เครื่องกำเนิดแสงสยาม

ประยูร ส่งสิริฤทธิกุล[1,5*], วีระพงษ์ แพสุวรรณ[2,5] , สมรเมธ เจียรนัยกูร[4] และ ทาเกฮิโก อิชิอิ[3,5]

Abstract

Songsiriritthigul, P.[1,5] , Pairsuwan, W.[2,5] , Jearanaikoon, S[4] and T. Ishii.[3,5] (1999).* **Siam Photon Source.** *Suranaree J. Sci. Technol. 6:22-31*

Siam Photon source is the synchrotron light source modified from the machine donated by SORTEC CORPORATION, Japan. In the modification, the energy of electron in the storage ring is 1.0 GeV as the original machine, however, the performances of the machine will be improved to produce synchrotron light with higher intensity, lower emittance and wider spectrum for use in different research areas. This article reports the details of the modification and brief history of the first synchrotron light source in Thailand.

Keywords : Synchrotron radiation, storage ring, Linac, beam dynamics

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดแสงสยามเป็นเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ดัดแปลงจากเครื่องที่ได้รับบริจาคจากกลุ่มบริษัท SORTEC CORPORATION ประเทศญี่ปุ่น ในการออกแบบดัดแปลงได้คงระดับพลังงานของเครื่องไว้เท่าเดิมที่ 1.0 GeV แต่มีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องให้สามารถผลิตแสงซินโครตรอนให้มีความเข้ม ความคม และช่วงพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ในบทความนี้เป็นการรายงานถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบดัดแปลง พร้อมทั้งประวัติความเป็นมาโดยสังเขปของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเครื่องแรกของประเทศไทย

---

[1] *Ph.D. อาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*

[2] *Ph.D. รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*

[3] *D.Sc. ศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*

[4] *M.Sc. ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ.*

[5] *ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ.*

* *ผู้เขียนในห้การติดต่อ*

บทนำ

ในปัจจุบันงานวิจัยมากมายเช่นทางด้านฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา เภสัชวิทยา แพทยศาสตร์ ตลอดจนขั้นตอน การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวข้องกับโครงสร้างที่มีขนาดเล็กในระดับไมครอน (1 ไมครอน = 10^{-6} เมตร) ลงไปจนถึงระดับโมเลกุล ซึ่งงานในลักษณะดังกล่าวเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการพัฒนาประเทศแต่อย่างไรก็ดี แสงที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบ การวิเคราะห์ ตลอดจนการผลิตโครงสร้าง ที่มีขนาดเล็กนั้นต้องอยู่ในย่านความถี่ของ soft X-ray และ VUV (vacuum ultaviolet) และต้องมีความเข้มสูงพอ ในปัจจุบันนี้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ว่ามีเพียงเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่สามารถผลิตแสงในย่านความถี่ดังกล่าวได้และเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

แสงซินโครตรอนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของอนุภาคที่มีมวลน้อยและมีประจุ (อิเล็กตรอน โพสิตรอน เป็นต้น) และอนุภาคดังกล่าวนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสง การปลดปล่อยพลังงานนั้นเกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคนั้นมีการเลี้ยวโค้ง หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและคุณสมบัติที่เด่นของแสงซินโครตรอนได้มีการรายงานก่อนหน้านี้โดย วิรุฬห์ สายคณิต, 2539; สำเนา ผาติเสนะ, 2539

ความเป็นมา

โครงการเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนในประเทศไทยได้เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติได้ให้ทุนสนับสนุนคณะวิจัยซึ่งนำโดย ศาสตราจารย์ ดร. วิรุฬห์ สายคณิต เพื่อดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนขึ้นในประเทศไทย คณะวิจัยได้เดินทางไปศึกษาและปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนในต่างประเทศ ผลสรุปของคณะวิจัยพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอที่จะดำเนินการสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน (วิรุฬห์ สายคณิต, 2539; วิรุฬห์ สายคณิต และคณะ 2539) ในช่วงที่สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติกำลังจัดทำรายละเอียดโครงการเพื่อสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน สำนักงานฯ ได้รับแจ้งจากนักวิชาการญี่ปุ่นถึงความเป็นไปได้ที่กลุ่มบริษัทซอร์เทค (SORTEC CORPORTION) จะบริจาคเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนให้กับประเทศไทย คณะกรรมการบริหารสภาวิจัยแห่งชาติได้แต่งตั้งคณะประสานงานเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ประกอบด้วย นักวิชาการไทยจำนวน 6 คน เดินทางไปประเทศญี่ปุ่น ในช่วงวันที่ 28-30 มกราคม พ.ศ. 2539 เพื่อประเมินสภาพของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของกลุ่มบริษัทซอร์เทค จากการตรวจสอบและดูการปฏิบัติงานของเครื่องโดยละเอียดรอบคอบ ได้มีความเห็นว่าเครื่องดังกล่าวทั้งระบบยังอยู่ในสภาพการทำงานที่ดีเยี่ยมและจะมีอายุการใช้งานอีกอย่างน้อย 20 ปี ดังนั้นการรับบริจาคเครื่องของกลุ่มบริษัทซอร์เทค มาปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจึงทำให้เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและยังเป็นการย่นระยะเวลาการมีเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนในประเทศไทยอีกด้วย หลังจากนั้นคณะประสานงานได้ยื่นเอกสาร "The Siam Photon Project" หรือโครงการแสงสยามต่อ The Ministry of Trade and Industry (MITI) ประเทศญี่ปุ่น เอกสารดังกล่าวเป็นเอกสารเกี่ยวกับแผนการรื้อถอนและติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของกลุ่มบริษัทซอร์เทคโดยสังเขป MITI ยินยอมให้มีการบริจาคเครื่องของกลุ่มบริษัทซอร์เทค หลังจากนั้นจึงได้มีการลงนามระหว่างฝ่ายไทยและกลุ่มบริษัทซอร์เทค

โครงการแสงสยามแบ่งเป็นสองระยะคือ 1) การรื้อถอน และ 2) การติดตั้ง การดำเนินงานของระยะแรกได้เสร็จสิ้นแล้ว โดยชิ้นส่วนของเครื่องที่ได้รับมอบจากกลุ่มบริษัทซอร์เทคได้เคลื่อนย้ายเข้า

ไปเก็บในอาคารสุรพัฒน์ 3 บริเวณเทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในช่วงวันที่ 9-10 มกราคม 2540 การดำเนินการในปัจจุบันอยู่ในระยะที่ 2 ของโครงการ ซึ่งเป็นระยะการติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ขอบเขตของงานในระยะที่ 2 นี้ คือการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อรองรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดแสงสยาม การออกแบบดัดแปลงติดตั้งและทดสอบเครื่องกำเนิดแสงสยาม

เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของซอร์เทค

แสงซินโครตรอนที่ผลิตโดยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของกลุ่มบริษัทซอร์เทคนั้นได้จากการปลดปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีพลังงาน 1.0GeV (1 GeV = 10^9 eV) ที่กักเก็บใน storage ring การปลดปล่อยพลังงานนั้นเกิดขึ้นขณะที่อิเล็กตรอนเลี้ยวโค้งในสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดย dipole magnets หรือเรียกตามหน้าที่ของแม่เหล็กชนิดนี้ว่า bending magnets สำหรับการเร่งอิเล็กตรอนให้ได้พลังงาน 1.0 GeV เพื่อที่จะนำไปเก็บไว้ใน storage ring นั้นอาศัยเครื่องเร่งอนุภาคสองชนิดด้วยกันคือ

1) Electron linear accelerator หรือ เรียกโดยย่อว่า Linac ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเร่งอนุภาคได้มาจาก High Power Klystron (PV-3035) ในรูปของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่มีความถี่ในย่านไมโครเวฟ (microwave)

2) Synchrotron ซึ่งในที่นี้อาจจะเรียกตามหน้าที่ของมันว่า booster synchrotron รายละเอียดทางเทคนิคที่สำคัญของ booster synchrotron สรุปได้ตามตารางที่ 1

Storage ring ของเครื่องของกลุ่มบริษัท ซอร์เทคได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาเฉพาะงานวิจัยพื้นฐานทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (microelectronics) เพื่อพัฒนาขบวนการไมโครลิโธกราฟฟี (microlithrography) ขนาดของลำอิเล็กตรอนจึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยค่า emittance ของลำอิเล็กตรอนใน storage ring

