

# วัสดุศาสตร์เบื้องต้น

ศาสตราจารย์ ดร. ทวี ดันขศิริ

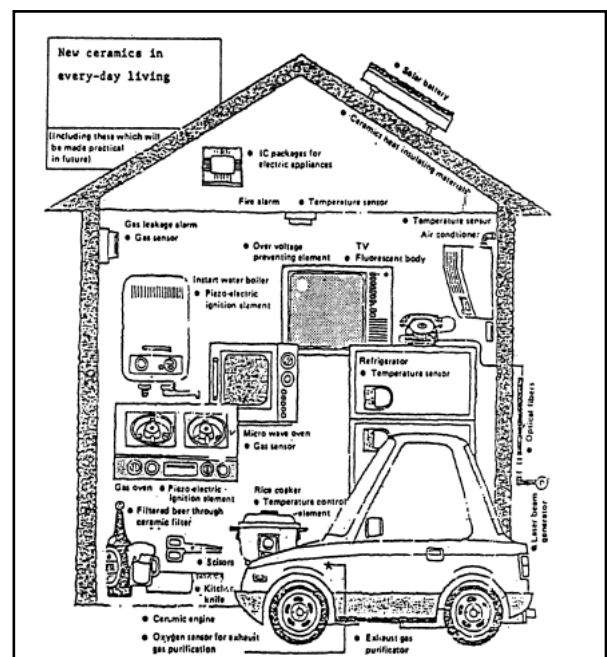
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## 1. เซรามิกและวัตถุดิบในประเทศ

### 1.1 บทนำ

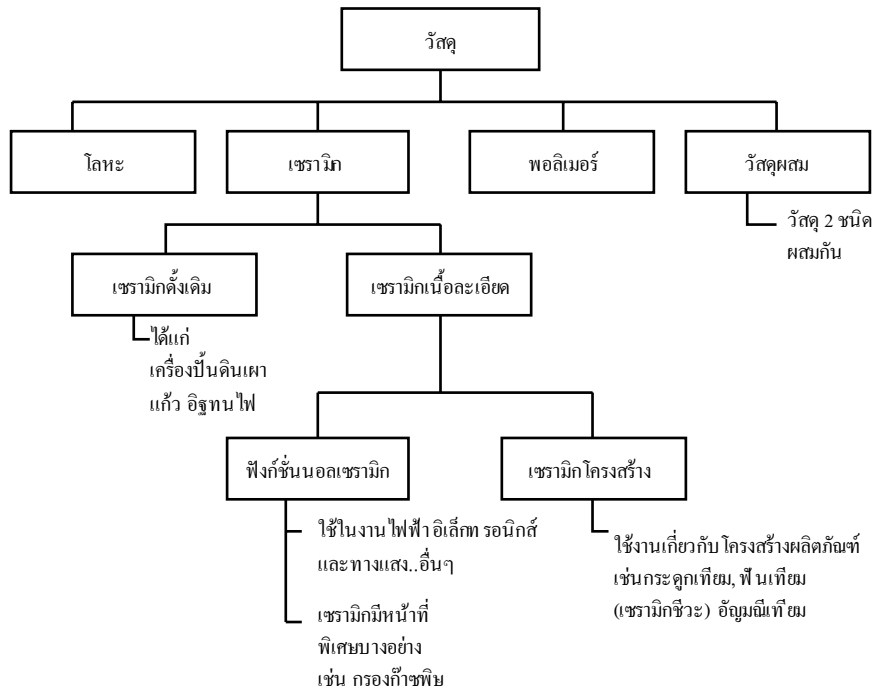
ในโลกปัจจุบันเป็นการยากที่จะดำรงชีวิตอยู่โดยไม่พึ่งพาวัสดุที่สร้างขึ้นมามากมาย ยกตัวอย่างเช่น กระดาษ สิ่งที่ทำด้วยไม้ สิ่งที่ทำด้วยโลหะ แก้ว แม้ในร่างกายก็ยังมีวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นมาอยู่ในร่าง เช่น วัสดุที่อุดในฟัน ข้อต่อ เซรามิก เลนส์ตา ลิ้นหัวใจ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อปฏิบัติการบางสิ่งในร่างกาย เพื่อให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ในห้วงอวกาศก็ยังมี ดาวเทียมที่มนุษย์สร้างขึ้นวิ่งวนรอบโลก รอบดาวเคราะห์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันเราต้องพึ่งพาอุปกรณ์ต่างๆ อย่างมากมาย ดังรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเช่น ที่जूดกาซ เซลล์สุริยะ อุปกรณ์ในรถยนต์ เป็นต้น อาจจะกล่าวได้ว่ามนุษย์ชาติในโลกปัจจุบันดำรงชีวิตอยู่ในท่ามกลางวัสดุทั้งสิ้น เป็นที่แน่ชัดแล้วว่าวัสดุเป็นสิ่งที่มิใช่ประโยชน์หลายๆ ด้านอย่างมหาศาล สามารถสร้างขึ้นในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สมบัติต่างๆ ของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างจึงต้องศึกษาและนำสมบัติที่เด่นของวัสดุเหล่านั้นมาใช้ให้เป็นประโยชน์ สมบัติของวัสดุที่สำคัญ เช่น ความต้านทานทาง

ไฟฟ้า ไดอิเล็กทริก ความหนาแน่น การขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ฯลฯ ซึ่งเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น ข้อแตกต่างระหว่างนักฟิสิกส์ และนักวัสดุศาสตร์จะแตกต่างกันที่นักวัสดุศาสตร์จะพิจารณาศึกษาโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ซึ่งอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  ม. หรือในช่วงของไมครอน (micron,  $\mu\text{m}$ ) แต่ในขณะที่นักฟิสิกส์มักจะสนใจแต่ช่วงของ  $10^{-10}$  ม. หรืออังสตรอม (Angstrom, A) หรือช่วงของ  $10^{-9}$  ม. หรือนาโนเมตร (nanometer, nm)



## รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการใช้เซรามิกยุคใหม่ในชีวิตประจำวัน

แผนภาพ (diagram) ของวัสดุอาจแบ่งออกได้ตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนภาพของวัสดุ (ดัดแปลงจาก[1])

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าวัสดุอาจแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก และวัสดุผสม เซรามิกยังแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ เซรามิกดั้งเดิม (classical ceramics) ซึ่งได้แก่ เครื่องปั้นดินเผา แก้ว ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้าน อิฐต่างๆ และเซรามิกเนื้อละเอียด (fine ceramics) เซรามิกดั้งเดิมสร้างจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ เช่น ดินเหนียวแร่ธาตุต่างๆ ขณะที่เซรามิกเนื้อละเอียด

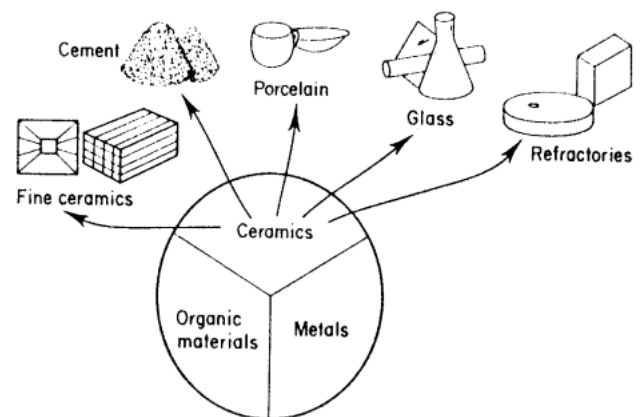
สร้างจากสารประกอบทางเคมีที่มีบริสุทธิ์สูง (> 99.99%) กรรมวิธีการผลิตยุ่งยากซึ่งจะกล่าว

ภายหลังเซรามิกเนื้อละเอียด บางที่เรียกว่า เซรามิกยุคใหม่ (new ceramics) ยังแบ่งย่อยออกไปอีกเป็นฟังก์ชันนอลเซรามิก (functional ceramics) จะเป็นกลุ่มที่ใช้ประโยชน์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ทางแสง และหน้าที่พิเศษบางอย่างเช่น ที่กรองก๊าซพิษ อีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นกลุ่มที่มีหน้าที่เกี่ยวกับ โครงสร้างเรียกเซรามิกโครงสร้าง (structural

ceramics) เช่น กลุ่มที่เข้าไปอยู่ในร่างกาย บางทีเรียกเซรามิกชีววะ (bio ceramics) เช่นกระดูกเทียม ฟันเทียม และกลุ่มอื่น เช่น อัญมณี เป็นต้น ข้อแตกต่างที่สำคัญของเซรามิกดั้งเดิมและเซรามิกเนื้อละเอียดคือความพรุน (porosity) ในเนื้อผลิตภัณฑ์ เซรามิกเนื้อละเอียด ความพรุนจะน้อยกว่ามาก หรือรูในเนื้อผลิตภัณฑ์มีน้อยกว่าสมบัติต่างๆ ของเซรามิกเนื้อละเอียดโดยเฉพาะกลุ่มฟังก์ชันนอลจะควบคุมโดยการควบคุมขนาดเกรน (grain size) เส้นขอบเกรน ด้วยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์ รายละเอียดนี้จะกล่าวในภายหลัง ด้วยสาเหตุที่ว่าเซรามิกเนื้อละเอียดสร้างจากการผสมของสารประกอบทางเคมี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ทางด้านนี้มีมากมายหลายชนิดที่ใช้ทำประโยชน์เฉพาะด้านต่างๆ ดังในรูปที่ 1.1 ปัจจุบันมีโรงงานที่ผลิต อุปกรณ์ต่างๆ ทางเซรามิกมากมาย โดยเฉพาะทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็นในวงจรต่างๆ มากมาย หากเราเปิดฝาด้านหลังโทรทัศน์ออกมาจะพบแผ่นวงจรต่างๆ มีชิ้นส่วนเล็กๆ หลายร้อยตัวประกอบอยู่ ชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านั้นคือฟังก์ชันนอลเซรามิกทั้งสิ้น ความต้องการทางการค้าของชิ้นส่วนเหล่านี้ ค้าขายไปทั่วโลกฟิชเชอร์ (Fisher) [2] ได้สำรวจและประเมินไว้ว่า ในปี ค.ศ.1983 ความต้องการชิ้นส่วนต่างๆ ด้านนี้ค้าขายกันทั่วโลกอยู่ในระดับ 5,000 ล้านดอลลาร์ ถึง 100,000 ล้านดอลลาร์ (ต่อปี) ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์และจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10-20% ต่อปี ในปัจจุบันตลาดสหรัฐอเมริกา มูลค่าชิ้นส่วน

ของ Advanced Ceramics มีค่าประมาณ 5.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ 76% ของมูลค่านี้เป็นชิ้นส่วนของอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก และคาดว่าจะมีค่าในปี ค.ศ. 2005 นี้ ถึง 10 หมื่นล้านดอลลาร์สหรัฐ

ในกลุ่มของอุตสาหกรรมที่ใช้ในปัจจุบัน มักแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ โลหะ (Fe, Cu และ Al) กลุ่มอนินทรีย์สาร ได้แก่ กลุ่มของยาง และกลุ่มของ Ceramics เช่น porcelain, refractories และกลุ่มใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การแบ่งกลุ่มของวัสดุทางอุตสาหกรรม [3]

### กลุ่มโลหะ

กลุ่มโลหะมักมีพันธะแบบโลหะ ผูกพันระหว่างอะตอมโดยอิเล็กตรอนอิสระ มีการถ่ายเทความร้อนที่ดี และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เหนียว มักทึบแสง

### กลุ่มอินทรีย์วัสดุ

กลุ่มอินทรีย์วัสดุ (organic materials) เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และ

ออกซิเจน เป็นโมเลกุลหลัก พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลโลหะ มักเป็นพันธะวานเดอวาลส์ และมักจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ง่ายต่อการทำเป็นรูปร่างต่างๆ

### กลุ่มเซรามิก

กลุ่มเซรามิกมักเป็นสารประกอบพันธะส่วนใหญ่เป็นไอออนิก บางกรณีเป็นโควาเลนต์ หรือพันธะโลหะ กลุ่มนี้มักเป็นสารที่มีสมบัติพิเศษ เช่น

1. ความต้านทานความร้อนสูง
2. เป็นฉนวนไฟฟ้า หรือกึ่งตัวนำ มีค่าทางแม่เหล็กและไดอิเล็กทริกต่างๆ กัน
3. เปราะ แต่เปลี่ยนรูปยาก
4. มีค่าความเหนียว (toughness) ต่ำ

กลุ่มเซรามิกนี้สามารถบดแต่งให้มีสมบัติเด่นๆ ที่ใช้ประโยชน์ได้ เรียกฟังก์ชันนอลเซรามิก ดังที่บรรยายมาแล้ว

### 1.2 วัสดุบิในประเทศ

ตารางที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์และสารประกอบอนินทรีย์ [4]

| ผลิตภัณฑ์                        | ประโยชน์ที่ใช้                          | สารประกอบอนินทรีย์                      |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) | ที่จุดก้ำข, มาตรการดัน                  | BaTiO <sub>3</sub> , PZT                |
| เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)       | ควบคุมอุณหภูมิ                          | BaTiO <sub>3</sub> , SrTiO <sub>3</sub> |
| ตัวเก็บประจุ (Capacitor)         | ใช้ในวงจรทั่วไป                         | BaTiO <sub>3</sub> , SrTiO <sub>3</sub> |
| เฟอร์ไรท์ (Ferrite)              | แกนแม่เหล็กใช้ในคอมพิวเตอร์             | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          |
| วาริสเตอร์ (Varistor)            | ป้องกันการกระเพื่อมของ ความต่างศักย์สูง | ZnO                                     |

ดังที่บรรยายก่อนหน้านี้ว่า เซรามิกเนื้อละเอียดนั้นสร้างจากสารประกอบทางอนินทรีย์เป็นหลัก ดังนั้นสารประกอบทางอนินทรีย์เหล่านี้จึงถูกสร้างขึ้นด้วยกรรมวิธีหลายอย่างแล้วทำให้บริสุทธิ์ถึงขั้นที่ใช้ประโยชน์ได้ วิธีการหนึ่งที่จะสร้างสารประกอบเหล่านี้ก็คือการปรับปรุงพัฒนาทำให้แร่ธาตุบริสุทธิ์หรือเปลี่ยนแปลงให้สินแร่เหล่านี้ให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ต้องการ สินแร่เหล่านี้มีมหาศาลในประเทศ จึงเปรียบเสมือนวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นประโยชน์ได้ เพียงแต่หากรรมวิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมมาเปลี่ยนแร่เหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบสารประกอบที่ต้องการ ทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณค่าแร่ธาตุเหล่านี้ เนื่องจากการค้าขายสินแร่ที่ยังไม่ได้ปรับปรุงกระทำกันประมาณ 1-10 ล้านบาทต่อปี ขึ้นกับชนิดของแร่หากปรับปรุงแล้วก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าอย่างมหาศาลเป็นร้อย เป็นพันเท่าของสินแร่ที่ยังไม่ปรับปรุง

ในตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มาจากสารประกอบอนินทรีย์ที่ใช้อาจจะปรับปรุงจากสินแร่ดังต่อไปนี้ [4-6]

แบเรียมติตาเนต (Barium titanate)  $\text{BaTiO}_3$  อาจจะพัฒนาจากแร่แบไรท์ (Baryte) ซึ่งอาจจะพบทั่วไปในจังหวัดเลย แม่ฮ่องสอน

PZT อาจจะพัฒนาจากแร่ตะกั่ว อาจจะมาจากแร่กาลีนา (Galena) หรือแร่ตะกั่วอาจหาจากจังหวัดแพร่ ลำปาง

Ferrite อาจจะพัฒนาจากแร่เหล็กซึ่งจะพบปะปนอยู่กับแร่ตะกั่ว แมงกานีส (Manganese)

และพบมากในจังหวัดเลย

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)  $\text{ZnO}$  อาจจะพัฒนาจากแร่สฟาลิไรท์ (sphalerite) และแร่สมิทโซไนท์ (smithsonite) พบมากในจังหวัดตาก

การพัฒนาเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่เป็นประโยชน์ อาจใช้กระบวนการทางเคมี\* สารประกอบที่สำคัญคือ  $\text{BaTiO}_3$  และ Ferrite ที่ได้จากการเผาสารประกอบของแบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate,  $\text{BaCO}_3$ ) กับสารประกอบอื่นและ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ตามลำดับ สำหรับสารประกอบ  $\text{BaCO}_3$  นั้นอาจจะพัฒนามาจากแร่แบไรท์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบเรียมซัลเฟต (Barium

Sulphate,  $\text{BaSO}_4$ ) ผสมกับสิ่งเจือปนต่างๆ ทวีและคณะได้ใช้กระบวนการทางเคมีในการเปลี่ยนแบเรียมซัลเฟตเป็นแบเรียมคาร์บอเนต ซึ่งได้ความบริสุทธิ์เกิน 99% และได้ทดลองสร้างแบเรียมติตาเนต ทำเป็นเทอร์มิสเตอร์และตัวเก็บประจุ ผลจากการทดลองปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกับแบเรียมคาร์บอเนตมาตรฐานห้องปฏิบัติการ

สำหรับเฟร์ไรท์นั้นอาจสร้างจากเหล็ก

ออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ซึ่งอาจพัฒนาจากแร่เหล็กโดยตรง ซึ่งได้ระดับเกิน 99% เช่นกัน ซึ่งอาจติดตามรายละเอียดในรายงานของ Tunkasiri et.al. สำหรับแร่ธาตุอื่นเช่น ตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส ก็สามารถพัฒนามาจากสินแร่ในประเทศ อาจติดตามได้ในรายงานของทวีและคณะ

## 2. บทบาทของวัสดุในอนาคต [7]

ตามที่สหประชาชาติได้คาดคะเนไว้ว่า

ในศตวรรษใหม่นี้ จำนวนประชากรของโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจถึงหมื่นล้านคนใน ค.ศ. 2150 ดังนั้นปัญหาที่ตามมาในด้านต่างๆ เช่น การขาดแคลนอาหาร น้ำดื่ม การทำลายป่า ปัญหาด้านเศรษฐกิจ การเมือง เป็นต้น ปัญหาบางชนิดนำมาซึ่งการค้นคว้าวิจัยและพัฒนานำเอาวัสดุมาใช้ เช่น ต้องสร้างอ่างเก็บน้ำที่ใหญ่ มีการชลประทานเพียงพอ ทำให้วัสดุด้านซีเมนต์ต้องมีคุณภาพยิ่งขึ้น มีความแข็งแรงกว่าซีเมนต์ธรรมดา ที่กรองน้ำเซรามิกก็จะต้องพัฒนาให้กรองเชื้อโรค หรือมีประเภท antibacterials tiles ซึ่งเป็นเซรามิกที่ฉาบ

ด้วยแผ่นฟิล์มของ metal catalyst บางชนิด ที่  
ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้

ความก้าวหน้าทางโทรคมนาคมจะไ  
ย่งขึ้นทำให้อุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์  
ต่างๆ มีมากขึ้น และมีขนาดเล็กลง กำล้งการผลิต  
จะมากยิ่งขึ้น เป็น exponential อุปกรณ์เหล่านี้  
ได้แก่

กลุ่ม sensors ต่างๆ กลุ่ม composite transducers,  
thermistors capacitors, multilayer capacitors  
และ actuators เป็นต้น

ชิ้นส่วนบางอย่างจะต้องมีสมรรถภาพดี  
ย่งขึ้น เช่น Multilayer capacitors อาจมีขนาดเล็ก  
เพียง 1 มม. หนาเพียง 1  $\mu\text{m}$  กลุ่ม sensors และ  
สารเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (PZT) หรือ  
composite ระหว่าง PZT และ polymer เช่น ไม  
เพียงแต่ sensing ยังวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งบางที  
เรียก Smart materials และหากทำหน้าที่ sensing  
วิเคราะห์สัญญาณที่รับและ respond ทันที กลุ่ม  
เหล่านี้บางทีเรียกว่า Intelligent Materials ซึ่งจะ  
ใกล้เคียงกับระบบประสาทของมนุษย์เข้าไปทุกที  
และในอนาคตวัสดุบางชนิดอาจจะสามารถ  
respond ให้ถูกต้องตามทำนองคลองธรรมได้ด้วย

ทางด้านอาหารที่บริโภคโดยเฉพาะกลุ่ม  
ของสัตว์ทะเล เช่น ปลา จะหายากย่งขึ้น ดังนั้น  
อาจจะต้องมีการทำฟาร์มขนาดใหญ่ที่เลี้ยงปลา  
ทะเล สาร PZT อาจจะนำมาดัดแปลงให้ทำหน้าที่  
เป็น sonar และสื่อสารกับปลาได้

ทางด้านที่พกาศัยก็จะพัฒนาให้

สะดวกสบายได้ด้วยวัสดุที่มีสมรรถภาพต่างๆ เช่น  
ควบคุมความชื้น อุณหภูมิให้พอเหมาะ  
หน้าต่างสามารถเปิดรับแสงอาทิตย์ในตอนเช้า และ  
ปิดในตอนกลางคืน

ในด้านสุขภาพอนามัยมนุษย์จะแข็งแรง  
ย่งขึ้นด้วยการพัฒนาให้ gene ที่อ่อนแอถูกแทนที่  
8 หรือสร้างใหม่ด้วย gene ที่แข็งแรง กลุ่ม robots จะ  
มีมากขึ้น โดยสรุปมนุษย์ในสหัสวรรษหน้าจะมี  
ความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น มีอายุยืนยาว และกระทำล้ง  
ต่างๆ ถูกต้องตามทำนองคลองธรรม

## บรรณานุกรม

1. Cooke, B. and Sang, D. Physics of Materials. The University of Leeds, second edition (1989).
2. Fisher, G. Ceram. Bull. 64(1)(1983)34.
3. Ichinose, N. Introduction to Fine Ceramics Applications in Engineering, John Wiley and Sons Ltd. New York (1987).
4. Tunkasiri, T., Opasnipat, V., Chantaramee, S., Ratanasathein, B., Junhvat, S., Asnachinda, P., Tontrakoon, J., Sirikulrat, N. and Tiyaun, R., Final report on Ceramic Materials and Products for Electronic Industries. Part I Science and Technology Development Board (STDB) (1991).
5. Tunkasiri, T., Opasnipat, V., Chantaramee, S., Ratanasathein, B., Junhvat, S. and Asnachinda, P., "Characterization of Ferric Oxide Obtained from

- 
- Upgrading of Iron Ores” J. Sci. Soc. Thailand  
18(1992)105.
6. Tunkasiri, T., Opasnipat, V., Chantaramee, S.,  
Ratanasathein, B., Junhvat, S., Asnachinda, P.  
Tontrakoon, J., Sirikulrat, N. and Tiypun, R.,  
Characterization and Uses of Upgraded Baryte. J.  
Mat. Sci. Lett. 12(1993)303.
  7. Newnham, R. E., Ceramic Focus. 1999. No.2,  
P.15.