



สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
Synchrotron Light Research Institute (Public Organization)
เอกสารความรู้ (knowledge documents)

ประเภทเอกสาร

- TR: รายงานเชิงเทคนิค (TECHNICAL REPORT)
 TN: รายงานเชิงเทคนิค (ฉบับย่อ) (TECHNICAL NOTE)
 MN: คู่มือการดำเนินงาน (Operation Manual) / คู่มือการใช้งาน (Instruction Manual) /
แผนปฏิบัติการ (Operation Plan)

หมายเลขเอกสาร(For QDS) KM Document No.	SLRI-TR-2026-084
ชื่อเรื่อง Title	การเปลี่ยนขดลวดชุดใหม่ของแม่เหล็ก SMD
ชื่อฝ่าย Department	ฝ่ายปฏิบัติการเครื่องกำเนิดแสงสยาม 1
วันที่เผยแพร่ Release date	29 มกราคม 2569
ระดับการเปิดเผยข้อมูล Level of Disclosure	<input type="checkbox"/> ข้อมูลในรายงานเป็นความลับ (Undisclosed)
	<input type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลเฉพาะภายในฝ่ายหรือส่วนงาน (Information can be disclosed within department/section)
	<input checked="" type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลได้สำหรับพนักงานของสถาบันฯ และอนุญาตให้บันทึกข้อมูลเข้า เป็นส่วนหนึ่งของระบบ Knowledge Management ภายในสถาบันฯ (Information can be disclosed for SLRI staffs and can be part of SLRI's Knowledge Management System)
	<input checked="" type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลได้เพื่อเป็นองค์ความรู้สาธารณะ เช่นเว็บไซต์ของสถาบันฯ (Information is available for public)
คำสำคัญ Keyword	Extraction Septum Magnet, ขดลวดแม่เหล็ก, ความเป็นฉนวนไฟฟ้า

รายชื่อผู้จัดทำรายงานหรือผู้ดำเนินโครงการ (Name)	ส่วนร่วมในการปฏิบัติงานในโครงการ Responsible tasks in the project
นายอภิชัย ขวัญเกษม	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน เขียนรายงาน
นายชัชภูมิ ธรรมทอง	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายสุพรรณ บัญสุยา	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายวิศิษฐ์ชัย สุขศรีเมือง	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายวิเวก ภาชีรักษ์	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายศราวุธ บัวเตี้ย	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายณัฐวุฒิ สุรเดช	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
ว่าที่ ร.ต.ศราวุธ ชิดไธสง	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
ดร.ฐาปกรณ์ ภู่อำพงษ์	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
ดร.วรรณิสา พรหมดี	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายอภิวัฒน์ ภิญโญยาง	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายสมเกียรติ วิสัยเพียร	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายนนทนันท์ ผิวอ่อน	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายนิติศาสตร์ คำดี	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน
นายชวัลวิษณุ สมประสงค์	ดำเนินการเปลี่ยนแปลงขดลวด ทดสอบการทำงาน

บทคัดย่อ

บทความนี้ระบุถึงกระบวนการปรับปรุงและเปลี่ยนชุดลวดแม่เหล็กสกัดกั้นลำอนุภาค (Extraction Septum Magnet: SMD) เพื่อแก้ไขปัญหาการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2567 [1] โดยได้มีการออกแบบและจัดสร้างชุดลวดชุดใหม่ที่เพิ่มความหนาในบริเวณที่มีความเสี่ยงเพื่อเสริมความแข็งแรงทางโครงสร้าง และดำเนินการติดตั้งในช่วงหยุดเดินเครื่องเพื่อบำรุงรักษาประจำปี (Machine Shutdown) พ.ศ. 2568

จากการตรวจสอบค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance) ก่อนการดำเนินการ พบว่าระบบเดิมมีค่าความเป็นฉนวนต่ำเพียง 36 MΩ ที่แรงดันไฟฟ้า 1,000 V ซึ่งภายหลังการเปลี่ยนชุดลวดชุดใหม่และปรับปรุงฉนวนภายนอก แม้ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสม จึงได้ดำเนินการตรวจสอบหาสาเหตุเชิงลึก และพบความบกพร่องของฉนวนในชุดลวดชั้นใน รวมถึงการแตกหักของฉนวนเซรามิกบริเวณฐานยึด ภายหลังการประกอบฉนวนทั้งหมด ผลการทดสอบด้วย Mega ohm Test แสดงค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน จึงดำเนินการคืนสภาพสุญญากาศและทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้า จนถึงระดับกระแสใช้งาน

ผลจากการเปลี่ยนชุดลวดชุดใหม่หลังการทำ Machine Commissioning เพื่อให้บริการเสพบว่าแม่เหล็ก SMD ชุดใหม่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น โดยสามารถใช้กระแสไฟฟ้าในการสกัดลำอนุภาคลดลงกว่าเดิม ส่งผลให้อุณหภูมิสะสมที่แผ่น Septum ในขณะที่ฉีดลำอนุภาค (Injection) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วยเพิ่มเสถียรภาพและความปลอดภัยในการเดินเครื่องเร่งอนุภาคในระยะยาว

คำสำคัญ Keyword: Extraction Septum Magnet, ชุดลวดแม่เหล็ก, ความเป็นฉนวนไฟฟ้า

1. บทนำ

เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเป็นโครงสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อนสูง โดยอาศัยการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีความเร็วใกล้แสงเพื่อผลิตรังสีเอกซ์พลังงานสูง หัวใจสำคัญของการดำเนินงานคือการควบคุมทางเดินของลำอนุภาค (Beam Physics) ให้มีความแม่นยำในระดับมิลลิเมตร ซึ่งหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการส่งต่อลำอนุภาคคือ แม่เหล็ก Extraction Septum Magnet หรือ SMD

