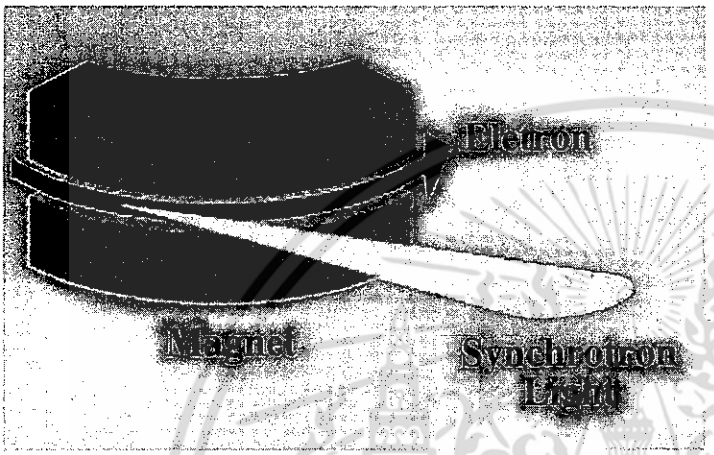
ผศ.กุลธร เลื่อนฉวี
ภาควิชาสถาปัตยกรรม

การออกแบบห้องเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน



รูปที่ 1 หลักการในการผลิตแสงซินโครตรอน

แสงซินโครตรอน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เช่น อิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน ในขณะที่มีการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสงและไม่ได้ใช้สารกัมมันตรังสีแต่อย่างใด จึงไม่มีการตกค้างของสารกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม

จากการสำรวจเมื่อต้นเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 พบว่าทั่วโลกมีเพียง 18 ประเทศเท่านั้นที่มีเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนรวม 72 เครื่อง ที่กำลังใช้งานมีจำนวน 41 เครื่อง ส่วนที่เหลือกำลังอยู่ในระหว่างออกแบบและติดตั้ง รวมทั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่อยู่ในประเทศไทย รัฐบาลไทยได้อนุมัติจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ (National Synchrotron Research Center, NSRC) เมื่อ พ.ศ. 2539 ตั้งอยู่บริเวณเทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ได้รับบริจาคจากกลุ่มบริษัทซอร์เทค (Sortec Corporation) เมืองซูคูบะ (Tsukuba) ประเทศญี่ปุ่น โดยปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเดิมนี้ ให้มีขนาด 1.0 GeV (1 พันล้านอิเล็กตรอนโวลท์) สามารถผลิตแสงที่มีความคมชัดมากขึ้นและให้มีอายุการใช้งานได้อีกอย่างน้อย 20 ปี ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาตินี้จะเป็นศูนย์ปฏิบัติการวิจัยฯ แห่งแรกในประเทศไทยและแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่จะเป็นศูนย์กลางการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐานและวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ตลอดจนเป็นศูนย์การฝึกฝนและพัฒนานักวิทยาศาสตร์และวิศวกรรุ่นใหม่ให้มีความรู้ทางด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องเร่งอนุภาค ระบบลำเลียงแสงซินโครตรอน (Optical Beamline) การพัฒนาวัสดุในระบบการลำเลียงแสง ระบบการตรวจวัดและระบบการลำเลียงแสงซินโครตรอนด้วยคอมพิวเตอร์

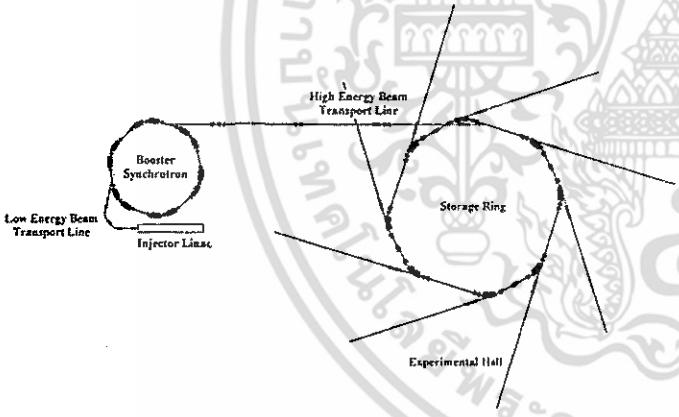
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์ของแสงซินโครตรอน แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- กลุ่มงานวิจัยพื้นฐานวิทยาศาสตร์ ใช้ในงานวิจัยทางด้านเคมีและฟิสิกส์ระดับอะตอมและโมเลกุล วัสดุศาสตร์ การพัฒนาโพลิเมอร์
- กลุ่มงานวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์และเทคโนโลยีชีวภาพ ใช้ในการวิจัยด้านจุลทรรศน์เอกซ์เรย์ การวิจัยด้านการวินิจฉัยโรค การบำบัดโรค
- กลุ่มงานวิจัยเพื่อผลทางอุตสาหกรรม ใช้ประโยชน์ทางด้านลิโทกราฟี (lithography) วงการอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรม และงานเครื่องกลขนาดเล็ก (micromachining)

อาคารปฏิบัติการแสงสยามเป็นอาคารที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของไทย ซึ่งได้พัฒนามาจากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ได้รับบริจาคจากกลุ่มบริษัทซอร์เทค มีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 3 ส่วน คือ

1. **เครื่องเร่งอนุภาคในแนวตรง** (injector linac) จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เร่งอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเป็นศูนย์ให้เพิ่มขึ้นเป็น 40 MeV ขนาดของเครื่องประมาณ 1.00 x 10.00 x1.80 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
2. **เครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลม** (booster synchrotron) เป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่พลังงานอิเล็กตรอนถูกเร่งจาก 40 MeV เพิ่มขึ้นเป็น 1 GeV ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 13.70 เมตร สูงประมาณ 1.80 เมตร
3. **วงกักเก็บอิเล็กตรอน** (storage ring) มีหน้าที่รับอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจากเครื่องเร่งอนุภาคในแนวตรงและเครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลมมากักเก็บอิเล็กตรอนไว้ เป็นวงกักเก็บอิเล็กตรอนที่มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 26 เมตร สูงประมาณ 1.80 เมตร



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

ระบบการทำงานของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

เริ่มจากเครื่องเร่งอนุภาคในแนวตรงรับกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าซินโครตรอน (synchrotron power supplies) แล้วเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเพิ่มเป็น 40 MeV จากนั้นก็ลำเลียงอนุภาคผ่านสายส่งพลังงานต่ำ (low energy beam transport line) เข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลม ซึ่งพลังงานอิเล็กตรอนจะถูกเร่งจาก 40 MeV เพิ่มขึ้นเป็น 1 GeV จากนั้นจะลำเลียงอนุภาคผ่านสายส่งพลังงานสูง (high energy beam transport line) เข้ากักเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่วงกักเก็บอิเล็กตรอน บริเวณโดยรอบวงกักเก็บอิเล็กตรอนเป็นบริเวณที่สามารถติดตั้งกำแพงกำบังรังสี (radiation shield wall) และใช้เป็นสถานที่ทำการติดตั้งระบบลำเลียงแสง (beamline) ที่ห้องโถงทดลอง (experimental hall) เพื่อใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอนเพื่อการทดลองวิจัยได้โดยรอบทั้งหมด

ห้องเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน มีความต้องการโดยทั่วไปดังนี้

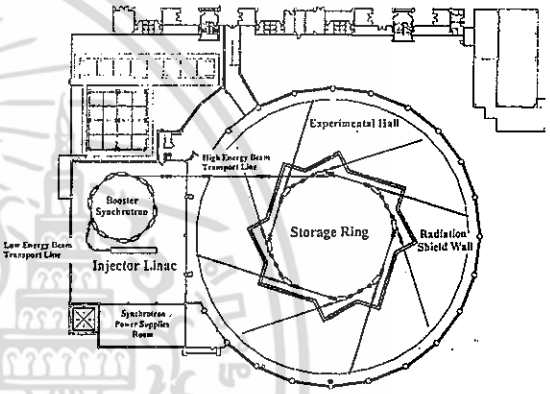
1. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนทั้งหมดจะต้องมีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตลอดเวลา
2. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนตลอดจนระบบลำเลียงแสงจะต้องมีโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัยได้ 15 ตันต่อตารางเมตร รับแรงสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวได้ไม่เกิน 5 u.m. อันอาจเกิดจากรถที่วิ่งโดยรอบ นอกจากนี้จะต้องปราศจากการผิดรูปทรง (deformation) ของห้องอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนทั้งหมดจะต้องมีการกำบังรังสี (radiation shield)
4. พื้นห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนทั้งหมดจะต้องเรียบ ใช้วัสดุทนต่อสารเคมี กรดด่าง หรือน้ำมันเบนซิน และสะดวกในการทำความสะอาด
5. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะต้องไม่มีเสากลางห้องอันจะกีดขวางการทำงานของปั้นจั่นยกของหนัก 7.5 ตัน เพื่อใช้ยกอุปกรณ์ตัวเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ตลอดจนกำแพง ค.ส.ล สำเร็จรูป
6. จะต้องมีการซ่อนระบบสายไฟฟ้าและท่อน้ำบริสุทธิ์ที่จ่ายไปยังเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน เพื่อการจัดระบบการเดินสายไฟฟ้า (wiring) ให้เป็นระเบียบ สะดวกในการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา
7. อาคารปฏิบัติการแสงสยามจะต้องเชื่อมต่อกับอาคารสุรพัฒน์ 3 ซึ่งจะใช้งานเป็นสำนักงานของศูนย์ปฏิบัติการวิจัยลำแสงซินโครตรอนแห่งชาติ ห้องทำงานของนักวิจัย และห้องปฏิบัติการต่างๆ
8. จะต้องวางแผนระบบการสำรวจเพื่อวางแนวระดับที่ละเอียด ใช้ในการติดตั้งและปรับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

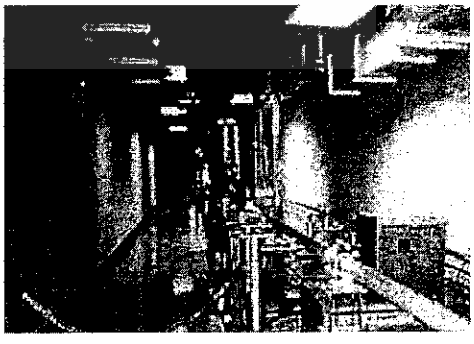
การออกแบบห้องเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ได้กำหนดแนวคิดในการออกแบบไว้ดังนี้

1. รูปทรงอาคารจะต้องสะท้อนถึงลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน เพื่อให้เกิดการชวนให้อยากรู้และเข้าใจในการทำงานของเครื่องกำเนิดแสงฯ เนื่องจากเป็นเครื่องมือชนิดใหม่ไม่เคยมีมาก่อนในประเทศ ฉะนั้นจึงเลือกใช้รูปทรงกลมกระบอกล้อมรอบวงกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลม อีกทั้งเป็นการประหยัดพื้นที่อาคารและได้ประโยชน์ใช้สอยของห้องโถงทดลอง ซึ่งจะต้องมีสถานีทดลองที่ติดตั้งระบบลำเลียงแสงได้ไม่น้อยกว่า 8 ชุด
2. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะต้องทนต่อแรงสั่นสะเทือนจากโดยรอบดีที่สุด เพื่อให้เครื่องกำเนิดแสงมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ฉะนั้นห้องที่ติดตั้งวงกักเก็บอิเล็กตรอนและโถงทดลองซึ่งเป็นอาคารทรงกระบอกกลม และตั้งอยู่ระดับพื้นดิน ออกแบบให้ใช้เสาเข็มเจาะบาเรตต์ (barette pile) แบบเปียกขนาด 0.80 x 5.00 เมตร ระดับความลึกของปลายเสาเข็มให้อยู่ที่ระดับชั้นหินทราย (sandstone) มีความลึกจากผิวดินประมาณ 21.00 เมตร เสาเข็มเจาะบาเรตต์สามารถช่วยกันคลื่นสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกที่วิ่งรอบอาคารผ่านพื้นดินเข้าสู่อาคารได้ ส่วนห้องที่ติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคในแนวตรงและเครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลมออกแบบให้อยู่ชั้นใต้ดิน ใช้ผนังห้องเป็น ค.ส.ล. หนา 0.50 เมตร โดยรอบ และใช้พื้น ค.ส.ล.หนา 1.00 เมตร กันการสั่นสะเทือน
3. ห้องที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะต้องมีการกันรังสีดีที่สุดเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่และนักวิจัย ฉะนั้นในการออกแบบจึงจัดให้ห้องเครื่องเร่งอนุภาคในแนวตรงและเครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลมอยู่ชั้นใต้ดิน ซึ่งห้องนี้เมื่อเดินเครื่องจะไม่อนุญาตให้คนเข้าไปในห้องนี้ได้ ส่วนห้องที่ติดตั้งวงกักเก็บอิเล็กตรอนได้ออกแบบกำแพง ค.ส.ล. หนา 0.50 เมตร สูง 3.00 เมตร กั้นโดยรอบและมีประตูบานเลื่อนเหล็กหนา 15 ซม. เพื่อใช้ขนของและคนเดินเท้า

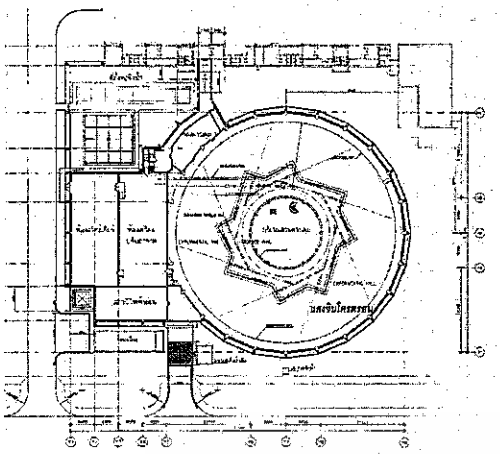


รูปที่ 3 แสดงพื้นที่การใช้งานในอาคาร

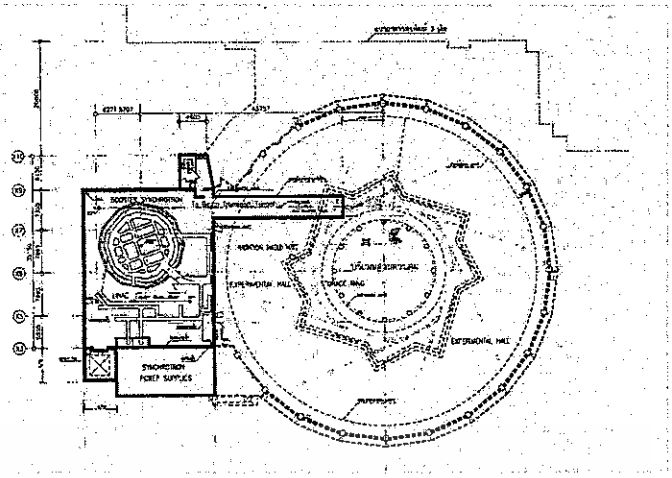
รูปที่ 4 แสดงเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม


รูปที่ 5 แสดงสายส่งพลังงานสูงในห้องใต้ดิน

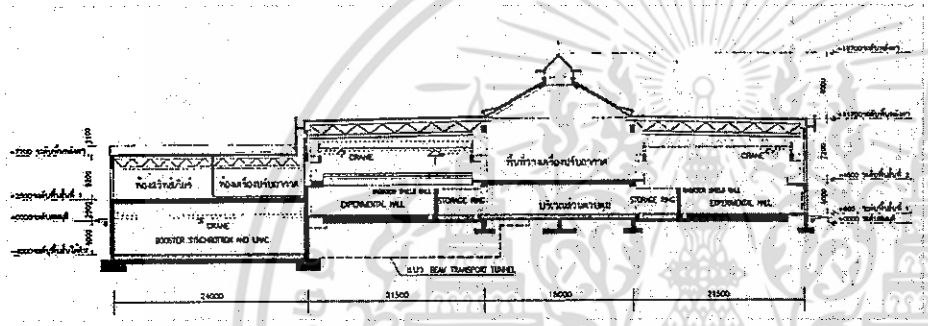
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



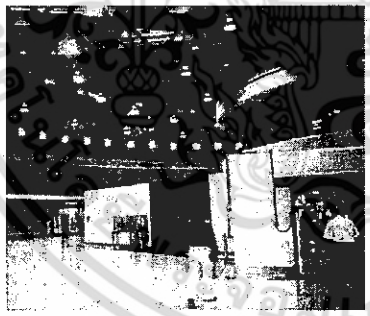
รูปที่ 6 แสดงแปลนพื้นชั้นล่าง ออกแบบเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของวงกักเก็บอิเล็กตรอน



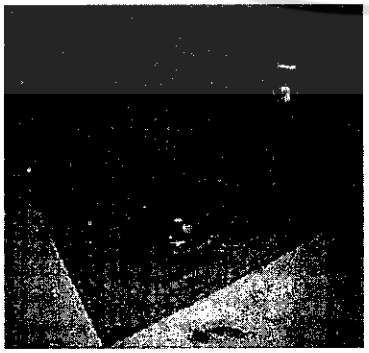
รูปที่ 7 ผังพื้นชั้นใต้ดินแสดงการติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาค ในแนวตรง และเครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลม



รูปที่ 8 รูปตัดตามยาวแสดงตำแหน่งห้องที่ติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคในแนววงกลม ห้องวงกักเก็บอิเล็กตรอน และห้องโถงทดลอง



รูปที่ 9 แสดงห้องโถงทดลองและกำแพงกำบังรังสี



รูปที่ 10 แสดงแผงจุดตำแหน่ง (marking panel) ฝังอยู่ในพื้นห้อง

4. ห้องเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนมีการป้องกันการผิดรูปทรงของห้องอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพื่อมิให้ผนังของอาคารและหลังคาอาคารมีผลกระทบต่อเครื่อง อันเนื่องมาจากการหดขยายตัว ฉะนั้นจึงได้ออกแบบให้โครงสร้างพื้นที่อาคารที่รองรับเครื่องแยกออกโดยเด็ดขาดจากโครงสร้างอาคารที่รับน้ำหนักพื้นผนังและหลังคา โดยใช้รอยต่อยืดหดตัว (expansion joint) พร้อมป้องกันการรั่วซึมของน้ำ
5. การเลือกใช้วัสดุปูพื้นที่เรียบและสามารถทนกรด-ด่างหรือเบนซินที่ดีที่สุด ทั้งเรียบและทำความสะอาดง่าย ในการออกแบบได้เลือกใช้พื้นผิวเคลือบอิพ็อกซี (epoxy) ชนิดปรับระดับตัวเอง (self leveling) หนา 3 มม.

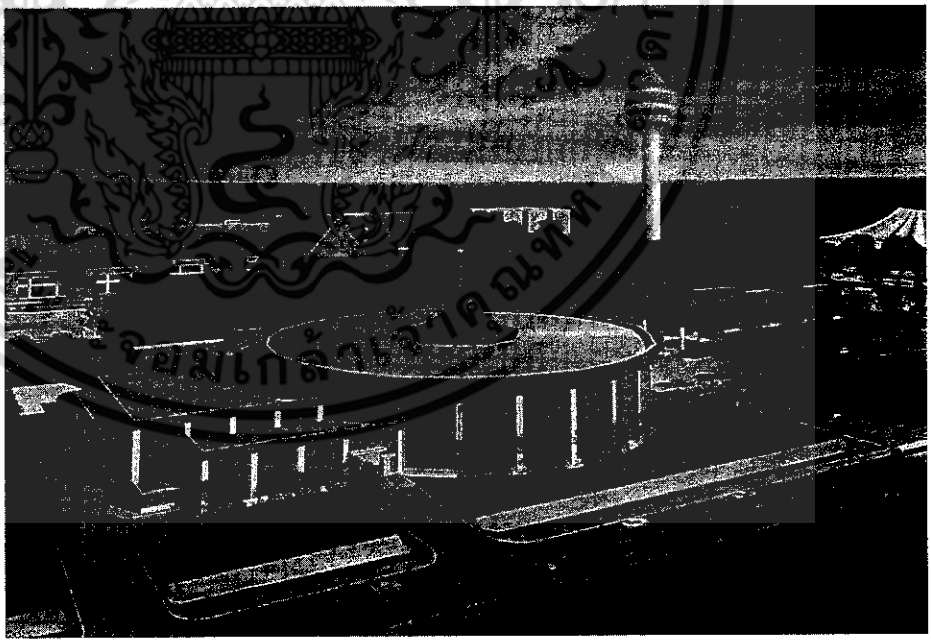
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การซ่อนระบบสายไฟฟ้าและท่อน้ำบริสุทธิ์ที่สะดวกต่อการปฏิบัติงานที่ดีที่สุด ได้ออกแบบโดยวางราง (trench) ลึกประมาณ 0.50 ม. โดยรอบเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและเชื่อมต่อกับระบบควบคุมไฟฟ้าและระบบน้ำบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังติดตั้งวางแผงจุดตำแหน่ง (marking panel) เพื่อใช้ตรวจสอบแนวซินโครตรอนปรกติจำเป็นต้องมีการปรับระดับและแนวทุก 2 ปี

รูปที่ 11 แสดงแนวการวางราง (trench)

7. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนได้ออกแบบเป็นกำแพง 2 ชั้นโดยรอบ ส่วนหลังคาทั้งหมดใช้โครงสร้างเหล็ก เนื่องจากเป็นโครงสร้างพาดช่วงยาว เทคอนกรีตทับหลังคาแผ่นเหล็กซุบสังกะสี ทำระบบกันรั่วซึมและฉนวนกันความร้อนด้านบน เทคอนกรีตปิดทับหน้าและบุผิวด้วยแผ่นหลังคาไฟเบอร์กลาส (fiberglass roof shingles) เพื่อตกแต่งผิว
8. ความกลมกลืนกับอาคารข้างเคียง เนื่องด้วยอาคารสุรพัฒน์ 3 ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้ปฏิบัติงานต่อเนื่องกับอาคารปฏิบัติการแสงสยาม ฉะนั้นในการออกแบบจึงใช้สีกระเบื้องเซรามิคเฉดสีเดียวกับอาคารสุรพัฒน์ 3

ปัจจุบันเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน สามารถผลิตแสงซินโครตรอนได้เป็นผลสำเร็จ พร้อมทั้งสร้างสถานีทดลองที่ติดตั้งระบบลำเลียง (beamline) ทางด้านอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (electron spectroscopy) ใช้งานเรียบร้อยแล้ว รูปทรงอาคารที่เป็นรูปทรงกระบอกมีความสอดคล้องกับการทำงานของวงกักเก็บอิเล็กตรอน และวัสดุปิดผิวภายนอกที่เป็นเซรามิคสีแดงเข้มกลมกลืนกับกลุ่มอาคารข้างเคียง



รูปที่ 12 รูปภายนอกอาคารศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินครตรอนแห่งชาติ, ศูนย์. **การใช้ประโยชน์แสงซินโครตรอน**. นครราชสีมา : สมบูรณ์การพิมพ์, 2543
2. ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินครตรอนแห่งชาติ, ศูนย์. **แสงสยามสาร. ฉบับที่ 2** (2542). นครราชสีมา : ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ.
3. ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินครตรอนแห่งชาติ, ศูนย์. **แสงสยามสาร. ฉบับที่ 9** (2542). นครราชสีมา : ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ.
4. W. Pairsuwan and T. Ishi, **Abstract of the Third Forum on Synchrotron Radiation**, Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS), 1997.
5. P. Kenghan et al, **Journal of Synchrotron Radiation**, Vol. 5, 348 (1998).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้