



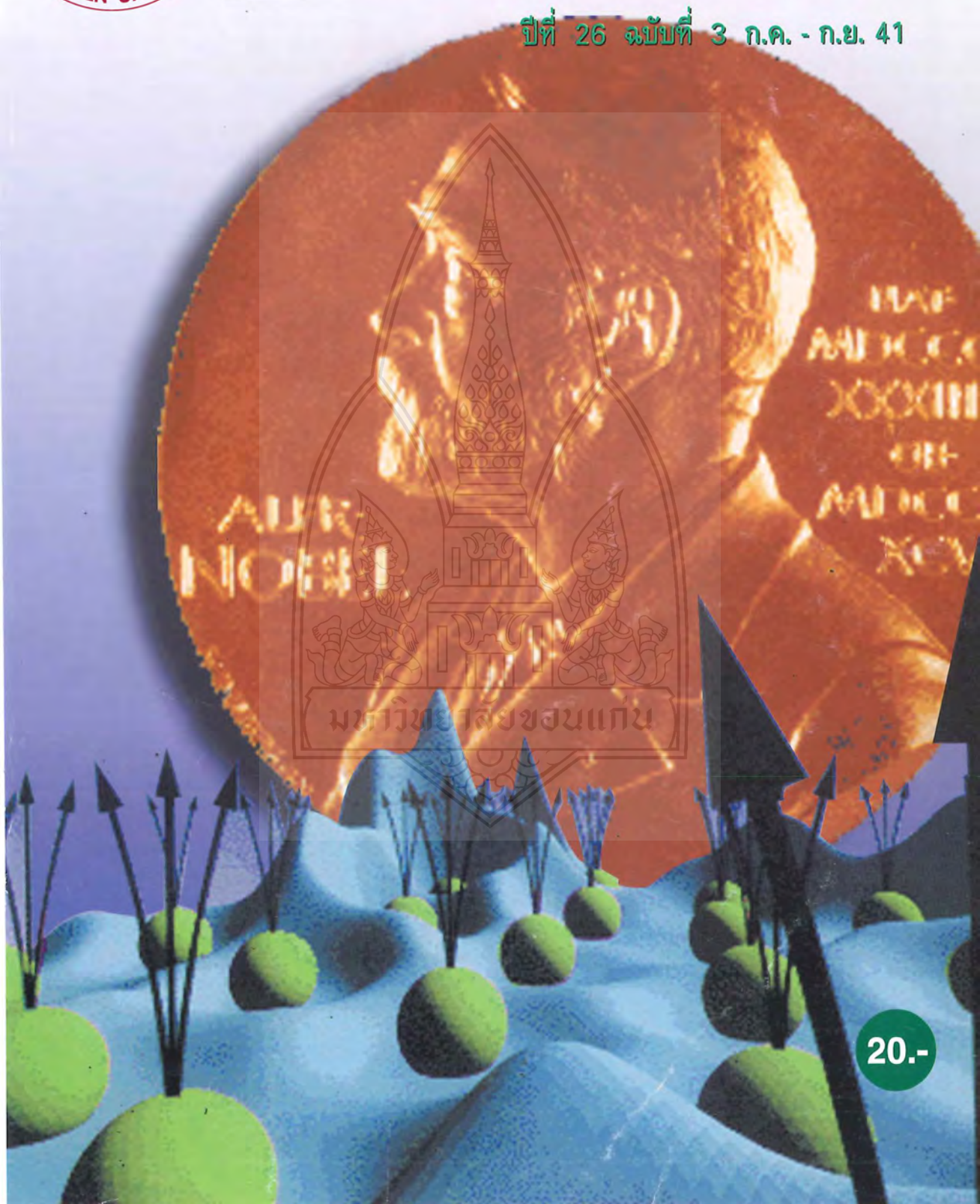
ISSN 0125-2364

วารสาร

วิทยาศาสตร์มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 ก.ค. - ก.ย. 41



20.-



วารสาร วิทยาศาสตร์ปู. THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ISSN 0188-8384

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิชาการใน สาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

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

คำบำรุง ปีละ 75 บาท چاپปลีก เล่มละ 20 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาคาติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้ำฝ่ายจัดการ ส่งจ่าช ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา

คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ

ศักดิ์สิทธิ์

จันทร์ไทย

บรรณาธิการผู้ช่วย

อัจฉรา

ศิริมั่งคะลา

กองบรรณาธิการ

เฉลิม

เรืองวิริยะชัย

บำรุง

สมสวัสดิ์

วิทยา

อมรกิจบำรุง

สุพร

นุชคำรงค์

ประนอม

จันทร์โทย

นฤมล

แสงประดับ

สุวรรณา

นิยมสนิท

เพ็ญประภา

เพชรบุรณิน

สุพจน์

ไวฑูรย์กร

วิจารณ์

ศศิศิริ

วิชุดา

ไชยศิรามงคล

อาคม

โสวัฒนา

พฤษดี

ศิริแสงตระกูล

ฝ่ายศิลป์และภาพ

กิลิน

ดิณเรศพรฐ์

ทรงเวทย์

เป้าชัย

ฝ่ายเหรียญกษาปณ์

บุญคุ้ม

เหลือล้ำ

ฝ่ายจัดการและ

เลขานุการ

ทักษิณี

จิตตะกวี

สมศักดิ์

อุ้นจันท์

สนธิณี

วรจิรา

บทความและงานวิจัย

ได้รับการกลั่นกรอง

จากผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

วารสาร

วิทยาศาสตร์ชุมชน.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 26 ฉบับที่ 3

บรรณาธิการแถลง

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ..... 149

บทความ

■ รางวัลโนเบลสาขาเคมี ประจำปี พ.ศ. 2541
อัครา สิริมงคล..... 152

■ รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี พ.ศ. 2541
บำรุง สมสวัสดิ์..... 159

■ ประสบการณ์จากการเข้าค่ายวิทยาศาสตร์ฤดูร้อน
ของโครงการ พสวท....การวิเคราะห์คุณภาพ
น้ำมันหล่อลื่น
เฉลิม เรื่องวิริยะชัย..... 165

■ Incorporation of Domain Experts Knowledge
in Determining Biological Methods for Water
Pollution Treatment in Rivers
Mongkon Ta-oun, Mohamed Daud
Mohd Zohadie Bardaie,
Shamshuddin Jusop..... 173

งานวิจัย

■ การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูป
มันฝรั่ง โดย *Candida tropicalis* TISTR 5136
ดวงใจ โอชัยกุล, มาริสา จาดุรพพัฒน์..... 181

■ แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือด้วย
(Ag₂O)_{0.2} ที่ 950 °C ในอากาศ
จ่านงค์ ฉายเชิด, กำชัย ดริชัยรัมย์
เดชา ยศศักดิ์ศรี..... 186

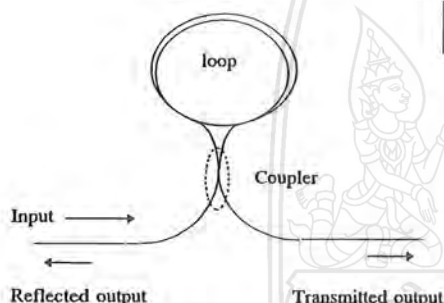
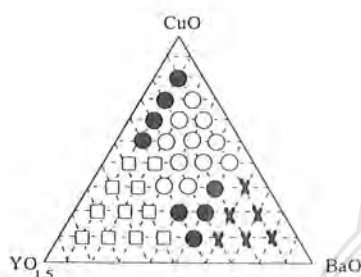


วารสาร

วิทยาศาสตร์ มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 26 ฉบับที่ 3



- การปลูกผลึกของสารประกอบอินทรีย์ไททานเนต
โดยเทคนิคการหลอมฟลักซ์

Thitinai Gaewdang

Ngamnit Gaewdang..... 196

- A Study of Optical Sensing Device Characteristics
using Tapered Single Mode Fiber

P.P Yupapin and P. Raknoi..... 203

คอลัมน์ประจำ

- เกร็ดคอมพิวเตอร์
การสร้าง Image Map

นายถังเบียร์..... 210

- เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย
"รางวัล โนเบล ประจำปี พ.ศ. 2541"

อัจฉรา ศรีวังกะลา..... 214

- เสริมทักษะวิทยาศาสตร์

วิทยา อมรกิจบำรุง..... 217

- มุมวิทยาการผ่านเว็บไซต์

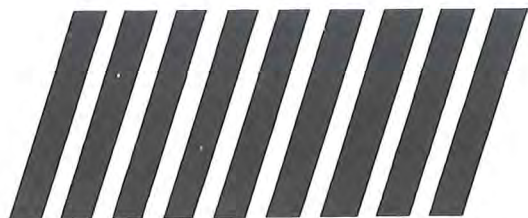
นายชวต ไวน์..... 222

- คณิตศาสตร์ชวนคิด

วิจารณ์ สดศรี..... 224

เบ็ดเตล็ด

- ข้อเสนอแนะในการเขียนบทความลงวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- การเขียนเอกสารอ้างอิงหรือบรรณานุกรมในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- ใบสั่งลงโฆษณาในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.



ISSN 0122-2264



วิทยาาสตร์
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

Publisher

Faculty of Science, Khon Kaen University,
Thailand.

Office

Faculty of Science, 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

75 baht per annum. Single issue price 20
Baht.

Membership

Membership request can be made by letter or by completing the membership form, with the fee 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

Advisory Committee

Dean, Faculty of Science
Associate Dean for Academic affairs

Editor

Saksit Chanthai

Associate Editor

Atchara Sirimungkala

Editorial Board

Chalerm	Ruangviriyachai
Bamrung	Somsasdi
Vittaya	Amornkitbamrung
Suporn	Nuchadomrong
Pranom	Chantaranonthai
Narumon	Sangpradub
Suwanna	Niamsanit
Penprapa	Phetcharaburanin
Supot	Waitayangkoon
Wijarn	Sodsiri
Wichuda	Chaisiwamongkol
Akom	Sowana
Pusadee	Seresangtakul

Artist

Kilen Tinnoraset
Songwate Bousechai

Treasurer

Boonkoom Lualon

Managing Staff and Secretary

Tassanee Jittakhawee
Somsak Unjantee
Sontani Worashina

**The articles and research
publications have been reviewed
by qualified readers**

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.

บรรณานุกรม *แดง*

เรียน ท่านสมาชิกวารสาร ฯ และท่านผู้อ่านที่รัก

ด้วยเหตุผลบางประการที่กระผมไม่ปฏิเสธที่จะขอแก้ตัวกับความล่าช้าของวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 สำหรับท่านสมาชิกที่รอคอย...เราได้พยายามเลือกสรรและปรับปรุงคุณภาพของเนื้อหาสาระอยู่ตลอดมา ทั้งในคอลัมน์ประจำและบทความงานวิจัยให้เข้มข้นและน่าสนใจยิ่งขึ้น เรื่องเด่น ๆ ในฉบับนี้ ที่อยากจะขอแนะนำท่านผู้อ่านก็คือ รางวัลโนเบลสาขาเคมีและฟิสิกส์ ประจำปี 2541 ทั้งในบทความและคอลัมน์เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย ประสบการณ์ของนักศึกษาในโครงการ พสวท. และแนวคิดในการบำบัดมลภาวะในแม่น้ำโดยใช้วิธีทางชีวภาพ ส่วนบทความที่เป็นผลงานวิจัยนั้นก็มิได้ด้านชีววิทยาประยุกต์และฟิสิกส์ประยุกต์หลายเรื่อง นอกเหนือจากคอลัมน์ประจำที่ทางกองบรรณาธิการได้เสนอไว้ เราหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ยังคงเป็นแหล่งวิชาการที่สำคัญอย่างหนึ่งและเป็นสื่อกลางเชื่อมโยงข่าวสารความรู้สำหรับท่านผู้สนใจทั่วไป

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สวัสดีครับ

บรรณาธิการ

คำบรรยายภาพปกหน้า-หลัง

ปกหน้า



ภาพที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์นี้ แสดงถึงฟังก์ชันคลื่นตามทฤษฎีของ Laughlin (Laughlin Wave Function) ลำปรากฏการณ์ Fractional Quantum Hall Effect ซึ่งมีสถานะของอนุภาคเทียม (quasiparticle) ที่มีประจุเป็น $1/3$ เท่าของประจุอิเล็กตรอน ลูกกลมสีเขียวย เป็นตัวแทนของอิเล็กตรอนที่ถูกบังคับให้ เคลื่อนที่อยู่ใน 2 มิติระหว่างกลุ่มของ “เนินเขา” สีน้ำเงินซึ่งเป็นตัวแทนที่แสดงถึงการกระจายค่า ของอิเล็กตรอนอื่นๆ ภายใต้อิทธิพลของสนาม แม่เหล็กและศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนสีเขียวย อื่นๆ ลูกศรสีดำ 3 อันแสดงถึง Magnetic flux quanta ที่ติดอยู่กับอิเล็กตรอน ทฤษฎีของ

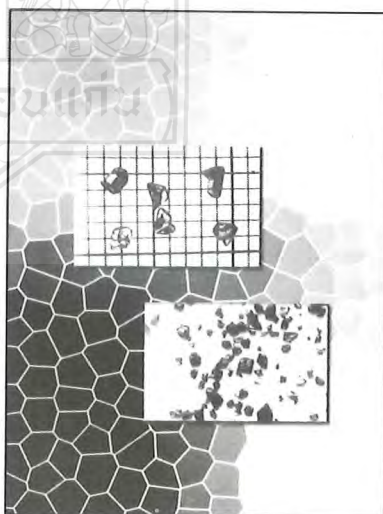
Laughlin ซึ่งอธิบายปรากฏการณ์ที่ค้นพบโดย Tusi และ Stormer เป็นผลงานที่ทำให้ทั้ง 3 ท่านได้รับรางวัลโนเบลปี 1998 ที่ผ่านมา (อ่านรายละเอียดเกี่ยวกับรางวัลโนเบลสาขา ฟิสิกส์ในหน้า 159) ภาพนี้เป็นผลงานของ Tom Duff แห่ง Bell Laboratory, USA, <http://www.bell-labs.com/new/gallery/fqhe.html>

ปกหลัง

รูปบน As-grown In_2TiO_5 crystals using a $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ solvent

รูปล่าง As-grown In_2TiO_5 crystals using a $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ Flux

(อ่านรายละเอียดเรื่องการปลูกผลึกของ สารประกอบอินทรีย์ไททานเตโดยเทคนิคการ หลอมฟลักซ์ ในหน้า 196)



ข่าว วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี

เชื้อ HIV สายพันธุ์ใหม่

เชื้อ human immunodeficiency virus (HIV) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเอดส์ มีความผันแปรด้านพันธุกรรมมากมาย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจากประเทศฝรั่งเศส แคมเมอรูนและกาบอง จึงได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของเชื้อ HIV สายพันธุ์ต่างๆ

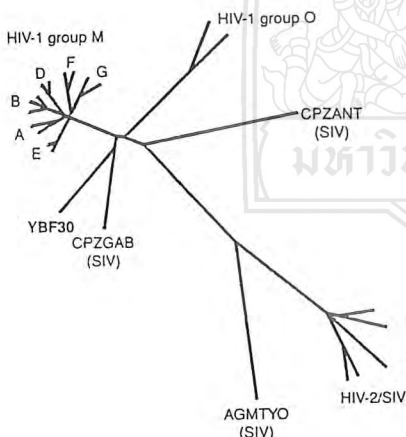
ภูมิประเทศต่างๆ

- กลุ่ม O (outlier) พบในผู้ติดเชื้อในประเทศแคมเมอรูนเป็นส่วนใหญ่

- กลุ่ม N เป็นกลุ่มใหม่ ซึ่งก็คือสายพันธุ์ YBF 30

2) เชื้อ HIV-2 พบผู้ป่วยติดเชื้อ HIV-2 น้อยกว่า HIV-1 และอาการก็จะน้อยกว่าผู้ติดเชื้อ HIV-1 มักพบในประเทศแถบแอฟริกาตะวันตก

จากการศึกษาเชื้อ HIV-1 สายพันธุ์ใหม่คือ YBF 30 กับเชื้อ simian immunodeficiency virus (SIV) สายพันธุ์ที่มีกำเนิดมาจากลิงชิมแปนซีในประเทศกาบอง (CPZGAB) ทางด้านพันธุกรรมพบว่า เชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์นี้มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมาก แสดงถึงวิวัฒนาการของเชื้อที่น่าจะมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าน่าจะมีการแพร่กระจายของเชื้อจากลิงมาสู่คน ซึ่งเป็นเรื่องยากในการพิสูจน์ การศึกษานี้สอดคล้องกับเชื้อ HIV-2 ที่มีพันธุกรรมคล้ายกับเชื้อ SIV



1) เชื้อ HIV-1 มักพบในคนทั่วไปที่เป็นเอดส์ มี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- กลุ่ม M (major) พบในผู้ติดเชื้อทั่วไป ซึ่งมี subtypes ต่างๆ อีกมากมายกระจายไปตาม

IL-2 ช่วยยับยั้งเชื้อ HIV ได้จริงหรือ ?

ปกติแล้ว ในการรักษาคนที่ติดเชื้อ Human Immunodeficiency Virus (HIV) มักจะให้ยาหลายชนิดร่วมกันจนทำให้ตรวจไม่พบเชื้อ HIV ในเลือด แต่ความจริงแล้วเชื้อ HIV ยังคงซ่อนตัวอยู่ในเซลล์ซึ่งเป็นแหล่งของเชื้อชนิดนี้ คณะผู้วิจัยจาก National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID) ในเมือง Bethesda รัฐ Maryland แนะนำการให้ interleukin-2 (IL-2) ซึ่งเป็นสารตัวหนึ่งในระบบภูมิคุ้มกันพร้อมกับการให้ยาร่วมกันหลายชนิดในการรักษา จะช่วยให้ไวรัสหลุดออกจากเซลล์และปลอดจากเชื้อ HIV ได้ในที่สุด

T-cell เป็นแหล่งของเชื้อ HIV ที่รู้จักกันดีและการใช้ยารักษาจะได้ผลก็ต่อเมื่อเชื้อ HIV อยู่ในระยะเพิ่มจำนวน ซึ่งในระยะนั้น T-cell จะต้อง active จึงเป็นเซลล์เป้าหมายตัวแรกของเชื้อ HIV เมื่อ T-cell ติดเชื้อและ active ตัวเชื้อ HIV ก็จะมีชีวิตและเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้น จึงง่ายต่อการให้ยารักษา แต่ T-cell จะมีระยะที่อยู่นิ่งระยะหนึ่งซึ่งระยะนี้เชื้อ HIV จะอยู่นิ่งด้วย ทำให้ยาด้านไวรัสเข้า

ไม่ถึงตัวเชื้อ IL-2 เป็นสารที่สามารถกระตุ้นเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันรวมทั้ง T-cell ด้วย ดังนั้น ถ้าให้ IL-2 ร่วมกับการรักษาด้วยยาด้านไวรัส จะทำให้ T-cell active และส่งผลให้เชื้อ HIV ไวต่อการถูกโจมตีได้ง่ายขึ้น ซึ่งคณะผู้วิจัยของ Fauci ได้ทดลองศึกษาเรื่องนี้ในคนที่ติดเชื้อ HIV จำนวน 26 คน โดยแบ่งคนไข่ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก (12 คน) ได้รับแต่ยาด้านไวรัส ส่วนกลุ่มที่ 2 (14 คน) ได้รับยาด้านไวรัสร่วมกับ IL-2 พบว่า กลุ่มคนที่ได้รับ IL-2 ร่วมด้วยจะตรวจไม่พบเชื้อ HIV ใน T-cell เลย ขณะที่กลุ่มที่ได้รับแต่ยาด้านไวรัสจะตรวจพบเชื้อ HIV ได้ใน T-cell อย่างไรก็ดี อาจยังมีเชื้อ HIV หลบซ่อนอยู่ในเซลล์อื่นๆ เช่น ในสมองซึ่งควรมีการศึกษาเรื่องนี้ต่อไป

(*Science*, 282, Nov. 20, 1998, 1394-1395)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทบาทของตัวรับ NMDA ต่อเซลล์สมอง

กว่าที่สมองจะพัฒนามาเป็นระบบประสาทส่วนกลางอย่างสมบูรณ์นั้น จะมีช่วงชีวิตระยะหนึ่งที่เซลล์ประสาทต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลง โดยถูกกระตุ้นจากตัวสื่อสัญญาณประสาทที่สำคัญคือ กลูตาเมต (glutamate) และ เอ็น-เมทิล-D-แอสพาร์เทต (N-methyl-D-aspartate, NMDA) ซึ่งเซลล์ประสาทเองก็จะมีตัวรับ (receptor) ต่อสื่อสัญญาณทั้งสองชนิดนี้ เมื่อทำการศึกษากับสมองหนูทดลอง (rat) ในบริเวณสำคัญหลายๆ แห่ง พบว่า พัฒนาการของสมองหนูจะเกิดขึ้นมากในช่วง 7 วันแรกหลังคลอดและในช่วงเวลาเดียวกันนั้น ก็พบปริมาณตัวรับต่อ NMDA ของเซลล์สมองเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ปกติแล้วเซลล์สมองจะมีตัวรับชนิดนี้อยู่ในปริมาณพอเหมาะที่จะให้ผลเชิงบวกต่อพัฒนาการของสมอง แต่เมื่อตัวรับชนิดนี้เพิ่มปริมาณมากขึ้นกลับให้ผลตรงข้าม เนื่องจากตัวรับ NMDA จะตอบสนองไวมากต่อกลูตาเมตและเป็นการตอบสนองที่นำไปสู่การตายแบบอะพอพโทซิส (apoptosis) ของเซลล์สมอง ซึ่งหมายถึงการตายที่เสมือนหนึ่งว่ามีการวาง

โปรแกรมกำหนดไว้แล้วว่า เซลล์สมองส่วนหนึ่ง (0.2-1.55% ของเซลล์สมองทั้งหมด) จะต้องตายไปในระยะนี้ด้วยเหตุผลที่ยังไม่มีผู้ใดอธิบายได้ การตายลักษณะนี้จะลดลงหลังจากผ่านสัปดาห์แรกของการคลอดไปแล้ว อย่างไรก็ตาม จากการให้หนูแรกเกิดได้รับสาร dizocilpine ซึ่งเป็นตัวยับยั้งต่อตัวรับ NMDA ด้วยปริมาณเพียง 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว จะทำให้เซลล์สมองตายเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 30% ในมนุษย์เราก็มีพัฒนาการของสมองดังเช่นที่พบในหนูแรกเกิด แต่จะมีช่วงเวลายาวนานตั้งแต่ระยะตั้งครรภ์ 20 สัปดาห์จนถึงหลังคลอด มีหญิงตั้งครรภ์จำนวนหนึ่งใช้ยาที่ออกฤทธิ์คล้าย dizocilpine ด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เช่น phencyclidine ketamine (special k) เป็นต้น รวมถึง เอทิล อัลกอฮอล์ในเหล้า ซึ่งมีส่วนที่จะส่งผลกระทบต่อระบบการพัฒนสมองของทารกในครรภ์อย่างแน่นอน

(*Science*, 283, Jan 1, 1999, 70-74)

รางวัลโนเบลสาขาเคมี ประจำปี พ.ศ. 2541

ดร. อัจฉรา ศิริมังคะลา*

ผู้ที่ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีประจำปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1998) ได้แก่ นักวิทยาศาสตร์ 2 ท่านที่ทำงานในสาขาเคมีควอนตัม (Quantum Chemistry) คือ *Walter Kohn* นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ซานตาบาร์บารา สหรัฐอเมริกา และ *John A. Pople* นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ ซึ่งทำงานประจำอยู่ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยนอร์เวสเทิร์น อีแวน-สตัน รัฐอิลลินอยส์ สหรัฐอเมริกา นักวิทยาศาสตร์ทั้งสองได้เริ่มบุกเบิกในการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติของโมเลกุล และกระบวนการการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารต่างๆ ผลงานที่ *Walter Kohn* ได้รับการพิจารณาให้รางวัลคือ ทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่น (density - functional theory) และ *John A. Pople* ได้รับรางวัลจากผลงานในการนำเอาวิธีการทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาทางเคมีควอนตัม

ความเป็นมาของกลศาสตร์ควอนตัม

หลักการทางกลศาสตร์ควอนตัมนั้น มีการนำเสนอมานานกว่า 70 ปีแล้ว และถือเป็นพื้นฐานเชิงทฤษฎีที่สำคัญในความพยายามที่จะเข้าใจว่าอิเล็กตรอนและนิวเคลียสของอะตอมต่างๆ มีอันตรกิริยากันอย่างไร กลศาสตร์ควอนตัมพัฒนา

มาจากกลศาสตร์คลาสสิกโดยมีคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างซับซ้อนเป็นตัวเชื่อมโยง ทฤษฎีของกลศาสตร์ควอนตัมประกอบด้วยสัจพจน์ (postulates) จำนวนหนึ่งซึ่งเป็นข้อความพื้นฐานที่เป็นจริง ถูกต้อง และสอดคล้องกับผลการทดลอง สามารถแบ่งการพัฒนาวิชาการทางด้านกลศาสตร์ควอนตัมเป็น 2 ยุค คือ ทฤษฎีควอนตัมเก่า (old quantum theory) ซึ่งเริ่มจากการพัฒนาทฤษฎีที่ใช้อธิบายพฤติกรรมต่างๆ ที่ไม่สอดคล้องกับกลศาสตร์คลาสสิกจนถึงทฤษฎีอะตอมของบอร์ และทฤษฎีควอนตัมใหม่ (new quantum theory) ซึ่งเริ่มจากหลักการของกลศาสตร์คลื่นของชโรดิงเงอร์ (Schrodinger's wave mechanics) และกลศาสตร์เมทริกซ์ของไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg's matrix mechanics) ถึงแม้ว่าทฤษฎีควอนตัมจะถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการอธิบายโครงสร้างและคาดคะเนสมบัติของโมเลกุล แต่ทฤษฎีนี้มีบทบาทอย่างมากในงานอื่นๆ เช่น การอธิบายการเกิดสเปกตรัมของโมเลกุล พฤติกรรมของโมเลกุลในสนามแม่เหล็ก งานวิจัยส่วนมากในปัจจุบันมีความจำเป็นต้องอาศัยการคำนวณทางควอนตัมซึ่งจะช่วยให้สามารถคาดคะเนการกระจายตัวของอิเล็กตรอนและคาดคะเนตำแหน่งต่างๆ ของสารที่เกิดปฏิกิริยา ข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแนวทางในการสังเคราะห์สาร

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เคมีควอนตัมกับวิวัฒนาการทางคอมพิวเตอร์

ในการศึกษาเพื่อที่จะเข้าใจถึงสมบัติของพันธะระหว่างคู่อะตอมในโมเลกุล การคำนวณสมบัติต่างๆ ของโมเลกุล และการศึกษาความสัมพันธ์กันในเชิงกลศาสตร์ควอนตัมนั้น นับเป็นปัญหาสำคัญของนักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ เนื่องจากการยากที่จะแก้สมการกลศาสตร์ควอนตัมสำหรับระบบของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ปัญหาประการสำคัญที่ Dirac ผู้ก่อตั้งวิชาฟิสิกส์ควอนตัม (quantum physics) กล่าวไว้ในปี ค.ศ. 1929 คือ จำเป็นต้องหากฎพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหากลศาสตร์สำหรับกระบวนการเชิงฟิสิกส์และเคมีทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง แต่ปัญหาอยู่ที่กฎเหล่านั้นมีสมการที่ซับซ้อนเกินกว่าที่จะจัดการหาข้อสรุปได้

ในราวปี ค.ศ. 1960 มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาร่วมใช้ในการแก้ปัญหากลศาสตร์ที่ซับซ้อนต่างๆ และวิชาเคมีควอนตัมก็ถูกจัดตั้งขึ้นเป็นครั้งแรก โดยถือเป็นแขนงหนึ่งในสาขาวิชาเคมี มีเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาสมบัติของสารในเชิงจุลภาคและผลกระทบที่ทำให้สารในแต่ละระบบมีสมบัติและพฤติกรรมที่แตกต่างกันไป เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการทางกลศาสตร์ควอนตัมในการแก้ปัญหาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันพบว่าความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในเชิงเคมีได้อย่างกว้างขวางขึ้น Walter Kohn และ John A. Pople คือตัวอย่างของนักวิทยาศาสตร์รุ่นบุกเบิกที่ได้ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้อย่างจริงจัง ผลงานของ Kohn เป็นการศึกษาในเชิงทฤษฎีที่มีพื้นฐานอยู่บนองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์โดยมีการคำนวณหาค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องและศึกษาพฤติกรรมของ

พันธะ ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นปัจจัยที่นำไปสู่การทำนายโครงสร้างของโมเลกุล และอธิบายสมบัติของโมเลกุลแบบต่างๆ ขณะที่งานของ Pople นั้นเกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเชิงเคมีซึ่งเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

การคำนวณอินทิกรัลที่ยุ่งยากและซับซ้อนนั้น นับเป็นอุปสรรคสำคัญในการคำนวณหาสมบัติต่างๆ ของโมเลกุล โดยปกติแล้วระดับการคำนวณเชิงเคมีควอนตัมแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

1) ระดับ *ab initio* ซึ่งเป็นการคำนวณที่เริ่มต้นจากการเขียนตัวดำเนินการแฮมิลตัน (Hamiltonian operator) และเลือกฟังก์ชันคลื่นที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการของฮาร์รี-ฟอร์ค (Hartree-Fock method) ในการคำนวณหาระดับพลังงานของโมเลกุล ซึ่งการคำนวณแบบนี้มักจะให้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง สอดคล้องกับผลการทดลองแต่มีวิธีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก ข้อจำกัดในการคำนวณแต่เดิมคือ ต้องใช้คอมพิวเตอร์เมนเฟรมที่มีหน่วยความจำสูงมาก แต่จากวิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้ มีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้คำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและยุ่งยากได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถคำนวณในระดับ *ab initio* โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นพอสมควร

2) ระดับ *semiempirical* มีการตั้งสมมติฐานบางประการเพื่อลดความซับซ้อนยุ่งยากที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการคำนวณและมีการนำผลการทดลองบางค่ามาใช้เป็นตัวแปรเสริม เช่น วิธีการของฮัคเคิล (Hückel) เป็นต้น แม้ว่าวิธีการนี้ จะมีความซับซ้อนและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการ *ab initio* แต่ความถูกต้องก็จะลดลงไปมาก

สำหรับการคำนวณหาสมบัติของโมเลกุลโดยการคำนวณแบบดั้งเดิมนั้น มีพื้นฐานอยู่บนการอธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแต่ละตัวอย่าง