หน้าที่หลักของแม่เหล็ก SMD

ในระบบเครื่องเร่งอนุภาค ลำอิเล็กตรอนจะต้องถูกส่งผ่านจากเครื่องเร่งแนววงกลม (Booster Synchrotron) เข้าสู่เครื่องกักเก็บอิเล็กตรอน (Storage Ring) เพื่อผลิตแสงซินโครตรอน แม่เหล็ก SMD ทำหน้าที่เป็นเหมือนกับ "ประตูทางออก" ที่คัดเลือกอิเล็กตรอนกลุ่มที่ได้รับพลังงานตามเป้าหมายแล้ว (1.2 GeV) ให้เบี่ยงทิศทางออกจากวงโคจรเดิม

ความพิเศษของแม่เหล็กชนิดนี้อยู่ที่การสร้างสนามแม่เหล็กแบบเฉพาะจุด (Spatial Field Separation) โดยมีผนังโลหะบางๆ ที่เรียกว่าแผ่น "Septum plate" ทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กเข้มข้นเพื่อบังคับเส้นทางโค้งของลำอนุภาค (Field Region) และบริเวณที่ปราศจากสนามแม่เหล็ก (Field-free Region) เพื่อไม่ให้โปรบวกลำอนุภาคส่วนที่เหลือซึ่งยังวิ่งอยู่ในวงโคจรหลัก

ความสำคัญต่อเสถียรภาพของระบบ

แม่เหล็ก SMD ไม่ได้ทำหน้าที่เพียงแค่การเปลี่ยนทิศทางอนุภาคเท่านั้น แต่ยังส่งผลโดยตรงต่อ:

- 1.) ประสิทธิภาพการส่งต่ออนุภาค (Injection/Extraction Efficiency): หากแม่เหล็กทำงานผิดพลาดเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียอนุภาค (Beam Loss) ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนที่ส่งผ่านลดลง
- 2.) เสถียรภาพทางอุณหภูมิและสุญญากาศ: เนื่องจากตัวแม่เหล็กต้องรับกระแสไฟฟ้ามหาศาลเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงพอ การบริหารจัดการความร้อนที่แผ่น Septum จึงมีความสำคัญ หากเกิดความร้อนสะสมสูงเกินไปอาจส่งผลต่อสภาพสุญญากาศและทำให้อุปกรณ์ชำรุดเสียหายได้
- 3.) ความต่อเนื่องในการให้บริการแสง: SMD ถือเป็นอุปกรณ์ประเภท Single point of failure หากแม่เหล็กตัวนี้ชำรุด ระบบทั้งหมดจะไม่สามารถให้บริการแสงซินโครตรอนแก่ผู้ใช้บริการได้

ดังนั้น การพัฒนาและบำรุงรักษาแม่เหล็ก SMD ให้มีความแข็งแรงเชิงกลและมีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่สมบูรณ์จึงเป็นภารกิจสำคัญในการรับประกันว่าเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปลี่ยนขดลวดแม่เหล็ก Extraction Septum Magnet หรือ SMD

2.2 เพื่อปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้าของแม่เหล็ก

3. แนวคิด/ทฤษฎี/หลักการ

1. แนวคิดพื้นฐานในเครื่องเร่งอนุภาค ลำอิเล็กตรอนจะวิ่งอยู่ในวงแหวนด้วยความเร็วใกล้แสง โดยถูกควบคุมด้วยสนามแม่เหล็กตลอดเวลา เมื่อเราต้องการ "สกัด" (Extract) ลำอิเล็กตรอนออกมา เราไม่สามารถใช้แม่เหล็กทั่วไปได้ เพราะแม่เหล็กทั่วไปจะมีสนามแม่เหล็กกระจายออกมาโดยรอบ ซึ่งจะไปรบกวนอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ ที่ยังต้องวิ่งอยู่ในวงแหวนต่อไป Septum Magnet จึงถูกออกแบบมาให้มีลักษณะพิเศษ คือ "การแบ่งเขตสนามแม่เหล็กอย่างเด็ดขาด" โดยมีผนังบางๆ ที่เรียกว่า Septum plate กั้นกลางระหว่าง Field Region: บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กเข้มข้น เพื่อตัดโค้งลำอนุภาคที่ต้องการสกัดออก และ Field-Free Region: บริเวณที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก (หรือน้อยมาก) เพื่อให้อนุภาคที่ยังวิ่งอยู่ในวงแหวนเดิมไม่ได้รับผลกระทบ

2. หลักการทางฟิสิกส์ (Physical Principle) Septum Magnet ใช้หลักการของ แรงลอเรนตซ์ (Lorentz Force) ในการเบี่ยงเบนทิศทางของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า:

$$F=q(v \times B)$$

q: ประจุของอิเล็กตรอน

v: ความเร็วของอิเล็กตรอน (ซึ่งในซินโครตรอนจะสูงมากจนใกล้เคียงความเร็วแสง)

B: ความเข้มสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นภายในช่องว่างของ Septum

เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปในช่อง (Gap) ของ Septum Magnet มันจะถูกแรงแม่เหล็กผลักให้เลี้ยวออกจากแนวทางเดินเดิม ในขณะที่ตัวผนัง Septum จะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน ไม่ให้สนามแม่เหล็กนั้นรั่วไหลออกไปรบกวนวงโคจรหลัก

3. ส่วนประกอบและการออกแบบ (Design & Structure) หัวใจสำคัญของ Septum Magnet คือการทำให้ผนัง (Septum wall) มีความบางที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (มักจะอยู่ในระดับ 1-20 มิลลิเมตร) เพื่อให้ระยะห่างระหว่าง "ลำอนุภาคที่วิ่งปกติ" กับ "ลำอนุภาคที่กำลังจะสกัดออก" อยู่ใกล้กันมากที่สุด โครงสร้างหลักประกอบด้วย Yoke (แกนเหล็ก): มักทำจากแผ่นเหล็กลามิเนต (Laminated steel) เพื่อรวมเส้นแรงแม่เหล็ก Coil (ขดลวดตัวนำ) โดยปกติจะเป็นทองแดง Septum Plate/Sheet ผนังโลหะบางๆ ที่อยู่ใกล้กับลำอนุภาคในวงแหวนมากที่สุด

