



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-2026-091
ชื่อเรื่อง Title	ศึกษาการกระจายของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำของระบบหล่อเย็น โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis)
ชื่อฝ่าย Department	ฝ่ายระบบลำเลียงแสง
วันที่เผยแพร่ Release date	1 เมษายน 2569
ระดับการเปิดเผยข้อมูล Level of Disclosure	☐ ข้อมูลในรายงานเป็นความลับ (Undisclosed) ☐ เปิดเผยข้อมูลเฉพาะภายในฝ่ายหรือส่วนงาน (Information can be disclosed within department/section) ☒ เปิดเผยข้อมูลได้สำหรับพนักงานของสถาบันฯ และอนุญาตให้บันทึกข้อมูลเข้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ Knowledge Management ภายในสถาบันฯ (Information can be disclosed for SLRI staffs and can be part of SLRI's Knowledge Management System) ☒ เปิดเผยข้อมูลได้เพื่อเป็นองค์ความรู้สาธารณะ เช่นเว็บไซต์ของสถาบันฯ (Information is available for public)
คำสำคัญ Keyword	CVD Diamond Filter, Thermal Analysis, Finite Element Analysis (FEA)

รายชื่อผู้จัดทำรายงานหรือผู้ดำเนินโครงการ (Name)	ส่วนร่วมในการปฏิบัติงานในโครงการ Responsible tasks in the project
นางสาวทิพย์อุษา วงศ์พินิจ	การเขียนแบบ, การวิเคราะห์ทางความร้อน และเขียนรายงาน
ดร. ชนรรค์ เอื้อรักสกุล	ออกแบบการทดลอง ปรีกษาประสานกับผู้เชี่ยวชาญ และ ตรวจทานรายงาน
ดร. พัฒน์ โพธิ์ทองคำ	ปรีกษา และตรวจทานรายงาน
ดร. รัชฎาภรณ์ ทรัพย์เรืองเนตร	คำนวณค่าความหนาแน่นกำลัง (power density)
นายวัชรพล เจนปิยพงศ์	การเขียนแบบ

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่องานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงทำให้มีการต่อยอดสู่การออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อยกระดับศักยภาพของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน สู่ระดับพลังงาน 3 GeV ด้วยระดับพลังงานที่สูงขึ้นจาก 1.2 GeV เป็น 3 GeV นักวิจัยและวิศวกรจึงมีความตระหนักถึงความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่รับพลังงานจากแสงซินโครตรอนอาจสร้างความเสียหายแก่เครื่องมือและอุปกรณ์ได้

ดังนั้นจึงทำการศึกษาการกระจายความร้อนของ CVD Diamond Filter สำหรับระบบลำเลียงแสง XMCT Beamline มีแหล่งกำเนิดแสงเป็น Wiggler เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ Total Power ที่สูง CVD Diamond Filter ดูดซับพลังงาน 16.52 W/mm² และ Total Power เท่ากับ 778.36 W โดยการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลความร้อนของ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็น ต่ออุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส และศึกษาผลความร้อนของ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็น ต่ออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ 0.0997, 0.1296 และ 0.1496 kg/s ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) โดยใช้โปรแกรม Ansys ใช้การจำลองแบบ Steady-state Thermal

จากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าอุปกรณ์ CVD Diamond Filter ที่มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ 0.0997, 0.1296 และ 0.1496 kg/s มีอุณหภูมิสูงสุดที่ CVD Diamond เท่ากับ 253.42, 253.06 และ 252.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 26.87, 26.44 และ 26.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ ผลของความร้อนของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter ที่อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเกิดขึ้นสูงที่สุดที่ CVD Diamond เท่ากับ 241.97, 245.13 และ 253.06 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 19.44, 21.44 และ 26.44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

คำสำคัญ Keyword: (CVD Diamond Filter, Thermal Analysis และ Finite Element Analysis (FEA))

1. บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย [1-2]

เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของไทยที่ใช้ในปัจจุบัน คือ เครื่องกำเนิดแสงสยาม (Siam Photon Source) เป็นเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนขนาดพลังงาน 1.2 GeV แสงซินโครตรอนมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่องานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังนั้นทำให้มีการต่อยอดสู่การออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเครื่องที่ 2 มีระดับพลังงาน 3 GeV ซึ่งระดับพลังงานที่สูงขึ้นกว่าเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเครื่องแรก นักวิจัยและวิศวกรจึงมีความตระหนักถึงความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องรับพลังงานจากแสงซินโครตรอนซึ่งอาจจะสร้างความเสียหายแก่เครื่องมือและอุปกรณ์ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่รับพลังงานจากแสงซินโครตรอน ได้แก่ Fixed mask, XY slit, Energy Filter, Photon absorber (PAB), double-crystal monochromator (DCM) และ double-multilayered mirror monochromator (DMM) เป็นต้น โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาความร้อนที่เกิดขึ้นของ Energy Filter ที่ออกแบบเบื้องต้นเพื่อจะติดตั้งที่ส่วนระบบลำเลียงแสงของ XMCT Beamline ซึ่งเป็นอีกหนึ่งสถานีวิจัยที่จะสร้างขึ้นพร้อมกับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนขนาดพลังงาน 3 GeV เป็นระบบลำเลียงแสงที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็น Wiggler ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ Total Power ที่สูง โดย Energy Filter สามารถผลิตจากวัสดุได้หลายชนิด ได้แก่ เบอริลเลียม (Beryllium), กราไฟต์ (Graphite) และ CVD Diamond ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับแสงซินโครตรอนและแปลงเป็นความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกระบายออกด้วยน้ำหล่อเย็น CVD Diamond Filter เป็น Energy Filter สำหรับแสงซินโครตรอนที่มีพลังงานสูง CVD Diamond Filter จึงเป็นวัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็น ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) โดยใช้โปรแกรม Ansys เป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันและสามารถทดสอบซ้ำ ข้อดีคือลดต้นทุนการผลิตแบบจำลองต้นแบบในการศึกษา สะดวกต่อการขึ้นรูปแบบจำลองและช่วยพัฒนาให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางที่ดีขึ้น รายงานวิจัยนี้ เน้นขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปแบบพฤติกรรมทางความร้อนวัสดุที่เหมาะสมกับอุปกรณ์และการออกแบบ ตลอดจนการนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงในด้านการออกแบบเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันเหตุความเสียหายของอุปกรณ์เมื่อได้รับพลังงานสูงจากแสงซินโครตรอน

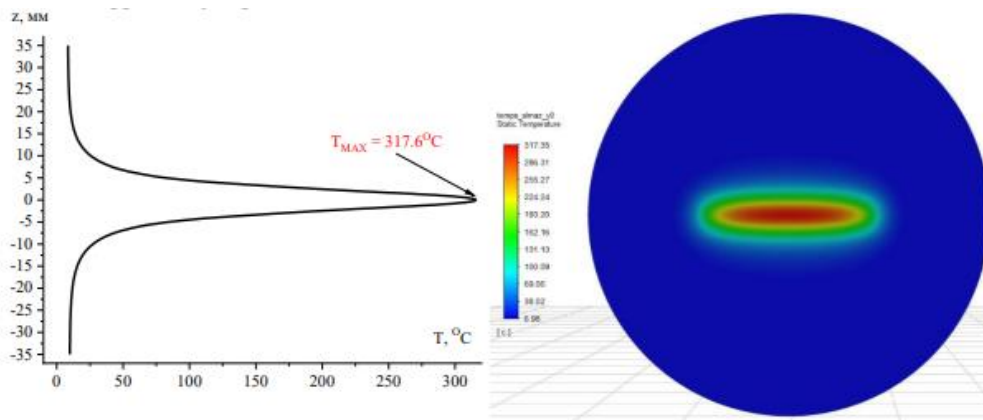
2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ (CVD Diamond Filter) เมื่อรับพลังงานจากแสงซินโครตรอน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ในการตรวจสอบ

2.2 ศึกษาแบบจำลองเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านท่อของอุปกรณ์เมื่อได้รับพลังงานจากแสงซินโครตรอน

3. แนวคิด/ทฤษฎี/หลักการ

การทบทวนวรรณกรรม/งานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง [3-5]



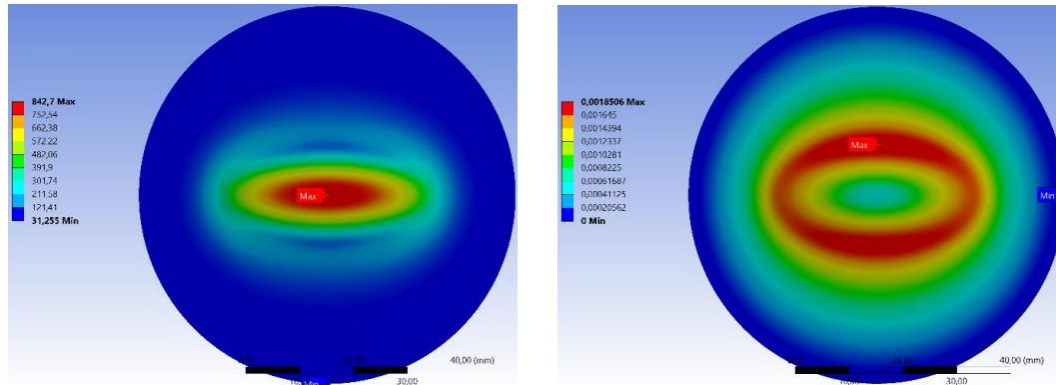
ภาพที่ 1 การกระจายอุณหภูมิ CVD Diamond Filter ที่เกิดจากการโหลดความร้อน 1290 W [3]

(ขนาดลำแสง: 30 x 3 มม., ความหนาของ CVD Diamond: 300 μm)

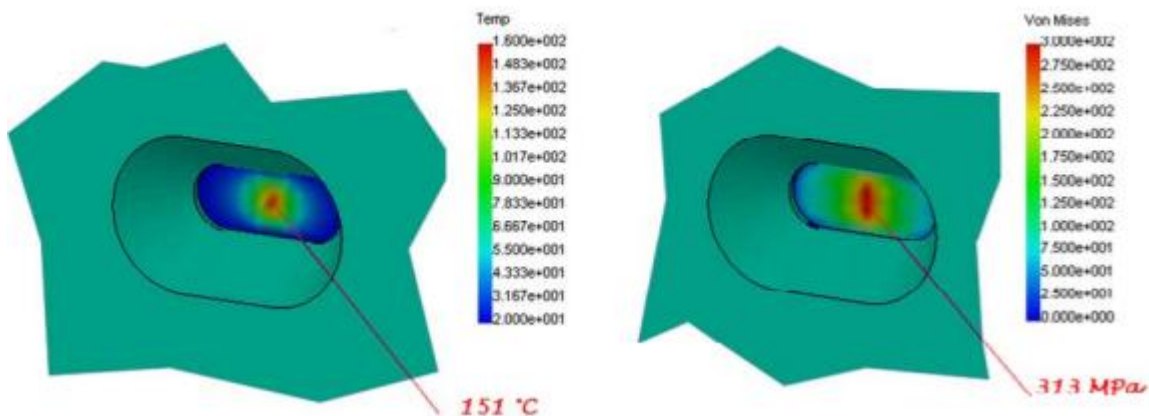
V A Vinokurov, V V Vinokurov, and O A Kabov (2021) ได้ทำการศึกษาการกระจายความร้อนของ Diamond Filter สำหรับ station 1-5 of synchrotron "SKIF" ได้เสนอเวอร์ชันที่มีประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นด้วยน้ำ สำหรับ CVD Diamond Filter โดยใช้วิธีการใช้ช่องเล็กในขอบทองแดง โดยมีพลังงานความร้อนรวม 1290 วัตต์ อิทธิพลของการกำหนดค่าต่างๆ ของระบบระบายความร้อน เงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกัน (thermal insulation, radiation heat exchange), ความดันน้ำที่จ่ายมีผลต่ออุณหภูมิสูงสุดของ CVD Diamond ได้รับการตรวจสอบ อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและคุณสมบัติของ diamond ได้รับการศึกษาแล้วอุณหภูมิสูงสุดบน CVD Diamond พบว่าอยู่ที่ 317.6 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยดูดซับพลังงาน 1290 วัตต์ ซึ่งสอดคล้องกับ โหมดปลอดภัยสำหรับการกำหนดค่าระบบระบายความร้อน อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส คือ 13.1 ลิตร/นาที่

O A Kabov¹, Ya V Zubavichus², K E Cooper³, M V Pukhovoy¹, V V Vinokurov¹, K A Finnikov⁴, F V Ronshin¹, A A Nikitin¹, E F Bykovskaya¹, V A Vinokurov¹ and A S Mungalov (2021) การก่อสร้าง «Siberian Photon Ring Source» หรือ SKIF synchrotron ใน Novosibirsk is underway กำลังดำเนินการอยู่ ในระยะแรก จะมีการสร้างสถานีวิจัย 6 สถานีวิจัย ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่ทำงานในระบบสุญญากาศสูง แสงซินโครตรอนถูกสร้างขึ้นโดย superconducting Wiggler 2 สถานี Total radiation power เท่ากับ 49 kW และ power density เท่ากับ 92 kW/mrad² ความหนาแน่นพลังงานสูงของแสงซินโครตรอนเป็นสภาวะที่ค่อนข้างยากสำหรับการจัดการ ความร้อนของ optical elements ที่ สถานีวิจัย บทความนี้นำเสนอข้อกำหนดเฉพาะสำหรับอุปกรณ์ทำความเย็น พร้อมทั้งภาพรวมของระบบทำความเย็นที่ใช้ ได้เสนอตัวอย่างการคำนวณการกระจายของอุณหภูมิ ความเครียด และ

การยึดตัวใน CVD Diamond Filter ที่มีความหนา 300 ไมครอนโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การกระจายความเค้น (Mpa) และ Total deformation (mm) ในแผ่น CVD Diamond [4]



ภาพที่ 3 การกระจายอุณหภูมิของ Beryllium window [5]

P. Marion, Y. Dabin, P. Theveneau, L. Zhang (2002) ที่ ESRF การติดตั้ง undulators ที่มี small gap (in vacuum undulators, small gap in air undulators) ได้เพิ่มความหนาแน่นของพลังงานแสงซินโครตรอนที่ส่งไปยัง beamlines อย่างมาก: ในช่วงสี่ปีที่ผ่านมา ความหนาแน่นของพลังงานสูงสุดที่ระยะ 27 เมตร จากแหล่งกำเนิดได้เพิ่มขึ้นจาก 230 W/mm² เป็น 400 W/mm² และอาจถึง 720 W/mm² ในอนาคต เอกสารนี้อธิบายถึงการพัฒนางานที่ดำเนินการบนส่วนประกอบของ beamlines บางส่วนเพื่อรับมือกับพลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้:

