666.41
ว146ก
ส.3

การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

ว.ท. 2538
ส.3

วิทยานิพนธ์

ของ

บรรจง เปี่ยมอรุณ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2538
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

195020

การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

บทคัดย่อ

โดย

บรรจง เปี่ยมอรุณ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2538

การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน โดยมีการหาคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร ค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก หาความทนต่อความร้อน ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด จากกลุ่มตัวอย่าง 1:1 ถึง 1:10 ของส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ จากการทดสอบพบว่า 1:6.1 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพราะมีค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำค้าง (B_r) 603 Gs สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (H_c) 32 A/M ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (BH_{max}) 19.296 [Gs/(A/M)] ความทนต่อความร้อนทนได้ถึง 300 องศาเซลเซียส โดยยังคงสภาพเดิมไว้ได้ จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อในงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้แม่เหล็กถาวรที่มีสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง 700–800 Gs ตามมาตรฐานทั่วไปในท้องตลาดของการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 6 โวลท์, 12 โวลท์, 24 โวลท์

AN EXPERIMENT ON THE CERAMIC MAGNET FROM BARIUM CARBONATE AND IRON OXIDE BY REDUCTION FIRING

AN ABSTRAST

BY

BANJONG PIEMAROON

Presented in partial fulfillment of the requirements for the Master of Education degree in Industrial Educational at Srinakharinwirot University

March 1995

In the experiment of making ceramic magnet from the mixture of berium carbonate and iron oxide in the atmospheric reduction, we have to find the qualification of permanent magnet, the value of residual magnetism field, the magnetic material destruction field. the value of maximum magnetic power as well as the heat resistance at 500 degree celcius. In order to get the best mixture ratio of the berium carbonate and iron oxide, we use the sampling ratio groups from 1:1 to 1:10. After the test. it was found that the best ratio is 1:6.1 the value of residual magnetism field (B_r) is 603 Gs, the magnetic material destruction field (H_c) is 32 A/M, the value of maximum magnetic power (BH_{max}) is 19, 296 [GS/(A/M)] and the heat resistance is up to 300 degree celcius. This ceremic magnet condition is still the same and suitable to be developed in D.C.electric motor work that uses permanent magnet having the value of residual magnetism 700-800 GS which is the general standard in the markets that produce D.C.electric motors of the sizer 6 volts, 12 volts and 24 volts.

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน

(ผศ.โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.อุบวิทย์ สุวดันธกุล)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

(ผศ.โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.อุบวิทย์ สุวดันธกุล)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(นายพินิจ วรรณีเวชศิลป์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 10 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2538

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความเมตตากรุณาให้คำปรึกษาแนะนำอย่างดียิ่งจาก ผศ.โกมล รักษ์วงศ์ ประธานคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร.อุบวิทย์ สุวดันธกุล กรรมการควบคุมปริญญา และนายพินิจ วรรณีเวชศิลป์ ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รศ.ทวี พรหมพฤกษ์ ผศ.ผกามาศ สดินธรรมศักดิ์ อาจารย์สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์ ที่ช่วยกรอกแบบตรวจสอบสภาพแม่เหล็กทางกายภาพ ทำให้ข้อมูลสมบูรณ์ในการทำวิจัยและให้คำแนะนำเพิ่มเติม ขอบคุณข้าราชการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริการ ของงานเซรามิกส์ ของสภาวิจัย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กรุณาช่วยเหลือในการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณะครูอาจารย์วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรีและบริษัทมินิแบอิเลค ที่อนุเคราะห์ให้การจัดเตรียมชิ้นทดลองและให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การอัดชิ้นทดลอง ทำให้การวิจัยดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณคณะครูอาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี ที่ให้ข้อแนะนำ กำลังใจ และคำปรึกษาทางภาษากับการพิมพ์จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ นายวิวัฒน์ คลังวิจิตร ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือติดต่อประสานงาน จัดหาข้อมูล จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนและพี่น้องนิสิตปริญญาโทอุตสาหกรรมศึกษาที่ให้กำลังใจ ซึ่งมีความสำคัญมากในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอื่นอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ และ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกพระคุณของบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ พี่น้องที่ให้ความรู้ ภรรยาและบุตร ที่ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา อันพระคุณนี้ หาที่เปรียบมิได้

บรรจง เปี่ยมอรุณ

มีนาคม 2538

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
	ความสำคัญของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	ข้อตกลงเบื้องต้น	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
	ความหมายของเซรามิกส์และประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากเซรามิกส์	9
	วัตถุดิบที่ใช้ทำแม่เหล็กที่ผ่านขบวนการทางเซรามิกส์	12
	เตาเผาเซรามิกส์	21
	บรรยากาศในการเผา	22
	แม่เหล็ก	23
	เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์พลักซ์มิเตอร์	34
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
	สรุป	37
3	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	38
	วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการวิจัย	38
	เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	39
	การดำเนินการวิจัย	40
	สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง	50

บทที่ หน้า

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร 51

การวิเคราะห์ข้อมูล 53

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 54

การทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรจากเซรามิกส์ 54

การชาร์จเส้นแรงแม่เหล็ก 65

การทดสอบสภาพการเป็นแม่เหล็ก 77

5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 78

ความมุ่งหมายของการวิจัย 78

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 78

การดำเนินการวิจัย 79

วิเคราะห์ข้อมูล 79

สรุปผลการวิจัย 80

อภิปรายผล 81

ข้อเสนอแนะ 82

บรรณานุกรม 85

ภาคผนวก 88

ประวัติย่อผู้วิจัย 96

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	สูตรมาตราฐานของวัตถุดิบ	5
2	สารประกอบเคมีของแบเรียมออกไซด์	13
3	การละลายน้ำของแบเรียมไฮดรอกไซด์	15
4	การละลายน้ำของแบเรียมไนเตรท	16
5	ส่วนประกอบของคาร์บอน	21
6	คุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรชนิดต่าง ๆ	33
7	อัตราที่ใช้ในการทดลองระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์	39
8	อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ	43
9	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 0.5 ตัน	55
10	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 1.0 ตัน	56
11	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 1.5 ตัน	57
12	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 2.0 ตัน	58
13	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 2.5 ตัน	59
14	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 3.0 ตัน	60
15	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 3.5 ตัน	61
16	ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 4.0 ตัน	62

ตาราง หน้า

17 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 4.5 ตัน 63

18 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงอัด 5.0 ตัน 64

19 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 0.5 ตัน 65

20 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 1.0 ตัน 66

21 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 1.5 ตัน 67

22 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 2.0 ตัน 68

23 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 2.5 ตัน 69

24 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 3.0 ตัน 70

25 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 3.5 ตัน 71

26 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 4.0 ตัน 72

27 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 4.5 ตัน 73

28 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็ก ใช้แรงอัด 5.0 ตัน 74

29 ผลจากการทดลองละเอียดครั้งที่ 2 โดยเพิ่มและลดอัตราส่วนของเหล็กออกไซด์ เท่ากับ 0.1 โมล 75

30 แสดงผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กที่ดีที่สุดมาจากการทดลองครั้งที่ 1 มาทำการทดลองละเอียดครั้งที่ 2 (จากอัตราส่วนผสมตาราง 29) โดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์ 76

31 ผลจากการทดสอบอำนาจการเป็นแม่เหล็กในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และการทรงสภาพรูปทรงทางกายภาพ (จากอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ 1:6.1) 77

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	วัตถุดิบกับโลหะผสมกับอโลหะ	11
2	แสดงโครงสร้างของคาร์บอน	20
3	ลักษณะต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็ก	26
4	เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก	27
5	ผงตะไบเหล็กแสดงเส้นแรงแม่เหล็กรอบแท่งแม่เหล็ก	28
6	การหาเส้นแรงแม่เหล็กจากเข็มทิศ	29
7	ขั้วแม่เหล็ก	30
8	คุณสมบัติของแท่งแม่เหล็ก	31
9	วงฮีสาตอรีซิสแสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) และสนามแม่เหล็ก (H)	32
10	เดอร์พการสร้างสนามแม่เหล็กและแสดงค่า $(BH)_{max}$	34
11	แผนผังการทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์	41
12	แผนผังการทดลองแม่เหล็กเซรามิกส์	42
13	แสดงส่วนผสมของสูตร A	45
14	แสดงส่วนผสมของสูตร B	45
15	แสดงส่วนผสมของสูตร C	46
16	แสดงส่วนผสมของสูตร D	46
17	แสดงส่วนผสมของสูตร E	47
18	แสดงส่วนผสมของสูตร F	47
19	แสดงส่วนผสมของสูตร G	48
20	แสดงส่วนผสมของสูตร H	48
21	แสดงส่วนผสมของสูตร I	49
22	แสดงส่วนผสมของสูตร J	49

บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

อุตสาหกรรมของประเทศไทยในระยะที่ผ่านมา ต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก เพื่อซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นรูปธรรม ได้แก่ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรกลหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิทยุโทรทัศน์ วิทยุมือถือ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวงจรไฟฟ้าตลอดจนเครื่องอุปโภคในครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่สำคัญต่อการดำรงชีพในยุคปัจจุบัน นอกจากนี้ ในประเทศไทยยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อเทคโนโลยี ที่เป็นวิชาการเกี่ยวกับเชิงทฤษฎีและเทคนิค การใช้และกระบวนการผลิตเทคโนโลยี เป็นของเสียเปรียบดุลย์การค้าระหว่างประเทศ จากรายงานสถิติของกรมศุลกากร กระทรวงการคลังพบว่า ประเทศไทยได้มีการนำเข้าสินค้าประเภทสินค้าอุปโภคและบริโภคด้านเทคโนโลยี อันประกอบด้วย เครื่องจักร อุปกรณ์และส่วนประกอบต่าง ๆ วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปตลอดจนยุทธปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 86 ของมูลค่าการนำเข้าสินค้าทั้งหมดของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปี 2528 เป็นปีที่อุตสาหกรรมด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เริ่มขยายตัวได้มีการนำเข้าอุปกรณ์ และเทคโนโลยีเกี่ยวกับแม่เหล็กเป็นจำนวนมาก (ศจี ปิยะพงศ์ และคนอื่น ๆ. 2532 : 32)

ประเทศไทยจึงต้องเร่งสร้างขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศไทย ด้านอุตสาหกรรมให้ก้าวหน้าและสามารถแข่งขันกับนานาประเทศ ประกอบกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 รัฐบาลได้มุ่งเน้นความสำคัญการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะสาขาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ (แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7. 2535-2539 : 67)

ปัจจุบันความเป็นอยู่ของมนุษยชาติ ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ผลผลิตอุตสาหกรรม และต้องมีส่วนเกี่ยวพันอยู่กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งชิ้นส่วน และอุปกรณ์ไฟฟ้า

อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แม่เหล็ก (magnet) คอนเดนเซอร์ (condenser) รีซิสเตอร์ (resistor) ทรานซิสเตอร์ (transistor) หลอดภาพ (cathode ray tube) และอุปกรณ์ลำโพง (speaker) เป็นต้น ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว ได้สั่งซื้อเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากกำลังการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ มีกำลังการผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด

จากรายงานกรมพาณิชย์สัมพันธ์ พบว่า ประเทศไทยได้สั่งนำเข้าอุปกรณ์และชิ้นส่วนของแม่เหล็ก ในปี พ.ศ. 2533-2534 สั่งเข้าจากประเทศไต้หวัน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศเนเธอร์แลนด์ ประเทศสิงคโปร์ ประเทศสวีเดนและประเทศญี่ปุ่น คิดเป็นมูลค่ารวม 518,565,499 บาท ซึ่งเป็นสินค้าประเภทหนึ่งที่ทำให้ประเทศไทยต้องเสียเปรียบดุลย์การค้าและคิดเป็นมูลค่าที่สูงมาก (กรมพาณิชย์สัมพันธ์. 2533-2534)

แม่เหล็กถาวรถูกนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เป็นชิ้นส่วนในมอเตอร์ แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ โวลท์มิเตอร์ มัลติมิเตอร์ วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะต้องใช้ชิ้นส่วนของแม่เหล็กถาวรเพื่อเป็นส่วนประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำงานได้ แม่เหล็กที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีข้อเสียทางด้านต้นทุนการผลิตสูงและมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือมีน้ำหนักมากและไม่ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงจากปัญหาความไม่เหมาะสมต่อการใช้งานของแม่เหล็กดังกล่าวแล้วข้างต้น จึงมีผู้ทำการศึกษาวิจัยแม่เหล็กถาวรขึ้นโดยทำจากเซรามิกส์ จิตติพร ภู่ไพจิตรกุล และคนอื่น ๆ (2535 : 99-105) ได้ทำการวิจัยพัฒนาเฟอร์ไรท์เพื่อใช้ทำแม่เหล็กลำโพง โดยใช้วัสดุแบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์ แต่ปัญหาที่พบจากการวิจัย คือ ต้นทุนการผลิตสูง เทคนิค และขั้นตอนการผลิตซับซ้อน เฟอร์ไรท์ที่ได้ยังต้องนำไปปรับปรุงและพัฒนา

จากปัญหาด้านต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วข้างต้น เป็นแรงจูงใจให้ผู้ทำวิจัย คิดหาวิธีการทำแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ขึ้น โดยนำแบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์ และใช้คาร์บอนจากการเผาในบรรยากาศแบบรีดักชัน (reduction) เป็นส่วนร่วม และตัดขั้นตอนการแคลไซน์โดยใช้วัตถุดิบแบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์ นำมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วน บดให้ผสมกัน ผ่านตะแกรงร่อน ตากให้แห้ง ณ อุณหภูมิคงที่ที่กำหนด ผสมน้ำ ร้อยละ 6 ขึ้นรูปเป็นแท่งโดยการอัดตากให้แห้ง เผาด้วยเตาแก๊ส ณ จุดหลอมตัวที่อุณหภูมิคงที่ 1,200 องศาเซลเซียส

(2,192 องศาฟาเรนไฮต์) ประจุเส้นแรงแม่เหล็กด้วยไฟฟ้ากระแสตรงและทดสอบการเป็นอำนาจแม่เหล็ก แม่เหล็กถาวรที่ได้มีคุณสมบัติด้านสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก และมีค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

ผลการวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอีเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ โดยมีส่วนผสมจากแบเรียมคาร์บอเนต กับเหล็กออกไซด์ ทำการเผา ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

2. เพื่อทดลองหาคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ทางด้านต่อไปนี้

   2.1 สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (residual flux density : B_r)

   2.2 สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (coercive force : H_c)

   2.3 ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (maximum-energy product : $(BH)_{max}$)

3. เพื่อทดสอบหาความทนต่อความร้อน ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (932 องศาฟาเรนไฮต์) ของสัดส่วนที่ดีที่สุด

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ จะสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ทางเซรามิกส์ในการผลิตแม่เหล็กแทนแม่เหล็กที่ทำจากส่วนผสมของเหล็กธรรมชาติ และได้แม่เหล็กถาวรที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ทนต่ออุณหภูมิสูง และมีการเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กที่ดี

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การทดลองในครั้งนี้ บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการทดลองครั้งนี้ ไว้ดังนี้คือ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

1.1 ประชากร คือ แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate : $BaCO_3$) และเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide : Fe_2O_3)

1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยกำหนดให้แบเรียมคาร์บอเนต เป็นค่าคงที่ 1 โมล ผสมกับเหล็กออกไซด์ 1 โมล ถึง 10 โมล จะได้กลุ่มตัวอย่าง 10 สูตร จำนวน 100 ตัวอย่าง

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

2.1.1 สัดส่วนระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์

2.1.2 ช่วงเวลาที่ใช้เผารีดักชัน และปริมาณอากาศจากการเผารีดักชัน

2.2 ตัวแปรตาม คือ คุณสมบัติทางด้านแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

2.2.1 สนามแม่เหล็กตกค้าง

2.2.2 สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็ก

2.2.3 ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

2.2.4 ความทนต่อความร้อน

ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น ทำให้มีอิทธิพลของคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก มีดังนี้คือ

1. ส่วนผสมที่ใช้ทำการทดลอง กำหนดให้แบเรียมคาร์บอเนตมีค่าคงที่เท่ากับ 1 โมล ผสมกับเหล็กออกไซด์ จำนวน 1 โมล ถึง 10 โมล

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ

2.1 แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate, Commercial grade)

2.2 เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide, Commercial grade)

2.3 น้ำที่ใช้ผสมจะใช้น้ำประปา ร้อยละ 6

3. ในการหาส่วนผสมของวัตถุดิบ จะใช้น้ำหนักโมเลกุลของสารเป็นเกณฑ์การคิดคำนวณ

ตาราง 1 สูตรมาตรฐานของวัตถุดิบ

ชื่อวัตถุดิบ	สูตรมาตรฐาน	น้ำหนักโมเลกุล
แบเรียมคาร์บอเนต	$BaCO_3$	197.34
เหล็กออกไซด์	Fe_2O_3	159.69

4. ชั่งส่วนผสมด้วยเครื่องชั่งระบบไฟฟ้า

5. ใช้น้ำเป็นส่วนผสมร้อยละ 6

6. บดผสมด้วยหม้อบด (ball mill) ขนาดความจุ 1/2 กิโลกรัม ใช้เวลาบดมากกว่า 5 ชั่วโมง

7. ผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 250 เมช (mesh)

8. ทดลองเผาด้วยเตาแก๊ส โดยการเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่น (reduction atmosphere) ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เผายืนไฟ (soaking time)

9. ใช้ไพโรเมตริกโคน (pyrometric cone) มาตรฐานของออร์ตัน (Orton Standard Pyrometric Cone)

10. การขึ้นรูปทรงของชิ้นทดลองเป็นรูปทรงกระบอกแท่งตัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร

11. ทดลองการขึ้นรูปด้วยแรงอัดระหว่าง 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 5000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

12. เครื่องชาร์จเส้นแรงแม่เหล็ก ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงเคลื่อน 12 โวลท์ และ 24 โวลท์ โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานเป็นตัวคงที่ .002 โอห์ม

13. หาคุณสมบัติของแม่เหล็ก ดังต่อไปนี้

13.1 สนามแม่เหล็กตกค้าง

13.2 สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็ก

13.3 ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

<u>นิยามศัพท์เฉพาะ</u>

1. แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate : $BaCO_3$) เป็นสารประกอบระหว่างแบเรียมกับอนุมูลคาร์บอเนต เมื่อนำไปเผา (calcining) สามารถเปลี่ยนสภาพเป็นแบเรียมออกไซด์ (Singer. 1960 : 129) ดังสมการ

$$BaCO_3 \xrightarrow[982 - 1000\ C]{\text{Calcine}} BaO + CO_2$$

2. เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide : Fe_2O_3) คือ สนิมเหล็ก เป็นสารประกอบของเหล็กกับออกซิเจน

3. บรรยากาศแบบรีดักชัน (reduction atmosphere) หมายถึง บรรยากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีกลุ่มควันอยู่ในเตาเผาเนื่องจากเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำปฏิกริยากันไม่สมบูรณ์

4. แม่เหล็กทางเซรามิกส์หรือแม่เหล็กเฟอร์ไรท์ หมายถึง การที่ใช้เหล็กออกไซด์ผสมกับออกไซด์ประเภทแอลคาไลน์เอิธและออกไซด์ของธาตุทรานสิชัน (Transition) โดยผ่านกระบวนการทางเซรามิกส์ ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้แบเรียมคาร์บอเนตเท่านั้น

5. สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (Residual Flux Density) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่ภายในแท่งแม่เหล็ก หรือการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) มีค่าเป็นศูนย์

6. สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (Coercive Force) หมายถึง ค่าของสนามแม่เหล็กที่สามารถทำลายสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กได้ ด้วยสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามที่เหนี่ยวนำให้แม่เหล็ก

7. ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (Maximum Energy Product) หมายถึง ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็กที่จะนำไปใช้งานได้จากผลคูณของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) และความเข้มสนามแม่เหล็ก (H)

8. วิธีการอัด คือ การอัดขึ้นรูปทรงด้วยเครื่องอัด โดยใช้แรงอัดระหว่าง 500-5.000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

9. ปริมาณการเผารีดักชัน คือ การปรับปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศให้ผสมกันอย่างไม่สมบูรณ์

10. แม่เหล็กถาวร คือ แม่เหล็กที่รักษาสภาพความเป็นอำนาจแม่เหล็กไว้ได้นาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา และงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์และทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุจุดหมายที่ตั้งไว้ โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ความหมายของเซรามิกส์และประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเซรามิกส์
   - 1.1 ความหมายของเซรามิกส์
   - 1.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์
2. วัตถุดิบที่ใช้ทำแม่เหล็ก ที่ผ่านขบวนการทางเซรามิกส์
   - 2.1 สารประกอบแบเรียม
   - 2.2 เหล็กออกไซด์
   - 2.3 คาร์บอน
3. เตาเผาเซรามิกส์
4. บรรยากาศการเผา
5. แม่เหล็ก
   - 5.1 ชนิดของแม่เหล็ก
   - 5.2 สนามแม่เหล็ก
   - 5.3 เส้นแรงแม่เหล็ก
   - 5.4 คุณสมบัติของแม่เหล็ก
6. เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ฟลักซ์มิเตอร์ (Electronic Flux Meter)
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
8. สรุป

1. ความหมายของเซรามิกส์และประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเซรามิกส์

1.1 ความหมายของเซรามิกส์ คำว่า เซรามิกส์ มีผู้ให้ความหมายไว้แตกต่างกันออกไปตามแต่ชนิดและประเภทของเซรามิกส์ แต่ความหมายส่วนใหญ่จะสอดคล้องกัน ดังนี้

เสริมศักดิ์ นาพบัว (2512 : บทนำ) ได้ให้ความหมายของเซรามิกส์ คือ ผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมหรืองานศิลป์ที่ทำด้วยดินเผาและเคลือบหรือไม่เคลือบก็ตาม ความหมายอีกนัยหนึ่งโดย ทวี พรหมพฤกษ์ (2520 : 1) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอนินทรีย์สารอโลหะผ่านกรรมวิธีการเผา ทำให้เกิดความแข็งแกร่ง คงทน ซึ่งสอดคล้องกับซินเจอร์ (1960 : บทนำ) ได้ให้ความหมายของเซรามิกส์ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสารอนินทรีย์ (inorganic materials) มาทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ แล้วทำให้แข็งตัวโดยผ่านกระบวนการความร้อน

จากความหมายที่กล่าวแล้วข้างต้น สรุปได้ว่า เซรามิกส์ คือ การนำเอาดิน หิน มาขึ้นรูปทรง ผ่านกระบวนการความร้อนด้วยวิธีเผา ดินและหิน จะหลอมตัวจับกันเป็นเนื้อเดียวกันมีความแข็ง ทนทาน และไม่สามารถที่จะคืนรูปกลับสู่สภาพของสารเดิมได้

1.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ทวี พรหมพฤกษ์ (2521 : 1-4) ได้แบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์ของเซรามิกส์ได้ ดังนี้

1.2.1 ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง (Structural Ceramic) ซึ่งได้แก่ อิฐธรรมดา อิฐปูนพื้น ซีเมนต์ ปลาสเตอร์ และกระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

1.2.2 ผลิตภัณฑ์ถ้วยชามต่าง ๆ (Pottery and Poreclain) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ได้แก่ ชุดรับประทานอาหาร เครื่องครัว เครื่องสุขภัณฑ์ และเครื่องประดับประเภทศิลป์ เป็นต้น

1.2.3 วัตถุทนไฟ (Refractory) วัตถุทนไฟเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทนความร้อนได้สูงตั้งแต่ 1,580 องศาเซลเซียส (2,876 องศาฟาเรนไฮต์) (Singer. 1960 : 400) ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์สำคัญในการทำเตาเผา ทำเตาหลอมเหล็ก หรือใช้กับยานอวกาศที่ต้องเสียดสีและเกิดความร้อนสูง เช่น อิฐซิลิก้า และอิฐแมกนีเซีย เป็นต้น

1.2.4 วัสดุขัดถู (abrasive) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง สามารถใช้ขัดถูไม้ โลหะหรือผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ได้ เช่น กระดาษทราย และซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide)

1.2.5 เครื่องฉนวน (insulating) คือเครื่องฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อน ได้แก่ ลูกถ้วยไฟฟ้า สะพานไฟ อิฐทนไฟชนิดฉนวน

1.2.6 โลหะเคลือบ (enamels) คือ การนำน้ำเคลือบเซรามิกส์เคลือบฉาบผิวโลหะ แล้วนำไปเผาไฟ ทำให้เกิดความสวยงาม เช่น หม้อ ช้อน ปิ่นโต ชาม กาละมัง เป็นต้น

1.2.7 แก้ว (glass) เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดหนึ่ง โดยการเผาซิลิก้าให้หลอมตัวแล้วขึ้นรูปทรง เช่นขวด แว่นตา โคมไฟ หลอดไฟ แก้วน้ำ กระจกรถยนต์และกระจกเงา

1.2.8 เซอร์เมท (cermet) คือ การนำเอาวัสดุทางเซรามิกส์ ที่อยู่ในรูปของออกไซด์ผสมกับโลหะ แล้วนำไปเผาในความร้อนสูง เช่น การนำเอาอลูมินาผสมโครเมียม อลูมินาผสมกับโลหะนิโคม โคบอร์ทผสมกับซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นต้น

อุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐาน เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ใช้ในวงการอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น วัตถุทนไฟชนิดต่าง ๆ เป็นวัสดุพื้นฐานของอุตสาหกรรมถลุงโลหะ อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ใช้วัสดุเซรามิกส์ เช่น ลูกถ้วย ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์เครื่องยนต์ ใช้วัสดุเซรามิกส์ ทำกระบอกสูบ หัวเทียน ฝาสูบ เพราะวัสดุเซรามิกส์มีความแข็ง สามารถทนความร้อนสูง ทนต่อปฏิกริยาเคมี ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ ยังเอาไปใช้ทางการแพทย์ เช่น ทำกระดูกเทียม ฟันปลอม มีดผ่าตัดและเครื่องมืออื่น ๆ นอกจากที่กล่าวแล้ว วิทยาการทางด้านเซรามิกส์ มีความก้าวหน้ามาก นักเซรามิกส์พยายามคิดสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ขึ้น เรียกว่าเซรามิกส์สมัยใหม่ (New Ceramic หรือ Fine Ceramic) เป็นผลิตภัณฑ์เซอร์เมทซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัตถุทนไฟ มีความมันในเนื้อ เป็นฉนวนไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์เซอร์เมท จะนำไปใช้ในอุปกรณ์นิวเคลียร์ ทำท่อเจท (Jet) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำเครื่องมือขัดถู เช่น เนื้อคาร์ไบด์ (Carbides) เนื้อบอไรด์ (Borite) เนื้อไนไทรด์ (Nitrite) และไฟเบอร์ (Fibers) เป็นต้น (โกมล รักษ์วงศ์. 2531)

เนื้อเซอร์เมทท ำมาจากส่วนผสมของวัตถุดิบที่เป็นโลหะ (metals) ผสมกับอโลหะ (nonmetals) มีหลายชนิดด้วยกัน (Singer. 1960 : 511) ดังภาพประกอบ 1

โลหะ	ผสมกับ	อโลหะ
ซิลิกอน (Silicon)	"	คาร์บอน (Carbon)
โครเมียม (Chromium)	"	อลูมินา (Alumina)
โคบอลท์ (Cobalt)	"	ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide)
นิเกิล (Nickel)	"	ไทตาเนียมคาร์ไบด์ (Titanium Carbide)
โครเมียม (Chromium)	"	เซอร์โคเนียมคาร์ไบด์ (Zirchomium Carbide)
ซิลิกอน (Silicon)	"	ทังสเตน คาร์ไบด์ (Tengsten Carbide)
เหล็ก (Iron)	"	อลูมินา (Alumina)

ภาพประกอบ 1 วัตถุดิบโลหะผสมกับอโลหะ

(Singer. 1960 : 512)

ผลิตภัณฑ์ที่ท ำมาจากเซอร์เมท ซึ่งผ่านขบวนการทางเซรามิกส์ ที่ใช้ท ำแม่เหล็กชนิดแม่เหล็กถาวรจะต้องใช้ออกไซด์ของธาตุกลุ่มทรานสิชัน หรือกลุ่มแอลคาไลน์เอิท (Alkaline Earths) ผสมกับเหล็กออกไซด์ (Vacuumschmelrze. 1977 : 690) ได้แก่ อัตราส่วนผสมดังต่อไปนี้

สตรอนเทียมออกไซด์ (Strontium Oxide) ผสมกับเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ตามสูตรเคมี คือ $SrO.6Fe_2O_3$ หมายถึง สตรอนเทียมออกไซด์ 1 โมเลกุลผสมกับเหล็ก 6 โมเลกุล

แบเรียมออกไซด์ (Barium Oxide) ผสมกับเหล็กออกไซด์ตามสูตรเคมี $BaO.6\ Fe_2O_3$ หมายถึง แบเรียมออกไซด์ 1 โมเลกุลผสมกับเหล็กออกไซด์ 6 โมเลกุล

ออกไซด์ของธาตุทรานสิชัน ผสมกับเหล็กออกไซด์ ตามสูตรเคมี คือ $MoO.6Fe_2O_3$ หมายถึง ออกไซด์ของธาตุทรานสิชัน 1 โมเลกุลผสมกับเหล็กออกไซด์ 6 โมเลกุล

2. <u>วัตถุดิบที่ใช้ทำแม่เหล็กที่ผ่านขบวนการทางเซรามิกส์</u>

แม่เหล็กเซรามิกส์ ทำได้จากกลุ่มออกไซด์ของธาตุแอลคาไลน์เอิท ผสมกับเหล็กออกไซด์ เนื่องมาจากกลุ่มออกไซด์ของธาตุแอลคาไลน์เอิทจะมีคุณสมบัติเป็นด่างและเป็นตัวช่วยหลอมละลาย (flux) ในอุณหภูมิสูง จึงสามารถหลอมรวมตัวกับเหล็กออกไซด์ได้ดี กลุ่มออกไซด์เหล่านี้ ได้แก่ เบรีลเลียมออกไซด์ (Beryllium Oxide) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) แบเรียมออกไซด์ และสตรอนเทียมออกไซด์ เรเดียมออกไซด์ (Radium Oxide) จากการทดลองใช้ออกไซด์ของธาตุเหล่านี้ วัตถุดิบที่หลอมรวมตัวกับเหล็กออกไซด์ได้ดีก็คือ แบเรียมออกไซด์ ดังนั้น ในการศึกษาทำการทดลองครั้งนี้จะทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับแบเรียมคาร์บอเนตผสมกับเหล็กออกไซด์ และใช้คาร์บอน เป็นตัวช่วยผสมให้เกิดการประสานที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเหล็ก

2.1 <u>สารประกอบแบเรียม</u> (Barium Compound) แบเรียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II A ของตารางธาตุ (periodic table) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มแอลคาไลน์เอิท มีคุณสมบัติเป็นด่าง แบเรียมบริสุทธิ์จะเป็นโลหะสีขาว มีน้ำหนัก โมเลกุล 137.33 โดยเทียบกับคาร์บอน 12.011 (C^{12} = 12.011) มีจุดหลอมละลายตัว 1,640 องศาเซลเซียส (2,948 องศาฟาเรนไฮต์) (Charles. 1978 : 457) ในธรรมชาติของวัตถุดิบ แบเรียมออกไซด์ (BaO) จะเป็นสารไม่บริสุทธิ์ จะมีสารประกอบจำพวก แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) และแอลคาไลน์ (Alkalines) ประสมอยู่ แบเรียมออกไซด์มีจุดหลอมละลาย 1,923 องศาเซลเซียส (3,493.4 องศาฟาเรนไฮต์) (Singer. 1960 : 129)

ตาราง 2 สารประกอบเคมีของแบเรียมออกไซด์

ชื่อ	ประกอบอยู่ร้อยละ
แบเรียม	99.50
แคลเซียม	0.10
แมกนีเซียม	0.80
อลูมิเนียม	0.10
เหล็ก	0.03
ไนโตรเจน	0.10

สารประกอบของแบเรียม โกมล รักษ์วงศ์ ได้สรุปไว้ว่า สารประกอบของแบเรียมมีหลายชนิดด้วยกัน คือ

2.1.1 แบเรียมเฟลสปาร์ (Barium feldspar : $BaO.Al_2O_3.2SiO_2$) เป็นสารประกอบระหว่างแบเรียม อลูมินา และซิลิกา มีชื่อทางการค้า (Comercial Name) ว่า "Celsian" มี BaO ร้อยละ 40.85 Al_2O_3 ร้อยละ 27.15 และ SiO_2 ร้อยละ 32.00 มีความถ่วงจำเพาะ 3.37 ความแข็งไม่ต่ำกว่า 6

2.1.2 แบไรต์ (Barite หรือ Heavy Spar : $BaSO_4$) เป็นสารประกอบของแบเรียม ซัลเฟต (Barium Sulfate) ในธรรมชาติจะพบแบเรียมอยู่ในรูปของแบเรียม ซัลเฟต การนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จะนำเอาแร่แบไรต์ ไปเผารีดักชัน ทำให้ตกผลึกเป็นแบเรียมคาร์บอเนต โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไปทำปฏิกริยากับแบเรียม และสามารถเตรียมแบเรียมซัลไฟด์ (Barium Sulfide) ได้ โดยการเผาในอุณหภูมิสูง มีจุดหลอมละลาย 1.580 องศาเซลเซียส

2.1.3 แบเรียมอซิเตท (Barium Acetate : $Ba(C_2H_3O_2)_2$) มีผลึกของน้ำอยู่ในโมเลกุล เป็นสารละลายระหว่าง $Ba(C_2H_3O_2)_2$ 58.8 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม มีสภาพ

เป็นกรด แต่เมื่อเอาไปเผาในความร้อนสูง ตามกรรมวิธีของเซรามิกส์ จะมีคุณสมบัติเป็นด่าง (Base)

2.1.4 แบเรียมฟอร์เมต (Barium Formate : $Ba(OOCH)_2$) ผลึกสีขาวเป็นสารละลายน้ำได้ เมื่อใช้แบเรียมฟอร์เมต 26.2 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์) และเมื่อใช้แบเรียมฟอร์เมต 51.3 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮต์) สามารถเปลี่ยนสภาพเป็นแบเรียมไฮออกไซด์ (Barium hydroxide) หรือแบเรียมคาร์บอเนตได้

2.1.5 แบเรียมคลอไรด์ (Barium Choride : $BaCl_2.2H_2O$) จะมีผลึกของน้ำอยู่ 2 โมเลกุล เป็นสารละลายน้ำได้ เมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์ 31.7 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์ 58.7 กรัม ต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างได้ เมื่อเผาอุณหภูมิ 960 องศาเซลเซียส (1,760 องศาฟาเรนไฮต์) สามารถทนความร้อนได้ 1,560 องศาเซลเซียส (2,840 องศาฟาเรนไฮต์)

2.1.6 แบเรียมโบรไมด์ (Barium Bromide : $BaBr_2.2H_2O$) เป็นสารละลายน้ำได้ดี เมื่อใช้แบเรียมโบรไมด์ 92.2 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้แบเรียมโบรไมด์ 136.7 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปเผาผลึกของน้ำจะแตกตัว 120 องศาเซลเซียส (248 องศาฟาเรนไฮต์)

2.1.7 แบเรียมไฮดรอกไซด์ (Barium Hydroxide : $Ba(OH_2).8H_2O$) เป็นสารละลายน้ำได้ดี ดังตาราง 3

ตาราง 3 การละลายน้ำของแบเรียมไฮดรอกไซด์

น้ำ 100 กรัมต่อ $Ba(OH_2)$	องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์
1.65	0	32
2.42	10	50
3.76	20	68
5.31	30	86
7.65	40	104
11.71	50	122
17.65	60	140
48.5	78	172.4

2.1.8 แบเรี่ยมไนเตรท (Barium Nitrate : $Ba(NO_3)_2$) เป็นสารละลายน้ำ ดังตาราง 4

ตาราง 4 การละลายน้ำของแบเรียมไนเตรท

น้ำ 100 กรัมต่อ $Ba(NO_3)_2$)	องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์
5.0	0	32
7.0	10	50
9.2	20	68
11.6	30	86
14.2	40	104
17.1	50	122
20.3	60	140
27.0	80	176
34.2	100	212

2.1.9 แบเรียมออกไซด์ เป็นผลึกรูป 6 เหลี่ยม มีจุดหลอมละลาย 1,923 องศาเซลเซียส (3,493.4 องศาฟาเรนไฮต์) ถึง 2,000 องศาเซลเซียส (3,632 องศาฟาเรนไฮต์) เตรียมได้จากนำเอาแบเรียมคาร์บอเนตไปเผา การเตรียมในอุตสาหกรรมจะเผาแบเรียมคาร์บอเนตด้วยถ่านโค้ก (Coke) ทาร์ (Tar) หรือคาร์บอนดำ (Black Carbon) ใช้เตาแก๊ส หรือเตาเผาน้ำมันทำการเผาแบบให้ความร้อนในทางอ้อม (indirect heating)

$$BaCO_3 + 2C \xrightarrow[982 - 1000^{o}C]{\Delta} BaO + CO_2 + C_2$$

นอกจากนี้ยังเตรียมได้จาก แบเรียมไนเตรท และแบเรียมไฮดรอกไซด์

แบเรียมเปอร์ออกไซด์ (Barium peroxide : BaO_2) เตรียมได้จากการเอาแบเรียมออกไซด์ไปเผาในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (932 องศาฟาเรนไฮต์) ในอากาศจะได้แบเรียมเปอร์ออกไซด์ ถ้าหากเผาเกิน 700 องศาเซลเซียส (1,292 องศาฟาเรนไฮต์) จะกลับสภาพเป็นแบเรียมออกไซด์อย่างเดิม

2.1.10 แบเรียมซิลิเกต (Barium Silicate) เตรียมได้จากแบเรียมคาร์บอเนต แบเรียมซัลเฟต ผสมกับซิลิก้า (Silica) จะได้เป็น $BaSiO_2$, $BaSiO_3$, $3\ BaO.SiO_2$ และ Ba_3SiO_5

ถ้าหากใช้ $Ba_3\ SiO_5 + .2H_2O \longrightarrow BaSiO_3 + 2Ba(OH_2)$

2.1.11 แบเรียมไทตาเนต (Burium Titanate : $BaTiO_3$) มีจุดหลอมละลายที่ 1,625 องศาเซลเซียส (2,957 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นสารที่ใช้ทำส่วนผสมของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ทนความร้อนได้ดี สามารถทำส่วนผสมทำอิฐทนไฟ สำหรับเตาถลุง เตรียมได้จากแบเรียมคาร์บอเนต ผสมกับไทตาเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide)

2.1.12 แบเรียมคาร์บอเนต เป็นวัตถุดิบที่มีความหนาแน่น 4.25 ในตลาดทั่วไปจะมีแบเรียมคาร์บอเนต ร้อยละ 99 และร้อยละ 0.06-0.12 จะเป็นซัลเฟอร์ (Sulfer) มีความแข็ง 3.0-3.75 ตามมาตรฐาน การวัดของโมห์ (Moh's Scale)

ในอุตสาหกรรมจะเตรียมแบเรียมคาร์บอเนตจากแบเรียมซัลไฟท์ (Barium Sulfite) โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) ผสมโซดาแอช (Soda Ash) ดังสมการ

$$BaS + Na_2CO_3 \xrightarrow{\Delta} BaCO_3 + Na_2S$$

หรืออีกวิธีหนึ่งเตรียมจากแบเรียมซัลไฟท์ละลายน้ำ ผสมกับกรดคาร์บอนิก ในอุณหภูมิ 40-90 องศาเซลเซียส (104-194 องศาฟาเรนไฮต์) ดังสมการ

$$BaS + CO_2 + H_2O \xrightarrow[40 - 90^{o}c]{\Delta} BaCO_3 + H_2S$$

ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ จะใช้แบเรียมเป็นวัตถุทนไฟ เช่น ใช้แบเรียมผสมกับสารประกอบของอลูมินาซิลิเกต (Alumina Silicate) จะเป็นวัสดุที่ทนความร้อนและทนต่อปฏิกริยาของต่างได้ดี แบเรียมจะทำหน้าที่เป็นตัวลดอุณหภูมิได้ ถ้าหากผสมในน้ำเคลือบ (glaze) นอกจากนี้ แบเรียมสามารถทำปฏิกริยาในความร้อนสูงกับโลหะออกไซด์ได้ดี โดยเฉพาะโลหะที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่นคอปเปอร์ออกไซ์ (CuO) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และเหล็กออกไซด์ เป็นต้น

เคิร์ค และออธเมอร์ ได้สรุปว่า ถ้าหากใช้สารประกอบของแบเรียมออกไซด์ สโตรนเตียมออกไซด์ (Strontium Oxide) และตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide) ผสมกับเหล็กออกไซด์ สามารถนำไปใช้ทำแม่เหล็กได้ โดยผ่านกระบวนการทางเซรามิกสี (ceramic process) จากสูตร $MeO.6Fe_2O_3$

2.2 <u>เหล็กออกไซด์</u> (Iron Oxide) เหล็กออกไซด์เป็นสารที่ให้สี ใช้สำหรับผสมในเนื้อดินปั้น และในน้ำเคลือบ มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป ดังนี้

2.2.1 เฟอร์รัสออกไซด์ (Ferrous Oxide : FeO) มีจุดหลอมที่อุณหภูมิ 1,420 องศาเซลเซียส (2,588 องศาฟาเรนไฮต์)

2.2.2 เฟอร์ริคออกไซด์ (Ferric Oxide : Fe_2O_3) จุดหลอมที่อุณหภูมิ 1,565 องศาเซลเซียส (2,849 องศาฟาเรนไฮต์)

2.2.3 เฟอร์โรโซเฟอร์ริคออกไซด์ (Ferroso-Ferric Oxide : Fe_3O_4) จุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,538 องศาเซลเซียส (2,800.4 องศาฟาเรนไฮต์)

2.2.4 ไดรอนไดโครเมทออกไซด์ (Irondicromate Oxide : $Fe_2(Cr_2O_7)_3$) ทั้งสี่ชนิดข้างต้น และใช้อุณหภูมิในการแยกธาตุระหว่าง 1,200-1,300 องศาเซลเซียส (2,192-2,372 องศาฟาเรนไฮต์) (Sonja. 1960 : 190)

การแยกธาตุเฟอร์ริคออกไซด์จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวแยกที่อุณหภูมิการเผาสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (2,012 องศาฟาเรนไฮต์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ถ้าชิ้นส่วนของส่วนผสมนั้นเป็นสารที่สุกตัวก่อนอุณหภูมิถึง 1,100 องศาเซลเซียสแล้วจะเป็นตัวทำให้เนื้อสารรูปร่างตัวออก จะทำให้เฟอร์ริคออกไซด์ออกไปร้อยละ 0.1 ใช้บริมาตรของออกซิเจนร้อยละ 30 ของเนื้อมวลทั้งหมด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นจะต้องรีดิว (reduce)

เฟอร์ริคออกไซด์ก่อนที่จะทำการเผาในอุณหภูมิสูง (sintering) โดยปรับบรรยากาศในเตา (Sonja. 1960 : 863)

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์ (2535 : 54-55) ได้สรุปเหล็กออกไซด์ไว้ดังนี้ ถ้านำเหล็กออกไซด์ไปใช้ในเนื้อดิน จะได้สีในโทนแดง (red tone) ใช้ในเคลือบที่มีแคลเซียมออกไซด์อยู่ด้วย จะให้สีเหลืองจนถึงสีเนื้อ เช่น ออกไซด์เหล็กสีแดง (Red Iron Oxide : Fe_2O_3) และออกไซด์เหล็กสีดำ (Black Iron Oxide : Fe_3O_4) ซึ่งถ้าใช้ในเคลือบทั่ว ๆ ไปจะให้สีน้ำตาลแดงเลือดนกจนถึงสีแดงน้ำตาล โดยใช้อัตราส่วนประมาณร้อยละ 5-10 มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,565 องศาเซลเซียส

ถ้าใช้ในเคลือบตะกั่วร้อยละ 8 จะได้สีแดงดำ (dark red) แต่ถ้าใช้มากเกินไปอาจจะได้เคลือบที่มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ เป็นจุดใต้เคลือบเป็นสีทองและได้สีม่วง (purplered) กับสีเกล็ดทองเล็ก ๆ (gold fleck) แต่ถ้าเผาในสภาวะอากาศน้อย (reduction) เหล็กออกไซด์จะให้สีเขียว แบบศิลาดอน (pale green of Celadon) หรือสีเขียวปนเทา (grey green)

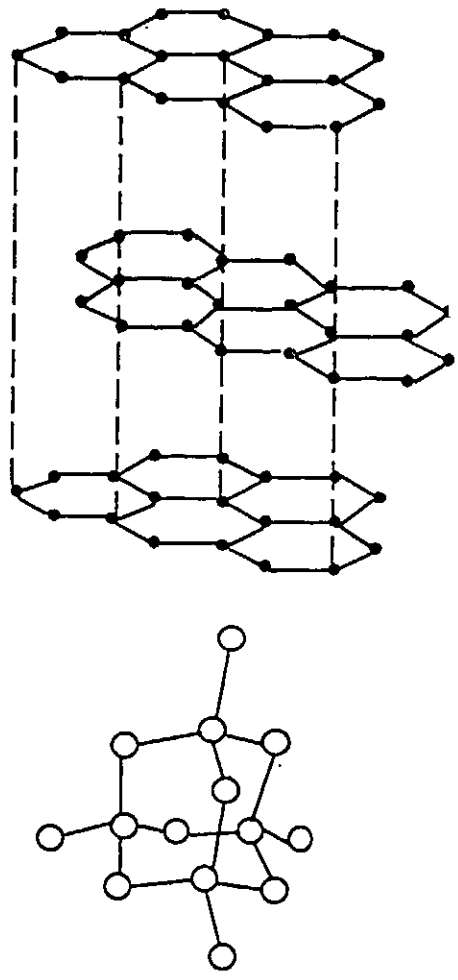
2.3 <u>คาร์บอน</u> (Carbon) บุญพฤกษ์ จาฏามระ (2513 : 222) ได้สรุปความหมายของธาตุคาร์บอนไว้ว่า ใช้สัญญลักษณ์ ซี (C) มีเวเลนซีเท่ากับ 4 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 12.01 จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 6 และมีโปรตอนในเชล (Shells) 2.4 ธาตุนี้มีปรากฏอยู่ในธรรมชาติทั้งในภาวะอิสระ และในภาวะรวมตัวอยู่กับธาตุอื่น เป็นสารประกอบที่มีปรากฏอยู่ในภาวะอิสระคือ เพชร กราไฟท์ ถ่านหิน นอกจากนี้ ยังพบมีปรากฏอยู่ในลูกอุกกาบาตในดวงอาทิตย์และในดาวบางดวงที่มีปรากฏอยู่ในภาวะรวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบอีกมาก เช่น ในน้ำมันปิโตรเลี่ยมในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศในแร่คาร์บอเนตต่าง ๆ เช่น ชอล์ค (chalk) หินปูน หินอ่อน แร่แมกนีไซท์ (Magnesite) แร่โดโลไมท์ (Dolomite) ในสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ธาตุคาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดธาตุหนึ่งของพืช มนุษย์และสัตว์ ธาตุคาร์บอนมีอันยรูปสองอันยรูปเท่านั้น ซึ่งมีรูปผลึกทั้งคู่ (crysstalline from) ได้แก่ เพชร และกราไฟท์

คาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิต และสารประกอบที่สำคัญของคาร์บอนก็มักจะมาจากสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอเนตหรือชอล์ก หินปูน และแร่เชื้อเพลิงจากฟอสซิลหรือถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ คาร์บอนยังพบในแร่ โดโลไมต์ คาร์บอนมีอยู่ในเปลือกโลกเพียง

ร้อยละ 0.032 โดยน้ำหนัก คาร์บอนยังมีอยู่อีกเล็กน้อยในรูปของกราไฟท์และเพชรด้วย

คาร์บอนที่ไม่บริสุทธิ์เกิดขึ้นจากการเผาบรรยากาศแบบรีดักชั่น จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Cabondioxide) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbonmonoxide) ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะใช้มากในการถลุงโลหะ (ลัดดา มีศุข. 2533 : 77)

คาร์บอนมีจุดหลอมเหลวที่ 3,570 องศาเซลเซียส (6,458 องศาฟาเรนไฮต์) จุดเดือด 4,827 องศาเซลเซียส (8,720.6 องศาฟาเรนไฮต์) ความถ่วงจำเพาะ 3.51 และมีโครงสร้างดังภาพประกอบ 2 (ลัดดา มีศุข. 2533 : 78)



ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างของคาร์บอน

(ลัดดา มีศุข. 2533 : 78)

ส่วนประกอบของคาร์บอนที่ได้จากถ่าน (charcoal) แก๊สคาร์บอน (Gascarbon) และกราไฟท์ (Graphite) ในด้านความถ่วงจำเพาะ จุดหลอมตัว ความแข็ง (hardness) การนำความร้อน (thermal conductivity) ความต้านทานเฉพาะทางไฟฟ้า (specific electricalresistivity) ในรายละเอียดในตาราง 5

ตาราง 5 ส่วนประกอบของคาร์บอน (Propertier of Carbon)

	ถ่าน	แก๊สคาร์บอน	กราไฟท์
ความถ่วงจำเพาะ			2.3
ความแข็ง			1-2
จุดหลอมตัว		3,500 ^{o}c	3,700 ^{o}c
การนำความร้อน (C.g.s)	$0.13x10_3$	$10x10^{-3}$	$300x10^{-3}$
ความต้านทานเฉพาะทางไฟฟ้า		0.004-0.0007	0.003

ในการทดลองทำแม่เหล็กถาวรครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คาร์บอนจากแก๊สเหลว หรือแก๊สธรรมชาติ ด้วยวิธีการเผาแบบรีดักชัน คือ ได้คาร์บอนที่ไม่บริสุทธิ์ และคาร์บอนที่เกิดจะช่วยให้แบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์เกิดการประสานกันได้ดี และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเหล็ก

3. <u>เตาเผาเซรามิกส์</u> (Ceramic kiln)

เตาเผา (kiln) เป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อน ควบคุมความร้อน การกระจายความร้อน ซึ่งจะต้องมีการศึกษาและออกแบบให้ถูกหลักวิชาการ สามารถเผาในอุณหภูมิสูงรวมทั้งประหยัดและปลอดภัย เตาเผาจึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยให้การเผาเครื่องปั้นดินเผามีคุณภาพดี (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : บทนำ)

195020

เตาเผาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีมากมายหลายชนิด ดังนั้นในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแต่ละประเภท ควรเลือกใช้เตาเผาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีและตรงตามความต้องการ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาแก๊สเท่านั้น จึงขอกล่าวรายละเอียดของเตาแก๊สไว้พอสังเขป ดังนี้

เตาแก๊ส ปัจจุบันนับว่าเป็นเตาที่กำลังนิยมในหมู่บรรดาผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา สามารถเผาในอุณหภูมิสูง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย นอกจากนี้ยังสามารถเผาได้ทั้งบรรยากาศแบบออกซิเดชันและแบบรีดักชัน แบบของเตาแก๊สที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป มี 2 แบบ ดังนี้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 33)

1. เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น (up draft kiln) เป็นเตาแก๊สที่ไม่มีปล่องไฟ แต่จะมีช่องระบายความร้อน ทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ตอนบนของเตา ความร้อนจะผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูง โดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี และช่วยเฉลี่ยความร้อนให้แผ่ไปทั่วทั้งเตาอย่างสม่ำเสมอ เตาชนิดนี้นิยมออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีทั้งชนิดเปิดหน้าและเปิดด้านบน เป็นเตาที่ขนาดไม่ใหญ่มากนักจึงเหมาะสำหรับงานทดลองและงานวิจัยต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

2. เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง (down draft kiln) เป็นเตาแก๊สที่ออกแบบสร้างให้มีขนาดใหญ่ สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก ๆ การบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาจะใช้รถเข็นซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็จะเพิ่มรถไว้สำรองอีก สามารถเผาติดต่อกันได้ เตาชนิดนี้จะต้องสร้างให้มีปล่องเตา ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้หรือสันดาปได้ดียิ่งขึ้น เตาแบบทางลมร้อนลงนี้จะให้อุณหภูมิในการเผาสูงมาก และสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แต่การลงทุนในการก่อสร้างค่อนข้างสูง ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เผาผลิตภัณฑ์ทดลองในการวิจัยครั้งนี้

4. <u>บรรยากาศในการเผา</u>

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 78) ได้ให้แนวคิดไว้ว่า ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้บรรยากาศการเผา 2 ลักษณะคือ

1. บรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชัน (oxidation atmosphere) เป็นการเผาแบบการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ไม่มีควัน

2. บรรยากาศการเผาแบบรีดักชัน (redution atmosphere) เป็นการเผาแบบการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือการเผาที่เกิดควัน ลัดดา มีศุข (2533 : 77) ได้สรุปว่า แก๊สธรรมชาติจะให้คาร์บอนในลักษณะควันเมื่อเผาบรรยากาศแบบรีดักชัน จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะช่วยทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ นิวัตร พัฒนะ (2534 : 39) อ้างจากโฟเนียร์ (Fournier. 1977 : 189-190) ได้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับรีดักชันไว้ว่า ฉ่านหิน แก๊ส และน้ำมันที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีคาร์บอนที่เกิดจากปฏิกริยาการเผาไม่หมดเป็นตัวหลักในการทำรีดักชัน การรีดักชันที่เริ่มก่อน 800 องศาเซลเซียส (1,472 องศาฟาเรนไฮต์) อาจทำให้เกิดสีเทาหรือสีดำในเคลือบหรือเนื้อดิน ซึ่งไม่สามารถขจัดออกไปได้

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดบรรยากาศการเผาแบบรีดักชัน เพื่อต้องการได้คาร์บอนจากแก๊สเป็นตัวช่วยให้เกิดการหลอมตัว และยึดจับแน่นเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์

5. <u>แม่เหล็ก</u> (magnetic)

บุญถึง แน่นหนา (2507 : 1) ได้ให้ความหมายของแม่เหล็กว่า เป็นสารที่ดูดชิ้นเหล็กด้วยกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์ (2518 : 1) ซึ่งได้ให้ความหมายของแม่เหล็กว่าเป็นสารที่สามารถดึงดูดเหล็กและเหนี่ยวนำเหล็กหรือสารแม่เหล็กบางชนิดให้กลายเป็นแม่เหล็กได้

แม่เหล็กที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน บุญถึง แน่นหนา (2507 : 1) และประสิทธิ์ ภูสุศิลป์ (2518 : 1) ได้แบ่งชนิดของแม่เหล็กไว้ดังนี้

5.1 <u>ชนิดของแม่เหล็ก</u> สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

5.1.1 แม่เหล็กธรรมชาติ (natural magnet) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นสารประกอบจำพวกออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) เรียกว่า แมกนีไตท์ (magnetite) ซึ่งพบครั้งแรกในเมืองแมกนีเซีย (Magnesia) ในเอเชีย (Asia Minor)

มีชื่อเรียกกันว่า โลเดสโตน (Lodestone) หรือ รีดดิ้งสโตน (Leadingstone) เพราะตามประวัติกล่าวว่า ชาวจีนใช้แม่เหล็กชนิดนี้เพื่อการเดินเรือ

5.1.2 แม่เหล็กประดิษฐ์ (artifical magnet) เป็นแม่เหล็กที่สร้างขึ้นด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ โดยการนำเหล็ก (Iron) ผสมกับนิคเกิล (Nickel) หรือโคบอลท์ (Cobalt) แม่เหล็กชนิดนี้มีกำลังความเป็นแม่เหล็กมากกว่าเหล็กธรรมชาติ และแม่เหล็กประดิษฐ์นี้ยังแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แม่เหล็กถาวร (permanent magnet) เป็นแม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้า คารงอำนาจแม่เหล็กไว้ได้นาน ทนทานต่อแรงกระทบกระเทือน และทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูง การนำไปใช้งาน เช่นแม่เหล็กที่ลำโพงวิทยุหรือแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องวิทยาศาสตร์

2. แม่เหล็กชั่วคราว (temporary magnet) เป็นแม่เหล็ก ซึ่งมีอำนาจอยู่เพียงชั่วขณะที่กำลังประดิษฐ์อยู่ ทำด้วยเหล็กอ่อน แม่เหล็กชั่วคราวไม่ใคร่มีประโยชน์มากนัก นอกจากแม่เหล็กชั่วคราว ซึ่งเกิดจากอำนาจไฟฟ้า คือ แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet) จะเกิดอำนาจแม่เหล็กอย่างแรง และเมื่อกระแสไฟฟ้าหยุดไหล อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไป กระแสไฟฟ้าที่ใช้อาจจะเป็นกระแสตรงก็ได้หรือกระแสสลับก็ได้ ถ้าต้องการแต่เพียงแรงดึงดูดอย่างเดียวก็ใช้กระแสสลับ แต่ถ้าต้องการอำนาจขั้วด้วย ต้องใช้กระแสตรง

จากชนิดของแม่เหล็กที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ยังมีนักวิชาการด้านแม่เหล็กได้กล่าวถึงเรื่องแม่เหล็กถาวรไว้ดังนี้

แม่เหล็กถาวร (hard magnetic materials) เป็นแม่เหล็กที่ทำมาจากสารประกอบพวกเหล็กออกไซด์ และนิเกิล โคบอลล์ ทองแดง อลูมิเนียม ทิทาเนียม ผสมกันโดยผ่านขบวนการหลอมละลายเป็นแท่งเหล็กรูปทรงต่าง ๆ และนำมาชาร์จ เปลี่ยนสภาพให้มีอำนาจการดูดหรือเกิดเส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลั๊ก เพื่อนำไปใช้ในงาน เครื่องมือวัด หลอดอิเล็กตรอน มอเตอร์ จูดปรับสนามแม่เหล็กในหลอดภาพทีวี ซึ่งแม่เหล็กถาวรต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้ สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (residual fult density : B_r) สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (coercive force : H_c) ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (Maximum Energy Product : $(BH)_{max}$) (Surinder parkash seth and P.V.GupTA. 1981 : 161) และแม่เหล็กถาวร ยังแยกออกได้ 3 ประเภท คือ

1. แม่เหล็กถาวรที่เป็นโลหะ คือ ผลิตจากสารประกอบพวก อลูมิเนียม นิเกิล โคบอลส์ เหล็กออกไซด์ ทิทาเนียมหรือทองแดง ผสมกันและหลอมละลาย อันเป็นรูปทรงต่าง ๆ

2. แม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ คือ ผลิตจากสารประกอบ พวกเหล็กออกไซด์ แคลเซียม สังกะสี ทิทาเนียม แบเรียม ผสมกันและเผาด้วยขบวนการทางเซรามิกส์

3. แม่เหล็กถาวรที่ทำจากสารประกอบของเหล็ก คือ เหล็กออกไซด์ที่นำมาหลอมละลาย ด้วยขบวนการหล่อโลหะ เพื่อทำเป็นรูปทรงต่างตามความต้องการใช้งาน (Vacuumschmeize GmbH. 1977 : 53)

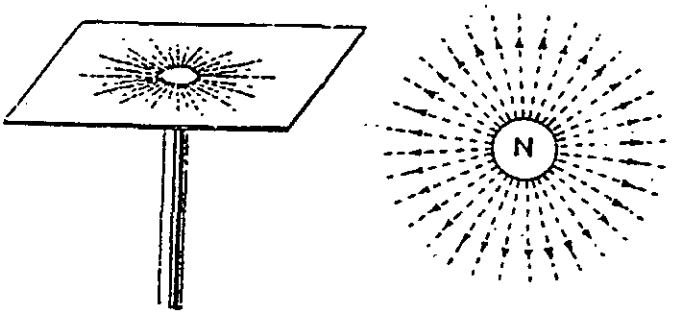
จากความหมาย ชนิด และประเภทของแม่เหล็กที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่า นอกจากแม่เหล็กถาวรที่ได้จากธรรมชาติ เรายังสามารถประดิษฐ์แม่เหล็กถาวรขึ้นได้จากสาร ประกอบหลายชนิด และด้านการนำไปใช้งานขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแม่เหล็กชนิดนั้น ๆ

5.2 <u>สนามแม่เหล็ก</u> บุญถึง แน่นหนา ได้อธิบายไว้ ดังนี้

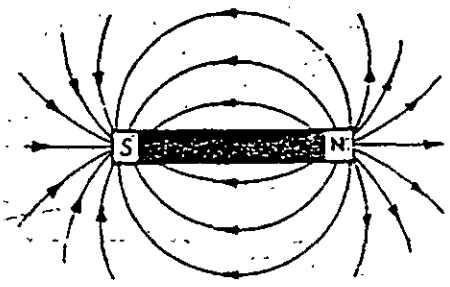
สนามแม่เหล็ก คือ บริเวณที่แม่เหล็กสามารถส่งอำนาจการเป็นแม่เหล็กไปดึงวัตถุที่ ต้องการให้เกิดอำนาจแม่เหล็กหรือให้เกิดผลจากแม่เหล็กนั้น

ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์ (2518 : 1) ได้ให้ความหมายของสนามแม่เหล็กว่าเป็นอาณาเขต ที่แม่เหล็กส่งแรงไปถึงและเมื่อตรวจสอบด้วยผงตะไบเหล็ก จะพบว่าสนามแม่เหล็กมีลักษณะเป็น เส้น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับ บุญถึง อัตถากร (2502 : 1) และบุญพฤกษ์ จาฏามระ และคนอื่น ๆ (2513 : 23) ได้สรุปไว้ว่า สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กใด ๆ คือ บริเวณรอบแม่เหล็กนั้น ซึ่ง แม่เหล็กนั้นสามารถส่งอำนาจแม่เหล็กไปถึงภายในบริเวณสนามแม่เหล็กนี้ ถ้าเรานำชิ้นแม่เหล็กอื่น ไปวางไว้จะมีแรงกระทำเกิดขึ้นต่อชิ้นแม่เหล็กที่นำไปวางนั้น

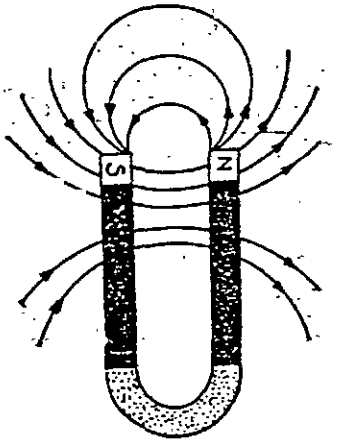
ลักษณะของสนามแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบได้โดยการนำผงตะไบเหล็กไปโรยรอบ แม่เหล็ก รายละเอียดดังแสดงในภาพประกอบ 3



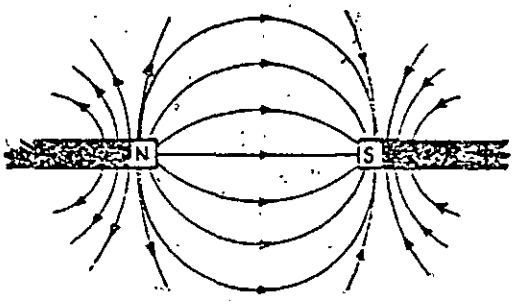
สนามแม่เหล็กจากขั้วเดียว



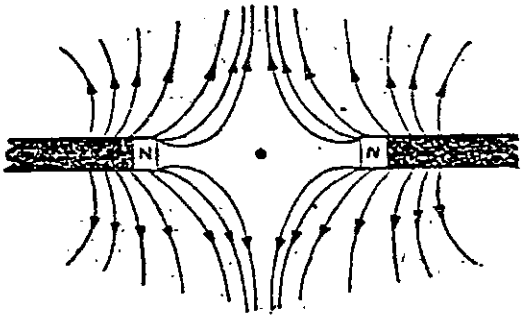
สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กแท่ง



สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กเกือกม้า



สนามแม่เหล็กบริเวณปลายขั้วเหนือ และขั้วใต้



สนามแม่เหล็กบริเวณปลายขั้วเหนือและขั้วเหนือ จุดตรงกลางคือจุดสะเทิน

ภาพประกอบ 3 ลักษณะต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็ก

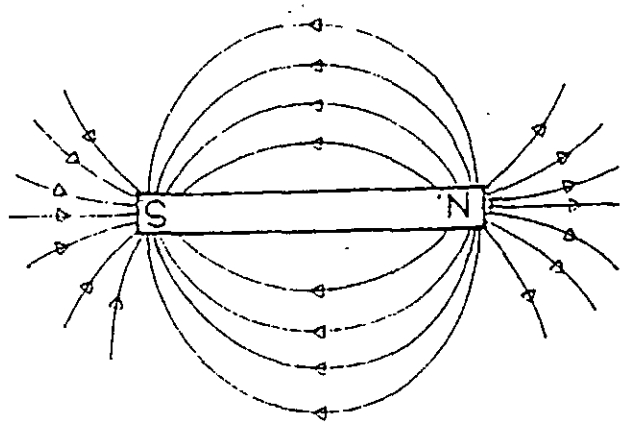
(ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์. 2518 : 24)

การตรวจสอบขั้วเหนือ ขั้วใต้ของแม่เหล็กทำได้โดยการแขวนแท่งแม่เหล็กไว้ แม่เหล็กจะมีขั้วข้างหนึ่งไปทางทิศเหนือ อีกข้างหนึ่งชี้ไปทางทิศใต้ ขั้วแม่เหล็กที่ชี้ไปทางทิศเหนือ เรียกว่า ขั้วเหนือหรือขั้วมุ่งเหนือ ส่วนขั้วแม่เหล็กที่ชี้ไปทางทิศใต้ เรียกว่า ขั้วใต้หรือขั้วมุ่งใต้ เมื่อนำแท่งแม่เหล็กวางไว้ จะมีอำนาจแม่เหล็กแผ่ออกไปรอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก ซึ่งเราเรียกว่า "สนามแม่เหล็ก" อำนาจแม่เหล็กที่แผ่ออกไปรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กนี้จะมีอำนาจกระทำต่อสารแม่เหล็ก เช่น ออกแรงดึงดูดเหล็ก หรือผงตะไบเหล็กที่อยู่บริเวณนั้น ออกแรงกระทำต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่วางอยู่บริเวณนั้น หรือออกแรงกระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่ในบริเวณนั้น ๆ เป็นต้น (สง สุขตานนท์ และคนอื่น ๆ. 2521 : 91)

5.3 <u>เส้นแรงแม่เหล็ก</u> เส้นแรงแม่เหล็ก คือทิศทางของอำนาจการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กจากขั้วเหนือถึงขั้วใต้ และมีทิศทางการเคลื่อนที่เหมือนกัน

สง สุขตานนท์ และคนอื่น ๆ (2521 : 92) ได้กล่าวถึง เส้นแรงแม่เหล็กไว้ว่า เส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) เป็นเส้นสมมุติมีทิศทางออกจากขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กพุ่งเข้าสู่ขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยวัดเป็นเวเบอร์ (weber) ใช้ตัวย่อเป็น Wb และ 1 เวเบอร์มีค่าเท่ากับ $100,000,000 = 10^8$ เส้น เส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กนี้เราใช้สัญญลักษณ์ ϕ หรืออ่านว่า ไฟ เป็นอักษรกรีก

เส้นแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก รายละเอียดแสดงดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก

(สง สุขตานนท์ และคนอื่น ๆ. 2521 : 92)

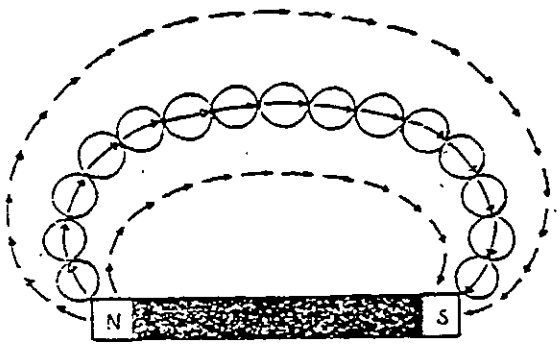
เส้นแรงแม่เหล็ก คือเส้นผงเหล็กที่เกิดขึ้นบนกระดาษ เมื่อกระดาษนั้นวางอยู่บนแม่เหล็กถาวร เส้นผงเหล็กจะเรียงกันจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ ดังภาพประกอบ 5

ภาพประกอบ 5 ผงตะไบเหล็กแสดงเส้นแรงแม่เหล็กรอบแท่งแม่เหล็ก
(นรินทร์ เนาวประทีป. 2532 : 206)

เส้นแรงแม่เหล็กมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง พุ่งจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้ การหาเส้นแรงแม่เหล็กมี 2 วิธี (ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์. 2518 : 23) คือ

1. การหาเส้นแรงแม่เหล็กโดยใช้เข็มทิศ
2. การหาเส้นแรงแม่เหล็กโดยใช้ผงตะไบเหล็ก

การหาเส้นแรงแม่เหล็กโดยใช้เข็มทิศ ให้เอาเข็มทิศวางใกล้ ๆ ปลายเหนือของแท่งแม่เหล็กซึ่งวางไว้บนแผ่นกระดาษ จะเห็นว่าปลายเหนือของเข็มทิศชี้เบนออก ให้ใช้ดินสอดำจุดตำแหน่งปลายเหนือของเข็มทิศเข้าไว้แล้วเลื่อนเข็มทิศออกไป ให้ปลายใต้ของเข็มทิศอยู่ตรงกับจุดที่ทำไว้ จะพบว่าปลายเหนือของเข็มทิศจะค่อย ๆ เบนไปหาขั้วใต้ของแม่เหล็กให้จุดไว้อีกแล้วเลื่อนเข็มทิศต่อไปอีก ฯลฯ ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ในที่สุดปลายเหนือของเข็มทิศจะเบนมาบรรจบตรงขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กพอดีทำให้เราได้เส้นแรงของแม่เหล็กในสนาม 1 เส้น ภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 การหาเส้นแรงแม่เหล็กจากเข็มทิศ

(ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์. 2518 : 23)

การหาเส้นแรงของสนามแม่เหล็กโดยใช้ผงตะไบเหล็ก

เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว แต่ไม่ทราบทิศทางของเส้นแรง อาจจะหาเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กหลาย ๆ แท่งวางอยู่ด้วยกันก็ได้ มีวิธีง่าย ดังนี้คือ ใช้กระดาษแข็งหรือแผ่นแก้ววางทับแม่เหล็ก แล้วโรยผงตะไบเหล็กลงไปและเคาะเบา ๆ ผงตะไบเหล็กจะเรียงตัวกันตามลักษณะเส้นแรงที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กเหล่านั้นอย่างชัดเจน

5.4 <u>คุณสมบัติของแท่งเหล็ก</u> แม่เหล็กที่จะนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้นั้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติเฉพาะตัวหลายประการด้วยกัน (บุญพฤกษ์ จาฏามระ. 2513 : 4-5) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของแท่งแม่เหล็กไว้ ดังนี้

คุณสมบัติของแท่งแม่เหล็ก สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

5.4.1 ออกแรงดึงดูดกับสารแม่เหล็ก

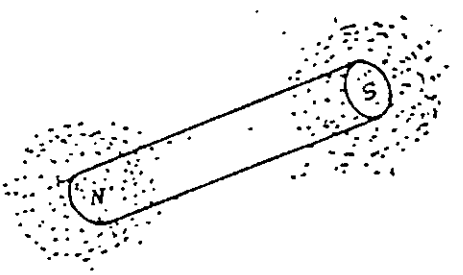
5.4.2 ถ้าทำให้แท่งแม่เหล็กแกว่งได้คล่องในแนวราบ เมื่อหยุดแกว่งมันจะวางตัวในแนวเหนือ แนวใต้ของแม่เหล็กโลก

5.4.3 แท่งแม่เหล็กสองแท่งที่ปลายเหมือนกัน หรือมีขั้วชนิดเดียวกัน อยู่ใกล้กันจะออกแรงผลักซึ่งกันและกัน และจะดูดกันเมื่อปลายมีขั้วต่างกันอยู่ใกล้กัน

5.4.4 ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้านำแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ใกล้ขดลวดสายไฟฟ้า หรือทำให้ขดลวดสายไฟฟ้าเคลื่อนที่ใกล้ ๆ แท่งแม่เหล็ก ทั้งสองกรณีนี้จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดสายไฟฟ้านั้นได้

นอกจากนี้ นรินทร์ เนาวประทีป (2532 : 204) ได้อธิบายคุณสมบัติของแท่งแม่เหล็กไว้ดังนี้

1. แท่งแม่เหล็กมีขั้วแม่เหล็ก เมื่อเอาผงเหล็กเทใส่แท่งแม่เหล็ก ผงเหล็กจะถูกดูดติดมากที่ปลายทั้งสองของแท่งแม่เหล็ก ดังภาพประกอบ 7 ส่วนอื่น ๆ นั้นมีติดน้อยมาก เราจึงทราบว่าอำนาจแม่เหล็กจะแรงมากที่บริเวณปลายทั้งสองข้างของแท่งแม่เหล็ก ซึ่งเราเรียกว่าขั้วแม่เหล็ก

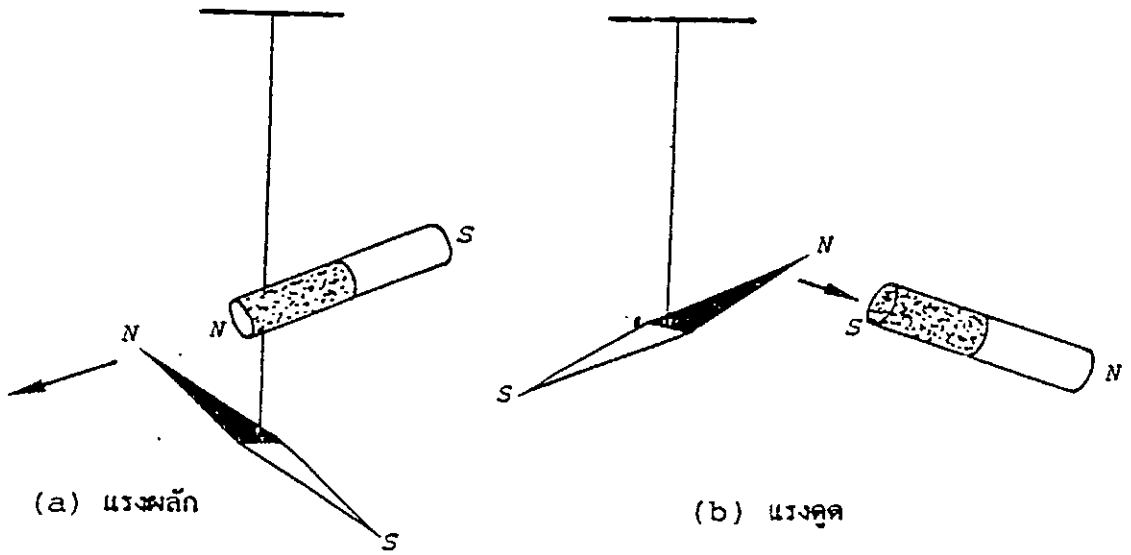


ภาพประกอบ 7 ขั้วแม่เหล็ก

(นรินทร์ เนาวประทีป. 2532 : 204)

2. แท่งแม่เหล็กชี้ไปในทิศทางเหนือใต้ ถ้านำเข็มทิศแม่เหล็ก หรือแท่งแม่เหล็กมาแขวนห้อยด้วยเส้นด้ายในแนวนอน แท่งแม่เหล็กจะชี้ไปในทิศทางเหนือใต้ ขั้วที่ชี้ไปทางทิศเหนือเรียกว่าขั้วเหนือ เป็นขั้วบวก และขั้วที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่า ขั้วใต้ เป็นขั้วลบ

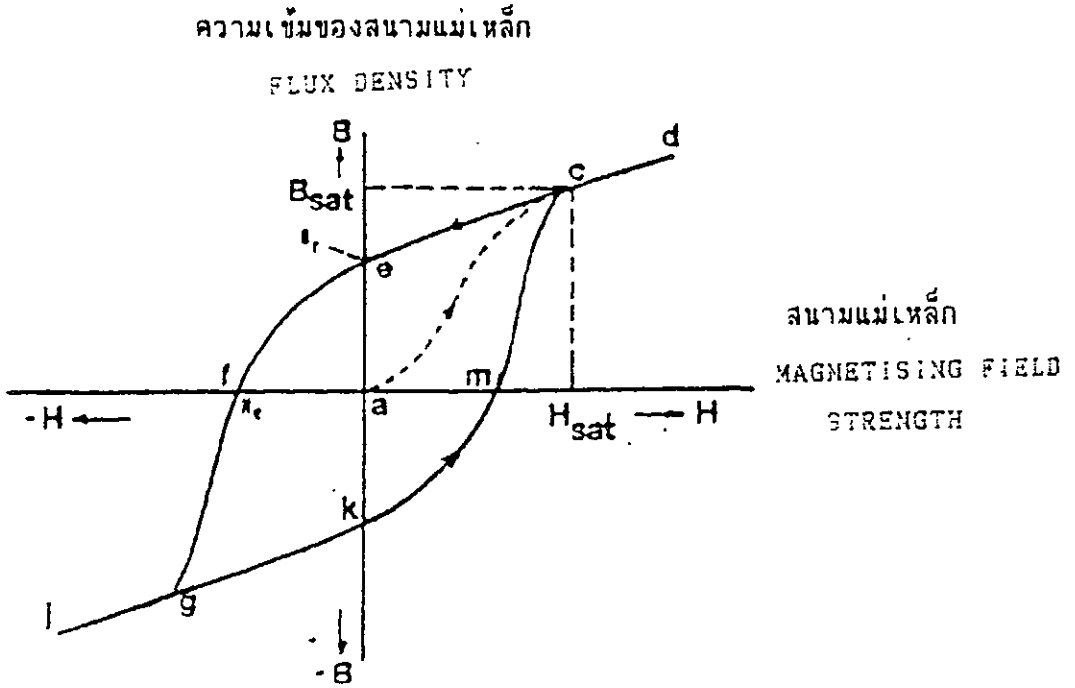
3. ขั้วเหมือนกันผลักกัน ขั้วต่างกันดูดกัน โดยนำเข็มทิศแม่เหล็ก มาแขวนในแนวนอน ดังภาพประกอบ 8 และถ้านำแท่งแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) เข้าใกล้ขั้วเหนือ (N) ของเข็มทิศจะเกิดแรงผลักกันขึ้น ดังภาพประกอบ 8 (ภาพย่อ a) และนำเอาแท่งแม่เหล็กขั้วใต้ (S) เข้าใกล้ขั้วเหนือของเข็มทิศ จะเกิดแรงดูดกันขึ้นดังภาพประกอบ 8 (ภาพย่อ b)



ภาพประกอบ 8 คุณสมบัติของแท่งแม่เหล็ก

(นรินทร์ เนาวประทีป. 2532 : 205)

คุณสมบัติของแม่เหล็ก สามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะของวงฮีสเตอรีซิส (hysteresis loop) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็กด้วยค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก B (flux density) เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้มของสนามแม่เหล็ก H (Magnetizing field) ที่มีทั้งการให้สนามแม่เหล็ก (Magnetization) และการล้างสนามแม่เหล็ก (Demagenetization) คุณสมบัติของแม่เหล็กที่สำคัญ ซึ่งได้จากวงฮีสเตอรีซิส นั้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (residual flux density : B_r) ความทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (Coercive force : H_c) ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (maximum energy product : $(BH)_{max}$



ภาพประกอบ 9 วงฮีสเตอรีซิสแสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) และสนามแม่เหล็ก (H) (อารีย์ วิเชียรฉาย และคนอื่น ๆ. 2534 : 60)

สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (residual flux density : B_r)

การเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ให้มีค่าเป็นศูนย์ ค่าสนามแม่เหล็กที่ตกค้างนี้ (B_r) ขึ้นกับชนิดและคุณภาพของแม่เหล็ก ดังตาราง 6

ตาราง 6 คุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแม่เหล็ก	B_r(kGs)	H_c(kOe)	$(BH)_{max}$(10^6 GsOe)	rac
ฮาร์ด เฟอร์ไรท์ (Hard Ferrites)	2.2-03.7	1.60-02.6	0.90-02.4	1.0-01.02
ออลลอย แมกเนท (Alloy Magnets)	3.4-13.0	0.15-01.4	0.65-05.5	1.6-13.00
แรร์ เอิร์ท (Rare Earths)	6.0-08.5	5.05-08.0	9.00-18.0	1.1-01.06
เอ็นดี เอฟอี บี (Nd-Fe-B*)	4.5-12.3	9.09-11.2	4.535.0	

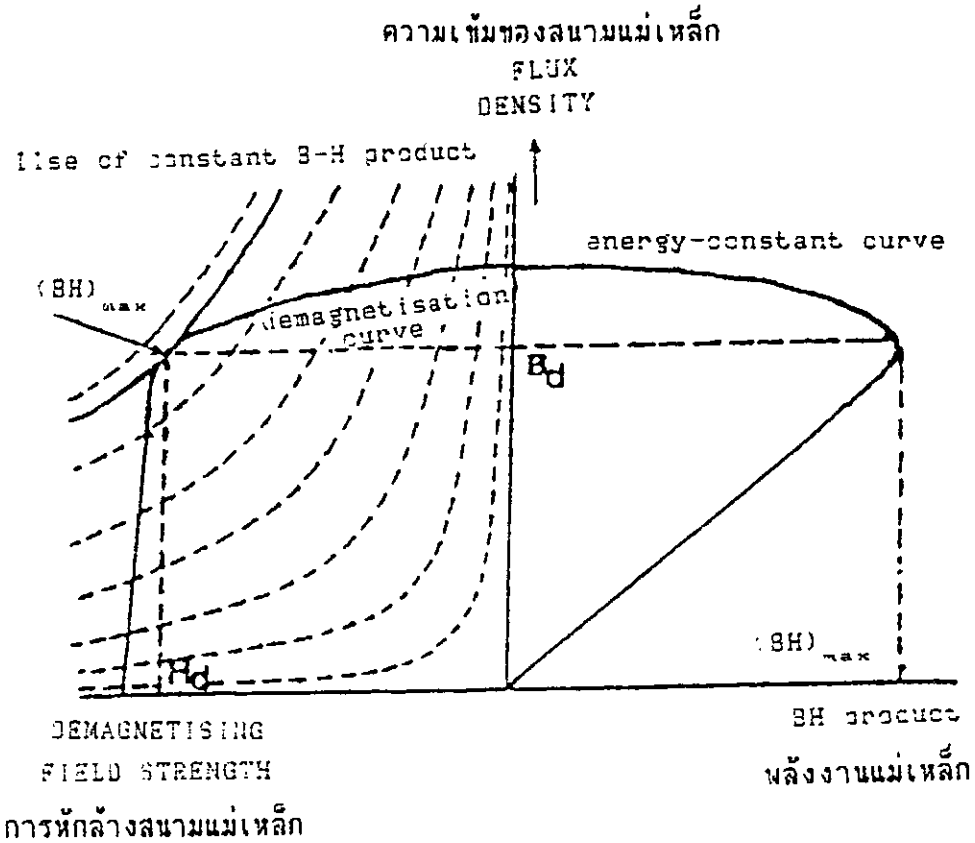
*แม่เหล็กที่ใช้มอเตอร์ของ compact disk. laser printer

สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (coercive force : H_c)

เป็นค่าของสนามแม่เหล็กภายนอก ที่สามารถทำลายสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กได้ ด้วยสนามแม่เหล็กที่มีทิศตรงข้ามกับสนามที่เคยเหนี่ยวนำให้แม่เหล็ก สนามทำลายแม่เหล็กนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กตกค้างของสารแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์มีหน่วยวัดเป็นเออสเตด (Oersted) Oe หรือ แอมแปร์ต่อเมตร (Ampere/Meter) A/M โดยที่ 1 Oe เท่ากับ 80 A/M ค่า H_c นี้ จะช่วยให้การพิจารณาการนำแม่เหล็กไปใช้งาน

ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (Maximum Energy Product : BH_{max})

เป็นค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก ที่จะนำไปใช้งานได้จากผลคูณของความหนาแน่นของพลักซ์แม่เหล็ก และความเข้มของสนามแม่เหล็กในควอด์เรนท์ (quadrant) ที่ 2 ของวงฮีสเตอรีซิส เมื่อเปรียบเทียบการพลอตค่า พลังงาน (BH) กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก H ที่ H_d เป็นพลังงานสูงสุดที่สารแม่เหล็กจะให้ได้มีหน่วยเป็นจิกะเออสเตด (gega Oersted) หรือ J/m^3 โดยที่ MG.Oe เท่ากับ kj/m^3 (อารีย์ วิเชียรฉาย และคนอื่น ๆ. 2534 : 58-62) ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 เคอร์ฟการล้างสนามแม่เหล็ก (Demagnetization curve) และแสดงค่า $(BH)_{max}$

(อารีย์ วิเชียรฉาย และคนอื่น ๆ. 2534 : 63)

6. <u>เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ฟลักซ์มิเตอร์</u> (electronic flux meter)

หลักการพื้นฐานที่ใช้วัดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก คือ การอินทิเกรทแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากขดลวดตรวจวัดเส้นแรง เมื่อวางตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา จากกฎของฟาราเดย์ เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เราได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็น สัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กกับเวลา

ตั้งสมการ

$$e_{emf} = -n(do8dt) \text{ ———————— } 1$$

จากสมการที่ 1 เราสามารถหาค่า o ได้โดยการอินทิเกรท e_{emf} กับเวลา

$$o = -(1/N) \int e_{emf} df \text{ ———————— } 2$$

แต่เนื่องจาก $o = BA$ แทนค่าลงในสมการ 2 จะได้

$$B = -(1/NA) \int e_{emf} df \text{ ———————— } 3$$

เมื่อ N = จำนวนรอบของขดลวดตรวจวัดเส้นแรงแม่เหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตรวจวัด

จากหลักการดังกล่าวได้ออกแบบวงจรอินทิเกรเตอร์แบบอนาลอก เพื่อใช้ในการอินทิเกรทแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะทำให้สามารถวัดค่า สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (residual fluxdensity : B_r) สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (Coercive force : H_c) และค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (maximum energy) product : $(BH)_{max}$ ได้ (อารีย์ วิเชียรฉาย และคนอื่น ๆ. 2534 : 79-87)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกี่ยวกับเรื่องการทำแม่เหล็กถาวรโดยใช้กรรมวิธีทางเซรามิกส์ มีผู้ศึกษาดังนี้

จิตติพร ภู่ไพจิตรกุล และคนอื่น ๆ (2534 : 92-104) ได้ทำการทดลองแม่เหล็กถาวรจากแบเรี่ยมคาร์บอเนตผสมกับเหล็กออกไซด์ สรุปได้ คือ การนำวัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติสำคัญทางแม่เหล็กวัสดุเหล่านี้ได้แก่ สารที่เป็นโลหะ โลหะผสมทรานซิชั่น แร่โลหะผสมของธาตุที่หายากและเซรามิกส์ ในพวกที่เป็นเซรามิกส์นั้น ผสมกันจะได้เฟอร์ไรท์เป็นสาร ซึ่งมีคุณสมบัติแม่เหล็กเด่นชัด สามารถเป็นตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กได้โดยตัวเองแม้เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก

ในด้านเทคโนโลยีการผลิต แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว อย่างเช่น ในเรื่องการปรับปรุงส่วนประกอบของสาร เพื่อจะทำให้สามารถนำมาใช้งานเฉพาะอย่างได้ การผลิตเฟอร์ไรท์เพื่อนำมาใช้งานก็สามารถใช้วัตถุดิบ ซึ่งมีราคาค่อนข้างถูก เช่น

เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งมีราคาถูกและมีปริมาณสูง สามารถใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแม่เหล็กเซรามิกส์

กระบวนการผลิตแม่เหล็กเฟอร์ไรท์ การเตรียมผงแบเรียมเฟอร์ไรท์ ในการวิจัยนี้ ได้เลือกวิธี Mechanical mixing ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการเตรียมผงเซรามิกส์และเป็นวิธีที่ใช้ในการผลิตเฟอร์ไรท์ในทางอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยการนำผงแบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับ 1:5.5 มาบดผสมกันโดย การบดเปียกในหม้อ บดแสตนเลส ซึ่งใช้ลูกบดที่ทำจากโลหะแสตนเลส (Stainless steel balls) $BaCO_3$ ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ ขนาดที่ใช้ในห้องทดลอง (Lab grade) ขนาดทั่วไป (commercial grade) และแบเรียมคาร์บอเนต ที่ผลิตจากแร่แบไรท์ในประเทศไทย จากการบดผสมดังกล่าวแล้วก็จะนำมาทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1,000-1,100 องศาเซลเซียส (1,832-2,012 องศาฟาเรนไฮต์) และคงไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวตั้งแต่ 0-60 นาที เพื่อจะหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่จะเกิดปฏิกริยาเป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) ในปริมาณที่เหมาะสม การเผาแคลไซน์จะเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้ได้สารเฟอร์ไรท์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้งานแต่ละประเภท

หลังจากแคลไซน์แล้ว จะได้ผงเฟอร์ไรท์ซึ่งเกาะกันเป็นก้อน จึงต้องผ่านกระบวนการบดเพื่อให้ได้ผงเฟอร์ไรท์ที่มีขนาดอนุภาคละเอียดสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำผงเฟอร์ไรท์ที่ได้มาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคลักษณะโครงสร้าง และส่วนผสมโดยใช้เครื่องเอ็กซเรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer) สแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) เอ็กซเรย์ฟลูออเรซเซน (X-ray Fluorescence) และนิวตรอนแอกติเวชัน อะนาลิซิส (Neutron Activation Analysis) ผงเฟอร์ไรท์ที่ได้จากกระบวนการแคลไซน์ จะถูกนำมาอัดขึ้นรูปในสภาพที่ไม่มีสนามแม่เหล็กโดยแรงอัดประมาณ 2 ตัน ขนาดชิ้นงานทำเป็น 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร หนาประมาณ 3 เซนติเมตร และอีกแบบเป็นวงแหวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงใน 2.2 เซนติเมตร และวงนอก 5.0 เซนติเมตร หนาประมาณ 8 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำมาเผาซินเตอร์ริ่งที่อุณหภูมิ 1,200-1,300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง และวัดค่าความเป็นแม่เหล็ก ผลการทดลองสรุปได้ ดังนี้ การศึกษาโครงสร้างของ $BaCO_3$ และ Fe_2O_3 โดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป พบว่า อนุภาคของแบเรียมคาร์บอเนตที่มีขายทั่วไป ๆ ไปมีขนาดใหญ่กว่า

อนุภาคของแบเรียมคาร์บอเนตที่ได้จากการทดลองประมาณ 10 เท่า และอนุภาคของแบเรียมคาร์บอเนต ซึ่งผลิตจากแร่แบไรท์ในไทยมีขนาดใกล้เคียงกับที่ได้ในห้องทดลองในทำนองเดียวกัน อนุภาคของเหล็กออกไซด์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป (Iron Oxide, Commericall grade) ที่มีขนาดใหญ่ทำให้ได้ผลผลิตของเฟอร์ไรท์ที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่ด้วย ในการผสมแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วง 30 นาที 2 เซนติเมตร 4 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร จากการสุ่มตัวอย่างมาทำนิวตรอนแอกติเวชัน แอนนาไลซิส พบว่า ชิ้นงานที่ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง จะเกิดความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแบเรียมเฟอร์ไรท์ (Barium Ferrite) มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณเฟอร์ไรท์ที่เกิดขึ้นหลังจากการทำแคลไซน์และระยะเวลาที่ใช้ในการบด และคุณสมบัติทางแม่เหล็กของเฟอร์ไรท์จะลดลง เมื่อปริมาณเฟอร์ไรท์สูงกว่าร้อยละ 95 สาเหตุเนื่องจากการสูญเสียโครงสร้าง

8. สรุป

จากปัญหาและความต้องการใช้แม่ เรศึกษาและค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร ตำรา งานวิจัยในเรื่อง ความหมายของเซรามิกส์ วัตถุดิบที่ใช้ทำแม่เหล็ก ผ่านกระบวนการทางเซรามิกส์ เตาเผาและบรรยากาศการเผาแม่เหล็ก เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์การทดลองทำแม่เหล็กถาวรโดยใช้วิธีเซรามิกส์ ได้นำเอาวัตถุดิบ คือ ผงแบเรียมคาร์บอเนตและผงเหล็กออกไซด์มาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม เผาในเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลงที่อุณหภูมิที่ 1,200 องศาเซลเซียส บรรยากาศในการเผาแบบรีดักชัน คาร์บอนที่เกิดจะเป็นตัวช่วยให้แบเรียมคาร์บอเนตและผงเหล็กออกไซด์จับตัวยึดแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน กลายเป็นแบเรียมเฟอร์ไรท์ ($BaFe_{12}O_{19}$) นำไปประจุไฟฟ้ากระแสตรง จะได้เฟอร์ไรท์ที่มีอำนาจแม่เหล็กชนิดถาวร ผลการวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้จัดขั้นตอนการวิจัยเป็นลำดับขั้นตามรายละเอียด ดังหัวข้อต่อไปนี้ คือ

1. วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการวิจัย
2. เครื่องมือ อุปกรณ์ ในการวิจัย
3. การดำเนินการวิจัย
4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
5. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. <u>วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการวิจัย</u>

วัตถุดิบที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบเรียมคาร์บอเนต จำนวน 1 โมล ต่อเหล็กออกไซด์ 1 ถึง 10 โมล โดยทำการวิจัยทดลองแบบจำเพาะเจาะจง เพื่อสุ่มตัวอย่าง หาจุดที่ดีที่สุด ของอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ทางด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ทางด้านการทนความร้อน ในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส
2. ความมีอำนาจทางแม่เหล็ก
3. รูปทรงคงสภาพเดิม

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนของแบเรียมคาร์บอเนตเป็นค่าคงที่ 1 โมลตลอดและให้ค่าของเหล็กออกไซด์ เป็นตัวแปรค่าจาก 1 โมลจนถึง 10 โมล ดังตาราง 7

ตาราง 7 อัตราที่ใช้ในการทดลองระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์

$BaCO_3$	:	Fe_2O_3	น้ำหนักโมเลกุลของ $BaCO_3$	:	น้ำหนักโมเลกุลของ Fe_2O_3
		1 โมล			159.69
		2 โมล			319.38
		3 โมล			479.07
		4 โมล			638.76
1 โมล	:	5 โมล	197.34	:	798.45
		6 โมล			958.14
		7 โมล			1117.83
		8 โมล			1277.52
		9 โมล			1437.21
		10 โมล			1596.90

2. เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ดังนี้

1. เครื่องชั่งระบบไฟฟ้า
2. หม้อบดวัตถุดิบ
3. ตะแกรงร่อน ขนาด 250 เมช
4. กระบอกตวง
5. เตาเผาแก๊สทางเดินลมร้อนลง
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิในเตาเผา
7. เครื่องอัดขึ้นรูปแท่งแม่เหล็ก

8. เครื่องชาร์จแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรง

9. เครื่องวัดอำนาจแม่เหล็ก โดยวัดหาคุณสมบัติ ดังนี้

9.1 สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง

9.2 สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก

9.3 ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

3. <u>การดำเนินการวิจัย</u>

ในการทดลองครั้งนี้ ทำการทดลอง 2 ขั้นตอน

<u>ขั้นตอนแรก</u> ทำการทดลองดังต่อไปนี้

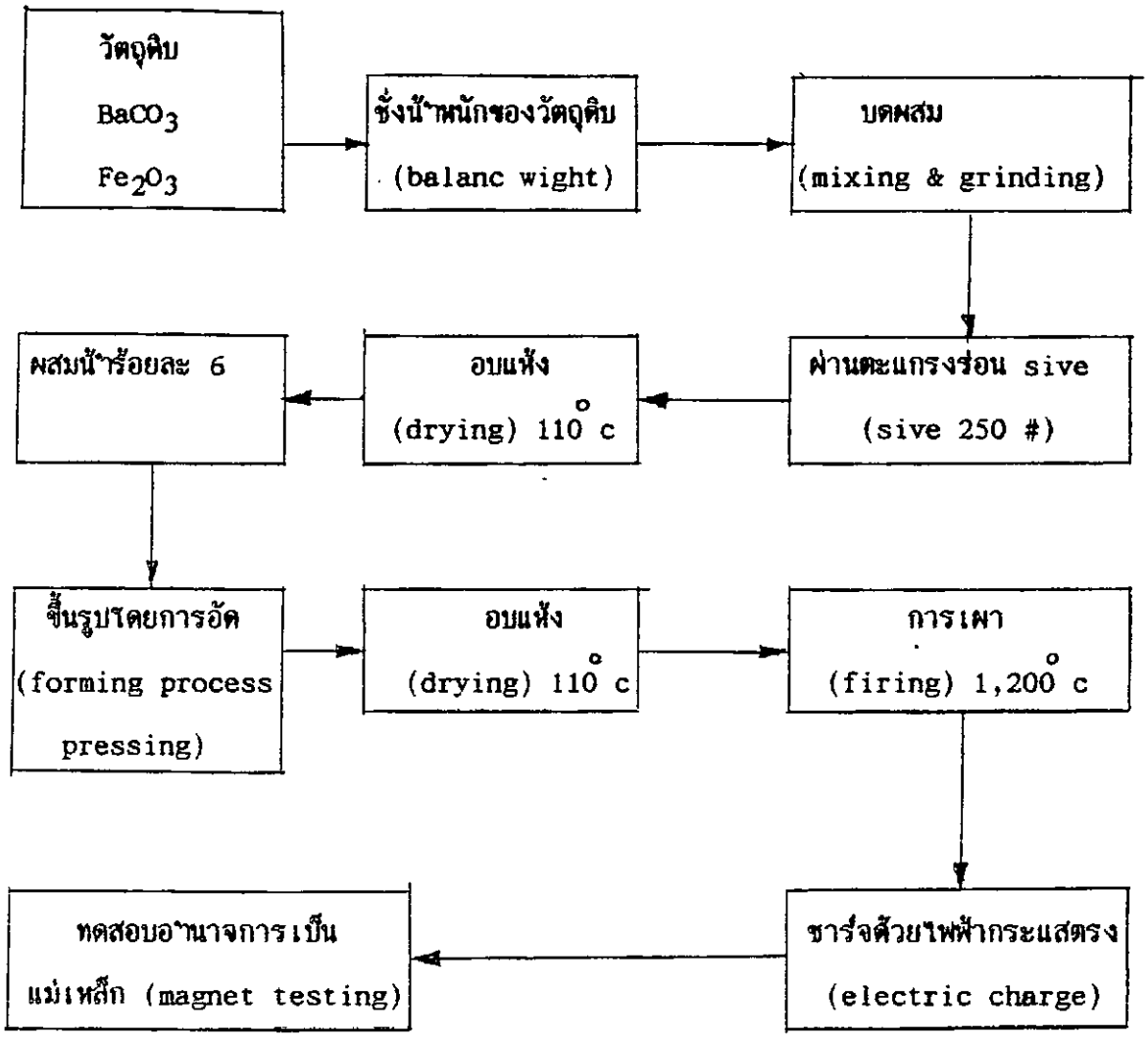
1. ทดลอง หาส่วนผสมจำเพาะเจาะจงอย่างหยาบ เพื่อนำไปทดสอบอำนาจของความเป็นแม่เหล็ก

2. ทดสอบแรงอัดที่ทำการขึ้นรูปแท่งแม่เหล็ก ว่ามีอำนาจการเป็นแม่เหล็ก แตกต่างมากน้อยเพียงใด

3. นำไปชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จำนวนแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4. ทดสอบคุณสมบัติหรืออำนาจการเป็นแม่เหล็ก

ทำการทดสอบในขั้นแรก ทดสอบเพื่อหาข้อมูลไปทำการทดลองอย่างละเอียด ในขั้นที่สอง ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แผนผังการทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์

<u>ขั้นตอนที่สอง</u>

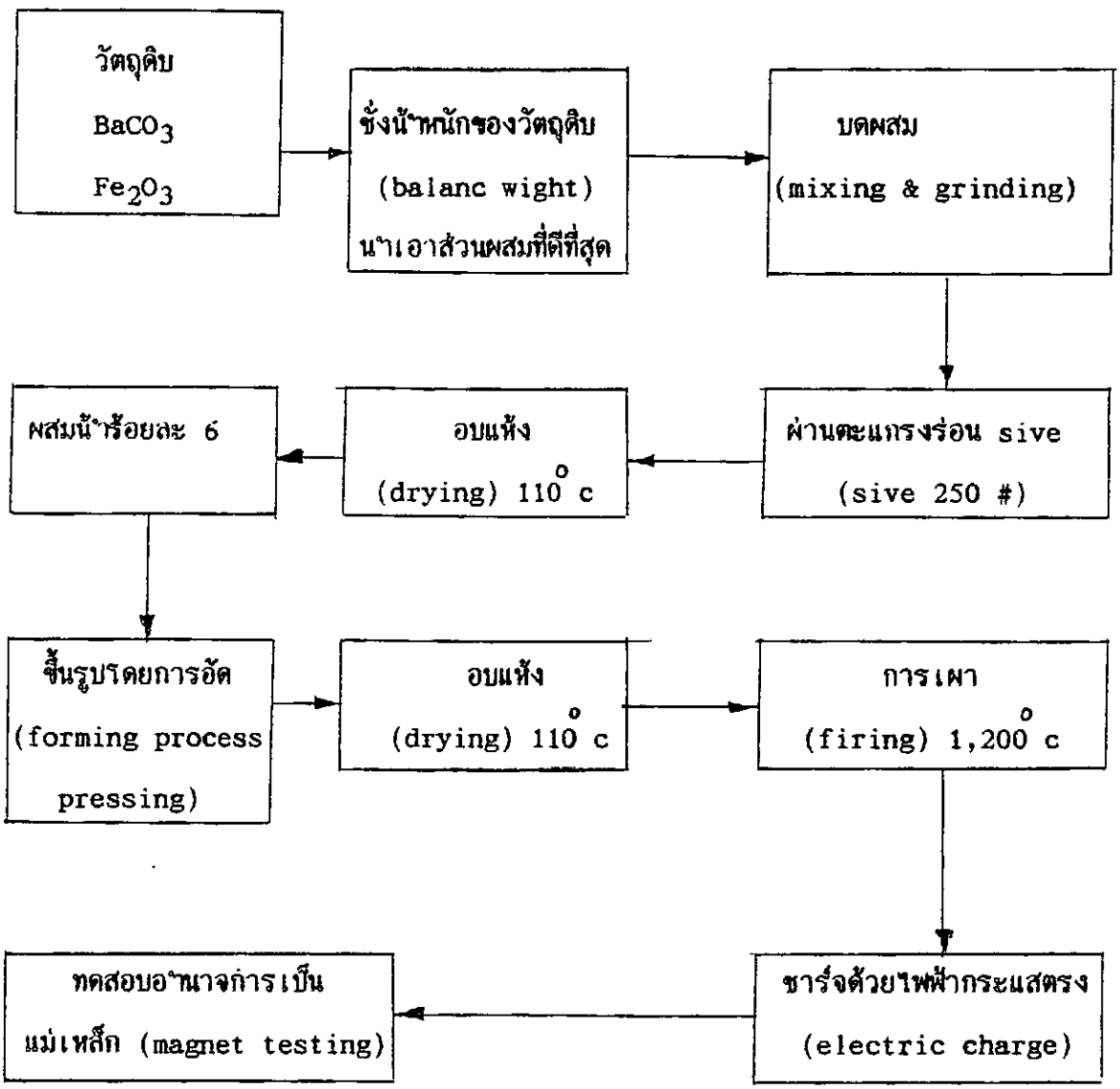
1. ทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุด ที่ได้จากผลการทดลองในขั้นแรก นำมาทดลองอย่างละเอียดอีก

2. ทดสอบแรงอัดที่ทำการขึ้นรูปแท่งแม่เหล็ก ว่ามีอำนาจการเป็นแม่เหล็กแตกต่างมากน้อยเพียงใด

3. นำไปชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จำนวนแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4. นำไปทดสอบคุณสมบัติหรืออำนาจการเป็นแม่เหล็ก

การทดลองขั้นตอนที่สอง ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แผนผังการทดลองแม่เหล็กเซรามิกส์

<u>รายละเอียดการทดลอง</u>

1. การทดสอบใช้อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ ดังตาราง 8

ตาราง 8 อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ

$BaCO_3$	:	Fe_2O_3	สูตร
		159.69	A
		319.38	B
		479.07	C
		638.76	D
197.34	:	798.45	E
		958.14	F
		1117.83	G
		1277.52	H
		1437.21	I
		1596.90	J

2. เอาวัตถุดิบไปชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนข้างบนโดยใช้ชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

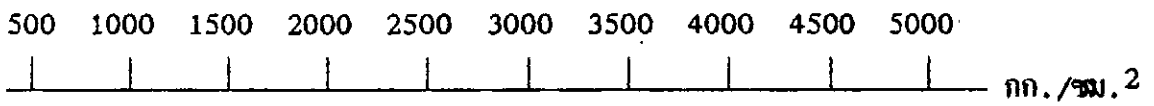
3. นำเอาวัตถุดิบไปบดผสมใช้เวลาในการบดมากกว่า 5 ชั่วโมง

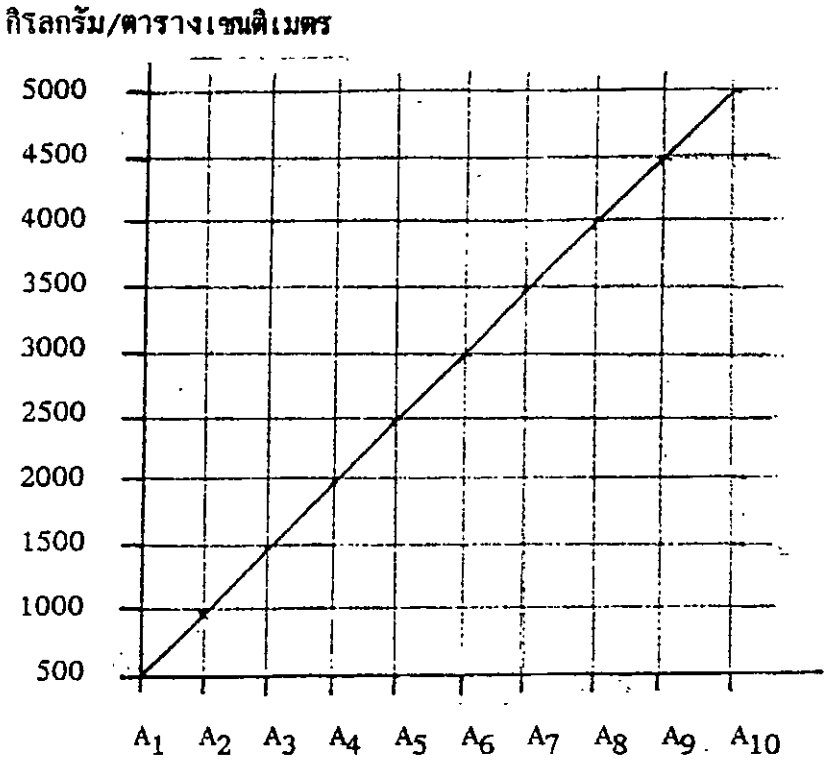
4. ผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 250 เมช

5. นำไปอบให้แห้งให้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (230 องศาฟาเรนไฮต์)

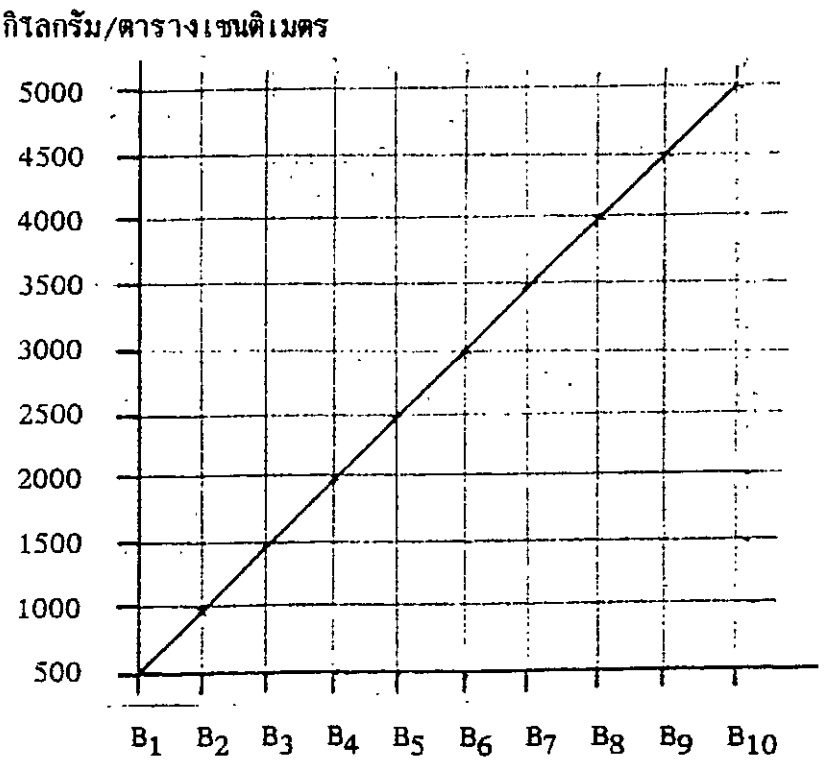
6. ผสมกับน้ำร้อยละ 6 เพื่อให้เกิดความชื้นสำหรับขึ้นรูป

7. นำเอาส่วนผสมไปอัดด้วยแรงอัด ทำเป็นแท่งทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร ใช้แรงอัดระหว่าง 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 5.000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยนำส่วนผสมแต่ละสูตรมาอัดแน่น ตามการสุ่มตัวอย่างดังนี้

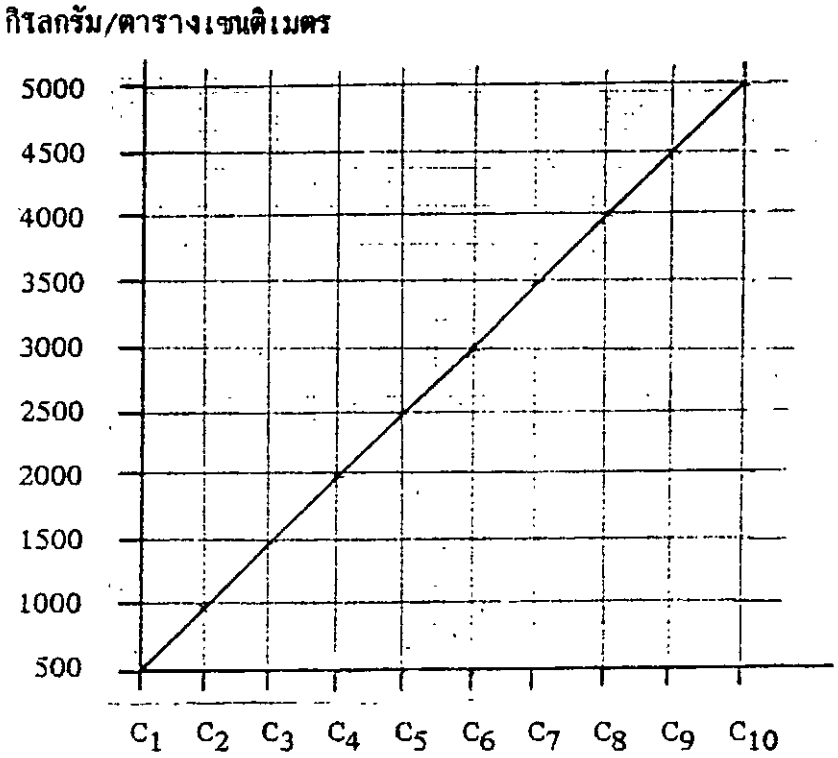




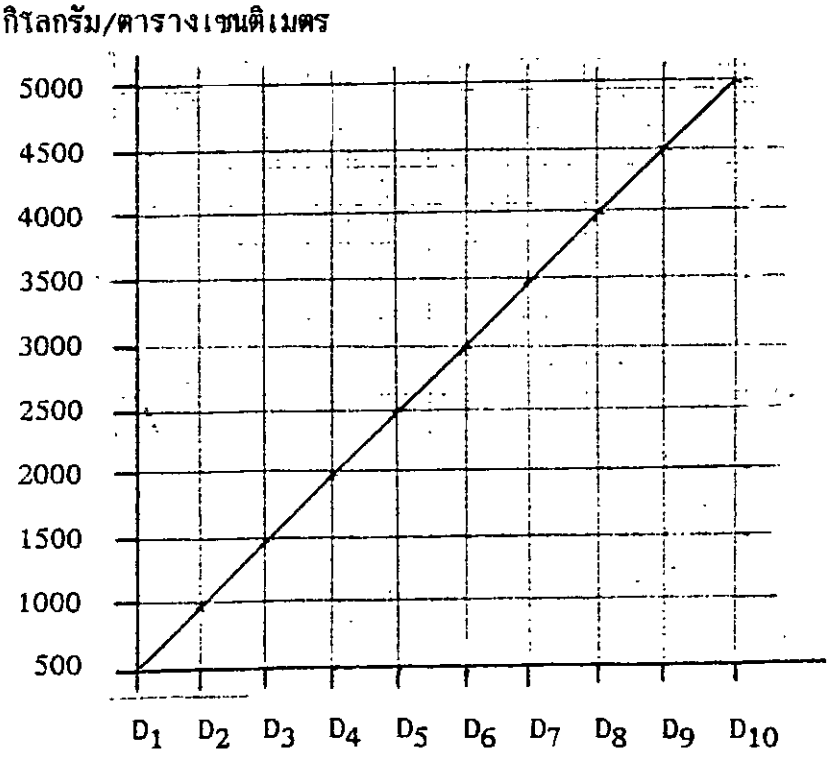
ภาพประกอบ 13 แสดงส่วนผสมของสูตร A. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 159.69



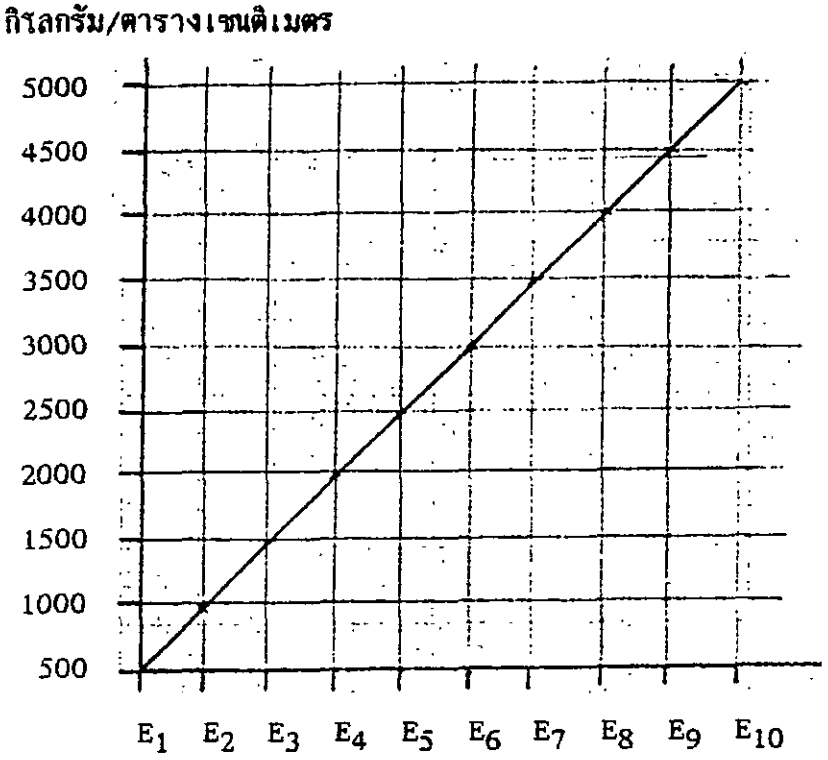
ภาพประกอบ 14 แสดงส่วนผสมของสูตร B. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 319.38



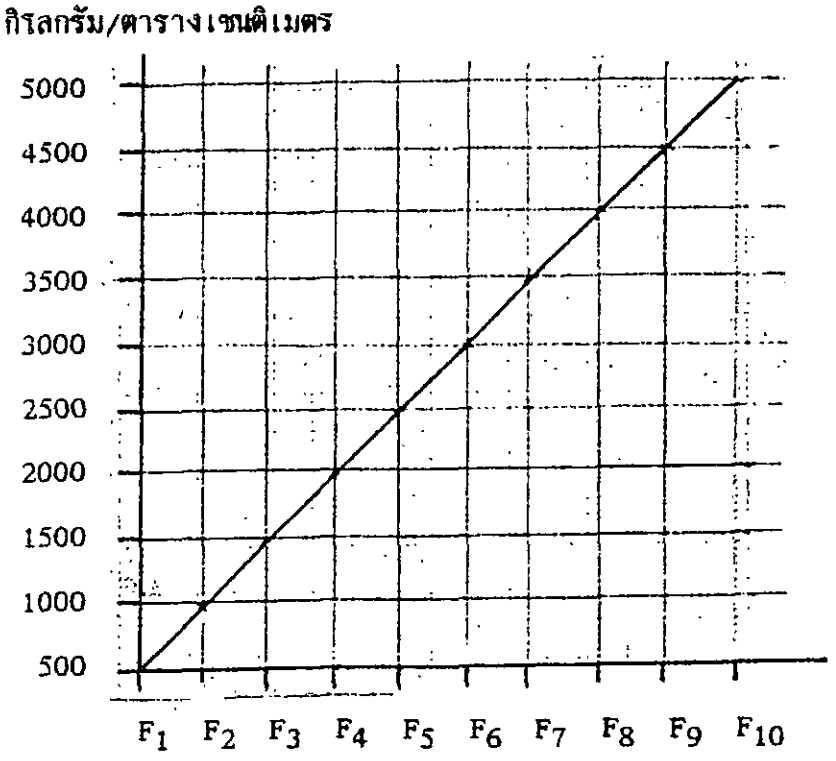
ภาพประกอบ 15 แสดงส่วนผสมของสูตร C, $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 479.07



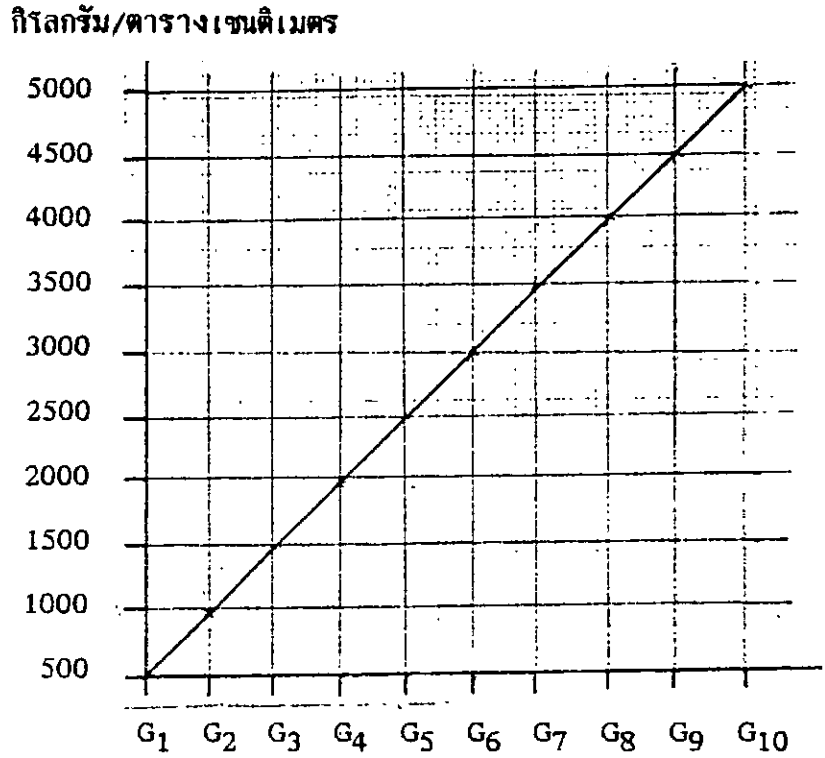
ภาพประกอบ 16 แสดงส่วนผสมของสูตร D, $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 638.76



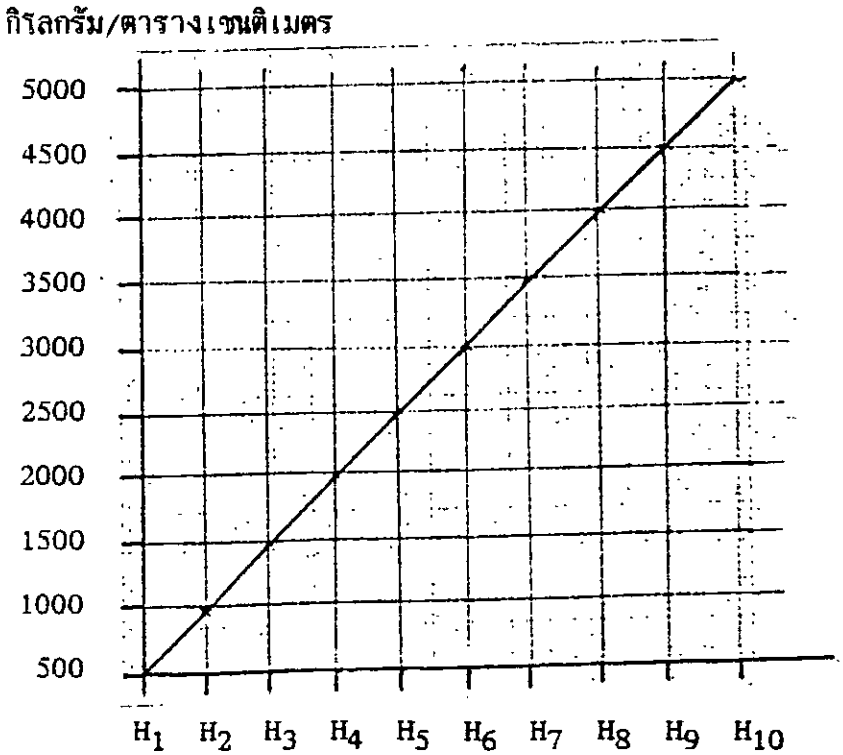
ภาพประกอบ 17 แสดงส่วนผสมของสูตร E. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 798.45



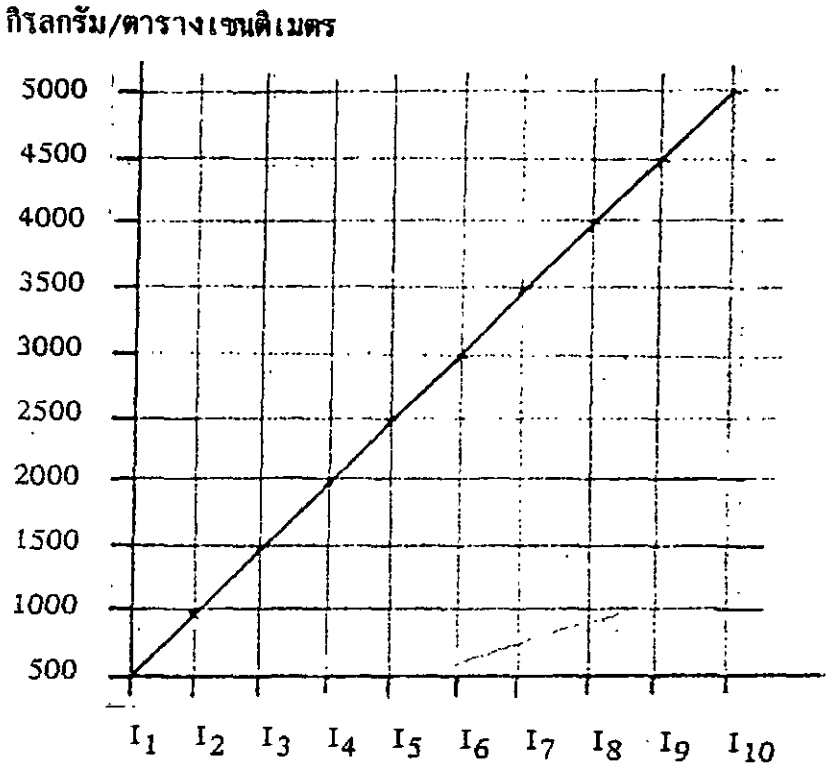
ภาพประกอบ 18 แสดงส่วนผสมของสูตร F. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 958.14



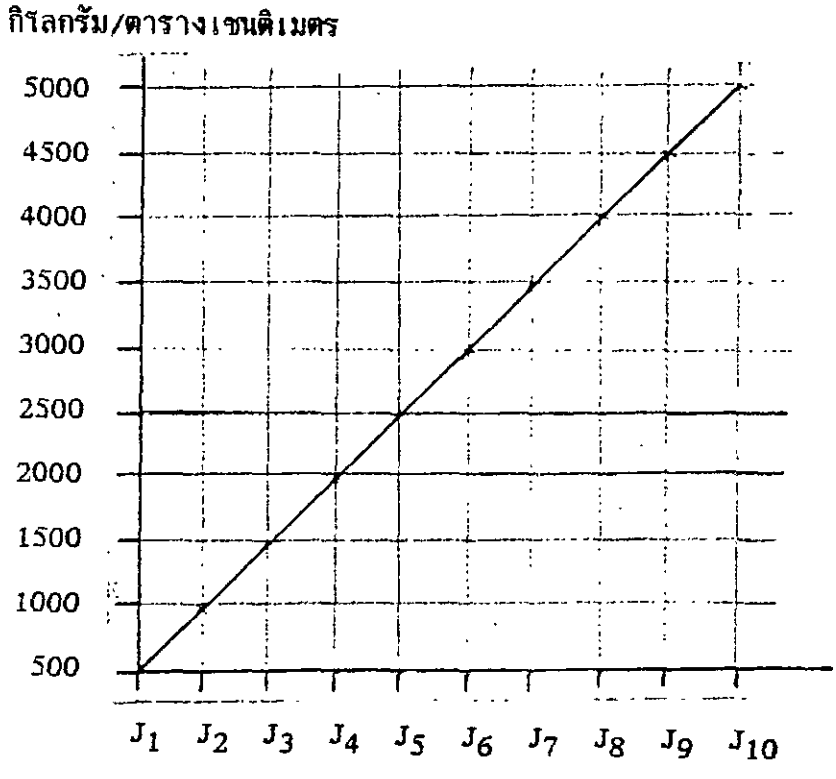
ภาพประกอบ 19 แสดงส่วนผสมของสูตร G. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 1117.83



ภาพประกอบ 20 แสดงส่วนผสมของสูตร H. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 1277.52



ภาพประกอบ 21 แสดงส่วนผสมของสูตร I. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 1437.21



ภาพประกอบ 22 แสดงส่วนผสมของสูตร J. $BaCO_3$ 197.34 ต่อ Fe_2O_3 1596.90

8. นำไปอบแห้งครั้งที่ 2 ในอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส อีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าเตาเผา

9. นำเอาแท่งทดลองไปเผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส โดยการเผารีดักชัน (reduction firing)

10. หลังจากเผาแล้ว นำไปชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงระหว่าง 12 โวลท์ และ 24 โวลท์ โดยสุ่มตัวอย่าง ใช้ค่าความต้านทาน .002 โอห์ม ใช้เวลาในการชาร์จครั้งละ 1 วินาที จำนวน 3 ครั้งแต่ละตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพของอำนาจการเป็นแม่เหล็ก

11. นำไปทดสอบคุณสมบัติ หรืออำนาจการเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องมือวัด

12. คัดเลือก ตัวอย่างที่มีอำนาจการเป็นแม่เหล็กดีที่สุด ไปทดสอบหาข้อมูลอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในขั้นที่ 2 โดยทำการทดลองขั้นตอนเหมือนครั้งที่ 1

4. สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

สถานที่ที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้ คือ

1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร เป็นสถานที่ใช้ชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบ บดผสมด้วยหม้อบดขนาดความจุ 1/2 กิโลกรัม ตะแกรงร่อนขนาด 250 เมช

2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูเทพสตรี จังหวัดลพบุรี ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูป และอบแห้ง

3. แผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี อ.เมือง จังหวัดสิงห์บุรี เป็นสถานที่ใช้อัดขึ้นรูปทรงกระบอกตันเป็นแท่งแม่เหล็ก

4. ห้องปฏิบัติการ บ้านเลขที่ 100/239 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี สถานที่ใช้อบแห้ง และใช้เตาแก๊สเผาแท่งแม่เหล็กที่ได้ขึ้นรูปแล้ว

5. บริษัทมินิแบอิเล็กทรอนิกส์ อ.เมือง จังหวัดลพบุรี เป็นสถานที่ใช้ชาร์จแม่เหล็กแท่งด้วยไฟฟ้ากระแสตรง

6. สภาวิจัยแห่งชาติ ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ ใช้เป็นสถานที่ทำการทดสอบคุณสมบัติความเป็นอำนาจแม่เหล็ก

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม 2535 ถึงเดือนธันวาคม 2537

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติที่แม่เหล็กถาวรที่ทำการวิจัย จะมีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ คือ การทนความร้อนในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (932 องศาฟาเรนไฮต์) คุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร รูปทรงคงสภาพเดิม

การทดสอบการทนความร้อนในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจดูสภาพการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ที่แม่เหล็กถาวรจะได้รับจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100-500 องศาเซลเซียส (212-932 องศาฟาเรนไฮต์) มีเครื่องมือและวิธีทดสอบ ดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

1. เตาเผาแก๊สที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์
2. ผงเหล็ก

วิธีทดสอบ

1. นำแม่เหล็กถาวรที่เป็นชิ้นทดสอบ ใส่เตาเผาแก๊สและเริ่มเพิ่มอุณหภูมิจาก 100-500 องศาเซลเซียส

2. แม่เหล็กถาวรที่ผ่านการเผาครบ 6 ชั่วโมง จะปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจนอยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติของบรรยากาศ

3. นำแม่เหล็กถาวรที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของตัวแม่เหล็กเท่ากับบรรยากาศปกติ จึงนำกระดาษ ขนาด A4 ตัดเป็นแผ่นยาว สามนิ้ว กว้างสามนิ้ว วางบนแม่เหล็กถาวรที่เป็นชิ้นทดสอบ แล้วโรยผงเหล็กลงไป เพื่อตรวจสอบสภาพคุณสมบัติของแม่เหล็ก ถ้าเห็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก แสดงว่าแม่เหล็กถาวรสามารถคงอำนาจดึงดูดไว้ได้

4. ตรวจสภาพรูปทรงทางกายภาพ หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส และบันทึกลงในตารางข้อมูล

การทดสอบคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร เพื่อจะตรวจสอบแม่เหล็กถาวรที่เป็นชิ้นทดสอบว่าเมื่อชาร์จไฟฟ้ากระแสตรง เปลี่ยนสภาพชิ้นทดสอบให้เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งต้องมีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก มีเครื่องมือและวิธีการทดสอบ ดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร

การตรวจสอบคุณสมบัติแม่เหล็กถาวร โดยใช้เครื่องมือวัดที่มีชื่อว่า อิเล็กทรอนิกส์ พลักซ์มิเตอร์ ที่สามารถวัดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็กค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

วิธีการทดสอบ

1. นำชิ้นทดลองหลังจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ไปตรวจสอบรูปทรงและการคงสภาพ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทางเซรามิกส์จำนวน 3 คน เป็นผู้ตรวจสอบ และแสดงความคิดเห็นเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากการทดลองเผา เครื่องมือที่ใช้จะเป็นแบบสอบถาม และสรุปลงในตารางข้อมูล

คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

1. มีความชำนาญทางด้านเซรามิกส์ และทดสอบคุณภาพผ่านการปฏิบัติงานมาแล้วไม่น้อยกว่า 5 ปี

2. หรือเป็นผู้ทำการสอนระดับอุดมศึกษาในสาขาเซรามิกส์ไม่น้อยกว่า 10 ปี

2. นำชิ้นทดลองที่ทำเป็นแท่งแม่เหล็กเข้าเครื่องชาร์จไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเปลี่ยนสภาพให้เป็นแม่เหล็กถาวร มีแรงดึงดูดเส้นแรงแม่เหล็ก สนามแม่เหล็ก

3. นำแม่เหล็กที่ผ่านการชาร์จแล้ว ทดสอบคุณสมบัติด้านสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง สนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก

4. บันทึกผลลงในตารางข้อมูล

6. <u>การวิเคราะห์ข้อมูล</u>

นำชิ้นทดสอบที่ผลิตเป็นแท่งแม่เหล็ก ไปทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ คือ ด้านการทนความร้อนในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร แล้วนำผลมาเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อเสนอข้อมูลใช้เป็นแนวทางในการพัฒนานำไปใช้งานตามความต้องการ ในการผลิตอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น แม่เหล็กในงานอิเล็กทรอนิกส์ แม่เหล็กในมอเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ทดสอบหาอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร ดังนี้

1. การทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรจากเซรามิกส์
2. การชาร์จเส้นแรงแม่เหล็ก
3. การทดสอบสภาพการเป็นแม่เหล็ก

1. <u>ทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรจากเซรามิกส์</u>

วิธีทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรเซรามิกส์ ทำการเผาในอุณหภูมิ 1.200 องศาเซลเซียส โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน จากการผสมชิ้นทดลองจำนวน 10 อัตราส่วน และใช้กำลังอัดขึ้นรูปชิ้นทดลอง 100 ชิ้นด้วยเครื่องกล ผลปรากฏดังนี้

ตาราง 9 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 0.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
* 6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 10 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน ด้วยแรงดัน 1.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 11 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 1.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 12 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 2.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 13 ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 2.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม) (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 14 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 3.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 15 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 3.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 16 ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 4.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 17 ผลการทดลองจากการเผา 1.200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 4.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม) (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

ตาราง 18 ผลการทดลองจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 5.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A	/			
2	319.38	B	/			
3	479.07	C		/		
4	638.76	D		/		
5	197.34 : 798.45	E		/		
6	958.14	F		/		
7	1117.83	G		/		
8	1277.52	H		/		
9	1437.21	I			/	
10	1596.90	J			/	

หลังจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพแล้วปรากฏว่าอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ที่อยู่ระหว่าง 1:1 ถึง 1:2 เกิดการหลอมละลาย สภาพไม่อยู่ในลักษณะรูปทรงที่ขึ้นรูปเอาไว้ จึงทำการคัดออกไม่นำไปทำการทดลองในขั้นต่อไป

อัตราส่วนที่อยู่ระหว่าง 1:3 ถึง 1:8 จะสุกตัวดีเนื้อจะหลอมเข้าด้วยกันดี ส่วนอัตราส่วนที่อยู่ระหว่าง 1:9 และ 1:10 จะสุกตัวแต่เนื้อไม่ค่อยจะเข้ากันดี

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้นำเอาอัตราส่วนผสมระหว่าง 1:3 กับ 1:8 ไปทำการทดลองชาร์จกระแสไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อน 12 โวลท์และ 24 โวลท์ ใช้ความต้านทาน

ค่าคงที่ .002 โอห์ม

2. <u>การชาร์จเส้นแรงแม่เหล็ก</u>

การชาร์จเส้นแรงแม่เหล็กใช้ไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์และ 24 โวลท์ โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานเป็นตัวคงที่ .002 โอห์ม ผลปรากฏจากการทดลองดังนี้

ตาราง 19 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 0.5 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	400	32	12,800	430	32	13,760
4	420	32	13,440	450	32	14,400
5	435	32	13,920	465	32	14,880
6	470	32	15,040	500	32	16,000
7	470	32	15,040	500	32	16,000
8	450	32	14,400	480	32	15,360
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 20 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 1.0 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	410	32	13.120	480	32	15.360
4	430	32	13.760	500	32	16.000
5	445	32	14.240	515	32	16.480
6	480	32	15.360	550	32	17.600
7	480	32	15.360	550	32	17.600
8	460	32	14.732	530	32	16.960
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 21 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 1.5 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	420	32	13.440	485	32	15.520
4	440	32	14.080	505	32	16.160
5	455	32	14.560	520	32	16.640
6	490	32	15.680	555	32	17.760
7	490	32	15.680	555	32	17.760
8	470	32	15.040	535	32	17.120
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 22 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 2.0 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	428	32	13.696	489	32	15.648
4	448	32	14.336	509	32	16.288
5	463	32	14.816	524	32	16.768
6	498	32	15.936	559	32	17.888
7	478	32	15.296	559	32	17.888
8	458	32	14.656	539	32	17.248
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 23 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 2.5 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	430	32	13,760	497	32	15.904
4	450	32	14.400	517	32	16,544
5	465	32	14,880	536	32	17,024
6	500	32	16.000	567	32	18.144
7	500	32	16,000	567	32	18,144
8	480	32	15.360	547	32	17,504
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 24 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 3.0 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	440	32	14,080	500	32	16.000
4	460	32	14.720	520	32	16.640
5	475	32	15.200	535	32	17.120
6	510	32	16.320	570	32	18.240
7	510	32	16.320	570	32	18.240
8	490	32	15,680	550	32	17,600
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 25 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 3.5 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	450	32	14.400	510	32	16.320
4	470	32	15.040	530	32	16.960
5	485	32	15.520	545	32	17.440
6	520	32	16.640	580	32	18.560
7	520	32	16.640	580	32	18.560
8	500	32	16.000	560	32	17.920
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 26 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 4.0 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	460	32	14.720	520	32	16.640
4	480	32	15.360	540	32	17.280
5	495	32	15.840	555	32	17.760
6	530	32	16.960	590	32	18.880
7	510	32	16.320	560	32	17.920
8	490	32	15.680	540	32	17.280
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 27 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 4.5 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	470	32	15,040	525	32	16,800
4	490	32	15.680	545	32	17.440
5	505	32	16,160	560	32	17.920
6	540	32	17.280	595	32	19.040
7	520	32	16,640	565	32	18,080
8	500	32	16.000	545	32	17.440
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

ตาราง 28 ผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กใช้แรงอัด 5.0 ตัน

อัตราส่วนผสมที่	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลท์			แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]	B_r (Gs)	H_c (A/M)	BH_{max} [Gs/(A/M)]
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	480	32	15,360	530	32	16,960
4	500	32	16.000	550	32	17,600
5	515	32	16.480	565	32	18.080
6	550	32	17.600	600	32	19,200
7	530	32	16.960	590	32	18,880
8	510	32	16.320	570	32	18,240
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-

จากการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กสูตรที่อัตราส่วนผสมอยู่ระหว่าง 1:3 ถึง 1:8 ที่ใช้แรงอัด 0.5 ถึง 5 ตัน ในการขึ้นรูปชิ้นทดลอง ผลการทดสอบพบว่า สูตรที่มีค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง (B_r) สูตร 1:6 มีค่ามากที่สุด สูตร 1:7 และสูตร 1:8 มีค่ารองลงมา ค่าสนามทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก (H_c) ทุกสูตรมีค่าเท่ากัน ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก (BH_{max}) สูตร 1:6 มีค่ามากที่สุด สูตร 1:7 และสูตร 1:8 มีค่ารองลงมา

ดังนั้นในการทดลองเพื่อหาสูตรที่ดีที่สุด จึงนำอัตราส่วนที่ 1:6 มาทำการทดลองใหม่ในการทดลองครั้งที่ 2

ผลการทดลองที่ 2 ในการทดลองครั้งที่ 1 จากการนำเอาชิ้นทดลองไปผ่านการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อัตราส่วนผสม ระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ อยู่ระหว่าง 1:6 เป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด

2. แรงอัดที่ใช้ที่สามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เป็นแม่เหล็กได้ดีที่สุดใช้แรงอัด 5 ตัน

3. แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ได้ผลดีที่สุดจากการทำการทดลองครั้งนี้

ตาราง 29 ผลจากการทดลองละเอียดครั้งที่ 2 โดยเพิ่มและลดอัตราส่วนของเหล็กออกไซด์เท่ากับ 0.1 โมล

อัตราส่วนที่	$BaCO_3$: Fe_2O_3	อัตราส่วน
1	878.10	1:5.5
2	894.26	1:5.6
3	910.23	1:5.7
4	926.20	1:5.8
5	942.17	1:5.9
6	197.34 : 958.14	1:6
7	974.11	1:6.1
8	990.08	1:6.2
9	1006.05	1:6.3
10	1022.02	1:6.4
11	1037.10	1:6.5

ตาราง 30 แสดงผลการทดลองคุณสมบัติแม่เหล็กที่ดีที่สุดมาจากการทดลองครั้งที่ 1 มาทำการทดลองละเอียดครั้งที่ 2 (จากอัตราส่วนผสมตาราง 29) โดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์

อัตราส่วนผสมที่	$BaCO_3$: Fe_2O_3	อัตราส่วนผสม	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลท์		
			B_r (GS)	H_c (A/M)	BH_{max} [GS/(A/M)]
1	878.10	1:5.5	559	32	17,888
2	894.26	1:5.6	568	32	18.176
3	910.23	1:5.7	572	32	18,304
4	926.20	1:5.8	588	32	18.816
5	942.17	1:5.9	599	32	19,168
6	197.34 : 958.14	1:6	600	32	19,200
* 7	974.11	1:6.1	603	32	19,296
8	990.08	1:6.2	598	32	19.136
9	1006.05	1:6.3	596	32	19.072
10	1022.02	1:6.4	594	32	19.008
11	1057.10	1:6.5	390	32	12,480

จากผลการทดลองครั้งที่ 2 ปรากฏว่า อัตราส่วนของแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ที่ให้ค่าพลังความเป็นแม่เหล็กสูงคือ อัตราส่วนระหว่าง 1:6.1 ดังตาราง 30 ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จะนำเอาอัตราส่วนระหว่าง 1:6.1 ไปทำการทดลองทดสอบสภาพการเป็นแม่เหล็กเมื่อได้รับความร้อนในอุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส

3. <u>การทดสอบสภาพการเป็นแม่เหล็ก</u>

การทดลองสภาพการเป็นแม่เหล็ก เมื่อได้รับความร้อนในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบการคงสภาพเส้นแรงแม่เหล็กและอำนาจคืงดูดกับการรักษาสภาพรูปทรงทางกายภาพ

ตาราง 31 ผลจากการทดสอบอำนาจการเป็นแม่เหล็กในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และการคงสภาพรูปทรงทางกายภาพ (จากอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ 1:6.1 โมล)

การทนต่อความร้อน องศาเซลเซียส	ความสามารถดำรงอำนาจแม่เหล็ก		รูปทรงชิ้นทดลองหลังจากการเผา	
	คงสภาพเดิม	ไม่คงสภาพเดิม	คงสภาพเดิม	แตกร้าว
100	/		/	
200	/		/	
300	/		/	
400		/		/
500		/		/

สรุป จากการทดสอบอำนาจการเป็นแม่เหล็กในอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และการคงสภาพรูปทรงทางกายภาพ ผลการทดสอบตามตาราง 31 พบว่าอำนาจแม่เหล็กสามารถดำรงไว้ได้ในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ถ้ามีค่า B_r อยู่ในช่วง 500-600 Gs แต่ถ้ามากกว่านั้นชิ้นทดสอบจะแตกร้าว

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

<u>ความมุ่งหมายของการวิจัย</u>

1. เพื่อทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ โดยมีส่วนผสมจากแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ ทำการเผา ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน
2. เพื่อทดลองหาคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเซรามิกส์ทางด้านต่อไปนี้
   2.1 สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้าง
   2.2 สนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก
   2.3 ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็ก
3. เพื่อทดสอบหาความทนต่อความร้อน ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ของอัตราส่วนที่ดีที่สุด

<u>ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง</u>

ประชากร คือ แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)

กลุ่มตัวอย่าง ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง โดยกำหนดให้แบเรียมคาร์บอเนตเป็นค่าคงที่ 1 โมล ผสมกับเหล็กออกไซด์ 1 โมล ถึง 10 โมล จะได้กลุ่มตัวอย่าง 10 สูตร จำนวน 100 ตัวอย่าง

<u>การดำเนินการวิจัย</u> การทดลองมี 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนแรก

1. ทดลองหาส่วนผสมจำเพาะเจาะจงอย่างหยาบ เพื่อนำไปทดสอบอำนาจของความเป็นแม่เหล็ก

2. ทดสอบแรงอัดที่ทำการขึ้นรูปแท่งแม่เหล็กว่ามีอำนาจการเป็นแม่เหล็ก แตกต่างมากน้อยเพียงใด

3. นำไปชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จำนวนแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4. ทดสอบคุณสมบัติหรืออำนาจการเป็นแม่เหล็ก

ขั้นตอนที่สอง

1. ทดลองหาส่วนผสมที่ดีที่สุด ที่ได้จากผลการทดลองในขั้นแรก นำมาทดลองอย่างละเอียดอีก

2. ทดสอบแรงอัดที่ทำการขึ้นรูปแท่งแม่เหล็กว่ามีอำนาจการเป็นแม่เหล็กแตกต่างมากน้อยเพียงใด

3. นำไปชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จำนวนการเคลื่อน และกระไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4. นำไปทดสอบคุณสมบัติหรืออำนาจการเป็นแม่เหล็ก

<u>วิเคราะห์ข้อมูล</u>

นำชิ้นทดสอบที่ผลิตเป็นแท่งแม่เหล็ก ไปทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ คือ ด้านการทนความร้อนในอุณหภูมิ 100 ถึง 500 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของแม่เหล็กถาวร แล้วนำผลมาเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อเสนอข้อมูลใช้เป็นแนวทางในการพัฒนานำไปใช้งานตามความต้องการในการผลิตอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น แม่เหล็กในงานอิเล็กทรอนิคส์ แม่เหล็กในมอเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด ในการทำแม่เหล็กถาวร จากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ในอัตราส่วนระหว่าง 1:1 โมล ถึง 1:10 โมล จากการนำชิ้นทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส และด้วยแรงอัดตั้งแต่ 0.5 ตัน ถึง 5 ตัน พบว่า

ชิ้นทดสอบหลังการเผา 1,200 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน สูตรอัตราส่วนผสม 1:1 โมล กับ 1:2 โมล หลอดละลาย และไม่เหมาะที่จะนำมาทดสอบต่อไป อัตราส่วนผสม 1:3 โมล ถึง 1:8 โมล ชิ้นทดลองสุกตัวดี เหมาะสมที่จะทำทดสอบต่อไป ส่วนอัตราส่วนผสม 1:9 โมล กับ 1:10 โมล ชิ้นทดลองหลังการเผาสุกตัวน้อย ผิวภายนอกสุกตัวแต่ภายในส่วนผสมไม่สุกจึงไม่เหมาะที่จะนำมาทดสอบต่อไป

ทดสอบชาร์จเส้นแรงแม่เหล็กแล้วนำมาวัดหาค่า B_r, H_c, BH_{max} ด้วยเครื่องชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงแรงเคลื่อน 12 โวลท์และ 24 โวลท์ โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานเป็นตัวคงที่ .002 โอห์ม ผลการทดสอบพบว่า ค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำแห้ง อัตราส่วน 1:6 มีค่ามากที่สุด อัตราส่วน 1:7 โมล และอัตราส่วน 1:8 โมล มีค่ารองลงมาตามลำดับ ค่าสนามการทำลายความเป็นแม่เหล็กของสารแม่เหล็กมีค่าเท่ากันหมด ค่าพลังงานสูงสุดของแม่เหล็กอัตราส่วน 1:6 โมล มีค่ามากที่สุด อัตราส่วน 1:7 โมล และอัตราส่วน 1:8 โมล มีค่ารองลงมาตามลำดับ จากการทดลองขั้นต้นนี้พบว่าอัตราส่วน 1:6 โมล เป็นอัตราส่วนที่ดี เหมาะสมที่จะนำมาทดสอบในขั้นที่สอง

การทดสอบขั้นที่สองของการทำแม่เหล็กถาวร จากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชันที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในการทดสอบครั้งที่สองเพื่อหาอัตราส่วนที่ละเอียดดีกว่าขั้นต้น พบว่า อัตราส่วน 1:6 โมล อัตราส่วน 1:6.1 โมล อัตราส่วน 1:6.2 โมล เป็นอัตราส่วนที่มีค่า B_r, H_c, BH_{max} มีค่ามากน้อยตามลำดับ อัตราส่วน 1:6.1 โมล มีค่าดีที่สุด B_r มีค่า 603 (Gs), H_c มีค่า 32 (A/M), BH_{max} มีค่า 19,296 [Gs/(A/M)] อัตราส่วน 1:6 B_r มีค่า 600 (Gs), H_c มีค่า 32 (A/M), BH_{max} มีค่า 19,200 [Gs/(A/M)] อัตราส่วน 1:6.2 B_r มีค่า 559 (Gs), H_c มีค่า 32 (A/M), BH_{max} มีค่า 19,168 [Gs/(A/M)]

การทดสอบการคงอำนาจแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส และการคงสภาพรูปทรงทางกายภาพหลังการทดสอบ พบว่าชิ้นทดลองที่มีอำนาจ B_r อยู่ในช่วง 500–600 Gs จะสามารถคงสภาพคงอำนาจแม่เหล็กไว้ได้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และรูปทรงยังคงสภาพเดิม แต่ถ้าอุณหภูมิสูง 400–500 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถคงอำนาจแม่เหล็กได้และรูปทรงจะแตกร้าวหลังการเผา

<u>อภิปรายผล</u>

การทดสอบทำแม่เหล็กถาวรจากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน โดยให้แรงอัดในการขึ้นรูปชิ้นทดลองตั้งแต่ 0.5–5 ตัน ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่ 1:1 โมล กับ 1:2 โมล ชิ้นทดลองหลอมละลาย สาเหตุมาจากอัตราส่วนผสมของแบเรียมคาร์บอเนตสูง ซึ่งแบเรียมคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ (Flux) ทำให้เกิดการหลอมละลาย ไม่สามารถทนความร้อนในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ อัตราส่วน 1:3 โมล ถึง 1:8 โมล ชิ้นทดลองหลังการเผามีรูปทรงดีตามขนาดและชิ้นงานสุกทุกส่วน เหมาะที่จะนำไปชาร์จและทดสอบอุณหภูมิทางแม่เหล็กถาวร อัตราส่วน 1:9 โมล กับ 1:10 โมล ชิ้นทดลองหลังเผามีรูปทรงภายนอกดีแต่ภายในมีบางส่วนไม่สุก เนื่องจากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ ทำปฏิกริยากันไม่ทั่วถึง ทำให้เกิดการสุกตัวไม่ดีในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

การทดสอบชาร์จชิ้นทดลองด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง ที่แรงเคลื่อน 12 โวลท์ และ 24 โวลท์ ที่ค่าความต้านทานเป็นตัวคงที่ .002 โอห์ม ปรากฏว่าอัตราส่วนที่ดีคืออัตราส่วน 1:6 โมล รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:7 โมล และ 1:8 โมล ผลจะมาจากปริมาณเหล็กออกไซด์ที่มากกว่าแบเรียมคาร์บอเนต 6–8 เท่า และถ้าแรงอัดในการขึ้นรูปตั้งแต่ 2 ตันถึง 5 ตัน จะให้ชิ้นทดลองมีความหนาแน่นของเนื้อสาร ทำให้การคงสภาพเส้นแรงแม่เหล็กมีสูงและในการทดลองหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยการผสมอัตราส่วนใหม่ที่เริ่มจาก 1:5.5 โมล ถึง 1:6.5 โมล ระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ พบว่าอัตราส่วน 1:6.1 โมล จะให้ค่า B_r, H_c, BH_{max} ดีที่สุด เหมาะที่จะนำไปพัฒนาต่อเพื่อทำแม่เหล็กมอเตอร์กระแสตรงขนาด 6 โวลท์, 12 โวลท์, 24 โวลท์ เพราะค่า B_r มีค่า 603 Gs แม่เหล็กที่ใช้มอเตอร์ของ Compact disk, laser

printer มีค่า 2.3-3.7 (KGs) จากงานวิจัยของ อารีย์ วิเชียนฉาย และคนอื่น ๆ (2534 : 58-62)

การทดสอบการดำรงอำนาจแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส และรูปทรงยังคงสภาพเดิม เพื่อจะดูว่าถ้าแม่เหล็กถาวรที่ทำจากเฟอร์ริคออกไซด์ที่ทำจากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์จะต้องทนอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียสเมื่อนำไปใช้งาน จากการทดลองพบว่าชิ้นทดลองที่มีสนามแม่เหล็กตกค้างอยู่ 500-600 (Gs) จะคงสภาพการดำรงอำนาจแม่เหล็กไว้ได้ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส โดยรูปทรงยังคงสภาพเดิม แต่ถ้าทดสอบที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส จะไม่มีอำนาจแม่เหล็กและชิ้นทดลองต้องแตกร้าว สาเหตุมาจากความหนาแน่นของชิ้นทดลองยังไม่เพียงพอ ทั้งบางสูตรใช้แรงอัดสูงทำให้ชิ้นทดลองมีแรงอัดไม่เท่ากันทุกจุด จากการทดลองของ จิตติพร ภู่ไพจิตรกุลและคนอื่น ๆ (2534 : 92-104) การอัดขึ้นรูปแรงอัดประมาณ 2 ตันต่อชิ้นทดลอง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร หนา 3 เซนติเมตร ชิ้นทดลองที่ทำการวิจัยครั้งนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 สูง 1.5 เซนติเมตร

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. การพัฒนาคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรจากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์เป็นการเพิ่มเติมจากกระบวนการวิจัยนี้ อาจทำได้โดย

1.1 ควรจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแบเรียมคาร์บอเนตว่ามีสารประกอบอะไรบ้างที่เป็นส่วนผสมอยู่ เพื่อจะได้ปรับปรุง โดยเฉพาะถ้าหากสารประกอบซาดแคลเซียมออกไซด์ ควรที่ใส่เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความแข็งเพิ่มขึ้น และจะสามารถเพิ่มคุณสมบัติของแม่เหล็กได้

1.2 การบดสารควรมีการชาร์จสนามแม่เหล็ก เพื่อตรวจสอบสภาพการเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็ก

1.3 การอัดแท่งแม่เหล็กแรงอัดควรจะกระจายเท่ากันทุกจุด แรงอัดควรประมาณ 1 ตารางเซนติเมตรต่อแรงอัด 2 ตัน

1.4 เครื่องชาร์จควรมีกระแสไฟฟ้าสูงมากกว่าที่ทดลอง

1.5 ควรนำชิ้นทดลองที่ผ่านการทดสอบแล้วไปทำผลิตภัณฑ์ เพื่อทดลองในสภาพการใช้งานจริงของแม่เหล็ก ระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การศึกษาวิจัยและพัฒนาแม่เหล็กถาวรจากแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยการเพิ่มสารที่ทำให้เกิดแข็งคือ แคลเซียมออกไซด์และเติมสารโมลิบดีนั่มออกไซด์ เพื่อช่วยให้แบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ทำปฏิกริยาดีขึ้น

2.2 ควรจะทดสอบความด่วงจำเพาะมวลสารให้ได้ค่า 4.8 ก่อนนำไปเผาให้สุกที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

2.3 ควรจะพัฒนาสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตกค้างให้ได้ 700-800 Gs เพื่อทำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลท์ และ 24 โวลท์ และขนาด 1,200-1,500 Gs เพื่อใช้ในงานอิเลกทรอนิกส์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

โกมล รักษ์วงศ์. วัตถุดิบที่ใช้ในงานปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. นนทบุรี : โรงเรียนมารดานุเคราะห์. 2531.

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักนายกรัฐมนตรี. 2534.

จิตติพร ภู่ไพจิตรกุล และคนอื่น ๆ. "การพัฒนาเฟอร์ไรท์เพื่อใช้ทำลำโพง," ใน การสัมมนาเซรามิกส์ ครั้งที่ 1/2534. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ชมรมวิชาการ. พิสิกส์ 2. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2516.

ทวี พรหมฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : รอเตียนสรรพ์, 2523.

———. เตาและการเผา. กรุงเทพฯ : จงเจริญการพิมพ์, 2525.

———. เอกสารประกอบการเรียนวิชาช่างปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร, 2520.

นรินทร์ เนาวประทีป. พิสิกส์ 025. กรุงเทพฯ : พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, 2532.

นิวัตร พัฒนะ. การทดลองสัดส่วนของอลูมิน่าต่อซิลิกา ที่ทำให้เกิดลักษณะของเคลือบเฟลด์สปาร์. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2534. อัดสำเนา

บุญถิ่น อัตถากร. แม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2502.

บุญถึง แน่นหนา. แม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : องค์การค้าของคุรุสภา, 2507.

บุญพฤกษ์ จาฏามระ. เคมีบรรยาย. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2513.

บุญพฤกษ์ จาฏามระ และคนอื่น ๆ. แม่เหล็ก-ไฟฟ้าสถิต. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2503.

ประสิทธิ์ ภูสุศิลป์. แม่เหล็ก ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2518.

พาณิชย์สัมพันธ์. กรม สถิติข้อมูลการนำเข้าสินค้า. กรุงเทพฯ : กระทรวงพาณิชย์, 2533-2534.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์พลชัย, 2534.

ลัดดา มีศุข. พจนานุกรมศัพท์เคมี. กรุงเทพฯ : บริษัทเจเนอรัลบุ๊คส์เซนเตอร์ จำกัด, 2533.

ศจี ปิยะพงศ์ และคนอื่น ๆ. "ขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย." วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4(2):23; พฤษภาคม-สิงหาคม 2532.

ส่ง สุขดานนท์ และคนอื่น ๆ. ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2521.

สมชาย เสรีรมย์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร, 2521.

สมศักดิ์ ชวาลาวัฒน์. การพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยการใช้สนิมโลหะตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2535. อัดสำเนา.

สุรศักดิ์ โกสียพันธ์. น้ำเคลือบและเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2531.

เสริมศักดิ์ นาคบัว. การวิจัยเรื่องเตาเผาเครื่องเคลือบดินเผาทางภาคเหนือของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2512.

อารีย์ วิเชียรฉาย และคนอื่น ๆ. "การพัฒนาเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางแม่เหล็ก," ใน สัมมนาเซรามิกส์ ครั้งที่ 1/2534. หน้า 54-92. กรุงเทพฯ : สถาบันโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

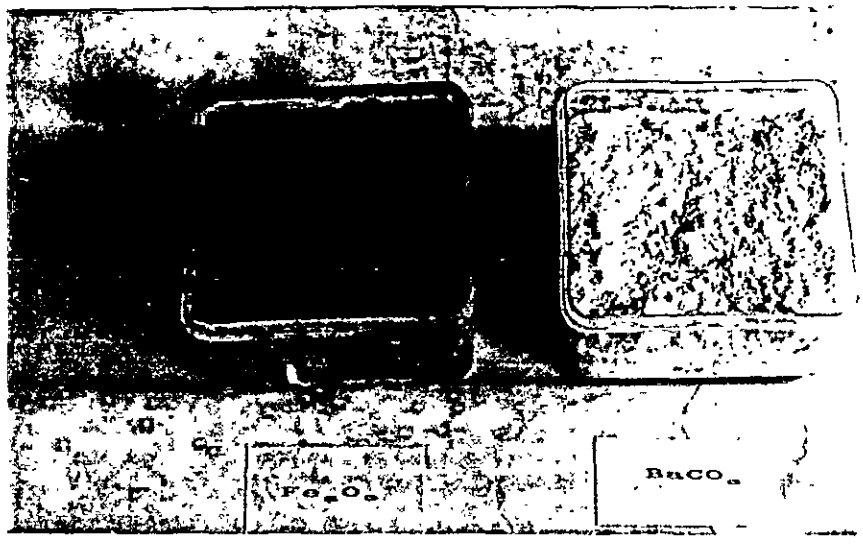
Charles J.Kunesh. Barium Compounds. encyclopedia of chemical technology Volume 3. Toronto Canade : John Wiley, 1978.

Parkash Seth. surinder and Gupta P.V. A Course in Electrical Engineering Matrials. 2nd ed. New DeIhi : Dhanpat Rai & Sons, 1981.

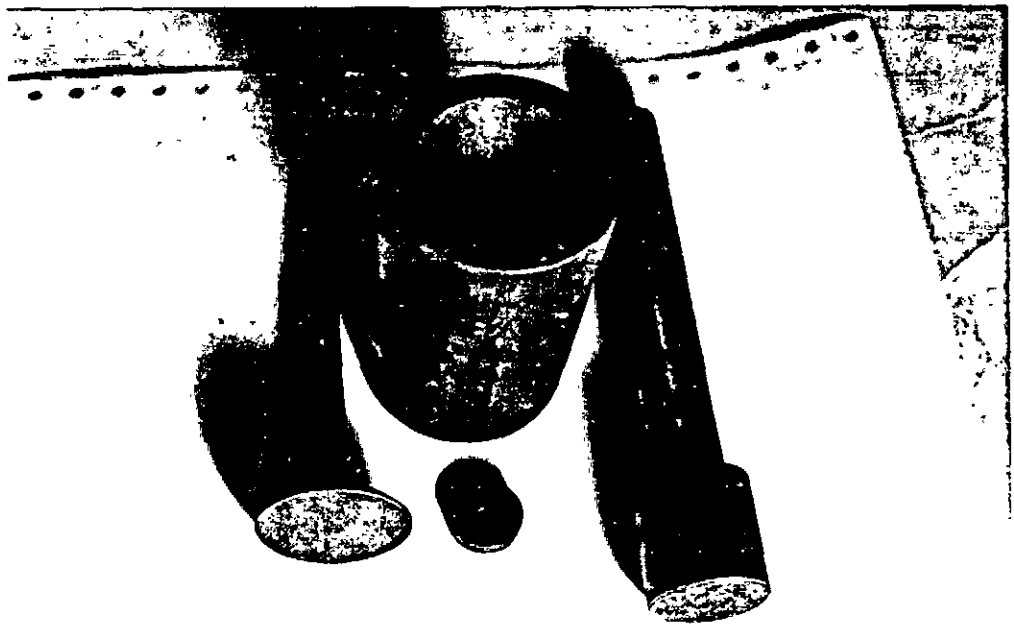
Singer. Sanja S. Industrial Ceramics. New York : Chemical Publishing, 1960.

Vacuumschmelrje Gmbtt. Hanau. Soft Magnetic Materials. Munsterstrasse: Heyden & Son Gmbtt, 1977.

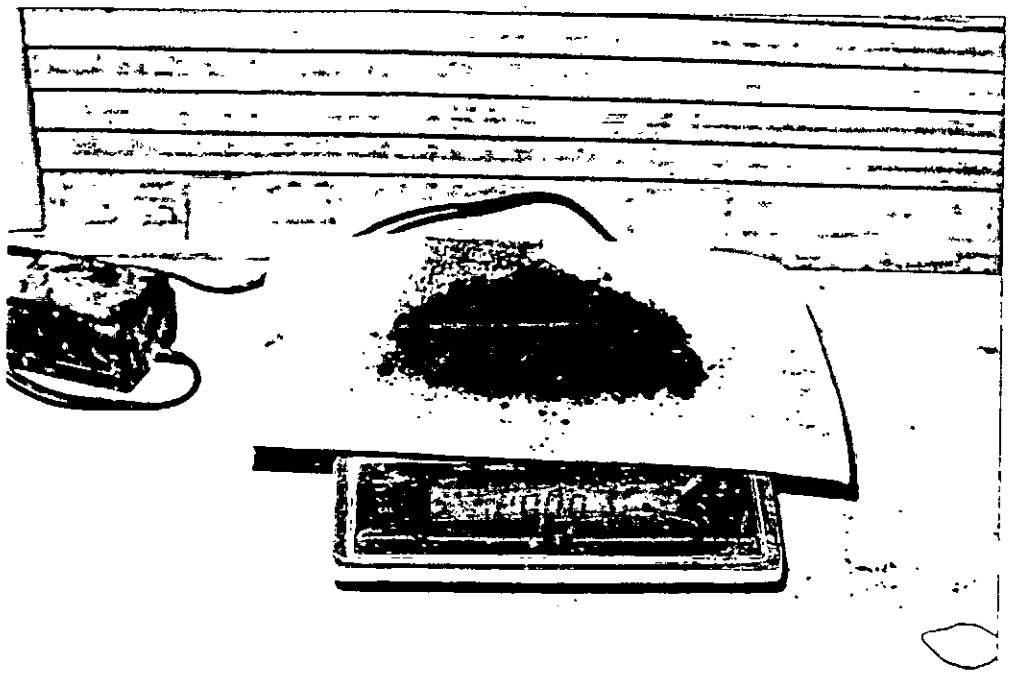
ภาคผนวก



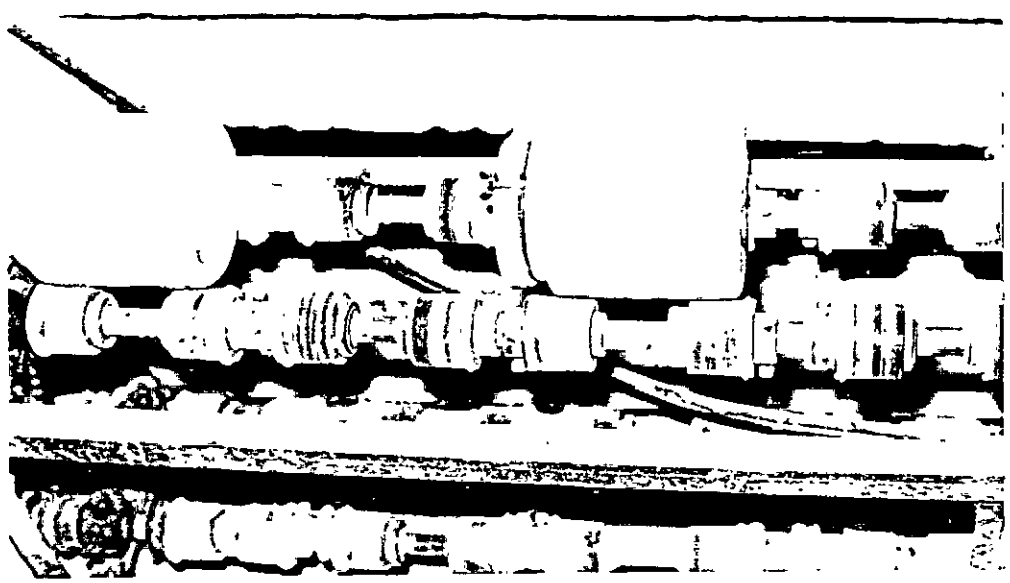
วัตถุดิบที่ใช้ในการทำแม่เหล็กถาวร ได้แก่ แบเรียมออกไซด์. เหล็กออกไซด์



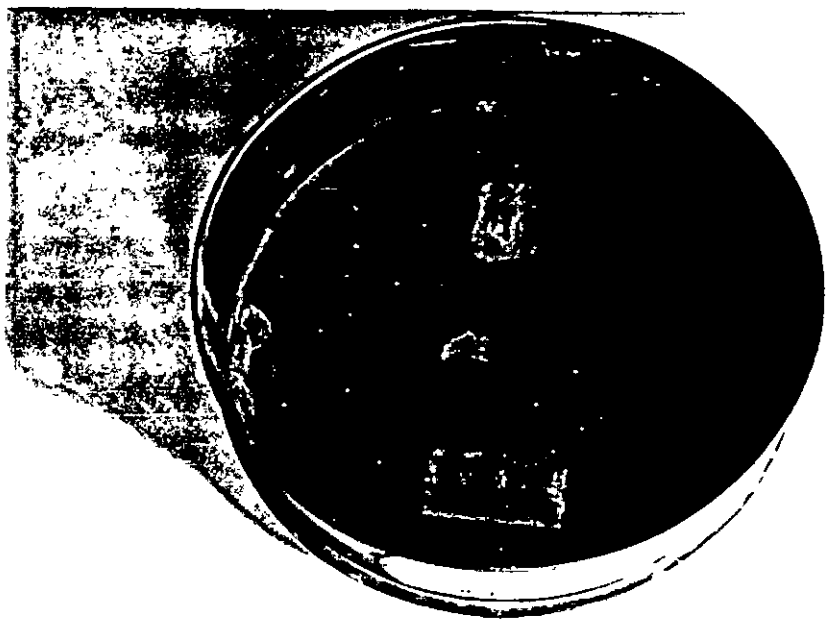
เบ้าที่ใช้ในเครื่องขึ้นรูปแม่เหล็กถาวรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร



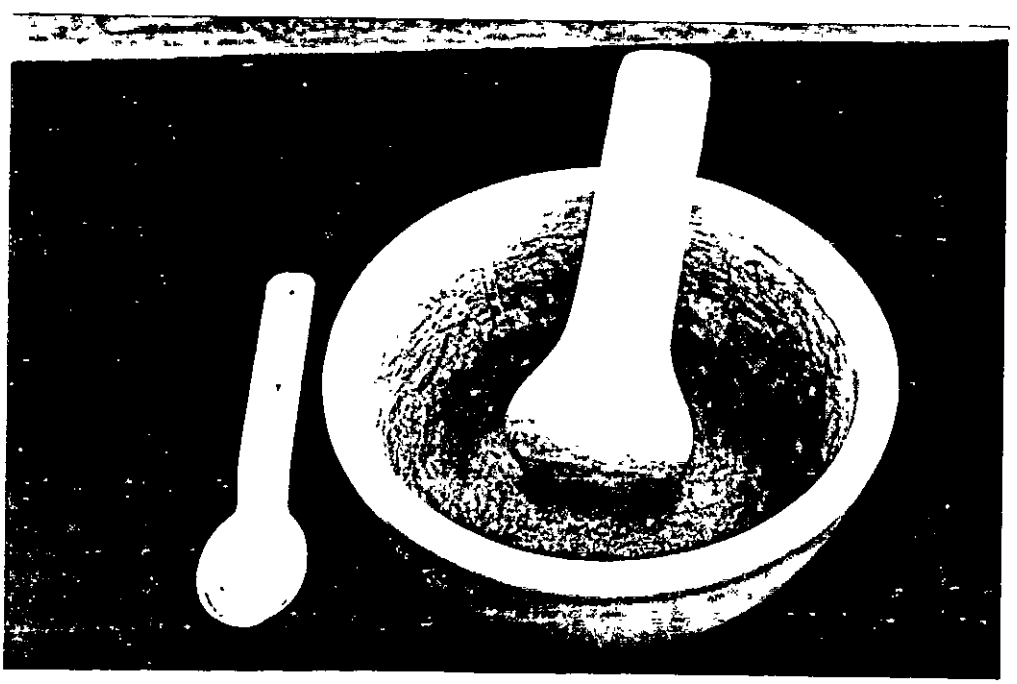
การชั่งสารเหล็กออกไซด์ให้มีน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนดก่อนนำไปบด



การบดสารแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ด้วยหม้อบดแบบเปียก เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

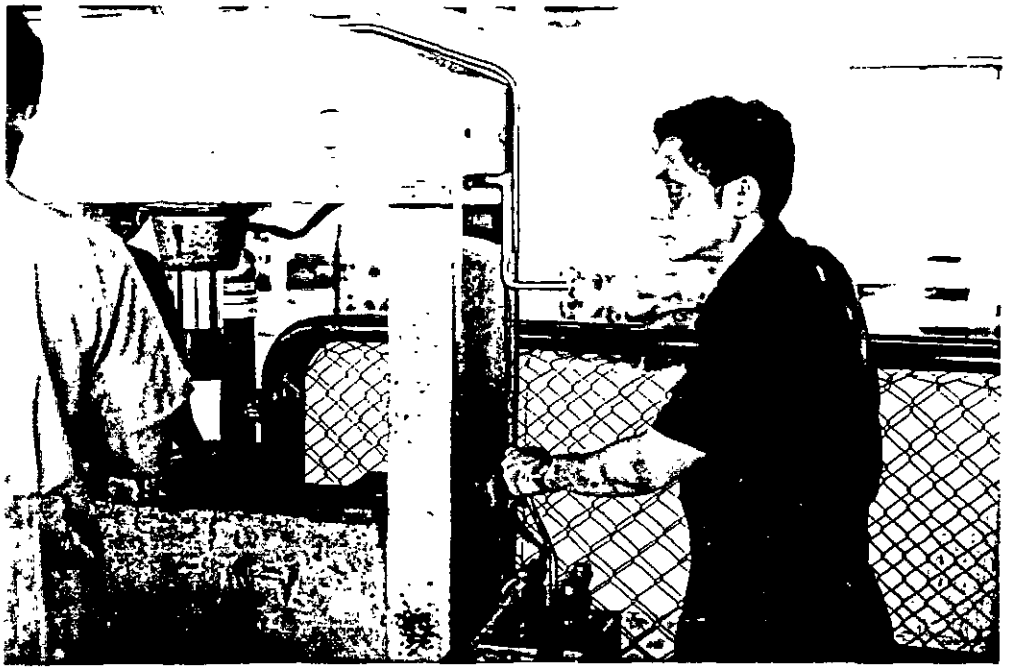


ตะแกรงร่อนสารหลังจากผ่านหม้อบดเปียก มีขนาด 250 เมช

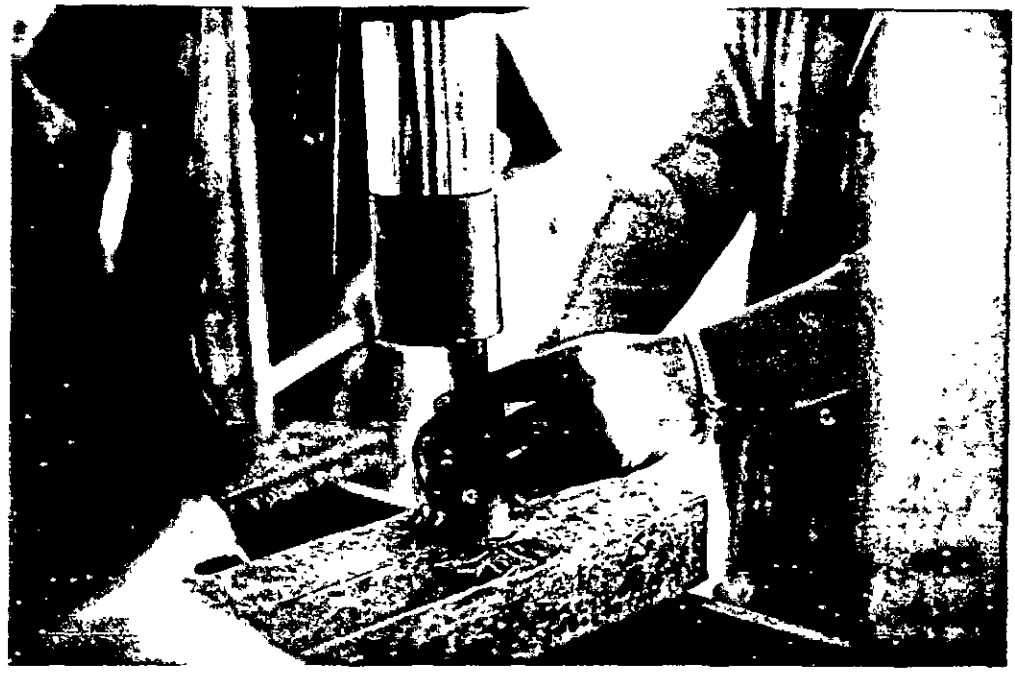


โกร่งบดสารหลังจากอบให้แห้งก่อนนำมาเข้าอัดขึ้นรูป

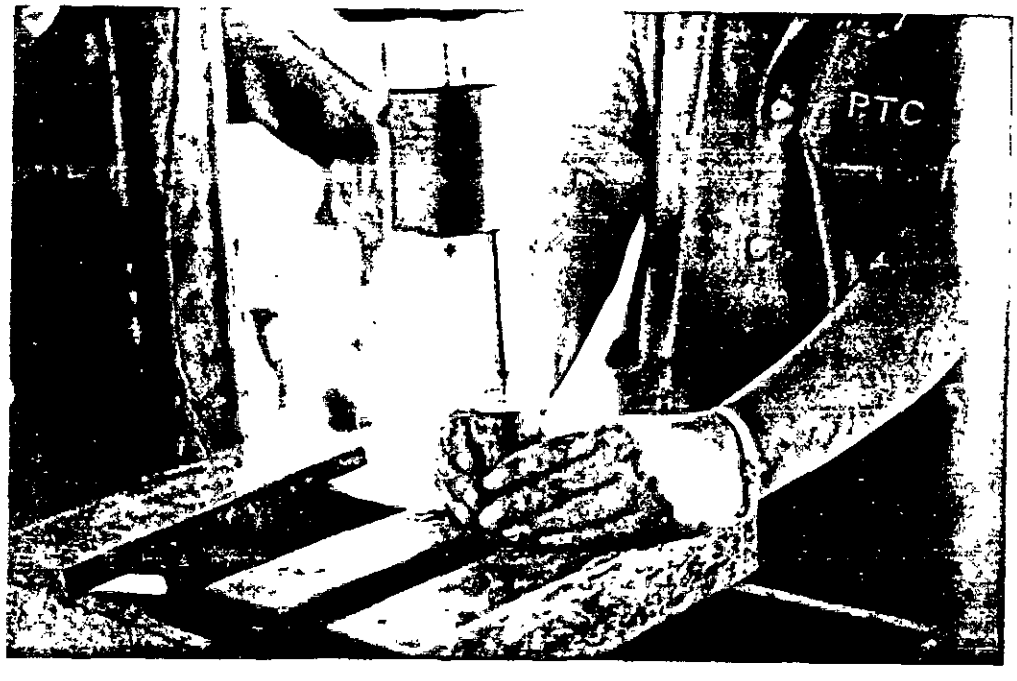
การใส่ผงแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ที่บดผสมแล้วลงในเบ้าขึ้นรูป



การเตรียมเครื่องอัดขึ้นรูปแท่งแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในการทดลอง ที่วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ด้วยความอัดที่มีกำลังอัดสูงสุด 40 ตัน

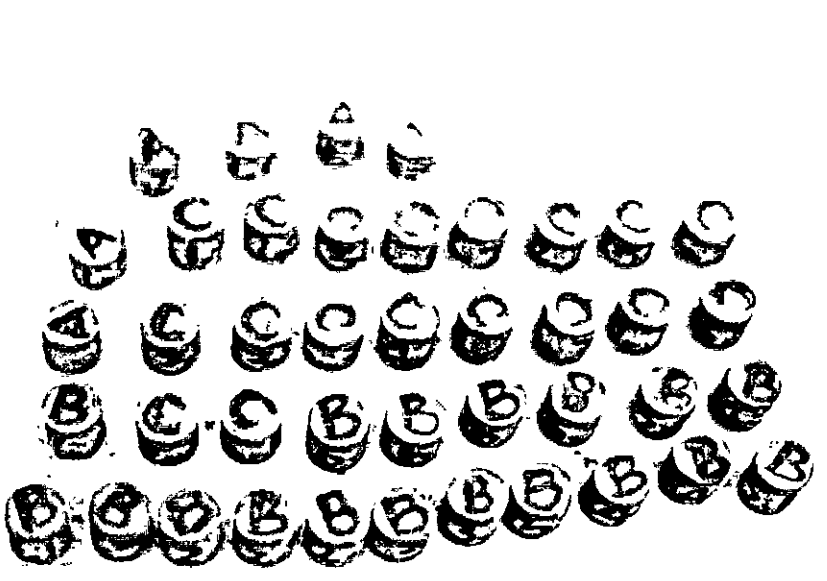


การอัดขึ้นรูปแม่เหล็กชิ้นทดลองด้วยกำลังอัดตั้งแต่ 0.5–5 ตัน ที่วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี



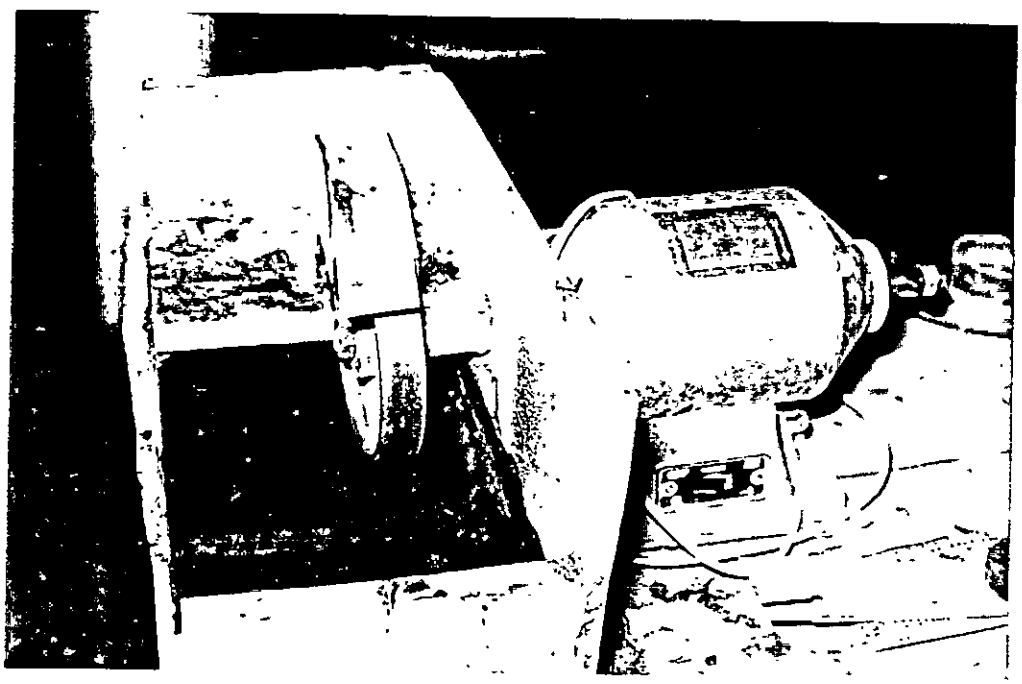
การขึ้นรูปแม่เหล็กชิ้นทดลองตอนนำออกจากเบ้าขึ้นรูป

การวัดขนาดชิ้นแม่เหล็กที่จะทดลองให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร

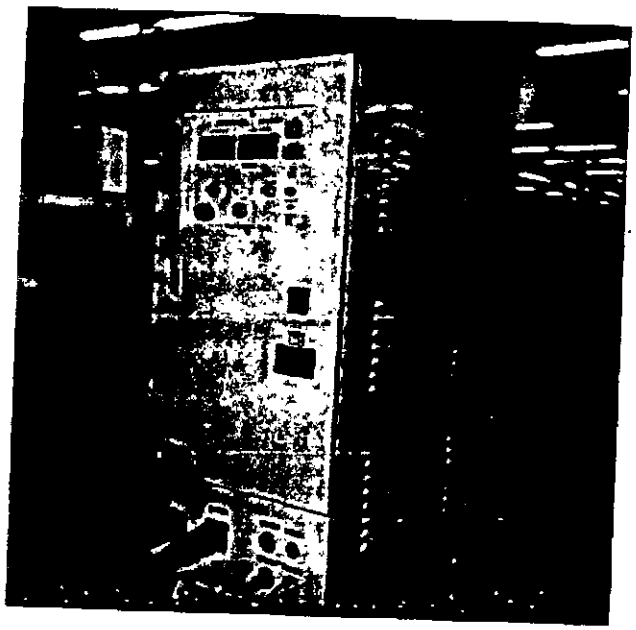


ชิ้นแม่เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยแรงตั้งแต่ 0.5-5 ตัน

แม่เหล็กถาวรที่เผาเป็นแม่เหล็กเฟอร์ไรท์ในเตาเผา



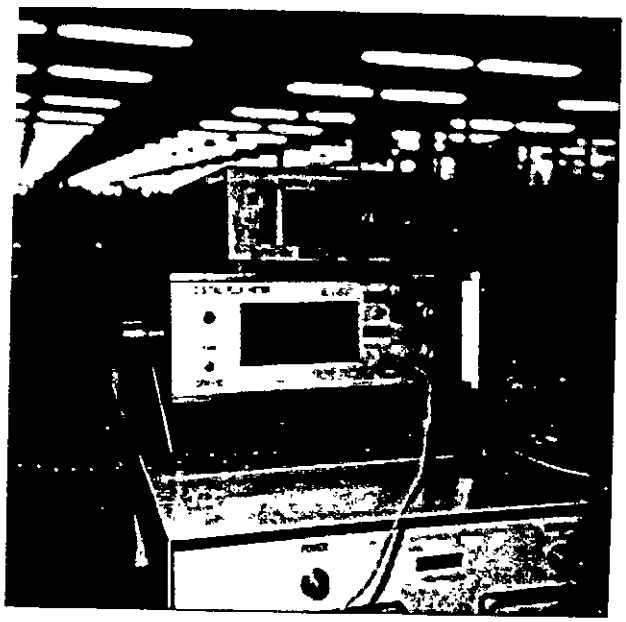
เครื่องเจียรในผิวชิ้นแม่เหล็กถาวรที่ใช้ทดสอบ



MAGNETZATION
MACHINE

YOKE

เครื่องชาร์จแม่เหล็ก



FLUX METER

เครื่องวัดทดสอบแม่เหล็ก

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ รศ.ทวี พรหมพฤกษ์ ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ระดับ 9

สถานที่ทำงาน ข้าราชการบำนาญ

วุฒิทางการศึกษา ปม.ช. กศ.บ. Cert in Ceramics

ประวัติทางการสอนสาขาวิชาเซรามิกส์

พ.ศ. 2509-2533 เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2533-ปัจจุบัน เป็นอาจารย์พิเศษประจำภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร

ชื่อ อาจารย์ผกามาศ สดินธรรมศักดิ์ ตำแหน่งอาจารย์ระดับ 7

สถานที่ทำงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

วุฒิทางการศึกษา วท.บ. เซรามิกส์ จากวิทยาลัยครูพระนคร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2514-2522 เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2523-2533 เป็นวิชาการระดับ 5 กระทรวงอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2533-ปัจจุบัน เป็นหัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ชื่อ อาจารย์สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์ ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 6

สถานที่ทำงาน คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

วุฒิทางการศึกษา กศ.ม. เอกศิลปศึกษา จาก มศว. ประสานมิตร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2523–2536 เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์ มศว. ประสานมิตร

พ.ศ. 2536–ปัจจุบัน เป็นหัวหน้าภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มศว. ประสานมิตร

แบบสอบถามการทดลองทำแม่เหล็ก

การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

วัตถุดิบที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างคือ แบเรียมคาร์บอเนตจำนวน 1 โมลต่อเหล็กออกไซด์ 1-10 โมล เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของอัตราส่วนผสมระหว่างแบเรียมคาร์บอเนตกับเหล็กออกไซด์ จากชิ้นทดสอบจำนวน 10 สูตร 100 ชิ้น ท่านจงพิจารณาและตรวจสอบข้อมูลในตารางข้อมูลดังนี้

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 0.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$ (กรัม) : Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
* 6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงยัด 1.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1.200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 1.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1.200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 2.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 2.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$ (กรัม)	: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1		159.69	A				
2		319.38	B				
3		479.07	C				
4		638.76	D				
5	197.34	: 798.45	E				
6		958.14	F				
7		1117.83	G				
8		1277.52	H				
9		1437.21	I				
10		1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 3.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 3.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม) (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 4.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 4.5 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม) (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ตารางข้อมูลจากการทดลองเผาชิ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ในบรรยากาศรีดักชันด้วยแรงอัด 5.0 ตัน

อัตราส่วนที่ผสม (โดยน้ำหนัก)	$BaCO_3$: Fe_2O_3 (กรัม)	สูตร	หลอมละลาย	สุกตัว	สุกตัวน้อย	ไม่สุกตัว
1	159.69	A				
2	319.38	B				
3	479.07	C				
4	638.76	D				
5	197.34 : 798.45	E				
6	958.14	F				
7	1117.83	G				
8	1277.52	H				
9	1437.21	I				
10	1596.90	J				

ที่ ทม 1007/ 4461

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

14 พฤศจิกายน 2537

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน รศ.ทวี พรหมพฤกษ์

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายบรรจง เบี่ยมอรุณ เป็นนิสิตระดับบริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำบริญญานิพนธ์ เรื่อง การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชั่น

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.โกมล รักษ์วงศ์ ประธาน

ดร.อุบวิทย์ สุวคันธกุล กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 2584119

ที่ ทม 1007/ 4478

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๖ พฤศจิกายน 2537

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายบรรจง เปี่ยมอรุณ เป็นนิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรียมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชั่น

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.วิกมล รักษ์วงศ์ ประธาน
ดร.อุบวิทย์ สุวคันธกุล กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ · ขอเชิญ อ.ผกามาส สดินธรรมศักดิ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1007/ 4479

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

11 พฤศจิกายน 2537

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะมนุษยศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายบรรจง เปี่ยมอรุณ เป็นนิสิตระดับบริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำบริญญานิพนธ์ เรื่อง การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรี่ยมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาในบรรยากาศรีดักชั่น

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.โกมล รักษ์วงศ์ ประธาน
ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ ขอเชิญ อ.สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 2584119

ที่ ทม 1007/ว593

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

31 มีนาคม 2536

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้จัดการแวิพัฒนีแบลิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด

บัณฑิตวิทยาลัย ขอรับรองว่า นายเธรรจง เปี่ยมลรุณ เป็นนิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง การทดลองทำแม่เหล็กเซรามิกส์ จากส่วนผสมแบเรี่ยมคาร์บอเนต และเหล็กออกไซด์ โดยการเผาไหม้ธรรยากาศรีดักชั่น

ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผศ.โกมล รักษ์วงศ์	ประธาน
ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล	กรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์ คือ ขออนุญาตใช้เครื่องมือสำหรับชาร์จแม่เหล็ก ในระหว่างเดือนเมษายน 2536 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะกรุณาให้ความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.สมพร บัวหอม)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 2584119

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นายบรรจง เปี่ยมอรุณ

เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2490

สถานที่เกิด อำเภอบางพลี สมุทรปราการ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 25 ถนนพระศรีมโหสถ ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์ 2 ระดับ 6

สถานที่ทำงานปัจจุบัน วิทยาลัยครูเทพสตรี อ.เมือง จ.ลพบุรี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2507 มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง อ.บางพลี สมุทรปราการ

พ.ศ. 2512 ป.กศ.สูง (อุตสาหกรรมศิลป์) วิทยาลัยครูพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2517 กศ.บ. (พิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

พ.ศ. 2538 กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร