

## บทความวิจัย

# การสร้างแบบจำลองรถไฟ Maglev

จิตติพงศ์ เครือหงส์\* ธีรณพ นิลกำจร เสริมสุข รัตเรง ธีรพงศ์ แคมย์ม  
ปิยะพงษ์ ธรรมบำรุง ศุภวัฒน์ ดั่งรอด และ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริชัย

### บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความรู้ด้านตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง และการประยุกต์ตัวนำยิ่งยวด เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองรถไฟ Maglev โดยผู้วิจัยได้นำแม่เหล็กชนิด Neodymium-Iron-Boron มาเรียงสลับขั้วแบบ S-N-S เพื่อใช้ในการนำมาสร้างเป็นราง และในงานวิจัยนี้ได้สร้างราง 2 แบบ คือ รางแบบแนวตรง และรางแบบคอบวง ซึ่งมีแรงลอยตัวมากที่สุดประมาณ 0.1 นิวตัน และความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเหมาะสมกับการทำราง หลังจากนั้นได้พบว่าตัวนำยิ่งยวดสามารถลอยเหนือรางได้สูงประมาณ 2 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ตัวนำยิ่งยวด แรงลอยตัว รถไฟ Maglev

# The Construction of Maglev Train Model

Thitipong Kruaehong\*, Tunyanop Nilkamjon, Sermsuk Ratreng,  
Natthaphong Theamyim, Piyapong Tambamrung, Suppawat Doungrud  
and Pongkaew Udomsamuthirun

---

## ABSTRACT

This research studies high temperature superconductors and their applications to construct the Maglev train model. The Neodymium-Iron-Boron permanent magnet alternating poles, S-N-S, are used to construct the guideway because of its appropriate magnetic field intensity distribution. Two kinds of the guideway, straight line and closed loop line, are built. The maximum levitation force is about 0.1 N and the levitation height of our Maglev train model over the guideway reaches near 2 mm.

**Keywords:** superconductors, levitation force, Maglev model train

## บทนำ

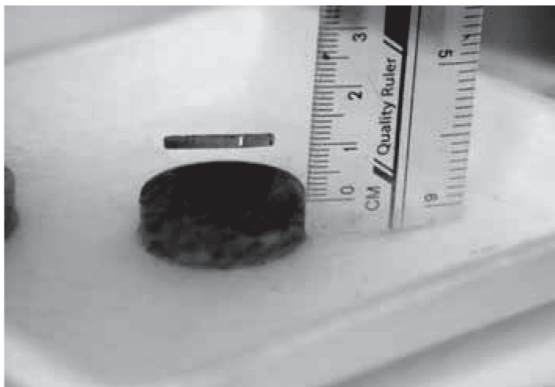
ตัวนำยวดยิ่งเป็นสารที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในวงการฟิสิกส์ของแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสารที่มีสมบัติน่าสนใจหลายประการที่มีแนวโน้มในการนำไปพัฒนาได้อย่างกว้างขวาง เช่น สมบัติการมีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ และปรากฏการณ์การลอยตัวเหนือแม่เหล็ก เป็นต้น

สภาพนำยวดยิ่งถูกพบครั้งแรกในปรอทโดย Kamerlingh Onnes [1] ในปี 1911 เมื่อลดอุณหภูมิจนต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ ( $T_c$ ) ตัวนำยวดยิ่งจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะปกติ เป็นสถานะนำยวดยิ่งที่มีสมบัติที่แตกต่างจากสถานะปกติอย่างชัดเจนคือมีความต้านทานเป็นศูนย์มีปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ (Meissner Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นว่าตัวนำยวดยิ่งได้ลอยตัวเหนือแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กถาวรลอยตัวเหนือตัวนำยวดยิ่งดังรูปที่ 1

