

## การกำจัดสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง REMOVAL OF REACTIVE DYES IN TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER BY HIGH-ENERGY ELECTRON ACCELERATOR

พัศราภรณ์ สุวรรณวิโรตม<sup>1</sup>, รศ.ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง<sup>2\*</sup>, ชัชพล พันโนราช<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย phatsarapohn.s@gmail.com

<sup>2\*</sup> ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย doonyapong.w@chula.ac.th

<sup>3</sup> ศูนย์วิจัยสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) chatchaponp@tint.or.th

### บทคัดย่อ

ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงสามารถใช้บำบัดน้ำเสียทั้งในเชิงชีวภาพ (กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ) และในเชิงเคมี (ย่อยสลายโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อนให้เล็กลง) ในเวลาเดียวกันได้ งานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงมาใช้ในการกำจัดสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพราะเป็นสีที่นิยมนำมาย้อมผ้า มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง ทนทานต่อการซักล้าง และยากต่อการกำจัด ในการศึกษาได้สังเคราะห์น้ำผสมกับสีรีแอคทีฟจำนวน 6 สี ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน สีชมพู สีฟ้า และสีดำ พร้อมกับเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจริงจากโรงงานย้อมผ้าในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 2 ตัวอย่าง นำมาฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง 10 MeV ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ กัน ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้น, COD, BOD<sub>5</sub> และ TDS ลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และปริมาณรังสี 10 kGy สามารถกำจัดสีในน้ำที่สังเคราะห์ได้ ~92% ส่วนน้ำทิ้งจริงจากโรงงานย้อมผ้าต้องใช้ปริมาณรังสีสูงขึ้นไปในช่วง 50 kGy จึงจะสามารถกำจัดสีได้ ~80% ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงถึงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการกำจัดสีรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากเพราะไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ ในการบำบัด จึงไม่มีสารเคมีตกค้างออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นการคืนสภาพความสะอาดและความปลอดภัยให้แก่ น้ำที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง, ลำอิเล็กตรอน, รีแอคทีฟ

## Abstract

A high-energy electron beam can be used to treat both the biological aspect (elimination of various microorganisms) and chemical aspect (degradation of large and complex molecules to smaller ones) of wastewater at the same time. In this research, high-energy electron beam technology was applied to remove reactive dyes in textile wastewater because it is a popular fabric dye with high environmental stability and resistance to washing and elimination. In this study, water samples with each of the 6 reactive dye colors, namely red, yellow, blue, pink, sky blue, and black, were synthesized. Two actual effluent samples were also collected from a fabric dyeing factory in Sampran District, Nakhon Pathom Province. The samples were irradiated with a 10 MeV high-energy electron beam at the Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) at different doses. The results demonstrated that color intensity, COD, BOD<sub>5</sub>, and TDS decreased with increasing doses and that the radiation dose of 10 kGy was able to remove ~92% of color in the synthesized water, while the actual effluent from the fabric dyeing factory required a higher dose of 50 kGy to achieve 80% color removal. These results show the potential of using high-energy electron beam technology to remove reactive dyes. This is a highly environmentally friendly technology because it does not require any chemicals for the treatment; therefore, no chemical is released into the environment. This technology restores the cleanliness and safety of water to be released into the environment, which will benefit the people sustainably.

**Keywords:** High Energy Electron Accelerator, Electron Beam, Reactive Dye

## 1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ประเภทหนึ่งที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่อุตสาหกรรมฟอกย้อมต้องใช้น้ำในปริมาณมาก โดยอาจมากถึง 1,300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ไพฑิพย์, 2549) เพราะขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางเพื่อการล้างทำความสะอาดผ้า ทำให้มีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีและสีย้อม จากข้อมูลการปล่อยน้ำเสียในปี พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2564 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าอุตสาหกรรมสิ่งทอปล่อยน้ำเสียประมาณ 135,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียมากเป็นอันดับ 3 รองจากอุตสาหกรรมเคมีและอาหาร โดยน้ำทิ้งดังกล่าวมักมีลักษณะสำคัญที่มองเห็นได้ชัดเจนคือ มีความเข้มของสีสูง แม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อยก็สามารถทำให้น้ำมีสี เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจของผู้พบเห็นได้ (อรดี & ศศิธร, 2014)

สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ สีแว็ต สีอะโซ สีดิสเพอร์ส เป็นต้น แต่ปัญหาส่วนใหญ่ของน้ำทิ้งจากสีย้อมผ้าจะเป็นพวกสีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เพราะเป็นสีที่นิยมนำมาย้อมผ้า ละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใยเกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) เป็นพันธะที่แข็งแรงทนทานต่อการซักล้าง ทำให้ความนิยมในการใช้สีรีแอคทีฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่สีรีแอคทีฟมีโครงสร้างพื้นฐานในกลุ่มอะโรมาติก (Aromatic) และเฮเทอโรไซคลิก (Hetero cyclic) จึงยากที่จะกำจัดโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ ส่วนการบำบัดแบบไร้อากาศสามารถลดความเข้มข้นของสีได้แต่จะให้ผลผลิตระหว่างทางในกลุ่มของอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (สายรุ้ง, 2011)

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอจึงต้องเลือกวิธีการบำบัดที่เหมาะสมเพราะน้ำทิ้งที่มีสีที่ไม่ได้รับการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำพบว่าสีในน้ำทิ้งเป็น

อนุภาคคอลลอยด์ที่จะไปบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ทำให้พืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำลดลง ซึ่งมีผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำอาจตายได้ (ชนิษฐา, 2007) อีกทั้งยังทำให้พืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ โดยการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบันมีวิธีการคือน้ำเสียจะผ่านการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการบำบัดทางชีวภาพต่อไป ถึงแม้ว่าการบำบัดทางเคมี เช่น การตกตะกอนจะสามารถกำจัดสีย้อมชนิดที่ไม่ละลายน้ำเช่นสีรีแอคทีฟได้ดี แต่ก็มีการใช้สารเคมีทำให้มีสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียที่จะได้รับ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำเทคโนโลยีเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพราะลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงมีข้อดีที่มากกว่าคือไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัด สามารถใช้บำบัดน้ำเสียทั้งในเชิงชีวภาพ (กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ) และในเชิงเคมี (ย่อยสลายโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อนให้เล็กลง) ในเวลาเดียวกันได้ โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงจะไม่กัมมันตภาพรังสีเกิดขึ้นแต่อย่างใด ทั้งนี้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงได้มีการนำมาใช้ในหลายประเทศแล้ว เช่น เกาหลีใต้ และจีน ซึ่งนำมาใช้กำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานทอผ้า แต่ในประเทศไทยยังไม่มีมีการนำมาใช้งาน จึงเป็นโอกาสที่ดีที่ประเทศไทยจะเริ่มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้อย่างจริงจัง เพื่อประโยชน์ต่อผู้คนโดยรอบและสิ่งแวดล้อม

## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

### 2.1 การเตรียมตัวอย่าง

สังเคราะห์น้ำผสมสีรีแอคทีฟจากบริษัท คิวแอสัมพันธ์ จำกัด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน สีชมพู สีฟ้า และสีดำ ที่ความเข้มข้น 0.5 มก./ล โดยใช้น้ำ Deionized water เป็นตัวทำละลาย และเตรียมตัวอย่างน้ำทิ้งจริงที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจากบ่อกักน้ำของ บริษัท ยูไนเต็ค เท็กซ์ไทล์

มิลส์ จำกัด นำมากรองด้วยวิธี Filtration system เพื่อเป็นการบำบัดขั้นต้น กำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทางกายภาพ

### 2.2 การฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง

บรรจุตัวอย่างลงในกล่องพลาสติกกันความร้อนโดยบรรจุของเหลวให้มีความหนาไม่เกิน 1 ซม. และฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง 10 MeV ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ตัวอย่างของสีที่สังเคราะห์ฉายปริมาณรังสีที่ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 และ 50 kGy และตัวอย่างน้ำทิ้งจริงใช้ปริมาณรังสี 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 kGy โดยฉายที่อุณหภูมิห้องและในบรรยากาศปกติ

