กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

เอกสารสนับสนุน
เรื่อง
หลักการทำงานและคุณลักษณะของเครื่องซินโครตรอน
Supporting Document on Principle and Characteristic of Synchrotron
[ตรวจตามคาบเวลา (Routine/Periodical Inspection)]

SD-NRI-RG-1.05

(ฉบับที่ 1 ปรับปรุงครั้งที่ 0)

จัดทำโดย	**นางสาวเกศรินทร์ สายตา** **นางสาวสมาพร เจียนกลาง**	
ทบทวนโดย	**นายนฤพนธ์ เพ็ญศิริ**	
อนุมัติโดย	**นายภานุพงศ์ พินกฤษ**	

สถานะปรับปรุงเอกสาร

ฉบับที่	วันที่	ข้อสรุปการปรับปรุง

สารบัญ

หน้า

1 วัตถุประสงค์ 4

2 ขอบเขต 4

3. หลักการทำงานของเครื่องซินโครตรอนและองค์ประกอบ 4

ส่วนที่ 1 ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) 5

ส่วนที่ 2 เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง (Linear Accelerator : Linac) 6

ส่วนที่ 3 เครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม (Booster Synchrotron) 6

ส่วนที่ 4 วงกักเก็บอิเล็กตรอน (Storage Ring) 7

ส่วนที่ 5 ระบบลำเลียงแสง (Beamlines: BL) 7

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.1W: Multiple X-ray Techniques 8

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.2W: X-ray Tomographic Microscope 10

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W: Small/Wide Angle X-ray Scattering 13

ระบบลำเลียงแสงที่ 2.2: Time Resolved X-ray Absorption Spectroscopy 17

ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2U: Photoemission spectroscopy & Photoemission electron microscopy 20

ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1: Infrared Spectroscopy and Imaging 23

ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2: SUT-NANOTEC-SLRI XAS Beamline 24

สถานีทดลองที่ 5.3: SUT-NANOTEC-SLRI XPS Beamline 26

ระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W: Macromolecular Crystallography 27

ระบบลำเลียงแสงที่ 8:X-ray Absorption Spectroscopy and X-ray Fluorescence Imaging 31

ส่วนที่ 6 สถานีทดลอง (Experimental Station) 33

4. อ้างอิง 33

1. วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นคู่มือสำหรับให้พนักงานเจ้าหน้าที่ศึกษาข้อมูลทางวิชาการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องซินโครตรอน

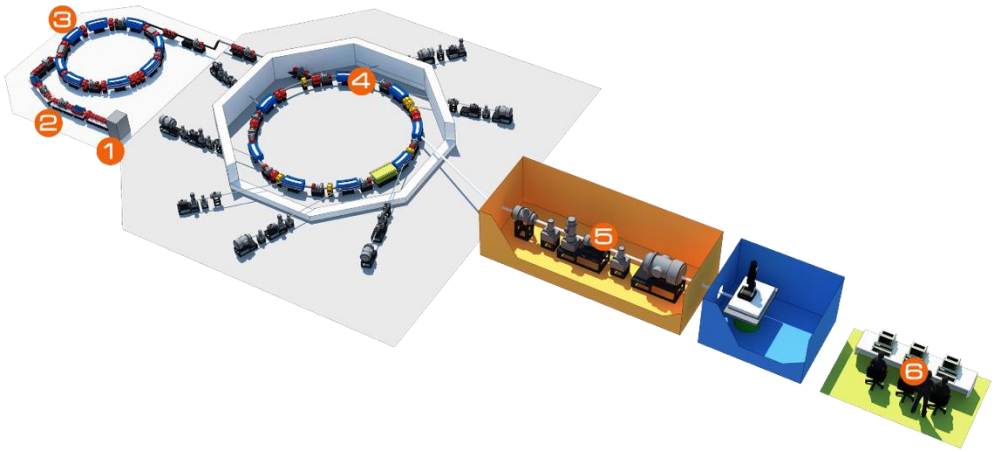
2. ขอบเขต

สำหรับการตรวจสอบความปลอดภัยของเครื่องกำเนิดรังสีในงานศึกษาวิจัย ซึ่งจำแนกอยู่ในกลุ่มของเครื่องกำเนิดรังสีประเภทที่ 1 เป็นอันตรายมาก (Very dangerous) กฎกระทรวงการอนุญาตเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดรังสี พ.ศ. ๒๕๖๔ ซึ่งเอกสารฉบับนี้ใช้เฉพาะสำหรับการตรวจสอบเครื่องซินโครตรอน

รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน (Synchrotron)
ที่มา : https://th.wikipedia.org/wiki/ซินโครตรอน

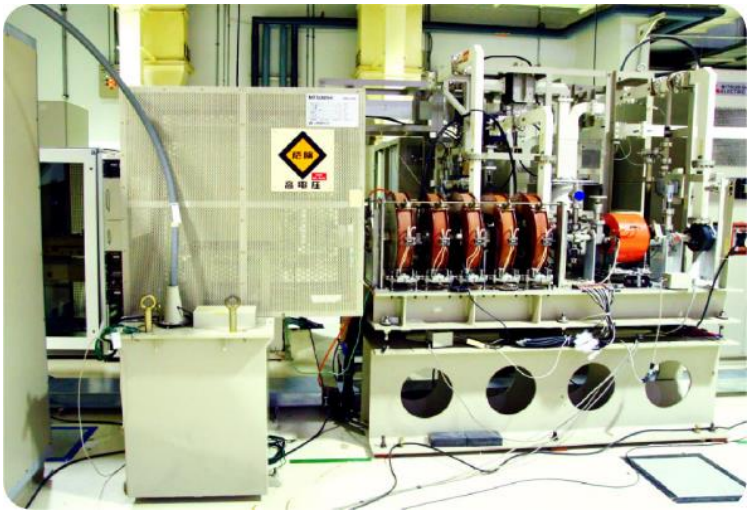
3. หลักการทำงานของเครื่องซินโครตรอน และองค์ประกอบเครื่อง

แสงซินโครตรอน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงที่มาจากดวงอาทิตย์ แต่แสงซินโครตรอนนั้นคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอนุภาคที่มีประจุ เช่น อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเกือบเท่าความเร็วแสง และถูกบังคับให้เลี้ยงโค้งด้วยสนามแม่เหล็ก ทำให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานบางส่วน และปลดปล่อยออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า “แสงซินโครตรอน”
เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 6 ส่วน สอดคล้องกับรูปที่ 2 ดังนี้



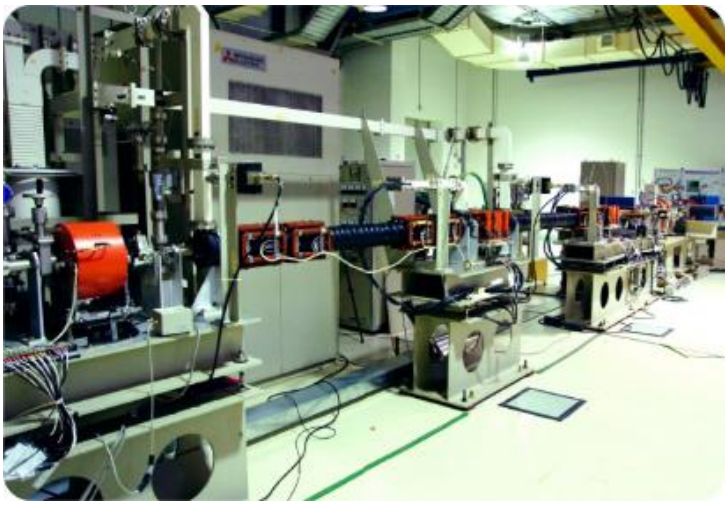
รูปที่ 2 องค์ประกอบหลักของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน
ที่มา : https://www.slri.or.th/th/what-is-synchrotron-light/for-research.html

ส่วนที่ 1 ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun)



เป็นขั้นตอนของการผลิตอิเล็กตรอน โดยปืนอิเล็กตรอนทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนจำนวนมหาศาล โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าให้กับไส้โลหะของปืนอิเล็กตรอนจนร้อนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา จากนั้นใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงขั้วบวกในการดึงอิเล็กตรอนให้วิ่งไปเข้า สู่เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรงต่อไป

ส่วนที่ 2 เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง (Linear Accelerator : Linac)

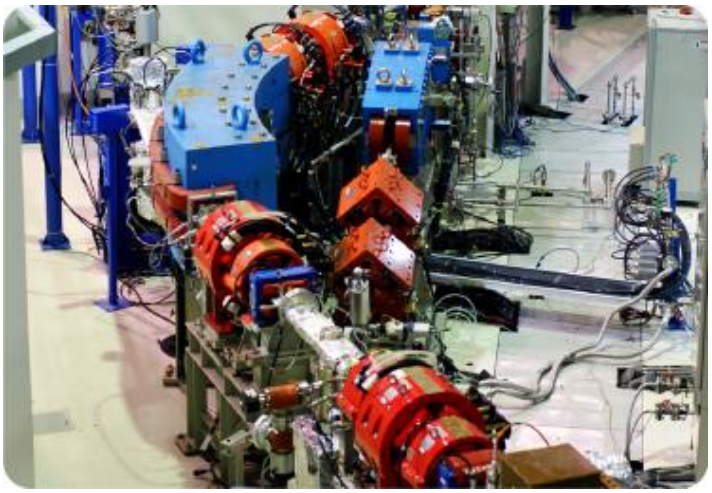


เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง ทำหน้าที่แบ่งอิเล็กตรอนที่ออกจากปืนอิเล็กตรอนให้เป็นกลุ่มๆ เรียกว่า electron bunch หลังจากนั้นจะเร่งอิเล็กตรอนในแนวเส้นตรงด้วยคลื่นไมโครเวฟ ให้มีพลังงานสูงถึง 40 ล้านอิเล็กตรอนโวลท์ (40 MeV) และส่งไปยังเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม

ส่วนที่ 3 เครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม (Booster Synchrotron)

เครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานอิเล็กตรอนในแนววงกลมด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งการที่จะเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงมากตามที่เราต้องการด้วยเครื่อง เร่งอนุภาคในแนวเส้นตรงเพียงอย่างเดียวนั้น ตัวเครื่องเร่งอนุภาคจะต้องมีความยาวหลายกิโลเมตร แต่ด้วยการคิดค้นของนักวิทยาศาสตร์ จึงได้ออกแบบเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม เพื่อบังคับอิเล็กตรอนให้วิ่งในแนววงกลม และมีพลังงานมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีพลังงานเท่ากับ 1,000 ล้านอิเล็กตรอนโวลท์ (1 GeV) ในเวลาประมาณ 0.6 วินาที หรือเกือบเท่าความเร็วแสง แล้วจึงถูกส่งต่อไปยังวงกักเก็บอิเล็กตรอนต่อไป

ส่วนที่ 4 วงกักเก็บอิเล็กตรอน (Storage Ring)



วงกักเก็บอิเล็กตรอน ทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงถึง 1,200 ล้านอิเล็กตรอนโวลท์ (1.2 GeV) วงกักเก็บอิเล็กตรอนประกอบด้วยแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แม่เหล็กสองขั้ว สี่ขั้ว และหกขั้ว เพื่อทำหน้าที่บังคับให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงเหล่านี้เคลื่อนที่ภายในท่อสุญญากาศ โดยบริเวณที่เป็นแม่เหล็กบังคับเลี้ยวสองขั้ว (Bending magnet) จะเป็นบริเวณที่มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนที่ 5 ระบบลำเลียงแสง (Beamlines: BL)

ระบบลำเลียงแสง คือ ระบบที่ทำหน้าที่นำและเลือกแสงซินโครตรอนในย่านที่เราต้องการ ที่ผลิตได้จากวงกักเก็บอิเล็กตรอนมายังสถานีทดลองระบบลำเลียงแสง ประกอบด้วย ท่อสุญญากาศ (Vacuum) กระจกรวมแสง (Collimating mirror) ระบบคัดเลือกพลังงานแสง (Monochromator) กระจกโฟกัสแสง (Focusing mirror) ระบบช่องสำหรับแสงส่องผ่าน (Slit system) และอุปกรณ์ปลีกย่อยอื่น ๆ

ลำแสงแต่ละเส้นได้รับการออกแบบมาเพื่อสร้างแสงที่มีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมกับการวิจัยประเภทใดประเภทหนึ่ง ยกตัวอย่างระบบลำเลียงแสงของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ประเทศไทย ดังนี้

ระบบลำเลียงแสง (Beamlines: BL) ดังนี้

1. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.1W: Multiple X-ray Techniques
2. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.2W: X-ray Tomographic Microscopy
3. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W: Small/Wide Angle X-ray Scattering
4. ระบบลำเลียงแสงที่ 2.2 : Time Resolved X-ray Absorption Spectroscopy
5. ระบบลำเลียงแสงที่3.2U: Photoemission spectroscopy & Photoemission electron microscopy
6. ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1: Infrared Spectroscopy and Imaging
7. ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2: SUT-NANOTEC-SLRI XAS Beamline
8. สถานีทดลองที่ 5.3: SUT-NANOTEC-SLRI XPS Beamline
9. ระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W: Macromolecular Crystallography
10. ระบบลำเลียงแสงที่ 8 : X-ray Absorption Spectroscopy and X-ray Fluorescence Imaging

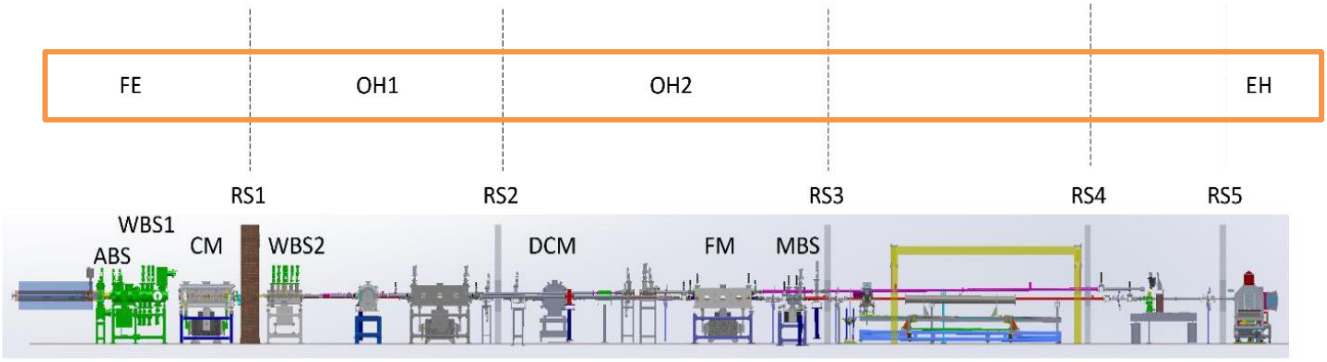
1. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.1W: Multiple X-ray Techniques

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.1W: MXT (Multiple X-ray Techniques) เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (X-ray Absorption Spectroscopy, XAS) ที่พลังงานตั้งแต่ 4 ถึง 18 keV เป็นระบบลำเลียงแสงที่รวมเทคนิคการทดลองที่ใช้รังสีเอ็กซ์ ทั้งการดูดกลืน การแทรกสอด และการเรืองรังสีเอ็กซ์ สามารถให้ข้อมูลธาตุองค์ประกอบ โครงสร้างผลึก และโครงสร้างระดับอะตอมของตัวอย่างได้

ระบบลำเลียงแสงที่ 1 แบ่งออกเป็นระบบลำเลียงแสงย่อย 3 ระบบลำเลียงแสง คือ BL1.1W, BL1.2W และ BL1.3W โดยทั้งสามระบบลำเลียงแสงจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (Front end, FE)
2. ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 1 (Optics hutch 1, OH1)
3. ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 2 (Optics hutch 2, OH2)
4. สถานีทดลอง (Experimental hutch, EH)

โดยระบบลำเลียงแสง BL1.1W แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังของระบบลำเลียงแสง BL1.1W

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสง มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
ABS Absorber	ตัวปิดกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำ
Beamline Interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสุญญากาศในระบบลำเลียงแสง
BL Beamline	ระบบลำเลียงแสง
BS Beam stop	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์
CM Collimating mirror	กระจกทำให้แสงขนาน
DCM Double Crystal Monochromator	อุปกรณ์คัดแยกพลังงานรังสีเอกซ์แบบผลึกคู่
EH Experimental hutch	สถานีทดลอง
FE Front end	ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า
FM Focusing mirror	กระจกรวมแสง
MBS Monochromatic beam shutter	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว
OH1 Optics hutch 1	ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 1

ชื่อย่อ	ความหมาย
OH2 Optics hutch 2	ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 2
PSI Personnel Safety Interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัยของผู้ใช้งาน
PSS Personnel Safety System	ระบบความปลอดภัยสำหรับบุคลากร
RS Radiation shielding	แผ่นปิดกั้นรังสี
Safety shutter	ตัวปิดกั้นรังสีที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีเข้ามาในสถานีทดลอง อาจเป็น WBS หรือ MBS
SH Safety hutch	ห้องป้องกันรังสี
SG Safety gate	ประตูห้องป้องกันรังสีซึ่งควบคุม

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 1.1W

1. Absorber (ABS) อยู่ใน FE ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากแสงก่อนที่จะชน white beam shutter ตัวที่ 1

2. White beam shutter ตัวที่ 1 (WBS1) อยู่ใน FE ทำหน้าที่ปิดไม่ให้มีรังสีเอกซ์ออกมาก FE เมื่อต้องการเข้าไปใน OH 1 โดยเป็น shutter รวมที่กั้นแสงของทั้งระบบลำเลียงแสง (BL) ที่ 1.1W, 1.2W และ 1.3W โดยปิดไปพร้อมกันกับ ABS ของทั้งสามบีมไลน์

3. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 1 (RS1) กั้นระหว่าง FE และ OH1 ทำจากก้อนตะกั่วหนา 50 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กั้นรังสีในวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอน และ FE ไม่ให้เข้าไปใน OH1

4. White beam shutter ตัวที่ 2 (WBS2) อยู่ใน OH1 ทำหน้าที่ปิดไม่ให้มีรังสีเอกซ์เข้าไปใน OH2 มีลักษณะดังรูปที่ 3

5. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 2 (RS2) กั้นระหว่าง OH1 และ OH2 ทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กั้นรังสีใน OH1 ไม่ให้เข้าไปใน OH2

6. DCM white beam stop ภายใน DCM เพื่อกั้นแสงในแนวของ white beam ที่อาจทะลุผ่านผลึก มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4

7. Monochromatic beam shutter (MBS) อยู่ใน OH2 ทำหน้าที่ปิดไม่ให้มีรังสีเอกซ์เข้าไปใน EH โดยใช้เป็น safety shutter ของระบบลำเลียงแสง

8. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 3 (RS3) กั้นระหว่าง OH2 และ EH ของ BL1.3W ทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กั้นรังสีใน OH2 ไม่ให้เข้าไปใน EH ของ BL1.3W

9. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 5 (RS5) กั้นระหว่าง EH ของ BL1.2W และ EH ของ BL1.1W ทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.5 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กั้นรังสีใน EH ของ BL1.2W ไม่ให้เข้าไปใน EH ของ BL1.1W

10. Safety hutch (SH) ทำหน้าที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไปโดยสมบูรณ์ SH เป็นห้องมีผนังทำด้วยตะกั่วหนา 1.5 มิลลิเมตร ประกบด้วยเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร ทั้งสองด้าน ทำหน้าที่ป้องกันรังสีไม่ให้ออกนอกบริเวณ SH โดยแบ่งออกเป็น 3 ห้องย่อยคือ OH1, OH2 และ EH ดังแสดงใน แต่ละห้องมีทางเข้าหลัก 1 ทาง และทางเข้ารอง 1 ทาง ซึ่งอยู่คนละด้านของผนัง hutch

11. Safety gate (SG) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าออก SH ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับผนัง SH แต่ละห้องจะมี 2 ประตู ประตูหลักควบคุมการเปิดปิดด้วยระบบ Personnel Safety Interlock (PSI) ส่วนประตูรองจะเปิดได้ก็

ต่อเมื่อประตูหลักเปิดไว้แล้ว ประตูหลักของ EH ดังแสดงในรูปที่ 6 (ขวา) นอกจากนั้น SG ยังมี Contact Switch เพื่อบอกสถานะการเปิด-ปิดของประตู ที่แยกออกจากระบบ PSI ซึ่งการทำงานของ Contact switch มี 2 กรณี

(1) ถ้าประตูเปิด จะไม่สามารถเปิด Shutter ได้

(2) ถ้า Shutter เปิดทิ้งไว้และมีการเปิดประตู Shutter จะปิดลงทันที

12. ป้ายไฟ X-RAY ON เชื่อมต่อกับสถานะเปิดปิดของ safety shutter โดยไฟจะสว่างเมื่อ shutter เปิด ติดตั้งไว้เหนือประตูทางเข้า EH ทั้งสองด้าน และภายใน EH 1

13. ปุ่ม emergency stop เป็นปุ่มกดค้าง เมื่อกดลงไปแล้วจะทำให้ไม่สามารถเปิด shutter ให้แสงเข้ามาใน SH ได้ และในกรณีที่ shutter เปิดอยู่แล้วเมื่อกดปุ่ม emergency stop แล้ว shutter จะปิดทันที ติดตั้งไว้ 2 ตำแหน่งภายใน SH และอีก 1 ตำแหน่งที่ panel หน้าประตู SH ทุกห้อง

14. การเปิดปิด safety shutter สามารถทำได้ 3 วิธี

14.1.1 เปิดโดยใช้ touch screen บริเวณเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมการทดลอง ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้บริการใช้งาน

14.1.2 เปิดแบบ automatic ด้วยโปรแกรมสำหรับการทำการทดลอง

14.1.3 เปิดโดยใช้โปรแกรม beamline interlock

15. ระบบ beamline interlock ใช้สำหรับการเปิด-ปิดวาล์ว และสกรีนต่าง ๆ ในระบบลำเลียงแสง โดยมีลำดับการเปิดปิด (Open sequence) ที่กำหนดไว้แต่แรก เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบลำเลียงแสง

16. ระบบ Personnel Safety Interlock (PSI) สำหรับการเข้าออก SH มีขั้นตอน และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.2W: X-ray Tomographic Microscopy

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.2W: X-ray Tomography ระบบลำเลียงแสงสำหรับการถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์วัตถุขนาดเล็ก เป็นระบบลำเลียงแสงที่สามารถถ้ายภาพภายในของวัตถุตัวอย่างได้โดยใช้รังสีเอกซ์และไม่ทำลายตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ทราบถึงองค์ประกอบของธาตุ ณ บริเวณต่างๆได้ระบบลำเลียง

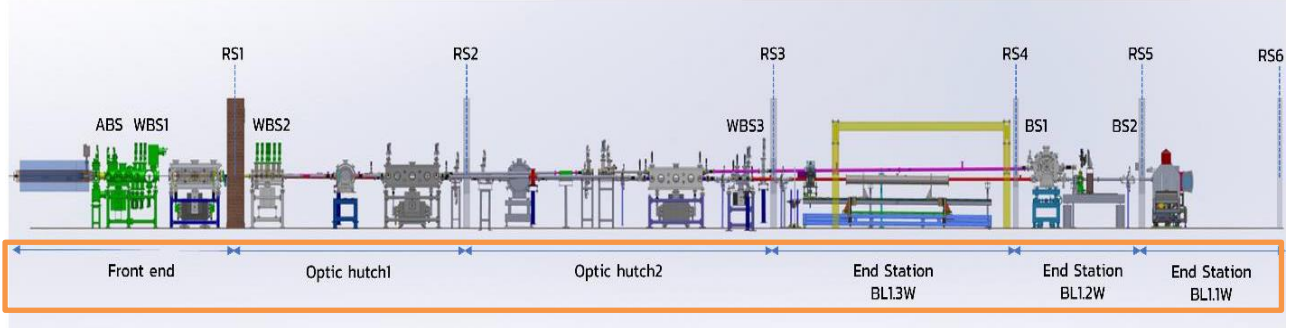
ระบบลำเลียงแสงที่ 1.2 (BL1.2W) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ส่วนหน้าระบบลำเลียงแสง (Front end) ใช้ร่วมกันระหว่าง 3 ระบบลำเลียงแสง คือ BL1.1W, BL1.2W, และ BL1.3W

2. ส่วนกลางระบบลำเลียงแสงสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ (Optics hutch) แบ่งเป็น Optic hutch 1 และ Optic hutch 2

3. ส่วนปลายระบบลำเลียงแสงสำหรับติดตั้งสถานีทดลอง (Experimental station หรือ End station)

ทั้งสามส่วนนี้ถูกควบคุมการทำงานโดยระบบความปลอดภัยที่เรียกว่า Beamline interlock system ซึ่งเป็นแกนหลักในดูแลการปฏิบัติงานของบุคคลากรให้ได้รับความปลอดภัยในด้านต่างๆ



รูปที่ 2 ระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 1.2

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 1.2 W มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
ABS (Absorber)	ตัวปิดกั้นความร้อนจากรังสีพลังงานต่ำ ทำจากก้อนทองแดง
Staff	ผู้ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงาน
Beamline Interlock System	ระบบควบคุมตรวจสอบการทำงานของระบบลำเลียงแสง
BL (Beamline)	ระบบลำเลียงแสง
BS (Beam stop)	เป้าหยุดลำแสงเอกซเรย์
DCM (Double crystal monochromator)	เครื่องคัดเลือกพลังงานเอกซเรย์
Emergency	ฉุกเฉิน
ES (End station)	ส่วนปลายระบบลำเลียงแสงสำหรับติดตั้งสถานีทดลอง
EXP (Experimental station)	สถานีทดลอง
FE (Front end)	ส่วนหน้าระบบลำเลียงแสง
FM (Focusing mirror)	กระจกรวมแสง
General user	ผู้ใช้ทั่วไป หรือผู้ใช้บริการ
GUI (Graphic user interface)	หน้าจอแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน
Hutch interlock System	ระบบควบคุมตรวจสอบการทำงานของประตูกันรังสี
Ionization chamber	อุปกรณ์วัดความเข้มแสง
Lead glass	กระจกป้องกันเอกซเรย์ทำจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบ
Lead shielding hutch	ห้องควบคุมการแผ่รังสีที่มีผนังทำจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบ
OH (Optics hutch)	ส่วนกลางระบบลำเลียงแสงสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทัศนศาสตร์
Override	กระบวนการข้ามขั้นตอน
PSI (Personnel safety interlock)	ระบบความปลอดภัยส่วนบุคคล
PV (Pneumatic valve)	วาล์วปิดกั้นในระบบลำเลียงแสง สำหรับรักษาสภาวะสุญญากศ
RS (Radiation shielding)	แผ่นตะกั่วกันรังสี
Personnel search	ขั้นตอนการปิดประตูสถานีทดลอง
SH (Safety hutch)	ห้องป้องกันรังสี

ชื่อย่อ	ความหมาย
Safety shutter	ตัวปิดกั้นรังสีที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีเข้ามาในสถานีทดลอง (WBS3)
WBS (White beam shutter)	ตัวปิดกั้นรังสีความถี่รวมทำจากตะกั่วและทองแดง

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสง BL1.2W

1. White beam shutter ตัวที่ 1 (WBS1) ทำจากก้อนตะกั่วหนา 40 มม ติดตั้งอยู่ภายใน FE chamber ในระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า ทำหน้าที่ปิดกั้นลำแสงเอกซเรย์ชนิด polychromatic X-ray beam หรือ white beam จากแม่เหล็ก 2.2 T multipole wiggler ไม่ให้ผ่านเข้าสู่ Optic hutch 1 การทำงานของ WBS1 ควบคุมผ่านแรงดันลม แบ่งเป็น 2 สถานะ คือ

“เปิด” เมื่อ WBS1 ขึ้นสูงสุดและพ้นลำแสง ปล่อยให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ Optic hutch 1

