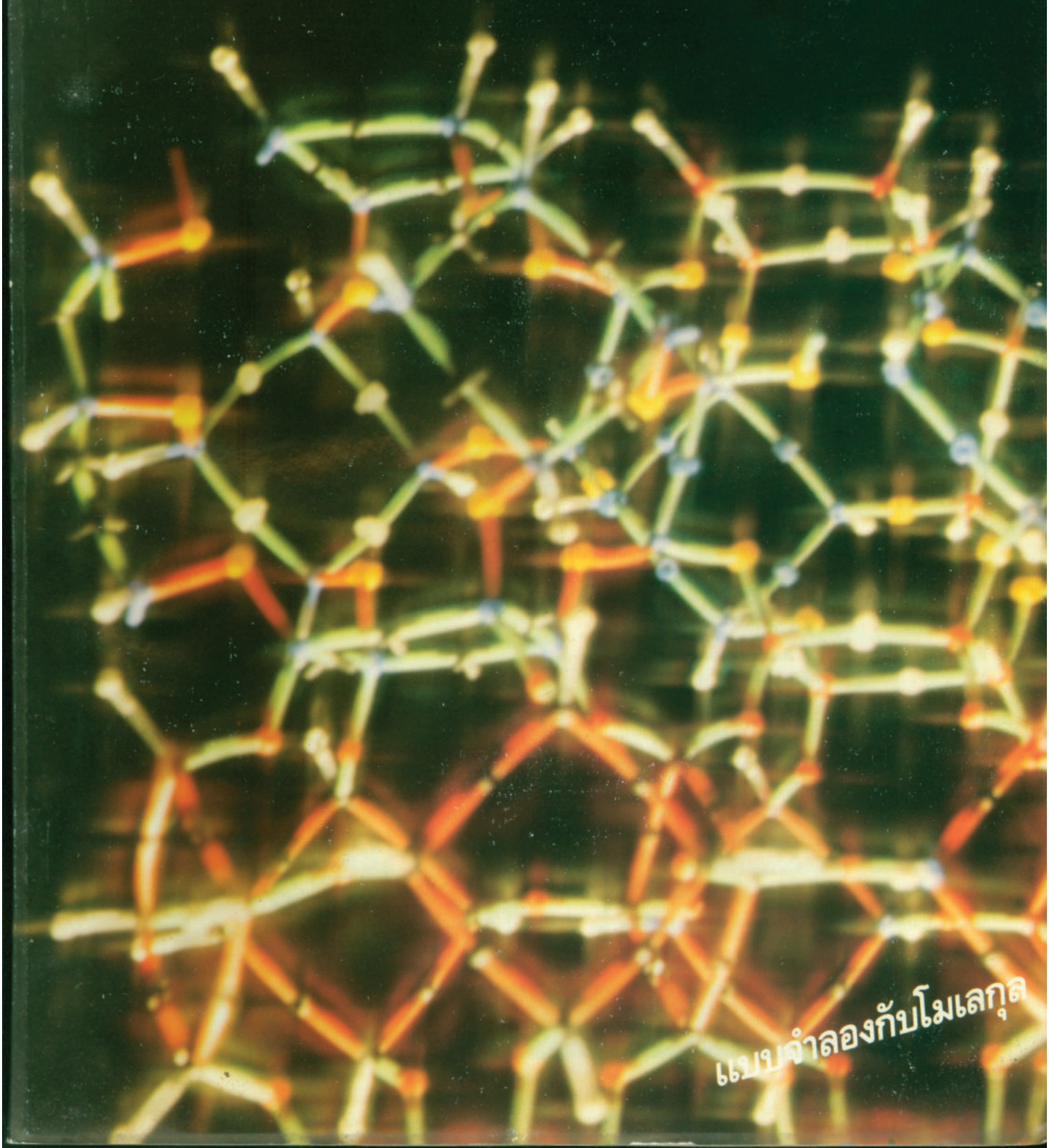
วารสาร
วิทยาศาสตร์มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 18 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม 2533



แบบจำลองกับโมเลกุล

ISSN 0125-2364

วารสาร
วิทยาศาสตร์ขข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

ตึก 6 ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม
ฉบับที่ 2 เมษายน – มิถุนายน
ฉบับที่ 3 กรกฎาคม – กันยายน
ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม

ค่าบำรุง ปีละ 40 บาท ขายปลีกเล่มละ 12 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงเป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาณัติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้น ฝ่ายจัดการ สั่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

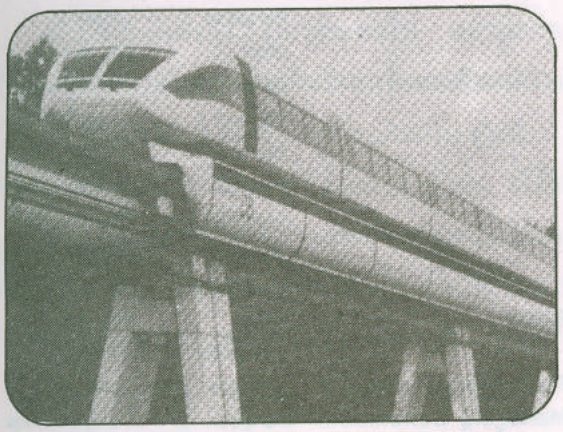
บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

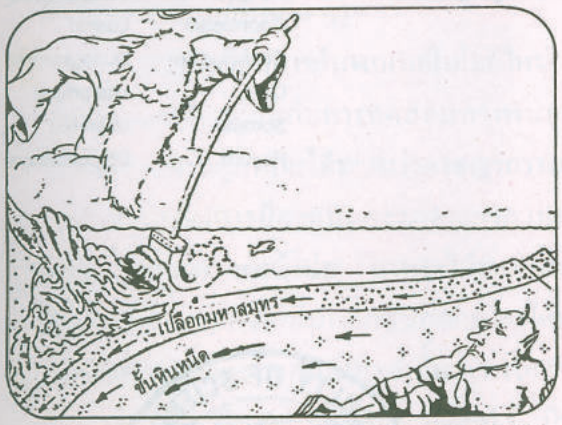
สารบัญ

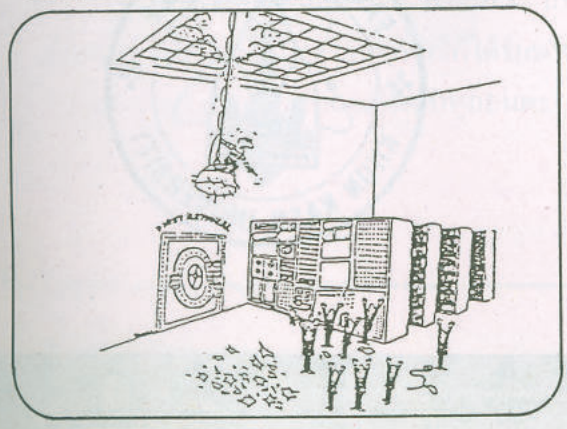
ISSN 0125-2364

วารสาร
วิทยาศาสตร์ มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 18 · ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2533







คอลัมน์ประจำ

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กองบรรณาธิการ 177

แฟ้มวิทยาศาสตร์
เอกภพ 180

สารคดีวิชาการ

ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอ
กรกช อินทราพิเชฐ 182

ความก้าวหน้าของสภาพตัวนำยิ่งยวด
อุดม ทิพราช 187

อาชญากรรมในศูนย์คอมพิวเตอร์
วิชุดา ไชยดิวามงคล 196

มหันตภัยธรรมชาติ
หล้า อาจวิชัย 203

การหาจุดศูนย์กลางและจุดโฟกัสของภาคตัดกรวย
สุชัย ตนัยอัชฌาวุฒ 213

การเลี้ยงเอมบริโอของพืชชั้นสูงในอาหารสังเคราะห์
พรพิมล สุริยจันทราทอง 218

งานวิจัย

ผลการลดปริมาณอาหารข้นควบคู่กับการสับใบผักตบชวาเป็นอาหารไก่งวงรุ่น ในการเลี้ยงไก่งวงแบบเกษตรกรรายย่อย
เทอดศักดิ์ คำเหมือง และคณะ 228

เบ็ดเตล็ด

เกร็ดความรู้
หญ้าปล้อง 237

ดรรชนีเรื่อง 239

ดรรชนีผู้เขียน 241

คอลัมน์นี้มีรางวัล
ช็อกโกแลต 242

ISSN 0125-2364

วิทยาศาสตร์ขอนแก่น

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

Publisher

Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand.

Office

Faculty of Science Library, Building 6, Khon Kaen University.

Objectives

1. To promote and propagate knowledge in all fields of science.
2. To publish results from research and studies by academic staff and students.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among staff, students and those interested from both inside and outside the institute.

Publishing terms

four issues per annual volume
Issue no. 1 January - March
Issue no. 2 April - June
Issue no. 3 July - September
Issue no. 4 October - December

Subscription rate

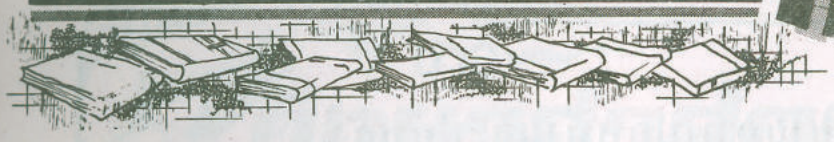
40 baht per annum. Single issue price 12 baht.

Membership

Membership request can be made by letter or by completing the membership form, with the free paid in the form of a postal order or postal cheque sent to Mrs. Boonkoom Lualon, Managing Committee, Khon Kaen University Post Office, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

The views and opinions expressed in this journal are those of the authors, and do not necessarily reflect the views and opinions of the editorial board.

บรรณาธิการแถลง



ขณะที่วิกฤตกาลในตะวันออกกลางกำลังดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อย่างยากที่จะทำนายว่าจะสิ้นสุดลงอย่างไร คำทำนายของนอสตราดามุสในช่วงสี่ปีข้างหน้าจะเป็นจริงหรือไม่ ก็เป็นเรื่องราวที่จะต้องรอดูกันต่อไป อย่างไรก็ตามนักธรรมชาติวิทยาบางท่านก็กล่าวว่าไม่ต้องรอให้ถึงสงครามล้างโลกในร้อยหรือสองร้อยปีข้างหน้าหรอก อีกไม่กี่สิบปีมนุษย์ในโลกของเราก็จะไม่มีออกซิเจนพอที่จะหายใจกันอยู่แล้ว จะอย่างไรก็ตามพวกเราซึ่งยังอยู่กับปัจจุบันก็ดำเนินชีวิตในปัจจุบันให้ดีที่สุดก็แล้วกัน จริงไหมคะ

กลับมาสู่โลกวิทยาศาสตร์ของเราในเล่มนี้ ท่านจะได้พบกับ **ความก้าวหน้าของสภาพตัวนำยิ่งยวด** ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจกันมากในขณะนี้ มนุษย์เราต้องเผชิญกับ**มหันตภัยธรรมชาติจากแผ่นดินไหว**ได้อย่างไร รวมไปถึงเหตุการณ์ครั้งสำคัญ ๆ ที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดความสูญเสียมากมายรวมทั้งในซานฟรานซิสโก แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ด้วย (ซึ่งนับว่ายังน้อยเมื่อเทียบกับที่อื่น ๆ)

ปัจจุบันได้มีการค้นพบเทคโนโลยีใหม่ นั่นคือ **การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ** ซึ่งช่วยในงานนิติเวชร่วมกับการทดสอบทางพันธุกรรมซึ่งสามารถบ่งความเฉพาะตัวของแต่ละบุคคลได้ ท่านผู้อ่านจะได้ทราบว่า**อาชญากรรมในศูนย์คอมพิวเตอร์**สามารถเกิดขึ้นได้อย่างไร จะมีแนวทางในการป้องกันและมาตรการควบคุมโดยวิธีไหนจึงจะทำให้ลดน้อยลงได้ และอันเนื่องมาแต่ภาพหน้าปก ท่านจะได้ทราบถึงวิธี**การเลี้ยงเอมบริโอของพืชชั้นสูงในอาหารสังเคราะห์** นอกจากนี้นักเรียนนักศึกษาจะได้ทราบวิธี**การหาจุดศูนย์กลางและจุดโฟกัสของภาคตัดกรวย** และคอลัมน์ประจำอื่น ๆ ครบครัน

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ฉบับที่ 4 ปีที่ 18 นี้เป็นฉบับต้อนรับปีใหม่ 2534 พรใด ๆ ที่ท่านผู้อ่านได้รับแล้วมีความสุขก็ขอให้ได้รับพรที่ปรารถนานั้นทุกประการนะคะ สวัสดีปีใหม่จากกองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำทุกคนค่ะ

จารุมาลย์ จิตรังษี

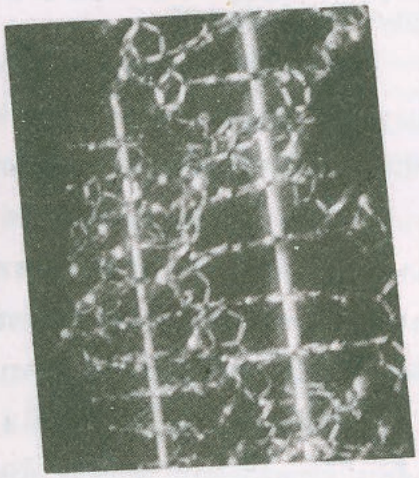
⬡ คำบรรยายภาพปกหน้าและปกหลัง ⬡

ภาพปกหน้าแสดงแบบจำลองโครงสร้างของสารประกอบพวกอลูมิโนซิลิเกต $[(Al, Si)O_2]_n$ เช่น Zeolites ซึ่งโครงสร้างเตตระฮีดราของ AlO_4 และ SiO_4 จะทำให้เกิดช่องว่าง Cubo-octahedral cavity ทำให้ลักษณะสำคัญของสารประกอบพวกนี้มีโครงสร้างเปิดซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 2-11 Å และสามารถจับโมเลกุลที่มีขนาดเหมาะสมไว้ได้ จึงใช้เป็นตัวดูดซับและแลกเปลี่ยนอิออนได้

ภาพปกหลังคือแบบจำลองโครงสร้าง DNA ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตประกอบขึ้นจากนิวคลีโอไทด์หลาย ๆ อันมาต่อกัน องค์ประกอบสำคัญของนิวคลีโอไทด์ คือ น้ำตาลดีอ็อกซีไรโบส หมู่ฟอสเฟต และเบส ซึ่งมี 4 ชนิดคือ Adenine (A) Guanine (G) Cystosine (C) และ Thymine (T) โครงสร้าง DNA แบบที่พบมากคือแบบ B ซึ่งลักษณะจะเป็น DNA 2 เส้นพันกันมีเบสจับกันอยู่ภายใน มีน้ำตาลและฟอสเฟตอยู่ด้านนอก

ภาพ : กิเลน ติณนรเศรษฐ์

บรรยายภาพ : จารุมาลย์ จิตรังษี และ วรรณวไล อธิวาสน์พงศ์



ว.วิทย์. มข. 18(4) : 177-179 (2533)

แมคโดนัลด์ยุติการบรรจุด้วยกล่องโพลีสไตรีน

อันเนื่องมาจากพลังกดดันจากส่วนรวม บริษัทยักษ์ใหญ่แมคโดนัลด์กำลังอยู่ในขั้นพัฒนาการเลิกใช้กล่องโฟมโพลีสไตรีนในภัตตาคารเครือข่ายทั่วโลกกว่า 11,400 แห่ง พร้อมกับยุติโปรแกรมการนำโฟมมาผลิตเพื่อหมุนเวียนใช้ต่อไปอีก "ถึงแม้ว่าจากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์บางอันจะบ่งว่า การบรรจุด้วยกล่องโฟมนี้ใช้ได้ดีในแง่ของสิ่งแวดล้อม แต่ลูกค้าของเราจะมีความรู้สึกที่ไม่ดี" เอ็ดเวิร์ด เอช เรนซี ประธานบริษัทแห่งสหรัฐอเมริกากล่าว

การตัดสินใจเลิกใช้กล่องบรรจุโพลีสไตรีนซึ่งรวมทั้งกล่องรูปกาบหอยที่ใช้ใส่แฮมเบอร์เกอร์และแซนวิชต่าง ๆ นี้ มาจากการปรึกษาหารือร่วมกับ EDF (Environmental Defense Fund) ซึ่งได้ทำงานร่วมกับแมคโดนัลด์มาตั้งแต่เดือนสิงหาคม ทาง EDF ยืนยันว่าบริษัทสามารถจะช่วยลดปริมาตรขยะและสิ่งเหลือใช้ได้ถึง 90% หากเลิกใช้กล่องบรรจุเหล่านี้

ทางบริษัทแมคโดนัลด์จะใช้กระดาษหรือวัตถุอื่นที่ทำจากกระดาษมาแทนที่โฟมที่ซึ่งจะเป็นกระดาษที่สามารถนำไปย่อยเตรียมของผสมที่จะใช้ในทางการเกษตรกรรมได้ต่อไป

จากบันทึกของสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก ธุรกิจในสหรัฐอเมริกาได้ใช้การบรรจุด้วยโพลีสไตรีนถึง 905 ล้านปอนด์ และในจำนวนนี้เป็นการใช้ของแมคโดนัลด์ประมาณ 5%

จาก C + EN, November, 1990

ผู้ร้ายในทางพันธุกรรม ! ?

นักวิศวพันธุกรรมที่โรงพยาบาลเซนต์บาร์โทโลเมียว แห่งกรุงลอนดอนได้ถูกจับในฐานที่ทำการทดลองเกี่ยวกับแบคทีเรีย (bacteria) อย่างผิดกฎหมาย

เป็นครั้งแรกในประเทศบริเทนที่นักวิทยาศาสตร์ถูกกล่าวหาว่าทำผิดกฎ ตั้งแต่หน่วย Health and Safety Executive ได้ตั้งกฎควบคุมกรรมวิธีการทดลองที่เกี่ยวข้องกับพันธุกรรมเมื่อปีที่แล้ว (1989)

จอห์น เบอริงเยอร์ ประธานคณะกรรมการชุดใหม่ซึ่งจะเป็นผู้ดูแลความปลอดภัยเกี่ยวกับการศึกษาทางพันธุวิศวกรรมของพวก organisms กล่าวว่า เขาดีใจที่ HSE ได้ดำเนินการในกรณีนี้ "ยังมีนักวิทยาศาสตร์อีกมากที่ไม่สนใจเกี่ยวกับกฎนี้ ทั้งนี้โดยที่พวกเขาคิดว่างานของเขาไม่มีความสำคัญพอที่จะต้องวิตกกังวล แต่ก็ไม่ใช่ข้อแก้ตัวที่ดีพอ"

นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้ทำงานในห้องทดลองเกี่ยวกับระบบกระเพาะลำไส้และโรคเบาหวาน แต่เขาลืมยื่นเรื่องราวขอทำการทดลองล่วงหน้าเป็นเวลา 30 วันก่อนทำการทดลอง และยังไม่กำหนดปริมาณการเสี่ยงในการทำงานให้อยู่ในขอบข่ายที่ HSE รับรอง

อย่างไรก็ตามประธานได้กล่าวว่า งานนี้เกี่ยวข้องกับการนำวัตถุทางพันธุกรรมจาก parasite ในช่องท้อง ซึ่งมีชื่อว่า Giardia lamblia ไปใส่ในแบคทีเรีย Escherichia coli ซึ่งก็ยังถือว่ามีการเสี่ยงต่ำ

นักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิศวพันธุกรรมในบ้านเราโปรดระมัดระวังกันให้ดี.....ไม่ทราบว่าในเมืองไทยมีหน่วยงานที่ควบคุม เช่นเดียวกับประเทศเขาหรือเปล่า?

New Scientist, July 1990

ยารักษาเยื่อบุหลอดลมอักเสบอาจช่วยผู้ป่วยโรคเอดส์ได้ ?

กลุ่มนักวิจัยในสหรัฐอเมริกา กำลังทำการทดลองอย่างคร่ำเคร่ง โดยเชื่อว่ายารักษาหลอดลมที่มีชื่อว่า N-acetyl cysteine (NAC) สามารถทำงานร่วมกับยารักษาโรคเอดส์ zidovudine เพื่อหยุดยั้งการเพิ่มจำนวนของ HIV ได้ ปกติยา zidovudine (เดิมรู้จักในชื่อ AZT) มีผลข้างเคียงต่อผู้ป่วยมากซึ่งนักวิจัยแนะนำว่าถ้าหากใช้ร่วมกับ NAC โดยใช้ยา zidovudine ให้น้อยลงจะทำให้ผลข้างเคียงลดลง

ลีโอนาร์ดและเพื่อนร่วมงานแห่งโรงเรียนแพทย์ของมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด แคลิฟอร์เนีย ได้ตีพิมพ์ผลการทดลองของเขาใน Proceeding of the National Academy of Science และเนื่องจากยารักษาหลอดลมค่อนข้างปลอดภัย ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงกำลังพิจารณาที่จะให้ทำการทดลองใช้กับโรคเอดส์ในไม่ช้า

แพทย์ได้ค้นพบว่าในคนไข้ที่ติดเชื้อ HIV จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา 2 อย่าง ผู้ป่วยเหล่านี้จะมีระดับโปรตีนชื่อ glutathione ในเลือดต่ำลง ขณะที่ระดับโปรตีนตัวอื่นคือ tumour necrosis factor alpha (TNF∝) เพิ่มขึ้น

ซึ่งการที่ระดับ glutathione เริ่มต้นต่ำลงในผู้ป่วยที่มีเชื้อ HIV บวก แต่ยังคงแข็งแรงอยู่ นักวิทยาศาสตร์เองก็ไม่ทราบว่า ผลนี้เกี่ยวข้องอย่างไรกับไวรัส แต่พบว่า activity ของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันจะลดลงพร้อม ๆ กับระดับ glutathione ด้วย เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นก่อนระยะของโรคที่ร่างกายเริ่มต้นสูญเสียเซลล์ภูมิคุ้มกันระยะสำคัญที่เรียกว่าเซลล์ CD4 ซึ่งจะถูกจู่โจมโดย HIV ง่ายเป็นพิเศษ

Glutathione เป็นสารประกอบตัวหนึ่งในกลุ่มที่เราเรียกว่า thiols ซึ่งปกติสารเหล่านี้จะปกป้องเซลล์จาก ROIs ซึ่งเป็นสารพิษที่ร่างกายสร้างขึ้น นักวิจัยกล่าวว่า ถ้าระดับ glutathione ต่ำลงเป็นไปได้ที่ ROIs จะทำลายระบบภูมิคุ้มกัน

นักวิทยาศาสตร์อีกกลุ่มหนึ่งยังทดลองพบว่า ROIs สามารถเพิ่มอัตราการเพิ่มจำนวนของ HIV เช่นเดียวกับโปรตีนตัวที่ 2 คือ TNF∝ จะเพิ่มจำนวนของ ROIs ที่ถูกปล่อยออกมาในเซลล์ และเนื่องจาก NAC เป็น thiols ทีมนักวิจัยจากสแตนฟอร์ดจึงให้เหตุผลว่า สามารถกำจัด ROIs ในเซลล์ที่ติดเชื้อ HIV ได้

จากการทดสอบทฤษฎีดังกล่าวพบว่า ถ้าผสม NAC กับ zidovudine ผลการรักษาจะเป็น

ผลร่วมกัน ปริมาณ zidovudine ที่ลดลงนี้สามารถให้ผลการรักษาพอ ๆ กับการใช้โดสปกติ

NAC ที่ใช้รักษาหลอดลมนี้เรียกว่า Fluimucil ซึ่งให้ผลโดยทำให้เมือกเหนียวที่คั่งอยู่อ่อนตัวหลุดออก ถ้า FDA อนุมัติยอมรับผลการทดลองนี้ บริษัทอิตาลีที่ผลิต Fluimucil ออกสู่ตลาด จะจดลิขสิทธิ์ในการใช้ยานี้กับผู้ป่วยโรคเอดส์ ขณะนี้กำลังมีผู้ป่วยอาสาสมัครทดลองอยู่ 7 รายใน ฟลอริดา และจะทราบผลภายใน 1 ปี

หาก NAC นี้ใช้ได้ผลจริงละก็....เจ้าโรคร้ายที่กำลังอาละวาดจนผู้คนหวาดผวาอยู่ในขณะนี้ก็คงจะกลายเป็นเสมือนไข้หวัดธรรมดา ๆ นี่เอง..... และเมื่อนั้นวิญญาณของคุณร็อค ฮัดสัน เธอก็คงจะคร่ำครวญว่า ทำไม ทำไม จึงไม่มีใครค้นพบผลของเจ้า NAC ตัวนี้มาเสียตั้งนานแล้ว .....เฮ้อ

New Scientist, June 1990

ผู้มีปัญญาย่อมเคารพต่อเหตุผลอันถูกต้อง โดยไม่ยึดถือเอาตัวตนเป็นหลัก....."

"Zen flesh, Zen bone"

ว.วิทย: มข. 18(4) : 180–181 (2533)

แฟ้มวิทยาศาสตร์

โดย... เอกภพ

ฟองเบียร์และเมฆเบียร์

ทุกคนรู้จักเบียร์และหลาย ๆ คนก็เคยดื่มเบียร์ นอกจากนี้เรายังรู้อีกว่าเบียร์ทำได้จาก ฮอปส์ (hops), ข้าวบาร์เลย์ (barley), ข้าวฟ่าง (millet หรือ sorghum), ข้าว (rice) และแม้กระทั่งจากการหมักขนมปังที่ทำจากข้าวไรย์ (rye bread) ในอังกฤษเรียกเบียร์ว่า ale ส่วนรัสเซียเรียก Kvass ในประเทศจีนเรียก samshu และในเกาหลีเรียก suk เวลาเสริฟ ก็แล้วแต่ขนบธรรมเนียมและรสนิยมของผู้ดื่ม คือจะเสริฟแบบมีฟองขาวนวล หรือไม่มีก็ตามใจ จะดื่มอุ่น ๆ หรือเย็นเจี๊ยบก็ได้ สีสรรค์นั้นมีตั้งแต่ใสไล่เรื่อยไปจนถึงน้ำตาลหรือเจือสีทองเมื่อฝาขวดของเบียร์ที่แช่ไว้เย็นเจี๊ยบ (ไม่ถึงกับต้องเป็นวุ้น) ถูกเปิด เราจะสังเกตเห็นหมอกควันสีขาวลอยอ้อยอิ่งที่ปากขวด พร้อมทั้งยังมีฟองเม็ดเล็ก ๆ ผุดขึ้นมาจากก้นขวด นักดื่มส่วนใหญ่ไม่สนใจหรอกว่าอะไรจะเกิดขึ้น ขอให้รสชาดถูกปากเป็นพอ แต่นักวิทยาศาสตร์นี่สิเขาจะต้องสรรค์หาคำอธิบายในสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นซะทุกเรื่องไป เรามาลองฟังคำอธิบายของ Craig Bohren นักฟิสิกส์แห่ง Penn State University สักหน่อยเป็นไร

Bohren บอกว่าภายในน้ำสีเหลืองอมทองนี้ มีโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อิสระซึ่งเกิดขึ้นระหว่างขบวนการหมักละลายอยู่เป็นจำนวนมาก เบียร์ที่ถูกเก็บไว้ในภาชนะเปิด โมเลกุลของ CO_2 จะสามารถผุดขึ้นมาที่ผิวแล้วระเหยออกสู่บรรยากาศได้ แต่ถ้าเก็บเบียร์ไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เช่นในขวด และในกระป๋อง โมเลกุลของ CO_2 จะไม่สามารถเล็ดลอดออกมาได้เลย แต่จะสะสมและรวมกันอยู่ในที่ว่าง ภายใต้ฝาปิดนั่นเอง โดยมีความดันประมาณ 30 ถึง 45 ปอนด์/ตารางนิ้ว สูงกว่าความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลถึงสองหรือสามเท่า โมเลกุลของ CO_2 สามารถละลายกลับลงไปในเบียร์ได้ด้วยนะ เมื่อฝาขวดถูกเปิดสภาวะที่กล่าวมาในข้างต้น จะเสียสมดุลย์ไปอย่างรวดเร็ว โมเลกุลของ CO_2 ที่อยู่ใต้ฝาจะพุ่งดันอย่างแรงออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิที่คอขวดลดลงอย่างรวดเร็ว โดยกฎง่าย ๆ ทางฟิสิกส์อธิบายได้ว่า เมื่อแก๊สขยายตัวโมเลกุลของแก๊สกำลังทำงาน นั่นหมายความว่าจะต้องมีการนำเอาพลังงานจากที่ใดที่หนึ่งมาใช้ ซึ่งก็คือพลังงานจลน์ของ CO_2 ที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั่นเอง ยิ่งพลังงานจลน์ถูกดึงมาใช้มากเท่าไร อุณหภูมิของแก๊สก็จะยิ่งลดลงมากเท่านั้น นั่นคือเย็นลง สำหรับเบียร์แช่เย็นที่ 41°F นั้น อุณหภูมิที่คอขวด อาจลดลงถึง 31°F ต่ำกว่าศูนย์ เหตุการณ์เช่นนี้ เกิดขึ้นภายในเวลาเสี้ยววินาทีเท่านั้น แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ไอน้ำที่อยู่บริเวณคอขวด ควบแน่นเป็นละอองไอเล็ก ๆ ที่เรามองเห็นเป็นกลุ่มหมอกควันขาว ม้วนตัวลอยขึ้นมาที่ปากขวดนั่นเอง นี่แหละที่เรียกว่า **เมฆเบียร์** (Beer cloud)

ลึกลงไปในขวดยังมีสิ่งที่น่าสนใจอีกนะ นั่นก็คือฟองเล็ก ๆ ที่ผุดลอยขึ้นมา "เป็นความประทับใจอย่างหนึ่งจริงไหม?" แต่ว่าฟองเหล่านี้มันเกิดขึ้นมาได้อย่างไร คราวนี้ Bohren บอกว่า ก่อนที่ขวดจะถูกเปิดนั้นจะไม่มีฟองเหล่านี้ให้เห็น เนื่องจากความดันภายในขวดสูงจนไม่สามารถทำให้ CO_2 ซึ่งละลายอยู่ในเบียร์ ขยายตัวและรวมกันเป็นฟองให้เห็น ต่อเมื่อขวดถูกเปิด จนความดันที่คอขวดลดลงเท่ากับความดันของบรรยากาศนอกขวด แก๊ส CO_2 ก็จะขยายตัวได้ฟอง ที่ยักย้ายส่ายระบำและลอยขึ้นมานี้ ไม่ได้เกิดจากแก๊ส CO_2 เพียงโมเลกุลเดียว แต่เกิดจากที่มี CO_2 หลาย ๆ โมเลกุลไปรวมกันกับ CO_2 ที่ยังมองไม่เห็นเม็ดเริ่มต้น (invisible protobubbles) ณ ตำแหน่งที่เรียกว่า nucleation sites ซึ่งก็คือ บริเวณที่เป็นรอยแยกหรือแตกเล็ก ๆ หรือบริเวณที่เป็นคม ฟองที่ก่อตัวขึ้นนี้จะค่อย ๆ โตขึ้นโตขึ้น เมื่อมันลอยสูงมากขึ้นเพราะรวมเอา CO_2 เพิ่มมากขึ้น และยิ่งฟอง CO_2 เม็ดโตเท่าไหร่ก็จะยิ่งมีแรงลอยตัวเพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ก็คือมันเคลื่อนที่เร็วขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าทำไมขนาดของฟองที่ลอยไต่ระดับสูงขึ้น จึงมีขนาดไม่สม่ำเสมอ พวกที่อยู่ข้างล่างจะมีขนาดเล็กและอยู่ชิดกัน ส่วนพวกที่อยู่ข้างบนมีขนาดใหญ่และอยู่ห่างกัน

หลายคนคงเคยเล่นสนุก ๆ กับการทำให้เกิดฟองมากขึ้น โดยการเติมสิ่งเจือปน เช่น เกลือ และไม่ว่าจะเป็นเม็ดทราย, พริกไทย หรือผงอะไรก็ได้ ลงไป การที่ฟองมากขึ้นนี้ก็เพราะสิ่งที่เราเติมลงไป ไปเพิ่ม nucleation sites ให้มีมากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ฟองที่เกิดขึ้นมีผลต่อรสชาดด้วยนะ คุณว่าจริงไหม? อะไรเอ่ยที่ทำให้ฟองคงสภาพอยู่ได้นาน ๆ Bohren เล่าไว้อย่างนี้ ฟองที่เกิดจากการกระฉอกของน้ำบริสุทธิ์ที่ไหลในลำธาร จะคงสภาพไม่นาน เพราะน้ำบริสุทธิ์ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ถ้าเราย้ายกันไปทะเล จะสังเกตเห็นระลอกคลื่นพริ้วม้วนตัวเข้าสู่ฝั่ง พร้อมฟองสีขาวที่ก่อตัวอยู่บนผิว ซึ่งคงสภาพอยู่ได้นานกว่า อันเนื่องมาจากมีสิ่งเจือปนอยู่มาก ตั้งแต่เกลือไปจนถึงสารอินทรีย์ต่าง ๆ สิ่งเจือปนเหล่านี้นั่นเอง ที่เป็นตัวช่วยเสริมให้ผนังของฟองมีความแข็งแรงป้องกันให้แก๊สรั่วไหลออกไปได้ช้าลง ในกรณีของเบียร์ทางโรงงานผู้ผลิตก็จะทำให้ฟองคงสภาพอยู่ได้นาน โดยการเติมสารจำพวกโปรตีนลงไปให้เข้มข้นมากขึ้น

คราวนี้แหละที่คุณจะรู้สึกว่าไม่เสียดายเงินที่จ่ายไปสำหรับเบียร์หนึ่งขวด

เรียบเรียงจาก "Every time you drink a beer, you're chugging a mug of science" โดย William Sones วารสาร Discover ฉบับประจำเดือน สิงหาคม ค.ศ.1989 หน้า 56-60.

