

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบนี้ได้ทำการออกแบบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบการวัด L-MOKE และ P-MOKE โดยออกแบบขั้วแม่เหล็กเป็น 2 แบบ คือแบบที่ 1 เป็นแบบที่ใช้กันทั่วไปมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองขั้วขนานกัน แบบที่ 2 เป็นแบบที่ออกแบบขึ้นใหม่ให้มีพื้นที่หน้าตัดด้านข้างเป็นรูปสามเหลี่ยมสำหรับใช้วัดสารตัวอย่างเหนือขั้วแม่เหล็ก เพื่อลดข้อจำกัดของมุมตกกระทบสำหรับการวัด MOKE ทั้งสองรูปแบบ

แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีแกนแม่เหล็กขึ้นรูปเป็นรูปตัวยูมีความกว้างและความยาวของฐานเป็น 60x60 mm และสูง 200 mm ขนาดของขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 กว้าง 20 mm ยาว 60 mm สูง 30 mm ขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 กว้าง 23 mm ยาว 60 mm สูง 5 mm โดยแกนแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็กทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ($C < 0.19\%$) ขดลวดโซเลนอยด์ทำจากลวดทองแดงชนิดเอสดับเบิลยูจี 19 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.02362 mm ทนกระแสสูงสุดประมาณ 7 A พันเป็นขดลวดจำนวน 1394 รอบ มีความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองชุดเป็น 3.6 Ω และ 4.1 Ω

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ระบบ MOKE ที่สร้างขึ้นสามารถวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ดำนัทศาสตร์แม่เหล็กแบบเชิงขั้วและแบบตามยาวของสารตัวอย่างที่เป็นปริมาตรและเป็นฟิล์มบางได้ ดังต่อไปนี้

5.1.1.1 วงฮิสเทอรีซิสของผลึกเดี่ยวนิกเกิลระนาบ (111) พบว่าวงฮิสเทอรีซิสของ L-MOKE จะมีค่าสนามลบด้านแม่เหล็กประมาณ 200 G และจะอิมิตัวที่สนามแม่เหล็กประมาณ 250 G และ -250 G เปรียบเทียบกับวงฮิสเทอรีซิสของฟิล์มนิกเกิลบนแพลทินัมระนาบ (111) หนา 7.4 ไมโนเลเยอร์ ในงานวิจัยของนาม (Nahm, 2005: s199) พบว่ามีลักษณะวงแบบเดียวกันแต่มีขนาดของสนามลบด้านแม่เหล็กประมาณ 43 G เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเชิร์นและคณะ (Shern; et al. 1998: 110) ที่วัดความรีของเคอร์แบบตามยาวของฟิล์มนิกเกิลบนแพลทินัมระนาบ (111) พบว่ามีค่าสนามลบด้านแม่เหล็กใกล้เคียงกันโดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 44.4 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาวงฮิสเทอรีซิสของ P-MOKE พบว่าจะไม่เห็นสถานะการอิมิตัวเมื่อให้สนามสูงสุดประมาณ 2000 G ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเชิร์นและคณะ (Shern; et al. 1998: 109) ที่วัดความรีของเคอร์ของฟิล์มนิกเกิลบนแพลทินัมระนาบ (111) แบบเชิงขั้วและไม่พบการอิมิตัวที่สนามมากกว่า 1410 G เช่นเดียวกัน

5.1.1.2 วงฮิสเทอรีซิสของเหล็ก พบว่าวงฮิสเทอรีซิสของ L-MOKE จะมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กประมาณ 100 G และจะอิมิตว์ที่สนามแม่เหล็กประมาณ 250 G และ -250 G เปรียบเทียบวงฮิสเทอรีซิสกับผลการวัดเหล็กแบบปริมาตรที่ได้จากเครื่อง VSM (Held. 2008: Online) พบว่าลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกัน แต่ค่าสนามลบล้างแม่เหล็กมีความแตกต่างกันมาก โดยผลการวัดจากเครื่อง VSM มีค่า H_c ประมาณ 0.9 G พิจารณาวงฮิสเทอรีซิสของ P-MOKE จะไม่เห็นสถานะการอิมิตว์เมื่อให้สนามสูงสุดประมาณ 2000 G