ในปี 1988 Bednorz และ Muller [2] ค้นพบสภาพนำยวดยิ่งในสารประกอบของธาตุทรานสิชั่นและออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวนำยวดยิ่งตระกูลใหม่ที่เรียกว่า ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง มีสมบัติที่แตกต่างกับตัวนำยวดยิ่งแบบเดิมหลายประการ เช่น มีอุณหภูมิวิกฤติสูงกว่าตัวนำยวดยิ่งแบบเดิมมาก อีกทั้งยังพบว่าในตระกูล Y123 สามารถให้  $T_c$  ได้สูงถึง 91 K สูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวที่ 77 K ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่าตัวนำยวดยิ่งแบบเดิม ซึ่งเดิมใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารหล่อเย็นมีจุดเดือดที่ 4 K และยังเป็นที่คาดหวังกันว่า ในอนาคตถ้าสามารถสร้างตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤติ ( $T_c$ ) ที่สูงถึงอุณหภูมิห้องได้แล้วก็สามารถนำมาใช้แทนทองแดงในสายไฟฟ้าต่างๆ ที่มีอยู่ในอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เนื่องจากตัวนำยวดยิ่งเป็นตัวนำที่ไม่มีความต้านทานไฟฟ้าจึงสามารถลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์นั้นได้เป็นอย่างมาก

การศึกษาด้านตัวนำยวดยิ่งเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานของศูนย์ความเป็นเลิศ “หน่วยวิจัยฟิสิกส์ประสานมิตร” โดยในปีที่ผ่านมาหน่วยวิจัยได้ทำการสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  หรือ เรียกย่อๆ ว่า “Y123” โดยวิธีการหลอม (Melt processing) และเพื่อให้ตัวนำยวดยิ่งที่ได้มีสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กที่ดียิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้ผสม  $Y_2BaCuO_5$  หรือ Y211 เข้าไปด้วย การศึกษาผลพบว่าในสัดส่วนการผสม Y123 ต่อ Y211 ที่เหมาะสม ตัวนำยวดยิ่งที่ได้จะมีสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีขึ้น โดยพบว่ามีอุณหภูมิวิกฤติประมาณ 91 K และมีความทนทานแม่เหล็กดีขึ้นเป็นอย่างมาก [3]

เพื่อให้การทดลองเป็นที่น่าสนใจซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเผยแพร่ความรู้ด้านตัวนำยวดยิ่งที่ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีแห่งอนาคตที่เข้าใกล้ตัวเราเข้ามาทุกที คณะผู้วิจัยได้นำตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้มาจัดทำเป็นชุดสาธิตการทดลองปรากฏการณ์ไมส์เนอร์โดยได้ออกแบบเป็นสองรูปแบบ การทดลองแรกนำแม่เหล็กมาลอยเหนือตัวนำยวดยิ่ง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงว่าแม่เหล็กสามารถลอยเหนือตัวนำยวดยิ่งได้ที่ความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 1 แสดงปรากฏการณ์ไมสเนอร์ ที่มีแม่เหล็กลอยอยู่บนเนื้อตัวนำยวดยิ่ง

การทดลองที่สอง คณะผู้วิจัยได้นำตัวนำยวดยิ่งและแม่เหล็กมาจัดสร้างเป็นรถไฟ Maglev จำลอง โดยคำว่า Maglev [4] นี้มีชื่อย่อมาจากคำว่า Magnetic levitation รถไฟฟ้า Maglev เป็นรถไฟที่มีความเร็วสูงที่สุดในโลกมีความเร็วประมาณ 581 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยอาศัยแรงยกตัวลอยเหนือรางหรือเส้นทางวิ่งเนื่องจากการผลักกันของสนามแม่เหล็ก ทำให้ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างตัวรถกับราง และได้นำมาใช้งานจริงแล้วในบางประเทศ รถไฟฟ้า Maglev เป็นเทคโนโลยีที่ประหยัดพลังงานเป็นอย่างมากจากการคำนวณพบว่า สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับรถและเครื่องบิน หลักการทำงานของงานวิจัยนี้จะใช้ตัวนำยวดยิ่งเป็นตัวยกรถไฟให้ลอยเหนือรางแม่เหล็ก โดยได้อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ไมสเนอร์ จึงทำให้การลอยตัวเหนือเส้นทางวิ่งมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การพัฒนารถไฟฟ้า Maglev ที่ใช้ตัวนำยวดยิ่งจึงสอดคล้องกับการพัฒนาสมบัติของตัวนำยวดยิ่งให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย

คณะผู้วิจัยคาดว่า การสร้างชุดทดลองรถไฟ Maglev จะเป็นประโยชน์ ทั้งในด้านการทำให้เกิดความเข้าใจในหลักการของปรากฏการณ์ไมสเนอร์ ในตัวนำยวดยิ่งมากขึ้นและสามารถเข้าใจหลักการประยุกต์ใช้ตัวนำยวดยิ่งในการทำรถไฟ Maglev ได้ รวมถึงจะเกิดความเข้าใจถึงการเชื่อมต่อระหว่างวิทยาศาสตร์กับเทคโนโลยีเป็นอย่างดี

## วิธีการทดลอง

การดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างรถไฟจำลอง Maglev มีกระบวนการทำในสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การวัดแรงลอยตัว (levitation force) ของตัวนำยวดยิ่งเหนือแม่เหล็ก และขั้นตอนที่สอง คือ การจัดรูปแบบรางแม่เหล็ก เพื่อให้ตัวนำยวดยิ่งสามารถวิ่งไปบนรางได้อย่างต่อเนื่อง

## การวัดแรงลอยตัว

การวัดแรงลอยตัว อาศัยหลักการวัดและอุปกรณ์ตามที่เสนอไว้ในบทความของ Chen In-Gann และคณะ [5] โดยมีอุปกรณ์การทดลองจัดเตรียมดังรูปที่ 2 ดังนี้

1. ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  ที่อุณหภูมิวิกฤติเท่ากับ 91 K โดยเป็นตัวนำยวดยิ่ง

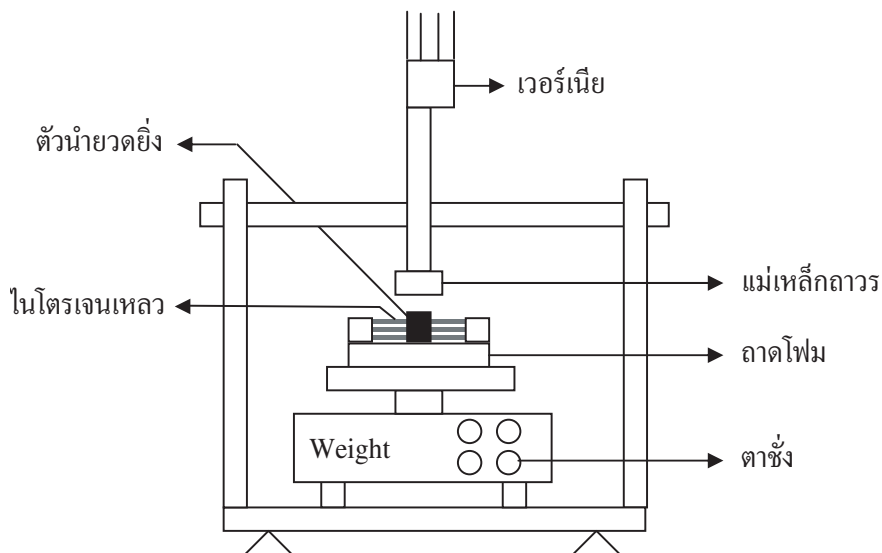
ที่เตรียมได้จากวิธี Melt processing มีสัดส่วน  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  ผสมกับ  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  ในอัตราส่วน 10:1 ที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสถานะของแข็ง อาคาร 19 ชั้น 16 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2. แม่เหล็กถาวรชนิด Nd-Fe-B (Neodymium-Iron-Boron) ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร หนา 2.2 มิลลิเมตร มีความเข้มของสนามแม่เหล็กถาวรที่ผิวประมาณ 260 mT