4. ประเภทของ Septum Magnets ในห้องปฏิบัติการซินโครตรอน เรามักจะแบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ประเภทหลัก 1.) Direct Current (DC) Septum: ใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ สร้างสนามแม่เหล็กตลอดเวลา โดยจะมี

ข้อดีคือสนามแม่เหล็กมีความเสถียรสูงมาก แต่มีข้อเสียคือ ผนัง Septum ต้องหนาเพื่อรองรับความร้อนจากกระแสไฟฟ้ามหาศาล และมักต้องใช้ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำที่ซับซ้อน 2.) Pulsed Septum (Eddy Current Septum): ทำงานเป็นจังหวะสั้นๆ (Pulse) เฉพาะช่วงที่อนุภาครีจผ่านหลักการ: ใช้กระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และใช้ปรากฏการณ์ Eddy Current ในตัวนำ (Copper shield) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กต้านไม่ให้สนามแม่เหล็กหลักรั่วไหลออกไปด้านนอกข้อดีคือ ผนัง Septum สามารถทำให้บางลงได้มาก (ลดพื้นที่รบกวน) และประหยัดพลังงานกว่า

5. บทบาทร่วมกับ Kicker Magnet ในการสกัดลำอนุภาค Septum Magnet มักจะทำงานร่วมกับ Kicker Magnet โดย Kicker Magnet จะทำหน้าที่เตะลำอนุภาคให้เบี่ยงออกจากวงโคจรหลักเพียงเล็กน้อยพอให้เข้าไปอยู่ในบริเวณ (Field Region) ของ Septum Magnet จากนั้น Septum Magnet จะรับช่วงต่อด้วยการให้แรงเลี้ยวโค้งที่แรงกว่า เพื่อผลักให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร ของวงเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลมอย่างสมบูรณ์

4. วิธีการดำเนินงาน

4.1) เตรียมการก่อนการเปลี่ยนขดลวดชุดใหม่

ทำการถอดขั้วแม่เหล็กออกจากแหล่งจ่ายกำลังเพื่อทำการทดสอบความเป็นฉนวนของขดลวดแม่เหล็กเทียบกับกราวด์ของขดลวดชุดเก่าโดยการใช้ Mega ohm Test ทำการวัดระหว่างขั้วบวกเทียบกับกราวด์ได้ผลดังรูปที่ 1-3 ซึ่งโดยปกติแล้วที่ 250 V ค่าที่ได้ควรมากกว่า 1000 M Ω ที่ 500 V ค่าที่ได้ควรมากกว่า 2000 M Ω และที่ 1000 V ควรได้ค่าที่มากกว่า 4000 M Ω แต่ผลที่ได้ตามรูปที่ 2-3 แสดงว่าความเป็นฉนวนที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงไม่ค่อยดีเท่าที่ควร



รูปที่ 1 250V >1000 M Ω



รูปที่ 2 500V : 364 M Ω



รูปที่ 3 1000V : 36.9 M Ω

ทำการปิดวาล์วสุญญากาศบริเวณจาก LBT มายัง Booster Synchrotron และบริเวณทางออกไปยัง HBT โดยค่าแรงดันสุญญากาศปกติของ Booster Synchrotron อยู่ระหว่าง 10(-8) ถึง 10(-9) torr (รูปที่ 4) เปิดระบบสุญญากาศของแม่เหล็ก SMD โดยทำการเติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในแชมเบอร์ของ SMD (รูปที่ 5) เพื่อให้ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นเปิดฝาด้านบนของแม่เหล็กออกเพื่อตรวจสอบภายใน ก่อนการทำงานให้ส่วนความปลอดภัยตรวจวัดปริมาณรังสี (รูปที่ 6) ได้ที่ประมาณ 1.6-2 uSv ซึ่งอยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยสามารถปฏิบัติงานได้



รูปที่ 4 SYN. Pressure



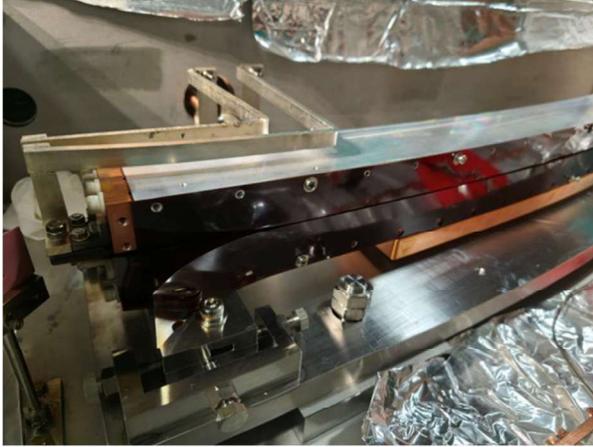
รูปที่ 5 เติมแก๊สไนโตรเจนเพื่อเปิดแชมเบอร์



รูปที่ 6 เปิดฝา SMD เพื่อตรวจสอบภายใน

4.2) เปลี่ยนขดลวดชุดใหม่

เมื่อถอดแผ่นประกอบขดลวดและตรวจสอบพบว่าขดลวดแม่เหล็กปกติดีแต่ฉนวนมีรอยไหม้เล็กน้อย ดำเนินการเปลี่ยนขดลวดชุดใหม่และทำฉนวน Kapton ที่กั้นระหว่างขดลวดกับแผ่นประกอบใหม่ทั้งหมด จากนั้น ประกอบทุกอย่างกลับที่เดิมและทำการทดสอบ Mega ohm Test อีกครั้ง ปรากฏว่าที่ 1000 V :1630 M Ω ซึ่งค่าปกติควรวัดได้มากกว่า 4000 M Ω จึงทำการทดสอบแยกขดลวดด้านในและด้านนอกพบว่าขดลวดใหม่ด้านนอกค่าความเป็นฉนวนปกติที่ 1000 V วัดได้มากกว่า 4000 M Ω ดังนั้นสาเหตุน่าจะมาจากขดลวดด้านใน

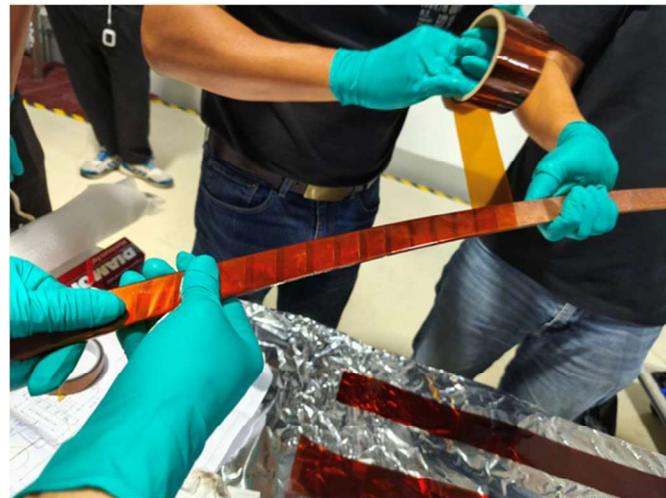


รูปที่ 7-8 เปลี่ยนฉนวน Kapton และขดลวดชุดใหม่

ทำการถอดขดลวดด้านในออกจากบัสบาร์เมื่อตรวจสอบพบว่ามีฉนวนที่หายไปบริเวณปลายของขดลวด เนื่องจากฉนวนไม่ได้ยึดติดกันเป็นชั้นเดียวกัน (รูปที่ 9) ทำให้เมื่อแม่เหล็กทำงานและมีการสั่นของขดลวด ฉนวนจึงย่นหายไปที่บริเวณปลายขดลวดแม่เหล็ก แก้ปัญหาโดยการพันฉนวนKapton รอบขดลวดให้เป็นชั้นเดียวกัน (รูปที่ 10) แต่ไม่สามารถพันให้หนาмаกได้เนื่องจากจะทำให้ใส่ขดลวดเข้าไปในช่องของขั้วแม่เหล็กได้



รูปที่ 9 ฉนวนแบบเดิมใส่เป็นชั้นแยกกัน



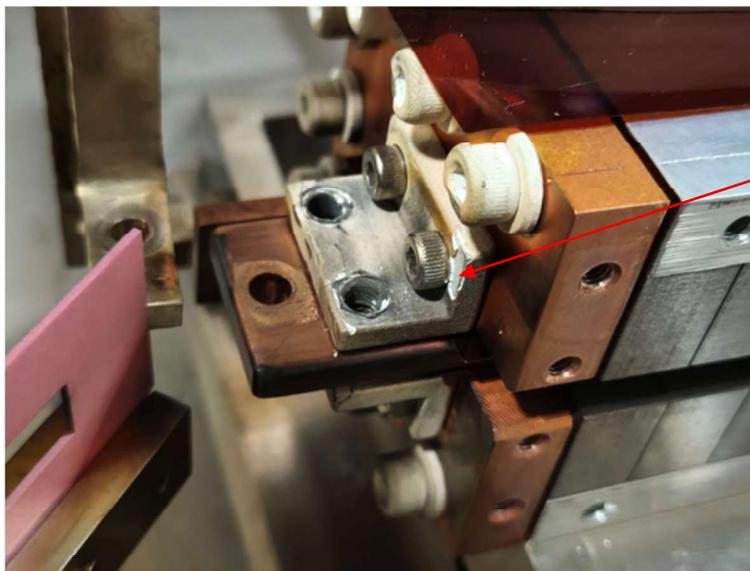
รูปที่ 10 พันฉนวนรอบขดลวดเป็นชั้นเดียว

ใส่ขดลวดด้านในที่พันฉนวนใหม่เรียบริ้วร้อยกลับที่เดิม พร้อมทั้งประกอบบัสบาร์และขดลวดด้านนอกกับฉนวน Kapton ชุดใหม่ (รูปที่ 11-12) แล้วทำการทดสอบ Mega ohm Test อีกครั้ง แต่ที่ค่าแรงดัน 1000 V ค่าความต้านทานก็ยังไม่มากกว่า 4000 M Ω อาจจะมีบริเวณอื่นอีกที่ทำให้ค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้ายังไม่ดีเท่าค่าปกติ



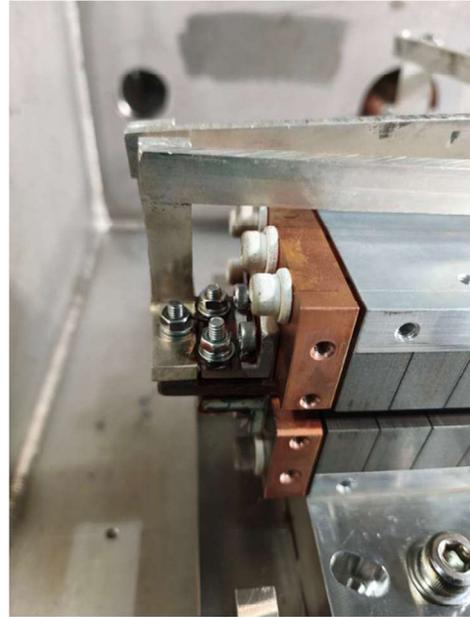
รูปที่ 11-12 ประกอบขดลวดด้านในที่พันฉนวน Kapton ใหม่