5.1.1.3 วงฮิสเทอรีซิสของโคบอลต์ พบว่าวงฮิสเทอรีซิสของ L-MOKE จะมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กประมาณ 350 G และจะอิมิตว์ที่สนามแม่เหล็กประมาณ 1500 G และ -1500 G เปรียบเทียบวงฮิสเทอรีซิสกับงานวิจัยของลีและคณะ (Lee; et al. 2000: 3803) ซึ่งวัดการหมุนของเคอร์ซของฟิล์มโคบอลต์บนพอลลาเดียมระนาบ (111) พบว่ารูปร่างของวงฮิสเทอรีซิสแตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเชิร์นและคณะ (Shern; et al. 1999: L498) พบว่าลักษณะรูปร่างของวงใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กของฟิล์มโคบอลต์มีค่าประมาณ 260 G มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 38.5 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาวงฮิสเทอรีซิสของ P-MOKE จะไม่เห็นสถานะการอิมิตว์เมื่อให้สนามสูงสุดประมาณ 2000 G

5.1.1.4 วงฮิสเทอรีซิสของฟิล์มเหล็กหนา 1100 Å พบว่าวงฮิสเทอรีซิสของ L-MOKE เปรียบเทียบกับผลการวัดฟิล์มเหล็กหนา 7000 Å ปลูกบนแก้วจากเครื่อง VSM (Held. 2008: Online) รูปร่างลักษณะของวงคล้ายกัน แต่มีความแตกต่างของสนามลบล้างแม่เหล็กสูง โดยผลจากการวัดฟิล์มหนา 1100 Å มีค่า H_c ประมาณ 19 G ในขณะที่ผลการวัดฟิล์มหนา 7000 Å จะได้ค่า H_c ประมาณ 2.8 G พิจารณาวงฮิสเทอรีซิสของ P-MOKE พบว่าเป็นวงที่มีลักษณะเอียง มีสนามลบล้างแม่เหล็กประมาณ 1600 G แสดงสถานะอิมิตว์ที่สนามแม่เหล็กประมาณ 1000 G และ -1000 G

5.1.1.5 การวัดมุมการหมุนของเคอร์โดยการปรับมุมโพลาไรเซอริวเคราะห์ จากการวัดกำลังแสงเลเซอร์ที่สะท้อนจากผิวสารตัวอย่างที่ลบล้างความเป็นแม่เหล็ก โดยยังไม่ให้สนามแม่เหล็กภายนอก เมื่อปรับมุมโพลาไรเซอริวเคราะห์จาก 1° ไปถึง 3.5° จะได้เส้นโค้งของกำลังแสงเป็นแบบพาราโบลาซึ่งมีจุดต่ำสุดอยู่ที่มุม 2.5078° และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกโดยจ่ายกระแสคงที่ 5 A วัดกำลังแสงโดยปรับมุมโพลาไรเซอริวเคราะห์จะได้เส้นโค้งของกำลังแสงเป็นแบบพาราโบลาเช่นกัน แต่จะเลื่อนไปทางขวามือซึ่งมีจุดต่ำสุดอยู่ที่มุม 2.8213° โดยมีความต่างของมุมเป็น 0.3135° เมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกโดยจ่ายกระแสคงที่ -5 A วัดกำลังแสงโดยปรับมุมโพลาไรเซอริวเคราะห์จะได้เส้นโค้งของกำลังแสงเป็นแบบพาราโบลาที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับเส้นโค้งของกระแส 5 A มีจุดต่ำสุดอยู่ที่มุม 2.8213° โดยมีความต่างของมุมเป็น 0.3135°

5.1.2 แม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกแบบสามารถสร้างสนามแม่เหล็กในบริเวณที่วัดสารตัวอย่างได้สูงสุด 2123.573 G สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และ 983.935 G สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 ณ ตำแหน่งพิกัด (0,0,215) เมื่อใช้กระแสประมาณ 5.5 A โดยสนามแม่เหล็กจะมีองค์ประกอบในทิศทางเดียวในบริเวณที่แสงตกกระทบผิวสาร

5.1.2.1 การเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กจากผลการคำนวณโดยชุดคำสั่งเรเดียและผลการวัดด้วยหัววัดฮอลล์ พบว่าแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถวัดสนามแม่เหล็กด้วยหัววัดฮอลล์ได้ 775.904 G เมื่อใช้กระแส 0.5 A สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และ 1274.26 G เมื่อใช้กระแส 1.5 A สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 ส่วนการคำนวณสนามแม่เหล็กโดยชุดคำสั่งเรเดียได้เท่ากับ 770.716 G เมื่อใช้กระแส 0.5 A สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และ 1273.04 G เมื่อใช้กระแส 1.5 A สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 ซึ่งพบว่าแนวโน้มของค่าสนามแม่เหล็กที่วัดด้วยหัววัดฮอลล์และการคำนวณจากชุดคำสั่งเรเดียจะสอดคล้องกัน และมีความแตกต่างของค่าสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนประมาณ 0.89 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และ 2.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2

5.1.2.2 การพิจารณาองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในทิศเดียว จากลักษณะของผิวสามมิติและแผนภาพสองมิติที่สร้างขึ้นจากองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในแนวแกน y เทียบกับตำแหน่งบนระนาบ xz สำหรับการวัด P-MOKE พบว่าที่ตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กสูงสุดจะมีเพียงองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในทิศทางเดียวคือตามแนวแกน y สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 จะมีความเรียบตามแนวแกน x ประมาณ 20 mm และมีความเรียบตามแนวแกน z ประมาณ 5 mm โดยมีพื้นที่สำหรับการวัดสารตัวอย่างประมาณ 100 mm² ซึ่งในบริเวณนี้จะมีความแตกต่างของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 จะมีความเรียบตามแนวแกน x ประมาณ 15 mm และมีความเรียบตามแนวแกน z ประมาณ 2 mm โดยมีพื้นที่สำหรับการวัดสารตัวอย่างประมาณ 30 mm² ซึ่งในบริเวณนี้จะมีความแตกต่างของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.96 เปอร์เซ็นต์

ในการวัด L-MOKE จะพิจารณาระนาบ yz สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 โดยจะมีระยะตามแนวแกน y ประมาณ 7 mm และระยะตามแนวแกน z ประมาณ 5 mm มีพื้นที่สำหรับการวัดสารประมาณ 35 mm² ซึ่งในบริเวณนี้จะมีความแตกต่างของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.29 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 จะพิจารณาระนาบ xy โดยจะมีระยะตามแนวแกน x ประมาณ 15 mm และระยะตามแนวแกน y ประมาณ 5 mm มีพื้นที่สำหรับการวัดสารประมาณ 75 mm² ซึ่งในบริเวณนี้จะมีความแตกต่างของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.54 เปอร์เซ็นต์

5.1.2.3 การสร้างฟังก์ชันของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับสนามแม่เหล็ก สำหรับแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และแบบที่ 2 เป็นดังสมการที่ (4.1)-(4.6)

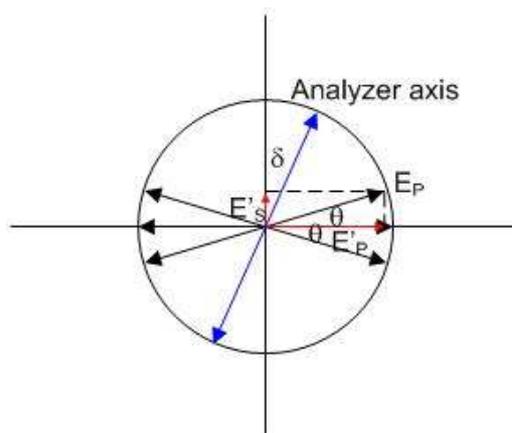
5.1.3 ระบบที่ออกแบบมีการต่อประสานผ่านช่องทางจีพีไอบีและช่องทางอนุกรม โดยการเขียนโปรแกรมแลปวิว เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์และนำผลการวัดมาประมวลผล และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

5.1.4 การวัดทดสอบเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ จะพิจารณาใน 2 ลักษณะคือ ความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยง (precision) ของเครื่องมือ โดยพบว่าเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นยังมีความแม่นยำพิจารณาจากวัดค่าสนามลบล้างได้แตกต่างจากค่ามาตรฐานมาก เมื่อพิจารณาความเที่ยงของเครื่องมือพบว่าค่อนข้างดีเนื่องจากสามารถวัดซ้ำได้ค่าการวัดเดิมภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันได้

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

วงฮิสเทอรีซิสที่ได้จากการวัด Ni(111) จะมีลักษณะของวงสอดคล้องกันดีกับงานวิจัยอื่น แต่ค่าสนามลบล้างแม่เหล็กไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากในการวัดฟิล์มจะมีค่าความเป็นแม่เหล็กน้อยกว่าการวัดปริมาตรซึ่งค่าสนามลบล้างแม่เหล็กควรน้อยลงด้วย เปรียบเทียบการวัดสารตัวอย่างที่เป็นปริมาตรทั้งสามชนิดพบว่า สารตัวอย่างที่เป็นผลึกจะให้ผลการวัดที่ดีกว่าสารที่ไม่เป็นผลึก เนื่องจากสารที่เป็นผลึกจะมีโดเมนแม่เหล็กใหญ่และมีทิศของความเป็นแม่เหล็กที่แน่นอนกว่า เปรียบเทียบการวัดเหล็กที่เป็นปริมาตรและเป็นฟิล์มพบว่าแบบฟิล์มจะมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กต่ำกว่าแบบปริมาตร และสามารถสังเกตเห็นวงฮิสเทอรีซิสของ P-MOKE และสถานะความเป็นแม่เหล็กอิมิตัวได้ชัดเจนกว่า

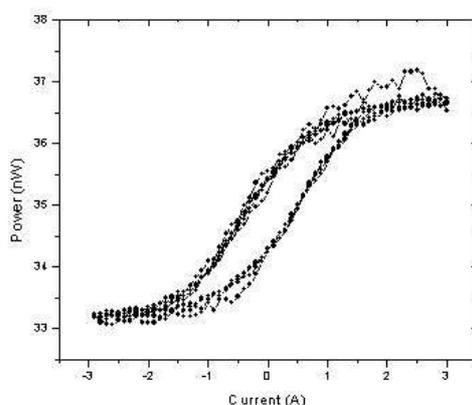
การวัดมุมของเคอร์โดยตรงพิจารณาจากองค์ประกอบการโพลาไรซ์ดังภาพประกอบ 64 และความสัมพันธ์ของความเข้มแสง $I = |E'_s \cos \delta + E'_p \sin \delta|^2$ และ $E'_s = E_p \cos \theta$, $E'_p = E_p \sin \theta$ จะได้ $I = E_p^2 \cos^2 (\delta - \theta)$ โดยความเข้มแสงจะมีค่าต่ำสุดเมื่อ $\delta - \theta = \pi/2$ ดังนั้นมุมของโพลาไรเซอร์วิเคราะห์เพื่อที่จะวัดความเข้มแสงได้ต่ำที่สุดจะเป็น $\delta = \pi/2 + \theta$ เมื่อไม่มีการหมุนของเคอร์จะวัดความเข้มแสงต่ำสุดที่ 90° และเมื่อเกิดการหมุนของเคอร์จะวัดความเข้มแสงต่ำสุดที่มุม $90^\circ \pm \theta$ ในการวัดเมื่อไม่มีการหมุนของเคอร์วัดมุมได้ 2.5078° และเมื่อมีการหมุนของเคอร์วัดมุมได้ 2.8213° จะได้มุมการหมุนของเคอร์เป็น 0.3135° เปรียบเทียบกับค่ามุมการหมุนของเคอร์ในหัวข้อ 2.4.1.1 ซึ่งมีค่าเป็น 0.41° สำหรับเหล็ก โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเป็น 23.54 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 59 แสดงองค์ประกอบการโพลาริไซซ์ในแนวเอสและพี เมื่อเกิดการหมุนของเคอร์

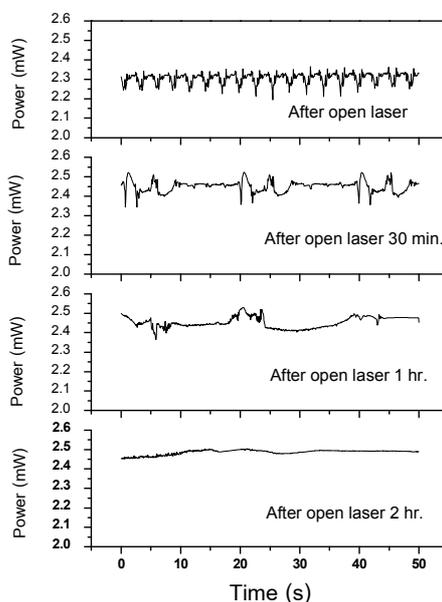
5.3 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของแม่เหล็กไฟฟ้ามีความต้านทานของขดลวดโซเลนอยด์ไม่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายกำลังซึ่งค่าที่เหมาะสมควรจะเป็น 1Ω ทั้งสองชุดเพื่อที่จะสามารถใช้กระแสจากแหล่งจ่ายกำลังได้ถึง 20 A ทำให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กได้สูงขึ้น แกนแม่เหล็กควรจะใช้วัสดุที่มีค่าแม่เหล็กคงเหลือน้อยที่สุดและควรให้สนามแม่เหล็กสูงสุด เช่น ซูเปอร์เมนเดอร์ (supermendur) หรือวานาเดียมเพอร์เมนเดอร์ (vanadium permendur) เป็นต้น การลดอุณหภูมิของขดลวดมีความจำเป็นเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานของขดลวดจะต่ำลงทำให้ดึงกระแสไปใช้สูงขึ้นบางครั้งแหล่งจ่ายกำลังไม่สามารถรองรับได้อาจเกิดความเสียหายได้จึงควรมีระบบระบายอากาศสำหรับขดลวดโซเลนอยด์โดยเฉพาะเมื่อต้องใช้งานที่กระแสสูง



ภาพประกอบ 60 วงฮิสเทอรีซิสจาก L-MOKE ของโคบอลต์เมื่อวัดซ้ำ 4 รอบ

ในการวัดวงฮิสเทอรีซิสเมื่อทำการวัดวงซ้ำหลายรอบพบว่า จะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณมากดังเช่นภาพประกอบ 65 ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องคือเสถียรภาพของเลเซอร์ โดยเมื่อเปิดเลเซอร์จะมีการกวัดแกว่งของกำลังแสงมากจนไม่สามารถวัดสัญญาณของเคอร์รี่ได้เมื่อเวลาผ่านไป การกวัดแกว่งจะลดลงจนสามารถวัดสัญญาณของเคอร์รี่ได้ โดยการกวัดแกว่งของเลเซอร์เมื่อเปิดเลเซอร์และเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง จะแสดงดังภาพประกอบ 66 โดยมีความแตกต่างของค่ากำลังแสงเป็น 7.33, 7.30, 6.64 และ 2.09 เปอร์เซ็นต์ การแก้ปัญหาของการกวัดแกว่งของสัญญาณมากจึงควรเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์เป็นชนิดที่มีเสถียรภาพของความเข้มแสงสูง



ภาพประกอบ 61 กำลังแสงเลเซอร์ที่แปรค่าตามเวลา เมื่อเปิดเครื่องเลเซอร์ทันที เวลาผ่านไป 30 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง