ภาคผนวก

ผนวก		หน้า
ก	เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง ***Ceramics Industry in Thailand.*** ในการฝึกอบรม Third Country Training Programme in Analytical Instrumentation for Ceramics, 6-25 October 1997, Standards and Industrial Research Institute of Malaysia, Malaysia.	57
ข	เอกสารประกอบบทความและโปสเตอร์เสนอผลงานทางวิชาการ เรื่อง ***SEM STUDY ON ANCIENT GLASS.*** *Journal of Electron Microscopy Society of Thailand,* Volume 12 No 1 (January 1998) และการประชุมวิชาการจุลทรรศน์อิเลคตรอน ครั้งที่ 15, 19 ธันวาคม 2540, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.	67
ค	บทความทางวิชาการเรื่อง ***Fabrication of High Refractive Index Glass.*** *J. Sci. Fac. CMU.,* Volume 25 No 1 (June 1998).	78

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

FABRICATION OF HIGH REFRACIVE INDEX GLASS

Collaboration Project

BUREAU OF THE ROYAL HOUSEHOLD

(Royal Supply and Maintenance Sector of Royal Ceremony Division)

ROYAL THAI ARMY

(Chemical Department)

CHIANGMAI UNIVERSITY

(Department of Physics and Material Science, Faculty of Science)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana **1997** **THAILAND**

OBJECTIVES:

1. **TO RESEARCH AND DEVELOPE HIGH REFRACTIVE INDEX GLASS**

2. **TO IMPROVE AND RECONSTRUCT THE ANCIENT GLASS REPLACING THOSE AGING GLASS AS WELL AS THE GLASS DECORATED IN THE PALACE, OLD TEMPLES AND ANCIENT PLACES**

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

METHODS :

1. TO SURVEY FOR COLLECTING ANCIENT EVENTS

2. TO ANALYSE PHYSICAL PROPERTIES (REFRACTIVE INDEX, COLOR, THICKNESS) AND STRUCTURE/ QUANTITATIVE

3. TO STUDY THE BEST PROCESS FOR GLASS FORMING (BY VARYING MIXING CHEMICAL COMPOUNDS, TEMPERATURE, AND COOLING) AND TO DETECT REFRACTIVE INDEX, TO ANALYSE STRUCTURE/ QUANTITATIVE

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

SURVEYING :

THE ROYAL PALACE

TEMPLES AND ANCIENT PLACES

Bangkok

Central Area (Nonthaburi, Ayutthaya, Phetchaburi, Prachuapkirikhan)

Northern Area (Chiangmai, Chiangrai, Prayao, Nan Pra, Lumphoon, Lampang, Maehongson, Sukhothai, Tak, Pisanulok)

NorthEast Area (Nakhonratchasima, Khonkaen, Kalisin, Mahasarakham, Roiet, Mukdahan, Yasothon, Ubonratchathani, Burirum)

Eastern Area (Chonburi, Rayong, Chantaburi)

Southern Area (Chumphon, Ranong, Suratthani, Nakhonsrithammarat, Songkhla, Phathalung)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

ANCIENT GLASS

: BURMA GLASS or CHINA GLASS

: AYUTTHAYA GLASS

: RATANAKOSIN GLASS

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

THICKNESS (mm)

Type / Color	Ayutthaya	Ratanakosin	Modern Glass
White	0.67-0.90	0.23-0.97	1.02
Blue	0.60-0.90	0.59-0.90	0.77
Yellow	0.70-0.90	0.57-0.90	0.70
Green	0.90-1.05	0.47-0.91	1.00
Red	0.80-1.05	0.80-0.85	0.77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics

P. Dararutana 1997 THAILAND

REFRACTIVE INDEX

(with respect to Yellow Sodium D Line)

Type / Color	Ayutthaya	Ratanakosin	Modern Glass
Blue	1.535	1.531	1.505
Yellow	1.539	1.540	1.475
Green	1.561	1.607	1.520

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics		
P. Dararutana	1997	THAILAND

AYUTTHAYA GLASS

White

No.	Element		Quantitative	Unit
1	Silver	(Ag)	35.2	ppm
2	Arsenic	(As)	536	ppm
3	Alumimium	(Al)	0.37	%
4	Barium	(Ba)	462	ppm
5	Calcium	(Ba)	2	ppm
6	Cadmium	(Cd)	1	ppm
7	Cobalt	(Co)	26	ppm
8	Cromium	(Cr)	25	ppm
9	Copper	(Cu)	366	ppm
10	Iron	(Fe)	0.48	%
11	Mercury	(Hg)	80	ppm
12	Magnesium	(Mg)	<1	ppm
13	Sodium	(Na)	3	ppm
14	Nickel	(Ni)	<1	ppm
15	Lead	(Pb)	47.71	%
16	Antimony	(Sb)	2014	ppm
17	Silicon	(Si)	21.84	%
18	Tin	(Sn)	3.01	%
19	Zinc	(Zn)	202	ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics		
P. Dararutana	1997	THAILAND

RATANAKOSIN GLASS

No.	Element		Quantitative			Unit
			Blue	Yellow	Green	
1	Silver	(Ag)	17	11	35	ppm
2	Arsenic	(As)	285	459	135	ppm
3	Aluminium	(Al)	0.74	1.29	0.95	%
4	Barium	(Ba)	426	424	282	ppm
5	Cadmium	(Cd)	1	12	14	ppm
6	Cobalt	(Co)	1135	-	55	ppm
7	Cromium	(Cr)	10	34	11	ppm
8	Copper	(Cu)	287	749	14952	ppm
9	Tron	(Fe)	-	2.45	0.04	%
10	Mercury	(Hg)	37	-	55	ppm
11	Magnesium	(Mg)	886	1282	443	ppm
12	Manganess	(Mn)	1218	1096	181	ppm
13	Sodium	(Na)	2.63	5.70	4.08	%
14	Nickel	(Ni)	18	33	2	ppm
15	Lead	(Pb)	41.32	26.64	50.29	%
16	Antimony	(Sb)	735	770	6597	ppm
17	Silicon	(Si)	24.96	26.34	20.54	%
18	Tin	(Sn)	2.74	0.66	1.74	%
19	Zinc	(Zn)	-	-	1089	ppm

Third Country Training Program in Analytical Instrumentation for Ceramics		
P. Dararutana	1997	THAILAND

MODERN GLASS

No.	Element		Quantitative			Unit
			Blue	Yellow	Green	
1	Silver	(Ag)	735	820	595	ppm
2	Arsenic	(As)	2224	167	2061	ppm
3	Aluminium	(Al)	0.29	1.0	0.61	%
4	Barium	(Ba)	-	1253	40	ppm
5	Cadmium	(Cd)	235	-	293	ppm
6	Cobalt	(Co)	364	29	-	ppm
7	Cromium	(Cr)	672	13	2194	ppm
8	Copper	(Cu)	11099	-	6707	ppm
9	Tron	(Fe)	-	4.16	-	%
10	Mercury	(Hg)	-	19	11	ppm
11	Magnesium	(Mg)	-	9362	2707	ppm
12	Manganess	(Mn)	-	14427	-	ppm
13	Sodium	(Na)	11.74	14.05	12.43	%
14	Nickel	(Ni)	44	3	22	ppm
15	Lead	(Pb)	0.02	0.58	<0.001	%
16	Antimony	(Sb)	1791	95	1741	ppm
17	Silicon	(Si)	32.17	31.69	35.32	%
18	Tin	(Sn)	0.43	0.38	0.38	%

JOURNAL OF

ELECTRON MICROSCOPY SOCIETY OF THAILAND

AN OFFICIAL PUBLICATION OF ELECTRON MICROSCOPY SOCIETY OF THAILAND

Volume 12 Number 1 | ISSN 0857-5285 | January 1998

The Fifteenth Annual Conference of the Electron Microscopy Society of Thailand : 1997

December 19, 1997

Scientific and Technological Research Equipment Center (STREC)

Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Immunoelectron Microscopic Study of Autoimmune Bullous Skin Diseases Using Immunogold Labelling Technique 58
T. Muramatsu, K. Honoki, P. Vanittanakom

Application of Post Embedding Immunogold Labelling Technique to Electron Microscopic Study of Autoimmune Bullous Skin Diseases 60
P. Vanittanakom, T. Muramatsu, K. Honoki, T. Shirai

POSTER PRESENTATION

Fracture Surfaces of Niobium-Nickel Codoped Barium Titanate 62
G. Rujijanakul and T. Tunkasiri

Microstructure and Dielectric Property of $Ba(Ti_{0.9}Sn_{0.1})O_3$ Ceramics 64
P. Ngoencharoen, G. Rujijanakul, T. Tunkasiri

SEM Study of Ancient Glass 66
P. Dararutana

Light and Scanning Electron Microscopy of the Large Intestinal Nematode (*Ascaridia galli* Schrank, 1788) from Domestic Chick *(Gallus gallus domesticus)* with Prevalence Investigation 67
C. Wongsawad, P. Laudee, A. Rojanapaibul

Light and Scanning Electron Microscopic Observation on the Tegumental Surface of *Paradistomoides gregarium* Tubangui, 1929 (Trematoda : Dicrocoeliidae) in House Lizards 69
A. Pachanawan and C. Wongsawad

Fine Structural Tegument of *Pallisentis* sp. Van Clave, 1928 by Scanning and Transmission Electron Microscopy 71
P. Laudee, C. Wongsawad, P. Vanittanakom, B. Kantalue

Separation of Fruit Fly Species of the *Bactrocera dorsalis* Group (Tephritidae) Using SEM 73
P.J. Grote

Ultrastructure of the Antennal Sensillae of *Apis florea* 75
A. Rasmidatta, G. Suwannapong, J. Noiphrom, S. Wongsiri

Ultrastructural Features of Sidero-Apoptotic Hepatocyte in Thalassemia 77
K. Thakerngpol, V. Khawcharoenporn, N. Choosrichom, L. Mangkalanond
J. Ngernmeesri, C. Buawatana, V. Sookpatdhee, T. Stitnimankarn

Light and Scanning Electron Microscopy Study of the Pollens of *Melientha suavis* Pierre 79
P. Wongsawad, I. Proongkiat, P. Luadee, C. Wongsawad

PP 3

SEM Study of Ancient Glass

P. Dararutana

Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand

A study on the microstructure of ancient glass and new-contructed glass has been carried out. The new-constructed glass made of chemical compositions, such as SiO_2, KNO_3, Na_2CO_3, PbO, CaO, Fe_2O_3, and CuO, was prepared at the Electro-Ceramics Laboratory, Faculty of Science, Chiang mai University. The SEM micrographs of greenish-color glasses, the ancient glass and of the new-constructed glass illustrated that the both types of glass were similar by containg small coral crystals of elements formed from Si, Pb, Ca, K, Fe and Cu distributed in glass body.

* On leave from the Chemical Department Royal Thai Army.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank the Bureau of the Royal Household, and Chemical Department, Royal Thai Army for jointly supporting the work. Thanks are also due to Dr. J.F. Webb for his comments.

SEM STUDY OF ANCIENT GLASS

PISUTTI DARARUTANA* and TAWEE TUNKASIRI

Department of Physics, Faculty of Science, ChiangMai University,ChiangMai,50200

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ChiangMai University

The new glass was prepared at the Electro-Ceramics Research Laboratory and made of the chemical composition for the green color, which included SiO_2, KNO_3, Na_2CO_3, PbO, CaO, Fe_2O_3, and CuO. They were melted in a Pt-crucible, in an air atmosphere, using an electric furnace, at 1,000°C, and cooled down to room temperature.

The micrographs from a SEM for the green glass, the ancient glass (Fig. 1) and the new-constructed glass (Fig. 2), showed that both have similar small coral crystal elements formed from Si, Pb, Ca, K, Fe, and Cu, by XRF (Fig. 3) distributed in the glass body and also the XRD showed that they were crystalline (Fig. 4).

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

Ancient glass is popular for decorating in the old style, in which case it is often glazed with lead stripe. It is seen in places of special architecture, such as the old palace, buddhist sites, in where can see buddha images, and religious objects. There are many colors (red, green, yellow, blue, and white), made in the Ayutthaya and the Early Ratanakosin Ages. It is a thin glass with high refractive index and high Pb- composition. The Bureau of the Royal Household want to maintain the architectures, images, and objects, especially in the Royal Palace, so the Chemical Department Royal Thai Army and Department of Physics, Faculty of Science, ChiangMai University are trying to make new glass with the same chemical composition and properties.

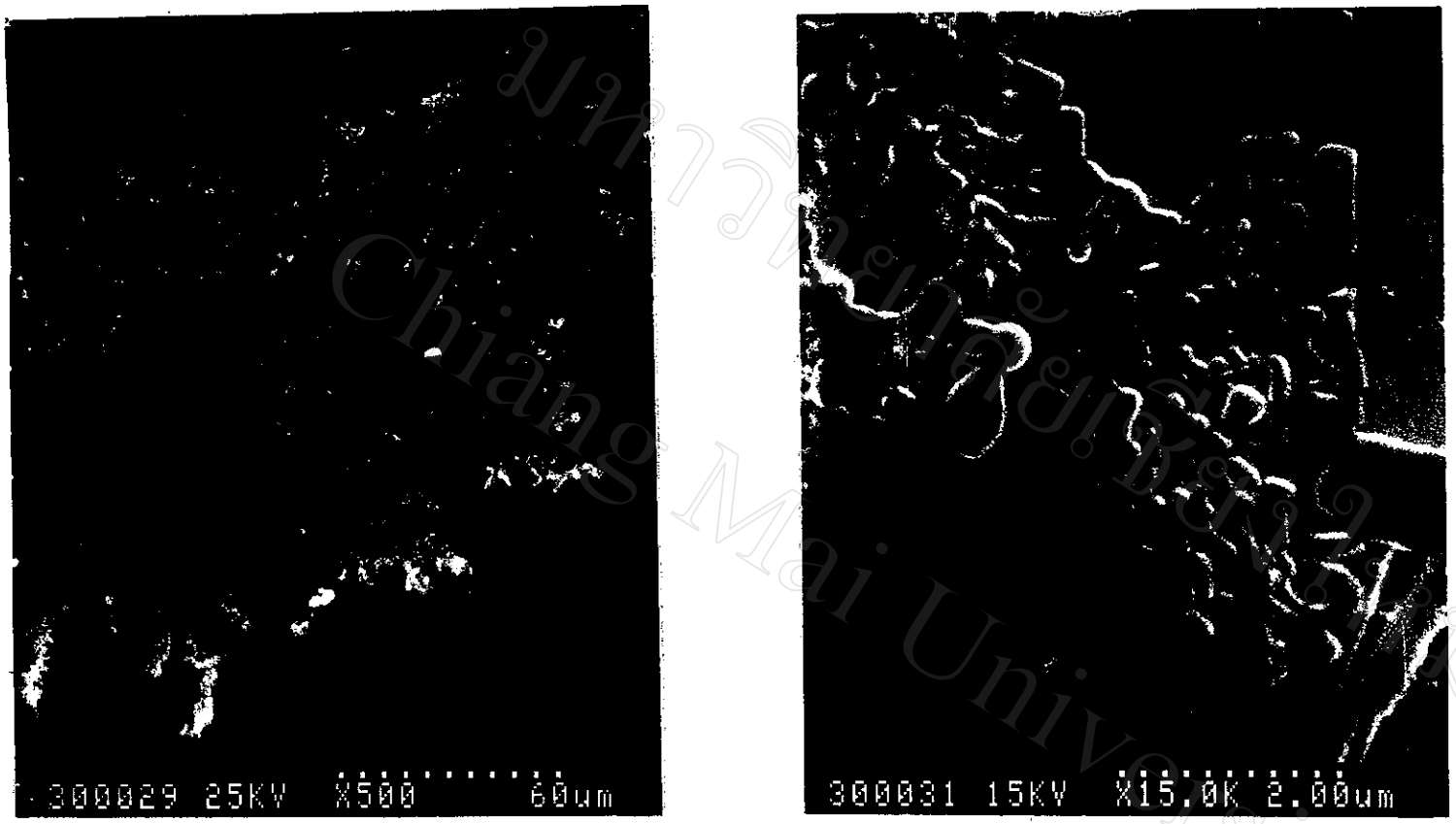


Fig 1 SEM for the greenish-color ancient glass

(a) x500 (b) x15.0K

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

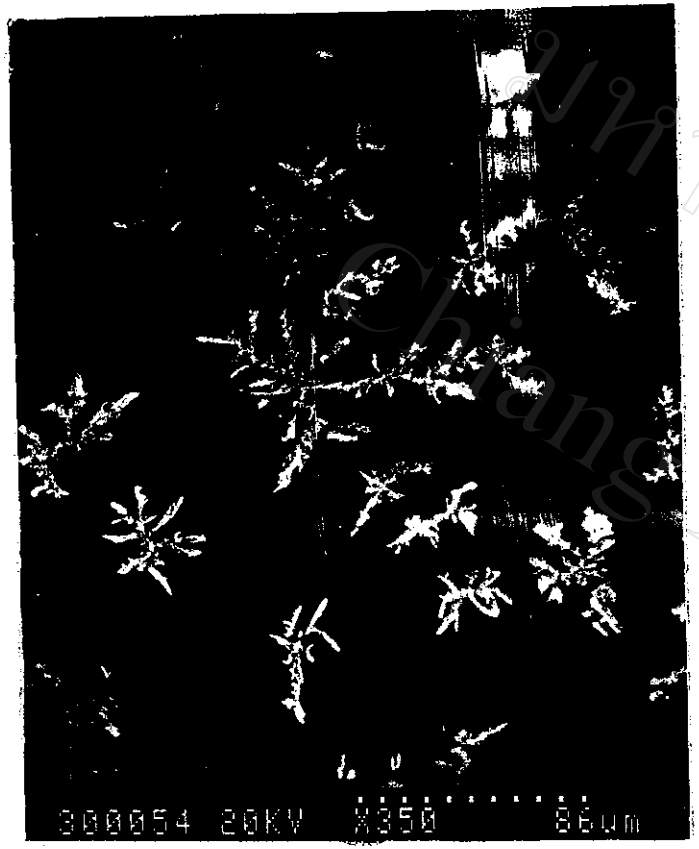


Fig 2 SEM for the greenish-color new-constructed glass

(a) x350 (b) x2.00K

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

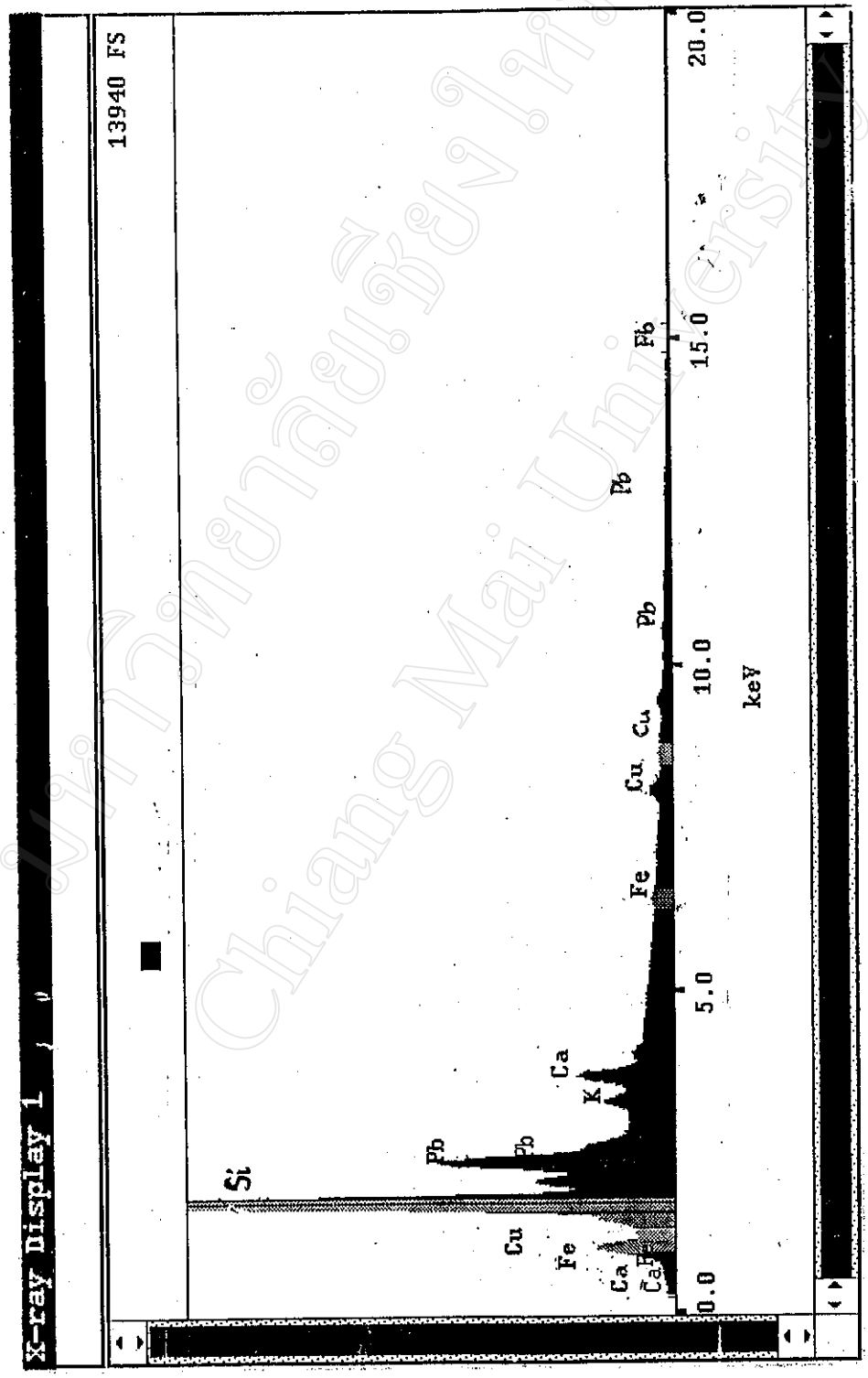


Fig. 3 XRF for the greenish-color glass

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

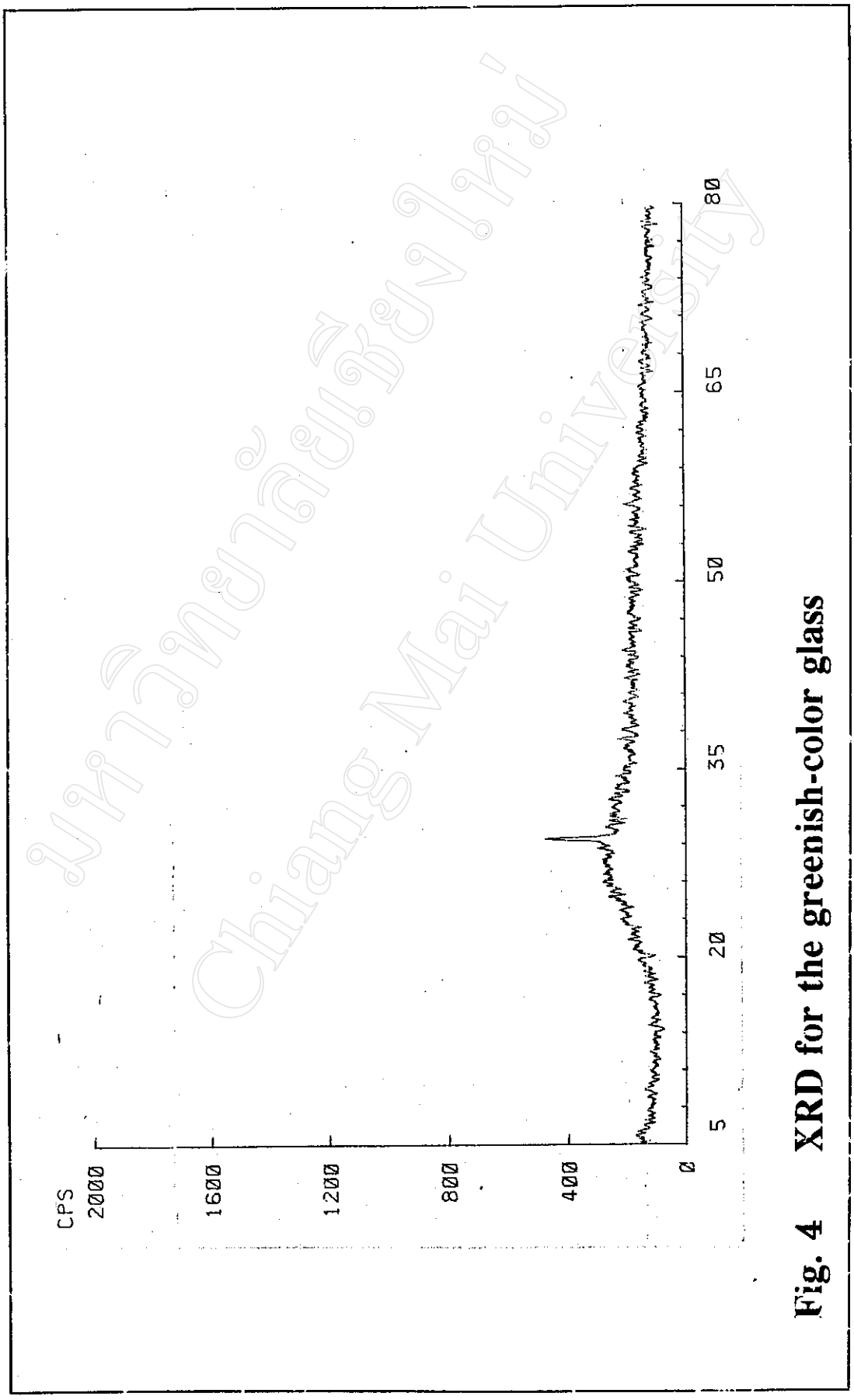


Fig. 4 XRD for the greenish-color glass

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

* On leave from the Science and Technology Division, Chemical Department Royal Thai Army and the Supply and Maintainance Sector of the Ceremony Division of the Bureau of the Royal Household.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank the Bureau of the Royal Household and the Chemical Department Royal Thai Army for jointly supporting the work. Thanks are also due to Dr. J.F. Webb for his comments.

Journal of
THE SCIENCE FACULTY OF CHIANG MAI UNIVERSITY
วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

J. Sci. Fac. CMU Vol.25 No.1 June 1998 ISSN 0125-2526

Multi-Channel Scaler Used as a Digital Correlator ..... *Chuleeporn Wongtawatnugool and Samran Lacharojana* 1-7

Science and Technology in Old Lan Na..... *Hans Penth* 8-17

Fabrication of High Refractive Index Glass..... *Pisutti Dararutana and Tawee Tunkasiri* 18-26

Comparative Study of the Structure of Basics Units System..... *Chatchawal Poonpun* 27-33

Acidity and Basicity Study of Aspartic Acid Compounds by Potentiometric Titration ..... Vithaya *Ruangpornvisuti and Boosayarat Thammapattanakit* 34-39

Spectrophotometric Studies of Complex Formation in Solution between Heptamolybdate(6-) and Manganese(II), Cobalt(II), Copper(II), Iron(II), Nickel(II) and Cromium(II) Ions ..... *Vichitr Rattanaphani and Rattana Siangprasertkit* 40-44

Effects of Calcium Ion and Thiolreactive Reagents on Thermostability of Protease Secreted from a Thermophilic Bacterium Strain TLS33 ..... *Supachok Sinchaikul and Suree Phutrakul* 45-56

Matrix Effect Correlation for Trace Element Analysis in Soil Samples by Isotope X-Ray Fluorescence Method ..... *Rutchaneegorn Kunthapath, Ruangsri Watanesk and SurapongPimjun* 57-64

Debittering of Lime Juices with Food Additives ..... *Suchada Chaisawadi, Wilaiporn Aiemphasit, Narttaya Chommanard and Sorasake Kulamai* 65-70

Simple Method for the Highly Selective Isolation of Chitinase Actinomycetes from Soil..... *Saisamorn Lumyong and Nitaya Boontim* 71-77

J. Sci. Fac. CMU. (1998) 25(1) 18-26

การสร้างแก้วที่มีดรรชนีหักเหสูง
Fabrication of High Refractive Index Glass

พิศุทธิ์ ดารารัตน์ และ ทวี ตันฑเศิริ
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Pisutti Dararutana and Tawee Tunkasiri
Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand.

Accepted April 30,1998

บทคัดย่อ

แก้วสีน้ำเงินที่มีดรรชนีหักเหสูงเตรียมมาจากส่วนผสมของสารเคมี SiO_2, KNO_3, Na_2CO_3, CaO, Pb_3O_4 และ CuO บรรจุใน Platinum crucible หลอมที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ก่อนทำการหลอมได้ศึกษาผงสารตัวอย่างด้วยเทคนิค DTA/TG ผลการศึกษาพบว่า Crystallisation temperature มีค่าประมาณ 800 องศาเซลเซียส โครงสร้างและองค์ประกอบของแก้วหลังจากการหลอมศึกษาด้วยเทคนิค XRF, XRD และ SEM มีรูปผลึกที่เกิดจากการก่อตัวของ Si, Pb, Ca, K และ Cu กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อแก้ว การวัดค่าดรรชนีหักเหของแก้วสีน้ำเงินที่มีส่วนผสมของ CuO เข้มข้น 0.5 % พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.64 - 1.74 ค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากค่า Dielectric Constant

ABSTRACT

High refractive index blue glass was prepared from the mixture of SiO_2, KNO_3, Na_2CO_3, CaO, Pb_3O_4 and CuO in a platinum crucible. Heating was carried out at 1,100° C and cooled to room temperature. Prior to heating, the sample powder was studied using DTA/TG techniques. The results showed that the crystallisation temperature was 800° C. Structure and components of the glass after heating were studied using XRF, XRD and SEM techniques. Si, Pb, Ca, K and Cu were found to scatter over the glass body. The refractive indices of the blue glass having 0.5 % of CuO concentration were in the range of 1.64-1.74. The refractive indices obtained were closed to those calculated from their dielectric constants.

1. บทนำ

แก้วสามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีต ปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งมีทั้งที่มีค่าดรรชนีหักเหต่ำไปจนถึงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงได้มีการประยุกต์ใช้งานทางด้านอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ในปัจจุบัน การพัฒนาสำหรับอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงในอนาคต และการสร้างสรรค์งานทางด้านศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมในอดีต แก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงส่วนใหญ่มีส่วนผสมของตะกั่ว แก้วประเภท Lead Glass [1,2] มีส่วนผสมของตะกั่วออกไซด์ ซึ่งใช้แทน Soda (Na_2O) เพื่อทำเป็น Flux โดยทั่วไปมีสูตรโมเลกุลเป็นตั้งแต่ $K_2O.PbO.5SiO_2$ จนถึง $5K_2O.7PbO.36SiO_2$ จากการเกาะตัวของตะกั่วเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยน

แปลงในโครงสร้างและมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ [3] อาทิเช่น ทำให้การหลอมละลายเร็วขึ้น (อุณหภูมิการหลอมต่ำ) ความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น ค่าดรรชนีหักเหและการกระจายแสงเพิ่มขึ้น ความหนืดลดลง แรงตึงผิวลดลงอย่างมาก สามารถตัดหรือทำให้โค้งงอได้ง่าย มีความอ่อนนุ่มและผิวเรียบไม่แตกง่าย สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น และสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ดี เป็นต้น Crystal Glass [2,4] เป็นแก้วที่มีองค์ประกอบค่อนข้างพิเศษ ทำให้มีความใส ความหนาแน่นสูงและค่าดรรชนีหักเหสูง ซึ่งมีส่วนผสมหลักคือตะกั่วออกไซด์ โดยที่ตามมาตรฐานประเทศกลุ่มการค้ายุโรป (European Common Market Country) ได้ตกลงและกำหนดว่าจะต้องประกอบด้วย Lead oxide อย่างน้อยที่สุด 10% มีความหนาแน่นอย่างน้อยที่สุด 2.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าดรรชนีหักเหอย่างน้อยที่สุด 1.520 และมีค่าความแข็งที่ผิวในหน่วยมาตรา Vickers เท่ากับ 550 ± 20

Glass Ceramics [5,6,7,8] เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของตะกั่ว เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็น Non-Magnetic Material จึงถูกประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิกส์ [9] อาทิเช่น Glass Capacitors, Glass Dosimeters และ Radiation-Proof Glass เป็นต้น

กระจกเกรียบ (ภาคกลาง) หรือ แก้วอังวะ (ภาคเหนือ) หรือ จีน (จีนและพม่า) เป็นแก้วหรือกระจกชนิดหนึ่งที่คนไทยในอดีต นำไปใช้ในงานด้านสร้างสรรค์ศิลปกรรมสำหรับประดับเพื่อการตกแต่งตามศิลปวัตถุและสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นส่วนของพระพุทธรูป พระอุโบสถ วิหาร และสิ่งสักการะในพระพุทธศาสนา ซึ่งในปัจจุบันมีการชำรุดทรุดโทรมและสูญหายไปตามกาลเวลา จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ [10] พบว่าแก้วหรือกระจกดังกล่าว มีส่วนผสมของทรายแก้ว ดีบุก ดินประสิวและตะกั่วเป็นหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง กล่าวคือมีการหักเหหรือสะท้อนแสงได้ดี เนื้อแก้วบาง หนักแต่มีความอ่อนตัว คนไทยตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นต้นมา มีการทำแก้วหรือกระจกชนิดนี้ขึ้นใช้เอง และบางส่วนสั่งมาจากประเทศพม่าและจีน ดังนั้นจึงสามารถที่จะแบ่งแก้วหรือกระจกเหล่านี้ออกได้เป็น 3 แบบ [11] คือ แก้วอังวะหรือจีน เป็นแก้วที่เดิมทำในจีนและต่อมาขยายลงมาทำในพม่า มีเนื้อแก้วที่บางมากติดอยู่กับแผ่นตะกั่วผสมที่มีความหนามาก สามารถตัดหรือดัดให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย กระจกอยุธยาซึ่งทำขึ้นโดยช่างไทยในสมัยกรุงศรีอยุธยา มีเนื้อแก้วหนา ด้านหลังติดด้วยตะกั่วผสม และกระจกรัตนโกสินทร์ซึ่งทำขึ้นโดยช่างไทยในสมัยต้นกรุงรัตนโกสินทร์ เนื้อแก้วและตะกั่วผสมที่ติดด้านหลังมีความบางกว่ากระจกอยุธยา คุณสมบัติทางแสงของทั้งสามแบบเหมือนกัน แต่ทั้งกระจกอยุธยาและกระจกรัตนโกสินทร์มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากแก้วอังวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหนักที่เบากว่า เนื้อแก้วมีความเปราะกว่า แต่ในปัจจุบันไม่มีการทำวัสดุชนิดนี้ขึ้นอีกเลย ในขณะที่ความจำเป็นในการใช้งานเพื่อการบูรณะผลงานที่มีอยู่เดิมตั้งแต่อดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในพระบรมมหาราชวัง ตลอดจนเป็นการศึกษาถึงภูมิปัญญาของคนไทยในอดีต และเป็นการอนุรักษ์พื้นฐานความรู้เพื่อการสืบทอดแก่อนุชนรุ่นหลังต่อไป

รังสฤษดิ์ จักษุจินดา [12] ได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของพื้นโลหะผสมที่ติดอยู่ด้านหลังของแก้วอังวะในขั้นต้นด้วยวิธี Semi-Quantitative Analysis พบว่าประกอบด้วยดีบุกสูง นอกจากนี้ยังมีตะกั่ว แมกนีเซียม สังกะสี เหล็กและนิเกิลและจากการทดลองเตรียมตัวอย่างพบว่าแมกนีเซียมแม้มีปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญต่อการยึดติดระหว่างโลหะผสมและเนื้อแก้ว E.B.Pusch [13] ได้ศึกษาวิจัยและพบแก้วเป็นสีแดง (Opaque Cuprite-Red Glass) ใน Crucible ที่ทำจากดิน Nile Clay

V.A.Fedorasa และคณะ[14] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของแหล่งวัตถุดิบที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต Crystal Glass ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ไม่เพียงแต่จะต้องมีองค์ประกอบที่คงที่เท่านั้น ยังจะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและมีสารเจือ

ปนที่ทำให้เกิดสีน้อยที่สุด ซึ่งได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุชนิดใหม่ๆ รวมถึงสารที่ทำให้เกิดสีและสารประกอบ กำมะถัน การหลอมเหลว ความใสของแก้วและการระเหยตลอดจนกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยอาศัยเทคนิค Differential Thermal Analysis (DTA), Thermogravimetry (TG) และ X-Ray Diffraction (XRD) พบว่า Lead Silicate มีความเหมาะสมในกระบวนการผลิต Crystal Glass เพราะสามารถลดอุณหภูมิการหลอมเหลวลง ทำให้คุณภาพของแก้วดีขึ้นและลดปัญหาด้านมลพิษด้วย A.A. Verlotskii และคณะ [15] ได้วิจัยเกี่ยวกับการกัดกร่อนเบ้าหลอมเนื่องมาจากหลอมแก้วในกระบวนการทางอุตสาหกรรมสองชนิด คือที่มีปริมาณตะกั่วต่ำ (มีตะกั่วออกไซด์ประมาณ 10-40%) และที่มีปริมาณตะกั่วสูง (มีตะกั่วออกไซด์ประมาณ 75-80%) พบว่าการหลอมแก้วที่มีปริมาณตะกั่วต่ำ การแตกร้าวของเบ้าหลอมขึ้นอยู่กับออกไซด์ของโลหะ Alkali และ Alkali-earth และอุณหภูมิ ในขณะที่สำหรับแก้วที่มีปริมาณตะกั่วสูง การแตกร้าวมีผลมาจากอุณหภูมิซึ่งที่ค่าอุณหภูมิหนึ่งเบ้าหลอมจะแตกได้ถึงแม้ว่าแก้วจะมีความหนืดน้อยก็ตาม ดังนั้นการเลือกชนิดของเบ้าหลอมที่เหมาะสมควรจะเป็นเบ้าหลอมที่มีส่วนผสมของ SnO_2 ด้วย

K. Pengpat และ D. Holland [8] ได้ทำการวัดค่า Dielectric Constant ของ Glass Ceramics และเป็นกลุ่มของแก้วประเภท Non-Magnetic Material พบว่าให้ค่า Dielectric Constant สูง

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการที่จะสร้างแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (มีค่ามากกว่า 1.520) โดยที่เป็นการศึกษาถึงกระบวนการที่เหมาะสมและทดลองสร้างแก้วด้วยส่วนผสมของสารเคมีต่าง ๆ โดยการเปลี่ยนองค์ประกอบ อุณหภูมิของการหลอมเหลวและการเย็นตัว ทำการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบ วัดค่าดรรชนีหักเหและค่า Dielectric Constant และโดยที่แก้วชนิดนี้มีคุณสมบัติที่เป็น Non-Magnetic Material ดังนั้นจึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหและค่า Dielectric Constant ที่ว่า ค่าดรรชนีหักเห (n_D) มีค่าเท่ากับรากที่สองของค่า Dielectric Constant (ε_r) , $n_D = \varepsilon_r^{1/2}$ นอกจากนี้ผลของการวิจัยจะเป็นส่วนหนึ่งของการนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ในการบูรณะ เพื่อการอนุรักษ์ศิลปกรรมและโบราณวัตถุที่ทรงคุณค่าต่างๆ

2. เนื้อหาและวิธีการ

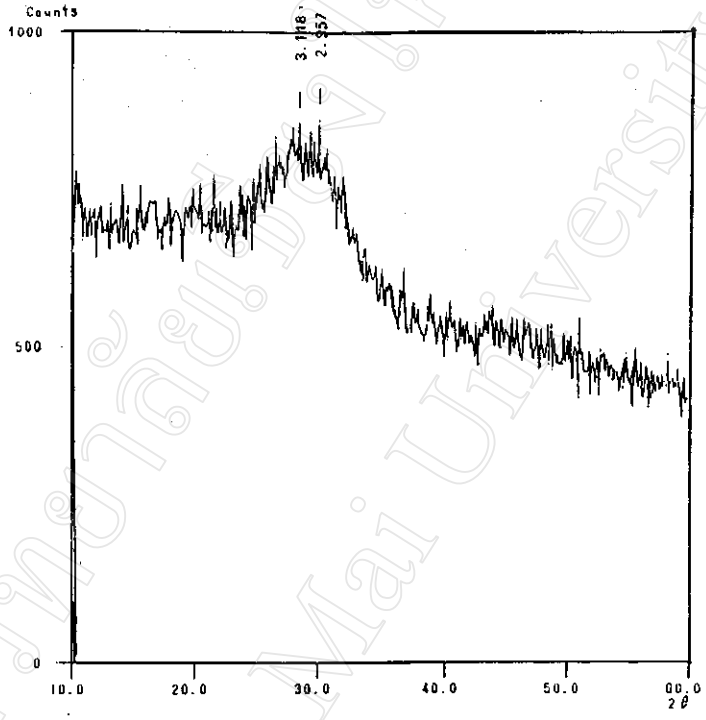
2.1 การสำรวจ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระจกเกรียบ พบว่ามีการใช้แก้วหรือกระจกดังกล่าว ประดับและตกแต่งตามศิลปวัตถุและโบราณสถานที่เป็นพุทธสถานและสิ่งสักการะในพระพุทธศาสนา กระจายอยู่ทั่วไปภายในเขตพระบรมมหาราชวัง กรุงเทพมหานคร ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ ส่วนใหญ่เป็นกระจกอยุธยาและกระจกรัตนโกสินทร์ ในขณะที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแก้วอังวะ

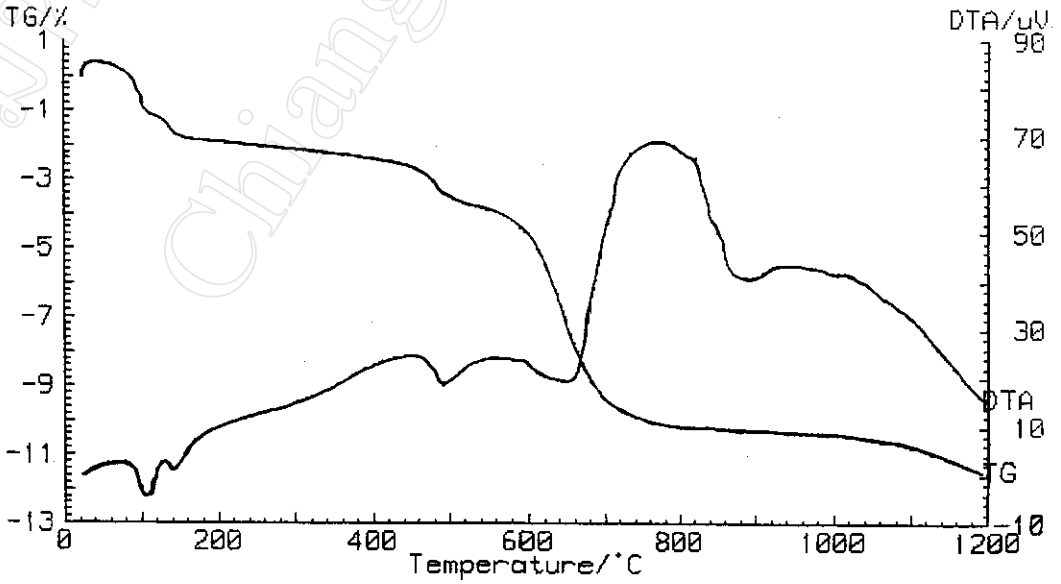
2.2 การทดลอง

เนื้อแก้วสีน้ำเงิน ถูกเตรียมขึ้นจากส่วนผสมของแก้วมาตรฐาน [SiO_2 (70%), KNO_3 (5%), Na_2CO_3 (10%), CaO, (15%)], Pb_3O_4 (40%) และ CuO ในความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งส่วนผสมรวมปริมาณ 10 กรัม ถูกหลอมใน Platinum Crucible ด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที และทำให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ตรวจ วิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF) และ Scanning Electron Microscopy (SEM) ผลการตรวจวิเคราะห์ แสดงไว้

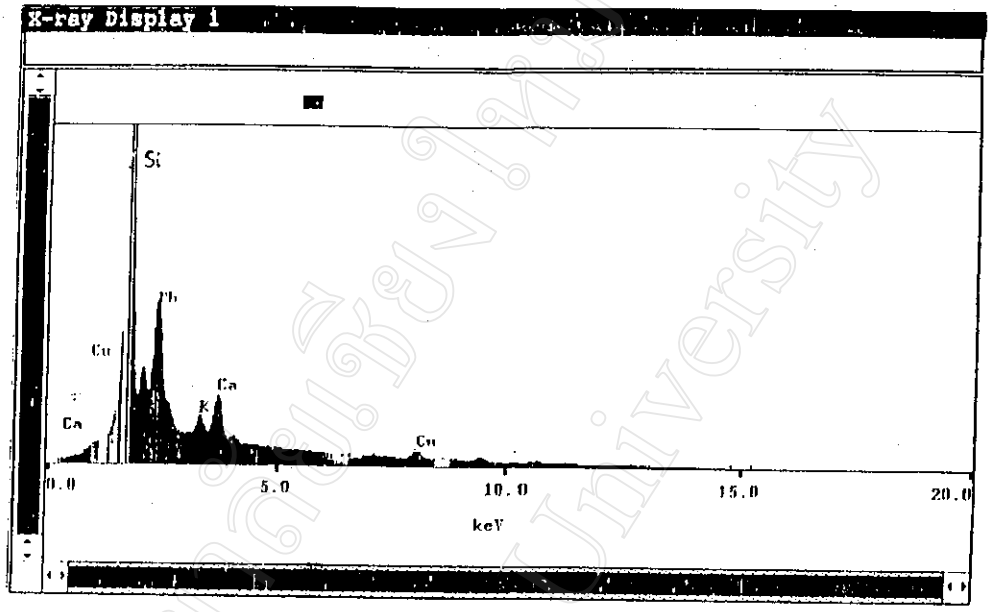
ในรูปที่ 1 รูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ ตรวจสอบสถานะที่เปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค DTA/TG ผลการตรวจสอบแสดงไว้ในรูปที่ 4 ตรวจวัดค่าดรรชนีหักเหด้วยเครื่อง Refractometer ผลการตรวจวัดแสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 4 ตามลำดับ และตรวจวัดค่า Dielectric Constant ด้วยเครื่อง LCZ Meter ผลการตรวจวัดแสดงไว้ในตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้จากเครื่อง Refractometer และที่คำนวณได้จากค่า Dielectric Constant แสดงไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 1 แสดง X-Ray Diffractogram ของแก้วสีน้ำเงิน



รูปที่ 2 แสดง Thermogram ของแก้วสีน้ำเงิน



รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์แก้วสีน้ำเงินด้วย XRF

รูปที่ 4 แสดงผิวหน้าของแก้วสีน้ำเงินด้วย SEM ที่มีกำลังขยาย x2,400

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าดรรชนีหักเหของแก้วสีน้ำเงินที่ได้จาก CuO
ด้วยเครื่อง Refractometer รุ่น Rayner RD 475

ความเข้มข้น (%)	อุณหภูมิเย็นตัว (°ซ)	อุณหภูมิเผา (°ซ)	ค่าดรรชนีหักเห จำนวนชั่วโมงการเผา 1	2	3
0.1	ปรกติ	1,100	1.687	1.734	1.693
0.5			1.669	1.744	1.702
1.0			1.653	1.709	1.675
0.5	ปรกติ	900		1.674	
		1,000		1.697	
		1,150		1.705	
		1,200		1.643	
0.5	ทันที			1.680	
	750	1,100		1.688	
	250			1.696	

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดค่า Dielectric Constant ของแก้วสีน้ำเงินที่ได้จาก CuO
ด้วยเครื่อง LCZ Meter รุ่น Hewlett-Packard 4276A

ความเข้มข้น (%)	อุณหภูมิเย็นตัว (°ซ)	อุณหภูมิเผา (°ซ)	ค่า Dielectric Constant จำนวนชั่วโมงการเผา 1	2	3
0.1	ปรกติ	1,100	3.326	3.637	3.460
0.5			3.735	3.965	3.844
1.0			3.828	4.560	4.062
0.5	ปรกติ	900		3.791	
		1,000		4.072	
		1,150		4.559	
		1,200		4.267	
0.5	ทันที			3.716	
	750	1,100		3.854	
	250			4.221	

หมายเหตุ ปรกติ หมายถึง ปิดเตาเมื่อถึงอุณหภูมิและชั่วโมงที่ตั้งไว้
ทันที หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,100° ซ
750 หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 750° ซ
250 หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 250° ซ

ตารางที่ 3 ค่าดรรชนีหักเหเปรียบเทียบของแก้วสีน้ำเงินที่ได้จาก CuO จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer และ ที่คำนวณ ได้จากค่า Dielectric Constant

ความเข้มข้น (%)	อุณหภูมิเย็นตัว (°ซ)	อุณหภูมิเผา (°ซ)	ค่าดรรชนีหักเห ที่วัดได้ จำนวนชั่วโมงการเผา 1	2	3	ที่คำนวณได้ 1	2	3
0.1	ปรกติ	1,100	1.687	1.734	1.693	1.823	1.907	1.860
0.5			1.669	1.744	1.702	1.933	1.991	1.961
1.0			1.653	1.709	1.675	1.957	2.135	2.015
0.5	ปรกติ	900	1.674			1.947		
		1,000	1.697			2.018		
		1,150	1.705			2.135		
		1,120	1.643			2.066		
0.5	ทันที	1,100	1.680			1.928		
	750		1.688			1.963		
	250		1.696			2.055		

หมายเหตุ ปรกติ หมายถึง ปิดเตาเมื่อถึงอุณหภูมิและชั่วโมงที่ตั้งไว้
ทันที หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,100° ซ
750 หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 750° ซ
250 หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาที่อุณหภูมิ 250° ซ

ตารางที่ 4. ผลการตรวจวัดค่าดรรชนีหักเหของแก้วสีต่างๆที่ถูกเตรียมจากออกไซด์ของโลหะในกลุ่มทรานซิชัน

ลำดับ	เลขอะตอม	สี/สารที่เติม	ค่าดรรชนีหักเห
1	24	เขียว/ Cr_2O_3	1.690
2	25	ม่วง/ MnO_2	1.700
3	26	น้ำตาล/ Fe_2O_3	1.702
4	27	น้ำเงิน/ CoO	1.707

2.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

จากรูปที่ 1 แสดง X-Ray Diffractogram ของแก้วสีน้ำเงินที่เตรียมจาก SiO_2 ,KNO_3, Na_2CO_3, CaO, Pb_3O_4 และ CuO จากการวิเคราะห์พบว่า X-Ray Peaks ทุก Peaks ตรงกับ X-Ray Peaks ที่ได้จากแก้วโบราณ ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย XRF (รูปที่ 2) ซึ่งพบว่ามีธาตุ Si, Pb, Ca, K และ Cu

จากผลการวิเคราะห์ Thermogram (รูปที่ 4) พบว่า Crystallization Temperature (T_c) มีค่าประมาณ 800 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 3 ผิวหน้าของแก้วแสดงให้เห็นถึงการก่อตัวเป็นรูปผลึกกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อแก้ว

จากการวัดค่าดรรชนีหักเหของแก้วสีน้ำเงินและแก้วสีต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องRefractometer แสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 4 ตามลำดับ และค่า Dielectric Constant ที่วัดได้จากเครื่อง LCZ Meter แสดงไว้ในตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้ด้วยเครื่อง Refractometer และคำนวณจากค่า Dielectric Constant แสดงไว้ในตารางที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าดรรชนีหักเห n_D และค่า Dielectric Constant ε_r ของแก้วสีน้ำเงินในการทดลองนี้ ซึ่งเป็น Non-magnetic material มีค่าดรรชนีหักเหเป็นไปตามความสัมพันธ์ $n_D = \varepsilon_r^{1/2}$

3. สรุปผล

แก้วสีน้ำเงินที่ถูกเตรียมจากสารเคมี SiO_2, KNO_3, Na_2CO_3, CaO, Pb_3O_4 และ CuO โดยมี Pb_3O_4 เป็น Flux ทำให้อุณหภูมิที่หลอมลดลงเหลือประมาณ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง เนื้อแก้วบางส่วนมีโครงสร้างเป็นผลึกกระจายในเนื้อแก้วทั่วไป ค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้เมื่อเทียบกับค่า $\varepsilon_r^{1/2}$ มีค่าใกล้เคียงกัน

ความเข้มข้นของ CuO ที่ทำให้สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นแปรเปลี่ยนไป ทำให้ค่าดรรชนีหักเหเปลี่ยนไปด้วย และผลการวัดค่า ε_r ก็เปลี่ยนแปลงไปในทำนองเดียวกัน

นอกจากนี้ผลการทดลองเพื่อหาค่าค่าดรรชนีหักเหของแก้วสีต่าง ๆ พบว่าค่าดรรชนีหักเหจะสูงขึ้นด้วย เมื่อเลขอะตอมของโลหะในกลุ่มทรานซิชันที่ทำให้เกิดสีเจือปนอยู่ในเนื้อแก้วมีค่าสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณฝ่ายบูรณะราชภัณฑ์ กองพระราชพิธี สำนักพระราชวัง และ กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและผลักดันให้เกิดการวิจัยนี้ขึ้นมา ขอขอบคุณกองทัพบก กองทัพเรือ กองทัพอากาศ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบภาคเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย บริษัท Siemens (ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน) และ Standards and Industrial Research Institute of Malaysia (ประเทศมาเลเซีย) ที่ได้ให้ความร่วมมือในการตรวจวิเคราะห์ทดสอบและตรวจสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณบริษัทบางกอกกล๊าส จำกัด, บริษัทกระจกไทย-อาซาฮี จำกัด และบริษัท Malaysian Glass (ประเทศมาเลเซีย) ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำแก้วและกระจก ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นิยม บุญถนอม และ รศ.ดร.กาญจนะ แก้วกำเนิด ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำ และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

[1] Malony, T.F.T.(1968) *Glass in the Modern World*, New York: Doubleday & Company Inc.

[2] Pfaender, H.G.(1983) *Schott Guide to Glass*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.

[3] Volf, M.B.(1984) *Chemical Approach to Glass : Glass Science and Technology Volume 9*, Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company.

[4] Wagner, R.(1889) *Handbook of Chemical Technology*, New York: D. Appleton and Company.

[5] Moulson, A.J. and Herbert, J.M.(1993) *Electroceramic : Materials-Properties- Applications*, Cambridge: Chapman & Hall.

[6] Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R.(1997) *Introduction to Ceramics*, Singapore: John Wiley & Sons Ltd.

[7] Holloway, G.(1973) *The Physical Properties of Glass*, London: Wykeham Publications (London) Ltd.

[8] Pengpat, K. and Holland, D.(1997) *Ferroelectric Glass-Ceramic from Pbo-Bi_2O_3-GeO_3 System*, Master Thesis. University of Warwick Coventry.

[9] Ichinose, N.(1987) *Introduction to Fine Ceramics : Applications in Engineering*, Great Britain : John Wiley & Sons Ltd.

[10] บุญพบ บุญญาภิสันท์,พลตรี (2525) "ความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมแก้วในโอกาสสมโภชกรุงรัตนโกสินทร์ 200 ปี". *วารสารวัสดุศาสตร์* ฉบับที่1, องค์การแก้ว กระทรวงกลาโหม 1-9.

[11] พิศุทธิ์ ดารารัตน์,พันตรี (2540) *รายงานผลการดำเนินงานการศึกษาและทดลองทำกระจกเกรียบสนับสนุนสำนักพระราชวัง*, กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก.

[12] รังสฤษดิ์ จักษุจินดา (2534) *ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

[13] Pusch, E.B.(1997) "New Kingdom glass melting crucibles from Qantir-Piramesses", *Journal of Egyptian Archaeology*, Vol.83.

[14] Fedorava, V.A., Guloyan, Yu A., Belova, N.A., Rashina, N.G. (1988) "Use of New Lead-Bearing Materials in Making Crystal Glasses", *Steklo I Keramika*,3,3-5.

[15] Verlotskii, A.A., Rublevskii, I.P., Kulikova, M.V., Frolava, V.P., Kalinin, V.B.,Shamorova, K.I. (1985) "Resistance of Refractories to Lead Glass Melts", *Steklo I Keramika*, 4, 10-12.

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	พันตรี พิศุทธิ์ ดารารัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	15 ตุลาคม 2501
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพัฒนศิลป์ จังหวัดชลบุรี ปีการศึกษา 2516
	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสมาคมโรง-เรียนราษฎร์ กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2518
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2523
ประวัติการรับราชการ	
	2524 ตำแหน่ง ครูแผนกวิชารังสีและนิวเคลียร์ กองการศึกษา กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก (อัตรา ร้อยเอก)
	2528 ตำแหน่ง ประจำแผนกวิชาการ กองวิทยาการ กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก (อัตรา ร้อยเอก)
	2534 ตำแหน่ง ประจำแผนกวิชาการ กองวิทยาการ กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก (อัตรา พันตรี)
	2541 ช่วยราชการสำนักพระราชวัง
หลักสูตรทางทหาร	
	2526 นายทหารเคมีกองพัน รุ่นที่ 7
	2532 นายทหารสรรพาวุธชั้นนายร้อย รุ่นที่ 28
	2533 นายทหารสรรพาวุธชั้นนายพัน รุ่นที่ 23
	2535 การบริหารงานวิจัยและพัฒนาการทหาร รุ่นที่ 1

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ประสบการณ์

การฝึก อบรม สัมมนา และดูงาน

ภายในประเทศ

พ.ย. 2526 การประชุมนานาชาติ The 4th Asian-Oceanian Congress of Radiology ณ โรงแรมไฮแอทเซนทรัลพลาซา กรุงเทพฯ (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ)

มิ.ย. 2527 การอบรมและสัมมนา การเขียนบทความทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กรุงเทพฯ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

ก.พ. 2528 การประชุมนานาชาติ International Symposium on Fast Neutrons in Science and Technology ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (IAEA)

ต.ค. 2528 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ (สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

ต.ค. 2530 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

พ.ย. 2530 การประชุมวิชาการ German Technology Symposium in Thailand ณ โรงแรมอินทรารีเจนต์ กรุงเทพฯ (หอการค้าไทย-เยอรมัน)

มี.ค. 2531 การสัมมนาทางวิชาการ ความปลอดภัยจากการใช้สารเคมีในห้องปฏิบัติการ ณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กรุงเทพฯ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

มิ.ย. 2531 การประชุมเชิงวิชาการและการสัมมนาเกี่ยวกับการวิจัยและพัฒนาทางทหารของกองทัพไทย ณ สนามเสือป่า กรุงเทพฯ
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทางทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด)

มี.ค. 2532 การประชุมทางวิชาการ โอกาสทองของการใช้แอลกอฮอล์เป็นพลังงานและสารเพิ่มออกเทน ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ
(สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย)

ต.ค. 2532 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
(สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

ม.ค. 2533 การอบรมเชิงปฏิบัติการ Proceeding of the Regional College on Plasma Applications ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
(IAEA)

พ.ย. 2533 การประชุมวิชาการ GTO'90 Third German Technology Symposium ณ โรงแรมอิมพีเรียล กรุงเทพฯ
(หอการค้าไทย-เยอรมัน)

ต.ค. 2535 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 4 ณ โรงแรมไฮแอทเซนทรัลพลาซา กรุงเทพฯ
(สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ)

การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ
(สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

พ.ย. 2535 การประชุมวิชาการ Princess Congress II; Environment, Science and Technology : The Challenges of the 21st Century ณ โรงแรมแชงกรี-ลา กรุงเทพ
(สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์)

ม.ค. 2536 การฝึกอบรม การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 รุ่นที่ 8
ณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ
(สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ)

ก.พ. 2536 การประชุมชี้แจง การขออนุญาตและการใช้สารกัมมันตรังสี
ณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ
(สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ)

เม.ย. 2536 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เลเซอร์เพื่อการพัฒนาการเรียน
การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ มหาวิทยาลัยมหานคร
กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

พ.ค. 2536 การอบรมเชิงปฏิบัติการ เส้นใยแก้วนำแสงเพื่อการพัฒนา
เทคโนโลยี ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (IAEA)

ก.ย. 2536 การประชุมเชิงวิชาการเพื่อการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร
เลเซอร์และการประยุกต์ใช้งาน ณ ศาลาว่าการกระทรวง
กลาโหม กรุงเทพฯ (สำนักงานประสานการวิจัยและ
พัฒนาการทางทหาร กระทรวงกลาโหม)

ต.ค. 2536 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 19 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
(สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

พ.ย. 2536 การประชุม GTO'93 German Technology Symposium
ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ
(หอการค้าไทย-เยอรมัน)

ม.ค. 2537 การประชุมเชิงวิชาการ Asian-Pacific Conference Multilateral
Cooperation of Space Technology and Applications
ณ โรงแรมอิมพีเรียล กรุงเทพฯ (สภาวิจัยแห่งชาติ)

ส.ค. 2537 การประชุมทางวิชาการ The International Congress on Science and Technology for Good Relationship with Neighbouring Countries (TECHNO INDOCHINA) ณ ศูนย์การประชุมสหประชาชาติ กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

การสัมมนาทางวิชาการ ทหารกับพลังงานนิวเคลียร์ ณ ศาลาว่าการกระทรวงกลาโหม กรุงเทพฯ (สำนักงานประสานการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กระทรวงกลาโหม)

พ.ย. 2537 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 5 ณ โรงแรมเซนทรัลพลาซา กรุงเทพฯ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ)

ธ.ค. 2537 การประชุมเชิงปฏิบัติการ การประยุกต์เทคโนโลยีไอออนบีมกับงานด้านการวิเคราะห์คุณภาพและวิเคราะห์วัสดุ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (IAEA)

การประชุมวิชาการ ฟิสิกส์กับการสื่อสารสมัยใหม่ ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ เชียงใหม่ (สมาคมฟิสิกส์แห่งประเทศไทย)

เม.ย. 2538 การประชุมวิชาการ ตลาดนัดเทคโนโลยี ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

ก.ค. 2538 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ Workshop on Recent Environmental Technology and Hazardous Waste Management ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

การสัมมนา แนวทางการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของไทยในช่วงแผนพัฒนาฯฉบับที่ 8 ณ โรงแรมรามาการ์เดน กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

การสัมนา การจัดทำฐานระบบข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ณ โรงแรมอโนมา กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

ก.ย. 2538 การอบรมระยะสั้น Lasers and Laser System Applications ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด กรุงเทพฯ (สำนักงานประสานการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กระทรวงกลาโหม)

ต.ค. 2538 การประชุมวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซีตี จ. ชลบุรี (สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

ธ.ค. 2538 การประชุมวิชาการ จุลทรรศน์อิเลคตรอน ครั้งที่ 13 ณ โรงแรมเวียงอินทร์ จ. เชียงราย (สมาคมจุลทรรศน์อิเลคตรอนแห่งประเทศไทย)

เม.ย. 2539 การฝึกอบรม การวิเคราะห์แบบเอ็กซ์อาร์เอฟและการประยุกต์ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (IAEA)

พ.ค. 2539 การสัมมนาทางวิชาการ การบำบัดน้ำเสีย ณ มหาวิทยาลัยรังสิต จ. ปทุมธานี (มหาวิทยาลัยรังสิต)

ก.ค. 2539 การประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 6 เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ โรงแรมสยามซีตี กรุงเทพฯ(กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

การประชุมสัมมนาทางวิชาการ Science and Technology Education in the Year 2000 ณ โรงแรมดิเอมเพรส จ.เชียงใหม่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

การสัมมนาประจำปี 2539 สิ่งแวดล้อมไทยในทศวรรษหน้า ณ โรงแรมเซนทรัลพลาซา กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

ส.ค. 2539 การสัมมนาเชิงเทคนิคด้านการวัดรังสี In-Situ Measurement System Using Non-Conventional Calibration Methods Used in Canberra System and Correction Methods in Non-Destructive Assay of Nuclear Waste Using Canberra Waste Assay Systems ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ (คณะวิศวกรรมศาสตร์)

ก.ย. 2539 การสัมมนานานาชาติ International Symposium on Risk Assessment - ISRA BANGKOK ณ โรงแรมสยามซีตี กรุงเทพฯ (สมาคมพิษวิทยาแห่งประเทศไทย)

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การป้องกันอุบัติภัยจากสารเคมี ณ โรงแรมโนโวเทลริมเพ จ. ระยอง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

การสัมมนา แผนปฏิบัติการ GIS ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 ณ โรงแรมเซนทรัลพลาซา กรุงเทพฯ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม)

การประชุม การใช้บริการผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคของหน่วยงาน Netherlands Management Cooperation Programe (NMCP) ร่วมกับกิจกรรมบริการปรึกษาทางอุตสาหกรรมของ สวทช. ณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเลกทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กรุงเทพฯ (สำนักงานส่งเสริมการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)

ต.ค. 2539 การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การผลิตเซรามิกส์ (Manufacturing of Whiteware) ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา ภาคเหนือ จ. ลำปาง (กระทรวงอุตสาหกรรม)

มิ.ย. 2540 การประชุมเชิงปฏิบัติการ Ferroelectric Materials and Applications ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ จ. เชียงใหม่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

ธ.ค. 2540 การประชุมวิชาการจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ครั้งที่ 15 ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ก.พ. 2541 การสัมมนาทางวิชาการ Advanced Ceramics as Engineering Materials ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ Freiberg University, Germany)

เม.ย. 2541 การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ จุลทรรศน์อิเลกตรอนและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ ณ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ บริษัท เบคไทย จำกัด)

ต่างประเทศ

มิ.ย. 2529 การประชุมนานาชาติ The Second International Symposium on Protection Against Chemical Warfare Agents ณ ประเทศสวีเดน (Stockholm)

ม.ค. 2534 การฝึกอบรมด้านเลเซอร์และการประยุกต์ใช้งาน SEALS II : South East Asian Laser School ณ ประเทศอินโดนีเซีย (Yogyagarta University, Yogyagarta)

มี.ค. 2535 การฝึกอบรมด้านการใช้งานเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ทางด้านนิวเคลียร์ Course of Instruction for the SU-415-5 System 100/ Gamma AT Operation ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา

(Canberra, Connetticut)

การฝึกอบรม Laser Target Designators & Rangers and Laser Safety ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา (MIT)

พ.ย. 2536 การประชุมสัมมนา 1993 International Electro-Optics Exhibition and Symposium on Laser and Optoelectronics ณ ประเทศสิงคโปร์

มี.ค. 2537 การประชุมปฏิบัติการ The Eighth International Simulant ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Aberdeen Proving Ground, Edgewood Area, Maryland)

ต.ค. 2540 การฝึกอบรม Third Country Training Programe in Analytical Instrumentation for Ceramics ณ ประเทศมาเลเซีย (Standards and Industrial Research Institute of Malaysia, Shah Alam)

อื่นๆ

- คณะอนุกรรมการทดสอบกองทัพบก โครงการผลิตไฟฟ้าด้วยกระแสลม
- คณะอนุกรรมการทดสอบกองทัพบก โครงการปืนซุ่มยิง
- คณะอนุกรรมการกองทัพบก โครงการวิจัยจรวดสำรวจบรรยากาศขั้นที่ 1
- คณะอนุกรรมการวิจัยและพัฒนาการทางทหารของกระทรวงกลาโหม (แร่ยุทธปัจจัย)
- คณะชุดทำงานแปลเอกสารของกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
- ชุดทำงานประสานงานการป้องกันบรรเทาและแก้ปัญหาอุบัติภัยเนื่องจากสารพิษของกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
- นักวิจัยแห่งชาติ
- ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานประจำอาคารควบคุม กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
- เจ้าหน้าที่ดำเนินงานในโครงการตามพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตน-ราชสุดา สยามบรมราชกุมารีฯ เรื่องกระจกเกรียบ

ผลงานวิจัยและพัฒนา

- ลูกระเบิดขว้างควันสีแบบมาตรฐานนาโต
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กระทรวงกลาโหม
รับรองมาตรฐาน 20 ก.ค. 2530)
- กล้องส่องตรวจการณ์ในเวลากลางคืนแบบเยนเนอเรชันที่ 2
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 7 ก.พ. 2532)
- ชุดอุปกรณ์เบตาไลต์
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 7 ก.พ. 2532)
- แว่นส่องสองตาสำหรับพลขับในเวลากลางคืน
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 10 ต.ค. 2532)
ผลงานวิจัยดีเด่นกองทัพบก รางวัลชมเชย ปี 2535
- การศึกษาคุณสมบัติของแสงเลเซอร์เพื่อประโยชน์ทางทหาร
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 18 พ.ย. 2534)
- เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 6 ธ.ค. 2535)
- ปลอกลูกแสงพลุสัญญาณปืนปากกาแบบพลาสติก
(คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
รับรองมาตรฐาน 24 ก.ค. 2539)
ผลงานวิจัยดีเด่นกองทัพบก รางวัลที่ 2 ปี 2539

- พลุส่องสว่างพื้นดิน
  (คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทโธปกรณ์ กองทัพบก
  รับรองมาตรฐาน 24 ก.ค. 2539)
  ผลงานวิจัยดีเด่นกองทัพบก รางวัลที่ 3 ปี 2539
- ชุดให้แสงอินฟราเรด
- จวรด 105 มม. บรรจุสารเคมี
- ลย./ค. 60 มม. บรรจุสารซีเอส
- ลย./ค. 60 มม. ควันขาว
- ลย./ค. 60 มม. ส่องสว่าง
- กล้องเล็งกลางคืนติดตั้งบนอาวุธประจำหน่วย
- ศูนย์ช่วยเล็งฉับพลัน
- การพัฒนาปืนยิงเครื่องฉีดไฟระบบจุดอิเลกทรอนิกส์
- การพัฒนากระสุนเจาะเกราะโลหะพิเศษ
- เชื้อเพลิงแข็ง (ผลิตสนับสนุนกองทัพบก)
- ลูกระเบิดเสียง (ธันเดอร์แฟลซ) (ผลิตสนับสนุนกองทัพบก)
- ลูกระเบิดแสงเสียง (แฟลซแบงค์) (ผลิตสนับสนุนกองทัพบก)
- การพัฒนาเครื่องสัญญาณเตือนภัยสารพิษอัตโนมัติ
- การพัฒนาลูกระเบิดขว้างแก๊สน้ำตาแบบลูกปราย
- หน้ากากป้องกันสารพิษ (กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ, กรมวิทยาศาสตร์-
  ทหารบก และ ศูนย์วิทยาศาสตร์และพัฒนาระบบอาวุธกองทัพอากาศ)
- ส่วนบรรจุควันสีสำหรับจรวดสำรวจบรรยากาศ ขั้นที่ 1
  (สภาวิจัยแห่งชาติ, กองทัพบก, กองทัพเรือ และ กองทัพอากาศ)
- โครงการศึกษาความเป็นไปได้ โครงการสำรวจวิเคราะห์วัตถุอันตราย
  ในน้ำเสียภายในกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
- โครงการวิจัยแนวทางการจัดการด้านความพร้อมและแผนการประสานงาน
  ด้านอุบัติภัยของกองทัพบกเนื่องมาจากสารเคมีอันตราย

- เครื่องช่วยฝึกยิงด้วยแสงเลเซอร์
  (บริษัท Royal Ordnance ประเทศอังกฤษและบริษัท ไทยเลเซอร์ จำกัด)
- การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิจัยและพัฒนา เครื่องช่วยหายใจ
  (กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก)
- การตรวจวิเคราะห์กระจกเกรียบ (สำนักพระราชวัง)
- การวิเคราะห์การกัดกร่อนของพื้นผิวตัวเรือ (กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ)

ผลงานทางวิชาการ

1. ***Laser Application for Military Uses.*** Second Symposium on Southeast Asian Laser School (SEAL II), 1991, Yogyagarta University, Indonesia.
2. ***เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์.*** การประชุมเชิงวิชาการเพื่อการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร เลเซอร์และการประยุกต์, 2536, ศาลาว่าการ-กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.
3. ***Ceramics Industry in Thailand.*** Third Country Training Programme in Analytical Instrumentation for Ceramics, 1997, Standards and Industrial Research Institute of Malaysia, Malaysia.
4. ***SEM STUDY ON ANCIENT GLASS.*** *Journal of Electron Microscopy Society of Thailand*, Volume 12 No 1 (January 1998).
5. ***Fabrication of High Refractive Index Glass.*** *J. Sci. Fac. CMU* Volume 25 No 1 (June 1998).