อิสระ ซึ่งการคำนวณทางคณิตศาสตร์จะยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในปี ค.ศ. 1964 Walter Kohn ได้อธิบายการกระจายตัวของอิเล็กตรอนโดยพิจารณาจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (electron density) และแสดงให้เห็นว่าไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแต่ละตัว ขอแค่เพียงทราบจำนวนอิเล็กตรอนโดยเฉลี่ยที่อยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ก็จะสามารถคำนวณหาสมบัติของสารนั้นได้ ซึ่งหลักการนี้ คือเนื้อหาสำคัญของทฤษฎีที่รู้จักกันว่า **ทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นแบบใหม่ (modern density-functional theory: DFT)** พลังงานรวมของทั้งระบบซึ่งอธิบายได้โดยกฎของกลศาสตร์ควอนตัม สามารถคำนวณได้จากสมการคณิตศาสตร์ถ้าทราบการกระจายตัวหรือความหนาแน่นของอิเล็กตรอน คำถามสำคัญคือ พลังงานสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอย่างไร Kohn เสนอหลักในการพิจารณาโดยดูจากลักษณะของความสัมพันธ์ข้างต้นในระบบจินตภาพที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตาม ก่อนที่ความสัมพันธ์ดังกล่าว (ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงาน) จะสามารถนำมาใช้ในการอธิบายระบบของโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ ก็ได้มีการศึกษาและคำนวณโดยนักวิจัยจำนวนมากพอโดยอาศัยสมมติฐานเบื้องต้นจากวิธีการของ Kohn ปัจจุบันนี้ ทฤษฎีดังกล่าวนี้ ได้ว่าเป็นทฤษฎีที่สำคัญที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาเชิงเคมี โดยสามารถใช้ในการคำนวณโครงสร้าง (geometrical structure) ของโมเลกุล (โดยแสดงในรูปของความยาวพันธะและมุมระหว่างพันธะ) เพื่อที่จะคาดคะเนถึงปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีพื้นฐานอยู่บนค่าคงที่พื้นฐานทางฟิสิกส์ ซึ่งแม้ว่าทฤษฎีนี้จะมีใช้อยู่เดิมในการศึกษาเชิงเคมีควอนตัม หรือการศึกษาสถานะของแข็งเชิงฟิสิกส์ แต่ผลงานของ Hohenberg Kohn และ Sham ในราวปี ค.ศ. 1965 มีการนำเสนอทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นแบบใหม่ ซึ่งแสดงว่าสถานะพื้นของระบบที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนจำนวนมากสามารถเขียนแทนได้โดยค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน มีการเสนอสัจพจน์ที่มีรูปแบบของโครงสร้างทางอิเล็กตรอนของฟังก์ชันคลื่นเดี่ยวซึ่งมีค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเทียบเท่ากับค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของโมเลกุลที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับ N และมีการสร้างสถานะอ้างอิง (reference state) ที่มีค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนค่าหนึ่งซึ่งไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเท่ากับค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่สถานะพื้น (ground state density) เมื่อมีการประยุกต์ใช้อธิบายสำหรับโครงสร้างของโมเลกุลที่ประกอบด้วยหลายอะตอม มีผลให้พลังงานของสถานะพื้นเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของสถานะอ้างอิงซึ่งหาได้โดยการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันคลื่นที่แท้จริง โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาโมเลกุลใหญ่ได้ การคำนวณที่เคยยุ่งยากมาก ๆ ในอดีต เช่น การศึกษาปฏิกิริยาของเอนไซม์ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร ก็สามารถทำได้โดยง่ายในปัจจุบัน

สำหรับทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นแบบใหม่ (DFT) เปรียบเทียบหลักการโดยสังเขปกับทฤษฎีของฮาร์รี-ฟอร์ด (HF) เป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

HF (1928,1930)

$$E = E[\Psi, R_\alpha]$$

$$E = \int \Psi^* [\sum_i h_i + \sum_{i,j} 1/r_{ij}] \Psi d\tau$$

$$\Psi = |\Psi_1(1), \Psi_2(2), \dots, \Psi_n(n)|$$

$$\partial E / \partial \Psi = 0$$

$$[-(1/2)\nabla^2 + V_c(r) + \mu_x^i(r)] \Psi_i = \epsilon_i \Psi_i$$

DFT (1964, 1965) (สำหรับอนุภาค 1 ตัว)

$$E = E[\rho, R_\alpha] \quad (1ab)$$

$$E = T[\rho] + U[\rho] + E_{xc}[\rho] \quad (2ab)$$

$$\rho(r) = \sum_{occ} |\Psi_i(r)|^2 \quad (3ab)$$

$$\partial E / \partial \rho = 0 \quad (4ab)$$

$$[-(1/2)\nabla^2 + V_c(r) + \mu_{xc}(r)] \Psi_i = \epsilon_i \Psi_i \quad (5ab)$$

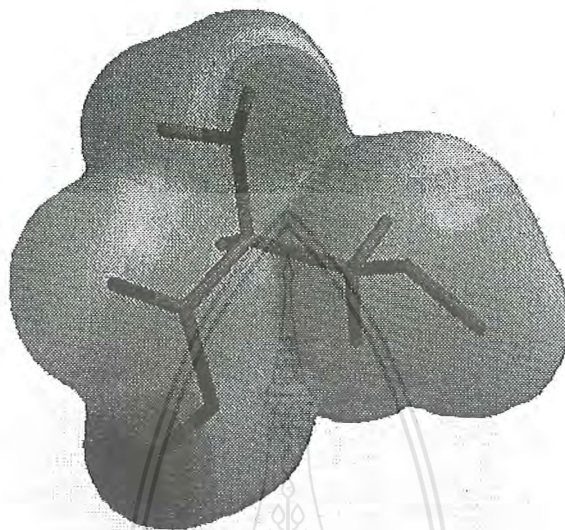
เมื่อสมการ 1a และ สมการ 1b เป็นสมการสำหรับคำนวณพลังงานรวมจากฟังก์ชันคลื่นตามหลักการของฮาร์ทรีย์-ฟอค์และจากค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (ρ) ตามหลักการของทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นตามลำดับ เมื่อ R_α คือ ตำแหน่งของอะตอม ขณะที่การคำนวณพลังงานรวมโดยใช้สมการที่ 2a จะต้องใช้ค่าที่คาดคะเนมาจากตัวดำเนินการแฮมิลตันโดยใช้ Slater determinant ตามสมการ 3a การคำนวณโดยสมการที่แสดงในสมการที่ 2b ใน DFT ผลที่ได้มาจากค่าจริง 3 ค่า คือ พลังงานจลน์ ($T[\rho]$) พลังงานไฟฟ้า ($U[\rho]$) และพลังงานที่แลกเปลี่ยนกันระหว่างอะตอม ($E_{xc}[\rho]$) โดยที่กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของพลังงานรวมต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีค่าต่ำสุดดังแสดงในสมการที่ 4b มีผลให้สมการการคำนวณสมการคลื่นสำหรับอนุภาคเดียวมีรูปแบบเช่นเดียวกับสมการของไฮโดรเจน

จากวิวัฒนาการทางคอมพิวเตอร์ ในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา มีนักวิจัยหลายกลุ่มทั้งในทวีปยุโรปและอเมริกา ได้พัฒนาวิธีการใหม่ๆ ในการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ John A. Pople เป็นนักวิทยาศาสตร์อีกท่านหนึ่งที่ศึกษาในเรื่องนี้อย่างจริงจัง เขาพบว่าวิธีการทางทฤษฎีที่จะสามารถนำมาซึ่งคำตอบในเชิงเคมีนั้นจำเป็นต้องทราบวิธีการอย่างแม่นยำในการคำนวณหาคำตอบ นอกจากนี้ มันจะต้องง่ายต่อการนำมาใช้งานและไม่ต้องการแหล่งข้อมูลมากเกินไป ในการพัฒนา

กระบวนการเชิงทฤษฎี Pople ได้ออกแบบโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ซึ่งมีจำนวนของจุดที่ได้รับ การออกแบบตามจำนวนที่ต้องใช้งาน โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาสำคัญคือ *Gaussian 70* ซึ่งเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย Pople ได้ทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงปี ค.ศ. 1970 - 1980 เพื่อที่จะปรับปรุงโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ และในช่วงปี ค.ศ. 1990 Pople ได้เขียนหนังสือชื่อ *Model Chemistry* ซึ่งเนื้อหาในหนังสือนี้ ได้เริ่มนำเอาทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นของ Kohn มาใช้และโดยวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์โมเลกุลที่ซับซ้อนขึ้น

การประยุกต์ใช้เคมีควอนตัม

ปัจจุบันนี้ เคมีควอนตัมเป็นวิชาแขนงหนึ่งในเคมีและฟิสิกส์เชิงโมเลกุล ในฐานะที่เป็นข้อมูลสำคัญเชิงปริมาณของโมเลกุลและอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล ทฤษฎีที่ได้จะสร้างความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับกระบวนการทางเคมีของโมเลกุลที่เกิดขึ้นซึ่งไม่สามารถแสวงหาข้อมูลต่างๆ เหล่านั้นได้จากวิธีการทดลองเพียงอย่างเดียว ในปัจจุบันนี้ ทฤษฎีต่างๆ และผลการทดลองที่ได้ ต้องนำมาใช้ประกอบกันในอันที่จะค้นคว้าข้อมูลและสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของสสาร การคำนวณเชิงเคมีควอนตัมแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้อย่างไร ?

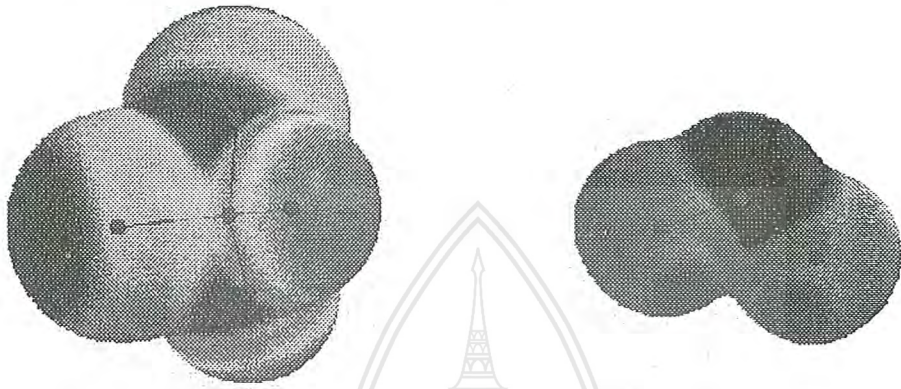


รูปที่ 1 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในระบบของกรดอะมิโน Cystein ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เชิงเคมีควอนตัม ในรูปแสดงพื้นผิวที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเท่ากับ $0.002 \text{ e}^-/\text{\AA}^3$ แสดงว่าอิเล็กตรอนเกือบทั้งหมดอยู่ในพื้นผิว สีเทา แสดงพลังงานสถิตของอิเล็กตรอน (electrostatic potential) ในพื้นผิว ส่วนที่มี สีเข้ม แสดงพลังงานศักย์ที่มีค่าเป็นลบ (negative potential)

ยกตัวอย่างกรณีของกรดอะมิโน Cystein (ที่แสดงผลที่ได้จากการคำนวณไว้ในรูปที่ 1) เราสามารถสร้างภาพนี้ได้อย่างไร? ในการทำงานของนักเคมีควอนตัม เพียงแต่นั่งลงหน้าเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเริ่มโปรแกรมทางเคมีควอนตัม โดยเข้าสู่เมนูของโปรแกรมเพื่อเลือกชนิดของโมเลกุลที่ต้องการศึกษา ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน (C) ที่ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมไฮโดรเจน (H) กลุ่มอะมิโน (NH_2) กลุ่มไฮโอโลาไธเมธิล (thiolathomethyl group, CH_2SH) และกลุ่มคาร์บอนิล (COOH) กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันที่เกี่ยวข้อง เครื่องคอมพิวเตอร์จะแสดงผลที่คำนวณได้เป็นภาพโครงสร้างโมเลกุลทั้งหมดอย่างหยาบๆ บนจอภาพ ซึ่งเมื่อป้อนคำสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์

ดำเนินการคำนวณอย่างต่อเนื่องหลายๆ ครั้ง โดยเพิ่มค่าความแม่นยำของการคำนวณ ที่เรียกว่า *predetermined level* จะทำให้ผลที่ได้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นและภาพที่ได้ก็จะมีรายละเอียดชัดเจนขึ้น รูปที่ 1 แสดงผลการคำนวณโดยแสดงพื้นผิวที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนคงที่ พื้นผิวที่แลเงาแสดงค่าของพลังงานสถิตของอิเล็กตรอน ซึ่งผลที่ได้นั้นสามารถนำมาใช้ในการทำนายอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลอื่นๆ และประการต่างๆ ที่อยู่ล้อมรอบ ข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาใช้ในการศึกษาว่าโปรตีน (ซึ่งประกอบมาจากกรดอะมิโน) ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้อย่างไร

อีกตัวอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาจักรวาล เช่น การวิเคราะห์วัตถุที่อยู่ที่ดาวฤกษ์หรือ



รูปที่ 2 ในชั้นบรรยากาศ โมเลกุล CF_2Cl_2 (Freon, รูปซ้าย) ถูกทำลายโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็นอะตอมคลอรีนอิสระ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซน (O_3 , รูปขวามือ) และทำลายชั้นของโอโซน ซึ่งขบวนการนี้สามารถศึกษาได้โดยใช้การคำนวณเชิงเคมีควอนตัม

ดาวเคราะห์ว่าสสารดังกล่าวประกอบด้วยสารชนิดใด โดยสามารถศึกษาได้จากรังสีที่โมเลกุลฉายออกมา รังสีดังกล่าวเกิดขึ้นเพราะการหมุนของโมเลกุล ดังนั้นมันจึงเป็นไปได้ที่จะใช้สเปกตรัมความถี่ของรังสีที่เปล่งออกมาในการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ของโมเลกุล อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนในการทำไม่มากนัก และโมเลกุลดังกล่าวก็ไม่อยู่ในห้องทดลองซึ่งจะสามารถนำมาศึกษาได้โดยตรง การนำกระบวนการทางเคมีควอนตัมมาแก้ปัญหาทำนองนี้สามารถทำได้โดยการคำนวณหาโครงสร้างของสสารโดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับความถี่ของคลื่นของรังสีที่เปล่งออกมา โดยนำข้อมูลที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของคลื่นวิทยุ เป็นต้น ในลักษณะนี้ ทฤษฎีและการตรวจวัดก็สามารถที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบภายในของสสารได้ทำนองเดียวกัน

อีกตัวอย่างหนึ่งเป็นการศึกษาปฏิกิริยาในชั้นของบรรยากาศ (Atmosphere) ซึ่งมีชั้นของ

โอโซนซึ่งทำหน้าที่บดบังแสงอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า มีสารบางชนิด (ตัวอย่างเช่น Freon) ที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ไปทำลายชั้นของโอโซน โดยการคำนวณเชิงเคมีควอนตัม สามารถตอบคำถามได้ว่า ปฏิกิริยาการทำลายชั้นของโอโซนเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยสามารถอธิบายถึงขั้นตอนโดยละเอียดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ความรู้เหล่านี้จะช่วยให้เราสามารถรักษาระดับชั้นบรรยากาศไว้ได้

ปัจจุบันนี้ วิชาเคมีควอนตัมนับเป็นแขนงวิชาที่สำคัญมากแขนงหนึ่งในวิชาเคมี ความรู้ความเข้าใจที่ได้จากแขนงวิชานี้จะช่วยตอบคำถามเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของสสาร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า งานวิจัยของ Walter Kohn และ John A. Pople ได้พัฒนาแขนงวิชาเชิงเคมีควอนตัมให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. Lanbanowski, J. K. and Andzelm, J. W. (editors) (1991). **Density Functional Methods in Chemistry**. New York: Springer Verlag. 1-48.
2. Kohn, W. and Hohenberg, P. (1964). Inhomogeneous Electron Gas. **Phys. Rev.** B136, 864.
3. Kohn, W. and Sham, L. (1965). Self-Consistent Equations Including Exchange and Corelation Effects. **Phys. Rev.** A140, 1113.
4. Kohn, W. (1996). A Density Functional/ Density Matrix Method Scaling Linearly with the Number of Atoms. **Phys. Rev. Lett.** 76, 17.
5. <http://nobelprizes.com/nobel/chemistry/chemistry98.html>



รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์

ประจำปี พ.ศ. 2541

บำรุง สมสวัสดิ์*

I. รางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ปี 1998

รางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ล่าสุดของปี ค.ศ. 1998 ที่ผ่านมามากอยู่กับนักวิทยาศาสตร์ 3 ท่าน คือ

- (1) Professor Robert B. Laughlin แห่ง Stanford University สหรัฐอเมริกา
- (2) Professor Horst L. Stormer แห่ง Columbia University และ Bell Laboratory สหรัฐอเมริกา
- (3) Professors Daniel C. Tsui แห่ง Princeton University สหรัฐอเมริกา

ทั้งสามท่านมีผลงานร่วมกันในการค้นพบของไหลควันตัม (quana fluid) ชนิดใหม่ ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนควบแน่นกันภายใต้อุณหภูมิต่ำและสนามแม่เหล็กความเข้มสูง และมีคุณสมบัติที่แสดงถึงคุณสมบัติของอนุภาคเทียม (quasiparticle) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นเศษส่วนของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

คำประกาศทางการของการให้รางวัลระบุไว้ว่า “...for their discovery a new form of quantum fluid with fractionally charge excitation”

II. ความสำคัญของการค้นพบ

การค้นพบนี้มีความสำคัญถึงระดับการเปลี่ยนแนวคิดพื้นฐานที่เจาะทะลุ (Breakthrough) แนวคิดเดิมที่จะทำให้เกิดการพัฒนาทางทฤษฎีใหม่ขึ้นในสาขาคันตัมฟิสิกส์และฟิสิกส์ยุคใหม่อื่นๆ ทั้งนี้เป็นการค้นพบทางการทดลอง (ของ Stormer และ Tsui) และการสร้างทฤษฎีเพื่ออธิบายผล (โดย Laughlin) เป็นครั้งแรกถึงสถานะของ “อนุภาค” ที่อาจจะเรียกว่าเป็นอนุภาคเทียม (Quasiparticle) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นเศษส่วนย่อยของประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ซึ่งก่อนหน้านี้เราเชื่อและยอมรับกันมาโดยตลอดว่าหน่วยของประจุไฟฟ้าพื้นฐาน (เล็กที่สุด) ที่ปรากฏให้เห็นได้จะมีค่าเท่ากับประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่เราใช้สัญลักษณ์ว่า e เท่านั้น

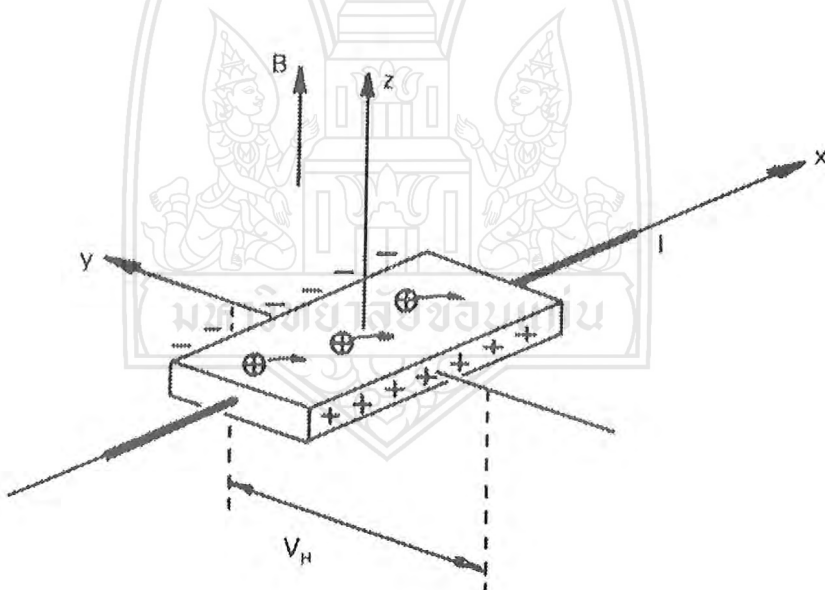
การค้นพบนี้ ต้องอยู่บนพื้นฐานของการค้นพบ ปรากฏการณ์โดยการทดลอง 2 ปรากฏการณ์ด้วยกันคือ Hall Effect และ Quantum Hall Effect (บางครั้งจะเรียกว่า Integral Quantum Hall Effect - IQHE)

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

III. Hall Effect และ Quantum Hall Effect

ในปี ค.ศ. 1879 Edwin H. Hall ซึ่งขณะนั้นเป็นนักศึกษาอยู่ ณ John Hopkins University ได้ค้นพบว่า เมื่อนำแผ่นทองบาง ๆ มาวางในสนามแม่เหล็กโดยให้ทิศของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับผิวของแผ่นทองนั้น เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า ให้ไหลไปตามความยาวของแผ่นทอง Hall พบว่า จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางไหลของกระแส ตามรูปที่ 1 ปรากฏการณ์นี้ (เรียกกันทั่วไปในปัจจุบันว่า Hall Effect) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอนุภาคมีประจุไฟฟ้า เมื่อเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดมีแรงที่ทำให้ประจุเคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกไปทางด้านข้างขึ้น ปรากฏการณ์นี้สามารถใช้ในการหาความหนาแน่นและชนิดของอนุภาคนำกระแสในวัสดุต่าง ๆ ได้

ในยุคที่ Hall ค้นพบปรากฏการณ์นี้ใหม่ๆ การทดลองทั้งหมดทำที่อุณหภูมิห้อง และใช้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มไม่สูงมากนัก (น้อยกว่า 1 Tesla) หลังจากนั้นในช่วงปลายทศวรรษที่ 70 นักวิทยาศาสตร์หลายๆ ท่านได้ทำการทดลองนี้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ (ประมาณ -272°C) และใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงมากที่สุดถึง 30 Tesla (สนามแม่เหล็กโลกโดยทั่วไป $= 0.03$ milli Tesla) การทดลองส่วนใหญ่ทำเพื่อการศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการผลิตทรานซิสเตอร์ชนิดสัญญาณรบกวนต่ำ (low-noise transistor) สารกึ่งตัวนำเหล่านี้จะมีอนุภาคนำกระแสเป็นอิเล็กตรอน และมีลักษณะพิเศษที่อิเล็กตรอนจะถูกกัก (Trap) ให้อยู่ในระนาบบาง ๆ ภายในของเนื้อสาร ซึ่งจะปรากฏว่าอิเล็กตรอนเหล่านี้มีความสามารถในการ



รูปที่ 1 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect เมื่อความต่างศักย์ V ทำให้เกิดกระแส I ไหลตามความยาวของตัวนำในแกน x ความต้านทานของโอห์ม (Ohmic Resistance) คือ V/I สนามแม่เหล็ก B ในแกน Z ตามทิศ $+Z$ จะทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุไฟฟ้าบวกเบี่ยงเบนไปในทิศ $-y$ ทำให้เกิด Hall potential (V_H) และ Hall resistance ($=V_H/I$) ขึ้น ในทิศ $+y$

เคลื่อนที่สูงมากในระนาบดังกล่าว และผลที่ตามมา ก็คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่สามารถพิจารณา ได้ว่าถูกจำกัดให้เคลื่อนที่ได้ใน 2 มิติ จะทำให้เกิด ผลที่คาดไม่ถึงขึ้นมา โดยเฉพาะจะปรากฏให้เห็น ชัดเจนมากเมื่อทำการวัด Hall Resistance ให้เป็น ฟังก์ชันของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใช้

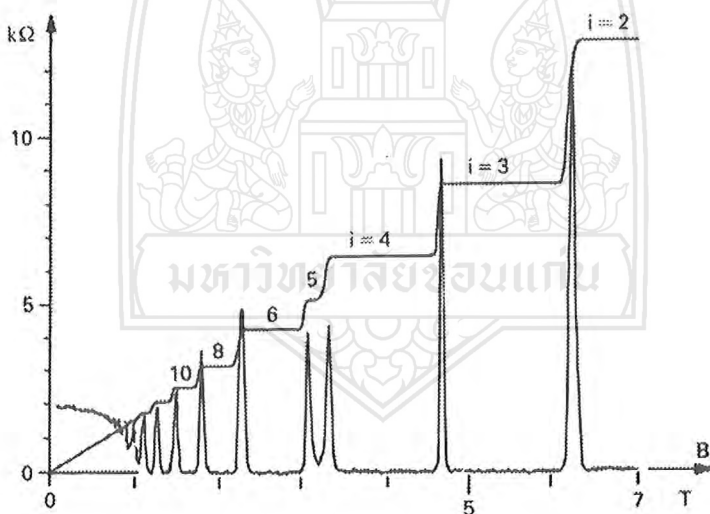
ในปี ค.ศ. 1980 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ Klaus von Klitzing ได้ทำการทดลองดังกล่าว และ พบว่า Hall Resistance ไม่ได้แปรผันแบบเป็นเชิง เส้นกับความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใช้ แต่ Hall Resistance จะสัมพันธ์กับความเข้มสนามแม่เหล็ก แบบเป็นระดับขั้น (ดูรูปที่ 2) การกระโดดของค่า เป็นขั้น ๆ นี้ ค่าที่เป็นค่าของระดับขั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง แต่จะขึ้นอยู่กับ ค่าคงตัวพื้นฐานทางฟิสิกส์ (Fundamental Physical Constants) 2 ตัวคือ Plank's Constant (h)

และค่าประจุและอิเล็กตรอน (e) โดยจะมีค่าเป็น h/e^2 ทหารด้วยเลขจำนวนเต็มต่าง ๆ

ในกรณีเช่นนี้เราจะเห็นว่า Hall Resistance ได้ถูกควันไทซ์ (Quantized) ให้มีค่าเป็นขั้น ๆ และ พบว่าเมื่อระบบมีความต้านทานเป็นค่า Quantized Hall Resistance นี้ ความต้านทานของโอห์ม (Ohmic Resistance) จะหายไป ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพการนำ ยิ่งยวด (Super Conductivity) ขึ้นในการไหลของ กระแสในแนวแกน x ตามรูปที่ 1 ซึ่งค่าความ ต้านทานนี้ได้แสดงไว้ในกราฟตอนล่างของรูปที่ 2

การค้นพบปรากฏการณ์นี้ ซึ่งเรียกกันต่อ มาว่า Quantum Hall Effect ทำให้ Klaus von Klitzing ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ใน ปี ค.ศ. 1985

จะเห็นได้ชัดว่ากฎเกณฑ์ของควันตัม ฟิสิกส์ได้เปลี่ยนปรากฏการณ์ Hall Effect ไป



รูปที่ 2 แสดงการกระโดดเป็นขั้นของค่า Hall Resistance ภายใต้การแปรค่าของความเข้มสนามแม่เหล็ก B ความสูงของขั้นต่าง ๆ จะปรากฏเป็นค่าของ h/e^2 (ประมาณ 25 kΩ) ทหารด้วยเลขจำนวนเต็ม ต่าง ๆ ในรูปจะแสดงขั้นที่จำนวนเต็ม $i = 2, 3, 4, 5, 6, 8$ และ 10 กราฟเส้นล่างที่มีจุดยอด (peak) เป็นกราฟที่แสดงความต้านทานของโอห์ม (Ohmic Resistance) ซึ่งจะมีค่าประมาณศูนย์ในแต่ละ ขั้นของ Hall resistance

ค่อนข้างมาก จุดที่เด่นของปรากฏการณ์ที่ต่างไปจากเดิมก็คือค่าของ Hall Resistance ที่กลายเป็นแบบคว้นตัมไปโดยที่จะมีค่าเป็น

$$\text{Hall Resistance} = (h/e^2)/f \quad (1)$$

เมื่อ f เป็นเลขจำนวนเต็มที่เราเรียกกันว่า filling factor ค่าของ f จะถูกกำหนดโดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในสารและค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux density) และในเชิงของคว้นตัมฟลักส์ เรานิยามได้ว่า

$$f = N/N_\phi \quad (2)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนของอิเล็กตรอน

N เป็นจำนวน Magnetic flux quanta ซึ่งเป็นการพิจารณาว่า สนามแม่เหล็กก็มีสภาพความเป็นคว้นตัมอยู่โดยที่

$$N_\phi = \frac{\phi}{\phi_0} \quad (3)$$

เมื่อ ϕ = ขนาดของสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux) ที่มีอยู่ในระนาบของ Hall effect

และ $\phi_0 = h/e = 4.1 \times 10^{-15} \text{ V.s}$

การที่ f จากสมการ (1) มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มก็หมายความว่าอิเล็กตรอนที่มีอยู่ทั้งหมดได้บรรจุอยู่ในระดับชั้นพลังงาน (energy levels) เต็มทั้งหมดพอดี และเราจะกล่าวกันว่าอิเล็กตรอนจะอยู่ในสภาวะของกาซอิเล็กตรอน (electron gas) ใน 2 มิติภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำให้ได้สภาพการนำไฟฟ้าแบบยิ่งยวดขึ้นมา

ในการพิจารณาโดยใช้โมเดลที่กล่าวมานี้ จะเห็นว่าปรากฏการณ์ Quantum Hall Effect ควรจะเกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่ f เป็นเลขจำนวนเต็มเท่านั้น เนื่องจากเราจะไม่สามารถทำให้เกิดมีระดับ

ชั้นพลังงาน (Landou level) ขึ้น สำหรับอิเล็กตรอนในกรณีนี้ f ไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม

เราเชื่อกันอย่างนี้มีมาจนกระทั่ง Stormer และ Tsui ได้เผยแพร่ผลการทดลองของเขาในปี ค.ศ. 1982

IV. การทดลองของ Stormer และ Tsui

H.L.Stormer และ D.E.Tsui ซึ่งขณะนั้นได้ทำงานวิจัยอยู่ที่ Bell Laboratories (ขณะนั้นเป็นของบริษัท Lucent Technology) ณ เมือง Murray Hill มลรัฐ New Jersey ได้ทำการทดลองเพื่อวัด Quantum Hall Effect โดยมีเงื่อนไขที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองเดิมคือ มีการลดอุณหภูมิของการทดลองลงไปต่ำกว่า 1 K และมีการใช้สารกึ่งตัวนำชนิด gallium arsenide ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก จนถึงขั้นที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้โดยไม่มีการชนกับอะตอมแปลกปลอม (impurities) ที่จะทำให้เกิดการกระเจิงขึ้น นอกจากนั้น Stormer และ Tsui ยังได้ใช้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงมาก โดยค่าของสนามแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้นไปถึง 20 Tesla (คิดเป็นค่าความเข้มประมาณ 1 ล้าน เท่าของความเข้มสนามแม่เหล็กโลก) ค่าความเข้มนี้มีค่าประมาณ 3 เท่าของความเข้มที่ใช้ในการทดลองของ Klaus von Klitzing