- New high power (HP) primary slits ได้ถูกออกแบบ ผลิต และทดสอบแล้ว ลักษณะหลักของ HP slits คือ: ขนาดลำแสง: 0 ถึง 4 มม.; ความแม่นยำ: 12 μm ; ความสามารถในการทำซ้ำ: 2 μm ; ความหนาแน่นของพลังงาน: 360 W/mm²; ความยาวรวม: 740 มม.
- กำลังพัฒนา HP attenuators วัตถุประสงค์ของตัวลดทอนคือการดูดซับโฟตอนพลังงานต่ำ เพื่อช่วยลดภาระความร้อนบน optical components ส่วนของ HP attenuators ใช้เป็น CVD Diamond ที่เคลือบด้วยทองคำ ซึ่งควรจะสามารถดูดซับพลังงานได้ 70 W/mm² โดยไม่มีปัญหาความร้อน
- การคาดการณ์อุณหภูมิและความเครียดของ Beryllium window: เมื่อถูกฉายด้วยลำแสงที่เข้มข้นเช่นนี้ Beryllium window จะมีอุณหภูมิถึง 151°C และความเครียด 313 MPa ดังแสดงในภาพที่ 3 ความเครียดทางความร้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ใน Be ต้องการการตรวจสอบเพิ่มเติม

4. วิธีการดำเนินงาน

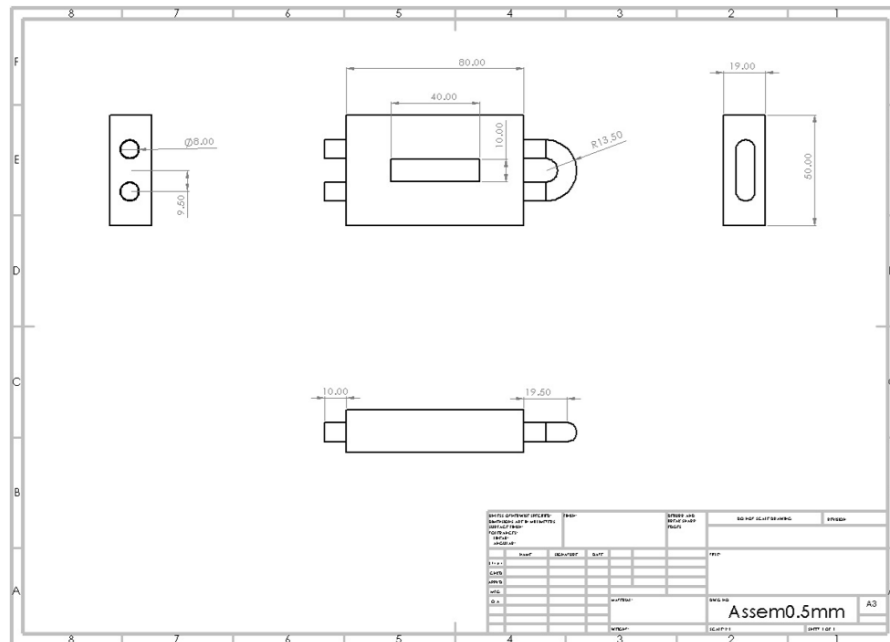
1. ศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. สร้างแบบจำลองของ CVD Diamond Filter และระบบน้ำหล่อเย็นด้วยโปรแกรม SolidWorks 2023
3. กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะทำการศึกษาและออกแบบวิธีการทดลอง ทำการทดลอง เก็บข้อมูลและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) โปรแกรม Ansys ใช้การจำลองแบบ Steady-state Thermal
4. วิเคราะห์ผลการทดลองและปรับปรุงวิธีการทดลอง
5. สรุปผลการทดลอง
6. จัดทำรายงานวิจัย

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองของ CVD Diamond Filter ให้มีลักษณะกล่องสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบหลัก 3 ชิ้น คือ กล่องที่ทำจาก OFHC Cu, ท่อน้ำหล่อเย็น และแผ่น CVD Diamond หนา 500 นาโนเมตร โดยทำการวิเคราะห์ความร้อนที่จะเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็น ขณะที่อุปกรณ์รับพลังงานจากแสงซินโครตรอน โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึง ขั้นตอนการหาค่า Power Density และ Filtered Power สำหรับมาใช้คำนวณหาค่าพลังงานที่ CVD Diamond Filter ดูดซับ (Absorbed Power Density) การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) ของน้ำหล่อเย็น และการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ขนาดเอลิเมนต์ที่ใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench

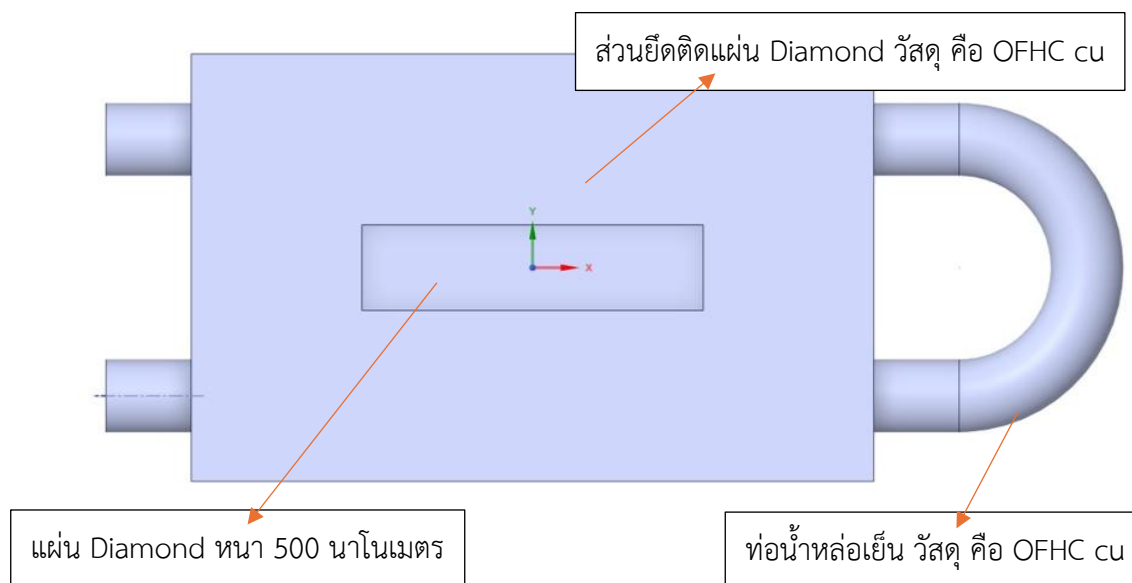
การกำหนดเงื่อนไขเพื่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys การจำลองแบบ Steady-state Thermal

1. การกำหนดขนาดและแบบจำลอง CVD Diamond Filter

ทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน CVD Diamond Filter ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2023 โดยสร้างตามแบบจำลองในรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งมีขนาดดังแสดงในภาพที่ 4 แผ่น CVD Diamond มีขนาด 40x10 มิลลิเมตร หนา 500 ไมโครเมตร และ Body ของ CVD Diamond Filter ขนาด 80x50 มิลลิเมตร หนา 19.0 มิลลิเมตร และท่อน้ำสำหรับหล่อเย็นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 8 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4 แบบจำลองแสดงขนาดของ Diamond Filter



ภาพที่ 5 แบบจำลองวัสดุของ CVD Diamond Filter

2. การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

แบบจำลองของชิ้นงาน CVD Diamond Filter จะประกอบด้วยชิ้นส่วน ประกอบหลัก 3 ชิ้น คือ ก่อ่งที่ทำจาก OFHC Cu, ท่อน้ำหล่อเย็น และแผ่น CVD Diamond ชิ้นส่วนของก่่งที่ยึดแผ่น CVD Diamond และท่อน้ำหล่อเย็นผลิตจากวัสดุ OFHC Cu และ แผ่น CVD Diamond ผลิตจาก Diamond ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะใช้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ในตารางที่ 1 2 และ 3 สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench

ตารางที่ 1 คุณสมบัติวัสดุ Diamond และ OFHC copper [6-8]

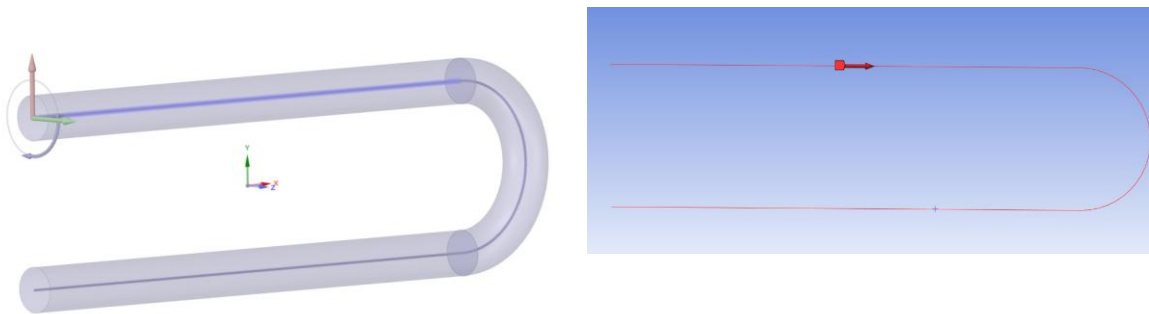
คุณสมบัติของวัสดุ	Diamond	OFHC copper
Density	3.515 g/cm ³	8,900 kg/mm ³
Tensile strength, Ultimate (MPa)	-	394.38
Tensile strength, Yield (MPa)	-	235.00
Modulus of elasticity (GPa)	1050.00	125.00
Poisson's ratio	0.1	0.31
Coefficient of Thermal Expansion (CIE) (°C-1)	10.E-6/K @300K	0.0000177
Thermal Conductivity (W/mk)	แสดงในตารางที่ 2	391.00
Specific Heat capacity (J/KgK)	แสดงในตารางที่ 3	390.00

ตารางที่ 2 ค่า Spedific heat (J/KgK) ของวัสดุ Diamond ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (K)	Spedific heat (J/KgK)
73.15	10
173.15	100
273.15	400
373.15	750
473.15	1100
573.15	1300
673.15	1500
773.15	1600
873.15	1700
973.15	1750
1073.15	1750
1173.15	1750
1273.15	1750

ตารางที่ 3 ค่า Thermal Conductivity (W/mk) ของวัสดุ Diamond ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	Thermal Conductivity (W/mk)
-200	3500
-180	4400
-150	5000
-140	5250
-120	4750
-100	4150
-75	3600
-50	2750
-25	2500
0	2200
100	1750
200	1250
300	1000
400	800
500	700
600	600
700	500
800	450
900	400
1000	350



ภาพที่ 6 แบบจำลองท่อน้ำหล่อเย็นและทิศทางการไหลของน้ำ

3. การกำหนดเงื่อนไขและคุณสมบัติของน้ำในระบบหล่อเย็น

จากการออกแบบ CVD Diamond Filter ให้มีระบบน้ำหล่อเย็นและทิศทางการไหลของน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6 ท่อคือวัสดุ OFHC copper ท่อน้ำสำหรับหล่อเย็นมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 8 มิลลิเมตร และได้ทำการศึกษาอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส เงื่อนไขขอบเขตการพาความร้อนจะถูกนำไปใช้กับแบบจำลองตามเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อระบายความร้อน

3.1 การวัดการไหลเชิงปริมาตร (Volumn flow measurement) คือ กระบวนการวัดปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านท่อหรือช่องทางการไหลใด ๆ ก็ตาม ในหนึ่งหน่วยเวลา พุดง่าย ๆ ก็คือวัดปริมาตรของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากด้วยความเร็วแสดงในสมการที่ 1 โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่า อัตราการไหลของน้ำ (Q) ทั้งหมด 3 ค่า คือ 6, 8 และ 10 ลิตรต่อวินาที

$$Q = v * A \quad (1)$$

ความหมายของตัวแปร

Q = อัตราการไหล (Volumn flow rate), ลิตรต่อวินาที

V = คือความเร็ว (Velocity), เมตรต่อวินาที

A = พื้นที่หน้าตัด (Cross-section area) ($A = \pi r^2$), ตารางเมตร

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกลของน้ำในระบบหล่อเย็น

คุณสมบัติ	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	8 มิลลิเมตร
พื้นที่หน้าตัด (Cross-section area) ($A = \pi r^2$)	0.00005024 m ²
ความหนาแน่นของน้ำ	997.1, kg/m ³ ณ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5 แสดงอัตราการไหลของน้ำสำหรับงานวิจัยนี้

อัตราการไหล (Volumn flow rate) (ลิตรต่อวินาที)	ค่าความเร็วการไหล, (เมตรต่อวินาที)	อัตราการไหลเชิงมวล (Kg/s)
0.1	1.9904	0.0997
0.13	2.5876	0.1296
0.15	2.9857	0.1496

การวัดการไหลเชิงมวล (Mass flow measurement) คือ การวัดมวลของของไหลที่ไหลผ่านเครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่องในหนึ่งช่วงเวลา การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) แสดงในสมการที่ 2 สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)} = \sigma VA \quad (2)$$

σ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (997.1, kg/m³) ณ 25 องศาเซลเซียส

V คือ ความเร็วของของน้ำ, เมตรต่อวินาที (2.6539, m/s)

A คือ พื้นที่ของหน้าตัดที่ของเหลวไหลผ่าน, ตารางเมตร (0.00005024, m²)

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)} = 997.1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 2.6539 \text{ (m/s)} \times 0.00005024 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)} = 0.1296 \text{ Kg/s}$$

ซึ่งค่าอัตราการไหลเชิงมวลในตารางที่ 5 จะเป็นค่าเงื่อนไขในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) โดยใช้โปรแกรม Ansys

3..2 การหาค่าคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำ [9-13]

การหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (Convection Coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (h) คือ ค่าที่แสดงถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของวัตถุกับของไหลที่ไหลผ่านพื้นผิวนั้น โดยหน่วยวัดเป็น วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน (W/m²K) ทางผู้วิจัยจึงทำการหาค่า ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (h) ของน้ำที่ อุณหภูมิ 18 20 และ 25 องศาเซลเซียส

$$\text{สูตร } Nu = (h * D) / k \quad \text{คือสูตรสำหรับจำนวน Nusselt (Nusselt Number)} \quad (3)$$

$$h = (Nu*k)/D \quad \text{คือสูตรสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (h)} \quad (4)$$

โดยที่:

Nu คือ จำนวน Nusselt

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน (W/m²K)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

k คือ ค่าการนำความร้อนของของไหล (W/mK)

จำนวน Nusselt (Nusselt Number, Nu) เป็นจำนวนไม่มีมิติที่ใช้ในการอธิบายการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของวัตถุกับของไหลที่ไหลผ่านพื้นผิวนั้นจำนวน Nusselt ถูกกำหนดเป็นอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction) ต่อการถ่ายเทความร้อนโดยการกระจายความร้อน (Convection)

$$Nu = (\text{การถ่ายเทความร้อนโดยการกระจายความร้อน}) / (\text{การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน})$$

หรือสามารถใช้สูตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับจำนวน Nusselt เช่น:

$$\text{สูตรของ Dittus-Boelter: } Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.3} \quad (5)$$

โดยที่:

Re คือ จำนวนเรย์นอลด์ (Reynolds Number)

Pr คือ จำนวน Prandtl (Prandtl Number)

การหาค่า Re (จำนวนเรย์นอลด์) สามารถทำได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$Re = (\rho * v * D) / \mu \quad (6)$$

โดยที่:

Re คือ จำนวนเรย์นอลด์ (Reynolds Number)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)

v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

μ คือ ค่าความหนืดของของไหล (Pa·s)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส

°C	k W/mk	Cp (J/(kg·K))	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	Re	Pr	Nu	H (W/m ² K)
18	0.590	4183.4	998.66	1.056E-3	20079.12	7.49	123.72	9124.69
20	0.599	4182.0	998.3	1E-3	21195.91	6.98	126.25	9453.06
25	0.612	4180.0	997.1	0.89E-3	23787.00	6.08	132.27	10118.59

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า การไหลมีค่า $Re > 2300$ ดังนั้นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent Flow) การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์เป็นการไหลที่มีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และมีการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ การหาค่า Nu จึงใช้สูตรของ Dittus-Boelter ดังแสดงในสมการที่ 5

ค่า Pr (จำนวน Prandtl) เป็นปริมาณไร้มิติ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของของไหลในการส่งผ่านโมเมนตัมในของไหลเมื่อเทียบกับการส่งผ่านความร้อนในของไหล สูตรที่ใช้ในทางวิศวกรรมของ Pr (จำนวน Prandtl) สามารถทำได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$Pr = (\mu * Cp) / k \quad (7)$$

โดยที่:

Pr คือ จำนวน Prandtl (Prandtl Number)

μ คือ ค่าความหนืดของของไหล (Pa·s)

Cp คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล (J/kg·K)

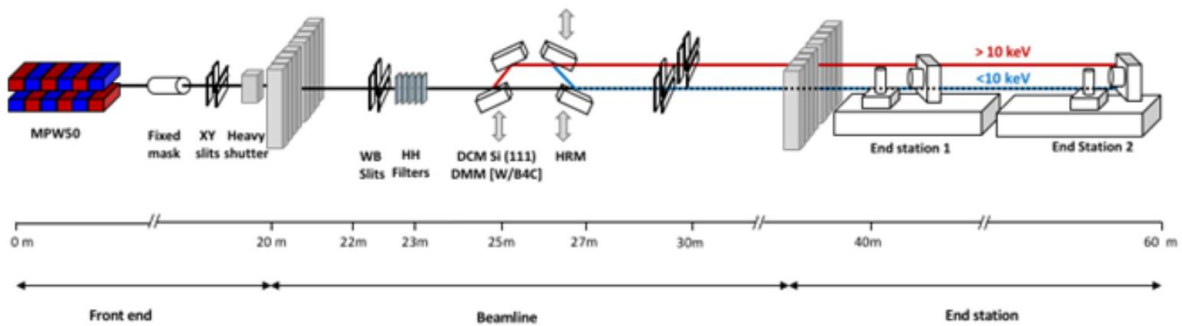
k คือ ค่าการนำความร้อนของของไหล (W/m·K)

ดังนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทได้ดีใน Liquid metals เนื่องจากมีค่า Pr น้อยกว่า 1 และถ่ายเทได้ช้าในน้ำมันเนื่องจากมีค่า Pr มากกว่า

ตารางที่ 7 ช่วงค่าของ Prandtl numbers (Pr) สำหรับของไหลทั่วไป

Fluid	Prandtl numbers (Pr)
Liquid metals	0.004-0.030
Gases	0.7-1.0
Water	1.7-13.7
Light organic fluids	5-50
Oils	50-100,000
Glycerin	2000-100,000

4. การกำหนดเงื่อนไขของความร้อน (Absorbed heat flux) บนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter



(https://slri365.sharepoint.com/:w:/r/sites/SPS-IIBeamlines/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7BEDCCF2C5-9D64-44E6-9784-25EB21AFB3D6%7D&file=SPSII_BL_DDR2024_Ch08_XMCT.docx&action=default&mobiledirect=true)

ภาพที่ 7 แผนผังส่วนประกอบหลักของระบบของระบบลำเลียงแสง XMCT

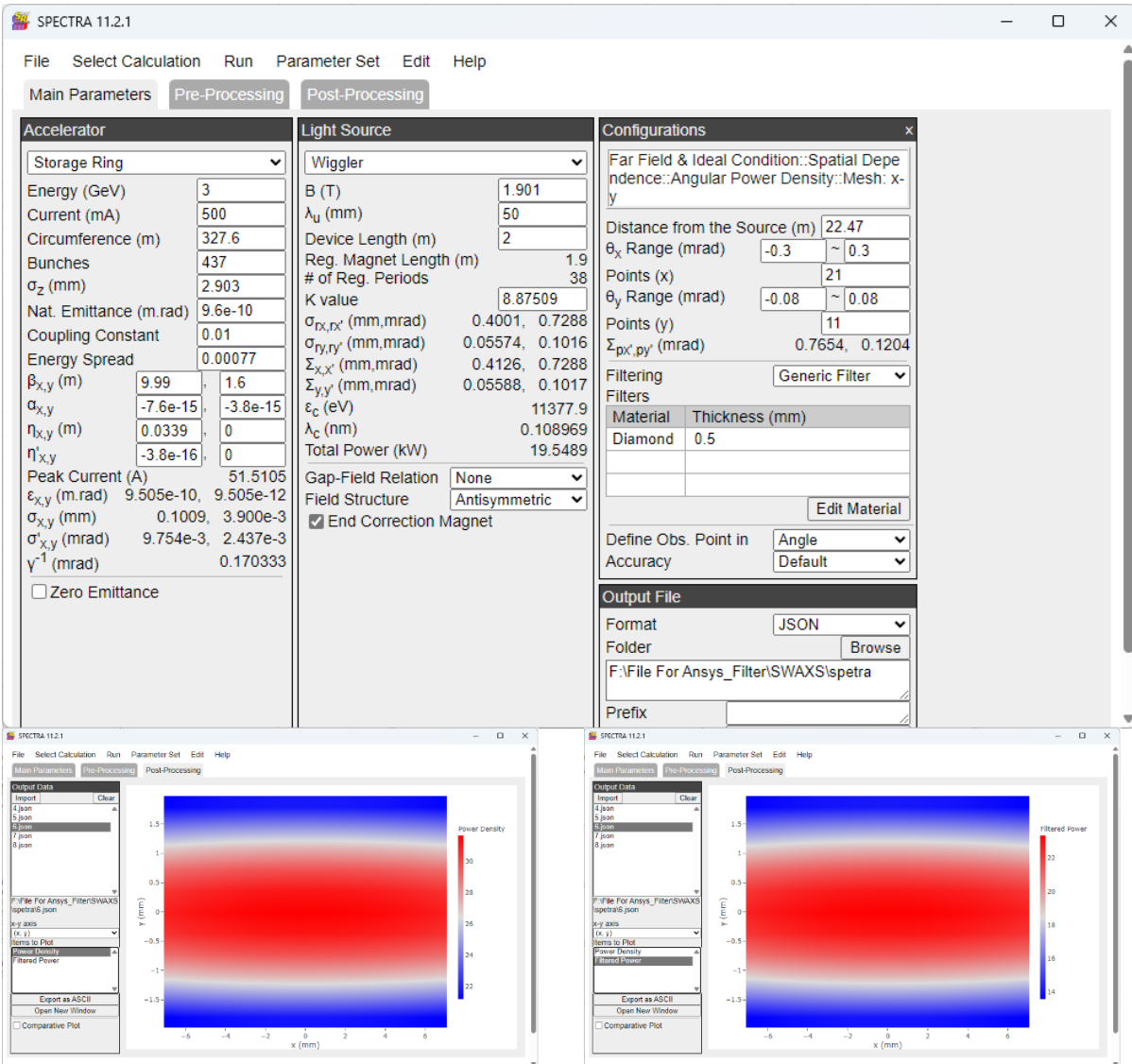
งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการทางความร้อนของ CVD Diamond Filter และ น้ำหล่อเย็น พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากวงแหวนเก็บประจุ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงเป็น Wiggler พารามิเตอร์ระบุไว้ในตารางที่ 8 สำหรับกรณีที่เราเร็วที่สุด คือมี Maximum beam current 500 mA เมื่อทั้งพลังงานรวมและความหนาแน่นของพลังงานจากแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในระดับสูงสุด

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์สำหรับวงแหวนเก็บประจุ (Storage ring) และ แหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (Wiggler)

Storage ring	
Energy (GeV)	3.0
Maximum beam current (mA)	500
Circumference (m)	327.6
Wiggler	
Magnetic field (T), B	1.901
Device Length (m)	2
λ_u (mm)	50

นำพารามิเตอร์สำหรับวงแหวนเก็บประจุ (Storage ring), พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (Wiggler), ระยะห่างของอุปกรณ์ (CVD Diamond Filter) และแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (Wiggler) 22.74 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 7 และ ช่องเปิดแสง (Beam size) 13.48×3.6 มิลลิเมตร (horizontal $\times$ vertical) ซึ่งเป็น

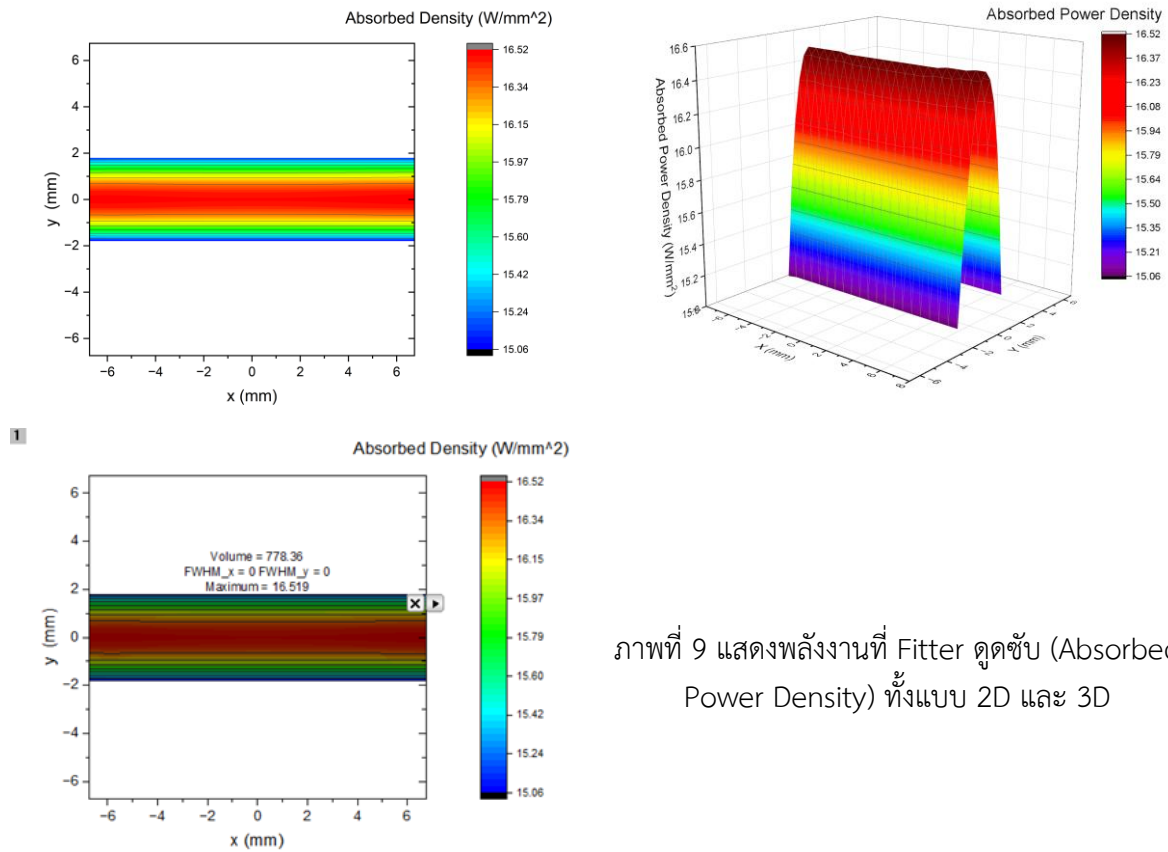
ขนาดช่องเปิดที่พลังงานไปตกบนกระจกไม่เกิน 100 W หาค่า Power Density และ Filtered Power ด้วยโปรแกรม SPECTRA 11.2.1 ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการหาค่า Power Density และ Filtered Power

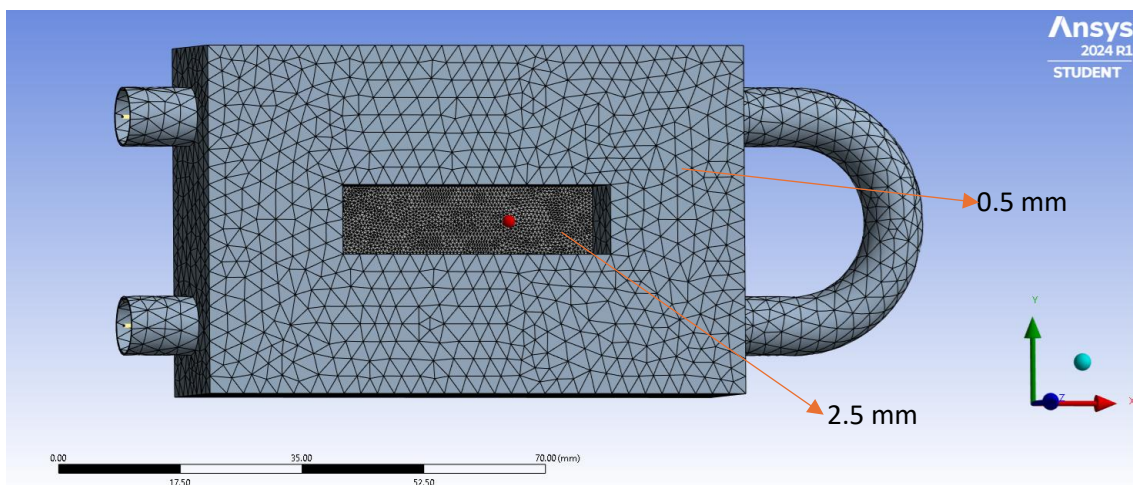
หาค่าพลังงานที่ CVD Diamond Filter ดูดซับ (Absorbed Power Density) ได้จากสมการที่ (8) ค่าพลังงานที่ CVD Diamond Fitter ดูดซับ สำหรับงานวิจัยนี้ ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยค่า Absorbed Power Density สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 16.52 W/mm² และค่า Total Power เท่ากับ 778.36 W

$$\text{Absorbed Power Density} = \text{Power Density} - \text{Filtered Power} \quad (8)$$