สังเกตว่าที่บริเวณฐานยึดขดลวดด้านในกับโพลของแม่เหล็กที่เป็นฉนวนเซรามิกมีร่องรอยการแตกของเซรามิก (รูปที่ 13) อาจเป็นสาเหตุให้ความเป็นฉนวนไม่ดี จึงทำการทดลองเปลี่ยนฐานนี้เป็นอะลูมิเนียมแล้วใช้ปลอกเซรามิกเป็นฉนวนระหว่างรูร้อยน็อตและใช้ Kapton เป็นฉนวนระหว่างขดลวดกับฐานยึดและบัสบาร์



ร่องรอยการแตกของเซรามิก

รูปที่ 13 ฐานยึดระหว่างบัสบาร์และขดลวดด้านใน



รูปที่ 14 ฐานยึดทำจากอะลูมิเนียม

รูปที่ 15 ฐานยึดอันเดิมเสริมด้วยฉนวน Kapton

แต่พบว่ามีปัญหาปลอกเซรามิกที่ใช้แตกได้ง่ายเมื่อถูกชั้นอัดด้วยน้ำร้อนเนื่องจากรูที่เจาะใหม่ไม่ตรงพอดีกับรูเดิมของขดลวด (รูปที่ 14) จึงจำเป็นต้องกลับมาใช้ฐานยึดอันเก่าแล้วเสริมฉนวน Kapton บริเวณที่มีร่องรอยการแตกของเซรามิก รวมถึงบริเวณรูอัดและช่องระหว่างขดลวดกับฐานยึดแทน (รูปที่ 15)

ทดสอบ Mega ohm Test อีกครั้งค่าความเป็นฉนวนที่แรงดัน 1000 V ก็ยังไม่ดีมาก(ประมาณ 2000 M Ω) จึงทดลองแยกทดสอบระหว่างขดลวดด้านในเมื่อไม่มีฐานยึดนี้ ค่าก็จะได้ประมาณ 2000 M Ω ทำการถอดขดลวดด้านในแยกจากบัสบาร์ทั้งสองด้านจากนั้นทดสอบ Mega ohm Test ขดลวดด้านในกับกราวด์ที่แรงดัน 1000 V วัดค่าได้มากกว่า 4000 M Ω (รูปที่ 16) ทดสอบ Mega ohm Test ระหว่างบัสบาร์ต้นทางกับกราวด์ได้มากกว่า 4000 M Ω (รูปที่ 17)



รูปที่ 16 Mega ohm Test ขดลวดด้านในกับกราวด์

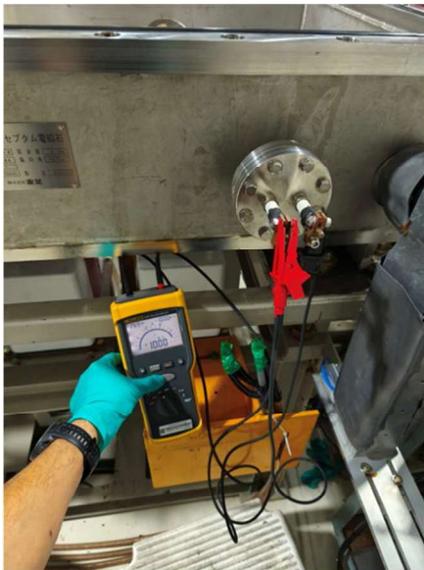
รูปที่ 17 Mega ohm Test บัสบาร์ต้นทางกับกราวด์

แต่เมื่อทดสอบระหว่างบัสบาร์ปลายทางกับกราวด์ที่แรงดัน 1000 V ได้ 2510 MΩ (รูปที่ 18) แสดงให้เห็นว่า ปัญหาอยู่ที่ฉนวนที่กั้นระหว่างบัสบาร์ปลายทางกับขั้วแม่เหล็กเริ่มไม่ค่อยดีเท่าไรไม่ได้เป็นปัญหาที่ความเป็นฉนวนของฐานยึด เมื่อพิจารณาการทำงานของแม่เหล็ก SMD ขณะจ่ายกระแสเต็มที่ 8250A ค่าแรงดันไฟฟ้าจะไม่เกิน 600 V ตอนนี้วัดค่าความเป็นฉนวนที่ 500 V วัดได้มากกว่า 2000 MΩ ดังนั้นกระแสที่จจะรั่วไหลจากขดลวดลงกราวด์จึงมีค่าน้อยมาก แม่เหล็กสามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 18 Mega ohm Test บัสบาร์ปลายทางกับกราวด์

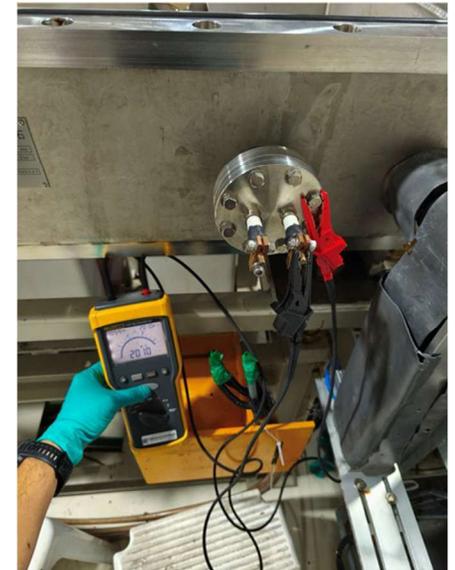
จึงดำเนินการประกอบขดลวดด้านในกับบัสบาร์ทั้งสองด้านและประกอบฐานยึดรวมถึงขดลวดด้านนอกแล้ว ทดสอบMega ohm Test อีกครั้ง ได้ผลตามรูปที่ 19-21



รูปที่ 19 250V >1000 MΩ



รูปที่ 20 500V >2000 MΩ



รูปที่ 21 1000V : 2010 MΩ

ประกบฝาปิด Septum chamber ชั้นทอลคีนี้อดโดยรอบแล้วทำการคืนระบบสุญญากาศของแม่เหล็ก SMD และวงเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม ทดสอบหารอยรั่ว (Vacuum leak test) ทำการวัด Mega ohm Test อีกครั้งหลังภายใน Septum chamber เป็นสุญญากาศพบว่าค่าความป็นฉนวนระหว่างขดลวดแม่เหล็กเทียบกับ กราวด์มีค่าที่ดีขึ้นตามรูปที่ 22-24



รูปที่ 22 250V >1000 MΩ



รูปที่ 23 500V >2000 MΩ



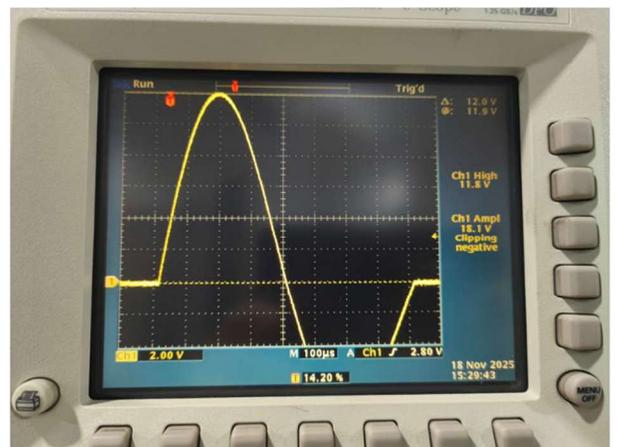
รูปที่ 24 1000V >4000 MΩ

4.3) ทดสอบจ่ายกระแสให้ขดลวดชุดใหม่

เมื่อระบบสุญญากาศของ Septum chamber และวงเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลมอยู่สภาวะใกล้เคียงปกติ อยู่ระหว่าง 10(-7) ถึง 10(-8) torr ทำการต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายกำลังเข้ากับขั้วแม่เหล็กและค่อยๆเพิ่มกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดแม่เหล็กและส่งสัญญาณ Trigger เพื่อให้แม่เหล็กทำงาน ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาพุท



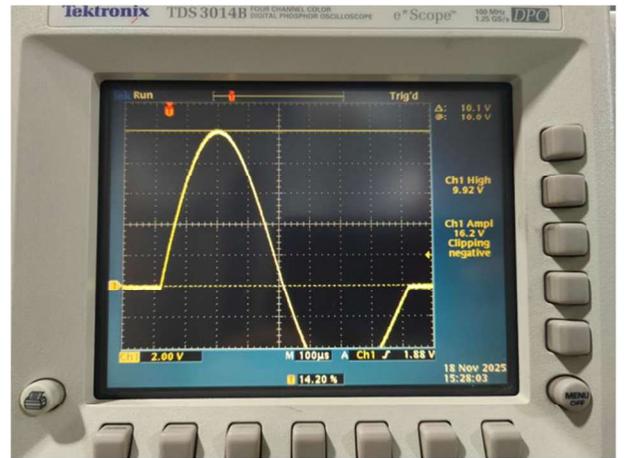
รูปที่ 25 เซ็ตค่ากระแส 5000 A



รูปที่ 26 สัญญาณ Output ที่ 5000 A



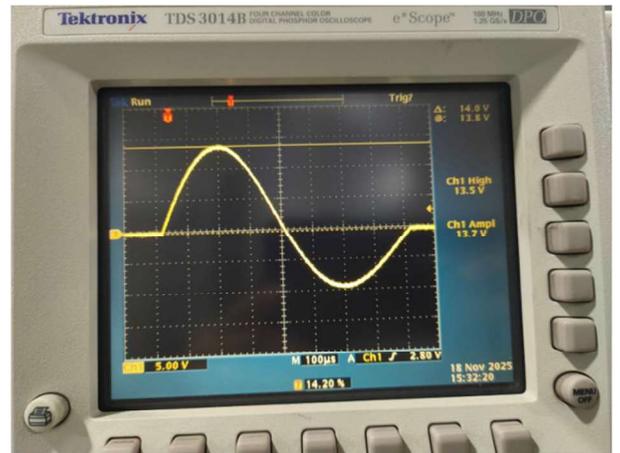
รูปที่ 27 เซ็ตค่ากระแส 6000 A



รูปที่ 28 สัญญาณ Output ที่ 6000 A



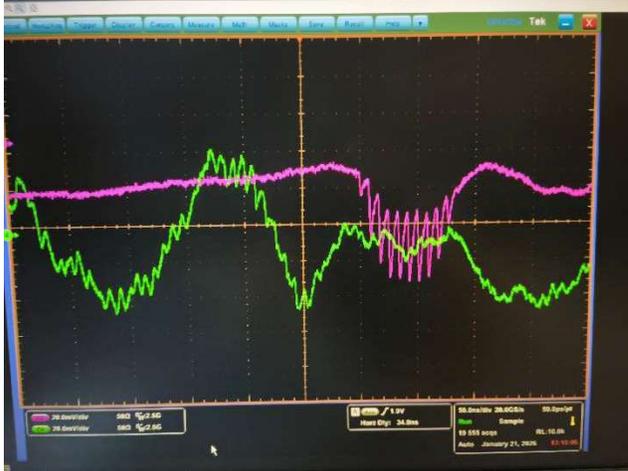
รูปที่ 29 เซ็ตค่ากระแส 6825 A



รูปที่ 30 สัญญาณ Output ที่ 6825 A

5. ผลลัพธ์ และอภิปรายผล

หลังจากเปลี่ยนขดลวดชุดใหม่ของแม่เหล็ก SMD และทดสอบการทำงานเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการ Machine Commissioning โดยมีการใช้งานแม่เหล็ก SMD ในการสกัด" (Extract) ลำอิเล็กตรอนออกมาจากวงเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลมมายัง HBT โดยสังเกตจากสัญญาณ Wall CT1(เส้นสีชมพู) (รูปที่ 30) ว่ามีอิเล็กตรอนออกมาจำนวนถึง 10 Bucket (กลุ่มอิเล็กตรอน) และทำการเติมอิเล็กตรอนเข้าไปยังวงกักเก็บในวงกักเก็บอิเล็กตรอนได้ injection rate ที่ประมาณ 3 mA/min พร้อมสำหรับการให้บริการแสงแก่ผู้ใช้ (รูปที่ 31)



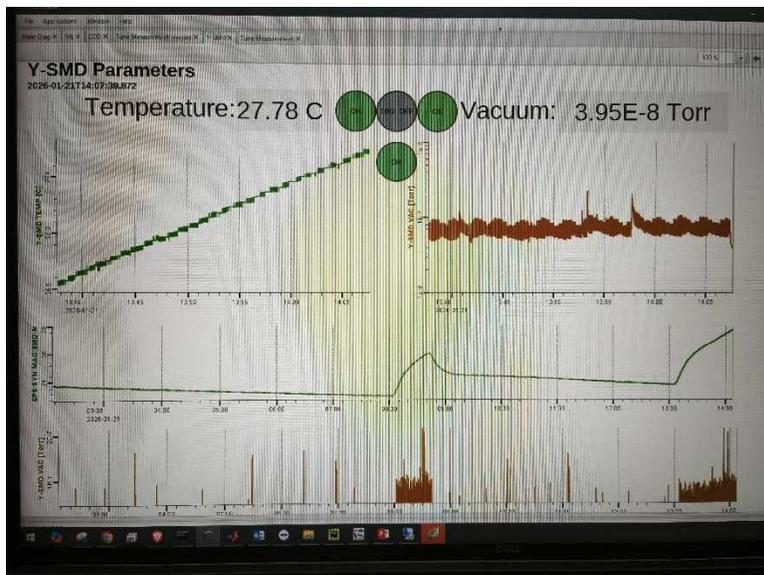
รูปที่ 30 สัญญาณ Wall CT



รูปที่ 31 สามารถ stored beam เพื่อให้บริการแสง

6. สรุปผล

การเปลี่ยนขดลวดชุดใหม่ของแม่เหล็ก SMD นี้เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่ขดลวดแม่เหล็กจะพังเสียหาย เนื่องจากมีการเสริมความแข็งแรงของขดลวดด้วยการเพิ่มความหนาบริเวณที่เคยพังเสียหายไปขึ้น และยังได้มีการปรับปรุงค่าความเป็นฉนวนที่บริเวณต่างๆของขดลวดแม่เหล็กให้มีค่าที่ดีมากกว่าก่อนทำการเปลี่ยนขดลวด ส่งผลให้มีกระแสรั่วไหลจากแม่เหล็กไปยังกราดลดลง ทำให้ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงจากเดิม 6825 A เหลือเพียง 6620 A ส่งผลให้ค่าความร้อนสะสมที่บริเวณแผ่น Septum เมื่อมีการ Injection เป็นเวลานานมีค่าลดลง (รูปที่ 32) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแม่เหล็กและยังเพิ่มความน่าเชื่อถือในการทำงานอีกด้วย



รูปที่ 32 อุณหภูมิและ Vacuum pressure ที่ Y-SMD

7. กลุ่มผู้ใช้ประโยชน์

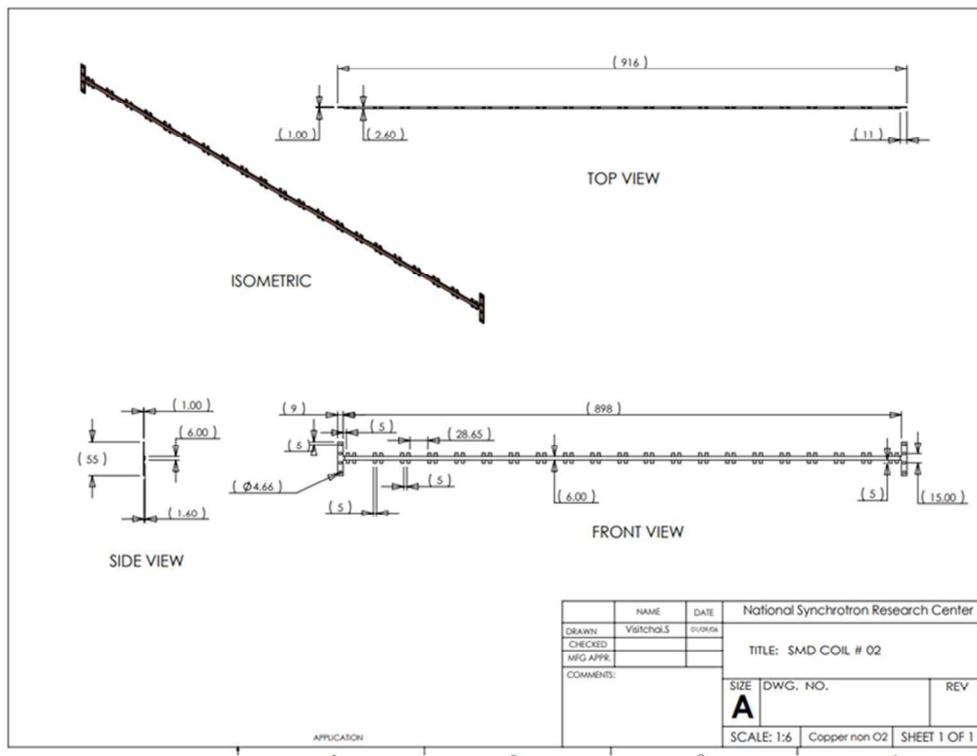
บุคลากร ฝ่ายปฏิบัติการเครื่องกำเนิดแสงสยาม 1

นักฟิสิกส์ วิศวกร ผู้ออกแบบแม่เหล็กแบบช่วงเวลาสั้น (pulsed magnet)

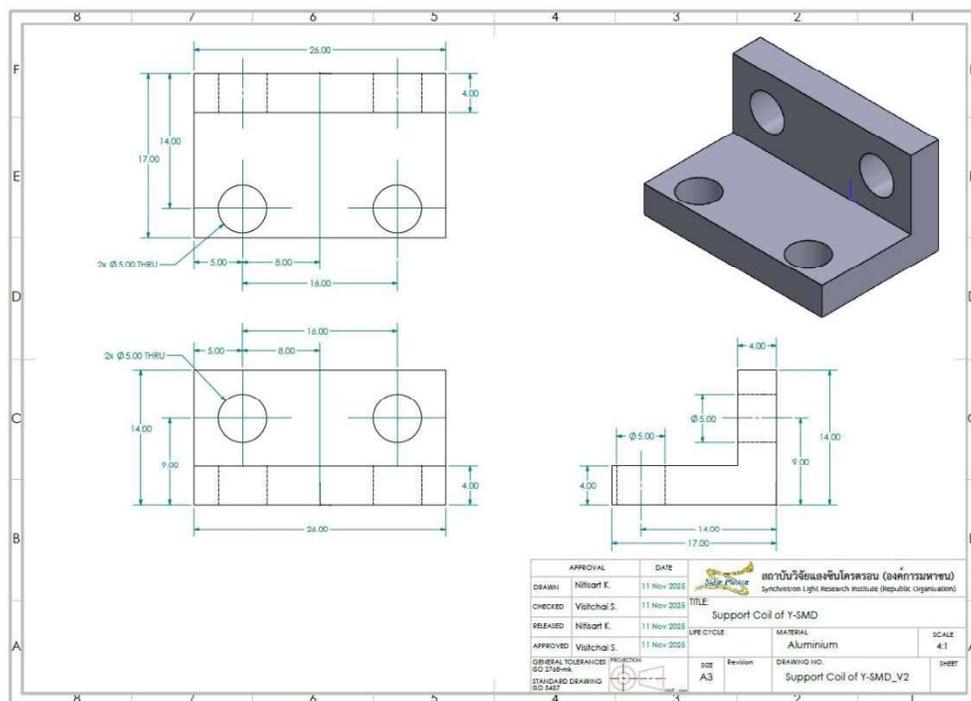
เอกสารอ้างอิง

[1] อภิชัย ขวัญเกษม, สุพรรณ บัญสุยา, ศราวุธ บัวเตียว, วิศิษฐ์ชัย สุขศรีเมือง, สราวุธ ชิดไธสง, ฐาปกรณ์ ภูลำพงษ์, วรณิสา พรหมดี, อภิวัฒน์ ภิญโญยาง, สมเกียรติ วิสัยเพียร, ชวลวิชญ์ สมประสงค์ “การแก้ไขปัญหาชุดแม่เหล็ก Extraction Septum ในเครื่องเร่งอนุภาคนิวทอนวงกลมพลังงานสูง” SLRI-TN-2024-143, พฤษภาคม 2567

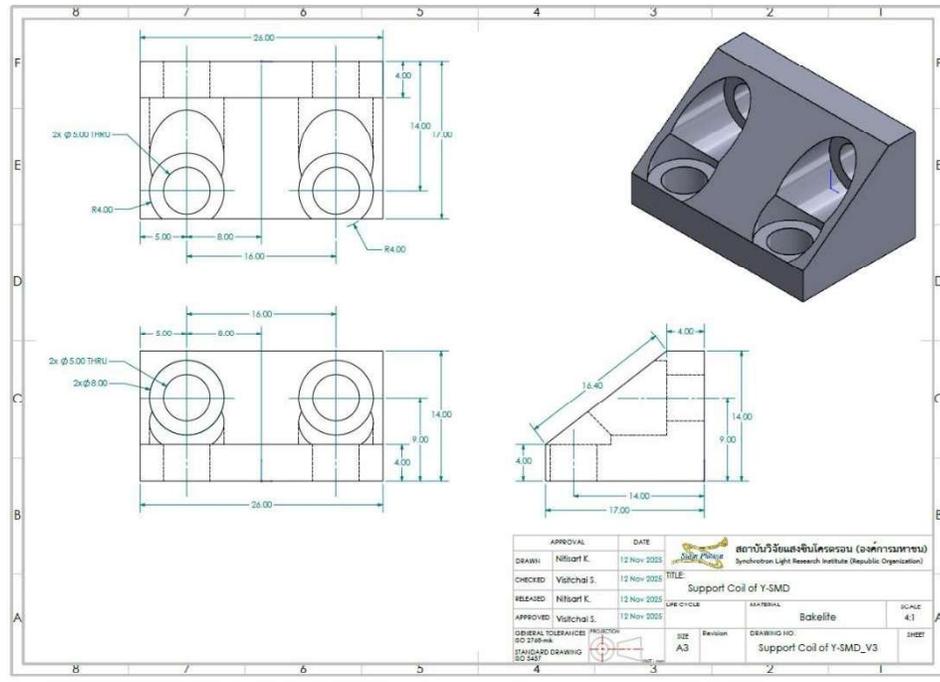
ภาคผนวก (ถ้ามี)



SMD-New Coil Drawing



SMD-AL-Support Drawing



SMD-Bakelite-Support Drawing