3. Teslameter ยี่ห้อ PHYWE รุ่น 13610.93

4. หัววัด Hall probe ยี่ห้อ Hallsonde รุ่น 13610.02

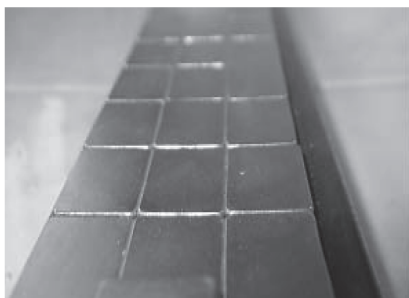
5. เครื่องชั่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น valor 1000



รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการจัดเตรียมอุปกรณ์การวัดแรงลอยตัว [5]

### รางแม่เหล็กและการจัดวาง

ในที่นี้เราแบ่งการจัดวางเป็น 2 แบบ คือ การจัดวางแบบทางตรง และการจัดวางแบบคอบวง ดังรูปที่ 3 โดยอาศัยหลักการวางแม่เหล็กขั้วเหนือ-ใต้สลับกัน [6] ดังรูปที่ 4

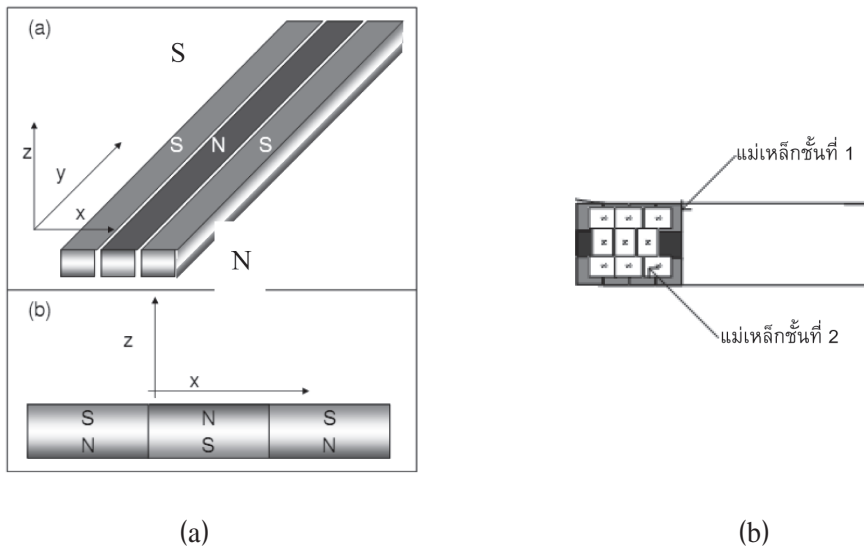


(a)



(b)

รูปที่ 3 แสดงภาพรางแม่เหล็ก (a) แบบทางตรง และ (b) แบบคอบวง



รูปที่ 4 (a) การจัดขั้วแม่เหล็ก [6] (b) การจัดเรียงแม่เหล็กซ้อนกันเพื่อเพิ่มค่าสนามแม่เหล็ก

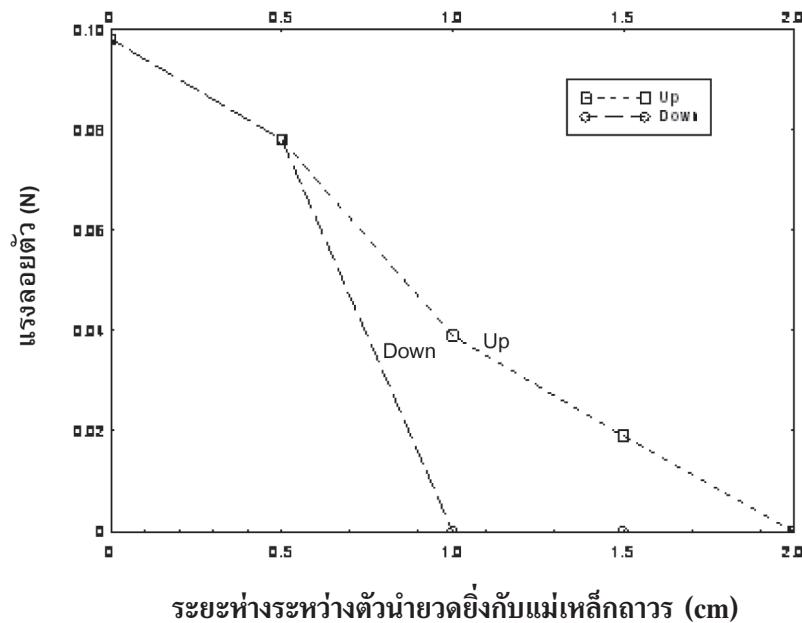
การจัดเรียงแม่เหล็กถาวรแบบชั้นเดียวจะให้ค่าสนามแม่เหล็กที่ยังไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร อีกทั้งสนามแม่เหล็กยังให้ค่าที่ต่ำกว่าการจัดเรียงแม่เหล็กแบบสองชั้น ซึ่งการจัดเรียงแม่เหล็กแบบสองชั้นนั้นจะให้สนามแม่เหล็กที่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งรางเหมาะสำหรับการใช้เป็นราง โดยค่าของสนามแม่เหล็กสามารถวัดด้วย Tesla Meter

**ผลการทดลอง**

**การวัดแรงลอยตัวของตัวนำยวดยิ่ง**

การวัดแรงลอยตัวของตัวนำยวดยิ่ง ทำได้โดยการกำหนดแผ่นแม่เหล็กถาวรให้ห่างจากผิวหน้าของตัวนำยวดยิ่งเป็นระยะ 1 เซนติเมตร พบว่าแรงลอยตัวเป็นศูนย์ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากตาชั่ง จากนั้นเลื่อนแผ่นแม่เหล็กเข้าหาตัวนำยวดยิ่งอีกที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร พบว่ามีแรงลอยตัวเกิดขึ้น 0.08 นิวตัน จนกระทั่งสัมผัสกับผิวหน้าของตัวนำยวดยิ่ง ค่าของแรงลอยตัวอ่านค่าได้ประมาณ 0.1 นิวตันซึ่งเป็นแรงลอยตัวที่สูงที่สุด ดังแสดงอุปกรณ์การวัดแรงลอยตัวในรูปที่ 2 จากนั้นเลื่อนแผ่นแม่เหล็กขึ้นมา 0.5 เซนติเมตร อ่านค่าแรงลอยตัวได้ 0.08 นิวตัน จากนั้นวัดแรงลอยตัวที่ระยะ 1 เซนติเมตร อ่านค่าแรงลอยตัวได้ 0.01 นิวตัน และที่ระยะ 1.5 เซนติเมตร อ่านค่าแรงลอยตัวได้ 0.02 นิวตัน จนกระทั่งที่ระยะ 2 เซนติเมตร ค่าแรงลอยตัวที่อ่านได้มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีสนามแม่เหล็กตั้งอยู่ในตัวนำยวดยิ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า (flux pinning) [7] ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5 โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการวัดแรงลอยตัวที่ระยะที่ 1 เซนติเมตรของทั้งสองช่วงจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน คือ สนามแม่เหล็กในช่วงขาขึ้นจะมีค่ามากกว่าในช่วงขาลง อันเนื่องมาจากในช่วงขาลงยังไม่มีสนามแม่เหล็กเข้ารอบกวนตัวนำยวดยิ่งจนกระทั่งเราเลื่อนแผ่นแม่เหล็กเข้าใกล้ตัวนำยวดยิ่งที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร จะสามารถวัดแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นได้เป็นไปตามปรากฏการณ์ไมสเนอร์ จากนั้นเลื่อนแผ่นแม่เหล็กสัมผัสกับผิวหน้าของตัวนำยวดยิ่งจะมีค่าแรงลอยตัวสูงสุดในสถานะนี้เพราะว่ามี

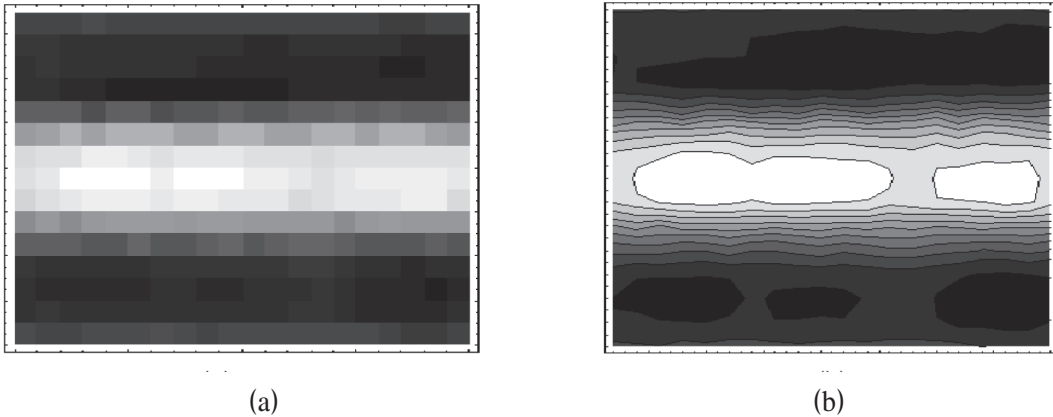
สนามแม่เหล็กบางส่วนสามารถตั้งอยู่ในเนื้อและบางส่วนก็ห่อตัวนำยวดยิ่ง จากนั้นเรานำแผ่นแม่เหล็กถาวร ออกห่างจากผิวหน้าของตัวนำยวดยิ่งแล้ววัดค่าแรงลอยตัวที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร พบว่าแรงลอยตัวมีค่าเท่า กันกับในช่วงขาเข้า (กราฟทับกัน) จากนั้นเลื่อนแผ่นแม่เหล็กถาวรออกมาที่ระยะ 1 เซนติเมตร แล้ววัด ค่าแรงลอยตัวพบมีค่า 0.01 นิวตัน เพราะว่ามีสนามแม่เหล็กค้าง (flux pinning) อยู่ในเนื้อของตัวนำ ยวดยิ่งจึงทำให้สามารถวัดแรงลอยตัวได้ดังกล่าว



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงลอยตัว(แกนตั้ง) และระยะห่างระหว่างตัวนำยวดยิ่งกับ แม่เหล็กถาวรขาขึ้น (Up) และขาลง (Down) ที่ระยะต่างๆ (แกนนอน)

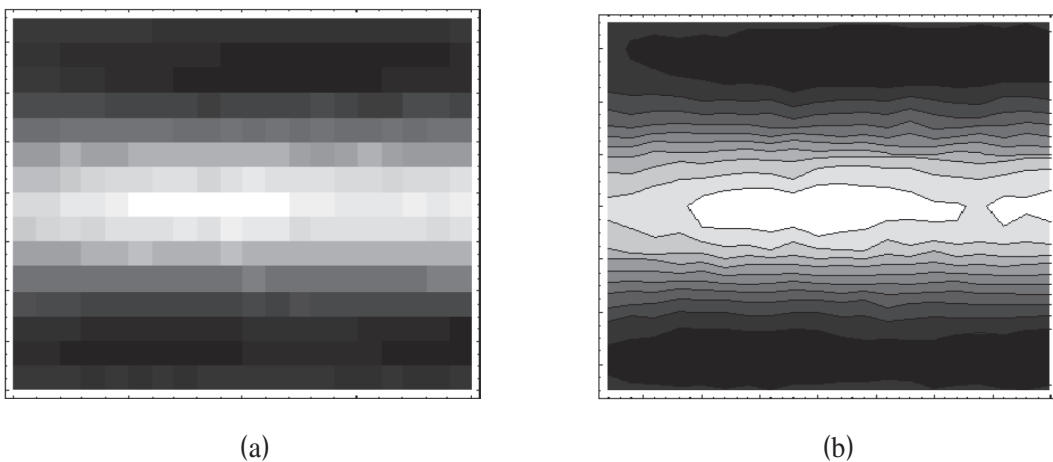
### การวัดค่าสนามแม่เหล็กถาวรของราง

วัดค่าสนามแม่เหล็กถาวรที่นำมาประกอบขึ้นเป็นรางแบบครบวงแล้ววัดสนามแม่เหล็กด้วย Teslameter ที่ระยะความสูงจากผิวบนของแผ่นแม่เหล็กเป็น 2 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร วัดในพื้นที่ ขนาดด้านกว้าง 35 มิลลิเมตร ด้านยาว 48 มิลลิเมตร และมีความหนา 4.4 มิลลิเมตร มีค่าความเข้มสนาม แม่เหล็ก 440 mT และ 200 mT แสดงดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



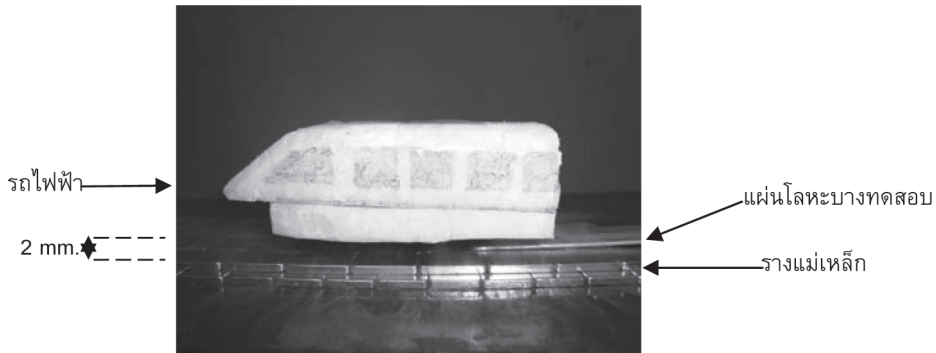
**รูปที่ 6** แสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะ 2 มิลลิเมตร  
 (a) กราฟแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็ก  
 (b) กราฟแสดงคอนทัวร์ (contour) ของสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 6 (a) และ 7 (a) บริเวณสีขาว คือบริเวณที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงและมีค่าเป็นบวก ส่วนบริเวณสีดำ จะมีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สูงแต่มีค่าเป็นลบ โดยรูปที่ 6 (a) จะเห็นบริเวณสีขาวซึ่งแบ่งได้ชัดเจนกว่ารูป 7 (a) ส่วนรูปที่ 6 (b) และ 7 (b) เป็นกราฟที่แสดงคอนทัวร์ของสนามแม่เหล็กซึ่งแสดงว่าค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งต่างๆ บนเส้น(หรือเส้นปิด)หนึ่งๆ มีค่าเท่ากันโดยที่ระยะ 2 มิลลิเมตร จะเกิดคอนทัวร์ของสนามแม่เหล็กอย่างเป็นระเบียบตามรางมากกว่าที่ระยะ 10 มิลลิเมตร ดังนั้นที่ระยะ 2 มิลลิเมตร จะทำให้รถไฟไฟฟ้า Maglev มีเสถียรภาพในการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าที่ระยะ 10 มิลลิเมตร และเป็นระยะที่ตัวนำยวดยิ่งลอยตัวได้จริงในระยะดังกล่าวนี้



**รูปที่ 7** แสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 มิลลิเมตร  
 (a) กราฟแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็ก  
 (b) กราฟแสดงค่าสนามแม่เหล็กที่เท่ากัน