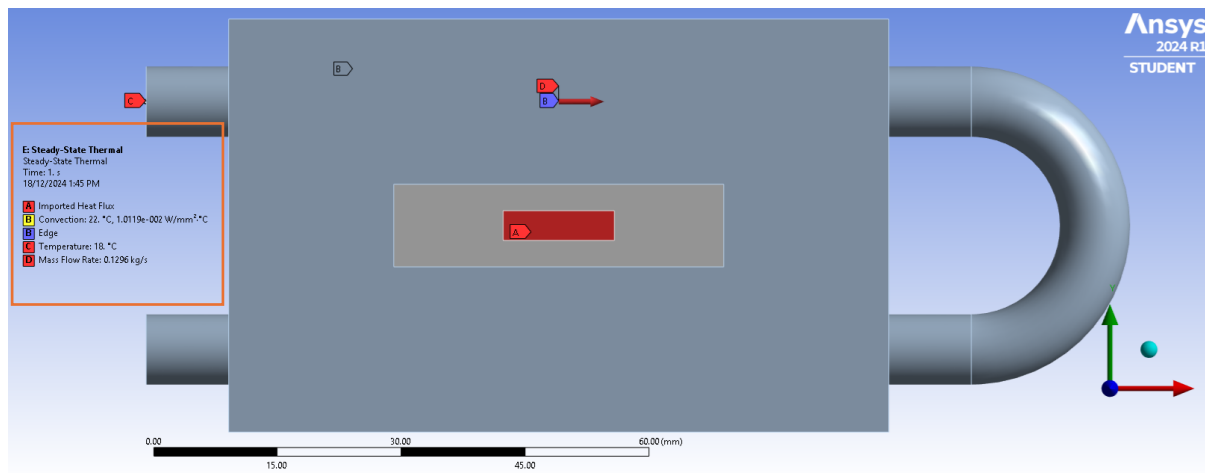
ภาพที่ 9 แสดงพลังงานที่ Fitter ดูดซับ (Absorbed Power Density) ทั้งแบบ 2D และ 3D

5. การกำหนดขนาดของเอลิเมนต์



ภาพที่ 10 ขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

กำหนดเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys โดยให้บริเวณ CVD Diamond Filter คือส่วนที่ได้รับความร้อนสูงที่สุดให้มีความละเอียดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ส่วนของกล่องยึดแผ่น CVD Diamond และ ท่อน้ำหล่อเย็นกำหนดให้มีเอลิเมนต์ขนาดเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร (ขนาดของเอลิเมนต์ปรับให้ละเอียดกว่านี้ไม่ได้ เนื่องจาก ใบอนุญาตผลิตภัณฑ์ Ansys 2024R1 STUDENT มีข้อจำกัดขนาด) แสดงในภาพที่ 10 และตัวอย่างของ เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในภาพที่ 11



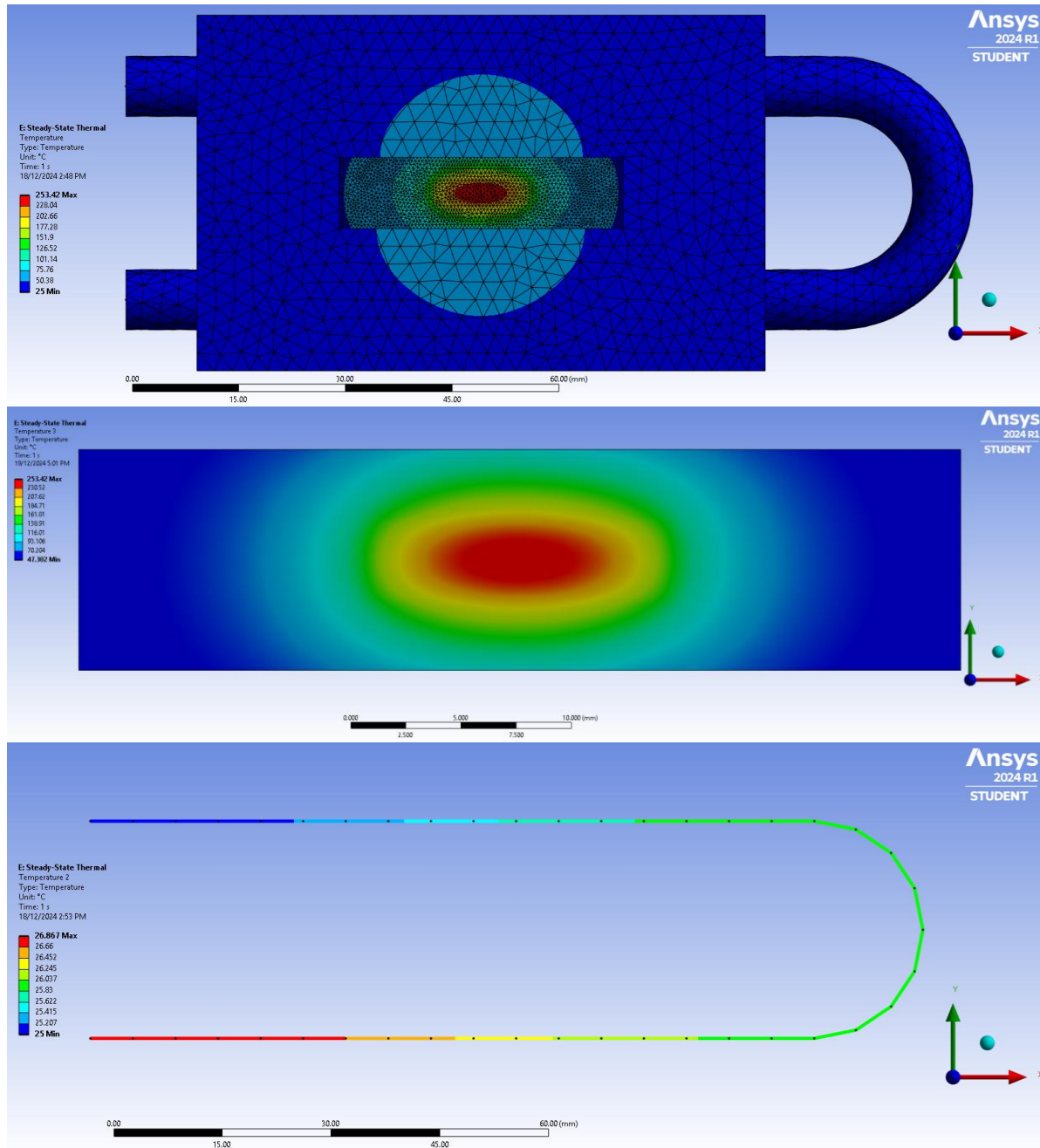
ภาพที่ 11 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์

5. ผลลัพธ์ และอภิปรายผล

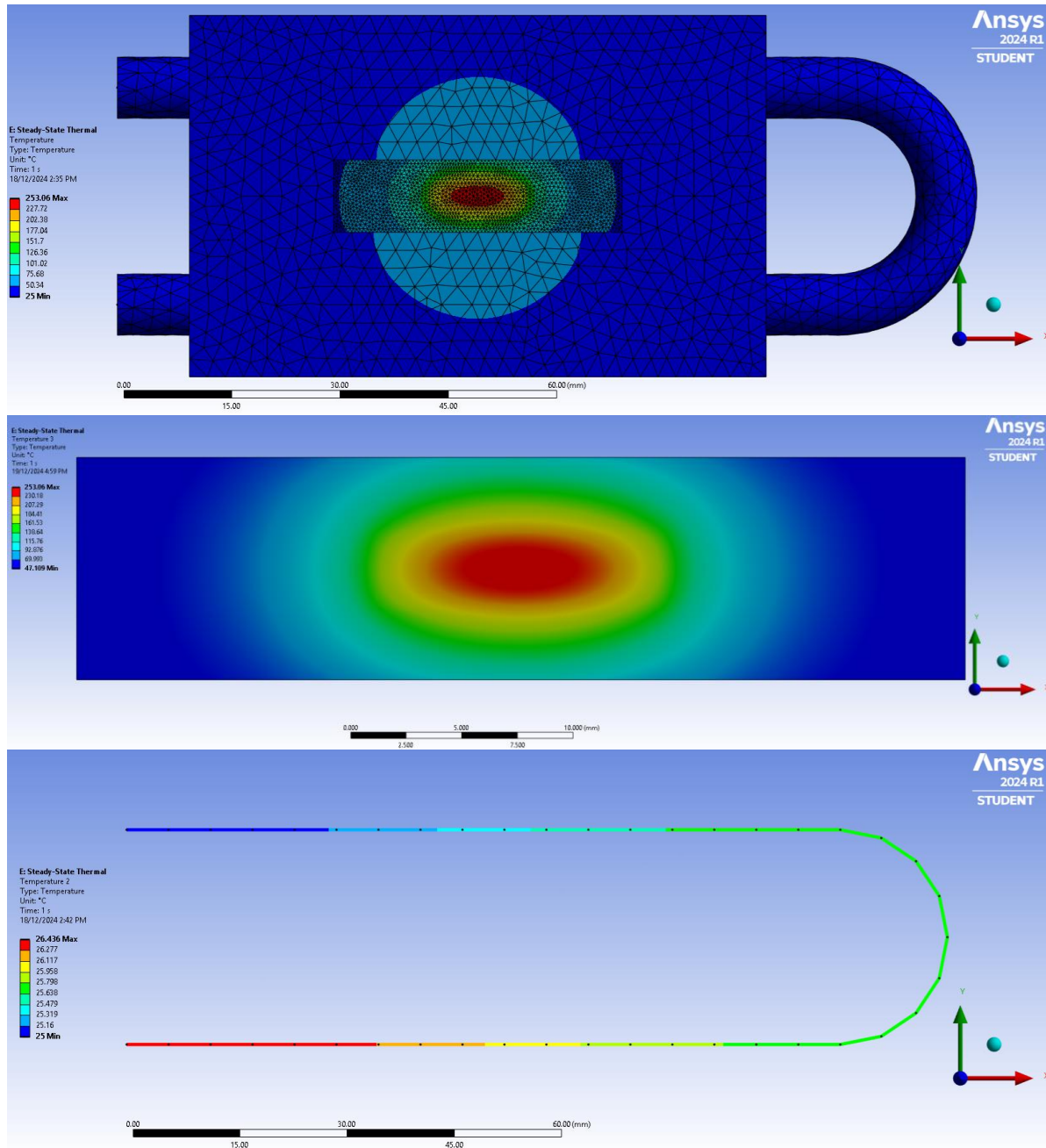
ผลความร้อนของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter สำหรับการวิจัยนี้เป็นการนำเสนอถึงผลความร้อนที่ได้จากการจำลอง Absorbed Power Density จากข้อมูลของระบบลำเลียงแสง XMCT และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น โดยทำการศึกษาอัตราการไหลของน้ำที่ 6, 8 และ 10 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และทำการศึกษาอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลของน้ำที่จะใช้สำหรับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) โดยใช้โปรแกรม Ansys ได้ทำการสรุปผลของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็น ดังแสดงในตารางที่ 9 และแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อหน้าของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter ดังแสดงต่อไปนี้ ภาพที่ 12-14 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อหน้าของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นของการศึกษาอัตราการไหลของน้ำที่ 6, 8 และ 10 ลิตรต่อนาที ที่ 25 องศาเซลเซียส และภาพที่ 15-16 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อหน้าของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นของการศึกษาอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ 18 และ 20 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 9 สรุปผลของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดบนอุปกรณ์ CVD Diamond และน้ำหล่อเย็น

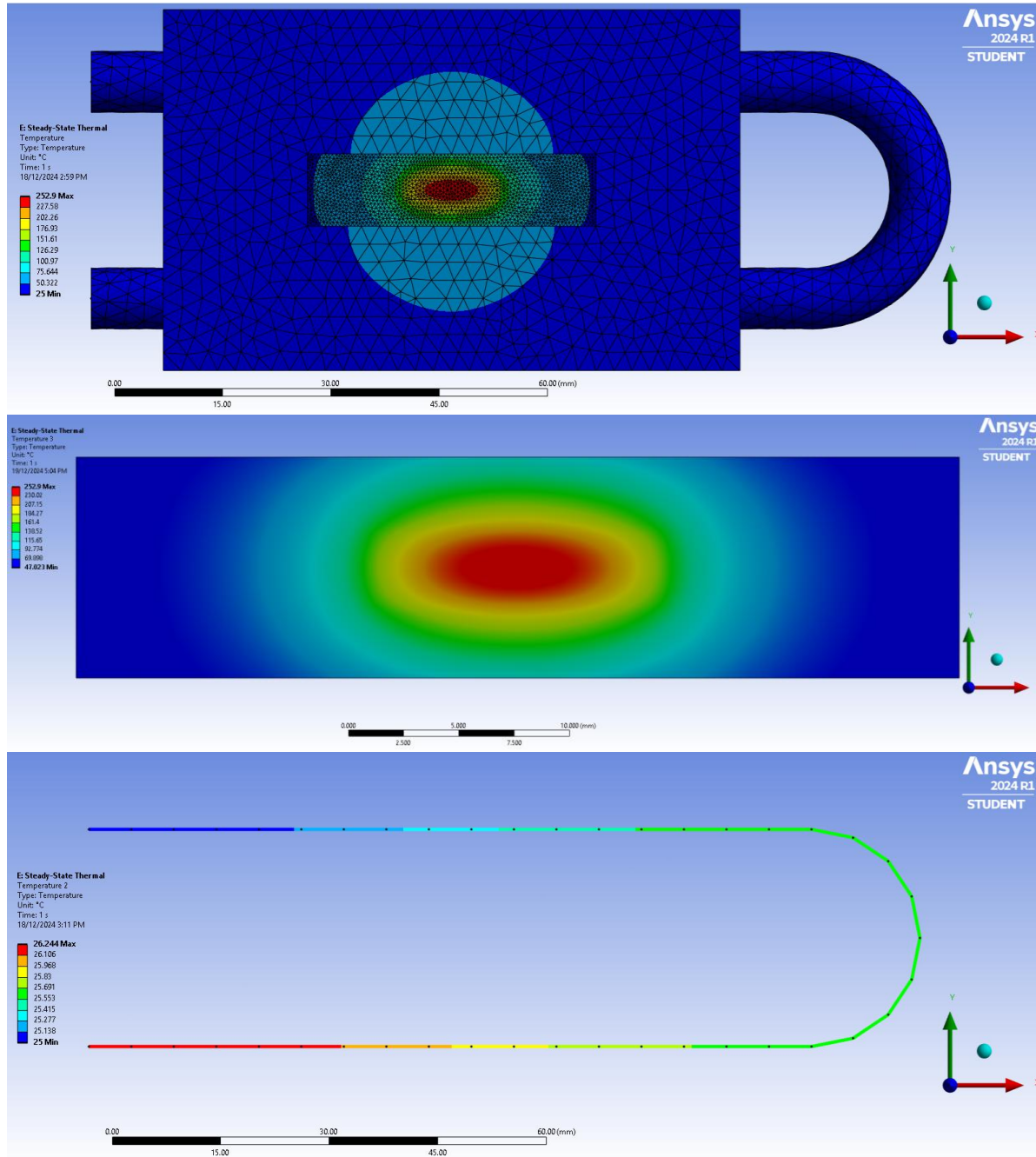
เงื่อนไขการทดลอง		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
		CVD Diamond		น้ำหล่อเย็น	
		อุณหภูมิสูงสุด (Max)	อุณหภูมิต่ำสุด (Min)	อุณหภูมิสูงสุด (Max)	อุณหภูมิต่ำสุด (Min)
อัตราการไหล ที่น้ำหล่อเย็น 25 °C	0.0997 kg/s	253.42	47.30	26.87	25.00
	0.1296 kg/s	253.06	47.11	26.44	25.00
	0.1496 kg/s	252.90	47.02	26.24	25.00
อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ที่อัตราการไหล 0.1296 kg/s	18 °C	241.97	40.15	19.44	18.00
	20 °C	245.13	42.14	21.44	20.00
	25 °C	253.06	47.11	26.44	25.00