Truth is the law of our being.

'Gandhi'

ว.วิทย. มข. 18(4) : 182-186 (2533)

การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ

DNA Fingerprinting

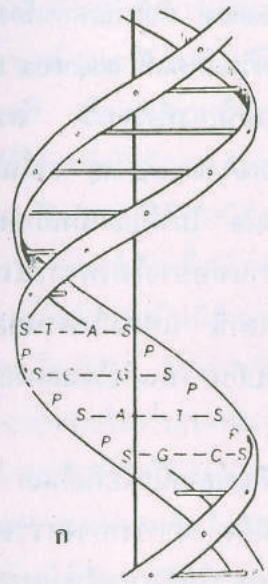
*กรกช อินทราพิเชฐ**

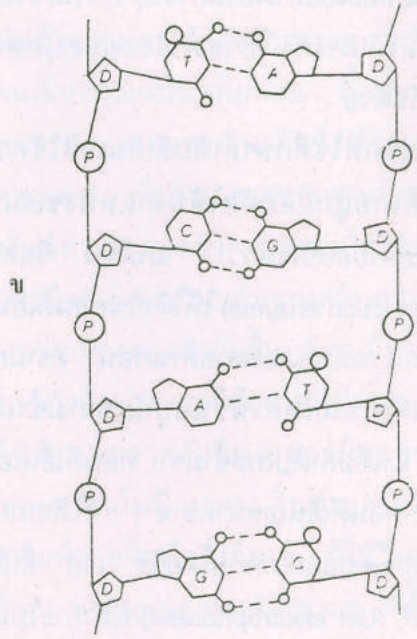
การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอเป็นงานวิจัยที่พึ่งค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1984 ในปัจจุบันการวิจัยนี้ยังไม่เป็นข่าวกันแพร่หลายมากนัก แต่เป็นแรงผลักดันอย่างสูงของเทคโนโลยีวินิจฉัยดีเอ็นเอ (DNA diagnostic technology) ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอมิได้บอกลักษณะทางกรรมพันธุ์ แต่ชี้บ่งความเฉพาะตัวของแต่ละบุคคล

ในประวัติของวิทยาศาสตร์เมื่อไม่นานมานี้ ยังไม่มีเทคโนโลยีใหม่อันใดที่ได้รับความสนใจและมีแรงผลักดันมากเท่ากับเทคโนโลยีการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ (DNA Fingerprinting) ซึ่งค้นพบในปี ค.ศ.1984 โดยศาสตราจารย์ Alec Jeffreys แห่ง Leicester University ประเทศอังกฤษ และได้รับการพัฒนามาเพียง 3 ปีเท่านั้นก็ได้ถูกใช้เป็นเทคโนโลยีวินิจฉัย (Diagnostic technology) โดย Cellmark Diagnostics แห่ง International Scientific Services ประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1987 เทคโนโลยีนี้จึงได้เป็นข่าวในนิตยสารและหนังสือพิมพ์รายวันเกือบทุกสัปดาห์ ในปี ค.ศ. 1989 เทคโนโลยีการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ ได้ถูกวิวัฒนาการเพิ่มเติมโดยรวมเข้ากับการทดสอบใหม่ ๆ ทางพันธุกรรม และประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางรวมทั้งงานนิติเวช (Forensic casework) การโต้แย้งการเป็นบิดามารดา (paternity disputes) การวิเคราะห์หาวงศ์วานของสัตว์ (Animal pedigree analysis) การรับรองเซลล์สายพันธุ์ (cell line authentication) การบอกแฝดแท้ (Twin zygosity determination) และอื่น ๆ อีก ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอจึงเป็นเลิศในการบ่งชี้ (Identification) หรือบอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างทางชีววิทยา เช่น คนหรือสัตว์

เป็นที่ประจักษ์ชัดแล้วว่าคนเราแต่ละคนมีลักษณะทางพันธุกรรมเฉพาะตัว เช่น สีตา สีผม รูปร่าง หน้าตา เป็นต้น ลักษณะทางกายภาพเหล่านี้เป็นเพียงส่วนผิวเผินของแต่ละคน สิ่งที่บอกความเฉพาะแต่ละคนที่แท้จริง คือ ดีเอ็นเอ (DNA-Deoxyribonucleic acid) ซึ่งเปรียบเสมือนโมเลกุลพิมพ์เขียวชีวภาพ (Biological blueprint molecule) ที่พบมีในทุกเซลล์ของร่างกาย ดีเอ็นเอเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนมากประกอบขึ้นด้วยสารเคมีชีวภาพที่เรียกว่านิวคลีโอไทด์ หลายพันล้านโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาวคล้ายเส้นเชือก นิวคลีโอไทด์เหล่านี้ยังมีส่วนประกอบแยกย่อย

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น





D = deoxyribose A = adenine
P = phosphate C = cytosine
T = thymine G = guanine

รูปที่ 1 แสดงสายนิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอในลักษณะ (ก) เส้นดีเอ็นเอเกลียวคู่ (ข) แสดงการจับกันของสารประกอบน้ำตาลดีอ็อกซีไรโบส กรดฟอสฟอริค และเบส ทั้ง 4 ชนิดของดีเอ็นเอ

ออกไปดังแสดงในรูปที่ 1 ได้เป็นสารประกอบ 3 อย่างคือ 1) เบสไนโตรเจน (Nitrogenous base) 2 กลุ่มที่เรียงลำดับต่าง ๆ กัน คือ Pyrimidine (ได้แก่ Cytosine และ Thymine) และ Purine (ได้แก่ Adenine และ Guanine) 2) น้ำตาล ดีอ็อกซีไรโบส (Deoxyribose) และ 3) กรดฟอสฟอริค (Phosphoric acid) ดีเอ็นเอจะถอดรหัสในรูปของเบสให้เป็นโปรแกรมชีวภาพให้รายละเอียดลักษณะเฉพาะของแต่ละคน ส่วนของเบสที่ถอดรหัสให้เกิดโครงสร้างและกิจกรรมของคนเรานั้นเรียกว่า ยีน (Gene) ยังมีส่วนของดีเอ็นเอที่มีบทบาทสำคัญน้อยมากและทำหน้าที่แยกยีนของแต่ละยีนออกจากกัน ดีเอ็นเอเหล่านี้ได้เกิดขึ้นและผ่านการวิวัฒนาการมาแล้วในคนเรา เพราะพบมีเป็นจำนวนมาก กลุ่มดีเอ็นเอนี้นี่เองที่ ศาสตราจารย์ Jeffreys ได้ค้นพบลำดับเบส (Base sequences) ที่บ่งชี้ถึงความเฉพาะของแต่ละบุคคล และเรียกการตรวจเพื่อหาเบสเหล่านี้ว่า การตรวจลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอ (DNA fingerprint test)

ในระหว่างที่กำลังศึกษายีนไมโอโกลบิน (Myoglobin gene) ของคน ศาสตราจารย์ Jeffreys ได้พบว่า ลำดับเบส ที่ใกล้กับยีนเป็นลำดับที่มีการซ้ำเบสเดิม เมื่อแยกลำดับดีเอ็นเอเหล่านี้ และนำมาใช้เป็นตัวตรวจหา (Probe) เพื่อหาลำดับเบสซ้ำที่เหมือนกันจากลำดับดีเอ็นเอที่อื่น ๆ ในคน พบว่าลำดับดีเอ็นเอที่เหมือนกัน หรือที่ใกล้เคียงกันปรากฏมีกว่าร้อย ๆ ตำแหน่งตามความยาวของโมเลกุลดีเอ็นเอ ยิ่งกว่านั้นดีเอ็นเอ (ที่มีเบสซ้ำ

กัน) ในแต่ละตำแหน่งยังมีการขยายความซ้ำซ้อนของเบสแตกต่างกันไประหว่างแต่ละบุคคลที่แตกต่างกันด้วย

เทคนิคที่ใช้ศึกษาลำดับดีเอ็นเอก็ใช้ความจริงที่ดีเอ็นเอถูกย่อยตัดได้ที่ตำแหน่งของเบสเฉพาะด้วยน้ำย่อยที่เรียกว่า "เอนไซม์ รีสตริคชั่น" (Restriction enzyme) ให้ได้เป็นท่อนดีเอ็นเอสั้นๆ จำนวนมากมายหลายล้านท่อน ความยาวของท่อนดีเอ็นเอเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความซ้ำเดิมของเบส นั่นคือลำดับเบสซ้ำมาก ท่อนดีเอ็นเอยิ่งยาวมาก ท่อนดีเอ็นเอขนาดต่างๆ ที่ได้จากการย่อยนี้จะถูกแยกออกจากกันโดยวิธี เจล อิเล็กโทรโฟรีซิส (Gel electrophoresis) แล้วถ่ายไปเก็บไว้บนเยื่อไนล่อน (Nylon membrane) จากนั้นท่อนดีเอ็นเอที่มีลำดับซ้ำนี้จะถูกตรวจหาโดยให้จับคู่กับตัวตรวจหาที่เรียกว่า โพรบ (Probe) โพรบนี้ก็คือท่อนดีเอ็นเอที่มีลำดับซ้ำดังกล่าวข้างต้นแต่ติดฉลากด้วยสารรังสีหรือที่เรียกว่า โพรบรังสี (Radioactive probe) โพรบจะจับเข้าคู่กับดีเอ็นเอที่มีลำดับเข้าคู่กันได้ (Complementary DNA sequence) ที่อยู่ในท่อนดีเอ็นเอที่เก็บไว้บนเยื่อไนล่อนนั่นเอง แล้วก็ตรวจหาโพรบรังสีนั้นต่อไปอีก โดยวิธีถ่ายภาพรังสีอัตโนมัต (Autoradiography) ด้วยการวางแผ่นฟิล์ม X-ray บนเยื่อไนล่อนที่มีโพรบรังสี ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้โพรบรังสีฉายแสงบนแผ่นฟิล์ม แล้วล้างแผ่นฟิล์มนั้นก็จะสามารถบ่งชี้ดีเอ็นเอที่ต้องการศึกษาได้จากแถบ (Band) สีดำที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มนั่นเอง แต่ละแถบจะแสดงถึงตำแหน่งของโพรบที่จับกับดีเอ็นเอ ที่มีลำดับซ้ำ ดังนั้นลำดับของแถบบนฟิล์มจะสัมพันธ์โดยตรงกับดีเอ็นเอ ส่วนต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละคน

จากการเปรียบเทียบแถบดีเอ็นเอ ที่มีลำดับซ้ำจากจำนวนกว่าพันคนพบว่าแบบของแถบ (Pattern of bands) ดีเอ็นเอค่อนข้างเฉพาะในแต่ละบุคคล ยกเว้นแฝดแท้ (Identical twins) แบบของแถบดีเอ็นเอนี้เองที่เรียกว่า "ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอ" (DNA fingerprint) จะเห็นได้ว่า ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอ ไม่ได้บอกถึงลักษณะหรือบุคคลิกของคนเราแต่อย่างใดเพราะแถบดีเอ็นเอที่มีลำดับซ้ำเหล่านี้ แสดงถึงส่วนของดีเอ็นเอที่ไม่เกี่ยวข้องกับยีน นั่นคือไม่แสดงออกทางลักษณะกรรมพันธุ์

การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ ได้รับการสนองตอบอย่างดียิ่งทั้งจากวงการตำรวจและสาธรณชน เพราะเป็นการให้ข้อมูลที่หายากและใช้เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนสำหรับการวิเคราะห์ในขอบเขตที่เทคโนโลยีที่ใช้อยู่เดิมให้ไม่ได้ ปัจจุบัน Cellmark Diagnostics ได้ทำการวิเคราะห์หลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอไปแล้วกว่า 20,000 ตัวอย่าง ทางงานนิติเวช การโต้แย้งการเป็นบิดามารดาและความสัมพันธ์ของครอบครัว

กุญแจสู่การประยุกต์ใช้ของการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอสำหรับงานนิติเวช ก็คือดีเอ็นเอในเนื้อเยื่อและหรือเซลล์ทุกชนิดของแต่ละคนเหมือนกันหมด เช่น สามารถบ่งชี้ผู้ต้องสงสัยทำการข่มขืนได้โดยเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอที่ได้จากเชื้ออสุจิที่เก็บได้ ณ ที่เกิดเหตุกับที่ได้จากตัวอย่างเลือดของผู้ต้องสงสัยที่อยู่ในความควบคุมของตำรวจ โอกาสที่ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอจาก 2 ตัวอย่างจะเหมือนกันนั้นน้อยมาก นอกจากจะเป็นตัวอย่างจากคนคนเดียวกัน ดังนั้นการบ่งชี้ผู้ต้องสงสัยที่กระทำผิดด้วยวิธีนี้จึงชัดเจนมาก ยิ่งกว่านั้นดีเอ็นเอยังเป็นโมเลกุลชีวเคมีที่คงทน สามารถคงอยู่กับเนื้อเยื่อ

ได้ แม้ว่าเนื้อเยื่อนั้นจะถูกย้อม ทำให้แห้ง หรือฝังไว้ในแท่งขี้ผึ้ง (Paraffin block) หลายปี ทำให้การสืบสวนของตำรวจโดยการใช้ลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอสามารถย้อนกลับไปยังคดีในอดีตที่ผ่านมาแล้วหลายปี เพื่อหาผู้กระทำผิดจริงแยกออกจากผู้บริสุทธิ์ได้ จึงไม่ต้องสงสัยว่าการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอเป็นการปฏิวัติทางนิติเวช

หัวใจของการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอที่ประยุกต์ใช้กับการโต้แย้งการเป็นบิดามารดา (โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นบิดา) และการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของบุคคลในครอบครัว ก็อยู่บนความจริงที่ว่าแต่ละบุคคลได้รับการถ่ายทอดดีเอ็นเอจากพ่อและพ่อคนละครึ่ง แถบลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอก็จะได้รับการถ่ายทอดมาโดยวิธีเดียวกัน ดังปรากฏว่าลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอที่สุ่มตัวอย่างพร้อมกันจากหลายส่วนของคนเราแสดงถึงข้อมูลที่สัมพันธ์กันอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอของเด็กกับของพ่อแม่ จึงเป็นไปได้ที่จะชี้บ่งว่าแบบของแถบดีเอ็นเอนั้น กำเนิดและถ่ายทอดมาจากบิดาของเด็ก เพราะบิดาที่แท้จริงเท่านั้นที่จะมีแบบพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอที่เข้ากันกับของเด็กนั้นได้ โดยเฉลี่ยในเด็กจะมีอย่างน้อย 10 แถบที่ไม่เข้าคู่กับของบิดา ซึ่งก็น้อยกว่า 1 ในล้าน ปัจจุบันประเทศอังกฤษได้ยอมรับการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอในการแก้ปัญหานี้ (เดิมใช้การวิเคราะห์หาโปรตีนในเลือด) Cellmark Diagnostics ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการให้เป็น "Registered Blood Tester" จาก Home Office ประเทศอังกฤษทำการตรวจดีเอ็นเอตามคำสั่งศาลในกรณีเช่นนี้

ในด้านวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของคนในครอบครัวนั้น ก็ได้รับการยินยอมจากรัฐบาลอังกฤษ ดังในกรณีที่เกี่ยวกับการอพยพเข้าประเทศเพราะลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอ สามารถบอกความสัมพันธ์ของบุคคลได้แม่นยำกว่าเอกสารที่อนุญาตให้คนเข้าประเทศในสมัยก่อน ผู้อพยพจำนวนมากจากประเทศแถบอินเดียซึ่งเดิมถูกปฏิเสธเข้าประเทศ เนื่องจากขาดหลักฐานยืนยันความสัมพันธ์ทางครอบครัว ปัจจุบันได้ใช้การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอเป็นหลักฐานสนับสนุน ทำให้เกิดการรวมครอบครัวกันขึ้น มิเช่นนั้นแล้วคนในครอบครัวก็จะถูกแยกกันอย่างถาวร Hone Office ได้ให้มีการตรวจดีเอ็นเอของผู้ขออพยพเข้าประเทศก่อนในปี 1990 ในทำนองคล้ายกันนี้ การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ ก็ใช้วิเคราะห์หาวงศ์วาน (Pedigree) ของสัตว์ต่าง ๆ ได้ด้วย เช่น มนุษย์ หนูชนิดต่าง ๆ และสัตว์อื่น ๆ

ในห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอก็มีบทบาทสำคัญในการรับประกันเซลล์สายพันธุ์ของเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยงว่าเป็นเซลล์สายพันธุ์จริงหรือไม่ และใช้ตรวจหาการปะปนข้ามสายพันธุ์ (Cross-contamination) นอกจากนี้ยังใช้บอกส่วนประกอบของเซลล์ลูกผสมที่มีการสูญเสียโครโมโซม (Chromosome คือเส้นดีเอ็นเอที่ขดรวมเข้ากับโปรตีนเฉพาะเป็นแท่งหนา) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงอันยาวนาน การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอยังมีบทบาทสำคัญในการตรวจหาวิวัฒนาการของเซลล์สายพันธุ์ปกติและใช้แก้ปัญหาข้อขัดแย้ง เกี่ยวกับเซลล์สายพันธุ์ที่มีสิทธิบัตรปกป้อง (Patent-protected cell lines)

ในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ เป็นประโยชน์มากในการตรวจหาความผิดปกติจากการถ่ายไขกระดูกภายหลังการฉายรังสีทั่วร่างกายเพื่อทำลายมะเร็งเม็ดเลือดขาว เนื่องจากเซลล์ไขกระดูกและเม็ดเลือดของผู้ให้มีลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอที่ต่างกันกับของผู้

รับ ถ้ามีลายพิมพ์นิ้วมือดีเอ็นเอของผู้รับเริ่มปรากฏให้เห็น แสดงว่าเซลล์มะเร็งยังมีชีวิตรอดอยู่ แพทย์ก็จะได้รีบรักษาแก้ไขแต่เนิ่น ๆ การตรวจหาความผิดปกติทางพันธุกรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับครอบครัวที่มีบุตรผิดปกติ ถ้าความผิดปกตินั้นไม่ได้มาจากบิดามารดา การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอจะให้หลักฐานที่แน่นอน นอกจากนี้การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอยังใช้เป็นเครื่องบ่งชี้และยืนยันการเป็นแฝดแท้ได้ เพราะแฝดแท้ต้องมีกรรมพันธุ์เหมือนกันทุกประการ เนื่องจากเกิดจากไข่ใบเดียวกัน เมื่อเร็ว ๆ นี้การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการใช้ตรวจหาความสัมพันธ์ของผู้บริจาคอวัยวะ

ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ทางงานนิติเวชที่ท้าทายมากก็คือ ความไว (sensitivity) ของเทคนิคการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอซึ่งสามารถเตรียมได้จากดีเอ็นเอประมาณ 1 ไมโครกรัม (10^{-6} กรัม) แต่ในการสืบสวนของตำรวจหลายครั้งที่พบหลักฐานเพียงจุดเลือดเล็ก ๆ หรือเส้นขนเพียง 2-3 เส้น ซึ่งจะให้ดีเอ็นเอเพียงในระดับ นาโนกรัม (10^{-9} กรัม) ศาสตราจารย์ Jeffreys ได้พัฒนาเทคนิคการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอจากวิธีแรกที่เรียกว่า "Multi-locus Probes" ซึ่งตรวจหาดีเอ็นเอลำดับซ้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาเป็นวิธีที่สองที่เรียกว่า "Single-locus Probes" ที่มีความไวในการตรวจสูงมากกว่า การวิเคราะห์แบบ Single-locus Probes เป็นการวิเคราะห์หาลำดับดีเอ็นเอที่ตำแหน่งที่มีการแปรเปลี่ยนสูงเพียงตำแหน่งเดียว (one hypervariable location) ซึ่งจะได้แบบของแถบดีเอ็นเอเพียง 2 แถบต่อบุคคล การตรวจแบบนี้ให้รายละเอียดน้อยเมื่อเทียบกับการบ่งชี้แต่ละบุคคล เพราะเป็นการวิเคราะห์หาเพียงส่วนเดียวของดีเอ็นเอ แต่เมื่อใช้ Single-locus Probes หลาย ๆ อันมาลำดับเข้าด้วยกันเป็นชุดก็จะได้การบ่งชี้ที่ค่อนข้างเฉพาะมาก Single-locus Probes จึงมีความสำคัญมากในงานนิติเวช เพราะตัวอย่างเพียงเล็กน้อยที่เก็บได้จากที่เกิดอาชญากรรมก็สามารถทำได้

ปัจจุบัน Cellmark Diagnostics ได้ขยายเทคโนโลยีการพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอในเชิงธุรกิจออกไปทั่วโลก ในหลายประเทศกำลังมีการเจรจาตกลงเกี่ยวกับใบอนุญาตย่อย (Sub-licencing agreements) เพื่อจัดตั้งห้องปฏิบัติการเอกชนและห้องปฏิบัติการนิติเวชที่สามารถให้ผลประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้แก่ประเทศของตน จึงเป็นที่คาดได้ว่าจะมีการใช้เทคโนโลยีนี้ทั่วไปในอนาคตอันใกล้นี้ Single-locus Probes เป็นการพัฒนาการหลักอันแรกของเทคโนโลยีนี้ เป็นที่คาดหมายว่าจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ต่อไปอีกในไม่ช้านี้อย่างรวดเร็ว และแปลก ๆ ออกไป

Multi-locus Probes 33.6 และ 33.15 ได้สิทธิบัตรหมายเลข Patent No GBA 2166445 และสิทธิบัตรระหว่างคอย (pending) อีกทั่วโลกสำหรับการใช้วิเคราะห์เชิงพาณิชย์ ส่วน Single-locus Probes อยู่ในระหว่างคอยสิทธิบัตรเพื่อการวิเคราะห์ในเชิงพาณิชย์ทั่วโลกเช่นกัน

บรรณานุกรม

Debenham, P.G. DNA: Proof Positive. In Laboratory and Analysis Technology International. Cornhill Publications Limited. 1990. 71-77.

Lehninger, A.L. Princioles of Biochemistry. Worth Publishers, Inc>, New York, pp 1011, 1982, 796-800.

ว.วิทย. มข. 18(4) : 187–195 (2533)

ความก้าวหน้าของสภาพตัวนำยิ่งยวด

*อุดม ทิพราช**

1. บทนำ

สภาพตัวนำยิ่งยวด (Superconductivity) ค้นพบครั้งแรกในปี 1911 โดยออนเนส (H.K. Onnes) เป็นสถานะทางฟิสิกส์ของสารที่ขึ้นกับอุณหภูมิวิกฤต พบในโลหะบริสุทธิ์ โลหะผสม (Alloys) และสารประกอบ สามารถนำไฟฟ้ากระแสตรงโดยปราศจากความต้านทานและผลักสนามแม่เหล็ก สารที่อยู่ในสภาพนี้เราเรียกว่า ตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ในยุคแรก (ก่อนปี 1986) นักวิทยาศาสตร์เข้าใจว่าสภาพตัวนำยิ่งยวดของสารเป็นปรากฏการณ์ที่เกิด ณ อุณหภูมิต่ำ

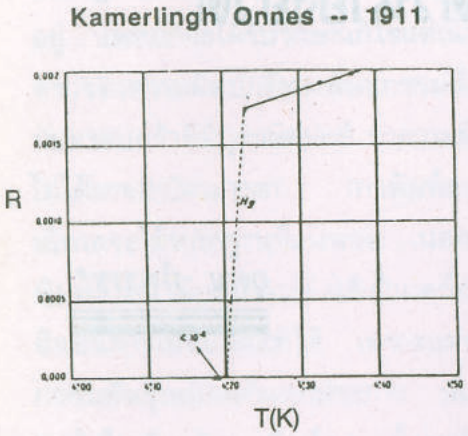
ในปี 1986 มูลเลอร์ และเบดนอร์ซ (K.A. Muller and J.G. Bednorz) ได้ค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวด ในสารประกอบเซรามิกออกไซด์ ที่อุณหภูมิวิกฤตประมาณ 30 เคลวิน เรียกว่า สภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง (High-T_c Superconductivity) นับเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่อันหนึ่งในวงการวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้ค้นพบได้รับรางวัลโนเบลภายในเวลาไม่ถึงขวบปี หลังการค้นพบการค้นพบครั้งนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ในสหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต ญี่ปุ่น เยอรมันตะวันตก อังกฤษ และฝรั่งเศส ตื่นตัวและเร่งทำการวิจัยค้นคว้าและประกาศการค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงในปี 1987[1] ปัจจุบันทั่วโลกได้ทำการศึกษาวิจัยจนค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 125 เคลวิน ในสารประกอบ ทาลเลียม-แคลเซียม-แบเรียม-คอปเปอร์ออกไซด์ ($Tl_2 Ca_2 Ba_2 Cu_3 O_{10}$)

ในบทความนี้เราจะได้เสนอความก้าวหน้าของสภาพตัวนำยิ่งยวดเกี่ยวกับสมบัติทั่วไป วัสดุศาสตร์ เทคโนโลยี และทฤษฎี

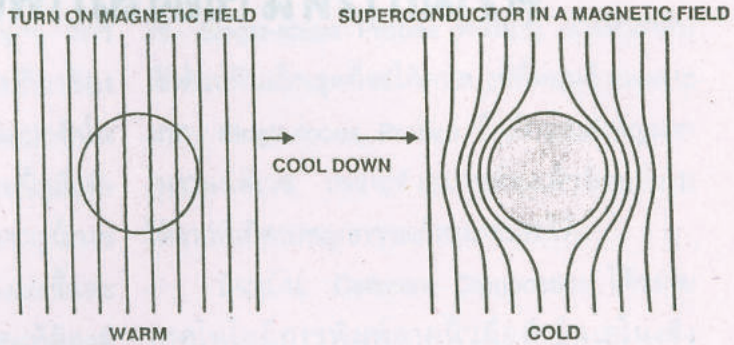
2. สมบัติของตัวนำยิ่งยวด

1. ความต้านทานเป็นศูนย์ เมื่อนำโลหะบริสุทธิ์หรือโลหะผสมบางชนิดมาวัดความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงที่อุณหภูมิต่ำและเมื่อลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่ง ความต้านทานไฟฟ้าของสารลดลงเป็นศูนย์อย่างฉับพลัน เราเรียกอุณหภูมิ

* อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



รูปที่ 1 กราฟนี้ใช้อธิบายการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดที่มีชื่อเสียงมากที่สุดที่ทดลองโดยออนเนส



รูปที่ 2 ปรากฏการณ์ไมสส์เนอร์ในตัวนำยิ่งยวด ฟลักซ์แม่เหล็กถูกผลักออกจากตัวนำยิ่งยวดเมื่ออุณภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต

ณ จุดนี้ว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature; Tc) ดูรูปที่ 1.