### 2.3 การวัดคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

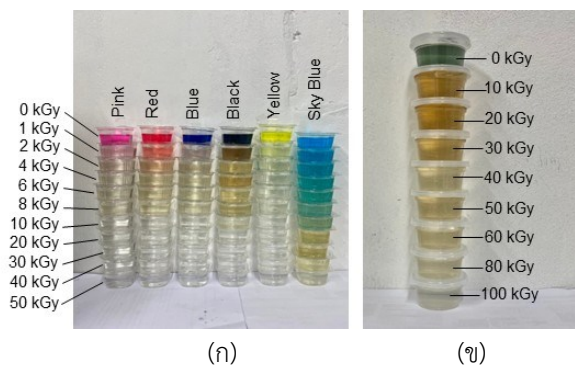
ได้แก่ ความเข้มข้นด้วยวิธี Platinum-Cobalt Scale, pH, BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และ TDS (total dissolved solid) และคำนวณร้อยละการลดลงของทุกพารามิเตอร์ ดังแสดงตัวอย่างการเขียนสมการ

$$\% \text{ removal} = \left( \frac{A_0 + A_{\text{irrad}}}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดย  $A_0$  คือค่าพารามิเตอร์ก่อนฉาย และ  $A_{\text{irrad}}$  คือค่าพารามิเตอร์หลังฉาย

## 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

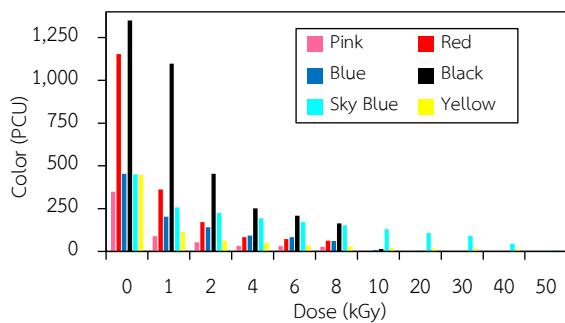
ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงสามารถสังเกตเห็นการลดลงของสีรีแอคทีฟได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 1 โดยน้ำผสมสีรีแอคทีฟใช้ปริมาณรังสี 1 - 50 kGy ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสีใช้ปริมาณรังสี 10 - 100 kGy เนื่องจากตัวอย่างมีความเข้มข้นสูงและยังไม่ผ่านการบำบัดทำให้ต้องเริ่มใช้ปริมาณรังสีที่สูงกว่าน้ำผสมสีรีแอคทีฟ



**ภาพที่ 1** ตัวอย่างน้ำหลังจากการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง (ก) น้ำผสมสีรีแอกทีฟ (ข) น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสี

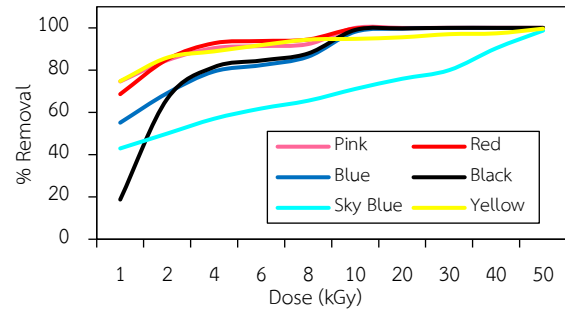
3.1 ศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อการลดลงของสีในน้ำผสมสีรีแอกทีฟ

จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจะสามารถลดความเข้มของสีรีแอกทีฟในน้ำได้ดี ถึงแม้จะใช้ปริมาณรังสีต่ำ โดยที่ปริมาณรังสี 10 kGy จะสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟชมพูในน้ำได้หมด และที่ปริมาณรังสี 30 kGy จะสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟแดง ดำ และน้ำเงินในน้ำได้หมดเช่นกัน แต่สีรีแอกทีฟเหลืองและฟ้าที่ปริมาณรังสี 50 kGy ไม่สามารถกำจัดความเข้มสีได้หมด ดังแสดงในภาพที่ 2



**ภาพที่ 2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีรีแอกทีฟในน้ำและปริมาณรังสี

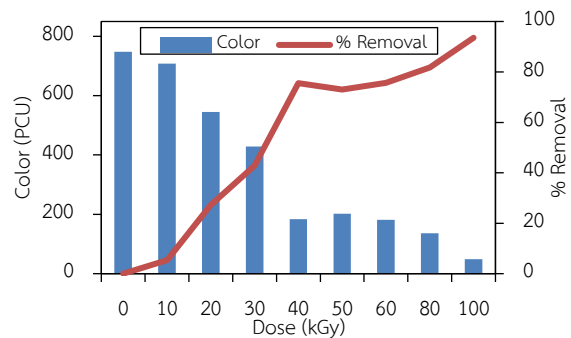
ถึงแม้ว่าสีรีแอกทีฟเหลืองและฟ้าจะไม่สามารถถูกกำจัดความเข้มสีได้หมดที่ปริมาณรังสี 50 kGy แต่ความเข้มสีก็มีปริมาณน้อยมาก และเมื่อนำมาคำนวณร้อยละการลดลงของสีโดยคำนวณจากสมการที่ (1) พบว่าประสิทธิภาพการลดลงของสีอยู่ที่ประมาณ 98% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หากพิจารณาร้อยละการลดลงของความเข้มสีทุกตัวอย่างดังภาพที่ 3 ปริมาณรังสี 10 kGy สามารถลดความเข้มสีลงได้มากกว่า 70% ซึ่งผลเป็นไปตามงานวิจัยของ Nguyen Ngoc Duy et al. (2019) กล่าวคือ ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟดี



**ภาพที่ 3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของสีในน้ำต่อปริมาณรังสี

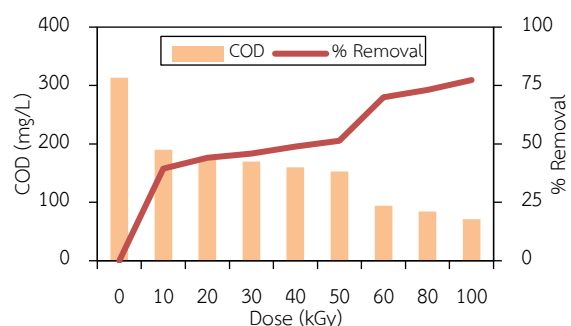
3.2 ศึกษาผลของปริมาณรังสีกับตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสี

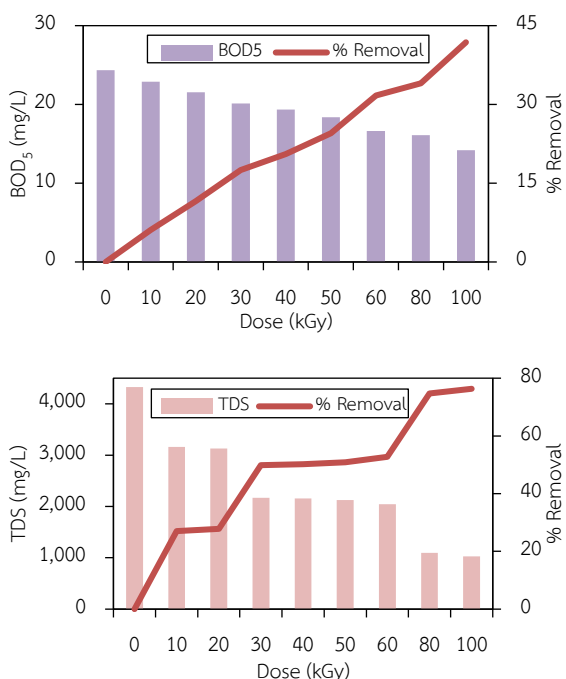
ในขณะที่การกำจัดสีด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงในน้ำผสมสีรีแอกทีฟจะใช้ปริมาณรังสีต่ำ แต่ลักษณะตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสีค่อนข้างสกปรกสังเกตเห็นได้จากค่าเริ่มต้นที่ 0 kGy จึงต้องใช้ปริมาณรังสีสูงถึง 100 kGy ดังภาพที่ 4 เพื่อลดความเข้มของสีลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม



**ภาพที่ 4** ผลของปริมาณรังสีต่อความเข้มสีของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสี

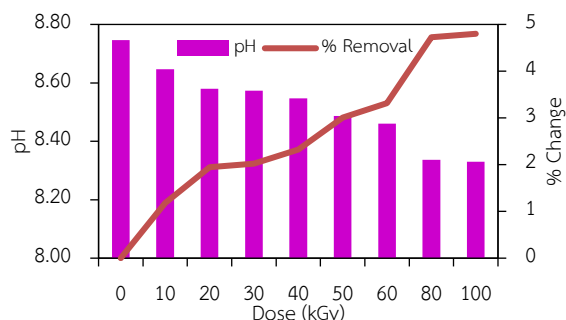
จากการศึกษาพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนปล่อยทิ้ง พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจะสามารถลดปริมาณ BOD<sub>5</sub>, COD และ TDS ได้ดี





ภาพที่ 5 ผลของปริมาณรังสีต่อ COD, BOD<sub>5</sub> และ TDS ของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสี

ผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณรังสี 100 kGy ร้อยละการกำจัดสีที่ 93% นั้นสูงกว่าเมื่อเทียบกับ COD (71%) BOD<sub>5</sub> (41%) และ TDS (76%) ดังภาพที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khomsaton Abu Bakar et al. (2014) ซึ่งได้สันนิษฐานว่าการทำลายโมเลกุลของสีย้อมมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสีเท่านั้น ในขณะที่การกำจัด COD ขึ้นอยู่กับการสลายตัวของโมเลกุลของสีย้อมทั้งหมด การกำจัด COD, BOD<sub>5</sub> และความเข้มสีจะสูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาณรังสีที่สูงขึ้น ส่วนค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการฉายรังสีเท่ากับ 8.75 เมื่อฉายรังสีที่ 10 - 100 kGy มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพียง 1 - 4% เท่านั้น ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของปริมาณรังสีต่อ pH ของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสี

ถ้าหากใช้ปริมาณรังสีสูงถึง 200 kGy ค่า pH ก็มีโอกาสดลดลงเพราะรังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลอินทรีย์จากใหญ่ไปเป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กกลง ซึ่งจะเกิดเป็นกรดอินทรีย์ในที่สุด (Khomsaton Abu Bakar et al, 2014) อย่างไรก็ตามค่าความเข้มสี, pH, BOD<sub>5</sub>, COD และ TDS ก็ผ่านเกณฑ์ที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ในช่วงปริมาณรังสี 60 kGy

#### 4. สรุปผล (Conclusion)

ความเข้มสี, pH, COD, BOD<sub>5</sub> และ TDS ลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และปริมาณรังสี 10 kGy สามารถกำจัดสีในน้ำที่สังเคราะห์ได้ ~92% ส่วนน้ำทิ้งจริงจากโรงงานย้อมผ้าต้องใช้ปริมาณรังสีสูงขึ้นในช่วง 50 kGy จึงจะสามารถกำจัดสีได้ ~80% และยังสามารถลดปริมาณ BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่า 20 มก./ล, COD ต่ำกว่า 120 มก./ล และ TDS ต่ำกว่า 3,000 มก./ล ให้อยู่ในมาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษ โดยผลลัพธ์เหล่านี้แสดงถึงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ ซึ่งสามารถใช้บำบัดทั้งในเชิงชีวภาพและในเชิงเคมีได้ในเวลาเดียวกัน โดยเทคโนโลยีนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษาของบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองในโอกาสที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงเจริญพระชนมายุ ๖๐ พรรษา

#### 6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Bakar, K. A., et al. (2014). Degradation and decoloration of textiles wastewater by electron beam irradiation: Effect of energy, current and absorbed dose. AIP Conference Proceedings 1614(1): 463-468.

- [2] Duy, N. N., et al. (2019). "TREATMENT OF REAL TEXTILE WASTEWATER USING ELECTRON BEAM IRRADIATION " SCIENDO: 303-316.
- [3] ขนิษฐา (2007). "บำบัดน้ำเสีย." from [https://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_to\\_pic.php?bookID=370&pageid=1&read=true&count=true](https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_to_pic.php?bookID=370&pageid=1&read=true&count=true).
- [4] ไพฑิพย์, (2549). " การกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ" จดหมายข่าวเอ็มเทค 3(30): 21-24.
- [5] สายรุ่ง นพขุนทด, (2011). การกำจัดสีรีแอกทีฟจากน้ำเสียด้วยหินดินดาน. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: 235.
- [6] อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ (2014). "การกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู." วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 19(1): 131-140.