ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)
ปริญญา

รังสีประยุกต์และไอโซโทป
สาขา

รังสีประยุกต์และไอโซโทป
ภาควิชา

เรื่อง การวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงใน ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

Measuring and Assessment of Reference Gamma Scattering in Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) with Imaging Plate Detection System

นามผู้วิจัย นางสาวอังศุมาลิน อินแตง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สุดประเสริฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สุดประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิง ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

Measuring and Assessment of Reference Gamma Scattering in Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) with Imaging Plate Detection System

โดย

นางสาวอังศุมาลิน อินแตง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อังศุมาลิน อินแตง 2553: การวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป) สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สุดประเสริฐ, Ph.D. 64 หน้า

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เป็นห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติในสาขารังสีก่อไอออน และเป็นเครือข่ายของ IAEA มีหน้าที่ดำรงรักษา และถ่ายทอดมาตรฐานไปยังผู้ใช้ โดยให้บริการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสี และมาตรรังสีแบบพกพา แก่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนทั่วประเทศ ดังนั้นการวัดระดับรังสี เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการสอบเทียบจึงมีความสำคัญยิ่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดและประเมินค่าระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ของเครื่องฉายรังสี OB85 ในห้อง SSDL ซึ่งมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 10 เมตร ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ซึ่งต้องสอบเทียบระดับสัญญาณที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพ กับระดับรังสีมาตรฐานก่อน เมื่อได้ค่า Calibration factor แล้วจึงนำไปวัดการกระเจิงภายในห้อง SSDL จากนั้นประเมินค่าระดับการกระเจิงของรังสีแกมมา และทดสอบระดับการกระเจิงที่ประเมินได้ด้วยมาตรวัดรังสีแบบพกพา

ผลการศึกษาพบว่าค่า Calibration factor ของแผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS2040 มีค่าเท่ากับ 0.094 $mR.mm^2.PSL^{-1}$ ระดับการกระเจิงภายในห้อง SSDL ที่ระยะห่าง 1 ถึง 6 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีนอกแนวลำรังสีและสูงจากพื้นห้อง 1 เมตร มีค่าประมาณ 63 - 80 mR/h โดยมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยายคิดเป็น 7% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสร้างแผนภูมิระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาในขณะฉายรังสีจากเครื่องฉายรังสี OB85 ได้ และสำหรับระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาภายในระยะ 1 เมตร จากเครื่องฉายรังสีแกมมา OB85 เทียบกับค่าระดับรังสีของแนวลำรังสีมีค่าประมาณ 1.8% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับตาม ISO 4037 โดยสนามรังสีมีลักษณะเป็นรูปกรวยมีความกว้าง 0.4 1.04 1.50 1.90 และ 2.42 เมตร ที่ระยะห่าง 1 2 3 4 และ 5 เมตร จากเครื่องฉายรังสี OB85 ตามลำดับ ผลการทดสอบระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาด้วยมาตรวัดรังสีแบบพกพารุ่น RAD-60S ที่ผ่านการสอบเทียบจากห้อง SSDL แล้ว พบว่าระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาที่วัดได้จากแผ่นบันทึกภาพมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับรังสีที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา โดยมีความแตกต่างกันประมาณ 6 % สรุปได้ว่าการวัดระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาในห้อง SSDL ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตสามารถนำผลการวัดที่ได้มาใช้เป็นค่าระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องฉายรังสี สำหรับใช้เพื่อการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสีและมาตรรังสีแบบพกพา ซึ่งเป็นการสนับสนุนการป้องกันอันตรายจากรังสีตามภารกิจหลักของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aungsumalin Intang 2010: Measuring and Assessment of Reference Gamma Scattering in Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) with Imaging Plate Detection System. Master of Science (Applied Radiation and Isotopes), Major Field: Applied Radiation and Isotopes, Department of Applied Radiation and Isotopes. Thesis Advisor: Assistant Professor Wanwisa Sudprasert, Ph.D. 64 pages.

Secondary Standard Laboratory (SSDL) of Office of Atoms for Peace (OAP) is a standard laboratory in ionizing radiation at national and international level. SSDL plays an important role in maintaining and transferring the reference value to users both governmental and private sectors through out the country via survey meter and pocket dosimeter calibration services. Therefore the measurement of radiation levels as reference values is necessary for calibration service. This research aimed to measure and assess the reference gamma scattering form ^{137}Cs source of OB85 irradiator in 4.5 × 10 m SSDL room by imaging plate detection system. The imaging plate was first calibrated with reference standard to identify the calibration factor, and then the gamma scattering in SSDL was measured. The level of gamma scattering was assessed and confirmed by the well-calibrated pocket dosimeter.

The result revealed that the calibration factor for an imaging plate model BAS-MS2040 was 0.094 $mR.mm^2.PSL^{-1}$. The gamma scattering levels at 1 – 6 meters from irradiator with 1 meter height were found to be approximately 63 - 80 mR/h with the expanded uncertainty of 7% at 95 confidence level. The chart of scattering level while operation of OB85 was established. The scattering level within 1 meter form source compared to the radiation field was approximately 1.8% which is in accordance with ISO 4037. The characteristic of radiation field of OB85 gamma irradiator was a conical shape with the width of 0.4, 1.04, 1.50, 1.90 and 2.42 meters at 1, 2, 3, 4 and 5 meter from the OB85, respectively. The scattering levels measured by imaging plate were found to be similar to those measured by pocket dosimeter, with only 6% difference. It can be concluded that the gamma scattering levels in SSDL room measured by imaging plate can effectively be used as reference levels for calibration of survey meter and pocket dosimeter, accordingly supporting the radiation protection program of OAP.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student’s signature Thesis Advisor’s signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ผนวท) ประจำปี พ.ศ. 2551

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วันวิสา สุดประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากขณะทำการค้นคว้า วิจัย รวมถึงการแก้ไขความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณธงชัย สุดประเสริฐ ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนความปลอดภัยการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู นักวิจัยที่รับผิดชอบโครงการวิจัยรองรับ สำหรับคำปรึกษา และคำแนะนำขณะทำการวิจัย ตรวจแก้ความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ รวมถึงการเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ของกลุ่มงานฯ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อังศุมาลิน อินแตง

มิถุนายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์ผล	32
สรุปและเสนอแนะ	47
สรุป	47
ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	49
ภาคผนวก	52
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 บัญชีต้นกำเนิดรังสีภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ 7

2 ผลการศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพ และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีที่พิกัด 5,2.25 32

3 Repeatability ของแผ่นบันทึกภาพ เมื่อทำการวัดที่ระยะ 5 เมตร 34

4 Uncertainty Budget 40

5 ผลการวัดระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะ 2 เมตร ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 mR PSL^{-1} mm^{2} 41

6 ผลการวัดระดับรังสีกระเจิงที่ปริมาณรังสี 100 μSv ด้วยมาตรรังสีแบบพกพา (PD) ณ พิกัดต่างๆ โดย $C.F._{PD}$ = 1.06 และ u_{exp} = 6% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 45

ตารางผนวกที่

1 ผลการศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพ และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีที่ระยะ 5 เมตร 53

2 การสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต 57

3 ผลการวัดระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะ 2 เมตร ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 $mRPSL^{-1}mm^{2}$ 57

4 ผลการวัดระดับรังสีกระเจิงที่ปริมาณรังสี 100 μSv ด้วยมาตรรังสีแบบพกพา (PD) ณ พิกัดต่างๆ โดย $C.F._{PD}$ = 1.06 และ u_{exp} = 6% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 59

5 ระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาภายในห้องฉายรังสี ณ พิกัดต่างๆ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 mR PSL^{-1} mm^{2} 60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ	6
2	โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นบันทึกภาพ	10
3	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-III	10
4	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-MP	11
5	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-TR	11
6	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-ND	12
7	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-SR	12
8	แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-MS	13
9	แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ $BaFBr:Eu^{+2}$	14
10	เครื่องสแกนอ่านภาพ (ก) และการสแกนเพื่ออ่านภาพตามปริมาณพลังงานจากแผ่นบันทึกภาพ (ข)	15
11	ตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพ	16
12	ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต	20
13	แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS2040	20
14	เครื่องสแกนอ่านภาพ BAS-2500	21
15	เครื่องลบภาพ	21
16	โปรแกรม Image Reader BAS-2500	22
17	โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ	23
18	เครื่องฉายรังสี OB85 (ภาพซ้าย) และระบบควบคุมเวลา (ภาพขวา)	23
19	อุปกรณ์จัดวางตำแหน่งแผ่นบันทึกภาพ ภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ	24
20	มาตรรังสีแบบพกพา	24
21	แผนภาพกำหนดจุดวัดปริมาณรังสีภายในห้อง SSDL	30
22	แผนภาพตำแหน่งการวางมาตรรังสีแบบพกพาภายในห้อง SSDL	31
23	กราฟแสดงความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตในแต่ละเดือน	36
24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL/mm^2 กับปริมาณรังสี (mR)	37

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

25 ภาพสามมิติแสดงระดับการกระเจิงของรังสีที่ระยะ 1 – 6 เมตร ซึ่งบริเวณสีเขียวจะเป็นบริเวณที่มีระดับการกระเจิงของรังสี ส่วนบริเวณสีน้ำเงินและแดงเป็นสนามรังสีที่ตัดออกไปแสดงในภาพที่ 26 43

26 สนามรังสีจากเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ระยะ 1-6 เมตร ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำหรับ Cs-137 44

ภาพผนวกที่

1 แผนภาพระดับรังสี (mR/h) ภายในห้อง SSDL 63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิง ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

Measuring and Assessment of Reference Gamma Scattering in Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) with Imaging Plate Detection System

คำนำ

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL) กลุ่มมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เน้นการใช้ประโยชน์ด้านการวัดปริมาณรังสีเพื่อการป้องกันอันตรายจากรังสี และการสอบเทียบมาตรฐาน ตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504 และได้ให้บริการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) และมาตรรังสีแบบพกพา (Pocket dosimeter) แก่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนทั่วประเทศ โดยไม่คิดค่าบริการในการสอบเทียบ เนื่องจากการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดรังสี เป็นข้อกำหนดพื้นฐานสากลในการใช้ประโยชน์จากพลังงานปรมาณู เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีและประชาชนทั่วไป ยังผลให้การใช้ประโยชน์จากรังสี และสารรังสีมีความปลอดภัยเมื่อเครื่องวัดรังสีได้ผ่านการสอบเทียบเป็นประจำทุกปี

จากความสำคัญของห้อง SSDL ที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การวัดการกระเจิงของรังสีแกมมาที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ มีความสำคัญต่อการกำหนดค่ามาตรฐานด้านการวัดปริมาณรังสี เพื่อการอ้างอิงในระดับประเทศด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี ซึ่งในการวัดการกระเจิงสามารถใช้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์เป็นหัววัดรังสีมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดปริมาณรังสีที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง โดยอาศัยหลักการของค่าความต่างศักย์ซึ่งเกิดจากค่ากระแสที่วัดได้จากรังสีที่ก่อไอออน ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่เข้ามาในหัววัดรังสี แต่ค่ากระแสที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสีจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ที่ซับซ้อนในการขยายสัญญาณ จึงทำให้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์มีราคาสูง ต้องระมัดระวังอย่างมากในการใช้งาน รวมถึงระวังการกระแทกเพราะหัววัดมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะบอบบางและเบา และถ้าต้องการใช้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์วัดการกระเจิง ต้องใช้ระยะเวลามากในการทดลองแต่ละครั้ง ถ้าต้องการพิกัดอย่างละเอียด ในขณะที่ระบบการวัดรังสีแบบอิมเมจจิงเพลต นอกจากจะสามารถตรวจวัดภาพถ่ายของรังสี โดยแสดงเป็นภาพ 2 มิติแล้ว ยังสามารถแสดงปริมาณ หรือความเข้มของรังสีในแต่ละจุดได้อีกด้วย

ระบบการวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ครั้งแรกทางการแพทย์ในงานด้านรังสีวินิจฉัย โดยใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ จากนั้นได้มีการประยุกต์ใช้ ในวงกว้างออกไปทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาทิเช่น ใช้ในงานด้านการถ่ายภาพ และงานปรับเทียบมาตรฐานเป็นต้น ระบบการวัดรังสีแบบอิมเมจจิงเพลต ประกอบไปด้วยแผ่นอิมเมจจิงเพลตที่ทำด้วยโพลีเอสเตอร์ (Polyester) เคลือบด้วยผลึกสารเรืองแสงกลุ่มแบเรียมฟลูออไรด์เฮไลต์ เจือยูโรเปียม ($BaF(Br,Cl,I):Eu^{2+}$) และเคลือบทับด้วยโพลีเอ็ททเทอรีนเทเร็พทาเลต (Polyethlylene terephthalate) แผ่นอิมเมจจิงเพลตที่ถูกฉายรังสีแล้ว เมื่อนำมาอ่านด้วยเครื่องวิเคราะห์ซึ่งมีระบบสแกนอย่างละเอียด จะกระตุ้นผลึกสารเรืองแสงให้คายพลังงานออกมา และตรวจจับภาพสองมิติของสัญญาณรังสีที่เกิดขึ้น ถ่ายโอนเข้าคอมพิวเตอร์ และแสดงผลได้ แผ่นอิมเมจจิงเพลตนี้ สามารถลบสัญญาณออก และนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก

เนื่องจากในปี พ.ศ. 2550 ห้อง SSDL สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้เริ่มนำระบบคุณภาพสากล ISO/IEC 17025 มาปฏิบัติอย่างจริงจัง เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการพัฒนาห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงได้นำระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต มาใช้วัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้อง SSDL จากเครื่องฉายรังสี OB85 เพื่อนำค่าระดับการกระเจิงที่ได้จากการทดลอง ไปใช้สนับสนุนค่าระดับรังสีอ้างอิงภายในห้องฉายรังสี สำหรับใช้เพื่อการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีในห้อง SSDL ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวัดและประเมินค่าระดับรังสี และสร้างแผนภูมิการกระเจิงของรังสีแกมมาในขณะฉายรังสีจากเครื่องฉายรังสี OB85 โดยใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว

2. เพื่อนำค่าระดับการกระเจิงที่ได้จากการทดลอง ไปใช้พิสูจน์ระดับรังสีกระเจิง และสนับสนุนค่าระดับรังสีอ้างอิงภายในห้องฉายรังสี สำหรับใช้เพื่อการสอบเทียบเครื่องวัดระดับรังสีในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

3. เพื่อพิสูจน์ว่า ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ มีค่าการกระเจิง เป็นไปตามข้อกำหนดของห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานการวัดรังสีในระดับทุติยภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

มาตรฐานทางการวัดปริมาณรังสี

มาตรฐานทางการวัดปริมาณรังสี แบ่งออกเป็น 2 อันดับ คือมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard) และมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard) โดยมาตรฐานปฐมภูมิได้มีต้นกำเนิดที่ Bureau International des Poids et Mesures, BIPM ที่ประเทศฝรั่งเศส (IAEA, 1999) ซึ่งปัจจุบันนี้ ประเทศที่มีมาตรฐานการวัดทั้ง 2 แบบ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เป็นต้น

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐาน มีอยู่ 2 ประเภท คือ (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2546)

1. ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard Dosimetry Laboratory, PSDL)

เป็นห้องปฏิบัติการที่มีการวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standards) คือการวัดหาค่าพื้นฐานต่าง ๆ ตามคำนิยามของหน่วยวัดรังสี เช่น การวัดปริมาณรังสี หรือปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure) เป็นการวัดหาประจุที่เกิดจากการแตกตัวเนื่องจากรังสีเอกซ์หรือแกมมาในอากาศที่มีมวลจำกัด หรือการวัดปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose) เป็นการวัดหาปริมาณพลังงานของรังสีที่ถูกวัตถุตัวกลางดูดกลืนไว้ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคและวิธีการเหล่านี้เป็นเทคนิคและวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญเป็นพิเศษ รวมทั้งต้องใช้งบประมาณรายจ่ายจำนวนมาก

2. ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL)

เป็นห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือวัดรังสีที่มีความแม่นยำสูงหรือต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ได้รับการปรับเทียบมาตรฐานมาจากห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ ซึ่งชุดเครื่องมือวัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีที่ได้รับการปรับเทียบมาตรฐานนี้ จะนำมาใช้เป็นเครื่องวัดและต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standards) สำหรับปรับเทียบเครื่องมือวัดรังสีที่ใช้งานทั่วไป (Field Instruments)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนประเทศไทยมีเฉพาะห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) เท่านั้น โดยมีการก่อตั้งห้องปฏิบัติการทางรังสีขึ้นที่กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ ซึ่งเดิมก็คือ กองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เป็นที่แรกในปี พ.ศ. 2517 เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์ โดยเฉพาะการวัดปริมาณรังสีรักษา (Radiotherapy) และในปี พ.ศ. 2521 ได้ดำเนินการก่อตั้งขึ้นที่กองการวัดกัมมันตภาพรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) เน้นการใช้ประโยชน์ด้านการวัดปริมาณรังสีเพื่อการป้องกันอันตรายจากรังสี และการสอบเทียบมาตรฐาน ตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504 ภายหลังการปรับปรุงกระทรวงทบวงกรมในปี 2545 พปส.ได้เปลี่ยนชื่อเป็น สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หรือ ปส. และห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ถูกสังกัดอยู่ในกลุ่มงานมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู

จากจุดเริ่มต้นดังกล่าวมานี้ ห้องปฏิบัติการการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิเพื่อการป้องกันอันตรายจากรังสี กลุ่มมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ดำเนินงานจัดระบบห้องปฏิบัติการมาตรฐานนี้มาอย่างต่อเนื่อง และได้ให้บริการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสี (Survey meter) และมาตรรังสีแบบพกพา (Pocket dosimeter) แก่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนทั่วประเทศ โดยไม่คิดค่าบริการในการสอบเทียบ เนื่องจากการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดรังสี เป็นข้อกำหนดพื้นฐานสากลในการใช้ประโยชน์จากพลังงานปรมาณู เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานด้านรังสีและประชาชนทั่วไป ยังผลให้การใช้ประโยชน์จากรังสี และสารรังสีมีความปลอดภัยเมื่อเครื่องมือวัดรังสีผ่านการสอบเทียบเป็นประจำทุกปี และในปี พ.ศ. 2547 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ทำบันทึกข้อตกลงว่าด้วยความร่วมมือในการพัฒนาหน่วยวัดแห่งชาติ เพื่อกำหนดข้อตกลงและเงื่อนไขของความร่วมมืออันจะก่อให้เกิดการพัฒนาหน่วยวัดแห่งชาติในสาขารังสีก่อไอออน โดยสำนักงานฯ จะเป็นตัวแทนในการพัฒนาและร่วมมือกับหน่วยงานทั้งในประเทศ และต่างประเทศในสาขารังสีก่อไอออน และสถาบันมาตรวิทยาจะส่งเสริมเพื่อให้สำนักงานฯได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติในสาขารังสีก่อไอออน เพื่อให้ระบบการวัดแห่งชาติมีความเข้มแข็ง สามารถถ่ายทอดความถูกต้องของการวัดสู่ผู้ใช้งานภายในประเทศได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และในปี พ.ศ. 2550 ได้เริ่มนำระบบคุณภาพสากล ISO/IEC 17025 มาปฏิบัติอย่างจริงจัง เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการพัฒนาห้องปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ภาพที่ 1) ได้มีการจัดตั้งขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

– เพื่อความปลอดภัยของชีวิต เนื่องจากการวัดรังสีที่ถูกต้องจะทำให้การประเมินค่าความปลอดภัยทางรังสีได้อย่างถูกต้อง

– เป็นศูนย์มาตรฐานด้านการวัดรังสีของประเทศ โดยทำการควบคุมมาตรฐานด้านการวัดรังสีให้อยู่ในมาตรฐานสากล

– สนับสนุนการวิจัยและพัฒนางานด้านนิวเคลียร์เทคโนโลยีโดยอาศัยผลการวัดรังสีที่ถูกต้อง และมีมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถนำมาอ้างอิงและเปรียบเทียบกันได้

– ให้บริการปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดรังสีทั่วประเทศ

– ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวัดรังสีด้วยเทคโนโลยีแบบใหม่

– ถ่ายทอดความรู้ด้านการวัดรังสี

ภาพที่ 1 ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ประกอบด้วยระบบเครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ที่ผ่านการสอบเทียบรับรองจากห้องปฏิบัติการมาตรฐานระดับปฐมภูมิ ซึ่งก็คือ ระบบวัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์ และมีแหล่งกำเนิดสนามรังสี เพื่อใช้เป็นตัวกลางเพื่อการสอบเทียบคือ เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น OB85 ซึ่งบรรจุวัสดุกัมมันตรังสี ^{137}Cs และ ^{60}Co ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพรังสีประมาณ 740 GBq และ 37 GBq เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 และ 29 เมษายน พ.ศ. 2530 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีระบบวัดและควบคุมสภาพอากาศภายในห้องสอบเทียบ และระบบกำหนดระยะทางเพื่อการจัดวางเครื่องวัดและหัววัดชนิดต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ รวมถึงผนังห้องโดยรอบที่ออกแบบ เพื่อให้สามารถกำบังรังสีได้ และระบบควบคุมความปลอดภัยของห้องฉายรังสีตามมาตรฐานสากล เช่น door interlock, warning lamps, and light barrier, and signs อีกด้วย

นอกจากเครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น OB85 แล้วภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ มีเครื่องฉายรังสี รุ่น OB34 และ OB26 รวมทั้งวัสดุกัมมันตรังสี ^{241}Am รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 บัญชีต้นกำเนิดรังสีภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

ชื่อเครื่องฉายรังสี	รายการต้นกำเนิดรังสี	ปริมาณความแรง (MBq)	
		เริ่มนำเข้า	วันที่เริ่มนำเข้า
OB85	^{60}Co	37,000	29/04/2530
	^{137}Cs	740,000	13/05/2530
OB34	^{60}Co	3.70	24/10/2528
	^{60}Co	25.90	24/10/2528
	^{60}Co	370	23/10/2528
	^{137}Cs	7.40	21/10/2528
	^{137}Cs	74	21/10/2528
	^{137}Cs	740	21/10/2528
	^{137}Cs	7,400	21/10/2528
OB26	^{241}Am-Be	185,000	20/07/2527
–	^{241}Am	7,400	01/08/2523

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีโดยทั่วไป ทำได้โดยการสอบเทียบและรับรองระดับรังสีอ้างอิงที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องฉายรังสีก่อน โดยใช้หัววัดรังสีแบบไอออนไนเซชันแชมเบอร์ ซึ่งเป็นเครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ที่ผ่านการสอบเทียบและรับรองค่าความไม่แน่นอนจากห้องปฏิบัติการมาตรฐานปฐมภูมิของต่างประเทศ และนำมาจัดวางที่ตำแหน่งอ้างอิงใดๆ ในสนามรังสีที่ได้จากเครื่องฉายรังสี OB85 เพื่อวัดค่าปริมาณการแตกตัวของอากาศ ในรูปประจุไฟฟ้าในหัววัด โดยใช้เครื่องอิเล็กโทรมิเตอร์ และบันทึกค่าเป็นหน่วยวัด Coulomb ภายในระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากอัตราการแตกตัวเป็นไอออนของอากาศ ภายในหัววัด จะขึ้นอยู่กับระดับปริมาณรังสีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของอากาศ ภายในหัววัดด้วย ตามหลักการ thermodynamic จึงต้องปรับแก้ค่าไปยังค่าอุณหภูมิและความกดดันบรรยากาศอ้างอิง (STP) ที่ถูกใช้ขณะสอบเทียบและรับรองจากห้องปฏิบัติการ PSDL ตามสมการ ดังนี้

1. ค่าแก้ความหนาแน่นของอากาศ (Air density correction) จากสมการที่ 1

$$\text{Air density correction } (k_{t,p}) = \frac{273.15 + t}{293.15} \times \frac{101.325}{P} \tag{1}$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศขณะวัดเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง ที่ 20 $^{\circ}$C

P คือ ความดันอากาศขณะวัดเทียบกับความดันบรรยากาศอ้างอิงที่ 101.325 kPa

2. Correction factor Q ตามชนิดของรังสี ดูจากใบรับรองผลการสอบเทียบจาก PSDL

3. Calibration factor C.F. สำหรับ air kerma มีหน่วยเป็น Gy/C จากใบรับรองผลการสอบเทียบ

4. ค่าแก้ของ range การแสดงผลจากใบรับรองผลการสอบเทียบด้านไฟฟ้าของอิเล็กโทรมิเตอร์

หลังนำค่าประจุ (C/เวลา) ที่วัดได้ แก้ค่าต่างๆ แล้ว มาคำนวณหาระดับรังสี (mR/h) เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงสำหรับการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีต่อไป

การกระเจิงของรังสีแกมมาที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ มีความสำคัญต่อการกำหนดค่ามาตรฐานด้านการวัดปริมาณรังสี เพื่อการอ้างอิงในระดับประเทศด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี ซึ่งในการวัดการกระเจิงสามารถใช้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์เป็นหัววัดรังสีมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดปริมาณรังสีที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง โดยอาศัยหลักการของค่าความต่างศักย์ซึ่งเกิดจากค่ากระแสที่วัดได้จากรังสีที่ก่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไอออน ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่เข้ามาในหัววัดรังสี แต่ค่ากระแสที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสีจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ที่ซับซ้อนในการขยายสัญญาณ (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2546) จึงทำให้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์มีราคาสูง ต้องระมัดระวังอย่างมากในการใช้งาน รวมถึงระวังการกระแทกเพราะหัววัดมีลักษณะบอบบางและเบา และถ้าต้องการใช้หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์วัดการกระเจิง ต้องใช้ระยะเวลามากในการทดลองแต่ละครั้ง ถ้าต้องการพิกัดอย่างละเอียด ในขณะที่ระบบการวัดรังสีแบบอิมเมจจิงเพลต สามารถตรวจวัดภาพถ่ายของรังสี โดยแสดงเป็นภาพ 2 มิติแล้ว ยังสามารถแสดงปริมาณ หรือความเข้มของรังสีในแต่ละจุดได้ด้วย

ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

อุปกรณ์ในระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต (Imaging plate detection system) นี้ประกอบด้วย แผ่นบันทึกภาพ เครื่องสแกนอ่านภาพ เครื่องลบภาพ ตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพ ไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมอ่านแผ่นบันทึกภาพ และโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ภาพ โดยกล่าวรายละเอียดดังนี้ (ธิดารัตน์, 2546; อำไพ, 2548; สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2551)

1. แผ่นบันทึกภาพ

โครงสร้างของแผ่นบันทึกภาพ แสดงดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปมี 3 ชั้น ประกอบด้วย

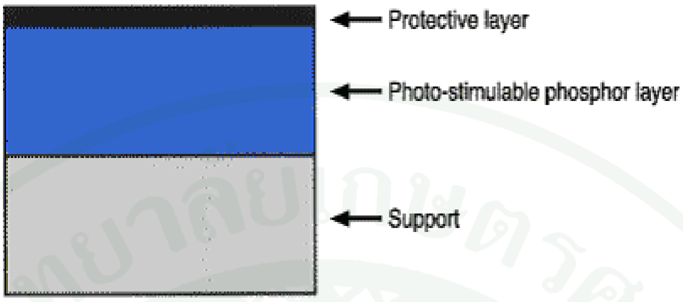
1.1 Support layer ชั้นแผ่นฐาน ทำด้วยโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความอ่อนตัว หนาประมาณ 0.25-1 mm. ทำหน้าที่เป็นฐานของแผ่นเพื่อประคองหรือค้ำยันผลึกเรืองแสงที่อยู่ด้านบน

1.2 Photo-stimulate phosphor layer ชั้นของผลึกเรืองแสง ซึ่งเป็นกลุ่มของผลึกเรืองแสงขนาดเล็ก มีขนาดประมาณ 5 μm ประกอบด้วยสารแบเรียมฟลูออไรด์โบรไมด์เจือยูโรเปียม $BaF(Br,Cl,I):Eu^{2+}$ ผสมสารยึดเกาะ

1.3 Protective layer เป็นชั้นที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของผลึกเรืองแสงจากกระบวนการบันทึกภาพ และการอ่านภาพ โดยเคลือบทับด้วยโพลีเอทเทอรีนเทเร็พทาเลต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Polyethlylene terephthalate) ที่ความหนา 10 μm บ่มผิวด้วยเทคนิคทางรังสีของลำอิเล็กตรอน (EBC) เพื่อป้องกันผิวหน้าของสารเรืองแสง



ภาพที่ 2 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นบันทึกภาพ

ที่มา: Glenn (1989)

ชนิดแผ่นบันทึกภาพมีการผลิตออกมา 7 ชนิดด้วยกัน คือ BAS-III, BAS-MP, BAS-SR, BAS-TR, BAS-ND, FDL-URV และ BAS-MS โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามความละเอียด ความไวต่อรังสี และความเหมาะสมกับชนิดของรังสี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

BAS-III

เป็นแผ่นบันทึกภาพที่มีความไวต่อการตอบสนองสูงมากสำหรับนิวไคลด์ C-14, P-32 และ S-35 และสามารถตั้งค่าความละเอียด (resolution) ได้ถึง 100 μm แต่สามารถใช้กับสารรังสีตัวอย่างที่แห้งเท่านั้นเพราะไม่สามารถกันน้ำได้

ภาพที่ 3 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-III

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BAS-MP

เป็นแผ่นบันทึกภาพที่สามารถใช้กับสารรังสีตัวอย่างที่เปียกได้ แต่มีความไวต่อการตอบสนองน้อยกว่า BAS-III

ภาพที่ 4 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-MP

BAS-TR (For ^{3}H detection)

มี 3 ขนาดคือ BAS-TR 2040 ขนาด 20×40 cm, BAS-TR 2025 ขนาด 20×25 cm และ BAS-TR ขนาด 12.7×12.7 cm เป็นแผ่นบันทึกภาพที่ออกแบบให้มีค่าความละเอียด (resolution)มาก เหมาะสำหรับใช้วัดทริเทียม (tritium, H-3) ตัวแผ่นมีลักษณะสีฟ้าอ่อน และด้านบนสุดของแผ่นไม่มีชั้นป้องกันการกระทบกระเทือน ดังนั้นควรระมัดระวังในการใช้งาน ใช้ได้สำหรับการวัดตัวอย่างสารรังสีที่แห้งเท่านั้น และไม่จำเป็นต้องทำการทดลองในห้องมืด

ภาพที่ 5 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-TR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BAS-ND (For Neutron detection)

มี 2 ขนาดคือ BAS-ND 2040 ขนาด 20×40 cm และ BAS-ND 2025 ขนาด 20×25 cm เป็นแผ่นบันทึกภาพที่ออกแบบสำหรับการวัดนิวตรอนโดยเฉพาะ สามารถกันน้ำได้ดี ตัวแผ่นมีลักษณะสีฟ้าอ่อน ที่ผิวด้านบนมีชั้นวัสดุป้องกันการกระทบกระเทือนของชั้นผลึกเรืองแสง แตกต่างไปจากแผ่นบันทึกภาพชนิดอื่นคือจะใช้ Gd_2O_3 แทน BaFX (X:Cl,Br,or I)

ภาพที่ 6 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-ND

FDL-URV

เป็นแผ่นบันทึกภาพที่มีขนาดเล็กมาก (10×8.1 cm) และใช้ได้กับเครื่องสแกนอ่านภาพ รุ่น FDL-5000 เท่านั้น ดังนั้นจึงใช้ได้กับงานเฉพาะด้าน

BAS-SR (High resolution water resistance)

มี 4 ขนาดคือ BAS-SR 2040 ขนาด 20×40 cm, BAS-SR 2025 ขนาด 20×25 cm, BAS-SR ขนาด 12.7×12.7 cm และ BAS-SR 0813 ขนาด 8.5×12.7 cm เป็นแผ่นบันทึกภาพ ที่ออกแบบมาเป็นสีฟ้า และสามารถตั้งค่าความละเอียดได้ถึง 50 μm เป็นชนิดเดียวที่มีความทนทานสูงและสามารถกันน้ำได้ดี ใช้ได้กับรังสีทุกชนิด

ภาพที่ 7 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-SR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BAS-MS

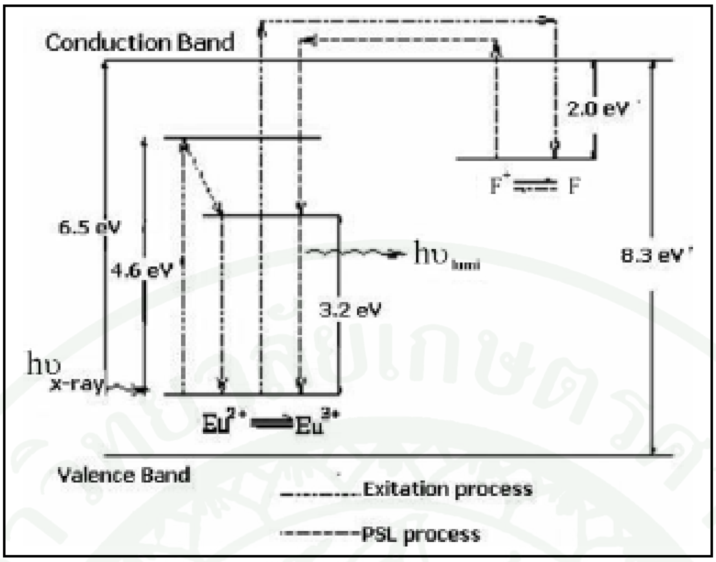
BAS-MS 2040 ขนาด 20×40 cm. เป็นแผ่นบันทึกภาพที่เพิ่งมีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความทนทานและสามารถกันน้ำได้เป็นอย่างดี รวมทั้งมีความไวในการตอบสนองสูง ตัวแผ่นมีลักษณะเป็นสีขาว

ภาพที่ 8 แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-MS

2. หลักการบันทึกภาพของแผ่นบันทึกภาพ

เนื่องจากโครงสร้างผลึกของสารเรืองแสง BaFX จะมีความบกพร่องของแลชทิซผลึกด้วยผลของการเจือ Eu^{+2} และความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง ก่อให้เกิดบริเวณที่พร้อมรับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีซึ่งมีช่องว่างพลังงาน (Eg) ประมาณ 8.3 eV และมีระดับพลังงานระหว่างสถานะพักและสถานะพื้นประมาณ 3.2 eV เมื่ออิเล็กตรอนถูกยกระดับพลังงานจากแถบวาเลนซ์สู่แถบนำและลดพลังงานลงจะถูกกักไว้บริเวณกับดัก ก่อให้เกิดบริเวณ color center หรือ F-center แสดงดังแผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ $BaFBr:Eu^{+2}$ ตามภาพที่ 9 เมื่อสารเรืองแสงได้รับการถ่ายโอนพลังงานจากบริเวณรังสี บริเวณแถบวาเลนซ์จะเกิดการไอออไนซ์ของ Eu^{2+} เป็นไอออนบวก (Eu^{3+}) อิเล็กตรอนจะถูกยกระดับพลังงานขึ้นสู่บริเวณแถบนำ ก่อให้เกิดคู่ของเอ็กซิตอนขึ้น ปริมาณคู่ของเอ็กซิตอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ตกกระทบสารเรืองแสง การยกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงาน ต่ำกว่า 6.5 eV จะยกระดับขึ้นสู่สถานะพักชั่วขณะ และจะกลับสู่สถานะพื้น ปล่อยแสงเรืองทันทีโดยคืนสภาวะของไอออน Eu^{+3} เป็น Eu^{+2} ดังเดิม ขณะที่อิเล็กตรอนส่วนที่มีพลังงานสูงกว่า 6.5 eV จะถูกยกระดับถึงบริเวณแถบนำและลดระดับพลังงานสู่บริเวณกับดักอิเล็กตรอนถูกกักไว้ก่อให้เกิดบริเวณ F-center เป็นการบันทึกผลของปริมาณรังสี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu^{+2}

ที่มา: Curry *et al.* (1990)

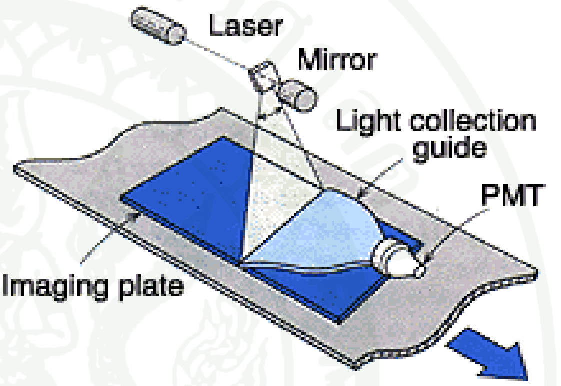
3. หลักในการอ่านแผ่นบันทึกภาพ

แผ่นบันทึกภาพที่ผ่านการบันทึกพลังงานแล้วสามารถนำมาอ่านข้อมูลปริมาณพลังงานด้วยเครื่องสแกนข้อมูล โดยกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ (photostimulated luminescence:PSL) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 630 นาโนเมตร ซึ่งมีปลายลำแสงขนาด 50-100 ไมโครเมตร ลำแสงจะถูกสแกนบนผิวแผ่นบันทึกภาพ เพื่อกระตุ้นปริมาณอิเล็กตรอนที่กักเก็บไว้บริเวณ F-Center ให้ลงสู่ระดับพื้นและปลดปล่อยปริมาณแสงที่มีความเข้มเป็นสัดส่วนกับปริมาณพลังงานตามบริเวณต่างๆ ของภาพแฝงซึ่งแสงที่ปลดปล่อยออกมาจะวัดความเข้มของแสงโดยใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photo-multiplier tube: PMT) การอ่านความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา สามารถปรับค่าความละเอียดได้ตั้งแต่ 5 ถึง 40 pixels/mm ช่วงของความไวของสี (sensitivity range) และความไวของสีในการอ่าน (reading sensitivity) สามารถปรับค่าได้ แสงจาก PSL ที่เปล่งออกมาอยู่ในช่วงแสงสีน้ำเงินม่วง (400 nm) จะถูกอ่านและส่งไปยัง PMT เมื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว จะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งปรับค่าได้ระหว่าง 8 – 16 bit ซึ่งสัญญาณภาพจากการวัดปริมาณแสงจะได้รับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Miyahara, 1987; Mori and Hama, 1994) แสดงภาพ 2 มิติทางจอภาพ โดยมีโปรแกรมสำหรับใช้ควบคุมการอ่านแผ่นบันทึกภาพ ของเครื่องสแกนอ่านภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งสามารถปรับค่าต่างๆ เช่น ความละเอียดได้ตามความสามารถของเครื่องสแกนอ่านภาพในแต่ละรุ่น และเมื่อใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการอ่านแผ่นบันทึกภาพจากเครื่องสแกนอ่านภาพ มีความสามารถหลายๆ อย่าง เช่น กำหนดบริเวณของภาพที่ต้องการนับวัด (ROI) หรือวิเคราะห์หาสัดส่วนของ PSL ที่จุดต่างๆ ของภาพ วิเคราะห์หาปริมาณ PSL ที่ได้จากภาพ ซึ่งภาพที่ได้สามารถประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาณพลังงาน โดยแสดงรายละเอียดของปริมาณรังสีแต่ละจุดบนภาพได้

(ก)



(ข)

ภาพที่ 10 เครื่องสแกนอ่านภาพ (ก) และการสแกนเพื่ออ่านภาพตามปริมาณพลังงานจากแผ่นบันทึกภาพ (ข)

4. กระบวนการลบแผ่นบันทึกภาพ

การลบแผ่นบันทึกภาพ ทำได้โดยใช้เครื่องลบภาพ ซึ่งทำหน้าที่ในการลบข้อมูลปริมาณพลังงานที่ถูกบันทึกไว้อยู่บนแผ่นบันทึกภาพให้หมดไปด้วยการฉายแสงความเข้มสูงซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงตอบสนองของสายตา (visible light) จากหลอดโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium lamp) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกรองแสงในช่วงคลื่นอุลตราไวโอเล็ต (UV) ออกแล้ว ซึ่งการลบข้อมูลปริมาณพลังงานจะใช้เวลาประมาณ 5 – 10 นาที หรือสั้นกว่านั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ใช้ ซึ่งแผ่นบันทึกภาพที่ถูกลบด้วยเครื่องลบภาพแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพที่ใช้สำหรับการฉายรังสี (Exposure)

ในการนำแผ่นบันทึกภาพไปทดลองฉายรังสีด้วยวิธีต่างๆ ต้องใช้ตลับที่มีลักษณะเป็นกรอบโลหะเบาทึบแสง ที่มีลักษณะดังภาพที่ 11 เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีลักษณะอ่อนและไวต่อแสง ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ จึงต้องใช้ตลับดังกล่าว เพื่อให้สามารถหยิบจับและจัดวางแผ่นในแนวตั้งฉากกับสนามรังสีได้ อีกทั้งเพื่อป้องกันแสงสว่างไม่ให้ตกกระทบแผ่นบันทึกภาพ

ภาพที่ 11 ตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพ

ความไม่แน่นอนของการวัด

ความไม่แน่นอนของการวัด คือ พารามิเตอร์ที่ร่วมมากับผลของการวัดที่บอกลักษณะการกระจายของค่า ซึ่งสามารถอ้างได้อย่างสมเหตุสมผลว่าเป็นของปริมาณที่ถูกวัดนั้น (JCGM, 2008)

สถิติสำหรับการประเมินความไม่แน่นอน

ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean or average)

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} q_k \qquad (2)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง (Experimental standard deviation)

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{k=1}^{n}\left(q_k - \overline{q}\right)^2} \quad (3)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของการทดลอง (Experimental standard deviation of mean, ESDM)

$$s\left(\overline{q}\right) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

ความไม่แน่นอน

$$u\left(x_i\right) = s\left(\overline{q}\right) \quad (5)$$

GUM (1995) ระบุว่าความไม่แน่นอนของการวัด สามารถแบ่งออกตามพื้นฐานของวิธีการประเมิน ดังนี้

1. ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) ความไม่แน่นอนของการวัดที่แสดงในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การประเมิน Type A (Type A evaluation) การประเมินความไม่แน่นอนโดยการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรมการสังเกต

3. การประเมิน Type B (Type B evaluation) การประเมินความไม่แน่นอนโดยวิธีอื่นนอกจากการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรมการสังเกต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ ของค่าประมาณอินพุท x_i ที่ไม่ใช่ผลของการวัดซ้ำๆ กัน สามารถประเมินได้จากการตัดสินในเชิงวิทยาศาสตร์ โดยใช้พื้นฐานของข้อมูลที่เป็นไปได้ของความแปรผันของ x_i ซึ่งรวมไปถึง

- ข้อมูลการวัดที่ผ่านมาแล้ว
- ความชำนาญหรือความรู้เกี่ยวกับลักษณะนิสัยของเครื่องมือ หรือวัสดุ
- ข้อกำหนดจำเพาะของผู้ผลิต
- ข้อมูลในใบรับรองการสอบเทียบ
- ความไม่แน่นอนที่กำหนดไว้ในข้อมูลที่ต้องการจาก handbook

การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

กรณี x_i มีสมมติฐานเป็นการแจงแจงแบบปกติ เมื่อ $u(x_i)$ ประเมินจากความไม่แน่นอนของ x_i ที่รายงานในรูปที่เป็นเปอร์เซนต์ระดับความเชื่อมั่น

$$u(x_i) = \frac{u}{k} \tag{6}$$

การแจงแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution)

กรณี x_i มีสมมติฐานเป็นการแจงแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อ $u(x_i)$ ประเมินจากความน่าจะเป็นที่ค่าของ x_i จะอยู่ในช่วงขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างที่กำหนด โดยโอกาสที่ x_i จะอยู่นอกขีดจำกัดเป็นศูนย์

ถ้าให้ช่วงความน่าจะเป็นของ x_i อยู่ระหว่าง a_- ถึง a_+ เมื่อความแตกต่างระหว่าง a_- ถึง $a_+ = 2a$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$u(x_i) = \frac{(a_- - a_+)}{2\sqrt{3}} \tag{7}$$

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{8}$$

4. ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty) ความไม่แน่นอนมาตรฐานของผลการวัดที่ได้จากค่าของปริมาณหนึ่งเท่ากับรากที่สองที่เป็นบวกของผลบวกของเทอมที่เป็น covariance หรือ incovariance ของปริมาณเหล่านั้น ที่ได้รับการ weight ตามการเปลี่ยนแปลงของผลการวัดต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล่านี้

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N} c_i^2 u^2(x_i) + 2\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} c_i c_j \, u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \tag{9}$$

5. ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty) ปริมาณที่กำหนดช่วงรอบๆ ผลการวัดที่อาจหวังได้ว่า ครอบคลุมส่วนใหญ่ของการแจกแจงของค่าที่สามารถจะเป็นตัวแทนของปริมาณที่ถูกวัด

$$U = ku_c(y) \tag{10}$$

6. Coverage factor (k) ตัวประกอบที่เป็นตัวเลขใช้เป็นตัวคูณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนขยาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ของบริษัทฟูจิฟิล์ม ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 12) ประกอบด้วย

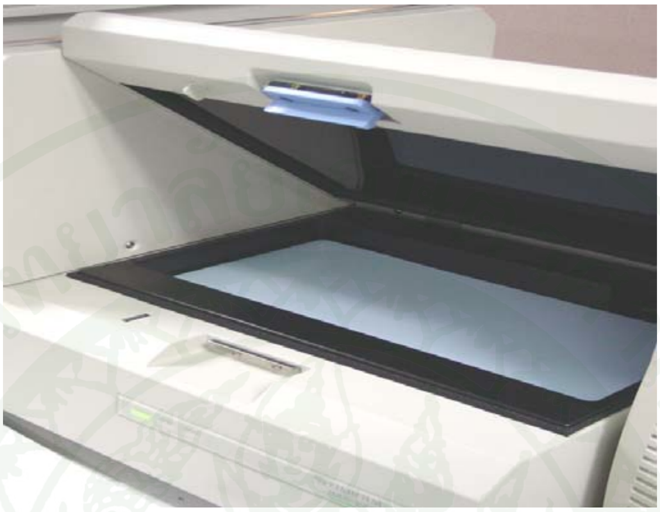
ภาพที่ 12 ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

1.1 แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS2040 S/N S20260590 ตัวแผ่นเป็นสีขาว ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตรมีความไวในการตอบสนองสูง (ภาพที่ 13)

ภาพที่ 13 แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS2040

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 เครื่องสแกนอ่านภาพ BAS-2500 (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 เครื่องสแกนอ่านภาพ BAS-2500

1.3 เครื่องลบภาพ (ภาพที่ 15)

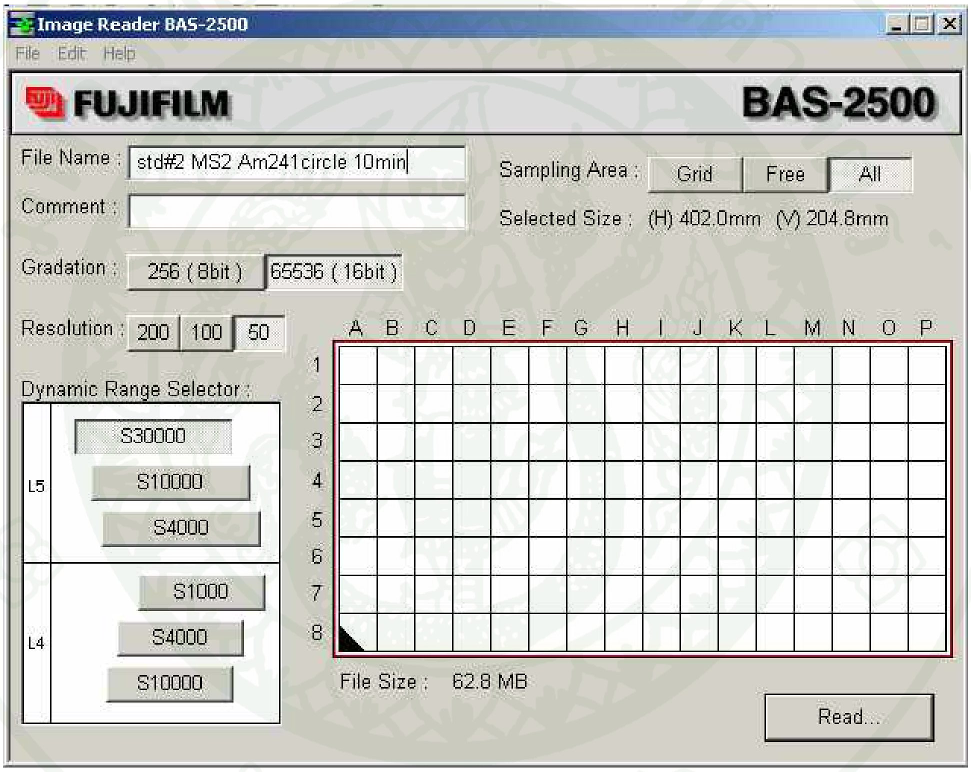
ภาพที่ 15 เครื่องลบภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพ (BAS CASSETTE 2040) ขนาดความกว้าง 22.5 เซนติเมตร ยาว 42.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 11)

1.5 ไมโครคอมพิวเตอร์

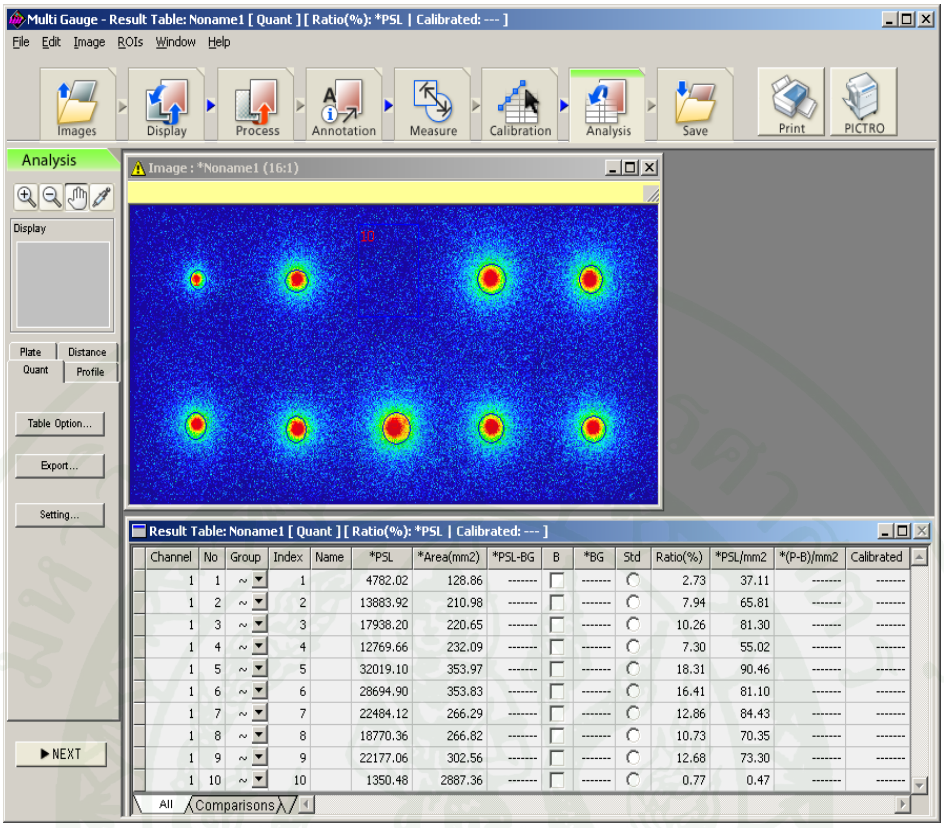
1.6 โปรแกรม Image Reader BAS-2500 (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 โปรแกรม Image Reader BAS-2500

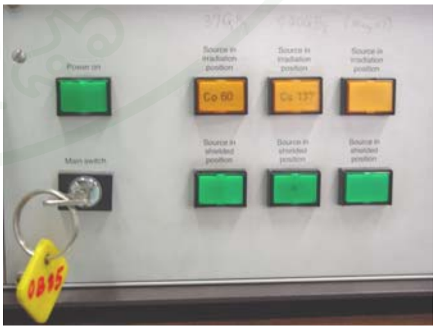
1.7 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการอ่านจากโปรแกรม Image Reader BAS-2500 (ภาพที่ 17)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ

2. เครื่องฉายรังสี OB85 บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี ^{137}Cs ความแรงรังสี 740 GBq เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2530 พร้อมระบบควบคุมเวลา (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 เครื่องฉายรังสี OB85 (ภาพซ้าย) และระบบควบคุมเวลา (ภาพขวา)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อุปกรณ์จัดวางตำแหน่งอิมเมจจิงเพลต ประกอบด้วย กรอบขาตั้งสำหรับวางแผ่นบันทึกภาพ (ภาพที่ 19)

4. ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ภาพที่ 19 อุปกรณ์จัดวางตำแหน่งแผ่นบันทึกภาพ ภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

5. มาตรรังสีแบบพกพา รุ่น RAD-60S หมายเลข 281258 ซึ่งมีพิสัยในช่วง 0 μSv–99.9 Sv (ภาพที่ 20)

ภาพที่ 20 มาตรรังสีแบบพกพา

6. ถุงนิ้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

ในการทดลองเพื่อวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 6 การทดลองย่อย ดังนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสี

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสี โดยศึกษาปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพ และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสี มีวิธีการดังนี้

1.1 นำแผ่นบันทึกภาพมาลบสัญญาณ ด้วยเครื่องลบภาพ เป็นเวลา 5 นาที โดยใส่ถุงนิ้วระหว่างการทำงาน ห้ามจับแผ่นบันทึกภาพขณะไม่มีถุงนิ้วเพราะจะทำให้เกิดรอยนิ้วมือ และอาจทำให้แผ่นบันทึกภาพเสียได้ การจับแผ่นบันทึกภาพต้องระวังอย่าทำแผ่นบันทึกภาพงอ (Fujifilm, 1995) จะทำให้ผลึก บนแผ่นบันทึกภาพแตกได้

1.2 นำแผ่นบันทึกภาพ ดังกล่าวมาอ่านด้วยเครื่องสแกนอ่านภาพ โดยใช้โปรแกรม Image Reader BAS-2500 ซึ่งจะใช้เวลาในการอ่านประมาณ 4 นาที

1.3 นำข้อมูลที่เครื่องอ่านได้มากำหนดพื้นที่ขนาด 200 mm^2 เรียงต่อกันตลอดความยาวของแผ่นบันทึกภาพ 420 mm ได้จำนวน 20 ช่องวัด กำหนดบริเวณของภาพที่ต้องการนับวัด (ROI) ตามวิธีการของ Saze and Nishizawa (2003) แล้วนำค่านับวัดที่ได้จาก ROI มานับวัดค่าของภาพ โดยคำนวณหาค่า PSL/mm^2 ในแต่ละพื้นที่

1.4 วางแผ่นบันทึกภาพในตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพนำไปวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ในห้องฉายรังสีที่ระยะ 5 เมตร เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำแผ่นบันทึกภาพดังกล่าว มาอ่านด้วยเครื่องอ่านสแกนอ่านภาพ และคำนวณหาค่า PSL/mm^2 ในแต่ละพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 ดำเนินการตามข้อ 1.1 – 1.4 แต่เปลี่ยนระยะเวลาลบแผ่นบันทึกภาพเป็น 10 นาที และระยะเวลาในการวางแผ่นเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลังและระดับรังสีในห้องฉายรังสี เป็น 5 นาที เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีต่อไป

1.6 นำค่า PSL/mm^2 ที่ได้ในแต่ละการทดลอง สรุปผล และประเมินผลความคงที่ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

2. ตรวจวัดความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง โดยทำการวัดเดือนละครั้ง ครั้งละ 5 ซ้ำ เป็นเวลา 3 เดือน โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 1 คำนวณหาค่า PSL/mm^2 ในแต่ละพื้นที่ นำผลที่ได้มาประเมินความคงที่ของระบบวัด

3. การสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาการตอบสนองของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสี มีวิธีการดังนี้

3.1 นำแผ่นบันทึกภาพวางในตลับบรรจุแผ่นบันทึกภาพ ที่ลบสัญญาณ ด้วยเครื่องลบภาพเป็นเวลา 10 นาที ทำการวัดค่าปริมาณรังสีต่างๆ กัน ซึ่งคำนวณปริมาณรังสีโดยอ้างอิงกับระดับรังสีมาตรฐานของ SSDL จากนั้น นำค่า PSL/mm^2 ที่ได้ กับปริมาณรังสี (mR) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ตามวิธีของ Mouhssine *et al.* (2004) ซึ่งจะได้ค่า Calibration Factor (C.F.) มีหน่วยเป็น $mR\ PSL^{-1}\ mm^2$ จากความชันของกราฟที่ได้ตามสมการที่ (11)

จากสมการเส้นตรง $$Y = aX+b \qquad (11)$$

เมื่อ a คือ ความชันของกราฟ

b คือ จุดตัดแกน (intercept)

X คือ PSL/mm^2

Y คือ ปริมาณรังสี (mR)

3.2 ทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของ C.F. ตามสมการ (12) (Pimpl, 2007)

$$u_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n-2}} \quad (12)$$

เมื่อ Y_i คือ ปริมาณรังสีโดยอ้างอิงกับระดับรังสีมาตรฐานของ SSDL

$\hat{Y}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีที่ได้มาจาก Calibration curve

n คือ จำนวนครั้งในการทดลอง

4. ศึกษาความถูกต้องของการวัดระดับรังสีแกมมา ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแผ่นบันทึกภาพที่ผ่านการสอบเทียบแล้วมาวัดอัตราปริมาณรังสี (dose rate) ในหน่วย mR/h เปรียบเทียบกับระดับรังสีมาตรฐานของห้อง SSDL มีวิธีการดังนี้

4.1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 แต่ทำการวัดอัตราปริมาณรังสี 2 ระดับ ที่ประมาณ 100 mR/h และ 1 R/h โดยใช้ attenuator เพื่อให้ได้อัตราปริมาณรังสีดังกล่าว แล้วทำการฉายรังสีให้แผ่นบันทึกภาพเป็นเวลา 1 นาที และทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง

4.2 นำค่า PSL/mm^2 ที่ได้แก้ค่า C.F. เพื่อคำนวณอัตราปริมาณรังสี (mR/h) และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต กับระดับรังสีมาตรฐานของห้อง SSDL โดยประเมินจากค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. วัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงภายในห้อง SSDL

ห้อง SSDL มีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 10 เมตรจะประกอบไปด้วยเครื่องฉายรังสี 3 เครื่อง ได้แก่เครื่องฉายรังสีรุ่น OB85 ที่บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี ^{137}Cs และ ^{60}Co เครื่องฉายรังสี รุ่น OB26 ที่บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี ^{241}Am-Be และเครื่องฉายรังสี รุ่น OB34 ที่บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี ^{137}Cs และ ^{60}Co และวัสดุกัมมันตรังสี ^{241}Am ซึ่งมีความแรงรังสี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ของเครื่องฉายรังสี OB85 ภายในห้อง SSDL ณ จุดต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ มีวิธีการดังนี้

5.1 ทำการศึกษาขั้นต้นเพื่อหาระยะแนวลำรังสีที่ระยะ 1 และ 2 เมตรโดยใช้แผ่นบันทึกภาพวัดที่ระยะดังกล่าว จากนั้นจึงกำหนดจุดวัดต่างๆ ภายในห้อง SSDL โดยกำหนดจุดในบริเวณที่มีการกระเจิงของรังสีแกมมา และบริเวณลำรังสี แสดงดังภาพที่ 21

5.2 วัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิง ทุกตำแหน่งที่กำหนดในข้อ 5.1 ทำการอ่านผลและบันทึกค่า PSL/mm^2

5.3 คำนวณหาระดับการกระเจิงของรังสี (mR/h) จากผลการวัดหาค่า PSL/mm^2 ในข้อ 5.2 โดยใช้ค่า C.F. ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยเทียบกับเวลาที่ใช้ในการฉายแผ่นบันทึกภาพ และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพ 3 มิติ แสดงระดับการกระเจิงของรังสีภายในห้อง SSDL

5.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการวัดการกระเจิง โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด จากแหล่งความไม่แน่นอนต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การนำระดับรังสีกระเจิงที่ได้จากการทดลองไปใช้งานจริง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบระดับกระเจิงของรังสีแกมมาที่ได้จากการใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต และนำระดับรังสีกระเจิงที่ได้ไปใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับงานสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสี และมาตรรังสีแบบพกพา โดยไม่จำเป็นต้องจัดวางในสนามรังสีของห้อง SSDL โดยนำมาตรรังสีแบบพกพา (Pocket dosimeter) ที่ผ่านการสอบเทียบจากห้อง SSDL วัดค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ 100μSv ณ พิกัดต่างๆ มีวิธีการดังนี้

6.1 นำมาตรรังสีแบบพกพา รุ่น RAD-60S ซึ่งมีพิสัยในช่วง 0 μSv – 99.9 Sv มาทำการสอบเทียบจากห้อง SSDL โดยฉายรังสีที่ปริมาณรังสีมาตรฐานอ้างอิง 100 μSv ซึ่งจะได้ค่า C.F. ของมาตรรังสีแบบพกพา จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีมาตรฐานอ้างอิงกับค่าที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา และความไม่แน่นอน C.F. สำหรับมาตรรังสีแบบพกพา

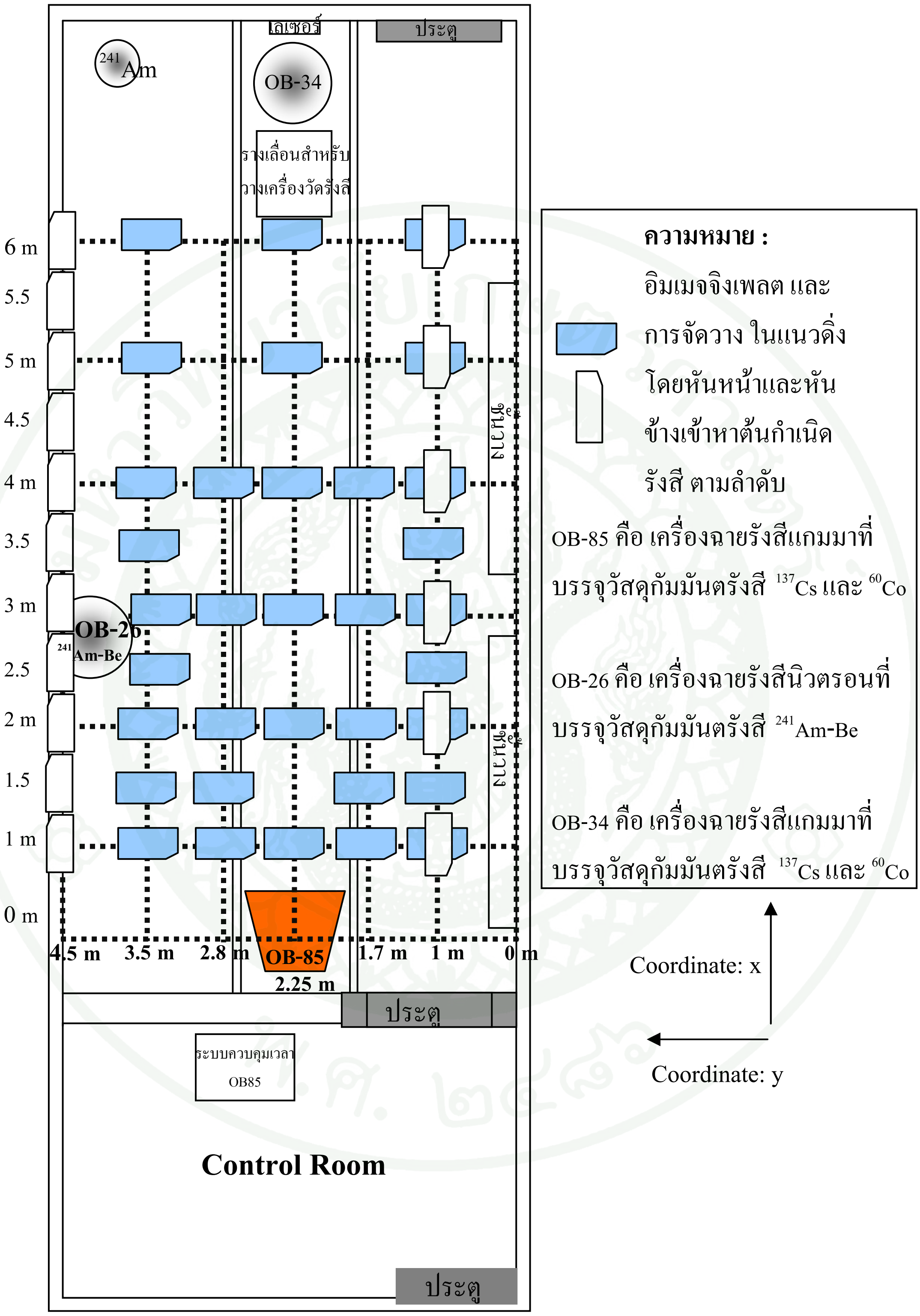
6.2 นำมาตรรังสีแบบพกพาที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว มาวัดระดับรังสีกระเจิงที่ปริมาณรังสีกระเจิง 100 μSv ณ พิกัดดังภาพที่ 22 โดยใช้ระยะเวลาในการฉายรังสีแตกต่างกัน เพื่อให้ได้ปริมาณรังสีกระเจิง เท่ากันทุกพิกัด

6.3 นำค่าปริมาณรังสีสมมูล (dose equivalent) ที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา มาเปรียบเทียบค่าระดับรังสีในแนวกระเจิงที่ใช้โดยแปลงค่าจาก mR ให้เป็น mSv ตามสมการที่ (13) และ (14) โดยนำค่าที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา (μSv) แก้ค่าด้วย C.F. ของมาตรรังสีแบบพกพา เปรียบเทียบและประเมินผลค่าที่วัดได้จากร้อยละความคลาดเคลื่อน

1R = 8.76E-03 Gy (IAEA, 2009) (13)

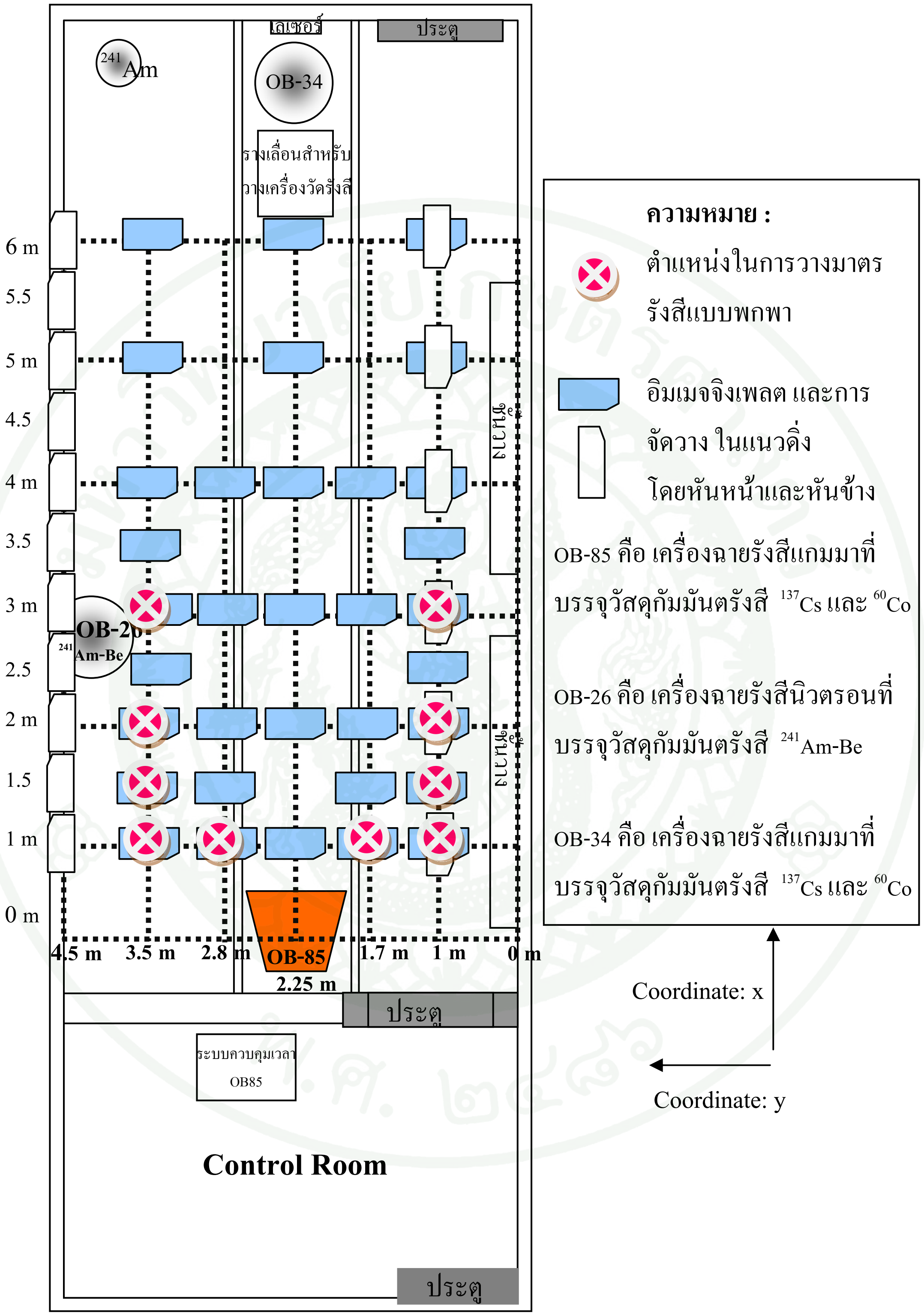
Hp (10)/Ka (Sv/Gy) =1.21 (IAEA, 2000) (14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 แผนภาพกำหนดจุดวัดปริมาณรังสีภายในห้อง SSDL

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 แผนภาพตำแหน่งการวางมาตรรังสีแบบพกพาภายในห้อง SSDL

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์ผล

ในการวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต จากการทดลองทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน แสดงผลดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสี โดยดำเนินการศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้น โดยนำแผ่นบันทึกภาพลบสัญญาณด้วยเครื่องลบภาพเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำแผ่นบันทึกภาพดังกล่าวมาอ่านด้วยเครื่องสแกนอ่านภาพ และกำหนดขนาดพื้นที่ขนาด 200 mm^2 เรียงต่อกันตลอดความยาวของอิมเมจจิงเพลตจำนวน 20 ช่องวัด แล้วนำแผ่นบันทึกภาพไปวางเพื่อวัดระดับรังสีในห้องฉายรังสี และระดับรังสีพื้นหลังที่ระยะ 5 เมตรเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นเปลี่ยนระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพเป็นเวลา 10 นาที และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีเป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับนั้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในงานวิจัยในด้านการวัดระดับรังสีด้วยระบบวัดรังสีแบบอิมเมจจิงเพลต ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 และตารางผนวกที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพ และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีที่พิกัด 5,2.25

		PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี		PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง	
เวลาฉาย	ครั้งที่	ลบ 5 นาที	ลบ 10 นาที	ลบ 5 นาที	ลบ 10 นาที
0	1	0.13	0.13	0.13	0.13
	2	0.13	0.14	0.13	0.14
	3	0.14	0.13	0.14	0.13
	Mean	0.13	0.13	0.13	0.13
	%CV	4.33	4.33	4.33	4.33

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เวลาฉาย	ครั้งที่	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี ลบ 5 นาที	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี ลบ 10 นาที	PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง ลบ 5 นาที	PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง ลบ 10 นาที
1	1	32.01	31.37	0.21	0.15
	2	33.07	31.64	0.20	0.14
	3	32.05	31.31	0.19	0.15
	Mean	32.38	31.44	0.20	0.15
	%CV	1.86	0.56	5.00	3.94
5	1	159.50	153.22	1.01	0.82
	2	162.53	151.30	0.95	0.85
	3	156.55	152.39	0.90	0.89
	Mean	159.53	152.30	0.95	0.85
	%CV	1.87	0.63	5.78	4.12

ค่า PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลังในห้อง SSDL มีค่าประมาณ 0.16 PSL/mm^2 ที่พิกัดต่างๆ เมื่อคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ดังสมการ ที่ (3) – (6) พบว่า มีความไม่แน่นอนของการวัดสัมพัทธ์ประมาณประมาณ ± 5 % เทียบกับค่า PSL/mm^2 เฉลี่ย สำหรับแต่ละพิกัด

จากตารางที่ 2 เมื่อใช้ระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพนานขึ้นเป็น 10 นาที ค่า PSL/mm^2 มีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระยะเวลาในการลบแผ่น 5 นาที แสดงว่าเมื่อเวลาในการลบมากขึ้นจะสามารถลบสัญญาณแฝงบนแผ่นบันทึกภาพได้ดีกว่า

เมื่อใช้ระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีในห้องฉายรังสี และระดับรังสีพื้นหลังเพิ่มขึ้นเป็น 5 นาที พบว่า สำหรับการลบแผ่นบันทึกภาพ 5 นาที ระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพที่ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 32.38 $PSL/mm^2/min$ และเมื่อวางที่ 5 นาที มีค่า 159.53 $PSL/mm^2/5\ min = 159.53/5 = 31.91\ PSL/mm^2/min$ ซึ่งมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนประมาณ 1.5% สำหรับการลบแผ่นบันทึกภาพ 10 นาที ระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพที่ 1 นาที มีค่าเท่ากับ 31.44 $PSL/mm^2/min$ และเมื่อวางที่ 5 นาที มีค่า 152.3 $PSL/mm^2/5\ min = 152.3/5 = 30.46\ PSL/mm^2/min$ ซึ่งมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.1%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 2 ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้แผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสี เมื่อศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้น โดยจะใช้ระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพเป็นเวลา 10 นาที และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีเป็นเวลา 1 นาที ซึ่งผลที่ได้จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. ตรวจวัดความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

สำหรับงานวิจัยในด้านการวัดระดับรังสีด้วยระบบวัดรังสีแบบอิมเมจจิงเพลต ควรควบคุมการฉายและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน ก่อนการนำไปอ่านผล และทำการวัดความคงที่เป็นประจำตลอดการทดลองเพื่อยืนยันว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือ ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง โดยทำการวัดในทุกๆ เดือนที่ทำการทดลองเป็นเวลา 3 เดือน โดยนำแผ่นบันทึกภาพมาลบสัญญาณ ด้วยเครื่องลบภาพ เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปฉายรังสี 1 นาที ที่ระยะ 5 เมตร แล้วอ่านผลด้วยเครื่องสแกนอ่านภาพ โดยกำหนดพื้นที่ (ROI) ขนาด 200 mm^2 เรียงต่อกันตลอดความยาวของแผ่นบันทึกภาพจำนวน 20 ช่องวัด เพื่อคำนวณหาค่า PSL/mm^2 ในแต่ละพื้นที่ และทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง โดยทำการวัดเดือนละครั้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Repeatability ของแผ่นบันทึกภาพ เมื่อทำการวัดที่ระยะ 5 เมตร

ROI	Coordinate	PSL/mm^2 (n=5)					
		mean	% CV	mean	% CV	mean	% CV
	(x,y)*	เม.ย.		พ.ค.		มิ.ย.	
1	5,2.07	31.31	0.82	31.19	0.94	31.51	0.82
2	5,2.09	31.73	0.83	31.48	0.73	31.92	0.97
3	5,2.11	31.76	0.75	31.44	0.74	31.93	0.55
4	5,2.13	31.65	0.72	31.33	0.72	31.84	0.65
5	5,2.15	31.73	0.66	31.34	0.69	31.81	0.58
6	5,2.17	31.74	0.79	31.31	0.72	31.86	0.82
7	5,2.19	31.81	0.58	31.43	0.85	31.83	0.85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ROI	Coordinate (x,y)*	PSL/mm^2 (n=5) mean	% CV	mean	% CV	mean	% CV
		เม.ย.		พ.ค.		มิ.ย.	
8	5,2.21	31.78	0.70	31.41	0.87	31.83	0.99
9	5,2.23	31.76	0.92	31.64	0.76	32.21	0.81
10	5,2.25	31.54	1.01	31.70	0.75	32.06	0.84
11	5,2.27	32.05	0.67	31.64	1.01	32.18	0.73
12	5,2.29	31.75	0.91	31.45	0.79	32.11	0.63
13	5,2.31	31.68	0.61	31.39	0.66	31.88	0.57
14	5,2.33	31.38	0.97	31.02	0.92	31.66	0.84
15	5,2.35	31.01	0.88	31.01	0.63	31.42	0.83
16	5,2.37	31.03	0.56	30.82	0.70	31.31	0.58
17	5,2.39	31.32	0.88	31.06	0.69	31.64	0.82
18	5,2.41	31.31	0.82	31.02	0.68	31.53	1.00
19	5,2.43	31.62	0.81	31.36	0.67	31.83	1.02
20	5,2.45	31.38	0.60	31.09	0.62	31.56	0.74
	mean	31.57	0.77	31.31	0.76	31.80	0.78

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 21)

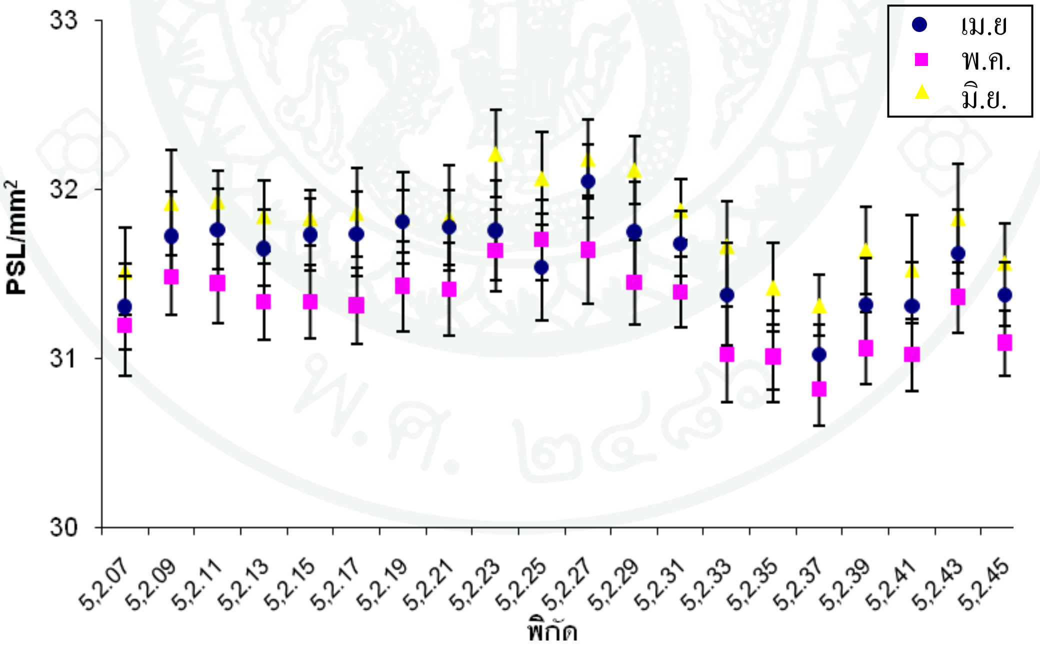
จากตารางที่ 3 เมื่อทำการวัดความคงที่ในเดือนเมษายน พบว่าในแต่ละพิกัดของแผ่นบันทึกภาพ มีค่าเฉลี่ย PSL/mm^2 ในแต่ละพิกัดไม่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ยระหว่าง PSL/mm^2 ในแต่ละพิกัดกับตลอดทั้งแผ่นของแผ่นบันทึกภาพมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าแผ่นบันทึกภาพมีความสามารถวัดค่าซ้ำได้ดี (Repeatability) และจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) มีค่าประมาณ 1% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นบันทึกภาพวัดค่าที่ได้อย่างแม่นยำ ในทำนองเดียวกับเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ย PSL/mm^2 ในเดือนเมษายน พฤษภาคม และมิถุนายนมีค่า 31.57 31.31 และ 31.80 PSL/mm^2 ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละเดือน และจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) มีค่าประมาณ 0.8% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นบันทึกภาพวัดค่าที่ได้อย่างแม่นยำ และมีความคงที่ เมื่อมีการควบคุมการฉายและระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนจากขั้นตอนที่ 1 ก่อนการนำไปอ่านผล

เมื่อคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ดังสมการ ที่ (3) – (6) พบว่าระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต มีความไม่แน่นอนของการวัดสัมพัทธ์ประมาณ ± 0.5 % เทียบกับค่า PSL/mm^2 เฉลี่ยสำหรับแต่ละพิกัด

เพื่อยืนยันว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือ จึงจำเป็นต้องดำเนินการทดลองเพื่อหาความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตเป็นประจำทุกเดือนตลอดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 23



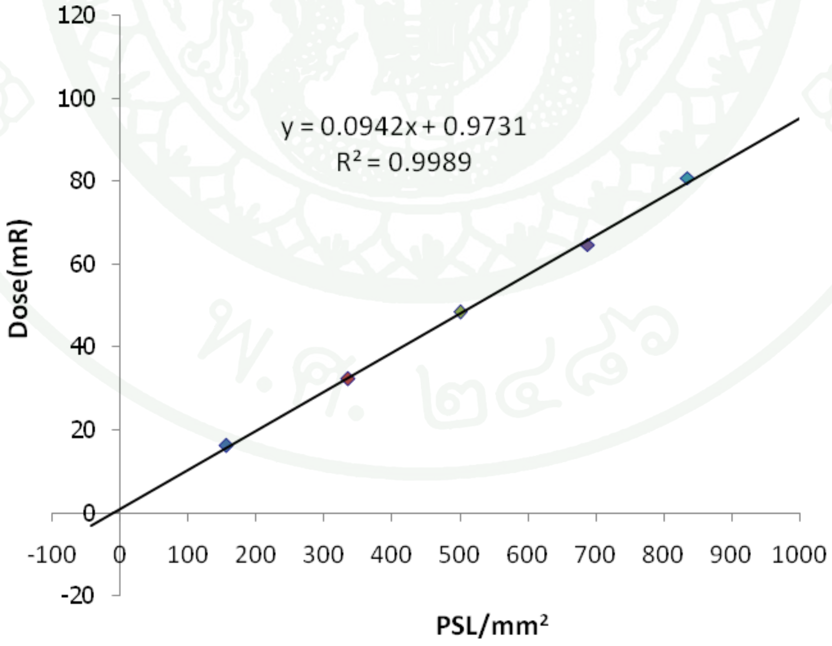
ภาพที่ 23 กราฟแสดงความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตในแต่ละเดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 23 ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตมีความคงที่ตลอดระยะเวลาที่ทำการวัดเดือนละครั้ง เป็นเวลา 3 เดือน ที่พิกัดต่างๆ เมื่อคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ดังสมการ ที่ (3) – (6) พบว่า และมีความไม่แน่นอนของการวัดสัมพัทธ์ประมาณ ± 0.5 % เทียบกับค่า PSL/mm^2 เฉลี่ยสำหรับแต่ละพิกัด

3. การสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

การสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตเพื่อหาการตอบสนองของแผ่นบันทึกภาพแบบอิมเมจจิงเพลต กับปริมาณรังสี โดยนำแผ่นบันทึกภาพวัดค่าปริมาณรังสีต่างๆ กัน ซึ่งคำนวณปริมาณรังสีโดยอ้างอิงกับระดับรังสีมาตรฐานของ SSDL จากนั้น นำค่า PSL/mm^2 ที่ได้ กับปริมาณรังสี (mR) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามวิธีของ Mouhssine *et al.* (2004) จะได้ค่า Calibration Factor (C.F.) มีหน่วยเป็น mR PSL^{-1} mm^2 ผลแสดงดังกราฟที่ 24 และตารางผนวกที่ 2 และทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของ C.F. ตามสมการ (12) แสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL/mm^2 กับปริมาณรังสี (mR)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 24 เมื่อใช้แผ่นบันทึกภาพวัดค่าปริมาณรังสีต่างๆ กัน เพื่อหา C.F. พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PSL/mm^2 กับปริมาณรังสีเป็นไปตาม สมการ $y = 0.094x + 0.973$ เมื่อ y คือปริมาณรังสี (mR) และ x คือค่า PSL/mm^2 จากผลการทดลอง และจากความชันของกราฟทำให้ได้ค่า C.F. สำหรับการสอบเทียบแผ่นบันทึกภาพ สำหรับ Cs-137 มีค่าเป็น 0.094 mR PSL^{-1}mm^2

เมื่อพิจารณาค่า Calibration factor (C.F.) ที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.094 mR PSL^{-1} mm^2 หรือมีค่า 9.96×10^{-4} mSv PSL^{-1} mm^2 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yamadera *et al.* (1995) ที่ได้นำแผ่นบันทึกภาพรุ่น UR ของบริษัทฟูจิวางประกบกับ filter ชนิดต่างๆ และ acrylic slab phantom แล้วฉายรังสีเอ็กซ์ที่ 30 60 80 และ 140 keV และรังสีแกมมาจาก ^{137}Cs และ ^{60}Co พบว่าค่า C.F. สำหรับ ^{137}Cs มีค่า 580 PSL/mm^{2}mSv หรือมีค่า 1.72×10^{-3} mSv PSL^{-1} mm^2 เมื่อเปรียบเทียบค่า C.F. ที่ได้จากการทดลอง กับงานวิจัยดังกล่าวพบว่ามีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงประมาณ 42% อาจเนื่องมาจากวิธีในการสอบเทียบที่ต่างกันรวมทั้งชนิดของแผ่นบันทึกภาพที่แตกต่างกันด้วย

จากภาพที่ 24 พบว่าการตอบสนองต่อรังสีของแผ่นบันทึกภาพเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yamadera *et al.* (1995) ที่ได้นำแผ่นบันทึกภาพมาฉายรังสีเอ็กซ์ที่ 30 60 80 และ 140 keV และรังสีแกมมาจาก ^{137}Cs และ ^{60}Co และงานวิจัยของ Boukhair *et al.* (2001) ที่ได้นำแผ่นบันทึกภาพ มาใช้ในการวัดนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดรังสี Pu-Be และ Am-Be และรังสีแกมมาจาก ^{60}Co โดยพบว่า แผ่นบันทึกภาพมีการตอบสนองต่อทั้งนิวตรอนเร็ว และรังสีแกมมาเป็นอย่างดี เหมาะที่จะนำมาใช้วัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล

สำหรับค่ารังสีพื้นหลังในห้องฉายรังสี ซึ่งมีค่าประมาณ 0.15 PSL/mm^2 เมื่อแทนค่าในสมการ $y = 0.094x + 0.9731$ ได้ค่าเท่ากับ 0.987 มีหน่วยเป็น mR ซึ่งแสดงถึงค่าพื้นฐานที่จะวัดได้ทุกๆ 1 นาที ของการฉายรังสี และเป็นค่าระดับรังสีพื้นหลังในห้องฉายรังสีด้วย

จากการสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต และได้ค่า C.F. เมื่อทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของ C.F. แล้วจะทำให้ค่าวัดจากระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต สามารถสอบย้อนกลับไปยังค่ามาตรฐานปฐมภูมิได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการหา C.F. นั้น มีแหล่งของความไม่แน่นอน 8 แหล่ง แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายที่มาได้ ดังนี้

1. ค่าความไม่แน่นอน Repeatability มาจากผลการศึกษาความคงที่ของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยพิจารณาจากความสามารถในการวัดค่าซ้ำ และคำนวณหาความไม่แน่นอนจากสมการ (3) – (5)

2. ค่าระดับรังสีพื้นหลัง (IAEA, 2000) มาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองวัดระดับรังสีพื้นหลังด้วยแผ่นบันทึกภาพ โดยแสดงค่าที่วัดได้ในหน่วย PSL/mm^2

3. ค่าของการวัด PSL/mm^2 มาจากความไม่แน่นอนในการอ่านค่า PSL/mm^2 ของเครื่องสแกนอ่านภาพคำนวณจากสมการ (3) – (5)

4. Calibration factor ค่าความไม่แน่นอนคำนวณได้จากสมการ (12)

5. เวลาในการฉายรังสี มาจากความไม่แน่นอนของเครื่องควบคุมเวลาการฉายรังสี จากเวลา 1 วินาที ใน 60 วินาที; $u(t) = \frac{1}{60} \times 100 = 1.7$

6. ค่าระดับรังสีมาตรฐานจากเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ระยะ 6 เมตร มาจากความไม่แน่นอนของระดับรังสีจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ที่ระยะ 6 เมตร ของห้อง SSDL มีค่า 1.9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. การจัดวางตำแหน่ง มาจากความไม่แน่นอนในการจัดวางตำแหน่ง 1 มิลลิเมตร จากระยะ 1 เมตร; $u(d) = \frac{1}{1000} \times 100 = 0.1$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. Scale resolution มาจากความละเอียดของค่าที่อ่าน PSL/mm^2 หารด้วย 2 ซึ่งมีค่า 0.01/2 = 0.005; $u(scale) = \frac{0.005}{0.5} \times 100 = 1$

ตารางที่ 4 Uncertainty Budget

Source of Uncertainty	Value (%)	Probability distribution	Type	Divisor	Uncertainty (%)
1. Repeatability	0.5	normal	A	1	0.5
2. Background	1	normal	A	1	1
3. Reading	0.5	normal	A	1	0.5
4. Calibration Factor	2	normal	B	1	2
5. Irradiation time	1.7	normal	B	1	1.7
6. Standard output from OB85 at S-D = 6 m	1.9	normal	B	2	0.95
7. Distance	0.1	rectangular	B	$\sqrt{3}$	0.058
8. Scale resolution	1	rectangular	B	$\sqrt{3}$	0.58
			Combined Standard Uncertainty = 3.1%		
			Expanded Uncertainty = 7%		

การคำนวณหาความไม่แน่นอนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) และ (8) สำหรับการแจกแจงแบบปกติ และการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามลำดับ จากตารางที่ 4 พบว่า แหล่งความไม่แน่นอนลำดับที่ 1 – 5 ซึ่งได้แก่ Repeatability, Background, Reading, Calibration Factor และ Irradiation time ตามลำดับ มีการแจงแจงแบบปกติ ตัวหาร (divisor) มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับแหล่งความไม่แน่นอนลำดับที่ 5 ได้แก่ ระดับรังสีจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ของเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ระยะ 6 เมตร มีค่า 1.9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่า k (Coverage factor) จะมีค่าเท่ากับ 2 มีการแจกแจงแบบปกติ divisor มีค่าเท่ากับ 2 สำหรับแหล่งความไม่แน่นอนลำดับที่ 7 และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8 ได้แก่ Distance และ Scale resolution ตามลำดับ มีลักษณะการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตัวหาร (divisor) มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ ซึ่งสามารถหาความไม่แน่นอนมาตรฐาน ได้จากสมการที่ (6) และ (8) และหาความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty) ได้จากสมการที่ (9) มีค่าเท่ากับ 3.1% และความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty) มีค่า 3.1 × 2 = 6.2% ซึ่งอยู่ระหว่าง 3 – 9 % ดังนั้นการรายงานผลความไม่แน่นอนขยายซึ่งจะเป็นเลข 1 หลัก (NPL, 2003) จึงมีค่าเท่ากับ 7% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลการศึกษาความถูกต้องของการวัดระดับรังสีแกมมา ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

เมื่อนำแผ่นบันทึกภาพที่ผ่านการสอบเทียบวัดอัตราปริมาณรังสี (dose rate) ที่ 962.61 mR/h และ 76.3 mR/h โดยทำการฉายรังสีให้แผ่นบันทึกภาพเป็นเวลา 1 นาที และทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง แล้วนำค่า PSL/mm^2 ที่ได้แก้ค่า C.F. เพื่อคำนวณอัตราปริมาณรังสี (mR/h) เปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต กับระดับรังสีมาตรฐานของ SSDL แสดงดังตารางที่ 5 และตารางผนวกที่ 3

ตารางที่ 5 ผลการวัดระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะ 2 เมตร ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 mRPSL^{-1}mm^2

Attenuator	STD (mR/h)	Coordinate	Reading (PSL/mm^2)	Dose rate (mR/h)	Mean (mR/h)	%CV	%error
Open	962.61	2,2.25*	168.70	1011.88	1013.03	0.12	5.3
			168.68	1011.77			
			168.93	1013.18			
			169.19	1014.65			
			169.02	1013.69			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Attenuator	STD (mR/h)	Coordinate	Reading (PSL/mm^2)	Dose rate (mR/h)	Mean (mR/h)	%CV	%error
A	76.3	2,2.25*	3.98	80.88	81.08	0.25	6.26
			4.01	81.05			
			4.03	81.16			
			4.07	81.39			
			3.99	80.94			

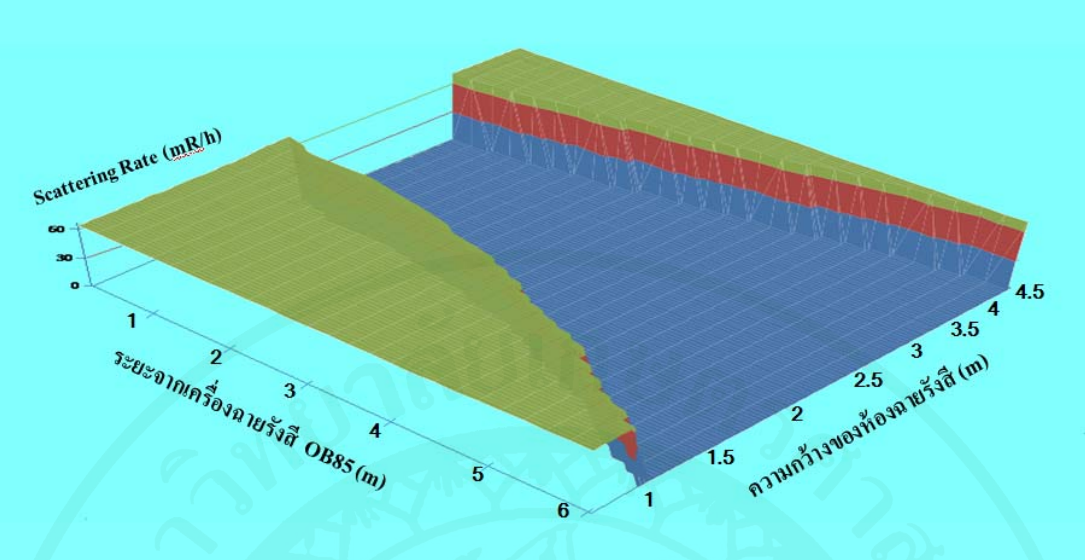
*2,2.25 หมายถึง พิกัดบนกึ่งกลางแผ่นบันทึกภาพที่ระยะห่างจากเครื่องฉายรังสี OB เป็นระยะทาง 2 เมตร

จากตารางที่ 5 ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตสามารถใช้วัดระดับรังสีแกมมาที่อัตราปริมาณรังสี (dose rate) 962.61 mR/h และ 76.3 mR/h โดยมีค่า %ความคลาดเคลื่อนประมาณ 5% และ 6% ตามลำดับ ซึ่งเมื่ออัตราปริมาณรังสีสูงขึ้นพบว่า %ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตวัดรังสีแกมมาทั้ง 2 ระดับ สามารถให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) ที่มีค่าน้อยกว่า 0.5%

5. การวัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิง

การวัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ของเครื่องฉายรังสี OB85 ภายในห้อง SSDL ก่อนทำการทดลองได้ทำการศึกษาขั้นต้นเพื่อหาระยะแนวลำรังสีที่ระยะ 1 และ 2 เมตร โดยใช้แผ่นบันทึกภาพวัดที่ระยะดังกล่าว เพื่อหาระยะแนวลำรังสี ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวทำให้สามารถกำหนดจุดวัดได้ดังภาพที่ 21 เมื่อวัดการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงทุกตำแหน่งที่กำหนด คำนวณหาระดับการกระเจิงของรังสี (mR/h) จากผลของค่า PSL/mm^2 ที่ได้โดยใช้ค่า C.F. แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภาพ 3 มิติ แสดงระดับการกระเจิงของรังสีภายในห้อง SSDL แสดงดังภาพที่ 25 สำหรับข้อมูลแสดงระดับรังสีกระเจิง ณ จุดต่างๆ ภายในห้อง SSDL และในตารางผนวกที่ 5 และภาพผนวกที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

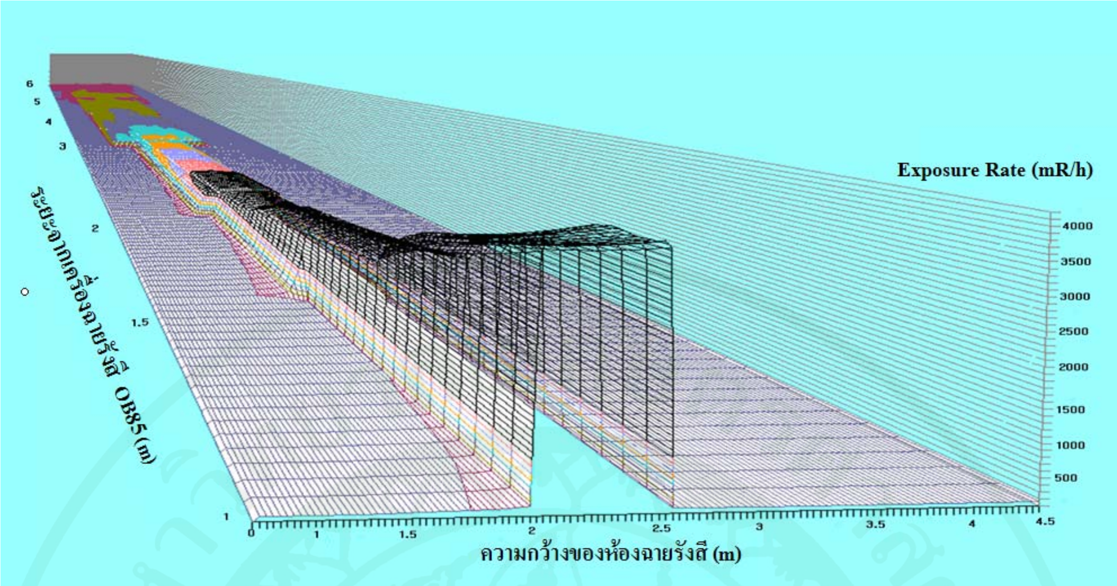


ภาพที่ 25 ภาพสามมิติแสดงระดับการกระเจิงของรังสีที่ระยะ 1-6 เมตร ซึ่งบริเวณสีเขียวจะเป็นบริเวณที่มีระดับการกระเจิงของรังสี ส่วนบริเวณสีน้ำเงินและแดงเป็นสนามรังสีที่ตัดออกไปแสดงในภาพที่ 26

จากภาพที่ 25 ภายในห้อง SSDL ซึ่งมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 10 เมตร จะเห็นว่าค่าการกระเจิงของรังสีมีค่าสูงโดยเฉลี่ยเกือบทั่วห้องปฏิบัติการฯ สาเหตุอาจเนื่องมาจากอุปกรณ์จัดวางสำหรับการสอบเทียบเครื่องวัดรังสี รวมทั้งเครื่องกำบังรังสีที่เป็นโลหะ และมีการจัดวางอยู่บริเวณกลางแนวลำรังสี ค่าการกระเจิงที่ระยะห่าง 1 เมตร ถึง 6 เมตร นอกแนวลำรังสีมีค่าประมาณ 63 – 80 mR/h โดยมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย (Expanded Uncertainty) คิดเป็น 7% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 3

สำหรับระดับการกระเจิงของรังสีแกมมา ระยะ 1 เมตร มีค่าประมาณ 71.56 mR/h จากเครื่องฉายรังสีแกมมา OB85 เทียบกับค่าระดับรังสีของแนวลำรังสีซึ่งมีค่าประมาณ 3880 mR/h พบว่ามีค่าการกระเจิงของรังสีประมาณ 1.8% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับตาม ISO 4037 (ISO, 1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 สนามรังสีจากเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ระยะ 1-6 เมตร ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำหรับ Cs-137

จากภาพที่ 26 แสดงสนามรังสี (Field size) จากเครื่องฉายรังสี OB85 เมื่อคำนวณระยะของขอบแนวรังสีจะได้สนามรังสีมีค่า 0.40 1.04 1.50 1.90 และ 2.42 เมตร ที่ระยะห่าง 1 2 3 4 และ 5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสนามรังสีที่ได้มีลักษณะเป็นรูปกรวยจากเครื่องฉายรังสี OB85 ไปตลอดความยาวของห้องฉายรังสีภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

6. การนำระดับรังสีกระเจิงที่ได้จากการทดลองไปใช้งานจริง

จากการใช้มาตรรังสีแบบพกพา รุ่น RAD-60S ซึ่งมีพิสัยในช่วง 0 µSv – 99.9 Sv ที่ผ่านการสอบเทียบ โดยห้อง SSDL ซึ่งมีค่า $C.F._{PD} = 1.06$ และ $u_{exp} = 6\%$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มาวัดค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ 100 µSv ณ พิกัดดังภาพที่ 22 เพื่อตรวจสอบการกระเจิงของระดับรังสีที่ได้จากการใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต และนำระดับรังสีกระเจิงที่ได้จากระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตไปใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับงานสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสี และมาตรรังสีแบบพกพา โดยไม่จำเป็นต้องจัดวางในสนามรังสีของห้อง SSDL ได้ผลการวัดดังตารางที่ 6 และตารางผนวกที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลการวัดระดับรังสีกระเจิงที่ปริมาณรังสี 100 μSv ด้วยมาตรรังสีแบบพกพา (PD) ณ พิกัดต่างๆ โดย C.F. $_{PD}$ = 1.06 และ u_{exp} = 6% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การกระเจิงของระดับรังสี		พิกัด	เวลาฉาย	ปริมาณรังสี (μSv)		ร้อยละความคลาดเคลื่อน
				ที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา	ที่แก้ค่าด้วย C.F ของ PD	
mR/h	mSv/h	(x,y)*	sec			
77.56	0.817	1,1	440	87	92.6	-7.4
97.5	1.027	1,1.7	350	88	93.1	-6.9
70.26	0.740	1,2.8	486	89	93.9	-6.1
65.9	0.694	1,3.5	518	90	95.0	-5.0
73.42	0.774	1.5,1	466	87	92.6	-7.4
67.77	0.714	1.5,3.5	504	88	93.1	-6.9
72.12	0.760	2,1	474	88	93.1	-6.9
67.49	0.711	2,3.5	506	89	94.3	-5.7
72.97	0.769	3,1	468	87	92.4	-7.6
68.96	0.727	3,3.5	496	89	93.9	-6.1
77.04	0.812	4,1	443	87	92.6	-7.4
72.29	0.762	4,3.5	473	89	94.3	-5.7

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 22)

จากตารางที่ 6 มาตรรังสีแบบพกพา รุ่น RAD-60S ที่ผ่านการสอบเทียบจากห้อง SSDL สามารถวัดค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ 100 μSv จากอัตราการกระเจิงของรังสีที่ได้จากการใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต ที่พิกัดต่างๆ พบว่าค่าที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา เมื่อแก้ค่า C.F ของมาตรรังสีแบบพกพา มีค่าเท่ากับ C.F. $_{PD}$ = 1.06 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ 100 μSv มีร้อยละความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 – 8%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาจากความไม่แน่นอนแบบขยายของการวัดของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตซึ่งมีค่า 7% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความไม่แน่นอนแบบขยายของมาตรรังสีแบบพกพาที่ผ่านการสอบเทียบจากห้อง SSDL มีค่า 6% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากการนำมาตรรังสีแบบพกพาวัดค่าปริมาณรังสีกระเจิง 100 μSv พบว่ามีร้อยละความคลาดเคลื่อน 5 – 8% อยู่ในช่วงความไม่แน่นอนของการวัดของระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตและมาตรรังสีแบบพกพา ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการวัดระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาในห้อง SSDL ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตสามารถนำผลการวัดที่ได้มาใช้เป็นค่าระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องฉายรังสี สำหรับใช้เพื่อการสอบเทียบเครื่องสำรวจรังสีและมาตรรังสีแบบพกพา ซึ่งเป็นการสนับสนุนการป้องกันอันตรายจากรังสีตามภารกิจหลักของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการวัดค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาจากเครื่องฉายรังสี OB85 ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ด้วยระบบวัดอิมเมจจิงเพลต สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต มีความคงที่สูง โดยมีความสามารถวัดซ้ำได้ดี (Repeatability) เมื่อควบคุมการฉายและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน ก่อนการนำไปอ่านผล โดยค่าที่วัดได้คิดเป็น PSL/mm^2 ที่พิกัดต่างๆ มีความไม่แน่นอนของการวัดสัมพัทธ์ประมาณ ± 0.5 % เทียบกับค่า PSL/mm^2 เฉลี่ย สำหรับแต่ละพิกัด

2. แผ่นบันทึกภาพ BAS-MS2040 มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสี หรือมีค่า Calibration Factor (C.F.) เท่ากับ 0.094 mR PSL^{-1} mm^2 สำหรับ Cs-137

3. ผลการวัดระดับการกระเจิงภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ซึ่งมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 10 เมตร ที่ระยะ 1-6 เมตรนอกแนวรังสี มีค่าประมาณ 63 – 80 mR/h โดยมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย (Expanded Uncertainty) คิดเป็น 7% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีระดับการกระเจิงของรังสีแกมมา ที่ระยะ 1 เมตร จากเครื่องฉายรังสีแกมมา OB85 เทียบกับค่าระดับรังสีของแนวลำรังสี ประมาณ 1.8% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับตาม ISO 4037 ซึ่งกำหนดให้มีค่าการกระเจิงไม่เกิน 5% อีกทั้งยังพิสูจน์ว่าระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาภายในห้องปฏิบัติการฯ เป็นไปตามข้อกำหนด นับเป็นการสนับสนุนการป้องกันอันตรายจากรังสี ตามภารกิจหลักของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

4. สนามรังสี (Field size) จากเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ระยะ 1-6 เมตร ในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำหรับ Cs-137 เมื่อคำนวณระยะของขอบแนวรังสีจะได้สนามรังสีมีลักษณะเป็นรูปกรวยมีความกว้าง 0.40 1.04 1.50 1.90 และ 2.42 เมตร ที่ระยะห่าง 1 2 3 4 และ 5 เมตร ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ระดับรังสีการกระเจิงที่วัดได้โดยใช้ระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตนั้นสามารถนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงในการสอบเทียบสำหรับงานสอบเทียบเครื่องสำรวจระดับรังสี และมาตรรังสีแบบพกพา นอกจากแนวลำรังสีหลัก โดยไม่จำเป็นต้องจัดวางในสนามรังสีของห้องปฏิบัติการมาตรฐานทุติยภูมิ

6. ระบบการวัดแบบอิมเมจจิงเพลต นอกจากจะสามารถตรวจวัดภาพถ่ายของรังสี โดยแสดงเป็นภาพ 2 มิติแล้ว ยังสามารถแสดงปริมาณ หรือความเข้มของรังสีในแต่ละจุดได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากภายในห้อง SSDL มีเครื่องฉายรังสี 3 เครื่องที่บรรจุวัสดุกัมมันตรังสีหลายชนิดคือ ^{137}Cs ^{60}Co และ ^{241}Am-Be ซึ่งวัสดุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดมีพลังงานไม่เท่ากัน ดังนั้นควรพิสูจน์เกี่ยวกับ spectrum ของโฟตอน เพื่อให้ทราบว่าการกระเจิงของรังสีภายในห้อง SSDL มีรังสีอื่นๆ จากวัสดุกัมมันตรังสีชนิดอื่นมาปนด้วยหรือไม่

การกระเจิงของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ของเครื่องฉายรังสี OB85 ที่ได้ภายในห้อง SSDL ควรพิสูจน์เกี่ยวกับ spectrum ของการกระเจิง เพื่อดูว่ามีค่าพลังงานเท่ากับ 661.65 keV หรือแตกต่างมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการสอบเทียบ Film badge หรือ TLD ได้ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ. 2546. **เรื่องการวัดค่าตัวประกอบการสอบเทียบของระบบอิมเมจจิงเพลต,** ปัญหาพิเศษ ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. 2551. **อิเมจจิงเพลท (Imaging Plate)**. แหล่งที่มา: http://www.nst.or.th/article/article143/article1439.htm, มีนาคม 2552.

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546. **การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2.** สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.

อำไพ สุขบำเพิง. 2548. **การตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตจราดิโอกราฟี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Boukhaira, A., C. Heilmanna, A. Nourreddinea, A. Papea and G. Portalc. 2001. Fast neutron and γ-ray dosimetrywith imaging plates. **Radiation Measurements**. 34, 513–516.

Curry, T.S., J.E. Dowdey and R.C. Murry. 1990. **Christensen's Physics of Diagnostic Radiology.** 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.

Fujifilm. 1995. **Bio-Imaging Analyzer BAS-2500 Operation Manual**. First edition.

Glenn, F.K. 1989. **Radiation Detection And Measurement.** Applied Radiation and Isotope. 730: 287-326

IAEA (International Atomic Energy Agency). 1999. **SSDL Network Charter: The IAEA/WHO Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories.** Vienna.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2000. **Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments.** Safety Report Series No.16. Vienna.

IAEA (Intenational Atomic Energy Agency). 2008. **Measurement Uncertaity. A Practical for Secondary Standard Dosimetry Laboratories.** IAEA-TECDOC-1585. Vienna.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2009. **Calibration of Dosimeter Used in Radiotherapy.** Technical Report Series No.374. Vienna.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2009. **Calibration of Reference Dosimeter for External Beam Radiotherapy.** Technical Report Series No.469. Vienna.

ISO (International Organization for Standardization). 1996. **ISO 4037-1, X and gamma reference radiation for calibration dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1: Radiation characteristics and production methods.** First edition. Switzerland.

JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). 2008. **Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).** BIPM.

JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). 2008. **International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).** BIPM.

Miyahara, J. 1987. Digital radiography – imaging plate and its application. **Measurement Control.** 26, 7-14.

Mori, K. and K. Hama, 1994. Image analysis system – IP autoradiography system (BAS). **Protein Nucleic Acid Enzyme.** 39, 1877-87.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mouhssine, D., A. Nourreddine, A. Nachab, F. Fernandez, C. Domngo, H. Muller, K. Amgarou, A. Pape, and D. Raiser. 2004. Calibration factor for estimating personal dose equivalent with imaging plates. **Radiation Measurements.** 40, 612-615.

National Physical Laboratory (NPL). 2003. **Measurement Good Practice Guide No.49: The Assessment of Uncertainty in Radiological Calibration and Testing.**

Pimpl, M. 2007. **Progress and Quality Management in Radiostrontium Analysis.** IAEA Regional Training Course on Analytical Methods and Quality Management in Marine Environment Radioactivity Studies.

Saze, T. and K. Nishizawa, 2003. A Method for determining the region of an image obtained with an imaging plate. **Nuclear Instruments & Methods in Physics Research.** A517, 381 - 388.

Yamadera, A., E. Kim, T. Miyata and T. Nakamura. 1995. Development of high sensitivity x- and γ-ray personal dosimeter using photostimulated luminescent detector. **Applied Radiation Isotopes**. 46, 467–468.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ผลการศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการลบแผ่นบันทึกภาพ และระยะเวลาในการวางแผ่นบันทึกภาพเพื่อวัดระดับรังสีพื้นหลัง และระดับรังสีในห้องฉายรังสีที่ระยะ 5 เมตร

เวลาฉาย	Coordinate (x,y)*	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี				PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง			
		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที	
		Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV
1	5,2.07	32.33	1.83	31.56	0.75	0.21	5.41	0.15	3.94
	5,2.09	32.25	1.97	31.15	0.72	0.21	4.76	0.14	4.03
	5,2.11	32.29	1.97	31.13	0.76	0.20	5.87	0.15	3.94
	5,2.13	32.28	1.85	31.18	0.59	0.19	5.26	0.14	4.22
	5,2.15	32.32	1.89	31.06	0.62	0.20	5.00	0.14	4.22
	5,2.17	32.34	1.88	31.18	0.81	0.20	5.68	0.14	4.03
	5,2.19	32.30	1.91	31.26	0.56	0.20	5.00	0.14	4.03
	5,2.21	32.37	1.88	31.28	0.65	0.20	5.68	0.14	4.03
	5,2.23	32.29	1.95	31.30	0.65	0.21	5.59	0.14	4.03
	5,2.25	32.38	1.86	31.44	0.56	0.20	5.00	0.15	3.94
	5,2.27	32.34	1.90	31.36	0.69	0.20	5.00	0.15	3.94
	5,2.29	32.28	1.86	31.25	0.60	0.20	5.00	0.14	4.03

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลาฉาย	Coordinate (x,y)*	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี				PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง			
		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที	
		Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV
1	5,2.31	32.17	1.95	31.34	0.68	0.20	5.87	0.14	4.03
	5,2.33	32.29	1.98	31.09	0.60	0.20	5.87	0.14	4.03
	5,2.35	32.22	1.81	31.11	0.52	0.20	5.00	0.14	4.03
	5,2.37	32.24	1.96	31.11	0.60	0.20	5.68	0.14	4.03
	5,2.39	32.24	1.97	31.44	0.73	0.21	4.76	0.15	3.94
	5,2.41	32.31	1.90	31.07	0.58	0.21	5.59	0.15	3.94
	5,2.43	32.19	1.89	31.27	0.62	0.22	5.17	0.15	3.94
	5,2.45	32.21	1.88	31.01	0.76	0.20	5.68	0.14	4.03
5	5,2.07	158.40	1.96	151.74	0.71	0.99	5.34	0.83	4.34
	5,2.09	158.51	1.99	152.29	0.73	0.96	5.51	0.86	4.72
	5,2.11	158.96	1.98	152.42	0.75	0.95	5.78	0.85	4.77
	5,2.13	158.12	1.90	151.98	0.66	0.94	5.88	0.83	4.21
	5,2.15	158.13	1.87	151.94	0.70	0.95	5.26	0.84	4.94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลาฉาย	Coordinate (x,y)*	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี				PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง			
		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที	
		Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV
5	5,2.17	158.48	1.93	152.04	0.65	0.95	5.26	0.86	4.42
	5,2.19	158.56	1.91	152.61	0.77	0.95	4.99	0.85	4.71
	5,2.21	158.54	1.89	152.56	0.84	0.93	6.54	0.85	4.24
	5,2.23	159.28	1.88	152.33	0.71	0.96	6.30	0.87	4.37
	5,2.25	159.53	1.87	152.30	0.63	0.95	5.78	0.85	4.12
	5,2.27	158.95	1.98	152.30	0.68	0.98	7.70	0.86	4.19
	5,2.29	158.50	1.90	151.94	0.64	0.96	6.83	0.83	4.58
	5,2.31	158.46	1.92	152.27	0.72	0.95	8.80	0.86	4.19
	5,2.33	158.43	1.93	152.25	0.69	0.95	5.57	0.85	4.88
	5,2.35	158.83	1.88	151.77	0.68	0.93	5.69	0.85	4.24
	5,2.37	158.62	1.85	152.37	0.72	0.94	5.34	0.85	4.77
	5,2.39	158.92	1.94	151.76	0.67	0.94	5.88	0.84	4.20
	5,2.41	158.97	1.94	152.23	0.70	0.95	6.32	0.83	4.58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลาฉาย	Coordinate (x,y)*	PSL/mm^2 ในห้องฉายรังสี				PSL/mm^2 ของรังสีพื้นหลัง			
		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที		ลบ 5 นาที		ลบ 10 นาที	
		Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV
5	5,2.43	158.80	1.87	152.32	0.74	0.98	6.00	0.84	4.29
	5,2.45	158.57	1.85	151.99	0.89	0.98	6.69	0.85	4.77

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 21)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 การสอบเทียบระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต

Coordinate	STD. Dose rate mR/h	Irradiation time min	Dose mR	Reading PSL/mm^2
2,2.25*	967.49	1	16.12	156.57
		2	32.25	335.67
		3	48.37	501.13
		4	64.50	688.27
		5	80.62	835.63

*2,2.25 หมายถึง พิกัดบนกึ่งกลางแผ่นบันทึกภาพที่ระยะห่างจากเครื่องฉายรังสี OB เป็นระยะทาง 2 เมตร

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวัดระดับรังสีแกมมาอ้างอิงจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะ 2 เมตร ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 mRPSL^{-1}mm^2

Attenuator	STD mR/h	Coordinate (x,y)*	Reading (PSL/mm^2; mean, n=5)	Dose rate mR/h	%error
Open	962.61	2,2.07	168.63	1011.48	5.08
		2,2.09	169.58	1016.85	5.63
		2,2.11	169.58	1016.85	5.63
		2,2.13	169.58	1016.85	5.63
		2,2.15	169.52	1016.51	5.60
		2,2.17	170.18	1020.24	5.99
		2,2.19	169.72	1017.64	5.72
		2,2.21	169.28	1015.16	5.46
		2,2.23	169.84	1018.32	5.79
		2,2.25	168.90	1013.01	5.24
		2,2.27	169.43	1016.00	5.55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Attenuator	STD mR/h	Coordinate (x,y)*	Reading (PSL/mm^2; mean, n=5)	Dose rate mR/h	%error
Open	962.61	2,2.29	170.08	1019.68	5.93
		2,2.31	169.85	1018.38	5.79
		2,2.33	169.47	1016.23	5.57
		2,2.35	169.63	1017.13	5.66
		2,2.37	169.33	1015.44	5.49
		2,2.39	169.86	1018.43	5.80
		2,2.41	170.00	1019.23	5.88
		2,2.43	169.56	1016.74	5.62
		2,2.45	168.83	1012.61	5.19
A	76.3	2,2.07	4.07	81.39	6.67
		2,2.09	4.11	81.62	6.97
		2,2.11	4.05	81.28	6.52
		2,2.13	4.11	81.62	6.97
		2,2.15	4.00	80.99	6.15
		2,2.17	4.11	81.62	6.97
		2,2.19	4.07	81.39	6.67
		2,2.21	4.09	81.50	6.82
		2,2.23	4.06	81.33	6.60
		2,2.25	4.02	81.11	6.30
		2,2.27	4.07	81.39	6.67
		2,2.29	4.04	81.22	6.45
		2,2.31	3.98	80.88	6.00
		2,2.33	4.07	81.39	6.67
		2,2.35	4.07	81.39	6.67
		2,2.37	4.11	81.62	6.97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Attenuator	STD mR/h	Coordinate (x,y)*	Reading (PSL/mm^2; mean, n=5)	Dose rate mR/h	%error
A	76.3	2,2.39	4.04	81.22	6.45
		2,2.41	4.02	81.11	6.30
		2,2.43	3.98	80.88	6.00
		2,2.45	4.02	81.11	6.30

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 21)

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวัดระดับรังสีกระเจิงที่ปริมาณรังสี 100 μSv ด้วยมาตรรังสีแบบพกพา (PD) ณ พิกัดต่างๆ โดย C.F. $_{PD}$ = 1.06 และ u_{exp} = 6% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การกระเจิงของระดับรังสี		พิกัด	เวลาฉาย	ค่าที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา (μSv)					
mR/h	mSv/h	(x,y)*	sec	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	mean
77.56	0.817	1,1	440	89	88	86	87	87	87
97.5	1.027	1,1.7	350	89	87	88	87	88	88
70.26	0.740	1,2.8	486	88	87	89	90	89	89
65.9	0.694	1,3.5	518	89	91	90	89	89	90
73.42	0.774	1.5,1	466	88	89	87	86	87	87
67.77	0.714	1.5,3.5	504	89	87	88	87	88	88
72.12	0.760	2,1	474	88	88	87	89	87	88
67.49	0.711	2,3.5	506	90	89	88	90	88	89
72.97	0.769	3,1	468	88	87	86	87	88	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

การกระเจิงของระดับรังสี		พิกัด	เวลาฉาย	ค่าที่อ่านได้จากมาตรรังสีแบบพกพา (μSv)					
mR/h	mSv/h	(x,y)*	sec	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	mean
68.96	0.727	3,3.5	496	89	90	89	87	88	89
77.04	0.812	4,1	443	88	88	87	88	86	87
72.29	0.762	4,3.5	473	90	89	88	88	90	89

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 22)

ตารางผนวกที่ 5 ระดับการกระเจิงของรังสีแกมมาภายในห้องฉายรังสี ณ พิกัดต่างๆ ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต โดยฉายรังสี 1 นาที C.F. 0.094 $mRPSL^{-1}mm^{2}$

coordinate		Reading	Dose	Dose rate	
x*	y**	PSL/mm^2	mR	mR/h	mSv/h
1	4.5	1.10	1.077	64.60	0.685
1.5	4.5	1.11	1.078	64.66	0.685
2	4.5	1.10	1.077	64.60	0.685
2.5	4.5	1.59	1.123	67.37	0.714
3	4.5	0.97	1.064	63.87	0.677
3.5	4.5	1.52	1.116	66.98	0.710
4	4.5	1.38	1.103	66.19	0.702
4.5	4.5	1.74	1.137	68.22	0.723
5	4.5	1.90	1.152	69.12	0.733
5.5	4.5	2.03	1.164	69.86	0.741
6	4.5	2.18	1.178	70.71	0.749

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

coordinate		Reading	Dose	Dose rate	
x*	y**	PSL/mm^2	mR	mR/h	mSv/h
1	1	2.33	1.193	71.56	0.758
1	1.7	2.36	1.195	71.72	0.760
1	2.25	683.47	65.356	3921.36	41.566
1	2.8	2.10	1.171	70.26	0.745
1	3.5	2.38	1.197	71.84	0.761
1.5	1	2.66	1.224	73.42	0.778
1.5	1.7	8.39	1.763	105.81	1.122
1.5	2.8	2.75	1.232	73.93	0.784
1.5	3.5	2.80	1.237	74.21	0.787
2	1	2.43	1.202	72.12	0.764
2	1.7	15.00	2.386	143.17	1.518
2	2.25	177.69	17.711	1062.69	11.265
2	2.8	2.46	1.205	72.29	0.766
2	3.5	2.42	1.201	72.06	0.764
2.5	1	3.05	1.260	75.62	0.802
2.5	3.5	1.91	1.153	69.18	0.733
3	1	2.58	1.216	72.97	0.773
3	1.7	67.88	7.367	442.04	4.686
3	2.25	79.78	8.488	509.30	5.399
3	2.8	78.70	8.387	503.20	5.334
3	3.5	1.87	1.149	68.96	0.731
3.5	1	3.62	1.314	78.85	0.836
3.5	3.5	2.50	1.209	72.52	0.769
4	1	3.30	1.284	77.04	0.817
4	1.7	41.36	4.869	292.15	3.097

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

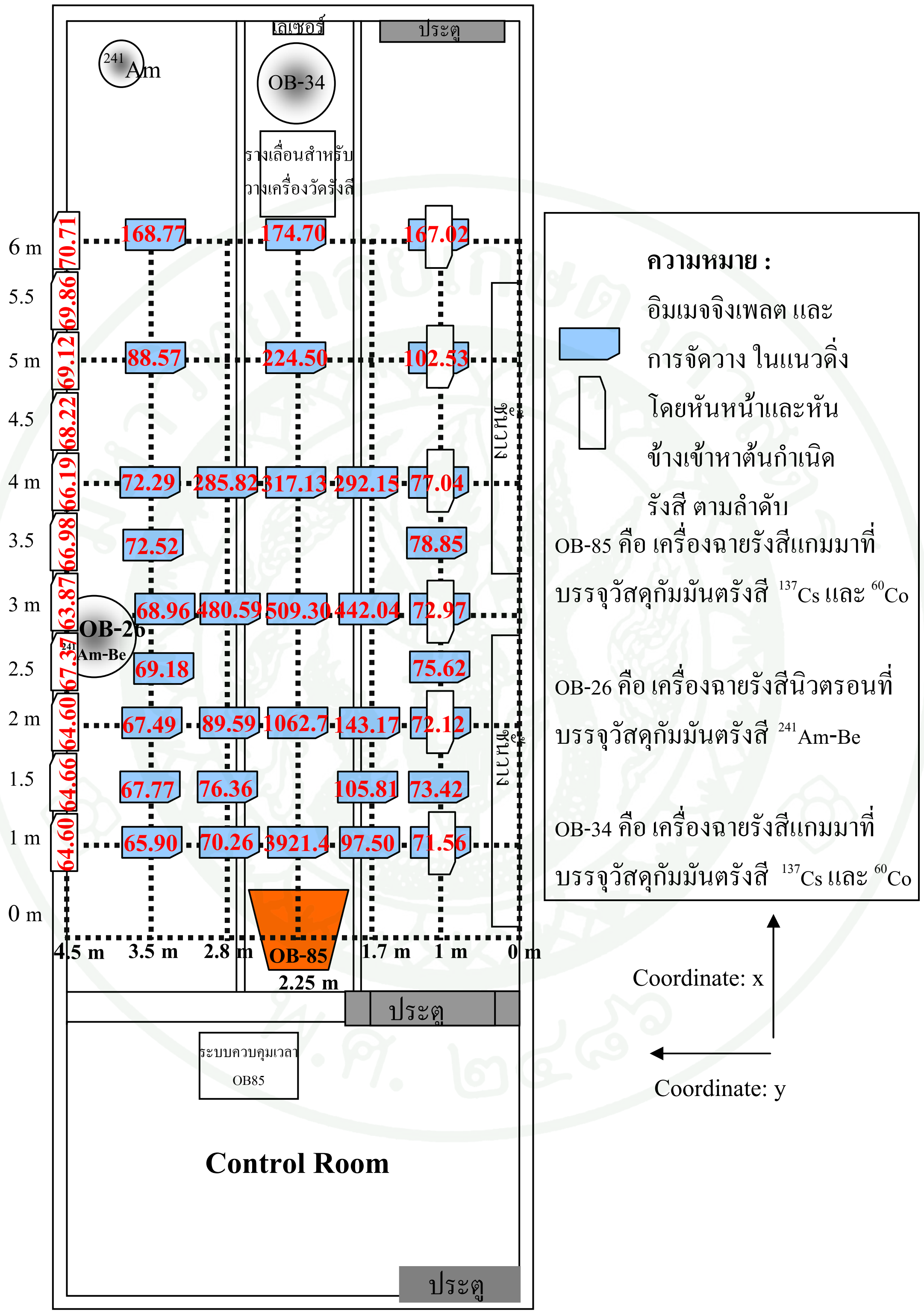
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

coordinate		Reading	Dose	Dose rate	
x*	y**	PSL/mm^2	mR	mR/h	mSv/h
4	2.25	45.78	5.286	317.13	3.362
4	2.8	40.24	4.764	285.82	3.030
4	3.5	2.46	1.205	72.29	0.766
5	1	13.21	2.217	133.05	1.410
5	2.25	29.39	3.742	224.50	2.380
5	3.5	5.34	1.476	88.57	0.939
6	1	19.22	2.784	167.02	1.770
6	2.25	20.58	2.912	174.70	1.852
6	3.5	19.53	2.813	168.77	1.789

* x = ระยะทาง (m) จากต้นกำเนิดรังสี OB85

** y = ระยะทาง (m) จากผนังด้านขวาจากต้นกำเนิดรังสี OB85 (ดังภาพที่ 21)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 1 แผนภาพระดับรังสี (mR/h) ภายในห้อง SSDL

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวอังศุมาลิน อินแตง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 พฤษภาคม 2520
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
ประวัติการศึกษา	วทบ.ฟิสิกส์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักฟิสิกส์รังสี ปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กลุ่มมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	งานวิจัยการวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลตงานวิจัยการวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนภายใต้โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์