2. ผลักสนามแม่เหล็ก เมื่อวางสารตัวนำยิ่งยวดในสนามแม่เหล็กในที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต ตัวนำยิ่งยวดจะผลักฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กภายในเป็นศูนย์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ไมสส์เนอร์ (Meissner effect) ตามหลักฟิสิกส์พื้นฐานแล้วไม่สามารถใช้กฎของเลนซ์ได้ เพราะสนามแม่เหล็กภายนอกไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่อธิบายได้จากสมบัติของสารตัวนำยิ่งยวดที่ว่า ความต้านทานเป็นศูนย์สนามแม่เหล็กภายนอกจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน ในทิศที่สร้างสนามแม่เหล็กต้านกับสนามแม่เหล็กจากภายนอกตลอดเวลา ดังนั้นสารตัวนำยิ่งยวดจึงมีสมบัติเป็นแม่เหล็กไดอาสมบูรณ์แบบ (perfect diamagnets) ดูรูปที่ 2 แต่ถ้าเพิ่มสนามแม่เหล็กภายนอกสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้ตัวนำยิ่งยวดกลายเป็นตัวนำปกติ สนามแม่เหล็กค่านี้เราเรียกว่า สนามแม่เหล็กวิกฤต (critical field; H_c)

ดังนั้นถ้าจะทดสอบว่าสารใดเป็นตัวนำยิ่งยวดจะต้องทดสอบทั้งความต้านทานเป็นศูนย์ ข้อ (1) และการผลักสนามแม่เหล็ก ข้อ (2) นอกจากสมบัติที่ตรวจสอบได้ง่าย ๆ จากข้อ (1) และข้อ (2) แล้ว สภาพตัวนำยิ่งยวดยังมีคุณสมบัติที่สำคัญอื่น ๆ ดังนี้

3. สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ การเปลี่ยนเฟสจากสภาพตัวนำยิ่งยวดไปเป็นตัวนำปกติเป็นการเปลี่ยนเฟสระดับที่สอง (second order phase transitions) กล่าวคือ ความร้อนจำเพาะไม่ต่อเนื่อง และไม่ใช้ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิวิกฤต การที่ความร้อนจำเพาะกระโดดที่อุณหภูมิวิกฤตนี้ แสดงให้เห็นว่ามีช่องว่างในแถบพลังงานแยกกันระหว่างสถานะสภาพตัวนำยิ่งยวดกับสภาพตัวนำปกติ

4. กระแสไหลตลอดเวลาและฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเป็นห้วง ๆ (presistent currents and flux quantization) ถ้านำตัวนำยิ่งยวดรูปร่างวงแหวนวางในสนามแม่เหล็ก ณ อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต จะเกิดกระแสไหลวนในวงแหวนเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ต้านกับสนามแม่เหล็กภายนอกตามที่ทราบมาแล้วในปรากฏการณ์ไมสส์เนอร์ กระแสนี้จะไหลวนอยู่ภายในวงแหวนตัวนำยิ่งยวดนี้ตลอดเวลาแม้ว่าจะเอาสนามแม่เหล็กภายนอกออกไป การทดลองประมาณว่ากระแสจะไหลอยู่เช่นนี้ไม่ต่ำกว่า 100,000 ปี และฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นห่วง ๆ ในหน่วยของ $\varnothing = hc/2e = 2.07 \times 10^{-7}$ gauss cm^2

5. ผลของไอโซโทป (Isotope effect) จากการทดลองพบว่าธาตุชนิดเดียวกันแต่ไอโซโทปต่างกัน อุณหภูมิวิกฤต T_c เป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลอะตอม $M^{-1/2}$ ผลการค้นพบนี้นำไปสู่ทฤษฎีทางควอนตัมที่สำคัญของสภาพตัวนำยิ่งยวด คือ ทฤษฎี บี ซี เอส (BCS theory)

6. การทะลุทะลวง และผลของโจเซฟสัน (Tunneling and the Josephson effect)

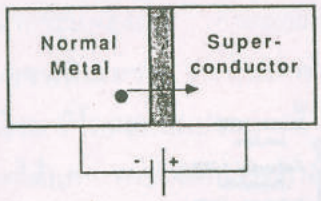
ในปี 1960 เกียเอเวอร์ (Giaever) ค้นพบปรากฏการณ์ทะลุทะลวงของอิเล็กตรอน จากโลหะธรรมดาไปยังตัวนำยิ่งยวด ซึ่งกันระหว่างกลางด้วยฉนวนหนาประมาณ 50 อังสตรอม (50 Å) ดูรูปที่ 3 การค้นพบนี้เป็นการยืนยันว่ามีช่องวางพลังงานในตัวนำยิ่งยวดอยู่จริง และสามารถวัดความหนาแน่นของสถานะ (density of states) ของตัวนำยิ่งยวด

ในปี 1962 โจเซฟสัน (Josephson) ค้นพบว่ามีอิเล็กตรอนทะลุทะลวงแผ่นฉนวน (เช่น SiO) ที่กั้นระหว่างตัวนำยิ่งยวด โดยที่ไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในเซล (ดูรูปที่ 4) และปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นแปรค่าตามสนามแม่เหล็ก และยังพบว่าอิเล็กตรอนทะลุทะลวงเป็นคู่ ๆ เป็นการยืนยันความถูกต้องทฤษฎี บี ซี เอส (BCS theory) ว่าอิเล็กตรอนในสภาพตัวนำยิ่งยวดเคลื่อนที่เป็นคู่ ๆ เรียกว่าคู่คูเปอร์ (Cooper pair) (ดูรายละเอียดในเรื่องทฤษฎีสภาพตัวนำยิ่งยวด)

ผลของการทะลุทะลวงในตัวนำยิ่งยวด ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

SUPERCONDUCTIVE TUNNELING

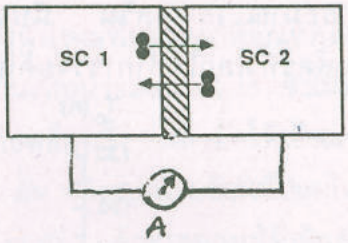
GIAEVER -- 1960



รูปที่ 3 การทะลุทะลวง

THE JOSEPHSON EFFECT

Josephson -- 1962



รูปที่ 4 ผลของโจเซฟสัน

3. การพัฒนาการทางด้านวัสดุศาสตร์ (material)

หลังจากการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดในปรอท ในปี 1911 ต่อมาได้ค้นพบว่ามีโลหะบริสุทธิ์หลายชนิดที่แสดงตัวเป็นตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ดีบุก อินเดียม ตะกั่ว ทาลเลียม อุณหภูมิวิกฤตระหว่าง 2.4 เคลวิน ถึง 7.2 เคลวิน ในปี 1925 พบในธาตุทรานซิชัน คือ Nb พบว่า อุณหภูมิวิกฤตสูงขึ้นเป็น 9.2 เคลวิน ต่อมาพบในโลหะผสมและสารประกอบ โดยปี 1940 พบใน NbC ที่ 10.1 เคลวิน ปี 1954 พบใน Nb_3Sn ที่ 18 เคลวิน ปี 1973 พบใน Nb_3Ge ที่ 23.2 เคลวิน

ในปี 1986 ได้มีการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดชนิดใหม่ในสารประกอบเซรามิกออกไซด์แลนทานัม-แบเรียม-คอปเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิวิกฤตประมาณ 30 เคลวิน นับจากนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกได้ทำการวิจัยค้นคว้าจนถึงปัจจุบันได้มีการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดในสารประกอบออกไซด์แล้ว 5 ตระกูล[2] คือ

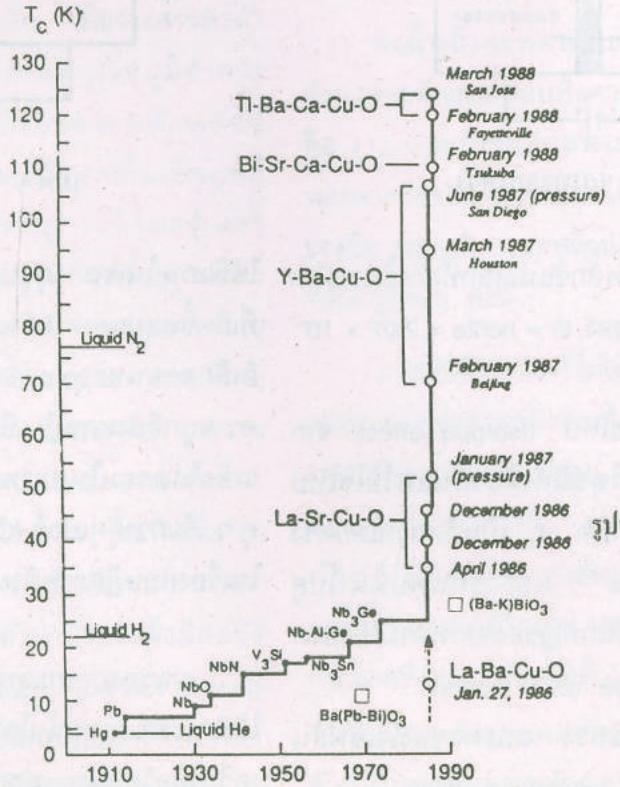
1. $La_2AE_2CuO_4$ เมื่อ AE เป็นโลหะอัลคาไลน์ เช่น Ba, Sr หรือ Ca อุณหภูมิวิกฤตสูงสุด 40 เคลวิน

2. $YBa_2Cu_3O_7$ (1-2-3 เฟส) หรืออาจแทนอิทเทรียม (Y) ด้วยธาตุที่หายาก (rare earths) อื่น อุณหภูมิวิกฤตสูงสุด 93 เคลวิน

3. $Bi_2CaSr_2Cu_2O_8$ (2-1-2-2 เฟส) เมื่อสามารถแทนมิสมัท (Bi) ด้วย ทาลเลียม (Tl) และสตรอนเทียม (Sr) ด้วย แบเรียม (Ba) อุณหภูมิวิกฤตสูงสุด 90 เคลวิน

4. $Tl_2Ca_2Ba_2Cu_3O_{10}$ (2-2-2-3 เฟส) อุณหภูมิวิกฤตสูงสุด 125 เคลวิน

5. $Ba_{1-y}K_yBiO_3$ เป็นชนิดที่ไม่มีคอปเปอร์ (Cu) เป็นส่วนประกอบ อุณหภูมิวิกฤตประมาณ 30 เคลวิน



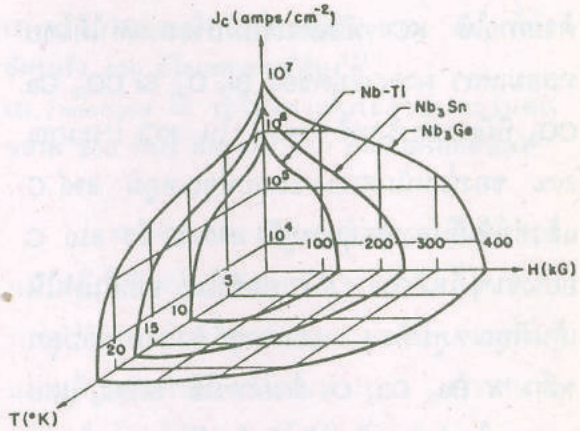
รูปที่ 5 การค้นพบตัวนำยิ่งยวดและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวิกฤตตั้งแต่ปี 1911 จนถึงปี 1990[3]

4. ขบวนการผลิตและชนิดของสารตัวนำยิ่งยวด

สารตัวนำยิ่งยวดในยุคดั้งเดิมไม่ต้องเตรียมอะไรมากนักเพราะเมื่อนำโลหะบริสุทธิ์มาทำให้เย็นตัวที่อุณหภูมิต่ำ ๆ โลหะบริสุทธิ์เหล่านั้นก็แสดงตัวเป็นสารตัวนำยิ่งยวด แต่การใช้งานยังไม่เป็นที่กว้างขวาง เพราะใช้งานในอุณหภูมิต่ำ ๆ โดยใช้ฮีเลียมเหลวเป็นตัวทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงมาก ๆ ซึ่งฮีเลียมเหลวมีราคาแพง (ประมาณลิตรละ 4 ดอลลาร์ในสหรัฐอเมริกา) หลังจากนั้นต่อมาพบสารตัวนำยิ่งยวดในโลหะผสมและสารประกอบเช่น Nb_3 Ge ที่มีอุณหภูมิวิกฤต 23.2 เคลวิน จึงสามารถใช้ไฮโดรเจนเหลวเป็นตัวทำให้เย็น ซึ่งมีราคาถูกกว่าฮีเลียมเหลวประกอบกับ Nb_3 Ge เป็นสารตัวนำยิ่งยวดที่ทนต่อสนามแม่เหล็ก และความหนาแน่นกระแสได้สูง (Nb_3 Ge สามารถนำกระแสสูงสุด 10,000,000 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร) ดังนั้นเทคโนโลยีจึงพุ่งความสนใจมาที่โลหะผสมประเภทนี้ การใช้งานในขั้นแรกได้แก่ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การแพทย์ เครื่องมือวัดละเอียด ส่วนอุตสาหกรรมยังอยู่ในการศึกษาวิจัยต้นแบบ พบว่าต้นทุนสูงยังไม่คุ้มทุน ในรูปที่ 6 เป็นไดอะแกรมที่รู้จักกันดีและมีชื่อเสียงในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิวิกฤต สนามแม่เหล็ก (H) และความหนาแน่นกระแส (J) ใน 3 มิติ

ผลจากการตื่นตัวของการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง ในปี 1986 ทำให้ให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกเร่งทำการวิจัยด้วยขบวนการและรูปแบบต่าง ๆ กัน มีดังนี้[3-4].

1. เซรามิกของแข็ง เป็นขบวนขั้นพื้นฐานที่ใช้ในการเตรียมเซรามิกทั่ว ๆ ไป ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 6 ไดอะแกรมแสดงสนามแม่เหล็กสูงและกระแสสูงของสภาพตัวนำยิ่งยวดในโลหะผสม

การเตรียม สารตัวนำยิ่งยวดชุด Y $Ba_2Cu_3O_x$ ทำได้โดยการผสม Y_2O_3, Ba CO_3, Cu O ในสัดส่วนของอะตอม Y : Ba : Cu = 1 : 2 : 3 (หรือ Y_2 O_3 1 โมล Ba CO_3 4 โมล และ Cu O 6 โมล) บดละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่ในถ้วยแก้วควอทซ์แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 800-1,000 °C เป็นเวลาประมาณ 12-15 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดอีกครั้ง แล้วอัดให้เป็นแท่งด้วยแรงอัด 2-5 ตัน หลังจากนั้นแล้วนำไปเผาในเตาอบเหมือนครั้งแรก แล้วทำออกมาให้เย็นตัวลงในอุณหภูมิที่ควบคุม เพื่อความมั่นใจว่าเราได้สารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงจริงจะต้องนำไปวัดความต้านทานไฟฟ้า และทดสอบปรากฏการณ์ไมสส์เนอร์ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว เป็นเป็นตัวลดอุณหภูมิ (ไนโตรเจนเหลวราคาประมาณ ลิตรละ 11 เซนต์ในสหรัฐอเมริกาซึ่งราคาถูกกว่า ฮีเลียมเหลวมาก)

2. ผลึกเดี่ยว[3] เป็นรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาโครงผลึกของสารตัวทำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงกับคุณสมบัติต่าง ๆ เตรียมจากการปลูกผลึก ตัวอย่างเช่น การปลูกผลึกในสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงชนิด Bi_2 Sr_2 Ca Cu_2 O_8 ปลูกผลึก

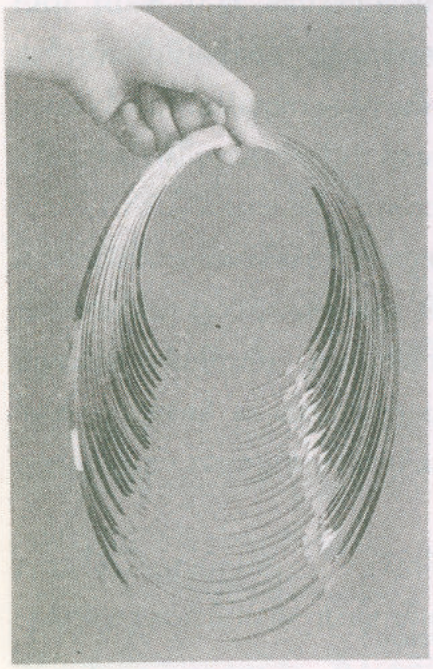
ด้วยการใช้ KCl เป็นตัวเชื่อมประสานทำได้โดยหลอมเหลว ผงละเอียดของ Bi_2O_3, $SrCO_3$, $CaCO_3$ ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% ใน KCl ประมาณ 20% ของน้ำหนักสารประกอบที่อุณหภูมิ 890° C แล้วทำให้เย็นลงจากอุณหภูมิ 890° C ถึง 850° C อย่างช้า ๆ ในอัตรา 0.5° C ต่อชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังสามารถปลูกผลึก $YBa_2Cu_3O_7$ ด้วยการใช้ $SiTiO_3$ และ $LaAlO_3$ ในทำนองเดียวกันกับข้างต้น

3. ฟิล์มบาง ได้ประสบความสำเร็จมากวิธีหนึ่งเนื่องจากสามารถใช้เทคโนโลยีร่วมกับสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งมีพร้อมอยู่แล้ว เตรียมได้จากขบวนการ Ion beam, Electron beam หรือ Magnetron Sputering ที่มีความหนาในระดับไมโครเมตร ลักษณะเด่นของฟิล์มบางนี้คือ สามารถทนทานต่อความหนาแน่นกระแสได้สูง ขบวนการเตรียมจะไม่กล่าวถึงในรายละเอียดเพราะใช้เทคโนโลยีชั้นสูงและซับซ้อน

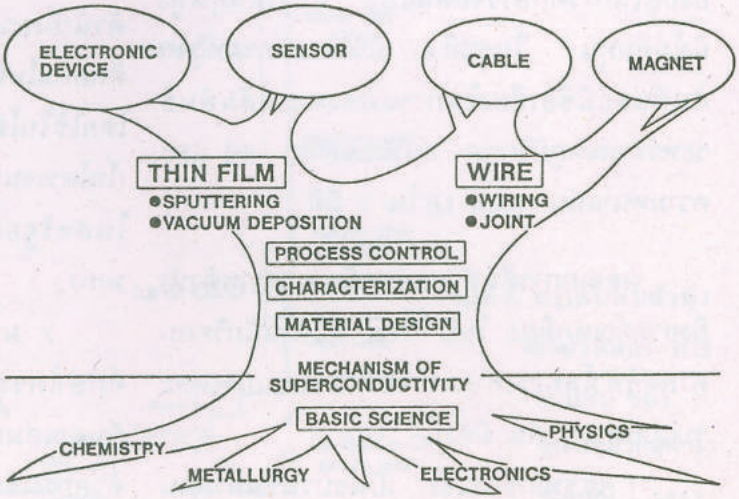
4. สเปรย์พลาสมา เป็นการเตรียมที่ใช้เทคโนโลยีชั้นสูง มีความสำคัญในการออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่ (Very large-scale integrated circuit ; VLSI) ในคอมพิวเตอร์ และวงจรไฟฟ้าตลอดจนใช้เคลือบผิวที่ออกแบบโครงสร้างภายในที่ซับซ้อน

5. เส้นลวด เป็นรูปแบบที่ใช้ประโยชน์ในการส่งกำลังไฟฟ้า แต่เนื่องจากสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงเป็นเซรามิกที่เปราะ ไม่สามารถยืดหยุ่นหรือขึ้นรูปเป็นเส้นลวดได้ จึงอาศัยท่อโลหะเป็นแม่พิมพ์ สำหรับบรรจุผงวัตถุดิบตัวนำยิ่งยวด แล้วจึงนำไปเผา (sintering) ตามขบวนการผลิตต่อไป

นอกจากวิธีดังกล่าวนี้นักวิจัยกำลังค้นคิดและพัฒนาเทคนิคในการผลิตตัวนำยิ่งยวดตามขบวนการ และรูปแบบต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา ความก้าวหน้าเราจะนำมาเสนอต่อไป



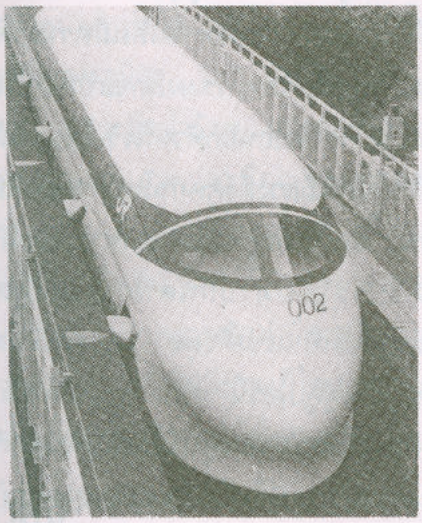
รูปที่ 7 ลวดตัวนำยิ่งยวด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ที่ใช้เงิน (Ag) เป็นปลอก ยาว 20 เมตร ผลิตโดยบริษัท ซูมิโตโม ประเทศญี่ปุ่น

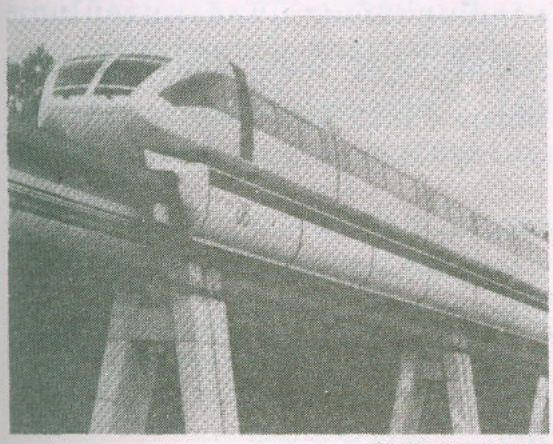


รูปที่ 8 หัวใจของเทคโนโลยีสำหรับการประยุกต์

5. การประยุกต์สารตัวนำยิ่งยวด

เทคโนโลยีด้านตัวนำยิ่งยวดได้ถูกนำมาใช้งานในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก่อนหน้าที่จะค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงในปี 1986 แต่ยังไม่ได้ขยายไปสู่อุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ เพราะต้นทุนการผลิตสูง หลังจากการค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงแล้วนักวิทยาศาสตร์วิศวกร กำลังมีความหวังอย่างสูงว่าตัวนำยิ่งยวดจะเป็นผู้นำทางเทคโนโลยีชั้นสูง และขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เราจึงขอสรุปศักยภาพของการประยุกต์ตัวนำยิ่งยวดดังนี้





(2) Transrapis 06

รูปที่ 9 รถไฟเหาะความเร็วสูงด้วยระบบแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด

(1) *MLU 002* รถไฟเหาะในญี่ปุ่นขนาด 44 ที่นั่ง อัตราเร็ว 420 กิโลเมตรต่อชั่วโมง[3]

(2) *Transrapid 06* รถไฟเหาะในเยอรมันตะวันตก ขนาด 200 ที่นั่ง อัตราเร็ว 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง[5]

1. การขับเคลื่อนอัตราเร็วสูง ใช้หลักของแม่เหล็กให้รถไฟลอยเหนือรางขับเคลื่อนด้วยการผลักกันหรือดึงดูดกันของแม่เหล็ก แต่ชนิดแม่เหล็กผลักกันเป็นที่นิยมมากกว่า สร้างสนามแม่เหล็กโดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำยิ่งยวด ขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงเพราะไม่มีแรงเสียดทานกับราง ในญี่ปุ่นประสบผลสำเร็จคือ ML 500 และ MU002 มีอัตราเร็วสูงสุดเป็น 517 และ 420 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

2. อุปกรณ์สนามแม่เหล็ก ที่ใช้ในอุปกรณ์การแพทย์ เช่น Nuclear Magnetic Resonance (NMR) และที่ใช้ในการวิจัยวิทยาศาสตร์ เช่น Magnetic Refrigeration, Synchrotons, Magnetic Fusion Reactors, Particle Accelerators เป็นต้น

3. อุปกรณ์ทางไฟฟ้ากำลัง คือ สายลวดที่ไร้ความต้านทานสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ไกล ๆ โดยไม่สูญเสียกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมี Power Transformers, Generators ตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแม่เหล็ก (Magnetic Energy Storage) เป็นต้น

4. เครื่องมือวัด และตัวตรวจวัด (Sensor) ตัวอย่างเช่น SQUID ใช้หลักการของโจเซฟสันเป็นตัวตรวจวัดสัญญาณทางแม่เหล็กอันทรงประสิทธิภาพ สามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 10^{-14} เทสลา (ประมาณสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในเซลสมองมนุษย์) เครื่องตรวจจับรังสีอินฟาเรด เป็นต้น

5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ใช้หลักการของโจเซฟสัน ปัจจุบันได้สร้างไอซี Anolog/Digital Convertor ไมโครโปรเซสเซอร์

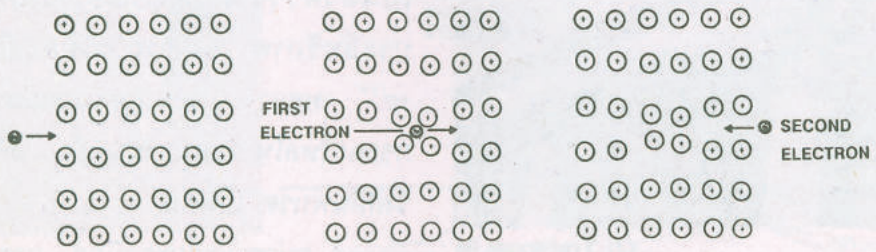
อัตราเร็วสูง 770 MHZ ด้วยสารตัวนำยิ่วยวด และในอนาคตอันใกล้นี้เราจะได้พบกับ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ จากสารตัวนำยิ่งยวด

6. ทฤษฎีของสภาพตัวนำยิ่งยวด

ทฤษฎีทำให้เข้าใจปรากฏการณ์สภาพตัวนำยิ่งยวด มีทฤษฎีที่สำคัญคือ ทฤษฎีของสองพี่น้องตระกูลลอนดอน (1935) อธิบายสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทฤษฎีของกินซ์เบอร์ก-แลนเดา (1950) อธิบายสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ และแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ทฤษฎีเหล่านี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าสภาพตัวนำยิ่งยวดเกิดขึ้นได้อย่างไร

ในปี 1957 บาร์ดีน คูเปอร์และชริฟเฟอร์ (Bardeen, Cooper and Schrieffer) ได้เสนอทฤษฎีสภาพนำยิ่งยวด ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีคือ ทฤษฎีบีซีเอส (BCS theory) เป็นทฤษฎีทางจุลภาค ได้อธิบายสภาพตัวนำยิ่งยวดว่าเกิดจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอิเลกตรอน โดยการแลกเปลี่ยนโฟนอน (electron-phonon interaction) ทฤษฎีบีซีเอสนี้ ได้ใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูงคำณวณหาปริมาณต่าง ๆ อันได้แก่ อุณหภูมิวิกฤต ความรุนแรงของศักย์ในการชนกันระหว่างอิเลกตรอน ปริมาณทางแม่เหล็กไฟฟ้า ปริมาณทางเทอร์โมไดนามิกส์ ช่องว่างพลังงาน ความหนาแน่นของสถานะ อธิบายผลของไอโซโทป และปริมาณอื่น ๆ นับว่าเป็นผลสำเร็จอย่างสูงในการอธิบายสมบัติของสภาพตัวนำยิ่งยวด

ทฤษฎีบีซีเอส[6] อธิบายว่า เมื่ออิเลกตรอนตัวหนึ่งซึ่งมีประจุลบเคลื่อนที่เข้าไปในโครงผลึกซึ่งเป็นประจุบวก อาศัยความยืดหยุ่นของโครงผลึก โครงผลึกนี้จะเสียรูปทรง เคลื่อนเข้าไปใกล้กันทำให้เกิดกลุ่มประจุบวกเกิดขึ้นทำให้อิเลกตรอนตัวที่อยู่ใกล้ ๆ เคลื่อนที่เข้าไปหากลุ่มอิออนบวก (ดูรูปที่ 10) จึงดูเหมือนว่ามีอิเลกตรอนสองตัวนี้จับคู่กัน เรียกว่าคู่คูเปอร์ (Cooper pairs) และยังได้สมมติการที่โครงผลึกมีความยืดหยุ่นจะสั่น การสั่นของโครงผลึกจะปล่อยโฟนอนออกมา ให้อิเลกตรอนอีกตัวหนึ่งรับโฟนอนนั่นคือ อิเลกตรอนคู่นี้มีแรงดึงดูดกันโดยการแลกเปลี่ยนโฟนอน ซึ่งแรงดึงดูดนี้มีค่ามากกว่าแรงผลักกันระหว่างประจุลบด้วยกันตามกฎของคูลอมบ์ ทำให้ผลลัพธ์เป็นแรงดึงดูด โดยที่อิเลกตรอนที่มาจับคู่เป็นคู่คูเปอร์นี้ สปิน (spin) ตรงข้ามกัน กล่าวคือ อิเลกตรอนคู่นี้มีโมเมนตัมเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้าม ทำให้โมเมนตัมของจุดศูนย์กลางมวลเป็นศูนย์มีผลทำให้พลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่เป็นศูนย์ นั่นคือ นำไฟฟ้าโดยไม่สูญเสียพลังงาน (ไร้ความต้านทานไฟฟ้า)



รูปที่ 10 ขบวนการเกิดคู่คูเปอร์ (Cooper pairs)

ผลการทดลองต่อมาได้ยืนยันความถูกต้องของทฤษฎีนี้ คือ โจเซฟสัน ค้นพบปรากฏการณ์ทะลุทะลวงของอิเลกตรอนระหว่างตัวนำยิ่งยวดสองตัวกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า พบว่าอิเลกตรอนที่ทะลุทะลวงเป็นคู่ ๆ และการทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้การวิจัยต่อมาได้ใช้พื้นฐานของทฤษฎีบีซีเอสทำให้เข้าใจปรากฏการณ์สภาพตัวนำยิ่งยวดดียิ่งขึ้น ทำให้บาร์ดีน คูเปอร์และซรีฟเฟอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี 1972

หลังจากการค้นพบสภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงในปี 1986 ได้พบว่า ทฤษฎีบีซีเอสไม่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมจึงเกิดสภาพตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูง 125 เคลวิน (ตามทฤษฎีบีซีเอส พบว่าขีดจำกัดของอันตรกิริยาระหว่างอิเลกตรอนโฟนอน จะมีอุณหภูมิวิกฤตสูงสุด 40 เคลวิน) ตัวนำยิ่งยวดบางตระกูลไม่แสดงผลของไอโซโทปเป็นต้น จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์เสนอทฤษฎีเพื่ออธิบายสภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงจำนวนมาก แต่ยังไม่มีทฤษฎีใดสามารถอธิบายสมบัติสภาพตัวนำยิ่งยวดได้ทั้งหมด[7]

7. สรุป

การวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับสภาพตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง ได้ก้าวหน้าไปอย่างไม่หยุดยั้ง ทั้งนักทดลอง นักทฤษฎี และนักเทคโนโลยีมีจุดรวมอยู่ที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพตัวนำยิ่งยวดเพื่อนำมาควบคุมขบวนการผลิตสารตัวนำที่อุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อมวลมนุษย์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กิตต์ วิสุทธิวิเศษ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ที่ได้สอนวิชานี้มา และอาจารย์ ดร.กุลวดี รังษีวัฒนานนท์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้อ่านต้นฉบับและวิจารณ์บทความนี้

เอกสารอ้างอิง

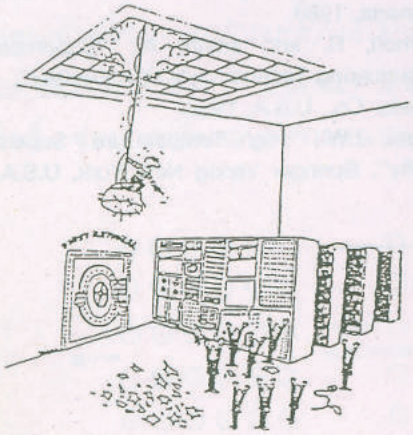
1. Crisan, M. "Theory of Superconductivity" World Scientific Pub., Singapore, 1989.
2. อุดม ทิพราช "ทฤษฎีสภาพนำยิ่งยวดชนิดอุณหภูมิวิกฤตสูง จากทฤษฎีพไซของกินเบอร์ก", วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
3. Kitazawa, K. and Ishiguro, T. "Advances in Superconductivity", Springer-Verlag Tokyo, Japan, 1989.
4. Eom, CB., et. al., Science, V. 249 (1549), 1990.
5. Halliday, D. and Resnick, R. "Fundamentals of Physics" 3 nd. ed., John Wiley & Sons, Inc., canada, 1988.
6. Simon, R. and smith, A., "Superconductors Conquering Technology's new Frontier", Plenum Press. Co., U.S.A, 1988.
7. Lynn, J.W., "High Temperature Superconductivity", Springer Verlag New York, U.S.A., 1990.

ว.วิทย. มข. 18(4) : 196–202 (2533)

อาชญากรรมในศูนย์คอมพิวเตอร์
และแนวทางในการป้องกัน

*วิชุดา ไชยศิวามงคล**

ในปัจจุบันนี้มีบริษัทและหน่วยงานใหญ่ ๆ หลายแห่งเริ่มหันมาสนใจนำระบบคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการปฏิบัติข้อมูลทางธุรกิจกันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งเทคโนโลยีทางด้านนี้ก็เจริญรุดหน้าไปมาก จนสามารถทำให้คนเราดัดแปลง ปลอมแปลงเอกสาร หรือทำสิ่งพิมพ์ให้เหมือนกับต้นฉบับได้อย่างสบาย นอกจากนี้แล้วยังเกิดการทุจริตในรูปแบบอื่น ๆ ที่แฝงตัวอยู่ในวิธีการปฏิบัติงานด้วย ซึ่งการทุจริตดังกล่าวได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนได้รับการขนานนามว่า "อาชญากรรมแห่งทศวรรษ 80"



"จะยอมจ่ายหนึ่งล้านหรือจะยอมให้ยิงไอ้เครื่องนี้

สถิติอาชญากรรมที่เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์

จากวารสาร Computer Fraud & Security Bulletin ฉบับประจำเดือน กุมภาพันธ์ 1987 บอกว่า ปัญหาอาชญากรรมคอมพิวเตอร์ที่สำคัญ ๆ มี 7 ชนิด แต่พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมาก ได้แก่

1. การขโมยข้อมูล (Theft Information) มีสถิติคงที่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ การขโมยดังกล่าวจะเป็นลักษณะที่มีการขโมยข้อมูลจากบริษัทหนึ่งไปขายให้กับอีกบริษัทหนึ่ง

2. การเจาะเข้าสู่ระบบ (System Penetration) มีสถิติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในปี 1983 และในปี 1986 ได้เพิ่มขึ้นมาเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ สถิติดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่น่ากลัว แต่เดิมนั้นคนที่เจาะเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ของคนอื่นนั้นมักจะเป็นพวกร้อนวิชา หรือเป็นการโชว์ฝีมือนั่นเอง แต่ในปัจจุบันนี้แปรสภาพไปเป็น "เจาะเพื่อขโมย"

จากรายงานที่จัดทำโดย Comptroller General of The United States, General Accounting Office (G.A.O) ที่นำเสนอต่อสภา Congress สหรัฐอเมริกา ในเดือนเมษายน ค.ศ.1976 สามารถสรุปประเภทของการทุจริตได้ 4 ประเภท

* อาจารย์ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ใหญ่ ๆ จากการทุจริตที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น 69 ราย ดังนี้

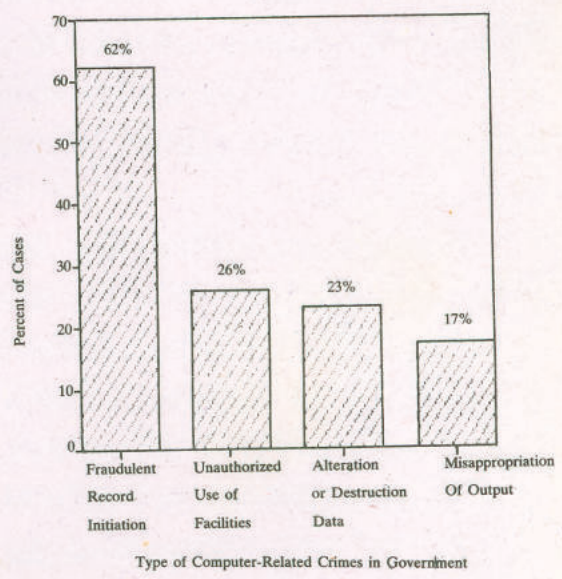
1. การทุจริตทางด้าน Input เนื่องจากข้อมูลที่จะถูกนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์นั้นได้มาจากเอกสารเบื้องต้น การทุจริตที่เกิดขึ้นก็คือ มีการปลอมแปลงเอกสารเบื้องต้น เพื่อยักยอกเงินหรือสิ่งของจากหน่วยงานอาจจะเป็นลักษณะที่มีการเพิ่มชื่อของผู้ที่ได้รับเงินประกันสังคมลงในแฟ้มข้อมูล ปลอมหนังสือแนะนำตัวบุคคลในการหางาน ปลอมโฉนดที่ดิน ปลอมใบทรานสคริพต์หรือใบสุทธิ ตลอดจน licenses ต่าง ๆ ในทางธุรกิจ

ในโลกของการปลอมแปลงนั้นอาศัยความรุดหน้าทางเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ เข้ามาช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ซึ่งทำให้มีการปลอมแปลงได้สะดวกปราณีต และรวดเร็วขึ้น จะขอแนะนำนักปลอมแปลงที่น่าจะเป็นรายแรก ๆ ที่ใช้เทคนิคการพิมพ์บนโต๊ะ (Desktop Publisling) เป็นเครื่องมือในการปลอมเอกสารให้ผู้อ่านรู้จักเสียก่อน ในนามของ Paul Sjiem Fat เป็นชาว Netherlands Antilles บุคคลผู้นี้ได้ไปอ้างกับธนาคารแห่งบอสตัน เพื่อขอเครดิตการ์ดว่าเขาเป็นเจ้าหน้าที่ประจำกงสุลของดัทช์ (Dutch) ซึ่งทางธนาคารได้มาตรวจพบการปลอมแปลงภายหลังจากที่เขาได้รับเงินไปจากธนาคารถึง 20,000 เหรียญ ว่าบุคคลผู้นี้ ไม่ได้ทำงานในกงสุลดังกล่าวแต่อย่างใด เมื่อผู้รักษากฎหมาย ทำการตรวจค้นห้องพักของเขา ก็พบว่าเขาไม่ได้ใช้เครื่องมือที่วิเศษอะไรเลย มีแต่เพียงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) และ เลเซอร์พรินเตอร์ (Laser Printer) เท่านั้น

2. การทุจริตทางด้านการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อผลประโยชน์ส่วนตัว เช่น พนักงานในศูนย์คอมพิวเตอร์ ลักลอบใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ของทางราชการปฏิบัติข้อมูลให้แก่ธุรกิจเอกชน หรือใช้เวลาคอมพิวเตอร์พัฒนาโปรแกรมส่วนตัว เพื่อนำไปเสนอขายต่อธุรกิจเอกชน

3. ลักลอบทำการปฏิบัติข้อมูลเพื่อแก้ไขข้อมูลที่จัดเก็บไว้ เช่น แก้ไขประวัติอาชญากรรมที่หน่วยสอบสวนกลาง

4. การทุจริตทางด้าน Output เช่น ขายรายงานที่เป็นความลับแก่ธุรกิจเอกชน



หมายเหตุ ผลของการวิเคราะห์กรณีทุจริต 69 ราย สามารถแสดงได้ดังรูปกราฟข้างต้น (ผลรวมเปอร์เซ็นต์ของการทุจริตทุกประเภทจะเกินกว่า 100% เนื่องจากการทุจริตบางรายอาจจัดเป็นการทุจริตหลายประเภทในเวลาเดียวกัน)

สาเหตุที่ก่อให้เกิดอาชญากรรมด้านคอมพิวเตอร์

สาเหตุที่อาชญากรรมด้านนี้ขยายตัวอย่างกว้างขวางนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากวิธีการปฏิบัติ

และจุดอ่อนที่แฝงอยู่ในระบบคอมพิวเตอร์เอง ดังตัวอย่างที่จะยกขึ้นมากล่าวต่อไปนี้

1. ด้านความปลอดภัยของข้อมูล

– ถ้าเป็นระบบที่ใช้บุคคลทำ การบันทึกข้อมูลจะบันทึกในวัสดุที่ทนต่อสภาวะแวดล้อม ไม่เสื่อมสภาพได้ง่าย การจัดเก็บเอกสารในหน่วยงานจะเป็นระบบทำให้ข้อมูลกระจัดกระจาย โอกาสที่จะสูญเสียข้อมูลทั้งหมดเวลาเดียวกันมีน้อย

– ถ้าเป็นระบบคอมพิวเตอร์ สื่อที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเสื่อมสภาพได้ง่ายตามสภาวะแวดล้อม การจัดเก็บนิยมรวบรวมข้อมูลของระบบต่าง ๆ ไว้ในแผ่นจานแม่เหล็กเสมอเป็นหน่วย (Unit) เดียวกัน. โอกาสที่จะสูญเสียข้อมูลทั้งหมดในเวลาเดียวกันจึงมีมาก

ทรัพย์สินในระบบคอมพิวเตอร์นั้น มีทั้งตัวเรื่อง Software ข้อมูล ไปจนกระทั่งสื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่มีใช้ในระบบ เคยมีข่าวคอมพิวเตอร์ถูกทำลายทั้งโดยไฟไหม้ หรือถูกพนักงานที่เลือดร้อนควงขวานไปจามเครื่อง ถ้าเครื่องถูกทำลายอย่างเดียวนั้นก็ยังไม่เป็นไรเพราะหาซื้อใหม่ได้ แต่ที่สำคัญ คือ ข้อมูลที่เก็บไว้ถูกทำลายไปด้วย ถ้าไม่มีการจัดทำระบบสำรองเอาไว้ให้ดีพอ บริษัทอาจจะต้องปิดไปเพราะไม่รู้ว่าเป็นเจ้าหนี้ใครบ้าง ส่วนที่ไปเป็นหนี้เขานั้น ข้อมูลจริงอยู่กับเจ้าหนี้ฝ่ายเดียวจึงไม่อาจปฏิเสธหนี้ได้

2. ด้านการรักษาความลับของข้อมูล

– ถ้าเป็นระบบใช้บุคคลทำ จะพบว่าการจัดเก็บเอกสารนั้นข้อมูลจะกระจัดกระจายตามหน่วยงาน การคัดลอกข้อมูลต้องใช้เวลานาน ฉะนั้นการนำความลับออกสู่ภายนอกทำได้ยาก

– ถ้าเป็นระบบคอมพิวเตอร์ จะเห็นว่าการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวมอยู่ในแผ่นจานแม่เหล็กเปรียบเสมือนอยู่ในหน่วย (Unit) เดียวกัน ฉะนั้นการคัดลอกข้อมูลที่เป็นความลับออกสู่ภายนอกทำได้ง่าย และรวดเร็ว

จากเหตุการณ์หนึ่งที่เคยเกิดขึ้นคือ ผู้จัดการทรัสต์แห่งหนึ่งลาออกไปอยู่ที่อื่นได้ทำการ ก๊อปปี้ (Copy) รายชื่อลูกค้าของทรัสต์ดังกล่าวออกไปด้วย ณ ที่ทำงานใหม่เขาได้ทำจดหมาย ถึงลูกค้าเหล่านั้นทุกคน ในเวลา 2-3 เดือนก็สามารถดึงลูกค้าได้ 5-10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งได้ผลเกินคุ้ม เพราะลงทุนเพียงไม่กี่บาทก็ได้เงินฝากหลายสิบล้านบาท

3. ด้านการทุจริตโดยแก้ไขข้อมูลหรือโปรแกรมในระบบงาน

– ถ้าเป็นระบบใช้บุคคลทำ การแก้ไขจะมีร่องลอยขูดลบขีดฆ่าสังเกตได้ง่าย

– ถ้าเป็นระบบคอมพิวเตอร์ การแก้ไขข้อมูลทำได้โดยไม่ทิ้งร่อยรอยใด ๆ ไว้เลย

ในสถาบันการเงิน การธนาคาร และบริษัทต่าง ๆ เริ่มใช้คอมพิวเตอร์ ในด้านการเงิน โดยเจ้าหน้าที่ระดับสูงโดยทั่วไปไม่มีความรู้ทางคอมพิวเตอร์ดีพอ แล้วเร่งรีบเปลี่ยนระบบงานจากการ

ใช้บุคคลมาเป็นคอมพิวเตอร์ โดยเชื่อว่าคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำงานได้ทุกอย่างโดยไม่มีข้อผิดพลาด จึงไม่มีการวางแผนควบคุมให้รัดกุม ศูนย์คอมพิวเตอร์จึงตกอยู่ในมือของ โปรแกรมเมอร์ หรือโอเปอเรเตอร์ เพียงไม่กี่คนทำให้เกิดทุจริตได้ง่าย เรื่องที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วก็คือ คนเขียนโปรแกรมที่เขียนเกี่ยวกับการฝาก-ถอนเงิน เวลาคิดดอกเบี้ยย่อมมีเศษสตางค์ โปรแกรมที่เขาเขียนจะโอนเศษสตางค์จากบัญชีลูกค้าทั้งหลายที่ฝากเงินมาเข้าบัญชีตุ๊กตาที่เขาตั้งขึ้นมา ซึ่งย่อมจะมียอดเงินฝากเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนเงินฝากลูกค้า

4. การทุจริตโดยเจาะเข้าสู่ระบบ

การขยายตัวไปสู่ระบบออนไลน์ (On-line) นั้นนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งของการรั่วไหลของข้อมูลระหว่างการรับ-ส่งข้อมูล

- เนื่องจากการสื่อสารในระบบดังกล่าวจะต้องใช้สายสื่อสาร และสายสื่อสารที่ใช้มากที่สุดคือ สายโทรศัพท์ซึ่งวางไปตามท่อใต้ดิน หรือชายคาบ้าน โดยจะมีจุดพบกันระหว่างคู่สายจากองค์การโทรศัพท์ กับผู้เช่าคู่สาย ซึ่งจุดพบกันนี้เองไม่ค่อยจะมีใครสนใจอีกทั้งระบบโทรศัพท์ธรรมดาก็เสียบ่อย ๆ จึงมีช่างจากภายนอกเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขที่จุดนักพบดังกล่าวเสมอ

- การใช้มาตรฐานทางด้านการสื่อสาร ไม่ว่าจะเป็นปลั๊กที่จะเชื่อมโดยเทอร์มินัลเข้าสู่สายสื่อสาร จำนวนสายสัญญาณ หน้าที่และตำแหน่งของแต่ละสายสัญญาณ หรือระดับแรงดันกระแสไฟฟ้าจะเป็นมาตรฐานเดียวกันหมด ยิ่งไปกว่านั้นวิธีการสื่อสารและรหัสตัวควบคุมการสื่อสารต่าง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า Line Protocal ก็เข้าสู่มาตรฐานที่สำคัญ ๆ เพียง 2-3 มาตรฐานเท่านั้น ความรู้ความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้หาได้ไม่ยาก และเครื่องมือ เครื่องใช้ก็หาซื้อได้ จึงเปิดโอกาสให้คนทดลองได้ง่าย ๆ การใช้มาตรฐานเดียวกันนี้มีประโยชน์ในแง่ความคล่องตัวในการซื้อหาของใช้มาทดแทนกัน แต่ก็เป็น ดาบ 2 คม ที่ร้ายกาจทั้ง 2 ด้าน

แนวทางสำหรับป้องกันอาชญากรรมในศูนย์คอมพิวเตอร์

เพื่อให้การใช้คอมพิวเตอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันมิให้มีการทุจริตเกิดขึ้นควรจะมีมาตรการในการควบคุมภายใน หรือการตรวจสอบระบบงานคอมพิวเตอร์ ก่อนที่เราจะพิจารณาว่าต้องควบคุมอะไรอย่างไรบ้างนั้นคงจะต้องพิจารณาความหมายของการควบคุมภายในก่อน

"การควบคุมภายใน" เป็นการจัดแบ่งส่วนงาน วิธีปฏิบัติงานและมาตรการต่าง ๆ ที่ปฏิบัติกับหน่วยงาน เพื่อดูแลรักษาทรัพย์สินและสามารถตรวจสอบความถูกต้องและเชื่อถือได้ของข้อมูล (ในลักษณะข้อมูลทางคอมพิวเตอร์) และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน และส่งเสริมให้มีการปฏิบัติงานตามนโยบายที่ผู้บริหารวางไว้

การควบคุมภายในที่ควรคำนึงถึงมี 3 ประการ คือ

1. การควบคุมการบริหารและการจัดองค์การ

สำหรับการควบคุมการบริหารและการจัดองค์การ นั้นเป็นการควบคุมเพื่อให้แน่ใจว่ามีการแบ่งแยกหน้าที่กันอย่างเหมาะสมในองค์การ ถ้าเหมาะสมดีก็จะก่อให้เกิดการควบคุมกันเองโดยอัตโนมัติทำให้มั่นใจได้ว่า การดำเนินงานในแผนกคอมพิวเตอร์ได้มาตรฐานและมีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งการควบคุมดังกล่าวสามารถ

สรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.1 การจัดตั้งศูนย์คอมพิวเตอร์ ควรอยู่ในลักษณะที่มีโครงสร้างควบคุมซึ่งกันและกัน โดยการแบ่งแยกหน้าที่ นั่นคือควรจะกำหนดระเบียบปฏิบัติมิให้พนักงานคนใดคนหนึ่งปฏิบัติงานโดยลำพังตั้งแต่ต้นจนจบขบวนการ โดยแบ่งหน้าที่ของผู้วางระบบหรือพัฒนาระบบผู้เขียนโปรแกรมต่าง ๆ ให้แยกออกจากกันโดยเด็ดขาด นอกจากนี้ควรมีการสับเปลี่ยนการทำงานกันบ้างเพื่อมิให้พนักงานคุ้นเคยกับงานใดงานหนึ่งมากเกินไป จนสามารถหาทางทุจริตได้

1.2 การควบคุมการเข้าสู่สถานที่ตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ ควรควบคุมให้ผู้มีสิทธิหรือได้รับอนุญาตเท่านั้นที่จะเข้าออกศูนย์คอมพิวเตอร์ได้ และควรกำหนดด้วยว่าผู้ได้รับอนุญาตให้เข้าไปนั้นเข้าไปได้ในขอบเขตแค่ไหน เพื่อป้องกันการก้าวก่ายหน้าที่กัน

1.3 การควบคุมรักษาความปลอดภัยของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และวัสดุข้อมูลรวมทั้งข้อมูลและโปรแกรมที่ใช้ในระบบงาน เป็นที่ทราบกันว่าภัยสำคัญของข้อมูลและโปรแกรมที่ใช้คืออัคคีภัยรวมทั้งวินาศภัย ดังนั้นควรมีการทำสำเนา แฟ้มข้อมูลและควบคุมให้มีการปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดจะต้องแยกให้ออกโดยชัดเจนว่าแฟ้มข้อมูลใดบ้างที่สำคัญและต้องเก็บรักษาเป็นพิเศษ

นอกจากนี้ควรเลิกค่านิยมผิด ๆ ที่ให้ศูนย์คอมพิวเตอร์เป็นห้องรับแขก เพื่อให้ผู้มาเยี่ยมเยียน หรือมาติดต่อสามารถผ่านมาและมองเห็นได้ เพื่อเป็นการเชิดหน้าชูตา และแสดงถึงความก้าวหน้าและศักดิ์ศรีของบริษัท ซึ่งเป็นค่านิยมที่อันตราย

2. ควบคุมการพัฒนาระบบงาน

ควบคุมการพัฒนาระบบงานนั้นเป็นการควบคุมเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าระบบงานคอมพิวเตอร์นั้น ได้มีการออกแบบหรือวางระบบให้ทำงานเป็นไปตามเป้าหมายขององค์การ ซึ่งควรจะมีการบันทึกเอกสารและการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี

เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์แต่ละแห่งมีโครงสร้างซับซ้อนต่างกันไป ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดวิธีการพัฒนาระบบงาน โดยกำหนดมาตรฐานแนวปฏิบัติตั้งแต่มีการศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study) ขอบเขตและรายละเอียดของระบบงานเพื่อเสนอผู้บริหารให้อนุมัติ การควบคุมดังกล่าวสามารถสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1 สร้างคู่มือสำหรับการปฏิบัติงาน เพื่อให้ผู้ใช้ปฏิบัติงานได้สะดวก

2.2 ควรจะมีการบันทึกเอกสารสำหรับระบบงาน ประกอบด้วย

- ลักษณะระบบงาน (System Flowchart)
- เอกสารแสดงรูปแบบ (Input record และ Output record)
- Record ของแฟ้มข้อมูลหลัก

2.3 ควรจะมีการบันทึกเอกสารสำหรับโปรแกรม ประกอบด้วย

- Program Flowchart และคำสั่งโดย

ละเอียดถึงโอเปอเรเตอร์ พร้อมทั้งแนวทางปฏิบัติเมื่อเกิดความผิดพลาด

- Program listing พร้อมทั้งข้อมูลที่ใช้ทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบรวมทั้งการแก้ไขเพิ่มเติมถ้ามี โดยการทดสอบโปรแกรมนั้นควรทำทุกขั้นตอนตั้งแต่ตรวจด้วยมือทดสอบเก็บข้อมูลสมมติ และใช้กับข้อมูลจริง ซึ่งการทดสอบระบบงานนั้นทำได้หลายวิธี เช่น เปลี่ยนจากระบบงานเดิมเป็นระบบใหม่ทันที หรือทำคู่ขนานระหว่างระบบเก่าและระบบใหม่ เป็นต้น

3. การควบคุมแนวปฏิบัติงาน

ควบคุมเพื่อตรวจสอบการปฏิบัติงานว่าสามารถเชื่อถือได้เพียงใดในด้านความถูกต้องและการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและแฟ้มข้อมูลหลัก โดยเน้นถึงการทำงานทั่วไปของศูนย์คอมพิวเตอร์ การควบคุมจะครอบคลุมในประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การควบคุมข้อมูลขาเข้า

ข้อมูลหรือเอกสารเบื้องต้นนับว่าเป็นจุดอ่อนที่สำคัญของระบบงานคอมพิวเตอร์ ถ้าเอกสารเบื้องต้นไม่ถูกต้องก็เปรียบเสมือนใส่ขยะเข้าไปในเครื่อง ผลลัพธ์ที่ออกมาก็ย่อมจะเป็นขยะเช่นเดียวกัน วิธีการควบคุมข้อมูลเข้าทำได้หลายวิธี เช่น

- ควบคุมฟิลด์ (Field) ต่าง ๆ ของข้อมูลโดยใช้การตรวจสอบลำดับของข้อมูลเพื่อดูว่ามีข้อมูลขาดหายหรือไม่
- จำนวนคุมยอด (Batch Control Total) เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลเข้าที่เข้ามาเป็นตั้ง ๆ หรือเข้ามาเป็นหมวด ๆ นั้นได้รับถูกต้องครบถ้วนหรือไม่
- Check Digit ใช้ในการควบคุมรหัสต่าง ๆ

สำหรับแฟ้มข้อมูลที่มีผลต่องานด้านบัญชีจะต้องควบคุมให้เข้มงวด โดยเฉพาะระบบ Real-time หรือระบบ On-line นั้น มีเทคนิคในการควบคุมที่สำคัญ ๆ ดังนี้

- การใช้ Password หรือรหัสประจำตัว เรามักจะทำกัน 2 ระดับ โดยระดับแรกเป็นการเปิดใช้เทอร์มินัล เราเรียกว่า System Log-on เป็นโปรแกรมควบคุมการเริ่มใช้เทอร์มินัล เพียงบอกว่าเขาเป็นสมาชิกคนหนึ่งของหน่วยงานซึ่งมีสิทธิใช้เครื่อง ส่วนระดับที่สองจะเห็นรหัสประจำตัวเพื่อเปิดใช้โปรแกรมงานจริง ซึ่งจะเป็นรหัสที่ฝังตัวอยู่ในโปรแกรมงานจริง โดยจะต้องแปล (Compile) ใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรหัส
- การทำ Encryption หมายถึงการแปลงข้อความจากรูปแบบที่เป็นของจริงไปสู่ข้อความอื่นที่ผู้ไม่ทราบวิธีถอดรหัสไม่อาจถอดความหมายได้ ซึ่งมีมากมายหลายวิธี
- การทำ Authentication เป็นวิธีการที่จะพิสูจน์ว่าข้อมูลหรือข้อความที่ส่งเข้ามานั้นมาจากแหล่งข่าวที่เชื่อถือได้ ซึ่งทำได้หลายอย่าง แบบง่าย ๆ เช่น ทำการแปลงรหัสบางส่วนของข้อความที่ส่งแนบท้ายมาให้ ผู้รับจะต้องแปลงรหัสกลับแล้วเทียบกับตัวข้อความตัวจริงที่ส่งมา ด้วยวิธีนี้เราสามารถลดจำนวนตัว

อักษรที่จะต้องแปลงรหัส และลดเวลาในการแปลกลับ

- System Monitoring คือการมีโปรแกรมและมีคนคอยติดตามดูการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นตัวสัญญาณที่จะช่วยเตือนภัยล่วงหน้าได้ เช่น มีคนพยายามทำ System Log-on หลายครั้งแต่แล้วไม่ผ่าน หรือมีความพยายามที่จะเรียกใช้แฟ้มข้อมูลข้ามกลุ่ม หรือแฟ้มข้อมูลที่ปกปิด เป็นต้น

3.2 การควบคุมการประมวลผล

จุดมุ่งหมายทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ ของขบวนการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการควบคุมจะทำทุกขั้นตอน ตั้งแต่การบรรณาธิการข้อมูลที่จะเข้าประมวลผล การควบคุมรายการที่เครื่องไม่ยอมรับ และหาสาเหตุแก้ไขรายการนั้นแล้วส่งกลับไปประมวลผลใหม่ให้ทันตามเวลาที่กำหนดไว้ ดังนั้นจะต้องตรวจสอบทั้งทางด้านซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์

3.3 การควบคุมข้อมูลขาออก

จุดมุ่งหมายทำขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ออกมานั้น ถูกต้องก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ การควบคุมทำได้โดยเปรียบเทียบยอดรวมที่ใช้ควบคุมหรือ Control Totals ซึ่งอาจจะใช้โปรแกรมตรวจสอบแทนได้ นอกจากนี้ยังต้องควบคุมการแจกจ่ายข้อมูลขาออก ให้ผู้ใช้อย่างทั่วถึงและครบถ้วน โดยที่หน่วยงานที่รับนั้นต้องเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องที่จะได้รับ Output report เท่านั้น

บทส่งท้าย

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่อำนวยประโยชน์แก่เราอย่างมหาศาล แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นโทษมหันต์แก่เรา ถ้าถูกนำไปใช้ในทางที่ไม่ชอบธรรม สำหรับมาตรการควบคุมด้านต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ไม่ว่าจะรัดกุม หรือดีเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าไม่มีการบังคับใช้อย่างจริงจัง หรือไม่มีการควบคุมให้ปฏิบัติอย่างเคร่งครัดแล้ว กฎเกณฑ์ระเบียบต่าง ๆ จะมีค่าเพียงเศษกระดาษเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

1. ครรชิต มาลัยวงศ์. 2530. การตรวจสอบระบบไมโครคอมพิวเตอร์. **ไมโครคอมพิวเตอร์** 32:104-109.
2. ปัญญา เปรมปรีดิ์. 2531. DATA SECURITY, **COMPUTER REVIEW** 50(6):215-219.
3. รัตนา อนันต์นนท์ศักดิ์. อุดรูรั่วในศูนย์คอมพิวเตอร์. **COMPUTER WORD** 11(2):96-103.
4. สหัส พรหมสิทธิ์. 2533. เทคโนโลยีที่จะเข้ามาช่วยให้มีการปลอมแปลงได้ทุกอย่าง แม้กระทั่งเช็ค. **ไมโครคอมพิวเตอร์** 57:206-215.

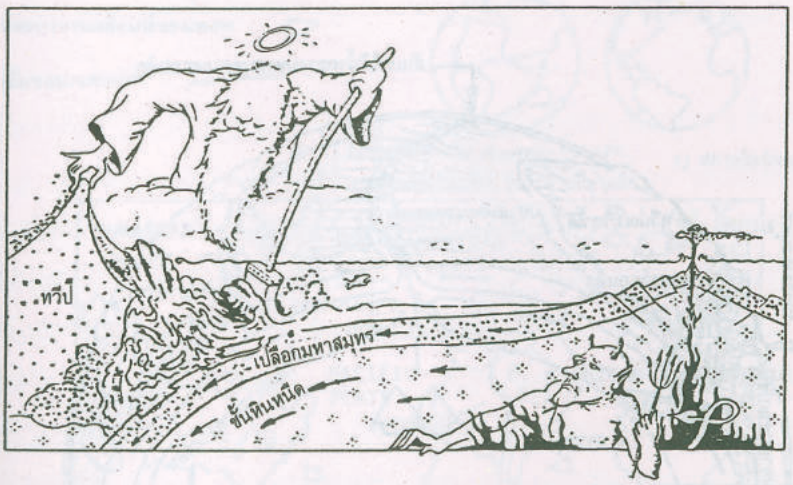
ว.วิทย. มข. 18(4) : 203–212 (2533)

มหันตภัยธรรมชาติจากแผ่นดินไหว

*หล้า อาจวิชัย**

ปัจจุบันมีเสียงวิพากษ์วิจารณ์ในหมู่คนไทยกันมากขึ้นเกี่ยวกับภัยธรรมชาติจากแผ่นดินไหว ในปี พ.ศ.2533 กระทรวงมหาดไทยถึงกับร่างกฎกระทรวงฯ ว่าด้วยการกำหนดหลักเกณฑ์ในการก่อสร้างอาคารเพื่อต่อต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ออกมาเตือนภัยเผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร ความรู้เกี่ยวกับแผ่นดินไหวทั้งทางวิทยุกระจายเสียงและทางสื่อมวลชนอื่น ๆ แผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงขั้นก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน จะเกิดขึ้นในประเทศไทยด้วยหรือไม่ เป็นคำถามที่ทุกคนต้องการทราบ การเตรียมการเพื่อป้องกันภัยดังกล่าวตามหลักวิชาการ ความรู้และข้อมูลที่มีย่อมจะดีกว่าการแก้ไขเมื่อภัยนั้นได้มาถึงแล้วเป็นแน่

แผ่นดินไหวได้สร้างความสูญเสียใหญ่หลวงทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษยชาติมาช้านาน จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า แผ่นดินไหวที่รุนแรงมีมาตั้งแต่ปี ค.ศ.856 ในประเทศกรีก และได้เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงในบริเวณต่าง ๆ ของโลกเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน เช่น เมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 1989 ที่เมือง ซานฟรานซิสโก แคลิฟอร์เนียร์ สหรัฐอเมริกา ก่อความเสียหายและความสูญเสียเป็นอย่างมาก แผ่นดินไหวครั้งสำคัญ ๆ ที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อมนุษยชาติตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีแสดงไว้ในตารางที่ 1

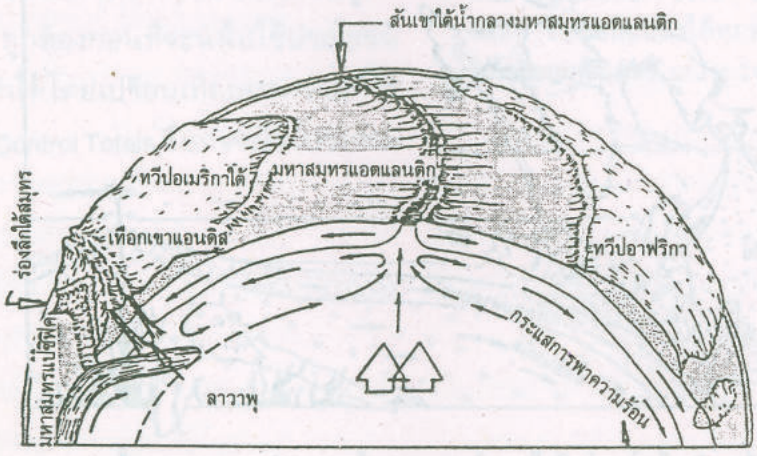


รูปที่ 1 คนบางกลุ่มในปัจจุบันเชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากพระเจ้ากวาดทำความสะอาดพื้นมหาสมุทรรุนแรงเกินไป ทำให้ทวีปขยับยู่ยี่ (จาก Begley, 1981)

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การเกิดแผ่นดินไหว

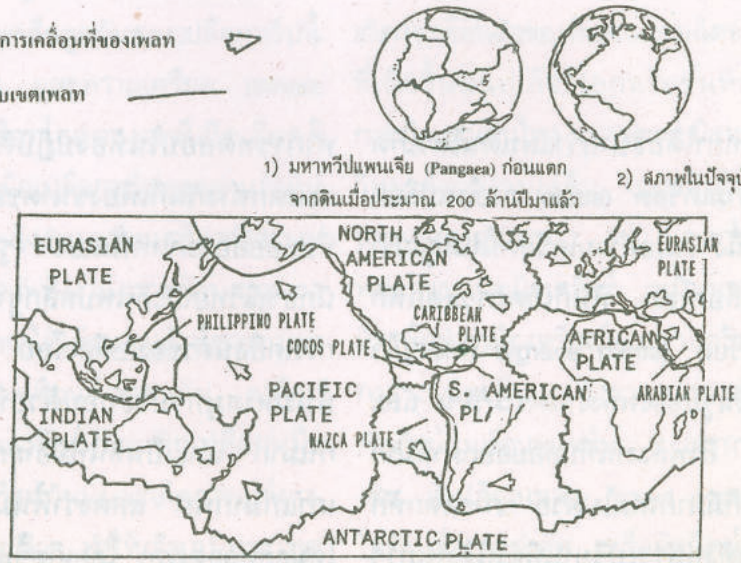
มีความเชื่อ สมมุติฐาน และทฤษฎีมากมายที่พยายามอธิบายการเกิดแผ่นดินไหว มนุษย์โบราณเชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการกระทำของพระเจ้า คนบางกลุ่มเชื่อว่าพระเจ้ากวาดทำความสะอาดพื้นมหาสมุทรรุนแรงเกินไป ทำให้เปลือกทวีปยับยู่ยี่ (รูปที่ 1) ต่อมามีความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้น มีการศึกษาค้นคว้า วิจัยในเรื่องนี้มากเพิ่มขึ้น เกิดทฤษฎีการเคลื่อนที่ของเปลือกทวีปในปี ค.ศ.1961 (รูปที่ 2) โดยนักธรณีวิทยาชื่อ โรเบิร์ต ไดเอทซ์ (Robert Dietz) ซึ่งในเวลาต่อมานำไปสู่การพัฒนาทฤษฎีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เรียกว่าทฤษฎี เพลทเทคโทนิค (Plate Tectonics) ทฤษฎีดังกล่าวมีใจความสำคัญว่า เปลือกโลกแต่เดิมเคยเป็นแผ่นเดียวกันประกอบเป็นผืนทวีปขนาดใหญ่เรียกว่ามหาทวีป แพนเจีย (Pangaea) ต่อมาเปลือกโลกดังกล่าวแตกออกจากกันเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า *เพลท* (Plate) แบ่งได้ 10 เพลทใหญ่ ๆ (รูปที่ 3) และตั้งชื่อเพลทตามชื่อของทวีป นอกจากเพลทใหญ่ ๆ ดังกล่าวแล้วยังมีเพลทเล็ก ๆ อีกมากมาย เพลทเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาในอัตราประมาณ 2-3 เซนติเมตรต่อปี การเคลื่อนไหวของเพลททำให้เกิด *ทวีปจร* (Continental Drift) เพลทต่าง ๆ เหล่านี้เริ่มมีการเคลื่อนที่มานมนานแล้วตั้งแต่เริ่มเกิดมีโลกขึ้นมา เพลทนี้เคลื่อนที่ได้เพราะแรงที่เกิดจากกระแสการพาความร้อน (Convection Current) ซึ่งเป็นกระบวนการทางพลศาสตร์จากการปล่อยความร้อนออกมาจากใจกลางของโลก (รูปที่ 2) การเคลื่อนที่ของเพลทนี่เองที่ทำให้เกิดการไหวสะเทือน นำไปสู่การเกิดแผ่นดินไหวภูเขาไฟระเบิด การเกิดพื้นมหาสมุทร การเกิดพื้นทวีป และการเกิดแหล่งแร่ต่าง ๆ เพื่อให้เข้าใจทฤษฎีเพลทเทคโทนิคดีขึ้น เราอาจเปรียบโลกให้เป็นเหมือนไข่ ให้เปลือกไข่แทนเปลือกโลก ไข่ขาวและไข่แดงแทนชั้นหินหนืดและแกนกลางของโลกตามลำดับ เมื่อทุบเปลือกไข่ให้แตกจากกัน เปลือกไข่จะไหลลอยไปบนไข่ขาวตามแนวแรงที่มากระทำ การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกก็อยู่ในลักษณะเช่นเดียวกันนี้