ท้ายที่สุด คณะผู้วิจัยได้นำตัวนำยวดยิ่งมาจัดอยู่ในโฟม เพื่อให้สามารถใส่ไนโตรเจนเหลวได้ โดยจัดเป็นรูปรถไฟไฟฟ้าที่มีมวล 5 กรัม มีความกว้าง 2 เซนติเมตร ความยาว 4 เซนติเมตร และ ความสูง 2 เซนติเมตร นำมาทดลองวิ่งเหนือรางที่จัดเตรียมไว้ จากผลการทดลองดังรูปที่ 8 พบว่ามีการลอยเหนือราง ประมาณ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 แสดงการลอยตัวของแบบจำลองรถไฟไฟฟ้า Maglev ซึ่งมีระยะลอยเหนือรางประมาณ 2 มิลลิเมตร

### สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างรางของแบบจำลองรถไฟไฟฟ้า Maglev ได้เป็นสองแบบ คือ รางแบบแนวตรงที่มีขนาดด้านกว้าง 5 เซนติเมตร ด้านยาว 93 เซนติเมตร และมีความหนา 2.5 เซนติเมตร โดยการใช้แม่เหล็กถาวรชนิด Nd-Fe-B ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กแต่ละอันที่ผิวมีค่าประมาณ 260 mT มาจัดเรียงเป็นรางแนวตรง และรางแบบคอบวงที่มีการจัดเรียงแม่เหล็กซ้อนกันสองชั้นเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กให้มีค่าประมาณ 440 mT แรงลอยตัวของตัวนำยวดยิ่งมีมากที่สุดประมาณ 0.1 นิวตัน ซึ่งทำให้ตัวรถไฟในแบบจำลองสามารถลอยเหนือรางได้ประมาณ 2 มิลลิเมตร

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง พบว่าการลอยตัวของตัวนำยวดยิ่งไม่สามารถรักษา อุณหภูมิได้ตลอดการเคลื่อนที่ แก้ปัญหาโดยนำเอาระบบหล่อเย็นมาใช้เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวนำยวดยิ่ง และสามารถทำให้ตัวนำยวดยิ่งลอยตัวอยู่ได้ตลอดการเคลื่อนที่

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศ หน่วยวิจัยฟิสิกส์ประสานมิตร มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ

## เอกสารอ้างอิง

1. Buckle, W. 1991. Superconductivity Fundamentals and Applications. New York. VCH Publishers Inc.
2. Bednorz, J. G., and Muller, K. A. 1986. Possible High Tc Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. *Zeitschrift Physik B* 64: 183-193.
3. Nilkamjon, T., Kruaehong, T., and Udomsamuthirun, P. 2009. Synthesis of Mixed  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  with  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  by Melt Processing. Commemorative. International Conference of the Occasion of the 4<sup>th</sup> Cycle Anniversary of KMUTT Sustainable Development to Save the Earth: Technologies and Strategies. Bangkok. Thailand. 2050: 8-10.
4. Katzeff, R. 1996. Florida Awards Maglev Grant. *Advanced Transportation Technology News* 3: 2.
5. Chen, I. G., Hsu, J. C., Janm, G., Kuo, C. C., Liu, H. J., and Wu, M. K. 1998. Magnetic Levitation Force of Single Grained YBCO Materials. *Chinese Journal of Physics* 36: 2-11.
6. Strehlow, C. P., and Sullivan, M. C. 2008. A Classroom Demonstration of Levitation and Suspension of a Superconductor over a Magnetic Track. arXiv: 0803.3090 v 1 [cond-mat-Super-con]: 1-5.
7. Amirabadizdeh, A., and Hasanain, S. K. 2006. Effect of Crossed Flux on Pinning in YBaCO Superconductor. *Materials Science-Poland* 24: 4.

ได้รับบทความวันที่ 3 กรกฎาคม 2552

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 17 สิงหาคม 2552