

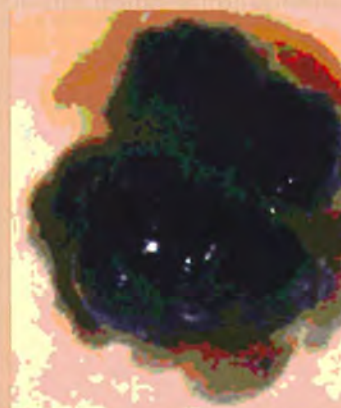
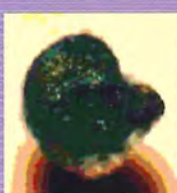
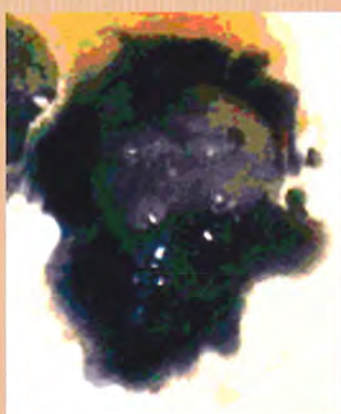
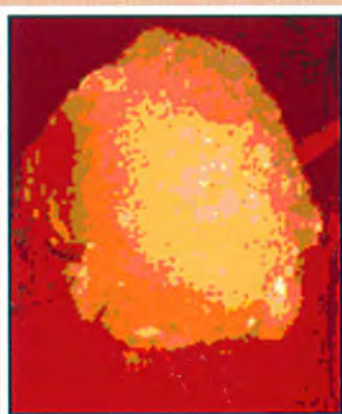


วารสาร

วิทยาศาสตร์มข.

KKU SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 (เม.ย. - มิ.ย. 46) Vol. 31 No. 2 (Apr. - Jun. '03)





วารสาร

ISSN 0125 - 2354

วิทยาศาสตร์
KKU SCIENCE JOURNAL**เจ้าของ**

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม

ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน

ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน

ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

ค่าบำรุง ปีละ 75 บาท ข่ายปลีกเล่มละ 20 บาท

การขอรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมค่าบำรุงเป็นธนาคัตติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือสิน ฝ่ายจัดการ ตั้งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษาคณบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ**บรรณาธิการ**

มานิตย์ โหมิตระกุล

กองบรรณาธิการ

เฉลิม เรืองวิริยะชัย

สมเดช กนกเมธากุล

ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย

บำรุง สมสวัสดิ์

วิทยา อมรกิจบำรุง

ประนอม จันทร์โททัย

นฤมล แสงประดับ

เสาวนิต ทองพิมพ์

พิสิฏฐ์ เจริญสุใจ

เที่ยง ภูมิสะอาด

อำนาย มณีศรีวงศ์กุล

บุญทรัพย์ ไวกำ

ฝ่ายศิลป์และภาพ

กิเลน ศิลเนตรเศรษฐ์

บุญส่ง กองสุข

ฝ่ายเหรียญกษาปณ์

บุญคุ้ม เหลือสิน

ฝ่ายจัดการและ

ทัศนีย์ จิตตะกวี

เลขานุการ

สมศักดิ์ อุ่นจันทิ

สุกนธ์ กลิ่นผกา

บทความและงานวิจัย**ได้รับการกลั่นกรอง****จากผู้ทรงคุณวุฒิ**

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ.

บรรณาธิการแสดง

บทความ

- ☑ วัสดุอัจฉริยะ : ถูกผสมสารอินทรีย์-สารอินทรีย์
ในวัสดุศาสตร์

พรทิพย์ ลัดสมัย..... 55

งานวิจัยของแก่น

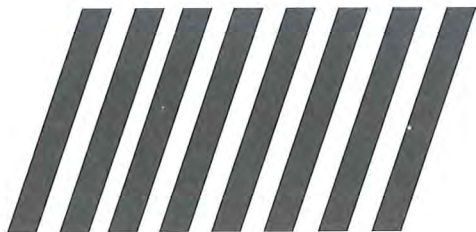
- ☐ พัฒนคติของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่น
ที่มีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุพรรณิ อึ้งปัญญสังข์, วิชุดา ไชยสีวามงคล
สุกัญญา เรืองสุวรรณ, ญาณพร คงประสิทธิ์..... 65

- ☐ อิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดี่ยวต่อสมบัติ
ไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกในระบบ PMN-PZT
ที่ไม่ผ่านการทำซ้ำ

สุพัตรา วงศ์แสนใหม่, สุพล อนันดา
รัตติกร ยี่มนิธิ..... 73

- การศึกษาเบื้องต้นในการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้
บางชนิดโดย *Agrobacterium tumefaciens*
ประวีณา คงโนนกอก, สุมนทิพย์ บุนนาค
ปิยะดา ชีระกุลพิศุทธิ์..... 85
- ผลของกรด 2,4-ไดคลอโรฟีโนลซึ่งอะซิติก (2,4-ดี)
ต่อตัวอ่อนระยะก่อนฝังตัว และระยะฝังตัวของ
หนูแฮมสเตอร์
อำพา เหลืองภิรมย์, ราชนธู สาครเจริญ
ชุติมา หาญจวนิช, พินิจ หวังสมนึก..... 95
- การเจริญเติบโตของผลกระทอนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ได้รับ
และไม่ได้รับการห่อ : ลักษณะภายใน
จรีรัตน์ นามประดิษฐ์, มานิตย์ โหมยิตตระกูล
สุมน มาสุรน, กวิศร์ วานิชกุล..... 105



ISSN 0125 - 2354
วิทยาาสตร์
KKU SCIENCE JOURNAL

Publisher

Faculty of Science, Khon Kaen University,
Thailand.

Office

Faculty of Science, Building 6, Khon Kaen
University.

Objectives

1. To promote dissemination of knowledge in all fields of science.
2. To publish research results of faculty, researchers and students.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among faculty, researchers and students of Khon Kaen University and other institutions.

Publishing frequency

KKU Science Journal is a quarterly journal.
Each volume consists of 4 numbers.

- Number 1 January - March
Number 2 April - June
Number 3 July - September
Number 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 Staff, Khon Kaen University Post Office, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

Advisory Committee Dean, Faculty of Science
Associate Dean for Academic Affairs

Editor

Manit Kosittrakun

Editorial Board

Chalerm Ruangviriyachai
Somdej Kanokmedhakul
Saksit Chanthai
Bamrung Somsawasdi
Vittaya Amornkitbamrung
Pranom Chantaranothai
Narumon Sangpradub
Soawanit Tongpim
Pisit Chareonsudjai
Tiang Poomsa-ard
Amnuay Maneesriwongkul
Boonsup Waikham

Artists

Kilen Tinnoraset
Boonsong Koungsook

Treasurer

Boonkoom Lualon

Managing Staff

Tassanee Jittakhawee
Somsak Unjantee
Sukhon Klinpaka

and Secretary

**All articles published in
KKU Science Journal have been
peer reviewed.**

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

บรรณานุกรม **แฉก**

เรียน ท่านสมาชิกวารสารฯ และท่านผู้อ่านที่รัก

วารสารฯ ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความปริทัศน์ 1 เรื่อง และบทความวิจัยอีก 5 เรื่อง สัดส่วนของบทความทั้งสองแบบค่อนข้างเหมาะสม ถ้าพิจารณาถึงสาขาวิชาวารสารฯ ฉบับนี้มีบทความทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพอย่างละครึ่งพอดี อย่างไรก็ตามในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ จะมีเฉพาะบทความทางชีววิทยาเท่านั้น นอกจากนี้บทความส่วนใหญ่ยังคงเป็นผลงานของนักวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สวัสดีครับ

บรรณาธิการ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัสดุอัจฉริยะ : ลูกผสมสารอนินทรีย์-สารอินทรีย์ในวัสดุศาสตร์

พรทิพย์ ลัดด้มนันท์¹

บทนำ

วัสดุลูกผสมสารอนินทรีย์-สารอินทรีย์ (inorganic-organic hybrid materials) ได้รับความสนใจอย่างมากในฐานะที่เป็นวัสดุผสมชนิดใหม่ วัสดุนี้เป็นของผสมของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบกันขึ้นด้วยพันธะเคมีเป็นโครงสร้างนาโน (nanostructure) ประโยชน์ที่สำคัญของวัสดุลูกผสมคือการใช้ในทางแม่เหล็กและการแพทย์ เช่น ทำเป็นแถบบันทึกแม่เหล็ก ของไหลแม่เหล็ก หมึกแม่เหล็ก การวินิจฉัยโรคโดยเทคนิค magnetic resonance imaging (MRI) ตัวพาเข้าไปในร่างกาย วัสดุลูกผสมมีหลายชนิด จำแนกตามวิธีการเตรียม โครงสร้างและการประยุกต์ใช้ ได้แก่ วัสดุลูกผสมที่เตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล (sol-gel) ไอโอโนเมอร์ (ionomer) เกลือหรือสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ (polymeric salts or complexes, IOH-cc) พอลิเมอร์ตัวนำไฟฟ้า (conducting polymer) วัสดุลูกผสมที่มีทิศทางด้าน (low dimensional hybrid) พอลิเมอร์บวม (swollen polymers) คอมพอสิตของแข็ง-ของแข็ง (solid-solid composite)

ในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะวัสดุของเกลือหรือสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์เท่านั้น วัสดุนี้เป็นวัสดุที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ที่มีหมู่เบสที่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับแคตไอออนอนินทรีย์หรือในทางกลับกันได้ ในที่นี้เราจะเรียกว่า IOH-cc (inorganic-organic hybrid coordination complex)

วัสดุนี้พบครั้งแรกในปี ค.ศ.1964 โดย Blumberg et al. สามารถแยกสารเชิงซ้อน $-(CH_2-CH_2-O)_4, HgCl_2-$ ได้ ต่อมา ในปี ค.ศ. 1973 Fenton et al. ได้ศึกษาความสามารถในการละลายของเกลืออัลคาไลในพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) และในปี ค.ศ. 1979 Armand et al. ได้เสนอให้ใช้วัสดุนี้เป็นอิเล็กโทรไลต์ของแข็งในแบตเตอรี่ เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการค้นพบว่าสามารถผลิตอนุภาคโลหะที่ละเอียดจากสารเชิงซ้อนของเกลือของโลหะและพอลิแอล (polyol) ได้

การเตรียมวัสดุลูกผสมสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ (IOH-cc)

IOH-cc เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่โคออร์ดิเนตของพอลิเมอร์กับแคตไอออนของสารอนินทรีย์ที่เป็นไปตามนิยามกรด-เบสของลิวอิส ลูกผสมที่ได้จะมีอัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อเกลือของสารอนินทรีย์ (R) ได้หลายค่า ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความแรงสัมพัทธ์ของหมู่เบสที่เข้าทำปฏิกิริยา (active base) ของพอลิเมอร์ สภาพความเป็นกรดของแคตไอออน และการโคออร์ดิเนตของแคตไอออน ตารางที่ 1 แสดงพอลิเมอร์และสารอนินทรีย์ที่ใช้เตรียมวัสดุ IOH-cc

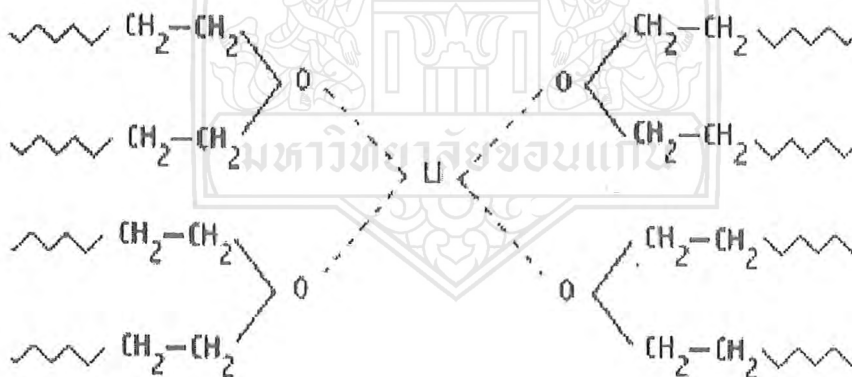
¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

ตารางที่ 1 สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์และสารอนินทรีย์ที่ใช้เตรียม IOH-cc บางชนิด

พอลิเมอร์	สารอนินทรีย์
Poly(vinyl alcohol)	LiBF_4 , H_3PO_4 , CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuBr_2
Poly(acrylic acid)	Y, Cu, Ba nitrates
Poly(ethylene oxide)	LiClO_4 , RbAg_4I_5
Nylon, Elvamide 8061	MX_n ; $\text{M}^{n+} = \text{Li}^+$, Zn^{2+} , Fe^{3+} , $\text{X} = \text{Cl}^-$, Br^-
Poly(acrylamide)	CaX_2 ($\text{X} = \text{Cl}$, Br), H_3PO_4 , CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuBr_2 , BiCl_3 , BiI_3
Nylon 6	FeCl_3
Poly(acrylamide + acrylic acid)	TbCl_3
Poly(acrylamide + ethylene oxide)	LiClO_4
Poly(methyl methacrylate + propylene glycol)	LiCF_3SO_3
Poly(amides)	GaCl_3

ตัวอย่างสารเชิงซ้อนลูกผสมระหว่างพอลิเอไมด์กับ GaCl_3 จะมีอัตราส่วน R เป็น 1:1 แสดงว่าทุก ๆ หมู่เอไมด์จะสร้างพันธะกับ GaCl_3 หนึ่งโมเลกุล

ทำให้ Ga มีเลขโคออร์ดิเนชันเป็นสี่ แต่สารเชิงซ้อนระหว่างพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) และ LiClO_4 จะมีอัตราส่วน R มากกว่า 10 และมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของ PEO- LiClO_4

ปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องในการเกิดวัสดุลูกผสมนี้ได้แก่ พลังงานแลตทิซของเกลืออนินทรีย์ ซึ่งต้องมีค่าต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการจับเป็นก้อนของพอลิเมอร์ผสม

ระหว่างการเตรียม รวมทั้งชนิดของแอนไอออนของเกลือของสารอนินทรีย์อีกด้วย

การเตรียม IOH-cc จะทำได้สองวิธีคือ (1) ปฏิกิริยาการเติม (addition) โดยการเติมสารละลายเกลือของสารอนินทรีย์ในสารละลายพอลิเมอร์ และ (2) ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วม (copolymerisation) ของมอนอเมอร์กับเกลือของสารอนินทรีย์

กระบวนการแรกค่อนข้างจะง่าย โดยเลือกตัวทำละลายที่สามารถละลายได้ทั้งพอลิเมอร์และ

เกลือของสารอนินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นนำสารละลายผสมที่ได้ไปประเหตตัวทำละลายออกทั้งหมดหรือบางส่วน จะได้เจลพอลิเมอร์ (polymeric gel) ที่มีความหนืดต่าง ๆ ขึ้นกับสัดส่วนของตัวทำละลายที่เหลือ และเมื่อตัวทำละลายระเหยออกจนหมดจะได้แผ่นฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลเป็นพลาสติก

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของเกลือ-ตัวทำละลายของพอลิเมอร์-สารอนินทรีย์

พอลิเมอร์	ตัวทำละลาย	เกลือสารอนินทรีย์
poly(acrylamide)	H ₂ O	BiCl ₃
Poly(ethylene oxide)	CH ₃ CN	WCl ₆ , SnCl ₄
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	(CH ₃) ₂ CO	BiI ₃
Poly(ethylene oxide)	CH ₃ CH ₂ OH	TiCl ₄
Nylon 6	HCOOH	FeCl ₃
Elvamide 8061	CH ₃ OH	LiCl, LiBr, ZnCl ₂
Poly(vinyl alcohol)	H ₂ O	CuSO ₄

กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ร่วมประกอบด้วยสองขั้นตอน คือ การเตรียมสารเชิงซ้อนมอนอเมอร์ก่อนแล้วนำไปทำให้เกิดพอลิเมอร์ต่อไป

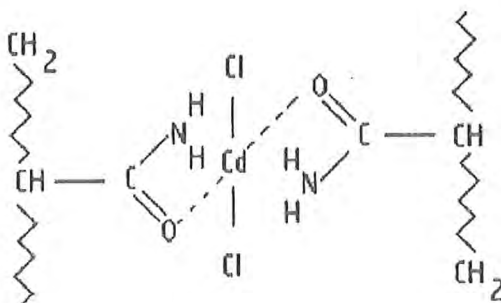
วัสดุผสมที่มีข้อดีกว่าพอลิเมอร์ธรรมดาคือคุณสมบัติในส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ในวัสดุผสมจะเป็นในทางที่ดีขึ้น เช่น พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริลาไมด์กับกรดอะคริลิกสามารถละลายในตัวทำละลายที่เป็นน้ำได้ หรือ ทำให้สามารถใช้พอลิเมอร์เหล่านี้ร่วมกันได้ เช่น ใช้ PMMA กับ poly(propylene glycol) และ PEO กับ PMMA ได้ เป็นต้น

โครงสร้างของวัสดุผสม

โครงสร้างของ IOH-cc มีหลายแบบ ขึ้นกับ (1) จำนวนของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดสารเชิงซ้อนในส่วนของสารอนินทรีย์ และ (2) การไม่กลายพันธุ์ (dismutation) หรือการกลายพันธุ์ของหมู่อนินทรีย์

เช่นวัสดุผสมของ PEO-LiClO₄ จะมีเพียงหนึ่งสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกี่ยวข้อง และการโคออร์ดิเนตของลิเทียมจะเกิดโดยการโค้งเป็นวงของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลหรือภายในโมเลกุลในเวลาเดียวกัน

โดยทั่วไปสารอนินทรีย์จะทำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross linking) ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เช่น วัสดุผสมของ poly(acrylamide)-0.5CdCl₂ แสดงว่าทุกอะตอมของแคดเมียมจะสร้างพันธะกับหมู่เอไมด์สองหมู่ที่อยู่ในคนละสายโซ่พอลิเมอร์ จากการศึกษโดยสเปกโทรสโกปีการค้นพบว่า พันธะระหว่างพอลิเมอร์และคลอไรด์จะเกิดผ่านหมู่คาร์บอนิล (CO) โดยไอออนแคดเมียมจะเกิดการโคออร์ดิเนตแบบสี่พันธะใน (CO)₂CdCl₂ หรือแบบหกพันธะโคออร์ดิเนตเทียม (pseudo six coordination) ใน (CONH₂)₂CdCl₂ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของ PAam-CdCl₂

สำหรับวัสดุผสมของโลหะแตรนซิชันจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า เช่น สารเชิงซ้อนระหว่าง Nylon 6 กับ FeCl₃ จะมีอัตราส่วนของหมู่ CONH ต่อ FeCl₃ เท่ากับ 3 ซึ่งพบว่ามี Fe³⁺ สองรูปคือแคตไอออน [Fe(L₄)Cl₂]⁺ จะอยู่ภายในโครงของพอลิเมอร์ และ แอนไอออน [FeCl₄]⁻ จะอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ และ ขึ้นขึ้นผลจากการศึกษาโดยเทคนิคมอสบาวเออร์สเปกโทรสโกปี (Mössbauer spectroscopy) ซึ่งพบว่ามี Fe³⁺ อยู่สองชนิดจริง

โดยสรุปโครงสร้างของ IOH-cc อาจจะเป็นผลึก ออสัณฐาน หรือกึ่งผลึกก็ได้ เนื่องจากการมีเกลือของสารอนินทรีย์อยู่ในพอลิเมอร์มักจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมข้าม ทำให้การแตกผลึกของพอลิเมอร์ถูกผสมช้าลง แต่เมื่อสารถูกผสมเกิดตะกอนจึงจะได้สารคอมพอสิตที่เป็นผลึก ส่วนการเกิดเป็นสารอสัณฐานของวัสดุผสมจะต้องผ่านอุณหภูมิที่เปลี่ยนสารให้มีสมบัติคล้ายแก้ว (T_g) จึงจะถือว่าวัสดุนี้เป็น “แก้วผสม” (hybrid glasses)

การประยุกต์ของวัสดุผสม

สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์สามารถนำสมบัติไปใช้โดยตรงหรือใช้เป็นสารตั้งต้นหรือพรีเคอร์เซอร์ (precursors) ในการเตรียมวัสดุต่างๆ ได้ ดังนี้

1. ใช้เป็นพรีเคอร์เซอร์

1.1 วัสดุคอมโพสิตนาโน (nanocomposites)

ปัจจุบันนี้มีการศึกษานาโนนาโนกันอย่างกว้างขวาง โดยใช้นาโนคอลลอยด์ที่มีขนาด

2-3 นาโนเมตรที่แขวนลอยอยู่ในเมทริกซ์ การที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กมากทำให้สามารถเตรียมวัสดุที่มีคุณสมบัติแบบใหม่ได้ เช่น การเตรียมสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบเวเลนซ์และแถบตัวนำแคบลง ทำให้เป็นตัวนำที่ดีขึ้น

เนื่องจาก IOH-cc มีตัวกลางที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุคอมโพสิตนาโน และกระบวนการเตรียมโดยทั่วไปประกอบด้วยสองขั้นตอน โดยขั้นแรกจะต้องเตรียมสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ก่อน แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่จะทำให้เกิดการตกผลึกต่อไป แต่เนื่องจาก IOH-cc มีความหนืดสูงจึงทำให้ผลึกโตยาก ดังนั้นจึงมีอนุภาคนาโนเล็กคืออนุภาคนาโนที่จะเกิดภายในพอลิเมอร์ ทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตนาโนในที่สุด

ตัวอย่างการเตรียมวัสดุคอมโพสิตนาโนที่ใช้เป็น X-ray photoconductive ที่เตรียมจาก BiI₃ ใน Nylon 11 หรือใน polyacrylamide (PAam) หรือวัสดุคอมโพสิตนาโน PAam-CdS เตรียมจากสารเชิงซ้อน PAam-CdCl₂ โดยการล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์เจือจาง จะได้อนุภาคนาโนขนาด 3 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังมีการเตรียมแผ่นฟิล์มของ PMMA-CdS ที่โปร่งแสง การเตรียมลวดนาโน (nanowires) ของ (MoSe₃) ใน poly(vinylene carbonate) การเตรียมฟิล์มสารกึ่งตัวนำด้วยสารเชิงซ้อนของ Cu(II) กับ poly(vinyl alcohol) หรือ การทำปฏิกิริยาของไอโอดีนกับ polyacrylamide ทำให้เกิด γ-CuI เป็นต้น

1.2 การเตรียมผงละเอียด (fine powders)

เครื่องมือบางชนิดหรือการใช้งานบางประเภทจำเป็นต้องใช้สารที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่นวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์ของแบตเตอรี่ หรือในกระบวนการกระตะลิสต์

การเตรียมผงละเอียดโดยใช้ IOH-cc เป็นพรีเคอร์เซอร์มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีโซล-เจล เนื่องจากกระบวนการโซล-เจลจะมีการจำกัดอัตราส่วนระหว่าง

โลหะและหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ แต่การใช้ IOH-cc อัตราส่วนนี้จะไม่จำกัด เช่นการสังเคราะห์สารประกอบออกไซด์ผสมโดยกระบวนการ โซล-เจล จะมีการกระจายของสารตั้งต้นไม่สม่ำเสมอในระหว่างการไฮโดรไลซิสหรือการให้ความร้อน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ต่ำ การเตรียมผงละเอียดที่ใช้ IOH-cc เป็นพรีเคอร์เซอร์ แสดงในรูปที่ 3

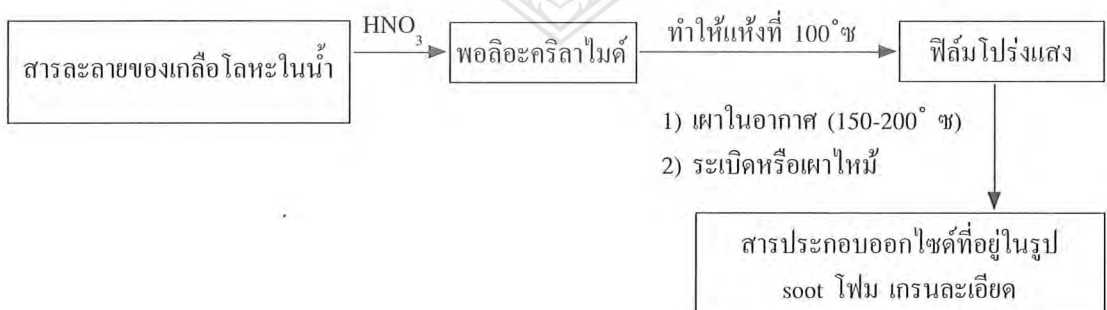


รูปที่ 3 แผนผังการเตรียมสารประกอบออกไซด์จาก IOH-cc

วิธีการนี้นิยมใช้เตรียมเซรามิกส์ที่ละเอียด (fine ceramics) ซึ่งจะคล้ายกับการเตรียมตัวนำไอออน วัสดุไดอิเล็กทริกและเฟอร์ไรต์ ตัวอย่างเช่น การเตรียมสารตัวนำยิ่งยวดที่มี T_c สูง แสดงดังรูปที่ 4 โดยอาศัยการเกิดพอลิเมอร์ร่วมของอะคริลาไมด์หรือกรดอะคริลิกกับสารละลายโลหะไนเตรดที่จะเตรียมสารประกอบออกไซด์นั้น เช่น การเตรียม LiMn_2O_4

นอกจากนี้การใช้พอลิอะคริลาไมด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายของ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ได้ถูกผสม PAAm, x $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ที่ $0 < x < 0.25$ เมื่อวัสดุถูกผสมนี้ได้รับ

ความร้อนที่ 140°C Fe^{3+} จะถูกรีดิวซ์ให้ Fe_2O_3 ที่มีพื้นที่ผิว 2.7 เมตร²/กรัม โดยขนาดของอนุภาคจะขึ้นกับอัตราส่วนของ PAAm ต่อ ไนเตรด ซึ่งถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์สูงจะได้ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ แต่ถ้ามีไนเตรดสูงจะได้ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ที่สามารถนำไปทำแม่เหล็กได้ และที่น่าสนใจมากคือโดยปกติ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ จะเป็นเฟอร์ริแมกเนติก (ferrimagnetic iron sesquioxide) ที่ไม่เสถียรในอากาศถ้าปราศจากการโด๊ป (doping) ด้วยโลหะอื่น แต่การเตรียมโดยวิธีนี้ทำให้ได้ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ที่เสถียร



รูปที่ 4 การเตรียมสารประกอบออกไซด์โดยการรีดิวซ์หมู่ไนเตรดของสารไนเตรดใน IOH-cc

อย่างไรก็ตามการเตรียมผลเย็ดที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยมีพรีเคอร์เซอร์เป็นสารประกอบออกซาลेट และซิเตรต ซึ่งเป็นกระบวนการโซล-เจลจะคล้ายกับ IOH-cc แต่ในแง่ของความเป็นเนื้อเดียวกันพบว่าการใช้พอลิเมอร์แทนของผสมของมอนอเมอร์จะได้สารประกอบออกไซด์ที่บริสุทธิ์มากกว่า

2. การนำสมบัติของ IOH-cc มาประยุกต์ใช้โดยตรง

2.1 ลูกผสมที่ไวต่ออิเล็กตรอน (electroactive hybrids)

IOH-cc ที่ใช้ทางด้านไฟฟ้า ได้แก่ แบตเตอรี่แข็ง (solid state battery) ตัวเก็บประจุ (capacitors) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โครมิก (electrochromic device) เครื่องรับรู้สารเคมี (chemical sensor) หรือ เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cells)

2.1.1 ตัวนำโปรตอน (proton conductors)

ตัวนำโปรตอนเตรียมได้จากพอลิเมอร์ที่เป็นเบส ได้แก่พอลิเอเทอร์ พอลิเอมีน พอลิอัลกอฮอล์ พอลิเอไมด์ ผสมกับกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก จะได้ IOH-cc ของแข็งที่มีสภาพการนำไฟฟ้าจากโปรตอนสูง ณ อุณหภูมิห้อง วัสดุนี้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางหรือหนาได้ง่าย จึงนำไปใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวเก็บประจุ หรือเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-อากาศ ตัวอย่างของตัวนำโปรตอนดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อใช้ PAam โดยไม่มีตัวเติมอนินทรีย์จะมีสภาพการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด ($1.4 \times 10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$) แต่เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) พบว่าการนำไฟฟ้าจะดีขึ้นและเมื่อใช้เป็นพอลิเมอร์ผสม PAam กับ PAA จะมีสภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ $1.3 \times 10^{-2} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$

ตารางที่ 3 สภาพนำโปรตอน (σ) ของอิเล็กโตรไลต์โปรตอนบางอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 75% โดยโมล*

พอลิเมอร์ (% โมล)	ตัวเติม (% โมล)	วิธีการเตรียม	$\sigma(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$
PAam (25)	0	ปฏิกิริยาการเติม	1.4×10^{-3}
PAam (25)	0	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วม	1.7×10^{-2}
PAam (23)	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(2)$	ปฏิกิริยาการเติม	6.4×10^{-3}
PAA (25)	0	ปฏิกิริยาการเติม	2.0×10^{-3}
PAam (24)	PAA(1.5)	ปฏิกิริยาการเติม	1.3×10^{-2}

*[PAam = พอลิอะคริลาไมด์ และ PAA = กรดพอลิอะคริลิก]

2.1.2 อิเล็กโตรไลต์ลิเทียม (lithium electrolytes)

การพัฒนาอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการออกแบบสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพาใหม่ ๆ ซึ่งทำให้มีการพัฒนาแหล่งพลังงานแก่สิ่งประดิษฐ์นั้นตามไปด้วย เช่นการแทนที่แบตเตอรี่ Ni-Cd หรือ Ni-MH ด้วยแบตเตอรี่ไอออนลิเทียมที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกโดยการให้ประจุใหม่ (rechargeable)

แบตเตอรี่ที่ใช้โดยทั่วไปจะมีอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากมีอิเล็กโตรไลต์เป็นของเหลวที่ไม่เสถียร เช่น โพรไพลีนคาร์บอนेट (PC) และอิเล็กโตรไลต์จะสามารถถูกรีดิวซ์ด้วยลิเทียม โดยอาจจะเป็นโลหะลิเทียมหรือลิเทียมที่แทรกอยู่ในแกรไฟต์อีกด้วย การใช้อิเล็กโตรไลต์ที่เป็นของแข็งมีข้อดีคือช่วยลดอัตราการผลิตปฏิกิริยาในกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า และทำให้การใช้งานปลอดภัยมากกว่าอิเล็กโตรไลต์ที่เป็นของเหลว

วัสดุผสมของอิเล็กโทรไลต์ลิเทียมมีสองชนิด คือ

1. แกลีโอพอลิเมอร์ (IOH-cc) ที่เกิดจากพอลิเมอร์ เช่น PEO และอนุพันธ์กับเกลือของลิเทียม เช่น LiClO_4 และ LiPF_6 แต่อิเล็กโทรไลต์ลิเทียมชนิดนี้จะไม่เสถียร เมื่อมีความต่างศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 3.5 โวลต์ เมื่อเปรียบเทียบกับลิเทียม

2. พอลิเมอร์บวม (IOH-sp) ที่มีตัวทำละลายเป็นเกลือของลิเทียม ตารางที่ 4 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของ Li^+ ของวัสดุผสมของ LiPF_6 ที่มีตัวทำละลายเป็นพอลิอะคริโลไนไตรล์ (PAN) ที่ทำให้บวมด้วยเอทิลีนคาร์บอเนต (EC) และโพรไพลีนคาร์บอเนต (PC) พบว่าเมื่อใช้ EC น้อยลง และ PC เพิ่มขึ้น การนำไฟฟ้าจะลดลง

ตารางที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าของ Li^+ ของวัสดุผสมของ LiPF_6 ที่มี PAN เป็นตัวทำละลาย และทำให้บวมด้วย EC และ PC

PAN (%)	EC (%)	PC (%)	LiPF_6 (%)	σ ที่ 20°C ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
26	69.15	0.00	4.85	3.80×10^{-3}
20	58.06	16.69	5.25	3.02×10^{-3}
20	40.13	34.62	5.25	1.88×10^{-3}

อิเล็กโทรไลต์ดังกล่าวจะใช้ประดิษฐ์แบตเตอรี่ไอออนลิเทียมสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แม้ว่าเกลือของลิเทียมจะดูความเข้มข้นมาก แต่เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดเล็กจึงป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ได้รับความชื้นได้ง่าย แต่ถ้าวัดสมิขนาดใหญ่มาก เช่น กระบอกตัดแสงที่สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งจะเรียกว่า กระบอกอัจฉริยะ (smart window) นั้นจะป้องกันความชื้นได้ยาก ดังนั้นการผลิตจึงต้องทำภายใต้สุญญากาศเพื่อให้ใช้งานได้นานขึ้น

ในปี ค.ศ. 1994 Grätzel et al. ได้พัฒนาวัสดุซึ่งมีเกลือที่ไม่ชอบน้ำได้สำเร็จ และจดลิขสิทธิ์ไว้ โดยเกลือที่เตรียมได้คือ trifluoromethane sulfonimide-1-ethyl-2-methyl-imidazonium ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับ lithium triflate การผสมเกลือนี้นับพอลิเมอร์ เช่น PMMA จะได้ฟิล์มที่เสถียรในอากาศที่มีสภาพนำไฟฟ้าของไอออนลิเทียมเป็น $10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ และอิเล็กโทรไลต์นี้ยังนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือแบตเตอรี่ที่โยกสวิตช์ได้ (rocking chair battery) แต่ใช้ได้เฉพาะกับแบตเตอรี่ไอออนลิเทียมที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ (2 โวลต์) เช่น ใช้ Li_xTiO_2 เป็นแอโนด

และ LiMn_2O_4 เป็นแคโทด เป็นต้น

2.2 วัสดุอิเล็กโทรโครมิก (electrochromic materials)

วัสดุอิเล็กโทรโครมิกหมายถึงวัสดุที่สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของสารประกอบเปลี่ยนไปจากเดิม วัสดุที่รู้จักกันดีได้แก่ WO_3 ซึ่งจะไม่สีแต่เมื่อมีไอออน เช่น H^+ หรือ Li^+ เข้าไปแทรกอยู่ในแลตทิซของโครงผลึกจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า โดยทั่วไปสารประกอบออกไซด์นี้จะสามารถเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มใสได้โดยเทคนิคสปัตเตอร์ริง (sputtering) แต่การใช้ IOH-cc จะทำให้การเตรียมวัสดุนี้ง่ายขึ้นโดยวิธีการจุ่มเคลือบ (dip coating) ซึ่งจะทำให้มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า

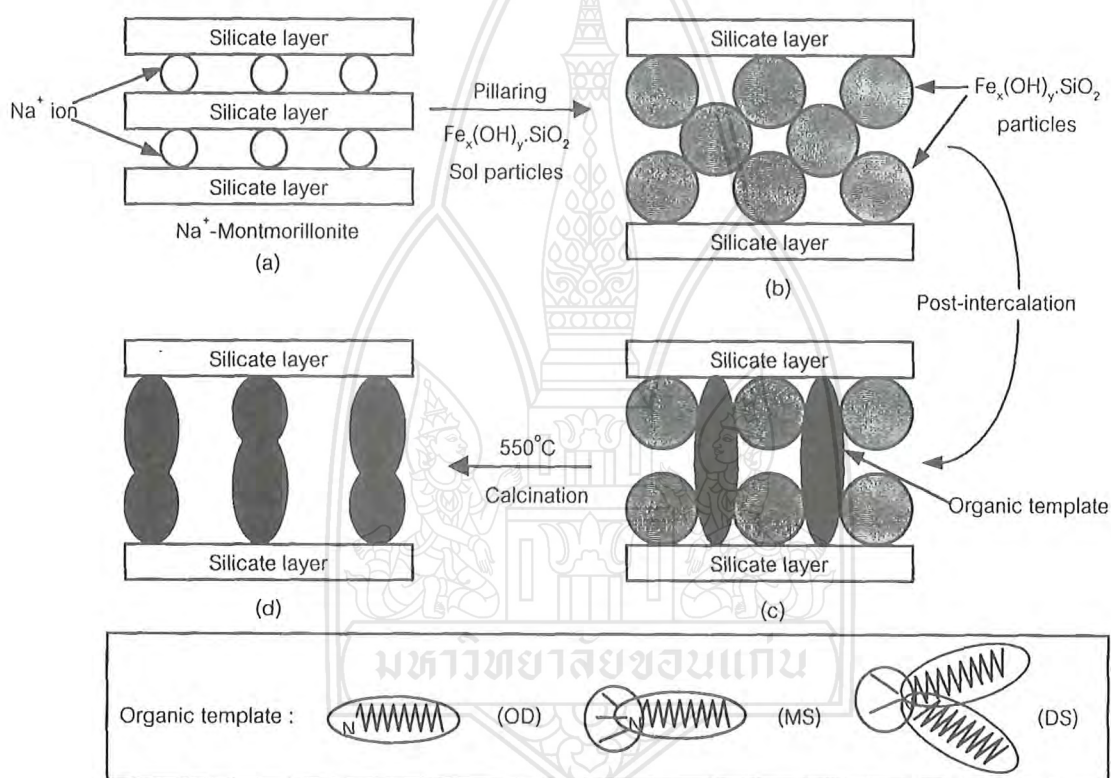
การเตรียมวัสดุอิเล็กโทรโครมิกของ WO_3 เตรียมได้โดยนำกรดพอลิอะคริลิก (PAA) ทำปฏิกิริยากับสารละลายของ WO_3 ในแอมโมเนีย จะได้วัสดุผสม IOH-cc ที่มีไอออนของ W^{6+} จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มโดยการจุ่มแผ่นซับสเตรท เช่น แผ่นแก้ว ลงในสารละลาย IOH-cc ที่เตรียมได้

แล้วแทรกไอออน H^+ โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ เช่น กระจกตัดแสงที่ใช้ในอาคารสำนักงาน เป็นต้น

2.3 เยื่อเครื่องรับรู้ (sensor membranes)

การพัฒนาเครื่องรับรู้สารเคมี (chemical sensors) เพื่อตรวจวัดสารมลพิษที่เป็นแก๊สและของเหลวในสิ่งแวดล้อมหรือในอุตสาหกรรมได้รับความสนใจอย่างมาก เช่น การใช้ซีโอไลต์เพื่อตรวจวัดสาร

มลพิษโดยอาศัยการเลือกเฉพาะของประจุและขนาดของสารมลพิษนั้น โดยทั่วไปวิธีการเตรียมสารที่มีความพรุนมากๆ และมีขนาดของรูพรุนแตกต่างกันจนถึง $20\text{\AA}$ ทำโดยการแทรกอนุภาคโซลของสารประกอบออกไซด์เข้าไปในระหว่างชั้นของสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต และตามด้วยการแทรกตัวแบบสารอินทรีย์ (organic template) ดังแสดงในรูปที่ 5



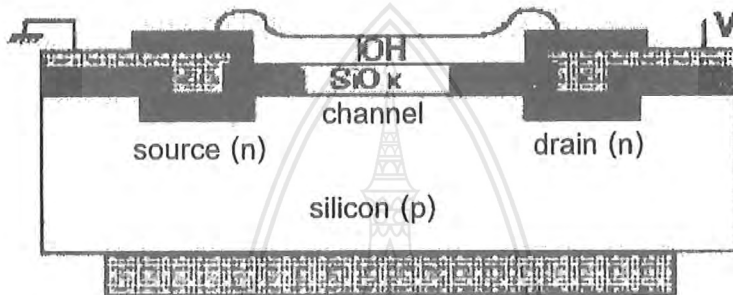
รูปที่ 5 แบบจำลองการเตรียมวัสดุที่มีรูพรุนขนาด 2-50 นาโนเมตร (mesopore)

จากรูป (a) เป็นสารอะลูมิโนซิลิเกตของ Na⁺-Montmorillonite ที่มีลักษณะเป็นชั้น โดยมี Na⁺ แทรกอยู่ระหว่างชั้นของซิลิเกต จากนั้นแทรกอนุภาคโซลของ Fe_x(OH)_ySiO₂ เข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกต ดังรูป (b) จะเรียกว่าการทำเสา (pillaring) แล้วแทรกตัวแบบสารอินทรีย์เข้าไประหว่างอนุภาคโซล ทำให้

อนุภาคโซลจัดตัวเป็นระเบียบดังรูป (c) แล้วให้ความร้อน (calcination) เพื่อขจัดสารอินทรีย์และน้ำออกไปจากโครงสร้างดังรูป (d) จะได้วัสดุที่มีรูพรุนที่มีขนาดเท่ากัน สำหรับขนาดของรูพรุนจะขึ้นกับชนิดและขนาดของตัวแบบสารอินทรีย์ที่ใช้และสารประกอบซิลิเกตที่เป็นชั้น ๆ

สำหรับงานทางเคมีไฟฟ้าในปัจจุบันมีแนวโน้มการแทนที่อิเล็กโทรดเฉพาะดั้งเดิม ได้แก่ อิเล็กโทรดแก้วที่ใช้วัด pH ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอณิกส์ เช่น ISFETs (ion-selective field effect transistor) ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ ที่มีอิเล็กโทรดเป็นสารกึ่งตัวนำที่

เฉพาะเจาะจงต่อไอออน โดยการแทนที่อิเล็กโทรดตัวนำ (gate) ของ ISFET ซึ่งเป็นโลหะออกไซด์ที่อยู่ด้านบนของฉนวนที่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ด้วย IOH-cc ดังนั้นจะสามารถใช้ ISFET ที่มีเยื่อตรวจวัดไอออนที่สนใจวัดแอกติวิตีของไอออนนั้นได้ รูปที่ 6 แสดงแผนผังของ ISFET



รูปที่ 6 แผนผังของ ion-sensitive field effect transistor

ข้อดีของการใช้ IOH-cc ใน ISFET คือ **สรุป**

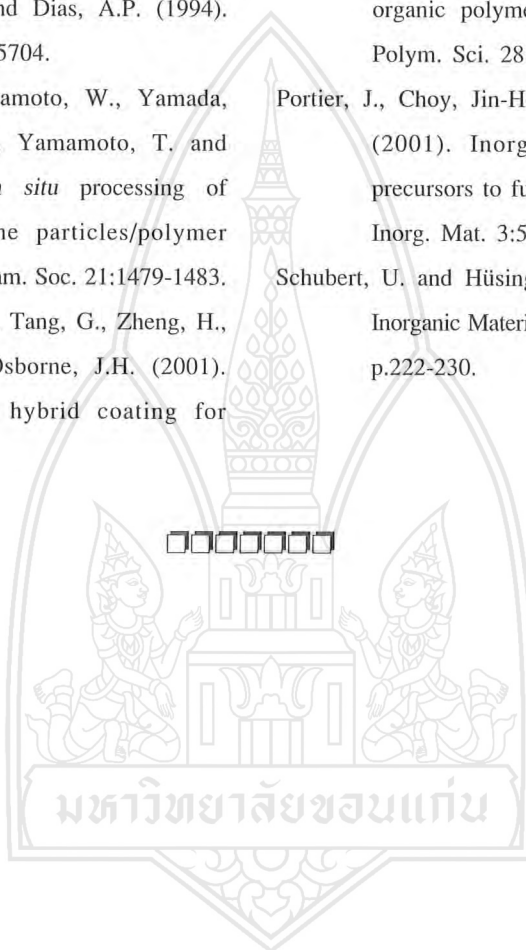
IOH-cc สามารถติดอยู่บนขั้วขั้วได้ดี และสามารถเตรียมให้มีความเฉพาะต่อไอออนต่างๆ ได้ โดยการโคป IOH-cc ด้วยไอออนหรือโมเลกุลที่เหมาะสม นอกจากนี้การเคลือบ FET ด้วยเจลของ IOH-cc สามารถทำได้ง่ายโดยการป้าย IOH-cc ลงบนผิวหน้าของซิลิกาที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรดได้

การประยุกต์ เช่น ใช้พอลิอะคริลาไมด์โคปด้วย Cd เป็นเยื่อรับรู้เพื่อหาปริมาณของ Cd^{2+} ซึ่งจะได้ IOH-cc ในรูปพอลิอะคริลาไมด์- $xCdCl_2$ จากการวิเคราะห์พบว่าผลที่ได้จะเป็นไปตามสมการของเนินส์ที่มีค่าความต่างศักย์เท่ากับ 27 mV/pCd และวิธีนี้จะให้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ต่ำมากประมาณ 1 ppb

ตั้งแต่กลางศตวรรษที่ผ่านมากลุ่มนักเคมีที่ทำงานด้านวัสดุศาสตร์ได้เตรียมสารประกอบชนิดใหม่ ๆ เป็นจำนวนมากโดยเน้นการประยุกต์ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะวัสดุอัจฉริยะ (smart materials) แต่ที่จริงแล้ววัสดุตั้งต้นของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นสารธรรมดา แต่เมื่อนำมารวมกันมันสามารถเกิดอันตรกิริยาแล้วให้วัสดุคุณสมบัติพิเศษเฉพาะได้ เป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่อันหนึ่งในการเตรียมสารประกอบเพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงตามความต้องการต่อไป

บรรณานุกรม

- Ballard, R.L., Williams, J.P., Njus, J.M., Kiland, B.R. and Soucek, M.D. (2001). Inorganic-organic hybrid coatings with mixed metal oxides. *Eur. Polym.* 37:381-384.
- Grätzel, M., Bonhote, P. and Dias, A.P. (1994). French patent 94 15704.
- Hirano, S., Yogo, T., Sakamoto, W., Yamada, S., Nakamura, T., Yamamoto, T. and Ukaï, H. (2001). *In situ* processing of electroceramic fine particles/polymer hybrids. *J. Eur. Ceram. Soc.* 21:1479-1483.
- Joshua Du, Y., Damron, M., Tang, G., Zheng, H., Chu, C.-T. and Osborne, J.H. (2001). Inorganic/organic hybrid coating for aircraft aluminum alloy structures. *Prog. Org. Coating.* 41:226-227.
- Kickelbick, G. (2003). Concepts for the incorporation of inorganic building blocks into organic polymers on a nanoscale. *Prog. Polym. Sci.* 28:83-97.
- Portier, J., Choy, Jin-Ho and Subramanian, M.A. (2001). Inorganic-organic-hybrids as precursors to functional materials. *Inter. J. Inorg. Mat.* 3:581-592.
- Schubert, U. and Hüsing, N. (2000). *Synthesis of Inorganic Materials*. Weinheim: Wiley-VCH. p.222-230.



ทัศนคติของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นที่มีต่อ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุพรรณิ อึ้งปัญสดวงศ์, วิชุดา ไชยสีวามงคล, สุกัญญา เรืองสุวรรณ และยุภาพร ตงประสิทธิ์¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อสำรวจความคิดเห็นของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นเกี่ยวกับบทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นต่อชุมชนและสังคม รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของผลิตผล (บัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา) จากคณะวิทยาศาสตร์ โดยใช้ตัวอย่างขนาด 400 คน และใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows การวิจัยสรุปได้ดังนี้

ลักษณะทั่วไปของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นที่เป็นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเพศชาย 47.5% และเพศหญิง 52.5% ส่วนใหญ่มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี 33.8% โดยที่ในจำนวนนี้เป็นผู้ที่มีความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์มาก 9% คุ้นเคยผิวเผิน 52% และไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์เลย 39% ประชาชนที่ตกเป็นตัวอย่างมีความเห็นว่าคณะวิทยาศาสตร์เป็นแหล่งเผยแพร่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และยังเปิดสอนวิชาที่เหมาะสม โดยผลิตผู้สำเร็จการศึกษาที่สอดคล้องกับความต้องการของประเทศ อีกทั้งผู้ที่สำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์นี้ยังสามารถนำความรู้ไปประกอบอาชีพได้ทันที และเห็นว่าคณะวิทยาศาสตร์เป็นแหล่งติดตามความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ มีผลงานด้านการค้นคว้า/วิจัย ซึ่งเป็นผลงานทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งยังเป็นแหล่งผลิตตำรา/เอกสารวิชาการเพื่อเผยแพร่แก่สังคมและชุมชน เป็นแหล่งเผยแพร่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ให้แก่ชุมชน จัดและส่งเสริมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์สำหรับชุมชน และเป็นแหล่งให้การศึกษารื่องภูมิปัญญาท้องถิ่น รวมทั้งให้คำปรึกษาและบริการวิชาการแก่หน่วยงานต่างๆ ทั้งยังแนะนำและให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับการแก้ปัญหาและพัฒนาประเทศ เป็นที่อบรมนักศึกษาให้เป็นคนดี จัดและส่งเสริมกิจกรรมที่เกี่ยวกับการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม และเป็นแหล่งสืบทอด อนุรักษ์ขนบธรรมเนียมประเพณีในท้องถิ่น อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์เป็นผู้อุทิศตนในการสอนหนังสือ เป็นผู้มีจริยธรรมและคุณธรรม เป็นบุคคลตัวอย่างของสังคม เป็นผู้ชี้นำสังคม เป็นผู้นำในการต่อสู้เพื่อความเป็นธรรมในสังคม เป็นที่พึ่งของสังคมและเป็นผู้อุทิศตนในการพัฒนาประเทศ ในด้านการเรียนการสอนมีวิธีการสอนที่เหมาะสมแล้ว มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนการสอนอย่างเพียงพอ ความรู้ของคณาจารย์มีมากเพียงพอและยังเห็นด้วยว่าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีคุณภาพทัดเทียมกับคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยอื่นๆ บัณฑิตที่เพิ่งสำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์นี้ทำงานได้ มีความสามารถในการวิเคราะห์แก้ปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตัวเอง มีคุณธรรมจริยธรรม สนใจที่จะทำงานเพื่อรับใช้สังคม และมีความสามารถในการพัฒนาตนเองเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ได้รับมอบหมายได้ บัณฑิตจากคณะวิทยาศาสตร์เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถและมีบุคลิกภาพดี อยู่ในระดับดี ส่วนความเป็นคนมีมนุษยสัมพันธ์ มีระเบียบวินัยและมีความซื่อสัตย์อยู่ในระดับปานกลาง

¹ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Abstract

The objective of this research was to survey the opinions of the people in Khon Kaen province about the roles of Khon Kaen University's Faculty of Science in the community and society. The locals were also asked to give their opinions about the quality and characteristics of science graduates. Data were collected from 400 respondents through questionnaires and analyzed by SPSS for Window Program.

It was found that 47.5 and 52.5% of the respondents were males and females. Most of them (33.8%) obtained a bachelor's degree. Nine, 52 and 39% of the subjects surveyed were very familiar, somewhat familiar and not familiar with the Faculty of Science, respectively. They agreed to the following statements. The faculty is a source of scientific knowledge, offers suitable courses, and produces graduates whose quality meets the country's requirements. The science graduates can readily apply their knowledge in occupations. The faculty has a number of achievements in science and technology that are beneficial to the development of Northeast Thailand. In addition, it produces academic documents for distribution in the community and society, publicizes scientific knowledge, and supports academic activities in the community. The faculty plays a role in local science education. It provides advice and academic services to various institutions. Its suggestions can be used as a guideline for developing the country. It is a place where students are trained to be good citizens. The faculty supports and organizes activities that contribute to the preservation of local art, culture and tradition. The faculty members devote themselves to teaching. They have ethics and virtues, are role models in the society, guide the society, and are leaders in fighting against social injustice. Besides being people on whom the society can rely, they are devotees of country development. The faculty members have appropriate teaching methods, adequate equipment and tools, and sufficient knowledge. The Faculty of Science at Khon Kaen University is as good as the faculty of science at other universities. Its graduates work efficiently. They can find solutions by themselves, have ethics and virtues, are interested in serving the society, and can increase their skills to cope with job assignments. Furthermore, they are well-educated individuals with good personalities. However, the science graduates have moderate human relations, discipline and honesty.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ความสำคัญและความเป็นมา

เนื่องจากคณะวิทยาศาสตร์ก่อตั้งพร้อมกับการก่อตั้งมหาวิทยาลัยขอนแก่นและได้ผลิตบัณฑิตมาหลายรุ่นซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยที่จังหวัดขอนแก่นเองก็เป็นสถานที่ตั้งของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังนั้น จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจว่าประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นเองนั้น มีความคิดเห็นหรือทัศนคติเกี่ยวกับบัณฑิตและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นอย่างไร เพื่อจะได้้นำผลการวิจัยดังกล่าวนี้ไปทำการปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ

ในแผนการดำเนินงานระยะที่ 9 ที่จะนำไปใช้ในปี 2545-2549 ของคณะวิทยาศาสตร์ เพื่อให้สอดคล้องกับความคิดเห็นและความต้องการของสังคมและชุมชน อันเป็นที่ตั้งของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสำรวจความคิดเห็นของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นในส่วนที่เกี่ยวกับ

1. บทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ต่อชุมชน และสังคมในทัศนของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่น

2. คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จการศึกษา) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในทัศนของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่น

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อสำรวจความคิดเห็นของประชากรเฉพาะในเขตจังหวัดขอนแก่น โดยคณะผู้วิจัยได้มองว่ากลุ่มประชากรในเขตนี้ น่าจะประกอบด้วยบุคคลที่ประกอบอาชีพต่างๆ ใน 5 กลุ่มอาชีพ ดังนี้

1. กลุ่มประชาชนที่เป็นข้าราชการ
2. กลุ่มประชาชนที่ประกอบธุรกิจส่วนตัวหรือเอกชน
3. กลุ่มประชาชนที่เป็นพนักงานรัฐวิสาหกิจ
4. กลุ่มประชาชนที่เป็นเกษตรกร
5. กลุ่มประชาชนที่เป็นนักเรียนนักศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัยและแหล่งข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจซึ่งทำการสำรวจเกี่ยวกับความคิดเห็นของประชาชนที่มีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในแง่ของบทบาทและผลิตภัณฑ์ (ซึ่งหมายถึงบัณฑิตที่จบการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์) ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตจังหวัดขอนแก่น

ตัวอย่าง จากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและเวลาซึ่งมีจำกัด ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดโดยอาศัยการพิจารณาจากงบประมาณในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นหลัก โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดขนาดตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 400 หน่วย ได้ทำการสุ่มเลือกประชากรในกลุ่มอาชีพที่กล่าวไว้ข้างต้น

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์เฉพาะในส่วนที่สำคัญเพื่อสรุปประเด็นเกี่ยวกับทัศนคติต่าง ๆ ของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นที่มีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังนี้

2.1 วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ โดยใช้

สถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistics)

2.2 วิเคราะห์ความคิดเห็นเกี่ยวกับบทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ในประเด็นต่าง ๆ

การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดจนการประมวลผลข้อมูล ของการวิจัยในโครงการนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows

สรุปผลการวิจัย

1. ข้อมูลทั่วไป

ในการวิจัยครั้งนี้มีหน่วยตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 400 คน ซึ่งจำแนกตามเพศได้เป็นเพศชายมีจำนวน 190 คน และเป็นเพศหญิงจำนวน 210 คน และในจำนวนนี้ พบว่าส่วนใหญ่จะเป็นผู้ที่มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีซึ่งมีจำนวน 135 คน (33.8%) ในครอบครัวมีผู้เคย/กำลังเรียนอยู่ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 13 คน (3.3%) และเป็นผู้ที่มีความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในระดับคุ้นเคยมากจำนวน 36 คน (9%) ในระดับผิวเผินจำนวน 208 (52%) และในระดับไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อจำนวน 156 คน (39%)

สามารถจำแนกตามกลุ่มอาชีพได้ดังนี้ กลุ่มที่เป็นข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ มีจำนวน 160 คน (40%) กลุ่มที่ประกอบธุรกิจส่วนตัวหรือเอกชนมีจำนวน 94 คน (23.5%) กลุ่มที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม/ประมงมีจำนวน 66 คน (16.5%) กลุ่มที่เป็นนักเรียน นักศึกษามีจำนวน 80 คน (20%)

ตัวอย่างที่เป็นเพศชายมีอาชีพเป็นข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจมากที่สุด รองลงมาคืออาชีพประกอบธุรกิจ

ส่วนตัวและอาชีพเกษตรกรรม ส่วนตัวอย่างเพศหญิงมีอาชีพเป็นนักเรียน/นักศึกษามากที่สุด รองลงมาคืออาชีพเป็นข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจและอาชีพเกษตรกรรม สำหรับระดับการศึกษา ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียน/นักศึกษานั้นส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษา ส่วนในกลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพเป็นครู/อาจารย์นั้นระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี ในกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบอาชีพธุรกิจส่วนตัว/เอกชนนั้นระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพเป็นข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจนั้นระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพรับจ้างนั้นระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษา ส่วนในกลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพเกษตรกรรมนั้นระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับประถมศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพเป็นครู/อาจารย์นั้นส่วนใหญ่มีคณในครอบครัวที่เรียนในมหาวิทยาลัย โดยเรียนในสถาบันอื่นที่ไม่ใช่มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับกลุ่มอาชีพอื่น ๆ ส่วนใหญ่ไม่มีคณในครอบครัวที่กำลังเรียนหรือเคยเรียนในมหาวิทยาลัย

ส่วนในเรื่องของความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนั้นในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ครู/อาจารย์ และกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบอาชีพธุรกิจส่วนตัว/เอกชนรวมทั้งที่เป็นข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจนั้น ส่วนใหญ่คุ้นเคยในระดับผิวเผิน แต่ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพรับจ้างและอาชีพเกษตรกรรมนั้น ส่วนใหญ่ไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับเลย

สำหรับอายุโดยเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มอาชีพนั้น กลุ่มนักเรียน/นักศึกษาอายุเฉลี่ยเท่ากับ 18.6 ปี กลุ่มครู/อาจารย์ อายุเฉลี่ยเท่ากับ 47.5 ปี กลุ่มประกอบธุรกิจส่วนตัว อายุเฉลี่ยเท่ากับ 34.5 ปี กลุ่มข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ อายุเฉลี่ยเท่ากับ 38.5 ปี กลุ่มอาชีพรับจ้างอายุเฉลี่ยเท่ากับ 32.7 ปี และกลุ่มเกษตรกรรม/ประมง อายุเฉลี่ยเท่ากับ 43.4 ปี

2. ในด้านบทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ต่อชุมชนและสังคมในทัศนะของ ประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่น

ในจำนวนหน่วยตัวอย่างทั้งหมด 400 คนที่ถูกเลือกมาเพื่อสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นหรือทัศนคติของตนเองที่มีต่อบทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ในประเด็นต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์โดยจำแนกตามระดับความคุ้นเคยที่หน่วยตัวอย่างมีต่อคณะวิทยาศาสตร์ โดยที่กลุ่มผู้ที่มีความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์อย่างมกมีจำนวน 36 คน กลุ่มผู้ที่รู้จักคณะวิทยาศาสตร์แบบผิวเผินมีจำนวน 208 คน และกลุ่มผู้ที่ไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์เลยมีจำนวน 156 คน ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ในทั้ง 3 กลุ่มที่จำแนกตามความคุ้นเคยที่มีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนั้น มีความคิดเห็นที่เหมือนกันดังนี้ ในประเด็นเกี่ยวกับการเรียนการสอนของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยถึง 66.7% ว่า คณะวิทยาศาสตร์เป็นแหล่งเผยแพร่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และยังเปิดสอนวิชาที่เหมาะสมโดยผลิตผู้สำเร็จการศึกษาที่สอดคล้องกับความต้องการของประเทศอีกด้วยผู้สำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ยังสามารถนำความรู้ไปประกอบอาชีพได้ทันที

ทางด้านการค้นคว้าและพัฒนา กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยถึง 67.1% ว่าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นแหล่งติดตามความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ และมีผลงานด้านการค้นคว้า/วิจัยให้ได้ผลงานทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งยังเป็นแหล่งผลิตตำรา/เอกสารวิชาการเพื่อเผยแพร่แก่สังคมและชุมชน

ในด้านการให้บริการแก่ชุมชนและสังคมกลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยถึง 68% ว่าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นแหล่งเผยแพร่ความรู้ทาง

วิทยาศาสตร์ให้แก่มุมชน จัดและส่งเสริมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์สำหรับชุมชน และเป็นแหล่งให้การศึกษารื่องภูมิปัญญาท้องถิ่น รวมทั้งให้คำปรึกษาและบริการวิชาการแก่หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งยังแนะนำและให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับการแก้ปัญหาและพัฒนาประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่สร้างความเป็นธรรมในสังคมอีกด้วย

ในด้านการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยถึง 67% ว่าคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นที่อบรมนักศึกษาให้เป็นคนดี จัด/ส่งเสริมกิจกรรมที่เกี่ยวกับการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมและเป็นแหล่งสืบทอด/อนุรักษ์ขนบธรรมเนียมประเพณีในท้องถิ่น

สำหรับทัศนคติในเรื่องของความคิดเห็นต่ออาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยถึง 70.7% ว่าอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์เป็นผู้ทิศตนในการสอนหนังสือ เป็นผู้มีจริยธรรมและคุณธรรม เป็นบุคคลตัวอย่างของสังคม เป็นผู้ชี้นำสังคม เป็นผู้นำในการต่อสู้เพื่อความเป็นธรรมในสังคม เป็นที่พึ่งของสังคมและเป็นผู้ทิศตนในการพัฒนาประเทศ

ส่วนในการประเมินทัศนคติเกี่ยวกับการเรียนการสอนในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในทั้ง 3 กลุ่มที่จำแนกตามความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ เมื่อพิจารณาในส่วนของตัวอย่างที่แสดงความคิดเห็นนั้น พบว่า 80.6% เห็นว่าการเรียนการสอนในคณะวิทยาศาสตร์นี้มีวิธีการสอนที่เหมาะสมแล้ว มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนการสอนอย่างเพียงพอ ความรู้ของคณาจารย์มีมากเพียงพอและยังเห็นด้วยว่าคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีคุณภาพทัดเทียมกับคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยอื่น ๆ โดยในกลุ่มที่คุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์อย่างผิวเผินนั้น ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีผู้ออกความคิดเห็นและผู้ออกความคิดเห็นใกล้เคียงกัน และกลุ่มที่ไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์นั้น มีจำนวนของผู้ที่ไม่แสดงความคิดเห็นมากกว่าจำนวนผู้ที่แสดงความคิดเห็น โดยคิดเป็น

จำนวนสูงถึงร้อยละ 68% ของจำนวนประชาชนที่ถูกเลือกเป็นตัวอย่างในกลุ่มนี้

3. ในด้านคุณภาพและลักษณะของผลิตผล (บัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในทัศนะของประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่น

ในจำนวนหน่วยตัวอย่างทั้งหมด 400 คนที่ถูกเลือกมาเพื่อสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นหรือทัศนคติของตนเองในด้านคุณภาพและลักษณะของผลิตผล (บัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ผลการวิเคราะห์โดยจำแนกตามระดับความคุ้นเคยที่หน่วยตัวอย่างมีต่อคณะวิทยาศาสตร์ โดยที่กลุ่มผู้ที่มีความคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์อย่างมากมีจำนวน 36 คน กลุ่มผู้ที่รู้จักคณะวิทยาศาสตร์แบบผิวเผินมีจำนวน 208 คน และกลุ่มที่ไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์เลยมีจำนวน 156 คน ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ในทั้ง 3 กลุ่มที่จำแนกตามความคุ้นเคยที่มีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนั้น มีความคิดเห็นที่เหมือนกันดังนี้ ในด้านคุณภาพของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 77.5% มีความคิดเห็นที่ไม่เห็นด้วยว่าบัณฑิตที่เพิ่งสำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์นี้ไม่สามารถทำงานได้ ไม่มีความสามารถในการวิเคราะห์แก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเอง ไม่มีคุณธรรมจริยธรรม ไม่สนใจที่จะทำงานเพื่อรับใช้สังคม และ 79.3% เห็นด้วยว่าบัณฑิตที่จบการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนี้ มีความสามารถในการพัฒนาตนเองเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ได้รับมอบหมายได้

ในด้านลักษณะของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เห็นว่าบัณฑิตจากคณะวิทยาศาสตร์เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถและมีบุคลิกภาพดี อยู่ในระดับดี ส่วนความเป็นคนมีมนุษยสัมพันธ์ มีระเบียบวินัยและมีความซื่อสัตย์ อยู่ในระดับปานกลาง แต่ในกลุ่มที่คุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ผิวเผินและกลุ่มที่ไม่รู้จัก/

ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์นั้นมีความคิดเห็นว่าเป็นจิตจากคณะวิทยาศาสตร์เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถ มีมนุษยสัมพันธ์ มีระเบียบวินัย มีความซื่อสัตย์และมีบุคลิกภาพดี ในระดับดี

4. ความคิดเห็นในด้านอื่น ๆ สำหรับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น

ในประเด็นซึ่งเกี่ยวกับเรื่องหน้าที่ของอาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับกลุ่มผู้ที่คุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์มากและกลุ่มผู้ที่คุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ผิวเผิน ส่วนใหญ่เห็นว่าอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์มีหน้าที่ในการสอนหนังสือและทำงานค้นคว้าวิจัย รองลงมาคืออาจารย์มีหน้าที่สอนหนังสือ ทำงานค้นคว้าวิจัยและให้คำปรึกษา ส่วนในกลุ่มผู้ที่ไม่รู้จัก / ไม่เคยติดต่อกับคณะวิทยาศาสตร์ก็มีความคิดเห็นคล้าย ๆ กับสองกลุ่มแรกแต่ส่วนใหญ่มีความคิดเห็นเห็นว่า อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์มีหน้าที่ในการสอนหนังสือและทำงานค้นคว้าวิจัยสูงเป็นอันดับแรก รองลงมาคือเห็นว่าอาจารย์มีหน้าที่สอนหนังสืออย่างเดียวและสุดท้ายคือเห็นว่า อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์มีหน้าที่สอนหนังสือ ทำงานค้นคว้าวิจัยและให้คำปรึกษา

ส่วนในด้านแนวคิดในการศึกษาระดับอุดมศึกษาโดยทั่ว ๆ ไปนั้น ทั้งในกลุ่มผู้ที่คุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์มาก กลุ่มผิวเผินและไม่รู้จัก/ไม่เคยติดต่อกับด้วย ต่างก็เห็นว่า การศึกษาในระดับอุดมศึกษาเป็นการลงทุนในทรัพยากรมนุษย์ที่รัฐควรสนับสนุน

5. บทบาทของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในด้านต่าง ๆ ที่ประชาชนจังหวัดขอนแก่นอยากให้เป็น

จากผลการวิเคราะห์สำหรับข้อเสนอแนะอื่น ๆ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับด้านต่าง ๆ ที่ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็น มีดังนี้

5.1 ด้านอาจารย์

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถ ถ่ายทอดวิชาความรู้ อย่างแท้จริง ทำงานมากพอ และควรประเมินผลการสอนของตนเองบ้างเพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลิตผล (บัณฑิต) เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเปล่า มีจริยธรรม และคุณภาพ ตั้งใจสอนเต็มที่ เป็นผู้นำทางด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศ เป็นคนดี มีคุณภาพและคุณธรรม อาจารย์ควรให้ความร่วมมือและเป็นส่วนหนึ่งของสังคม อยากให้อุทิศตนเพื่อประเทศชาติ สอนและทำวิจัยอย่างเต็มที่/รับใช้สังคม มีบทบาทต่อปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในท้องถิ่น เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อม มีความเสียสละ มีมนุษยสัมพันธ์ เป็นตัวอย่างด้านการเป็นคนดี ทำประโยชน์ให้กับสังคม อยากให้อาจารย์สอดแทรกคุณธรรม จริยธรรมแก่นักศึกษาให้มากกว่านี้

5.2 ด้านการบริหารงาน

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น บริหารงานไปด้วยกัน ไม่มีความแตกแยกกัน ซื่อสัตย์ ตรงไปตรงมา โปร่งใส ควรจัดสภาพคล่องในการบริหารงานในทุก ๆ ด้าน ไม่เห็นแก่พรรคพวก

5.3 ด้านการเรียนการสอน

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นดำเนินการด้านการเรียนการสอนทั้งในและนอกรั้วมหาวิทยาลัย เน้นการปฏิบัติแก้ปัญหาได้มากกว่าทฤษฎี ขยายกว้างช่วยเหลือชุมชน ควรสอนให้นักศึกษามีความเป็นคนในสังคมไม่ใช่ทำตนเป็นผู้เห็นแก่ประโยชน์ตนเองเป็นใหญ่ ควรเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมมากที่สุด ทันสมัย ทันโลก ทันเหตุการณ์ เน้นการนำไปใช้เป็นสำคัญ อยากให้เปิดสาขาวิชาต่าง ๆ ให้มากขึ้น เรียนโดยขอให้จัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับปัญหาท้องถิ่นเข้าไปด้วย

5.4 ด้านงบประมาณ

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้งบประมาณให้คุ้มค่ามากที่สุด ควรลงทุนในด้านอุปกรณ์และสื่อการสอนมากกว่าตึกอาคาร ควรจัดสรร

งบประมาณให้เพียงพอแก่ความต้องการในแต่ละภาค วิชาฯ หรือแต่ละหน่วยงาน

5.5 ด้านคุณภาพบัณฑิต

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นสามารถผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพดี มีคุณธรรม มีจริยธรรม ต้องมีความรู้ความสามารถอย่างแท้จริง ควรส่งเสริมให้บัณฑิตมีผลงานของตนเอง มีประสิทธิภาพ มีความรับผิดชอบ อ่อนน้อมถ่อมตน

5.6 ด้านการวิจัยสู่ชุมชน

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีผลงานวิจัยออกสู่ชุมชนมากกว่านี้ นำการวิจัยออกเผยแพร่ และใช้จริง ควรมีผลงานวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชนอย่างมีรูปธรรมผลิตผลงานการวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อท้องถิ่น ผลงานที่ออกสู่ชุมชน ต้องนำไปประยุกต์ใช้ได้และเป็นที่ยอมรับของสถาบันอื่นทั้งในประเทศและต่างประเทศ ควรนำเรื่องของชุมชนมาทำการวิจัยและนำผลที่ได้สู่ชุมชน พัฒนาหรือส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่น

5.7 ด้านบริการวิชาการ

ในด้านนี้พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นจัดดำเนินการบริการวิชาการให้แก่ชุมชนมากกว่านี้ บริการแก่ครู-อาจารย์ในระดับมัธยมศึกษา ประถมศึกษา โดยการจัดอบรมหรือจัดการสัมมนาบ่อยๆ ส่งเอกสารออกเผยแพร่ ควรเป็นแหล่งข้อมูลทางวิชาการแก่ชุมชน สังคม และท้องถิ่น ให้บริการแก่ชุมชนทุกระดับ การจัดอบรม สอนพิเศษ ด้านความรู้ทางวิทยาศาสตร์แก่เยาวชน ทำเอกสารวิชาการทางวิทยาศาสตร์ออกเผยแพร่อย่างสม่ำเสมอ

5.8 ด้านอื่นๆ

ประชาชนส่วนใหญ่ต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นคณะที่รัฐบาลควรให้การสนับสนุนเป็นอย่างยิ่ง ต้องผลิตนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้ความสามารถ เป็นพี่เลี้ยงแก่โรงเรียนต่างๆ ควรมีเครื่องมือประกอบการเรียนการสอนที่ทันสมัยเท่าเทียมกับมหาวิทยาลัยในกรุงเทพฯ ควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนรับทราบ

กิจกรรมต่าง ๆ ทางวิทยุ ออกเผยแพร่เพื่อประชาชนจะได้รู้เรื่องและสนใจศึกษาต่อที่คณะวิทยาศาสตร์ เทียบกับมหาวิทยาลัยขอนแก่นมากขึ้น ต้องการให้ส่งเสริมเรื่องทุนการศึกษาต่อต่างประเทศให้กับนักศึกษาที่เรียนดีมากกวานี้ ต้องการให้รับใช้สังคมภายนอกให้มากขึ้น เปิดโลกทัศน์ให้กว้างไกล พัฒนาถิ่นไทยรอบอีสาน ด้านการประยุกต์ทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่ินหาบุคคลเข้าสู่สังคมวิทยาศาสตร์ให้มากขึ้นจริง ๆ เปิดโอกาสการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์แก่ลูกหลานคนจน

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยพบว่า สภาพต่าง ๆ ที่ได้ประเมินโดยอาศัยทัศนคติของประชาชน ผู้ถูกเลือกเป็นตัวอย่างสำหรับเรื่องที่ศึกษานี้ในภาพรวม ประชาชนส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ดีต่อคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แต่เป็นที่น่าสังเกตคือ ในตัวอย่างที่สุ่มเลือกมานี้ทั้งหมดมี 400 คน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ในกลุ่มที่มีความคุ้นเคยหรือรู้จักกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนั้น มีจำนวนเพียง 36 คน ซึ่งนับเป็นจำนวนที่น้อยมาก และจากข้อเสนอแนะที่ตัวอย่างได้เสนอว่า คณะวิทยาศาสตร์ควรมีการประชาสัมพันธ์แนะนำตัวเอง และนำเสนอผลงานการดำเนินงานต่าง ๆ แก่ประชาชนให้มากกว่านี้ จึงสามารถสรุปได้ว่าประชาชนในเขตจังหวัดขอนแก่นนั้นต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์เปิดตัวเองกับประชาชนให้มากกว่านี้ ทั้งในด้านการประชาสัมพันธ์และในด้านการนำเสนอผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมและสังคม ซึ่งจะสามารถเป็นแนวทางให้ประชาชนได้รู้จักและเข้าใจถึงสถานภาพของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้มากขึ้น อันจะส่งผลให้ประชาชนรู้จักและคุ้นเคยกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้มากขึ้น ซึ่งหากจะทำการประเมินทัศนคติของประชาชนต่อคณะวิทยาศาสตร์อีกในอนาคต ก็น่าจะได้ทัศนคติที่ตรงกับความเป็นจริงและชัดเจนยิ่งขึ้นกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย อาทิ คณาจารย์ในภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นประชาชนที่ถูกเลือกเป็นหน่วยตัวอย่างทุกท่านที่กรุณาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามในการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคณะกรรมการกองทุนของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้พิจารณาจัดสรรงบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- คณะวิทยาศาสตร์. (2537). สามสิบปีคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น : ขอนแก่นการพิมพ์.
- จรัญ จันทลักษณ์ และ อนันตชัย เชื้อนธรรม. (2540). สถิติเบื้องต้นแบบประยุกต์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- วัลยา แสงห้าว. (2544). ระเบียบและหลักสูตรคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2544. ขอนแก่น: หจก.ขอนแก่นการพิมพ์.
- อุทุมพร ทองอุไทย, ทองอินทร์ วงศ์โสธร และชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2521). ความคิดเห็นของประชาชนต่อมหาวิทยาลัยเปิด. รายงานผลการวิจัย คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



อิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กตริก ของวัสดุเซรามิกในระบบ PMN-PZT ที่ไม่ผ่านการทำซ้ำ

สุพัตรา วงศ์แสนใหม่¹, สุพล อนันตา¹ และรัตติกกร ยิมนิรัญ¹

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้กล่าวถึงอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกในระบบ PMN-PZT ที่มีสูตรเป็น $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-(x)\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ เมื่อ $x = 0.0, 0.3, 0.5, 0.7$ และ 1.0 ซึ่งเตรียมได้จากวิธีการผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม โดยได้ทำการตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดเฟสด้วยเทคนิค XRD และศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รวมทั้งตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าการหดตัวหลังการเผา (firing shrinkage) และความหนาแน่น (density) และได้ศึกษาอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกที่ไม่ผ่านการทำซ้ำแล้ว โดยแบ่งเป็นความเค้นต่ำและความเค้นสูง พบว่าในช่วงความเค้นต่ำ (0-1200 kPa) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (dielectric loss tangent) กับความเค้น ในช่วงความเค้นสูงขึ้น (0-5 MPa) จะเห็นว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นในช่วงความเค้น 0-1 MPa แล้วคงที่เมื่อความเค้นเพิ่มขึ้นต่อไป ในขณะที่ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเค้นในช่วงความเค้น 0-1 MPa แล้วเริ่มลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้น และนอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความเค้นของวัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ผ่านการทำซ้ำไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักของเซรามิก

Abstract

In this study, effects of uniaxial stress on the dielectric properties of ceramics in PMN-PZT system were investigated. The ceramics with a formula $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-(x)\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ or $(1-x)\text{PMN}-(x)\text{PZT}$ when $x=0.0, 0.3, 0.5, 0.7$ and 1.0 were prepared by a conventional mixed-oxide method. Phase formation behavior and microstructural features of these ceramics were studied by an X-rays diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). In addition, other physical properties, e.g. firing shrinkage and density were measured. The dielectric properties under the uniaxial stress of the unpoled PMN-PZT ceramics were observed at low and high-stress levels using a uniaxial compressometer. It was found that at low stress level (0-1200 kPa), there was no significant change in the dielectric constant and the dielectric loss tangent with the applied stress. As the stress level was raised to a higher level (0-5 MPa), the dielectric constant increased with increasing stress (from 0 to 1 MPa) and became constant when the applied stress was further increased. On the other hand, the dielectric loss tangent first rose and then dropped with increasing applied stress. Moreover, the changes of the dielectric constant of these unpoled PMN-PZT ceramics were independent of the ceramic compositions.

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

บทนำ

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานวัสดุเซรามิกเพียโซอิเล็กทริกอย่างมาก โดยเฉพาะวัสดุเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ หรือ PMN) และวัสดุเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต ($\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ หรือ PZT) ในการสร้างตัวขับเคลื่อน (actuator) และตัวแปลง (transducer) โดยที่วัสดุเซรามิก PMN และ PZT ต่างมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน วัสดุเซรามิก PMN มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง มีการสูญเสียพลังงานต่ำ (Zhao et al., 1999) แต่มีข้อเสียคือ มีอุณหภูมิคูรี (Curie temperature, T_c) ต่ำ (Ouchi, 1968) ในขณะที่วัสดุเซรามิก PZT มีค่าสัมประสิทธิ์ไฟฟ้าเชิงกลคู่ควบ (electromechanical coupling coefficient) สูงกว่าวัสดุเซรามิก PMN (Abe et al., 2000) แต่มีการสูญเสียพลังงานค่อนข้างสูง (มีสมบัติฮิสเทอรีซิส) จากข้อดีและข้อเสียของวัสดุเซรามิกทั้งสองประเภท จึงเป็นที่น่าสนใจว่าระบบรวมของสารทั้งสอง (PMN-PZT) จะสามารถรวมข้อดีและลดข้อเสียของสารในระบบเพื่อให้ได้สารเซรามิกที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้งานจริงโดยเฉพาะในตัวขับเคลื่อนและตัวแปลงนั้น วัสดุเซรามิกถูกนำไปใช้ภายใต้สภาวะความเค้น นั้น ๆ แต่โดยทั่วไปแล้วสมบัติต่าง ๆ มักถูกวัดในสภาวะที่ไม่มีมีความเค้นซึ่งไม่ตรงกับสภาพการใช้งานจริง จึงทำให้การคำนวณและออกแบบอุปกรณ์ผิดพลาดได้ ดังนั้นสมบัติของวัสดุภายใต้สภาวะความเค้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบอุปกรณ์และเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้น ๆ ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้ให้ความสนใจถึงอิทธิพลของความเค้นต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเซรามิกในระบบอื่น ๆ เช่น PZT และ PMN-PT (Zhao and Zhang, 1996) เป็นต้น แต่งานวิจัยเกี่ยวกับ PMN-PZT ยังไม่เป็นที่ปรากฏ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาถึงอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุเซรามิกในระบบ PMN-PZT ที่ยังไม่ผ่านการ

ทำซ้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่อไป

วิธีดำเนินงาน

การเตรียมวัสดุเซรามิก PMN-PZT เริ่มจากการเตรียมผงด้วยวิธีผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม (conventional mixed-oxide method) โดยที่ผง PZT มีสารตั้งต้นคือ เลดออกไซด์ (PbO) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) ด้วยอัตราส่วนของ $\text{Zr}:\text{Ti}$ เป็น 0.52:0.48 โดยเผาแคลไซน์ (calcination) ที่อุณหภูมิ 850°C . นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ $5^\circ\text{C}/\text{นาที}$ ส่วนผง PMN เตรียมด้วยวิธีโคลัมไบต์ (columbite method) (Tandon, 1991) ซึ่งเป็นวิธีการเตรียมแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมผงแมกนีเซียมไนโอเบต (MgNb_2O_6) โดยใช้สารตั้งต้น MgO และ Nb_2O_5 เคาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $1,100^\circ\text{C}$. นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ $5^\circ\text{C}/\text{นาที}$ จากนั้นนำผงแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมได้รวมกับเลดออกไซด์แล้วเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C . นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ $5^\circ\text{C}/\text{นาที}$ เช่นกัน ได้ผง PMN จากนั้นนำผง PMN และผง PZT มาผสมกันด้วยอัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ กัน จะได้ผง PMN-PZT แล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิก (Riken Seiki Co., Ltd. 137609) เพื่อให้ได้สารตัวอย่างเป็นรูปแผ่นกลม (disk) แล้วจึงนำไปเผาซินเตอร์ (sintering) ที่อุณหภูมิซินเตอร์ (sintering temperature) นาน 2 ชั่วโมงด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ $5^\circ\text{C}/\text{นาที}$ อุณหภูมิซินเตอร์แตกต่างกันไปแล้วแต่นชนิดของวัสดุคือ วัสดุ PZT ใช้อุณหภูมิ $1,250^\circ\text{C}$. วัสดุ PMN ใช้อุณหภูมิ $1,150^\circ\text{C}$. และวัสดุ PMN-PZT ใช้อุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$. ซึ่งวัสดุเซรามิกที่เตรียมได้ถูกตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดเฟสด้วยเทคนิค XRD และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นนำวัสดุเซรามิกที่ได้มาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

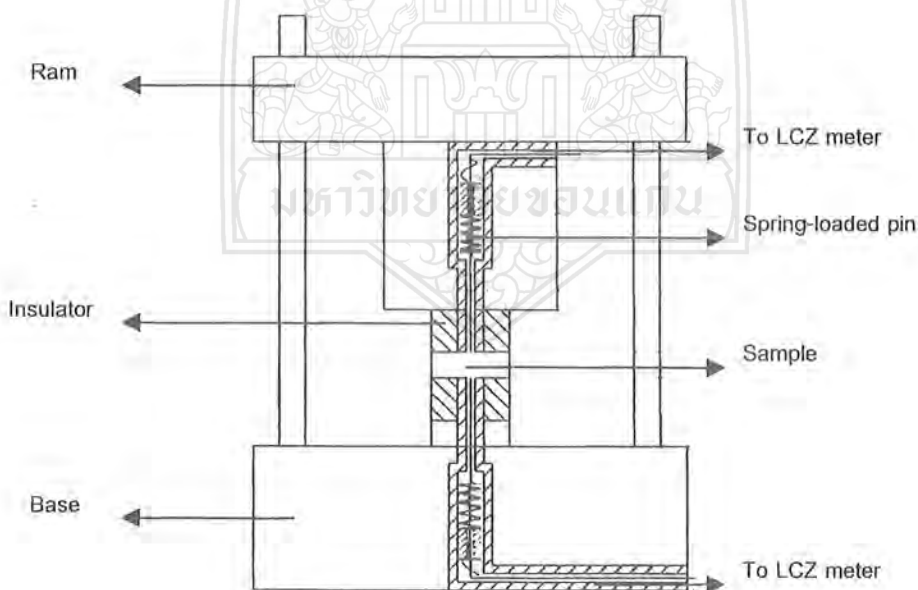
โดยคำนวณค่าร้อยละการหดตัวหลังการเผา (firing shrinkage) และค่าความหนาแน่น (density)

ในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของความถี่แบบแกนเดี่ยวต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกในระบบ PMN-PZT ได้ออกแบบและสร้างเครื่องมืออัดแรงแกนแบบแกนเดี่ยว (uniaxial compressometer) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกที่เตรียมได้จะถูกวัดจากหัววัด (spring-loaded pin) ซึ่งถูกต่อกับมิเตอร์แบบ LCZ (LCZ-meter, Hewlett Packard 4276A) ซึ่งสามารถวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ (capacitance) และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (dielectric loss tangent) ได้แล้วนำค่าความจุของตัวเก็บประจุนำมาคำนวณหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ดังสมการ

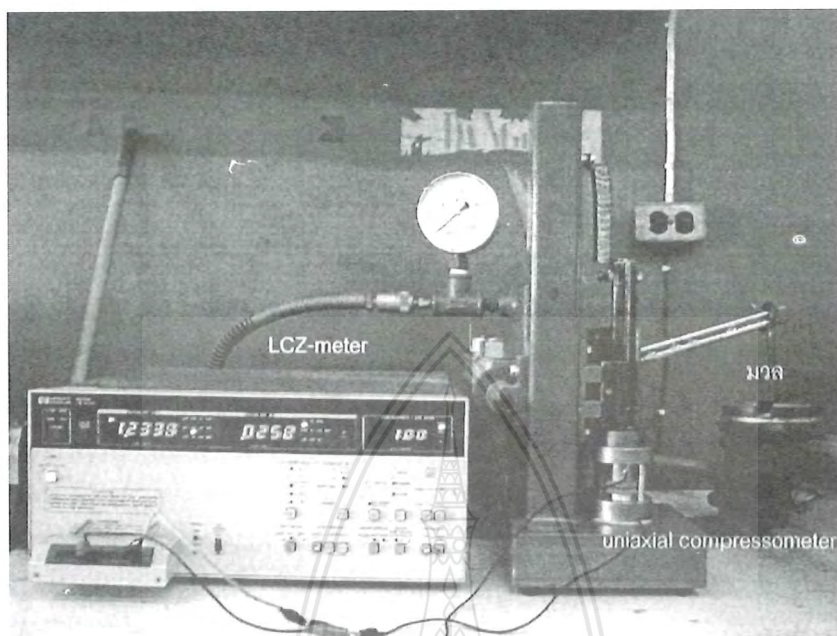
$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ, d และ A คือ ความหนาและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเซรามิกตามลำดับ และ ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ (permittivity of free space) มีค่า 8.854×10^{-12} F/m

ทำการทดลองภายใต้ 2 สภาวะความถี่ คือ ที่สภาวะความถี่ต่ำและสภาวะความถี่สูง ซึ่งในการทดลองภายใต้สภาวะความถี่ต่ำใช้อุปกรณ์ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้มวลอยู่ในช่วง 0-3,500 กรัม เพื่อให้แรงอัดกับระบบซึ่งสามารถให้ความถี่ในช่วง 0-1, 200 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) และสำหรับการทดลองภายใต้สภาวะความถี่สูงมีการใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก (Riken Seiki Co., Ltd. 137609) ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยให้ความถี่ในช่วง 0-5 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)



รูปที่ 1 แผนภาพของเครื่องมืออัดแรงแกนแบบแกนเดี่ยว (uniaxial compressometer)



รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ (0-1,200 kPa)

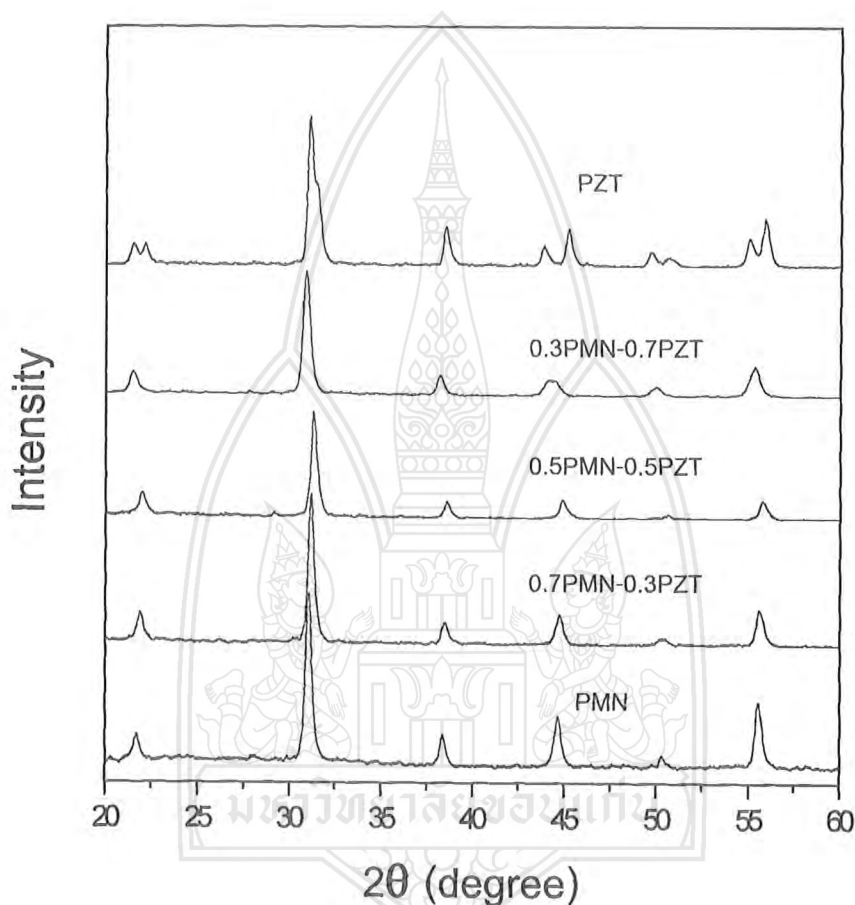


รูปที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกภายใต้สภาวะความเค้นสูง (0-5 MPa)

ผลการวิเคราะห์

จากการตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดเฟสของวัสดุเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค XRD พบว่าวัสดุเซรามิก PZT มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 33-0784 โดยมีเฟสเป็นแบบเตตระกอนอล (tetragonal) ส่วน

วัสดุเซรามิก PMN มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 81-0861 เป็นเฟสแบบคิวบิก (cubic) และรูปแบบการเลี้ยวเบนของวัสดุเซรามิก PMN-PZT นั้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับองค์ประกอบของวัสดุเซรามิก ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PMN-PZT อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ กัน

เมื่อนำวัสดุเซรามิกเหล่านั้นมาทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM จะเห็นได้ว่าวัสดุเซรามิกที่เตรียมได้มีขนาดเกรน (grain size) ดังแสดงในตารางที่ 1 และเกรนมีรูปร่างหลายเหลี่ยม โดยลักษณะเกรนของวัสดุเซรามิก PZT (แสดงดังรูปที่ 5) มีบางส่วนที่มีลักษณะผิดปกติ (abnormal grain)

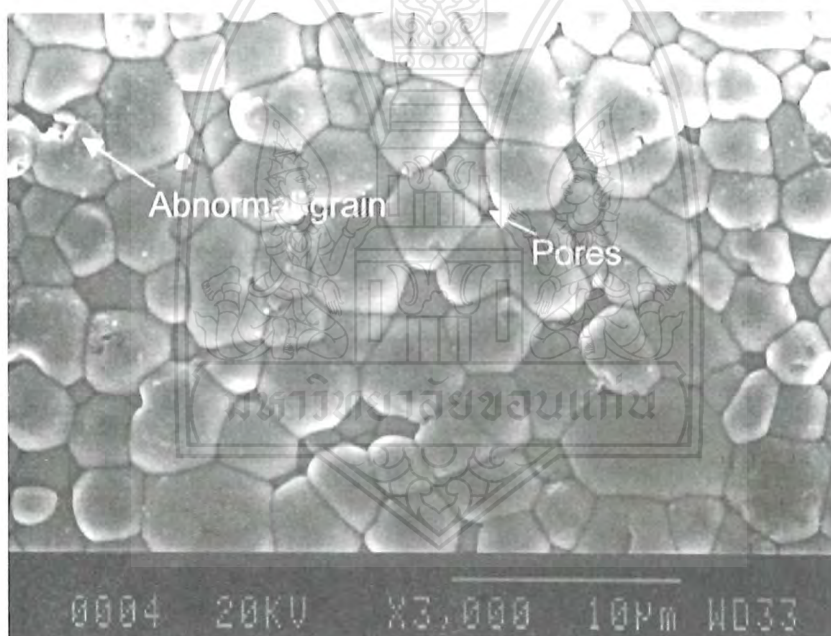
เนื่องจากการสูญเสียตะกั่ว รูปที่ 6 แสดงลักษณะเกรนของวัสดุเซรามิก PMN ซึ่งมีรูปร่างกลมและยังไม่เกิดการแน่นตัวเต็มที่ (fully dense) สำหรับวัสดุเซรามิก PMN-PZT มีลักษณะและขนาดเกรนแตกต่างกันตามอัตราส่วนโดยโมล โดย 0.7PMN-0.3PZT แสดงในรูปที่ 7, 0.5PMN-0.5PZT แสดงใน รูปที่ 8

และ 0.3PMN-0.7PZT แสดงในรูปที่ 9 ทั้งนี้วัสดุ PMN มีขนาดเกรนเล็กกว่าวัสดุเซรามิก PZT และยังเป็นที่น่าสนใจถึงบทบาทของ PMN ในเชิงการเป็นตัวยับ

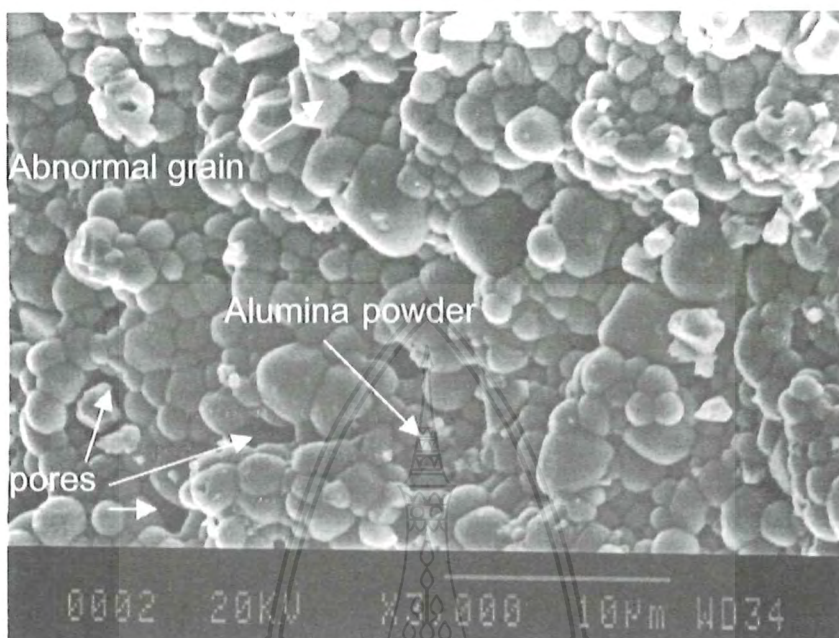
ยั้งการเติบโตของเกรน (grain growth inhibitor) ซึ่งสังเกตเห็นได้จากขนาดเกรนที่เล็กลงเมื่อมีการผสมวัสดุเซรามิก PMN เข้าไปในวัสดุเซรามิก PZT

ตารางที่ 1 ขนาดเกรนเฉลี่ย (average grain size) ของวัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่เตรียมได้

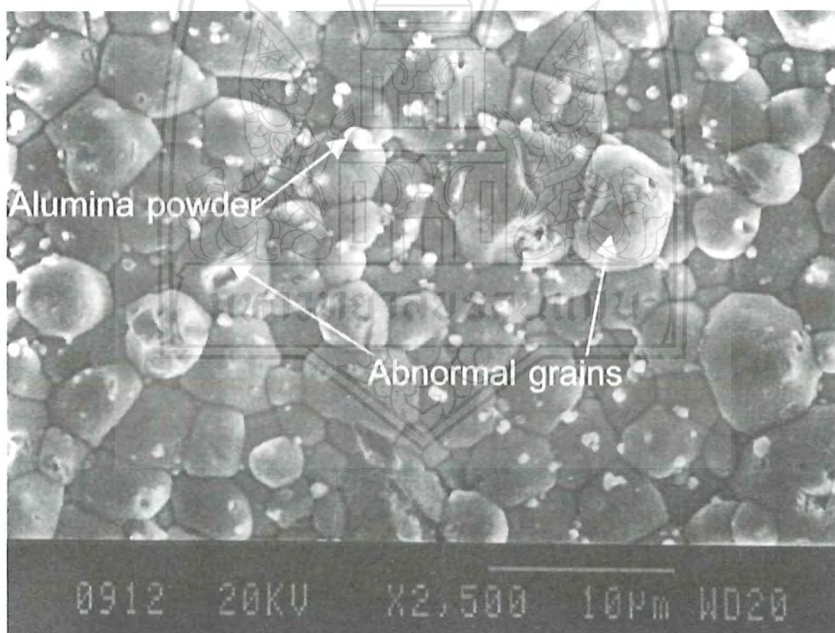
วัสดุเซรามิก	ช่วงของขนาดเกรน (μm)	ขนาดเฉลี่ยของเกรน (μm)
PMN	1-2	1.48 ± 0.22
PZT	1-7	2.72 ± 0.53
0.3PMN-0.7PZT	1-5	1.02 ± 0.16
0.5PMN-0.5PZT	0.5 -3	0.92 ± 0.16
0.7PMN-0.3PZT	1-7	3.11 ± 0.46



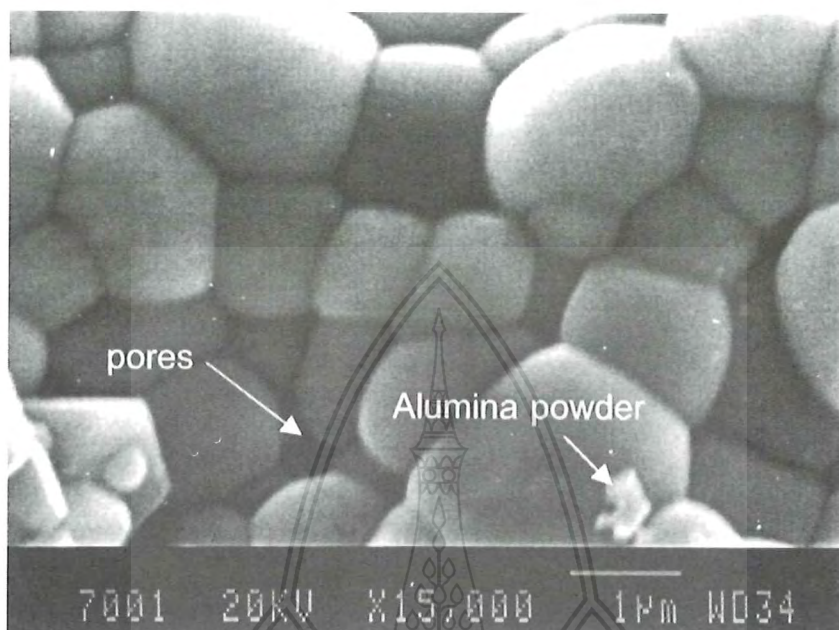
รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของสารเซรามิก PZT (ขนาดเฉลี่ยของเกรน $2.72 \pm 0.53 \mu\text{m}$)



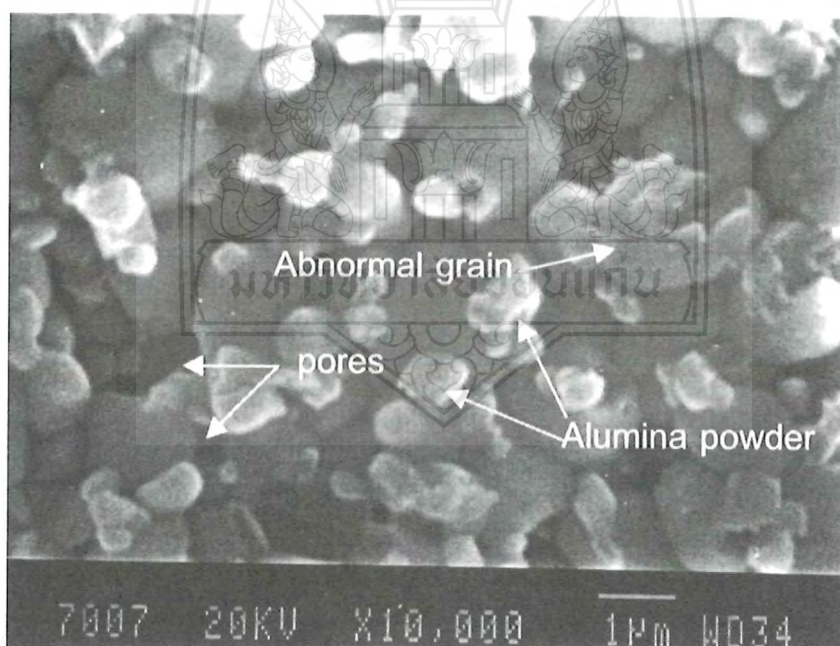
รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของสารเซรามิก PMN (ขนาดเฉลี่ยของเกรน $1.48 \pm 0.22 \mu\text{m}$)



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของสารเซรามิก 0.7PMN-0.3PZT (ขนาดเฉลี่ยของเกรน $3.11 \pm 0.46 \mu\text{m}$)



รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของสารเซรามิก 0.5PMN-0.5PZT (ขนาดเฉลี่ยของเกรน $0.92 \pm 0.16 \mu\text{m}$)



รูปที่ 9 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของสารเซรามิก 0.3PMN-0.7PZT (ขนาดเฉลี่ยของเกรน $1.02 \pm 0.16 \mu\text{m}$)

โดยเมื่อทำการตรวจสอบสมบัติกายภาพของวัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่เตรียมได้นั้น จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นและร้อยละการหดตัวหลังการเผา

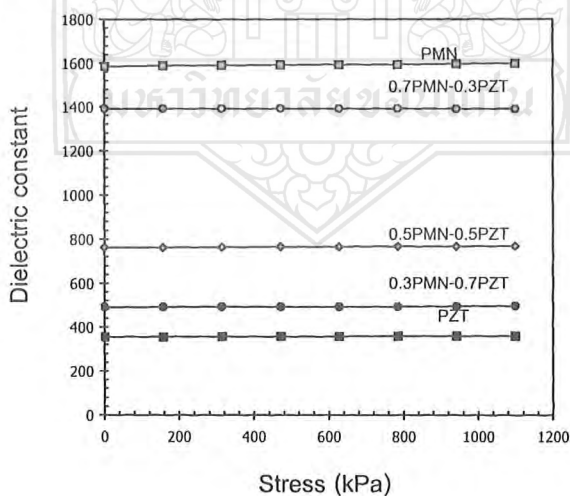
ของวัสดุเซรามิก PMN-PZT มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่เตรียมได้

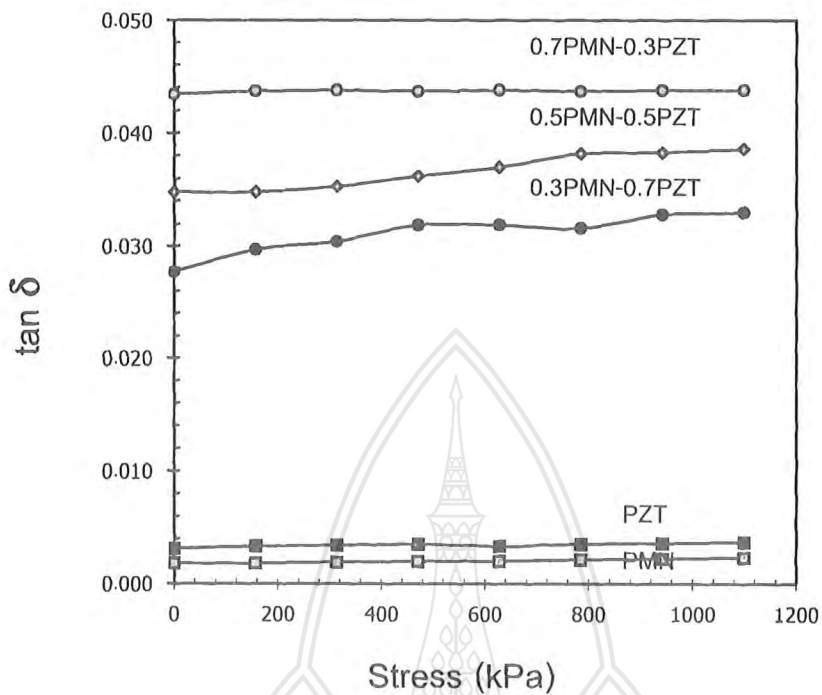
วัสดุเซรามิก	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ซม ³)	ร้อยละของค่าความหนาแน่น เชิงทฤษฎี	ร้อยละการหดตัวโดย ปริมาตร
PMN	6.54 ± 0.07	80.09 ± 0.86	37.60 ± 0.20
PZT	7.66 ± 0.05	95.67 ± 0.62	39.58 ± 0.04
0.3PMN-0.7PZT	7.56 ± 0.12	93.87 ± 1.48	39.06 ± 0.11
0.5PMN-0.5PZT	7.18 ± 0.05	88.79 ± 0.61	38.83 ± 0.12
0.7PMN-0.3PZT	6.10 ± 0.17	75.14 ± 2.09	35.97 ± 0.35

เมื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกที่เตรียมได้ ซึ่งยังไม่ผ่านการทำขั้ว โดยใช้อุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 3 นั้น พบว่าจากการทดลองภายใต้สภาวะความเค้นต่ำดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 นั้นจะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกตามความเค้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าในความเค้นระดับนี้นั้นยังไม่มีอิทธิพลมากพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในระดับจุลภาค ในขณะที่ผลการทดลองภายใต้

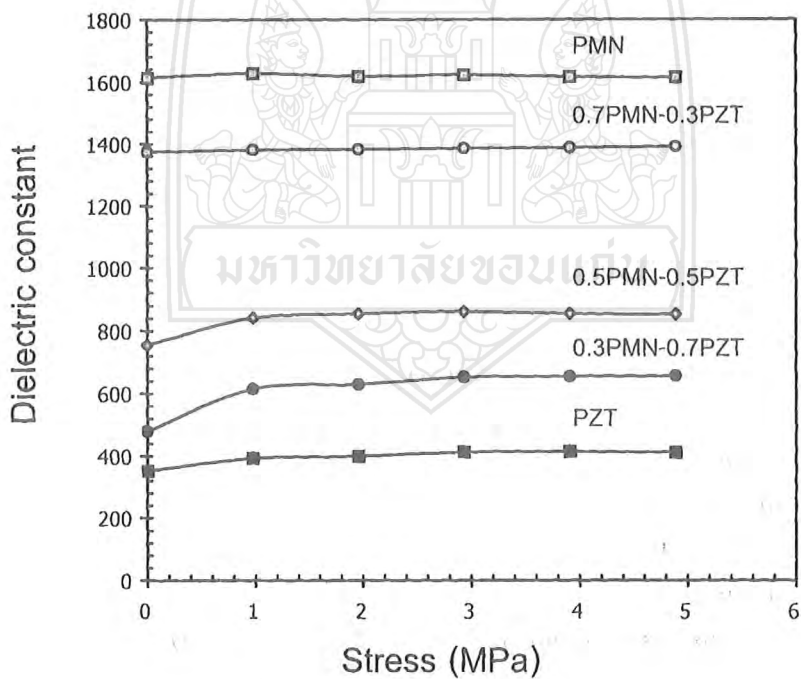
สภาวะความเค้นสูงแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความเค้นอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นในช่วง 0-1 MPa และมีค่าคงที่เมื่อความเค้นสูงขึ้น แต่ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกมีการเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเช่นกันแล้วลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้น จากการทดลองยังพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำขั้วมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับองค์ประกอบหลัก



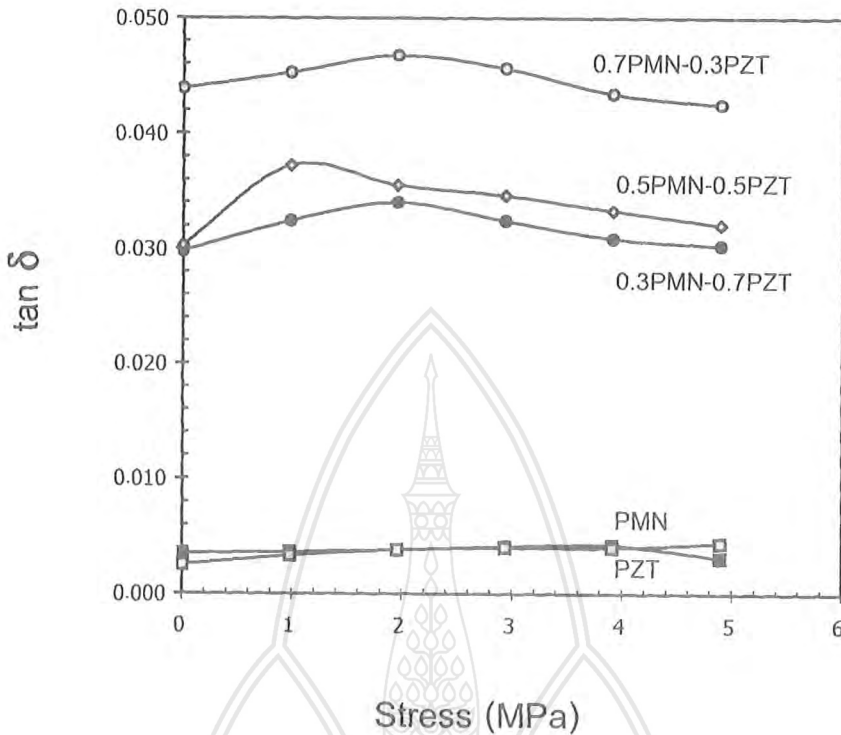
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความเค้นของสารเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำขั้ว ภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ (0-1,200 kPa)



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความเค้นของสารเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำซ้ำ ภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ (0-1,200 kPa)



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความเค้นของสารเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำซ้ำ ภายใต้สภาวะความเค้นสูง (0-5 MPa)



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความเค้นของสารเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำซ้ำ ภายใต้สภาวะความเค้นสูง (0-5 MPa)

บทสรุปและวิจารณ์

วัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่เตรียมได้มีสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนองค์ประกอบระหว่างเฟส PMN และ PZT ซึ่งเมื่อนำมาศึกษาถึงอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิกดังกล่าวพบว่า วัสดุเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำซ้ำภายใต้สภาวะความเค้นต่ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกตามความเค้น แต่ภายใต้สภาวะความเค้นสูงจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับองค์ประกอบหลักซึ่งอาจเนื่องมาจากวัสดุเซรามิกที่ไม่ถูกทำซ้ำมีโครงสร้างของโดเมนที่สมมาตรเมื่อให้แรงเค้นจะมีผลเหมือนกันทุกทิศทาง แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าความเค้นมีบทบาทต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ

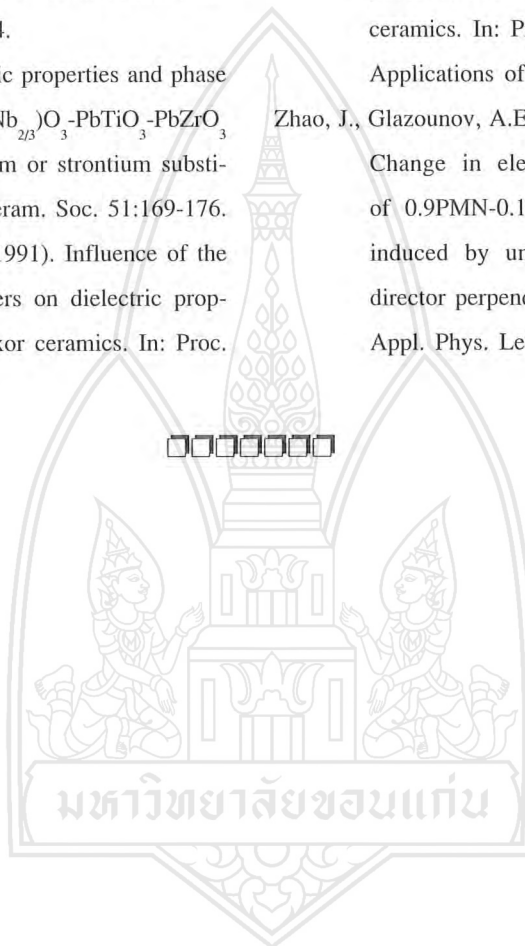
เซรามิก PMN-PZT ที่อัตราส่วนโดยโมลแตกต่างกันอย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประจำปี 2545 และทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ ปี 2545 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

- Abe, Y., Yanagisawa, Y., Kakagawa, K. and Sasaki, Y. (2000). Piezoelectric and dielectric properties of solid solution of PbZrO_3 - PbTiO_3 - $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ system prepared by wet-dry combination method. *Solid State Comm.* 113:331-334.
- Ouchi, H. (1968). Piezoelectric properties and phase relation of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 - PbZrO_3 ceramics with barium or strontium substitutions. *J. Amer. Ceram. Soc.* 51:169-176.
- Tandon, R.P. and Phar, A. (1991). Influence of the processing parameters on dielectric properties of PMN relaxor ceramics. In: *Proc. IEEE 7th Int'I Symp. Applications of Ferroelectrics*. 1:573-576.
- Zhao, J., and Zhang, Q.M. (1996). Effect of mechanical stress on the electromechanical performance of PZT and PMN-PT ceramics. In: *Proc. IEEE 10th Int'I Symp. Applications of Ferroelectrics*. 2:971-974.
- Zhao, J., Glazounov, A.E., and Zhang, Q.M. (1999). Change in electromechanical properties of 0.9PMN-0.1PZT relaxor ferroelectrics induced by uniaxial compressive stress director perpendicular to the electric field. *Appl. Phys. Lett.* 74:436-438.



การศึกษาเบื้องต้นในการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้บางชนิดโดย *Agrobacterium tumefaciens*

ประวีณา คงโนนกอก¹, สุมณฑิพย์ บุญนาค² และ ปิยะดา ชีระกุลพิศุทธิ์³

บทคัดย่อ

ศึกษาการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้พื้นเมือง 4 ชนิด ได้แก่เอื้องเงิน (*Dendrobium draconis* Rchb.f) เอื้องสายสามสี (*D. crystallinum*) เอื้องคำ (*Dendrobium chrysotaxum* Lindl.) และเขาแกะ (*Rhyncostylis coelestis* Rchb.f.) โดย *Agrobacterium tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121) ที่มียีน *npt II* เป็นยีนคัดเลือกและ *gus* gene เป็นยีนเครื่องหมาย พบว่าสามารถส่งถ่ายยีนที่ด้านทานต่อคานามัยซินสู่โปรโทคอร์มและต้นอ่อนได้ เนื้อเยื่อที่เหมาะสมสำหรับการส่งถ่ายยีนของเอื้องเงินและเขาแกะคือโปรโทคอร์ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การด้านต่อคานามัยซินเท่ากับ 62.7 และ 30.6% ตามลำดับ ส่วนเอื้องสายสามสีและเอื้องคำ เนื้อเยื่อที่เหมาะสมในการส่งถ่ายยีนคือ ต้นอ่อน โดยมีเปอร์เซ็นต์การด้านต่อคานามัยซินเท่ากับ 78.3 และ 83.5% ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบผลการส่งถ่ายยีนด้วย *gus* assay พบว่ามีกิจกรรมของ *gus* gene และเมื่อตรวจสอบการสอดแทรกของยีนที่ส่งถ่ายเข้าไปด้วยวิธี PCR พบว่ายีนที่ส่งถ่ายเข้าไปสามารถเข้ารวมกับโครโมโซมของกล้วยไม้ได้ เมื่อตรวจสอบจำนวนโครโมโซมของกล้วยไม้แปลงพันธุ์และกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการส่งถ่ายยีน พบว่ามีจำนวนเท่ากันคือ $2n = 38$

Abstract

The gene transformation in four species of wild orchids, namely *Dendrobium draconis* Rchb.f, *D. crystallinum*, *Dendrobium chrysotaxum* Lindl. and *Rhyncostylis coelestis* Rchb.f, mediated by *Agrobacterium tumefaciens* strain LBA4404 (pBI 121) with *npt II* as a selectable marker gene and *gus* gene as a reportergene showed that kanamycin resistant gene (*npt II* gene) was successfully transformed to protocorms and plantlets of the 4 species. The explants suitable for gene transformation in *D. draconis* and *R. coelestis* were protocorms-like bodies. Their respective transformation percentages were 62.7 and 30.6. The explants appropriate for gene transformation in *D. crystallinum* and *D. chrysotaxum* were plantlets. Their respective transformation percentages were 78.3 and 83.5. The *gus* assay revealed the *gus* activity while the PCR method indicated the integration of marker gene. Both transgenic and non-transgenic orchids had an equal chromosome number of $2n = 38$.