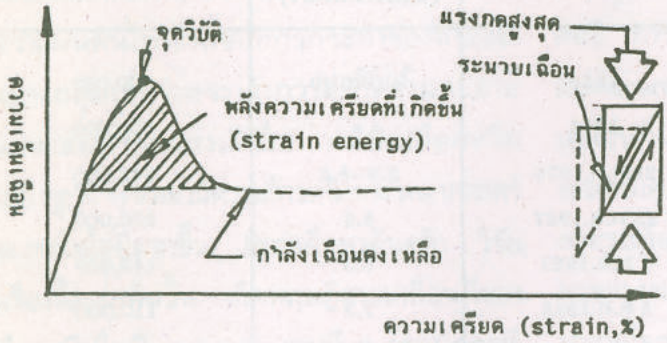
รูปที่ 2 เปลือกมหาสมุทรเกิดการเคลื่อนที่จากแรงที่เกิดจากกระแสการพาความร้อน (Convection Current)

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบความสูญเสียที่เกิดจากแผ่นดินไหว ครั้งสำคัญ (ดัดแปลงจาก Morganthau, et al, 1988)

สถานที่เกิดแผ่นดินไหว	ปี ค.ศ.	ความรุนแรง (มาตราริคเตอร์)	จำนวนผู้เสียชีวิต (คน)
ประเทศจีน	1556	ไม่มีข้อมูล	800,000
ประเทศญี่ปุ่น	1976	"	600,000
ประเทศจีน	28 ก.ค.1976	7.8–8.2	242,000
ประเทศจีน	22 พ.ค.1927	8.3	200,000
ประเทศญี่ปุ่น	1 พ.ย.1923	8.3	143,000
โซเวียต รัสเซีย	5 ต.ค.1948	7.3	110,000
ประเทศจีน	16 ธ.ค.1920	8.6	100,000
ประเทศอิตาลี	28 ธ.ค.1908	7.5	83,000
ประเทศจีน	26 ธ.ค.1932	7.5	70,000
ประเทศเปรู	31 พ.ค.1970	7.7	66,794
ประเทศกรีก	856	ไม่มีข้อมูล	45,000
อาร์มีเนีย รัสเซีย	7 ธ.ค.1988	6.9	40,000
ประเทศตุรกี	26 ธ.ค.1937	7.9	30,000
ประเทศอินเดีย	31 ธ.ค.1935	7.5	30,000
ประเทศเม็กซิโก	20 ก.ย.1985	8.1	10,000
ซานฟรานซิสโก แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา	17 ต.ค.1989	7.1	62

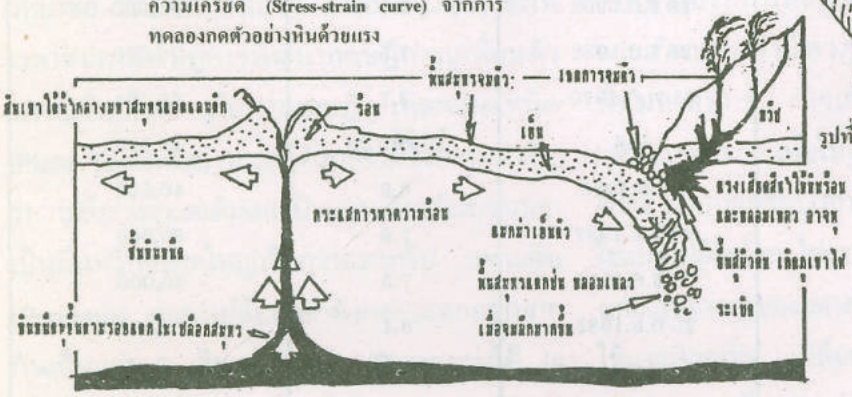


รูปที่ 3 ทวีปจรเกิดจากการที่เปลือกโลกแตกและแยกจากกัน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) จากการทดลองกดตัวอย่างหินด้วยแรง

รูปที่ 6 แผ่นดินไหวเกิดจากเพลทเสียดสีกันและกัน ในแนวระนาบหรือแนวดิ่งเมื่อผิวเกาะเกี่ยวกันจะเกิดความเค้นและความเครียด เมื่อเพลทเลื่อนหลุดจากกัน จะปล่อยพลังงานความเครียดออกมาในรูปความร้อนและการสั่นสะเทือน



รูปที่ 5 การเกิดพื้นมหาสมุทรใหม่ จากการพุของหินหนืดที่บริเวณสันเขาใต้น้ำกลางมหาสมุทรแอตแลนติก

นักธรณีวิทยาได้อธิบายว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสะสมความเครียด (strain) ภายในเปลือกโลกที่จุดใดจุดหนึ่ง เมื่อความเครียดนั้นมีสูงกว่ากำลังของหินเปลือกโลก หินก็เกิดการแตกหัก พลังงานความเครียด (strain energy) ที่สะสมไว้จะปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน และการสั่นสะเทือน ยิ่งพลังงานที่ปล่อยออกมามีมาก การสั่นสะเทือนก็มีมากตามไปด้วย การแตกหักของเปลือกโลกดังกล่าวเปรียบเทียบได้กับการแตกหักของตัวอย่างหิน หรือตัวอย่างคอนกรีตที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการกลศาสตร์หินจะแตกต่างกันก็เพียงขนาดของแรงและพลังงานที่ปล่อยออกมาเท่านั้นเอง (รูปที่ 4) นอกจากนี้นักธรณีวิทยายังค้นพบหลักฐานสำคัญ เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก นักธรณีวิทยาพบว่าพื้นมหาสมุทรประกอบด้วยหินที่มีอายุแตกต่างกันมาก และเป็นหินที่มีอายุกาลทางธรณีไม่ค่อยเก่าแก่มากนัก แสดงว่าพื้นมหาสมุทรมีการเกิดใหม่อยู่ตลอดเวลา โดยเกิดขึ้นที่รอยแตกตามแนวสันเขาใต้น้ำกลางมหาสมุทรแอตแลนติก (Mid

Atlantic Ocean-ridges) ดังแสดงในรูปที่ 5 ณ รอยแตกตามแนวสันเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติกนี้ หินหนืด (magma) จะพุออกมาจากใต้เปลือกโลก ไหลล้นออกไปตามพื้นมหาสมุทร แล้วเย็นแข็งตัวเป็นเปลือกมหาสมุทร และจะถูกผลักดันออกไปจากแนวสันเขากลางมหาสมุทรนี้เมื่อหินหนืดชุดใหม่พุออกมาแทนที่ หินเปลือกมหาสมุทรที่ถูกผลักดันออกไปนี้นานไปจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะเกิดการจมตัว (subduction) ลงสู่ชั้นหินหนืด (mantle) และหลอมละลายเป็นหินหนืดใหม่ต่อไป บริเวณที่เปลือกมหาสมุทรเกิดการจมตัวลง และถูกทำลายไปนี้เรียกว่า subduction zones และตามแนวดังกล่าวนี้จะเกิดแนวร่องลึก เรียกว่า trench วางตัวยาวตลอดแนวที่เกิดการจมตัวนี้ กระบวนการดังกล่าวจะเกิดเป็นวงวัฏจักรหมุนเวียนเป็นเช่นนี้ตลอดไป

นักธรณีวิทยากล่าวว่าหินที่เป็นเปลือกทวีปนั้นเบากว่าหินในเปลือกมหาสมุทร เหตุนี้เปลือกทวีปจะไม่จมตัวลงสู่ชั้นหินหนืด (mantle) แต่จะล่องลอยไปรอบ ๆ ผิวโลก เปลือกทวีปเหล่านี้บางครั้งเคลื่อนที่เสียดสีครูดกันและกันไปในทิศทางต่าง ๆ กัน การเสียดสีครูดกันของเปลือกทวีปนี้จะทำให้เกิดความเค้น และความเครียด (stress and strain) บนเปลือกโลกตรงจุดที่เกิดเสียดสีกันนั้น (รูปที่ 6) เมื่อเปลือกทวีปครูดผ่านกันไปก็จะเกิดการปล่อยพลังงานความเครียดที่สะสมไว้นั้นออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและแรงสั่นสะเทือน เป็นเหตุให้เกิดแผ่นดินไหวตามมา ในกรณีที่เปลือกทวีปเคลื่อนที่เข้าชนกัน เปลือกใดเปลือกหนึ่งจะมุดลงข้างใต้ของอีกเปลือกหนึ่ง และตรงขอบเปลือกที่ชนกันนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงปรากฏขึ้นที่พื้นผิว ทำให้เกิดภูมิประเทศแบบต่าง ๆ ขึ้น เช่น เมื่อเปลือกทวีปอินเดียเคลื่อนที่เข้าปะทะเปลือกทวีปเอเชียเมื่อประมาณ 50 ล้านปีที่ผ่านมา เป็นเหตุทำให้เกิดแนวเทือกเขาหิมาลัยขึ้นบนผิวโลก เป็นต้น ถ้าแรงเสียดสีที่เกิดจากการชนกันของเปลือกโลกมีมาก จะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก ทำให้เกิดภูเขาไฟระเบิดตามมาได้ เช่นการเกิดระเบิดของภูเขาไฟ เมาท์ เซนต์ เฮเลนส์ (Mount St. Helens) เมื่อปี ค.ศ.1980 ก็เกิดจากการชนกันของเปลือกมหาสมุทรแปซิฟิคกับเปลือกทวีปอเมริกา เป็นต้น

แผ่นดินไหวโดยทั่วไปแล้วพบว่าเกิดในบริเวณเปลือกทวีปที่มีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอดังกล่าวแล้ว ทางธรณีวิทยาเรียกบริเวณเหล่านี้ว่า tectonically active zones บริเวณดังกล่าวนี้ได้แก่ บริเวณรอบ ๆ มหาสมุทรแปซิฟิค (Circum-Pacific Belt) บริเวณเทือกเขาหิมาลัย เทือกเขาแอลป์ (The Alps) และบริเวณสันเขาใต้น้ำกลางมหาสมุทรแอตแลนติก นอกจากบริเวณดังกล่าวแล้ว แผ่นดินไหวอาจเกิดในบริเวณที่เป็นเขตกลางพื้นทวีปได้ เช่นแผ่นดินไหวในประเทศจีน ในปี ค.ศ.1975-76 และในมลรัฐมิซซูรี (Missouri) สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ.1811-12 การเกิดแผ่นดินไหวในกรณีนี้ เกิดจากการฉีดขาด หรือเกิดการเลื่อนตัวของหินตามรอยฉีดขาด (Fault) ที่เกิดขึ้นบนเปลือกโลกหรือชั้นหินบริเวณนั้น ๆ การเกิดแผ่นดินไหว นอกจากจะมีสาเหตุจากทางธรณีวิทยาดังกล่าวมาแล้ว แผ่นดินไหวอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การทดลองระเบิดนิวเคลียร์ เหมืองถล่ม การระเบิดหินเพื่อทำเหมืองหรือเพื่อการก่อสร้างทางวิศวกรรม การระเบิดเพื่อการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การกักเก็บน้ำในเขื่อนขนาดใหญ่ และการอัดฉีดของเหลว เช่น สิ่งปฏิกูลเหลว (liquid wastes) ลงสู่ชั้นหินใต้ดินเพื่อการกำจัด หรืออัดฉีดน้ำมันปิโตรเลี่ยมลงกักเก็บไว้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง เป็นต้น

มาตราวัดความรุนแรงแผ่นดินไหว

การวัดความรุนแรงแผ่นดินไหวมีหลายวิธี แต่ที่นิยมกันในปัจจุบัน ใช้มาตรากำหนดอันดับความรุนแรงแผ่นดินไหวออกเป็น 12 อันดับ (Mercalli Scale) โดยใช้ความรู้สึกของการสั่นสะเทือนต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น ส่วนขนาดแผ่นดินไหว เป็นการวัดปริมาณพลังงานที่ปล่อยออกมาจากศูนย์กลางแผ่นดินไหว คำนวณจากความสูงของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว มีหน่วยวัดเป็นมาตราริคเตอร์ (Richter scale) ขนาดและความรุนแรงแผ่นดินไหวและความเร่งขณะเกิดแผ่นดินไหวมีแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 2

แผ่นดินไหวทั่วโลกในรอบปี พ.ศ.2532

เชื่อว่าในรอบปี 2532 มีคนตายจากแผ่นดินไหวทั่วโลก อย่างน้อย 526 คน ในปี 2531 มีคนตายไม่น้อยกว่า 28,000 คน จะเห็นว่าจำนวนคนตายจากภัยแผ่นดินไหวนั้น มีแนวโน้มลดลง

ถ้านับเฉพาะแผ่นดินไหวรายสำคัญ ๆ กล่าวคือแผ่นดินไหวที่มีขนาดตั้งแต่ 6.5 ริคเตอร์ขึ้นไป หรือแผ่นดินไหวที่มีขนาดน้อยกว่า แต่มีความเสียหายมาก แผ่นดินไหวที่อยู่ในเกณฑ์ดังกล่าวมีทั้งสิ้น 55 ครั้ง ซึ่งพอสรุปความรุนแรงและความเสียหายดังนี้คือ 22 มกราคม เกิดในรัสเซีย ขนาด 5.3 ริคเตอร์ มีคนตาย 274 คน 19 กุมภาพันธ์ เกิดในประเทศญี่ปุ่น ขนาด 5.5 ริคเตอร์ มีคนตาย 1 คน 15 เมษายน เกิดในประเทศแอลจีเรีย ขนาด 5.9 ริคเตอร์ มีคนตายอย่างน้อย 30 คน 23 พฤษภาคม เกิดในหมู่เกาะแปซิฟิคตอนใต้ ใกล้เกาะ Macquarie Islands ขนาด 8.3 ริคเตอร์ ไม่มีรายงานความเสียหาย 26 มิถุนายน เกิดใน เกาะฮาวาย ขนาด 6.7 ริคเตอร์ ไม่มีรายงานความเสียหาย 1 สิงหาคม เกิดในประเทศอิหร่าน ขนาด 5.7 ริคเตอร์ มีคนตายอย่างน้อย 90 คน 8 สิงหาคม เกิดในแคลิฟอร์เนีย ขนาด 5.3 ริคเตอร์ มีคนตาย 1 คน 17 ตุลาคม เกิดในซานฟรานซิสโก แคลิฟอร์เนีย ขนาด 7.1 ริคเตอร์ คนตาย 62 คน 18 ตุลาคม เกิดในประเทศจีนตามแนวชายแดนจีน-มองโกเลีย ขนาด 6.1 ริคเตอร์ คนตาย 29 คน 20 ตุลาคม เกิดในหมู่เกาะ Kermedec Islands ในแปซิฟิคตอนใต้ ขนาด 8.1 ริคเตอร์ ไม่มีรายงานความเสียหาย 29 ตุลาคม เกิดในประเทศแอลจีเรีย ขนาด 6.0 ริคเตอร์ คนตาย 27 คน 15 ธันวาคม เกิดในหมู่เกาะมินดาเนา ประเทศฟิลิปปินส์ ขนาด 7.3 ริคเตอร์ คนตาย 2 คน และ 27 ธันวาคม เกิดในออสเตรเลีย ขนาด 5.5 ริคเตอร์ คนตายอย่างน้อย 11 คน

กล่าวโดยสรุปพบว่าในรอบปี 2532 เกิดแผ่นดินไหวขนาดความรุนแรง 7-8 ริคเตอร์ มีอยู่ 4 ครั้งใหญ่ ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว ข้อมูลจากสถานีตรวจแผ่นดินไหวทั่วโลกแสดงให้เห็นว่าในแต่ละปีเกิดแผ่นดินไหวที่สามารถตรวจวัดได้ประมาณ 10,000-12,000 ครั้ง ซึ่งมีขนาดความรุนแรงตั้งแต่ 1.0-8.0 ริคเตอร์ บางทีแผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรงสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวนั้น อาจเกิดขึ้นหลายล้านครั้งต่อปี แต่ส่วนใหญ่แล้วอาจจะเกิดในบริเวณห่างไกล ซึ่งตรวจวัดไม่ได้ แม้ว่าจะมีเครื่องมือที่ทันสมัยแล้วก็ตาม

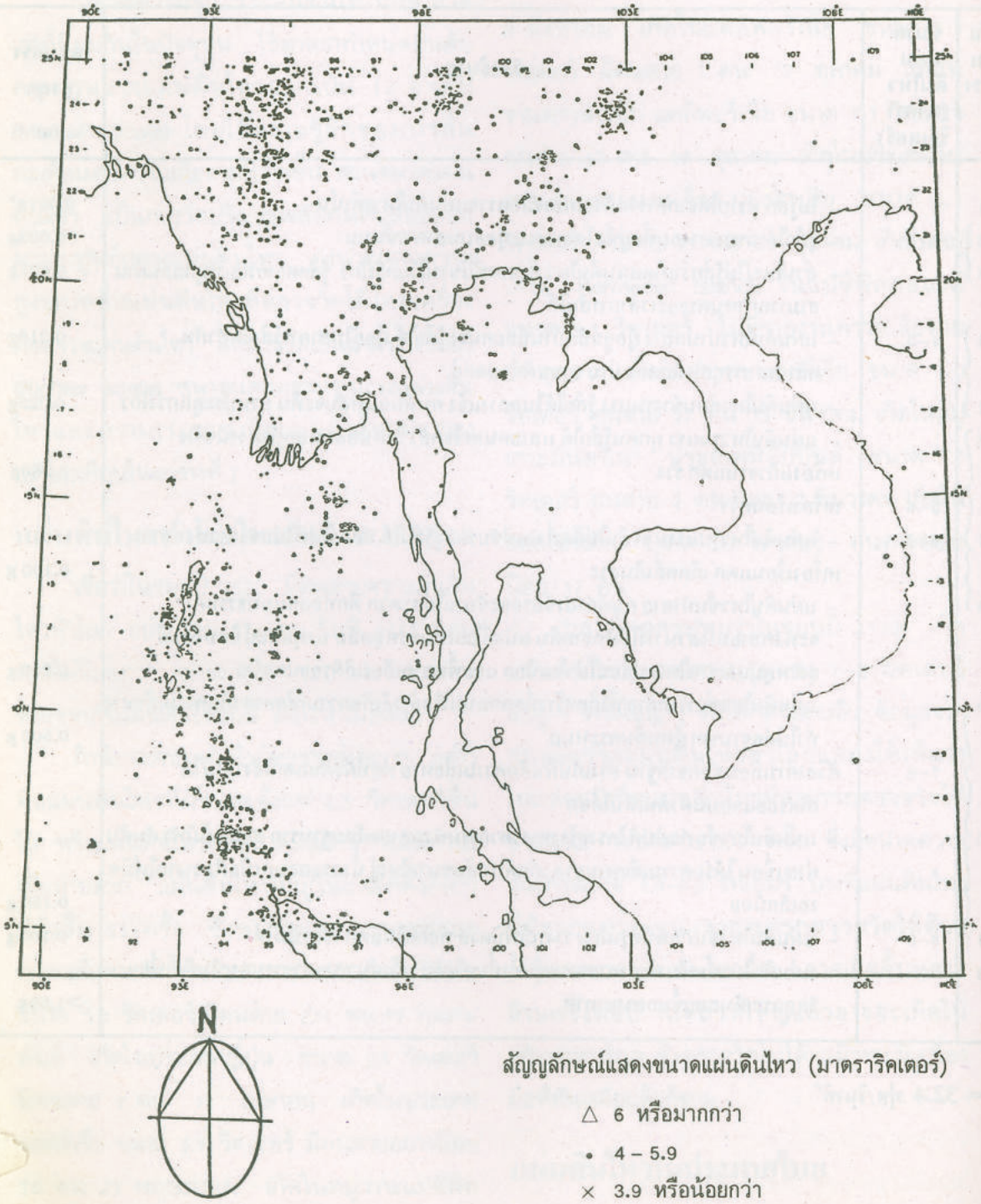
แผ่นดินไหวในประเทศไทย

จากประวัติแผ่นดินไหวในประเทศไทยพบว่า แผ่นดินไหวในประเทศไทยมีบันทึกไว้ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.1003 ในสมัยโยนกนคร ตรง

ตารางที่ 2 การวัดความรุนแรงแผ่นดินไหวตามมาตราของ เมอร์คาลลี่ (Mercalli Scale) เปรียบเทียบกับความเร่งสูงสุด และมาตราริคเตอร์ (Richter Scale).

ระดับความรุนแรง (I)	ขนาดแผ่นดินไหว (มาตราริคเตอร์)	คำอธิบาย	ความเร่งสูงสุด (a)
1		– ไม่รู้สึก ทราบได้จากการวัดด้วยเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวเท่านั้น	0.001g*
2	3–4	– รู้สึกได้เฉพาะบางคนที่อยู่นิ่ง โดยเฉพาะผู้อยู่บนอาคารชั้นบน	0.002g
3		– ส่วนใหญ่ไม่รู้สึกว่าเกิดแผ่นดินไหว สิ่งของที่แขวนไว้แกว่งไกว รู้สึกคล้ายรถบรรทุกแล่นผ่าน สามารถกำหนดระยะเวลาการสั่นได้	0.005g
4	4–5	– แผ่นดินไหวปานกลาง ผู้อยู่นอกบ้านน้อยคนจะรู้สึกได้ ผู้อยู่ในอาคารรู้สึกได้ทั่วกัน คล้ายรถบรรทุกหนักแล่นผ่าน รถยนต์ที่จอดอยู่	0.010g
5		– แผ่นดินไหวค่อนข้างรุนแรง รู้สึกได้ในกลางแจ้ง คนที่นอนหลับจะตื่น บานประตูแกว่งไกว	0.025g
6	5–6	– แผ่นดินไหวรุนแรง ทุกคนรู้สึกได้ หลายคนตกใจกลัว วิ่งหนีออกนอกบ้าน หน้าต่าง เครื่องแก้วจานแตก ร่วง เครื่องเรือนคว่ำ	0.050g
7	6–7	– แผ่นดินไหวรุนแรงมาก ยืนไม่ติดที่ คนที่ขับรถอยู่รู้สึกได้ ปล่องไฟที่ไม่แข็งแรงพังทลาย เครื่องเรือนแตก เกิดคลื่นในสระ	0.100 g
8		– แผ่นดินไหวขั้นทำลาย คนที่กำลังขับรถจะขับรถไม่สะดวก ตึกที่ออกแบบธรรมดาจะพังทลายบางส่วน กิ่งไม้หักจากต้น ผนังที่ไม่แน่นจะหลุดล้ม น้ำพุและน้ำในบ่อจะมีอุณหภูมิและการไหลเปลี่ยนไป ดินเปียก และพื้นลาดเอียงเกิดรอยแตกร้าว	0.250 g
9	7–8	– แผ่นดินไหวขั้นพังทลาย สิ่งก่อสร้างที่ออกแบบไว้อย่างดีเกิดความเสียหาย เกิดความเสียหายทั่วไปต่อฐานราก ผู้คนตื่นตระหนก ตัวอาคารเลื่อนออกจากฐาน อ่างเก็บน้ำเกิดความเสียหาย ท่อที่ฝังดินแตกใช้งานไม่ได้ เกิดรอยแยกบนผิวดินเห็นได้ชัด	0.500 g
10		– แผ่นดินไหวขั้นภัยพิบัติ โครงสร้างทางวิศวกรรมพังทลายพร้อมฐานราก สะพานไม้พัง คันดินฝาย เขื่อน ได้รับความเสียหายมาก เกิดดินถล่มขนาดใหญ่ น้ำกระฉอกเหนือฝั่ง รางรถไฟบิดงอเล็กน้อย	0.750 g
11	8–9	– แผ่นดินไหวขั้นภัยพิบัติรุนแรง รางรถไฟบิดงอ ท่อใต้ดินแตกใช้การไม่ได้	0.100 g
12		– แผ่นดินไหวขั้นพินาศ ทำลายหมดทุกสิ่งที่มองเห็น เส้นแนวสายตาการมองเห็นผิดเพี้ยน วัตถุกระเด็นลอยขึ้นกลางอากาศ	>1.00g

* g = 32.4 ฟุต/วินาที^{2}



รูปที่ 7 แผนที่แสดงเขตแผ่นดินไหวในประเทศไทย ประเทศพม่า อินโดจีน และหมู่เกาะอันดามัน-นิโคบาร์ (จาก Nutalaya and Sodsri, 1983)

กับวันเสาร์แรมเจ็ดค่ำเดือนเจ็ด เวลากลางคืน จนเวียงวังโยนกนคร ยุบจมลงเป็นหนองใหญ่ ผู้คนพินาศหมดสิ้น

ในเขตประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง กรมอุตุนิยมวิทยา รายงานว่าพบแนวจุดที่เกิดแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 12 จุด (รูปที่ 7) คือ บริเวณชายฝั่งตะวันตกของประเทศพม่า บริเวณที่ลุ่มภาคกลางด้านตะวันตกของพม่า บริเวณที่สูงภาคตะวันออกของพม่า บริเวณพรมแดนประเทศจีนกับประเทศพม่าตะวันออก บริเวณแนวเทือกเขาตะนาวศรีประเทศพม่าติดต่อพรมแดนประเทศไทยด้านตะวันตก บริเวณภาคเหนือประเทศไทย บริเวณตอนล่างประเทศจีนติดต่อพรมแดนประเทศลาวและเวียดนาม บริเวณแนวโค้งหมู่เกาะอันดามัน บริเวณทะเลอันดามันและบริเวณทะเลอันดามันติดต่อกับเกาะสุมาตรา ข้อมูลแผ่นดินไหวในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียง ตั้งแต่ 523 ปี ก่อนคริสตกาลจนถึงปี ค.ศ.1983 มีรายงานไว้โดยละเอียด Nutalaya and Sodsri (1983)

แม้ว่าแผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติที่ยากจะพยากรณ์ได้แม่นยำ แต่ใช่ว่าการเกิดแผ่นดินไหวจะไม่สามารถแก้ไข หรือหลีกเลี่ยงได้ มาตรการบรรเทา หรือป้องกันภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวนั้นมีหลายวิธี เช่น กำหนดเขตพื้นที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหว กำหนดมาตรฐานการสร้างอาคารเพื่อต่อต้านแรงจากแผ่นดินไหว หรือกระทั่งติดตั้งระบบเตือนภัย และฝึกซ้อมการหลบภัย หลักการปฏิบัติตัวเมื่อเกิดแผ่นดินไหว และฝึกซ้อมหน่วยบรรเทาสาธารณภัยเป็นต้น กระทรวงมหาดไทยและหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้ควรมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังเกี่ยวกับเรื่องนี้ เพื่อจะได้หามาตรการป้องกันแก้ไขล่วงหน้า ก่อนที่ภัยพิบัตินี้จะมาเยือนประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

1. ประสิทธิ์ สุขเจริญ, 2533, แผ่นดินไหว ภัยมัจจุราชที่ไม่อาจพยากรณ์ได้ หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ วันที่ 10 กันยายน 2533 หน้า 15
2. สัมพันธ์ สิงหราชวราพันธ์, 2532, ผลของการกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนต่อการเกิดแผ่นดินไหว วารสารวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ทางการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เล่มที่ 11 หน้า 107-111
3. หล้า อาจวิชัย, 2527, เพลทเทคโทนิค : การเคลื่อนที่ของพื้นมหาสมุทร เอกสารประกอบการสอน วิชา 313211 ธรณีวิทยาโครงสร้าง ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 19 หน้า
4. Arroy, A.L., Schenk, V., Mayer-Rosa, D., and Burton, P.W., Ed., 1984, Engineering Seismology : Special Issue, Engineering Geology, vol. 20, no. 1/2, pp. 1-205.
5. Begley, S., 1981, Geology's drift resisters, Newsweek, April, pp. 49.
6. Brecher, J., Sciolino, E., and Dallas, R., 1980, The Quake: The end of the world. Newsweek, Dec., pp. 22-24.
7. Cooper, N., and Hurt III, H., 1988, The lessons of Mexico City: Under the rubble. Newsweek, Dec.,pp.17.
8. Footlick, J.K., Carry, J., Abramson, P., and Contreras, J., 1980. What cuases earthquakes. Newsweek, Dec., pp. 25-26.
9. Hatchwell, P., 1990. Dealing with disaster. AGID NEWS, no., 61/62, Feb./May, pp.27-29.
10. Koppel, T., 1989. Earthquakes: Major quake overdue on the West Coast, Canadian Geographic, Aug./Sept., pp. 46-55.
11. Morganthau, T., Shogren, E., Malamud, P., and Whitmore, J., 1988. Hope and Tragedy. Newsweek, Dec. 19,pp.10-17.
12. Nutalaya, P., and Sodsri, S., 1983. Earthquakes Data of Thailand and Adjacent Areas 523 B.C.-1983 A.D. GST Special Publication no. 1 Geological Society of Thailand, 13 p. with 3 appendices.

ว.วิทย. มข. 18(4) : 213–217 (2533)

การหาจุดศูนย์กลางและจุดโฟกัสของภาคตัดกรวย

*สุชัย ตนัยอัชฌาวุฒ**

จากการสอบแข่งขันทักษะทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจัดโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในวันที่ 16 สิงหาคม 2533 มีปัญหาหนึ่ง คือ ให้หาจุดศูนย์กลางของวงกลม หาจุดโฟกัสของ พาราโบลา วงรี และไฮเพอร์โบลา โดยการกำหนดรูปมาให้ และมีอุปกรณ์ช่วยในการหาคือ วงเวียนกับไม้บรรทัด ผลปรากฏว่าส่วนใหญ่ทำกันไม่ค่อยได้ จึงถือโอกาสนี้นำมาเฉลย เพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจ ตลอดจนนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ $\{ (x,y) : Ax^2+By^2+Cx+Dy+E = 0 \}$ เราจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้จะมีกราฟเป็นรูปวงกลม พาราโบลา วงรี หรือไฮเพอร์โบลา ขึ้นอยู่กับว่าเราจัดสมการ $Ax^2+By^2+Cx+Dy+E = 0$ ซึ่งให้ชื่อว่าสมการ 1 แล้วได้เป็นสมการมาตราฐานอย่างไร

1. ถ้าสมการ 1 จัดได้เป็น $(x-h)^2 + (y-k)^2 = r^2$ แล้วจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้มีกราฟเป็นรูปวงกลมซึ่งมีจุดศูนย์กลางที่จุด (h,k) รัศมี r
2. ถ้าสมการ 1 จัดได้เป็น
   2.1 $(y-k)^2 = 4c(x-h)$ แล้วจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้มีกราฟเป็นรูปพาราโบลาซึ่งมี
   จุดยอดที่จุด (h,k)
   จุดโฟกัส $(h+c,k)$
   ไดเรกตริกซ์คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h-c$
   แกนพาราโบลา คือ เส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k$
   2.2 $(x-h)^2 = 4c(y-k)$ แล้วจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้มีกราฟเป็นรูปพาราโบลา ซึ่งมี
   จุดยอดที่จุด (h,k)
   จุดโฟกัส $(h,k+c)$
   ไดเรกตริกซ์คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k-c$
   แกนพาราโบลา คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h$
3. ถ้าสมการ 1 จัดได้เป็น $\frac{(x-h)^2}{u^2} + \frac{(y-k)^2}{v^2} = 1$ แล้วจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้มี

* อาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กราฟเป็นรูปวงรี ซึ่งมีจุดศูนย์กลางที่จุด (h,k) และ

3.1 ถ้า $u^2>v^2$ แล้ว จุดยอดอยู่ที่จุด $(h \pm u, k)$

จุดโฟกัสอยู่ที่จุด $(h \pm \sqrt{u^2-v^2}, k)$

แกนเอก คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k$

แกนโท คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h$

3.2 ถ้า $u^2 < v^2$ แล้ว จุดยอดอยู่ที่จุด $(h, k \pm v)$

จุดโฟกัสอยู่ที่จุด $(h, k \pm \sqrt{v^2-u^2})$

แกนเอก คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h$

แกนโท คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k$

4. ถ้าสมการ 1 จัดได้เป็น

4.1 $\frac{(x-h)^2}{a^2} - \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1$ แล้วจะได้ว่า ความสัมพันธ์นี้มีกราฟเป็นรูปไฮเพอร์โบลาที่มี

จุดศูนย์กลาง (h, k)

จุดยอด $(h \pm a, k)$

จุดโฟกัส $(h \pm \sqrt{a^2+b^2}, k)$

แกนตามขวางคือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k$

แกนสังยุค คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h$

4.2 $\frac{(y-k)^2}{a^2} - \frac{(x-h)^2}{b^2} = 1$ แล้วจะได้ว่าความสัมพันธ์นี้มีกราฟเป็นรูปไฮเพอร์โบลาที่มี

จุดศูนย์กลาง (h,k)

จุดยอด $(h,k \pm a)$

จุดโฟกัส $(k,k \pm \sqrt{a^2+b^2})$

แกนตามขวาง คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $x = h$

แกนสังยุค คือเส้นตรงที่มีสมการเป็น $y = k$

ต่อไปลองพิจารณาปัญหาในการสอบทักษะทางคณิตศาสตร์บ้าง

1. จงหาจุดศูนย์กลางของวงกลม

วิธีการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมนี้จะมีได้หลายวิธี ผู้เขียนขอแสดง 2 วิธีให้ดู

วิธีที่ 1

1) ลากคอร์ด AB และคอร์ด CD ขึ้นมา

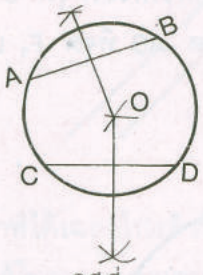
2) ลากเส้นตรงแบ่งครึ่งและตั้งฉากกับคอร์ด AB และคอร์ด CD พบกันที่จุด O จุด O นี้จะเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม

วิธีที่ 2

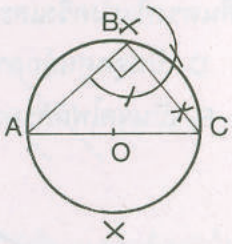
1) ลากคอร์ด AB

2) สร้างมุม ABC โดยให้ มุม B เป็นมุมฉาก

3) ลาก AC และแบ่งครึ่งด้าน AC ที่จุด O จะได้จุด O เป็นจุดศูนย์กลาง

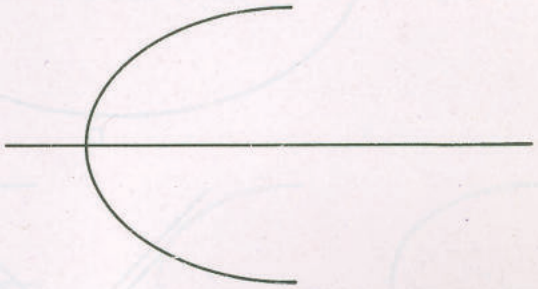


วิธีที่ 1



วิธีที่ 2

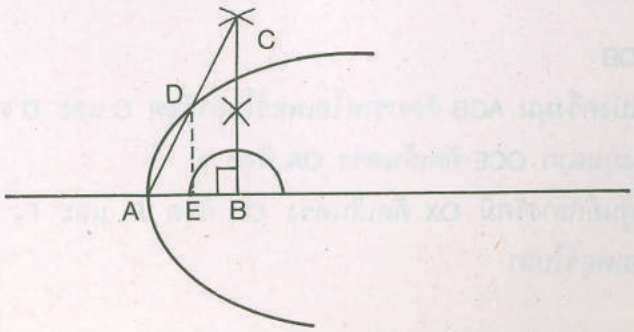
2. จงหาจุดโฟกัสของพาราโบลา



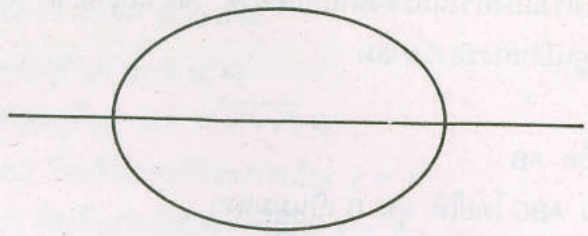
วิธีทำ 1) สร้างสามเหลี่ยม ABC โดยให้มุม B เป็นมุมฉาก และความยาวของ AB ต่อความยาว BC เป็นอัตราส่วน 1 : 2

2) ลากเส้นตรง AC ตัดกราฟพาราโบลาที่จุด D

3) ที่จุด D ลากเส้นตรงขนาน BC มาตัดแกนพาราโบลาที่จุด E จะได้จุด E เป็นจุดโฟกัสของพาราโบลา

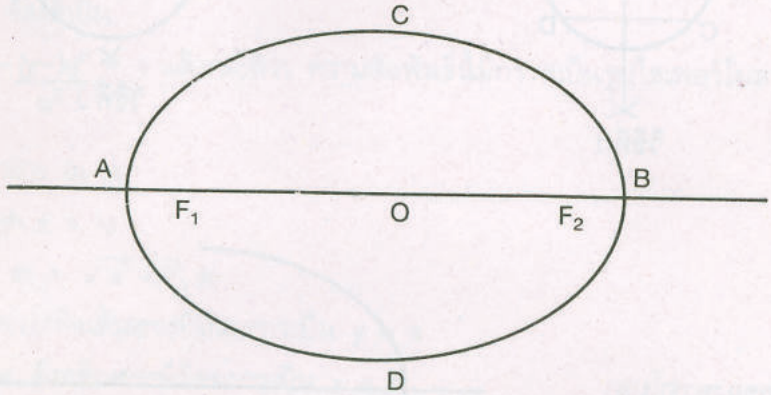


3. หาจุดโฟกัสของวงรี

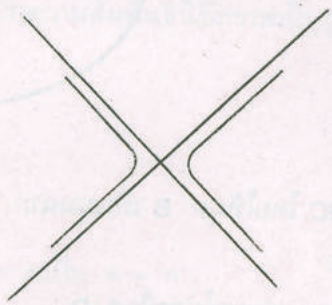


วิธีทำ 1) ลากเส้นตรงที่แบ่งครึ่งและตั้งฉากกับ AB ที่จุด 0 ตัดกราฟวงรีที่จุด C และ D ตามลำดับ

2) ใช้จุด C เป็นจุดศูนย์กลางรัศมี OB เขียนส่วนโค้งตัด AB ที่จุด F_1 และ จุด F_2 จะได้ จุด F_1 และ จุด F_2 เป็นจุดโฟกัสของวงรี



4. หาจุดโฟกัสของไฮเพอร์โบลา



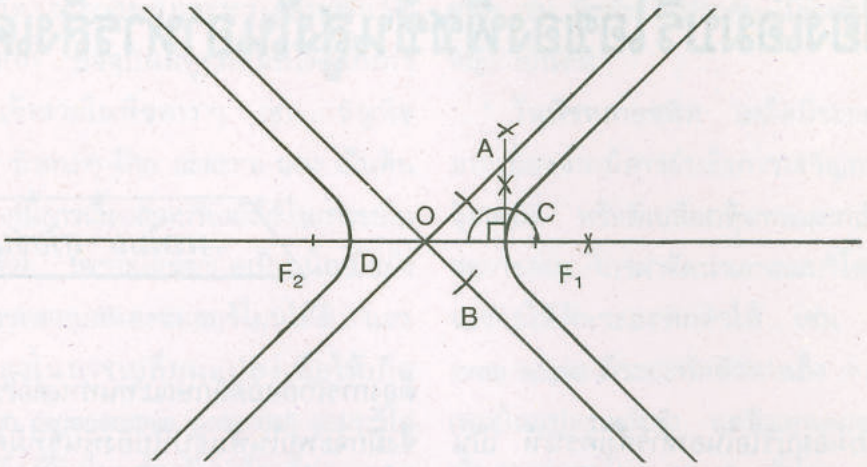
วิธีทำ

1) แบ่งครึ่งมุม AOB

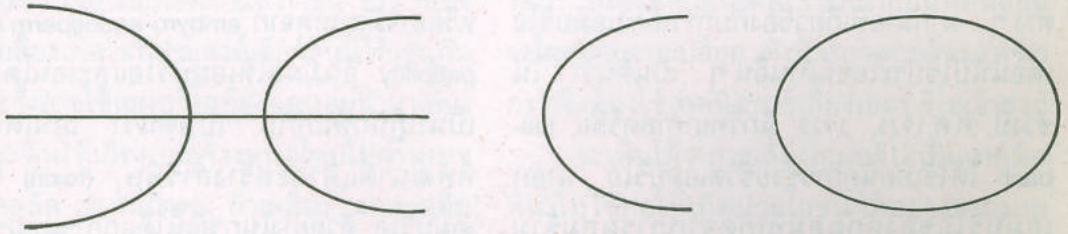
2) ลากเส้นตรงที่แบ่งครึ่งมุม AOB ตัดกราฟไฮเพอร์โบลาที่จุด C และ D ตามลำดับ

3) จากจุด C สร้างมุมฉาก OCE ตัดเส้นตรง OA ที่จุด X

4) ให้ O เป็นจุดศูนย์กลางรัศมี OX ตัดเส้นตรง CD ที่จุด F_1 และ F_2 จะได้ จุด F_1 และ จุด F_2 เป็นจุดโฟกัสของไฮเพอร์โบลา



จากปัญหาที่ได้เฉลยไปแล้วนี้ ผู้เขียนอยากทิ้งปัญหาให้ผู้ที่อ่านลองคิดต่อไปดูสิว่า ถ้าเรามีแต่กราฟของไฮเพอร์โบลาและแกนตามขวางแล้ว จะยังหาจุดโฟกัสได้ไหมและปัญหากรณีทั่ว ๆ ไป คือว่า ถ้าเรามีแต่กราฟพาราโบลา โดยไม่บอกแกนพาราโบลา เราจะมีวิธีอย่างไรที่จะได้แกนพาราโบลาและเช่นเดียวกันกับวงรี ถ้าเรามีแต่รูปของวงรี โดยไม่บอกแกนเอกเราจะมีวิธีสร้างอย่างไรที่จะได้แกนเอก



ว.วิทย. มข. 18(4) : 218–227 (2533)

การเลี้ยงเอมบริโอของพืชชั้นสูงในอาหารสังเคราะห์

*พรพิมล สุริยจันทราทอง**

1. บทนำ

การเลี้ยงเอมบริโอในอาหารสังเคราะห์ เป็นเทคนิคที่ได้มีการค้นคว้าวิจัยกันนานมาแล้ว ดังในปี ค.ศ.1904 Hannig ได้นำเอาเอมบริโอที่มีพัฒนาการสมบูรณ์ของพืชตระกูลกะหล่ำ 2 ชนิด คือ Cochleria และ Raphanus ออกมาเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อภายในหลอดแก้วที่มีอาหารสังเคราะห์ประเภทเกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ และน้ำตาล จนกระทั่งได้ต้นอ่อนที่สมบูรณ์สามารถย้ายปลูกได้ หลังจากนั้นเป็นต้นมา มีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงเอมบริโอเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เป็นต้นว่า ในช่วงปี ค.ศ.1925, 1929 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Laibach ได้ใช้เทคนิคการช่วยชีวิตเอมบริโอ นำเอาเอมบริโอของลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่าง *Linum perenne x L. austriacum* ออกมาเลี้ยงในสำลีชุบน้ำตาลจนกระทั่งได้ต้นอ่อนที่มีพัฒนาการสมบูรณ์ หากไม่ทำเช่นนี้ เอมบริโอลูกผสมจะไม่เจริญเป็นต้นอ่อน ดังนั้น Laibach จึงได้เสนอว่าในการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ที่ห่างไกลกันมาก ๆ อาจใช้เทคนิคการนำเอาเอมบริโอลูกผสมออกมาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์เพื่อให้มีพัฒนาการสมบูรณ์และทำให้ลูกผสมเจริญเป็นต้นพืชได้ โดยทั่วไปนักปรับปรุงพันธุ์พืชต้องการถ่ายทอดลักษณะทนทานต่อโรคและแมลงซึ่งมักจะพบในพันธุ์ป่าไปยังพันธุ์ที่มีคุณค่าในทางเศรษฐกิจ การผสมระหว่างสายพันธุ์ที่ห่างกัน (หากผสมกันได้) มักมีปัญหาในเรื่องการเจริญของเอมบริโอลูกผสม หลังจากมีการผสมเกสรแล้ว โดยอาจมีสาเหตุจากการพัฒนาที่ผิดปกติในเอนโดสเปิร์ม เช่นอาจจะไม่มีท่อลำเลียงเชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อต้นแม่ ทำให้เอมบริโอขาดอาหารไม่มีการเจริญพัฒนา ดังเช่นในกรณีของการผสมระหว่างยาสูบ *Nicotiana rustica* x *N. glutinosa* หรืออาจมีสาเหตุจาก embyro-endosperm incompatibility อันมีผลให้เอมบริโอและเอนโดสเปิร์มเป็นปฏิปักษ์แก่กัน เป็นต้นว่า เอนโดสเปิร์มที่พัฒนาดีแล้วจะสร้างสารพิษ (toxin) ทำลายเอมบริโอ ตัวอย่างในกรณีนี้ได้แก่การผสมระหว่าง *Lilium apeciosum-album* กับ *L. auratum* โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Emsweller และ Uhring รายงานว่าเอนโดสเปิร์มและเอมบริโอในเมล็ดพัฒนาได้เป็นปกติแต่ไม่เกิดเป็นต้นอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษา หรือเมื่อนำเมล็ดมาแช่น้ำเอมบริโอจะถูกทำลายโดยสารพิษจากเอนโดสเปิร์ม

การเลี้ยงเอมบริโอในอาหารสังเคราะห์จึงได้พัฒนามาเป็นเทคนิคในการช่วยชีวิตเอมบริโอ

* อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ที่ห่างไกลกันมาก ปัจจุบันมีลูกผสมที่ได้จากการใช้เทคนิคนี้เข้าช่วยในพืชต่าง ๆ เช่น ธัญพืช กะหล่ำต่าง ๆ ถั่วต่าง ๆ ฝ้าย มะละกอ แตง เป็นต้น

นอกจากนี้การเลี้ยงเอมบริโอยังใช้ในการขยายพันธุ์ได้อีกด้วย เพราะเอมบริโอเป็นเนื้อเยื่อยังอ่อน สามารถตอบสนองต่อฮอร์โมนได้ดี และมีศักยภาพสูงในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดอวัยวะ (high regenerative potential) เอมบริโอจึงเป็นเนื้อเยื่อที่ดีเยี่ยมสำหรับนำไปเลี้ยง และกระตุ้นให้มีการสร้างต้นพืชได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะการเลี้ยงเนื้อเยื่อธัญพืชมักนิยมใช้เอมบริโอที่ยังอ่อนเป็นเนื้อเยื่อตั้งต้น ซึ่งจะมีการสร้างแคลลัสเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีอ๊อกซินสังเคราะห์ เช่น 2,4-D แคลลัสที่สร้างขึ้นจากเนื้อเยื่อของสคิวเทลลัม (scutellum) จะสามารถพัฒนาไปเป็นยอดได้ดีที่สุดเมื่อนำไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่มี 2,4-D เอมบริโอในเมล็ดธัญพืชที่แก่แล้ว เช่น ข้าว ก็อาจนำมาใช้เลี้ยงเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันนี้ได้เช่นกัน ในบางครั้งอาจใช้เอมบริโอที่ยังอ่อนอยู่นำมาเลี้ยงและกระตุ้นให้เกิดการสร้างหน่อโดยไม่ผ่านการสร้างแคลลัส เช่นในถั่วพุ่ม ถั่วเหลือง โดยการเติมสารเร่งการเจริญประเภทไซโตไคนิน เช่น Kinetin, Benzyladenine หน่อที่เกิดนั้นจะมีกำเนิดจากทั้ง cotyledon และเกิดจาก embryonic shoot apex (ดูภาพปก) เมื่อได้หน่อที่เจริญแล้วสูงประมาณ 5 มม. ก็ทำการชักนำให้เกิดรากเกิดเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ขึ้น

เนื้อเยื่อเอมบริโอยังนิยมใช้เลี้ยงเพื่อกระตุ้นให้เกิดเอมบริโอเทียม (somatic embryo) โดยการชักนำของอ๊อกซินที่ความเข้มข้นสูง เอมบริโอเทียมมีข้อดีคือ มีทั้งยอด และรากจึงเปรียบเสมือนเป็นเมล็ดเทียม วิธีการนี้เกิดในพืชหลายชนิด เช่น พืชผัก ไม้ประดับ ไม้ยืนต้น พืชตระกูลหญ้า เป็นต้น

ในพืชหลายชนิด เมล็ดมีระยะพักตัวนานมากเนื่องจากมีสารยับยั้งการเจริญอยู่ในเปลือกหุ้มเมล็ด หรือมีเปลือกหุ้มหนามากเป็นอุปสรรคต่อการงอก การผ่าตัดนำเอาเอมบริโอออกมาเลี้ยงจะช่วยให้พ้นระยะพักตัวได้ เช่น แอปเปิลป่า (crab apple) มีระยะพักตัวนานถึง 9 เดือน หากเพาะในแปลงเพาะชำ แต่ถ้าเอาเอมบริโอออกมาเลี้ยงพบว่าภายใน 24-48 ชั่วโมง เมล็ดจะเริ่มงอก ในต้นอเมริกันฮอลลี่เมล็ดพักตัวนานถึง 3 ปี เพราะเอมบริโอยังไม่พัฒนาเต็มที่ การนำเอาเอมบริโอมาเลี้ยงจะใช้เวลาราว 2 อาทิตย์ เพื่อให้เอมบริโอพัฒนาได้สมบูรณ์ และสามารถงอกให้ต้นปกติได้

ในมะพร้าวกะทิ เอนโดสเปิร์มเป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม หากนำผลมะพร้าวกะทิไปเพาะจะไม่งอก เนื่องจากเอนโดสเปิร์มเน่าก่อนที่ต้นอ่อนจะโผล่ออกจากเปลือก ดังนั้นการเพาะต้นมะพร้าวกะทิจึงต้องใช้เทคนิคการเลี้ยงเอมบริโอเข้าช่วย

จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงเอมบริโอเป็นเทคนิคที่นำไปใช้ก่อให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมากมายในการปรับปรุงพันธุ์พืช การขยายพันธุ์พืช การหลีกเลี่ยงระยะพักตัวของเมล็ด และนอกจากนี้การเลี้ยงเอมบริโอยังนำไปใช้ในการศึกษาสรีรวิทยาของพัฒนาการเอมบริโอได้อีกด้วย

2. เทคนิค

2.1 การเตรียมเอมบริโอ การนำเอาเอมบริโอออกมาจากต้นพืชมาเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อในอาหารเทียมนั้นเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างยุ่งยาก สำหรับผู้ที่เพิ่งเริ่มศึกษาควรเลือกพืชที่มีเอมบริโอที่สามารถผ่าตัดเอาออกมาได้ง่ายได้แก่

เอมบริโอที่ได้พัฒนามาจนถึงขั้นสุดท้ายแล้ว หรืออาจใช้พืชที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ ควรพยายามคัดเลือกให้ได้เอมบริโอที่มีพัฒนาการอยู่ในขั้นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้เอมบริโอที่มีความสม่ำเสมอ เพื่อลดความผันแปรภายในการทดลอง นอกจากนี้เอมบริโอที่อยู่ในการพัฒนาการขั้นต่าง ๆ กันจะมีความต้องการอาหารไม่เหมือนกันอีกด้วย สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ที่ต้องการช่วยชีวิตเอมบริโอลูกผสม ควรนำเอาเอมบริโอออกมาเลี้ยงตั้งแต่อยู่ในพัฒนาการขั้นแรก ๆ ก่อนที่มันจะเริ่มมีการลีบ ฝ่อ เกิดขึ้น

การเตรียมเอมบริโอ เพื่อการผ่าตัดควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพัฒนาการของเอมบริโอที่จะศึกษาและลักษณะการฝังตัวของเอมบริโอเพื่อเป็นประโยชน์ในการผ่าตัดและมีดัชนีที่ใช้ในการเก็บฝักหรือเมล็ดเพื่อให้ได้เอมบริโอที่มีพัฒนาการในระยะที่ต้องการ ในการเลี้ยงเอมบริโอของถั่วพุ่มพันธุ์ IT82D-889 เราได้ทำการศึกษาพัฒนาการของเอมบริโอ โดยปลูกถั่วพุ่มในแปลงทดลองมีการดูแลรักษาอย่างดีเพื่อให้ต้นอยู่ในสภาพสมบูรณ์ จากนั้นทำการติดป้ายดอกถั่วพุ่มโดยเริ่มตั้งแต่ก่อนดอกบานหนึ่งวัน และติดไปจนกระทั่งฝักแก่ วิธีนี้เราจะทราบอายุของเอมบริโอได้โดยใช้วันหลังดอกบาน (Day after anthesis) เป็นหลัก ทำการเก็บตัวอย่างฝักถั่วพุ่มทุกวัน เพื่อนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของฝัก เมล็ด เอมบริโอและวัดขนาดความกว้างยาวของฝัก เมล็ด และเอมบริโอ แล้วบันทึกการพัฒนาในระยะต่าง ๆ ของ ฝัก เมล็ด เอมบริโอ จากการศึกษา ทำให้ทราบว่าเอมบริโอมีการฝังตัวอยู่ในเมล็ดในลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 และความกว้างฝักเป็นดัชนีที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดระยะพัฒนาการของเอมบริโอถั่วพุ่ม เช่น ถ้าต้องการเอมบริโอขนาดความยาว 0.14-0.20 มม. มีพัฒนาการอยู่ในระยะ pre-heart ควรเก็บฝักที่มีความกว้าง 2.0-2.3 มม. หากต้องการเอมบริโอขนาดความยาว 0.30-0.55 มม. มีพัฒนาการอยู่ในระยะ heart ควรเก็บฝักกว้าง 2.4-3.2 มม. (พรพิมล, 2533) ดัชนีที่กำหนดระยะพัฒนาการของเอมบริโอของถั่วเหลือง ก็คือ ความกว้างฝักเช่นเดียวกัน เช่น ถั่วเหลืองพันธุ์ William 79 เอมบริโอขนาด 0.2-0.4 มม. ในระยะ late heart อายุ 4-5 วัน ให้เลือกเก็บฝักกว้าง 3.0-3.7 มม. เอมบริโอขนาด 1.0-2.0 มม. ระยะ early cotelydonary อายุ 8 วัน ควรเก็บฝักกว้าง 7.0-9.0 มม.

2.2 การฟอกฆ่าเชื้อ เนื่องจากเอมบริโออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดเชื้อเพราะอยู่ใน ovule ที่อยู่ใน ovary อีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นจึงมักทำการฟอกฆ่าเชื้อ ovary เมล็ด หรือผล แล้วทำการผ่าตัดในสภาพปลอดเชื้อนำเอมบริโอออกมา โดยที่ต้องทำการผ่าตัดเอาเนื้อเยื่อที่อยู่รอบ ๆ เอมบริโอทิ้งไป การฟอกฆ่าเชื้อจึงอาจใช้วิธีการที่รุนแรงได้ สารที่นิยมใช้ในการฟอกฆ่าเชื้อได้แก่ สารละลายที่มีไฮโปคลอไรท์อยู่เช่น คลอร็อกซ์ (ความเข้มข้นที่ใช้ 1-10%) และเอธิลอัลกอฮอล์ (ความเข้มข้น 70%) ทั้งนี้มักจะเติมสารที่ทำหน้าที่เป็น wetting agent ลงไปด้วย (ความเข้มข้น 0.01-0.1%) ได้แก่ Tween 20, Tween 80, Teepol และ Mannoxoi เป็นต้น ในบางครั้งอาจทำความสะอาดด้วยน้ำยาผงซักฟอกเสียก่อนแล้วจึงนำมาฟอกฆ่าเชื้อก็ได้ การเขย่า การให้แรงสั่นสะเทือนโดยวิธี ultrasonic vibration หรือการฟอกฆ่าเชื้อเนื้อเยื่อในสภาพสูญญากาศจะช่วยให้น้ำยาซึมซาบไปได้ทั่วผิวที่ถูกฆ่าเชื้อได้ดียิ่งขึ้น สำหรับถั่วพุ่มนั้น เมื่อเก็บฝักมาแล้วจะล้างด้วยน้ำยาผงซักฟอก แล้วล้าง

น้ำให้สะอาด หลังจากนั้นจุ่มฝักถั่วในเอธิลอัลกอฮอล์ 70% ประมาณ 1 นาทีแล้วนำไปแช่ในสารละลาย คลอร็อกซ์ 1% ที่มี Tween 20 อยู่ด้วยประมาณ 10 นาที แช่ในสารละลายคลอร็อกซ์ 0.5% อีก 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นสะอาดปลอดเชื้ออีก 3-4 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที แล้วนำไปผ่าตัดได้ ในกรณีของถั่วสกุล Phaseolus มักฟอกฆ่าเชื้อฝักถั่วก่อนการผ่าตัดโดยใช้สารละลาย 60 g/l ของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 10 นาที สำหรับฝักถั่วเหลืองมีขนมาก การฟอกฆ่าเชื้อต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกาะอยู่ระหว่างขน โดยจุ่มฝักถั่วลงในเอธิลอัลกอฮอล์ 75% และคนประมาณ 1 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคลอร็อกซ์ 10% ที่มี Tween 20 อยู่ แล้วนำไปเข้าเครื่อง ultrasonic vibration 10 นาที เพื่อช่วยให้สารละลายแพร่และซาบซึมผ่านขนได้ดียิ่งขึ้น ส่วนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่นข้าวบาร์เลย์ ใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 5% 15 นาที ในข้าวโพดนั้นจุ่มเมล็ดในเอธิลอัลกอฮอล์ แล้วตามด้วยแช่ในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 2.6% อีก 5 นาที

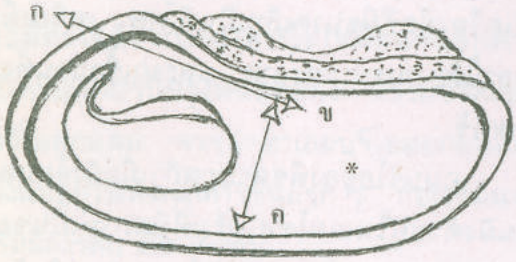
เมล็ดพืชที่มีเปลือกแข็ง เช่น Iris และ cyclamen มักจะต้องแช่น้ำก่อนสัก 2-3 ชม. จนถึง 2-3 วัน เพื่อให้ทำการผ่าตัดได้ง่าย ทั้งนี้อาจฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดก่อนหรือหลังแช่น้ำก็ได้ หากเมล็ดที่นำมามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อยู่ภายในเนื้อเยื่อ หรือหากว่าเกิดการปนเปื้อนระหว่างการผ่าตัดอาจจำเป็นต้องทำการฟอกฆ่าเชื้อเอมบริโออีกครั้ง การฟอกฆ่าเชื้อเอมบริโอมักใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เจือจางประมาณ 2.5% ในเวลา 5 นาที หรืออาจใช้ 10% ในเวลา 1-3 นาที ดังเช่นในเอมบริโอของข้าวสาลี จะช่วยลดการปนเปื้อนได้

2.3 การผ่าตัด การผ่าตัดกระทำภายในตู้ปลอดเชื้อ ควรมีกล้องจุลทรรศน์เสตอริโอที่มีหลอดไฟฟลูออเรสเซนท์ให้แสงช่วย โดยเฉพาะถ้าเป็นการผ่าตัดเอมบริโอที่มีขนาดเล็กมาก เครื่องมือที่ใช้ในการผ่าตัดมีปากคีบ เข็มเขี่ย มีดโกน และ พาสเจอร์ปิเปต ถ้าเอมบริโอมีขนาดเล็กต้องใช้เครื่องมือที่มีขนาดเล็กเป็นพิเศษ เครื่องมือเหล่านี้ต้องทำความสะอาด และฆ่าเชื้อก่อนที่จะนำมาใช้

เอมบริโอของพืชตระกูลถั่วเมื่อยังอ่อนอยู่นั้นฝังตัวอยู่ในเอนโดสเปิร์มที่มีสภาพเป็นของเหลว การผ่าตัดมักจะกระทำโดยผ่าตัดเมล็ดด้านติดกับพลาเซนตา ให้เป็นแนวยาว แล้วใช้เข็มเขี่ยปลายงอค่อย ๆ ดันให้เอมบริโอหลุดออกมาทางรอยเปิดนี้ ในเมล็ดข้าวที่อยู่ในระยะน้ำนมมีอายุ 10-18 วัน หลังผสมเกสร หรือในเอมบริโอที่มีขนาดเล็กมาก ๆ (ยาวประมาณ 0.5 มม.) มักใช้วิธีดังนี้คือ ใช้กรรไกรขนาดเล็กที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วตัดเมล็ดข้าวด้านที่ติดกับขั้วเมล็ดออกราว 2-3 มม. แล้วใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้จับปลายเมล็ดด้านที่ไม่ได้ตัด ออกแรงบีบเบา ๆ ให้เอมบริโอออกมาทางด้านรอยตัด

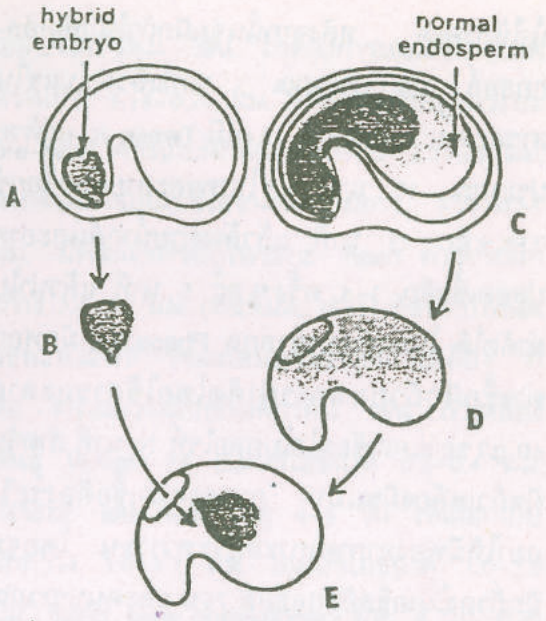
หากเป็นเอมบริโอของถั่วเหลืองหรือถั่วพุ่มแม้จะอยู่ในระยะแรก ๆ ของพัฒนาการ เช่นระยะ globular หรือระยะ heart ก็ตามมักจะมีเนื้อเยื่อบาง ๆ ของเอนโดสเปิร์ม ห่อหุ้มเอมบริโออยู่บ้างแล้วในขณะที่เอนโดสเปิร์มส่วนใหญ่ยังคงเป็นของเหลวอยู่ ดังนั้นการผ่าตัด โดยวิธีข้างต้นนี้จะไม่เหมาะสม เนื่องจากแรงที่ต้องผลักดันให้เอมบริโอหลุดออกจากเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มนั้นอาจมากจนกระทั่งเป็นอันตรายต่อเอมบริโอได้ สำหรับเอมบริโอของถั่วพุ่มนั้น การผ่าตัดกระทำโดยใช้เข็มเขี่ยด้ามสั้นปักยึดเอมบริโอ

ไว้ตรงตำแหน่ง * (ดูรูปที่ 1) แล้วใช้เข็มเขี่ยที่มีปลายรูปใบหอกกรีดตามแนว เส้น ก-ข และเส้น ข-ค เพื่อเปิดเปลือกเมล็ดออก แล้วใช้เข็มเขี่ยรูปใบหอกเขี่ยเอาเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มออก และช้อนเอาเอมบริโอออกมาเลี้ยงในอาหาร