“ปิด” เมื่อ WBS1 ลงต่ำสุดและบังลำแสงทั้งหมดกั้นไม่ให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ Optic hutch 1

2. White beam shutter ตัวที่ 2 (WBS2) ทำจากก้อนตะกั่วหนา 10 มม และทองแดงหนา 28 มม. ติดตั้งอยู่บริเวณส่วนต้นของ Optic hutch 1 ของระบบลำเลียงแสงที่ 1.2 ถัดจาก shielding wall ทำหน้าที่ปิดกั้นและดูดซับความร้อนลำแสงเอกซเรย์ชนิด polychromatic X-ray beam หรือ white beam จากระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า

การทำงานงานของ WBS2 อาศัยแรงดันลม ผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมและตรวจสอบสถานะการเปิด-ปิดได้ผ่านโปรแกรม BL1.2 Beamline interlock และโปรแกรมถ่ายภาพ XIMac ดังนี้

“เปิด” เมื่อ WBS2 ขึ้นสูงสุดและพ้นลำแสง ปล่อยให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ Optic hutch 2

“ปิด” เมื่อ WBS2 ลงต่ำสุดและบังลำแสงทั้งหมด กั้นไม่ให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ Optic hutch 2

3. White beam shutter ตัวที่ 3 (WBS3) ทำจากก้อนตะกั่วหนา 10 มม. และทองแดงหนา 28 มม. ติดตั้งอยู่บริเวณส่วนปลายของ Optic hutch 2 WBS3 ทำหน้าที่ปิดกั้นและดูดซับความร้อนลำแสงเอกซเรย์ชนิด polychromatic X-ray beam หรือ white beam ไม่ให้ผ่านเข้าสู่ห้องสถานีทดลอง (experimental station) ดังนั้น WBS3 จึงเสมือนเป็น “Safety shutter” ของระบบลำเลียงแสง การทำงานของ WBS3 อาศัยแรงดันลม โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมและตรวจสอบสถานะการเปิด-ปิดได้ผ่านโปรแกรม BL1.2 Beamline interlock และโปรแกรมถ่ายภาพ XIMac ดังนี้

“เปิด” เมื่อ WBS2 ขึ้นสูงสุดและพ้นลำแสง ปล่อยให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ experimental station

“ปิด” เมื่อ WBS2 ลงต่ำสุดและบังลำแสงทั้งหมด กั้นไม่ให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านเข้าสู่ experimental station

4. Beam stop ตัวที่ 1 (BS1) ทำจากทองแดงหนา 50 มม. ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคัดเลือกพลังงาน (double crystal monochromator; DCM) ณ สถานีทดลอง BS1 ทำหน้าที่ยับยั้งเอกซ์เรย์ที่ทะลุผ่านผลึกชิ้นที่ 1 การใช้งานBS1 สามารถควบคุมด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน ดังนี้

“เปิด” เมื่อ BS1 ลงต่ำสุด (ตำแหน่ง 0.00 มม.) ปล่อยให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านไปที่ตำแหน่งตัวอย่าง

“ปิด” เมื่อ BS1 ขึ้นสูงสุด (ตำแหน่ง 10.00 มม.) กั้นไม่ให้ลำแสงเอกซเรย์ผ่านไปที่ตำแหน่งตัวอย่าง

5. Beam stop ตัวที่ 2 (BS2) ทำจากตะกั่วหนา 10 มม. ติดตั้งตรงกับแนวลำแสง primary beam (จาก white beam) และตรงกับแนวลำแสง secondary beam (จาก monochromatic beam) บนกำแพงภายใน

สถานีทดลอง (experimental station) BS2 ทำหน้าที่เป็นเป้าหยุดลำแสงเอกซ์เรย์ไม่ให้เกิดการกระเจิงผ่านออกจากสถานีทดลอง เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติงานภายนอกห้องทดลองจากอันตรายทางรังสี

6. Radiation shielding (RS1, RS2, RS3, และ RS4) ติดตั้งอยู่ที่บริเวณกำแพง shielding wall ทั้ง 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 5 โดย RS1 ทำจากก้อนตะกั่วหนา 50 มม. และ RS2, RS3, R4 ประกอบขึ้นจากแผ่นตะกั่วหนา 1 มม. วางซ้อน 1 – 2 ชั้น ทำหน้าที่ปิดช่องว่างในกำแพงเพื่อป้องกันรังสีส่งผ่านระหว่างห้องส่วนหน้าระบบลำเลียงแสง (Front end), ส่วนกลางระบบลำเลียงแสง (Optic hutch 1 และ Optic hutch 2), และส่วนปลายระบบลำเลียงแสง (End station)

7. ห้องควบคุมการแผ่รังสี (Lead shielding hutch หรือ Safety hutch) เป็นผนังเหล็กผสมตะกั่วที่สร้างขึ้นครอบคลุมระบบลำเลียงตั้งแต่ shielding wall ไปจนถึงปลายสถานีทดลอง โดยออกแบบให้กั้นผนังเป็นห้องแบ่งแยกส่วน Front end, Optic hutch 1, Optic hutch 2 และ Experimental station ออกจากกัน ตัวผนังของ Safety hutch ทั้งหมดทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.5 มม.ประกบด้วยแผ่นเหล็กหนา 2 มม. ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียงพอในการจำกัดขอบเขตการแผ่รังสีให้อยู่ภายในห้อง โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ซึ่งอยู่ภายนอกห้องในขณะใช้งานระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลอง

8. ประตูกันรังสี (Lead shielding gate หรือ Safety gate) เป็นประตูสำหรับเข้า-ออก Safety hutch ห้องต่างๆ ซึ่งทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับ Safety gate เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติงานจากอันตรายจากรังสี ในแต่ละห้องจะประกอบด้วย Safety gate 2 ประตู ได้แก่ ประตูหลักและประตูรอง การเปิด-ปิดประตูจะควบคุมด้วยกุญแจและระบบล็อคแม่เหล็ก (Magnetic lock) ภายใต้ระบบ Personnel interlock system

a. ในกรณีที่ระบบ Personnel interlock system ตรวจพบว่าประตูใดประตูหนึ่งในระบบลำเลียงแสงเปิดหรือปลดล็อคไว้ ผู้ปฏิบัติงานจะไม่สามารถเปิดใช้ Safety shutter (WBS3) ได้
b. ในกรณีฉุกเฉิน ผู้ปฏิบัติงานสามารถกดปุ่มฉุกเฉินจากภายในห้องหรือภายนอกห้อง เพื่อปิด Safety shutter (WBS3) และปลดล็อค ประตู Safety gate ได้ทันที

9. กระจกป้องกันรังสีเอกซเรย์ (Lead glass) เป็นกระจกใสสีขาวอมเหลือง มีความหนา 10 มม. ป้องกันและลดทอนรังสี X-ray ได้ดี เทียบเท่ากับแผ่นตะกั่วหนา 2 มม. (2 mmPb) กระจกป้องกันรังสีจะติดตั้งที่ประตูห้อง Optic hutch 2 และประตูห้องสถานีทดลองซึ่งช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตการณ์จากภายนอกได้ระหว่างที่มีการใช้งานรังสีภายในห้อง

10. ระบบ Beamline Interlock (Beamline interlock system) เป็นระบบควบคุมความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดปกติของสภาวะสุญญากาศตลอดท่อลำเลียงแสงเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาวะสุญญากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อวงกักเก็บอิเล็กตรอน

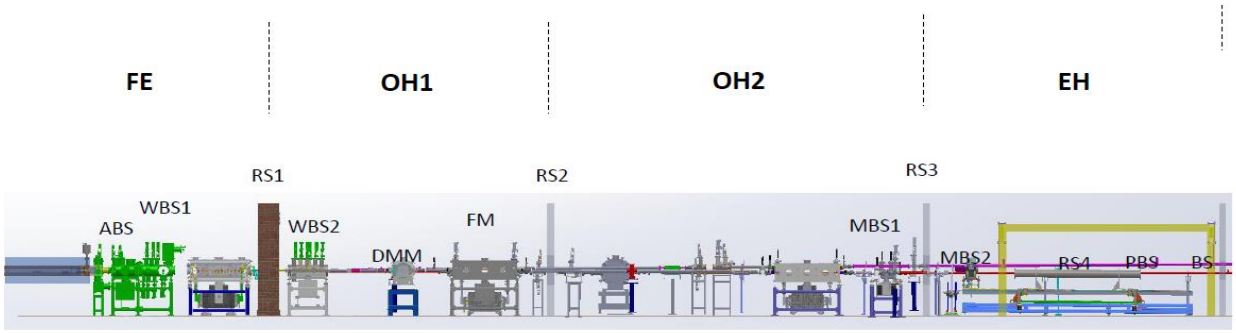
3. ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W: Small/Wide Angle X-ray Scattering

ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W: Small/Wide Angle X-ray Scattering สำหรับการศึกษาโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยเทคนิค Small Angle X-ray Scattering เป็นระบบลำเลียงแสงที่ใช้การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ บอกถึงการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ขนาด รูปร่าง โครงสร้างของตัวอย่างได้ในระดับนาโนเมตร

ระบบลำเลียงแสงที่ 1 แบ่งออกเป็นระบบลำเลียงแสงย่อย 3 ระบบลำเลียงแสง คือ BL1.1W, BL1.2W และ BL1.3W โดยทั้งสามระบบลำเลียงแสงจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (Front end, FE)
2. ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 1 (Optics hutch 1, OH1)

3. ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ 2 (Optics hutch 2, OH2)
4. สถานีทดลอง (Experimental hutch, EH)



รูปที่ 3 ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W

1. Absorber (ABS) อยู่ใน FE chamber ทำหน้าที่ปิดกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำที่มากับแสงซินโครตรอน มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด) โดยทำจากโลหะทองแทงมีขนาด กว้างxสูงxหนา 60x50x28 ลบ.มม.

2. White Beam Shutter ตัวที่ 1 (WBS1) อยู่ใน FE chamber ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม ที่สามารถทะลุออกมา หลังจากการปิด ABS อีกชั้นหนึ่ง ทำจากตะกั่ว มีขนาด กว้างxสูงxหนา 150x40x40 มม.3 ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยมี 2 สถานะการทำงาน คือ สถานะเปิด (ยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด) เนื่องจากอุปกรณ์ WBS1 จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกันทั้ง 3 ระบบลำเลียง BL1.1W, BL1.2W และ BL1.3W ในช่วงการให้บริการแสงปกติ WBS1 จะถูกเปิดอยู่ตลอดเวลา จะปิดในกรณีต้องมีการเข้าไปซ่อมบำรุงภายใน OH1

3. Radiation shielding ตัวที่ 1 (RS1) กั้นระหว่าง FE และ OH1 ทำจากก้อนตะกั่วหนา 50 มม. ดังแสดงในรูปที่ 16 มีหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอน และระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า ไม่ให้เข้ามาภายใน OH1

4. White Beam Shutter ตัวที่ 2 (WBS2) อยู่ใน OH1 ทำหน้าที่ปิดกั้น WB และรังสีพลังงานสูง ทำจากโลหะทองแดงขนาด 60x50x28 มม.3 และปิดท้ายด้วยตะกั่วขนาด 50x40x15 มม3 (กว้างxสูงxหนา) ดังแสดงในรูปที่ 17 มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด)

5. Mirror stage เป็นฐานของกระจกใน Double Multilayers Monochromator (DMM) (รูปที่ 18) ทำหน้าที่ปิดกั้น WB ที่เกิดขึ้น (White beam block inside DMM) หลังจากคัดเลือกพลังงานเดี่ยวแล้ว โดยเมื่อ Align แสงจะต้องมีการตรวจทุกครั้งว่า WB ส่วนเกินในแนวตั้ง ไม่อยู่เหนือฐานของกระจกตัวที่ 1 โดยฐ านของกระ จ ก ตัว ที่ 1 ใน DMM ต้องส าม าร ถ บ ัง WB ส ่ว นเกินจา ก ด้านล ่าง ไ ด้ทั้ง ห ม ดซึ่งสามารถตรวจสอบได้จาก สกรีนทาสารเรืองแสง SC1-FM ซึ่งอยู่ก่อนถึงกระจกรวมแสง FM และอยู่ด้านหลังDMM จะต้องตรวจพบแต่รังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic beam, MB) เท่านั้น

6. Radiation shielding 2 (RS2) กั้นระหว่าง OH1 กับ OH2 ทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 20 ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิง ที่ออกมาจากห้อง OH1

7. Monochromatic Beam Shutter ตัวที่ 1 (MBS1) อยู่ใน OH2 ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic X-ray beam) ใช้การออกแบบเดียวกับ WBS2 คือทำจากโลหะทองแดงขนาด 60x50x28 มม.^{3} และปิดท้ายด้วยตะกั่วขนาด 50x40x15 มม^3 (กว้างxสูงxหนา) ดังแสดงในรูปที่ 21 มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด และสถานะปิด ทำหน้าที่เป็น shutter หลักในการเปิด-ปิดแสง ไม่ให้เข้าไปใน EH ขณะมีผู้ปฏิบัติงานอยู่ภายใน EH โดยสถานะของการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ MBS1 นี้ ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบ interlock ในการเปิด-ปิดประตูของ EH นั่นคือจะไม่สามารถเปิดประตูเข้าไปข้างใน EH ได้ หาก MBS1 มีสถานะเป็น open

8. Radiation shielding (RS3) อยู่ระหว่าง OH2 และ EH ดังแสดงในรูปที่ 22 ทำหน้าที่ปิดกั้นรัง สีกระเจิง ที่ออกมาจากห้อง OH2

9. Monochromatic Beam Shutter ตัวที่ 2 (MBS2) ติดตั้งอยู่ภายใน experimental hutch บริเวณด้านหน้าตำแหน่งติดตั้งตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 23 ตัววัสดุปิดกั้นแสงทำจากโลหะทังสเตน หนา 2.3 มม. ซึ่งสามารถกั้น x-ray พลังงานสูงสุด 100 keV ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic X-ray beam) พลังงาน 9 keV ซึ่งใช้งานอยู่ที่ระบบลำเลียงแสงที่ 1.3W มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (แท่งทังสเตนยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (แท่งทังสเตนยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด) ทำหน้าที่เป็น shutter สำหรับเปิดปิด x-ray ให้วิ่งชนตัวอย่าง โดยในขณะที่มีผู้เข้าไปปฏิบัติงานใน EH ทั้ง MBS2 และ MBS1 จะต้องอยู่ในสถานะปิด นั่นคือไม่มี x-ray เดินทางมาที่ EH จึงจะสามารถเปิดประตูเข้าไปใน EH ได้ เมื่อผู้ปฏิบัติงานออกจาก EH และทำการ search hutch และล็อคประตู ตามกระบวนการความปลอดภัยแล้ว จึงจะสามารถควบคุม MBS1 เพื่อเปิดให้ x-ray เข้ามาใน EH ได้ จากนั้นจึงจะสามารถควบคุม MBS2 เพื่อเปิดให้รังสีเอกซ์วิ่งชนตัวอย่างได้

10. Radiation Shielding 4 (RS4) แผ่นตะกั่ว หนา 1.0-1.5 มม. หุ้มล้อมรอบท่อสุญญากาศของระบบลำเลียงแสงที่ BL1.2W ทั้งหมด ภายใน Experimental hutch (EH) ของระบบลำเลียงแสง BL1.3W และหุ้มทับด้วย aluminum foil เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงกับตะกั่ว

11. Primary Beam Stopper (PBS) ติดตั้งอยู่ภายใน EH บริเวณด้านหน้า detector ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic X-ray beam) หลังจากผ่านตัวอย่าง ไม่ให้รังสีเอกซ์ความเข้มสูงเดินทางไปถึง detector โดยตรง ซึ่งด้านหน้าของ PBS จะมี Photodiode สำหรับการอ่านค่า ความเข้มรังสีเอกซ์หลังจากเดินทางผ่านตัวอย่าง และด้านหลังของ PBS ทำจากวัสดุสเตนเลสหนา 2 มม. และปิดทับด้วยทังสเตนหนา 5 มม.

12. Beam Stopper (BS) ทำจากแผ่นตะกั่วหนา 1.0 มม ซ้อนกันจำนวน 2 ชั้น หุ้มด้วยอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 220 มม. ติดตั้งที่ด้านหลังผนัง Experimental hutch ตรงกับตำแหน่งแนว
primary x-ray beam ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ x-ray ในแนว primary beam ผ่านไปด้านหลัง experimental hutch

13. Safety hutch (SH) ทำหน้าที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไปโดยสมบูรณ์ SH เป็นห้องมีผนังทำด้วยตะกั่วหนา 1.5 มม. ประกบด้วยเหล็กหนา 2 มม. ทั้งสองด้าน ทำหน้าที่ป้องกันรังสีไม่ให้ออกนอกบริเวณ SH โดยแบ่งออกเป็น 3 ห้องย่อยคือ OH1, OH2 และ EH ดังแสดงในรูปที่ 27 แต่ละห้องมีทางเข้าหลัก 1 ทาง และทางเข้ารอง 1 ทาง ซึ่งอยู่คนละด้านของผนัง hutch

14. Safety gate (SG)ทำหน้าที่เป็นทางเข้าออกพื้นที่ควบคุม ผนังทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับผนัง SH

14.1 Front safety gate (FSG) เป็นทางเข้าออกหลักของแต่ละห้อง มีระบบล็อคประตูสามชั้น ทั้งการล็อคเชิงกลด้วยกุญแจ ระบบล็อคแม่เหล็ก และระบบ contact switch โดยเป็นประตูบานเลื่อนขนาดใหญ่สำหรับ OH1 และ OH2 และเป็นประตูบานพับขนาดเล็ก ซึ่งมีกระจกกันรังสีเทียบเท่าตะกั่วหนา 2.5 มม. ติดตั้งอยู่บนบานประตู สำหรับ EH ซึ่งระบบ contact switch เป็นระบบที่แยกออกมาจากระบบของ PLC นั่นคือเป็น

switch ที่ต่ออนุกรมกับสายไฟที่ไปควบคุมการทำงานของ shutter ไม่ว่าประตูถูกเปิดออกด้วยสาเหตุใดก็ตาม สายไฟที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าไปเปิดการทำงานของ shutter ก็จะถูกตัดการเชื่อมต่อ ทำให้ไฟไม่ครบวงจร ซึ่งจะทำให้ shutter ซึ่งมีการทำงานแบบ normal close ปิดลงโดยอัตโนมัติ

14.2 Rear Safety Gate (RSG) เป็นประตูบานเลื่อนขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับ รูปที่ 28 และรูปที่ 29 ติดตั้งอยู่บนผนัง SH ฝั่งตรงข้ามกับ FSG ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ขนาดใหญ่ เข้า หรือออกจาก SH โดยมีระบบล็อคประตู 2 ชั้นด้วยระบบล็อคแม่เหล็กและ contact switch และเพื่อป้องกันการเปิดแสงผิดพลาดในขณะที่ RSG ถูกเปิดอยู่ ระบบล็อคของ RSG จึงทำงานสัมพันธ์กับระบบล็อคของ FSG โดยต้องปลดล็อค FSG ก่อนการปลดล็อค RSG และต้องทำการล็อค RSG ก่อนการล็อค FSG

15. สัญญาณไฟ x-ray on มีจำนวน 3 ชุด ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของประตูหน้า ภายใน และบริเวณด้านบนของประตูหลัง EH เมื่อสัญญาณไฟ x-ray on สว่าง หมายถึง MBS2 ได้ถูกยกขึ้น (open) มีผลให้รังสีเอกซ์เดินทางไปยังตัวอย่างและ detector

16. สัญญาณไฟ Beacon ด้านหน้า EH (BH1) ติดตั้งอยู่ที่ด้านหน้า EH ดังแสดงในรูปที่ 32 เชื่อมต่ออยู่กับสถานะของ MBS1 ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้

16.1 สัญญาณไฟเขียว: ไม่มีรังสีเอกซ์ข้างใน EH และสามารถเข้าไปข้างใน EH ได้

16.2 สัญญาณไฟแดง: มีรังสีเอกซ์ข้างใน EH และไม่อนุญาตให้เข้าไปภายใน EH

16.3 สัญญาณไฟส้ม: สถานะพร้อมที่จะเปิด MBS1 และไม่อนุญาตให้เข้าไปภายใน EH

16.4 สัญญาณไฟส้มและเขียวติดพร้อมกัน: อยู่ในระหว่างกระบวนการ search hutch

17. สัญญาณไฟ Beacon บริเวณปุ่ม search hutch (BH2)ติดตั้งอยู่ภายใน EH ข้างปุ่ม search hutch ใช้สำหรับแสดงไฟเตือนสีส้มกระพริบ ขณะมีการกดปุ่ม search hutch

18. ปุ่ม Search hutch ปุ่มสีเหลือง ติดตั้งอยู่ด้านใน บริเวณด้านข้างประตู EH, OH1 และ OH2 ใช้สำหรับเริ่มกระบวนการ search hutch เพื่อแจ้งเตือนบุคคลที่ยังอยู่ข้างในว่ามีความต้องการปิดประตู FSG ให้คนที่ยังอยู่ด้านในทั้งหมดรีบออกมาจาก hutch เมื่อมีการกดปุ่ม search hutch ระบบจะจับเวลา 15 วินาที BH1 จะติดเป็นสีส้มและสีเขียว สัญญาณไฟ BH2 จะติดเป็นสีส้มกระพริบ และลำโพงจะส่งเสียงดนตรีเตือนผู้อยู่ภายใน hutch นั้นๆ

19. ปุ่ม Emergency ปุ่มสีแดง ติดตั้งอยู่ภายใน บริเวณด้านข้างประตูทั้ง FSG และ RSG และหน้าตู้ควบคุม hutch interlock รวมมีปุ่ม emergency ติดตั้งอยู่ 3 ปุ่ม ต่อ 1 hutch ใช้สำหรับหยุดรังสีเอกซ์ / รังสีความถี่รวม ที่เข้ามาใน hutch นั้นๆ ในกรณีฉุกเฉิน

20. ลำโพงติดตั้งอยู่ภายใน OH1, OH2, EH และด้านหน้า EH ใช้สำหรับส่งเสียงดนตรีเมื่อมีการกดปุ่ม search hutch เพื่อเตือนให้ผู้ที่ยังอยู่ด้านใน hutch รีบออกมาข้างนอกทันที

21. ตู้ควบคุมการทำงานของระบบเปิดปิดประตู hutch (hutch interlock controller) (HIC) ติดตั้งอยู่ด้านข้างของประตู FSG ทุกบาน ประกอบด้วยจอแสดงสถานะของการเปิด-ปิดประตูทุกบาน การเปิด-ปิดABS / WBS / MBS และวาล์วทุกตัวของทั้ง 3 ระบบลำเลียงแสง BL1.1W, BL1.2W และ BL1.3W สถานะการกดปุ่ม emergency มีปุ่ม-สวิตช์กุญแจสำหรับควบคุมระบบล็อคแม่เหล็ก สวิตช์กุญแจสำหรับการทำ override ระบบ hutch interlock มีปุ่ม emergency สำหรับตัดการทำงานแบบฉุกเฉิน มี buzzer สำหรับส่งเสียงเตือนในกรณีมีความพยายามจะเข้าไปภายใน hutch ในขณะที่ยังไม่ได้ปิด WBS / MBS ที่อยู่ก่อนถึง hutch นั้นๆ และสำหรับตู้ควบคุมหน้า EH จะมีสวิตช์ควบคุมการเปิดปิด MBS1 ระบบ interlock จะตรวจสอบสถานะของแม่เหล็กล็อค

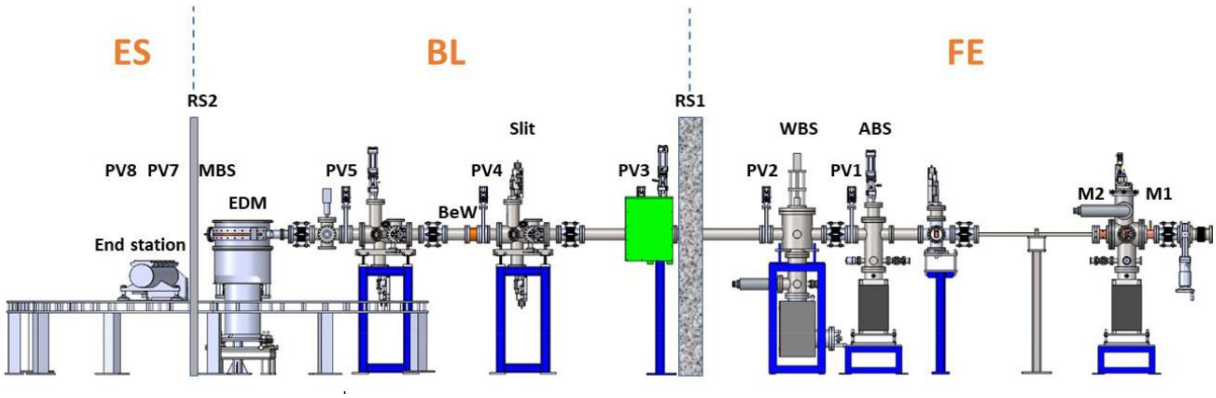
ประตู โดยจะต้องมีสถานะเป็น ON ก่อนจะอนุญาตให้เปิด ABS / WBS / MBS ที่อยู่ก่อนหน้าแต่ละ hutch โดยการจะ ON ระบบล็อคแม่เหล็กได้ ต้องผ่านกระบวนการ search hutch สำเร็จก่อน

4. ระบบลำเลียงแสงที่ 2.2 : Time Resolved X-ray Absorption Spectroscopy

ระบบลำเลียงแสงที่ 2.2: TR-XAS (Time-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy) สำหรับการศึกษาโครงสร้างระดับอะตอมโดยเทคนิค X-ray Absorption Spectroscopy เป็นระบบลำเลียงแสงใช้เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ ใช้ศึกษาโครงสร้างของตัวอย่างในระดับอะตอม ติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างภายใต้อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความดันแก๊ส กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ เพราะใช้ในการศึกษาพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เซลล์เชื้อเพลิง แบตเตอรี่เป็นต้น

ระบบลำเลียงแสงที่ 2.2 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (FE)
2. ระบบลำเลียงแสง (BL)
3. สถานีทดลอง (ES)



รูปที่ 4 แผนผังของระบบลำเลียงแสง BL2.2

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสง มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
ABS Absorber	ตัวปิดกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำ
Beamline interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสุญญากาศและเปิด-ปิดรังสีในระบบลำเลียงแสง
BeW Beryllium windows	ช่องเปิดรังสีชนิดเบริลเลียม
BL Beamline	ระบบลำเลียงแสง
BS Beam stop	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์
EDM Energy dispersive monochromator	อุปกรณ์คัดแยกพลังงานรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน
ES End station	สถานีทดลอง

ชื่อย่อ	ความหมาย
End station interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสุญญากาศและเปิด-ปิดรังสีในสถานีทดลอง TRXAS
FE Front end	ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า
M Mask	ช่องตัดแสง
MBS Monochromatic beam shutter	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว
PSI Personnel safety interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัยของผู้ใช้งาน
PSS Personnel safety system	ระบบความปลอดภัยสำหรับบุคลากร
PV Pneumatic valves	วาล์วกั้นระบบสุญญากาศแบบนิวเมติกส์
RA Radiation control area	บริเวณควบคุมทางรังสี
RS Radiation shielding	แผ่นปิดกั้นรังสี
Safety shutter	ตัวปิดกั้นรังสีที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีเข้ามาในสถานีทดลอง อาจเป็น WBS หรือ MBS
SG Safety gate	ประตูเข้า-ออกบริเวณควบคุมทางรังสี
Slit	แผ่นปรับขนาดแสงซินโครตรอน
WB White beam	รังสีความถี่รวม
WBS White beam shutter	ตัวปิดกั้นรังสีความถี่รวม

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 2.2

1. Absorber (ABS) สร้างจากทองแดงชนิด OFHC และหล่อเย็นด้วยน้ำ อยู่ใน FE ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากแสงซินโครตรอนจากวงเก็บอิเล็กตรอนก่อนที่จะชน white beam shutter ตัวที่ 1

2. White beam shutter (WBS) ทำจากตะกั่วอยู่ติดกับ ABS ใน FE ทำหน้าที่ปิดไม่ให้มีรังสีออกมาจาก FE เมื่อต้องการเข้าไปใน BL โดยใช้เป็น safety shutter ของบริเวณระบบลำเลียงแสง

3. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 1 (RS1) กั้นระหว่าง FE และ BL เป็นผนังคอนกรีตหนา 50 เซนติเมตร และก้อนตะกั่วหนา 50 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กั้นรังสีในวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอน และ FE ไม่ให้เข้าไปใน BL

4. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 2 (RS2) เป็นฉากกั้นระหว่าง BL และ end-station เพื่อป้องกันรังสีแก่ผู้ปฏิบัติงานบริเวณสถานีทดลอง สร้างจากผนังเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร บุด้านในด้วยแผ่นตะกั่วหนา 2 มิลลิเมตร

5. EDM white beam stop ทำจากตะกั่วหนา 20 มิลลิมตร บรรจุอยู่ด้านในกล่องสเตนเลส ติดตั้งในแนวแสงซินโครตรอนภายใน EDM เพื่อกั้นแสงในแนวของ white beam ที่อาจทะลุผ่านผลึก โดยเคลือบด้วยสารเรืองรังสีเอกซ์ไว้ด้านหน้า มีลักษณะดังแสดงใน

6. EDM white beam monitor เป็นกล้องวงจรปิดติดตั้งด้านบน EDM สำหรับตรวจดู white beam ด้านใน EDM

7. Monochromatic beam shutter (MBS) ทำจากโลหะทังสเตนหนา 5 มิลลิเมตร อยู่หน้าช่องแสง monochromatic beam ของ EDM โดยติดตั้งในบริเวณ BL ติดกับ RS2 ทำหน้าที่ปิดไม่ให้มีรังสีเอกซ์เข้าไปใน ES โดยใช้เป็น safety shutter ของบริเวณสถานีทดลอง

8. Radiation control area (RA) ทำหน้าที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไปโดยสมบูรณ์ RA เป็นรั้วกั้นทำด้วยแผ่นอะคริลิค ทำหน้าที่กำหนดบริเวณควบคุมทางรังสี ป้องกันการรุกล้ำเข้าไปในบริเวณ BL และ SE โดยมีทางเข้า 2 ทาง (1, 2) สำหรับบริเวณ ES และ1 ทาง (3) สำหรับ BL

9. Safety gate (SG) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าออก BL และ ES ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับผนัง RA โดยบริเวณ BL มี 1 ประตูเข้า-ออก โดยควบคุมการเปิด-ปิดพด้วยระบบ PSI ซึ่งเชื่อมต่อกับ WBS และบริเวณ ES จะมี 2 ประตู ควบคุมการเปิด-ปิดพร้อมกันด้วยระบบ Personnel Safety Interlock (PSI) ซึ่งเชื่อมต่อกับ MBS นอกจากนั้น SG ยังมี Contact Switch เพื่อบอกสถานะการเปิด-ปิดของประตู ที่แยกออกจากระบบ PSI ซึ่งการทำงานของ Contact switch มี 2 กรณี

(1) ถ้าประตูเปิด จะไม่สามารถเปิด Shutter ได้

(2) ถ้า Shutter เปิดทิ้งไว้และมีการเปิดประตู Shutter จะปิดลงทันที

10. ไฟสถานะ X-RAY และป้ายไฟ X-RAY ON เชื่อมต่อกับสถานะเปิดปิดของ safety shutter โดยไฟสถานะจะแสดง**สีแดง**เมื่อ shutter เปิด แสดง **สีเหลือง** เมื่อประตูปิด และ shutter ปิด แสดง **สีเขียว** เมื่อประตูเปิด และ shutter ปิด ติดตั้งไว้ตรงประตูทางเข้า (SG) และป้ายไฟ X-RAY ON ติดตั้งไว้บริเวณสถานีทดลอง โดยไฟจะสว่างขึ้นเมื่อ shutter เปิด

11. การเปิดปิด safety shutter สามารถทำได้โดยควบคุมผ่านโปรแกรม beamline interlock หรือ end station interlock

12. ระบบ beamline interlock ใช้สำหรับการเปิด-ปิดวาล์ว และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบลำเลียงแสง โดยมีลำดับการเปิดปิด (Open sequence) ที่กำหนดไว้แต่แรก เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบลำเลียงแสง ดังนี้

(1) ขั้นตอนเปิดใช้งาน PV5 > PV3 > PV2 > PV1 > WBS >ABS

(2) ขั้นตอนปิดใช้งาน ABS > WBS > PV1 > PV2 > PV3 > PV5

Beamline interlock มีการทำงาน 2 โหมด คือ

(1) Editor (ต้องการรหัสเปิดใช้งาน) สามารถสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ได้

(2) Monitor ดูสถานะอุปกรณ์ได้เพียงอย่างเดียว

13. ระบบ End station interlock ใช้สำหรับการเปิด-ปิดวาล์ว และ MBS ในสถานีทดลอง End station interlock มี PSI 2 โหมด คือ

(1) Operator mode (override mode) (ต้องการรหัสเปิดใช้งาน) สามารถเปิด-ปิดวาล์วและ MBS ผ่านโปรแกรม และสามารถเปิด SG (หมายเลข 1 และ 2) ขณะ MBS แสดงสถานะเปิดได้ โดยการกดปุ่มสีเขียวตรง SG เพื่อเข้าไปในบริเวณ ES ทั้งนี้ จะมีเสียงเตือนหากมีการเปิดใช้งาน

(2) User mode สามารถเปิด-ปิดวาล์วและ MBS ผ่านโปรแกรมเท่านั้นโดยไม่สามารถเปิด SG ได้ ทั้งนี้ user mode สามารถสั่งเปิด-ปิด MBS 2 ลักษณะคือ

(2.1) manual สั่งเปิด-ปิด MBS ด้วยตนเอง

(2.2) repeat สั่งเปิด-ปิด MBS ตามคำสั่งที่ได้ตั้งไว้ล่วงหน้า

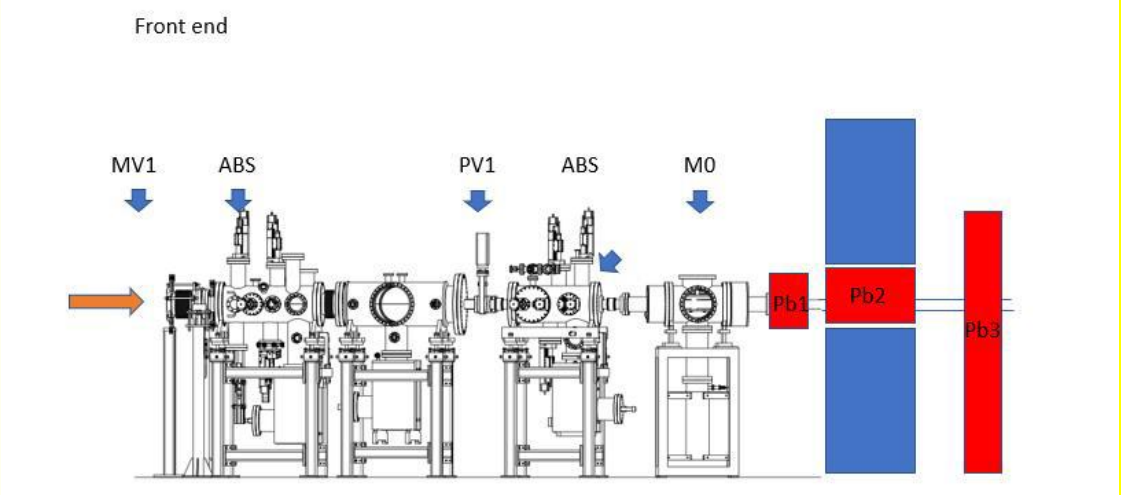
5. ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2U: Photoemission spectroscopy & Photoemission electron microscopy

ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2Ua/b: PES/PEEM

สถานีทดลอง BL3.2Ua: PES (Photoelectron Emission Spectroscopy) สำหรับการศึกษาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์บริเวณพื้นผิวโดยเทคนิค Photoelectron Emission Spectroscopy เป็นเทคนิควัดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน โดยใช้แสงซินโครตรอนในย่านอัลตราไวโอเลตและรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ เพื่อศึกษาค่าพลังงานอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาพื้นผิวของตัวอย่างเมื่อแสงซินโครตรอนมาตกกระทบ เช่น การตรวจหาการเจือปนและโครงสร้างทางเคมีบริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง เป็นต้น

สถานีทดลอง BL3.2Ub: PEEM (Photoelectron emission Microscopy) สำหรับการถ่ายภาพพื้นผิวโดยเทคนิค Photoemission Electron Microscopy เป็นระบบลำเลียงแสงที่สามารถสร้างภาพจากอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกจากผิวหน้าตัวอย่างเมื่อแสงซินโครตรอนตกกระทบ สามารถเลือกถ่ายภาพเฉพาะบริเวณที่สนใจได้ในระดับนาโนเมตร ทั้งยังศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในบริเวณต่างๆที่กำลังถ่ายภาพได้ทันที เช่น การศึกษาลายและตำหนิบนพื้นผิวโลหะการกัดกร่อนของพื้นผิวโลหะต่างๆ ฟิล์มบาง และการเคลือบผิว

ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2Ua/b ติดตั้งอยู่ที่ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (front end) ประกอบด้วย



รูปที่ 5 ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 3.2U มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
U60	Undulator
MV1	Manual valve หมายเลข 1
ABS	Beam absorber
U60-ABS	U60 beam absorber
BM-ABS	Bending magnet beam absorber
MID	Middle chamber
PV1	Pneumatic valve หมายเลข1
PBPM-ABS	Photon beam position monitoring beam absorber
M0	Manual valve ตัวที่ 0
Pb1	Radiation shielding (ตะกั่ว) ชุดที่ 1
Pb2	Radiation shielding (ตะกั่ว) ชุดที่ 2

ชื่อย่อ	ความหมาย
Pb3	Radiation shielding (ตะกั่ว) ชุดที่ 3
PV2	Pneumatic valve หมายเลข 2
CCG	Cold cathode gauge
IC1	Pumping unit หมายเลข 1
S1	Slit หมายเลข 1
IC2	Pumping unit หมายเลข 2
MV2	Manual valve หมายเลข 2
M1/1	Mirror หมายเลข 1 ตัวที่ 1
M1/2	Mirror หมายเลข 1 ตัวที่ 2
G	Grating
MV3	Manual valve หมายเลข 3
IC4	Pumping unit หมายเลข 4
S2	Slit หมายเลข 2
PV3	Pneumatic valve หมายเลข 3
M2Cy	Mirror หมายเลข 2 Cylindrical
PV4	Pneumatic valve หมายเลข 4
M2V	Mirror หมายเลข 2 Vertical
M2H	Mirror หมายเลข 2 Horizontal
MV4	Manual valve หมายเลข 4
PEEM	Photoemission electron microscopy
PV5	Pneumatic valve หมายเลข 5
IC5	Pumping unit หมายเลข 5
M2T	Mirror หมายเลข 2 Toroidal
MV5	Manual valve หมายเลข 5
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy
PES	Photoemission spectroscopy
BL3.2Ua	ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2Ua
BL3.2Ub	ระบบลำเลียงแสงที่ 3.2b

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 3.2U

1. Beam absorber (ABS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม (white beam) และทำหน้าที่เป็น Beam shutter (BS) มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิดและสถานะปิด ทำจากแผ่นโลหะทังสเตน (W) ขนาด 10 x 38 x 5 mm มี 3 ตำแหน่ง คือ BM-ABS สำหรับปิดกั้นแสงจาก bending magnet, U60-ABS สำหรับปิดกั้นแสงจาก Undulator และ PBPM-ABS ซึ่งทำหน้าที่สองอย่างคือปิดกั้นแสงจาก Undulator และยังทำหน้าที่เป็น photon beam position monitor

2. Radiation shielding (RS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนและระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า เป็นก้อนตะกั่ว 3 ชุด คือ Pb1, Pb2 และ Pb3

3. โปรแกรม Beamline Interlock ทำงานได้ 2 โหมด คือ user mode และ maintenance mode โดยเลือกโหมดด้วยการบิดกุญแจที่หน้าตู้ควบคุมระบบลำเลียงแสงและควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านจอสัมผัส

3.1 User mode ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

(1) บิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง Interlock panel lock หน้าจอสัมผัสแสดงสถานะ user mode

(2) วาล์วสุญญากาศ MV1 และ PV1 อยู่ในสถานะเปิด และไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้

(3) BM-ABS อยู่ในสถานะปิดและU60-ABS อยู่ในสถานะเปิดและไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้

(4) โปรแกรมจะปิด U60-ABS, PV1, PBPM-ABS, PV2, PV3, PV4 และ PV5 อัตโนมัติเมื่อมีความ ผิดปกติของความดันสุญญากาศ

(5) มีลำดับในการเปิดวาล์วจาก PV5 PV4 PV3 MV3 MV2 PV2 และ PBPM-ABS

(6) มีลำดับในการปิดวาล์วจาก PBPM-ABS PV2 MV2 MV3 PV3 PV4 และ PV5

3.2 Maintenance mode คือ mode ที่ใช้สำหรับแก้ไขสถานะไม่ปกติของระบบลำเลียงแสงที่ทำให้ Interlock ทำงานและทำให้ Valve ทุกตัวปิด โดยเงื่อนไขของสถานะต้องเป็นไปตามนี้

(1) บิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง Interlock panel on หน้าจอสัมผัสแสดงสถานะ maintenance mode

(2) สามารถเปลี่ยนสถานะของ ABS, MV และ PV ได้ทุกตัว

(3) ลำดับในการเปิด-ปิดวาล์วเป็นแบบเดียวกับ user mode ยกเว้น MV1 U60 ABS และ PV1 จะไม่มีลำดับในการเปิด-ปิด วาล์ว

