกาศแน่ !

## ผักตบชวาที่น่าสงสาร

ขณะที่นักวิทยาศาสตร์ในต่างประเทศพยายามส่งเสริมการปลูกผักตบชวา ประเทศไทยกลับกำลังรณรงค์หาทางกำจัดพืชชนิดนี้กันยกใหญ่ ถึงขนาดมีเพลงปลุกใจให้ช่วยกันทำลายให้สูญพันธุ์กันเลยทีเดียว

ฝ่ายที่พยายามกำจัดอ้างว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหาการกีดขวางการสัญจรทางน้ำและเป็นแหล่งเพาะยุง ส่วนฝ่ายที่พยายามปลูกก็พบว่าเป็นพืชที่ช่วยแก้ปัญหาน้ำเสียได้

จากการทดลองพบว่าผักตบชวาสามารถลดปริมาณมวลพิษในน้ำโสโครกทั้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมลงได้มาก น้ำที่ได้ก็ใสสะอาดกว่าการใช้ระบบกำจัดของเสียอื่น ๆ ที่เคยมีมาก่อน นอกจากนี้ต้นผักตบชวายังนำมาเป็นอาหารสัตว์ หรืออาจนำไปหมักให้เกิด methane gas เพื่อใช้ในการหุงต้ม จึงควรคิดว่าวิธีแก้ปัญหาผักตบชวานั้นน่าจะใช้วิธีทำลายหรือสร้างสรรค์กันแน่

# ข่าวสั้น

**สรุปผลการประชุมสัมนาทางวิชาการเรื่อง "โครงการวิจัยและการเขียนบทความในวารสารทางวิทยาศาสตร์" ระหว่างวันที่ 2-3 ธันวาคม 2520 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**

**1. ลักษณะของบทความทางวิทยาศาสตร์**

บทความวิชาการแตกต่างจากบทความธรรมดาเพราะความต้องการต่างกัน บทความวิชาการต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ

ก. แม่นยำ คือมีหลักฐาน ข้อมูล หรือเอกสารอ้างอิงที่ถูกต้อง

ข. กระจ่าง คือมีความชัดเจน ละเอียดพอสมควรที่จะไม่ทำให้ผู้อ่านเข้าใจผิดไปจากที่เสนอ ตลอดทั้งใช้ถ้อยคำที่ชัดเจน ตรงไปตรงมา

ค. กะทัดรัด ได้แก่การใช้ถ้อยคำสำนวนสั้น ๆ แต่ไม่ห้วน และมีความชัดเจน

ง. มีลำดับ หมายถึงการบรรยายที่ดำเนินไปตามลำดับที่ถูกต้อง เช่นเหตุมาก่อนผล ไม่เขียนเรื่องย้อนกลับไปกลับมา

จ. ให้ความรู้ บทความวิทยาศาสตร์ต้องให้ความรู้เสมอ เป็นความรู้ที่ตรงตามหัวข้อเรื่องและถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ด้วย

**2. ความบกพร่องในการเขียนต้นฉบับ**

ข้อบกพร่องในการเขียนพบความทางวิทยาศาสตร์ที่พบบ่อยคือ บทความที่เขียนมีความยาวเกินควร ไม่มีความกะทัดรัด ขาดความแม่นยำโดยบรรยายไม่ตรงกับข้อมูล ส่วนมากเป็นการตีความหนักเกินไปกว่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบข้อบกพร่อง เกี่ยวกับการใช้ภาษา เช่น การสะกดผิด การใช้ภาษาอังกฤษปนภาษาไทย การใช้คำไม่สุภาพและการใช้ภาษาสำรวยอย่างที่พบในนวนิยาย วารสารภาษาไทยจึงควรใช้ภาษาไทยที่ถูกต้องและละเว้นการใช้ภาษาอื่นปน วิธีที่น่าจะใช้ส่งเสริมการใช้ภาษาไทยในวารสารคือ การหาวิธีเขียนทับศัพท์ที่เหมาะสม โดยต้องให้ผู้อ่านบอกได้ว่าคำที่ทับศัพท์นั้นตรงกับคำในภาษาอังกฤษคำใด นอกจากนี้ให้พยายามหาคำไทยมาใช้แทนคำในภาษาอังกฤษโดยวิธีเสนอศัพท์ใหม่ หลักการเสนอหรือบัญญัติศัพท์เพื่อใช้แทนคำในภาษาอังกฤษคือ

ก. พยายามให้ความหมายใกล้เคียงกับคำเดิมในภาษาอังกฤษ

ข. ให้ผู้อ่านระลึกได้ทันทีว่าคำนั้นหมายถึงคำใดในภาษาอังกฤษ

ค. ให้มีความสั้นพอควร

**3. เทคนิคการเตรียมต้นฉบับ**

ก่อนที่จะส่งต้นฉบับไปที่บรรณาธิการวารสารนั้น ผู้เขียนควรจะได้ตรวจทานแก้ไขหรือเตรียมต้นฉบับให้สมบูรณ์ถูกต้อง โดยเริ่มจากการพิจารณาว่าบทความที่เขียนนั้นมีคุณสมบัติครบถ้วนตามลักษณะที่ดีของบทความทางวิชาการหรือไม่ ถูกต้องตามรูปแบบและวัตถุประสงค์ของวารสารนั้นหรือไม่ ตัวสะกดการันต์ และการใช้ภาษาถูกต้องตามหลักภาษาและตรงตามความหมายหรือไม่ นอกจากนี้หากมีการใช้รูปภาพหรือตารางประกอบรูปภาพหรือตารางนั้นจะต้องชัดเจน มีขนาดพอเหมาะ และถูกต้องในรายละเอียด ต้นฉบับควรพิมพ์ดีดเพราะชัดเจนอ่านง่าย การพิมพ์ควรใช้กระดาษขาวและพิมพ์หน้าเดียว

**4. การเขียนบทความวิจัย**

ในการเขียนบทความวิจัย ผู้เขียนจะต้องคำนึงถึงรูปแบบ และหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้คือ

**ก. ชื่อเรื่องและข้อความเกี่ยวกับผู้เขียน** ชื่อเรื่องควรสั้นแต่ชัดเจนพอที่จะสามารถให้อรรถาธิบายเนื้อเรื่องที่ตามมาได้อย่างดี ควรงดเว้นการใช้ตัวอักษรย่อ ข้อความเกี่ยวกับผู้เขียนได้แก่ชื่อของผู้เขียนและสังกัดชื่อผู้เขียนไม่จำเป็นต้องมีคำนำหน้า เช่น นาย นางสาว ศาสตราจารย์ ดร. คุณวุฒิของผู้เขียนก็เช่นเดียวกัน วารสารส่วนใหญ่ไม่นิยมใส่คำย่อของปริญญาหรือคุณวุฒิอื่นใดตามหลังชื่อผู้เขียน สถานที่ทำงานควรใส่ที่ติดต่อได้ ในกรณีที่ผู้เขียนมีหลายคนควรใส่ชื่อผู้เขียนทั้งหมดหากมีจำนวนไม่มากนัก

**ข. บทคัดย่อ (สารสังเขป)** บทคัดย่อจำเป็นสำหรับบทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์- เป็นการนำเรื่องทั้งหมดมาสรุปหาสาระสำคัญ การเขียนบทคัดย่อทำได้โดยอ่านบททวนและบันทึกสาระสำคัญของเรื่องในลักษณะของปัญหา วัตถุประสงค์ วิธีการ ผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ ในบทคัดย่อไม่ควรระบุสิ่งใดที่มิได้มีปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่อง ไม่ควรอ้างอิงเอกสาร รูปภาพ และตารางใด ๆ ควรพยายามเน้นสิ่งที่พบใหม่ และไม่ควรให้บทคัดย่อยาวเกินกว่า 200 คำ หรือให้ยาวประมาณ 3 % ของเนื้อเรื่องเท่านั้น

**ค. บทนำ** บทนำมีหน้าที่ 2 ประการคือ บอกลักษณะของปัญหาที่นำมาทดลองหรือศึกษาวิจัย และบอกวัตถุประสงค์ ขอบเขต ตลอดจนวิธีดำเนินการวิจัย บทนำที่ดีไม่ควรยาวเกินไป ควรเป็นข้อเขียนที่อ่านเข้าใจง่าย ไม่ว่าผู้อ่านจะอยู่ใน สาขาวิชานั้นโดยตรงหรือไม่ก็ตาม

**ง. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ** ควรให้มีข้อความที่ละเอียดพอที่นักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ที่อยู่ในสายงานเดียวกันจะสามารถนำไปทดลองซ้ำได้ ผู้เขียนจะต้องแจ้งชื่อ ชนิด และลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีการนั้น ผู้เขียนต้องบรรยายการทดลอง วิธีการสังเกต หรือวิธีการอื่น ๆ ที่ทำให้ได้ข้อมูลมา โดยอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ในการทดลอง

**จ. ผล** เป็นการเสนอผลการทดลองหรือการศึกษาวิจัย โดยนำมาจัดเป็นหมวดหมู่และวิเคราะห์โดยไม่มีการวิจารณ์ ข้อความที่เขียนควรสัมพันธ์กับเนื้อหาที่แจ้งไว้ในวัตถุประสงค์ หากเป็นไปได้ควรเสนอในรูปตาราง กราฟ หรือรูปภาพ

**ฉ. บทวิจารณ์** วิจารณ์เฉพาะผลที่ได้จากการศึกษาหรือทดลอง การวิจารณ์ควรเสนอในรูปข้อความ แต่บางครั้งอาจมีตาราง กราฟ หรือ รูปภาพจากบทเสนอผลมาเรียบเรียงประกอบก็ได้

**ช. บทสรุป** บทความที่มีความยาวมากพอควรอาจมีบทสรุปซึ่งกล่าวถึงผลโดยย่อและข้อสรุปที่ได้จากการวิจารณ์ บทสรุปต่างจากบทคัดย่อคือนิยมไว้ตอนท้ายของบท ส่วนบทคัดย่อซึ่งยาวกว่าและมีความสมบูรณ์ในตัวของมันเองจะอยู่ตอนต้นของบทความ โดยความทั่วไปวารสารทางวิทยาศาสตร์จะละตอนนี้ไว้เพราะเห็นว่าเป็นการกล่าวซ้ำกับบทคัดย่อ

**ซ. คำขอบคุณ** หมายถึงการขอบคุณผู้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือในการทดลองหรือศึกษาวิจัย มิใช่ผู้ร่วมทำการทดลอง วารสารส่วนใหญ่ในปัจจุบันไม่นิยมเขียนข้อความตอนนี้

**ฌ. เอกสารอ้างอิง** คำว่า " เอกสารอ้างอิง " หมายถึงเอกสารที่ถูกนำมาอ้างอิงไว้ในเนื้อเรื่องตอนใดตอนหนึ่ง หากมิได้นำมาอ้างอิง อย่าระบุชื่อเอกสารนั้น ๆ ไว้ใน

ตอนนี้ ระบบการอ้างอิงเอกสาร ที่นิยมใช้กันในวารสารต่าง ๆ มี 2 ระบบคือ :

1. ระบบชื่อ – ปี ระบบนี้นิยมกันมาก วิธีใช้คืออ้างชื่อสกุลของผู้เขียน ตามด้วยปีของเอกสารนั้น ดังตัวอย่าง:

เกตุสิงห์ ( 2520 ) รายงานว่า.......................................................................

หรือ.......................................................................................................( เกตุสิงห์ 2520 )

2. ระบบเลข ใช้เลขอาระบิกแทนเอกสารอ้างอิง โดยใส่ไว้ในวงเล็บหรือเลขบน ( superscript ) เช่น

............................................................................................................( 1 )

หรือ..........................................................................................................[1]

**ญ. การทำบัญชีเอกสารอ้างอิง** บัญชีเอกสารอ้างอิงเป็นการรวบรวมรายการของเอกสารที่นำมาอ้างอิงทั้งหมดในตัวเรื่องมาไว้ตอนท้ายสุดของบทความ อย่านำเอกสารอื่นใดที่ไม่ได้อ้างไว้ในตัวบทความมารวมไว้ในบัญชีนี้ แต่ต้องนำเอกสารทุกเรื่องที่ได้อ้างอิงไว้ในตัวบทความมารวบรวมไว้ในบัญชีให้ครบทุกเรื่อง

## 5. การเขียนบทความปริทัศน์

บทความปริทัศน์ ( review articles ) เป็นข้อเขียนที่รวบรวมนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้ตีพิมพ์แล้วในหนังสือหรือวารสารต่าง ๆ มาวิเคราะห์ วิจารณ์ และเปรียบเทียบกัน เพื่อให้เกิดความกระจ่างในเรื่องนั้น ๆ ยิ่งขึ้น หลักเกณฑ์ในการเรียบเรียงบทความปริทัศน์ไม่ได้มีผู้ใดกำหนดเอาไว้ตายตัว ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับแบบแผนของผู้เขียนเอง อาจอนุโลมนำหลักเกณฑ์ของการเขียนบทความวิจัยมาใช้กับบทความปริทัศน์ได้บ้างโดยการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดบางประการ ตัวอย่างเช่นนอกจากตัวเนื้อเรื่องแล้ว บทความปริทัศน์อาจมี **บทคัดย่อ คำขอบคุณ** และโดยเฉพาะ **บทวิจารณ์** ซึ่งถือว่าควรจะมีเพื่อให้ผู้อ่านคล้อยตามในประเด็นที่ผู้เขียนเห็นว่าสำคัญ บัญชีรายชื่อเอกสารอ้างอิงท้ายบทความซึ่งมิใช่เอกสารที่ใช้อ้างอิงในตัวบทความแต่หมายถึงรายชื่อเอกสารที่ใช้ประกอบการค้นคว้าควรจะใช้คำว่า " บรรณานุกรม " แทน

**6. ชนิด มาตรฐาน และรูปแบบของวารสารและบทความทางวิทยาศาสตร์**

วารสารทางวิทยาศาสตร์ คือสิ่งตีพิมพ์ซึ่งเผยแพร่ผลงานและเรื่องราวอื่น ๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 6 ประเภทคือ 1 ) สิ่งพิมพ์ที่เผยแพร่ผลงานทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการวิจัยซึ่งไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อน 2 )สิ่งพิมพ์ซึ่งเรียบเรียงเนื้อหาจากสิ่งตีพิมพ์ประเภทแรก เช่นเอกสารรวบรวมบทคัดย่อต่าง ๆ 3 ) สิ่งพิมพ์ที่เป็นรายงานและบทความปริทัศน์ซึ่งนำบทความวิจัยมาย่อและวิจารณ์เปรียบเทียบ 4 ) คู่มือและพจนานุกรมทางวิทยาศาสตร์ 5 ) ตำรา คือหนังสือที่ว่าด้วยความรู้ในสาขาใดสาขาหนึ่งเขียนขึ้นโดยมีข้อมูลที่กลั่นกรองแล้วจากสิ่งพิมพ์ประเภทอื่น ๆ และ 6 ) นิตยสารคือสิ่งพิมพ์ที่มีเรื่องราวทางวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ สำหรับผู้อ่านทั่วไป

วารสารทางวิทยาศาตร์ที่ได้มาตรฐานทุกประเภทควรมีหลักเกณฑ์ขั้นพื้นฐาน-ดังนี้คือ

ก. มีบทความวิทยาศาสตร์เป็นส่วนประกอบอย่างน้อยครึ่งหนึ่ง

ข. อาจมีข่าว บทวิเคราะห์ วิจารณ์หนังสือ จดหมายถึงบรรณาธิการ แต่ส่วนประกอบเหล่านี้ต้องมีสาระทางวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่เรื่องสังคมส่วนบุคคล

ค. มีการตรวจแก้ต้นฉบับและพิสูจน์อักษรอย่างละเอียดถี่ถ้วน

ง. ใช้ศัพท์เทคนิคภาษาไทยตรงกับศัพท์ที่บัญญัติโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เช่นราชบัณฑิตยสถาน

จ. ออกเป็นประจำตามกำหนด

ฉ. ควรมีดรรชนีท้ายเล่ม โดยแยกเป็นดรรชนีหัวเรื่องและดรรชนีชื่อผู้เขียน

การที่จะกำหนดว่าวารสารทางวิทยาศาสตร์ ฉบับใดมีมาตรฐานดีเพียงใดนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก จำนวนขายหรือเผยแพร่ มิใช่ตัวกำหนดว่าวารสารนั้นดีหรือไม่ เนื่องจากวารสารทางวิทยาศาสตร์ ย่อมมีผู้อ่านจำนวนจำกัด การตัดสินคุณภาพของวารสารจึงน่าจะขึ้นอยู่กับเนื้อหาสาระของวารสารนั้น กล่าวคือบทความและเนื้อหาในวารสารนั้นให้ประโยชน์ในด้านความรู้ และการศึกษาวิจัยแก่ผู้อ่านหรือไม่ และมากเพียงใด

รูปแบบของวารสารหมายรวมถึงลักษณะของรูปเล่ม การลำดับเนื้อหา แบบของปก การจัดสารบาญ ดรรชนีท้ายเล่ม โดยทั่วไปแล้ววารสารทางวิทยาศาสตร์ต้องรักษารูปแบบของแต่ละฉบับให้เหมือนเดิมอยู่เสมอ หากมีการเปลี่ยนแปลง ก็ควรทำเมื่อเริ่มปีใหม่

## 7. โครงการวิจัย

การสนับสนุนให้มีการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นนโยบายสำคัญประการหนึ่งของประเทศซึ่งสภาวิจัยแห่งชาติมีหน้าที่รับผิดชอบและดำเนินการในเรื่องนี้ ผู้สนใจสามารถเสนอโครงการเพื่อขอรับการพิจารณาช่วยเหลือด้านการเงินจากสภาวิจัย ฯ และโครงการวิจัยของอาจารย์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยส่วนภูมิภาคจะได้รับการสนับสนุนส่งเสริมเป็นพิเศษ

**หมายเหตุ** รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเขียนบทความทางวิทยาศาสตร์ดูได้จากหนังสือ **คู่มือการเตรียมบทความและรายงานทางวิทยาศาสตร์เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร** ซึ่งจัดพิมพ์และจำหน่ายโดยคณะอนุกรรมกลุ่มบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่ 196 ถนนพหลโยธิน บางเขน กรุงเทพมหานคร

# ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร "วิทยาสาร มข."

**ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์**

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน

2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการ

3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยค้นคว้าหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

**รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ**

1. ชื่อเรื่อง ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไปและหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น

2. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน

3. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทยศัพท์ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้น ให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้ และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน

4. บทความวิจัย ควรมีบทคัดย่อ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็น บทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุป และวิจารณ์

5. เอกสารอ้างอิง เอกสารอ้างอิงในตอนท้ายสุดของเรื่องให้เรียงตามลำดับตัวอักษรที่เป็นชื่อผู้แต่ง ชื่อผู้แต่งภาษาไทยให้ขึ้นต้นด้วยชื่อตัวก่อนชื่อสกุล ภาษาอังกฤษให้เรียงชื่อสกุลก่อนชื่อตัว ชื่อวารสารหรือหนังสือให้ขีดเส้นใต้ ชื่อบทความให้อยู่ในเครื่องหมายอัญประกาศ บอกชื่อเมืองที่พิมพ์ สำนักพิมพ์ ปีที่พิมพ์ (เรียงต่อจากชื่อผู้แต่ง) ถ้าเป็นวารสาร ให้ใส่หมายเลขปีที่ (volume number) และขีดเส้นใต้ และใส่หมายเล่มที่ (issue number) ในวงเล็บตลอดทั้งบอกหมายเลขหน้าที่ใช้อ้างอิง

6. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ ข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับท้าย

7. การส่งต้นฉบับ พิมพ์ต้นฉบับลงในกระดาษขาวขนาด 8×11 นิ้ว โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ส่งต้นฉบับมาที่ :

บรรณาธิการวารสารวิทยาสาร มข.
คณะวิทยาศาสตร์-อักษรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ขอนแก่น

8. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าจะเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสต์การ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกอินเดียนบนกระดาษหนา ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม

9. การตรวจทานต้นฉบับ ก่อนส่งต้นฉบับ ผู้เขียนควรตรวจทานความถูกต้องชัดเจนของบทความทั้งด้านเนื้อหาและการใช้ภาษา โดยเฉพาะเมื่อมีการแสดงตาราง แผนภูมิ หรือใช้สัญญลักษณ์เฉพาะมาประกอบการเขียนบทความนั้น กองบรรณาธิการมีสิทธิ์ในการพิจารณาคัดเลือก เรื่องหรือบทความใด ๆ เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ และมาตรฐานของวารสาร

**ตัวอย่างเอกสารอ้างอิง**

**หนังสือเล่ม :**

บุญเสริม วีสกุล. 1517. **สถิติตอนที่ 1 : วิธีเก็บและประมวลข้อมูล.** พระนคร : ไทยวัฒนาพานิช. หน้า 57-64.

**Glasstone, Samuel. 1967. Sourcebook on Atomic Energy. New York: Van Nostrand Reinhold Company. pp. 157-196.**

**วารสาร :**

สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี. 2520. "การเรียกชื่อธาตุ" **วิทยาสาร มข.** 5(2): 11-13.

**Zajonc, R.B. 1976. "Family Configuration and Intelligence." Science.** 192 (4236): 227-235.

**วิทยานิพนธ์ :**

**Phillip O.C. 1962. "The Influence of Ovid on Lucan's Bellum Civile." Unpublished Ph.D. dissertation. University of Chicago.**

องค์การค้าของคุรุสภา

# ศึกษาภัณฑ์ขอนแก่น

ร้านขายส่งสินค้าขององค์การค้าของคุรุสภา

123/13-14 ถนนหน้าเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น

236775
237006

จำหน่าย และรับซ่อมวัสดุครุภัณฑ์สำนักงาน ทุกชนิด
วัสดุครุภัณฑ์แพทย์ วิทยาศาสตร์ ห้องสมุด
เครื่องกีฬา-เครื่องไฟฟ้า ฯลฯ

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์ศิริภัณฑ์ ออฟเซ็ท ขอนแก่น โทร. 236141 นายอารีย์ หอวิจิตร ผู้พิมพ์ - โฆษณา