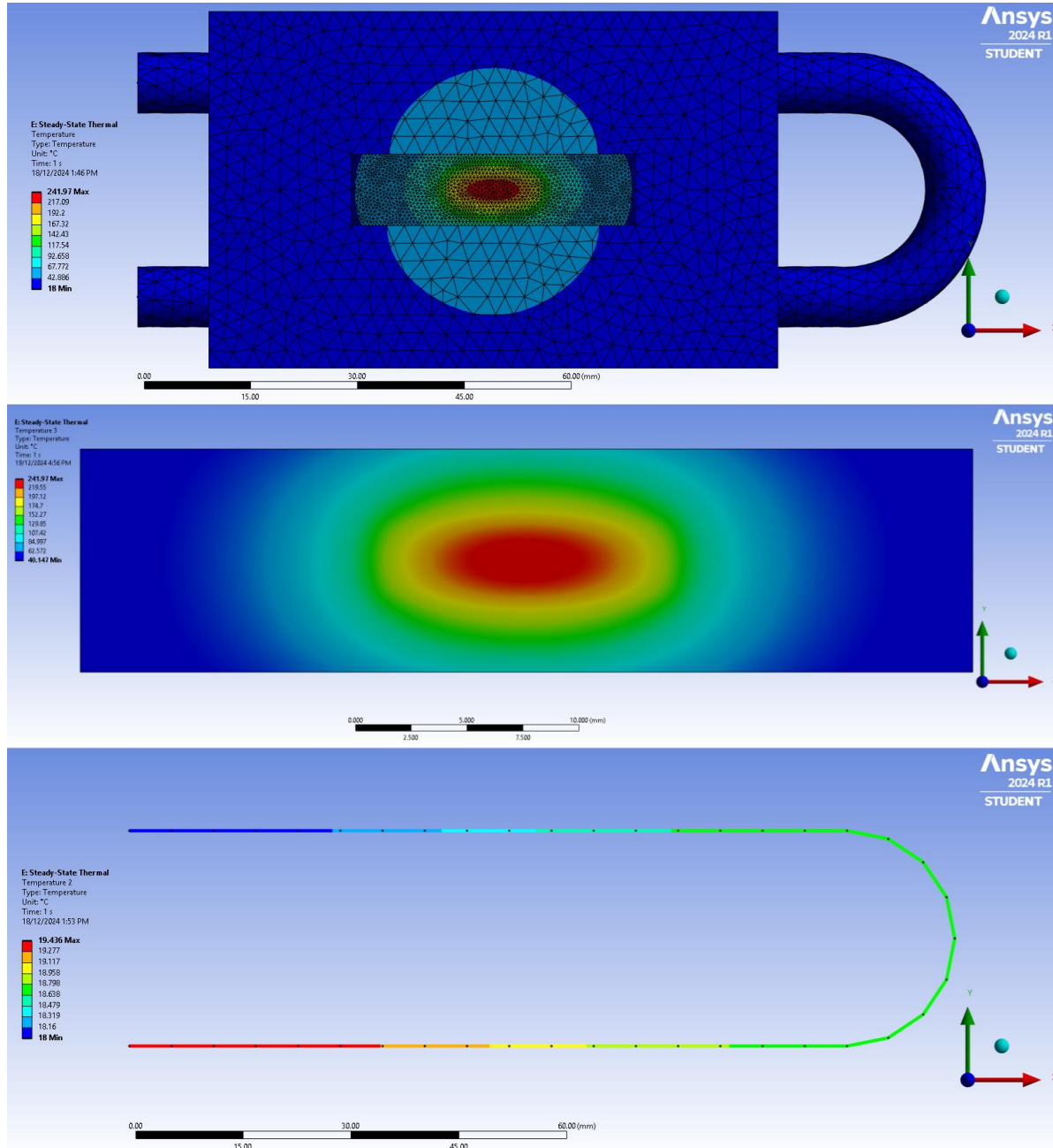
ภาพที่ 12 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นที่ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 6 ลิตรต่อนาที (0.0997 kg/s)



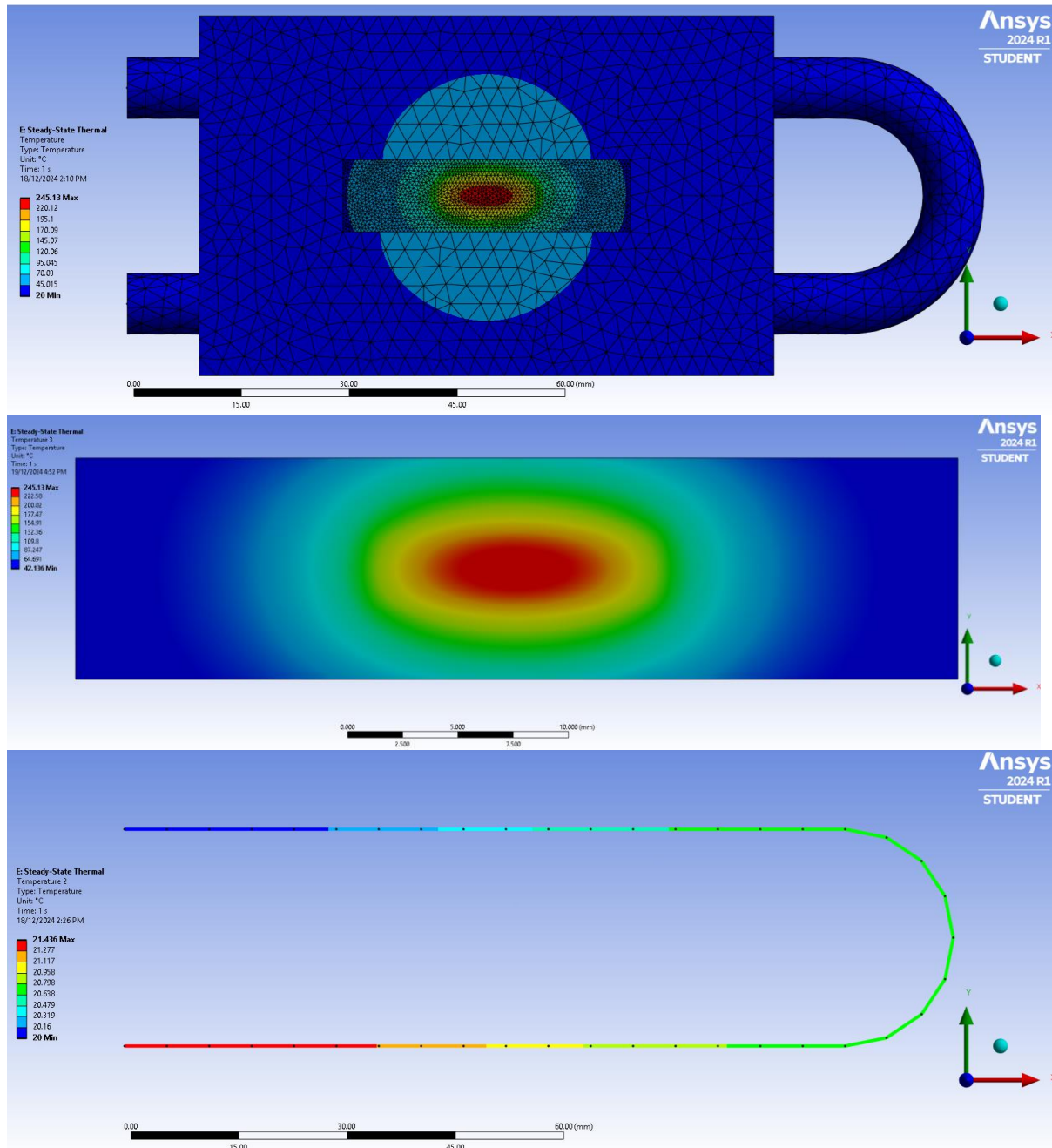
ภาพที่ 13 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นที่ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที (0.1296 kg/s)



ภาพที่ 14 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นที่ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 10 ลิตรต่อนาที (0.1496 kg/s)



ภาพที่ 15 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นที่ 18 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที (0.1296 kg/s)



ภาพที่ 16 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนอุปกรณ์ CVD Diamond Filter และน้ำหล่อเย็นที่ 20 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที (0.1296 kg/s)

6. สรุปผล

ผลการวิจัยโดยสรุปและข้อเสนอแนะในการดำเนินการทำวิจัยต่อไป ผลสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะแนวทางในการวิจัยเกี่ยวกับความร้อนของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิจัยนี้เป็นการจำลองกระบวนการทางความร้อนของ CVD Diamond Filter และ น้ำหล่อเย็น โดยศึกษาความสัมพันธ์ของความร้อนต่ออัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น

1. ผลของความร้อนต่ออัตราการไหล ทำการศึกษาอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ 0.0997, 0.1296 และ 0.1496 kg/s อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น 25 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ 0.0997, 0.1296 และ 0.1496 kg/s มีอุณหภูมิสูงสุดที่ CVD Diamond เท่ากับ 253.42, 253.06 และ 252.90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 26.87, 26.44 และ 26.24 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2. ผลของความร้อนต่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ทำการศึกษาที่อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.1296 kg/s จากการตรวจสอบความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของอุปกรณ์ CVD Diamond Filter อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ 18, 20 และ 25 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 241.97, 245.13 และ 253.06 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 19.44, 21.44 และ 26.44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

อาจมีการนำคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้จริงมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยการขอข้อมูลจากบริษัทจะซื้อ CVD Diamond เพื่อให้ได้ข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

7. กลุ่มผู้ใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อหลายกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ วิเคราะห์ และใช้งานระบบแสงซินโครตรอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วิศวกร นักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ในสถาบันซินโครตรอน
 - สามารถนำผลการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์ที่ต้องรับภาระความร้อนสูง รวมถึงการออกแบบระบบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
 - สามารถใช้ข้อมูลเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์ในบีมไลน์ เช่น CVD Diamond Filter เพื่อลดความเสียหายจากความร้อน และเพิ่มความเสถียรในการทดลอง
2. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในระบบลำแสงแสง (Beamline Operator)
 - สามารถนำผลการศึกษาไปใช้กำหนดเงื่อนไขการใช้งาน เช่น อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์

3. ภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุและระบบที่ต้องรับพลังงานสูง
เช่น อุตสาหกรรมวัสดุขั้นสูง หรือระบบเลเซอร์กำลังสูง สามารถนำแนวทางการวิเคราะห์และการจัดการ
ความร้อนไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการออกแบบอุปกรณ์
4. นักศึกษาและผู้ศึกษาด้านวิศวกรรม
สามารถใช้เป็นกรณีศึกษาในการเรียนรู้การวิเคราะห์ความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการประยุกต์ใช้
โปรแกรมจำลองทางวิศวกรรม

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบหล่อเย็นและการเลือกใช้วัสดุสำหรับอุปกรณ์ที่ต้อง
รับพลังงานสูง เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและลดความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความร้อนในระบบซินโครตรอนและ
ระบบที่เกี่ยวข้อง

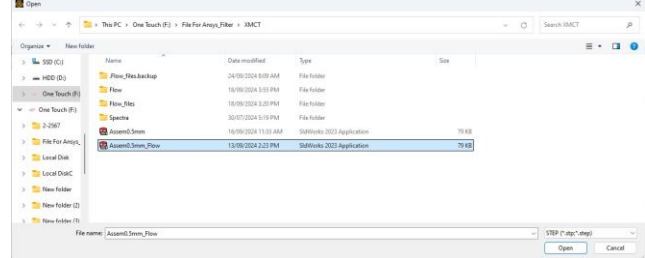
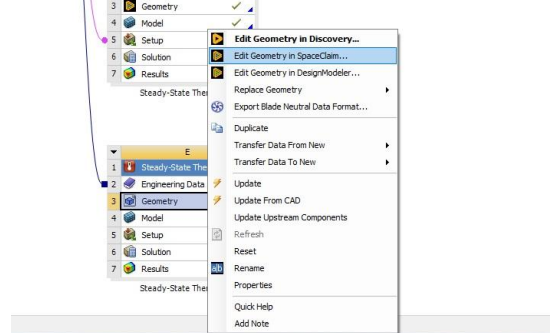
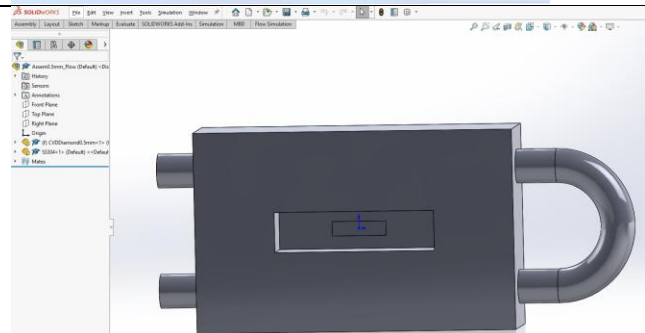
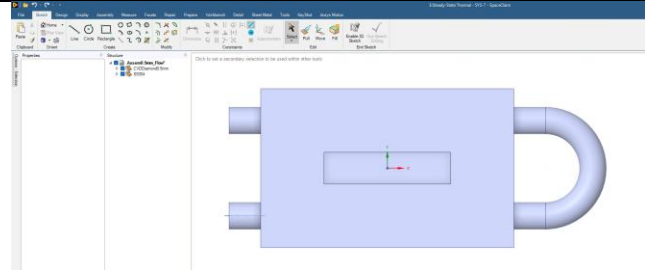
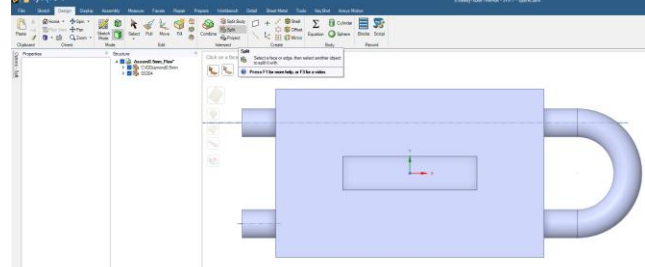
เอกสารอ้างอิง

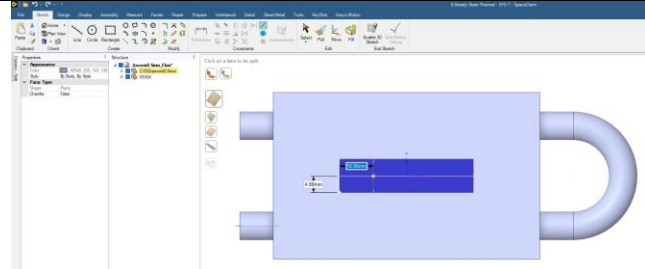
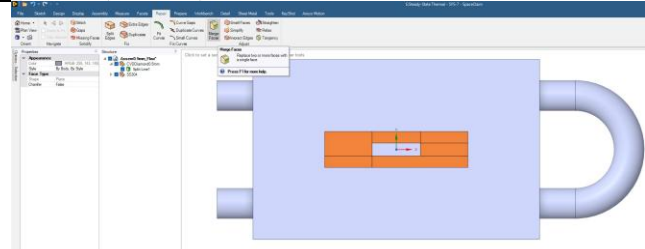
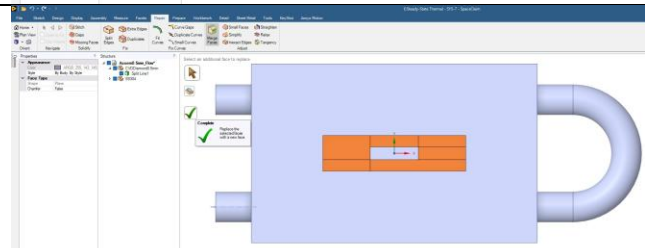
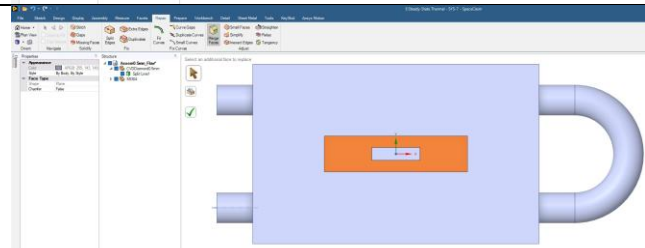
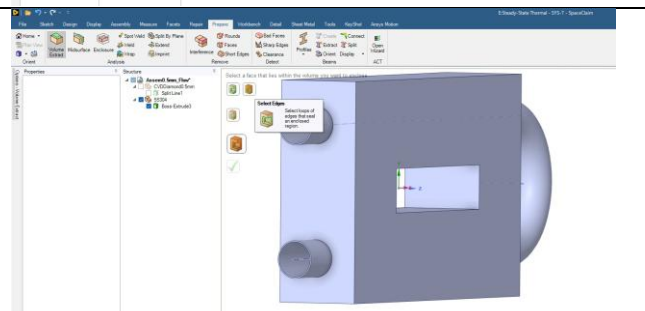
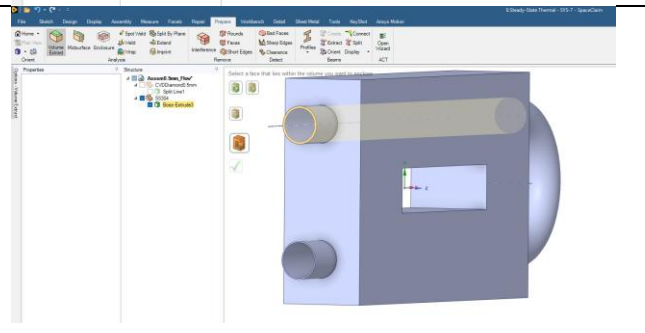
- [1] Clarke, James A. *The science and technology of undulators and wigglers*. Vol. 4. OUP Oxford, 2004.
- [2] Jaski, Yifei, and David Cookson. "Design and Application of CVD Diamond Windows for X-Rays at the Advanced Photon Source." *AIP conference proceedings*. Vol. 879. No. 1. American Institute of Physics, 2007.
- [3] Vinokurov, V. A., V. V. Vinokurov, and O. A. Kabov. "Numerical simulation of thermal diamond filter for working station 1-5 of synchrotron “SKIF “." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2119. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [4] Kabov, O. A., et al. "Features of device cooling in wiggler synchrotron workstations." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2057. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [5] Marion, Ph, et al. "New high heat load beamline components for the ESRF." *Future 2* (2002): U23.
- [6] D.C. Harris, *Infrared Window and Dome Materials* (SPIE, Washington, 1992).
- [7] Y.S. Touloukian et al., *Thermophysical Properties of Matter* - Vol. 5.
- [8] M. Merola et al., *ITER plasma facing component materials database in ANSYS format*, ITER Doc. G17 MD 71 96-11-19 W 0.1, 1997.
- [9] Bejan, Adrian. *Convection heat transfer*. John wiley & sons, 2013.
- [10] https://www.engineeringtoolbox.com/water-liquid-gas-thermal-conductivity-temperature-pressure-d_2012.html
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_transfer_coefficient#Internal_flow,_laminar_flow
- [12] <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/fluid-dynamics/turbulent-flow/>
- [13] <https://www.slideshare.net/slideshow/heat-trans-temperatures-lecture-6-pptx/273028146>

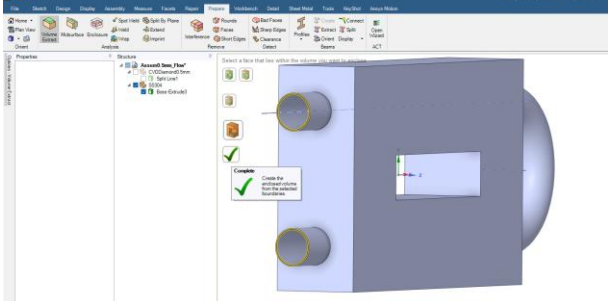
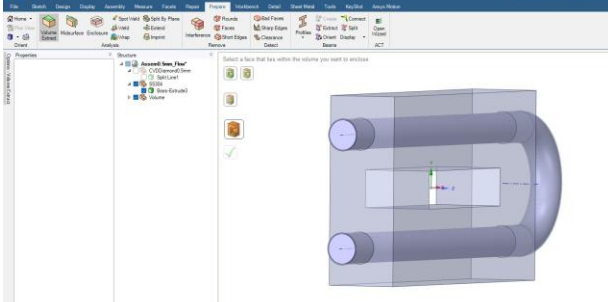
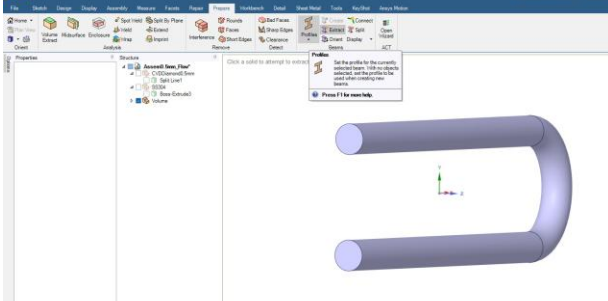
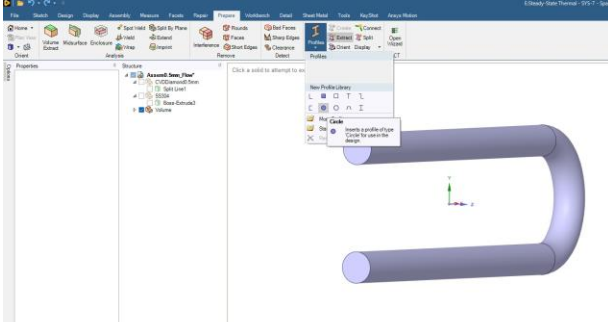
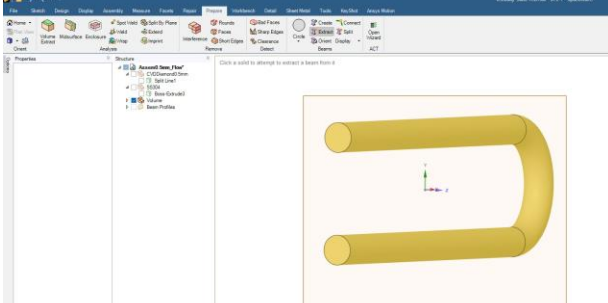
ภาคผนวก

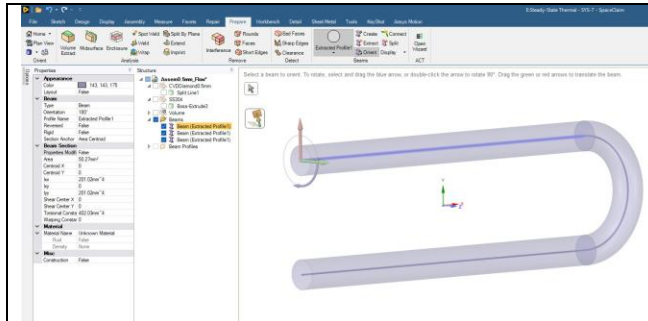
คู่มือการใช้โปรแกรม STEADY STATE THERMAL module of ANSYS

Utilize the STEADY STATE THERMAL module of ANSYS to evaluate the temperature variation of water flowing through a pipe.

	Solidworks saves files in the.stp and.step file formats. In order to open the Model in SpaceClaim, it needs to be.step.stp.
	Right click Geometry in the Steady-State Thermal and choose Edit Geometry in SpaceClaim.
	Model (Solidworks)
	Model in the Ansys program's SpaceClaim As you can see, the Solidworks program's Split Line is missing. In the SpaceClaim program, we must draw the Split Line once more.
	Click Split

	Click on the area you wish to draw, to adjust the size, The X-axis size is set, and the Y-axis size is set by pressing the Tab key on the keyboard.
	Once the Split Line is correctly formed, combine the unneeded portions using the Merge Faces command. (https://www.youtube.com/watch?v=LYGriWZjiY)
	Click the v
	Split Line of Heat Flux
	Click the Volume Extract tool in the Analysis group of the Prepare tab.
	Click the Select Edges tool guide to select the edge loops that enclose the volume of the area. Tool guides The following tool guides help step you through the process:  The Select Edges tool guide selects edge loops that enclose a region. Edges are used to stop the propagation of face selection, emanating face-wise outward, starting at the selected seeds.  The Select Faces tool guide activates by default when you select the Volume Extract tool, and selects faces whose edges seal an enclosed region. This is a shortcut to selecting all the edges that are detected in a face. You can Ctrl+Select multiple seed faces, and then choose to click on a different tool guide. Once you create a volume, the Select Faces tool guide resets by default.  The Select Cap Faces tool guide selects optional capping faces. This is important when an internal edge loop is either not simply fillable, or when you want some non-standard fill geometry to be created.  The Select Seed Face tool guide selects a face that lies within the volume you want to enclose. If this is not chosen, then SpaceClaim chooses an arbitrary face to start from, and test whether any bounded volumes are created. If they are not, another face will automatically be selected and the algorithm will re-start. Select a face here to save this iteration time.  The Complete tool guide creates the volume solid based on the edges and seed face you select.

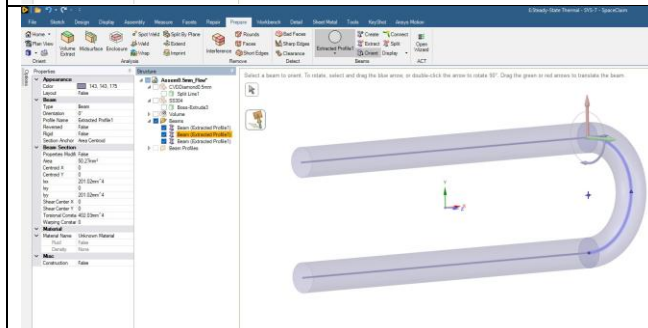
	Click the ✓
	Volume for Beams Create
	Click the ✓ at Volume
	 Profiles in the Beams group on the Prepare tab. This tool enables you to add a profile to your structure.
	Click Extract in the Beams group on the Prepare tab, Select a solid.



The beam object is defined, and the Beams and Beam Profiles folders are created in the Structure tree.

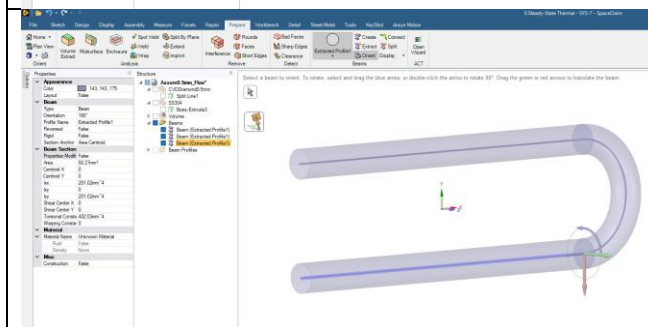
Click Orient in the Beams group on the Prepare tab.