ผลการทดลองของ Stormer และ Tsui ได้ก่อให้เกิดความประหลาดใจแก่นักวิทยาศาสตร์อื่นๆ เป็นอันมาก เพราะได้มีการค้นพบระดับชั้นของ Hall Resistance ที่มี filling factor f ที่ไม่ใช่เลขจำนวนเต็มขึ้น

ในการรายงานผลครั้งแรก Stormer และ Tsui ได้รายงานถึงการค้นพบระดับชั้นของ Hall Resistance ที่มี $f = \frac{1}{3}$ และมีผลบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ของระดับชั้นที่มี $f = \frac{2}{3}$ อยู่ด้วย

ผลจากการที่ f เป็นเลขเศษส่วน การค้นพบของ Stormer และ Tsui จึงถูกเรียกว่าเป็น Fractional Quantum Hall Effect และถ้าเราใช้รูปแบบของโมเดลเดิมในการอธิบายเหตุผลของค่า $f = \frac{1}{3}$ เราจะสรุปได้ว่าจะต้องมี “อนุภาคเทียม - quasiparticle” ที่มีประจุเป็น $\frac{e}{3}$ เกิดขึ้น

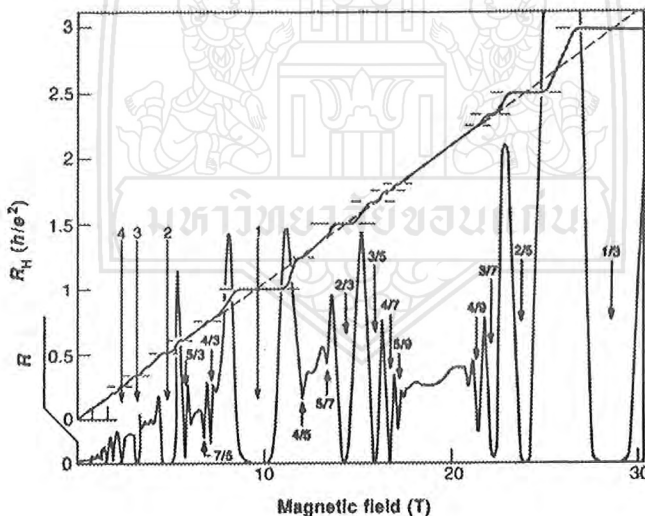
V. คำอธิบายของ Laughlin

ในช่วงปีแรกหลังจากการค้นพบของ Stormer และ Tsui นักฟิสิกส์ทฤษฎีได้ใช้ความพยายามเป็นอย่างมากที่จะหาทฤษฎีใหม่มาอธิบายปรากฏการณ์นี้ให้ได้ และผู้ที่สามารถสร้างทฤษฎีใหม่มาอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้เป็นคนแรกก็คือ Robert B. Laughlin

Laughlin ได้แสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนสามารถที่จะควบแน่นและกลายเป็นของเหลวควันตัม (quantum liquid) ได้เมื่อความหนาแน่นของ

อิเล็กตรอนนั้นเชื่อมโยงกับ filling factor f ซึ่งมีค่าเป็น $f = \frac{1}{m}$ เมื่อ m เป็นเลขจำนวนเต็มคี่ (เป็น $f = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \dots$) นอกจากนี้ Laughlin ยังได้คิดฟังก์ชันคลื่น (wave function) สำหรับอธิบายสถานะพื้น (ground state) ของระบบ quantum fluid ของอิเล็กตรอนนี้ได้เป็นผลสำเร็จ และยังได้แสดงให้เห็นว่าสถานะโลดของระบบจะมีพลังงานที่แตกต่างไปจากสถานะพื้นอย่างไร รวมทั้งแสดงด้วยว่าจะมี quasiparticle ซึ่งมีประจุ $\pm e/m$ เกิดขึ้นในระบบด้วย ซึ่งจะย้อนไปอธิบายระดับชั้นของ Hall resistance ที่มี $f = \frac{1}{3}$ ของ Stormer และ Tsui ได้

นอกจากนี้ทฤษฎีของ Laughlin ยังสามารถอธิบายผลการทดลองอื่นๆ ที่ได้มีการวัด Fractional Quantum Hall Effect อื่นๆ ตามที่ปรากฏในรูปที่ 3 ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3 แสดงถึงการค้นพบ Fractional Quantum Hall Effects อื่นๆ นอกเหนือจากที่พบโดย Stormer และ Tsui ในครั้งแรก เส้นประที่ลากทะแยงมุมเป็นค่าของ classical Hall resistance เส้นทึบแสดงถึงค่า Hall resistance ที่ทำการวัดได้โดยนักวิจัยต่างๆ ลูกศรที่จะแสดงถึงค่า f และค่าความเข้มข้นแม่เหล็กที่ทำให้เกิดระดับชั้นของ Hall Resistance ขึ้น

VI. การตรวจวัด Quasiparticle โดยตรวจ บรรณานุกรม

การค้นพบและอธิบาย Fractional Quantum Hall Effect ที่กล่าวมานี้ อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการ แสดงโดยอ้อมถึงคุณสมบัติของ quantum fluid ชนิดใหม่ที่ประกอบไปด้วย quasiparticle ที่มีประจุ ไม่เต็มจำนวนเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น จึงได้มี ความพยายามของกลุ่มนักวิจัยหลายกลุ่มที่จะตรวจ จับอนุภาคเทียมนี้ให้ได้ และได้มีกลุ่มนักวิจัยอย่าง น้อย 3 กลุ่มที่ประสบความสำเร็จดังกล่าว ซึ่งได้แก่ กลุ่มของ V. Goldman and B. Su แห่ง State University of New York at Stony Brook, กลุ่มที่นำโดย M. Heiblum แห่ง Institute of Science ประเทศอิสราเอล และกลุ่มของ C. Glotli แห่ง French Atomic Energy Commission ประเทศ ฝรั่งเศส

VII. สรุป

การค้นพบที่ได้รับรางวัลโนเบลที่กล่าวมา นี้ถือว่าการค้นพบที่สำคัญมาก อนุภาคชนิดใหม่ ซึ่งได้รับการขนานนามแล้วว่าเป็นอนุภาคชนิด composite fermion ก็ได้รับความสนใจในหมู่นัก ฟิสิกส์เป็นอย่างมาก ที่จะพยายามทำการพัฒนา วิจัยทั้งการทดลองและทฤษฎี เพื่อความเข้าใจใน ความเป็นไปของธรรมชาติที่ถูกต้องต่อไป

- (1) The Royal Swedish Acaedmy of Science anouncement [http://www.nobel.se/announcement-98/physics 98.html](http://www.nobel.se/announcement-98/physics%2098.html)
- (2) The Royal Swedish Academy of Science, Background material on the Nobel Price in Physics 1988, [http://www.nobel.se/announcement-98/phyback 98.pdf](http://www.nobel.se/announcement-98/phyback%2098.pdf)
- (3) Gasiorowicz, Quantum Physics, 2nd ed., John wiley & son, Inc; 1996, pp. 215-232.
- (4) Kittel, C; Introduction to Solid State Physics, 7th ed., John wiley & son, Inc; 1996; pp. 560-570.

ประสบการณ์

จากการเข้าค่ายวิทยาศาสตร์ฤดูร้อนของโครงการ พสวท. ...การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่น...

ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย*

โครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความรู้และความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หรือโครงการ พสวท. ได้จัดค่ายวิทยาศาสตร์ภาคฤดูร้อนขึ้น โดยเป็นกิจกรรมเสริมพิเศษให้แก่นักศึกษาชั้นปีที่ 1 และชั้นปีที่ 4 ซึ่งในปีนี้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นเจ้าภาพในการจัดงานครั้งที่ 12 และเป็นครั้งแรกที่เริ่มมีมติใหม่ในการนำองค์กรของรัฐที่อยู่นอกวงการศึกษามาร่วมเป็นเจ้าภาพ โดยปีนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นเจ้าภาพที่คอยอำนวยความสะดวก ตั้งแต่สถานที่จัดค่าย ดูแลเรื่องอาหาร ตลอดจนไปถึงการจัดหาวิทยากรหลักให้อีกด้วย

ผมในฐานะกรรมการคนหนึ่งในส่วนของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้มีโอกาสเข้าค่ายวิทยาศาสตร์ภาคฤดูร้อนในครั้งนี้ระหว่างวันที่ 16-19 มีนาคม 2541 ณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

กิจกรรมที่เกิดขึ้นในค่ายวิทยาศาสตร์ภาคฤดูร้อนในปีนี้มีมากมายหลายอย่างไม่ว่าจะมีการพาไปชมวิวเหมือนแม่เมาะ เข้าชมโรงงานผลิตไฟฟ้าแล้ว ที่สำคัญอย่างยิ่งก็คือ กิจกรรมที่เข้าชมการปฏิบัติงานวิจัยที่มีการแบ่งกลุ่มกันในแต่ละสาขาวิชาต่างๆ เช่น

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ธรณีวิทยา ข้อมูลธรณีวิทยาจากหลุมเจาะ เป็นต้น

สาขาวิชาฟิสิกส์ ได้แก่ ระบบการผลิตไฟฟ้า การคำนวณหาเครื่องจักรกลเบื้องต้นในการทำเหมือง การประเมินเสถียรภาพของความลาด เป็นต้น

สาขาวิชาชีววิทยา ได้แก่ระบบนิเวศเชิงชีววิทยา ป่าหลังโรงไฟฟ้า ระบบน้ำดี wetland ของโรงไฟฟ้า ชากบรพชวิน เป็นต้น

และสาขาวิชาเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน การวิเคราะห์ที่คุณภาพน้ำมันหล่อลื่น การวิเคราะห์น้ำจาก wetland เป็นต้น

ซึ่งกิจกรรมที่ผมได้เข้าไปมีส่วนร่วมศึกษาในสาขาวิชาเคมีนั้น คือ การวิเคราะห์ที่คุณภาพน้ำมันหล่อลื่น ก่อนที่จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ที่คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นตามเกณฑ์มาตรฐานของทาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) นั้น จะขอเสนอเรื่องทั่วๆ ไปเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นให้ทราบพอสังเขป

สารหล่อลื่น คือสารที่อยู่ในสถานะทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ที่สามารถลดความฝืดเมื่อชิ้นส่วนอุปกรณ์การเสียดสีกัน โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางคั่นระหว่างชิ้นส่วนเหล่านั้น ดังนั้น

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

น้ำมันหล่อลื่น จึงเป็นสารหล่อลื่นเหลวอย่างหนึ่งที่มีการใช้มากที่สุด ได้แก่ น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันไฮดรอลิก และน้ำมันตัดกลึงโลหะ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันมักได้จากน้ำมันหล่อลื่น (มาตรฐาน) ผสมกับสารปรุงแต่งที่เพิ่มคุณภาพ (Additives) เพื่อเป็นการช่วยให้เป็นน้ำมันที่มีคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี ตลอดจนคุณลักษณะในการใช้งานตามความต้องการของผู้ผลิต เครื่องจักร และเครื่องยนต์นั้น ๆ เช่น ชะล้างทำความสะอาด กระจายเขม่าตะกอน ด้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน ลดการสึกหรอ ป้องกันสนิม และการตัดกร่อน เป็นต้น

หน้าที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

มีมากมายหลายประการ อาทิเช่น ช่วยหล่อลื่นเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ต่างๆ ลดแรงเสียดทานและความฝืด ช่วยลดการสึกหรอและระบายความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี นอกจากนั้นป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อน สามารถขจัดคราบสกปรกไม่ให้เกาะติดชิ้นส่วนของโลหะ เพิ่มกำลังอัดให้ระยะส่งกำลังของเครื่องยนต์และระบบไฮดรอลิก ป้องกันการรั่วซึมของก๊าซผ่านแหวนลูกสูบ และช่วยป้องกันโอเลเยที่เกิดจากการเผาไหม้เล็ดลอดลงไปในอ่างทำให้น้ำมันเครื่องสกปรกเป็นการกระจายความสกปรกและสิ่งเจือปนไม่ให้เกาะรวมตัวกันเป็นยางเหนียว ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทั้งหมดทำให้ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุง และที่สำคัญคือเป็นการประหยัดพลังงานอีกด้วย

ประเภทของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันเครื่องที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute)

คือ

1. น้ำมันเครื่องเบนซิน

เหมาะสำหรับเครื่องยนต์เบนซินสี่จังหวะที่ใช้หัวเทียนจุดระเบิด จะมีสีเขียวหรือสีแดง

2. น้ำมันเครื่องดีเซล

เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้แรงอัด ทำให้เกิดการระเบิดติดไฟ มักจะมีสีน้ำตาล ผู้ใช้น้ำมันหล่อลื่นจะต้องจดทะเบียนตามที่กฎหมายระบุไว้และรายงานต่อกองน้ำมันเชื้อเพลิง กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์ ว่าผลิตภัณฑ์ใดค่าน้ำมันหล่อลื่นยี่ห้อไหนมีรายละเอียดและคุณภาพอย่างไร และการผลิตน้ำมันหล่อลื่นต้องได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวด เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานสากลขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน หรือ International Standards Organisation (ISO) ที่มีมาตรฐานหลายชุด เช่น มาตรฐานชุด ISO 9000 มาตรฐานชุด ISO 9002 เป็นต้น

สิ่งที่ทำให้น้ำมันเครื่องสกปรกได้แก่ พวกฝุ่นละออง เขม่า น้ำ กรด และน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด เศษโลหะ รวมทั้งการสลายตัวของมันเองและของสารเคมี สาเหตุนี้จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้สารเพิ่มสมบัติทางเคมีหมดอายุเร็วด้วย จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง ดังนั้น สาเหตุที่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีอายุการใช้งานสั้นลง ได้แก่

1. เครื่องยนต์มีสภาพไม่ปกติ

มีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากเกินไปจนทำให้เครื่องยนต์ร้อน มีเขม่ามาก เมื่อเครื่องยนต์หลวมจะเป็นสาเหตุทำให้เขม่าและโอเลเยจากการเผาน้ำมันเชื้อเพลิงเล็ดลอดเข้าไปในอ่างน้ำมันหล่อลื่นมาก จึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นสกปรกเร็ว

2. การระบายความร้อนไม่ดี

หม้อน้ำสกปรกจะมีตะกอนเกาะมาก หรือน้ำหม้อน้ำแห้ง อากาศร้อนจัด การจราจรติดขัด

มาก จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพเร็วขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันเครื่องที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบ

3. สภาพของถนน

ถ้าถนนขรุขระมีฝุ่นมากหรือน้ำท่วมขัง จะทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนัก ส่งผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นสกปรกง่าย ถ้ามีน้ำเข้าไปในอ่างน้ำมัน จำเป็นต้องถ่ายเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นทั้งหมด มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องยนต์พังได้

4. น้ำมันเชื้อเพลิงสกปรก

ถ้ามีน้ำมันหนักเจือปนในน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และถ้าน้ำมันนั้นมีกำมะถันปนอยู่จะก่อให้เกิดกรดขึ้น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีอายุการใช้งานสั้นลง ปัจจัยเหล่านี้จึงมีผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น รวมทั้งอายุการใช้งานของเครื่องยนต์อีกด้วย

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่น

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ ลองมาดูก่อนว่าประโยชน์ของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นนั้น ทำเพื่ออะไร

- ป้องกันปัญหาเล็ก ๆ น้อย ๆ มิให้ลุกลามใหญ่โตจนแก้ไขไม่ได้
- หลีกเลี่ยงการซ่อมที่ไม่จำเป็น
- เป็นการวางแผนปฏิบัติงานก่อนการซ่อม
- เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องให้สูงขึ้น
- สามารถกำหนดแผนงานได้เป็นอย่างดี
- สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดในการบำรุงรักษาได้
- ใช้เวลาในการซ่อมสั้นลง

และที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งก็คือ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ซึ่งทาง กฟผ. แม่เมาะแห่งนี้ต้องสิ้นค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงในแต่ละปีมากถึงหลายสิบล้านบาท แต่

ภายหลังจากมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นขึ้นมา แล้วทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงหลายล้านบาทต่อปี (จากคำบอกเล่าของทางฝ่ายเจ้าหน้าที่ กฟผ.)

การเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

เพื่อให้การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นให้ได้ค่าที่ถูกต้องแล้ว สิ่งที่เป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งคือการเก็บตัวอย่างน้ำมัน โดยตัวอย่างน้ำมันที่นำมาวิเคราะห์นั้นต้องเป็นน้ำมันที่เป็นตัวแทนของน้ำมันหล่อลื่นทั้งหมดที่ต้องการตรวจสอบ อีกทั้งตัวอย่างนั้นจะต้องไม่ถูกล้างเจือปนเข้าไปภายหลังจากการเก็บตัวอย่างมาแล้ว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การวิเคราะห์ผลคลาดเคลื่อนไป

ในการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์นั้นจะต้องกระทำอย่างถูกต้อง โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญในการเก็บคือ ปินดูดน้ำมัน ซึ่งก่อนอื่นจำเป็นต้องทำความสะอาดก๊อกถ่าย หรือรูถ่ายน้ำมัน หลังจากนั้นปล่อยให้น้ำมันไหลออกก่อนเล็กน้อย ควรเก็บตรงกลางอ่างน้ำมัน และที่สำคัญคือ ควรเก็บตัวอย่างน้ำมันในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานหรือหลังจากหยุดเดินเครื่องใหม่ ๆ จากรูปที่ 1 เป็นภาพแสดงการเก็บน้ำมันตัวอย่างของรถขนถ่านหินภายในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นอกจากนั้นยังเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากรถประเภทอื่น ๆ เช่น รถขุดดิน รถยนต์ส่วนบุคคล เป็นต้น

ให้เก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นในขวดพลาสติก ขนาด 100 mL ที่สะอาดและแห้ง พร้อมติดสติ๊กเกอร์ที่ระบุรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ตัวอย่างจากแผนกใด วัน-เดือน-ปีที่เก็บ เก็บน้ำมันจากระบบใด (เครื่องยนต์ ไฮดรอลิก เฟืองขับ เพลาน้ำ เพลาลูก) ประเภทของเครื่องยนต์ ชนิดของน้ำมัน ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำมัน เป็นต้น หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างส่งเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อ



รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น โดยเจ้าหน้าที่ กฟผ.ลำปาง

ดำเนินการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นนั้น ๆ ต่อไป

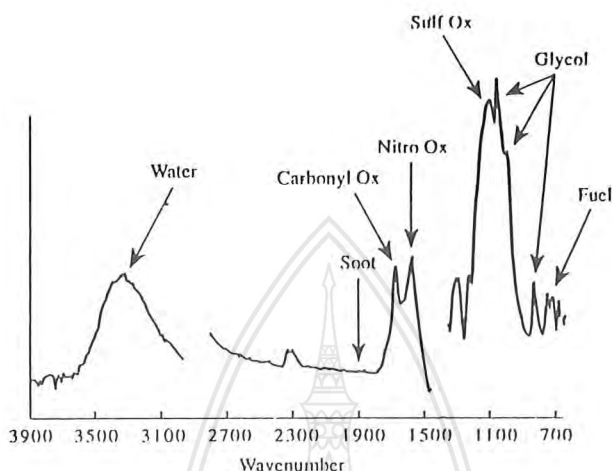
สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่วิเคราะห์

1. ความหนืด (Viscosity)

เป็นความสามารถในการต้านทานการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของของไหล จึงถือได้ว่าความหนืดเป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดที่ควรนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับงาน โดยถ้าใช้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำ จะเกิดฟิล์มหล่อลื่นบาง ๆ ทำให้ไม่สามารถรับงานหนักได้มากจึงทำให้เครื่องยนต์สึกหรองง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามก็มีข้อดีตรงที่ว่าสามารถแทรกตัวไปตามส่วนต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและระบายความร้อนได้ดี ถ้าหากใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงจะเกิดฟิล์มหล่อลื่นที่หนาสามารถรับแรงกด-แรงเสียดทานได้ดีกว่า แต่จะเสียกำลังของเครื่องยนต์ไปบางส่วน และระบายความร้อนได้ช้าลง

โดยทั่วไปอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดมาก กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูง ความหนืดจะลดลง การไหลจะง่ายขึ้น ในเครื่องยนต์แต่ละชนิดช่วงการใช้งานจะมีอุณหภูมิต่างกันมาก อาจอยู่ในช่วง $0-150^{\circ}\text{C}$ แล้วแต่สภาวะของอากาศของแต่ละประเทศ ตลอดจนการออกแบบหาเครื่องยนต์

ศึกษาหาความหนืดได้จากการใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) โดยการวัดเวลาที่ให้น้ำมันหล่อลื่นปริมาณที่กำหนด ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ระบุให้ไหลผ่านท่อแก้ว (glass tube) ซึ่งน้ำหนักของน้ำมันหล่อลื่นไหลเองตามแรงโน้มถ่วงของโลก (มีหน่วยเป็น centistoke, cst) ความหนืดที่ใช้ในการเปรียบเทียบส่วนใหญ่จะวัดที่อุณหภูมิ 40°C หรือ 100°C จากผลของการวิเคราะห์ ถ้าพบว่าได้ค่าความหนืดสูงผิดปกติไปจากค่ามาตรฐานแล้ว แสดงว่ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นในน้ำมันหล่อลื่นนั้นๆ เช่น มีฝุ่นละออง หรือเขม่า มีน้ำปน หรือเกิดออกซิเดชัน ฯลฯ



รูปที่ 2 สเปกตรัมมาตรฐานของการศึกษา น้ำ เหม่า การเกิดออกซิเดชัน การเกิดไนเตรชัน และการเกิดซัลเฟชัน จากการใช้เครื่อง Infrared Spectrophotometer ของบริษัท Nicolet

2. จุดวาบไฟ (Flash point)

เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไอน้ำมันระเหยออกมามากเพียงพอจนทำให้ลุกติดไฟได้ ซึ่งจุดวาบไฟนี้สามารถประเมินถึงความเหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นในด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง

ศึกษาหาจุดวาบไฟจากการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำมันขณะที่ให้ความร้อนปกติ จุดวาบไฟอยู่ในช่วง 160–320 °C แล้วแต่ว่าเป็นน้ำมันใสหรือข้น จากผลของการวิเคราะห์ ถ้าพบว่าได้ค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าปกติ สามารถบ่งบอกได้ว่ามีน้ำมันเชื้อเพลิงปนปลอมอยู่ และทำให้ความหนืดลดลงด้วย

3. ปริมาณเบสทั้งหมด (Total Base Number, TBN)

เป็นการหาปริมาณของเบสทั้งหมดที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นภายหลังน้ำมันหล่อลื่นถูก

ใช้งานจนเกิดภาวะที่เป็นกรด กรณีเช่นนี้จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นสูญเสียสมบัติในการหล่อลื่นลง กรดนั้นเกิดจากกำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมัน เมื่อได้รับความร้อนมากจากการสันดาปจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แล้วท้ายสุดจะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ได้ถ้ามีน้ำปนอยู่ กรดที่เกิดขึ้นนั้นจะกัดกร่อนเครื่องยนต์ ดังนั้นในน้ำมันหล่อลื่นใหม่ (new oil) จึงต้องเติมเบสลงไปเพื่อลดกรดที่อาจเกิดขึ้น โดยปกติตามมาตรฐานสากลมักจะเติมเบสไม่เกิน 10% ลงในน้ำมันหล่อลื่น

วิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือไทเทรตแบบอัตโนมัติ (Automatic Titrator) ที่อาศัยหลักการไทเทรตระหว่างกรดกับเบสที่มีหน่วยเป็น mg KOH/g ตัวอย่างน้ำมัน ถ้าปรากฏว่าได้ปริมาณกรดมาก สามารถคาดคะเนได้ว่าจะเกิดการกัดกร่อนของชิ้นโลหะนั้นขึ้น ซึ่งสามารถกำหนดช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมได้

4. การละลายในเพนเทน (Pentane Insolubles)

เป็นการศึกษาหาสารแขวนลอยต่าง ๆ เช่น เขม่า (soot) และอนุภาคเล็ก ๆ (particles) ที่ไม่ละลายในตัวทำละลายเพนเทน

ศึกษาโดยอาศัยหลักการกรองผ่านกระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.8 ไมครอน (μm) มีหน่วยเป็น % น้ำหนัก (%Mass)

ผลของการวิเคราะห์ สามารถบอกถึงความสกปรกของน้ำมันหล่อลื่นได้ ซึ่งเกิดจากเขม่า ฝุ่นผง สิ่งสกปรก รวมทั้งเศษโลหะที่สึกหรอ (wear metal)

5. โลหะที่สึกหรอในน้ำมัน (Wear metal)

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะมีมากมาย อาทิเช่น กระบอกสูบ เพ็อง และเพลานั้นทำจากเหล็ก ส่วนหม้อหล่อเย็นน้ำมันหล่อลื่นหรือแผ่นคลัทช์ของห้องเกียร์มักทำจากทองแดง หรือแหวนลูกสูบเครื่องยนต์ก็จะมีโมลิบ

ดัมเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งโครเมียมเองจะเป็นส่วนผสมของแหวนลูกสูบและลูกปืน ส่วนตะกั่ว มักใช้ทำผิวหน้าแข็งข้อเหวี่ยง เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปคร่าวๆ ได้ว่า โลหะที่อาจสึกหรอและอยู่ในน้ำมันได้นั้น ได้แก่ เหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) อะลูมิเนียม (Al) โมลิบดีนัม (Mo) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และแมกนีเซียม (Mg) เป็นต้น นอกจากจะพบเศษโลหะแล้ว บางครั้งจะพบธาตุอื่นๆ เช่น โซเดียม (Na) ที่มาจากน้ำในระบบหล่อเย็นที่ผสมน้ำยาปรับสภาพน้ำ หรือรั่วผ่านหม้อหล่อเย็น เข้าน้ำมันเครื่อง และซิลิกอน (Si) ที่เกิดจากฝุ่น ดิน ทราย จากภายนอกเข้าไปในเครื่องยนต์

ในการหาปริมาณของโลหะที่สึกหรอ และธาตุอื่นๆ เหล่านี้สามารถศึกษาได้จากการใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) Emission Spectrophotometer โดยอาศัยหลักการที่อะตอมของโลหะดูดกลืนแสงแล้วคายพลังงานแสงออกมา (emission) ถ้าหากพบโลหะเหล่านี้แล้ว แสดงว่าเกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ส่วนนั้นขึ้น



รูปที่ 3 ผู้เขียน (ซ้ายสุด) ถ่ายภาพร่วมกับเจ้าหน้าที่ กฟผ. แผนกปฏิบัติการเหมืองแม่เมาะ และ นักศึกษาโครงการ พสวท. ที่เข้าร่วมกิจกรรมกับรถขนถ่านหินของเหมืองแม่เมาะ จ.ลำปาง

6. การวิเคราะห์ห่าน้ำ เชม่า (soot)

การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) การเกิดไนเตรชัน (nitration) และการซัลเฟชัน (sulphation)

การศึกษาตัวแปรเหล่านี้ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหล่อลื่นนั้น สามารถศึกษาด้วยวิธีอินฟราเรด โดยใช้เครื่อง Infrared Spectrophotometer โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสง แล้วเปรียบเทียบกับสเปกตรัม (spectrum) ที่เกิดขึ้นกับสเปกตรัมมาตรฐานของน้ำมันใหม่ (ดังรูปที่ 2) โดย

ถ้าเกิดสเปกตรัมขึ้นบริเวณที่ $\sim 3,300 \text{ cm}^{-1}$ แสดงว่า ในน้ำมันมีการปนเปื้อนด้วยน้ำ ซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศและจะระเหยไปเมื่อเครื่องยนต์ทำงาน หรือเกิดการรั่วของประเก็นหรือการแตกหักของท่อทางเดินน้ำ การมีน้ำผสมอยู่นี้จะก่อให้เกิดเจลสีขุ่นมีลักษณะเป็นเมือกจะทำให้เครื่องยนต์เสียได้

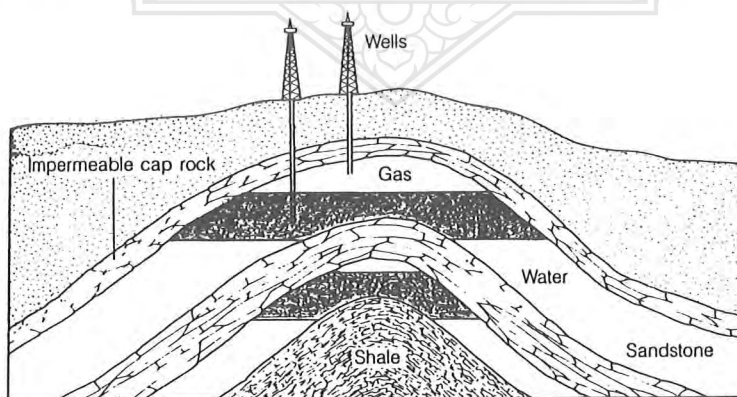
แต่ถ้าเกิดสเปกตรัมขึ้นบริเวณที่ $\sim 1,900 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงการมีเชม่าในน้ำมันที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นผลจากแวนลูกลูบเกิดการสีกหรือ หรือสัดส่วนของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศไม่เหมาะสมกัน ซึ่งเชม่าที่เกิดขึ้นและไม่ละลายนี้ จะทำให้เกิดการอุดตันของไส้กรองได้

ถ้าเกิดสเปกตรัมขึ้นบริเวณที่ $\sim 1,700 \text{ cm}^{-1}$ แสดงว่าเกิดการออกซิเดชัน จากการใช้น้ำมันภายใต้ความร้อนสูง จนเกิดพวก $-\text{CO}_1$ และ $-\text{CO}_2$ ขึ้น ทำให้สมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันลดลง ความข้นใสของน้ำมันมีมากน้อยต่างกันขึ้น ทำให้ไส้กรองอุดตันและยังเกิดยางเหนียว (lacquer) ในน้ำมันขึ้น

ถ้าเกิดสเปกตรัมบริเวณที่ $\sim 1,600 \text{ cm}^{-1}$ แสดงว่าเกิดการไนเตรชัน ซึ่งเกิดจากการสันดาปของ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ทำให้เกิดอาการเหมือนการเกิดออกซิเดชัน คือทำให้น้ำมันเหนียวขึ้น ไส้กรองอุดตัน เกิดยางเหนียว เป็นการลดประสิทธิภาพของการหล่อลื่นของน้ำมันลง

ถ้าเกิดสเปกตรัมบริเวณที่ $\sim 1,100 \text{ cm}^{-1}$ แสดงว่าเกิดการซัลเฟชัน อันเนื่องมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงมีกำมะถันปนหรือเกิดการออกซิเดชันจาก base oil และ additives ในเครื่องยนต์ gasoline หรือก๊าซธรรมชาติ หากมีทำให้เกิดเป็นกรดและกัดกร่อน รวมทั้งลดสมบัติของการทำให้เป็นเบสของน้ำมันลงด้วย

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีอินฟราเรดนั้น จะนำมาพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์การสีกหรือของวิธีอื่นๆ ทำให้สามารถวินิจฉัยปัญหาและสาเหตุของการชำรุดของเครื่องยนต์ต่างๆ ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น



oil and natural gas are usually found together beneath a dome of impermeable cap rock.