4. Manual valve 4 และ 5 (MV4, MV5) อุปกรณ์กั้นแสง soft X-ray ในส่วนท้ายของระบบลำเลียงก่อนเข้าระบบการวัดตัวอย่างของสถานีทดลอง PEEM และ PES

5. อุปกรณ์ป้องกันแสง visible-light beam stopper สำหรับป้องกันลำแสงซึ่งมีความสว่างและเป็นอันตรายต่อดวงตา มี 2 ตำแหน่ง คือ เสากั้นแสงที่ด้านหลัง grating chamber, ฉากกั้นแสงที่ช่องมองด้านหลัง analysis chamber ของสถานีทดลอง PEEM และฉากกั้นแสงที่ช่องมองด้านหลัง analysis chamber ของสถานีทดลอง PES

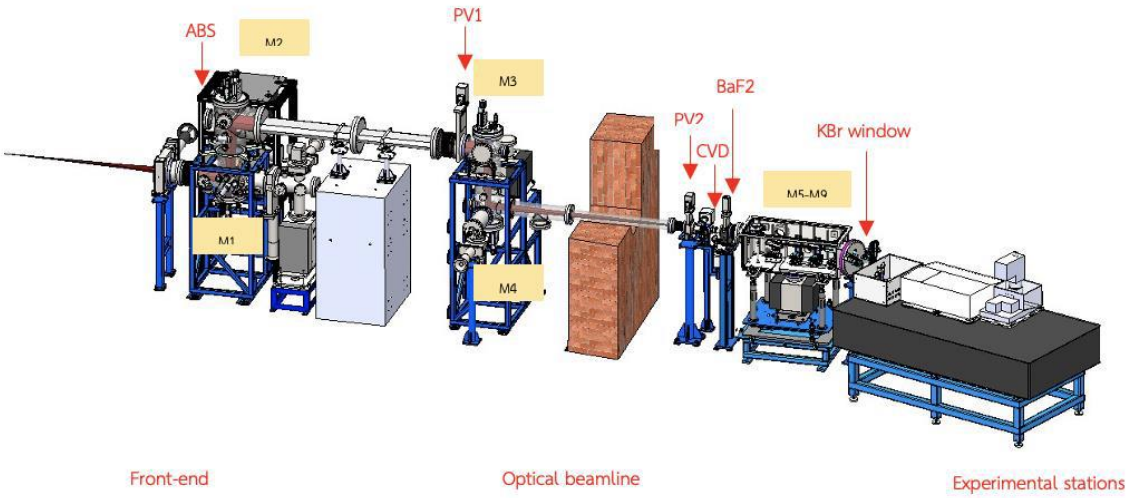
6. ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1: Infrared Spectroscopy and Imaging

ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1: IR Spectroscopy and Imaging สำหรับการตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสาร โดยอาศัยการดูดกลืนแสงในย่านรังสีอินฟราเรด เป็นเทคนิคการดูดกลืนแสงในย่านรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้วิเคราะห์ ตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างหมู่อะตอมที่แสดงคุณสมบัติเฉพาะ (functional group) ของโมเลกุลสารประกอบอินทรีย์ ทำให้สามารถจำแนกชนิดของโครงสร้าง และพันธะเคมีได้ เช่น สารชีวโมเลกุล พอลิเมอร์ เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง อาหาร ยาและเครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรดในการศึกษาสารตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก เช่น เซลล์พืช เซลล์สัตว์ เส้นผม และเส้นใย เป็นต้น

ระบบลำเลียงแสงที่ 4.1 ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (Front-end)
2. ระบบลำเลียงแสงในโถงทดลอง (Optical beamline)
3. สถานีทดลอง (Experimental stations)

ระบบทั้ง 3 ส่วนจะถูกควบคุมความปลอดภัยจากระบบควบคุมเพื่อให้การปฏิบัติงานของบุคลากรได้รับความปลอดภัย



รูปที่ 6 ทางเดินแสงของระบบลำเลียงแสงที่ 4.1 และสถานีทดลอง

อักษรย่อและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานของระบบลำเลียงแสงที่4.1IR ดังนี้

ชื่อย่อ		**ความหมาย**
ABS	Absorber Beam System	หน้าต่างเปิด-ปิดแสงจากวงกักเก็บอิเล็กตรอนเข้ามาที่ระบบลำเลียงแสง
BaF2	Barium Fluoride	หน้าต่างส่งผ่านกรองแสงอินฟราเรดและแสงที่ตามองเห็น
BL	Beamline	ระบบลำเลียงแสง
CVD	Diamond vacuum window	หน้าต่างกั้นระบบสุญญากาศ
KBr	Potassium Bromide	ตัวส่งผ่านกรองแสงอินฟราเรดและแสงที่ตามองเห็นและคัดแยกแสงก่อนเข้าระบบ
LCD	Liquid Crystal Display	จอแสดงผลแบบดิจิตอล
LN2	Liquid Nitrogen	ไนโตรเจนเหลว
M	Mirror	กระจกทำหน้าที่สะท้อนแสงในระบบลำเลียงแสง
MCT	Mercury Cadmium Telluride	เครื่องตรวจจับสัญญาณอินฟราเรด
PV	Pneumatic valve	วาล์วกั้นระบบสุญญากาศในระบบลำเลียงแสง
PSS	Personnel safety system	ระบบความปลอดภัยสำหรับบุคลากร
TL	Temperature Left	เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิด้านซ้ายของกระจก M1
TR	Temperature Right	เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิด้านขวาของกระจก M1
XPM	X-Pixelmap	นามสกุลไฟล์ เป็นไฟล์รูปภาพที่แสดงผลบน X Windows และอยู่ในระบบปฏิบัติการ Unix ถูกออกแบบให้เป็น 8 bits ต่อ 1 pixel

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีระบบลำเลียงแสงที่ 4.1

1. แท่งคอนกรีตป้องกัน X-ray ภายในระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (Front-end) บริเวณด้านหลังกระจก M1 ได้มีการติดตั้งแท่งคอนกรีตป้องกันขนาด 1350x900 mm2 หนา 700 mm เพื่อป้องกัน X-ray ที่ถูกตัดจาก M1

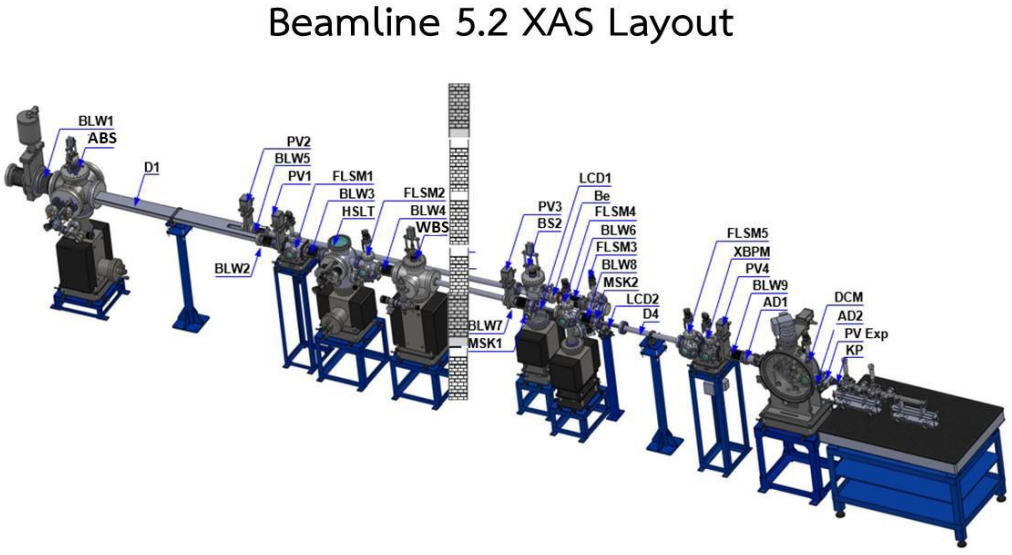
2. โปรแกรม Interlock Beamline 4.1ระบบควบคุมอินเตอร์ล็อค (Interlock control system) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการควบคุมการทำงานตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบลำเลียงแสง เช่นค่าความดันค่าอุณหภูมิและแสดงค่าพลังงานของอิเล็กตรอนและมีระบบเก็บข้อมูลที่จะบันทึก ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทุก ๆ 3 วินาที จนกว่าจะมีการปิดระบบ โดยมีการตรวจสอบค่าอุณหภูมิและ ความดันของระบบอยู่ตลอดเวลา เพื่อเช็คตำแหน่งของแสง อีกทั้งยังมีหน้าต่างโปรแกรมสำหรับใช้ งานในการควบคุมการ เปิด-ปิด วาล์วของระบบลำเลียงแสงในช่วงระหว่างทาการทดลอง ซึ่งหน้าต่างโปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ สำหรับการควบคุม

7. ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2: SUT-NANOTEC-SLRI XAS Beamline

ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2: XAS (X-ray Absorption Spectroscopy) สำหรับการศึกษาโครงสร้างระดับอะตอมโดยเทคนิค X-ray Absorption Spectroscopy เป็นเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ สามารถศึกษาชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของธาตุที่อยู่ในตัวอย่าง ทั้งยังสามารถบอกการจัดเรียงตัวจองอะตอมรอบๆ ได้ เหมาะสำหรับการวิจัยที่หลากหลาย วิจัยตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2 (BL5.2) ถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (front end)
2. ระบบลำเลียงแสงในโถงทดลอง (experimental area)
3. สถานีทดลอง (experimental stations)



รูปที่ 7 ระบบลำเลียงแสงที่ 5.2 และสถานีทดลอง

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 5.2 มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
ABS	Absorber ทำจากทองแดง มี cooling ที่อุปกรณ์ ทำหน้าที่ปิดปิดกั้นรังสี
WBS	White beam shutter ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม (white beam) ทำจากตะกั่ว
PV	Pneumatic valve สำหรับกั้น Pressure ในระบบลำเลียงแสง
FLSM	Fluorescence Screen Monitoring สำหรับตรวจสอบตำแหน่งรังสี
DCM	Double crystal monochromator สำหรับคัดเลือกพลังงานรังสีเอ็ก
MSK	Mask เป็นช่องสำหรับตัดรังสีให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ
AD	Adaptor Duct
XBPM	X-Ray beam monitoring เพื่อทำการ Scan ตำแหน่งรังสีก่อนเข้าปลายสถานีทดลอง
BLW	Bellow ทำหน้าที่ลดความดันระหว่างท่อลำเลียงขณะให้ความร้อนท่อลำเลียง
HSLT	Horizontal Slit ทำหน้าที่ตัดแสงแนวนอน
LCD	Low conductance duct ลดความดันสุญญากาศระหว่างท่อลำเลียงแสง
D	Duct ท่อสุญญาการลำเลียงแสง
KP	Kapton Window กั้นความดันสูงกับความดันบรรยากาศ

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 5.2

1. White Beam Shutter (WBS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม (white beam) มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ก้อนตะกั่วยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ก้อนตะกั่วยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด) ซึ่ง WBS เชื่อมต่อกับ interlock ที่ควบคุมการเข้า-ออกบริเวณควบคุมรังสี ของสถานีทดลอง เช่น การเข้าสู่บริเวณเปลี่ยนตัวอย่าง WBS ต้องอยู่ในสถานะปิด

2. Radiation shielding Wall (RSW) ทำหน้าที่กั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนและระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า

3. Radiation shielding (RS) เป็นอุปกรณ์แผ่นตะกั่วหนาทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนและระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า

4. X-ray beam stopper (XBS1) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุหรือกระเจิงออกมาจากผลึกคัดเลือกพลังงานแสงตัวบนของเครื่องคัดเลือกพลังงานแสง (double crystal monochromator) (DCM) โดยใช้ก้อนตะกั่วหนาติดตั้งถาวรใน DCM และไม่มีการเคลื่อนที่

5. X-ray stopper (XBS2) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุออกมาจากเครื่องวัดความเข้มแสง (ionization chamber) (I1) ติดตั้งถาวรที่ส่วนท้ายของปลายของ I1 และไม่มีการเคลื่อนที่

6. Safety fence (SF) ทำหน้าที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไปโดยสมบูรณ์

7. Safety gate (SG) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าและทางออก (ทางเดียวเท่านั้น) ของพื้นที่ควบคุม ประตูถูกล็อคด้วยแม่เหล็ก และมีปุ่มสำหรับกดติดอยู่บนเสาของประตูเพื่อให้เปิดประตูได้

8. X-ray sign on (XSO) ทำหน้าที่แสดงการมีอยู่ของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวในสถานีทดลอง ไฟ X-Ray on ติด เมื่อ เปิด WBS

9. สัญญาณไฟ Beacon เป็นแท่งไฟ 3 สี (แดง ส้ม เขียว) แสดงสถานะของการที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าไปในสถานีทดลองได้หรือไม่

สีแดง สถานะที่ไม่อนุญาตให้เข้าไปในสถานีทดลองได้ ไฟสีแดงจะ “ติด” เมื่อปิดประตูทางเข้าสถานีทดลอง และเปิด WBS (เปิดแสงซินโครตรอน)

สีส้ม สถานะที่ไม่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าสถานีทดลอง ไฟสีส้มจะ “ติด” เมื่อปิดประตูทางเข้าสถานีทดลอง แต่ยังไม่เปิด WBS (เปิดแสงซินโครตรอน)

สีเขียว สถานะอนุญาตให้เข้าไปในสถานีทดลองได้ ไฟสีเขียวจะ “ติด” เมื่อปิด WBS (ปิดแสงซินโครตรอน) และสามารถเปิดประตูทางเข้าสถานีทดลองได้ เมื่อสถานีทดลองปลอดภัยจากรังสี

8. สถานีทดลองที่ 5.3: SUT-NANOTEC-SLRI XPS Beamline

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของสถานีทดลองที่ 5.3 มีดังนี้

XPS X-ray photoelectron spectroscopy เครื่องมือวิเคราะห์สเปกโตรสโกปีโดยรังสีเอกซ์

UPS Uninterruptible power supply เครื่องป้องกันไฟฟ้ากระชาก

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของสถานีทดลองที่ 5.3

เครื่อง XPS รุ่น PHI5000 VersaProbe II ปกติแล้วจะเปิดอยู่ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีเปิดปิดบ่อย เนื่องจากต้องรักษาระดับของระบบสุญญากาศ แต่แหล่งกำเนิด X-ray จะเปิดต่อเมื่อมีการวัดและเก็บข้อมูล สเปกตรัมบนตัวอย่างเท่านั้น โดยจะมีระบบตัดไฟหรือเบรกเกอร์อยู่ที่ด้านหน้าแผงควบคุม 50-010 System Power Distribution นอกจากนี้ยังมีระบบตัดไฟที่สามารถตัดไฟในแต่ละส่วนย่อยของเครื่อง

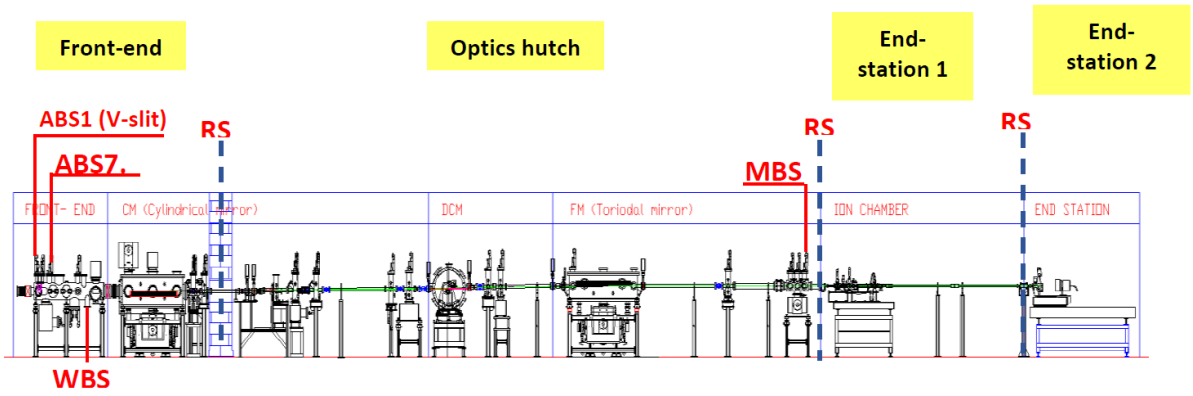
ในกรณีฉุกเฉินสามารถปิดระบบทั้งหมดได้โดยปุ่มหยุดฉุกเฉิน Emergency Off buttons บนด้านหน้าแผงควบคุมตามรูป โดยปุ่มจะทำการตัดไฟฟ้าของระบบทั้งหมด ปุ่มนี้ใช้ในกรณีฉุกเฉิน

9. ระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W: Macromolecular Crystallography

ระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W: MX (Macromolecular Crystallography) สำหรับการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่โดยเทคนิค Macromolecular Crystallography เป็นเทคนิคเพื่อศึกษาโครงสร้างสามมิติของสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่โปรตีนต่างๆ ทำให้สามารถเข้าใจถึงโครงสร้าง และฟังค์ชันการทำงานของโปรตีนและสารต่างๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีน อันมีความสำคัญยิ่งต่อการวิจัยทางด้านการแพทย์ ชีววิทยา เช่น การปรับปรุงการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เป็นต้น

ระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (Front end, FE) มีอุปกรณ์ absorber (ABS) สำหรับกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำที่มากับแสงซินโคร ตรอน, white beam shutter (WBS) และกระจกทำให้แสงขนาน (Collimating mirror, CM), ส่วนที่ 2 ห้องอุปกรณ์ทัศน ศาสตร์ (Optics hutch) มีอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ที่สำคัญคือ เครื่องคัดแยกพลังงานรังสีเอกซ์แบบผลึกคู่ (Double Crystal Monochromator, DCM), กระจกโฟกัสแสง (Focusing mirror, FM) และ monochromatic beam

shutter (MBS) ส่วนที่ 3 สถานีทดลอง 1 (End-station 1) และส่วนที่ 4 สถานี ทดลอง 2 (End-station 2) โดยแต่ละส่วนกั้นด้วยผนังกันรังสี Radiation shielding (RS)



รูปที่ 8 แผนภาพระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W มีดังนี้

ชื่อย่อ	ความหมาย
ABS Absorber	ตัวปิดกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำ
Beacon	ไฟสัญญาณ
Buzzer	อุปกรณ์ส่งเสียงสัญญาณ
CM Collimating mirror	กระจกทำให้แสงขนาน
DCM Double Crystal Monochromator	เครื่องคัดแยกพลังงานรังสีเอกซ์แบบผลึกคู่
End-station	สถานีทดลอง
FE Front end	ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า
FM Focusing mirror	กระจกรวมแสง
Interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับระบบความ ปลอดภัยซึ่งเชื่อมต่อและทำงานสัมพันธ์กัน
MBS Monochromatic beam shutter	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยวทำหน้าที่เป็น safety shutter ของ end-station 1 และ 2
Optics hutch	ห้องอุปกรณ์ทัศนศาสตร์
PV Pneumatic Valve	วาล์วที่ควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด
PSI Personnel Safety Interlock	อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษา ความปลอดภัยของผู้ใช้งาน
PSS Personnel Safety System	ระบบความปลอดภัยสำหรับบุคลากร
RS Radiation shielding	แผ่นปิดกั้นรังสี
SG Safety gate	ประตูป้องกันรังสี
SH Safety hutch	ห้องป้องกันรังสี

ชื่อย่อ	ความหมาย
WB White beam	รังสีความถี่รวม
WBS White beam shutter	ตัวปิดกั้นรังสีความถี่รวมทำหน้าที่เป็น safety shutter ของ optics hutch
XBS X-ray beam stopper	ตัวปิดกั้นรังสีเอกซ์

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 7.2W

1. Absorber (ABS) อยู่ใน FE chamber ทำหน้าที่ปิดกั้นความร้อนและรังสีพลังงานต่ำที่มากับแสง ซินโครตรอน มี 2 ตัว ได้แก่ ABS1 หรือ V-slit 1A, 1B ดังรูปที่ 2 (ก) ทำจากโลหะทองแดง ทำหน้าที่เป็นช่อง ตัดแสงในแนว vertical ด้วย และ ABS อีก 1 ตัว ได้แก่ ABS7.2 ดังรูปที่ 2 (ข) ทำจากโลหะทองแดงที่เชื่อมติด กับแผ่นทังสเตน มีขนาดความกว้าง 32 มิลลิเมตร ความยาว 70 มิลลิเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร มี สถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ยกขึ้นสูงและพ้นแสง) และสถานะปิด (ยกลงต่ำและบังแสง ทั้งหมด)

2. White beam shutter (WBS) อยู่ใน FE chamber ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม (white beam) ที่สามารถทะลุออกมา หลังจากการปิด ABS อีกชั้นหนึ่ง ทำจากตะกั่วขนาดความกว้าง 140 มิลลิเมตร ความยาว 240 มิลลิเมตร ความหนา 80 มิลลิเมตร มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ก้อนตะกั่วยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ก้อนตะกั่วยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด)

3. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 1 (RS1) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนและระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า โดยใช้ก้อนตะกั่วขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร ความหนา 50 มิลลิเมตร เรียงปิดช่อง

4. Compton shield ทำหน้าที่ปิดกั้น Compton scattering จากผลึกตัวที่หนึ่งในเครื่องคัดเลือก พลังงานรังสีเอกซ์แบบผลึกคู่ (double crystal monochromator; DCM) ถูกติดตั้งอยู่ภายใน DCM โดยใช้ OFHC copper ความหนา 3 มิลลิเมตร

5. X-ray beam stopper (XBS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุหรือกระเจิงออกมาจากเครื่อง คัดเลือกพลังงงานรังสีเอกซ์แบบผลึกคู่ (double crystal monochromator; DCM) ถูกติดตั้งอยู่ภายใน DCM บริเวณ exit port อย่างถาวร โดยใช้ OFHC copper ขนาดความกว้าง 70 มิลลิเมตร ความยาว 70 มิลลิเมตร ความหนา 20 มิลลิเมตร

6. Monochromatic beam shutter (MBS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic Xray beam) โดยใช้ก้อนทังสเตนขนาดความกว้าง 70 มิลลิเมตร ความยาว 70 มิลลิเมตรความหนา 50 มิลลิเมตร ติดตั้งอยู่ภายใน optics hutch มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ก้อนทังสเตนยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ก้อนทังสเตนยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด)

7. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 2 (RS2) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีใน optics hutch ไม่ให้เข้าไปใน end-station 1 โดยใช้แผ่นตะกั่วขนาดความหนา 1.5 มิลลิเมตร กั้นปิดช่อง

8. Radiation shielding ตำแหน่งที่ 3 (RS3) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีใน end-station 1 ไม่ให้เข้าไปใน end-station 2 โดยใช้แผ่นตะกั่วขนาดความหนา 1.5 มิลลิเมตร กั้นปิดช่อง

9. Beam stop (BS) ทำหน้าที่ป้องกัน primary beam ที่มีความเข้มสูงตกกระทบไปบนหัววัดรังสีเอกซ์โดยตรง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ mar desktop beamline; mardtb) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลองเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

10. Safety hutch (SH) ทำหน้าที่ป้องกันรังสีไม่ให้ออกนอกบริเวณ SH และใช้แยกพื้นที่ควบคุมทางรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไป เป็นห้องที่ผนังทำด้วยตะกั่วหนา 1.5 มิลลิเมตรเชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก โดยแบ่งเป็น 3 ห้องย่อย ได้แก่ optics hutch ดังรูปที่ 9 (ก), end-station 1 และ end-station 2

11. Safety gate (SG) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าออก SH ผนังทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับผนัง SH โดย optics hutch, end-station 1 และ end-station 2 ในแต่ละห้องจะมีประตูหลักซึ่งควบคุมการ เปิดปิดด้วยระบบ Personnel Safety Interlock (PSI) ส่วนประตูอื่นในแต่ละห้องจะเปิดได้ก็ต่อเมื่อ ประตูหลักเปิดไว้แล้ว

12. ป้ายไฟ X-RAY ON ติดตั้งไว้เหนือประตูทางเข้า hutch และติดตั้งภายใน hutch โดยจะเชื่อมต่อกับสถานะเปิด-ปิดของ safety shutter โดยไฟจะติดเมื่อ safety shutter เปิด

13.สัญญาณไฟ Beacon ติดตั้งอยู่ด้านหน้าประตูหลัก hutch จะเชื่อมต่อกับสถานะของ safety shutter ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้

1) สัญญาณไฟเขียวติด คือ ไม่มีรังสีเอกซ์ข้างใน hutch และสามารถเข้าไปข้างใน hutch ได้
2) สัญญาณไฟแดงติด คือ มีรังสีเอกซ์ข้างใน hutch และไม่อนุญาตให้เข้าไปภายใน hutch
3) สัญญาณไฟส้มติด คือ สถานะพร้อมที่จะเปิด safety shutter
4) สัญญาณไฟส้มและเขียวติดพร้อมกัน คือ อยู่ในระหว่างกระบวนการ search hutch

14. สัญญาณไฟหมุนสีส้ม บริเวณปุ่ม search hutch ติดตั้งอยู่ภายใน hutch ใช้สำหรับแจ้งเตือนขณะมีการกดปุ่ม search hutch

15. ปุ่ม Search hutch เป็นปุ่มสีส้มติดตั้งอยู่ด้านใน hutch ใช้สำหรับเริ่มกระบวนการ search hutchเพื่อแจ้งเตือนบุคคลที่ยังอยู่ข้างในว่ามีความต้องการปิดประตู ให้คนที่ยังอยู่ด้านในทั้งหมดรีบออกมาจาก hutch เมื่อมีการกดปุ่ม search hutch ระบบจะจับเวลา 20 วินาที

16. ปุ่ม emergency เป็นปุ่มสีแดงแบบกดแล้วค้าง ใช้สำหรับหยุดรังสีเอกซ์ หรือรังสีความถี่รวม ที่เข้ามาใน hutch นั้นๆ ในกรณีฉุกเฉิน ถูกติดตั้งอยู่ภายใน hutch บริเวณด้านข้างประตูทุกประตู และบริเวณหน้าตู้ควบคุมที่อยู่หน้าประตูหลัก hutch

17. Buzzer เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งเสียงสัญญาณเตือนในกรณีที่พยายามเข้าไปภายใน hutch ในขณะที่ WBS หรือ MBS ยังไม่ได้ปิด จะถูกติดตั้งอยู่ที่ตู้ควบคุมการทำงานของระบบเปิด-ปิดประตู hutch (hutch interlock controller)

18. ตู้ควบคุมการทำงานของระบบเปิด-ปิดประตู hutch (hutch interlock controller) ติดตั้งอยู่ ด้านหน้าของประตูหลัก hutch ประกอบด้วย 1) ปุ่ม emergency 2) สวิตช์กุญแจสำหรับควบคุม การล็อคประตูด้วยระบบแม่เหล็ก (door lock) 3) ปุ่มสำหรับควบคุมการล็อคประตูด้วยระบบ แม่เหล็ก ได้แก่ ปุ่มสีเขียว; ON และปุ่มสีแดง; OFF 4) สวิตช์กุญแจสำหรับการทำ override

- ระบบ hutch interlock มีปุ่ม emergency สำหรับตัดการทำงานแบบฉุกเฉิน มี buzzer สำหรับส่งเสียงเตือนในกรณีที่เข้าไปภายใน hutch ในขณะที่ยังไม่ได้ปิด safety shutter

- ระบบ hutch interlock จะตรวจสอบสถานะของแม่เหล็กล็อคประตู โดยจะต้องมีสถานะเป็น ON (สีเขียว) ก่อนจะอนุญาตให้เปิด safety shutter โดยการจะ ON ระบบแม่เหล็กล็อคประตูได้ ต้องผ่านกระบวนการ search hutch สำเร็จก่อน

19. ระบบ Personal Safety Interlock (PSI) สำหรับการเข้า-ออก safety hutch มีขั้นตอนดังนี้

19.1 การ search hutch เพื่อปิดประตู hutch ก่อนเริ่มทำการทดลอง

1) ก่อนจะปิดประตูให้ตรวจสอบว่าไม่มีคนอยู่ภายใน hutch โดยผู้ปฏิบัติงานที่เป็นคนปิดประตูจะต้องเป็นคนสุดท้ายที่ออกจาก hutch

2) กดปุ่ม search hutch (ปุ่มสีส้ม) ซึ่งอยู่ที่ panel ภายใน hutch (รูปที่ 12) ระบบเริ่มจับเวลา 20 วินาที พร้อมส่งสัญญาณไฟหมุนสีส้มที่ด้านใน hutchและเสียงแจ้งเตือน, ไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีส้มและสีเขียวติด

3) ออกจาก hutch ปิดประตู hutch และทำการล็อคกุญแจ

4) นำกุญแจออกจากประตู และนำไปเสียบในช่องกุญแจ door lock บนตู้ควบคุมหน้าประตูหลักhutch และบิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง ON จะต้องทำเสร็จก่อนหมดเวลา 20 วินาที โดยเมื่อเสร็จแล้วไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีส้มติด หากทำไม่เสร็จภายในเวลาที่กำหนด จะไม่สามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ และไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch จะแสดงสีเขียวติด ผู้ปฏิบัติงานจะต้องกลับไปเริ่มขั้นตอน search hutch ใหม่

5) กดปุ่ม ON (ปุ่มสีเขียว) ของระบบล็อคประตูด้วยแม่เหล็กบนตู้ควบคุมหน้าประตูหลัก hutch, ไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีส้มติด

6) ผลักดันประตูให้แนบสนิท เมื่อประตูแนบสนิทจะปรากฏไฟสีเขียวบนแม่เหล็กล็อคประตูจะติด แสดงว่าระบบล็อคประตูด้วยแม่เหล็กทำงานสมบูรณ์แล้ว โดยถ้าระบบล็อคประตูด้วยแม่เหล็กยังไม่ทำงานจะปรากฏไฟสีแดง และระบบ PSI จะป้องกันไม่ให้สามารถเปิด safety shutter

7) เปิด safety shutter สังเกตไฟ X-RAY ON ติด และไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีแดงติด

19.2 ขั้นตอนการเปิดประตู hutch

1) ตรวจสอบว่า safety shutter ปิดแล้ว โดยดูที่ป้ายสถานะ X-RAY ON ไฟดับ และไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีส้มติด

2) กดปุ่ม OFF (ปุ่มสีแดง) ของระบบล็อคประตูด้วยแม่เหล็กบนตู้ควบคุมหน้าประตูหลัก hutch

3) บิดกุญแจ door lock ไปยังตำแหน่ง OFF ไฟสีเขียวแสดงสถานะบนแม่เหล็กล็อคประตู จะดับลง และไฟ beacon หน้าประตูหลัก hutch แสดงสีเขียวติด

4) นำกุญแจไปเสียบเพื่อไขประตูให้เปิดออก

5) เปิดประตู

6) หากทำผิดขั้นตอนดังกล่าวจะมีเสียงแจ้งเตือนดังขึ้นจาก buzzer ให้กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง (เสียงแจ้งเตือนดัง เนื่องจากการเปิดประตูในสภาวะที่ safety shutter ไม่อยู่ในสถานะปิด)

20. ระบบ interlock ใช้สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว และ safety shutter ของระบบลำเลียงแสง โดยมีลำดับการเปิด-ปิดตามที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบลำเลียงแสง shutter ของระบบลำเลียงแสง รวมถึงการแสดงสถานะเปิด-ปิดวาล์ว, เปิด-ปิดประตู, แสดงค่าความดันสุญญากาศในส่วนต่าง ๆ ของระบบลำเลียงแสง และแสดงการแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขของระบบอินเตอร์ล็อก

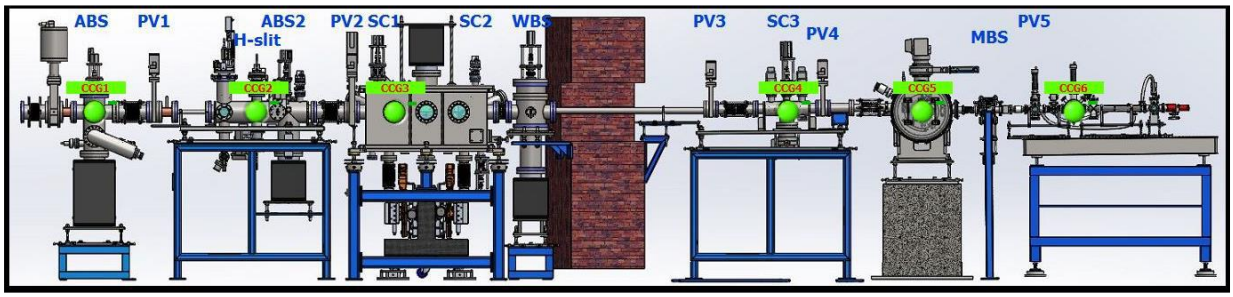
10. **ระบบลำเลียงแสงที่ 8 : X-ray Absorption Spectroscopy and X-ray Fluorescence Imaging**

ระบบลำเลียงแสงที่ 8: XAS (X-ray Absorption Spectroscopy) สำหรับการศึกษาโครงสร้างระดับอะตอมโดยเทคนิค X-ray Absorption Spectroscopy เป็นเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ สำหรับการศึกษาชนิด

ของธาตุและการจัดเรียงตัวของอะตอมรอบๆ อะตอมของธาตุที่สนใจ นอกจากนั้นยังใช้ในการระบุสถานะออกซิเดชันของธาตุได้ รวมถึงศึกษาลักษณะพันธะเคมีสมมาตร โคออดิเนชัน เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่สามารถทำได้ ณ ระบบลำเลียงแสงนี้ เช่น เซรามิกส์ไฟฟ้า สารเร่งปฏิกิริยา สารกึ่งตัวนำ เซลล์เชื้อเพลิงและวัตถุโบราณ รวมถึงกลุ่มธาตุแคลเซียม ซัลเฟอร์ ในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและฟอสฟอรัสในดิน เป็นต้น

ระบบลำเลียงแสงที่ 8 (BL8) ถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า (front end)
2. ระบบลำเลียงแสงในโถงทดลอง (experimental area)
3. สถานีทดลอง (experimental stations



รูปที่ 9 ระบบลำเลียงแสงที่ 8 และสถานีทดลอง

อักษรย่อและคำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสงที่ 8 มีดังนี้

ชื่อย่อ		ความหมาย
13GeD	13-element Germanium detector	ตัวตรวจวัดสัญญาณการเรืองรังสีเอกซ์ชนิดเจอร์มิเนียม 13 ช่อง
ABS	Absorbance stopper	ส่วนดูดกลืนรังสีเอกซ์ชนิดทองแดง
BL8	Beamline 8	ระบบลำเลียงแสงที่ 8
DCM	Double crystal monochromator	เครื่องคัดเลือกพลังงานรังสีเอกซ์
EXAFS	Extended x-ray absorption fine structure	โครงสร้างสเปกตรัมที่ต่อจากโครงสร้าง XANES ไปจนถึงช่วงพลังงานโฟตอนประมาณ 500-1000 eV
EY	Electron yield	การวัด XAS แบบกระแสอิเล็กตรอน
FL	Fluorescence	การวัด XAS แบบเรืองรังสีเอกซ์
GS	Gamma stopper	ส่วนปิดกั้นรังสีแกมมา
H-slit	Horizontal slit	เครื่องมือตัดแสงในแนวแกนนอน
HV	High Voltage	ความดันไฟฟ้ากำลังสูง
IB8	Interlock Beamline 8	ระบบเปิดปิดวาล์วและตัวป้องกันรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 8
InSb	Indium antimonide	ผลึกคัดเลือกพลังงานรังสีเอกซ์ช่วงพลังงาน 1830-7000 eV

ชื่อย่อ		ความหมาย
KTP	Potassium titanyl phosphate	ผลึกคัดเลือกพลังงานรังสีเอกซ์ช่วงพลังงาน 1250-4780 eV
LC	Local contact	นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ
LN2	Liquid nitrogen	ไนโตรเจนเหลว
MBS	Monochromatic beam shutter	ส่วนปิดกั้นรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยว
PP	Polypropylene	พอลีโพรพิลีน
PSS	Personal Safety System	ระบบความปลอดภัยสำหรับบุคลากร
PV	Pneumatic valve	วาล์วกั้นสุญญากาศ
RS	Radiation shielding	แผ่นป้องกันรังสี
X-ray SC	X-ray screen	แผ่นเรืองรังสีเอกซ์
SC	Sample chamber	ช่องบรรจุตัวอย่าง
SDD	Silicon drift detector	ตัวตรวจวัดสัญญาณการเรืองรังสีเอกซ์ชนิดซิลิกอน
SF	Safety fence	ส่วนที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไป
SG	Safety gate	ทางเข้าและทางออกของพื้นที่ควบคุม
SH	Sample holder	ที่ติดตัวอย่าง
TM	Transmission	การวัด XAS แบบทะลุผ่าน
User	User	ผู้ใช้บริการแสงซินโครตรอน
V-slit	Vertical slit	เครื่องมือตัดแสงในแนวแกนตั้ง
WBS	White beam shutter	ส่วนปิดกั้นรังสีเอกซ์พลังงานรวม
XANES	X-ray absorption near edge structure	สเปกตรัมตั้งแต่บริเวณใกล้ขอบการดูดกลืนของอะตอมจนถึงช่วงพลังงานโฟตอนประมาณ 40-50 eV
XAS	X-ray absorption spectroscopy	เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์
XBPM	X-ray beam position monitoring	เครื่องมือวัดตำแหน่งของรังสีเอกซ์
XBS	X-ray beam stopper	ส่วนปิดกั้นรังสีเอกซ์
XFI	X-ray fluorescence imaging	เทคนิคการถ่ายภาพการเรืองรังสีเอกซ์
XSO	X-ray sign on	ป้ายแสดงสถานะการมีอยู่ของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวในสถานีทดลอง

ระบบความปลอดภัยด้านรังสีของระบบลำเลียงแสงที่ 8

1. White beam shutter (WBS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีความถี่รวม (white beam) มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ก้อนตะกั่วยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ก้อนตะกั่วยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด)

2. Radiation shielding (RS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีกระเจิงที่ออกมาจากวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนและระบบลำเลียงแสงส่วนหน้า.

3. Monochromatic beam shutter (MBS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ความถี่เดี่ยว (monochromatic X-ray beam) โดยใช้ก้อนตะกั่วหนา มีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะเปิด (ก้อนตะกั่วยกขึ้นสูงสุดและพ้นแสง) และสถานะปิด (ก้อนตะกั่วยกลงต่ำสุดและบังแสงทั้งหมด)

4. Gamma stopper (GS) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีแกมมาที่เคลื่อนที่ออกมาในแนว 10 องศาของแม่เหล็กสองขั้วตัวที่ 8ของวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอน โดยใช้ก้อนตะกั่วหนา ติดตั้งถาวรและไม่มีการเคลื่อนที่

5. X-ray beam stopper (XBS1) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุหรือกระเจิงออกมาจากผลึกคัดเลือกพลังงานแสงตัวบนของเครื่องคัดเลือกพลังงานแสง (double crystal monochromator) (DCM) โดยใช้ก้อนตะกั่วหนา ติดตั้งถาวรใน DCM และไม่มีการเคลื่อนที่

6. X-ray stopper (XBS2) ทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุออกมาจากเครื่องวัดความเข้มแสงตัวที่ 2 (ionization chamber I1) ติดตั้งถาวรที่ส่วนท้ายของปลาย I1 และไม่มีการเคลื่อนที่

7. ไม่อนุญาตให้ใช้งานระบบ X-ray fluorescence imaging (XFI) จนกว่าจะทำติดตั้ง X-ray stopper (XBS3) เพื่อทำหน้าที่ปิดกั้นรังสีเอกซ์ที่ทะลุออกมาจาก XFI เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

8. Safety fence (SF) ทำหน้าที่แยกอาณาเขตของพื้นที่ควบคุมรังสีออกจากพื้นที่ทั่วไปโดยสมบูรณ์

9. Safety gate (SG) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าและทางออก (ทางเดียวเท่านั้น) ของพื้นที่ควบคุมประตูถูกล็อคด้วยแม่เหล็ก และมีปุ่มสำหรับกดติดอยู่บนเสาของประตูเพื่อให้เปิดปประตูได้

10. X-ray sign on (XSO) ทำหน้าที่แสดงการมีอยู่ของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวในสถานีทดลอง

11. คอมพิวเตอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานของ PSS

12. โปรแกรม Interlock Beamline 8 (IB8) ควบคุมการทำงานของ PSS ทำงานได้ 2 โหมด คือ user mode และ maintenance mode

ส่วนที่ 6 สถานีทดลอง (Experimental Station)

ส่วนท้ายสุดของระบบลำเลียงแสงจะเป็นสถานีทดลอง ซึ่งมีระบบวัดสัญญาณติดตั้งอยู่เพื่อดำเนินงานด้วยเทคนิคการทดลองเฉพาะด้าน เพื่อทำการวิจัยต่อไป กล่าวคือ เมื่อแสงซินโครตรอนวิ่งชนกับตัวอย่างจะเกิดการกระเจิง (Scattering) การดูดกลืน (Absorption) การปลดปล่อย (Emission) หรือการเรืองรังสี (Fluorescence) แล้วผ่านตัวตรวจวัดสัญญาณ (Detector) ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ จะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์และประมวลผลโดยนักวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของสสารในระดับโมเลกุลหรือโครงสร้างอะตอม

4. เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน), เอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน. พ.ศ. 2565
2. สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน), คู่มือความปลอดภัยของระบบลำเลียงแสง. พ.ศ. 2568