รูปที่ 1. ไดอะแกรมแสดงการฝังตัวของเอมบริโอและการผ่าตัดเอมบริโอถั่วพุ่ม

เอมบริโอยิ่งมีขนาดเล็กมากยิ่งยุ่งยากมากต่อการเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ ถึงแม้ว่าจะมีการค้นคว้ากันอย่างมากเพื่อปรับปรุงสูตรอาหารให้เหมาะสม แต่ยังคงประสบปัญหาการเลี้ยง การช่วยชีวิตเอมบริโอที่มีขนาดเล็กมากอยู่ นักวิทยาศาสตร์ ได้พัฒนาเทคนิคโดยการใช้เนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มทำหน้าที่พี่เลี้ยง (Embryo-nurse endosperm transplant) ดังนั้นแทนที่จะนำเอมบริโอที่ผ่าตัดออกมาแล้ววางลงบนอาหารที่ใช้เลี้ยงโดยตรง ก็จะนำเอมบริโอนี้วางบนเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มที่ทำหน้าที่เป็นผู้อุปถัมภ์แล้วจึงวางเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มที่มีเอมบริโอใหม่ลงบนอาหารสังเคราะห์อีกทีหนึ่ง เทคนิคนี้ใช้ในการช่วยชีวิตเอมบริโอลูกผสมระหว่างข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี โดยเนื้อเยื่อพี่เลี้ยงเป็นเอนโดสเปิร์มจากข้าวบาร์เลย์ซึ่งควรมีอายุแก่กว่าเอมบริโอ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังช่วยให้ได้ลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามของพืชตระกูลถั่วสกุล Trifolium อีกด้วย (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 2 Endosperm transplant สำหรับการเลี้ยงเอมบริโอลูกผสมของ *Trifolium*, *Lotus* หรือ *Ornithopus* (A,B) นำเอาเอมบริโอลูกผสมออกจากเมล็ดมิเช่นนั้นจะไม่มีการพัฒนาของเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม (C) ในเมล็ดพันธุ์ที่มีการผสมระหว่างพันธุ์เดียวกัน และมีเอมบริโอในระยะ heart หรือ torpedo (D) ดันเอาเอมบริโอปกติออกทำให้รูเปิด (E) นำเอาเอมบริโอลูกผสมใส่ลงไปทางรูเปิดนั้นเพื่อเลี้ยงให้พัฒนาได้ตามปกติ

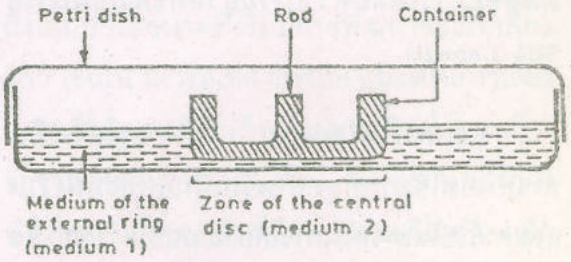
ข้อควรระวังในการผ่าตัดเอมบริโอขนาดเล็กตั้งแต่ระยะ heart ลงไปจนถึง globular คือพยายามไม่ให้ suspensor หลุดออก suspensor เป็นส่วนหนึ่งของเอมบริโอที่ยึดเอมบริโอให้ติดกับเนื้อเยื่อแม่ เป็นบริเวณที่มีการดูดอาหารในระยะแรก ๆ ของพัฒนาการเอมบริโอ จากผลการทดลองโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีกัมมันตภาพรังสีฉีดลงในเอนโดสเปิร์มของถั่วสกุล Phaseolus ในระยะ late heart พบว่าสารกัมมันตภาพรังสีไปปรากฏอยู่ใน suspensor นอกจากนี้ suspensor ยังเป็นบริเวณที่มีการสังเคราะห์ฮอร์โมนต่าง ๆ อย่างสำคัญอีกด้วยโดยเฉพาะฮอร์โมน

จิบเบอเรลลินซึ่งสร้างขึ้นอย่างมากมายในระยะ heart เอมบริโอขนาดเล็กที่ suspensor หลุดออกไปนั้นมักจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เมื่อนำมาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ ความล้มเหลวในการเลี้ยงเอมบริโอขนาดเล็ก เนื่องจากอาการบาดเจ็บเมื่อ suspensor หลุดออกไปก็เป็นสาเหตุสำคัญนอกเหนือไปจากการขาดอาหารและฮอร์โมน ฮอร์โมนจิบเบอเรลลินอาจทดแทนการขาด suspensor ได้ ความเข้มข้นที่ใช้คือ 5 mg L^{-1} Kinetin ก็สามารถกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอขนาดเล็กที่ไม่มี suspensor ได้เช่นกัน ความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 0.001–1.0 mg L^{-1}

เมื่อผ่าตัดเอาเอมบริโอออกมาแล้ว ควรรีบย้ายลงอาหารตั้งแต่ยังมีเอนโดสเปิร์มเหลวจับอยู่ หากสังเกตว่าย้ายไม่ทันและเอมบริโอเริ่มแห้ง ควรหยดน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อแล้วหรือหยดอาหารเหลวลงไปในระหว่างการผ่าตัดเพื่อป้องกันการเหี่ยว แล้วใช้เข็มเขี่ยที่มีปลายรูปใบหอกช้อนเอาเอมบริโอออกมาเลี้ยงในอาหาร

3. อาหารที่ใช้เลี้ยง

องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการเลี้ยงเอมบริโอระยะต่าง ๆ ก็คืออาหาร เอมบริโอขนาดเล็กมากต้องการอาหารที่ยุ่งยากกว่าเอมบริโอที่พัฒนาเต็มที่แล้ว ถ้าถือความต้องการอาหารเป็นหลัก เราอาจแบ่งพัฒนาการของเอมบริโอได้เป็นสองระยะคือ ระยะแรก เป็น heterotrophic phase ซึ่งในระยะนี้เป็นระยะที่เอมบริโอยังต้องพึ่งพาอาหารจากเอนโดสเปิร์ม และเนื้อเยื่อแม่ ส่วนระยะที่สองเป็น autotrophic phase ในช่วงนี้เอมบริโอสามารถสร้างสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญพัฒนาได้ ระยะที่ถือว่าสำคัญ คือช่วงระหว่างการเปลี่ยนจาก heterotrophic เข้าสู่ autotrophic phase จากการศึกษา พบว่าความต้องการอาหารสำหรับการเจริญในแต่ละช่วงพัฒนาการของเอมบริโอต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนอาหารให้แก่เอมบริโอหลังจากเลี้ยงให้พัฒนามาได้ระยะหนึ่ง การย้ายเอมบริโอขนาดเล็กทำได้ยาก นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Monnier จึงได้พัฒนาจานที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอของ *Capsella* ขนาดยาว 50 ไมครอน ระยะ early globular ไปจนกระทั่งพัฒนาการสมบูรณ์งอกเป็นต้นได้โดยไม่ต้องย้ายเอมบริโอ โดยใช้สูตรอาหารสองชนิด อยู่ในจานเดียวกัน (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 จานพิเศษที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอโดยมีอาหารสองสูตรอยู่ภายในจานเดียวกัน

ในจานเลี้ยงเอมบริโอดังกล่าวมีภาชนะแก้วเล็ก ๆ วางอยู่ตรงกลาง เทอาหารวุ้นสูตรที่หนึ่งลงในจานรอบ ๆ ภาชนะแก้ว อาหารสูตรที่หนึ่งนี้เมื่อเย็นและวุ้นแข็งแล้วจะเป็นวงภายนอกตรงกลางวงของอาหารสูตรที่หนึ่งจะมีอาหารสูตรที่สอง และจะวางเอมบริโอลงบนอาหารสูตรที่สองนี้ ระหว่างการเลี้ยงอาหารสองสูตรนี้จะมีการแพร่ผ่านถึงกันได้เอมบริโอจึงได้รับอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เลี้ยง

สูตรอาหารมักจะประกอบไปด้วยสารประเภทต่าง ๆ 5 ชนิด คือ

3.1 เกลืออนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สูตรอาหารที่นิยมใช้เลี้ยงเอมบริโอมี 3 สูตรได้แก่สูตรของ White สูตรของ Murashige and Skoog และของ Gamborg's (B5) ผู้ใช้ส่วนใหญ่มักเลือกใช้ส่วนที่เป็นเกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ ตามปริมาณที่ระบุไว้ในสูตรโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการเพิ่มปริมาณโปแตสเซี่ยมมีผลทำให้อัตราการรอดของเอมบริโอขนาดเล็กของข้าวบาร์เลย์สูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณโปแตสเซี่ยม แคลเซี่ยม พร้อม ๆ กับการเพิ่มปริมาณ micronutrients และลดปริมาณแอมโมเนียมและ FeEDTA มีผลต่อการเพิ่มอัตราการอยู่รอดของเอมบริโอของ *Capsella*

3.2 คาร์โบไฮเดรท น้ำตาลซูโครสเป็นสารที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับเป็นแหล่งพลังงานและคาร์โบไฮเดรทในการเลี้ยงเอมบริโอ อย่างไรก็ดีพบว่าน้ำตาลกลูโคสใช้ได้ดีไม่แพ้ซูโครสเช่นกัน น้ำตาลนอกจากจะให้พลังงานแล้วยังเป็นตัวปรับค่า osmolarity ของอาหารที่ใช้เลี้ยงอีกด้วย ทั้งนี้จากการทดลองวัดค่าแรงดันออสโมติคของ liquid endosperm ของเอมบริโอฝ้ายในระยะ heart พบว่ามีค่าถึง 10 atm และในเอมบริโอ *Caspella* ในระยะ torpedo มีค่าเท่ากับ 8.4 atm ดังนั้นจึงมักใช้ปริมาณน้ำตาลสูงในการเลี้ยงเอมบริโอขนาดเล็ก (heart) โดยทั่วไปมักใช้ซูโครส 8-12% ส่วนเอมบริโอขนาดใหญ่หรือพัฒนาเต็มที่แล้วใช้ปริมาณซูโครส 2% มีการศึกษาเพื่อยืนยันว่าการกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอเมื่อใช้น้ำตาลปริมาณสูงนั้นมีผลสืบเนื่องมาจาก ค่าแรงดันออสโมติคของอาหารที่ใช้ โดยทำการเลี้ยงเอมบริโอของแครอทในสูตรอาหารที่มีน้ำตาลคงที่คือ 2% และปรับค่าแรงดันออสโมติค ของอาหารให้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยใช้ mannitol (สารคาร์โบไฮเดรทที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อเซลล์) พบว่าเอมบริโอในระยะ pre-heart เจริญได้ดีเมื่อมี 2% mannitol (4.5 atm) และระยะ heart นั้นต้องการ 1% mannitol (3.2 atm) ในขณะที่เอมบริโอระยะ torpedo ไม่ต้องการ mannitol เลย แสดงว่าน้ำตาลซูโครส 2% นั้นเพียงพอต่อการเจริญของเอมบริโอหากต้องการมากกว่านั้นเพื่อนำไปใช้ปรับค่าแรงดันออสโมติค

อย่างไรก็ตาม ในเอมบริโอระยะ globular ของ *Capsella* ซึ่งปกติต้องการน้ำตาลซูโครส 12-18% ถ้าใช้ฮอร์โมน IAA (0.1 mg L^{-1}) และ kinetin (0.001 mg L^{-1}) กับ adenine sulphate (0.001 mg l^{-1}) เติมในสูตรอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส 2% พบว่าสามารถเลี้ยง embryo ในระยะ globular ของ *Capsella* ให้เจริญได้ดีเช่นกัน การเจริญพัฒนาของเอมบริโอในอาหารสังเคราะห์อาจขึ้นอยู่กับความต้องการของฮอร์โมนที่เฉพาะเจาะจงมากกว่าความต้องการในเรื่องค่าออสโมติคก็เป็นได้ นอกจากนี้ค่าออสโมติคสูงในอาหารที่ใช้ยังสามารถป้องกันการงอกก่อนถึงระยะพัฒนาการสมบูรณ์ของเอมบริโอได้ ในขณะที่ฮอร์โมน ABA ก็สามารถป้องกันได้เช่นกัน ทำให้คาดคะเนได้ว่าค่าแรงดันออสโมติคที่สูงนั้นอาจมีผลทางอ้อมต่อระดับฮอร์โมนต่าง ๆ ภายในเอมบริโอ

3.3 กรดอะมิโน กลูตามีนจัดว่าเป็นกรดอะมิโนที่มีประสิทธิภาพสูงในการกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอที่นำมาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ โดยพบว่าสามารถกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอจากพืชดอกทั้งหลาย 9 ตระกูลด้วยกัน กรดอะมิโนอีกชนิดที่ใช้กัน คือ แอส-

พาราจิน แต่ในพืชสกุล เช่น *Capsella, Arabidopsis, Reseda* กรดอะมิโนชนิดนี้มีผลยับยั้งการเจริญของเอมบริโอ

คาซีอีน ไฮโดรไลเซท (Casein hydrolysate : CH) เป็นสารประกอบของกรดอะมิโนหลาย ๆ ชนิด มักนิยมใช้เติมในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอ เนื่องจากสามารถกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอ และเพิ่มความสามารถของเนื้อเยื่อเอมบริโอในด้าน embryogenic differentiation CH กระตุ้นการเจริญโดยอิทธิพลส่งเสริมร่วมกันของกรดอะมิโนที่มีอยู่ใน CH ทั้ง 20 ชนิด ปริมาณของ CH ที่ใช้นั้นแล้วแต่ชนิดของพืช ปริมาณที่เหมาะสมในข้าวฟ่าง คือ 500 mg L^{-1} หากใน *Datura innoxia* และ *D. stramonium* ต้องการ 400 mg L^{-1} แต่ใน *D. tratula* ต้องการเพียง 50 mg L^{-1} CH และ กรดอะมิโนนั้นทนต่อความร้อนสูงได้ จึงผสมลงในอาหารพร้อมกับส่วนประกอบอื่น ๆ ได้ ความเข้มข้นที่มักใช้ในขั้นทดลองครั้งแรกคือ CH 10 g/l และกรดอะมิโนแต่ละชนิดใช้ 100 mg/l

ในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอมักมีวิตามินรวมอยู่ด้วยแต่วิตามินไม่ใช่สิ่งจำเป็นเสมอไป ในบางครั้งอาจยับยั้ง การเจริญของเอมบริโอด้วย ดังนั้นในการใช้วิตามินควรได้ทำการทดลองในระบบที่ศึกษาเสียก่อน หากจำเป็นต้องใช้จึงจะใส่ลงไป

3.4 สารจากพืช เอมบริโอนั้นถูกล้อมรอบอยู่ด้วยเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม ดังนั้นเอนโดสเปิร์มน่าจะมีสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของเอมบริโออยู่ หากมีการเติมเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มลงในอาหารที่เลี้ยงเอมบริโอ อาจไปมีผลกระตุ้นการเจริญเอมบริโอได้ Van Overbeek และคณะได้ทดลองใช้น้ำมะพร้าว (เอนโดสเปิร์มในรูปของเหลว) เติมลงในอาหารที่เลี้ยงเอมบริโอระยะ globular ของแครอท พบว่าเอมบริโอเหล่านี้เจริญได้ดีมากภายในช่วงหนึ่งอาทิตย์ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาน้ำมะพร้าวเป็นที่นิยมใช้ในอาหารเลี้ยงเอมบริโอ เนื้อเยื่อและอวัยวะทั่วไป น้ำมะพร้าวอาจทดแทนสารบางอย่างที่ขาดไป เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ฮอร์โมน และสารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเลี้ยงเนื้อเยื่อ

น้ำมะพร้าวมีผลกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอขนาดเล็กตั้งแต่ระยะที่มีเซลล์ไม่เกินหนึ่งเซลล์ เช่นในเอมบริโอของข้าวบาร์เลย์ จนถึงเอมบริโอขนาดที่เริ่มมีการพัฒนาของใบเลี้ยงแล้ว เช่นใน มะเขือเทศ แครอท แม้แต่ในการเลี้ยงเอมบริโอของเฟิร์นก็พบว่าการเติมน้ำมะพร้าวจะช่วยกระตุ้นการเจริญได้ดี อย่างไรก็ตามในบางพืช เช่นข้าวโพด ถั่วเหลือง (เอมบริโอขนาดเล็กกว่า 1 มม.) น้ำมะพร้าวไม่มีผลกระตุ้นการเจริญ น้ำมะพร้าวที่ใช้ผสมลงในอาหารพร้อมกับส่วนประกอบอื่น ๆ มักใช้ความเข้มข้น 15% (V/V) หลังจากพบว่าน้ำมะพร้าวสามารถกระตุ้นการเจริญได้ก็ได้มีการทดลองใช้สารสกัดจากเนื้อเยื่อพืช เช่น เนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม และเนื้อเยื่ออื่น ๆ ผสมลงในอาหาร เพื่อทดสอบอิทธิพลในด้านการกระตุ้นการเจริญาของเอมบริโอ ตัวอย่างของการใช้สารสกัดจากพืชเพื่อนำไปผสมในอาหารเลี้ยงเอมบริโอที่เป็นพืชชนิดเดียวกันกับที่นำมาสกัดสารและพบว่าได้ผลดี ได้แก่ การใช้สารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดเพื่อเลี้ยงเอมบริโอข้าวโพด สารสกัดจากเมล็ดของแครอทกระตุ้นการเจริญของเอมบริโอแครอท ส่วนสารสกัดจากพืชที่มีผลกระตุ้น

การเจริญของเอมบริโอจากพืชต่างชนิด ได้แก่ สารสกัดจากกล้วย หรือน้ำมะเขือเทศ กระตุ้นการเจริญของเอมบริโอของข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น

ข้อเสียของการใช้น้ำมะพร้าวก็ดี สารสกัดจากพืชก็ดี มักจะมาจากการที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของสารเหล่านี้ให้เหมือนกันได้ทุกครั้งที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นหากเป็นไปได้ควรใช้สารเคมีที่ทราบคุณลักษณะแล้ว และให้ผลได้ทัดเทียมกันจะดีกว่า

3.5 สารเร่งการเจริญเติบโต โดยทั่วไปสารเร่งการเจริญเติบโตไม่สู้จำเป็นนักในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอ นอกจากจะเป็นเอมบริโอขนาดเล็กมาก หรือเป็นการเลี้ยงเพื่อขยายพันธุ์ Raghavan พบว่าการเติมอ๊อกซินลงในอาหารนั้น มีผลยับยั้งการเจริญของเอมบริโอ และ Monnier ได้เสนอว่าการเติมฮอร์โมนลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงเอมบริโอ ทำให้มีพัฒนาการผิดปกติ และเนื้อเยื่อเอมบริโอเป็นเนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งผลิตฮอร์โมนที่สำคัญอยู่แล้ว เช่นการผลิต GA ใน suspensor ของถั่ว *Phaseolus*

อย่างไรก็ดีในการเลี้ยงเอมบริโอระยะ globular ของ *Capsella* พบว่าต้องใส่ IAA และ kinetin ในอาหารเอมบริโอจึงจะเจริญได้ และในการเลี้ยงเอมบริโอของบาร์เลย์ (ขนาดยาว 500 um) GA_3 และ kinetin มักจะกระตุ้นให้เกิดการงอกก่อนกำหนด พัฒนาการของต้นอ่อนผิดปกติ และอาจมีพัฒนาการโดยปกติได้ หากมีการเติม ABA ลงในอาหาร

อาหารที่เตรียมแล้วมักปรับให้มี pH อยู่ระหว่าง 5.4–7.5 แล้วแต่ชนิดของพืช และ ใช้วุ้นในการทำให้อาหารเป็นอาหารกึ่งแข็ง (6–8 g L^{-1}) สารอื่น ๆ ที่ใช้ในการพยุงเอมบริโอไม่ให้จมลงไปในอาหารได้แก่ polyacrylamides, silica gel, และ glass wool.

4. สิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปเอมบริโอเจริญได้ดีในอุณหภูมิ 25–30°C ส่วนความต้องการแสงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เช่น ในแครอทแสงไม่มีผลต่อการพัฒนาการ หากในบาร์เลย์ แสงยับยั้งการงอกก่อนกำหนด

5. ปัญหาที่มักพบในการเลี้ยงเอมบริโอ

ในการเลี้ยงเอมบริโอ มักจะประสบปัญหาเรื่อง การงอกก่อนมีพัฒนาการครบสมบูรณ์ (Precocious germination) ซึ่งมักแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณน้ำตาล การเติม CH และ ABA (ฮอร์โมนพืชยับยั้งการเจริญสามารถยับยั้งการงอกได้เช่นกัน) นอกจากนี้การผ่าตัดเพื่อให้ได้เอมบริโอที่สมบูรณ์ก็เป็นสิ่งสำคัญและต้องการการฝึกฝน เอมบริโอที่มีบาดแผลมักไม่สามารถพัฒนาได้ นอกจากนี้ ก็มีความยุ่งยากในการผ่าตัดเนื่องจากเป็นงานละเอียดทำให้ไม่สามารถเลี้ยงเอมบริโอจำนวนมากได้ในแต่ละวันจึงเป็นข้อจำกัดสำหรับจำนวน treatment อย่างไรก็ตามการเลี้ยงเอมบริโอเป็นเทคนิคที่มีปัญหาการเกิดการปนเปื้อนน้อยเมื่อเทียบกับการเลี้ยงเนื้อเยื่ออื่น ๆ

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ.ดร.อัจฉรา ธรรมถาวร และ ผศ.สุมนทิพย์ บุนนาค ที่กรุณา ตรวจ แก้ไขบทความนี้เพื่อให้ได้ใจความสมบูรณ์

บรรณานุกรม

Bhojwani S.S. and Razdan M.K. 1983. Zygotic Embryo Culture. In. Plant Tissue Culture : Theory and Practice p. 199-236.

Hu C. and Wang P. 1986. Embryo Culture : Technique and Applications. In Handbook of Plant Cell Culture Vol.4. Techniques and Applications. Edited by Evans DA, Sharp WR, and Ammirato PV. p. 43-96.

พรพิมล สุริยจันทราทอง 2533. การศึกษาการเจริญของเอมบริโอถั่วพุ่มตั้งแต่ระยะผสมเกสรจนถึงเจริญเต็มที่ รายงานการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางวิชาการ 53 หน้า.

.....อย่าปรารถนาที่จะเป็นสิ่งอื่นเลย นอกจากเป็นตัวของท่านเอง และพยายามทำให้สมบูรณ์แบบที่สุดก็แล้วกัน.....

"เซนต์ ฟรานซิส เดอ เซลล์"

ว.วิทย. มข. 18 (4) : 228–236 (2533)

ผลการลดปริมาณอาหารข้นควบคู่กับการสับใบผักตบชวาเป็นอาหารไก่งวงรุ่นในการเลี้ยงไก่งวงแบบเกษตรกรรายย่อย

เทอดศักดิ์ คำเหมือง[1/], กนก ผลารักษ์[1/], ทิพย์วัลย์ เอกปัต[2/], สมพงษ์ ฉายพุทธ[3/] และ พิทักษ์ ศรีประย่า[3/]

บทคัดย่อ

การทดลองนำใบผักตบชวามาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใช้เป็นอาหารไก่งวงรุ่นจำนวน 71 ตัว ตั้งแต่อายุ 4–8 สัปดาห์ ในคอกแปลงหญ้า ระหว่างฤดูฝน เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ.2526 เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ (91 วัน) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design มีวิธีการให้อาหาร 4 แบบ (treatment) 3 ซ้ำ (replication) ดังต่อไปนี้ วิธีที่ 1 ให้อาหารข้นกินเต็มที่เพียงอย่างเดียว วิธีที่ 2 ให้อาหารข้นประมาณ 75% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา วิธีที่ 3 ให้อาหารข้นประมาณ 50% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา วิธีที่ 4 ให้อาหารข้นประมาณ 25% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา ผลการทดลองปรากฏว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (4.725, 3.774, 3.575 และ 2.859 ตามลำดับ) การจำกัดปริมาณอาหารข้นและให้กินใบผักตบชวาสด จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่งวงรุ่นให้ดีขึ้น และมีผลต่อต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (18.99, 15.17, 14.37 และ 11.49 บาทตามลำดับ) อย่างไรก็ตามการจำกัดปริมาณอาหารข้นในไก่งวงรุ่น ไม่สามารถทำให้ไก่งวงรุ่นกินใบผักตบชวาได้มากขึ้น แต่กลับมีแนวโน้มทำให้ไก่งวงรุ่นกินใบผักตบชวาได้น้อยลง (0, 84.431, 79.193 และ 66.560 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) และอัตราการเจริญเติบโตมีแนวโน้มลดลง (30.693, 29.629 และ 25.565 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ)

ไก่งวงจะสามารถกินใบผักตบชวาได้ปริมาณสูงขึ้นเมื่อมีอายุมากขึ้น ดังนั้นเกษตรกรรายย่อยน่าที่จะนำใบผักตบชวามาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้ไก่งวงกิน ควบคู่กับการลดปริมาณอาหารข้นลงเหลือเพียงประมาณ 75% ของปริมาณที่กินเต็มที่ (วิธีที่ 2) จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตไก่งวง และลดปริมาณการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของผักตบชวา

[1/] ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[2/] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[3/] สายงานบริการงานวิจัยและพัฒนา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Abstract

Chopped Leaves of Water Hyacinth (CLWH) was used as feed for growing turkeys. Experimental turkeys were raised on the coverage of raising season from May to September, for 91 days in 1982. Completely Randomized Design (CRD) with four feeding trials and three replications was used for statistical analysis. Four proportions of concentrate feed and a surplus of CLWH were tested, i.e. 100% concentrate (trial 1), 75% concentrate + CLWH (trial 2), 50% concentrate + CLWH (trial 3) and 25% concentrate + CLWH (trial 4). Consequently, Feed Conversion Ratio (FCR) for four trials were significantly different, e.g. 4.725, 3.774, 3.575 and 2.859 respectively. As a result, diminution of concentrate feed for growing turkeys empasized better FCR than the full concentrate (trial 1), and the expenditure, per kilogramme of body weight gain, varies directly to FCR values, e.g. 18.99, 15.17, 14.37 and 11.49 bahts respectively. Reduced amounts of concentrate feed did not increase CLWH consumption, on the contrary, it reduced CLWH consumption as well as the growth rate. Howerver, CLWH consumption was observed to vary as adulthood and the deviation of growth rate was not meaningful.

In conclusion a consumption of 75% concentrate feed +CLWH (trial 2) is recommended this would reduce the cost of production and the rapid reinfestation of water hyacinth could be conclusively controlled.

คำนำ

ไก่งวงเป็นสัตว์ปีกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง เนื้อไก่งวงสามารถใช้ปรุงอาหารได้เช่นเดียวกับเนื้อไก่ เนื้อไก่งวงเป็นที่ยอมรับในการบริโภคของประชาชนคนไทย แนวทางในการเพิ่มแหล่งโปรตีนคุณภาพดีสำหรับเกษตรกรในชนบท อาจจะสามารถทำได้โดยการเลี้ยงไก่งวงฝูงเล็ก ๆ ไว้ตามหัวไร่ปลายนา หรือตามลานบ้านเช่นเดียวกับการเลี้ยงไก่พื้นเมือง ไก่งวงยังมีข้อได้เปรียบที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ ไก่งวงสามารถกินอาหารตามธรรมชาติจำพวกหญ้า ผลไม้สุก แมลง และเศษอาหารจากครัวเรือนของเกษตรกรได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการใช้อาหารข้นหรืออาหารผสมสำหรับไก่งวงในระยะเล็ก-รุ่น ยังมีความสำคัญต่อความแข็งแรงและการเจริญเติบโตของไก่งวง ซึ่งนับว่าเป็นภาระหนักสำหรับเกษตรกร ทั้งนี้เพราะสภาพความเป็นอยู่ เศรษฐกิจ และปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์ในหมู่บ้านบางแห่งหรือในบางฤดูกาล สัตว์เลี้ยงแทบทุกชนิดของเกษตรกรมักจะได้รับความกระทบกระเทือนต่อผลผลิต และความสามารถในการอยู่รอดลดต่ำลง การลดต้นทุนการผลิตด้านอาหารสัตว์กำลังมุ่งที่จะเสาะแสวงหาแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่น ผลพลอยได้ทางการเกษตร วัชพืชและอื่น ๆ มาทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์จำพวกเมล็ดธัญพืชซึ่งมีราคาแพง และเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในวงการอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ทุกวันนี้ สำหรับเกษตรกรรายย่อยในชนบทการลดต้นทุนการผลิตด้านอาหารสัตว์นั้นวิธีการหนึ่งก็คือ การลดปริมาณอาหารข้นลงให้เหลือปริมาณน้อยที่สุดที่จะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิต ในขณะเดียวกันก็ต้องจัดหาอาหารอื่น ๆ ที่พอจะหาได้โดยที่เกษตรกรไม่ต้องลงทุนเป็นตัวเงินมากนักจึงจะเกิดประโยชน์แก่เกษตรกร

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาแนวทางในการนำผักตบชวามาใช้เป็นอาหารไก่งวงที่เลี้ยงปล่อยในคอกแปลงหญ้า ในรูปใบผักตบชวาสดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้กินตลอดวัน และในขณะเดียวกันก็

จำกัดปริมาณอาหารข้นที่ใช้เลี้ยงไก่งวงรุ่นในแต่ละวัน โดยมุ่งที่จะศึกษาหาระดับการใช้อาหารข้นและใบผักตบชวาที่เหมาะสมกับไก่งวงระยะเจริญเติบโตในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารของไก่งวงระยะเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)

(2) ต้นทุนการผลิตด้านอาหารของไก่งวง (บาท/กิโลกรัม)

(3) ปริมาณใบผักตบชวาที่ไก่งวงกิน (กรัม/ตัว/วัน)

(4) อัตราการตายของไก่งวง (%)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์การทดลอง

1.1 สัตว์ทดลอง

ไก่งวงพันธุ์เบลท์สวิลล์อายุระหว่าง 4-8 สัปดาห์ คละเพศ จำนวน 71 ตัว จัดแบ่งออกเป็น 12 กลุ่ม (คอก) ๆ ละ 5-6 ตัว โดยอาศัยน้ำหนักตัวเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดในแต่ละกลุ่มมีไก่งวงขนาดโต ขนาดกลาง และขนาดเล็ก อยู่ในสัดส่วนเท่า ๆ กัน

1.2 อาหารสัตว์

องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรอาหารไก่งวงระยะต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนะในสูตรอาหารไก่งวง

รายการวัตถุดิบ	อายุไก่งวง (สัปดาห์)			
	4-8	8-10	10-12	12 ขึ้นไป
ปลายข้าว ข้าวโพด (กก.)	47.30	57.30	65.30	70.30
รำละเอียด (กก.)	10.00	10.00	10.00	10.00
กากถั่วเหลือง (กก.)	34.00	24.00	16.00	11.00
ปลาป่น (กก.)	5.00	5.00	5.00	5.00
กระดูกป่น (กก.)	2.50	2.50	2.50	2.50
เกลือป่น (กก.)	0.50	0.50	0.50	0.50
ไวตามิน (กก.)	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุ (กก.)	0.20	0.20	0.20	0.20
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
การคำนวณวิเคราะห์โดยประมาณ				
โปรตีน (%)	25.18	21.35	18.28	16.37
พลังงาน GE, Kcal/gm	4.27	4.23	4.19	4.17
แคลเซียม (%)	0.91	0.90	0.89	0.88
ฟอสฟอรัส (%)	0.39	0.41	0.42	0.43
ราคา (บาท/กก.)	4.94	4.53	4.22	4.02

1.3 คอกสัตว์ทดลอง

คอกทดลองในแปลงหญ้าขนาด 7.50 × 15.50 ตารางเมตร/คอก แต่ละคอกกั้นด้วยลวดตาข่ายสูงประมาณ 1.50 เมตร จำนวน 12 คอก แต่ละคอกมีพื้นที่สำหรับหลบแดดและฝน ตลอดจนเป็นสถานที่สำหรับตั้งถังอาหารและกระป๋องน้ำสำหรับไก่งวง

2. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ทรีทเมนต์ 3 ซ้ำ จำนวน 12 หน่วยทดลอง โดยมีวิธีการให้อาหาร 4 วิธีเป็นทรีทเมนต์ แผนผังคอกทดลองดังแสดงในรูปที่ 1