¹ โปรแกรมชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

² ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

บทนำ

กล้วยไม้เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากดอกสวยงามและมีความหลากหลายเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว แต่ยังมีปัญหาในการควบคุมคุณภาพการผลิตกล้วยไม้ ทำให้กล้วยไม้ที่ผลิตได้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประเทศที่ต้องการนำเข้ากล้วยไม้ นอกจากนี้การผสมพันธุ์เพื่อพัฒนาลักษณะดอกและกลิ่นยังไม่ประสบความสำเร็จในกล้วยไม้หลายชนิด ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การศึกษาการส่งถ่ายยีนที่เข้าสู่กล้วยไม้โดยใช้ *Agrobacterium tumefaciens* เพื่อสร้างกล้วยไม้แปลงพันธุ์ (transgenic orchid) ให้มีลักษณะดีตามที่ต้องการ เช่น กล้วยไม้แปลงพันธุ์ที่สามารถต้านทานต่อโรคและแมลง หรือกล้วยไม้แปลงพันธุ์ที่สามารถออกดอกนอกฤดู มีดอกสวยงามและกลิ่นหอม เป็นต้น ทั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาถึงความรู้ขั้นพื้นฐานก่อนที่จะส่งถ่ายยีนที่สนใจเข้าสู่กล้วยไม้ การศึกษาในหัวข้อนี้จึงมุ่งเน้นถึงการศึกษาขั้นพื้นฐานของการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้ เพื่อให้ได้กล้วยไม้แปลงพันธุ์ตามที่ต้องการ และข้อมูลที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาสายพันธุ์กล้วยไม้ให้มีลักษณะดียิ่งขึ้น การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้เบื้องต้นในการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้พันธุ์พื้นเมืองบางชนิดของประเทศไทยโดยใช้ *A. tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121)

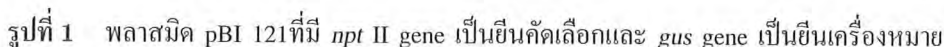
อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อทดสอบอิทธิพลของสารปฏิชีวนะและการส่งถ่ายยีน

เพาะเมล็ดของกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดในอาหารสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) และ Vacin and Went (1949) ดัดแปลง เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °ซ. ความเข้มแสง $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวันชักนำให้เมล็ดเจริญเป็นโพรโทคอร์ม และชักนำให้โพรโทคอร์มเจริญเป็นต้น หลังจากนั้นทดสอบอิทธิพลของสารปฏิชีวนะกานามัยซินและ

ซีโฟแทกซึมต่อการเจริญของโพรโทคอร์มและต้นอ่อนเอื้องเงิน เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการส่งถ่ายยีน ทำการส่งถ่ายยีนสู่โพรโทคอร์มและต้นอ่อนโดย *A. tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121) (รูปที่ 1) โดย บ่มโพรโทคอร์มและต้นอ่อนในสารละลาย *A. tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121) ในอาหารเหลว LB 20 มิลลิกรัม ที่มีสารปฏิชีวนะกานามัยซิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร และสเตปโตมัยซิน 25 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม และเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรสำหรับเพิ่มจำนวนโพรโทคอร์ม ภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 °ซ. ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสงประมาณ $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เพาะเลี้ยงประมาณ 2-3 วันแล้วกำจัด *Agrobacterium* โดยล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อที่มีซีโฟแทกซึม 100 มิลลิกรัม/ลิตร ล้างนาน 30 นาที ล้างซ้ำอีกรอบ ชับโพรโทคอร์มและต้นอ่อนด้วยกระดาษกรองหรือกระดาษปลอดเชื้อ หลังจากนั้นเพาะเลี้ยงโพรโทคอร์มในอาหารสูตรสำหรับเพิ่มจำนวน โพรโทคอร์มที่มีสารปฏิชีวนะกานามัยซินและซีโฟแทกซึมในระดับต่าง ๆ เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °ซ. ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสงประมาณ $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เพาะเลี้ยงประมาณ 1 เดือน เปลี่ยนอาหารทุก 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นย้ายโพรโทคอร์มเลี้ยงในอาหารสูตรสำหรับการชักนำให้เจริญเป็นต้น ซึ่งมีกานามัยซินและซีโฟแทกซึมในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับต้นอ่อนเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรสำหรับชักนำให้เจริญเป็นต้นที่มีกานามัยซินและซีโฟแทกซึมในความเข้มข้นที่เหมาะสม เพาะเลี้ยงนาน 1 เดือนที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °ซ. ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน ความเข้มแสงประมาณ $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เปลี่ยนอาหารทุกสัปดาห์

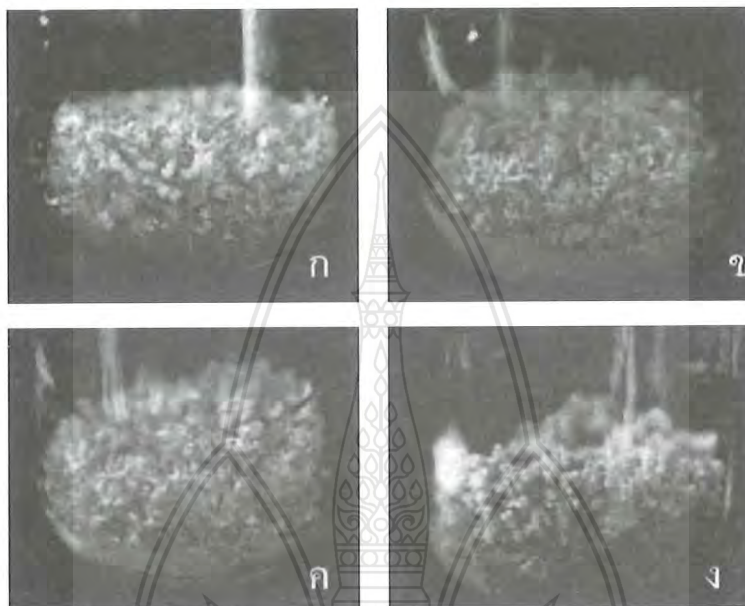
นำโพรโทคอร์มและต้นอ่อนที่ผ่านการส่งถ่ายยีนแล้วมาตรวจสอบผลการส่งถ่ายยีน ด้วยวิธี gus assay โดยแช่โพรโทคอร์มและต้นอ่อนในสารละลาย X-gluc ตามวิธีของ Jefferson (1987) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ. เวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลอง



สามารถชักนำให้เมล็ดกล้วยไม้เอื้องเงิน
เอื้องคำและเขากะงอกได้ในอาหารสังเคราะห์สูตร MS
ดัดแปลง (Murashige and Skoog, 1962) ที่มีน้ำตาล
ซูโครส 3% (w/v) ส่วนเมล็ดเอื้องสายสามสิงห์
เอื้องคำในอาหารสังเคราะห์สูตร Vacin & Went (1949)
ดัดแปลง ที่มีน้ำตาลซูโครส 2% (w/v) การเพิ่ม
จำนวนโพธิ์โทคอร์มของกล้วยไม้ทำได้โดยเฉพาะเลี้ยง
ในอาหารสูตรที่ใช้เพาะเมล็ดโดยเปลี่ยนอาหารทุก 2
สัปดาห์ (รูปที่ 2) จากการศึกษาพบว่าอาหารสูตร MS
ดัดแปลงที่มีน้ำตาลซูโครส 3% (w/v) , น้ำมะพร้าว 15%
(v/v) , 2,4-D 2 μ M, kinetin 2 μ M เป็นอาหารสูตร
ที่เหมาะสมต่อการชักนำให้โพธิ์โทคอร์มเอื้องเงิน
เจริญเป็นต้น โดยโพธิ์โทคอร์มเจริญเป็นต้นได้ 92%
และมีจำนวนต้นต่อโพธิ์โทคอร์มเท่ากับ 1-2 ต้น
อาหารสูตร VW ดัดแปลง ที่มีน้ำตาลซูโครส 2%
(w/v) น้ำมะพร้าว 15% (v/v) ไมโออินซิทอล 100
มิลลิกรัม/ลิตร ไพรดอกซิน ไทเอมิน กรดนิโคตินิก
อย่างละ 1 มิลลิกรัม/ลิตร และ ไกลซีน (glycine)

4 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสูตรอาหารที่ชักนำให้โพรโทคอร์มเอื้องสายสามสีเจริญเป็นต้นได้ดีที่สุด โดยโพรโทคอร์มเอื้องเป็นต้นได้ 80% ส่วนโพรโทคอร์มเอื้องคำและเขาแกะ สามารถเจริญเป็นต้นได้ในอาหาร

สังเคราะห์สูตร MS ที่มีน้ำตาลซูโครส 3% (w/v) และน้ำมะพร้าว 15% (v/v) โดยโพรโทคอร์ม สามารถเจริญเป็นต้นได้ 100 และ 60% ตามลำดับ



รูปที่ 2 โพรโทคอร์มกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิด ก. เอื้องเงิน ข. เอื้องสายสามสี ค. เอื้องคำ ง. เขาแกะ

อิทธิพลของสารปฏิชีวนะกานามัยซินและซีโฟแทกซิมต่อการเจริญของโพรโทคอร์มและต้นอ่อน

จากการทดสอบอิทธิพลของสารปฏิชีวนะกานามัยซินและซีโฟแทกซิมต่อการเจริญของโพรโทคอร์มและต้นอ่อนของกล้วยไม้ทั้งสี่ชนิด พบว่ากานามัยซินที่ระดับความเข้มข้น 150, 100, 150 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของโพรโทคอร์มเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำและเขาแกะได้ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 250, 250, 200 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งการเจริญของต้นอ่อนเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำและเขาแกะได้ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะใช้คัดเลือกต้นอ่อนที่ผ่านการส่งถ่ายชิ้นแล้ว สำหรับการศึกษาอิทธิพลของสารปฏิชีวนะซีโฟแทกซิมพบว่า โพรโทคอร์มเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี

เอื้องคำ และเขาแกะสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีซีโฟแทกซิมความเข้มข้น 150, 50, 150 และ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนต้นอ่อนเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี และเขาแกะสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีซีโฟแทกซิมความเข้มข้นสูงสุดคือ 200, 200, 100 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

กานามัยซินความเข้มข้น 150, 100, 150 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของโพรโทคอร์มเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำและเขาแกะได้ ตามลำดับ และพบว่ากานามัยซินความเข้มข้น 250, 250, 200 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของต้นอ่อนกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดได้ ตามลำดับ ความเข้มข้นสูงสุดของซีโฟแทกซิมที่โพรโทคอร์มและต้นอ่อนของเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำและเขาแกะ สามารถเจริญได้คือ 150, 50, 150 และ

150 มิลลิกรัม/ลิตร และ 200, 200, 100 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

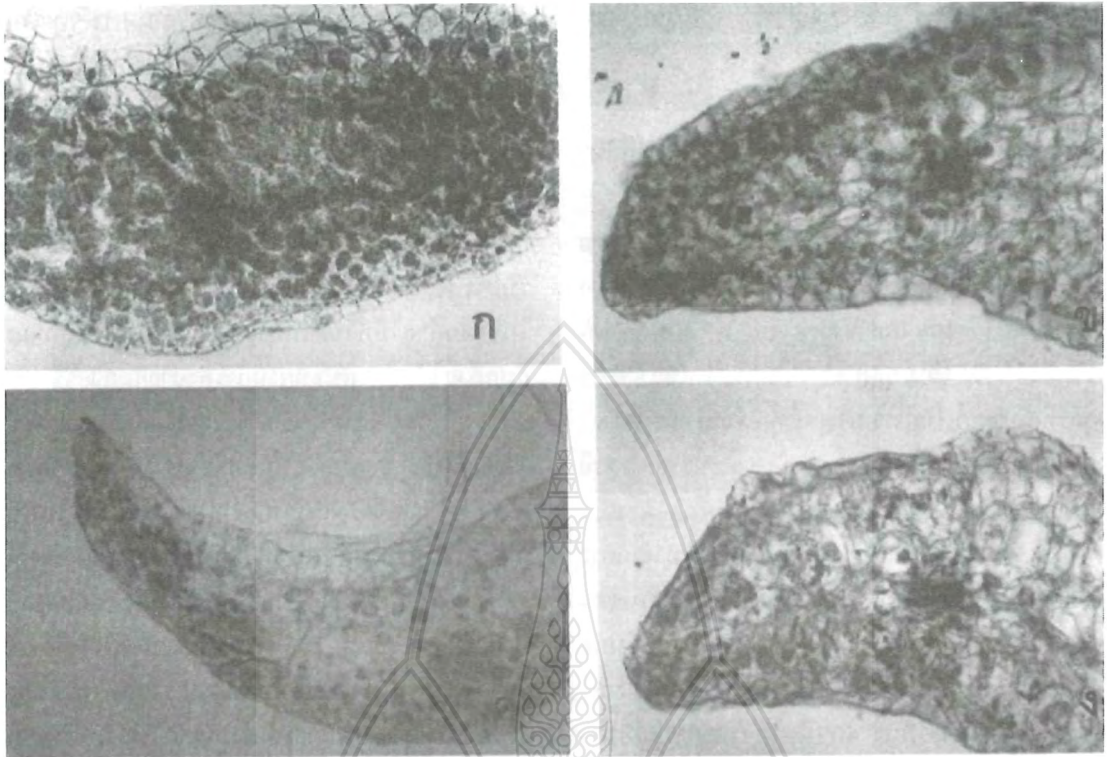
การส่งถ่ายยีนสู่โพรโทคอร์รัมและต้นอ่อน, การศึกษาทางวิทยาศาสตร์และจำนวนโครโมโซม

จากการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มโพรโทคอร์รัมของกล้วยไม้เอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำ และเขาแกะ กับ *A. tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121) (รูปที่ 1) พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มโพรโทคอร์รัมเท่ากับ 30, 40, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลที่เหมาะสมในการบ่มต้นอ่อนของกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิด เท่ากับ 50, 40, 40 และ 40 นาที ตามลำดับ จากการศึกษาการส่งถ่ายยีนสู่โพรโทคอร์รัมและต้นอ่อนของกล้วยไม้ สามารถส่งถ่ายยีนที่มียีน *npt II* เป็นยีนคัดเลือก และยีน *gus* เป็นยีนรายงานผลสู่โพรโทคอร์รัมและต้นอ่อนของกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดได้ โดยการศึกษาในโพรโทคอร์รัมพบว่าโพรโทคอร์รัมเอื้องเงินมี เปอร์เซ็นต์

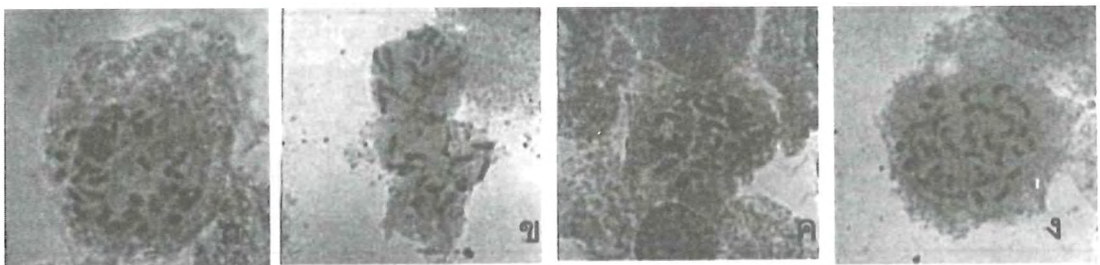
การส่งถ่ายยีนสูงสุด เท่ากับ 62.7 ส่วนการศึกษาในต้นอ่อน พบว่าต้นอ่อนของเอื้องคำมี เปอร์เซ็นต์การส่งถ่ายยีนเท่ากับ 83.5 ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับการศึกษาในต้นอ่อนกล้วยไม้ชนิดอื่น (ตารางที่ 1) เมื่อตรวจสอบผลการส่งถ่ายยีนด้วยวิธี *gus* assay พบกิจกรรมของยีน *gus* หรือ ยีน *uid A* โดยเนื้อเยื่อที่ได้รับการส่งถ่ายยีนจะมีสีฟ้า (รูปที่ 5) การตัดตามขวางใบของกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการส่งถ่ายยีน เปรียบเทียบกับกล้วยไม้แปลงพันธุ์ที่ผ่านการส่งถ่ายยีนด้วยวิธี *gus* assay พบว่า ภายในเนื้อเยื่อกล้วยไม้แปลงพันธุ์มีเนื้อเยื่อสีฟ้า ซึ่งพบภายในเซลล์ต่างๆ เห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ แต่ไม่พบเนื้อเยื่อเป็นสีฟ้าในกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการส่งถ่ายยีน (รูปที่ 3) โครโมโซมของกล้วยไม้ที่ไม่ได้ส่งถ่ายยีนและกล้วยไม้แปลงพันธุ์ทั้ง 4 ชนิด มีจำนวนเท่ากันคือ $2n = 38$ (รูปที่ 4) เมื่อตรวจสอบผลการสอดแทรกของยีนด้วยวิธี PCR พบว่ายีนที่ส่งถ่ายเข้าไปสามารถสอดแทรกกับโครโมโซมกล้วยไม้ได้ (รูปที่ 6)

ตารางที่ 1 จำนวนโพรโทคอร์รัมและต้นอ่อนแปลงพันธุ์ที่ต้านทานต่อกาน้ำขมิ้นและมีกิจกรรมของ *gus* gene

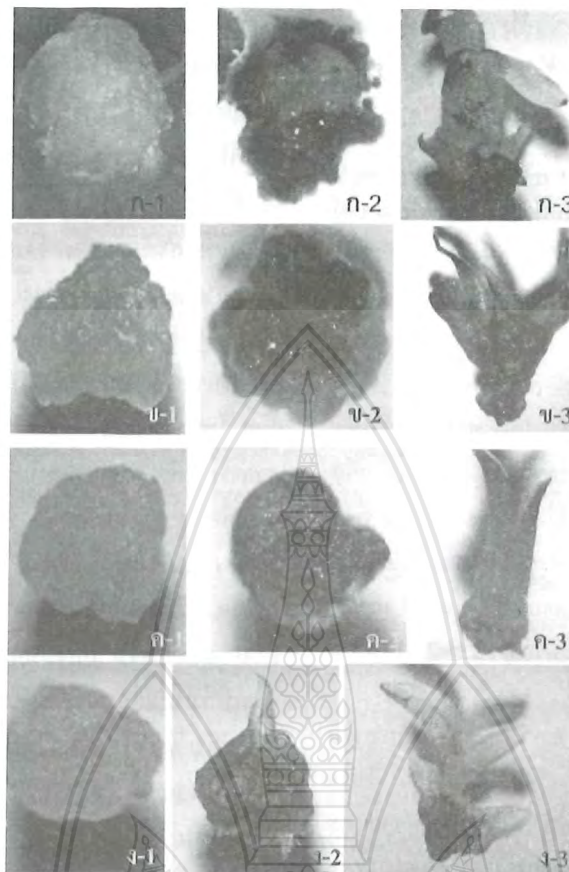
	จำนวนที่ต้านทานต่อ km			การตรวจสอบกิจกรรมของ <i>gus</i> gene					
	จำนวนเริ่มต้น	ต้านทาน km	(%)	จำนวนที่นำมารวสอบ	+ 0	+1	+2	+3	(%)
โพรโทคอร์รัม									
เอื้องเงิน	150	94	62.7	20	-	-	7	13	100
เอื้องสายสามสี	60	35	58.3	20	-	-	4	16	100
เอื้องคำ	57	21	36.8	10	-	2	5	13	100
เขาแกะ	75	23	30.6	10	-	4	8	8	100
ต้นอ่อน									
เอื้องเงิน	85	43	50.6	15	-	4	8	3	100
เอื้องสายสามสี	85	67	78.3	10	-	2	1	7	100
เอื้องคำ	85	71	83.5	10	-	-	7	3	100
เขาแกะ	35	10	28.5	5	-	1	3	-	80



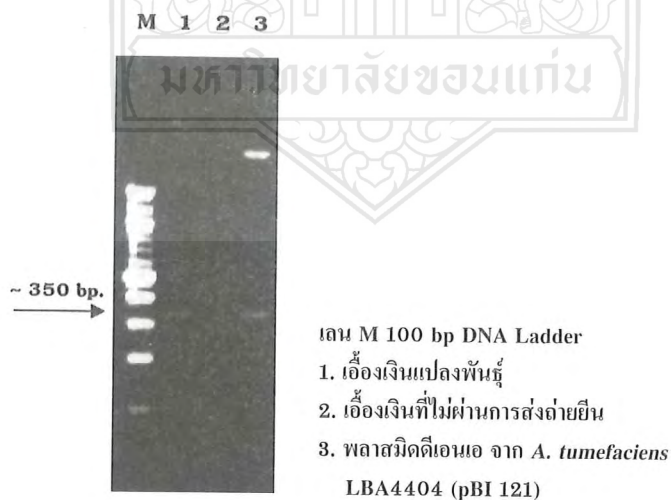
รูปที่ 3 ใบกล้วยไม้แปลงพันธุ์ตัดตามขวาง ก. เอื้องเงิน ข. เอื้องสายสามสี ค. เอื้องคำ ง. เขาแกะ



รูปที่ 4 จำนวนโครโมโซมของกล้วยไม้แปลงพันธุ์ ก. เอื้องเงิน ข. เอื้องสายสามสี ค. เอื้องคำ ง. เขาแกะ



รูปที่ 5 เนื้อเยื่อกล้วยไม้แปลงพันธุ์ที่ผ่านการตรวจสอบด้วยวิธี *gus* assay ก. เอื้องเงิน ข. เอื้องสายสามสี ค. เอื้องเงิน ง. เขาแกะ (1) คือ เนื้อเยื่อที่ไม่ผ่านการส่งถ่ายยีน (2) โปรโตพลาซึม (3) ต้นอ่อน



รูปที่ 6 ผลการเพิ่มปริมาณ DNA ของเอื้องเงินแปลงพันธุ์ ด้วยวิธี PCR

สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาเบื้องต้นในการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้พื้นเมืองทั้ง 4 ชนิด สรุปได้ว่า สามารถส่งถ่ายยีนที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะกานามัยซินสู่โพรโทคอร์มและต้นอ่อนของกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดได้ โดยเนื้อเยื่อที่ผ่านการตรวจสอบการส่งถ่ายยีนด้วยวิธี *gus* assay จะปรากฏสีฟ้า เนื่องจากการแสดงออกของ *uid A* gene หรือ *gus* gene ซึ่งเป็นยีนรายงานผลที่กล้วยไม้ได้รับ ยีนนี้ควบคุมการสร้างเอนไซม์ β -glucuronidase ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ glucuronidase โดยเปลี่ยนซับสเตรต (X-gluc หรือ 5-bromo 4 chloro 3 indole β -D glucuronide) ที่ใช้ในการตรวจสอบ ให้เป็นอนุพันธ์อินโดลิ (indolyl derivatives) ที่มีสีฟ้าของ 5-bromo 4 chloro 3 indole ดังนั้นเนื้อเยื่อที่ได้รับยีนนี้เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธี *gus* assay เนื้อเยื่อควรมีสีฟ้า

มีปัจจัยหลายประการที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการส่งถ่ายยีนสู่กล้วยไม้ในครั้งนี้ ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้ อายุและขนาดของโพรโทคอร์ม และต้นอ่อนที่ใช้ในการส่งถ่ายยีน รวมถึงปริมาณฮอร์โมนต่างๆด้วย (Egnin et al., 1999) นอกจากนี้ยังพบว่า การบ่มเนื้อเยื่อพืชด้วยสารอะซิโตไซริงโคน (acetosyringone) ก่อนการบ่มร่วมกับ *Agrobacterium* สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งถ่ายยีน (Sunilkumar et al., 1999) หรืออาจใช้วิธีการสร้างบาดแผลให้เนื้อเยื่อพืชด้วยวิธีการยิงอนุภาค (microprojectile bombardment) ก่อนเพื่อกระตุ้นให้ *Agrobacterium* บุกรุกเนื้อเยื่อพืชได้ดีขึ้น (Zuker et al., 1999) ในขณะที่นักวิจัยบางกลุ่มนิยมใช้เสียง (sonication effect) ช่วยเพิ่มการเกิดบาดแผลในเนื้อเยื่อพืช (Lee et al., 1998; Lee et al., 1999) ก่อนการบ่มร่วมกับ *Agrobacterium* อย่างไรก็ตามควรต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่เหมาะสมด้วย เพราะเสียงอาจลดการเจริญของเนื้อเยื่อพืชบางชนิด (Meurer et al., 1998) ทั้งนี้ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือความเข้มข้นของสารปฏิชีวนะกานามัยซินและซีโฟแทกซึม

ซึ่งหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้เนื้อเยื่อกล้วยไม้เจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะสารปฏิชีวนะซีโฟแทกซึมที่ใช้ในการกำจัด *A. tumefaciens* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ โดยมีฤทธิ์ขัดขวางการสร้างชั้นเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan layer) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ (Beveridge, 1999) ทั้งนี้การใช้ซีโฟแทกซึมความเข้มข้นสูงเพื่อกำจัด *A. tumefaciens* ต้องคำนึงถึงผลกระทบของซีโฟแทกซึมต่อการเจริญของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยการเลือกใช้ที่ระดับความเข้มข้นเหมาะสมจะสามารถกำจัด *Agrobacterium* ได้และเพิ่มหรือชักนำให้เนื้อเยื่อพืชบางชนิดเจริญเติบโตได้ดี (Yepes and Aldwinckle, 1994a; Yepes and Aldwinckle, 1994b) สอดคล้องกับการทดลองในโพรโทคอร์มและต้นอ่อนของเอื้องเงิน เอื้องสายสามสี เอื้องคำ และเขาแกะ ซึ่งพบว่าเนื้อเยื่อกล้วยไม้ที่ทดลองส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีซีโฟแทกซึมความเข้มข้นต่ำกว่า 150 มิลลิกรัม/ลิตร โดยไม่มีผลต่อการชักนำให้เป็นต้น

การทดลองเพื่อหาความเข้มข้นสูงสุดของกานามัยซิน ที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืชถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะความเข้มข้นที่เหมาะสมจะช่วยในการคัดเลือกพืชแปลงพันธุ์ได้ดี หากใช้กานามัยซินที่ความเข้มข้นต่ำเกินไปอาจคัดเลือกพืชแปลงพันธุ์ อาจจะไม่สามารถจำแนกเซลล์ที่ผ่านการส่งถ่ายยีนออกจากเซลล์ที่ยังไม่ผ่านการส่งถ่ายยีนได้ เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชทั้งปกติและพืชแปลงพันธุ์สามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีกานามัยซินได้ตามปกติ ในทางกลับกันหากใช้กานามัยซินในความเข้มข้นสูงเกินไป อาจมีผลยับยั้งกระบวนการ เมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์ที่ผ่านการส่งถ่ายยีนได้ สอดคล้องกับการรายงานของ Muniswamy and Sreenath (1996) ซึ่งพบว่ากานามัยซินที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแคลลัสต้นกาแฟ (*Coffea canephora* Pierre) และที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ยังยับยั้งการเกิดแคลลัสด้วย

การเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบกล้วยไม้แปลงพันธุ์ทั้ง 4 ชนิดพบว่าเนื้อเยื่อใบของกล้วยไม้แปลงพันธุ์มีสีฟ้า ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นการยืนยันผลการตรวจสอบการทำงานของ *gus* gene ด้วยวิธี *gus* assay สีฟ้าที่พบภายในเซลล์ของกล้วยไม้แปลงพันธุ์นั้นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ β -glucuronidase (Jefferson, 1987) ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ผลที่ได้ตรงกันข้ามกับเซลล์ของกล้วยไม้ที่ไม่ได้ส่งถ่ายยีน ซึ่งไม่พบสีฟ้า

ในการตรวจนับจำนวนโครโมโซมจากปลายรากของกล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดที่ไม่ได้ส่งถ่ายยีนและกล้วยไม้แปลงพันธุ์ พบว่ามีจำนวนเท่ากันคือ $2n = 38$ การที่จำนวนโครโมโซมไม่แตกต่างกันเนื่องจากยีนที่ส่งถ่ายเข้าไปมีขนาดเล็กมาก (1.3 kb) เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดจีโนมของพืช และยีนจะไปสอดแทรกกับโครโมโซมแบบสุ่ม ซึ่งจำนวนของยีนที่สอดแทรกเข้าไปมีไม่แน่นอน (Hiei et al., 1994) ดังนั้นจึงไม่น่าจะส่งผลต่อจำนวนและรูปร่างของโครโมโซมพืช (Hughes, 1996)

การเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยวิธี PCR เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการตรวจสอบการสอดแทรกของยีน ซึ่งสามารถยืนยันผลการส่งถ่ายยีนได้อย่างถูกต้องเนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณ DNA จาก DNA แม่พิมพ์ที่มีปริมาณน้อย (ระดับนาโนกรัม) ได้ในระยะเวลาสั้น โดยใช้ primer ที่มีความเหมาะสม (Foolad et al., 1995) ซึ่งในการทดลองนี้ทำการเพิ่มปริมาณ DNA ขนาดประมาณ 350 คู่เบส โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม พบว่ากล้วยไม้ทั้ง 4 ชนิดจากต้นปกติไม่มีการเพิ่มปริมาณ DNA ในขณะทดลองใช้ DNA ของกล้วยไม้เอื้องเงินแปลงพันธุ์เป็นตัวแทนของกล้วยไม้แปลงพันธุ์ทั้ง 4 ชนิด พบการเพิ่มปริมาณ DNA ของกล้วยไม้เอื้องเงินแปลงพันธุ์โดยวิธี PCR ได้รวมถึงสามารถเพิ่มปริมาณ DNA จากพลาสมิดที่สกัดจาก *A. tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (pBI 121) โดย primer ที่ใช้ในการทดลองเป็นส่วนหนึ่งของพลาสมิด pBI 121 ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่า DNA ที่เพิ่มได้นี้เป็นส่วนที่มาจากยีนที่ส่งถ่ายเข้าไปจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Beveridge, J.T. (1999). Structures of gram - negative cell walls and their derived membrane vesicles. *Journal of Bacteriology*. 181(16): 4725-4733.
- Egnin, M., Mora, A. and Prakash, C.S. (1999). Factors enhancing *Agrobacterium tumefaciens* - mediated gene transformation in peanut (*Arachis hypogaea* L.). [Abstract]. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*. 34(4):310-318. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Foolad, R.M., Arulsekhar, R. and Rodriguea, L.R. (1995). Applications of polymerase chain reaction (PCR) to plant genome analysis. In: Gamborg, D.L. and Phillips, G.C. (eds.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture Fundamental Methods*. Berlin: Springer. p. 281-298.
- Hiei, Y., Ohta, S., Komari, T. and Kumashiro, T. (1994). Efficient transformation of rice (*Oryza sativa* L.) mediated by *Agrobacterium* and sequence analysis of the boundaries of the T-DNA. *The Plant Journal*. 6(2):271-282.
- Hughes, A. M. (1996). *Plant Molecular Genetics*. Adinburgh: Longman.
- Jefferson, A. (1989). The *gus* reporter gene system. *Nature*. 342:837-838.

- Lee, B.M., Zapata, C., Park, S.H., ElZik, K.M., Smith, R. and Dugger, P. (1998). Sonication effects and transient gene expression following *Agrobacterium* transformation. [Abstract]. The Proceedings of Beltwide Cotton Conferences, San Diego, California, USA. 5-9 January 1998. 1:488-489. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Lee, B.H., Park, S.H., Srivatanakul, M, Smith, R.H., Dugger, P. and Richter, D. (1999). The influence of *vir* genes on stable T-DNA integration in cotton shoot apices. [Abstract]. The Proceedings of Beltwide Cotton Conferences, Orlando, Florida, USA. 3-7 January 1999. 1:500-502. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Meurer, C.A., Dinkins, R.D. and Collins, G.B. (1998). Factors affecting soybean cotyledonary node transformation. [Abstract]. Plant Cell Reports. 18(3-4):180-186. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Muniswamy, B. and Sreenath, H.L. (1996). Effect of kanamycin on callus induction and somatic embryogenesis in cultured leaf tissue of *Coffea canephora* Pierre (Robusta). [Abstract]. Journal of Coffee Research. 26(1):44-51. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Serghini, M.A., Ritzenthaler, C. and Pinck, L. (1989). A rapid and efficient "miniprep" for isolation of plasmid DNA. Nucleic Acid Research. 17(9):3604-3604.
- Sunilkumar, G., Vijayachandra, K. and Veluthambi, K. (1999). Preincubation of cut tobacco leaf explants promotes *Agrobacterium*-mediated transformation by increasing *vir* gene induction. [Abstract]. Plant Science Limerick. 141(1):51-58. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Yepes, L.M. and Aldwinckle, H.S. (1994a). Micropropagation of thirteen *Malus* cultivars and rootstocks, and effect of antibiotics on proliferation. [Abstract]. Plant Growth Regulation. 15(1):55-67. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Yepes, L.M. and Aldwinckle, H.S. (1994b). Factors that affect leaf regeneration efficiency in apple, and effect of antibiotics in morphogenesis. [Abstract]. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 37(3):257-269. [From CAB; 1998/08-2000/04].
- Zuker, A., Ahroni, A., Tzfira, T., Ben, M.H. and Vainstein, A. (1999). Wounding by bombardment yields highly efficient *Agrobacterium*-mediated transformation of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). [Abstract]. Molecular Breeding. 5(4): 367-375. [From CAB; 1998/08-2000/04].

ผลของกรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก (2,4-ดี) ต่อตัวอ่อน ระยะก่อนฝังตัว และระยะฝังตัวของหนูแฮมสเตอร์

อำพา เหลืองภิรมย์¹, ราชนัฐ สาครเจริญ², ชุตินา หาญจวนิช¹ และพนิจ หวังสมนึก¹

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาร 2,4-ดี ต่อการเจริญและพัฒนาของตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ระยะก่อนฝังตัว และระยะฝังตัวโดยการให้สารทางปากในปริมาณ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน แก่หนูตั้งท้อง ผลต่อตัวอ่อนระยะก่อนการฝังตัว พบว่าสาร 2,4-ดี ปริมาณ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน มีผลทำให้ตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ผิดปกติร้อยละ 13 แต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ผลต่อการฝังตัวของตัวอ่อน พบว่ากลุ่มที่ได้รับสารปริมาณ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน มีจำนวนการฝังตัวของตัวอ่อน/ครอกลดลงร้อยละ 35.06 และพบจำนวนตัวอ่อนสลายหลังการฝังตัวร้อยละ 37.43 ซึ่งมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.05$ ส่วนกลุ่มที่ได้รับสารปริมาณ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน มีจำนวนการฝังตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่พบการสลายตัวของตัวอ่อนหลังการฝังตัวร้อยละ 21.25 และมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าสาร 2,4-ดี จากแม่ไปมีผลต่อการคลี่เวจและการฝังตัวของตัวอ่อน

Abstract

Effects of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) at 0, 100, 200 and 300 mg/kg bw/day orally fed to pregnant golden hamsters (*Mesocricetus auratus*) on their embryos at the pre-implantation and implantation stages were studied. Treatment with 2,4-D at 300 mg/kg bw/day resulted in 13 % of embryos at the pre-implantation (2-cell) stage being abnormal. However, this value was not significantly different from that of the control. Treatment with the chemical at the same dosage caused the number of implanted embryos to decrease by 35.06 %. It also brought about an embryo resorption incidence of 37.43 % which was significantly different (at $p < 0.05$) from the control. Treatment with the chemical at 200 mg/kg bw/day did not affect the number of implanted embryos, but caused the incidence of embryo resorption to be 21.25 % which was significantly different (at $p < 0.05$) from the control. These results indicated that 2,4-D, which was transported from the pregnant hamsters to their embryos, had effects on embryonic cleavage and implantation.

¹ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

² วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล อ. ศาลายา จ.นครปฐม 73170

บทนำ

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชพบแพร่หลายทั่วโลกใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช ทำลายวัชพืช ทำลายเชื้อรา และไวรัสที่เป็นเชื้อโรคระบาดทำลายพืช ด้วยจุดมุ่งหมายในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ประเทศไทยมีรายงานสถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าในปี พ.ศ. 2519 มีการนำเข้าจำนวน 9,552 ตัน ปี พ.ศ. 2533 นำเข้า 35,809 ตัน และในปี พ.ศ. 2538 นำเข้า 38,755 ตัน เป็นต้น ชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชที่นำเข้าสูงสุด 10 ชนิด ได้แก่ methyl parathion, monocrotophos, dimethoate, copper oxychloride sulphur, zineb, 2,4- dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), glyphosate, atrazine, diuron และ alachor และพบว่า 2,4- ดี เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้ามากเป็นอันดับหนึ่ง (นวลศรี ทยาพัชร, 2533)

2,4-ดี เป็นสารกำจัดวัชพืชจำพวกอินทรีย์สารควบคุมวัชพืชหลังออกทำลายพืชใบกว้างประเภทดูดซึมและเคลื่อนย้ายไปตามท่อเลียงอาหาร ได้อย่างรวดเร็ว พบไปสะสมอยู่ตามบริเวณที่มีการใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อน ดอก ผล ปลายราก และเมล็ด (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2540) การฉีดพ่นสาร 2,4-ดี ในแปลงเกษตรกรรมทำให้มีการปนเปื้อนของสาร 2,4-ดี ในน้ำ ดิน และอากาศ สาร 2,4-ดี สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสัตว์ได้หลายทาง เช่น ทางการหายใจ ผิวหนัง และทางปาก มนุษย์และสัตว์ถ้าได้รับสาร 2,4-ดี ในปริมาณมากสามารถทำให้ตายได้ เช่น หนูแรทที่ได้รับสาร 2,4-ดี ในปริมาณ 375 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว สุนัขถ้าได้รับสารนี้ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวและหนูแฮมสเตอร์ถ้าได้รับสาร 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวพบว่าจะทำให้ตายร้อยละ 50 ถ้าได้รับสารในปริมาณที่ไม่ทำให้ตาย จะเกิดพิษสะสมเรื้อรังในร่างกาย เช่น ท้องร่วง อาเจียน เกิดการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อแข็งเกร็งหรือเป็นอัมพาต พิษต่อหัวใจทำให้มีความดันเลือดสูงหรือต่ำกว่าปกติ การเดินของหัวใจช้าลง พิษต่อระบบ

หายใจทำให้เกิดการระคายเคืองในโพรงจมูก ถ้าได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะเกิดการคั่งเลือดในปอดและปอดบวม ผลต่อระบบประสาทพบว่าไปกดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดการง่วงมึนงง หมุดสติ และตาย (WHO, 1984) พิษต่อระบบสืบพันธุ์พบว่าในหนูแรทเพศผู้ที่ได้รับสาร 2,4-ดี ทางปากในปริมาณ 375 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ทำให้อ้วนและต่อมลูกหมากมีขนาดเล็กลงและพบอสุจิรูปร่างผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีผลทำลายตับและไตด้วย (Frazier and Hage, 1997) หนูเมาส์สายพันธุ์ CD-1 เพศเมียที่ได้รับสาร 2,4-ดี ทางปากปริมาณ 124 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว พบว่ามีผลทำให้ฟิตัสมีน้ำหนักตัวลดลงกว่าปกติ มีอัตราการตายของฟิตัสเพิ่มขึ้น และพบฟิตัสมีรูปลักษณะผิดปกติ (teratogenic effect) เช่น มีเพดานโหว่ (cleft palates) หนูแรทเพศเมียที่ได้รับสาร 2,4-ดี ทางปากในปริมาณ 87.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว พบมีอัตราการตายของตัวอ่อนระยะฝังตัว ฟิตัสมีอาการบวมในช่องสมอง มีเลือดตกในช่องท้อง ฟิตัสมีรูปลักษณะผิดปกติ ได้แก่ มีกระดูกซี่โครงจำนวนมากหรือน้อยกว่าปกติ มีการโค้งงอหรือมีการเชื่อมของกระดูกซี่โครง หรือมีการสร้างกระดูกช้ากว่าปกติ (delayed ossification) (Schwetz et al., 1971) นอกจากนี้ 2,4-ดี ยังเป็นสารก่อมะเร็งด้วย มีรายงานว่าหนูแรทที่ได้รับสาร 2,4-ดี ตั้งแต่อายุ 3 สัปดาห์เป็นเวลา 2 ปี พบมีอัตราการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญ (Hanson et al., 1971) มีการศึกษาความเป็นพิษของสาร 2,4-ดี ในหลอดทดลอง พบว่ามีผลยับยั้งการเจริญหรืองอกใหม่ของแขนงของเซลล์ประสาท (neurite extension) เนื่องจากมีไมโครทิวบูลลดลง (Steven and Sumner, 1991) มีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์ของยุง (Ahmad and Ali, 1994) มีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเซลล์สืบพันธุ์แมลงหวี่ (Tripathy et al., 1993) ยับยั้งการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนไก่ (Arias, 1995) Kim et al. (1996) รายงานว่าสาร 2,4-ดี สามารถผ่านจากเลือดแม่สู่ลูกทางรกได้ และไม่มีผล

ต่อฟัดส์ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองให้สาร 2,4-ดี แก่กระด่ายที่ดักท้องได้ 30 วัน พบว่าสามารถตรวจพบสาร 2,4-ดี ในเลือด ของเหลวในสมองและของเหลวในไขสันหลังของฟัดส์มีปริมาณเท่ากับที่ตรวจพบในเลือดของแม่กระด่ายภายใน 2 ชั่วโมง หลังฉีด วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของสาร 2,4-ดี ในปริมาณต่ำกว่าค่าที่ทำให้ตายร้อยละ 50 (LD 50) ต่อตัวอ่อนระยะก่อนฝังตัว (วันที่ 1-2 ของการดักท้อง) และระยะฝังตัว (วันที่ 3-7 ของการดักท้อง)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สัตว์ทดลอง

หนูแฮมสเตอร์ (*Mesocricetus auratus*) เพศเมียอายุ 40 วัน จากหน่วยสัตว์ทดลอง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำมาเลี้ยงในเรือนสัตว์ทดลองของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}$ ซ. แสงสว่าง : มืด = 14:10 ให้น้ำประปาและอาหารเม็ด (บริษัท เจริญโภคภัณฑ์ จำกัด) ตลอดเวลา เลี้ยงในกรงขนาด $16 \times 30 \times 10$ นิ้ว มีซี่เลื่อยเป็นวัสดุรองนอน ตรวจวงสืบพันธุ์สัตว์ทดลองและทำการผสมพันธุ์ วันที่พบสเปิร์มนับเป็นวันที่ 1 ของการดักท้อง (gestation day 1, GD 1)

2. สารละลายกรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซี อะซิติก (2,4-ดี)

สารละลาย 2,4-ดี (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) ชื่อการค้าเอสเตอร์ ในรูป butyl ester 72% w/v E.C. (บริษัท เจียใต้ จำกัด) นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 30 เท่าได้เป็น stock solution เข้มข้น 24 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นทำให้เจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการเพื่อป้อนสัตว์ทดลอง

3. การทดลอง

3.1 ผลของสาร 2,4-ดี ต่อการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนระยะก่อนฝังตัว (ระยะ 2 เซลล์)

หนูแฮมสเตอร์เพศเมียที่ดักท้องแล้ว 1 วัน

(GD 1) จำนวน 40 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 10 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุมป้อนด้วยน้ำกลั่น

กลุ่มที่ 2 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

กลุ่มที่ 3 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

กลุ่มที่ 4 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

ป้อนน้ำกลั่น และสารละลาย 2,4-ดี ในวัน

GD1 - GD2 เวลา 08.00 น. วัน GD2 เวลา 14.00 น.

นำหนูมาฆ่าและผ่าตัดหน้าท้อง ตัดท้องนำไปมาชะล้างตัวอ่อนด้วยน้ำเกลือ (0.9% NaCl) นับจำนวนตัวอ่อนทั้งหมด ตัวอ่อนปกติ และจำนวนตัวอ่อนผิดปกติภายใต้กล้อง inverted microscope

3.2 ผลของสารละลาย 2,4-ดี ต่อการฝังตัวของตัวอ่อน (อายุ 7 วัน)

หนูแฮมสเตอร์เพศเมียที่ดักท้องแล้ว 1 วัน

(GD1) จำนวน 40 ตัว แบ่งการทดลองเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุมป้อนด้วยน้ำกลั่น

กลุ่มที่ 2 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

กลุ่มที่ 3 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

กลุ่มที่ 4 กลุ่มทดลองป้อนด้วยสารละลาย

2,4-ดี 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

ป้อนน้ำกลั่นและสารละลาย 2,4-ดี ในวัน

GD3 - GD7 เวลา 08.00 น. วัน GD 7 เวลา 14.00 น.

ตัดรังไข่ นับจำนวนคอร์ปัสลูเทียม ตัดมดลูกนับจำนวนจุดฝังตัวของตัวอ่อนทั้งหมด จำนวนจุดฝังตัวอ่อนปกติ และนับจำนวนจุดฝังตัวของตัวอ่อนที่มีการสลายตัวของตัวอ่อน คำนวณค่าการฝังตัวเป็นร้อยละ จากนั้นสุ่มตัดจุดที่มีการฝังตัวปกติ และจุดที่มีการฝังตัวผิดปกติ นำมารักษาภาพเนื้อเยื่อด้วยสารละลาย Bouin และทำเป็นสไลด์ถาวรด้วยกรรมวิธีพาราฟิน ตัดเนื้อเยื่อหนา 7 ไมโครเมตร ย้อมด้วยสี hematoxylin

และ eosin (H & E) (Humason, 1979) ศึกษาจุลพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงและถ่ายภาพ

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จำนวนคอร์ปัสคูลเทียม จำนวนตัวอ่อนทั้งหมด ตัวอ่อนที่ผิดปกติ จำนวนการฝังตัวของตัวอ่อนในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง นำมาเปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ด้วยวิธี one-way analysis of variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS (statistical package of social science, 1995)

ผลการทดลอง

1. ผลของสาร 2,4-ดี ต่อการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนระยะก่อนฝังตัว (ระยะ 2 เซลล์)

จากการป้อนสารละลาย 2,4-ดี แก่หนูแฮมสเตอร์ที่ตั้งท้องวันที่ 1-2 และทำการตรวจสอบจำนวนตัวอ่อนในวันที่ 2 ของการตั้งท้อง พบว่าจำนวนตัวอ่อน/ครอก ของกลุ่มที่ได้รับสารละลาย 2,4-ดี ปริมาณ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/

กิโลกรัมน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 9.70 ± 0.62 , 9.10 ± 0.84 , 9.70 ± 0.99 และ 10.10 ± 0.43 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) พบไซโกตที่ไม่แบ่งเซลล์ (ระยะ 1 เซลล์) (รูปที่ 1A) ของกลุ่มควบคุมคิดเป็นร้อยละ 1.03 และกลุ่มที่ได้รับสารละลาย 2,4-ดี ปริมาณ 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว คิดเป็นร้อยละ 13.19, 3.09 และ 2.0 ตามลำดับ พบตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ปกติ (รูปที่ 1B) ในกลุ่มควบคุม คิดเป็นร้อยละ 98.99 และกลุ่มที่ได้รับสาร 2,4-ดี ปริมาณ 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว คิดเป็นร้อยละ 82.44, 92.78 และ 85.0 ตามลำดับ และยังพบตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ที่มีความผิดปกติสองลักษณะ ได้แก่ ชั้นโซนาเพลูซิดา (zona pellucida, ZP) กว้าง (รูปที่ 1C) และเซลล์พลาสต์โตเมียร์หลุดออกจากโซนาเพลูซิดา (รูปที่ 1D และ 1E) ซึ่งไม่พบในกลุ่มควบคุม แต่พบในกลุ่มได้รับสาร 2,4-ดี ปริมาณ 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว คิดเป็นร้อยละ 4.30, 4.12 และ 13.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของ 2,4-ดี ต่อการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ในวันที่ 1-2 ของการตั้งท้อง

	กลุ่มควบคุม ป้อนด้วยน้ำกลั่น (n = 10)	2,4-ดี (มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน)		
		100 (n = 10)	200 (n = 10)	300 (n = 10)
คอร์ปัสคูลเทียม/ครอก ^c	13.10 ± 2.07	13.00 ± 1.82	14.20 ± 1.93	13.50 ± 1.77
จำนวนไซโกตและตัวอ่อนทั้งหมด	97	91	97	100
จำนวนตัวอ่อน/ครอก ^c	9.70 ± 0.62	9.10 ± 0.84	9.70 ± 0.99	10.10 ± 0.43
จำนวน 1 เซลล์ (%)	1(1.03)	12(13.19)	3(3.09)	2(2.0)
จำนวน 2 เซลล์ปกติ (%)	96(98.99)	75(82.44)	90(92.78)	85(85.0)
จำนวน 2 เซลล์ผิดปกติ (%)	0(0)	1(4.30)	4(4.12)	13(13.01)

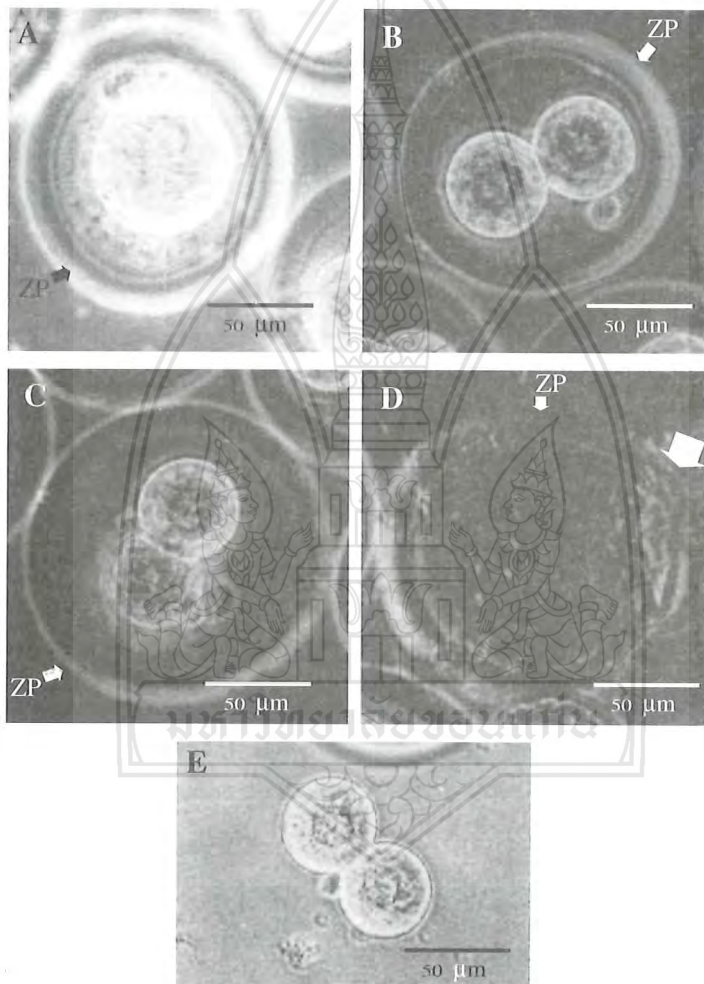
c = ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(n) = จำนวนสัตว์ทดลอง

2. ผลของสารละลาย 2,4-ดี ต่อการฝังตัวของตัวอ่อน

หนูแฮมสเตอร์ที่ได้รับสารละลาย 2,4-ดี ปริมาณ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว ในวันที่ 3-7 ของการตั้งท้อง พบว่า จำนวนการฝังตัวของตัวอ่อนมีค่าเท่ากับ 10.70 ± 2.00 , 11.00 ± 1.54 , 11.10 ± 1.19 และ 10.72 ± 2.10 ตำแหน่ง/

ครอก พบการฝังตัวของตัวอ่อนปกติในกลุ่มได้รับสารละลาย 2,4-ดี ปริมาณ 0 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว คิดเป็นร้อยละ 79.2 และ 75.35 ส่วนกลุ่มที่ได้รับสารละลาย 2,4-ดี ปริมาณ 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว พบว่าการฝังตัวปกติลดลงคิดเป็นร้อยละของการฝังตัว 66.14 และ 44.46 ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1 ตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ที่ได้รับ 2,4-ดี ในวันที่ 1-2 ของการตั้งท้อง A: ไชโกตระยะ 1 เซลล์ กลุ่มได้รับ 2,4-ดี 100 มก./กก. น้ำหนักตัว B: ตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ปกติในกลุ่มควบคุม C: ตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ผิดปกติ มีโซนาเพลูซิด้ากว้าง ในกลุ่มได้รับ 2,4-ดี 200 มก./กก. น้ำหนักตัว D: ตัวอ่อนที่พบรอยแตกของโซนาเพลูซิด้า และบลาสโตเมียร์แตกออก (↑) และ E: บลาสโตเมียร์ระยะ 2 เซลล์ที่แตกออกจาก โซนาเพลูซิด้า ในกลุ่มได้รับ 2,4-ดี 300 มก./กก. น้ำหนักตัว ZP = zona pellucida

($p < 0.05$) พบจำนวนของการสลายตัวของตัวอ่อน หลังการฝังตัว (resorption site) ในกลุ่มที่ได้รับ สารละลาย 2,4-ดี ในปริมาณ 100 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว คิดเป็นร้อยละ 12.36 และ 21.25 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุมซึ่งมีค่า คิดเป็นร้อยละ 4.72 ส่วนกลุ่มที่ได้รับสารละลาย 2,4-ดี 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวพบมีการ สลายของตัวอ่อนหลังการฝังตัวเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 37.43 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบ

กับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2) การสลาย ของตัวอ่อนหลังการฝังตัวที่พบในการศึกษาในครั้งนี้มี 3 ลักษณะ ได้แก่ ตัวอ่อนมีการตั้งของเซลล์เม็ดเลือดแดงบริเวณที่มีการฝังตัว (รูปที่ 2B) ตัวอ่อนที่ไม่พบ การฝังตัวและมีการตั้งของเซลล์เม็ดเลือดแดงรอบ ๆ ตัวอ่อนในท่อมดลูก (รูปที่ 2C) และพบการตั้งของ เม็ดเลือดแดงตรงตำแหน่งที่มีการฝังตัวแต่ไม่พบตัวอ่อน (รูปที่ 2D)

ตารางที่ 2 ผลของ 2,4-ดี ต่อการฝังตัวของตัวอ่อนในหนูแฮมสเตอร์

	กลุ่มควบคุม	2,4-ดี (มก./กก.น้ำหนักตัว/วัน)		
	ป้อนด้วยน้ำกลั่น (n = 10)	100 (n = 10)	200 (n = 10)	300 (n = 10)
จำนวนคอร์ปัสลูเทียม/ครอก ^c	12.70 ± 2.31	12.54 ± 2.25	12.70 ± 2.0	13.09 ± 2.30
จำนวนการฝังตัว/ครอก ^c	10.70 ± 2.00 (84.25%)	11.00 ± 1.54 (87.71%)	11.10 ± 1.19 (87.40%)	10.72 ± 2.10 (81.89%)
จำนวนการฝังตัวปกติ/ครอก ^c	10.10 ± 0.63a (79.52%)	9.45 ± 0.56a (75.35%)	8.40 ± 0.72 (66.14%)	5.82 ± 1.70b (44.46%)
จำนวนการสลายของตัวอ่อน	0.60 ± 0.27a	1.55 ± 0.39a	2.70 ± 0.30a	4.90 ± 1.25b
หลังการฝังตัว/ครอก ^c	(4.72%)	(12.36%)	(21.25%)	(37.43%)

c = ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, (n) = จำนวนสัตว์ทดลอง, a = ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม,

b = แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

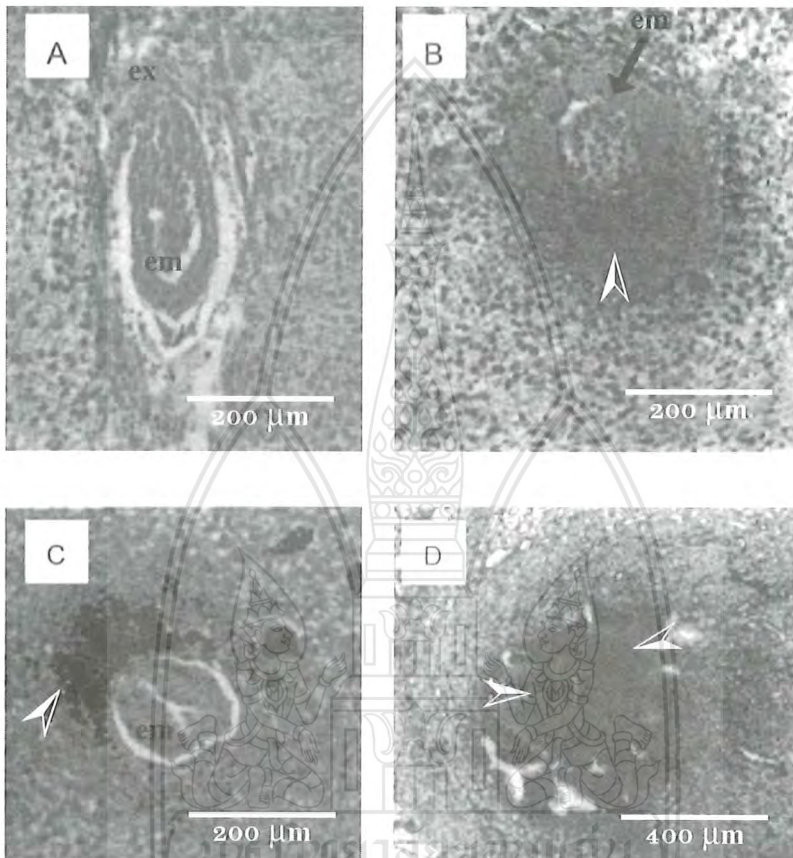
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

หนูแฮมสเตอร์ที่ได้รับสาร 2,4-ดี ในปริมาณ 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวในวันที่ 1-2 ของการตั้งท้องมีตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ผิดปกติคิดเป็นร้อยละ 4.3, 4.5 และ 13.0 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม ควบคุม ลักษณะผิดปกติที่พบได้แก่ ชันโซนาเพลูซิด้ากว้างกว่าปกติ และบางตัวอ่อนพบเซลล์บลาสโตเมียร์แตกหลุดออกจากชันโซนาเพลูซิด้า ซึ่งทั้งสอง

ลักษณะนี้ไม่พบในกลุ่มควบคุม การที่ไข่โกตมีการแบ่งเซลล์ (คลีเวจ) เป็นตัวอ่อนหลังการปฏิสนธิใน ท่อนำไข่ต้องอาศัยปัจจัยที่เหมาะสมภายในท่อนำไข่ ซึ่งได้แก่ โปรตีน เอนไซม์ และไกลโคเจนซึ่งมีความ สำคัญต่อการแบ่งเซลล์และการมีชีวิตของตัวอ่อน (Beaudoin, 1980) สาร 2,4-ดี เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูก ลำเลียงตามกระแสเลือดจับกับอัลบูมิน และลำเลียง ไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายรวมถึงมดลูก และท่อนำ ไข่ภายใน 7-24 ชั่วโมง (WHO, 1984; Rosso et al.,

1998) Kim et al. (1994) รายงานว่าหนูที่ได้รับการป้อนสาร 2,4-ดีในปริมาณ 10, 50 และ 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว สามารถตรวจพบสาร 2,4-ดี ในของเหลวในสมองและไขสันหลังภายใน 9 ชั่วโมงหลังได้รับสาร แสดงว่าสาร 2,4-ดี สามารถดูดซึม

จากทางเดินอาหารเข้าสู่กระแสเลือดและของเหลวต่างๆ ของร่างกายได้ภายใน 9 ชั่วโมง จากการทดลองครั้งนี้ให้สาร 2,4-ดี เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (2 วัน) คาดว่าสาร 2,4-ดี ถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารเข้าสู่กระแสเลือดและเข้าสู่ท่อนำไข่และมดลูก ไปมีผลทำให้



รูปที่ 2

ภาพตัดตามยาวของมดลูกตรงตำแหน่งที่มีการฝังตัวของตัวอ่อนอายุ 7 วัน ของหนูแฮมสเตอร์ที่ได้รับ 2,4-ดี ปริมาณ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ในวันที่ 3-7 ของการตั้งท้อง

B: มดลูกตรงตำแหน่งที่มีการฝังตัวปกติของตัวอ่อน พบตัวอ่อนฝังตัวในมดลูก

C: มดลูกตรงตำแหน่งที่มีการสลายของตัวอ่อนหลังการฝังตัว พบตัวอ่อนและมีการคั่งของเซลล์เม็ดเลือดบริเวณฝังตัว (ลูกศรชี้ A)

D: มดลูกตรงตำแหน่งที่มีการฝังตัวผิดปกติและการสลายของตัวอ่อนพบว่ามีการคั่งของเซลล์เม็ดเลือดแดงรอบ ๆ ตัวอ่อน (ลูกศรชี้ A) em = embryo, ex = extraembryonic ectoderm, l = lumen

สภาวะแวดล้อมภายในห้องนำไปไม่เหมาะสมต่อการแบ่งเซลล์ทำให้การแบ่งเซลล์ช้าลง จึงพบไซโทคระยะ 1 เซลล์ในกลุ่มที่ได้รับสาร 2,4-ดี ด้วยแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม Rivarola (1992) รายงานว่าสาร 2,4-ดี มีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ในหลอดทดลอง นอกจากนี้มีรายงานผลของ 2,4-ดี กับสัตว์หลายชนิด เช่น มีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของตัวอ่อนยุง (*Culex pipien fatigans*) (Ahmad and Ali, 1994) ในไข่ไก่ที่กำลังฟัก ถ้าได้รับสาร 2,4-ดี เข้าในช่องอากาศ (air cell) ในปริมาณ 1, 2 และ 4 มิลลิกรัม/ฟอง ในวันที่ 10 ของการฟักจะมีผลทำให้วัฏจักรของการแบ่งเซลล์ช้าลง และพบอัตราการแบ่งเซลล์ลดลง (Arias, 1995) การศึกษาครั้งนี้พบการแบ่งเซลล์ของตัวอ่อนผิดปกติ ในกลุ่มที่ได้รับสาร 2,4-ดี ในวันที่ 1-2 ของการตั้งท้องทุกกลุ่ม แต่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Beaudoin (1980) ที่รายงานว่าตัวอ่อนของหนูแรทขณะที่กำลังแบ่งเซลล์ก่อนฝังตัวมีความต้านทานต่อสารเคมี และสารที่ก่อให้เกิดลักษณะผิดปกติได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเจริญและพัฒนาของตัวอ่อนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมระยะคลีเวลก่อนการฝังตัวมีความต้านทานต่อสารเคมีที่ทำให้เกิดรูปร่างผิดปกติมากกว่าระยะที่มีการสร้างอวัยวะและระยะฟัตัส (Manson and Kang, 1954; Schmidt and Johnson, 1997)

การศึกษาผลของสาร 2,4-ดี ต่อตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ในวันที่ 3 - 7 ของการตั้งท้องซึ่งเป็นระยะที่ตัวอ่อนกำลังฝังตัว พบว่ามีผลทำให้การฝังตัวของตัวอ่อนในมดลูกลดลงแบบสัมพันธ์ตรงกับความเข้มข้นสาร 2,4-ดีที่ได้รับ โดยกลุ่มที่ได้รับสาร 2,4-ดี ปริมาณ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว มีการฝังตัวลดลงร้อยละ 79.52, 75.35, 66.14 และ 44.46 ตามลำดับ และมีการสลายตัวอ่อนหลังการฝังตัวคิดเป็นร้อยละ 4.72, 12.36, 21.25 และ 37.43 ตามลำดับ Beaudoin (1980) รายงานว่าหนูแรทระยะ

ตัวอ่อนฝังตัวและระยะตัวอ่อนสร้างอวัยวะเป็นระยะที่อ่อนแอและไวต่อสารเคมี Rivarola (1992) รายงานว่า 2,4-ดี มีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ของตัวอ่อนของหนูแฮมสเตอร์ในหลอดทดลอง โดย Rosso et al. (2000) รายงานว่า 2,4-ดี ไปทำลายไซโทสเกเลตัน และกอลจิแอปพาราตัสของเซลล์ นอกจากนี้มีการศึกษาของ Jannaccone et al. (1992) พบว่า สาร 2,4-ดี มีผลทำให้ตัวอ่อนของหนูเมาส์ระยะฝังตัวและหลังฝังตัว (วันที่ 8 - 9 ของการตั้งท้อง) มีการตายและมีการสลายของตัวอ่อนหลังการฝังตัว โดยสาร 2,4-ดี มีผลทำให้เกิดการกลายพันธุ์ของยีนที่มีต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และยับยั้งการสร้างเนื้อเยื่อมีโซเดิร์มของตัวอ่อน Desesso (1997) พบว่าช่วงเวลาของการพัฒนาของตัวอ่อนที่ไวต่อสารเคมีมีความแตกต่างกันในสัตว์แต่ละชนิด เช่น คนและลิงระยะตัวอ่อนอายุ 10 - 12 วัน หนูเมาส์และหนูแฮมสเตอร์ระยะตัวอ่อนอายุ 5 วัน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำงานวิจัย และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาชีววิทยาที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

- นวลศรี ทยาพัชร. (2533). ปัญหาสารพิษทางการเกษตรในประเทศไทย: รายงานวิชาการกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร.
- สุภาณี พิมพ์สมาน. (2540). สารฆ่าแมลง. โครงการตำราและเอกสารทางวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น.
- Ahmad, W. and Ali, M.N. (1994). Cytotoxic assay

- of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by mitotic index profiles in *Culex pipens fatigans*, Mitt. Scheiz. Entamol. Ges. 67:169-175.
- Arias, E. (1995). Cytogenetic and cytokinetic effect of 2,4-D on B lymphocytes during development of the chick embryo. *In Vitro Toxicology*. 8(1):65-67.
- Beaudoin, R.A. (1980). Embryology and teratology. In : Baker, H.J. Lindsey, J.R. and Weishbroth, S.H. (eds.). The Laboratory Rat. Volume II. Research Applications. California: Academic Press. p.75-101.
- Dessesso, M.J. (1997). Comparative embryology. In: Hood, D.R. (ed.). Handbook of Developmental Toxicology. New York: CRC Press. p.111-134.
- Frazier, L.M. and Hage, L.M. (1997). Reproductive Hazards of Workplace. New York: International Thomson Publishing.
- Hanson, W.H., Quaife, M.L., Habernann, R.T. and Fitzhugh, O.G. (1971). Chronic toxicology of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in rats and dogs. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 20:122-129.
- Humason, G.L. (1979). Animal Tissue Techniques. 4th ed. San Francisco: Freeman. p.195-196.
- Jannaccone, P.M., Zhou, X., Khokha, D. and Kuehn, M.R. (1992). Insertional mutation of a gene involved in growth regulation of the embryo. *Developmental Dynamics*. 194:198-208.
- Kim, C.S., Gargas, M.L. and Anderson, M.E. (1994). Pharmacokinetic modeling of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in rat and rabbit following single dose administration. *Toxicology Letters*. 74(3):181-201.
- Kim, C.S., Binienda, Z. and Sanberg, J.A. (1996). Construction of a physiologically based pharmacokinetic model for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid dosimetry in the developing rabbit brain. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 136:250-259.
- Manson, J.M. and Kang, Y.J. (1994). Test method for assessing female reproductive and developmental toxicology. In: Hayes, A.W. (ed.). Principles and Method of Toxicology. 3rd ed. New York: Raven Press. p.989-1037.
- Rivarola, V., Mori, G. and Baleyno, H. (1992). 2,4-Dichlorophenoxyacetic action on *in vitro* protein synthesis and its relation to polyamines. *Drugs and Chemical Toxicology*. 15:245-257.
- Rosso, S.B., Gonzalez, M., Bagatolli, L.A., Duffard, R.O. and Fedelio, G.D. (1998). Evidence of strong interaction of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide with human serum albumin. *Life Science*. 63(26):2343-2351.
- Rosso, S.B., Caceres, O.A., Duffard, A.M., Duffard, R. and Quiroga, S. (2000). 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid disrupts the cytoskeleton and disorganizes the golgi apparatus of cultured neurons. *Toxicological Science*. 56:133-140.
- Schmidt, R.R. and Johnson, M.E. (1997). Principles of Teratology. In: Hood, D.R. (ed.). Handbook of Developmental Toxicology. New York: CRC Press. p.3-12.
- Schwetz, B.A., Sparschu, G.L. and Gehring, P.J. (1971). The effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and esters of 2,4-D

on rat embryonal, foetal and neonatal growth and development. Food and Cosmetics Toxicology. 9:801-817.

Steven, J.T. and Sumner, D.D. (1991). Herbicides. In: Hayes, J.W. and Laws, E.R., (eds). Handbook of Pesticides Toxicology. Volume 3. Classes of Pesticides. New York: Academic Press. p.1317-1332.

Tripathy, N.K., Routray, P.K., Sahu, G.P. and Kumar, A.H. (1993). Genetotoxicology of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid tested in somatic and germ-line cells of *Drosophila*. Mutation Research. 319(3):137-242.

World Health Organization. (1984). 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D): Environmental Health Criteria. Geneva, Finland.



การเจริญเติบโตของผลกระทอนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ได้รับ และไม่ได้รับการห่อ : ลักษณะภายใน

จรีรัตน์ นามประดิษฐ์¹, มานิตย์ โหมยิตระกุล², สุมณ มาสุธน³ และ กวิศร์ วานิชกุล⁴

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโตของผลกระทอนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ได้รับและไม่ได้รับการห่อ ณ ตำบลคลองน้ำเค็ม อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี ระหว่างเดือน มิถุนายน 2542 ถึง เดือนตุลาคม 2543 ทำการห่อผลเมื่ออายุได้ 9 สัปดาห์ ในด้านลักษณะภายใน พบว่าเมล็ดของผลที่ได้รับและไม่ได้รับการห่อมีรูปแบบของการเติบโตเป็น single sigmoidal curve ปุยหุ้มเมล็ด (aril) เริ่มปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 10 ผลเริ่มแก่ในสัปดาห์ที่ 15 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids content) ของน้ำคั้นจากเนื้อผล (pericarp) และน้ำคั้นจากปุยหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นตามอายุของผล ในขณะที่กรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ลดลง

Abstract

A study on the growth and development in bagged and nonbagged fruits of santol (*Sandoricum koetjape* (Burm. f.) Merr.) cv. Pui-phai was conducted at a fruit orchard in Klongnamkem subdistrict, Laemsing district, Chantaburi province during June 1999-October 2000. Fruits were bagged at the age of 9 weeks after fruit set. It was found that the growth pattern of seed was characterized by a single sigmoidal curve. The aril was apparent in week 10. The period from fruit set to fruit maturation was 15 weeks. The soluble solids contents of pericarp and aril juice increased, but their titratable acidity decreased with increasing maturity.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 6 อ.แหลมสิงห์ จ.จันทบุรี 22190

² ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

³ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

คำนำ

กระท้อนเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักกันดี มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sandoricum koetjape* (Burm.f.) Merr. หรือมีชื่อพ้องว่า *Sandoricum indicum* Cav. เป็นไม้ผลยืนต้นอยู่ในวงศ์ Meliaceae (เต็ม สมิตินันต์, 2523; สะอาด บุญเกิด และคณะ, 2525) มีชื่อสามัญว่า santol กระท้อนจัดเป็นผลไม้ที่มีหลายเมล็ดชนิด berry (Coronel, 1983) ประกอบด้วยเนื้อผล (pericarp) ที่มีลักษณะหนาและเหนียว ปุยหุ้มเมล็ด (aril) มีสีขาวลักษณะฟูชุ่มน้ำ มีเมล็ดประมาณ 3-5 เมล็ด ลักษณะของผลในแต่ละพันธุ์แตกต่างกันทั้ง รูปร่างและสีผล (สุลธิ์ รัชญูโนทัย, 2533)

กระท้อนพันธุ์ปุยฝ้ายเป็นกระท้อนหวานพันธุ์หนัก ผลมีขนาดกลางถึงค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักผลประมาณ 400-800 กรัม ทรงผลกลมหรือแป้น ด้านก้นผลเรียบ ด้านขั้วผลนูนขึ้น ขั้วผลสั้น เปลือกบาง ที่ผิวมีขนอ่อนนุ่ม ผิวของผลเมื่อสุกมีสีเหลืองอมน้ำตาล บางผลมีรอยขรุขระเล็กน้อย เนื้อผลมีรสหวานอมเปรี้ยวไม่ฝาด ปุยหุ้มเมล็ดหนาฟูและมีรสหวานจัด เมล็ดแบนมีขนาดใหญ่ (ทวีศักดิ์ ค้วงทอง, 2535)

โดยทั่วไป การเติบโตของผลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตรของผลมี 2 รูปแบบ รูปแบบแรกเรียกว่า single sigmoidal curve หรือ simple sigmoidal curve และแบบที่สองเรียกว่า double sigmoidal curve (Coombe, 1976) นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงด้านขนาด น้ำหนักและปริมาตรแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีควบคู่ไปด้วย โดยมีการเปลี่ยนแปลงของสารที่สะสมในผลซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงระหว่างการเจริญเติบโตของผล เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาล ไขมัน กรดอินทรีย์ สารประกอบฟีนอล สารสี (pigments) และ วิตามิน (दनัย บุญเกียรติ, 2531) ในขณะที่ผลสุกมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมี เช่น การอ่อนนุ่มของผล หรือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่ออันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ การเปลี่ยนสีของผิวหรือเปลือกอันเนื่องมาจากการแตกสลายของ

คลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์สารสีบางชนิด เช่น แครโทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน การหายใจและการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสารบางชนิด เช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาล (สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์, 2526; จิรา ณ หนองคาย, 2531; สัมฤทธิ์ เพื่องจันทร์, 2537; Leopold and Kriedemann, 1975) และอาจมีการเปลี่ยนไขมันให้เป็นน้ำตาล (สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์, 2526) รวมทั้งการลำเลียงน้ำตาลจากส่วนอื่นของพืชไปยังผล (Whiting, 1970) ระหว่างการสุกของผลมีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์หลายชนิด (สายชล เกตุยา, 2528; จิรา ณ หนองคาย, 2531) ปริมาณของกรดอินทรีย์ลดลงเนื่องจากถูกใช้เป็นตัวขับเคลื่อนในการหายใจ (Ulrich, 1970) นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติ (Seymour et al., 1993)

ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลิตกระท้อนคือการห่อผล (นิรนาม, 2534) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลโดยตรง เกษตรกรถือว่าการห่อผลเป็นสิ่งจำเป็น โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ประการแรกคือเพื่อป้องกันและลดการเข้าทำลายของแมลงวันทอง ผลที่ไม่ได้รับการห่อจะถูกแมลงวันทองเข้าทำลาย ร่วงหล่นเสียหาย และประการที่ 2 เพื่อเพิ่มคุณภาพของผล โดยเกษตรกรเชื่อว่าการห่อผลทำให้คุณภาพของผลดีขึ้น เช่น สีผิวของผลสวยงามสม่ำเสมอ ไม่กร้าน เนื้อผลนุ่ม ขนาดของผลใหญ่ขึ้น เป็นต้น (วรวรรณ (นามแฝง), 2527; ชีรพงษ์ พงษ์นิตกร, 2535)

ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับกระท้อนในประเทศไทยมีน้อยมาก และยังไม่เคยมีการศึกษาในเรื่องของการเจริญเติบโตของผล ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาในเรื่องดังกล่าว ทั้งภายใต้สภาพที่มีการห่อและไม่มีการห่อ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการผลิตและควบคุมคุณภาพของผล และเพื่อศึกษาอิทธิพลของการห่อต่อการเจริญเติบโตของผล

อุปกรณ์และวิธีการ

เลือกต้นกระท้อนพันธุ์ปูยฝ้ายที่มีขนาดของทรงพุ่มและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ได้รับการปฏิบัติดูแลเหมือนกัน อายุประมาณ 8 ปี จำนวน 10 ต้น จากของสวนเกษตรกร ในตำบลคลองน้ำเค็ม อำเภอสว่างวีรกรรม จังหวัดจันทบุรี ทำเครื่องหมายกับผลที่ติดในรุ่นเดียวกันประมาณ 240 ผล โดยแยกออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนหนึ่งใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของผลที่ไม่ได้รับการห่อ ส่วนที่เหลือใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของผลที่ได้รับการห่อด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาลเมื่อผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร หรือเมื่อมีอายุประมาณ 9 สัปดาห์หลังติดผล สุ่มเก็บตัวอย่างผลทั้งที่ได้รับการและไม่ได้รับการห่อ ตัวอย่างละ 6 ผลทุกสัปดาห์ ตั้งแต่ผลมีอายุได้ 7 วันหลังติดผลจนกระทั่งผลแก่

ผลที่สุ่มเก็บมาในแต่ละสัปดาห์ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะภายในดังนี้ วัดความหนาของเนื้อผล ขนาดของพูหุ้มเมล็ดและเมล็ด (ความกว้าง ความยาว และความหนา) ด้วยเวอร์เนียร์ แคลิเปอร์หลังจากผ่าครึ่งผลกระท้อนตามขวาง ซึ่งน้ำหนักของเนื้อผล พูหุ้มเมล็ด และเมล็ด วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids content, SSC) ของน้ำคั้นเนื้อผลหรือพูหุ้มเมล็ดด้วยมาตรครรชนิกหักเห (refractometer) ไทเทรตน้ำคั้นเนื้อผลหรือพูหุ้มเมล็ดที่มีปริมาตร 2 มิลลิลิตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์แมล (N) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนที่มีความเข้มข้น 1% เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำค่าปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดซิตริกจากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (\%)} = \frac{\text{N NaOH} \times \text{มล. NaOH} \times \text{meq.wt. ของกรดซิตริก} \times 100}{\text{มล. ของน้ำคั้นที่ใช้}}$$

โดย milliequivalent weight (meq. wt.) ของกรดซิตริก มีค่าเท่ากับ 0.0064 และวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในผิวผลตามวิธีของ Witham et al. (1979) ซึ่งดัดแปลงโดยสุชัยญา จันทร์ ทักษิณภาส (2530)

ผลการทดลอง

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของผลกระท้อนพันธุ์ปูยฝ้ายที่ได้รับการและไม่ได้รับการห่อ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภายในตามอายุของผลดังนี้

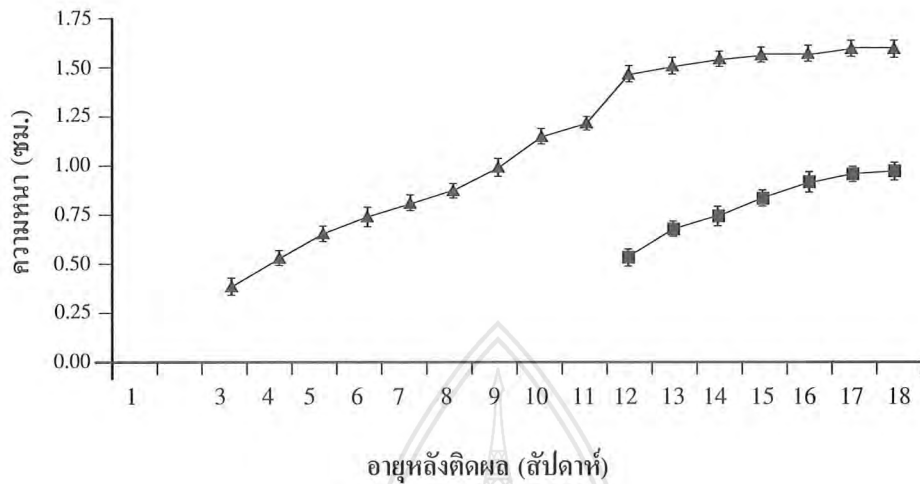
1. ลักษณะในเชิงปริมาณ

ความหนาของเนื้อผล ความหนาเนื้อของผลที่ไม่ได้รับการห่อเพิ่มขึ้นตามขนาดและน้ำหนักของผลที่อายุ 3 สัปดาห์ ผลมีความหนาเนื้อ 0.36 เซนติเมตร ความหนาของเนื้อผลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเป็น 1.44 เซนติเมตร หลังจากนั้นความหนาของ

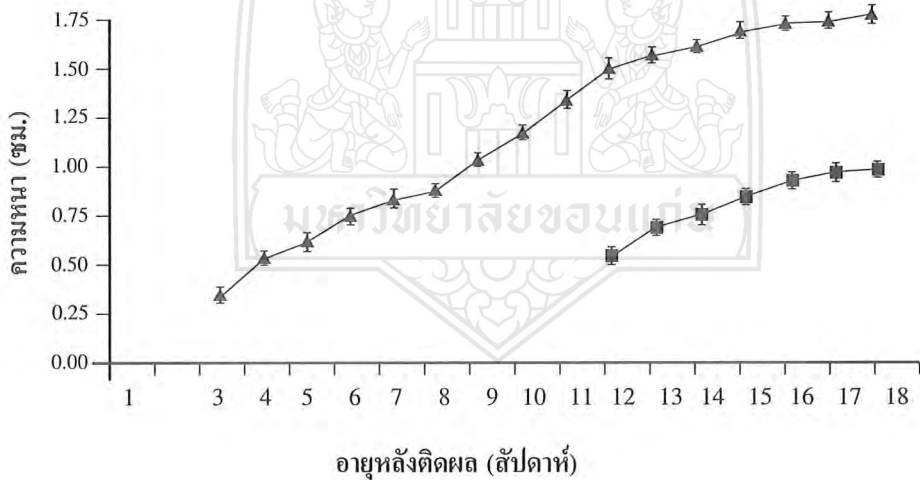
เนื้อเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 1)

ส่วนผลที่ได้รับการห่อนั้น มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของเนื้อผลในทำนองเดียวกัน โดยมีความหนาเนื้อ 0.33 และ 1.47 เซนติเมตร เมื่อผลมีอายุ 3 และ 12 สัปดาห์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อผลมีอายุมากขึ้นกลับมีแนวโน้มว่าผลที่ได้รับการห่อมีความหนาของเนื้อผลมากกว่าผลที่ไม่ได้รับการห่อเล็กน้อย (รูปที่ 2)

ความหนาของพูหุ้มเมล็ด ความหนาของพูหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นตามขนาดและน้ำหนักของผล โดยผลที่ไม่ได้รับการห่อมีความหนาของพูหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0.51 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 12 ไปเป็น 0.90 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 16 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเวลาต่อมา (รูปที่ 1) ผลที่ได้รับการห่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของพูหุ้มเมล็ดในทำนองเดียวกันกับผลที่ไม่ได้รับการห่อ (รูปที่ 2)



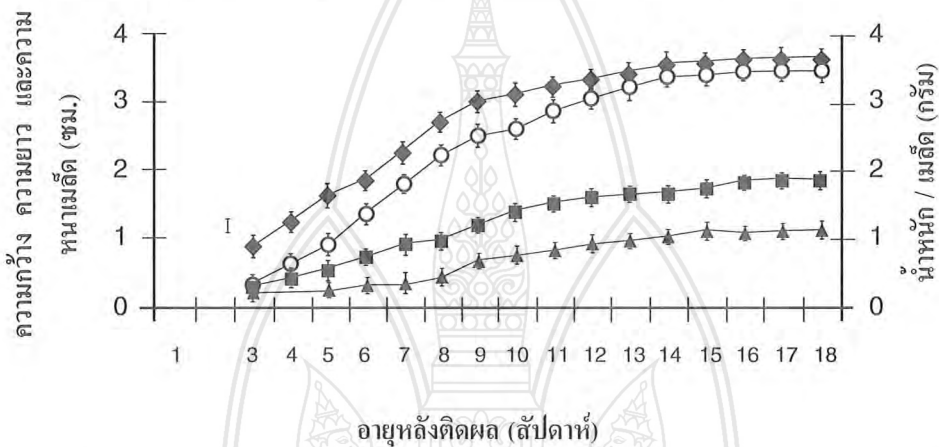
รูปที่ 1 ความหนาของเนื้อผล (-▲-) และปุยหุ้มเมล็ด (-■-) ของผลกระท้อนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ไม่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)



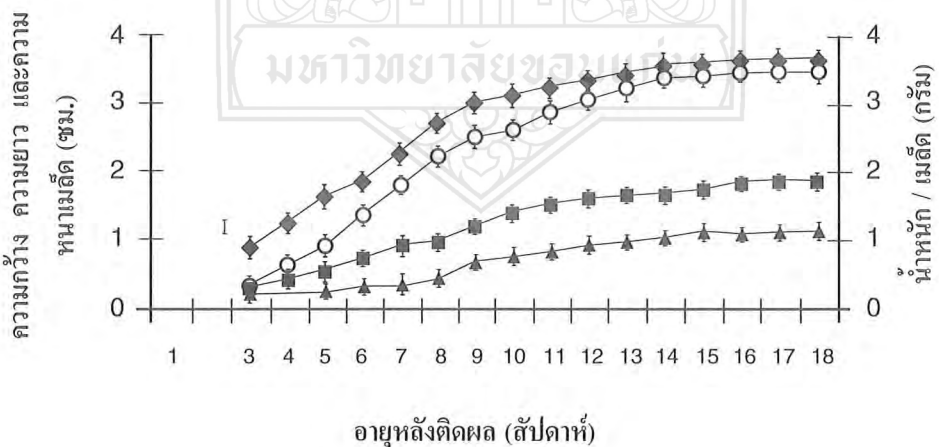
รูปที่ 2 ความหนาของเนื้อผล (-▲-) และปุยหุ้มเมล็ด (-■-) ของผลกระท้อนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)

ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด ภายใต้สภาพที่ผลไม่ได้รับการห่อ เมล็ดเพิ่มขนาดอย่างช้า ๆ เมื่อผลมีอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยความกว้าง ความยาว และความหนาเพิ่มจาก 0.29, 0.89 และ 0.26 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3 เป็น 0.71, 1.84 และ 0.37 เซนติเมตรในสัปดาห์ที่ 6 จากนั้นขนาดของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 15 ซึ่งที่อายุดังกล่าว เมล็ดมีความกว้าง ความยาว และความหนาเป็น 1.74, 3.57 และ 1.10 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นขนาดของเมล็ดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ในขณะที่น้ำหนักของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผลมีอายุ 3-9 สัปดาห์ โดยเพิ่มจาก 0.38 กรัม/เมล็ด ในสัปดาห์ที่ 3 เป็น 2.52 กรัม/เมล็ด ในสัปดาห์ที่ 9 จากนั้นอัตราการเพิ่มของน้ำหนัก ลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อผลมีอายุ 15 สัปดาห์ เป็นต้นไป ที่อายุ 15 สัปดาห์ น้ำหนักของเมล็ดเป็น 3.45 กรัม/เมล็ด (รูปที่ 3) สำหรับในผลที่ได้รับการห่อนั้นพบว่า มีการเจริญเติบโตของเมล็ดในลักษณะเดียวกับผลที่ไม่ได้รับการห่อ โดยมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกันทุกช่วงอายุ (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 ความกว้าง (■-) ความยาว (◆-) ความหนา (-▲-) และน้ำหนัก (-○-) ของเมล็ดกระท่อนพันธุ้ปุยฝ้ายจากผลที่ไม่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)

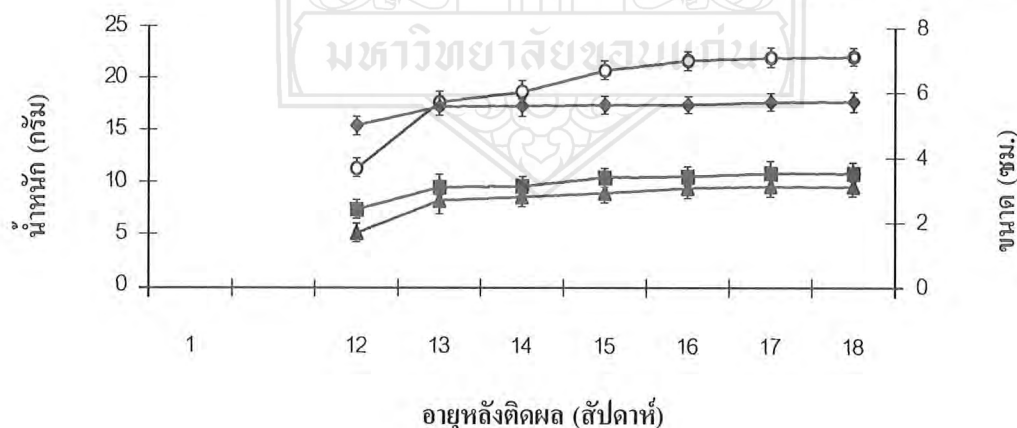


รูปที่ 4 ความกว้าง (■-) ความยาว (◆-) ความหนา (-▲-) และน้ำหนัก (-○-) ของเมล็ดกระท่อนพันธุ้ปุยฝ้ายจากผลที่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)

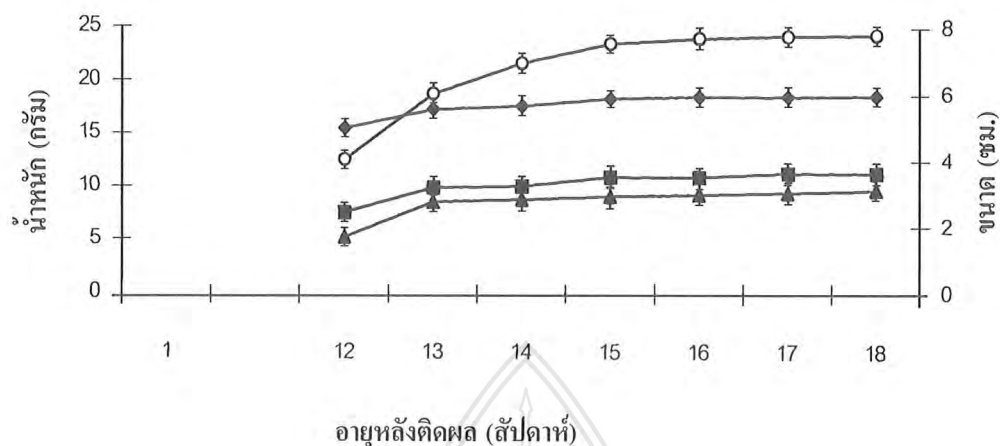
ขนาดและน้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ด เมื่อผลมีอายุตั้งแต่ 12 สัปดาห์ เป็นต้นไป สามารถแยกปุยหุ้มเมล็ดออกจากเนื้อผลได้ จากการศึกษการเปลี่ยนแปลงขนาดและน้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ดของผลที่ไม่ได้รับการห่อ พบว่า ปุยหุ้มเมล็ด มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 12-13 สัปดาห์ โดยความกว้าง ความยาว และความหนาเพิ่มจาก 2.37, 4.94 และ 1.64 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 12 ไปเป็น 3.06, 5.53 และ 2.65 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 13 ต่อมาอัตราการเพิ่มของขนาดเป็นไปอย่างช้า ๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 15 ซึ่งปุยหุ้มเมล็ดมีความกว้าง ความยาว และความหนา เป็น 3.37, 5.59 และ 2.90 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นขนาดของปุยหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่น้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นตามขนาด โดยช่วงที่ปุยหุ้มเมล็ดมีการเพิ่มของขนาดอย่างรวดเร็ว นั้น ก็มีการเพิ่มของน้ำหนักอย่างรวดเร็วเช่นกัน น้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ดเพิ่มจาก 11.34 กรัม ในสัปดาห์ที่ 12 ไปเป็น 17.70 กรัม ในสัปดาห์ที่ 13 ต่อจากนั้นน้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และค่อนข้างคงที่ในช่วงท้าย ๆ ของการเจริญเติบโต โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยของปุยหุ้มเมล็ดที่อายุ 15 สัปดาห์เท่ากับ 20.81 กรัม (รูปที่ 5)

ส่วนขนาดและน้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ดของผลที่ได้รับการห่อ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันกับในผลที่ไม่ได้รับการห่อ (รูปที่ 6) แต่มีแนวโน้มว่าปุยหุ้มเมล็ดของผลที่ได้รับการห่อมีขนาดและน้ำหนักมากกว่าผลที่ไม่ได้รับการห่อเล็กน้อย โดยมีความกว้าง ความยาว และความหนาเป็น 3.50, 5.87 และ 2.91 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักเท่ากับ 23.50 กรัม เมื่อผลอายุได้ 15 สัปดาห์

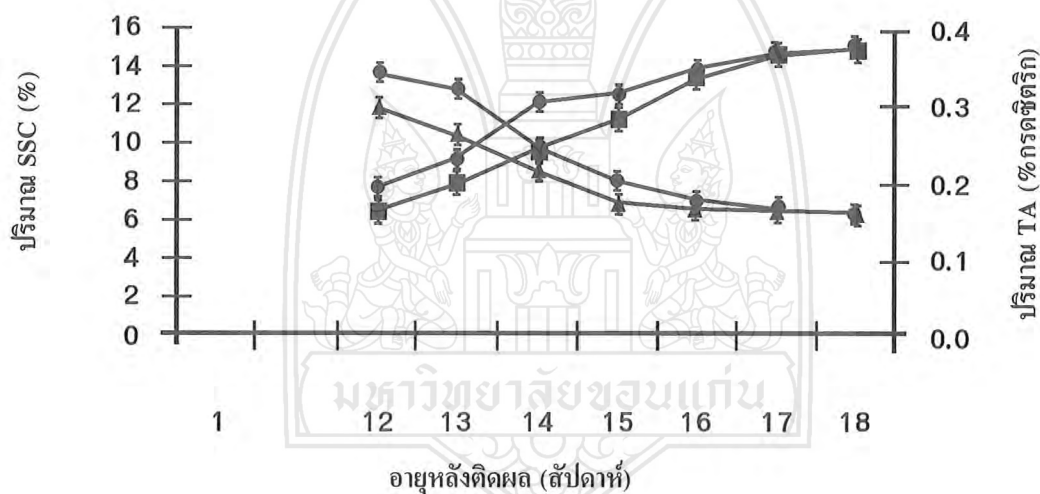
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (SSC) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของน้ำคั้นจากเนื้อผลและปุยหุ้มเมล็ด เริ่มทำการตรวจวัด SSC และ TA หลังจากสามารถแยกปุยหุ้มเมล็ดออกจากเนื้อผลได้ พบว่า SSC ของผลที่ไม่ได้รับการห่อเพิ่มขึ้นตามอายุ (รูปที่ 7) โดย SSC ของน้ำคั้นจากเนื้อผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ค่อนข้างคงที่จนถึงสัปดาห์สุดท้ายของการเจริญเติบโตของผล จาก 6.4% เมื่อผลมีอายุ 12 สัปดาห์ เป็น 11.3% เมื่อผลมีอายุ 15 สัปดาห์ และเพิ่มขึ้นเป็น 15.1% เมื่อผลมีอายุ 18 สัปดาห์ ส่วน SSC ของน้ำคั้นจากปุยหุ้มเมล็ดของผลที่ได้รับการห่อมีค่าเป็น 7.8, 12.7 และ 15.0% เมื่อผลมีอายุ 12, 15 และ 18 สัปดาห์ตามลำดับ (รูปที่ 8) ในช่วงที่ผลมีอายุ 12-16 สัปดาห์ SSC ของน้ำคั้นจากเนื้อผลมีค่าต่ำกว่า SSC ของน้ำคั้นจากปุยหุ้มเมล็ด แต่หลังจากนั้น SSC ของน้ำคั้นจากเนื้อผลและจากปุยหุ้มเมล็ดมีค่าใกล้เคียงกัน



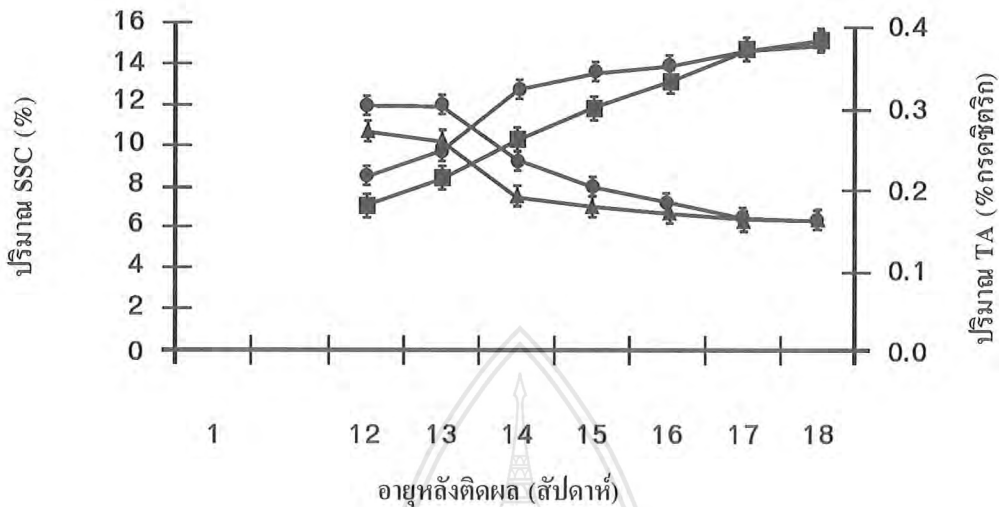
รูปที่ 5 ความกว้าง (■-) ความยาว (◆-) ความหนา(▲-) และน้ำหนักของปุยหุ้มเมล็ด (-○-) ของผลกระถ่อนพันธุ์ปุยฝ้ายที่ไม่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)



รูปที่ 6 ความกว้าง (■) ความยาว (◆) ความหนา (▲) และน้ำหนักรวมของปุยหุ้มเมล็ด (○) ของผลกระท่อ้นพันธุ์ฝ้ายที่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)



รูปที่ 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (SSC) ของน้ำคั้นจากเนื้อผล (■) และจากปุยหุ้มเมล็ด (◆) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของน้ำคั้นจากเนื้อผล (▲) และจากปุยหุ้มเมล็ด (●) ของผลกระท่อ้นพันธุ์ฝ้ายที่ไม่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)



รูปที่ 8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (SSC) ของน้ำคั้นจากเนื้อผล (■) และจากปุ๋ยหุ้มเมล็ด (◆) และปริมาณ กรดที่ไทเทรตได้ (TA) ของน้ำคั้นจากเนื้อผล (▲) และจากปุ๋ยหุ้มเมล็ด (●) ของ ผลกระท่อพันธุ์ฝ้ายที่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)

ในผลที่ไม่ได้รับการห่อ TA ของน้ำคั้นจากเนื้อผลและปุ๋ยหุ้มเมล็ด มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ SSC (รูปที่ 7) เมื่อผลมีอายุมากขึ้น TA จะลดลง ในช่วงที่ผลมีอายุ 12-15 สัปดาห์ TA ลดลงอย่างรวดเร็ว โดย TA ของน้ำคั้นจากเนื้อผลลดลงจาก 0.30 เป็น 0.19% ในขณะที่ TA ของน้ำคั้นจากปุ๋ยหุ้มเมล็ดลดลงจาก 0.34 เป็น 0.20% หลังจากนั้น TA ของน้ำคั้นจากเนื้อผลและจากปุ๋ยหุ้มเมล็ดลดลงเพียงเล็กน้อย และมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ในผลที่ได้รับการห่อ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงและค่าของ SSC และ TA คล้ายคลึงและใกล้เคียงกับผลที่ไม่ได้รับการห่อ (รูปที่ 8)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวผล ในผลที่ไม่ได้รับการห่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวผลมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงอายุ 3-7 สัปดาห์ หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงสุดในสัปดาห์ที่ 9 และ 10 โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.94 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงสัปดาห์ที่ 14 ซึ่งผิวผลมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 0.30 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ลด

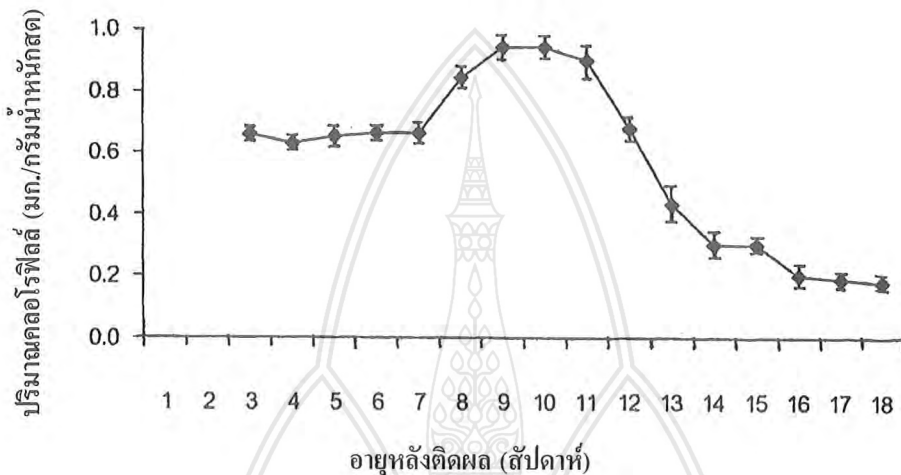
ลงจนมีปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด ที่อายุ 17-18 สัปดาห์ (รูปที่ 9) ส่วนในผลที่ได้รับการห่อ นั้น หลังจากทำการห่อผลได้ 1 สัปดาห์ (ผลมีอายุ 10 สัปดาห์) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เริ่มลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 0.86 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด เมื่อผลอายุมากขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงในรูปแบบที่คล้ายคลึงกับผลที่ไม่ได้รับการห่อ แต่ที่อายุเท่ากันผลที่ได้รับการห่อมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าผลที่ไม่ได้รับการห่อ ผลอายุ 14 สัปดาห์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 16 เป็นต้นไป ปริมาณคลอโรฟิลล์อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคือ 0.20 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด (รูปที่ 10)

2. ลักษณะในเชิงคุณภาพ

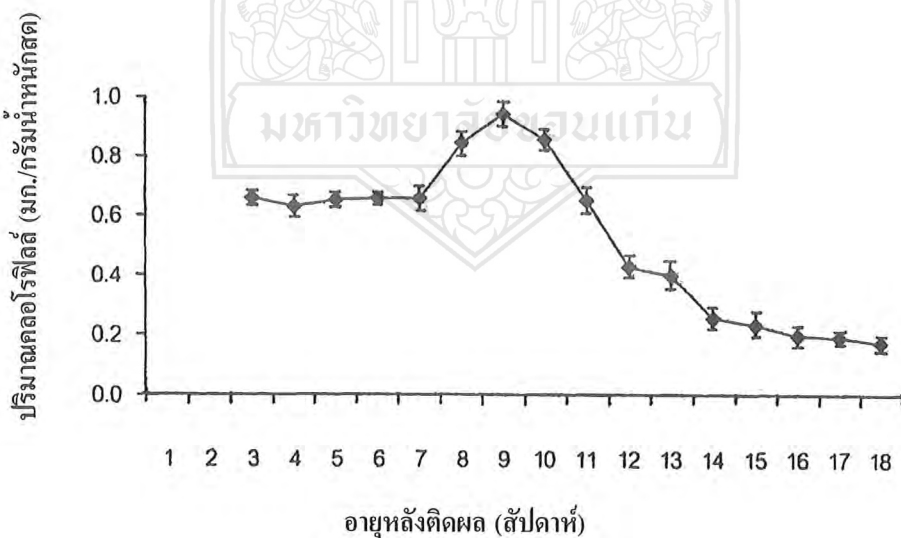
ลักษณะของเมล็ด ทั้งในผลที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพที่ได้รับการห่อและไม่ได้รับการห่อ มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุต่าง ๆ ดังนี้ เมื่อผลมีอายุ 2-7 สัปดาห์ เมล็ดมีขนาดเล็ก สีขาวขุ่น รูปร่างยาวรีค่อนข้างแบน เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม ภายในเมล็ด

พบใบเลี้ยงขนาดเล็ก และยังมีช่องว่างภายในเมล็ดมาก ผลเมื่อมีอายุ 8-9 สัปดาห์ เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกมีสีขาวนูน ส่วนชั้นในเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนและเริ่มแข็ง ใบเลี้ยงมีการเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกือบเต็มช่องว่างภายในเมล็ด เมื่อผลมีอายุ 10-11 สัปดาห์ เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก

เริ่มแข็ง มีการสร้างพูหุ้มเมล็ดบาง ๆ ซึ่งมีสีใกล้เคียงกับเนื้อผลคือสีขาวครีม และยังไม่สามารถแยกพูหุ้มเมล็ดออกจากเนื้อผลได้ ใบเลี้ยงเติบโตเกือบเต็มช่องว่างภายในเมล็ด (เหลือช่องว่างที่ด้านปลายเมล็ดเพียงเล็กน้อย) ในสัปดาห์ที่ 12 พูหุ้มเมล็ดหนา และมีความลื่นน้ำมากขึ้น สามารถแยกพูหุ้มเมล็ด



รูปที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวของผลกระท่อนพันรูปฝ้ายที่ไม่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)



รูปที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวของผลกระท่อนพันรูปฝ้ายที่ได้รับการห่อ (I = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=6)

ออกจากเนื้อผลไม้ ในผลที่มีอายุ 13 สัปดาห์เป็นต้นไป และมีความหนาแน่นข้างคงที่ในช่วงท้าย ๆ เปลือก
 ทุเรียนเมล็ดมีสีขาว ฉ่ำน้ำ มีลักษณะฟูขึ้นเรื่อย ๆ ทุเรียนเมล็ดแห้ง แข็ง และมีสีน้ำตาล (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะของเมล็ดกระทอนพันธุ์ทุเรียนสายจากผลที่ได้รับและไม่ได้รับการห่อ

อายุ (สัปดาห์)	ลักษณะเมล็ด
2-7	เมล็ดมีขนาดเล็ก สีขาวนวล ใบเลี้ยงมีขนาดเล็ก มีช่องว่างภายในเมล็ดมาก
8-9	เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น เปลือกเมล็ดชั้นในเริ่มแข็ง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล อ่อน ใบเลี้ยงเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็วและมีขนาดเกือบเต็มช่องว่าง ภายในเมล็ด
10-11	เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกเริ่มแข็ง เริ่มสร้างเปลือกหุ้มเมล็ดบางๆ สีขาวครีม แต่ยังไม่สามารถแยกออกจากเนื้อผลไม้ ใบเลี้ยงเติบโตจนเหลือช่องว่าง ที่ด้านปลายเมล็ดเพียงเล็กน้อย
12	เริ่มแยกเปลือกหุ้มเมล็ดออกจากเนื้อผลไม้ เปลือกหุ้มเมล็ดหนาและมีความฉ่ำ น้ำมากขึ้น
13-18	เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีขาว ฟู ความหนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงแรก และ ค่อนข้างคงที่ในเวลาต่อมา เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นในแห้ง แข็ง และมีสีน้ำตาล

วิจารณ์

ในกระทอน การเติบโตของเมล็ดมีรูปแบบเป็น single sigmoidal curve เช่นเดียวกันกับการเติบโตของผล ลักษณะดังกล่าวยังสามารถพบในผลไม้ชนิดอื่น เช่น มะม่วง (ดวงตรา กสานติกุล, 2526; สมชาย รัตนมาลี, 2530) การเติบโตของเมล็ดและผลของกระทอนพันธุ์ทุเรียนสายมีความสัมพันธ์กันโดยในช่วงแรกเมล็ดยังมีขนาดเล็ก ผลมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า เมื่อเมล็ดมีอายุมากขึ้น มีการเพิ่มขนาดโดยเฉพาะความกว้างและความหนาในอัตราที่สูงขึ้น ผลก็มีการเพิ่มขนาดและน้ำหนักในอัตราที่สูงขึ้นเช่นกัน และในช่วงท้าย เมื่อขนาดและน้ำหนักของเมล็ดมีอัตราการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อัตราการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลก็มีเพียงเล็กน้อย ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่เมล็ดเป็นแหล่งของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโทไคนิน (Luckwill

et al., 1969; Street and Opik, 1984; Browning, 1989; Gillaspay et al., 1993) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของผล จากการศึกษาในผลมะม่วง พบว่าออกซินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ผลมีอัตราการเติบโตสูงสุด ซึ่งตรงกับช่วงที่เมล็ดมีอัตราการเติบโตสูงสุดเช่นกัน (Prakash and Ram, 1984) การเติบโตของผลมะม่วงในช่วงนี้อาจเกิดจากการที่ออกซินเคลื่อนย้ายจากเมล็ดสู่เนื้อเยื่อผลแล้วไปกระตุ้นเซลล์ในผนังผลให้ขยายตัวเพิ่มขึ้น (Sainai et al., 1971) เมื่อปริมาณออกซินลดลงในช่วงท้าย อัตราการเติบโตของผลมะม่วงจะลดลงในช่วงเวลาดังกล่าวด้วย การขาดออกซินอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลมีอัตราการเติบโตลดลงหลังจากที่เมล็ดเติบโตเต็มที่แล้ว (Prakash and Ram, 1984) อาจอธิบายการเติบโตของผลกระทอนได้ในทำนองเดียวกัน นอกจากขนาดของเมล็ดกระทอนจะมีอิทธิพลต่อการเติบโตของผลแล้วจำนวนและตำแหน่งของเมล็ดก็มีผลต่อขนาด รูปร่าง

และน้ำหนักของผลด้วย ผลกระทอนที่มีเมล็ดสมบูรณ์จำนวน 4 - 5 เมล็ด จะมีทรงกลมแป้น ขนาดผลใหญ่ หากมีจำนวนเมล็ดสมบูรณ์น้อย ผลด้านที่มีเมล็ดสมบูรณ์อยู่จะมีการเติบโตตามปกติ ในขณะที่ด้านซึ่งมีเมล็ดลีบมีการเติบโตน้อยกว่า ลักษณะดังกล่าวสามารถพบได้ในผลไม้ที่มีหลายเมล็ดชนิดอื่น ๆ เช่น แอปเปิล (Roberts , 1946) และสตรอเบอรี่ (Nitsch, 1950) เป็นต้น การที่ปริมาณ SSC เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Whiting , 1970) ในกรณีของน้ำคั้นจากเนื้อลองกอง การสะสมของน้ำตาลซูโครส ฟรักโทสและกลูโคสเพิ่มขึ้นตามอายุของผล (นพรัตน์ พันธวนิช, 2528) ส่วนการลดลงของ TA นั้น อาจเนื่องมาจากถูกใช้เป็นข้อเสียดในกระบวนการหายใจ (Ulrich, 1970) นอกจากนี้ในการเพิ่มขึ้นของขนาดผลอาจมีการสะสมน้ำเพิ่มขึ้นด้วยทำให้ TA ในน้ำคั้นเจือจางลง ในผลกระทอนที่ได้รับการห่อ ในช่วงที่ผลมีอายุ 12 - 15 สัปดาห์ น้ำคั้นจากเนื้อผลและจากปุยหุ้มเมล็ดมีแนวโน้มต่ำกว่าในผลที่ไม่ได้รับการห่อเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการห่อทำให้อุณหภูมิรอบ ๆ ผลในเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันไม่มากนัก (Kumakura and Shishido, 1995) อย่างไรก็ตาม หลังจากระยะนี้ไปแล้ว ปริมาณ SSC และ TA ของน้ำคั้นจากเนื้อผลและปุยหุ้มเมล็ดของผลที่ได้รับและไม่ได้รับการห่อมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลกระทอนเจริญเข้าสู่ระยะแก่เต็มที่แล้ว จึงมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมน้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

- จิรา ณ หนองคาย. (2531). เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ : แอสพัลลิซิง.
- ดนัย บุญเกียรติ. (2531). เอกสารประกอบการสอน สรีรวิทยาหลังเก็บเกี่ยวพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ดวงตรา กสานติกุล. (2526). การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการ

เก็บเกี่ยวของผลมะม่วง (*Mangifera indica* L.) พันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- เต็ม สมิตินันท์. (2523). ชื่อพันธุ์ไม้แห่งประเทศไทย. ชื่อพฤกษศาสตร์-ชื่อพื้นเมือง. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ทวีศักดิ์ ค้างทอง. (2535). กระทอน. คำแนะนำที่ 50. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ธีรพงศ์ พงษ์นิติกร. (2535). กระทอนยังเป็นไม้ผลที่ตลาดต้องการ. อาชีวข่าวเกษตร. 12(30):6-7.
- นพรัตน์ พันธวนิช. (2528). การเจริญเติบโตของผล ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. (2534). กระทอนไม้ผลทองของจังหวัดนนทบุรี. เกษการเกษตร. 15 (8):71-85.
- วรธรรม (นามแฝง). (2527). กระทอนปลูกง่ายทนแล้ง. เกษการเกษตร. 7(91):10-13.
- สมชาย รัตนมาลี. (2530). การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง (*Mangifera indica* L.) พันธุ์ทองดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สะอาด บุญเกิด, จเร สดากกร และ ทิพย์พรรณ สดากกร. (2525). ชื่อพันธุ์ไม้ในเมืองไทย. กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. (2537). สรีรวิทยาไม้ผล. ขอนแก่น : สิริภณซ์ออฟเซต.
- สายชล เกตุษา. (2528). สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- สุชัยญา จันทรทักษิณภาส. (2530). การบ่ม การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์

- กับการจัดความฝาดของผลละมุด (*Achras sapota* Linn.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุธีย์ ธัญญโนทัย. (2533). กระท้อนไม้ผลดี ยังมีระดับ. เลขาธิการเกษตร. 14(7):65-71.
- สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์. (2526). สรีรวิทยาการพัฒนาของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Browning, G. (1989). The physiology of fruit set. In: Wright, C. (ed.). Manipulation of Fruiting. London: Butterworth & Co. p.195-217.
- Coombe, B.G. (1976). The development of fleshy fruits. Ann. Rev. Plant Physiol. 27: 507-528.
- Coronel, R. E. (1983). Promising Fruits of the Philippines. University of the Philippines, Los Banos.
- Gillaspy, G., Ben-David, H. and Gruissem, W. (1993). Fruits: a developmental perspective. Plant Cell. 5:1439-1451.
- Kumakura, H. and Shishido, Y. (1995). Effects of temperature and light conditions on flower initiation and fruit development in strawberry. JARQ. 29:241-250.
- Leopold, A. C. and Kriedemann, P. E. (1975). Plant Growth and Development. New Delhi: McGraw-Hill.
- Luckwill, L. C., Weaver, P. and McMillan, J. (1969). Gibberellins and other growth substances in apple seeds. J. Hort. Sci. 44:413-424.
- Nitsch, J. P. (1950). Growth and morphogenesis of the strawberry as related to auxin. Amer. J. Bot. 37:211-215.
- Prakash, S. and Ram, S. (1984). Naturally occurring auxin inhibitors and their role in fruit growth and drop of 'Oashehari' mango. Scientia Hort. 22:241-248.
- Roberts, R. H. (1946). Notes on apple set and growth. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 48:59-62.
- Sainai, S. S., Singh, R. N. and Paliwal, G. S. (1971). Growth and development of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. I. Morphology and cell division. Indian. J. Hort. 28: 247-256.
- Seymour, G. B., Taylor, J. E. and Tucker, G. A. (1993). Biochemistry of Fruit Ripening. London: Chapman & Hall.
- Street, H. E. and Opik, H. (1984). The Physiology of Flowering Plants. London: Edward Arnold Publishers.
- Ulrich, R. (1970). Organic acids. In: Hulme, A. (ed.). The Biochemistry of Fruit and their Products. London: Academic Press. p.89-118.
- Whiting, G. C. (1970). Sugars. In: Hulme, A. (ed.). The Biochemistry of Fruit and their Products. London: Academic Press. p.1-31.
- Witham, F. H., Blaydes, D. F. and Denlin, R. M. (1971). Experiments in Plant Physiology. New York: Van Nostrand Reinhold.



ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลการวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ มีช่วงห่างระหว่างบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A 4 (โรเนียวสัน) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะต้องสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนและภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้ และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกด กว้านด์ ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก้ไขความเฉพาะตอนในบทความ
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสการ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม แนะนำให้เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

อนินันทนการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

เอกสารอ้างอิง (Reference) หมายถึง เอกสารหรือส่วนหนึ่งของเอกสารที่อ้างอิงถึงหรือแปลมาโดยตรง การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหานี้ ให้ใช้ระบบชื่อและปี เช่น Williams (2001) รายงานว่า... หรือ... (Williams, 2001) การเขียนเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างอิงไว้ในเนื้อหาเท่านั้น

บรรณานุกรม (Bibliography) หมายถึง เอกสารที่ใช้อ้างอิงในลักษณะที่สรุปเป็นหลักการหรือทฤษฎีโดยมิได้อ้างอิงหรือแปลมาโดยตรง

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 : โรงพิมพ์หรือสำนักพิมพ์. 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

- กรณีที่เป็นการอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จดสาร หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
- กรณีที่มีผู้เขียน 2 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า “และ” หรือ “and” หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- กรณีที่มีผู้เขียนมากกว่า 2 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะผู้แต่งชื่อแรกและใส่คำว่า “และคณะ” หรือ “et al.” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ (เฉพาะในเนื้อหาเท่านั้น)
- ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า “ระหว่างตีพิมพ์” หรือ “in press” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

