



รายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการวัดปริมาณรังสีสำหรับ Gafchromic EBT3 फिल्मใน
เทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม

Improving the time efficiency method of Gafchromic EBT3 film dosimetry for
IMRT techniques

โดย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย
สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2567



การเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการวัดปริมาณรังสีสำหรับ Gafchromic EBT3 फिल्मใน
เทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม

Improving the time efficiency method of Gafchromic EBT3 film dosimetry for
IMRT techniques

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญจนพร โตชัยกุล

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2567

ชื่อเรื่อง: การเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการวัดปริมาณรังสีสำหรับ Gafchromic EBT3 फिल्मในเทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม

ผู้วิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญจนพร โตชัยกุล

สถาบัน: คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่พิมพ์: 2567

สถานที่พิมพ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

แหล่งที่เก็บรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

จำนวนหน้างานวิจัย: 37 หน้า

คำสำคัญ: फिल्मตรวจวัดรังสี, แผ่นฟิล์มภาพโครมิก อีบีทีสาม, ความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ, การสอบเทียบรังสี, การควบคุมคุณภาพเฉพาะผู้ป่วย

ลิขสิทธิ์: มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางโดสของฟิล์ม Gafchromic EBT3 สำหรับการวัดปริมาณรังสีด้วยวิธีแม่นยำและรวดเร็ว โดยทำการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) หลังการฉายรังสีในช่วงโดสต่าง ๆ (50–1000 cGy) และประเมินผลในช่วงเวลาหลังฉายที่แตกต่างกัน (1–48 ชั่วโมง) พบว่าค่า netOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 ชั่วโมงแรกและคงที่หลัง 24 ชั่วโมง โดยการใช้สเกลแฟกเตอร์ (Scaling Factor) สามารถชดเชยค่าความเบี่ยงเบนของการอ่านค่าในช่วงเวลาสั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การตอบสนองของฟิล์มในช่องสีแดงแสดงค่าความไวต่อรังสีสูงสุด จึงถูกเลือกใช้ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างโดสและ netOD ซึ่งแบบจำลอง polynomial ให้ความแม่นยำสูง ($R^2 > 0.998$) งานวิจัยนี้สนับสนุนการใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 สำหรับการควบคุมคุณภาพด้านรังสี โดยเฉพาะในบริบทของงาน Patient-Specific QA ที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำสูง

Title: Improving the time efficiency method of Gafchromic EBT3 film dosimetry for IMRT techniques
Researcher: Gunjanaporn Tochaikul
Institution: Faculty of Radiologic Technology, Rangsit University
Year of Publication: 2025
Publisher: Rangsit University
Sources: Rangsit University
No. of pages: 37 pages
Keywords: Dosimetric Film, Gafchromic EBT3, Net Optical Density, Radiation Calibration, Patient-Specific QA
Copyrights: Rangsit University

Abstract

This study aims to characterize the dosimetric response of Gafchromic EBT3 films for accurate and rapid radiation dose measurement. The net optical density (netOD) was evaluated at various dose levels (50–1000 cGy) and post-irradiation time points (1–48 hours). Results indicated a rapid increase in netOD within the first 6 hours, followed by a plateau after 24 hours. The use of scaling factors effectively corrected deviations in early-time readings. Among RGB channels, the red channel exhibited the highest radiation sensitivity and was selected for dose calculation. The dose–netOD relationship modeled using a second-order polynomial yielded high accuracy ($R^2 > 0.998$). This study supports the application of Gafchromic EBT3 films for radiation quality assurance, especially in patient-specific QA procedures requiring both precision and efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะวิจัยขอขอบพระคุณ คณะที่มอาจารย์คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต และคณะรังสีเทคนิคที่อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่และอุปกรณ์ เครื่องมือ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญจนพร โตชัยกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
สมมุติฐานของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	8
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	8
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	8
การเก็บรวบรวมข้อมูล	11
การวิเคราะห์ข้อมูล	11
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	13
บทที่ 5 สรุป วิวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	21
สรุป	27
วิจารณ์	28
ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	34
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
1. An example IMRT treatment plan	4
2. ลักษณะของฟิล์มเรดิโอโครมิก (radiochromic film)	5
3. Absorption spectra produced post-irradiation for EBT Gafchromic film	6
4. Photograph of the Varian iX Clinac machine being prepared to irradiate a sample	9
5. (a) FC-65G ionization chamber (b) DOSE1 electrometer	9
6. ค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) หลังการฉายรังสีในระดับโดสที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเป็นฟังก์ชันของเวลา	14
7. แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) ของฟิล์ม EBT3 ซึ่งถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐานโดยอ้างอิงเวลา 0.5 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี	14
8. แสดงกราฟการตอบสนองต่อโดสของฟิล์ม EBT3 ที่ถูกสแกนในทิศทางต่าง ๆ	15
9. กราฟการตอบสนองต่อโดสของค่าฟิกเชล (PV) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)	16
10. กราฟแสดงความไวต่อรังสีจากค่าฟิกเชล (PV) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)	17
11. กราฟการตอบสนองต่อโดสของค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)	18
12. กราฟแสดงความไวต่อรังสีจากค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)	18
13. แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวเส้นทแยงมุมย้อนกลับ (backward diagonal line) ซึ่งวัดจากค่า ฟิกเชล (PV) ภายในบริเวณลำรังสี 80% ของขนาดสนามฉาย 10 × 10 ซม.	21
14. แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวเส้นทแยงมุมไปข้างหน้า (forward diagonal line) ของบริเวณ ภายในลำรังสี 80% ของขนาดสนามฉาย 10 × 10 ซม.	23
15. แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวนอน (horizontal line) ที่ได้จากค่าฟิกเชล (PV) บริเวณภายในลำรังสี 80% ของสนามฉายแบบสี่ทิศทาง (four-fields box)	25

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดปริมาณรังสีที่ถูกต้องมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาด้วยรังสีที่มีประสิทธิภาพ การวัดปริมาณรังสีที่ผิดพลาดอาจนำไปสู่ผลข้างเคียงที่ร้ายแรง เช่น เนื้อเยื่อปกติถูกทำลายมากเกินไป หรือก้อนมะเร็งได้รับปริมาณรังสีที่ไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการเติบโตของก้อนมะเร็งได้

เรดิโอโครมิกฟิล์ม (Radiochromic film) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับการวัดปริมาณรังสีในแนวระนาบสองมิติ มีความละเอียดสูง ค่าเลขอะตอมใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อ และขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของรังสีที่วัดได้ อย่างไรก็ตามเรดิโอโครมิกฟิล์มมีข้อจำกัดอยู่ประการหนึ่ง คือต้องรอระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังการวัดปริมาณรังสี ด้วยเหตุนี้ การวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะลดระยะเวลาการตอบสนองของเรดิโอโครมิกฟิล์มให้น้อยกว่า 24 ชั่วโมง การวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งเกี่ยวข้องกับเรดิโอโครมิกฟิล์มมาปรับใช้กับเรดิโอโครมิกฟิล์มชนิด Gafchromic EBT3 film (EBT3)

โดยเป้าหมายของการวิจัยนี้คือ พัฒนาวิธีการลดระยะเวลาการตอบสนองของเรดิโอโครมิกฟิล์ม Gafchromic EBT3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน และประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการใช้งานจริง คาดว่าการวิจัยนี้จะนำไปสู่การวัดปริมาณรังสีที่รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น กระบวนการรักษาด้วยรังสีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดค่าใช้จ่าย และขยายการใช้งานเรดิโอโครมิกฟิล์ม รวมถึงการวิจัยนี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการวัดปริมาณรังสี ผลลัพธ์ของการวิจัยนี้มีศักยภาพที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการรักษาด้วยรังสี

วัตถุประสงค์การวิจัย

มุ่งหวังที่จะพัฒนาวิธีการวัดปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้เรดิโอโครมิกฟิล์ม Gafchromic EBT3 film (EBT3) โดยผลลัพธ์ของการวิจัยนี้มีศักยภาพที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการรักษาด้วยรังสี ลดค่าใช้จ่ายและขยายการใช้งานเรดิโอโครมิกฟิล์ม

สมมติฐานของการวิจัย

วิธีการใช้เรดิโอโครมิกฟิล์ม Gafchromic EBT3 film (EBT3) สามารถลดระยะเวลาการตอบสนองของฟิล์มให้น้อยกว่า 24 ชั่วโมงได้หรือไม่ รวมถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานเป็นอย่างไร

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง: -

ระยะเวลาในการทดลอง: 12 เดือน

งบประมาณ: 90,000 บาท

เนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง: การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบวิธีการปรับขนาดที่ใช้ในการสร้างกราฟการสอบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพและความแม่นยำ เมื่อเวลาการสแกนฟิล์ม Gafchromic EBT3 ที่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสีสำหรับเทคนิค IMRT ในการรักษามะเร็งต่อมลูกหมาก โดยขอบเขตของการศึกษานี้ใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 เนื่องจากช่วงปริมาณรังสีของฟิล์มเหมาะสมสำหรับการรักษาด้วย IMRT และการศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคลินิกของมะเร็งต่อมลูกหมาก (Solid water phantom) ที่มีสนามรังสีแบบคงที่ตามโปรโตคอล TG119 รวมถึงใช้ช่วงปริมาณรังสีของการฉายรังสีแบบปกติสำหรับลำแสงโฟตอนขนาด 6 MV

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงวิธีการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์ม Gafchromic EBT3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาสำหรับเทคนิคการบำบัดด้วยรังสีแบบปรับความเข้ม (IMRT) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์ม EBT3 ในการอ่านค่าปริมาณรังสีและลักษณะการวัดปริมาณรังสีกับลำแสงโฟตอน และการศึกษาวิธีการวัดปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพด้านเวลาโดยลดระยะเวลาหลังการฉายรังสีก่อนการสแกนฟิล์มให้เหลือน้อยกว่า 24 ชั่วโมงโดยนำวิธีการปรับสเกล (scaling method) และโปรโตคอลการสแกนครั้งเดียวมาใช้และประเมินผลการวัดปริมาณรังสีเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐานที่สแกนฟิล์มหลังจากฉายรังสี 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีการใหม่ในการประกันคุณภาพแผนการรักษา IMRT ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการรักษาด้วยรังสีบำบัดในอนาคต

นิยามศัพท์เฉพาะ

ฟิล์มภาพโครมิก (Gafchromic Film)	วัสดุชนิดพิเศษที่เปลี่ยนแปลงสีตามปริมาณรังสีที่ได้รับ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีหรือน้ำยาในการล้างฟิล์ม นิยมใช้ในการวัดปริมาณรังสีเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณในงานรังสีรักษาและรังสีวินิจฉัย
ความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (Net Optical Density, netOD)	ค่าความหนาแน่นของแสงที่ฟิล์มดูดซับได้หลังจากฉายรังสี ซึ่งได้จากการหักค่าความหนาแน่นของฟิล์มก่อนฉายรังสีออกจากค่าหลังฉายรังสี ใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณรังสีที่ฟิล์มได้รับ
การสอบเทียบโดส (Dose Calibration)	กระบวนการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความมืดของฟิล์ม (netOD หรือค่าฟิกเซล) กับปริมาณรังสีที่รู้ค่าแน่นอน เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณรังสีจากฟิล์มที่ใช้ในภายหลัง
ค่าความไวต่อรังสี (Radiation Sensitivity)	ความสามารถของวัสดุ เช่น ฟิล์ม ภาพโครมิก ในการตอบสนองต่อรังสีในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสีหรือความหนาแน่นของแสง ซึ่งสามารถใช้วัดความแม่นยำของวัสดุในการตรวจจับรังสีในช่วงพิสัยต่าง ๆ ได้

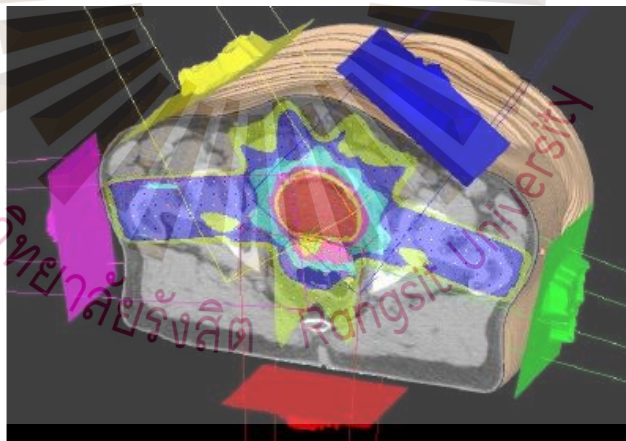
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การพัฒนาเทคโนโลยีวัดปริมาณรังสีคาดว่าจะให้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยในด้านเทคโนโลยีจะช่วยให้การวัดปริมาณรังสีมีความรวดเร็ว แม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดระยะเวลาการวัดจาก 24 ชั่วโมง ทำให้วัดปริมาณรังสีได้ทันทีหลังการฉายรังสี เพิ่มความสะดวก ประหยัดเวลา และลดข้อผิดพลาดในการวัด ในด้านการรักษา เทคโนโลยีใหม่นี้จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการรักษาด้วยรังสีให้แม่นยำขึ้น ช่วยให้แพทย์วางแผนการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลข้างเคียงต่อเนื้อเยื่อปกติ เพิ่มโอกาสการรักษาหายขาดและยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย นอกจากนี้ในด้านเศรษฐกิจการพัฒนาเทคโนโลยีนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการรักษา ลดการใช้ทรัพยากรและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ในด้านสังคม จะช่วยขยายการเข้าถึงการรักษาด้วยรังสีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มโอกาสในการเข้าถึงการรักษาสำหรับผู้ป่วยในชนบท และพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ในด้านวิชาการ การพัฒนาเทคโนโลยีนี้จะช่วยเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารและการประชุมวิชาการ รวมถึงการจัดสิทธิบัตรและส่งเสริมความรู้ด้านเทคโนโลยีการวัดปริมาณรังสี หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ โรงพยาบาล คลินิก สถาบันวิจัย หน่วยงานภาครัฐ และบริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

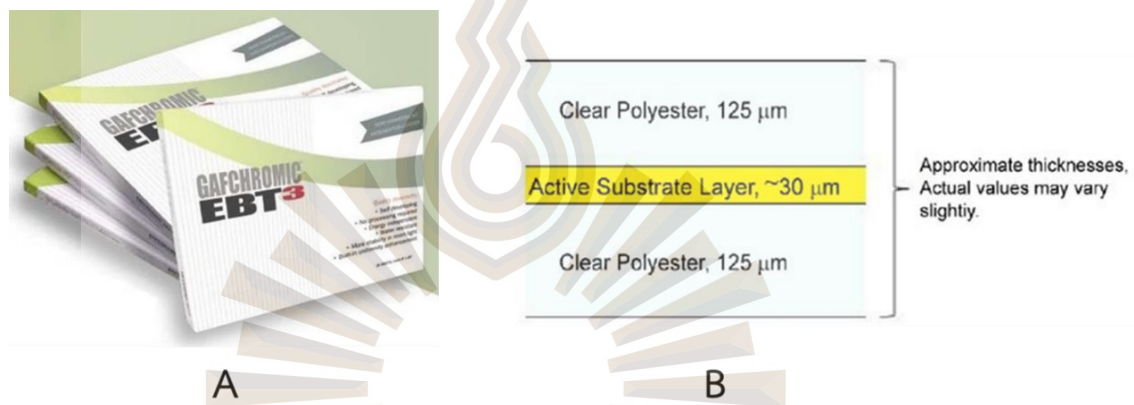
ในทางรังสีรักษา ความแม่นยำของการใช้ปริมาณรังสีและการกำหนดปริมาณรังสีที่ถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเทคนิคการรักษาสัมัยใหม่ เช่น การบำบัดด้วยรังสีแบบปรับความเข้ม (IMRT) (Bortfeld, 2006) ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีความความเข้มของปริมาณรังสีในทิศทางเดียวกันมีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของซีกำบังลำรังสีตลอดเวลา ระหว่างที่ทำการฉายรังสี โดยในแต่ละทิศทางของลำรังสีก็จะมีรูปแบบการเคลื่อนที่ของซีกำบังลำรังสีที่แตกต่างกันและเป็นอิสระต่อกัน เพื่อให้ปริมาณรังสีครอบคลุมอยู่เฉพาะตัวก้อนมะเร็งเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประกันคุณภาพเฉพาะบุคคล (patient-specific QA) เพื่อยืนยันแผนการรักษาก่อนการรักษาจริง (Agazaryan, Solberg, & DeMarco, 2003)



ภาพที่ 1 An example IMRT treatment plan (Courtesy of the Advanced Oncology Center, Inc.). ภาพจาก (Cambazard, O'Mahony, & O'Sullivan, 2012)

การกระจายตัวของรังสีแบบสองมิติ (2D dose distribution) มักใช้ในการประเมินแผนโดยใช้แผงตรวจจับแบบสองมิติ (2D detector array) อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดเนื่องจากขนาดขององค์ประกอบตรวจจับและช่องว่างระหว่างตรวจจับที่กว้าง (Waldron et al., 2003) ดังนั้นฟิล์มเรดิโอโครมิก (radiochromic film) จึงเป็นตัวเลือกที่ดีเพราะมีความละเอียดที่สูง อีกทั้งยังให้การตอบสนองในช่วง

ปริมาณรังสีที่กว้าง ดังนั้นฟิล์มเรดิโอโครมิก เช่น Gafchromic EBT3 จึงเหมาะสมมากในการประเมินปริมาณรังสีสำหรับ IMRT อย่างแม่นยำ (Devic, 2011) ดังภาพที่ 2 ฟิล์มรุ่น Gafchromic EBT3 มีส่วนประกอบดังนี้: ชั้นแอคทีฟ: ชั้นนี้มีความหนา 28-30 ไมโครเมตร (μm) ประกอบด้วยลิเทียม เพนทาโคซา-10,12-ไดไอนเอท (LiPCDA) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการตรวจจับรังสี และชั้นโพลีเอสเตอร์: ชั้นนี้อยู่ทั้งสองด้านของชั้นแอคทีฟ มีความหนา 125 ไมโครเมตร (μm) ทำหน้าที่ปกป้องชั้นแอคทีฟและกันน้ำ (Nalbant, Kesen, & Hatice, 2014)

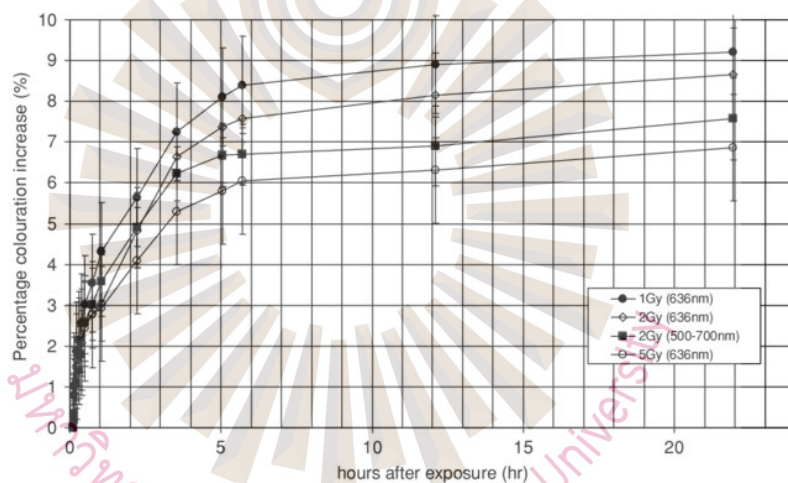


ภาพที่ 2 ลักษณะของฟิล์มเรดิโอโครมิก (radiochromic film) (a) Gafchromic EBT3 (b)

Structure of Gafchromic EBT3 Film. ภาพจาก (Nalbant et al., 2014)

อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์มเรดิโอโครมิกยังต้องมีการสอบเทียบกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มาจากตัวฟิล์มเองและสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเทียบ โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์หลัก 3 แบบสำหรับการทำการกราฟการสอบเทียบ ได้แก่ สมการพหุนาม (polynomial equation) วิธีการเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential method) และฟังก์ชันเชิงเหตุผล (rational function) (Akdeniz & Yegingil, 2019) สำหรับสมการพหุนาม องศาที่สูงขึ้นของสมการจะทำให้ความโค้งของกราฟซับซ้อนขึ้น สำหรับกราฟการสอบเทียบฟิล์ม สมการพหุนามระดับสามเป็นที่นิยมที่สุดในการปรับกราฟให้เหมาะสม วิธีการเอ็กซ์โพเนนเชียลใช้สำหรับปรับข้อมูลที่มีอัตราเพิ่มขึ้นหรือลดลงสูง ส่วนฟังก์ชันเชิงเหตุผลถูกพัฒนาโดย Aldelaijan et al 2016 และ Lewis et al 2012 (Aldelaijan et al., 2016; A. L. Lewis & Lewis, 2012) ใช้เพียง 3-4 จุดสูงสุดในการกำหนดการตอบสนองระหว่างฟิล์มและปริมาณรังสี เป็นฟังก์ชันที่มีศักยภาพในการทำให้การวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์มมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การตอบสนองของฟิล์มเป็นส่วนสำคัญกับปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับ โดยทั่วไปฟิล์มจะถูกอ่านค่าใน 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี ดังภาพที่ 3 ฟิล์มที่ฉายรังสีจะอิมตัวผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (self-polymerization) (Zhang, Jiang, Chen, & Hu, 2022) ความแม่นยำของการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์มเรดิโอโครมิกขึ้นอยู่กับลักษณะของฟิล์มซึ่งส่งผลให้การตอบสนองแตกต่างกัน โดยฟิล์มเรดิโอโครมิกมีความไวต่ำต่อสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสงฟลูออเรสเซนซ์ แต่ไวต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (Devic, Tomic, & Lewis, 2016) ซึ่งกลุ่มนักวิจัยบางกลุ่มพบว่าฟิล์มควรถูกฉายรังสีในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของลำแสงแทนที่จะเป็นทิศทางขนาน นอกจากนี้ลักษณะการตอบสนองขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องสแกน แต่ไม่สำคัญต่อการสแกนฟิล์มในทิศทาง AP/PA เพราะฟิล์ม EBT3 มีโครงสร้างที่สมมาตร ดังนั้นหากจะใช้ฟิล์มต้องคำนึงถึงการตอบสนองที่หลากหลาย (Brady, 2010)



ภาพที่ 3. Absorption spectra produced post-irradiation for EBT Gafchromic film showing increase in optical density across entire measured wavelengths. ภาพจาก (Cheung, Butson, & Peter, 2005)

จากการทบทวนวรรณกรรม AAPM TG 55 (Task Group 55) (Niroomand-Rad et al., 2020) เป็นแนวทางมาตรฐานสำหรับการใช้ฟิล์มเรดิโอโครมิกในการวัดปริมาณรังสีในงานวิจัยและการประยุกต์ทางคลินิก เพื่อได้ให้แนวทางมาตรฐานในการจัดการฟิล์มเรดิโอโครมิกเพื่อให้ได้ความแม่นยำของการวัดปริมาณรังสี อย่างไรก็ตามยังมีขั้นตอนดั้งเดิมบางประการที่ต้องปฏิบัติตามสำหรับวิธีการสอบเทียบฟิล์ม โดยการตัดฟิล์มเป็นชิ้นเล็กๆ และการฉายรังสีทีละโดส เพื่อกำจัดการกระเจิงของรังสีจากฟิล์มข้างเคียง เมื่อเทียบกับการฉายหลายโดสในฟิล์มเดียว โปรโตคอลกราฟการสอบเทียบที่ใช้ในฟังก์ชันแบบดั้งเดิมคือ

วิธีการพหุนาม netOD หรือที่เรียกว่าวิธีการ netOD แบบไม่เป็นเชิงเส้นเพราะมีความไม่แน่นอนต่ำสุด (Spelleken, Crowe, Sutherland, Challens, & Kairn, 2018)

การใช้ฟิล์มเรดิโอโครมิกสำหรับวัดปริมาณรังสีนั้น เป็นการศึกษาที่จะต้องใช้เวลาสูงสุดประมาณ 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสีตามที่ (Devic, 2011) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการใช้งานฟิล์มสามารถดำเนินการได้ในเวลาน้อยกว่า 30 นาทีได้ โดยเพิ่มจำนวนจุดปริมาณรังสีให้เหมาะสมสำหรับค่าปริมาณรังสี โดยเฉพาะสำหรับช่วงปริมาณรังสี IMRT การปรับขนาดเชิงเส้นของการตอบสนองของฟิล์มจะช่วยให้ได้ค่าปริมาณรังสีที่ถูกต้องตามเวลาโดยอิงจากค่าปริมาณรังสีที่ทำการวัด (D. Lewis, Micke, Yu, & Chan, 2012)

ดังนั้นการศึกษานี้มีเป้าหมายศึกษาการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์มเรดิโอโครมิกในการประกันคุณภาพผู้ป่วย IMRT โดยฟิล์มจะถูกฉายรังสีในลำแสงโฟตอนขนาด 6 MV เพื่อสร้างกราฟการสอบเทียบที่ 24 ชั่วโมงสำหรับโปรโตคอลการสอบเทียบ การประกันคุณภาพแผนผู้ป่วยจะใช้ตามข้อจำกัดของเทคนิค IMRT ต่อมถูกหามาจากโปรโตคอล TG119 หรือ AAPM TG 119 (Task Group 119) ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการประเมินและการประกันคุณภาพ (QA) สำหรับเทคนิคการรักษาด้วยการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม (Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT) โดยเวลาสแกนฟิล์มจะถูกศึกษาที่ 1, 2, 4, 6, 12 และ 48 ชั่วโมงเทียบกับระยะเวลาที่ gold standard (ที่ 24 ชั่วโมง)



บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

1) การออกแบบวิจัย

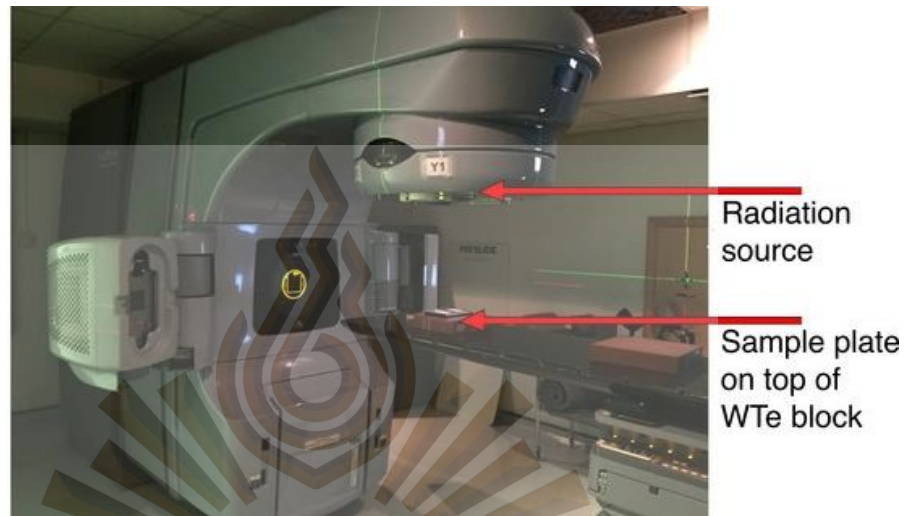
การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบวิธีการปรับขนาดที่ใช้ในการสร้างกราฟการสอบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพและความแม่นยำ เมื่อเวลาการสแกนฟิล์ม Gafchromic EBT3 ที่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสีสำหรับเทคนิค IMRT ในการรักษามะเร็งต่อมลูกหมาก โดยขอบเขตของการศึกษานี้ใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 เนื่องจากช่วงปริมาณรังสีของฟิล์มเหมาะสมสำหรับการรักษาด้วย IMRT และการศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคลินิกของมะเร็งต่อมลูกหมาก (Solid water phantom) ที่มีสนามรังสีแบบคงที่ตามโปรโตคอล TG119 รวมถึงใช้ช่วงปริมาณรังสีของการฉายรังสีแบบปกติสำหรับลำแสงโฟตอนขนาด 6 MV

2) ประชากร (Population: N): ผู้ปฏิบัติงาน - และกลุ่มตัวอย่าง (Sample: n): -

3) การสร้างและทดสอบเครื่องมือ

- การเตรียมวัสดุ:
 - Gafchromic EBT3 film lot number 10171802: The Gafchromic EBT3 models film with the sheet dimensions of 20.32 × 25.40 cm²
 - EPSON 10000XL(TM) Scanner S/N 017818: All investigation for EBT3 film evaluation, used Epson 10000XL flatbed scanner (Seiko Epson Corporation, Nagano, Japan)
 - ImageJ version 1.50
 - Varian Clinac® iX S/N 5288: Irradiation was performed by Varian Clinac iX® (Varian, Inc.) with a photon of 6 MV, 120 MLC with 0.5 cm leaf width inside 20 cm and 1 cm leaf width outside 20 cm. This machine can

perform IMRT and VMAT plans with 600 MU/min maximum dose rate ดัง
ภาพที่ 4



ภาพที่ 4. Photograph of the Varian iX Clinac machine being prepared to irradiate a sample. ภาพจาก (Heuskin et al., 2017)

- **Ionization chamber and Electrometer:** The IBA FC-65G S/N 2091 Farmer-type ionization chamber connected to DOSE1 Electrometer S/N 17239 ดังภาพที่ 5



A



B

ภาพที่ 5 (a) FC-65G ionization chamber (b) DOSE1 electrometer. ภาพจาก <https://www.iba-dosimetry.com/product/fc65-g-fc65-p-ionization-chambers>

- **Solid water phantom:** The Solid water phantom is a water equivalent slab phantom size 30×30 cm². It is made from epoxy resin and powders that have 1.04 g/cm³ density.
- **Treatment planning system:** The Eclipse™ treatment system version 13.6, with the Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) was used. This dose calculation model is a 3D pencil beam convolution-superposition algorithm

- **วิธีการทดลองและทดสอบเครื่องมือ**

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงโปรโตคอลการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์มสำหรับ IMRT โดยลดเวลาหลังการฉายรังสี แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้:

- **ศึกษาวิธีการวัดปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพด้านเวลา:**

- ใช้วิธีการสแกนด้วยโปรโตคอลการสแกนครั้งเดียว
- วัดปริมาณรังสีในเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี
- เปรียบเทียบผลที่ได้กับโปรโตคอลการวัดปริมาณรังสีที่อ้างอิงที่เวลาสแกน 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี

- **การตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบทางคลินิกจำลอง:**

- ใช้เทคนิคลำแสงเดี่ยวขนาด 10 × 10 cm²
- ทดสอบวิธีการสแกนด้วยการสแกนฟิล์มที่เวลา 1, 2, 4, 6, 12 และ 48 ชั่วโมง
- ใช้เทคนิค IMRT ต่อกลุ่มหมากจำลองตามโปรโตคอล TG119
- สร้างกราฟการสอบเทียบโดยใช้ขนาด 10 × 10 cm² และสแกนที่เวลา 1, 2, 4, 6, 12 และ 48 ชั่วโมง

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลของฟิล์ม Gafchromic EBT3 เพื่อประเมินปริมาณรังสีใน IMRT ประกอบด้วย การตัดฟิล์มตามขนาดที่ต้องการ ฉายรังสีด้วยลำแสงโฟตอนขนาด 6 MV ตามโปรโตคอล TG119 สร้างกราฟการสอบเทียบและสแกนในเวลาที่กำหนด จากนั้นใช้เครื่องสแกน EPSON 10000XL(TM) และเปรียบเทียบผลกับโปรโตคอลมาตรฐานที่สแกนฟิล์มหลังการฉายรังสี 24 ชั่วโมง ผลการประเมินใช้ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนและค่าเฉลี่ย เพื่อความแม่นยำในการวัดปริมาณรังสี ซึ่งช่วยให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณรังสีสำหรับ IMRT ด้วยฟิล์ม Gafchromic EBT3

5) การวิเคราะห์ข้อมูล

- การสร้างกราฟการสอบเทียบ (Calibration Curve Generation):
 - สแกนฟิล์ม Gafchromic EBT3 ที่เวลา 1, 2, 4, 6, 12 และ 48 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี
 - วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างกราฟการสอบเทียบ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เช่น สมการพหุนาม (polynomial equation) สำหรับการฟิตกราฟ
 - ตรวจสอบค่าความเหมาะสมของกราฟ (goodness of fit) เพื่อหาค่าสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสอบเทียบ
- การวิเคราะห์ความถูกต้องและประสิทธิภาพ (Accuracy and Efficiency Analysis):
 - เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการสแกนกับโปรโตคอลการวัดปริมาณรังสีที่อ้างอิงที่เวลาสแกน 24 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี
 - ใช้สมการการฟิตกราฟที่ได้จากการสอบเทียบในการคำนวณปริมาณรังสีตามวิธีการสแกน
 - ตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีการสแกนโดยการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลลัพธ์ที่ได้และค่ามาตรฐาน
- การทดสอบทางคลินิกจำลอง (Clinical Testing):
 - ใช้เทคนิค IMRT สำหรับการทดสอบทางคลินิกจำลอง โดยใช้โปรโตคอล TG119 สำหรับผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมากจำลอง
 - วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบทางคลินิกจำลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการสแกน

- การสรุปผลและการอภิปราย (Results Summary and Discussion):
 - สรุปผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทั้งหมด
 - อภิปรายเกี่ยวกับความเหมาะสมและประสิทธิภาพของวิธีการสเกลในการวัดปริมาณรังสีสำหรับเทคนิค IMRT
 - เสนอแนะเกี่ยวกับการปรับปรุงและการใช้งานในอนาคต

6) มีการลงพื้นที่วิจัยภาคสนาม

- ห้องปฏิบัติการทางรังสี คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต
- โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ

7) ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง: -

ระยะเวลาในการทดลอง: 12 เดือน

งบประมาณ: 93,000 บาท

เนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง: การทดลองนี้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพของการวัดปริมาณรังสีด้วยฟิล์ม Gafchromic EBT3 สำหรับเทคนิคการบำบัดด้วยรังสีแบบปรับความเข้ม (IMRT) จากการศึกษาและปรับปรุงวิธีการดังกล่าว จะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการวัดปริมาณรังสีและการประกันคุณภาพการรักษา IMRT ในทางการแพทย์

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

ผลการทดลอง

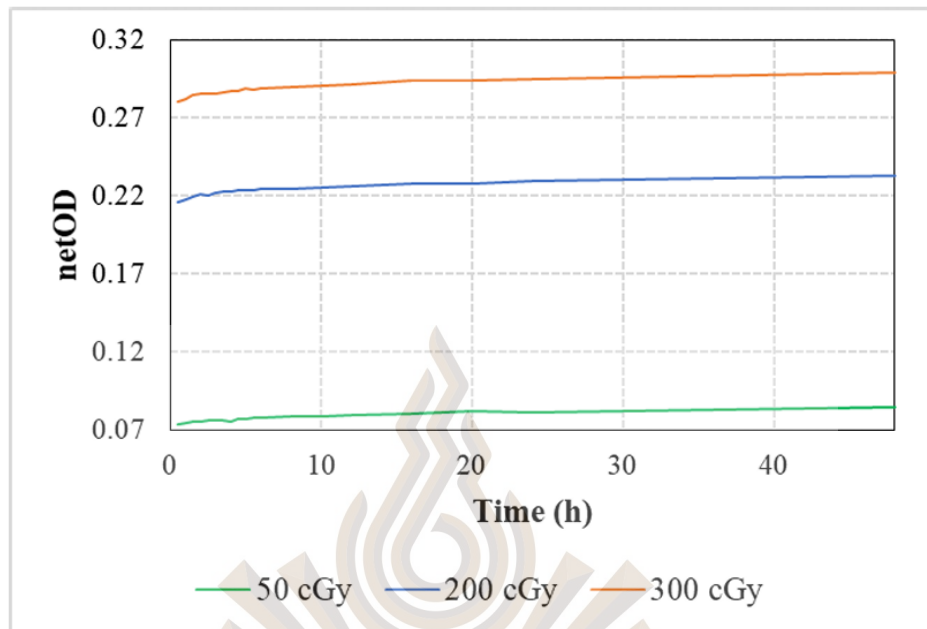
1 ลักษณะของฟิล์ม

1.1 ลักษณะการอ่านค่าฟิล์ม

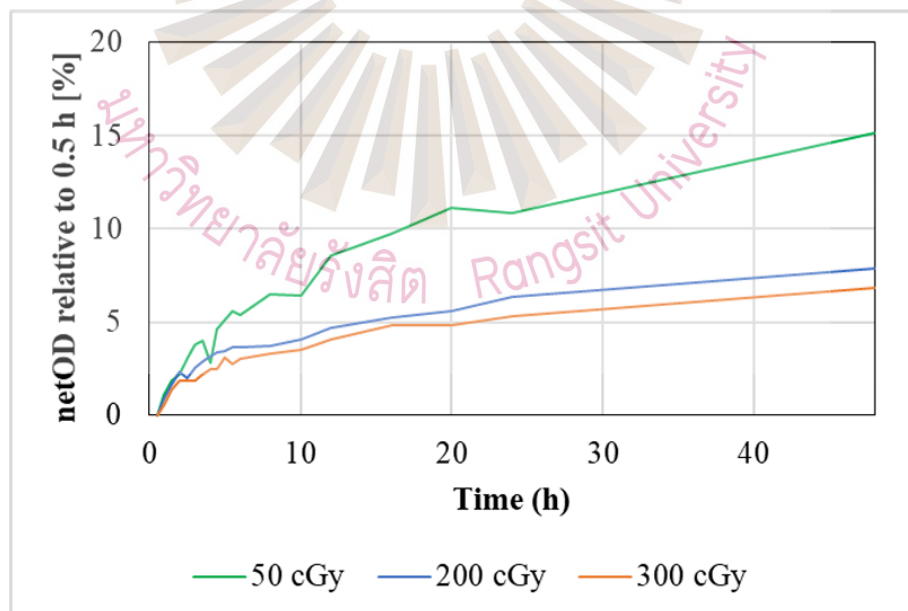
A. การมืดลงของฟิล์ม (Film Darkening)

ค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) ที่วัดหลังการฉายรังสีในระดับโดส 50, 200 และ 300 cGy มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 – 0.30 ตามที่แสดงในภาพที่ 6 โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า netOD ถูกทำให้เป็นสัดส่วนเปรียบเทียบโดยอิงที่เวลา 0.5 ชั่วโมงหลังฉายรังสี เนื่องจากในช่วง 0 ชั่วโมงแรกหลังฉายรังสีไม่สามารถวัดค่า netOD ได้

ค่า netOD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นอัตราการมืดลงของฟิล์มจะลดลงเรื่อย ๆ จนคงที่ในช่วง 24 ชั่วโมง โดยใช้สมการ 3.4 เพื่อคำนวณอัตราการมืดลง จากภาพที่ 7 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ netOD อยู่ต่ำกว่า 0.5% ต่อชั่วโมง ในช่วง 6–24 ชั่วโมง ค่า netOD เพิ่มขึ้นประมาณ 5.5%, 2.7% และ 2.3% ที่โดส 50, 200 และ 300 cGy ตามลำดับ และในช่วง 1–24 ชั่วโมง ค่า netOD เพิ่มขึ้นประมาณ 9.5%, 5.4% และ 4.8% ตามลำดับ ส่วนในช่วง 24–48 ชั่วโมง ค่า netOD เพิ่มขึ้นอีก 1.5% และ 4.6% สำหรับโดส 200 และ 300 cGy ตามลำดับ



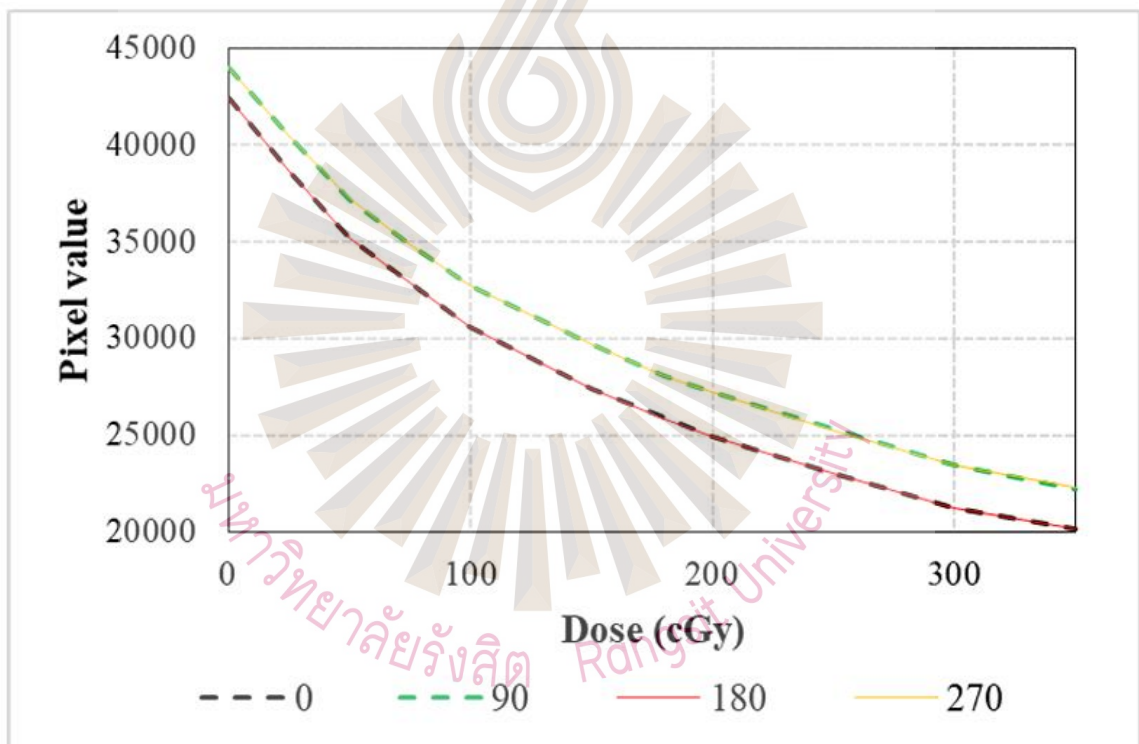
ภาพที่ 6 ค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) หลังการฉายรังสีในระดับโดสที่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาเป็นฟังก์ชันของเวลา



ภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) ของฟิล์ม EBT3 ซึ่งถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐานโดยอ้างอิงเวลา 0.5 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี

B. อิทธิพลของทิศทางฟิล์ม (Film Orientation)

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโดสกับค่าพิกเซลในทิศทางการสแกนแบบแนวนอน (landscape: 0°, 180°) และแนวตั้ง (portrait: 90°, 270°) พบว่าค่าพิกเซลแตกต่างกันระหว่าง 3.7% – 10.5% ในช่วงโดส 0–350 cGy โดยค่าที่อ่านได้ในทิศทางแนวตั้งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าตามรายงานของ (Reinhardt, Hillbrand, Wilkens, & Assmann, 2012) ดังนั้น การศึกษานี้จึงเลือกใช้ทิศทางการอ่านแบบ portrait

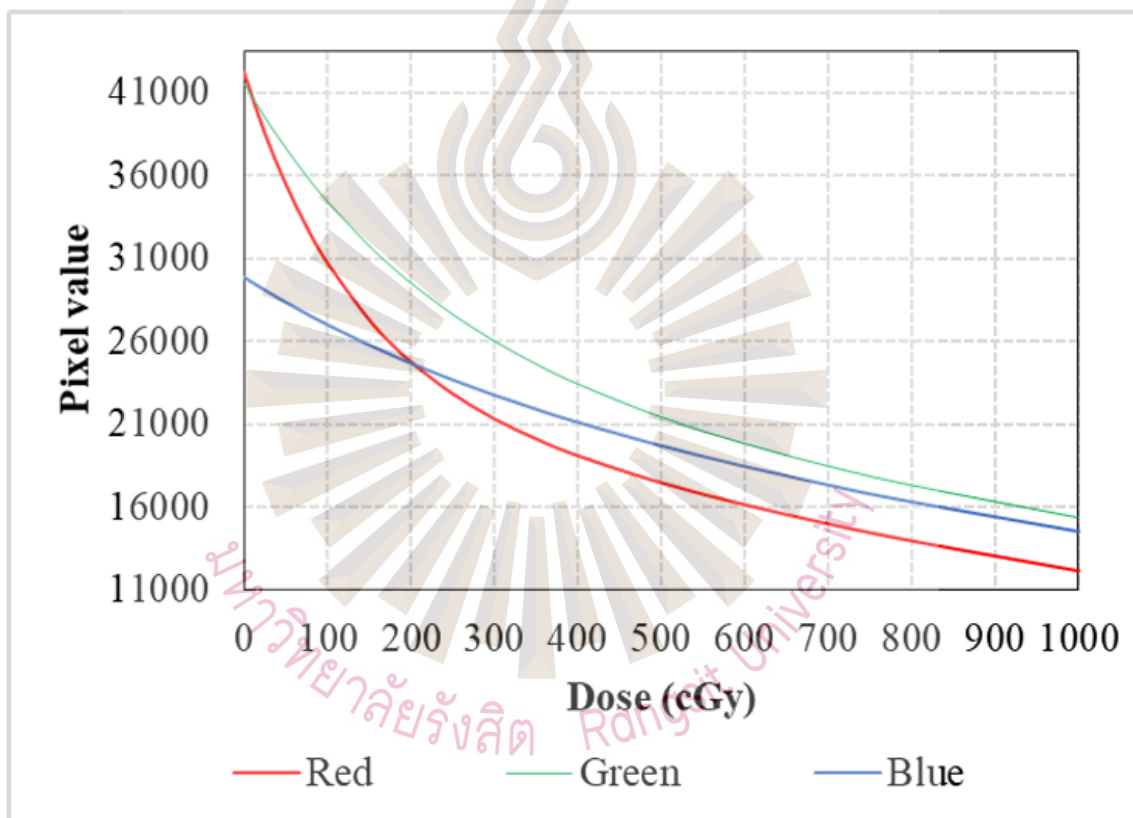


ภาพที่ 8 แสดงกราฟการตอบสนองต่อโดสของฟิล์ม EBT3 ที่ถูกสแกนในทิศทางต่าง ๆ โดยทิศทาง 90 และ 270 องศา แสดงถึงการวางฟิล์มในแนวนอน (landscape) ส่วนทิศทาง 0 และ 180 องศา แสดงถึงการวางฟิล์มในแนวตั้ง (portrait)

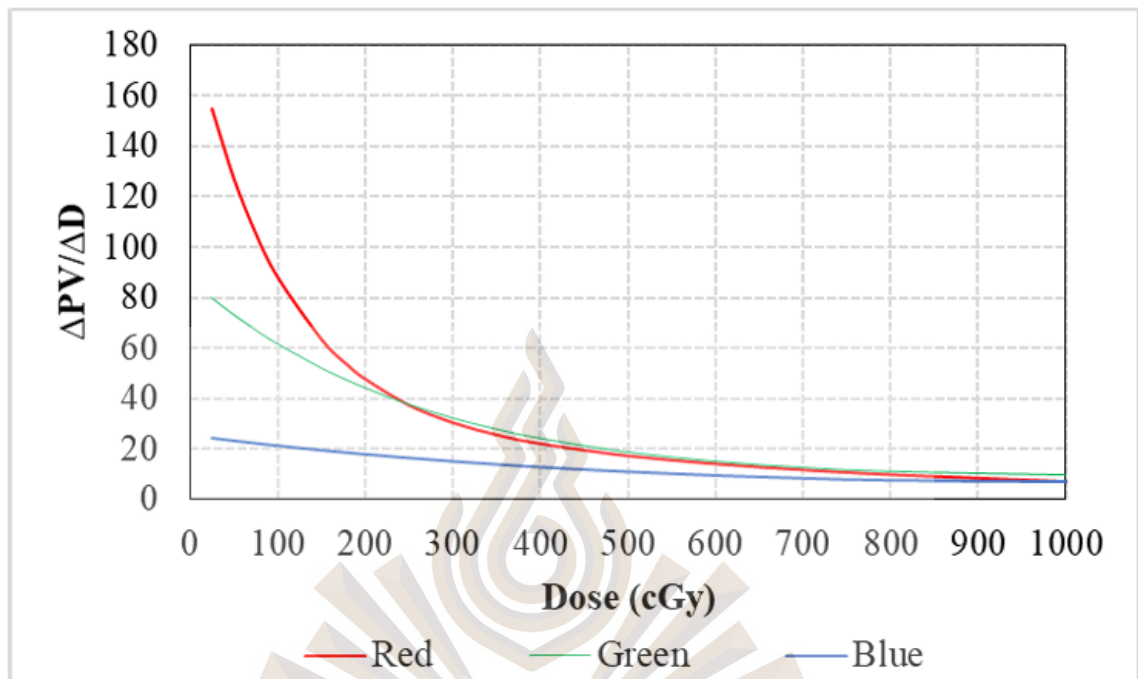
1.2 ลักษณะทางโดสของฟิล์ม (Dosimetric Characteristics)

A. ค่าการตอบสนองจากค่าพิกเซล (Pixel Value, PV)

ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโดสกับค่าพิกเซลในแต่ละช่องสี (RGB) โดยพบว่าช่องสีแดงมีความไวต่อรังสีสูงสุดที่โดสน้อยกว่า 250 cGy ขณะที่ช่องสีเขียวมีความไวสูงในช่วง 250–1000 cGy ส่วนช่องสีน้ำเงินมีความไวต่ำที่สุดจนถึง 900 cGy (ภาพที่ 10)



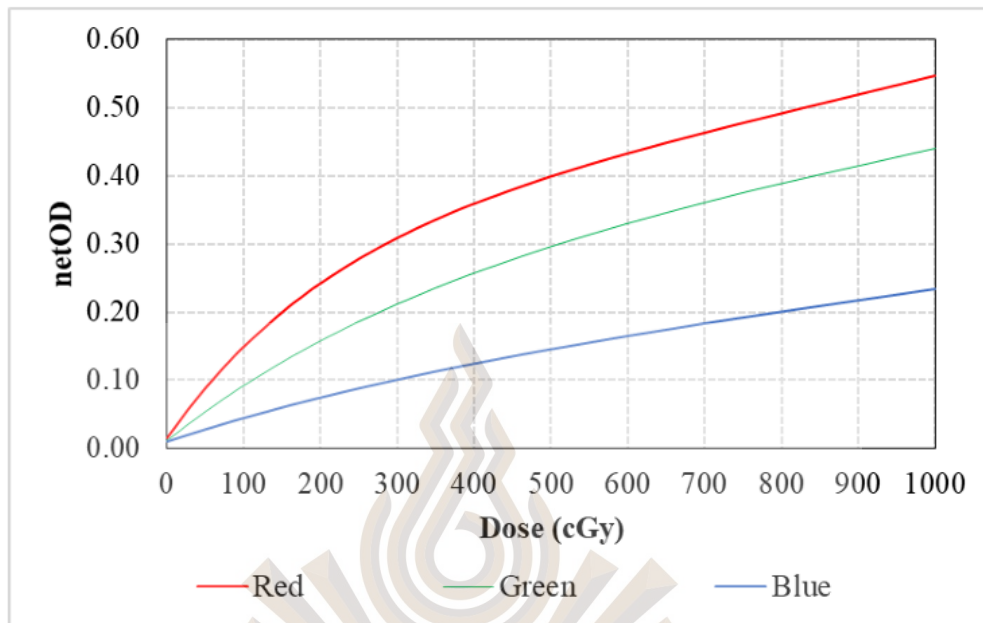
ภาพที่ 9 กราฟการตอบสนองต่อโดสของค่าพิกเซล (PV) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)



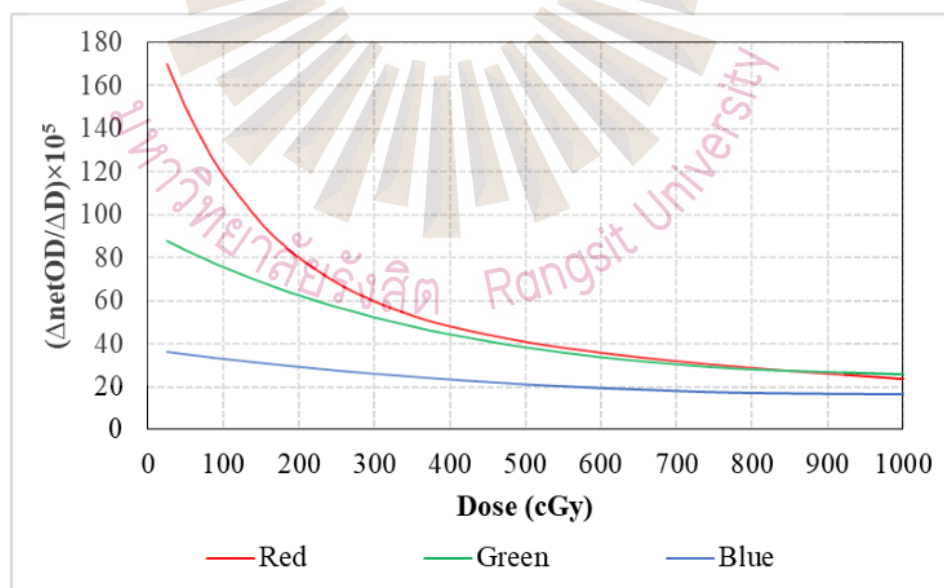
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความไวต่อรังสีจากค่าฟิสิกเซลล์ (PV) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)

B. ค่าการตอบสนองจาก netOD

ภาพที่ 11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโดสกับค่า netOD ในแต่ละช่องสี โดยรูปที่ ภาพที่ 12 แสดงกราฟความไวของ netOD ที่คำนวณตามสมการ 3.6 พบว่า ช่องสีแดงมีความไวสูงสุดถึงโดส 900 cGy ในขณะที่ช่องสีเขียวมีความไวมากกว่าหลัง 900 cGy และช่องสีน้ำเงินมีความไวต่ำสุดทุกระดับโดส จากข้อมูลในภาพที่ 10 และ ภาพที่ 12 พบว่า ช่องสีแดงมีความไวมากที่สุดตลอดช่วงโดส จึงเลือกใช้ช่องสีแดงในการคำนวณโดสจากฟิล์มในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 11 กราฟการตอบสนองต่อโดสของค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความไวต่อรังสีจากค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) สำหรับแต่ละช่องสี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน)

การทดลองในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะการตอบสนองของฟิล์ม Gafchromic EBT3 ต่อการฉายรังสี โดยศึกษาทั้งด้านพฤติกรรมการมืดลงของฟิล์ม (film darkening) และลักษณะทางโดส (dosimetric characteristics) ผลการทดลองพบว่า ค่า netOD มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 6 ชั่วโมงแรกหลังฉายรังสี และมีแนวโน้มคงตัวในช่วง 24–48 ชั่วโมง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของ netOD หลัง 6 ชั่วโมงต่ำกว่า 0.5% ต่อชั่วโมง แสดงถึงความเสถียรของฟิล์มในการอ่านค่าภายหลังการฉายรังสี นอกจากนี้ยังพบว่า ทิศทางการอ่านค่าฟิล์มมีผลต่อค่าที่อ่านได้ โดยทิศทางแนวตั้ง (portrait) ให้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าทิศทางแนวนอน (landscape) ในด้านของค่าการตอบสนองต่อโดส ฟิล์มมีการตอบสนองที่ไวที่สุดในช่องสีแดง (Red Channel) โดยเฉพาะในช่วงโดสน้อยกว่า 900 cGy จึงเลือกใช้ช่องสีแดงเป็นช่องมาตรฐานในการคำนวณค่าโดสในงานวิจัยนี้ ซึ่งผลโดยรวมสนับสนุนการใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 ในการประเมินคุณภาพรังสีในงานด้านรังสีรักษาอย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมอย่างเหมาะสม



2 การสอบเทียบโดสของฟิล์ม (Film Dosimetry Calibration)

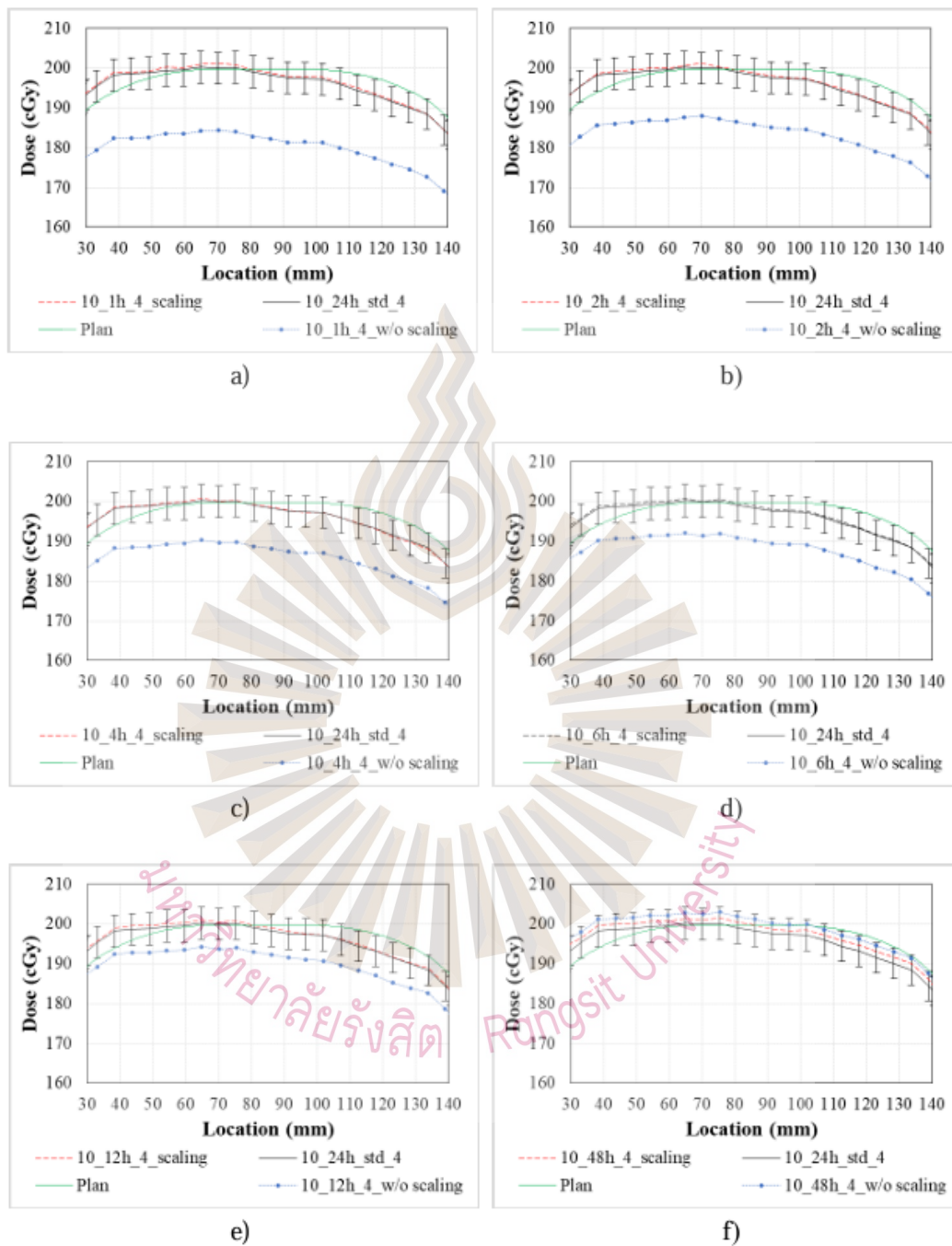
การสอบเทียบโดสของฟิล์มเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการประเมินปริมาณรังสีอย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพ (Quality Assurance) ในระบบรังสีรักษา (Radiotherapy) ซึ่งต้องการความแม่นยำสูงในการคำนวณและยืนยันค่าปริมาณรังสี การสอบเทียบนี้มุ่งสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่ทราบค่าแน่นอนกับค่าการตอบสนองของฟิล์ม เช่น ความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) หรือค่าพิกเซล (Pixel Value) เพื่อให้สามารถนำค่าที่วัดได้จากฟิล์มจริงมาแปลงเป็นปริมาณรังสีที่เทียบเคียงได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยสรุปสาระสำคัญจากผลการทดลองในส่วนนี้ออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับความมืดของฟิล์ม (Dose-netOD Relationship)

การทดสอบความสามารถของฟิล์ม Gafchromic EBT3 ในการตอบสนองต่อปริมาณรังสี (dose) แสดงให้เห็นว่า ค่า netOD เพิ่มขึ้นตามระดับรังสีที่ฉาย โดยในช่วง 0–1000 cGy ค่า netOD มีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) โดยเฉพาะเมื่อโดสเกิน 800 cGy ค่า netOD จะเริ่มคงที่หรือ “saturate” ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของฟิล์มชนิดนี้ ดังภาพที่ 13

เส้นประสีแดงแสดงโปรไฟล์โดสของฟิล์มที่ผ่านการปรับค่าด้วยสเกลแฟกเตอร์ (scaling factor) ในขณะที่เส้นประสีน้ำเงินแสดงโปรไฟล์โดสของฟิล์มที่ไม่ได้ปรับค่า เปรียบเทียบกับเส้นสีดำทึบซึ่งเป็นโปรไฟล์โดสมาตรฐานจากฟิล์มที่อ่านที่เวลา 24 ชั่วโมง (พร้อมช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 2\%$) และเส้นสีเขียวแสดงโปรไฟล์โดสที่ได้จากระบบวางแผนการรักษา (TPS)

จากกราฟจะเห็นแนวโน้มความคลาดเคลื่อนของโปรไฟล์โดสที่ลดลงเมื่อเวลาการอ่านฟิล์มมากขึ้น และการใช้ scaling factor สามารถช่วยให้ค่าโดสเข้าใกล้มาตรฐาน 24 ชั่วโมงได้มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาน้อยกว่า 6 ชั่วโมงหลังการฉายรังสี ซึ่งผลลัพธ์นี้แสดงถึงความเหมาะสมของเทคนิคการปรับค่าเพื่อให้สามารถประเมินโดสได้แม่นยำในเวลาที่เร็วขึ้น



ภาพที่ 13 แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวเส้นทแยงมุมย้อนกลับ (backward diagonal line) ซึ่งวัดจากค่าฟิสิกเซล (PV) ภายในบริเวณลำรังสี 80% ของขนาดสนามฉาย 10 × 10 ซม. สำหรับฟิล์มที่อ่านในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ a) 1 ชั่วโมง, b) 2 ชั่วโมง, c) 4 ชั่วโมง, d) 6 ชั่วโมง, e) 12 ชั่วโมง และ f) 48 ชั่วโมง หลังจากการฉายรังสี

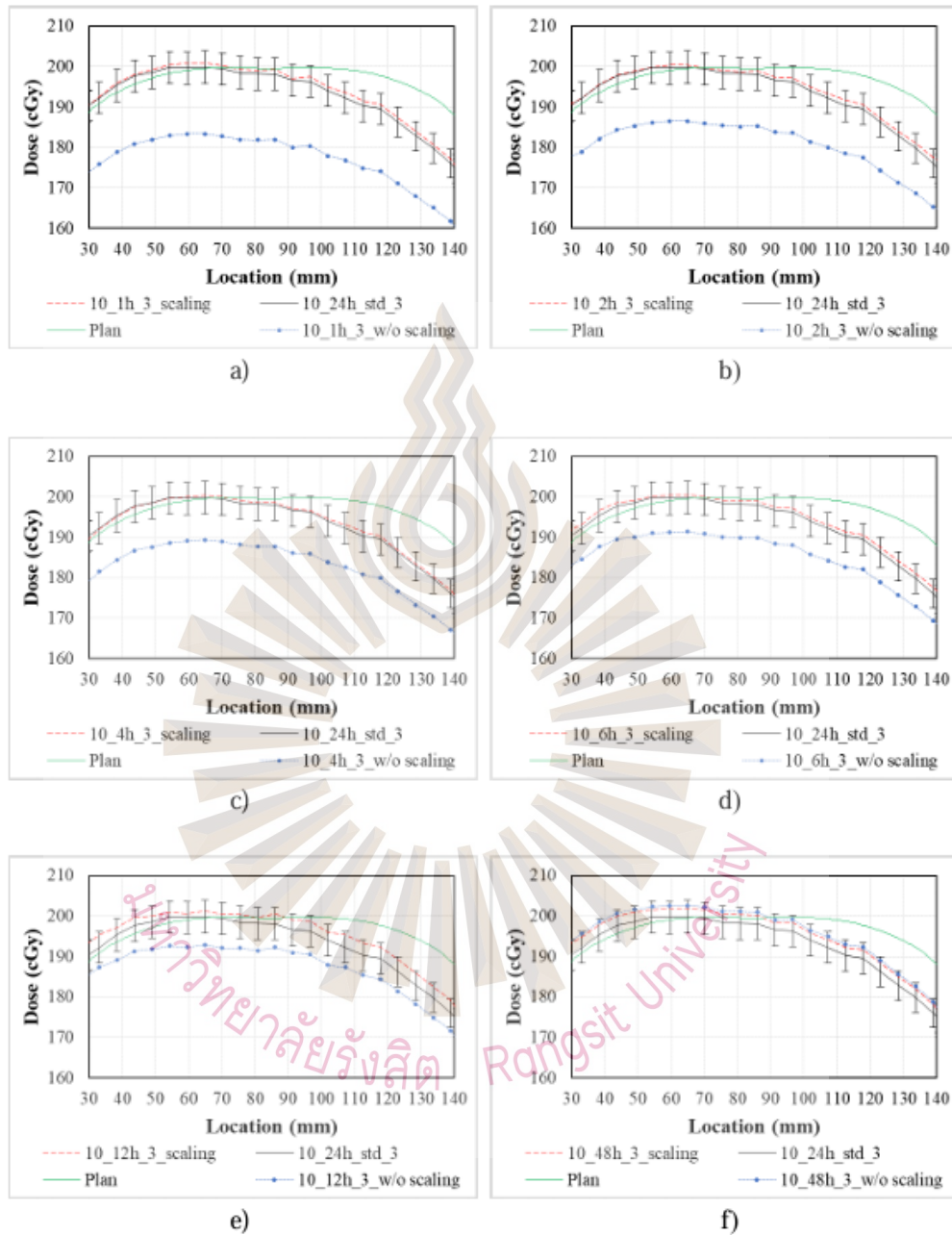
2.2 แบบจำลองการสอบเทียบและความแม่นยำ

การพิตค่าระหว่างโดสและ netOD ใช้สมการพหุนามระดับสอง (second-order polynomial) หรือ exponential model ซึ่งให้ค่าความแม่นยำสูง โดยมีค่า $R^2 > 0.998$ บ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถใช้คำนวณและทำนายค่าปริมาณรังสีได้อย่างน่าเชื่อถือ ดังภาพที่ 14

เส้นประสีแดงแสดงโปรไฟล์โดสของฟิล์มที่ผ่านการปรับค่าด้วย scaling factor ในขณะที่เส้นประสีน้ำเงินแสดงโปรไฟล์โดสของฟิล์มที่ไม่ได้ปรับค่าดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับเส้นสีดำทึบ ซึ่งเป็นโปรไฟล์โดสมาตรฐานจากฟิล์มที่อ่านที่เวลา 24 ชั่วโมง พร้อมค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 2\%$ และเส้นสีเขียวแสดงโปรไฟล์โดสที่ได้จากระบบวางแผนการรักษา (TPS)

จากภาพสามารถสังเกตได้ว่า การใช้ scaling factor มีผลช่วยให้ค่าที่อ่านจากฟิล์มในช่วงเวลาต่าง ๆ เข้าใกล้ค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาการอ่านฟิล์มที่เร็วกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการลดระยะเวลาการรอคอยและปรับปรุงกระบวนการทำ Patient-Specific QA ให้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น





ภาพที่ 14 แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวเส้นทแยงมุมไปข้างหน้า (forward diagonal line) ของบริเวณภายในลำรังสี 80% ของขนาดสนามฉาย 10 × 10 ซม. ในกรณีของ single open field โดยใช้ค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) ที่ได้จากฟิล์ม EBT3 ที่อ่านในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ a) 1 ชั่วโมง, b) 2 ชั่วโมง, c) 4 ชั่วโมง, d) 6 ชั่วโมง, e) 12 ชั่วโมง และ f) 48 ชั่วโมง หลังการฉายรังสี

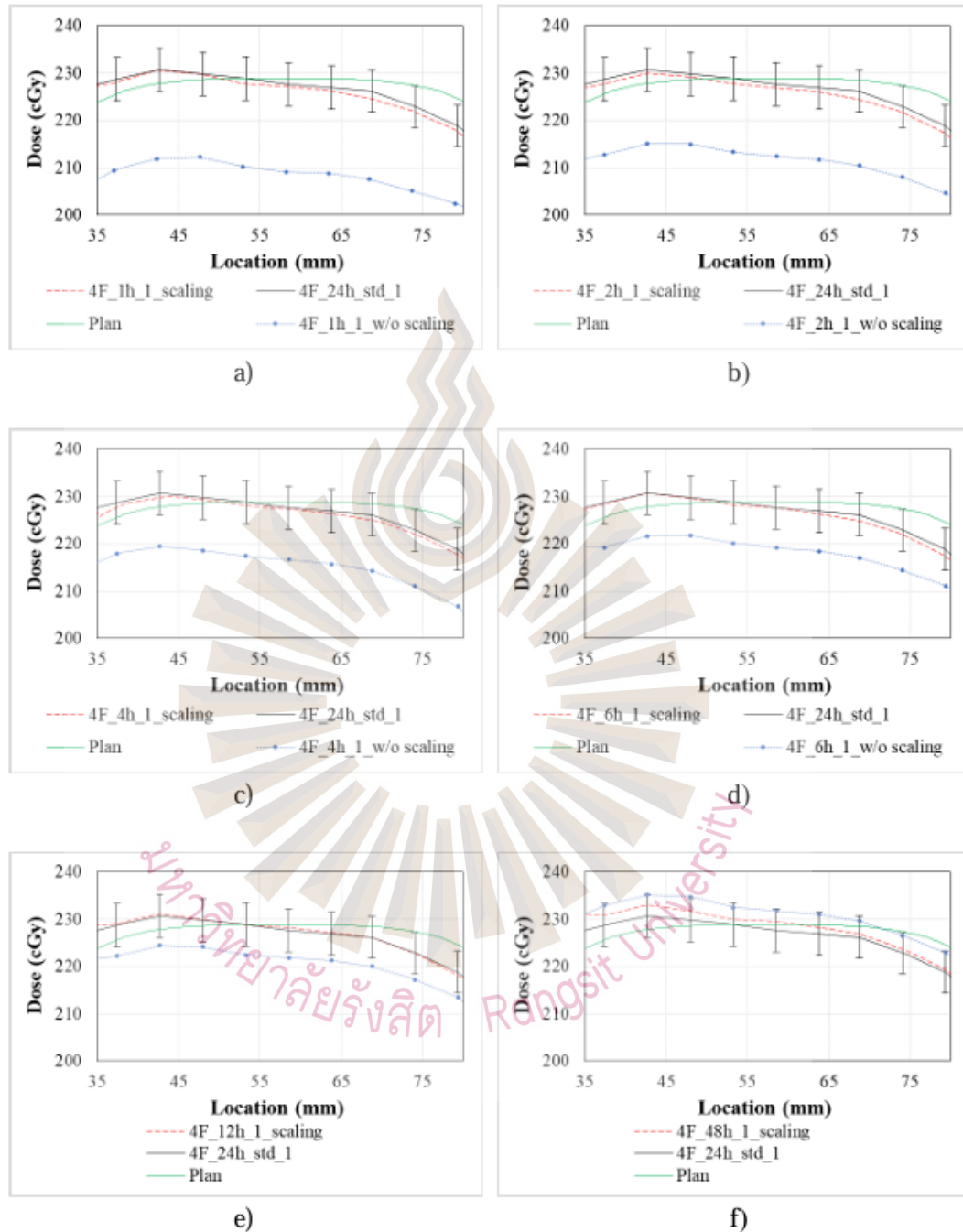
2.3 ความเหมาะสมของช่องสีแดงสำหรับการวัด

จากการทดสอบทั้ง 3 ช่องสี (RGB) พบว่า **ช่องสีแดงให้ค่าความไวต่อรังสีดีที่สุด** และตอบสนองได้แม่นยำในช่วงโดสที่หลากหลาย ทำให้ช่องสีแดงถูกเลือกใช้เป็นค่าหลักในการสร้างกราฟการสอบเทียบ และการคำนวณโดสในงานวิจัยนี้ ดังภาพที่ 15

เส้นประสีแดงแสดงโปรไฟล์โดสที่ได้จากฟิล์มหลังการปรับค่าด้วย scaling factor ในขณะที่เส้นประน้ำเงินแสดงโปรไฟล์โดสของฟิล์มที่ไม่ได้ปรับค่า โดยทั้งสองเส้นถูกเปรียบเทียบกับเส้นสีดำทึบซึ่งเป็นโปรไฟล์อ้างอิงจากฟิล์มที่อ่านหลัง 24 ชั่วโมง พร้อมแสดงช่วงความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $\pm 2\%$ และเส้นสีเขียวเป็นโปรไฟล์โดสจากระบบวางแผนการรักษา (TPS)

จากภาพพบว่าการใช้ scaling factor ช่วยให้ค่าที่อ่านได้จากฟิล์มในช่วงเวลาที่เร็วกว่ามีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมงมากขึ้น โดยเฉพาะในการใช้งานแบบสัปดาห์ ซึ่งในรูปแบบการฉายรังสีที่ซับซ้อนและมีการกระจายโดสหลากหลาย จึงสนับสนุนการใช้ scaling factor เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินโดสด้วยฟิล์มในระยะเวลาที่สั้นลง





ภาพที่ 15 แสดงโปรไฟล์โดสตามแนวนอน (horizontal line) ที่ได้จากค่าพิกเซล (PV) บริเวณภายในลำรังสี 80% ของสนามฉายแบบสี่ทิศทาง (four-fields box) โดยวัดจากฟิล์มที่อ่านในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ a) 1 ชั่วโมง, b) 2 ชั่วโมง, c) 4 ชั่วโมง, d) 6 ชั่วโมง, e) 12 ชั่วโมง และ f) 48 ชั่วโมง หลังจากฉายรังสี

จากการศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์ม Gafchromic EBT3 ในการวัดปริมาณรังสี พบว่า ค่า netOD เพิ่มขึ้นตามระดับโดสที่ได้รับ โดยมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นและเกิดการอิ่มตัว (saturation) เมื่อโดสเกิน 800 cGy ทั้งนี้การใช้เทคนิคการปรับค่าด้วย scaling factor ช่วยให้ค่าที่อ่านได้จากฟิล์มภายในเวลา 1-6 ชั่วโมงหลังการฉายรังสีมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่อ่านหลัง 24 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากระบบวางแผนการรักษา (TPS) ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพเฉพาะผู้ป่วย (Patient-Specific QA) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แบบจำลองที่ใช้ฟิตค่าระหว่างโดสกับ netOD โดยใช้สมการพหุนามลำดับสองหรือ exponential model มีค่าความสอดคล้อง (R^2) สูงกว่า 0.998 แสดงถึงความแม่นยำในการประเมินปริมาณรังสีที่น่าเชื่อถือ ในส่วนของการเลือกใช้ช่องสี พบว่า ช่องสีแดงให้ความไวและความแม่นยำดีที่สุดในช่วงโดสที่หลากหลาย เมื่อเปรียบเทียบกับช่องสีเขียวและน้ำเงิน จึงเลือกใช้ช่องสีแดงในการวิเคราะห์ netOD และสร้างกราฟการสอบเทียบในงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะในกรณีการฉายรังสีแบบหลายทิศทางที่มีความซับซ้อน การใช้ช่องสีแดงร่วมกับเทคนิค scaling factor ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำของผลการประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมต่อการใช้งานในบริบทคลินิก.



บทที่ 5

สรุป วิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการวัดปริมาณรังสีสำหรับ Gafchromic EBT3 फिल्मในเทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม (IMRT)” โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญจนพร โตชัยกุล มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางใหม่ที่สามารถลดระยะเวลาการอ่านค่าฟิล์มจาก 24 ชั่วโมงลง โดยใช้วิธีการปรับค่าด้วย **scaling factor** และนำมาประยุกต์ใช้กับฟิล์ม Gafchromic EBT3 ซึ่งเป็นฟิล์มชนิดพิเศษที่เหมาะสมกับการวัดปริมาณรังสีอย่างแม่นยำในรังสีรักษาแบบ IMRT

การทดลองได้ใช้การฉายรังสีด้วยลำแสงโฟตอนพลังงาน 6 MV ผ่านแบบจำลองเนื้อเยื่อ (solid water phantom) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นเชิงแสงสุทธิ (netOD) กับปริมาณรังสี (dose) ที่ได้รับในช่วงเวลา 1-48 ชั่วโมง ผลพบว่า netOD มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นกับโดส โดยมีแนวโน้มอิ่มตัวหลัง 800 cGy ทั้งนี้ การใช้ scaling factor ช่วยให้ผลการประเมินโดสภายใน 6 ชั่วโมงแรกมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่อ่านที่ 24 ชั่วโมง ส่งผลให้สามารถนำไปใช้ในการประกันคุณภาพแผนการรักษาผู้ป่วย (Patient-Specific QA) ได้รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ พบว่า ช่องสีแดง (Red channel) ของฟิล์มให้ผลตอบสนองต่อปริมาณรังสีได้ดีที่สุด และให้ความแม่นยำสูงในการประเมินค่าปริมาณรังสีเมื่อเทียบกับช่องสีเขียวและน้ำเงิน จึงเลือกใช้ช่องสีแดงในการวิเคราะห์และสร้างกราฟการสอบเทียบหลักในการวิจัยนี้ โดยผลการประเมินมีค่าความสอดคล้อง (R^2) สูงกว่า 0.998 ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางใหม่ในการใช้ฟิล์มเรดิโอโครมิกในบริบทคลินิกอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ในโรงพยาบาลหรือศูนย์รังสีรักษาที่ต้องการประกันคุณภาพแผนการรักษาในเวลาจำกัด และเป็นก้าวสำคัญในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีวัดปริมาณรังสีแบบยั่งยืนและทันสมัยในทางคลินิก.

วิจารณ์

ฟิล์ม Gafchromic EBT3 เป็นฟิล์มชนิดเรดิโอโครมิก (radiochromic film) ซึ่งได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการวัดปริมาณรังสีอย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในงานด้านการแพทย์ เช่น การตรวจสอบคุณภาพแผนการรักษาด้วยรังสี (Radiotherapy Quality Assurance) ทั้งในเทคนิค 3D-CRT, IMRT, VMAT และ SRS/SBRT (Ozawa, 2023) โดยฟิล์มจะเปลี่ยนสีอย่างถาวรเมื่อได้รับรังสี ทำให้สามารถวัดค่าความหนาแน่นเชิงแสง (netOD) ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแบบดั้งเดิม

ฟิล์ม Gafchromic EBT3 มีโครงสร้างสมมาตร (symmetric structure) ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากทิศทางการสแกน และมีการเคลือบด้วยชั้นโพลีเอสเตอร์ทั้งสองด้าน ทำให้ทนต่อแสง ความชื้น และการขีดข่วนได้ดี นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบในการใช้งานที่สะดวก เพราะสามารถใช้เครื่องสแกนภาพแบบ flatbed ทั่วไปในการอ่านค่ารังสีได้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความคล่องตัวในภาคนามหรือสถานพยาบาลขนาดเล็ก (Callens et al., 2016)

ในด้านสมรรถนะ ฟิล์ม EBT3 มีช่วงการตอบสนองต่อรังสีอยู่ที่ประมาณ 0.01–40 Gy ซึ่งครอบคลุมทั้งการวัดโดสรังสีในระดับต่ำและระดับสูง และสามารถวิเคราะห์ความแม่นยำของโปรไฟล์รังสีในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่องสีแดง (Red Channel) จะให้ค่าความไวต่อรังสีที่สูงในช่วงโดสต่ำถึงปานกลาง ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้งานมากที่สุดในงานทางคลินิก (Andres, Del Castillo, Tortosa, Alonso, & Barquero, 2010) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ ฟิล์ม Gafchromic EBT3 จึงได้รับความนิยมและการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติ และถูกแนะนำให้นำมาใช้ในแนวทางของ AAPM Task Group เช่น TG-55 และ TG-235 สำหรับการสอบเทียบและตรวจสอบปริมาณรังสีในงานทางคลินิก (Niroumand-Rad et al., 2020)

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและประเมินเทคนิคการใช้ฟิล์ม Gafchromic EBT3 สำหรับการวัดปริมาณรังสีในเทคนิค IMRT (Intensity-Modulated Radiation Therapy) โดยลดระยะเวลาการอ่านค่าหลังการฉายรังสีให้สั้นลงจากมาตรฐาน 24 ชั่วโมง ซึ่งหากสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดระยะเวลาการประกันคุณภาพการรักษา (QA) และเพิ่มความยืดหยุ่นในการวางแผนการรักษาในทางคลินิก

ประการแรก งานวิจัยได้เสนอแนวทางการใช้ scaling factor เพื่อปรับค่าการอ่านจากฟิล์มที่ถูกสแกนในช่วงเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ให้มีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากมาตรฐาน 24 ชั่วโมง ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบทั้งค่าความหนาแน่นเชิงแสง (netOD) และค่าพิกเซล (PV) แสดง

ให้เห็นว่า เทคนิคนี้สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงเวลาการอ่านที่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Devic (2011) (Devic, 2011) และ Akdeniz & Yegingil (2024) (Akdeniz, 2024) ที่กล่าวถึงการตอบสนองของฟิล์มเรดิโอโครมิกต่อปริมาณรังสีและเวลาการอ่านหลังฉายรังสี

ประการที่สอง การใช้โมเดลพหุนามระดับสองและสามในการพิตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับ netOD ให้ผลการพิตที่แม่นยำ (ค่า $R^2 > 0.998$) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างกราฟการสอบเทียบ และการใช้แบบจำลองนี้สามารถประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงในคลินิก โดยเฉพาะการตรวจสอบ QA รายผู้ป่วย ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางจาก AAPM TG-119 และงานของ Marrazzo et al. (2015) (Marrazzo et al., 2015)

ประการสุดท้าย งานวิจัยนี้เน้นถึงความเหมาะสมของการใช้ช่องสีแดงในการอ่านค่าจากฟิล์มเนื่องจากมีความไวต่อรังสีดีที่สุดในช่วงโดสที่หลากหลาย (0–1000 cGy) เมื่อเทียบกับช่องสีเขียวและน้ำเงิน โดยเฉพาะในช่วงโดสต่ำและระดับกลาง ทำให้สามารถใช้ช่องสีแดงเป็นค่าหลักในการคำนวณโดสอย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นประเด็นที่สอดคล้องกับรายงานของ Richley et al. (2010) (Richley, John, Coomber, & Fletcher, 2010)

โดยสรุป งานวิจัยนี้มีความโดดเด่นในการเสนอเทคนิคที่ช่วยให้สามารถลดเวลาในการอ่านค่าฟิล์ม Gafchromic EBT3 หลังการฉายรังสีได้อย่างแม่นยำ และสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในคลินิก โดยเฉพาะในบริบทที่ต้องการผลการประเมินปริมาณรังสีอย่างเร่งด่วน เช่น กรณีผู้ป่วยเร่งด่วน หรือในโรงพยาบาลที่มีทรัพยากรจำกัด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังควรเพิ่มเติมการศึกษาในด้านความแปรปรวนระหว่างล็อตฟิล์ม (lot-to-lot variability) และผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ เพื่อให้ผลการศึกษาเป็นสากลมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

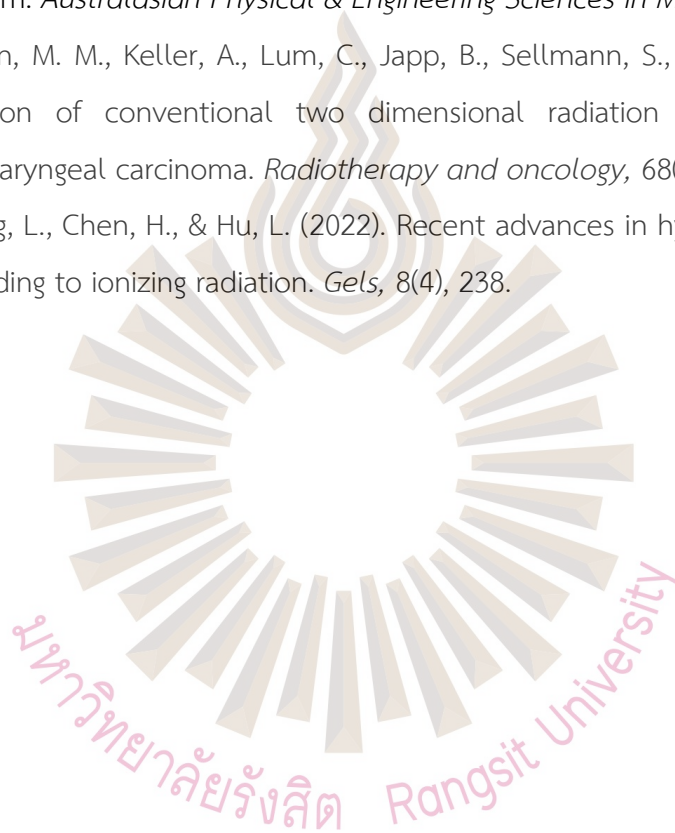
- 1) การปรับปรุงความแม่นยำของการวัดค่ารังสี: แม้ว่า Gafchromic EBT3 จะมีความแม่นยำสูง แต่ค่าที่ได้จากการสแกนอาจแปรผันได้หากไม่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม เช่น แสงภายนอก ความชื้น หรือทิศทางการสแกน ดังนั้นควรมีการกำหนดมาตรฐานและตรวจสอบความสม่ำเสมอของกระบวนการอ่านค่าอย่างเคร่งครัด เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงของข้อมูล
- 2) การศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาหลังฉายรังสี: ค่าความหนาแน่นเชิงแสง (netOD) มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังการฉายรังสี งานวิจัยควรนำเสนอข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการอ่านค่า และเสนอแนวทางการใช้ scaling factor เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนในกรณีที่ต้องการอ่านค่าเร็วขึ้น
- 3) ขยายขอบเขตการทดลองกับพลังงานรังสีหลากหลายระดับ: เพื่อให้สามารถใช้งาน Gafchromic EBT3 ได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น ควรทดสอบการตอบสนองต่อรังสีในพลังงานที่หลากหลาย ทั้งในพิสัยต่ำ (Low-energy) และสูง (High-energy) เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น การรักษามะเร็งด้วยรังสี หรือการตรวจสอบในอุตสาหกรรม
- 4) การนำเสนอผลด้วยภาพอินโฟกราฟิกหรือแผนภาพที่เข้าใจง่าย: สำหรับการเผยแพร่ผลงานสู่กลุ่มผู้ใช้ที่ไม่เชี่ยวชาญ เช่น เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคหรือนักวิชาการในโรงพยาบาล ควรมีการสรุปผลด้วยแผนภาพหรือ Infographic เพื่ออธิบายการใช้งานและความเหมาะสมของเวลาการอ่านฟิล์มในบริบทต่าง ๆ ได้อย่างเข้าใจง่ายและชัดเจน
- 5) การพัฒนาแนวทางการสอบเทียบอัตโนมัติ: อาจพิจารณาใช้ซอฟต์แวร์หรือ AI ช่วยประมวลผลภาพฟิล์ม เพื่อให้การคำนวณค่าโดสจาก netOD เป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว ลดภาระการทำ manual analysis และลดความผิดพลาดจากมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

- Agazaryan, N., Solberg, T. D., & DeMarco, J. J. (2003). Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 4(1), 40-50.
- Akdeniz, Y. (2024). Comparative analysis of dosimetric uncertainty using Gafchromic™ EBT4 and EBT3 films in radiochromic film dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry*, 220, 111723.
- Akdeniz, Y., & Yegingil, Z. (2019). Evaluation of an efficient calibration protocol for use in radiochromic film dosimetry for photon beams. *Radiation Physics and Chemistry*, 156, 31-37.
- Aldelaijan, S., Alzorkany, F., Moftah, B., Buzurovic, I., Seuntjens, J., Tomic, N., & Devic, S. (2016). Use of a control film piece in radiochromic film dosimetry. *Physica Medica*, 32(1), 202-207.
- Andres, C., Del Castillo, A., Tortosa, R., Alonso, D., & Barquero, R. (2010). A comprehensive study of the Gafchromic EBT2 radiochromic film. A comparison with EBT. *Medical physics*, 37(12), 6271-6278.
- Bortfeld, T. (2006). IMRT: a review and preview. *Physics in Medicine & Biology*, 51(13), R363.
- Brady, S. L. (2010). *Development of radiochromic film for spatially quantitative dosimetric analysis of indirect ionizing radiation fields*. Duke University,
- Callens, M., Crijns, W., Simons, V., De Wolf, I., Depuydt, T., Maes, F., . . . Wevers, M. (2016). A spectroscopic study of the chromatic properties of GafChromic™ EBT3 films. *Medical physics*, 43(3), 1156-1166.
- Cambazard, H., O'Mahony, E., & O'Sullivan, B. (2012). A shortest path-based approach to the multileaf collimator sequencing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 160(1-2), 81-99.

- Cheung, T., Butson, M. J., & Peter, K. (2005). Post-irradiation colouration of Gafchromic EBT radiochromic film. *Physics in Medicine & Biology*, 50(20), N281.
- Devic, S. (2011). Radiochromic film dosimetry: past, present, and future. *Physica medica*, 27(3), 122-134.
- Devic, S., Tomic, N., & Lewis, D. (2016). Reference radiochromic film dosimetry: review of technical aspects. *Physica Medica*, 32(4), 541-556.
- Heuskin, A. C., Gallez, B., Feron, O., Martinive, P., Michiels, C., & Lucas, S. (2017). Metallic nanoparticles irradiated by low-energy protons for radiation therapy: Are there significant physical effects to enhance the dose delivery? *Medical Physics*, 44(8), 4299-4312.
- Lewis, A. L., & Lewis, W. G. (2012). Host sialoglycans and bacterial sialidases: a mucosal perspective. *Cellular microbiology*, 14(8), 1174-1182.
- Lewis, D., Micke, A., Yu, X., & Chan, M. F. (2012). An efficient protocol for radiochromic film dosimetry combining calibration and measurement in a single scan. *Medical Physics*, 39(10), 6339-6350.
- Marrazzo, L., Zani, M., Pallotta, S., Arilli, C., Casati, M., Compagnucci, A., . . . Bucciolini, M. (2015). GafChromic® EBT3 films for patient specific IMRT QA using a multichannel approach. *Physica medica*, 31(8), 1035-1042.
- Nalbant, N., Kesen, D., & Hatice, B. (2014). Pre-treatment dose verification of IMRT using gafchromic EBT3 film and 2D array. *J Nucl Med Radiat Ther*, 5(2), 1-6.
- Niroomand-Rad, A., Chiu-Tsao, S. T., Grams, M. P., Lewis, D. F., Soares, C. G., Van Battum, L. J., . . . Massillon-JL, G. (2020). Report of AAPM task group 235 radiochromic film dosimetry: an update to TG-55. *Medical physics*, 47(12), 5986-6025.
- Ozawa, S. (2023). Quality Assurance in SBRT. In *Stereotactic Body Radiation Therapy: Principles and Practices* (pp. 55-68): Springer.
- Reinhardt, S., Hillbrand, M., Wilkens, J., & Assmann, W. (2012). Comparison of Gafchromic EBT2 and EBT3 films for clinical photon and proton beams. *Medical physics*, 39(8), 5257-5262.

- Richley, L., John, A., Coomber, H., & Fletcher, S. (2010). Evaluation and optimization of the new EBT2 radiochromic film dosimetry system for patient dose verification in radiotherapy. *Physics in Medicine & Biology*, 55(9), 2601.
- Spelleken, E., Crowe, S., Sutherland, B., Challens, C., & Kairn, T. (2018). Accuracy and efficiency of published film dosimetry techniques using a flat-bed scanner and EBT3 film. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 41, 117-128.
- Waldron, J., Tin, M. M., Keller, A., Lum, C., Japp, B., Sellmann, S., . . . Payne, D. (2003). Limitation of conventional two dimensional radiation therapy planning in nasopharyngeal carcinoma. *Radiotherapy and oncology*, 68(2), 153-161.
- Zhang, P., Jiang, L., Chen, H., & Hu, L. (2022). Recent advances in hydrogel-based sensors responding to ionizing radiation. *Gels*, 8(4), 238.



ภาคผนวก
ประวัติผู้วิจัย



คำนำหน้า ☐ นาย ☐ นาง ☒ นางสาว

ตำแหน่งทางวิชาการ ☐ ศ. ☐ รศ. ☐ ผศ. อื่นๆ

ชื่อผู้วิจัย กัญจนพร

นามสกุลผู้วิจัย โตชัยกุล

ชื่อภาษาอังกฤษ GUNJANAPORN

นามสกุลภาษาอังกฤษ TOCHAIKUL

วัน/เดือน/ปี เกิด 28/03/2538

ที่อยู่(บ้าน) 293 ถ.ลาดพร้าว ซ.ลาดพร้าว 101 แยก 17 เขต วังทองหลาง แขวง คลองเจ้าคุณสิงห์

จังหวัด(บ้าน) กรุงเทพฯ

รหัสไปรษณีย์(บ้าน) 10310

โทรศัพท์(บ้าน) -

แฟกซ์(บ้าน) -

ที่อยู่(ที่ทำงาน) คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 พหลโยธิน 87 ถ.พหลโยธิน อ.เมือง

จังหวัด(ที่ทำงาน) ปทุมธานี

รหัสไปรษณีย์(ที่ทำงาน) 12000

โทรศัพท์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

แฟกซ์(ที่ทำงาน) 02-791-6000 ต่อ 1723

E-Mail Address: gunjanaporn.t@rsu.ac.th

ปริญญาตรี

สาขา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (รังสีเทคนิค)

ปีที่จบ 2559

สถาบัน คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศ ไทย

ปริญญาโท

สาขา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์การแพทย์)

ปีที่ยื่น 2562

สถาบัน คณะแพทยศาสตร์รามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

ประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารภายในประเทศ

1. **Gunjanaporn Tochaikul**, Krissanat Chuamsaamarkkee, Chayanit Jumpee, Jatechan Channuie, Phongyut Sriploy, Daranee Piriyasang, Putthiporn Charoenphun .*Monte Carlo simulation of 106Ru/106Rh plaque radiation dose in ophthalmic brachytherapy* 2020 page FP1-1 ถึง 1-4

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารต่างประเทศ

1. Moonkum, N.*, Wongpiem, U., Sriwongta, S., Danthanawat, N., **Tochaikul, G.**, & Pilapong, C. (2021, January). Effect of X-ray diagnostic energy to peripheral blood mononuclear cells and CD34+/CD133+ expression: an in vitro study. *Journal of Current Science and Technology*, 11(1), 24-31
2. **Tochaikul, G.**, Moonkum, N., Sriwongta, S., Neamchumnan, M., Thawornnittayakul, A., & Danthanawat, N.* (2021, May) Determination of appropriate proportional in-house flexible radiation shielding material using bismuth powder and natural-silicon rubber compounds. *Journal of Current Science and Technology*, 11(2), 277-286
3. Danthanawat, N., Mongkolsuk, M., **Tochaikul, G.**, Sriwongta, S., Piyajaroenporn, A., Lithreungnam, C., & Moonkum, N. (2021). Study of epoxy shielding material with barium sulphate for development of radiation protection materials in low-dose diagnostic X-ray. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9. doi:10.1080/10420150.2021.1972113
4. **Tochaikul, G.**, Phattanasub, A., Khemkham, P., Saengthamthawee, K., Danthanawat, N., & Moonkum, N. (2022). Radioactive waste treatment technology: a review. *Kerntechnik*.

5. **Tochaikul, G.**, Danthanavat, N., Pilapong, C., & Moonkum, N. (2022). Effect of low dose radiation from general X-ray to T-cell lymphocyte expression using an in vitro method. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9.
6. Moonkum, N., Pilapong, C., Daowtak, K., & **Tochaikul, G. (2022)**. Evaluation of silicone rubber shielding material composites enriched with BaSO₄ and Bi₂O₃ particles for radiation shielding properties. *Materials Research Innovations*, 1-8.
7. Moonkum, N., Turathong, S., Pinitpatcharalert, A., Seechompoo, J., Suetong, C., Danthanavat, N., & **Tochaikul, G. (2022)**. A phantom study: In vivo rectal dosimetry of high dose rate brachytherapy in cervical cancer. *Applied Radiation and Isotopes*, 110604.
8. **Tochaikul, G.**, Phattanasub, A., Muanglay, C., Thongcommak, W., Majan, S., Doungkrat, L., ... & **Moonkum, N. (2023)**. Fabrication of epoxy-resin-based bismuth-oxide powder radioactive container for Technetium-99m and Iodine-131 radiopharmaceuticals. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-14.
9. Moonkum, N., Pilapong, C., Daowtak, K., & **Tochaikul, G. (2023)**. Radiation Protection Device Composite of Epoxy Resin and Iodine Contrast Media for Low-Dose Radiation Protection in Diagnostic Radiology. *Polymers*, 15(2), 430.
10. **Tochaikul, G.**, Pilapong, C., Daowtak, K., & Moonkum, N. (2023). Influence of radiation dose from repeated chest X-ray on cell morphology and proliferation in peripheral blood mononuclear cells an in vitro study. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-9.
11. Daowtak, K., Pilapong, C., **Tochaikul, G.**, & Moonkum, N. (2023). Effect of iodinated contrast media on peripheral blood mononuclear cells in terms of cell viability, cell cycle and oxidative stress in an in vitro system. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 1-8.

ผลงานที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการภายในประเทศ

-

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการในต่างประเทศ

1. Nutthapong Moonkum, T. P., **Gunjanaporn Tochaikul**, Nuttapong Danthanavat, Natthawat Kimkitwanitand Maaridee Cheloh. (2020). EFFECT OF REPEATED CHEST X-RAY ON CHARACTERISTIC OF PERIPHERAL BLOOD MONONUCLEAR CELLS. The 4th International Conference on Nation-Building 2020
2. **Gunjanaporn Tochaikul**; Nutthapong Moonkum; Thipjutha Phatruengdet; Monchuporn Neamchumnan; Aksarapak Thawornnittayakul; Nuttapong Danthanavat. Flexible Radiation Shielding Composing of Natural Rubber and Bismuth Powder. *THE 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCES AND TECHNOLOGY*

ผลงานวิจัยที่ได้รับรางวัล

- RSU Good Practice Awards 2023: รางวัลชมเชยจากการเสนอแนวปฏิบัติที่ดีเรื่อง สร้างนวัตกรรมงานวิจัย (Innovative Research and Development)

สาขาวิชาที่นักวิจัยเชี่ยวชาญ

- 1) Radiation Physics
- 2) Radiation Dosimetry
- 3) Brachytherapy