Select a beam in the [Structure tree](#)



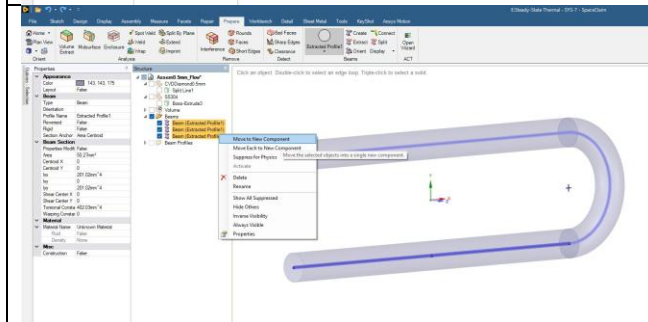
Click Orient in the Beams group on the Prepare tab.

Select a beam in the [Structure tree](#)

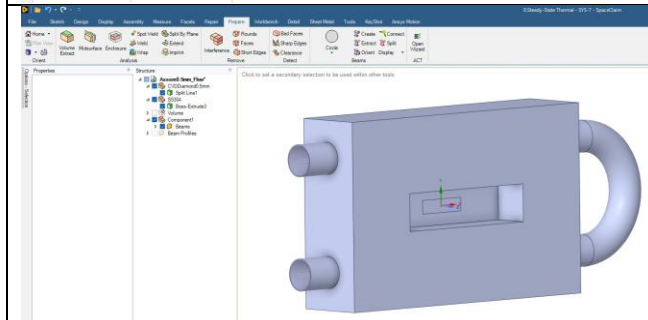


Click Orient in the Beams group on the Prepare tab.

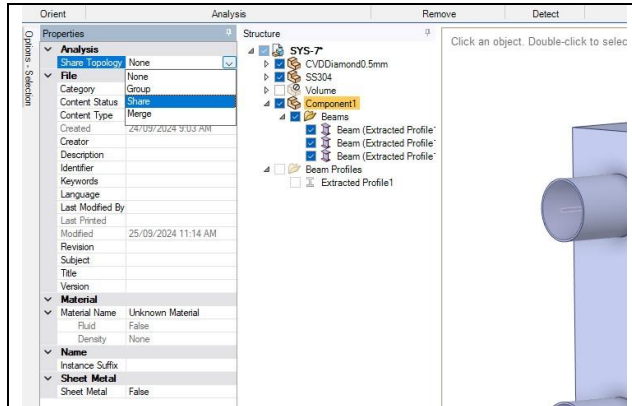
Select a beam in the [Structure tree](#)



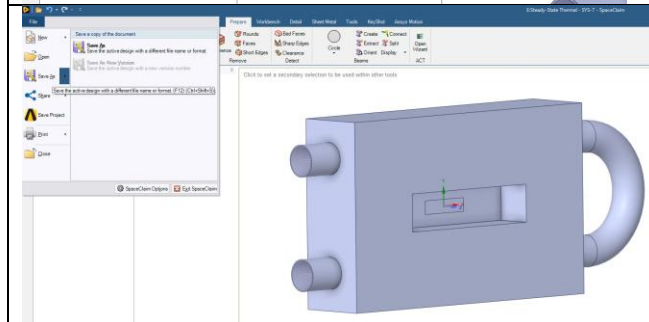
Select all a beam in the [Structure tree](#) => Move to New Component



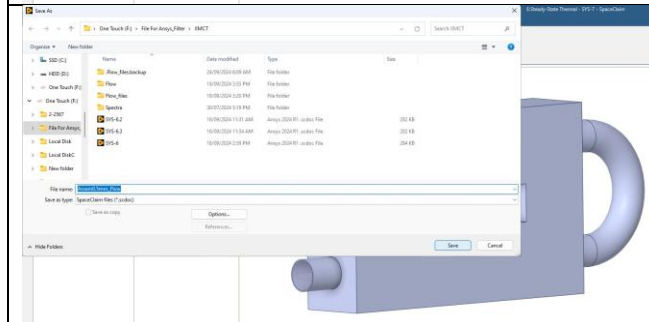
New Component 1



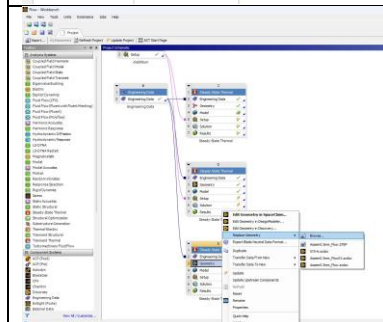
Select a Component 1 in the [Structure tree](#)
Properties=>Analysis=>Share Topology=> Select a Share



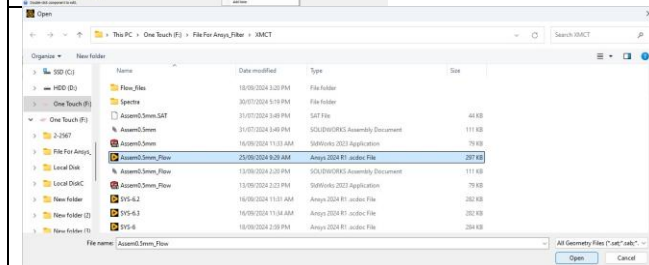
Select Save as from the File menu.



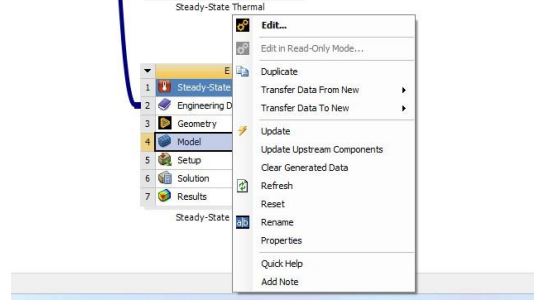
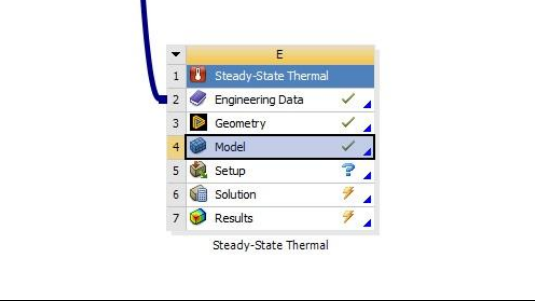
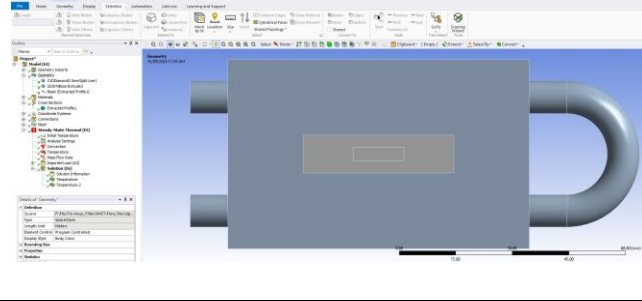
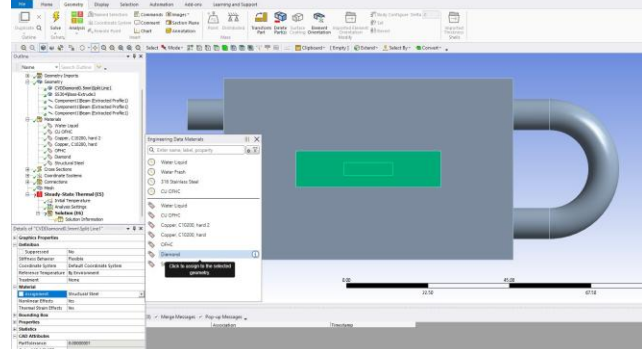
Save as type: SpaceClaim files (*.scdoc)

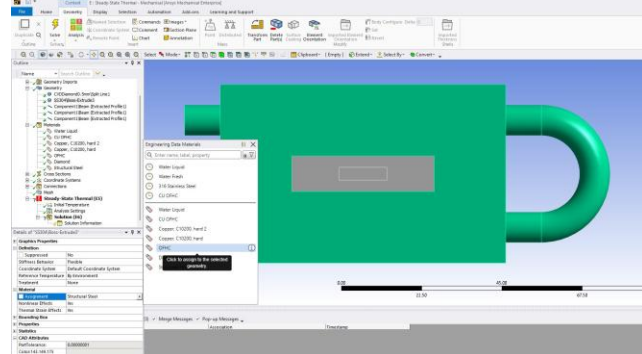
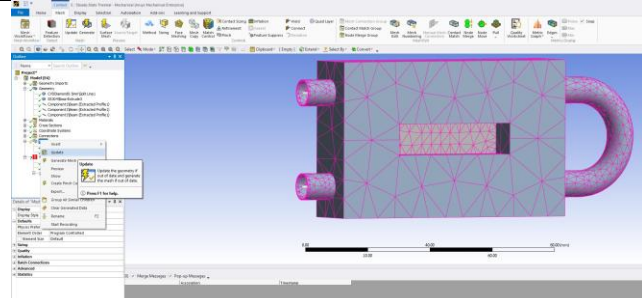
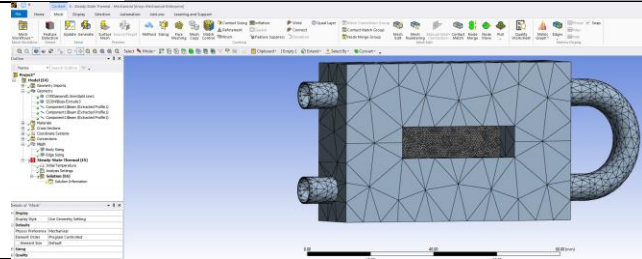
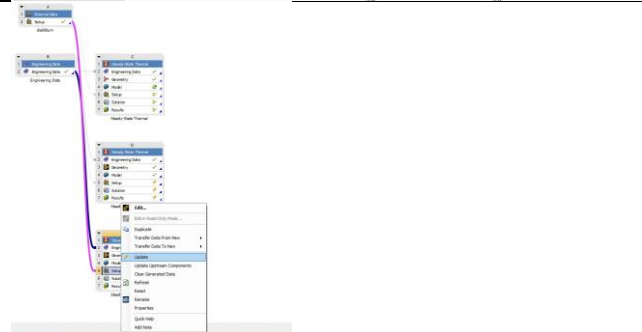
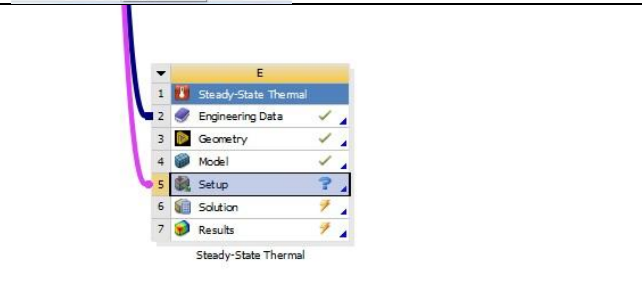


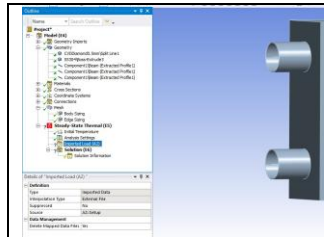
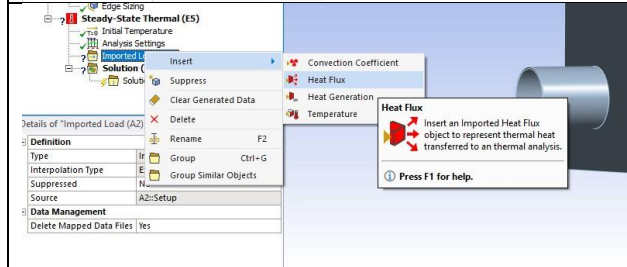
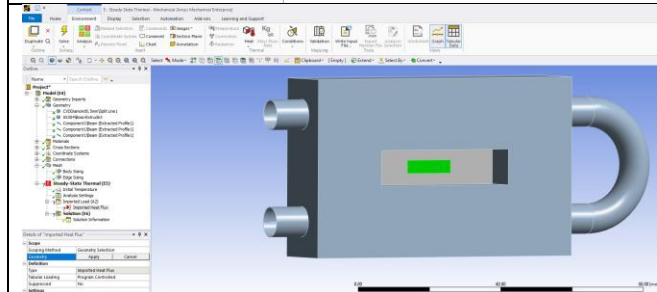
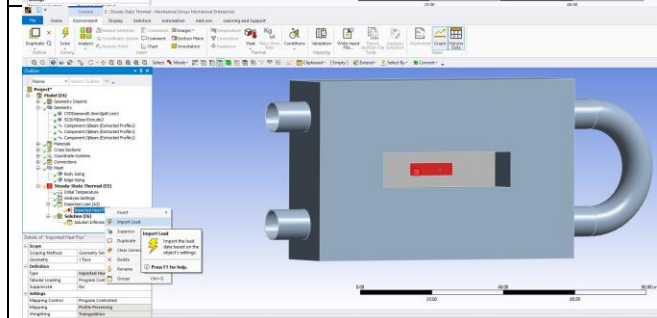
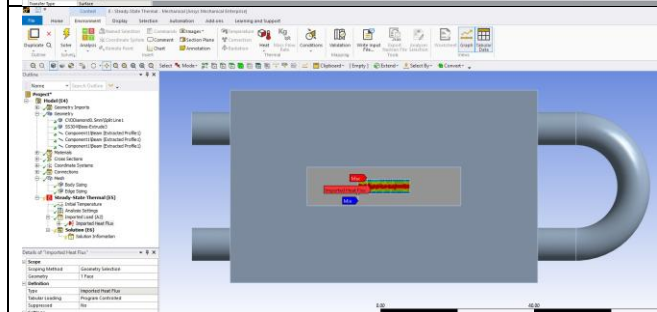
Open the Workbench => Steady-State Thermal
Right click Geometry in the Steady-State Thermal, choose Replace Geometry, and Browse..

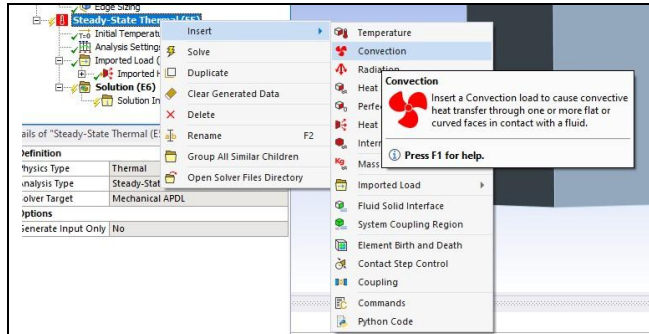


Open the File type: SpaceClaim files (*.scdoc)

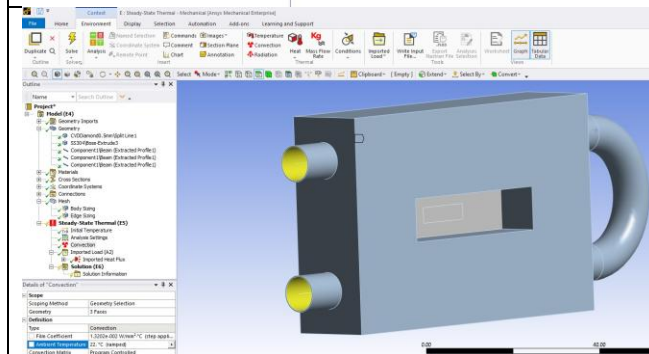
	Right click Model in the Steady-State Thermal, choose Update.
	Click Model, this will open the model in ANSYS Mechanical.
	ANSYS Mechanical
	Geometry in the Structure tree, the Beams are showed in the Structure tree. Select a beam in the Structure tree, Model Type property is specified as Thermal Fluid. And Material=> Assignment=> Water Liquid (You apply the Mass Flow Rate boundary condition on the edges of Line Bodies whose Model Type property is specified as Thermal Fluid.)
	Geometry in the Structure tree, Click on the CVDiamond in the Structure tree. In the Details window, change Material to Diamond.

	Geometry in the Structure tree. Click on the SS304 in the Structure tree. In the Details window, change Material to OFHC.
	Right-click the Mesh object and select Insert > Sizing. Select the CVDDiamond (1 Body) and change Element Size from Default to 0.5 mm.
	Right-click the Mesh object and select Generate Mesh or Update.
	-
	-

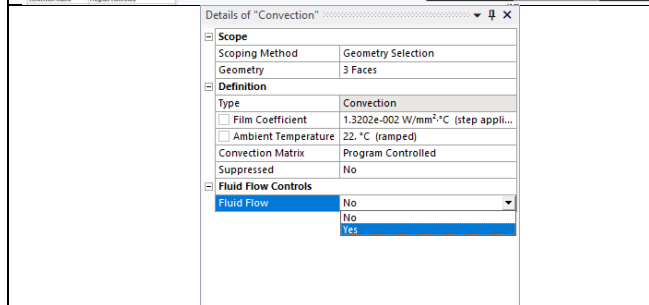
	
	Right-click the Steady-State Thermal => insert => Heat Flux
	click Imported Heat Flux, select a Face of the model (CVDDiamond), then click the Apply
	right-click Imported Heat Flux and select the imported load. The load will be applied to the object you selected on the model.
	The load (Heat Flux) will be applied to the object you selected on the model.



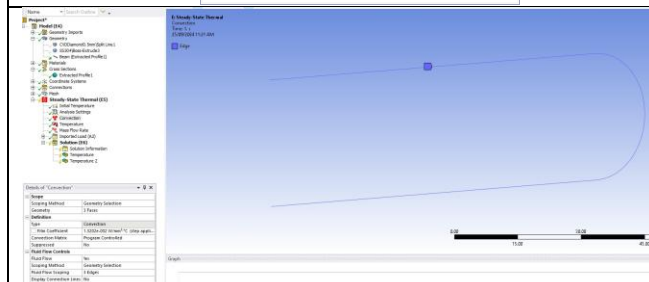
Right-click the Steady-State Thermal => insert => Convection
(This boundary condition causes convective heat transfer to occur through one or more flat or curved faces (in contact with a fluid).)



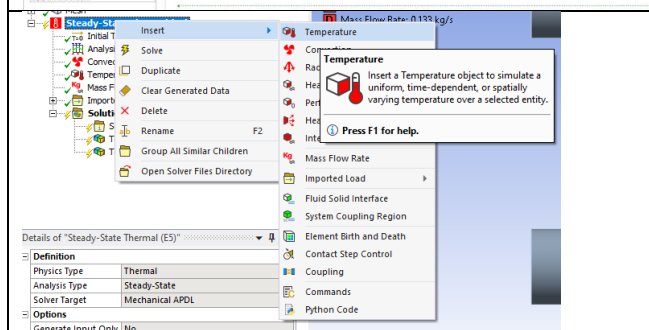
click Convection, select a Face of the model (in contact with a fluid), then click the Apply, film Coefficient=1.3202e-002 W/mm².



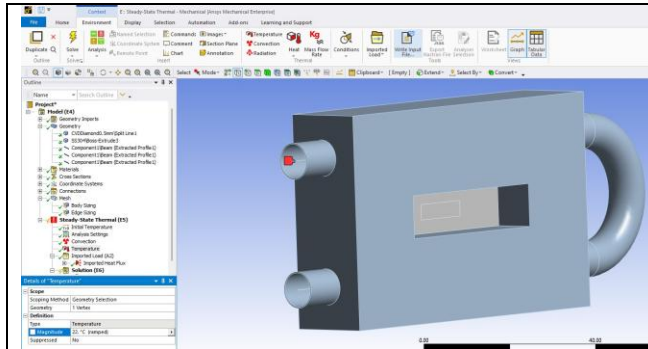
Set the Fluid Flow property to Yes.



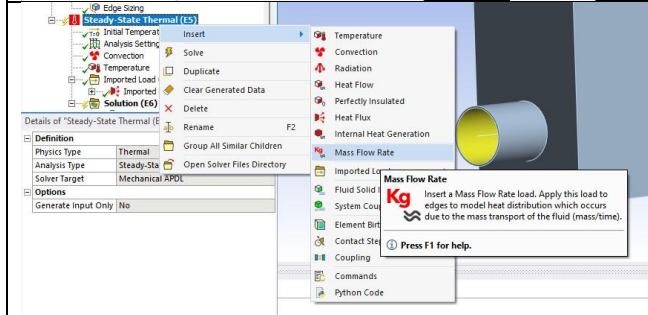
Define your Scoping Method and select the desired edge through direct selection or by selecting an appropriately defined Named Selection from the Fluid Flow Scoping property.



Right-click the Steady-State Thermal => insert => Temperature

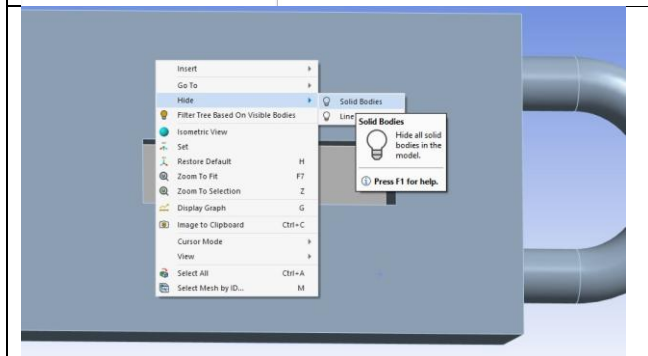


click Temperature, select vertex, Temperature = 22 °C

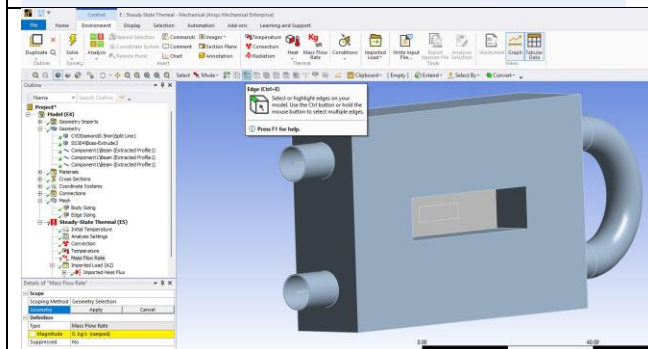


Right-click the Steady-State Thermal => insert => Mass Flow Rate

https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=//////View/s/Secured/corp/v242/en/wb_sim/ds_Mass_Flow_Rate.html%23mass_flow_rate_analysis



Right-click the Solid Bodies => Hide => Solid Bodi



Click Mass Flow Rate, select Edges

Formula of Mass Flow Rate

The mass flow formula is given by,

$$m = \rho VA$$

Where

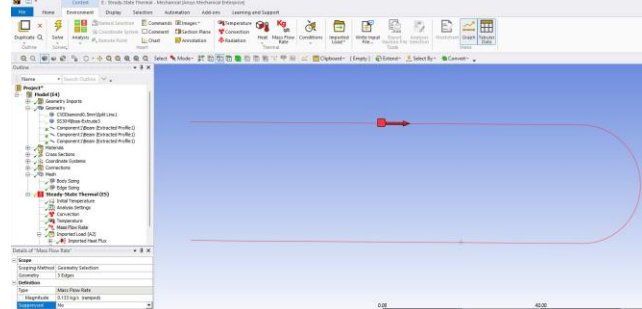
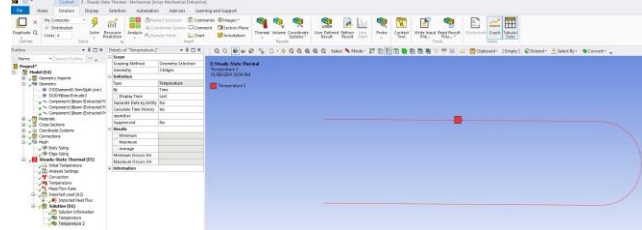
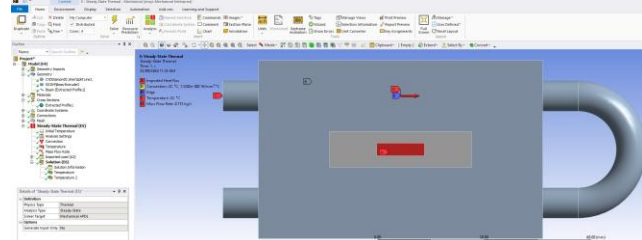
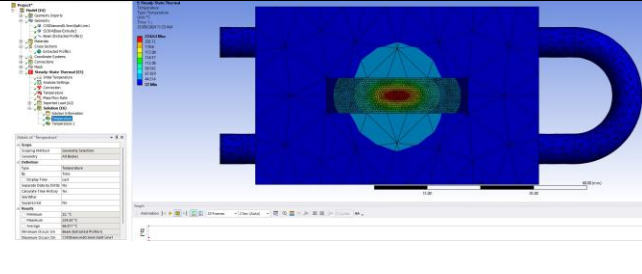
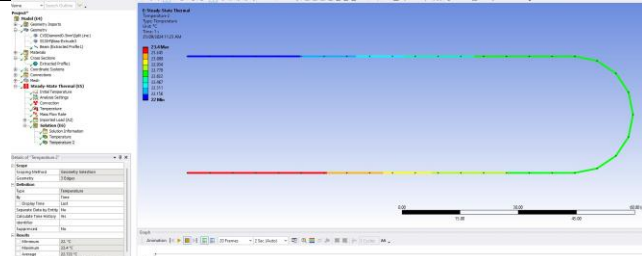
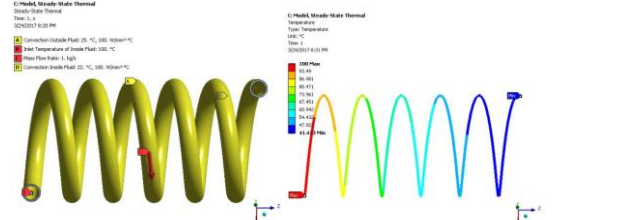
ρ = density of fluid,

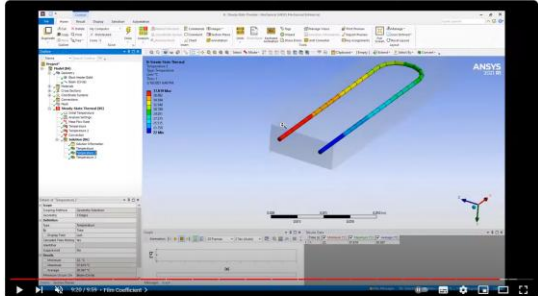
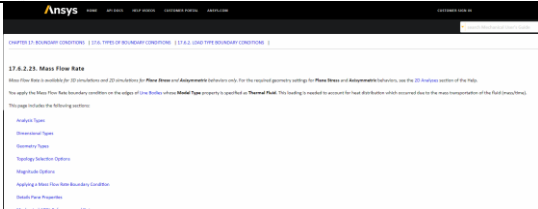
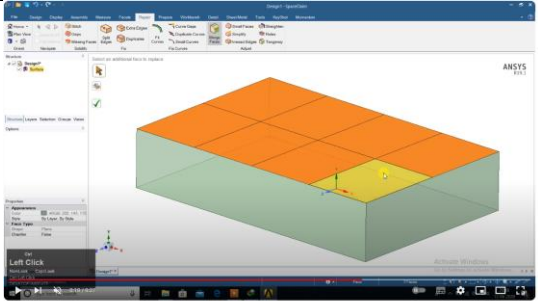
V = velocity of the liquid, and

A = area of cross-section

Convective Heat Transfer coefficient h(T) calculations		
For circular tube only		
1	Tube ID	Value
	A	0.00007024
2	Flow rate	Value
	Q	0.00011111
	Q	0.00011111
	Q	0.00011111
	Q	0.00011111
3	Fluid velocity (V)	Value
	V	2.857927813
4	Dynamic viscosity (eta)	Value
	eta	7.99E-04 at 30 °C
5	density (rho)	Value
	rho	885.1 at 30 °C

Mass Flow Rate = 995.7 (kg/m³) x 2.6539 (m/s) x 0.00005024 (m²)
Mass Flow Rate = 0.133 Kg/s

	Mass Flow Rate = 0.133 kg/s
	-
	Boundary conditions for SST calculation in Ansys
	The temperature change of the solid body $T_{Max} = 224.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{Min} = 22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
	The temperature change of water $T_{Max} = 23.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{Min} = 22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
REFERENCES	
	https://innovationspace.ansys.com/forum/forums/topic/helical-coil-heat-transfer/

 ANSYS Mechanical Thermal Fluid 1D Element	https://www.youtube.com/watch?v=h4m_NZLCJP
 ANSYS 17.4.2.23. Mass Flow Rate Mass Flow Rate is available for 2D axisymmetric and 3D axisymmetric flow analyses only. For the required geometry settings for Mass Flow and Mass Flow Rate analyses, see the 2D Analysis section of this help. You apply the Mass Flow Rate boundary condition on the edges of the bodies where the Mass Flow Rate property is specified in Thermal Post. This loading is needed to account for heat flux due to the mass transportation of the fluid through the edges. Mass Flow Rate includes the following sections: - Analysis Types - Elemental Types - Boundary Types - Toolbox Selection Options - Application Options - Applying Mass Flow Rate Boundary Condition - Display Flow Properties - Mechanical (FE) Solution and Post	https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=////////View/s/Secured/corp/v242/en/wb_sim/ds_Mass_Flow_Rate.html
 ANSYS MERGING FACES IN SPACECLAIM TUTORIAL 3 Sufyan Ahmad	https://www.youtube.com/watch?v=LYGrjWZJIY