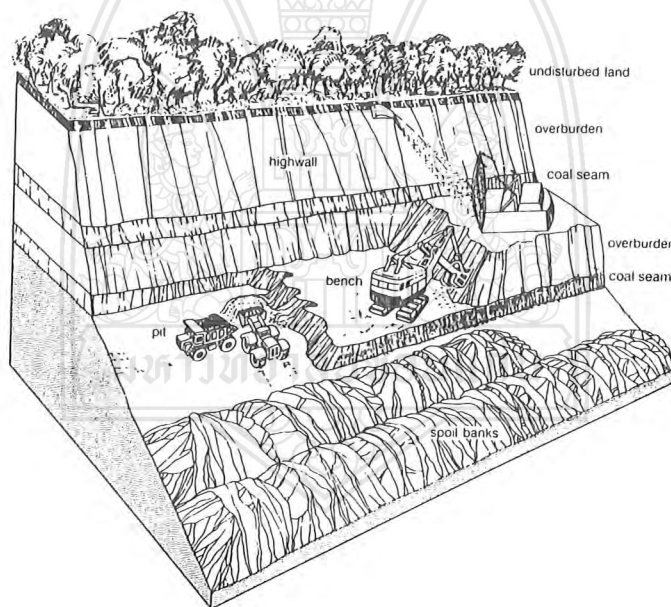
บทสรุป

จากการที่ได้มีโอกาสไปร่วมกิจกรรมของโครงการพสวท. และได้เข้าร่วมฟังการบรรยายวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นจากแผนกปฏิบัติการเหมืองแม่เมาะ กองธรณีวิทยาในครั้งนี้ ทำให้ได้รับความรู้ต่างๆ มากมายหลายด้าน ได้รับทราบวิธีการดำเนินงานและแผนการปฏิบัติงานของฝ่ายนี้บ้าง แม้วิธีการทดลองนั้นไม่ได้ลงมือทำอย่างจริงจัง แต่ก็ได้สัมผัสและได้แนวความคิดว่าเจ้าหน้าที่ของ กฟผ. นั้นทำงานกันเป็นระบบระเบียบกันอย่างไร เพื่อที่จะได้นำประสบการณ์สิ่งเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ และสอนสั่งให้นักศึกษาคน

อื่นๆ ได้รับรู้บ้างไม่มากก็น้อย รวมทั้งเป็นการเผยแพร่ให้บุคคลที่สนใจทางด้านนี้ได้รับทราบบ้าง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของทาง กฟผ.แม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังนี้ คุณศิรินทร์ทิพย์ ภักดีสงคราม (หัวหน้าแผนกปฏิบัติการ) คุณสุรพล ชัยสิทธิพล คุณอนุวัติ ลักษณะโยธิน และคุณปราโมทย์ หลงผาสุก (เจ้าหน้าที่วิเคราะห์น้ำมัน) คุณอวัช สมณา (เจ้าหน้าที่เก็บตัวอย่างน้ำมัน) ที่ให้ความรู้ มอบเอกสารบางส่วน รวมทั้งประสบการณ์แปลกๆ ใหม่ๆ ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นในครั้งนี้เป็นอย่างสูง



Contour strip mining of coal.

This type of surface mining is used in hilly or mountainous terrain

INCORPORATION OF DOMAIN EXPERTS KNOWLEDGE IN DETERMINING BIOLOGICAL METHODS FOR WATER POLLUTION TREATMENT IN RIVERS

Mongkon Ta-oun¹

Mohamed Daud²

Mohd Zohadie Bardaie³

Shamshuddin Jusop⁴

ABSTRACT

The protection of the environment from pollution is very important. It is the first principle of planning and management in controlling the pollution problem. However, when a problem occurs, it is necessary to find the proper method to solve that problem. For instance, the water pollution problem of rivers, which normally happens in developing countries. Application of biological methods is one of the effective methods with low cost and uses natural resources or ecological control. Proper management will minimize the water pollution problems. The biological application integrates with physical application such as using aquatic weed, aerated pond, rotating biological contractions, and integration mixer. The use of each method depends on the conditions of the existing area and environmental surrounding. Thus, efforts should be made to treatment the problem efficiently. In addition, this knowledge base can be applied in establishing an expert system.

INTRODUCTION

Biological treatment of wastewater is based on the apparently simple process in which a mixed population of microorganisms utilizes nutrient substances contaminating the water. This is the mechanism by which healthy natural waterways, such as lakes and rivers, purify themselves. With proper analysis and environmental

control, almost all wastewater can be treated biologically. The biological removal of nutrients and pond processes are considered in separate sections. The objectives of biological treatment of wastewater are to coagulate and remove the nonsettleeable colloidal solids and to stabilize the organic matter [1]. A major objective is to reduce the organic content and, in many cases, the

¹Scientist, Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University 40002

²Lecturer, ³Professor, Faculty of Engineering, and ⁴Professor, Faculty of Agriculture University Putra Malaysia 43400

nutrients such as nitrogen and phosphorus. In many locations, the removal of trace organic compounds that may be toxic is also an important treatment objective [2].

In this case the objective is to remove or reduce the concentration of organic and inorganic compounds, because many of these compounds are toxic to micro-organisms.

USE OF AQUATIC WEED

Recently, researchers have discovered that some aquatic weeds can scavenge inorganic and some organic compounds from water: The weeds absorb and incorporate the dissolved materials into their own structure. In addition, aquatic weeds can be used to partially strip traces of potentially harmful or odorous agents from drinking water including cadmium, nickel, mercury, phenol, and potential carcinogen [3]. Not all-aquatic plants are equally adapted for growing on wastewater. However, water hyacinth, a strong vigorous weed seems to be the most suitable weed in reducing water pollution. Water hyacinth can double in area every 6-7 days during the growing season. It can remove 80 percent of the nitrogenous compounds and 40 percent of the phosphorus compounds in 2 days [4]. Under ideal conditions

water hyacinth has recovered the following elements: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium, 22-44, 8-17, 22-44, 11-22, 2-4, and 18-34 kg/ha/day, respectively [4]. After consultation with and observation by domain experts the following methods are suggested to solve the water pollution problems.

A. NON-MOVING WATER HYACINTH CULTURE

The river has to be divided into several parts along its length. By using bamboo frames or other materials, water hyacinth will be introduced to culture within these frames. The frames will be fixed in the river. The design of this method is shown in figure 1.

B. MOVING WATER HYACINTH CULTURE

Water hyacinth will be cultured in the fixed frames for a certain period using the A method. After that the frames will be removed so that the water hyacinth can float randomly in the river depending on the tidal variation. The design of this method is shown in figure 2.

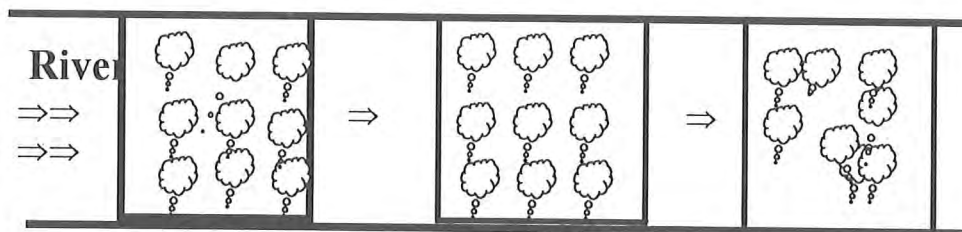


Figure 1 Non moving water hyacinth culture for treatment of water pollution in the river

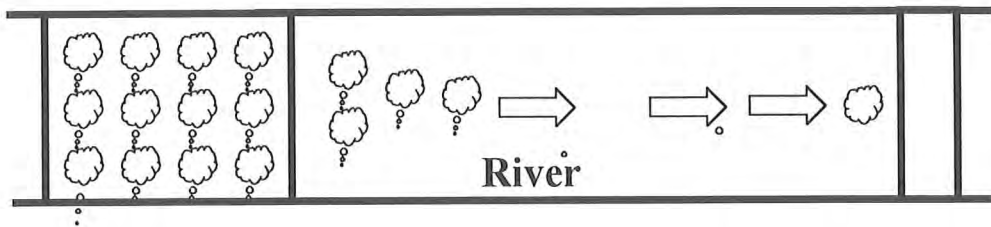


Figure 2 Moving water hyacinth culture for treatment of water pollution in the river

C. WATER HYACINTH POND

The river will be dug out to drain away the water and store it in the man made pond, which contains water hyacinth. After removal of the pollutant by water hyacinth, the treated water will be released into the river again. The design of this method is shown in figure 3.

USE OF AERATED POND

This is to activate a biological process of microorganism in decreasing Biological Oxygen Demand [5]. Pond construction near the river 2-6 metres deep will be recommended to store water for 5-10 days. The floating aquatic weed is contained in a motor driven agitator enclosed in a bowl-shaped container that floats on the surface

of the water. It is moveable and can be located anywhere in the pond. The design of this method is shown in figure 4.

USE OF TRICKLING FILTER

A concrete pond of 5 -50 metres in diameter and of 2 - 5 metres in depth will be constructed near the river. Media such as rock cement block or at spherical plastic object is put in the pond. Water drained from the river is then sprayed into the pond. The media surface in the pond will become a place of attachment for microorganisms. The microorganisms can use oxygen, increase their numbers and decompose river pollutants effectively [5]. The design of this method is shown in figure 5.

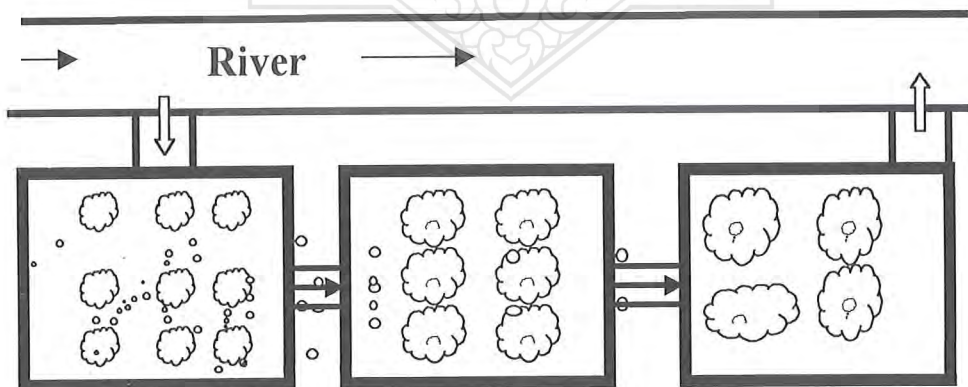


Figure 3 Water hyacinth pond for treatment of water pollution in the river

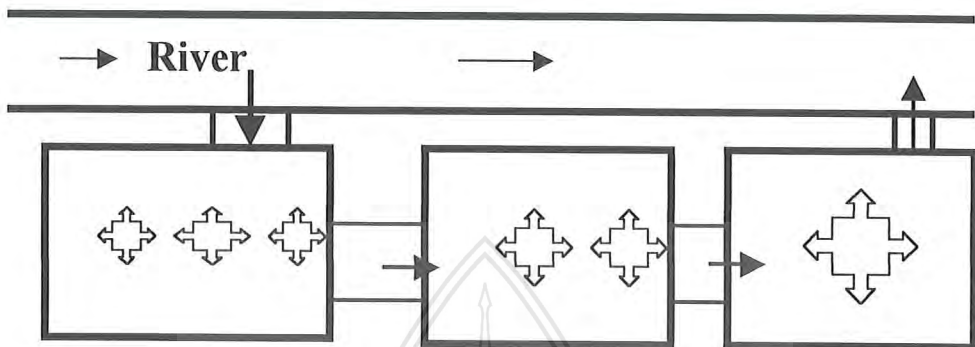


Figure 4 Aerated pond for treatment of water pollution in the river

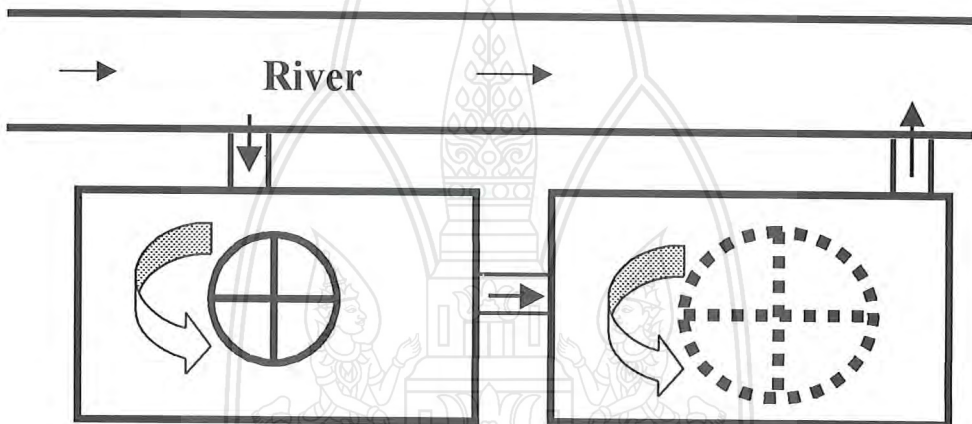


Figure 5 Trickling filter for treatment of water pollution in the river

ROTATING BIOLOGICAL CONTRACTOR

A cylindrical plastic tube of 2-3 metres in diameter is placed in a horizontal position in the river across the stream flow, with 40 percent of tube sunk in water. The tube is motor rotated so that microorganism living on the surface area of the tube can use oxygen from air and consume organic matter from river water alternately [6]. The design of this method is shown in figure 6.

INTEGRATION OF BIOLOGICAL METHODS

The river has to be divided into several parts along its length. The design of the first example of an integrated method is shown in figure 7, which is an integration of non-moving water hyacinth culture and rotating biological contractor. The second integrated method is shown in figure 8, which is an integration of water hyacinth pond, aerated pond and trickling filter. Then, the river will be dug out for draining away water and storing it in the man made pond.

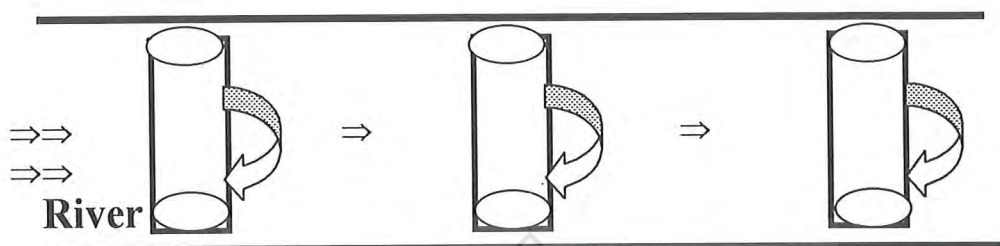


Figure 6 Rotating biological contractor for treatment of water pollution in the river

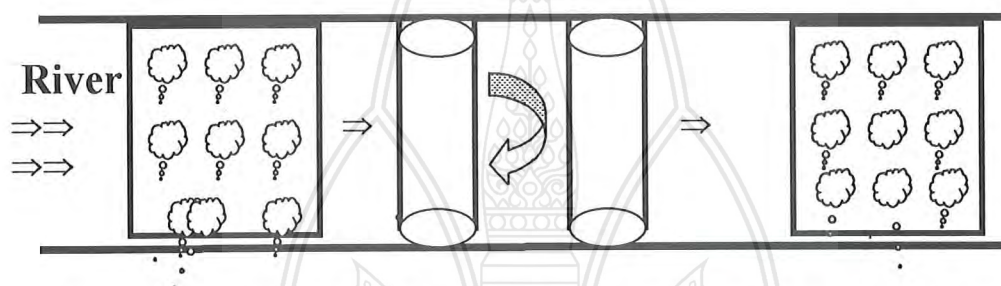


Figure 7 Integration of non-moving water hyacinth culture and rotating biological contractor for treatment of water pollution in the river

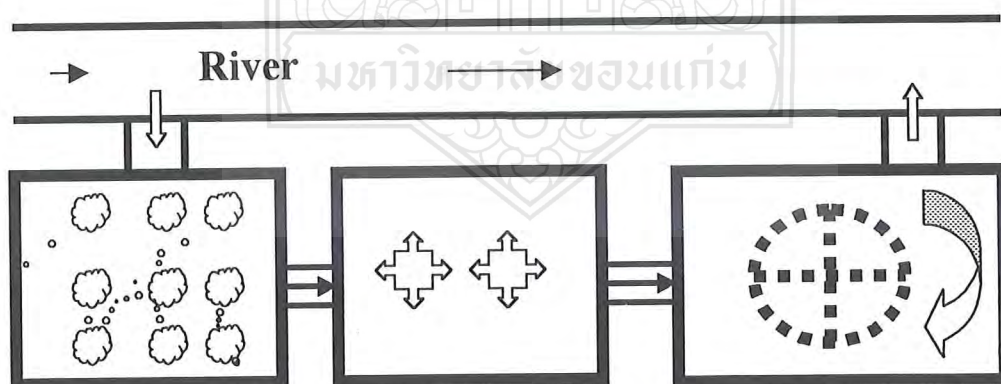


Figure 8 Integration of water hyacinth pond, aerated pond and trickling filter for treatment of water pollution in the river

SUITABILITY AND DIFFERENCES OF METHODS IN DEVELOPING AN EXPERT SYSTEM

According to domain experts, each of the five methods has various degrees of suitability effectiveness and complexity of usage (table 1). These knowledge can be incorporated in an expert system that is developed by using CLIPS (C Language Integrated Production System). The CLIPS inference engine includes truth maintenance, dynamic rule addition, and customizable conflict resolution called COOL (CLIPS Object Oriented Language) which is directly integrated with the inference engine[7,8,9]. The expert system can be developed using a modular programming technique and window capabilities "Toolbox" facilities are used extensively especially for the

input output operations. CLIPS provides a cohesive tool for handling a wide variety of knowledge supporting routines for three different programming paradigms; rule based, Object oriented and Procedural. An expert system can be used in advising people in the usage of biological control for reducing water pollution. Production rules used in the expert system with knowledge represented in IF/THEN (condition - action) statement. It is a widely used method that has been devised for representing this information. In the expert system, all the knowledge is constructed as rules. Domain knowledge is captured in a set of rules and entered in the systems knowledge. When the IF portions of the rule matches information contained in the working memory the system performs the action specified in the THEN port of rules. Example of rules derived from table 1;

Table 1 The degree of suitability, effectiveness and complexity of the biological control methods used for water pollution treatment.

Methods	Suitability / Complexity	Effectiveness	Easy of used
1) Aquatic weed			
- Non-moving culture	1,3	L	EE
- Moving culture	2,4	L/M	EE
- Water hyacinth pond	1,2,3,4	M	MM
2) Aerated pond	2,3,4	H	MM
3) Trickling filter	1,2	H	MM
4) Rotating biological contractor	2,3,4	H	MM
5) Integration of biological methods			
- non-moving culture	1,3	VH	MH
+ Rotating Biological Contractor			
- water hyacinth pond	1,2	VH	MH
+ Aerated pond +Trickling Filter			

Note: 1 shallow, slowly flow L-low EE -easy ,economic cost
 2 shallow, fast flow L/M-low to medium MM -medium,
 3 deep, slowly flow M-medium moderate cost
 4 deep, fast flow H-high MH-complex, high cost
 VH-very high

Example 1 : if complexity of the method is selected, as the basis of selection, then for a simple and cheap method (easy to be used) the rule will be;

IF

Depth = shallow

Flow rate = slow

THEN

Method = aquatic weed with
non-moving

Effectiveness = low

Example 2 : In the case where the level of effectiveness is used in the selection criteria, if the method has the effectiveness level of low to medium , the rules will be in the form of

IF

Complexity = easy

THEN

Method = aquatic weed non- moving or aquatic weed moving.

CONCLUSION

The treatment of river water pollution through biological application can be used under various conditions. The proper method of management depends on the environmental condition of the area/existing area. One method may be suitable for a large area but may not be suitable for a particular locality. The parameters which should be considered in selecting the appropriate method are the length, the depth, the width of the river, the severity of the river water pollution, the kind of pollutant, the amount pollutant in the river and the geographical characteristic of the area. The biological application for treatment

of water pollution in rivers is to use the mechanisms of the ecosystem or the diversity of microbiology. Therefore, the process for improving polluted water to good quality water takes place and makes it safe for organisms living in such ecosystem. In addition, the knowledge of domain experts on the various possible methods of reducing water pollution using biological control and their degrees of suitability, effectiveness and complexity can be extracted, consulted and converted into rules that can be used in the development of an expert system. An efficient and continuous practice is needed to reduce water pollution at a minimum level. By using the expert system, the selection and monitoring of an appropriate integrated biological system based on domain experts' expertise can be made quality and judiciously in reducing water pollution to a minimum.

REFERENCES

1. Winkler, M.A. (1981). Biological treatment of wastewater. John Wiley and Son, New York.
2. Sitting, M. (1974). Pollution control in the organic chemical industry. Noyes Data Corporation, London.
3. Reid, G. W. (1982). Appropriate methods of treating water and wastewater in developing countries. Ann Arbor Science , Michigan.
4. National academy of science. (1984). Making aquatic weeds useful : some perspectives for developing countries. National Academy of Sciences Washington, D.C.
5. Eckenfelder, W.W. (1989). Industrial water pollution control. Mcgraw Hill Publishing Company. New York.

6. Metcalf and Eddy, Inc. (1991). Wastewater engineering. McGraw-Hill, Inc. NewYork.
7. Giarratano, J.C. (1993). CLIPS version. Software technology Branch Lyndon B. Johnson Spaccenter, USA.
8. Giarratano, J.C. and G. Riley. (1994). Introduction to CLIPS in Expert system principles and programming . PWS publish company, Boston, 363 - 400 p.
9. Julian, S. (1994). User manual for wx CLIPS 1.3. Artificial intelligence application institute, university of Edinburgh, south bride, Scotland.



การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้ง โรงงานแปรรูปมันฝรั่ง โดย *Candida tropicalis* TISTR 5136 "Single Cell Protein from Potato Processing Wastewater by *Candida tropicalis* TISTR 5136"

ดวงใจ โอชัยกุล* และ มาริสา จาตุพรพิพัฒน์*

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปมันฝรั่ง โดย *Candida tropicalis* TISTR 5136 พบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปมันฝรั่งที่ไม่เจือจาง พีเอชเริ่มต้น 4.5 เลี้ยงภายใต้สภาวะที่ให้อากาศบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที บ่มที่อุณหภูมิ 30° ซ. เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Candida tropicalis* TISTR 5136 ในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปมันฝรั่งและภายใต้สภาวะนี้ ยีสต์มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.47 ต่อชั่วโมง ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด 1.212 กรัมต่อลิตร และสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 78.97 เซลล์ยีสต์ที่ได้ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันร้อยละ 32.19 และ 0.454 ตามลำดับ

Abstract

Studied on single cell protein from potato processing wastewater by *Candida tropicalis* TISTR 5136 found that the optimal growth conditions of *Candida tropicalis* TISTR 5136 in potato processing wastewater are undiluted potato processing wastewater, initial pH of 4.5, agitation on the shaker at 130 rpm and incubation at 30°C. Under optimized condition, the yeast gave specific growth rate of 0.47 h⁻¹ the highest biomass concentration of 1.212 g/l and COD removal of 78.97%. The cell consisted of protein and fat 32.19% and 0.454% respectively.

บทนำ

ปัจจุบันมีโรงงานแปรรูปมันฝรั่งมากมาย ซึ่งระหว่างกระบวนการผลิตจะมีของเหลือทิ้งรวมทั้งน้ำเสียมากมายโดยได้จากขั้นตอนการปอกเปลือก การล้างหัวมันฝรั่งเพื่อกำจัดสิ่งที่เป็นพิษมาและการล้างแผ่นมันฝรั่ง สำหรับของเสียที่ได้จากขั้นตอนการปอกเปลือกนิยมนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ (Lemmel et al., 1979) น้ำเสียที่ได้จากการล้างแผ่นมันฝรั่งจะมีปริมาณสารอินทรีย์จำนวนมาก รวมทั้งพีเอชต่ำ ถ้าปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะทำให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะการศึกษานี้จึงได้นำน้ำทิ้งส่วนนี้มาใช้เป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ ซึ่งนอกจากจะลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นโดยผลิตในรูปโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์

มีการทดลองใช้เชื้อผสมของ *Saccharomyces fibuligera* และ *Candida utilis* ผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ กระบวนการนี้เรียกว่า Symba process แต่รายละเอียดเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการนี้มีน้อยมาก

Yiao Hsu (1988) ได้ศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตผงชูรส พบว่า *Candida tropicalis* เจริญได้ดีที่สุด เนื่องจากเชื้อนี้สามารถใช้สารประกอบบางชนิดในน้ำทิ้งได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้จึงใช้ *Candida tropicalis* TISTR 5136 เลี้ยงในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปมันฝรั่ง และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญรวมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของเซลล์ยีสต์ที่ได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ วัสดุอุปกรณ์

1. จุลินทรีย์ : *Candida tropicalis* TISTR 5136 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2. อาหารเลี้ยงจุลินทรีย์

2.1 อาหารสูตร NRRL (Lemmel et al., 1979) ประกอบด้วยกลูโคสร้อยละ 1.0 เปปโตนร้อยละ 0.5 มอลต์สกัดร้อยละ 0.3 และยีสต์สกัดร้อยละ 0.3

2.2 น้ำที่ได้จากการล้างแผ่นมันฝรั่งจากบริษัทอาหารยอดคุณ จำกัด กรุงเทพฯ

วิธีการทดลอง

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำล้างแผ่นมันฝรั่ง

วิเคราะห์ค่าพีเอช ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ของแข็งทั้งหมด (total solids) ตามวิธีของ APHA, AWWA และ WPCF (1985) น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ตามวิธีของ A.O.A.C (1984)

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปมันฝรั่ง

2.1 ศึกษาอัตราการเจริญจากน้ำทิ้งเลี้ยงยีสต์ในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่เจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 : 0, 1 : 1 และ 1 : 2 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 3.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 นอร์มอล เติมเชื้อเริ่มต้นที่มีอายุ 24 ชั่วโมง ซึ่งเลี้ยงในอาหารเหลว NRRL ร้อยละ 10 นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30° ซ. เก็บตัวอย่างทำการวิเคราะห์อัตราการเจริญ ซีโอดี และน้ำหนักเซลล์แห้งของมวลชีวภาพ

2.2 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์

ใช้น้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่มีอัตรา การเจือจางที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์ ปรับ

พีเอชเป็น 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 ตามลำดับ
เลี้ยงเชื้อและวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์
ยีสต์ที่ผลิตได้

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน และ
ความชื้นของเซลล์ยีสต์ที่ผลิตภายใต้สภาวะการ
เลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมตามวิธีของ A.O.A.C (1984)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
และคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำล้างแผ่นมันฝรั่ง
น้ำล้างแผ่นมันฝรั่งจากบริษัทอาหาร
ยอดคุณ จำกัด มีพีเอช 6.9 ค่าซีไอดี 3,192
มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 35 มิลลิกรัม
ต่อลิตร ของแข็งทั้งหมด 3.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ
แข็งแขวนลอย 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำตาล
รีดิวซ์ 117,387 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 1)

2. ศึกษาอัตราการเจริญของน้ำล้างแผ่น
มันฝรั่งต่อการเจริญของ *Candida tropicalis*

จากการเลี้ยง *C.tropicalis* TISTR
5136 ในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งเจือจางด้วยน้ำอัตราส่วน
1 : 0, 1 : 1 และ 1 : 2 พีเอชเริ่มต้น 3.5 ภายใต้
สภาวะการให้อากาศบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ
130 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30° ซ. เป็นเวลา 16
ชั่วโมง (ตารางที่ 2) พบว่าเชื้อสามารถเจริญได้ดี
ที่สุดเมื่อเลี้ยงในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่ไม่เจือจาง
(1:0) มีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.27 ต่อชั่วโมง
และให้มวลชีวภาพสูงสุด 0.653 กรัมต่อลิตร สูง
กว่ามวลชีวภาพของเชื้อที่เลี้ยงในน้ำล้างแผ่น
มันฝรั่งที่อัตราการเจือจาง 1 : 1 และ 1 : 2 ซึ่ง
เท่ากับ 0.352 และ 0.317 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ
สำหรับการลดลงของค่าซีไอดีพบว่าให้ผลในทาง
เดียวกันกับการเพิ่มมวลชีวภาพ คือที่อัตราการ
เจือจางน้ำล้างแผ่นมันฝรั่ง 1 : 0 เชื้อสามารถลดค่า
ซีไอดีได้สูงสุดร้อยละ 54.38 รองลงมาคือที่
อัตราการเจือจาง 1 : 1 เท่ากับร้อยละ 35.28 และ
ที่อัตราการเจือจาง 1 : 2 เชื้อสามารถลดค่าซีไอดี
ได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 30.74

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งจากบริษัท อาหารยอดคุณ จำกัด

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)*
พีเอช	6.9
ซีไอดี	3,192
ไนโตรเจนทั้งหมด	35
ของแข็งทั้งหมด	3.8
ของแข็งแขวนลอย	0.46
น้ำตาลรีดิวซ์	117,387

*ยกเว้นค่าพีเอช

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญงอกงามในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งต่อน้ำที่มีผลต่อการเจริญของ *C.tropicalis* TISTR 5136

อัตราการเจริญงอก ล้างแผ่นมันฝรั่งต่อน้ำ	อัตราการเจริญงอก สูงสุด (ต่อชั่วโมง)	มวลชีวภาพสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	การลดลงของค่า ซีไอดี (ร้อยละ)	พีเอช สุดท้าย
1 : 0	0.27	0.653	54.38	4.14
1 : 1	0.20	0.352	35.28	3.20
1 : 2	0.19	0.317	30.74	2.98

3. ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *C.tropicalis* ค่าซีไอดีที่ลดลง คือพีเอช 4.5 ซึ่งสามารถลดค่าซีไอดีได้สูงสุดร้อยละ 78.79 รองลงมาคือที่พีเอช

จากการเลี้ยงเชื้อในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ พบว่าเชื้อยีสต์สามารถเจริญและให้มวลชีวภาพสูงสุด เมื่อเลี้ยงในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่ไม่เจือจางและมีพีเอชเริ่มต้น 4.5 เท่ากับ 1.212 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญงอกสูงสุด 0.47 ต่อชั่วโมง รองลงมาคือที่พีเอช 4.0 ได้มวลชีวภาพ 1.012 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญงอก 0.41 ต่อชั่วโมง ส่วนที่พีเอช 3.0 และ 3.5 เชื้อจะให้มวลชีวภาพเท่ากับ 0.590 และ 0.706 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ

ค่าซีไอดีที่ลดลง คือพีเอช 4.5 ซึ่งสามารถลดค่าซีไอดีได้สูงสุดร้อยละ 78.79 รองลงมาคือที่พีเอช 4.0 ร้อยละ 73.02 (ตารางที่ 3) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Lemmel และคณะ (1979) ซึ่งพบว่ายีสต์ โดยทั่วไปสามารถเจริญได้ดีที่พีเอช 4.5-4.6 และการลดลงของค่าซีไอดีก็สอดคล้องกับการทดลองของสุวิทย์ สุวรรณโณ (2539) โดยพบว่า *Candida tropicalis* TISTR 5136 ที่เลี้ยงในน้ำล้างปลาหูกจะเจริญได้ดีที่สุดในน้ำปลาหูกไม่เจือจาง และลดค่าซีไอดีได้สูงสุดที่พีเอชเริ่มต้น 4.5

ตารางที่ 3 พีเอชที่มีผลต่อการเจริญของ *C.tropicalis* TISTR 5136

พีเอชเริ่มต้น	อัตราการเจริญงอก สูงสุด (ต่อชั่วโมง)	มวลชีวภาพสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	การลดลงของค่า ซีไอดี (ร้อยละ)	พีเอช สุดท้าย
3.0	0.21	0.590	44.05	2.86
3.5	0.28	0.706	59.22	3.78
4.0	0.41	1.012	43.02	6.72
4.5	0.47	1.212	78.97	7.04

4. องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ยีสต์ที่ผลิตได้

จากการเลี้ยง *C.tropicalis* ในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่ไม่เจือจางและปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4.5 (ตารางที่ 4) พบว่าเชื้อที่เลี้ยงในสภาวะดังกล่าวจะมีปริมาณโปรตีน ความชื้นและไขมันร้อยละ 32.19, 8.5 และ 0.454 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมี *C.tropicalis* ที่เลี้ยงในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่ไม่เจือจางและปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4.5

องค์ประกอบทางเคมี	ความเข้มข้น (%)
โปรตีน	32.19
ความชื้น	8.5
ไขมัน	0.454

สรุป

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งของบริษัท อาหารยอดคุณ จำกัด พบว่า น้ำล้างแผ่นมันฝรั่งมีพีเอช 6.9 ค่าซีโอดี 3,192 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยและน้ำตาลรีดิวซ์ 3.8, 0.46 และ 117, 387 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของ *Candida tropicalis* TISTR 5136 คือ เลี้ยงในน้ำล้างแผ่นมันฝรั่งที่ไม่เจือจาง ปรับ

พีเอชเริ่มต้นเป็น 4.5 จะให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด 1.212 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญจำเพาะ 0.47 ต่อชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 78.97 และเซลล์ยีสต์ที่ได้มีโปรตีนและไขมันร้อยละ 32.19 และ 0.454 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- Lemmel, S.A., Heimsch, R.C. and Edward, L.I. (1979). Optimizing the continuous production of *Candida utilis* and *Saccharomyces fibuligera* on potato processing wastewater. Appl. and Environ. Microbiol. 37(2) : 227-232.
- Yiao, H. (1988). Single cell protein from wastewater of monosodium glutamate manufacture. Process Biochem. 23(6) : 176-177.
- APHA, AWWA and WPCF. (1985). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- A.O.A.C (1984). Official of the Association of Official Chemists 14th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- สุวิทย์ สุวรรณโณ. (2539). การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากน้ำล้างปลาทูน่า. ว.สงขลานครินทร์ ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 ม.ค.-มี.ค. 43-48.

แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือด้วย $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ที่ 950°C ในอากาศ

The Phase Diagram of Y-Ba-Cu-O System with doped $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ at 950°C in air

จำนงค์ ฉายเชิด* กำชัย ตรีชัยรัตน์*
และ เตชา ยศศักดิ์ศรี*

บทคัดย่อ

ได้เตรียมสารตัวอย่างต่าง ๆ ของพวกออกไซด์สามชนิด (Y_2O_3 , BaO , CuO) ที่เจือด้วย $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ขึ้น โดยการเผาที่อุณหภูมิ 950°C ในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สรุปผลเบื้องต้นเป็น แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือด้วย $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ พบว่า Y-Ba-Cu-O ที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ได้ สารตัวอย่างที่แสดงความเป็นตัวนำยิ่งยวดเป็นจำนวนมากขึ้นกว่าที่ไม่ได้เจือ (Ag_2O) และที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$ สารตัวอย่างที่แสดงความเป็นตัวนำยิ่งยวด , สารตัวอย่างสีดำ , สารตัวอย่างหลอมเหลว และสารตัวอย่าง สีเขียว แสดงด้วยเครื่องหมาย วงกลม $\bigcirc$, วงกลมทึบ $\bullet$, กากบาท $\times$ และสี่เหลี่ยมจตุรัส $\square$ ใน ตารางที่ 1 ตามลำดับ สารตัวอย่างที่มีสัดส่วนเป็น $(\text{YO}_{1.5})_x(\text{BaO})_y(\text{CuO})_z + (\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ซึ่งมีค่า $1 \leq x \leq 4$, $2 \leq y \leq 5$ และ $3 \leq z \leq 7$ มีการแสดงสมบัติสภาพนำยิ่งยวด

Abstract

Various samples of the ternary oxides (Y_2O_3 , BaO , CuO) with doped $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ were prepared by sintering at 950°C in air for 24 hours. The preliminary results are summarized in phase diagram of Y-Ba-Cu-O system with doped $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$. The Y-Ba-Cu-O system with doped $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ were increased superconducting samples from undoped (Ag_2O) and doped $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$. Superconducting samples, black samples, melt samples and green samples are marked with circle $\bigcirc$, solid circle $\bullet$, cross $\times$ and square $\square$ in Table 1, respectively. The samples of nominal $(\text{YO}_{1.5})_x(\text{BaO})_y(\text{CuO})_z + (\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ which $1 \leq x \leq 4$, $2 \leq y \leq 5$ and $3 \leq z \leq 7$ show properties of superconductivity.

คำนำ

เมื่อเบ็ดโนร์ดและมุลเลอร์ (Bednorz and Muller)¹ ได้ค้นพบสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงในระบบ La-Ba-Cu-O ทำให้นักวิทยาศาสตร์ มีความพยายามในการค้นหาสารตัวนำยิ่งยวด ที่มี อุณหภูมิวิกฤต (T_c) สูงขึ้น ต่อมาชูกับคณะ (Chu et al)² และวูกับคณะ (Wu et al)³ ก็ค้นพบสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงในระบบ $\text{Y-Ba-Cu-O}(123)$ ที่มี T_c ประมาณ $85\text{K}-95\text{K}^4$ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมสารโดยใช้สารประกอบเริ่มต้นพวก Y_2O_3 , BaO [หรือ BaO_2 หรือ Ba(OH)_2 หรือ $\text{Ba(NO}_3)_2$ หรือ BaCO_3] และ CuO ชนิดผงสังเคราะห์ให้มี สัดส่วนอะตอมของ $\text{Y} : \text{Ba} : \text{Cu}$ เป็น $1 : 2 : 3$ นำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิ $900^\circ\text{C}-1200^\circ\text{C}$ แล้วปล่อยให้สารตัวอย่างเย็นตัวช้าๆ ภายในเตาก็ จะได้สารตัวนำยิ่งยวดที่มีอุณหภูมิวิกฤตแตกต่างกัน นักวิจัยหลายกลุ่มได้ทดลองเปลี่ยนสัดส่วนมวลสาร ประกอบเริ่มต้นที่ใช้ในการผสม เพื่อต้องการหา สารตัวนำยิ่งยวดใหม่ๆ พร้อมทั้งศึกษาพฤติกรรม ของสารในระบบ Y-Ba-Cu-O การเปลี่ยนสัดส่วน มวลของสารประกอบเริ่มต้นในการผสมมีอยู่หลาย ๆ แบบ และปัจจุบันนี้ มีการใช้สารประกอบเริ่มต้น เพื่อการเตรียมสารตัวนำยิ่งยวดมากกว่าสามชนิด⁵ เช่น สารตัวนำยิ่งยวดในระบบ Bi-Sr-Ca-Cu-O ซึ่งมีการใช้สารประกอบเริ่มต้นถึงสี่ชนิด ถ้ามีการใช้ สารประกอบเริ่มต้นมากกว่าสองชนิดขึ้นไปจะทำให้ เกิดความยุ่งยากและมีลักษณะที่ซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แผนภาพเฟสเข้ามาช่วย ทำให้สามารถเลือกการเปลี่ยนสัดส่วนมวลสาร ประกอบเริ่มต้นในการผสมได้อย่างมีระบบเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ อีกทั้งทำให้เกิดความ เข้าใจในพฤติกรรมของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ด้วย ซึ่งจะเกิดประโยชน์อย่างมากถ้ามีการทำแผนภาพ เฟสที่สมบูรณ์ เราได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของการ ทำแผนภาพเฟส จึงศึกษาค้นคว้าเริ่มต้นทำ

แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือด้วย $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ขึ้นมา และพยายามทำให้แผนภาพเฟส นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในการวิจัยครั้งต่อไป

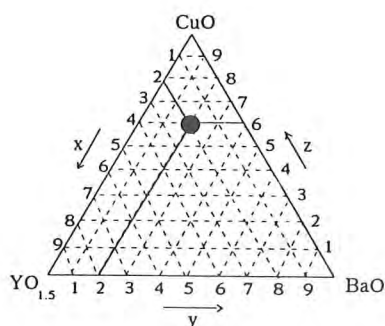
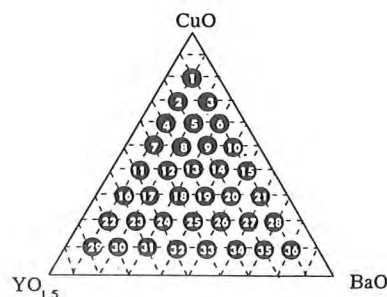
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ขั้นที่ 1 การเตรียมผงสารและการอัดเม็ด สารตัวอย่าง

ทำการเตรียมสารตัวอย่างตามสูตร $(\text{YO}_{1.5})_x(\text{BaO})_y(\text{CuO})_z + (\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ เมื่อค่า x, y, z สามารถหาได้จากแผนภาพเฟสแสดงในรูปที่ 1.1 ได้สารตัวอย่างทั้งหมด 36 สาร ดังแสดงใน รูปที่ 1.2 โดยใช้ผงสารประกอบเริ่มต้นเป็นพวก Y_2O_3 , BaO และ CuO ที่มีความบริสุทธิ์ 99.0% สังเคราะห์ในสัดส่วนต่างๆ กันตามที่ต้องการ แล้ว ทำการบดคลุกเคล้ากันเป็นอย่างดี จนเห็นเป็นสี เดียวกันในครก agate จากนั้นนำผงสารที่ได้ไปชั่ง ให้ได้มวลของผงสารประมาณ 2 กรัม อัดให้เป็น เม็ดโดยใช้ความดัน 2 ตัน เป็นเวลานาน 3 นาที ได้เม็ดสารทั้งหมด 36 เม็ด มีลักษณะสี เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ความหนา และมวลสารดังแสดงในตาราง ที่ 1 โดยสารตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นสีดำเทา (ยกเว้น เม็ดสารที่ 32 ถึง 36 มีสีเทาล้ำ) ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเฉลี่ย 12.82 มิลลิเมตร ความหนาเฉลี่ย 4.51 มิลลิเมตร และมวลสารเฉลี่ย 1.6733 กรัม

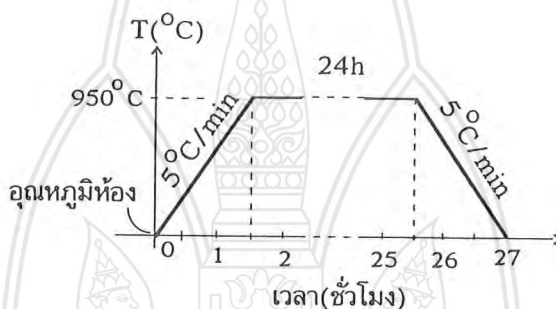
ขั้นที่ 2 การเผาเม็ดสารและผลที่ได้จากการ เผาเม็ดสารตัวอย่าง

นำเม็ดสารทั้ง 36 เม็ด มาเผาในอากาศ ด้วยเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยใช้ โปรแกรมสั่งงานแบบมีขั้นตอนในการเผาแต่ละ เม็ดดังนี้ ตอนแรก เพิ่มอุณหภูมิห้องทดลองขึ้นที่ละ 5°C ต่อมาที่ จนถึงอุณหภูมิ 950°C ตอนสอง เผาเม็ดสารที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ ตอนสุดท้าย ลดอุณหภูมิจาก 950°C ลงที่ละ 5°C ต่อมาที่ จนถึงอุณหภูมิห้องทดลองใช้เวลา

รูป 1.1 แสดงการหาค่า x, y, z 

รูป 1.2 แสดงสารตัวอย่าง 36 เม็ด

รูปที่ 1 แผนภาพจำนวนของสารตัวอย่าง

รูปที่ 2 รูปกราฟแสดงอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ที่ใช้เผาสารและช่วงเวลา (ชั่วโมง)
ในการเผาสารโดยตัดสเกลเวลาบางส่วน

ทั้งสิ้น 27 ชั่วโมง จึงสิ้นสุดกระบวนการเผา ดังแสดงในรูปที่ 2 นำเม็ดสารที่ผ่านการเผามาสังเกตลักษณะของเม็ดสาร ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่าลักษณะเม็ดสารตัวอย่างหลังเผาแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 เม็ดสารตัวอย่างเป็นสารตัวนำยิ่งยวด ใช้สัญลักษณ์ O

เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มนี้มี 11 เม็ดคือเม็ดสารที่ 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 18 และ 19 มีตำแหน่งอยู่ในแผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือด้วย $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ตามรูปที่ 3.3

จำนวนเม็ดสารเกิดเป็นจำนวนเพิ่มขึ้นจากที่ไม่ได้เจือด้วย (Ag_2O) ตามรูปที่ 3.1 และเจือด้วย (Ag_2O) ตามรูปที่ 3.2 และทดลองเตรียมเม็ดสาร 3 ครั้งสี่ของเม็ดสารส่วนใหญ่เป็นสีดำปนเขียวมีเกล็ดแวววาวกระจายทั่วเม็ด (ยกเว้นเม็ดที่ 13, 19 มีสีเทาปนเขียวไม่แวว) เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดสารส่วนใหญ่มีค่าน้อยลง (ยกเว้นเม็ดที่ 11, 16) ความหนาส่วนใหญ่มีน้อยลงทุกเม็ด เม็ดสารในกลุ่มนี้มีความสามารถหลักแท่งแม่เหล็กเล็กๆ (Sm-Co) ให้ลอยตัวอยู่เหนือเม็ดสารได้ในขณะที่เม็ดสารเหล่านี้แช่อยู่ในไนโตรเจนเหลว ดังนั้นถ้าต้องการเตรียมเม็ดสารตัวอย่าง แล้วทำให้ได้เม็ดสารเป็น

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะเม็ดสารตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผาเม็ดสาร $(YO_{1.5}x)(BaO)_y(CuO)_z$ ที่เจือ $(Ag_2O)_{0.2}$ ทั้งหมด 36 เม็ดแสดงสี เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา มวลสารและแสดงปรากฏการณ์ไมสส์เนอร์ (Meissner effect) ที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว สำหรับเม็ดสารที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $950^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พร้อมแสดงสัญลักษณ์กลุ่มของเม็ดสารที่ได้หลังเผาไว้ด้านข้างซ้ายของตาราง

	เม็ดที่	สัดส่วน x, y, z	สี		เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.) [*]		ความหนา (มม.) [*]		มวลสาร (กรัม) ⁺⁺		การแสดงผล ไมสส์เนอร์ ที่ N_2 เหลว
			ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	
●	1	118	ดำเทา	ดำแวววาว	13.00	11.85	4.25	3.75	1.8787	1.6514	ไม่แสดง
●	2	217	ดำเทา	ดำแวววาว	13.10	12.30	4.17	3.85	1.9193	1.7878	ไม่แสดง
○	3	127	ดำเทา	ดำแวววาว	13.00	11.40	4.20	3.40	1.8079	1.3090	แสดง
●	4	316	ดำเทา	ดำปนเขียว	13.00	13.05	4.17	4.40	1.8697	1.7732	ไม่แสดง
○	5	226	ดำเทา	ดำแวววาว	13.00	12.05	4.40	3.80	1.8314	1.3938	แสดง
○	6	136	ดำเทา	ดำแวววาว	13.10	11.20	4.65	3.55	1.8729	1.3973	แสดง
●	7	415	ดำเทา	ดำปนเขียว	13.00	13.00	4.20	4.45	1.8646	1.7727	ไม่แสดง
○	8	325	ดำเทา	ดำปนเขียว	13.00	12.60	4.55	4.40	1.8967	1.6643	แสดง
○	9	235	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.05	12.50	4.50	4.25	1.8470	1.5666	แสดง
○	10	145	เทาดำ	ดำแวววาว	13.05	13.50	4.85	4.10	1.8723	1.4775	แสดง
□	11	514	เทาดำ	เขียว	13.00	13.50	4.50	4.60	1.9115	1.8158	ไม่แสดง
□	12	424	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	12.80	4.50	4.45	1.8303	1.6437	ไม่แสดง
○	13	334	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	12.45	4.45	4.15	1.8322	1.5688	แสดง
○	14	244	เทาดำ	ดำแวววาว	13.00	12.40	4.70	4.45	1.8594	1.6447	แสดง
○	15	154	เทาดำ	ดำด้าน	13.00	13.50	4.15	4.55	1.8195	1.3857	แสดง
□	16	613	เทาดำ	เขียว	13.00	13.45	4.80	4.80	1.9036	1.8181	ไม่แสดง
□	17	523	เทาดำ	เขียวจุดขาว	13.00	13.00	4.60	4.70	1.8718	1.7112	ไม่แสดง
○	18	433	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.05	12.70	4.65	4.55	1.8861	1.6702	แสดง
○	19	343	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	12.45	4.65	4.45	1.8508	1.6505	แสดง
●	20	253	เทาดำ	ดำแวววาว	13.00	12.95	4.90	5.00	1.8696	1.7396	ไม่แสดง
×	21	163	เทาดำ	ดำเทาหมอมเหลว	13.10	-	5.00	-	1.8830	-	ไม่แสดง
□	22	712	เทาดำ	เขียว	13.00	13.15	4.75	4.80	1.9014	1.8154	ไม่แสดง
□	23	622	เทาดำ	เขียวจุดขาว	13.05	12.80	4.85	4.80	1.8588	1.7020	ไม่แสดง
□	24	532	เทาดำ	เขียว	13.00	13.30	4.85	5.25	1.8593	1.7252	ไม่แสดง
●	25	442	เทาดำ	เทาดำ	13.00	13.45	4.65	5.35	1.8766	1.7709	ไม่แสดง
●	26	352	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	12.85	4.70	4.75	1.8685	1.7841	ไม่แสดง
×	27	262	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	-	5.05	-	1.8517	-	ไม่แสดง
×	28	172	เทาดำ	ดำปนเขียว	13.00	-	4.95	-	1.8800	-	ไม่แสดง
□	29	811	เทาดำ	เขียว	13.00	13.10	4.95	4.70	1.9059	1.7867	ไม่แสดง
□	30	721	เทาดำ	เขียวจุดขาว	13.05	12.80	4.85	4.65	1.8719	1.7745	ไม่แสดง
□	31	631	เทาดำ	เขียวจุดขาว	13.05	12.90	5.00	4.70	1.8706	1.7056	ไม่แสดง
□	32	541	เทาคล้ำ	เขียวจุดขาว	13.00	14.30	4.85	5.40	1.8566	1.8235	ไม่แสดง
×	33	451	เทาคล้ำ	ดำปนขาว	13.00	13.40	4.70	5.20	1.8481	1.8217	ไม่แสดง
×	34	361	เทาคล้ำ	ดำปนเขียว	13.10	-	4.90	-	1.8565	-	ไม่แสดง
×	35	271	เทาคล้ำ	ดำปนเขียว	13.00	-	5.10	-	1.8375	-	ไม่แสดง
×	36	181	เทาคล้ำ	ดำปนเขียว	13.00	-	5.20	-	1.8648	-	ไม่แสดง

* ใช้เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ ROSTFRIE GEHARTET

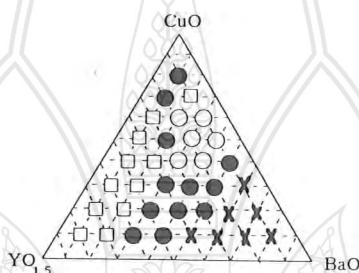
++ ใช้เครื่องชั่ง Digital ละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius (ระบบตัวเลข)

สารตัวนำยิ่งยวดหลังจากการนำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ควรที่จะต้องเตรียมสาร $(\text{YO}_{1.5})_x(\text{BaO})_y(\text{CuO})_z + (\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ โดยที่มีค่า x, y, z เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ $1 \leq x \leq 4, 2 \leq y \leq 5, 3 \leq z \leq 7$

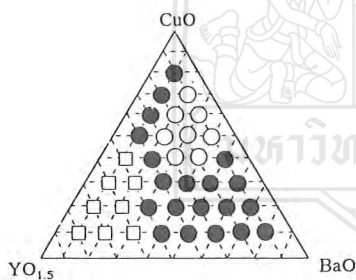
กลุ่มที่ 2 เม็ดสารตัวอย่างมีสี่ตำปอนเขียวเป็นส่วนใหญ่แต่ไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวดใช้สัญลักษณ์ ●

เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มนี้มี 8 เม็ด ดังนี้ เม็ดสารที่ 1, 2, 4, 7, 20, 25, 26 และ 33 มีตำแหน่งอยู่ในแผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-

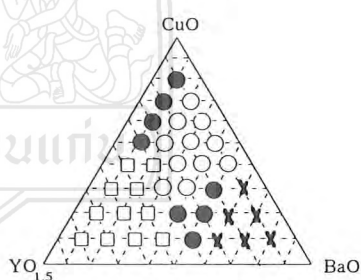
O ที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีสี่ตำปอนเขียวทั้งหมด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยลง 4 เม็ด (คือเม็ดที่ 1, 2, 20 และ 26) มากขึ้น 3 เม็ด (คือเม็ดที่ 4, 25, และ 33) ความหนามากขึ้นเกือบทุกเม็ด (ยกเว้นเม็ดที่ 1 และ 2) และเม็ดสารมีมวลสารลดลงทุกเม็ด เม็ดสารที่ได้ในกลุ่มนี้ได้จากการเตรียมเม็ดสาร $(\text{YO}_{1.5})_x(\text{BaO})_y(\text{CuO})_z + (\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ที่มีค่า x, y, z เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 $x = 1-4, y = 1, z = 5-8$ กลุ่มที่ 2 $x = 2-4, y = 4-5, z = 1-3$



รูปที่ 3.1 แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่ไม่เจือ (Ag_2O)



รูปที่ 3.2 แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$



รูปที่ 3.3 แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$

- เม็ดสารเป็นสารตัวนำยิ่งยวด
- เม็ดสารมีสี่ตำปอนเป็นส่วนใหญ่ และไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว
- เม็ดสารมีสี่เขียวเป็นส่วนใหญ่ และไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว
- × เม็ดสารมีการหลอมเหลวปรากฏ และไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวด

รูปที่ 3 แผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ทั้งหมด 36 เม็ด

กลุ่มที่ 3 เม็ดสารตัวอย่างมีสีเขียว เป็นส่วนใหญ่แต่ไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวด ใช้สัญลักษณ์ □

เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มนี้มี 11 เม็ด ดังนี้ เม็ดสารที่ 11, 12, 16, 17, 22, 23, 24, 29, 30, 31 และ 32 มีตำแหน่งอยู่ในแผนภาพเฟสของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่เจือ $(Ag_2O)_{0.2}$ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีสีเขียวเป็นส่วนใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้น 6 เม็ด (คือเม็ดที่ 11, 16, 22, 24, 29 และ 32) เท่าเดิม 1 เม็ด (คือเม็ดที่ 17) ลดลง 4 เม็ด (คือเม็ดที่ 12, 23, 30 และ 31) และเม็ดสารมีมวลสารลดลงเกือบทุกเม็ด (ยกเว้นเม็ดที่ 32) ความหนามากขึ้น 4 เม็ด (คือเม็ดที่ 11, 22, 24 และ 32) ลดลง 5 เม็ด (คือเม็ดที่ 12, 23, 29, 30 และ 31) กลุ่มนี้ได้จากการเตรียมเม็ดสาร $(YO_{1.5})_x(BaO)_y(CuO)_z + (Ag_2O)_{0.2}$ ที่มีค่า x, y, z เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ $4 \leq x \leq 8, 1 \leq y \leq 4, 1 \leq z \leq 4$

กลุ่มที่ 4 เม็ดสารตัวอย่างมีดำปนเขียว หลอมติดกันภาชนะ ใช้สัญลักษณ์ X

ไม่สามารถทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาและมวลสารได้ เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มนี้มี 6 เม็ด ดังนี้ เม็ดสารที่ 21, 27, 28, 34, 35 และ 36 กลุ่มนี้ได้จากการเตรียมเม็ดสาร $(YO_{1.5})_x(BaO)_y(CuO)_z + (Ag_2O)_{0.2}$ ที่มีค่า x, y, z เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ $1 \leq x \leq 3, 6 \leq y \leq 8, 1 \leq z \leq 3$

ขั้นที่ 3 ศึกษาค่าความต้านทานกับ อุณหภูมิ และความสามารถยกแม่เหล็กของสาร ตัวอย่างในกลุ่มที่ 1

นำเม็ดสารตัวอย่างในกลุ่ม 1 จำนวน 11 เม็ด ไปทำการวัดความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ โดยใช้เทคนิคหัวไฟฟ้า 4 ขั้วติชชี (4-probe dc

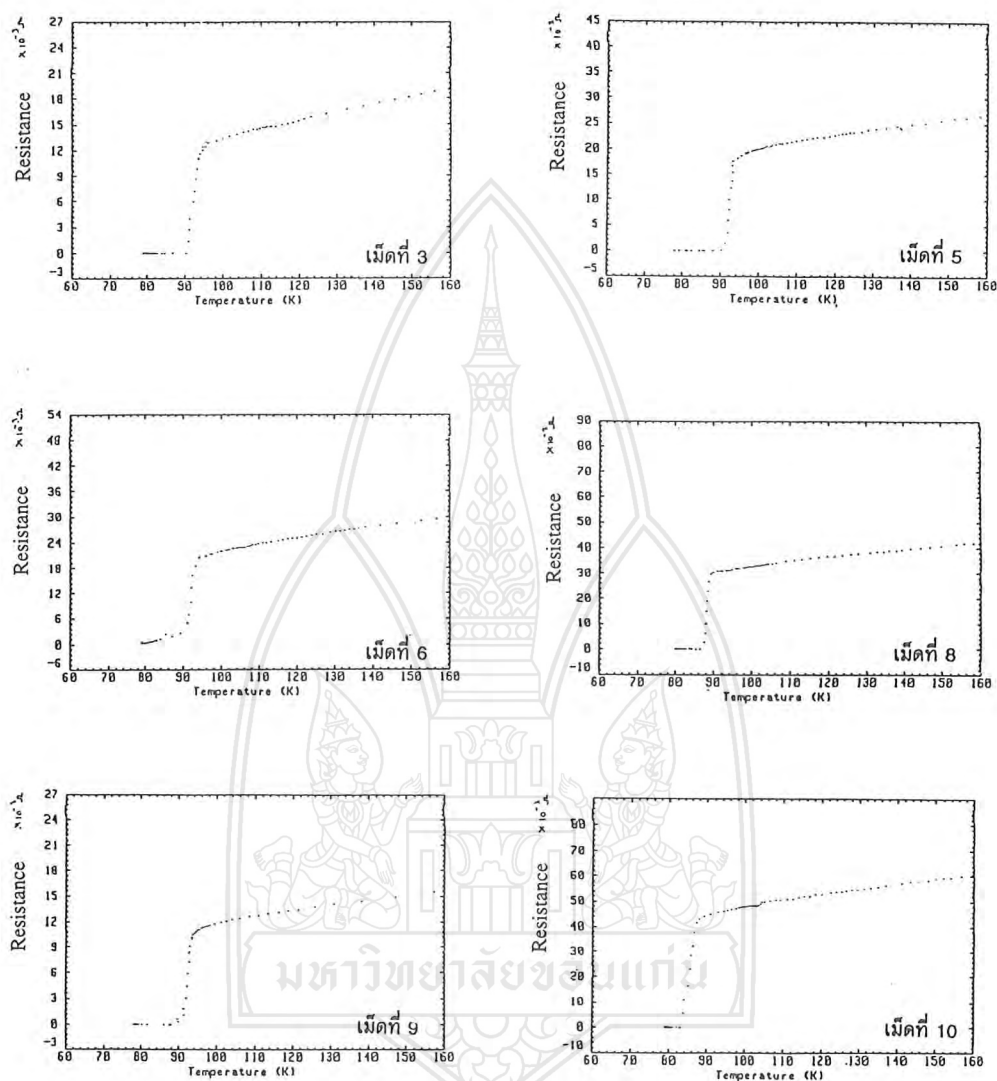
technique) ที่ควบคุมได้ด้วยคอมพิวเตอร์ ให้กระแสไฟฟ้าปริมาณ 1 มิลลิแอมป์ ผ่านสารตัวอย่าง ได้ผลเป็นกราฟระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสามารถหาค่า $T_c(\text{onset})$ และ $T_c(\text{zero})$ ของสารทุกเม็ดได้ พบว่า เม็ดสารที่ 3 ถึง 19 มี $T_c(\text{onset})$ และ $T_c(\text{zero})$ เปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระบบ ต่อมานำสารตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในไนโตรเจนเหลว แล้วนำแท่งแม่เหล็ก Sm-Co ที่มีมวล 0.0432 กรัม ไปวางเหนือเม็ดสาร พบว่า แท่งแม่เหล็กสามารถลอยตัวอยู่เหนือผิวของเม็ดสารในระดับความสูงต่าง ๆ กันแสดงในตารางที่ 2 โดยเปรียบเทียบกับสารตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 ที่เจือ $(Ag_2O)_{0.1}$, $(Ag_2O)_{0.2}$ และที่ไม่เจือ (Ag_2O)

สรุปผลการทดลอง

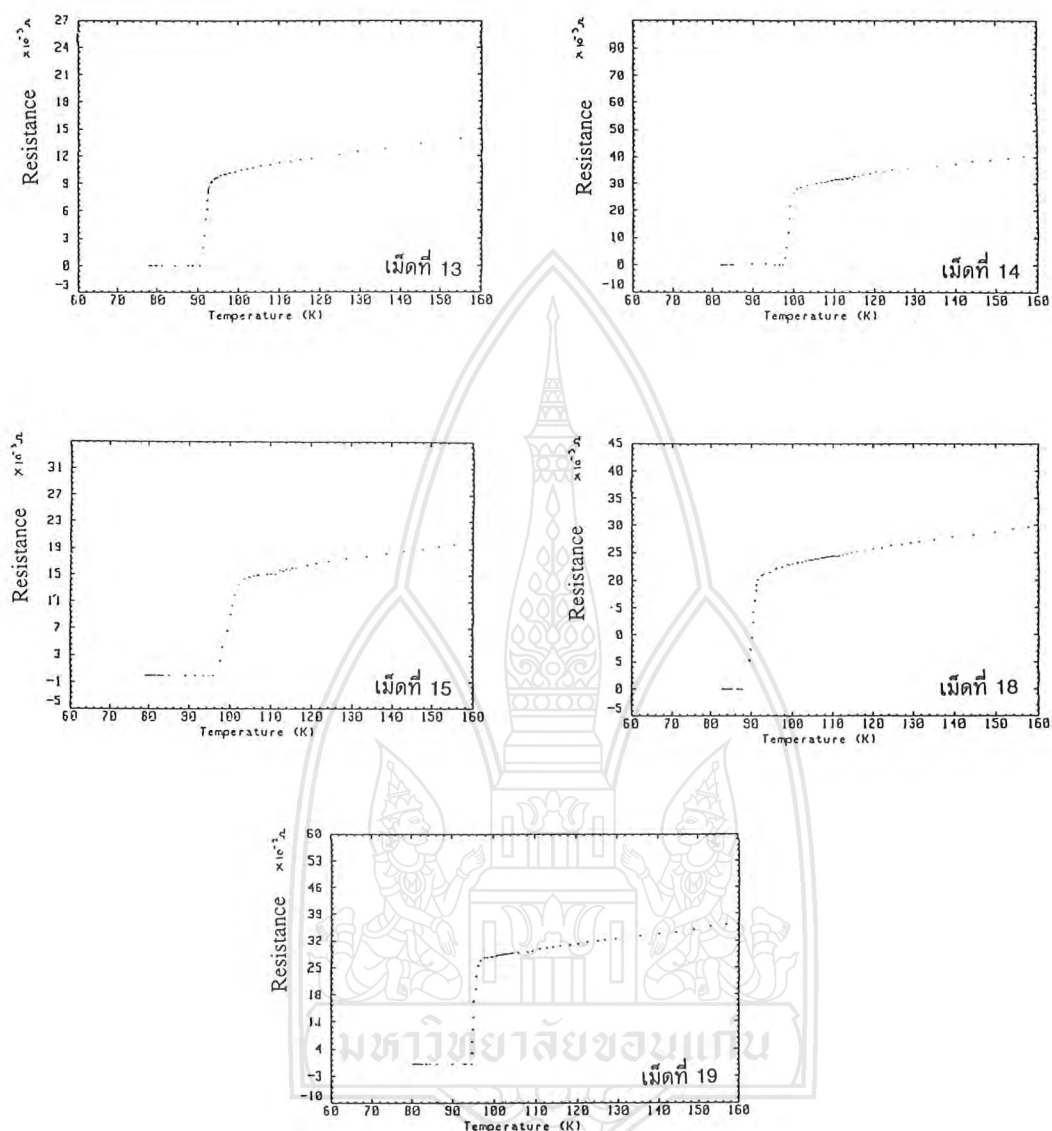
ในการเตรียมเม็ดสารตัวอย่าง $(YO_{1.5})_x(BaO)_y(CuO)_z + (Ag_2O)_{0.2}$ ตามสัดส่วนต่าง ๆ กัน เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถแบ่งเม็ดสารได้เป็น 4 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 เม็ดสารตัวนำยิ่งยวดมีลักษณะสีดำแวววาว เส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาและมวลสารลดลงหลังจากการเผาเป็นส่วนใหญ่ สามารถยกแท่งแม่เหล็กได้ มีเม็ดสารที่เป็นสารตัวนำยิ่งยวดเพิ่มขึ้นจากในกรณีที่ไม่มีการเจือ (Ag_2O) 5 เม็ด คือ เม็ดที่ 3, 8, 15, 18 และ 19 เพิ่มขึ้นจากในกรณีที่เจือ $(Ag_2O)_{0.1}$ 3 เม็ด คือ เม็ดที่ 15, 18 และ 19 ซึ่งเม็ดสารที่ 3 ถึง 19 มีค่า $T_c(\text{onset})$ และ $T_c(\text{zero})$ เปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระบบ แต่พบว่า อุณหภูมิทั้งสองนี้ จะเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ไม่มีการเจือ (Ag_2O) เม็ดสารในกลุ่มนี้พบว่ามีความหนาของสัดส่วนเป็น $1 \leq x \leq 4, 2 \leq y \leq 5, 3 \leq z \leq 7$

กลุ่มที่ 2 เม็ดสารมีสีดำปนเขียวเป็นส่วนใหญ่ไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวด เส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 4 กราฟระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเม็ดสารตัวอย่าง
ในกลุ่ม 1 จำนวน 11 เม็ด



รูปที่ 4 กราฟระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเม็ดสารตัวอย่าง
ในกลุ่ม 1 จำนวน 11 เม็ด (ต่อ)

ตารางที่ 2 แสดงค่า $T_c(\text{onset})$ และ $T_c(\text{zero})$ ของสารตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 ที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$ เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ และที่ไม่เจือ (Ag_2O) พร้อมทั้งแสดงความสูงของแท่งแม่เหล็ก Sm-Co ที่มีมวล 0.0432 กรัม ลอยสูงขึ้นจากผิวของเม็ดสารตัวอย่างที่แช่ในไนโตรเจน

เม็ดที่	สัดส่วน x, y, z			ความสูงที่ยกแท่งแม่เหล็ก Sm-Co จากผิวสารที่แช่ ใน N_2 เหลว (mm)			อุณหภูมิวิกฤต $T_c(\text{K})$					
	เจือ		ไม่เจือ	เจือ		ไม่เจือ	$T_c(\text{onset})$			$T_c(\text{zero})$		
	$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$	$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$		$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$	$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$		$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$	$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$		$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$	$(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$	
3	127	127	-	1.0	1.0	-	96	130	-	90	91	-
5	226	226	226	1.0	1.0	1.0	96	102	95	90	90	83
6	136	136	136	1.0	1.0	1.0	96	103	96	90	80	87
8	325	325	-	0.5	0.7	-	96	98	-	90	88	-
9	235	235	235	2.0	2.0	1.5	102	105	96	96	90	86
10	145	145	145	1.0	1.0	1.5	96	100	96	90	83	84
13	334	334	334	2.0	2.0	1.0	98	103	98	94	90.5	87
14	244	244	244	1.0	1.5	1.5	96	103	96	90	91	87
15	-	154	-	-	2.0	-	-	106	-	-	96	-
18	-	433	-	-	1.0	-	-	96	-	-	89	-
19	-	343	-	-	2.0	-	-	101	-	-	92.5	-

ส่วนใหญ่ลดลง ความหนาส่วนใหญ่เพิ่มขึ้น และ เม็ดสารในตัวอย่างที่เจือ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.1}$ และ $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ พบว่า เม็ดสารในกลุ่มนี้มีจำนวนลดลง แบ่งกลุ่มที่ 1 $x = 1-4, y = 1, z = 5-8$ กลุ่มที่ 2 $x = 2-4, y = 4-5, z = 1-3$

กลุ่มที่ 3 เม็ดสารมีสีเขียวไม่แสดงสภาพนำยิ่งยวด เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนใหญ่ลดลง ความหนาส่วนใหญ่ลดลง และมวลสารลดลงเกือบทุกเม็ด ซึ่งเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เจือ (Ag_2O) พบว่า เม็ดสารมีในกลุ่มนี้มีจำนวนลดลง เม็ดสารในกลุ่มนี้มีเงื่อนไขเป็น $4 \leq x \leq 8, 1 \leq y \leq 4, 1 \leq z \leq 4$ กลุ่มที่ 4 เม็ดสารมีการหลอมเหลว ไม่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดทุกเม็ดหลังจากทำการเผา เม็ดสารสีดำปนเขียวเป็นส่วนใหญ่ เม็ดสารในกลุ่มนี้มีสัดส่วนเป็น $1 \leq x \leq 3, 6 \leq y \leq 8, 1 \leq z \leq 3$ จากผลการวิจัยนี้ เราคาดคะเนว่า $(\text{Ag}_2\text{O})_{0.2}$ ที่เจือเข้าไปในระบบ Y-Ba-Cu-O จะมีผลทำให้เม็ดสารตัวอย่างที่เตรียมได้มีแนวโน้มที่จะเป็นสารตัวนำยิ่งยวดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากเม็ดสารทั้ง 4 กลุ่ม สังเกตได้ว่าเมื่อก่อนที่ 1 มีเม็ดสารตัวอย่างที่เป็นตัวนำยิ่งยวดเพิ่มขึ้น จะทำให้เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 มีจำนวนลดลง เม็ดสารตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 มีจำนวนเท่ากับที่ไม่เจือ (Ag_2O) และยังมีเม็ดสารหลอมเหลวเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ได้เจือ (Ag_2O)

เอกสารอ้างอิง

1. Bednorz, J.K., Muller K.A., (1987), Z. Phys., **64**, 189.
2. Wu et al., M.K., (1987), Phys. Rev. Lett. **58**, 9.
3. Chu, C.W. Hor, P.H. et al., (1987), Phys. Rev. Lett. **58**, 405.
4. Poole Jr., C.P., Datta T., and Farach, K.A. (1988), Copper Oxide Superconductors, John Wiley & Sons, New York pp. 1-10.
5. Bourdillon, A., and Tan Bourdillon, N.X., (1994), High Temperature superconductors, Academic Press, San Diego, pp. 76-90.
6. กำชัย ตริชัยรัศมี, จำนงค์ นายเชิด, พูลศักดิ์ อินทวิ และ สงวนสิริ รุ่งเกียรติสกุล, (2539), แผนภาพสมดุลของระบบ Y-Ba-Cu-O ที่ 950°C วารสารโลหะวัสดุและแร่, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2 มิถุนายน, หน้า 57-64.



การปลูกผลึกของสารประกอบ อินเดียมไททาเนตโดยเทคนิคการหลอมฟลักซ์ (CRYSTALLIZATION OF INDIUM TITANATE BY FLUX GROWTH TECHNIQUE)

THITINAI GAEWDANG*

NGAMNIT GAEWDANG*

บทคัดย่อ

ได้ทำการปลูกผลึกของสารประกอบอินเดียมไททาเนต (In_2TiO_5) โดยเทคนิคการหลอมฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียสโดยใช้ทั้ง $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ และ $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ เป็นตัวทำละลายและลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอจนถึง 900 องศาเซลเซียส ผลึกเดี่ยวสีน้ำตาลอ่อนใสได้จากฟลักซ์ $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ มีรูปร่างไม่แน่นอนและขนาดใหญ่สุดราว 2 มิลลิเมตร ส่วนผลึกสีดำรูปลูกบาศก์ขนาดเล็กมากสกัดออกมาจากฟลักซ์ $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ โดยการละลายในกรดไนตริกเจือจางอุ่นให้ร้อน รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากผลึกเดี่ยวที่บดละเอียด คล้ายคลึงกันกับของที่ได้จากผงผลึกที่เตรียมจากวิธีเผาสารตั้งต้นที่อุณหภูมิสูง และได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลึกเดี่ยวที่ปลูกได้ด้วยเทคนิค EPMA รวมทั้งได้ศึกษาและวิจารณ์คุณสมบัติของการเรืองแสงของผลึกเดี่ยวที่ปลูกได้โดยเทียบกับผลที่ได้จากผงผลึกซึ่งได้มีการศึกษาไว้ก่อนแล้ว

ABSTRACT

Small single crystals of indium titanate, In_2TiO_5 , were grown between 1250°C and 900°C from $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ and $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ solvents by the solidification flux technique. The light brown crystals show an irregular shape with a maximum size of 2 mm and were obtained in a $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ solvent. In a later experiment, numerous small black cube crystals were separated from flux in a hot dilute nitric acid solution. The similarity of X-ray diffraction patterns from crushed crystals and powder samples was observed. The chemical compositions were measured on the as-grown crystals by electron-probe microanalysis (EPMA). The luminescent properties of as-grown crystals are discussed and compared to those of powder samples.

*Department of Applied Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

INTRODUCTION

During the past several years, considerable effort has been directed towards developing single crystal scintillators containing a large amount of ^{115}In for the detection of low energy solar neutrinos according to Raghavan's nuclear reaction (1,2). An initial investigation was devoted to crystal growth of Tb^{3+} -doped InBO_3 (3).

Recently, the luminescence and scintillation properties of $\text{In}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (4), $\text{In}_6\text{WO}_{12}$ (5) and $\text{In}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ (6) have been reported. Unfortunately the low quantum efficiency at very low temperature as well as the small size of crystals are unfavorable for their use as a bolometer at a few mK.

The luminescent spectrum of In_2TiO_5 powder samples has also been observed under an ultraviolet excitation at low temperature (7). However, scintillation properties have not been reported yet. Therefore, good quality and large size single crystals are required. The present work deals with the growth of In_2TiO_5 from various solvents using the solidification flux technique and luminescent properties of the as-grown crystals.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Powder formation

Powder samples were prepared by a normal solid state reaction technique following the previous work of Senegas et al. (8), using 99.999% In_2O_3 from Cerac and 99.999% TiO_2 from Aldrich. Stoichiometric proportions of the starting compounds were intimately ground and then heated in air for 2 days in a platinum crucible at 1250°C . Single phase was checked by X-ray powder diffraction using CuK_{α} radiation.

Crystal growth

For the crystal growth of In_2TiO_5 , In_2O_3 and TiO_2 or In_2TiO_5 single phase were use as solute and $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ (or $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$) as solvent. A mixture of 30 g in the desired ratio was packed in a platinum crucible of 30 ml with closely fitted lid. The crucible was introduced in a bigger alumina crucible covered with an alumina plate to depress temperature fluctuations in the growth solution, and then was set into an electric tubular furnace connected to PID temperature controller. The mixture in the crucible was maintained at 1250°C for 6 hours and cooled at a cooling rate of 3°C/h down to 900°C . A final cooling to room temperature at a rate of 100°C/h was chosen. The growth conditions are listed in Table 1. As-grown crystals were easily recovered in hot distilled water or in hot dilute nitric acid solution.

The luminescent measurements were performed on as-grown crystals as described earlier (6).

RESULTS AND DISCUSSION

Crystal growth

In our preliminary experiments, various fluxes such as PbO , $\text{PbO}+\text{PbF}_2$, $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$, Na_2WO_4 , and $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ were examined for the growth of In_2TiO_5 . Among them, only $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ and $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ fluxes provided the appearance of crystals of this phase with small dimensions.

The light brown crystals, as shown in Fig.1, exhibit an irregular shape with a maximum size of 2 mm were obtained in a $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ solvent. Then, they were removed by dissolving the flux in hot distilled water. But in the $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ solvent, numerous small black cube crystals

Table 1. Chemical Compositions of the Growth Solutions and Experimental Results.

Run No.	Flux	Starting Composition	Soaking Temperature (mol%)	Crystals Obtained (°C)	Dimensions (mm ³)
1	PbO+PbF ₂	In ₂ TiO ₅ : 14 PbO : 43 PbF ₂ : 43	1250	PbTiO ₃ and In ₂ O ₃	1 x 1 x 0.5 1 x 1 x 1
2	PbO	In ₂ TiO ₅ : 7 PbO : 93	1250	(1-x) PbO-x TiO ₂ (x = 0.095)	3 x 3 x 2
3	Na ₂ WO ₄	In ₂ TiO ₅ : 8 Na ₂ WO ₄ : 92	1250	NaInO ₂	1 x 0.5 x 0.1
4	PbO+V ₂ O ₅	In ₂ TiO ₅ : 6 PbO : 63 V ₂ O ₅ : 31	1250	In ₂ TiO ₅ (black color)	0.4 x 0.3 x 0.3
5	KF+NaF +Na ₂ B ₄ O ₇	In ₂ TiO ₅ : 10 KF : 39 NaF : 28 Na ₂ B ₄ O ₇ : 23	1000	In ₂ O ₃	0.2 x 0.2 x 0.2
6	Li ₂ Mo ₂ O ₇	In ₂ TiO ₅ : 9 Li ₂ Mo ₂ O ₇ : 91	1250	In ₂ TiO ₅ (light brown color)	2 x 1.5 x 1
7	Li ₂ Mo ₂ O ₇	In ₂ O ₃ : 8 TiO ₂ : 8 Li ₂ Mo ₂ O ₇ : 84	1250	In ₂ TiO ₅ (light brown color)	1.5 x 1 x 1
8	PbO+PbF ₂ +MoO ₃	In ₂ O ₃ : 3 TiO ₂ : 6 MoO ₃ : 25 PbO : 30 PbF ₂ : 36	1250	PbTiO ₃	1 x 0.5 x 0.5



Fig.1 As-grown In_2TiO_5 crystals using a $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ solvent.

were separated from flux in a hot dilute nitric acid solution (Fig.2). The similarity of X-ray diffraction patterns from crushed crystals and powder samples was observed with a Guinier-Hagg camera and monochromatic $\text{CuK}\alpha$ radiation. Subsequently, these were indexed in the orthorhombic space group P_{nma} . Using the least squares method and Si as an internal standard, the following lattice parameters were obtained : $a = 7.240(5) \text{ \AA}$, $b = 3.508(2) \text{ \AA}$, $c = 14.880(1) \text{ \AA}$ for light brown crushed crystals and $a = 7.243(5) \text{ \AA}$, $b = 3.512(3) \text{ \AA}$, $c = 14.911(7) \text{ \AA}$ for the black ones. These agree very well with those reported earlier on powder samples (7) : $a = 7.2418(7) \text{ \AA}$, $b = 3.5018(3) \text{ \AA}$ and $c = 14.890(2) \text{ \AA}$.

The crystal compositions of the as-grown crystals analyzed by electron-probe microanalysis (EPMA) are close to stoichiometric compositions. However, in the light brown crystals there is homogeneous incorporation of Mo atoms at about 300 ppm. In a similar manner,

Pb and V elements contained in as-grown black crystals amount to 90 and 3400 ppm respectively. Since In_2TiO_5 was found to be isostructural with In_2VO_5 (7), the black crystals can be therefore considered as $\text{In}_2\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_5$ solid solutions. We attribute the black color to V^{4+} replaced Ti^{4+} sites. The lattice parameters of black crystals are larger than those obtained from powder samples. From the standpoint of crystal structure, it will be expected that Pb atoms (atomic radius = $1.19 \text{ \AA}$) are located in tunnels along the b-axis with each tunnel formed by two ribbons and two chains of TiO_5 (7). Because of the large difference in ionic radius of Pb compared with In (ionic radius = $0.80 \text{ \AA}$), substitution of Pb in In site may be impossible. Therefore, the appearance of small size and numerous cube as-grown crystals may be caused by the increasing of their lattice parameter values (3).

For the light brown as-grown crystals, it is not clear what sites Mo atoms occupy because both In sites and space in tunnels as described



Fig.2 As-grown In_2TiO_5 crystals using a $\text{PbO} + \text{V}_2\text{O}_5$ flux.

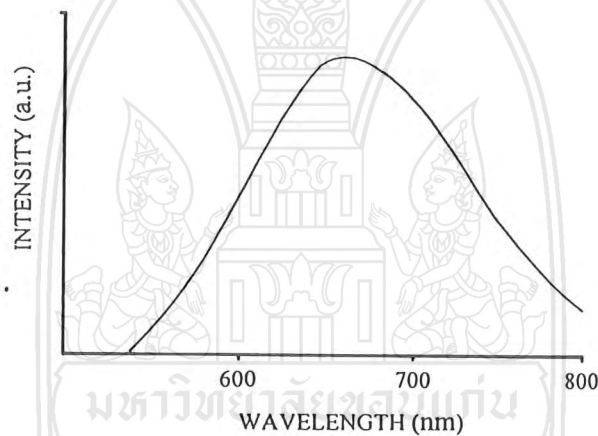


Fig.3 Luminescence spectrum obtained from on light brown as-grown crystals at 4.2 K.

above are possibly suitable for Mo except Ti sites. As can be seen in table 1, the crystal dimensions obtained from run number 6 are larger than those obtained from run number 7. This may suggest that the use of In_2TiO_5 single phase as a starting material instead of $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ mixture provides larger as-grown crystal dimensions.

Luminescent properties

Luminescent properties of In_2TiO_5 performed on powder samples were observed at a temperature below 220 K. The emission band peaks at 650 nm under an ultraviolet excitation at 4.2 K. Its luminescence is ascribed to a charge transfer type between O^{2-} and In^{3+} occurring in the $(\text{In}_2\text{O}_4)_n^{2n-}$ ribbons (7).

The luminescent measurements were performed on the black crystals. They do not show any luminescence, even at 4.2 K. In contrast, the light brown as-grown crystals show a very weak broad emission band centered around 660 nm at 4.2 K, as shown in Fig.3, under an excitation at shorter wavelengths than the absorption edge. Because of the large band width of this band the emission maximum is not easy to determine accurately. At higher temperatures than liquid helium, the luminescent intensity rapidly drops and disappears above 20 K.

The black In_2VO_5 single crystals exhibit a semiconductor characteristic with a high electrical resistivity (8), which may therefore suggest that V^{4+} impurity ions in the as-grown In_2TiO_5 crystals act as luminescent quenching centres. Even at very low temperature, the energy migration from the intrinsic emission was completely trapped at these quenching centres from which nonradiative transitions occur. From the point of view of luminescent properties, Pb impurity atoms in this host lattice should be less important than V atoms.

In contrast, the as-grown crystals obtained from $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ flux show a very weak broad emission spectrum at liquid helium temperature. Most probably, this is associated with the incorporation of Mo atoms which trap a considerable part of the intrinsic emission which occurs in $(\text{In}_2\text{O}_4)_n^{2n-}$ ribbons. As a consequence, the quantum efficiency of intrinsic host lattice emission is very low. By increasing temperature, thermal energy will promote energy migration and this will reach the quenching centres easily.

Finally, above 20 K the intrinsic luminescence has disappeared. In a similar fashion this has already been observed in $\text{EuAl}_3\text{B}_4\text{O}_{12}$ and $\text{TbAl}_3\text{B}_4\text{O}_{12}$ single crystals containing small amounts of Mo impurity atoms from flux (9). A comparison of luminescent properties of two types as-grown crystals seems to indicate that V atoms behave more as active quenching centres than Mo atoms in this host lattice.

CONCLUSION

Single crystals of In_2TiO_5 have been grown by solidification flux technique using $\text{Li}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ and $\text{PbO}+\text{V}_2\text{O}_5$ as appropriate solvents. The small amounts of impurity atoms contained in as-grown crystals have been evaluated by electron-probe microanalysis.

The small black crystals containing V and Pb atoms do not show any luminescence even at 4.2 K but conversely the light brown crystals shows a very weak red emission. This seems to imply that V atoms exhibit more active quenching centres than Mo atoms in this host lattice. Unfortunately, the small size and unclear as-grown crystals do not allow the performance of experiments with a gamma source for scintillation studies.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Dr. J. P. Chaminade for providing some starting materials for this work. They also acknowledge Dr. A.Garcia for the performance of the luminescent measurements at very low temperature.

REFERENCES

1. Raghavan, R.S. (1976). Inverse β decay of $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$: a new possibility for detecting solar neutrinos from the proton-proton reaction. *Phys. Rev. Letters* 37 : 259-266.
2. Gonzalez-Mestres, L. (1992), A new development on indium rich oxide scintillation materials. *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* A28 : 478-480.
3. Chaminade, J.P. et. Al. (1990). Crystal growth and characterization of InBO_3 : Tb^{3+} . *J. Crys. Growth* 99 : 799-804.
4. Gaewdang, T. (1995). Indium disilicate : a new fast scintillator material. *Journal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang* 3 : 19-24.
5. Gaewdang, T. and Wongjareon, Ng. (1996). Luminescence phenomena and scintillation properties of indium tungstate ($\text{In}_6\text{WO}_{12}$). *The Journal of Science Khonkaen University* 24 : 173-182.
6. Gaewdang, T. and Wongjareon, Ng. (1997). Crystal growth and photoluminescence of indium pyrogermanate. *International Conference on Material Technology : Recent Developments and Future Potential*. Chiang Mai, Thailand : 204-213.
7. Gaewdang, T. et. al. (1993). Crystal structure and luminescence properties of In_2TiO_5 . *Mat. Res. Bull.* 28 : 1051-1060.
8. Senegas, J. et. al. (1975). Crystal structure refinement of In_2VO_5 . *Acta Cryst. B* 31 : 1614-1618.
9. Blasse, G. (1987). The physics of new luminescent materials. *Mat. Chem. Phys.* 16 : 201-236.

A Study of Optical Sensing Device Characteristics using Tapered Single Mode Fiber

P.P Yupapin* and P. Raknoi*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงโหมดเดียวที่ทำเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า **อุปกรณ์แยกแสง** โดยมีหลักการว่าเมื่อมีแสงอินพุตเข้าพอร์ตหนึ่งของอุปกรณ์จะได้กำลังแสงคัปปลิงเกิดขึ้นที่บริเวณเทปเปอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้มีกำลังแสงเอาต์พุตที่ปลายของอุปกรณ์ทั้งสองพอร์ตที่รับได้ด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณ จากผลที่ได้นี้จึงสามารถนำอุปกรณ์เทปเปอร์ไปทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดร่วมอยู่ในระบบสำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตรงบริเวณเทปเปอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังแสงได้

Abstract

A simple fused-tapered single mode optical fiber known as a beamsplitter was fabricated. The device characteristics such as coupling length and external effect to the optical output mode coupling were investigated. The principle is that the optical field traveling in the single mode tapered region is evanescent into air-glass boundary which may affect the normal output coupling power. In applications, the optical devices known as loop mirrors were fabricated and connected into the sensor system use for sensor applications. Results have shown that the relationship between the output power and the environment, or the external surrounding parameters may be tested and detected. The constructed device characteristics have shown the possibility of using such devices for sensor applications.

Keywords : Fiber Optics Devices/ Fiber Optic Sensors

1. Introduction

Fiber optic sensors have become the popular subject in the field of sensors and applications [1]. The advantages of such devices are small size, light weight, good sensitivity and there are widely used for sensor applications. The use of fused single mode fiber couplers both in theory and experiment for sensor applications has been investigated [2-5]. Results have shown the implication of using such devices for fiber optic sensors. The study of a monomode tapered fiber characteristic has been reported [6-7], where the device output coupling power was satisfactorily close to the theoretical prediction. Such a device was also investigated by [8] where the device was connected into the optical sensor system using loop mirrors. The reflected light was detected by OTDR where the measurement was performed. The constructed tapered single mode fiber is employed in this work by connecting the device into the sensor system. The device characteristics in terms of coupling power are investigated, and the use of the device for sensor applications is discussed.

2. Operating Principles

This section presents the theoretical background of device structure, fabrication, device characteristics, and sensor applications. A sensing device model is as shown in Fig. 1, when the optical field is linearly polarized into two identical single mode fiber tapers. The coupling output power (P) is written as [3,9]

$$P_1 = \cos^2 \left[\int_0^z C(z) dz \right] \quad (1)$$

and

$$P_2 = \sin^2 \left[\int_0^z C(z) dz \right] \quad (2)$$

where P_1 and P_2 are the optical output power obtained from the output fiber ends, namely port 1 and port 2, z is the tapered length. $C(z)$ is the coupling coefficient which is given by

$$C(z) = \frac{\sqrt{\delta} (U(z))^2}{a(z)(V(z))^3} \frac{K_0(W(z)d(z)/a(z))}{K_1^2(W(z))} \quad (3)$$

where

$$\delta = 1 - (n_2/n_1)^2 \quad (4)$$

$$V(z) = a(z) k (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$U(z) = a(z) k [n_1^2 - (\beta/k)^2]^{1/2} \quad (6)$$

$$W(z) = a(z) k [(\beta/k)^2 - n_2^2]^{1/2} \quad (7)$$

and K_0 and K_1 are the 2nd kind modified Bessel functions, $k = 2\pi/\lambda$, β/k is the mode effective index of the tapered fiber, $a(z)$ is the tapered fiber radius, n_1 is the tapered fiber refractive index ($n_1 = 1.46$), n_2 is the environmental refractive index, $d(z)$ is the distance between two core fibers, and λ is the light source wavelength.

From equation (5), consider at the air-glass boundary, where $n_1 \gg n_2$. This gives $V \gg 10$, $\beta/k \approx n_1$, $W \approx V$. In the case when $V \gg 1$, U is written as

$$U = 2.405 \exp[-(1-(\delta/2)/V)] \quad (8)$$

From equation (3), when $d(z)/a(z) \approx 2$, then K_0/K_1^2 can be expressed as

$$K_0(2W)/K_1^2(W) \approx (W/\pi)^{-1/2} (1-13/16W) \quad (9)$$

The above parameters can be calculated by selecting associated values where $C(z)$, P_1 and P_2 can be obtained by using equations (1) and (2).

The constructed device known as a loop mirror is as shown in Fig. 2. When light from the source enters into the sensing element, then one port will be transmitted and the other will be reflected into the launching source. The reflected light beam will be used for measurement. The optical output power, P_r , can be expressed as [6]

$$P_r = \sin^2 \left[2 \int_0^z C(z) dz \right] \quad (10)$$

where P_0 is the input light intensity, L is the fiber optic coupling length, a is the coupling fiber radius, n_1, n_2 are the core and cladding refractive indices of the coupling fibers respectively, and the coupling coefficient from equation (3) is given as

$$C(z) = 3.26 \delta^{1/2} / a(z) [V(z)]^{5/2} \quad (11)$$

$$\text{where } V(z) = a(z) k (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (12)$$

$$\text{and } \delta = 1 - (n_2/n_1)^2, k = 2\pi/\lambda \quad (13)$$

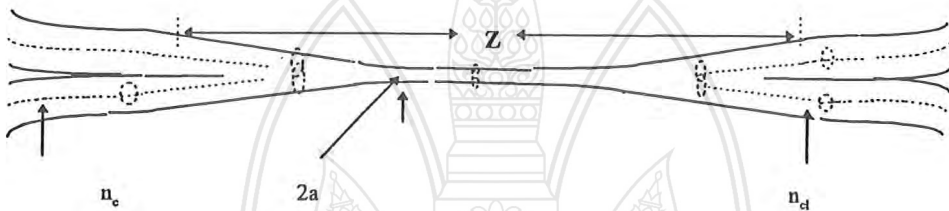


Figure 1 shows a structure of a fabricated tapered fibers.

3. Results and Discussion

The drawing of the constructed device is shown in Fig. 1. Light from a linearly polarized single mode HeNe laser with wavelength of 632.8 nm was launched into an input port single mode fiber. Such a device was connected with the optical time domain reflectrometer (OTDR) where light was launched into one end of a tapered single mode fiber, then both of the output ends were connected to the light detectors. A slowly varying composite waveguide was a single or a series of sensing devices. The principles of the sensor system is that the coupling light at the sensing

device may occur due to the change of the surrounding environment. The relationship between the environmental parameters and the output intensity of the reflected light may be observed by using OTDR. The measurement technique is that when light from the OTDR source enters into the sensor system then one port will be transmitted, the other will be reflected into the OTDR receiver. When the sensing environment is changed, the fluctuation of the reflected light intensity may occur and be detected. The light intensity may be relatively changed by the coupling power, i.e. coupling fiber length.

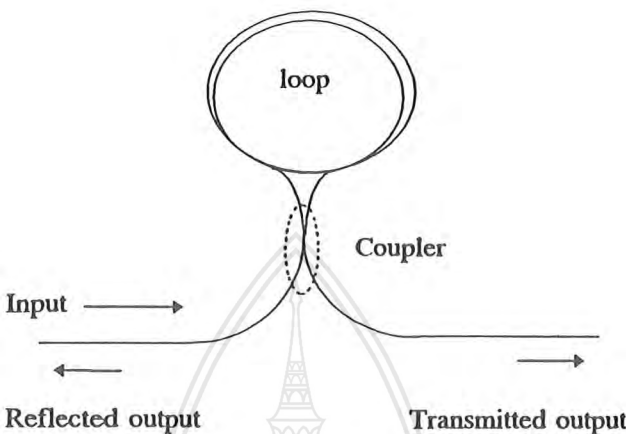


Figure 2 Illustration of a loop mirror or sensing element.

The sensing device was constructed of two identical single mode fibers then connected into the sensor system and tested. The reflected light intensity, P_r , was relatively dependent on changes in the surrounding environment. The reflected light beam from the sensing unit occurs from the coupling region and will be returned to the sensing fiber, and then enters into the signal processing unit known as OTDR. The fluctuation of light intensity may be detected and observed. The change of reflected light intensity may be measured relatively to the change of the sensing device environment such as temperature, pressure and moisture. Preliminary results using water and alcohol films have shown the **significant reflected power** which may use this system for sensor applications. When the straight line beam waist was applied into the system, where the induced $C(z)$ is constant, at a wavelength of 1.31 μm , pulse width of 20 ns, the different sensitivities of the investigated device due to the variation of the tapered fiber length are recorded below.

a(z) μm	Tapered length μm	Decreasing reflected power (%)	
		Water	Alcohol
10	0.8	60	67
20	1.0	9	9
10	1.2	40	50

This means that the selected sensitive range of device coupling length may be related to the reflected optical power. The light coupling modes were investigated by moving such a device into a liquid film where the change of the coupling light output intensity due to the change of the surrounding environment, i.e. the external refractive index was observed.

In applications, the change of air-glass boundary refractive index may be affect the measured signal in term of modulation. Sensing device characteristics such as coupling power and coupling length may be investigated by using liquid thin films. In practice, the selected coating material may be used to obtain the required output signal which means modulation. Basically, the device represents the fiber splitter or coupler utilizing the optical power divider which may be

used as optical switching where two input signals from different sources may be employed by importing the different information signals and giving the selected output signals. Wavelength may be varied representing the wavelength selector or optical filter. If a liquid thin film such as glycerol is employed, as shown in Fig. 3, by moving along the device length then the **transmitted coupling power** is detected. The simulation data of glycerol film parameters are used as shown in Fig. 4. Generally, the properties of thin films may be investigated by this method where the change of external refractive index surrounding the air-glass boundary may be introduced into the relationship of the physical parameters which may be observed. In application, this device may be connected into the sensor system where the measurement is employed.

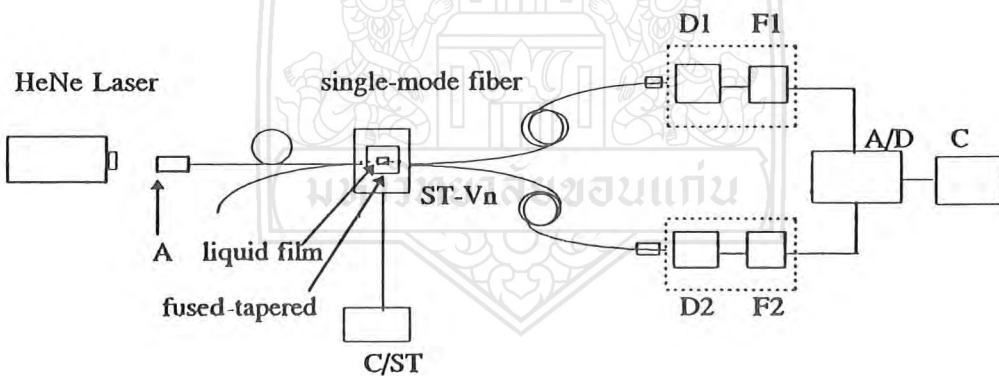


Figure 3 shows the experimental set up.

A: Launching set, Fs:Filters, STVn : Thin film unit
Ds : Detectors, A/D : A/D convertor, C : Computer,
C/ST : Waveguide travelling unit.

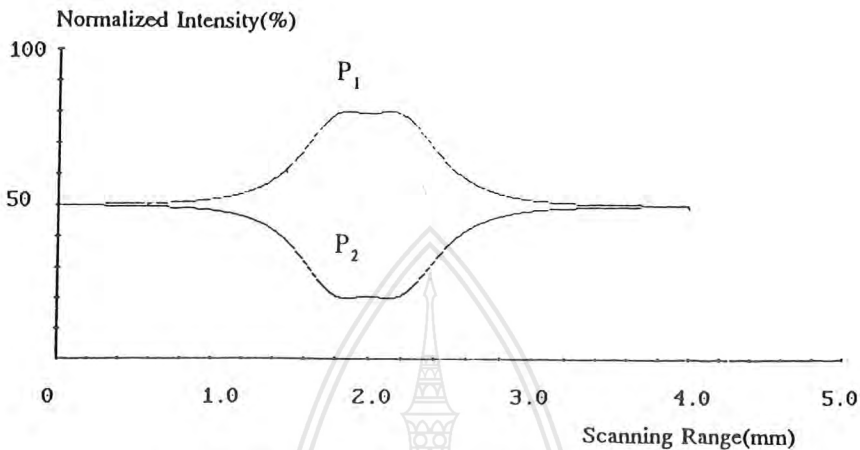


Figure 4 Simulation data between the output port 1 and 2 of the tapered fiber, using glycerol film parameters.

4. Conclusion

In conclusion, from the preliminary results of the reflected and transmitted powers obtained from the fused tapered sensing fibers showing the potential of using such devices for sensor and optical signal processing applications. Other thin films i.e. refractive indice may be characterized using this method for sensing applications. The environmental parameters such as pressure, temperature and moisture may use this technique for monitoring which may be the subject of our further investigations. The required signal waveforms may be controlled by the way that the coupling length and air-glass boundary region relate to the material surrounding the device which can be characterized as modulator, switching, filter or wavelength selector.

5. References

- [1] Udd, E.(1991). **Fiber Optics Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists**, Toronto: John Wiley & Sons.
- [2] Zhang, J., Mao, Z. and Lin, Z. (1989). Measurements and Analyses of Fields in Fused Tapered Single Mode Fiber Couplers. **Appl. Opt.**, 28(11): 2026-2030.
- [3] Burn, W.K. and Abebe, M.(1987). Coupling Model for Fused Fiber Couplers with Parabolic Tapered Shape. **Appl. Opt.**, 26(19): 4190-4192.
- [4] Wright, J.V.(1986). Wavelength Dependence of Fused Couplers. **Electron. Lett.**, 22(6): 320-321.
- [5] Gonthier, F., Lapierre, J., Veilleux, C., Lacroix, S. and Bures, J.(1987). Investigation of Power Oscillations Along Tapered Monomode Fibers Measurements and Analyses of Fields in Fused tapered Single Mode Fiber Couplers. **Appl. Opt.**, 26(3): 444-449.

- [6] Payne, F.P., Hussey, C.D. and Yataki, M.S. (1985). Modeling Fused Single Mode Fiber Couplers, **Electron. Lett.**, 21(11) : 461-462.
- [7] Johnson, D.C. and Hill, K.O. (1986). Control of Wavelength Selectivity of Power Transfer in Fused Biconical Monomode Directional Couplers, **Appl. Opt.**, 25(21):3800-3803.
- [8] Cassidy, D.T., Johnson, D.C. and Hill, K.O. (1985). Wavelength Dependent Transmission of Monomode Optical Fiber Tapers, **Appl. Opt.**, 24(7): 945-949.
- [9] Synder, A.W. and Love, J.D. (1983). **Optical Waveguide Theory**. London: Chapman and Hall. 414-415.



เกร็ดคอมพิวเตอร์

"นายกังเบียร์"

การสร้าง Image Map

Image Map คือ จุดเชื่อมโยงแบบกราฟฟิกบนเว็บเพจ ที่ผู้ใช้สามารถเลือกคลิกในบริเวณ พื้นที่ของภาพ เพื่อเชื่อมโยงไปยังเว็บเพจ ตาม URLs (Universal Resource Locator) ที่ถูกกำหนดเชื่อมโยงไว้ได้

การใช้งานจะสังเกตได้เมื่อผู้ใช้ลากเมาส์ผ่านบริเวณที่มีการกำหนดจุดเชื่อมโยงไว้ จากการที่มีรูปมือชี้ สำหรับในฉบับนี้เราจะมาดูวิธีการที่จะสร้างจุดเชื่อมโยงบนบริเวณพื้นที่บนภาพไปยัง URLs ที่เกี่ยวข้องจะอย่างไร สำหรับวิธีการที่ใช้ในครั้งนี้จะใช้โปรแกรม Mappedit มาช่วยในการสร้าง สำหรับผู้ที่ไม่มีโปรแกรมนี้สามารถที่จะ download เวอร์ชัน ทดลองใช้งานได้จาก Internet

ขั้นตอนในการสร้าง Image Map

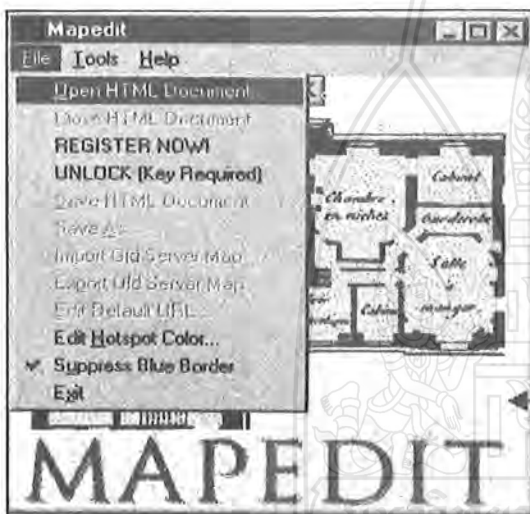
ก่อนอื่นคงจะต้องเตรียม HTML file ที่เกี่ยวข้องไว้ก่อน (สำหรับวิธีการเขียน Homepage โดยใช้ Html ได้เคยเสนอมาก่อนหน้านี้แล้ว) สำหรับตัวอย่างที่จะใช้คือ

```
<HTML>
<HEAD> <TITLE>MapEdit</TITLE> </HEAD>
<BODY>
<H1> THAILAND</H1>
<IMG SRC="map_kk.jpg" ALIGN=LEFT><B>WELLCOME TO THAILAND the land of smile</B>
<BR><B></B>
<BR>
<TABLE> <TR> <TD> <UL>
<LI><B><A HREF="north.html">ภาคเหนือ (North)</A></B></LI>
<LI><B><A HREF="south.html">ภาคใต้ (South)</A></B></LI>
<LI><B><A HREF="central.html">ภาคกลาง (Central)</A></B></LI>
<LI><B><A HREF="E-sarn.html">ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast)</A></B></LI>
</UL> </TD> </TR> </TABLE>
<BR>
</BODY>
</HTML>
```

สำหรับภาพ “map_kk.jpg” เป็นภาพแผนที่ประเทศไทย ซึ่งจุดประสงค์สำหรับ Homepage นี้คือเมื่อผู้ใช้เลื่อน mouse ไปยังบริเวณภาคใดในแผนที่จะทำการ link ไปยังเพจที่มีข้อมูลเกี่ยวกับภาคนั้น หรือผู้ใช้อาจเลือกจาก text ที่เชื่อมโยงไว้ก็ได้

การสร้างจุดเชื่อมภาพโดยโปรแกรม mapedit

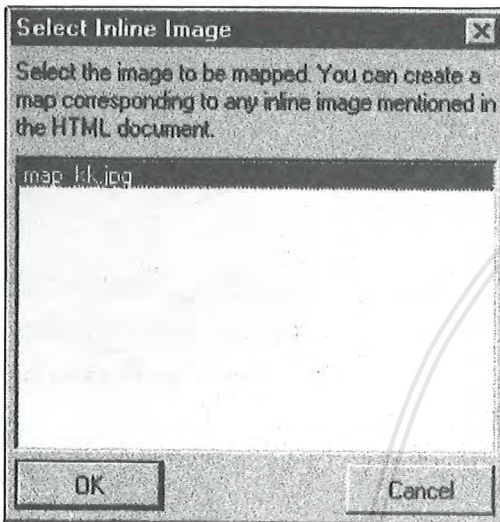
1. เรียกใช้โปรแกรม Mapedit จะปรากฏดังรูปที่ 1
2. ทำการเปิดแฟ้มข้อมูลที่เราสร้างไว้ก่อนหน้า โดยเลือกเมนู file และเลือก Open HTML Document จากตัวอย่างคือภาพแผนที่ประเทศไทยที่ประกอบด้วย 4 ภาคคือภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยที่ผู้ใช้สามารถจะ click ที่บริเวณพื้นที่ของแต่ละภาคหรือคลิกที่ข้อความก็ได้



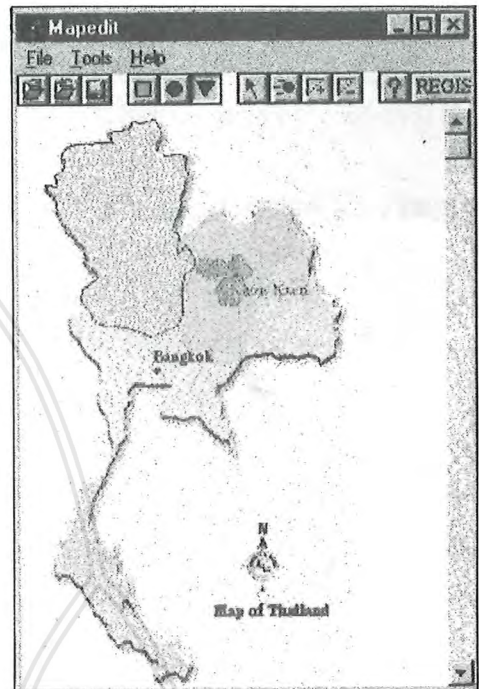
เมื่อเลือกแฟ้ม HTML ที่ต้องการจะให้เลือกภาพที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 2 ซึ่งในตัวอย่างคือภาพ map_kk.jpg (เป็นภาพแผนที่ประเทศไทย)

เมื่อเลือกแล้วจะได้ภาพดังรูปที่ 3

รูปที่ 1



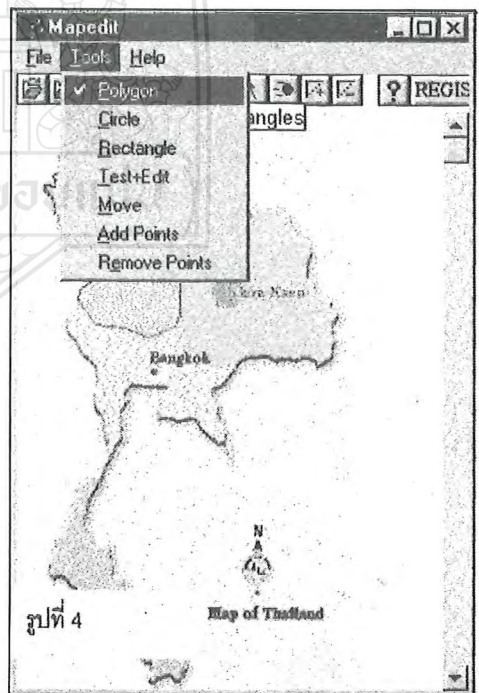
รูปที่ 2



รูปที่ 3

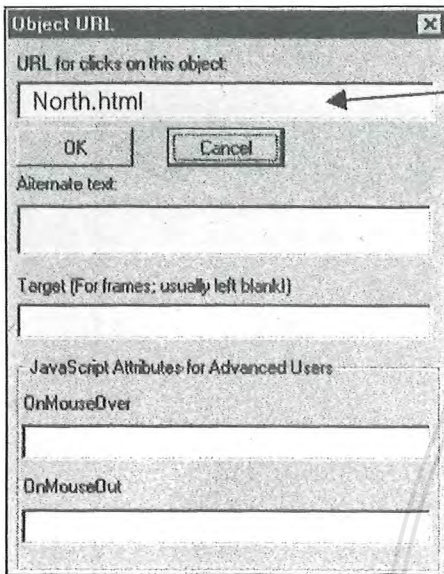
3. การกำหนดบริเวณพื้นที่ ที่จะเชื่อมโยงไปยัง URLs ที่เกี่ยวข้อง วิธีการจัดการคือไปที่เมนู Tools จะปรากฏดังรูปที่ 4

ทำการเลือกกำหนดพื้นที่แบบต่างๆซึ่งขึ้นกับพื้นที่ภาพที่ต้องการ จากตัวอย่างจะพบลักษณะพื้นที่ที่จะต้องกำหนดเป็นภาพแบบไม่มีรูปร่างที่แน่ชัด ดังนั้น คงเลือกแบบ Polygon (สำหรับพื้นที่สี่เหลี่ยมใช้ Rectangle และพื้นที่วงกลมใช้ Circle) เลือกคลิกบริเวณรอบขอบเขตภาพที่ต้องการ เมื่อครบแล้ว คลิกปุ่มขวาของเมาส์จะปรากฏ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4

รูปที่ 4 ➡

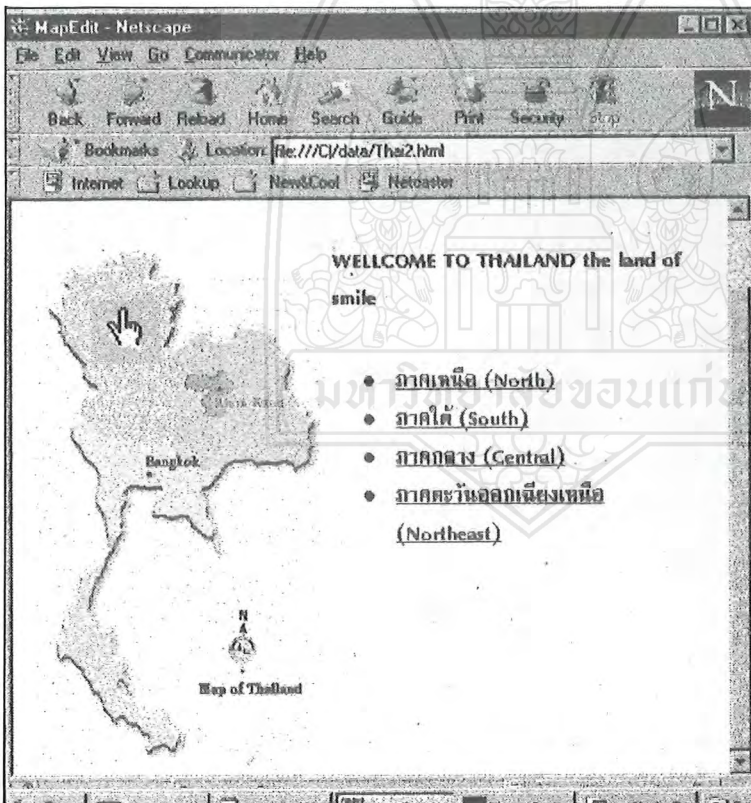


ใส่ URLs ที่ต้องการ

ให้ใส่ URLs ที่ต้องการเชื่อมโยงไป สำหรับในตัวอย่าง จะมีเรียกไปยัง north.html

4. ทำการบันทึก html file โดยเลือกเมนู FILE เลือก Save HTML Document และ Close HTML
5. เมื่อทำการเรียก HTML file ใหม่จะปรากฏดังรูปที่ 6
6. เมื่อผู้ใช้เลื่อน mouse ไปยังบริเวณพื้นที่ภาคเหนือจะมีรูปมือชี้ ซึ่งเมื่อผู้ใช้ click mouse จะทำการเชื่อมโยงไปยัง north.html

รูปที่ 5



รูปที่ 6

เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้แล้วจะพบว่าไม่ใช่เรื่องยากเลยในการที่จะทำ Image Map

เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย

ดร. อังธรา ศิริมังคะลา*

ตอน รางวัลโนเบลประจำปี พ.ศ. 2541

ขณะเตรียมต้นฉบับสำหรับคอลัมน์เกร็ดเล็กเกร็ดน้อยเพื่อลงตีพิมพ์ในฉบับนี้เวลากี่ล่วงเลยมาถึงเดือนตุลาคม ชาวในแวดวงวิทยาศาสตร์ที่จัดว่าน่าสนใจอย่างยิ่งในช่วงเวลานี้มีด้วยกันหลายข่าว เช่น ข่าวเกี่ยวกับฝนดาวตก ซึ่งนับว่าได้สร้างความตื่นตัวให้แก่ประชาชนชาวไทยอย่างมากเลยทีเดียว มีข่าวสารตามหน้าหนังสือพิมพ์ไม่เว้นแต่ละวัน ผลเป็นอย่างไร ฝนดาวตกสวยขนาดไหน ก็คงเป็นที่รับทราบโดยทั่วกันอยู่แล้ว แต่ข่าวทั่วไปอีกข่าวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญในเชิงวิทยาศาสตร์อยู่มากก็คือ การประกาศผลผู้ได้รับรางวัลโนเบลประจำปี พ.ศ. 2541 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกี่ยวกับผลงานการวิจัยที่ได้รับรางวัลทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และสรีรวิทยาหรือการแพทย์ แต่เท่าที่สังเกตดูตามหน้าหนังสือพิมพ์พบว่า มีการรายงานเกี่ยวกับเรื่องนี้ไม่ค่อยจะแพร่หลายนัก ดังนั้น เพื่อเป็นเกียรติประวัติสำหรับผู้พิชิตรางวัลอันทรงเกียรตินี้ จึงใคร่ขอรวบรวมรายชื่อและผลงานโดยสังเขปของผู้ได้รับรางวัลโนเบลในปีนี้

รางวัลโนเบลประจำปี พ.ศ. 2541 ซึ่งได้ประกาศออกมามีครบทั้ง 6 สาขาแล้วในเดือนตุลาคมที่ผ่านมา มีผู้ได้รับรางวัลปีนี้รวมทั้งสิ้น 12 คน ส่วนใหญ่เป็นชาวอเมริกันหรือคนสัญชาติ

อื่นที่ทำงานอยู่ในสหรัฐอเมริกา รางวัลแรกที่มีการประกาศออกมาอย่างเป็นทางการในวันอังคารที่ 8 ตุลาคม เวลาบ่ายโมงตรง (เวลาท้องถิ่นที่กรุงสตอร์กโฮล์ม ประเทศสวีเดน) คือ รางวัลโนเบลสาขาวรรณกรรม ผู้ได้รับรางวัลนี้เป็นนักเขียนชาวโปรตุเกสชื่อ *Jose Saramago* ซึ่งได้รับการยกย่องว่ามีความสามารถในการถ่ายทอดจินตนาการอารมณ์ และการประชดประชัน เพื่อให้เข้าใจถึงความจริงที่เลื่อนลอย ผลงานที่ได้รับรางวัลคือนวนิยายเรื่อง “*Blindness*”

รางวัลต่อมาได้มีการประกาศอย่างเป็นทางการในวันจันทร์ที่ 12 ตุลาคม เวลา 11.30 น.



Robert F. Furchgott

คือรางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาหรือการแพทย์ มีผู้ได้รับรางวัลในสาขานี้รวม 3 คน ได้แก่ *Robert F. Furchgott* ซึ่งทำงานประจำอยู่ที่ภาควิชาเภสัชศาสตร์ ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพชั้นนี้ เมืองบรุคลิน รัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา

Louis J. Ignarro แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (UCLA School of Medicine) ในลอสแอนเจลิส

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



Louis J. Ignarro

ตริกออกไซด์ในร่างกายมนุษย์ กล่าวคือร่างกายใช้แก๊สไนตริก-ออกไซด์ในการควบคุมการทำงานของเส้นเลือด โดย

มีผลให้เซลล์กล้ามเนื้อผนังด้านในของเส้นเลือดผ่อนคลายทำให้เลือดไหลเวียนได้สะดวกขึ้น การค้นพบนี้มีผลให้เกิดการพัฒนายากระตุ้นสมรรถภาพทางเพศคือ ไวอกรา (Viagra) ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก และแก๊สไนตริกออกไซด์นี้ กำลังถูกจับตามองว่า มีศักยภาพสำคัญในการช่วยแก้ปัญหาสุขภาพร่างกายของมนุษย์ได้อย่างมากมาย เช่น ปัญหาเกี่ยวกับโรคหัวใจ ปอด มะเร็ง เป็นต้น

สำหรับรางวัลโนเบลทางด้านวิทยาศาสตร์ มีการประกาศอย่างเป็นทางการในวันอังคารที่ 13 ตุลาคม โดยมีการประกาศรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในช่วงเช้า (เวลา 11.30 น.) และประกาศรางวัลโนเบลสาขาเคมีในช่วงบ่าย (เวลา 15.00 น.) สำหรับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์นั้น มีผู้ได้รับรางวัล



Robert B. Laughlin

สหรัฐอเมริกา และ **Ferid Murad** แห่งมหาวิทยาลัยเท็กซัส ในฮุสตัน รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา ผลงานที่ได้รับรางวัลคือ การค้นพบบทบาทสำคัญ

ของแก๊สไน



Ferid Murad

นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน แห่งมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ในแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา **Horst L. Stormer** ชาวเยอรมัน ปัจจุบันทำงาน

ประจำในสหรัฐอเมริกา ที่ภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย รัฐนิวยอร์ก และ **Daniel C. Tsui** ชาวจีน สัญชาติอเมริกัน ปัจจุบันทำงานอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา ผลงานที่ได้รับรางวัลเกี่ยวกับงานด้านฟิสิกส์ควอนตัม คือการค้นพบ “ของไหลควอนตัม” (Quantum Fluid) แบบใหม่ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นเศษส่วนของประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอนปกติ



Walter Kohn

สำหรับรางวัลโนเบลสาขาเคมีนั้น มีผู้ได้รับรางวัล 2 คน คือ **Walter Kohn** นักฟิสิกส์ชาวออสเตรียซึ่งประจำทำงานอยู่ที่ภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียในซานตา บาร์บารา สหรัฐอเมริกา และ **John A. Pople** ชาวอังกฤษ ซึ่งทำงานประจำอยู่ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยลันนอร์ทเวทสเตอร์น ในสวีเดน รัฐอิลลินอยส์ สหรัฐอเมริกา สำหรับผลงานที่ได้รับรางวัลคือผลงานทางด้านเคมีควอนตัมและเคมีคอมพิวเตอร์ เกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเชิงทฤษฎีสำหรับศึกษาคุณสมบัติของโมเลกุล และกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้อง (ผลงานที่ได้



Horst L. Stormer



Daniel C. Tsui



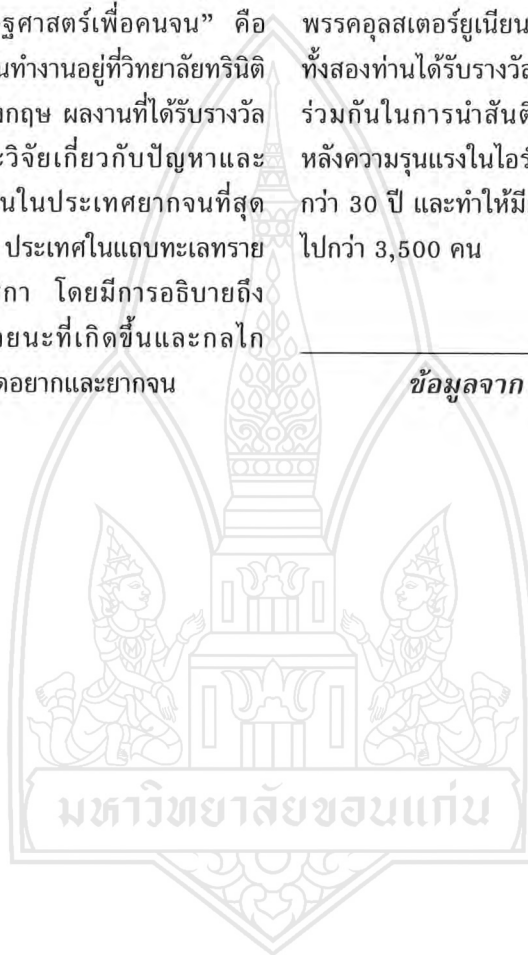
John A. Pople

รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์และเคมีโดยสังเขป
อ่านได้ในบทความฉบับ)

รางวัลโนเบลสาขาเศรษฐศาสตร์ ได้รับ
การประกาศในวันพุธที่ 14 ตุลาคม เวลาท้องถิ่น
11.30 น. ผู้ได้รับรางวัลนี้เป็นชาวอินเดียที่รู้จักกัน
ในนามของ “นักเศรษฐศาสตร์เพื่อคนจน” คือ
Amartya Sen ปัจจุบันทำงานอยู่ที่วิทยาลัยทรินิตี
ในเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ ผลงานที่ได้รับรางวัล
คือ การค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับปัญหาและ
สวัสดิการของประชาชนในประเทศยากจนที่สุด
เช่น บังกลาเทศ อินเดีย ประเทศในแถบทะเลทราย
ซาฮาราและทวีปแอฟริกา โดยมีการอธิบายถึง
ปรากฏการณ์ความหายนะที่เกิดขึ้นและกลไก
เศรษฐกิจภายใต้ความอดอยากและยากจน

ในวันศุกร์ที่ 16 ตุลาคม เวลา 11.30 น.
มีการประกาศรายชื่อผู้ที่ได้รับรางวัลโนเบลสาขา
สันติภาพ ได้แก่ *John Hume* หัวหน้าพรรคสังคมนิยม
ประชาธิปไตยและแรงงาน (Social Democratic
and Labor Party) และ *David Trimble* หัวหน้า
พรรคอูลสเตอร์ยูเนียนิสต์ (Ulster Unionist)
ทั้งสองท่านได้รับรางวัลนี้จากผลงานความพยายาม
ร่วมกันในการนำสันติภาพมาสู่ไอร์แลนด์เหนือ
หลังความรุนแรงในไอร์แลนด์เหนือที่ยืดเยื้อมานาน
กว่า 30 ปี และทำให้มีผู้เสียชีวิตสังเวความรุนแรง
ไปกว่า 3,500 คน

ข้อมูลจาก <http://nobelprizes.com>



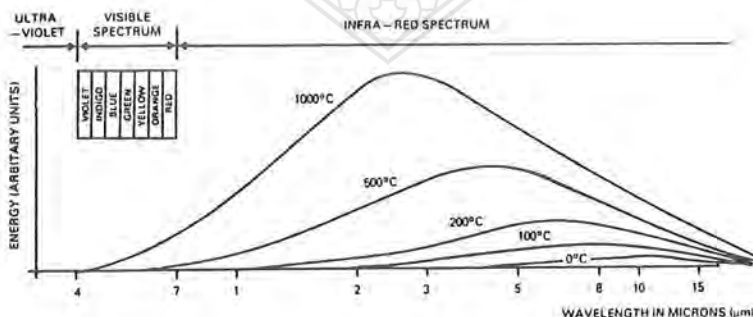
วิศวกรรมวิทยาศาสตร์

การวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน Infrared Thermometry

ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (infrared detector) สัมบูรณ์ (absolute zero, 0 K, -273°C) โมเลกุล
นิกส์และตัววัดรังสีความร้อน (infrared detector) ภายในวัตถุจะมีการสั่น และส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิของวัตถุโดยที่ไม่มีการ (electromagnetic wave) ออกจากตัววัตถุ พลังงาน
สัมผัสวัตถุด้วยตัววัดใดๆ เลย เราเรียกว่า เทอร์ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อวัตถุนั้นร้อนขึ้น
มอมิเตอร์แบบไม่สัมผัสโดยอาศัยรังสีความร้อน ดังนั้นเราจึงสามารถวัดอุณหภูมิของวัตถุได้จากพลัง
(non-contact infrared thermometer) หรือเรียกว่า งานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากวัตถุนั้น
pyrometer แสดงสเปกตรัมของพลังงานที่ส่งออกจากวัตถุร้อน

เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศา ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 1



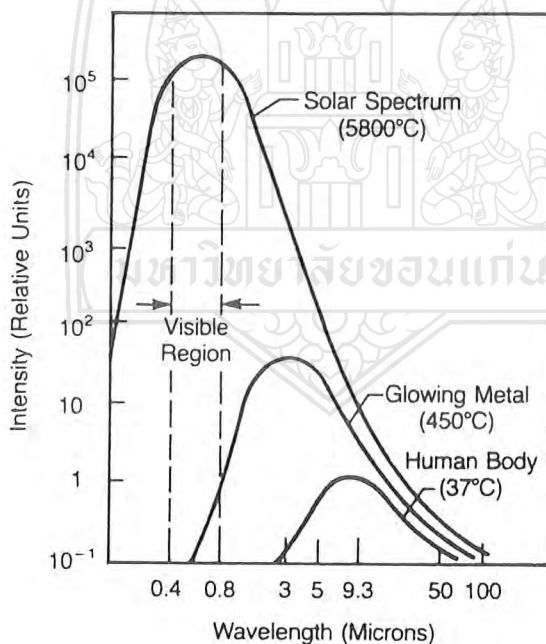
รูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมของพลังงานที่ส่งออกจากวัตถุร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงถึง 600°C จะมีพลังงานจำนวนน้อยที่เริ่มออกมาจากวัตถุนั้นที่อยู่ในช่วงแสงสีแดงความยาวคลื่นประมาณ 0.7 ไมครอน แต่ถ้าวัตถุมีอุณหภูมิประมาณอุณหภูมิห้อง พลังงานที่ส่งออกมาจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 6 ไมครอน คือ ความยาวคลื่นที่ความเข้มแสงสูงสุด (λ_{max}) จะมีค่าสั้นลงถ้าอุณหภูมิ ของวัตถุมีค่าสูงขึ้น, λ_{max} แปรตาม $1/T$ เรียกว่า Wien's Displacement Law พลังงานรวมที่ส่งออกมาไม่แปรตามโดยตรงกับอุณหภูมิ เช่น วัตถุ 1000°C ส่งพลังงานออกมาเป็นประมาณ 250 เท่าของวัตถุที่มีอุณหภูมิ 50°C (เขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้เป็น Energy แปรตาม T^4 เรียกว่า Stefan-Boltzmann's Law) เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่า 600°C , วัตถุจะส่งพลังงาน

ในช่วงแสงสีส้ม และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกก็จะส่งพลังงานในช่วงแสงสีเหลือง คือ เข้าสู่ช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) แสดงสเปกตรัมของพลังงานที่ส่งออกมาจากดวงอาทิตย์ (solar spectrum), จากโลหะที่เริ่มร้อนแดง (glowing metal) และจากร่างกายมนุษย์ (human body) ดังในรูปที่ 2

รังสีความร้อนสามารถหักเหผ่านเลนส์หรือปริซึม และสะท้อนโดยกระจกเช่นเดียวกับแสงที่ตามองเห็น มีข้อควรคำนึงในการวัดอุณหภูมิจากหลักการแผ่รังสีความร้อน ดังนี้

1. พลังงานที่ส่งผ่าน (transmitted energy) ปกติวัตถุส่วนมากมีความทึบต่อรังสีความร้อน ดังนั้นผลจากการส่งผ่านความร้อนต่อวัตถุจึงไม่ต้องนำมาคิดถือว่ามีส่วนน้อยมาก



รูปที่ 2 แสดงสเปกตรัมของพลังงานที่ส่งออกมาจากดวงอาทิตย์ (solar spectrum), จากโลหะที่เริ่มร้อนแดง (glowing metal) และจากร่างกายมนุษย์ (human body)

2. พลังงานที่สะท้อน (reflected energy) ปกติการสะท้อนจากผนังหรือพื้นห้องมีผลน้อยเช่นกัน

3. พลังงานที่ส่งออกมา (emitted energy) เป็นส่วนที่เราสนใจเพื่อวัดอุณหภูมิของวัตถุนั้น

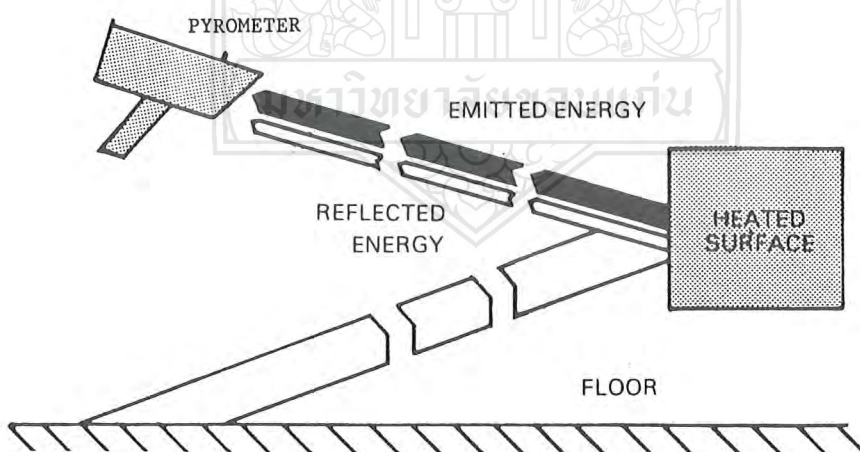
แสดงพลังงานที่ส่งออกและพลังงานที่สะท้อนที่ผิวร้อน (heated surface) ก่อนเข้าสู่ pyrometer ดังรูปที่ 3 โดยเราไม่คิดส่วนพลังงานที่ส่งผ่าน

เพราะฉะนั้น $\text{Reflectivity} + \text{Emissivity} = 1$ สำหรับผิวของวัตถุใด ๆ

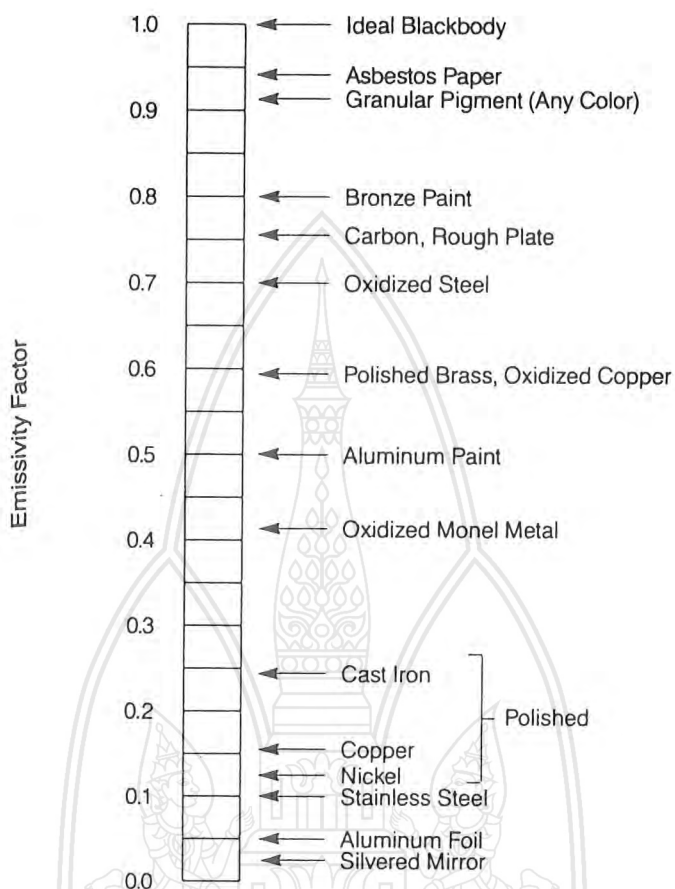
ดังนั้น ผิวของวัตถุที่สะท้อนความร้อนไม่ดี เราถือว่า emissivity เป็น 1 ผิววัตถุที่ไม่ใช่โลหะมีค่า emissivity ระหว่าง 0.8 ถึง 1 ส่วนผิวโลหะที่

ขัดมันจะเป็นตัวสะท้อนที่ดีมีค่า reflectivity ประมาณ 0.9 ดังนั้น จึงมีค่า emissivity ต่ำมากประมาณ 0.1, แสดงค่า emissivity ของวัตถุหลายชนิดและเงื่อนไขต่างๆ ดังในรูปที่ 4

นอกจากนี้ในบางครั้งเราจำเป็นต้องใช้ pyrometer เพื่อวัดอุณหภูมิจากแหล่งให้ความร้อนในบริเวณที่ต้องการควบคุมสิ่งแวดล้อม เช่น ใน vacuum chamber (หมายถึงบริเวณที่สุญญากาศออกด้วย vacuum pump) การวัดอุณหภูมิเช่นนี้ต้องผ่านวัสดุที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านได้ เช่น แก้วโซดา (soda lime glass) เราจึงต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) ของแก้วที่ใช้ด้วย ซึ่งมีค่าตามความหนาตั้งข้อมูลในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แสดงพลังงานที่ส่งออกและพลังงานที่สะท้อนที่ผิวร้อน (heated surface) ก่อนเข้าสู่ pyrometer



รูปที่ 4 แสดงค่า emissivity ของวัตถุหลายชนิดและเงื่อนไขต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงสัมประสิทธิ์การส่งของแก้วที่ความหนาต่างๆ

ความหนา (มม.)	ส.ป.ส.การส่งผ่าน
0.5	0.90
1	0.82
2	0.67
3	0.55
5	0.37
10	0.16

ตัวอย่าง เช่น ถ้าเราต้องการวัดอุณหภูมิที่กำลัง
ร้อนแดงในเตาเผาสุญญากาศว่ามีอุณหภูมิเท่าไร
ผ่านแก้วหนา 3 มม. โดยที่อุณหภูมิค่า emissivity 0.85
ตัวคูณของ 2 แฟคเตอร์ คือ $0.55 \times 0.85 = 0.47$,
เราจึงต้องปรับเครื่อง pyrometer ที่ค่า emissivity
เพื่อการวัดให้อยู่ที่ 0.47 การวัดจึงจะถูกต้อง

บรรณานุกรม

1. Infrared Thermometer, Operator's Manual, OS900 Series, An OMEGA Technologies Company, 1995.
2. The Temperature Handbook, Vol. 28, An OMEGA Technologies Company, 1992, pp. Z-50 - Z-61.





ฉบับนี้ มุมวิทยาการผ่านเว็บไซต์จะขอ **Site#12** <http://gams.nist.gov/> เป็นแหล่งข้อมูลอีกแห่งหนึ่งของ NIST ที่ มีประโยชน์มาก gams ย่อมาจากคำว่า Guide to Available Mathematical software ซึ่งคงจะบอก เนื้อหาของ Site#12 ที่ได้ค่อนข้างสมบูรณ์

Site#11 <http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents.html> ข้อมูลที่ค้นได้จาก Site ที่จะเหมาะสำหรับ

Site#11 นี้เป็นที่รวบรวมคำอ้างอิงต่างๆที่ ผู้ที่กำลังค้นหาโปรแกรมทางคณิตศาสตร์และสถิติ ถึงแม้ว่าซึ่งของ Site จะเป็นฟิสิกส์ ข้อมูลที่มีอยู่บน มาใช้งานฟรีๆ บนระบบปฏิบัติการ UNIX (ซึ่งจะ site ที่อาจจะมีความหมายสำหรับสาขาอื่นด้วย ดูจาก รวมระบบปฏิบัติการของฟรียอนนิม Linux ด้วย) รายการข้อมูลที่ผมยกมาเป็นตัวอย่างต่อไปนี้ คือ การค้นหาโปรแกรมเราค้นหาได้หลายแบบ

- Fundamental Physical constant เช่น การค้นหาโดยการระบุปัญหาที่โปรแกรม
- Guide line for Evaluation Measurement Uncertainty แพลกเกจสามารถแก้ไขได้, การค้นโดยการระบุชื่อของ
- Wave Number Table for Calibration of Infrared Spectrometer โปรแกรมและการค้นหาโดยการระบุค่าที่มีอยู่ใน
- Stopping Power and Range Table for Electron, Proton and Helium Ions. ข้อความคำอธิบายโปรแกรม เป็นต้น
- Atomic Model Data for Electronics structure Calculation และอื่นๆ อีก ตัวอย่างเช่น เมื่อผมต้องการหาโปรแกรม ที่สามารถแก้สมการแบบ Partial Differential Equation (PDE) ได้ ผมสามารถใส่ keyword “PDE” ให้ดำเนินการค้นหาได้ ผลจากนี้ผมจะได้ รายละเอียดออกมาเป็นชื่อของโปรแกรมแพคเกจ 4 ชื่อที่นำการแก้ปัญหาที่ระบุไว้ว่าเป็น :

ข้อมูลที่ปรากฏเชื่อถือได้แน่นอนเพราะ เป็น site ที่เป็นทางการของ National Institute of Standard and Technology (NIST) ของรัฐบาล สหรัฐอเมริกา และตัวเลขทุกตัวมีเอกสารอ้างอิงให้ ตาตรวจสอบได้

- Boundary value problem PDEs
- Elliptic PDE
- Hyperbolic PDE, และ
- Parabolic PDE

และเมื่อผมลองใช้ keyword ให้ค้นหว่า “plotting” ผมจะได้ชื่อโปรแกรมออกมา 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Contour plotting และกลุ่ม plotting ทั้งไป และเมื่อคลิกไปที่ชื่อของโปรแกรมเราก็จะได้รายละเอียดต่างๆ ของโปรแกรม รวมทั้งแหล่งสำหรับการ download ด้วย มีประโยชน์มากด้วย

Site#13 <http://www.umich.edu/~radinfo/>

Site#13 เป็นแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับรังสีและสุขภาพ ชื่อเป็นทางการของ Site คือ Radiation and Health Physics เจ้าของ Site เป็นองค์กรที่เรียกว่า The University of Michigan Student Chapter of Health Physics Society เนื้อหาที่มีอยู่จะครอบคลุมตั้งแต่ระดับประชาชนทั่วไป (ตัวอย่างหัวข้อ เช่น Radiation and Us, Radiation and Life, Risk of Nuclear Power เป็นต้น) นักศึกษา (ตัวอย่างหัวข้อเช่น Education Resource, University with Health Physics Program, Labour Market trend และ Guide to Radiation Protection Program เป็นต้น), นักวิจัย (จะมีแหล่งข้อมูลจุดเชื่อมต่อไปยังแหล่งข้อมูลอื่นๆ ฯลฯ) และผู้ประกอบการอาชีพในสาขา (แหล่งข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงาน เป็นต้น)

เรียกได้ว่าครบถ้วนสำหรับทุกระดับชั้นเลยทีเดียวครับ

Site#14 <http://xxx.lanl.gov/>

เห็นชื่อ Site#14 นี้ แล้วอย่าคิดว่านายชวดไว้นะพาไปดู Site “อย่างว่า” นะครับ ! เพราะที่จริงแล้ว Site#14 จะเป็น Site ในสังกัดของ Los Alamos National Laboratory (LANL) ของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาโน้น และเป็น Site ที่รวบรวม

บทความงานวิจัย (ซึ่งไม่ใช่เฉพาะงานของ LANL เพียงอย่างเดียว บุคคลภายนอกสามารถส่งงานของตัวเองไปเก็บไว้ได้) ที่แยกออกเป็น 5 สาขาวิชาด้วยกันคือ Physics, Mathematics, Nonlinear Science, Computer Linguistic และ Neuroscience บทความที่เก็บไว้จะย้อนหลังไปถึงปี 1993 ท่านผู้อ่านที่สนใจคงต้องลองเข้าไปค้นดูเองละครับว่าจะมีอะไรที่เป็นประโยชน์ได้บ้าง

Sits#15 <http://sticnet.stic.gov.tw.8851/>

พาท่านผู้อ่านไปเที่ยวบน Site อ้างอิงของสหรัฐอเมริกาามากแล้วขออนุญาตนำท่านมาแถวๆ เอเชียเราเป็นการส่งท้ายฉบับนี้ นะครับ

Site นี้เป็น Site ของ The Science and Technology Information Center (STIC) ของ National Science Council, Taiwan

ข้อมูลที่มีอยู่เข้าใจว่าเป็นผลงานที่ทางรัฐบาลให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย ซึ่งจะแยกประเภทออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

- (1) Conference papers
- (2) Research Report
- (3) Sci-Tech Journal Article

Site นี้มีข้อแตกต่างจาก Site ที่เคยแนะนำมาทั้งหมดคือ เราจะต้องลงทะเบียนเพื่อขอหมายเลขผู้ใช้ (User ID) เสียก่อนจึงจะเข้าไปใช้งานได้ การลงทะเบียนนี้ทำได้ทันที โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ

พบกันใหม่ฉบับหน้าครับ

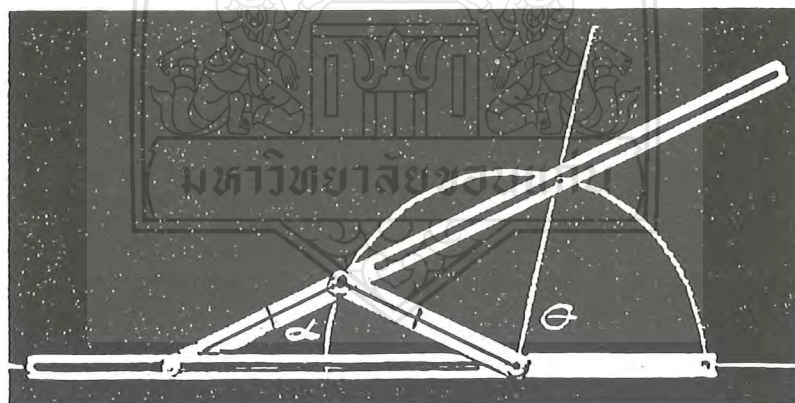
คณิตศาสตร์ชวนคิด

วิจารณ์ สดศิริ

ในอาณาจักรคณิตศาสตร์มีหลายสิ่งหลายอย่างเชิญชวนให้เราหลงใหล ด้วยเหตุนี้ผู้เขียนใคร่ขอเปลี่ยนชื่อคอลัมน์นี้ใหม่จาก “คณิตศาสตร์ชวนคิด” เป็น “ท่องอาณาจักรคณิตศาสตร์” ในปี 2542 เป็นต้นไป ซึ่งจะเปิดกว้างสำหรับการนำเรื่องราวต่าง ๆ ในอาณาจักรคณิตศาสตร์มานำเสนอ นอกเหนือจากการหยิบยกโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์มากล่าวเพียงอย่างเดียว ดังนั้นคอลัมน์คณิตศาสตร์ชวนคิดในฉบับหน้าจะเป็นคอลัมน์สุดท้าย หลังจากนั้นเราก็จะมาร่วมกันท่องไปในอาณาจักรคณิตศาสตร์กันครับ

ปัญหาในฉบับนี้เป็นปัญหาทางเรขาคณิตบนระนาบ (plane geometry)

ปัญหาที่ 1 พิจารณาเครื่องมือต่อไปนี้



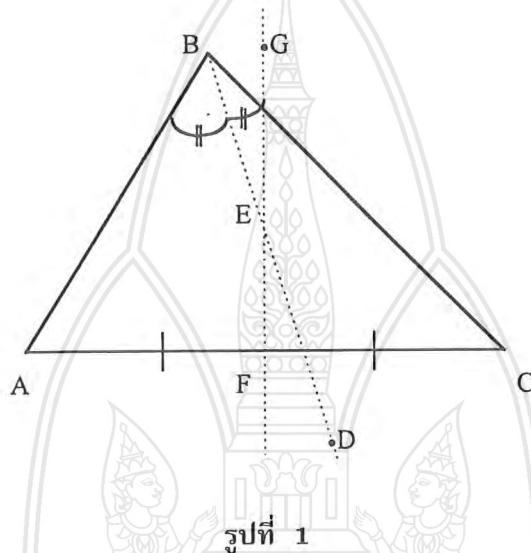
อยากทราบว่า $\hat{\alpha}$ และ $\hat{\theta}$ สัมพันธ์กันอย่างไร

ปัญหาที่ 2 “รูปสามเหลี่ยมทุกรูปเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว” พิจารณาทฤษฎีจนต่อไปนี ให้ $\triangle ABC$ เป็นรูปสามเหลี่ยมใด ๆ

(ขั้นตอนที่ 1 และ 2 ให้ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

ขั้นตอนที่ 1 ลาก $\overline{BD}$ แบ่งครึ่ง $\hat{B}$

ขั้นตอนที่ 2 ให้จุด F เป็นจุดกึ่งกลางของด้าน $\overline{AC}$ จากนั้นลาก $\overline{FG}$ ให้ตั้งฉากกับ $\overline{AC}$ ที่จุด F และให้ E เป็นจุดตัดของ $\overline{BD}$ และ $\overline{FG}$ ดังรูปที่ 1



(ขั้นตอนที่ 3 ถึง 9 ให้ดูรูปที่ 2 ประกอบ)

ขั้นตอนที่ 3 ลาก $\overline{EG}$ และ $\overline{EH}$ ให้ตั้งฉากกับ $\overline{AB}$ และ $\overline{BC}$ ที่จุด G และ H ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 ลาก $\overline{AE}$ และ $\overline{EC}$

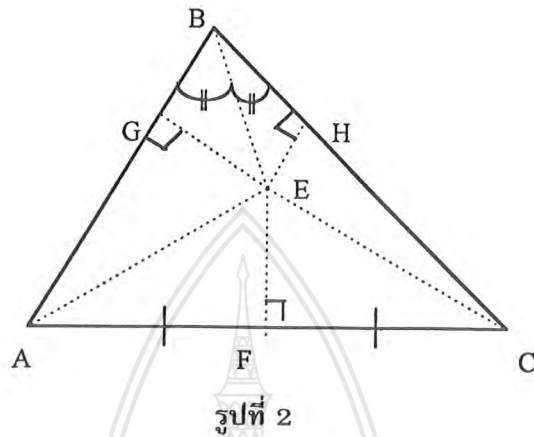
ขั้นตอนที่ 5 เนื่องจาก $\triangle BGE \cong \triangle BHE$ ดังนั้น $|\overline{EG}| = |\overline{EH}|$ และ $|\overline{BG}| = |\overline{BH}|$

ขั้นตอนที่ 6 เนื่องจาก $\triangle AFE \cong \triangle CFE$ ดังนั้น $|\overline{AE}| = |\overline{EC}|$

ขั้นตอนที่ 7 จากขั้นตอนที่ 5 และ 6 ได้ว่า $\triangle AGE \cong \triangle CHE$ ดังนั้น $|\overline{AG}| = |\overline{HC}|$

ขั้นตอนที่ 8 จากขั้นตอนที่ 5 และ 7 ได้ว่า $|\overline{AB}| = |\overline{AG}| + |\overline{BG}| = |\overline{BH}| + |\overline{HC}| = |\overline{BC}|$

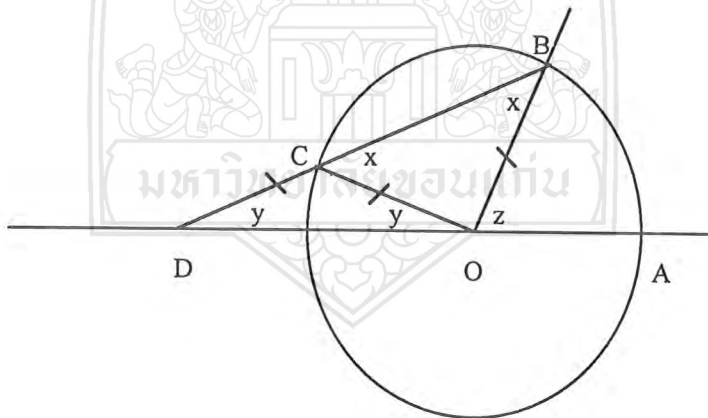
ขั้นตอนที่ 9 $\triangle ABC$ เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว



เนื่องจาก $\triangle ABC$ เป็นรูปสี่เหลี่ยมใด ๆ นั้นแสดงว่า รูปสามเหลี่ยมทุกรูปเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว อยากทราบว่าบทพิสูจน์นี้มีจุดบกพร่องตรงไหน

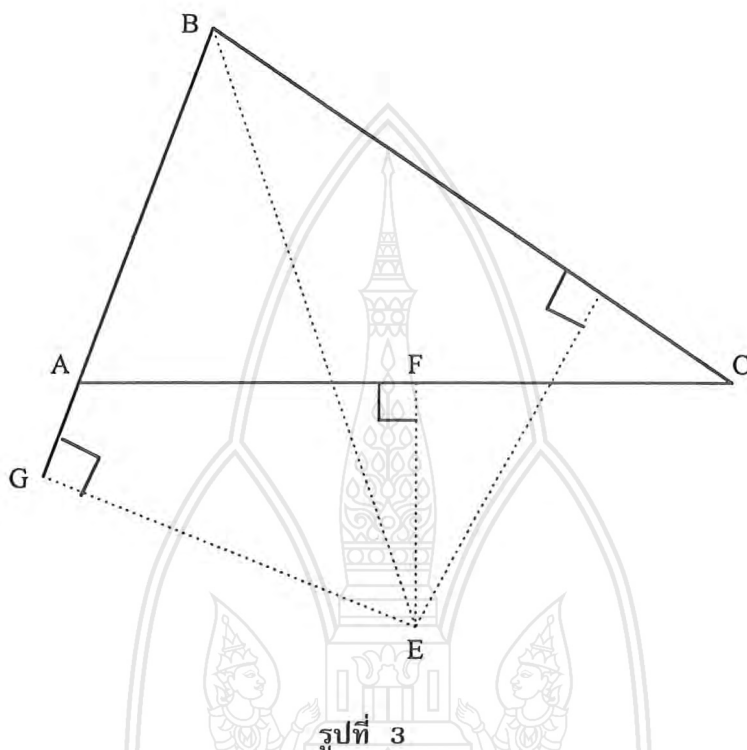
เฉลย

ปัญหาที่ 1



จากรูป $\triangle DOC$ เราได้ว่า $x = y + y$ และจากรูป $\triangle DOB$ เราได้ว่า $z = y + x$ ดังนั้น $z = 3y$ นั้นแสดงว่า $\hat{\theta}$ มีขนาดเป็น 3 เท่าของ $\hat{\alpha}$ เพราะฉะนั้นเครื่องมือนี้ใช้สำหรับหามุมซึ่งมีขนาดเป็น 1 ใน 3 ของขนาดของมุมที่กำหนด

ปัญหาที่ 2 เนื่องจากรูป $\triangle ABC$ เป็นรูปสามเหลี่ยมใด ๆ ดังนั้นจึงอาจเกิดในกรณีดังรูปที่ 3



จะเห็นได้ว่า $|\overline{AB}| \neq |\overline{AG}| + |\overline{BG}|$

บรรณานุกรม

1. Pappas, Theoni. 1996. More Joy of Mathematics Exploring Mathematics All Around You. 7th printing. San Carlos, CA: Wide World Publishing/Tetra. pp. 87, 111, and 280.

ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการย่อความจากงานวิจัยหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสัน) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด หรือต้นฉบับพิมพ์ 1 ชุด และ Diskette ของบทความนั้น
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะทำสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ ข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับท้าย
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว - ดำ ขนาดโปสการ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม แนะนำให้เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

อภินันทนาการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

เอกสารอ้างอิง (Reference) หมายถึง เอกสารหรือส่วนหนึ่งของเอกสารที่อ้างอิงถึงหรือแปลมาโดยตรง การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหา นั้น ให้ใช้ระบบหมายเลขเรียงตามลำดับที่อ้างอิง การเขียนเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างไว้แล้วในเนื้อหาเท่านั้น

บรรณานุกรม (Bibliography) หมายถึง เอกสารที่ใช้อ้างอิงในลักษณะที่สรุปเป็นหลักการหรือทฤษฎีโดยมิได้อ้างอิงหรือแปลมาโดยตรง จึงไม่ต้องมีหมายเลขกำกับในรายงาน แต่สรุปรวมเป็นรายชื่อเอกสารในส่วนของบรรณานุกรมโดยคำนึงถึงลำดับตัวอักษร (order system)

การเขียนเอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม มีแนวทางการเขียนดังนี้

1. หนังสือ

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.). ชื่อหนังสือ. (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น, อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อหนังสือ. (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักงานพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

2. เอกสารราชการ

ชื่อหน่วยราชการ. (เลขปี พ.ศ. หรือ ค.ศ.). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์.

3. วารสาร

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่) : เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น, อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่) : เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.

หมายเหตุ

- กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จุลสาร, หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
- กรณีที่มีผู้เขียน 2 หรือ 3 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า “และ” หรือ “and” หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- กรณีที่มีผู้เขียนมากกว่า 3 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะผู้แต่งชื่อแรกและใส่คำว่า “และคณะ” หรือ “et. al.” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า “ระหว่างตีพิมพ์” หรือ “in press” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