ตารางที่ 1 รายละเอียดของ Booster synchrotron

พลังงานเริ่มต้น	40 MeV
พลังงานสูงสุด	1 GeV
ความยาวเส้นรอบวง	43.19 เมตร
รัศมีของการเลี้ยวโค้ง	3.03 เมตร
โครงสร้างของชุดแม่เหล็ก	FODO
กระแสของอิเล็กตรอน	30 mA
Repetition rate	1.25 Hz
Betatron tune ν_x/ν_y	2.25/1.25
สนามแม่เหล็กสูงสุดของ Dipole magnet	1.1 T
อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสนามแม่เหล็กของ Quadrupole magnet	4.8 T/m
ความถี่ของ RF	118 MHz
แรงดันสูงสุดของ RF	60 kV
ความดันขณะที่มีลำอิเล็กตรอน	$<1x10^{-6}$ Torr

ของเครื่องของกลุ่มบริษัทซอร์เทคที่ออกแบบไว้มีค่าเท่ากับ 500 nmπrad สำหรับแสงซินโครตรอนจากเครื่องกลุ่มของบริษัทซอร์เทคได้จากการเลี้ยวโค้งของอิเล็กตรอนโดย bending magnets รายละเอียดที่สำคัญของ storage ring ของเครื่องกลุ่มบริษัท ซอร์เทค สรุปดังตารางที่ 2

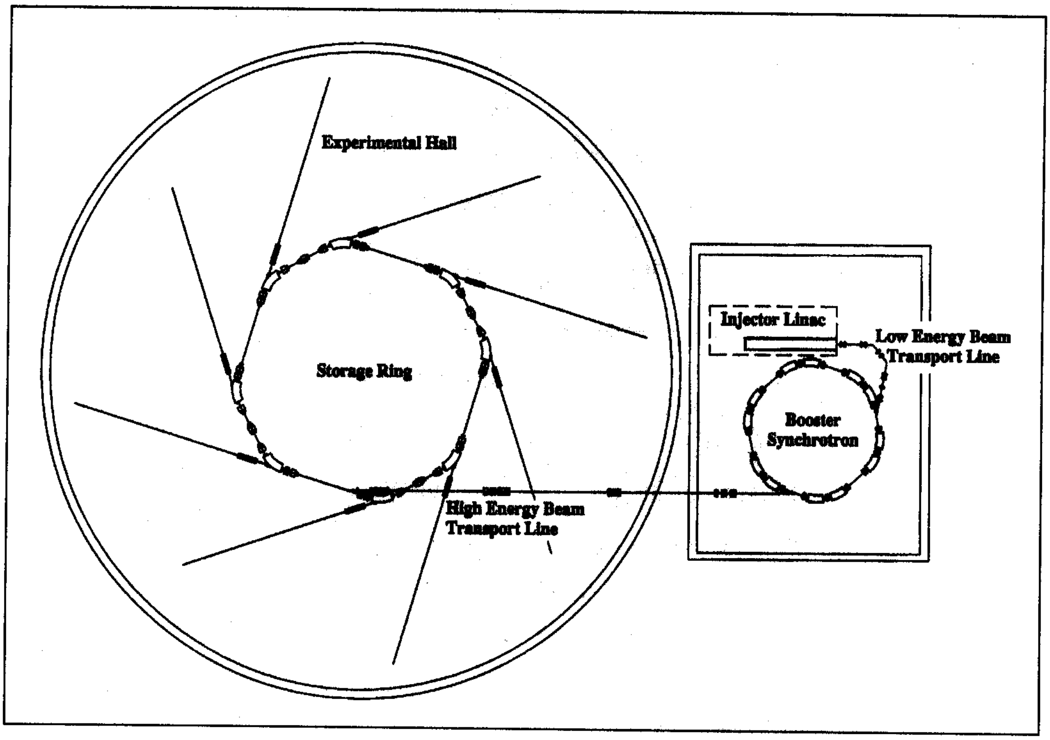
ตารางที่ 2 รายละเอียดของ Storage ring ของเครื่อง SORTEC

พลังงาน	1 GeV
ความยาวเส้นรอบวง	45.7 เมตร
รัศมีของการเลี้ยวโค้ง	2.78 เมตร
โครงสร้างของชุดแม่เหล็ก	FODO
กระแสของอิเล็กตรอน	1.0 A
Natural emittance	510 nmπrad
Beam lifetime	70 hours at 200 mA
สนามแม่เหล็กสูงสุดของ Dipole magnet	1.2 T
Critical wavelength (energy)	15.5 (0.798 keV)
กำลังที่สูญเสียไปที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ค่าที่ออกแบบ)	3.2 MW (6.37 kW)

ซินโครตรอน ที่มีช่วงพลังงานที่กว้างกว่าเดิม ผลที่ได้จากการดัดแปลงในครั้งนี้จะทำให้แสงซินโครตรอนที่ผลิตได้มีประโยชน์ต่องานวิจัยในหลายสาขาวิชา ในการดัดแปลงดังกล่าวมีความจำเป็นที่จะต้องขยายขนาดของ storage ring ทั้งนี้ได้มีการออกแบบ storage ring เรียบร้อยแล้วโดยอาศัยผลจากการคำนวณ

เครื่องกำเนิดแสงสยาม

เครื่องกำเนิดแสงสยามเป็นเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ดัดแปลงมาจากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของกลุ่มบริษัทซอร์เทค เดิมเครื่องของกลุ่มบริษัทซอร์เทคนั้นได้ออกแบบและสร้างเพื่องานวิจัยเฉพาะเกี่ยวกับขบวนการไมโครลิโธกราฟฟี และแสงซินโครตรอนที่ผลิตนั้นได้มาจากส่วนที่มีการเลี้ยวโค้งของอิเล็กตรอนคือในส่วนของ bending magnets สำหรับเครื่องกำเนิดแสงสยามที่ดัดแปลงมาจากเครื่องของกลุ่มบริษัทซอร์เทค ได้มีการออกแบบ storage ring ใหม่เพื่อที่จะใส่อุปกรณ์ที่เรียกว่า insertion device ชนิด undulator ซึ่งทำให้สามารถผลิตผลิตแสงซินโครตรอนที่มีความเข้มที่สูงกว่าและ insertion device ชนิด wiggler เพื่อที่จะผลิตแสงเกี่ยวกับ beam dynamics ซึ่งศึกษาโดย Isoyama *et al.*, 1998 ; Kengkan *et al.*, 1998 ความยาวของเส้นรอบวงของ storage ring ที่ได้จากการออกแบบมีค่าเพิ่มจากเดิม 45.7 เมตรเป็น 81.3 เมตร พร้อมกับได้ทำการออกแบบปรับแต่งโครงสร้างของชุดแม่เหล็ก (magnetic lattice) เพื่อทำให้ลำ อิเล็กตรอนมีขนาดเล็กลงและสามารถกักเก็บอิเล็กตรอนได้มากกว่าเดิม ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้เป็นเหตุผลที่สำคัญที่ทำให้แสงซินโครตรอนที่ได้จากเครื่องกำเนิดแสงสยามมีความเข้มและความคมยิ่งขึ้น สำหรับพลังงานของอิเล็กตรอนใน storage ring ยังคงเป็น 1.0 GeV เท่ากับเครื่องเดิมของกลุ่มบริษัทซอร์เทค ดังนั้นจึงไม่มีการดัดแปลงในส่วนของเครื่องเร่งอนุภาคทั้ง Linac และ booster synchrotron



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคและ Beam transport lines ของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ

ส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือระบบควบคุมของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ซึ่งไม่ได้รับมอบพร้อมกับตัวเครื่อง เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับระบบควบคุมเดิมเป็นเทคโนโลยีที่ล้าสมัย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบและสร้างระบบควบคุมขึ้นมาใหม่ การออกแบบระบบควบคุมขณะนี้กำลังอยู่ในช่วงดำเนินการโดยระบบควบคุมเครื่องกำเนิดแสงสยามจะเป็นระบบควบคุมเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนระบบแรกของโลกที่ใช้ personal computers ในการควบคุมเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากว่าประสิทธิภาพของ personal computers ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาเป็นอย่างมาก

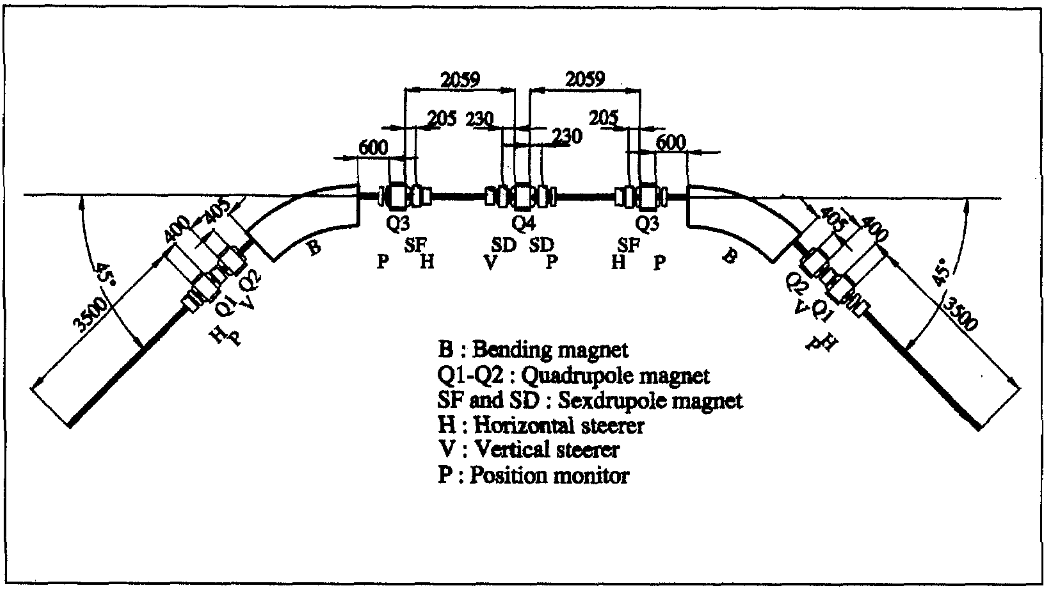
แผนภาพของเครื่องกำเนิดแสงสยาม แสดงดังรูปที่ 1 ในการติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคทั้ง Linac และ Booster synchrotron มีการจัดรูปแบบการวางตัวเช่นเดียวกันกับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนของกลุ่มบริษัทซอร์เทค ดังนั้นจึงไม่มีการดัดแปลงในส่วนที่เรียกว่า low energy beam transport ซึ่งเป็นส่วนที่ลำเลียงอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งโดย Linac ไปยัง booster synchrotron เครื่องเร่งทั้งสองนี้จะถูกนำลงไปติดตั้งอยู่ในชั้นใต้ดินด้วยเหตุผลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องกำเนิดแสงสยาม แต่เดิมนั้นส่วนเครื่องเร่งและ storage ring จะติดตั้งบนชั้นระดับพื้นดิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลงส่วนที่เรียกว่า high beam transport ซึ่งเป็นส่วนที่ลำเลียงอนุภาคอิเล็กตรอนจาก booster synchrotron มายัง storage ring

Storage ring ของเครื่องกำเนิดแสงสยามมี

ลักษณะสมมาตรสี่ส่วน ซึ่งประกอบด้วยชุดแม่เหล็กที่เรียงกันแบบ double bend achromat (DBA) ที่เหมือนกันอยู่ 4 ชุด และระหว่างชุดแม่เหล็กทั้งสี่ชุดนั้นมีส่วนตรงที่มีความยาว 7 เมตร อีก 4 ส่วน ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับรองรับการติดตั้ง insertion devices ได้แก่ undulators และ wigglers และยังเป็นบริเวณที่ติดตั้ง RF accleration cavity และ injection septum magnet ความยาวของเส้นรอบวงของ storage ring มีค่าเท่ากับ 81.3 เมตร สาเหตุในการเลือกชุดแม่เหล็กแบบ DBA คือความต้องการที่จะควบคุมจำนวนของแม่เหล็กที่จะสร้างเพิ่มเติมให้น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าจำนวน bending magnets ของ storage ring ใหม่มีจำนวน 8 อัน ซึ่งเท่ากับจำนวนของ bending magnets ของ storage ring เดิม อย่างไรก็ตาม การดัดแปลง storage ring ในครั้งนี้จำเป็นต้องใช้ quardrupole magnets เพิ่มอีก 12 อัน sextupole magnets เพิ่มอีก 8 อัน และ steering magnets เพิ่มอีก 20 อัน

รูปที่ 2 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดการจัดเรียงชุดแม่เหล็กแบบ DBA แต่ละชุดใน storage ring รายละเอียดเกี่ยวกับชุดแม่เหล็กแสดงในตารางที่ 3 จากรายละเอียดดังกล่าวเราสามารถคำนวณลักษณะของลำอิเล็กตรอนใน storage ring ได้ ค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4 พร้อมกับค่าตัวแปรที่สำคัญของ storage ring ขนาดของลำอิเล็กตรอนใน storage ring บ่งบอกได้โดยค่า emittance ซึ่งจากการคำนวณพบว่าค่า emittance มีค่าลดลงประมาณ 7 เท่าจากเดิม 500 nm π rad เป็น 74 nm π rad ค่าที่ลดลงนี้บ่งบอกว่าลำอิเล็กตรอนใน storage ring โดยเฉลี่ยมีขนาดเล็กลงจากเดิม ซึ่งส่งผลให้ขนาดของลำแสงซินโครตรอนที่ปลดปล่อยออกมามีขนาดเล็กลง นั่นคือแสงซินโครตรอนที่ได้จะมีความคมมากขึ้น การปรับปรุงชุดแม่เหล็กในครั้งนี้จะทำให้กระแสของอิเล็กตรอนกักเก็บใน storage ring เพิ่มจากเดิม 200 mA เป็น 300 mA การเพิ่มขึ้นของกระแสของอิเล็กตรอนใน storage ring จะทำให้แสงซินโครตรอนที่ผลิตได้มีความเข้มข้นสูงมากยิ่งขึ้น

สำหรับค่า β_x, β_y (betatron functions)



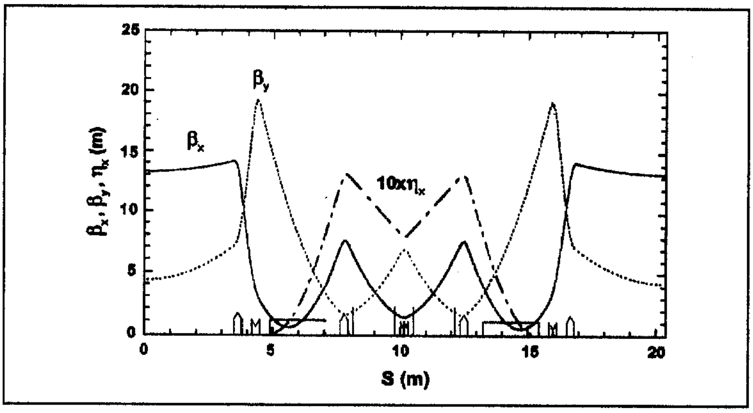
รูปที่ 2 แสดงชุดแม่เหล็กแบบ DBA ใน Storage ring ของเครื่องกำเนิดแสงสยาม

ตารางที่ 3 รายละเอียดของแม่เหล็ก

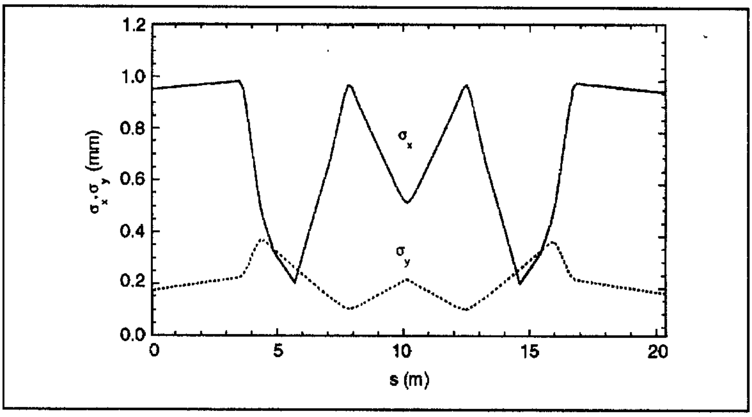
Bending magnets B	
ชนิด	sector bend
จำนวน	8
มุมที่เลี้ยวโค้ง	45°
รัศมีของการเลี้ยวโค้ง	2.78 เมตร
ขนาดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก	1.2 T
Quardrupole magnets Q1-Q4	
จำนวน	28
ความยาวของ pole	0.29 เมตร
ค่าสูงสุดของ field gradient $\lvert dB_z / dx \rvert$	13 T/m
Sextupole magnet SF , SD	
จำนวน; SF, SD	8, 8
ความยาวของ pole; SF, SD	0.15, 0.2 เมตร
ค่าสูงสุดของ field gradient $\lvert d^2B_z / dx^2 \rvert$	60 T/m

ตารางที่ 4 รายละเอียดของ Storage ring ของเครื่องกำเนิดแสงสยาม

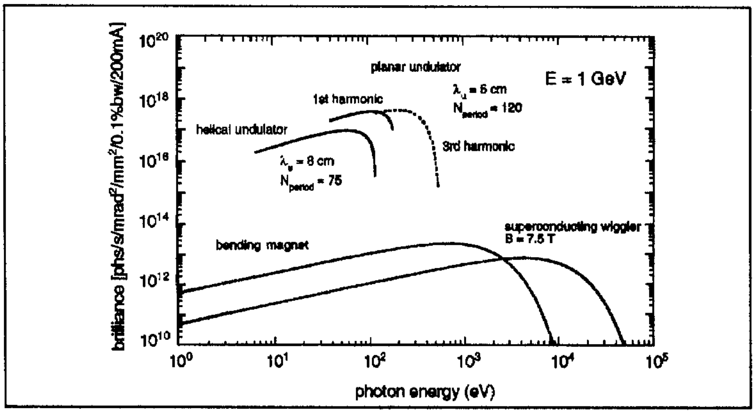
พลังงาน	1Gev
ความยาวเส้นรอบวง	81.3 เมตร
ลักษณะของชุดแม่เหล็ก	DBA
Superperiodicity	4
ความยาวของส่วนตรงระหว่างชุดแม่เหล็ก	7 เมตร X 4
Betatron wave numbers; ν_x, ν_y	4.76, 2.82
Momentum compaction factor	$\alpha = 0.0214$
Natural chromaticities; ξ_x, ξ_y	7.59, -6.73
Natural emittance	74πnm rad
Damping partition number; J_x, J_y, J_ε	0.9, 1.0, 2.1
Damping time; $\tau_x, \tau_y, \tau_\varepsilon$	18.9, 17.0, 8.1 ms
ความถี่ของ RF	118 MHz
แรงดันสูงสุดของ RF	100 kV
Harmonic number	32
Critical energy	0.798 keV



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า betatron functions และค่า horizontal dispersion function ที่ได้จากการคำนวณตามลักษณะชุดแม่เหล็กที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 4 แสดงขนาดของลำอิเล็กตรอนในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ในชุดแม่เหล็กที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 5 แสดงค่าจากการคำนวณสเปกตรัมของแสงซินโครตรอนของเครื่องกำเนิดแสงสยาม ที่ได้จาก bending magnet และ insertion devices ชนิดต่างๆ

และค่า η_x (horizontal dispersion function) ที่ได้จากการคำนวณแสดงในรูปที่ 3 Betatron functions บ่งบอกถึงลักษณะการโฟกัสของชุดแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่า betatron functions ค่อนข้างจะคงที่บริเวณที่เป็นส่วนตรง แต่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากบริเวณที่มีแม่เหล็ก สำหรับ dispersion function ที่คำนวณได้สอดคล้องกับสมมุติฐานโดยทั่วไปคือ $\eta_x = 0$ ในบริเวณที่เป็นส่วนตรงของ storage ring สำหรับค่า η_y (vertical dispersion function) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการจัดเรียงแม่เหล็กให้อยู่ในแนวที่กำหนดไว้หรือเกิดจากลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เบี่ยงเบนไปจากที่ออกแบบไว้ ดังนั้นค่า η_y ของแต่ละ storage ring จึงสามารถหาได้จากการทดลองเท่านั้น

ในการคำนวณขนาดของลำอิเล็กตรอนได้สมมุติให้ค่า C (emittance coupling factor) มีค่าเท่ากับ 0.1 พบว่าค่า σ_x และ σ_y (ขนาดของลำแสงอิเล็กตรอนในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง) ณ ตำแหน่งตรงกลางของส่วนตรงของ storage ring มีค่าเท่ากับ 0.96 mm และ 0.17 mm ตามลำดับสำหรับขนาดของลำอิเล็กตรอนในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ในชุดแม่เหล็กที่ได้จากการคำนวณแสดงในรูปที่ 4

การดัดแปลง storage ring ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องสร้างท่อสุญญากาศในส่วนของ storage ring ขึ้นมาใหม่ซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ในช่วงการออกแบบโดยใช้อลูมิเนียมผสมเป็นวัสดุในการทำท่อสุญญากาศ ความดันอากาศใน storage ring จะอยู่ในระดับ 10^{-11} Torr การสร้างสุญญากาศในระดับนั้นต้องใช้ pumps ชนิดต่างๆ คือ ion pumps, sublimation pumps และรวมทั้ง distributed ion pumps (DIP) ที่อยู่ในท่อสุญญากาศในส่วนของ bending magnets โดย pumping speed ของ pumps ทั้งหมดใน storage ring มีค่ารวมกันเท่ากับ 27,600 l/s

รูปที่ 5 แสดงค่าจากการคำนวณของสเปกตรัมของแสงซินโครตรอนสำหรับ 1.0 GeV storage ring ของเครื่องกำเนิดแสงสยามที่ได้จากการใช้ bending magnet และ insertion devices ชนิดต่างๆ ในการบังคับให้อิเล็กตรอนใน storage ring ให้ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงซินโครตรอนสเปกตรัมของแสงซินโครตรอนที่ได้จาก bending magnet มีลักษณะที่ต่อเนื่องและมีค่า ε_c (critical energy) เท่ากับ 0.80 keV จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของแสงซินโครตรอนที่ได้จาก bending magnet มีช่วงพลังงานตั้งแต่ IR (Infrared) จนถึง soft X-ray แต่อย่างไรก็ตามช่วงพลังงานดังกล่าวเป็นช่วงพลังงาน ที่ต่ำกว่า hard X-ray (หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า X-ray) การใช้ helical undulator และ planar undulator นั้นไม่ได้ทำให้ช่วงพลังงานเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้ได้แสงซินโครตรอนที่มีความเข้มสูงมากยิ่งขึ้น แสงซินโครตรอนที่ได้จาก undulators ทั้งสองชนิดมีความเข้มสูงกว่าแสงซินโครตรอนที่ได้จาก bending magnet ถึง 10^4-10^5 เท่า สำหรับการใช้ประโยชน์ แสงซินโครตรอนในย่านพลังงานของ hard X-ray จำเป็นต้องใช้ insertion device ชนิดที่เรียกว่า superconducting magnetic wiggler จากการคำนวณ พบว่า wiggler ดังกล่าวที่มีสนามแม่เหล็ก 7.5 Tesla สามารถผลิตแสงซินโครตรอนที่มีพลังงานสูงถึง 25 keV ที่มีความเข้มเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์

สรุป

หลักเกณฑ์ที่สำคัญในการดัดแปลงเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ได้รับมอบจากกลุ่มบริษัทซอร์เทคให้เป็นเครื่องกำเนิดแสงสยามมี 2 ประการคือ

1) แสงซินโครตรอนที่ผลิตได้ต้องมีความเข้มความคม และมีช่วงพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิจัยพื้นฐานทั้งทางด้านกายภาพและชีวภาพ ตลอดจนการประยุกต์ทางด้านการแพทย์ เภสัชกรรม และอุตสาหกรรม ดังนั้น storage ring ต้องสามารถกักเก็บกระแสอิเล็กตรอนที่สูงกว่าเดิม

และลำอิเล็กตรอนมีขนาดที่เล็กลงพร้อมกันนี้ storage ring ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับการติดตั้ง insertion devices

2) มีจำนวนอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่ต้องสร้างเพิ่มเติมน้อยที่สุด ดังนั้นการจัดเรียงชุดแม่เหล็กแบบ DBA จึงถูกเลือกใช้ใน storage ring ของเครื่องกำเนิดแสงสยาม

เอกสารอ้างอิง

วิรุฬห์ สายคณิต. (2539). โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 1:63-74.

สำเนา ผาติเสนะ. (2539) เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเครื่องแรกของประเทศไทย. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 3:57-61.

วิรุฬห์ สายคณิต และคณะ. (2539). เปิดยุคใหม่ไทยซินโครตรอน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.

G. Isoyama, P. Kengkan, W. Pairsuwan, T. Yamakawa and T. Ishii (1998). Design Study for the Siam Photon Source : Proceedings of the XII Russian Synchrotron Radiation Conference, Novosibirsk (in press).

P. Kengkan, W. Pairsuwan, G. Isoyama, T. Yamakawa and T. Ishii (1998). Magnetic Lattice for Siam Photon Source. J. Synchrotron Rad. 5:348-350.