T1 ให้ไก่งวงได้รับอาหารข้นเต็มที่ (เป็นตัวเปรียบเทียบ)

T2 ให้ไก่งวงได้รับอาหารข้น 75% + ใบผักตบชวา

T3 ให้ไก่งวงได้รับอาหารข้น 50% + ใบผักตบชวา

T4 ให้ไก่งวงได้รับอาหารข้น 25% + ใบผักตบชวา

T4	T3
T4	T1
T1	T1
T2	T4
T3	T3
T2	T2

รูปที่ 1 แผนผังคอกไก่งวงในแปลงหญ้าจำนวน 12 คอก

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

น้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตอัตราการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการตายของไก่งวงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ จรัญ (2519)

ผลการทดลอง

(1) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบผักตบชวา

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างใบผักตบชวาซึ่งได้มาจากแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2 แห่ง คือ บริเวณบ่อน้ำเสีย และบ่อประมง มีส่วนประกอบของความชื้น (น้ำ) เถ้า โปรตีน และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่สำคัญ ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

(2) ผลการใช้ใบผักตบชวาควบคู่กับการจำกัดปริมาณอาหารข้นในไก่งวงรุ่น

การใช้ใบผักตบชวาสดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นอาหารไก่งวงรุ่นในคอกแปลงหญ้าฝูงละ 5-6 ตัว ควบคู่ไปกับการจำกัดปริมาณอาหารข้นสำหรับไก่งวงในระยะเติบโตมี 4 วิธีคือ ให้กินอาหารข้นเต็มที่ (วิธีที่ 1) ให้กินอาหารข้น 75% ของที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา (วิธีที่ 2) ให้กินอาหารข้น 50% ของที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา (วิธีที่ 3) และให้กินอาหารข้น 25% ของที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา (วิธีที่ 4) พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณใบผักตบชวาที่ไก่งวงกิน อัตราการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการตาย ในช่วง 91 วัน หรือ 13 สัปดาห์ของการทดลอง ดังต่อไปนี้

2.1 การเจริญเติบโตของไก่งวง (growth performance)

ไก่งวงที่ได้รับอาหารวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 3,369.44, 3,340.83, 2,788.89 และ 2,507.22 กรัมต่อตัวตามลำดับ ความแตกต่างของน้ำหนักตัวไก่งวงเมื่อสิ้นสุดการทดลองนี้มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในใบผักตบชวาสด

	บ่อน้ำเสีย (%)	บ่อประมง (%)
ความชื้น	88.73	86.44
เถ้าทั้งหมด	1.48	1.86
– เถ้าที่ละลายในกรด	1.47	1.84
– เถ้าที่ไม่ละลายในกรด	0.01	0.007
โปรตีน	0.45	0.34
แร่ธาตุที่สำคัญ		
– แคลเซียม	0.15	0.18
– โซเดียม	0.01	0.007
– โปแตสเซียม	0.04	0.07
– แมกนีเซียม	0.07	0.11
– แมงกานีส	0.001	0.01
– ทองแดง	0.003	0.006
– เหล็ก	0.003	0.002

ตารางที่ 3 น้ำหนักตัวไก่งวงเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ของการทดลองใช้ใบผักตบชวาควบคู่กับการจำกัดปริมาณอาหารข้น (กรัม/ตัว)

สัปดาห์ที่ของการทดลอง	ใช้อาหารข้นเต็มที่	ให้อาหารข้น 75% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 50% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 25% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวาสด
0(เริ่มต้น)	523.89	518.33	522.78	522.78
1	596.67	629.33	557.78	615.56
2	797.33	834.67	709.44	770.00
3	1,142.67	1,115.83	1,004.00	1,071.67
4	1,406.89	1,374.17	1,225.33	1,260.00
5	1,585.56[a]	1,485.83[ab]	1,218.67[bc]	1,123.44[c]
6	1,658.89	1,589.17	1,301.17	1,437.06
7	1,886.00[a]	1,855.00[ab]	1,517.11[b]	1,547.33[ab]
8	2,157.50[a]	2,054.17[ab]	1,650.00[bc]	1,525.67[c]
9	2,376.67[a]	2,210.00[ab]	1,824.72[bc]	1,684.22[c]
10	2,585.56[a]	2,439.17[ab]	1,980.28[bc]	1,801.67[c]
11	2,771.11[a]	2,785.17[a]	2,242.67[ab]	3,039.72[b]
12	2,983.33[a]	2,952.50[a]	2,463.06[ab]	2,275.00[b]
13	3,190.11[a]	3,085.00[ab]	2,634.17[ab]	2,469.44[b]
14	3,369.44[a]	3,340.83[a]	2,788.89[ab]	2,507.22[b]

ตารางที่ 4 ปริมาณใบผักตบชวาที่ไก่งวงสามารถกินได้เฉลี่ยในแต่ละช่วงสัปดาห์ของการทดลอง ใช้ใบผักตบชวาควบคู่กับการจำกัดปริมาณอาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)

สัปดาห์ที่ของการทดลอง	ใช้อาหารข้นกินเต็มที่	ให้อาหารข้น 75% ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 50% ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 25% ใบผัดตบชวาสด
1	–	0.00	0.00	0.00
2	–	32.00	23.61	28.97
3	–	54.10	44.36	48.10
4	–	74.17	64.81	52.70
5	–	82.64	67.12	62.74
6	–	90.87	72.34	52.92
7	–	90.34	77.00	51.45
8	–	92.50	95.43	67.17
9	–	94.64	92.94	66.18
10	–	89.31	97.22	69.35
11	–	93.63	90.08	76.07
12	–	100.66	91.11	95.63
13	–	99.76	98.09	95.08
14	–	102.98	115.40	98.93

ตารางที่ 5 อัตราการเปลี่ยนอาหารของไก่งวงรุ่นในแต่ละช่วงสัปดาห์ของการทดลองใช้ใบผักตบชวาควบคู่กับการจำกัดปริมาณอาหารข้น

สัปดาห์ที่ของการทดลอง	ใช้อาหารข้นกินเต็มที่	ให้อาหารข้น 75% ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 505 ใบผักตบชวาสด	ให้อาหารข้น 25% ใบผักตบชวาสด
0–1	–	–	–	–
1–2	1.883	2.423	2.195	2.077
1–3	1.765	1.856	1.929	1.831
1–4	1.895	1.996	2.082	2.187
1–5	2.224[a]	2.368[a]	2.703[ab]	3.144[b]
1–6	2.757	2.702	3.115	2.717
1–7	3.030	2.792	3.303	3.303
1–8	3.245	2.977	3.460	3.522
1–9	3.528	3.212	3.472	3.438
1–10	3.791	3.335	3.529	3.352
1–11	4.097[a]	3.419[ab]	3.408[ab]	3.079[b]
1–12	4.317[a]	3.489[ab]	3.400[b]	2.851[b]
1–13	4.508[a]	3.737[ab]	3.466[b]	2.754[b]
1–14	4.725[a]	3.774[ab]	3.575[b]	2.859[b]

ตารางที่ 6 ผลการจำกัดอาหารข้นควบคู่กับการใช้ใบผักตบชวาที่มีต่อสมรรถนะในการผลิตไก่งวงรุ่น

	ให้อาหารข้น กินเต็มที่	ให้อาหารข้น 75% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา	ให้อาหารข้น 50% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา	ให้อาหารข้น 25% ของปริมาณที่กินเต็มที่ + ใบผักตบชวา
ระยะเวลา (วัน)	91	91	91	91
อัตราการตาย (%)	28.89	28.89	50.00	50.00
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม ตัว/วัน)	144.497[a]	109.102[ab]	104.497[bc]	73.867[c]
ปริมาณใบผักตบที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)	–	84.431	79.193	66.560
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)	30.693	29.011	29.629	25.565
อัตราการเปลี่ยนอาหาร	4.725[a]	3.774[ab]	3.575[b]	2.859[b]
ต้นทุนการผลิตค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	18.99[a]	15.17[ab]	14.37[b]	11.49[b]

อัตราการเจริญเติบโตของไก่งวงในช่วง 91 วัน (หรือ 13 สัปดาห์) ของการทดลองใช้ใบผักตบชวาเป็นอาหารไก่งวงมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.693, 29.011, 29.629 และ 25.565 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตไม่มีนัยสำคัญ

2.2 การกินอาหารและการกินใบผักตบชวาของไก่งวง (feed consumption)

การเก็บข้อมูลปริมาณอาหารข้นที่กินและใบผักตบชวา เริ่มในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองไปจนถึงสัปดาห์ที่ 14 เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ หรือ 91 วัน พบว่าไก่งวงที่กินอาหารวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 กินอาหารเฉลี่ยประมาณ 144.497, 109.102, 104.497 และ 73.867 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ

ปริมาณใบผักตบชวาที่ไก่งวงกินได้เฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 0, 84.431, 79.193 และ 66.560 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ

2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion)

อัตราการเปลี่ยนอาหารหรือปริมาณอาหารที่ไก่งวงใช้ในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ของไก่งวงที่ได้รับอาหารวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 4.725, 3.774, 3.575 และ 2.859 ตามลำดับ ความแตกต่างของอัตราการเปลี่ยนอาหารนี้มีนัยสำคัญ

2.4 ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่งวง

ไก่งวงที่ได้รับอาหารโดยวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 มีต้นทุนค่าอาหารข้นในการเพิ่ม

น้ำหนักตัวไก่งวง 1 กิโลกรัม เฉลี่ยเท่ากับ 18.99, 15.17, 14.37 และ 11.49 บาทตามลำดับ ความแตกต่างของต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่งวงนี้มีนัยสำคัญ

2.5 อัตราการตาย (mortality)

ไก่งวงที่ได้รับอาหารวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 มีอัตราการตายเฉลี่ย 38.89%, 28.89%, 50% และ 50% ตามลำดับ ความแตกต่างของอัตราการตายระหว่างวิธีการให้อาหารไม่มีนัยสำคัญ

วิจารณ์

การจำกัดปริมาณอาหารข้นในไก่งวงรุ่นมีแนวโน้มว่าจะทำให้ไก่งวงกินใบผักตบชวาได้น้อยลง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไก่งวงลดลงด้วย และน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองของไก่งวงที่ถูกจำกัดปริมาณอาหารข้นในปริมาณสูง จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำกว่าพวกที่ถูกจำกัดอาหารข้นในปริมาณน้อย ไก่งวงพวกที่ได้รับอาหารข้น 25% + ใบผักตบชวา จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำสุด ในขณะที่ไก่งวงที่ได้รับอาหารข้นเต็มที่แต่ไม่ได้รับใบผักตบชวาเลยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงสุด นั่นแสดงให้เห็นว่าปริมาณอาหารที่ไก่งวงได้รับไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายในระยะที่กำลังเจริญเติบโต โภชนะต่าง ๆ ที่ไก่งวงควรจะได้รับจากใบผักตบชวาสดก็ไม่สามารถจะทดแทนได้เพียงพอ ทั้งนี้เพาะโภชนะต่าง ๆ ที่มีอยู่ในใบผักตบชวาสดมีอยู่ในปริมาณน้อยมาก ประกอบกับปริมาณใบผักตบชวาที่ไก่งวงกินในแต่ละวันประมาณไม่เกิน 100 กรัม/ตัว/วัน ผลเสียจากการจำกัดปริมาณอาหารข้นจึงปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในวิธีการให้อาหารวิธีที่ 4 อย่างไรก็ตามในการให้อาหารข้นระดับ 75% และ 50% + ใบผักตบชวาสดให้ผลการทดลองในแง่ของอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อยู่ในระดับที่น่าพอใจ คือ แตกต่างจากไก่งวงพวกที่ให้อาหารข้นกินเต็มที่เพียงอย่างเดียวอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจากปริมาณอาหารข้นที่ไก่งวงได้รับเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน) ตลอดการทดลองระหว่างวิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

อัตราการเปลี่ยนอาหารของไก่งวงตลอดระยะเวลา 13 สัปดาห์ การให้อาหารวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4.725, 3.774, 3.575 และ 2.859 ตามลำดับ แสดงให้เห็นผลดีของการจำกัดอาหารข้นควบคู่ไปกับการใช้ใบผักตบชวาว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อลดปริมาณอาหารข้นลง สำหรับผลดีของการใช้ใบผักตบชวานั้นนอกจากประเมินผลได้จากคุณค่าทางโภชนะที่เราสามารถวิเคราะห์ได้ ซึ่งแม้ว่าจะมีปริมาณไม่สูงนัก แต่โภชนะบางตัวเป็นโภชนะที่ร่างกายสัตว์มีความต้องการในปริมาณที่น้อย (micro element) หรือไวตามินต่าง ๆ ที่รายงานไว้โดย Wanapat et al. (1984) ที่พบในใบผักตบชวา เช่น B-carotene, niacin, pantothenic acid, riboflavin และ thiamine ฯลฯ โปรตีนจากใบผักตบชวายังพบว่ามีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่มีประโยชน์สำหรับปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนในสูตรอาหารไก่งวงให้มีความสมดุลย์ดีขึ้นได้ โภชนะต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดประโยชน์โดยตรงแก่ไก่งวง นอกจากนี้ใบผักตบชวาอาจเป็นอาหารหยาบสำหรับไก่งวงที่มีส่วนช่วยให้อาหารข้นมีความฟ่ามมากขึ้น น้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารสามารถแทรกซึมเข้าย่อยโภชนะอื่นได้ทั่วถึงดียิ่งขึ้น ผลการ

ทดลองนี้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับรายงานการเลี้ยงห่านในแปลงหญ้าผสมถั่วของ กนก และคณะ (2521) ที่กล่าวไว้ว่า การจำกัดปริมาณอาหารครึ่งหนึ่ง (50%) มีประสิทธิภาพดีกว่าการให้อาหารแบบไม่จำกัดปริมาณอาหาร

อัตราการตายของไก่งวง ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 ของการทดลองนั้นมีไก่งวงตายเกือบทุกคอก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเกิดพายุดีเปรสชั่นฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน ไก่งวงที่เลี้ยงในคอกแปลงหญ้าจึงเปียกฝนทั้งกลางวันและกลางคืน ป่วยและตายในระหว่างการทดลอง มีการให้ยาปฏิชีวนะละลายน้ำตั้งทิ้งไว้ให้ไก่กินบ้างในช่วงที่ไก่งวงได้รับสภาพแวดล้อมจากดินฟ้าอากาศที่เลวร้าย แต่ไม่สามารถช่วยป้องกันโรคหรือลดอัตราการตายของไก่งวงในแปลงทดลองได้

สรุป

(1) ใบผักตบชวาสดที่นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ตั้งทิ้งให้ไก่งวงกินเป็นอาหารควบคู่กับการจำกัดปริมาณอาหารข้นนั้น มีองค์ประกอบทางโภชนะต่าง ๆ ในปริมาณน้อยมาก และมีความแตกต่างกันตามชนิดของแหล่งน้ำที่ผักตบชวาเจริญอยู่บ้างเล็กน้อย

(2) ปริมาณการกินใบผักตบชวาสดของไก่งวงระยะรุ่นที่ให้อาหารข้นเต็มที่, การให้อาหารข้น 75% + ใบผักตบชวา, การให้อาหารข้น 50% + ใบผักตบชวา และการให้อาหารข้น 25% + ใบผักตบชวา มีค่า 0, 84.431, 79.193 และ 66.560 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ

(3) ในสภาพการเลี้ยงไก่งวงรุ่นแบบเกษตรกรรายย่อย วิธีการให้อาหารแบบจำกัดอาหารข้นลงเหลือประมาณ 75% ของปริมาณที่กินเต็มที่ใบผักตบชวาสดให้กินเต็มที่ตลอดเวลาเป็นวิธีการเลี้ยงที่เหมาะสมที่สุด โดยจะมีสมรรถนะในการผลิตดังต่อไปนี้

3.1 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 29.011 กรัม/ตัว/วัน

3.2 น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่ออายุประมาณ 20 สัปดาห์ เท่ากับ 3,340.83 กรัม/ตัว

3.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเฉลี่ย 3.774

3.4 ต้นทุนการผลิตค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ประมาณ 15.17 บาท

3.5 อัตราการตายเฉลี่ย 28.89%

เอกสารอ้างอิง

กนก ผลารักษ์, เยาวมาลย์ ค้าเจริญ, สุมาลี สุทธิประดิษฐ์ และสนอง เทียบศรี. 2521. การเลี้ยงห่านในแปลงหญ้า (2) การเลี้ยงห่านในแปลงหญ้าถั่วผสม. รายงานประจำปี 2520-21. งานวิจัยการเลี้ยงห่านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยความร่วมมือของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการพัฒนาการปศุสัตว์ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) กรมปศุสัตว์ สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์ท่าพระ และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จรัญ จันทลักขณา. 2519. สถิติวิธีวิเคราะห์และการวางแผนงานวิจัย. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

Wanapat, M., S. Wanapat and S. Chanthai. 1984. Variation of Water Hyacinth *(Eichhornia crassipes*, Mart). Paper presented Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, January 30-31, 1984.

ว.วิทย. มข. 18 (4) : 237–238 (2533)

เครื่องดอกไม้

โดย หญ้าปล้อง

● ท่าดี ●

คำถามที่ว่า ยืนเป็นไหม นั่งเป็นไหม มักไม่ค่อยได้ยินกันนอกเสียจากเป็นการถามเชิงประชดประชัน คำตอบในระดับการเจรจาเดียวกัน ก็คงได้ **"สบาย...นอนได้ตั้งแต่เกิด นั่ง ยืน เดินได้ตั้งแต่ไม่ครบขวบ"**

ครับ...เกร็ดความรู้ฉบับนี้ เป็นเรื่องของการยืน เดิน นั่ง และนอนในท่าที่ถูกต้อง รวมทั้งผลที่มีต่อบุคลิกท่าทีและสุขภาพของร่างกาย

ท่ายืน เดิน นั่ง และนอนที่ถูกต้อง ผู้รู้อธิบายไว้ ดังนี้

ท่ายืนที่ถูกต้อง :

เมื่อเวลายืนตรง หากลากเส้นดิ่งลงมาจากใบหู เส้นตรงนี้จะผ่านไหล่ ผ่านจุดกึ่งกลางตะโพกถึงกึ่งกลางของกระดูกข้อเท้า ลักษณะเช่นนี้น้ำหนักจะกระจายลงไปที่เท้าสม่ำเสมอ ในขณะยืนควรยืดอกพองาม หน้าท้องตึง พุงไม่ยื่นออกมา ศีรษะตั้งตรง ตามองตรง หลังตรงไม่เอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง... ข้อนี้ผู้นิยมไว้พุงคงหมดสิทธิ์ทำได้อย่างถูกต้อง

ท่าเดินที่ถูกต้อง :

ในขณะเดิน ร่างกายอยู่ในลักษณะคล้ายท่ายืน แต่มีการเคลื่อนไหวคือก้าวขา ลักษณะท่าเดินที่ดี ต้องยืดอกเล็กน้อย ตัวตรง ตามองไปข้างหน้า ไม่ก้มหรือแหงนหน้า แกว่งแขนตามสบาย

ท่านั่งที่ถูกต้อง :

ร่างกายจะต้องตั้งตรง ศีรษะตรง ไม่นั่งหลังงอหรือนั่งเอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง ข้อที่ตะโพกและเข่าจะงอตั้งฉาก

ท่านอนที่สบาย :

คือนอนหงาย แขนขาเหยียดราบตรงไปหรืองอเล็กน้อย ควรนอนบนที่นอนที่แข็งพอสมควร ไม่ควรนอนที่นอนนุ่มเกินไป หรือเตียงที่ทำให้ตัวงอได้ง่าย เช่น เตียงสปริงหรือเตียงผ้าใบ

มีการค้นพบว่า การยืน เดิน นั่ง นอนในท่าที่ไม่เหมาะสมนั้น เป็นต้นเหตุของโรคปวดหลัง เจ็บเท้า ปวดคอ ปวดไหล่ ได้

การยืน เดิน นั่ง หรือนอน ในท่าทีที่ถูกต้องจะช่วยให้การรับน้ำหนักของอวัยวะตอนล่างของร่างกายเป็นไปอย่างถูกต้อง ไม่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าโดยไม่จำเป็น เสริมให้บุคลิกดูเด่นขึ้นช่วยให้ระบบต่าง ๆ ในร่างกายดีขึ้น กระเพาะอาหาร ตับ ไต ลำไส้ ทำงานได้ดี ปอดขยายได้เต็มที่ ทำให้ร่างกายได้อากาศบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้สมองแจ่มใส หน้าตาก็สดชื่นยิ้มแย้ม และประการสุดท้าย... คงทำให้

หารอยยิ้มบนใบหน้าได้อย่างไม่ฝืดเคืองเหมือน เช่นสังคมปัจจุบัน !

หนังสืออ้างอิง

1. ความรู้ 5 นาที, โอภาส อาจอารมณ์, สำนักพิมพ์กราฟิคอาร์ต, กทม., 2518.

ความเป็นพุทธนั้นย่อมมีในสรรพสิ่งทั้งหลาย ผู้มีปัญญาย่อมสามารถถึงความเป็นพุทธได้ภายในตัวหรือสิ่งที่อยู่ใกล้ตัวเขา.....

"Zen flesh, Zen bone"

ว.วิทย. มข. 18 (4) : 239–240 (2533)

ดรรชนีเรื่องในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
ปีที่ 18 (2533)

เรื่อง	ฉบับที่ (หน้า)
คณิตศาสตร์และสถิติ	
การตรวจสอบความแปรปรวนของประชากรสองชุดที่เป็นอิสระกัน	2(79–87)
การเปรียบเทียบ Orthogonal Contrast ใน Fixed Effects ONE-WAY ANOVA	1(20–25)
การหาจุดศูนย์กลางและจุดโฟกัสของภาคตัดกรวย	4(213–217)
เจาะเครื่องพิมพ์เลเซอร์	3(128–134)
อาชญากรรมในศูนย์คอมพิวเตอร์	4(196–202)
เคมี	
การพิมพ์ลายนิ้วมือดีเอ็นเอ	4(182–186)
การศึกษาเอนไซม์–เอ็นเมทิลทรานสเฟอเรสชนิดไม่จำเพาะ โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีที่มีสมรรถนะสูง	3(169–173)
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับความเปรี้ยวของ ผลไม้และผักพื้นเมือง	1(39–44)
จากอดีต–ปัจจุบัน.....สู่อนาคตเคมี	2(88–92)
ว่าด้วยเรื่องรูปทรงของสารประกอบทองแดง	1(7–12)
สารฆ่าแมลงจากพืช	2(74–78)
องค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายในของเหลวรูเมนโคกระบือ	3(152–156)
ชีววิทยา	
การปรับตัวของพืช	3(144–151)
การเปรียบเทียบความสามารถในการทนต่อความเค็มระหว่าง ออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า	1(45–55)
การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อ	2(111–115)
การยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบโดย Tamoxifen และ Oestradiol	2(104–110)
การย้ายยีนในสัตว์	2(93–97)
การเลี้ยงเอมบริโอของพืชชั้นสูงในอาหารสังเคราะห์	4(218–227)

การศึกษาภาวะฮีโมโกลบินอีในประชากรเขตทุรกันดารของ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย 1(31–38)
ความลึกลับเกี่ยวกับการเจาะกินถั่วของตัวด้วงงวง 2(66–68)
อิทธิพลของความชื้นในเมล็ดต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ 1(26–30)

ฟิสิกส์

ความก้าวหน้าของสภาพตัวนำยิ่งยวด 4(187–195)
พลังงานไม่รู้หมด 3(135–139)
ภาพการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์ของตัวอักษรไทย 2(98–103)
เลนส์เฟรส์เนล 3(140–143)
อภิปรัชญาฟิสิกส์–เอกภพทัศนะใหม่ 1(16–19)
NMR IMAGING OF THE BREAST 3(164–165)

เกษตรศาสตร์

ผลการลดปริมาณอาหารข้นควบคู่กับการสับใบผักตบชวาเป็น
อาหารไก่งวงรุ่น ในการเลี้ยงไก่งวงแบบเกษตรกรรายย่อย 4(228–236)
สารพิษอะฟลาท็อกซินในถั่วลิสง : สาเหตุและแนวทางแก้ไข 1(13–15)

การแพทย์และอื่น ๆ

การวินิจฉัยสารพิษด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ 3(157–163)
มหันตภัยธรรมชาติ 4(203–212)
วิตามินกับภูมิคุ้มกัน 2(69–73)

ว.วิทย. มข. 18 (4) : 241 (2533)

ดรรชนีผู้เขียนในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 18 (2533)

ผู้เขียน	ฉบับที่ (หน้า)
กรกช อินทราพิเชฐ	4(182–186)
ขวัญใจ ตันสุวรรณ	2(88–92)
งามนิจ นนทโส	3(135–139)
จิตกร ผลโยญ และคณะ	2(98–103)
ช็อกโกแลต	1(58), 2(117), 3(176), 4(242)
ณัฐวุฒิ ธานี	2(74–78)
ดาวัลย์ บุญยะรัตน์	1(39–44), 3(169–173)
เตือนใจ โก้สกุล	1(26–30), 3(144–151)
ถาวร สุภาพรม และคณะ	1(31–38)
เทอดศักดิ์ คำเหม็ง และคณะ	4(228–236)
นิยะดา ห่อนาค	2(93–97)
บุญยืน กิจวิจารณ์และรัชนี ฉวีราช	2(111–115)
พรพิมล สุริยจันทราทอง	2(66–68), 4(218–227)
วิชุดา ไชยศิวามงคล	4(196–202)
ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย และคณะ	3(152–156)
ศาสตรา วงศ์ธนวสุ	3(128–134)
สนั่น จอกลอย	1(13–15)
สมบัติ เตรียมแจ้งอรุณ และคณะ	3(157–163)
สยาม ชูถิ่น	3(140–143)
สุจิตรา อดุลเดชา	1(7–12)
สุชัย ตนัยอัชฌาวุฒ	4(213–217)
สุพรรณี อร่ามวัฒนกุล	2(79–87)
สุพล บริพันธุ์	1(16–19)
สุมนทิพย์ บุนนาค และคณะ	1(45–55)
หญ้าปล้อง	1(56–57), 2(116), 3(174–175), 4(237–238)
หล้า อาจวิชัย	4(203–212)
อมรา วินิจสานันท์	2(104–110)
อุดม ทิพราช	4(187–195)
เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง	2(69–73)
เอกภพ	1(4–6), 2(64–65), 3(122–127), 4(180–181)
เอนก พัชรินทร์ศักดิ์	1(20–25)
เอียน โทมัส	3(164–168)

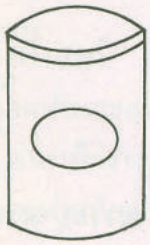
คอลัมน์นี้มีรางวัล

คอลัมน์นี้มีรางวัล

มุมนักคิด

หลังจากที่ได้รับความรู้ทางด้านวิชาการจากวารสารของเราแล้ว คอลัมน์นี้เป็นคอลัมน์ที่ทำนายความคิดของทุกท่าน เพื่อผ่อนคลายความตึงเครียดทางวิชาการ ลองคิดปัญหา 2 ข้อต่อไปนี้ดูนะคะ

1. ไข่เล่นกล : ในแก้วใบนี้บรรจุน้ำ (เปล่า) เต็มแก้ว และมีไข่ (ดิบ) ใบหนึ่ง ลอยเท้งเต้งอยู่ระหว่างกลางแก้ว ไข่ก็ไม่ได้เสียนะเจ้า! เราทำให้มันเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ได้อย่างไร?



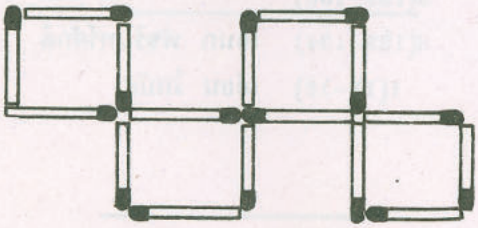
2. ฉันมีวัตถุชนิดหนึ่งอยู่ในมือซึ่งมีความยาวคล้ายเส้นด้าย ฉันตัดมันด้วยกรรไกร แต่แทนที่มันจะขาดเป็น 2 ท่อนมี 4 ปลาย มันกลับกลายเป็นเพียงท่อนเดียวมี 2 ปลาย เจ้าวัตถุที่ว่านี้คืออะไร?

อย่าลืมส่งคำตอบไปยังวารสารของเรานะคะ รางวัลรอท่านอยู่สำหรับท่านที่ตอบถูกและโชคดี 1 รางวัล

ส่งคำตอบไปที่
คุณช็อกโกแลต
วารสารวิทยาศาสตร์ มข.
ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

เฉลย "คอลัมน์นี้มีรางวัล" ฉบับที่ 2 ปีที่ 18 2533

1. ท่านสามารถย้ายก้านไม้ขีด 3 ก้านได้หลายวิธี เพื่อทำให้เหลือสี่เหลี่ยมจัตุรัส 4 รูป วิธีหนึ่งก็คือ



2. ต้องแยกแยะความแตกต่างแบบต่าง ๆ ที่จะเป็นไปได้ของเด็กก่อน คือ ชชช ชชญ ชญช ชญญ ญชช ญชญ ญญช ญญญ ตามลำดับ กรณีที่เราต้องการมีเพียง 2 กรณีเท่านั้นคือ ชชช และ ญญญ

ฉะนั้นความน่าจะเป็นที่บุตรทั้ง 3 ของนาย สมหมายจะเป็นเด็กเพศเดียวกันทั้งหมดเท่ากับ 2/8 หรือ 1/4

ผู้โชคดีสำหรับ ฉบับที่ 2 ปีที่ 18 2533 คือ

นายจรัส ไชยโภค 1/1 บ.โนนสว่าง ต.หนองเข็ง อ.บึงกาฬ จ.หนองคาย (43140)

กรุณารอรับของสมนาคุณจากทางวารสารด้วยนะคะ

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์สิริภัณฑ์ ออฟเซ็ท ขอนแก่น โทร. 221141 (ข้างคลินิคทันตแพทย์ "อิน") ถนนหลังเมือง จ.ขอนแก่น 40000
นายอารีย์ หอวิจิตร ผู้พิมพ์-โฆษณา

ข้อแนะนำ
ในการเขียนบทความลง
วารสาร " วิทยาศาสตร์ มข. "

ใบสมัครเป็นสมาชิก
" วารสารวิทยาศาสตร์ มข. "

☐ สมาชิกใหม่
☐ ต่ออายุ

ชื่อ – นามสกุล.....

ที่อยู่.....

รหัสไปรษณีย์.....หมายเลขสมาชิก.....

ตั้งแต่ฉบับที่.....ปีที่.....ถึงฉบับที่.....ปีที่..... รวม.....ฉบับ

พร้อมนี้ได้ส่งเงินจำนวน.....บาท มาทาง

☐ ธนาณัติสั่งจ่าย ป.ท. มข.
☐ เช็คไปรษณีย์
☐ เงินสด

อัตราค่าบำรุง

☐ 1 ปี	4 เล่ม	40	บาท
☐ 2 ปี	8 เล่ม	80	บาท
☐ 3 ปี	12 เล่ม	115	บาท
☐ 4 ปี	16 เล่ม	150	บาท

ลายเซ็นผู้สมัคร.....

หมายเหตุ ส่งเงินทางธนาณัติหรือเช็คไปรษณีย์ ในนามของ นางบุญคุ้ม เหลือล้น ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สั่งจ่าย ป.ท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

ส่งต้นฉบับมาที่

: กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อภินันทนาการสำหรับผู้เขียน

1. เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

ข้อแนะนำ
ในการเขียนบทความลง
วารสาร " วิทยาศาสตร์ มข. "

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน

2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ

3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยค้นคว้าหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ **ต้องเป็นตัวพิมพ์ดีดปกติ** มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสั้น) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว **ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด**

2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับเท่านั้นโดยไม่ส่งคืน ผู้เขียนควรจะอัดสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ

3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้

4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ **ไม่ยาวเกินไป** และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น

5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน

6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน

7. ในกรณีของบทความวิจัย **ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์

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

9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าจะเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสต์การ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม

10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม เขียนตามแบบสากลนิยม

ส่งต้นฉบับมาที่

: กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อภินันทนาการสำหรับผู้เขียน

1. เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด