หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

ปัจจุบันมีการนำรังสีมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การถนอมอาหาร การฆ่าเชื้อเครื่องมือแพทย์ การผลิตผลิตภัณฑ์จากยางเป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้ใช้รังสีปริมาณสูงในหน่วยกิโลเกรย์ เพื่อฆ่าเชื้อและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดรังสีในรูปฟิล์มพลาสติก เพื่อสะดวกในการวัดและควบคุมปริมาณรังสี แผ่นฟิล์มวัดรังสีเหล่านี้เป็นเครื่องวัดรังสีชนิดโซลิดสเตต (Solid State Dosimeters) โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสีของฟิล์มเมื่อได้รับรังสีปริมาณสูง ในการวิเคราะห์ผลโดยการวัดค่าความทึบแสง (Optical Density) ที่เปลี่ยนไปที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมด้วย UV-VIS Spectrophotometer

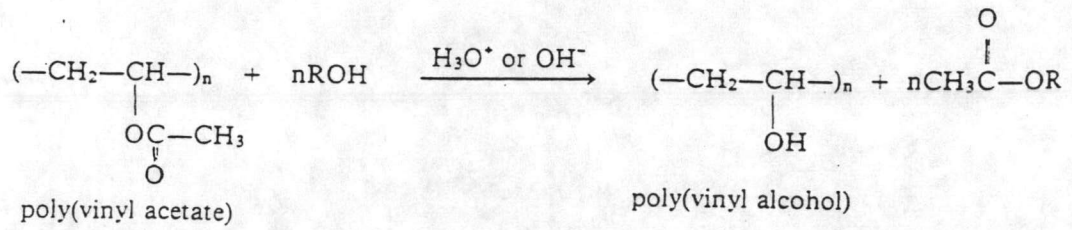
แผ่นฟิล์มพลาสติกแบบมีสี (Dyed Plastics) เป็นแผ่นฟิล์มที่ประกอบด้วยส่วนผสมของโพลีเมอร์และสีย้อม ทั่ว ๆ ไปมีความหนา 20 - 200 ไมโครเมตร หลังจากได้รับการฉายรังสี (Irradiation) สีของแผ่นฟิล์มจะจางลงหรือเข้มขึ้น โดยขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มนั้น ๆ ฟิล์มชนิดที่มีการจางของสีที่นิยมใช้กันแพร่หลายได้แก่ Blue Cellophanes และ Blue Ultraphanes แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลูก็เช่นเดียวกันสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงหลังจากการฉายรังสีโดยสีของแผ่นฟิล์มจะจางลง

2.1 ฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู

ส่วนประกอบของแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ - เมทีลีนบลู ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และ เมทีลีนบลูซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ชนิดหนึ่ง

2.1.1 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol : PVA)

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง เตรียมจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของโพลีไวนิลอะซิเตต ดังแสดงใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส

โดยทั่วไป เตรียมโดยโพลีไวนิลอะซิเตตในแอลกอฮอล์แล้วเติมตัวเร่งและให้ความร้อน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะตกตะกอนออกจากสารละลาย

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถละลายในน้ำได้ โดยละลายอย่างช้า ๆ ในน้ำเย็น แต่การละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิประมาณ 90°C

เนื่องจาก ค่าความหนาแน่นอิเลกตรอน (electron density) ค่าเลขอะตอมยังผล (effective atomic number) ค่าส่วนประกอบของไฮโดรเจน (hydrogen-atom content) และค่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้อะตอมแตกตัว (average excitation potential) ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าใกล้เคียงกับตัวกลางหลายชนิดที่ใช้ในทางเคมีรังสี (radiation chemistry) และ ชีวรังสี (radiobiology) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติตัวกลางชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดปริมาณรังสี

ตัวกลาง	ความหนาแน่นอิเลกตรอนต่อกิโลกรัม x 10^{-26}	ค่าเลขอะตอมยังผล		ส่วนประกอบอะตอมไฮโดรเจนต่อกิโลกรัม x 10^{-25}	ค่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้อะตอมแตกตัว (อิเลกตรอนโวลต์)
		Z_i	Z_p		
Polyvinyl alcohol	3.28	6.53	5.83	5.47	64.0
Polyethylene	3.43	5.46	4.78	8.59	51.4
Polymethylmethacrylate	3.26	6.46	5.83	2.80	65.4
Polystyrene	3.24	5.79	5.28	4.62	60.5
Medium of vegetable origin (grian)	3.20	6.94	6.24	5.71	65.0
Muscle tissue	3.36	7.42	6.00	6.07	66.0
Water	3.36	7.42	6.60	6.68	68.0

Taplin และ Malin (1961) พัฒนาแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของเททราโซเลี่ยมบลู (Tetrazolium Blue) โดยมีความหนาต่าง ๆ กัน สามารถนำมาใช้วัดรังสีแกมมาในช่วง 50 เกรย์-50 กิโลเกรย์ และพบว่าแผ่นฟิล์มดังกล่าวสามารถวัดนิวตรอนได้ในช่วง 0.1-3 เกรย์ เมื่อมีส่วนผสมของ ^{6}Li หรือ ^{10}B

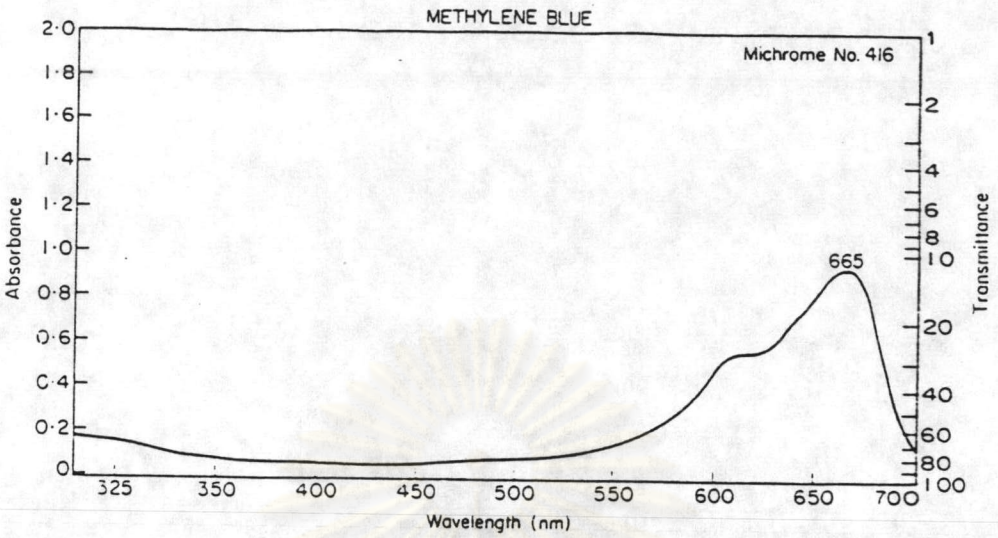
Lavrentovich และคณะ (1965) พบว่าฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของเมทีลีนบลู (Methylene Blue) เมทีลีนเยลโล (Methylene yellow) หรือเมทีลออเรนจ์ (Methyl Orange) สามารถวัดรังสีแกมมาในช่วง 100 เกรย์- 10 กิโลเกรย์ และเมื่อมีกรดบอริก (boric acid) เป็นส่วนผสม จะสามารถใช้วัดนิวตรอนในช่วง 10^{12}-10^{14} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร ซึ่งต่อมา Huber และ Stolz ได้พัฒนาแผ่นฟิล์มด้วยวิธีที่คล้ายกับวิธีนี้เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องวัดรังสีในกิจการฉายรังสีเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ (medical irradiation sterilization)

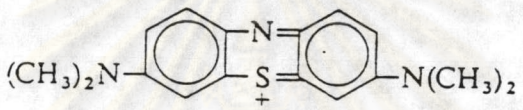
Chung (1993) ผลิตแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-คองโกเรด (Polyvinyl Alcohol- Congo red) เพื่อใช้วัดรังสีแกมมาและอิเลกตรอนแผ่นฟิล์มดังกล่าวการตอบสนองต่อรังสีในช่วง 100-500 กิโลเกรย์ และยังได้ศึกษาความคงตัวของฟิล์มหลังจากได้รับรังสี พบว่าถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 10% ในระยะเวลา 1 ปี

Chung และ Miller (1993) ใช้เมทีลออเรนจ์ผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม เพื่อใช้วัดรังสีแกมมาและอิเลกตรอนในช่วง 0-500 กิโลเกรย์ความคงตัวของแผ่นฟิล์มหลังจากได้รับรังสีดีมาก กล่าวคือ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงภายในระยะเวลา 1 ปี

2.1.2 เมทีลีนบลู (Methylene Blue : MeB)

เมทีลีนบลู มีชื่ออีกอย่างเรียกว่า Methylthionine Chloride เป็นสีย้อม ในกลุ่มของ Thiazine มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 320 และมีเลขดัชนีสี เท่ากับ 52015 (Cl. Basic Blue 9:Cl 52015) ลักษณะทั่วไปของเมทีลีนบลูเป็นผลึกสีเขียวเข้มมันวาว ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ ผลึกของเมทีลีนบลูมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ 12-15 % รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของเมทีลีนบลู และ Absorption Spectra ของเมทีลีนบลู





$[Cl^-]$

$C_{16}H_{18}N_3SCl$

Molecular weight 320: Cationic weight 285

รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างและ Apsorption Spectra ของเมทีลีนบลู

2.2 การพัฒนาแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู ในการวัดรังสี

Seetz (1938) พบว่าสารละลายเมทีลีนบลูจะมีสีจางลงเมื่อได้รับรังสี ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นผลเนื่องมาจากการจับออกซิเจนในอากาศ (admission of O_2)

Day และ Stein (1950) นำเมทีลีนบลูผสมใน agar gel และเติมโซเดียมเบนโซเอท (Sodium benzoate) เพื่อทำหน้าที่เป็น scavenger จับ hydroxyl radical พบว่าถ้าใช้รังสีแกมมาปริมาณ 4 เกรย์ จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสง (OD) ลดลง 0.02 และค่าการตอบสนองต่อรังสีมีค่าสูงถึง 10^2 เกรย์

Oster และ Broyde (1959) พบว่าสีของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผลิตจากโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และเมทีลีนบลู จะจางลงเมื่อได้รับแสงจาก visible light รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

Lavrentovich และคณะ (1964) ศึกษา และ ผลิตแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู เพื่อใช้วัดรังสีแกมมาและนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (nuclear reactors) พบว่า การจางสีของฟิล์มจะมีการตอบสนองเป็นเชิงเส้นในช่วง 0.1-10 กิโลเกรย์ ถ้าต้องการ

นำฟิล์มนี้ไปใช้วัดนิวตรอนจะต้องเติมกรดบอริกลงไปในส่วนผสม แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้สามารถใช้วัด thermal neutron ในช่วง 10^{12}-10^{14} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรได้ นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่ผลิตขึ้นยังใช้หาปริมาณรังสีของ protons, deuterons, alpha particles และ accelerated electrons ได้อีกด้วย

Chung และ Miller (1993) พัฒนาแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู หนา 20 ไมโครเมตร เพื่อใช้วัดรังสีแกมมาจาก ^{60}Co และอิเลกตรอนที่มีพลังงาน 10 เมกะ-อิเลกตรอนโวลต์ (MeV) พบว่าสามารถวัดรังสีได้ถึง 40 กิโลเกรย์ มีการเปลี่ยนแปลงความคงตัวหลังการฉายรังสี 20% ต่อปี เมื่อเก็บฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

Chung, Kojima และ Okamoto (1994) ผลิตฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู ที่มีความหนา 20 ไมโครเมตร พบว่าการตอบสนองอิเลกตรอนพลังงาน 300 กิโลอิเลกตรอนโวลต์ (KeV) มีความเป็นเชิงเส้นในช่วง 1-30 กิโลเกรย์ และศึกษาพบว่าสามารถนำฟิล์มที่ผลิตมาใช้วัด depth dose profile สำหรับอิเล็กตรอนพลังงานต่ำในช่วง 150-300 กิโล-อิเลกตรอนโวลต์

2.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู

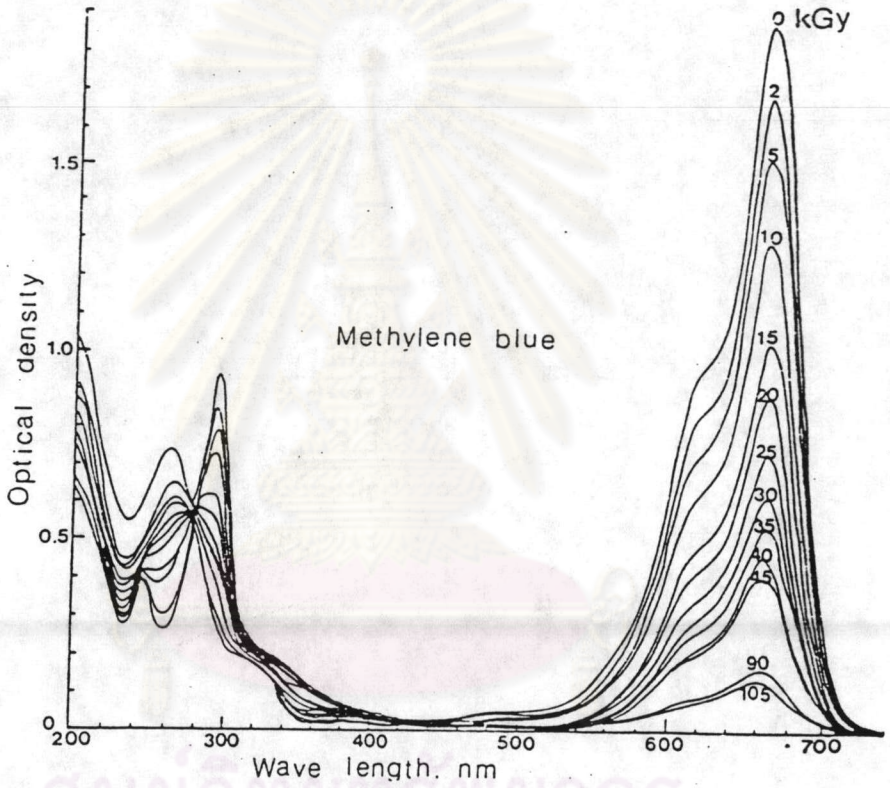
แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลูที่เตรียมขึ้น ควรมีคุณสมบัติทางการดูดกลืนรังสีและมีความหนาพอเหมาะ โดยนำส่วนผสมของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลูที่ได้ทำการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแล้วมาเทบนแผ่นแก้วขึ้นรูปที่ได้รับการปรับระดับในแนวระนาบโดยความหนาของแผ่นฟิล์มที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารละลายที่ใช้เท ควรทำการเตรียมและตากฟิล์มในที่มืด เนื่องจากเมทีลีนบลูมีความไวต่อแสงสว่างและควรป้องกันฟิล์มจากฝุ่นละอองและไอจากสารเคมี เมื่อแผ่นฟิล์มแห้งดีทำการลอกฟิล์มออกจากพิมพ์

2.4 คุณสมบัติแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลู

คุณสมบัติแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลูในการตอบสนองต่อรังสีจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเมทีลีนบลูและความหนาของแผ่นฟิล์ม คุณสมบัติที่ต้องทดสอบได้แก่

2.4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption spectra) เป็นการทดสอบการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ผลิตขึ้นโดยนำฟิล์มที่ยังไม่ได้รับการฉายรังสีไปวัดสเปคตรัมด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อดูรูปร่างของสเปกตรัมและการตอบสนองกับแสงในช่วงคลื่น

ต่าง ๆ ส่วนมากฟิล์มพลาสติกแบบมีสีจะสามารถวัดได้ในช่วงคลื่นวิสิเบิลมากกว่าช่วงของอุลตราไวโอเลต ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง (Absorption หรือ OD) ที่ความยาวคลื่นที่สีของฟิล์มดูดกลืนได้ดีที่สุด (Maximum Absorption) สำหรับฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลินบลู จะมีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 661 นาโนเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพ (Grade) และความบริสุทธิ์ (purified) ของสารเคมีที่ใช้ และจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยการจางของสีตามปริมาณรังสีที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

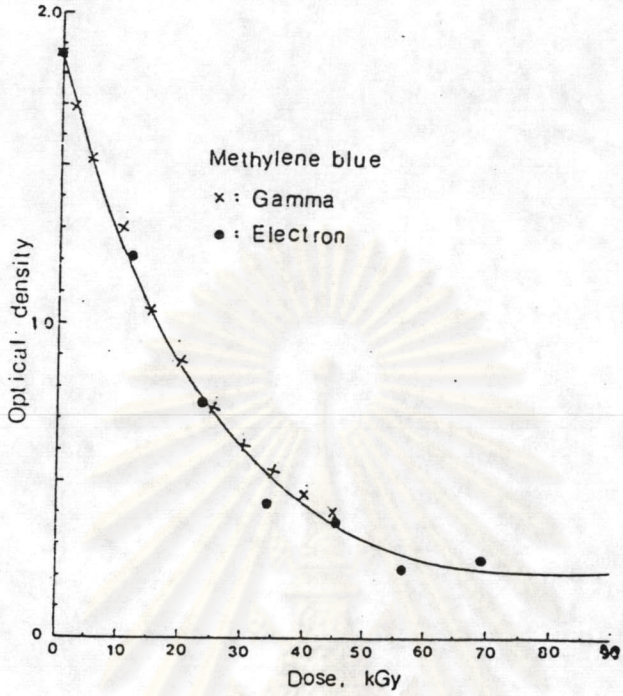


รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลินบลู

2.4.2 การตอบสนองปริมาณรังสี (Dose Response Characteristics) เป็นการแสดงค่าตอบสนองของฟิล์มต่อค่าปริมาณรังสีต่างๆกัน แสดงโดยกราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงสูงสุดกับปริมาณรังสีที่ใช้ฉายบนแผ่นฟิล์ม ส่วนมากนิยมอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยของค่าดูดกลืนที่เปลี่ยนไป ΔA ต่อหนึ่งหน่วยความหนา (t, มิลลิเมตร : mm.) โดยที่ ค่า $\Delta A = Ao - Ai$ เมื่อ Ai คือค่าการดูดกลืนเมื่อฟิล์มได้รับรังสี และ Ao คือ ค่าการดูดกลืนก่อนฟิล์มได้รับรังสี

ช่วงของการตอบสนองรังสีของฟิล์มจะมีช่วงที่มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) หรือ ไม่

ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมที่ผสม และช่วงปริมาณรังสีดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดกับปริมาณรังสีของฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-เมทีลีนบลูสำหรับรังสีแกมมาและอิเลกตรอน

2.4.3 ผลของสภาพแวดล้อม (Environmental effect) การจางของฟิล์มพลาสติกสีอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้น แสงสว่าง และปริมาณออกซิเจน เป็นต้น จึงต้องมีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้โดยผลิตฟิล์มในห้องมืดเก็บฟิล์มที่ผลิตได้ในกระดาษดำ และเก็บในซองพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น

2.4.4 ความเสถียรของฟิล์ม (Stability) เป็นการดูการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มก่อนและหลังจากฉายรังสี เมื่อทิ้งไว้ในเวลาต่าง ๆ กัน

ถ้าฟิล์มที่ผลิตขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงของสีก่อนการได้รับการฉายรังสีมาก แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นเครื่องวัดรังสี เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ทำให้ค่าการวัดรังสีมีค่าไม่ถูกต้อง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีหลังฉายรังสี จะทำให้ทราบถึงข้อจำกัดในการนำฟิล์มมาใช้งาน เช่น การอ่านผลจากฟิล์มควรจะอยู่ในช่วงเวลาใดหลังจากฟิล์มได้รับรังสีแล้วจึงจะทำให้ค่าของผลการอ่านไม่แตกต่างจากการอ่านผลทันทีหลังจากได้รับรังสี ใช้พิจารณาว่าฟิล์มที่ผลิตขึ้นสามารถนำมากลับอ่านใหม่ได้ในช่วงระยะเวลาเท่าใด