

การออกแบบระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนแรกของเครื่องกำเนิดแสงสยาม

ประยูร ส่งสิริฤทธิกุล^{1,2*}, วีระพงษ์ แพสุวรรณ^{1,3}, ทาเกฮิโก อิชิอิ^{1,4}, อากิโตะ คากิซากิ⁵

DESIGN OF THE FIRST BEAMLINE FOR THE SIAM PHOTON SOURCE.

Songsiriritthigul, P.^{1,2*}, Pairsuwan, W.^{1,3}, Ishii, T.^{1,4} and Kakizaki, A.⁵ (2001). Design of the First Beamline for the Siam Photon Source. *Suranaree J. Sci. Technol.* 8:123-130.

Abstract

This report describes the use of an optical path function to design a vacuum ultraviolet and soft x-ray beamline, which is the first beamline for the Siam Photon Source. A varied line-spacing plane grating has been selected as the light dispersing element of the monochromator of the beamline. Three gratings are used to cover a photon energy range from 20 to 240 eV. The contributions of major optical aberrations of the diffraction gratings to the resolution of the monochromator have been considered in this design study. The beamline is designed for photoemission experiments.

Keywords : Beamline, monochromator, vacuum ultraviolet, soft x-rays, diffraction grating

บทคัดย่อ

รายงานนี้อธิบายการใช้ฟังก์ชันของเส้นทางเดินแสงในการออกแบบระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนในย่านพลังงานของ vacuum ultraviolet และ soft x-rays ซึ่งเป็นระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนอันแรกของเครื่องกำเนิดแสงสยาม ในการศึกษาออกแบบได้พิจารณาความสามารถในการแยกแยะพลังงานที่

^{1*} ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

^{2*} Ph.D., อาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

³ Ph.D., รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

⁴ Ph.D., ศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

⁵ Ph.D. ศาสตราจารย์ Institute of Solid State Physics, University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan.

* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

กำหนดโดยความคลาดและความไม่สมบูรณ์แบบของเกรตติงเลี้ยวเบน ในระบบลำแสงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เกรตติงสามอันเพื่อที่จะครอบคลุมพลังงานของแสงซินโครตรอนในช่วง 20 ถึง 240 eV ระบบลำแสงซินโครตรอนดังกล่าวถูกออกแบบสำหรับการทดลองทางด้านโฟโตอิมิชชัน

บทนำ

แสงซินโครตรอนมีคุณสมบัติเด่นหลายอย่างเช่น ความสว่างจ้าที่สูง ลำของแสงมีความคมสูงและสเปกตรัมของแสงมีความต่อเนื่อง เพื่อที่จะได้แสงซินโครตรอนที่มีคุณลักษณะตามความต้องการของการใช้ประโยชน์ ระบบลำแสงซินโครตรอนจึงต้องมีกรอกแบบเป็นพิเศษ ในปัจจุบันมีลักษณะของระบบลำแสงซินโครตรอนแบบต่าง ๆ ที่ใช้กันตามห้องปฏิบัติการวิจัยเกี่ยวกับแสงซินโครตรอนทั่วโลก แต่เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอนของแต่ละห้องปฏิบัติการวิจัยฯ มีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน จึงทำให้รายละเอียดทางเทคนิคของแต่ละระบบลำแสงซินโครตรอนแตกต่างกัน

บทความนี้เป็นการรายงานถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบระบบลำแสงซินโครตรอนแรกของวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอนของเครื่องกำเนิดแสงสยาม (ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล และคณะ, 2542) โดยระบบลำแสงซินโครตรอนนี้จะนำแสงที่อยู่ย่านพลังงาน 20 ถึง 240 eV ซึ่งอยู่ในย่านของ VUV (Vacuum ultraviolet) และ Soft X-ray ไปใช้ในการทดลองทางด้านโฟโตอิมิชชัน (Photoemission) แสงที่ถูกลำแสงมาใช้ประโยชน์โดยระบบลำแสงซินโครตรอนนี้เป็นแสงที่ผลิตโดย bending magnet ของวงแหวนกักเก็บอิเล็กตรอน ข้อพิจารณาทางเทคนิคที่สำคัญสำหรับระบบลำแสงซินโครตรอนชนิดนี้คือแสงที่ได้ ณ ตำแหน่งของสารตัวอย่างสำหรับการวัดจะต้องเป็นแสงที่มีแถบของพลังงานที่แคบมาก ๆ หรือมีความสามารถในการแยกแยะ (resolution) ที่สูง และมีปริมาณความเข้มของแสงที่เพียงพอ นอกเหนือจากนั้นขนาดของ

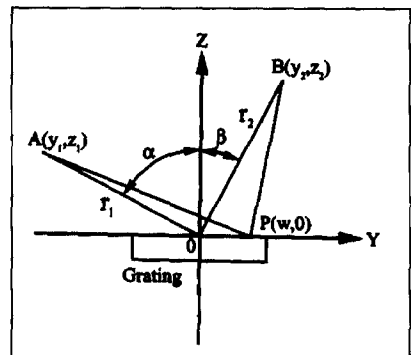
ลำแสงต้องมีขนาดเล็กเพียงพอสำหรับการทดลองทางด้านโฟโตอิมิชชันที่ต้องการความสามารถในการแยกแยะเชิงมุมสูง

ทฤษฎี

เส้นทางเดินของแสง

ฟังก์ชันแสดงเส้นทางเดินของแสง (optical path function), F , สำหรับแสงที่เดินทางจากแหล่งกำเนิด A ตกกระทบบนเกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating) ณ จุด P และทำให้เกิดภาพ ณ ตำแหน่ง B ดังแสดงในรูปที่ 1 คือ (Noda et al., 1974)

$$F = \overline{AP} + \overline{PB} + G(w) \quad (1)$$



รูปที่ 1. แผนภาพแสดงฟังก์ชันของเส้นทางเดินของแสง

โดยที่เทอม $G(w)$ เป็นเทอมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการเลี้ยวเบนของแสงหลังจากการตกกระทบลงบนเกรตติงในกรณีที่เป็นการตกกระทบของแสงบนเกรตติง เทอม $G(w)$ ดังกล่าวมีค่าเป็นศูนย์ ในกรณีเกรตติงเป็นเกรตติงชนิดที่เรียกว่า Varied line-spacing plane grating เทอม $G(w)$ หาได้จากความสัมพันธ์

ดังต่อไปนี้ (Fujisawa et al., 1996)

$$G(w) = k\lambda \int_0^w N(w') dw' \quad (2)$$

โดยที่ k คืออันดับของการเลี้ยวเบน (order of diffraction), λ คือความยาวคลื่นของแสง และ N คือความหนาแน่นเชิงเส้นของจำนวนร่องของเกรตติง ซึ่งมีค่าแปรตามตำแหน่งบนเกรตติงตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$N(w) = N_0(1 + a_1 w + a_2 w^2 + a_3 w^3 + \dots) \quad (3)$$

โดยที่ w คือตำแหน่งที่ห่างออกไปจากจุดกึ่งกลางของเกรตติง r_1 และ r_2 ในรูปที่ 1 คือ entrance arm length และ exit arm length ของเกรตติง และสามารถใช้ในการบ่งบอกตำแหน่ง A และ B ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$y_1 = -r_1 \sin \alpha, \quad z_1 = -r_1 \sin \alpha, \quad (4)$$

$$y_2 = -r_2 \sin \beta, \quad z_2 = -r_2 \cos \beta, \quad (5)$$

และแสดงระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A และ P และระหว่างตำแหน่ง P และ B ดังนี้

$$AP = \sqrt{r_1^2 + w^2 + 2wr_1 \sin \alpha} \quad (6)$$

$$PB = \sqrt{r_2^2 + w^2 + 2wr_2 \sin \beta} \quad (7)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2) จนถึงสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (1) แล้วกระจายเทอมต่าง ๆ ซึ่งจะได้สมการแสดงเส้นทางของแสงดังนี้

$$F = F_{00} + wF_{10} + \frac{1}{2}w^2F_{20} + \frac{1}{2}w^3F_{30} + \frac{1}{8}w^4F_{40} + \dots \quad (8)$$

โดยที่

$$F_{00} = r_1 + r_2 \quad (9)$$

$$F_{10} = N_0 k\lambda - (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (10)$$

$$F_{10} = \frac{\cos \alpha}{r_1} + \frac{\cos \beta}{r_2} - \frac{(\cos \alpha + \cos \beta)}{R} + k\lambda N_0 a_1 \quad (11)$$

$$F_{30} = \left(\frac{\cos^2 \alpha}{r_1} - \frac{\cos \alpha}{R} \right) \frac{\sin \alpha}{r_1} + \left(\frac{\cos^2 \beta}{r_2} - \frac{\cos \beta}{R} \right) \frac{\sin \beta}{r_2} + \frac{2}{3}k\lambda N_0 a_2 \quad (12)$$

$$F_{40} = \frac{4}{r_1^2} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{r_1} - \frac{\cos \alpha}{R} \right) \sin^2 \alpha - \frac{1}{r_1} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{r_1} - \frac{\cos \alpha}{R} \right)^2 + \frac{4}{r_2^2} \left(\frac{\cos^2 \beta}{r_2} - \frac{\cos \beta}{R} \right) \sin^2 \beta - \frac{1}{r_2} \left(\frac{\cos^2 \beta}{r_2} - \frac{\cos \beta}{R} \right)^2 - \frac{1}{R} (\cos \alpha + \cos \beta) - \frac{1}{R^2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^2 + 2k\lambda N_0 a_3 \quad (13)$$

เทอม F_{20} , F_{30} และ F_{40} เป็นเทอมที่เกี่ยวข้องกับ optical aberrations ชนิดที่เรียกว่า defocusing, coma และ spherical aberrations ตามลำดับ ส่วนเทอมที่มีอันดับสูงกว่าเทอม มีความสำคัญน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบลำแสงซินโครตรอน

ความสามารถในการแยกแยะของ monochromator

ความสามารถในการแยกแยะพลังงานหรือความสามารถในการแยกแยะความยาวคลื่นของแสงถูกนิยามไว้ด้วยความสัมพันธ์ $\Delta E/E$ หรือ $\Delta \lambda / \lambda$ โดยที่ E และ λ คือพลังงานและความยาวคลื่น ΔE และ $\Delta \lambda$ คือแถบพลังงานและแถบความยาวคลื่นของแสงที่ถูกคัดเลือกโดย monochromator

ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ความสามารถในการแยกแยะลดลงคือ optical aberrations จากฟังก์ชันของเส้นทางเดินของแสง aberrations หลักได้แก่ defocusing, coma และ spherical aberrations ซึ่งเป็น

ปัจจัยกำหนดความสามารถในการแยกแยะของ VPGM ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{defocus} = \frac{wF_{20}}{\lambda Nk} \quad (14)$$

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{coma} = \frac{3w^2F_{30}}{2\lambda Nk} \quad (15)$$

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{sphere} = \frac{w^3F_{40}}{2\lambda Nk} \quad (16)$$

นอกเหนือจาก aberrations ดังกล่าว ปัจจัยอื่นที่เป็นตัวกำหนดความสามารถในการแยกแยะที่

สำคัญคือ ความเรียบของผิวหน้าของเกรตติง ซึ่ง บ่งบอกโดยปริมาณที่เรียกว่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (root-mean-squar, *rms*) ของค่า slope error (σ_{se}) ปริมาณของความสามารในการแยกแยะที่ถูกจำกัดโดย slope error นี้เป็นไปตามความสัมพันธ์ (Peatman, 1997)

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{slope} = \frac{4.7\sigma_{se} \cos\beta}{\lambda Nk} \quad (17)$$

ความสามารถในการแยกแยะของ monochromator แปรผันตรงกับความกว้างของ slits และแปรผกผันกับความยาวของ monochromator ในกรณีของ VPGM ซึ่งมีทั้ง entrance slit และ exit slit ค่าความสามารถในการแยกแยะที่กำหนดโดย slits คือผลรวมของเทอมที่กำหนดโดยความกว้างของ entrance slit (ΔS_1) และเทอมที่กำหนดโดยความกว้าง exit slit (ΔS_2) ซึ่งแสดงโดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left. \frac{\Delta E}{E} \right|_{slit} = \frac{1}{Nk\lambda} \sqrt{\left(\frac{\Delta S_1 \cos\alpha}{r_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta S_2 \cos\beta}{r_2} \right)^2} \quad (18)$$

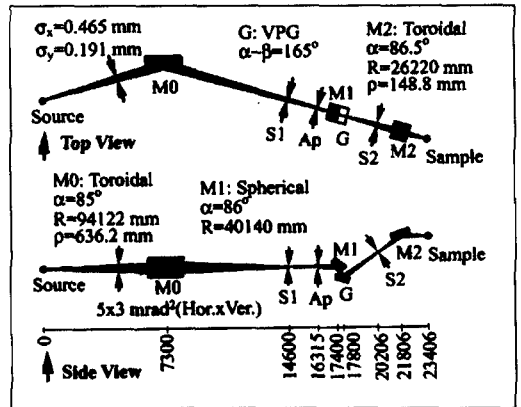
ในกรณีที่พิจารณาผลเนื่องมาจากความกว้างของ entrance slit และของ exit slit ที่มีต่อความสามารถในการแยกแยะที่เท่ากัน เราสามารถหา ΔS_1 และ ΔS_2 ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta S_1 = \frac{Nk\lambda r_2}{\sqrt{2} \cos\alpha} \left. \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \right|_{slit} \quad (19)$$

$$\Delta S_2 = \frac{Nk\lambda r_2}{\sqrt{2} \cos\beta} \left. \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \right|_{slit} \quad (20)$$

แบบของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอน

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนแรกของเครื่องกำเนิดแสงสยาม ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงอยู่ใน bending magnet ขนาดของลำแสงถูกจำกัดให้มีมุมเปิดสำหรับแสงที่จะผ่านเข้า



รูปที่ 2. แผนภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการลำเลียงแสงของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอน

สู่ระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนเท่ากับ 5×10^{-3} เรเดียนในแนวนอน และ 3×10^{-3} เรเดียนในแนวตั้ง ส่วนประกอบหลักของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอน ได้แก่ Pre-focusing mirror (M0), monochromator และ Post-focusing mirror (M2)

Monochromator

ระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนอันแรกนี้ใช้ monochromator ชนิดที่เรียกว่า varied line-spacing plane grating monochromator (VPGM) ในการคัดเลือกพลังงานของแสงซินโครตรอนที่ต้องการนำมาใช้งาน คุณลักษณะที่เด่นประการแรกของ monochromator ชนิดนี้คือความสามารถที่จะทำให้มี aberrations น้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการเลือกตัวแปรที่กำหนดความหนาแน่นของจำนวนร่องของ VPG ที่เหมาะสม และคุณลักษณะที่เด่นอีกประการหนึ่งคือการเลือกพลังงานของแสงซินโครตรอนทำได้โดยการหมุน VPG เพียงอย่างเดียว จึงทำให้โครงสร้างของ monochromator นี้มีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน (Songsiriritthigul et al., 2001) monochromator ดังกล่าวทำงานในลักษณะที่ผลรวมของขนาดของมุมตกกระทบและขนาดของมุมเลี้ยวเบนมีค่าคงที่ คือ $\alpha - \beta = 165^\circ$ โดยที่ β มีค่าเป็นลบในกรณีที่อันดับของการเลี้ยวเบนคือ +1

VPGM มีส่วนประกอบหลักคือ entrance slit (S1), focusing mirror (M1), VPGs และ exit slit (S2) โดยที่ S1 ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงของ VPGM ที่ปรับขนาดได้โดยการปรับความกว้างของ S1 ผิวหน้าของกระจก M1 มีลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ 40140 มม. รัศมีของกระจกสามารถหาได้จากสมการ (8) โดยให้ entrance arm length ของกระจก M1 มีค่าเท่ากับ

โดยการหมุนเกรตติง ค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของจำนวนร่องของเกรตติง m ตรงกลางของเกรตติงมีค่าเท่ากับ 300 เส้น/มม. 600 เส้น/มม. และ 1200 เส้น/มม. สำหรับเกรตติงอันที่ 1, 2 และ 3 เพื่อที่จะครอบคลุมพลังงานของแสงช่วง 20–60 eV, 40–120 eV และ 80–240 eV ตามลำดับ exit arm length ของ VPG และค่าตัวแปร a_1, a_2 และ a_3 ของ VPG ทั้งสาม ในสมการที่ (3) หาได้จากการศึกษาความ

ตารางที่ 1. ค่าพลังงาน E_1, E_2, E_3 และ E_4 ที่ใช้ในการหา exit arm length และค่าของตัวแปรที่กำหนด ความหนาแน่นเชิงเส้นของจำนวนร่องของเกรตติง.

หมายเลขของเกรตติง	E_1 (eV)	E_2 (eV)	E_3 (eV)	E_4 (eV)
VPG # 1	22	52.5	30	40
VPG # 2	44	105	60	80
VPG # 3	88	210	120	160

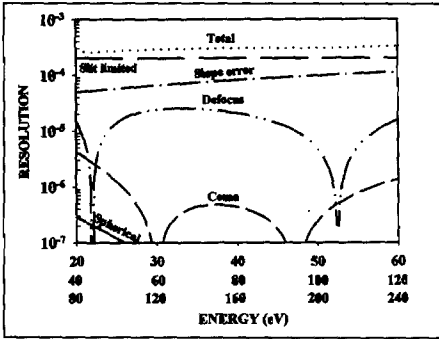
ตารางที่ 2. แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเกรตติงที่ใช้ในระบบลำแสงซินโครตรอนนี้ สำหรับเกรตติงทุกอันมีค่าอัตราส่วนระหว่าง groove width และ groove spacing เท่ากับ 0.6 และค่า slope errors น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (sagittal) และ 0.2 (meridional).

Grating No.	N_0 (lines/mm)	groove depth (nm)
VPG # 1	300	43
VPG # 2	600	22
VPG # 3	1200	12

2800 มม. และค่าอัตราการขยาย (demagnification) ของกระจก M1 ถูกเลือกให้มีค่าเท่ากับ 1.0 เพื่อที่จะให้มีการเกิดการบิดเบี้ยวของภาพน้อยที่สุด กระจก M1 ทำหน้าที่โฟกัสแสงให้กระทบกับเกรตติงและทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และแสงที่มีพลังงานสอดคล้องกับเงื่อนไขของการเลี้ยวเบนคือ $\alpha - \beta = 16^\circ$ จะถูกคัดเลือกโดย S2

VPGM นี้ใช้ VPG 3 อัน เพื่อที่จะครอบคลุมช่วงพลังงานที่ต้องการใช้คือ 20–240 eV การเปลี่ยนเกรตติงอาศัยหลักการเลื่อนเกรตติงเข้าแทนที่กันส่วนการเลือกพลังงานของแสงซินโครตรอนทำได้

สามารถในการแยกแยะที่ถูกกำหนดโดย defocusing, coma และ spherical aberrations โดยการกำหนดให้เทอม F_{20} มีค่าเป็นศูนย์ที่สองค่าพลังงาน E_1 และ E_2 ทำให้ defocusing aberration มีค่าน้อยตลอดช่วงพลังงานที่สนใจของแต่ละเกรตติง และทำให้เราสามารถหาค่า exit arm length และค่าของตัวแปร a_1 ของ VPG ส่วนค่าตัวแปร a_2 และ a_3 หาได้จากกรากกำหนดให้เทอม F_{30} และ F_{40} มีค่าเป็นศูนย์ที่พลังงาน E_3 และ E_4 ตามลำดับ ค่าพลังงาน E_1, E_2, E_3 และ E_4 ที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 1 จากการคำนวณพบว่า exit arm length และ

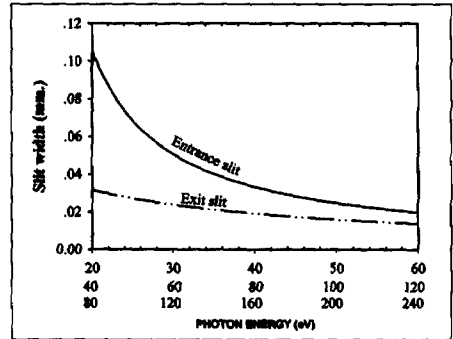


รูปที่ 3. กราฟแสดงค่าความสามารถในการแยกแยะพลังงานของ VPGM ที่กำหนดโดยปัจจัยต่าง ๆ

ค่าของตัวแปร a_1 , a_2 และ a_3 ของเกรตติงทั้งสามมีค่าเป็น 2406.56 มม. , $-8.219 \times 10^{-4} \text{ มม.}^{-1}$, $5.023 \times 10^{-7} \text{ มม.}^{-2}$ และ $-2.702 \times 10^{-10} \text{ มม.}^{-3}$ ตามลำดับ ความยาวของ VPGM หรือระยะทางเดินของแสงจาก entrance slit ถึง exit slit มีค่าเป็น 5806.56 มม. ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ ของเกรตติงแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 3 แสดงค่าความสามารถในการแยกแยะพลังงานของ VPGM ที่ถูกกำหนดโดย defocusing, coma และ spherical aberration และ slope error ของเกรตติงซึ่งหาได้จากสมการ (14)-(17) โดยใช้ค่าตัวแปรต่างๆ ของกระจก M1 และเกรตติงที่ทำให้ข้างต้นค่ารากเฉลี่ยกำลังสองของ slope error ของเกรตติงมีค่าเท่ากับ 0.2 arcsec ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดที่จะทำได้ในการผลิตเกรตติงในปัจจุบัน จากรูปพบว่าค่าความสามารถในการแยกแยะที่กำหนดโดย slope error ของเกรตติงมีค่าสูงกว่าค่าความสามารถในการแยกแยะที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ และมีค่าสูงขึ้นเมื่อพลังงานของแสงมีค่าเพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า slope error ของเกรตติงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ ความสามารถในการแยกแยะของ VPGM ลดลง

ค่าความสามารถในการแยกแยะที่กำหนดโดยความกว้างของ slits มีค่าแปรตามความกว้างของ slits ดังแสดงในสมการ (15) ซึ่งมีค่าลดลงตามขนาดความกว้างของ slits หรือมีความสามารถในการแยก



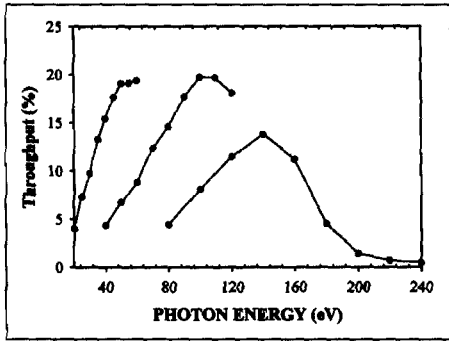
รูปที่ 4. ขนาดความกว้างของ entrance slit และของ exit slit สำหรับ $\Delta E/E|_{slit} = 2 \times 10^{-4}$

แยะสูงขึ้น เมื่อ slits มีความกว้างลดลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความกว้างของ slits ลดลงจะส่งผลให้ปริมาณความเข้มของแสงที่ต้องการใช้ประโยชน์ลงตามด้วย ดังนั้นในการทำการวัดจึงต้องมีการพิจารณาทั้งเรื่องความสามารถในการแยกแยะควบคู่กับปริมาณแสงที่ต้องการด้วย

รูปที่ 4 แสดงความกว้างของ entrance slit และ exit slit ของ VPGM กำหนดจากสมการ (19) และ (20) โดยพิจารณากรณี $\Delta E/E|_{slit} = 2 \times 10^{-4}$ จากรูปจะเห็นได้ว่าขนาดของ ความกว้างของ S2 มีขนาดประมาณ $20 \mu\text{m}$ ในย่านพลังงานที่สูงของแต่ละเกรตติง ซึ่งเป็นค่าความแม่นยำของความกว้างของ slit ที่สามารถปรับแล้วได้ค่าเหมือนเดิม และ slits ดังกล่าวสามารถผลิตได้โดยอาศัยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

กระจก M0 และ M2

หน้าที่หลักของกระจก M0 คือการโฟกัสลำแสงให้ผ่าน entrance slit ของ monochromator ส่วน M2 ทำหน้าที่บีบลำแสงลงบนสารตัวอย่าง ผิวหน้าของกระจก M0 และ M2 มีรูปร่างเป็นแบบ toroidal ลักษณะกระจกดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดให้มีการโฟกัสแสงได้ทั้งสองแนวแกน จึงเป็นการลดจำนวนของกระจกที่จำเป็นต้องใช้ในระบบลำเลียง



รูปที่ 5. กราฟแสดงค่า throughput ของระบบลำเลียงแสง

แสงซินโครตรอน การที่จำนวนของกระจกที่ใช้มีมากจะทำให้ปริมาณความเข้มของแสงที่จะนำไปใช้งานลดน้อยลง เนื่องจากว่าแสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนโดยวัสดุที่ใช้ทำกระจก

ตารางที่ 3. แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของกระจก M0, M1 และ M2.

กระจก	รูปร่างของกระจก	Sagittal slope error (arcsec)	Meridional slope error (arcsec)
M0	Toroidal (R=94122.0 มม., ρ = 636.2 มม.)	≤ 2.0	≤ 1.0
M1	Spherical(R=40140 มม.)	≤ 0.5	≤ 0.5
M2	Troidal (R=26220.0 มม., ρ = 148.8 มม.)	≤ 5.0	≤ 1.0

แสงจากแหล่งกำเนิดจาก Bending magnet จะถูกสะท้อนโดยกระจก M0 ในแนวแกนนอน ด้วยมุมตกกระทบเท่ากับ 85° กระจก M0 ถูกกำหนดให้ติดตั้งอยู่นอกกำแพงป้องกันรังสีเพื่อความสะดวกในการทำการปรับตำแหน่งและทิศทางการกระเจกอย่างละเอียด ระยะห่างของกระจก M0 จากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (หรือ entrance arm length ของ M0) มีค่าเท่ากับ 7300 มม. และเพื่อที่จะลดผลของกระจกที่มีการเกิด aberration ให้มีค่าน้อยที่สุด แสงจะถูก M0 โฟกัสในแนวแกนตั้งลงบนตำแหน่งห่างจาก M0 เป็นระยะเท่ากับ 7300 มม.

ซึ่งเป็นตำแหน่งของ entrance slit ของ VPGM หลังจากแสงที่ถูกคัดเลือกพลังงานโดย VPGM จะถูกกระเจก M2 โฟกัสลงบนสารตัวอย่าง โดยกระจก M2 จะสะท้อนแสงในแนวตั้ง เพื่อให้ลำแสงก่อนตกกระทบสารตัวอย่างอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบของพื้นตั้งแสดงในรูปที่ 2 ค่าอัตราของการขยายของกระจก M2 คือ 1.0 ในแนวแกนตั้ง เพื่อที่จะลด aberrations ของแสงให้มีย่านน้อยที่สุด ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น การกำหนดครีสมิ ความโค้งของกระจก M0, M1 และ M2 จะทำให้ค่าอัตราขยายมีค่าเป็น 1.0 ในแนวแกนตั้งหรือในระนาบของการกระจาย (dispersion plane) ของแสง สำหรับอัตราขยายของกระจกดังกล่าวในแนวแกนนอนถูกเลือกเพื่อที่จะทำให้ขนาดของลำแสง

ที่ตกกระทบบนสารตัวอย่างมีขนาดไม่ใหญ่มากเกินไป สำหรับการทดลองทางด้านโฟโตเคมีชันที่ต้องการความสามารถในการแยกแยะเชิงมุมสูง ในการออกแบบนี้อัตราขยายรวมของกระจกทั้งหมดในระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนในแนวแกนนอนมีค่าเท่ากับ 0.4 ตัวแปรต่าง ๆ ของกระจกที่ใช้ในระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนนี้แสดงในตารางที่ 3

ความเข้มของแสง

ปริมาณความเข้มของแสงหรือจำนวนโฟตอนต่อหน่วยเวลาที่ตกกระทบลงบนสารตัวอย่างถูกกำหนด

ไว้ด้วยความสามารถในการสะท้อนแสงหรือค่า reflectivity ของกระจก และค่า diffraction efficiency ของเกรตติง ซึ่งค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปกับค่าพลังงานของแสงและมุมของการเบี่ยงเบนของแสง ในกรณีของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนนี้ สารที่ใช้เคลือบกระจกและเกรตติงทั้งหมดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงคือทอง ยกเว้นเกรตติง VPG # 3 ซึ่งเคลือบด้วยนิกเกิล

รูปที่ 5 แสดงค่า throughput ของระบบลำเลียงแสงซินโครตรอนโดยที่ยังไม่ได้พิจารณาความกว้างของ slits ซึ่งค่า throughput ดังกล่าวคือผลคูณของค่า reflectivity ของกระจก M₀, M₁ และ M₂ และค่า diffraction efficiency ของเกรตติง ค่า reflectivity ของกระจก M₀, M₁ และ M₂ ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ REFLEC (Schaefers and Krumrey, 1996) ส่วนค่า diffraction efficiency ของเกรตติงหาได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RAY (Schaefers, 1996) กราฟในรูปแสดงให้เห็นได้ว่าค่า throughput เปลี่ยนไปตามค่าพลังงานของโฟตอน ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 1-20 เฟอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณความเข้มหรือจำนวนโฟตอนต่อหน่วยเวลาที่สามารถผลิตได้โดยเครื่องกำเนิดแสงสยาม มีค่าประมาณ 10^{12} - 10^{13} โฟตอน/วินาที ในช่วงพลังงาน 20-240 eV จึงสามารถประมาณได้ว่าถ้ามีการเปิด slit ให้กว้างเท่ากับขนาดของแหล่งกำเนิดของแสงซินโครตรอน จะทำให้เราได้รับความเข้มแสงหรือค่าปริมาณของโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ตกกระทบลงบนสารตัวอย่างอยู่ในระดับ 10^{10} - 10^{11} โฟตอน/วินาที เราอาจจะคาดได้ว่าสำหรับการทดลองที่ต้องแสงที่มีแถบพลังงานที่แคบมากหรือความสามารถในการแยกแยะสูงนั้น จำเป็นที่จะต้องลดขนาดความกว้างของ slits ซึ่งก็จะส่งผลให้ความเข้มของแสงลดตามลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr. F. Schaefers ที่ให้ใช้โปรแกรม RAY และ REFLEC

เอกสารอ้างอิง

- ประยูร ส่งศิริพิทักษ์กุล, วีระพงษ์ แพสุวรรณ, สมรเมธ เจียรนัยกูร และ ทาเกอิโก อิชิอิ (2542) เครื่องกำเนิดแสงสยาม. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 3:57-61.
- M. Fujisawa, A. Harasawa, A. Agui, M. Watanabe, A. Kakizaki, S. Shin, T. Ishii, T. Kita, T. Harada, Y. Saitoh and S. Suga, Varied Line-spacing Plane Grating Monochromator for Undulator Beamline. Rev. Sci. Instr. 67 (1996) 345.
- H. Noda, T. Namioka and M.J. Seya (1974). Geometric Theory of the Grating. Opt. Soc. Am. 64:1031-1036.
- P. Songsiriritthigul, P. Sombunchoo, B.N. Raja Sekhar, W. Pairsuwan, T. Ishii and A. Kakizaki (2001). Comparison of Varied Line-spacing Plane Grating and Varied Line-spacing Spherical Grating Monochromators for the Siam Photon Source. Nucl. Instr. Meth. A 467-8:606-609.
- F. Schaefers (1996). RAY: the BESSY Raytracing Program to Calculate Synchrotron Radiation Beamlines. Technischer Bericht, BESSY TB 202:1-37.
- F. Schaefers and M. Krumrey (1996). REFLEC: a Program to Calculate VUV/X-ray Optical Elements and Synchrotron Radiation Beamlines. Technischer Bericht, BESSY TB 201:1-17.
- W.B. Peatman. (1997). Gratings Mirrors and Slits: beamline design for soft x-ray synchrotron radiation sources. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, บทที่ 4.