การศึกษาเชิงปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ ในประเทศไทย

Quantitative study of absorbable organic halides (AOX) residual in natural fiber-containing-fabric in Thailand

4

ชนกานต์ ชูชีพชื่นกมล[1*], อรวรรณ พรมสอน[1], ก่อพงศ์ หงษ์ศรี[1], อรพินท์ สุขยศ[1]
Chanakarn Chucheepchuenkamol[1*], Orawan Promson[1], Korpong Hongsri[1], Orapin Sukyod[1]
รับบทความ: 23 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ: 1 กันยายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 29 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

AOX เป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างลิกนินในเส้นใยธรรมชาติกับคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในกระบวนการฟอก สารประกอบนี้มีความเสถียรสูง สลายตัวยาก มีความเป็นพิษ สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เกิดความเสียหายในระดับพันธุกรรมทั้งในมนุษย์และสัตว์ ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและระบบต่อมไร้ท่อของสัตว์ การตรวจหาและลดปริมาณ AOX จึงเป็นประเด็นสำคัญ อุตสาหกรรมผ้าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สามารถเกิดสารประกอบ AOX ได้จากขั้นตอนการฟอกผ้า ในหลายประเทศได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานขั้นต่ำของปริมาณสารประกอบ AOX ในผลิตภัณฑ์ผ้าและน้ำเสียจากโรงงานผลิตผ้า แต่ในประเทศไทยไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในตัวอย่างผ้าที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติที่เป็นที่นิยมใช้และมีขายทั่วไปในท้องตลาดภายในประเทศ จำนวน 6 ชนิด ประกอบด้วย ผ้าฝ้ายไม่ฟอก ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ โดยใช้วิธีการสกัดสารด้วยซอกห์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และหาปริมาณสารประกอบ AOX ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ISO 9562 จากการศึกษา พบว่า ผ้าทั้ง 6 ชนิด มีสารประกอบ AOX โดยผ้าฝ้ายฟอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากที่สุดเท่ากับ 56.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของผ้าแห้ง และผ้าฝ้ายผสมใยสังเคราะห์มีปริมาณสารประกอบ AOX น้อยที่สุดเท่ากับ 7.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของผ้าแห้ง เมื่อเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้ากับเกณฑ์ที่ Global Organic Textile Standard (GOTS) กำหนด พบว่า ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผ้าแห้ง

คำสำคัญ: สารประกอบที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบ AOX การสกัดจากผ้า

[1] กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

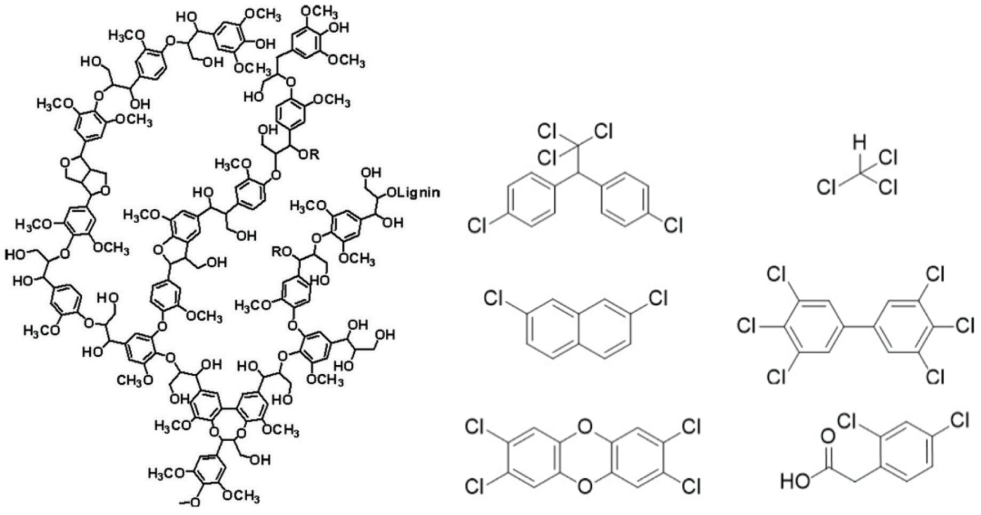
AOX is a product from the reaction between lignin in plant fibers and chlorine or chlorine-containing compound which occurs during the bleaching process. This compound is stable, difficult to be broken down and could be accumulated in living things, which are resulted in gene damaging, irregular growing of plants and endocrine system of animals. The detection and reduction of residual AOX compound become an issue in textile industries, which is produced during the bleaching process. The limited amount of residual AOX compound on the fabric and factory wastewater are legally indicated in many countries, but not in Thailand. This research aims to study and collect the quantitative data of remaining AOX compound in six common natural fibers fabrics in Thailand, which are unbleached cotton, bleached cotton, bleached jeans, linen, muslin, and polyester-cotton blending. The water extraction was done using Soxhlet extraction and the amount of AOX compound was determined by following the ISO 9562 procedure. The study revealed that the bleached cotton contained the highest amount of remaining AOX compound, which was 56.34 milligrams per kilogram of dried sample. On the other hand, the polyester-cotton blending contained the lowest amount of remaining AOX compound, which was 7.73 milligrams per kilogram of dried sample. Compared to the criteria that stated in Global Organic Textile Standard (GOTS), which is supposed to not more than 5.00 milligrams per kilogram, the residual amount of AOX compound of all six fabrics is higher.

Keywords: Chlorine-containing compound, AOX compound, The fabric extraction

[1] Engineering Materials Division, Department of Science Service
*Corresponding author e-mail address : chanakarn@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

AOX ย่อมาจาก Adsorbable organic halide หรือมีนิยามว่าผลรวมของปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุ Halogen เป็นองค์ประกอบที่สามารถดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ โดย AOX สามารถเกิดขึ้นโดยธรรมชาติและโดยกิจกรรมของมนุษย์ การเกิดขึ้นโดยธรรมชาติสามารถเกิดได้จากการเผาไหม้ ไฟป่า การระเบิดของภูเขาไฟ หรือเกิดจากการสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิตประเภทเห็ดรา สาหร่าย และไลเคนส์ แต่สารประกอบ AOX ที่เกิดโดยธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสารประกอบ AOX ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และโรงงานอุตสาหกรรม [1] โดยส่วนมาก สารประกอบ AOX ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเกิดจากอุตสาหกรรมเยื่อและการฟอกเยื่อ โดยสารประกอบ AOX จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างลิกนินในเส้นใยธรรมชาติและคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในกระบวนการฟอก [2] ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบ AOX จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของลิกนิน เนื่องจากลิกนิกมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้โครงสร้างของสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นมีความหลากหลายและแตกต่างกัน [2] สารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นนี้มีความเสถียรสูง สลายตัวยาก และสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งคุณสมบัติของ AOX มีความเป็นพิษ สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เกิดความเสียหายในระดับยีนทั้งในมนุษย์และสัตว์ และส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและระบบต่อมไร้ท่อของสัตว์อีกด้วย [1-3]



รูปที่ 1 (ซ้าย) โครงสร้างของโมเลกุลลิกนิน (Lignoworks) และ (ขวา) โครงสร้างของสารประกอบ AOX ที่อาจเกิดขึ้นได้

ปัจจุบัน การปล่อยสารประกอบ AOX ออกสู่สิ่งแวดล้อมและธรรมชาติกำลังเพิ่มขึ้นจากอุตสากรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ และถูกพิจารณาว่าเป็นสารประกอบที่มีความอันตรายรุนแรงและเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ [4] การตรวจหาและลดปริมาณ AOX จึงเป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งประเทศไทยมีการกำหนดค่ามาตรฐานของ AOX ในกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ อ้างอิงจากข้อกำหนดฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย [5] พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทกระดาษที่ได้รับสัญลักษณ์ฉลากเขียวจะต้องมีสารประกอบ AOX ตกค้างในผลิตภัณฑ์นั้นไม่เกิน 0.12 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักตัวอย่างแห้ง กลุ่มเส้นใยธรรมชาติ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เป็นหน่วยงานในประเทศเพียงแห่งเดียวที่สามารถทดสอบ หาปริมาณสารประกอบ AOX ได้ทั้งในน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้ง น้ำในบ่อบำบัด เยื่อกระดาษ กระดาษ ผลิตภัณฑ์กระดาษ ดิน และกากตะกอน และให้บริการทดสอบแก่ภาคเอกชนและหน่วยงานอื่น ๆ นอกจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแล้ว ยังมีอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่มีโอกาสเกิดสารประกอบ AOX เนื่องจากในเส้นใยธรรมชาติจะมีลิกนินเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น ในกระบวนการผลิตผ้าและสิ่งทอที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ จะมีการใช้คลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน ในขั้นตอนของการฟอกและย้อมผ้าด้วยสีสังเคราะห์ [6] หรือแม้กระทั่งการใช้น้ำยาฟอกผ้าขาวหรือน้ำยาซักผ้าที่มีส่วนผสมของสารฟอกขาวระหว่างซักผ้าเพื่อการขจัดคราบ เพื่อให้ผ้าขาวดูสว่างก็อาจทำให้เกิดสารประกอบคลอรีนตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ้าได้เช่นเดียวกัน [7]

ในต่างประเทศมีการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารประกอบ AOX ในผลิตภัณฑ์ผ้าและสิ่งทอ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานปริมาณสารประกอบ AOX ในผ้าและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

มาตรฐาน	ปริมาณสารประกอบ AOX ที่กำหนด
The bluesign® (เครื่องหมายการรับรองการใช้สารเคมีอย่างยั่งยืน), 2020 [8]	< 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
Global Organic Textile Standard (GOTS) หรือมาตรฐานวัสดุสิ่งทออินทรีย์, 2020 [9]	< 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สมาคมอุตสาหกรรมสิ่งทอธรรมชาตินานาชาติ หรือ IVN (ผู้ออกเครื่องหมายมาตรฐาน BEST) [10]	< ร้อยละ 1 ในสีย้อมสังเคราะห์และสีย้อมธรรมชาติ < 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ISOT หรือมาตรฐานสิ่งทออินทรีย์ของประเทศอินเดีย [11]	< 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คู่มือการบำบัดน้ำสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอของสวีเดน [12]	< 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานค่าขั้นต่ำของปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้า งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สำรวจ รวบรวมและเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในตัวอย่างผ้าชนิดต่าง ๆ จำนวน 6 ชนิด ที่เป็นที่นิยมใช้และมีขายทั่วไปในท้องตลาดภายในประเทศ มีรายงานระบุว่า ชนิดของผ้าที่มีบทบาทและผู้คนนิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน ผ้าฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ ผ้าป่าน [13-14] งานวิจัยนี้อ้างอิง วิธีสกัดจาก GOTS และ ASTM D2257-98 จากนั้นจึงวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562: 2004 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและออกกฎข้อบังคับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ้าภายในประเทศไทยต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัตถุดิบ

ตัวอย่างผ้า 6 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายไม่ฟอก จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จังหวัดอุบลราชธานี ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน และ ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ ซื้อจากร้านขายผ้าบริเวณพาหุรัด ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ตัวอย่างผ้าจำนวน 6 ชนิด

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

2.2.1 ชุดการสกัดสารประกอบ AOX จากผ้าด้วย Soxhlet ประกอบด้วย Soxhlet หอกลั่น Thimbles ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร และเตาให้ความร้อน

2.2.2 เครื่องทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (AOX Analyzer) ยี่ห้อ TSHR BV รุ่น TX6000

2.2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AT400

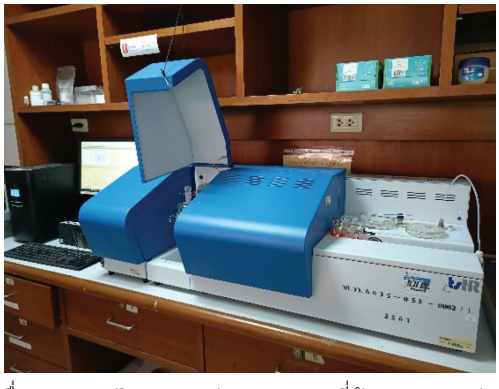
2.2.4 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF160

2.2.5 ชุดการตรวจหาสารประกอบ AOX ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตขนาด 100 มิลลิลิตร และ Quartz frit เบอร์ 4

2.2.6 ขวดปรับปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.2.7 กระดาษกรองเบอร์ 4

2.2.8 โถดูดความชื้น (Desiccator)



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX ยี่ห้อ TSHR BV รุ่น TX6000

2.3 สารเคมี

2.3.1 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3.2 สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent (AR) grade) ความเข้มข้นร้อยละ 69.0 – 70.0 ยี่ห้อ J.T.Baker

2.3.3 สารละลายโซเดียมไตเตรท ($NaNO_3$) ความเข้มข้น 0.2 mol/L โดยเตรียมจาก โซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent (AR) grade) ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.0 ยี่ห้อ Univar

2.3.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ยี่ห้อ Elemental Microanalysis

2.3.5 แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.99

2.3.6 แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.6

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 การสกัดสารประกอบ AOX จากตัวอย่างผ้า

การสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าจะสกัดด้วยวิธี Soxhlet ตามมาตรฐาน ASTM D2257-98 เริ่มจากเตรียมผ้าเป็นขนาดไม่เกิน 1x1 เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนักของผ้ารวมกันมากกว่า 20 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วจึงชั่งตัวอย่างผ้าที่ผ่านการอบแล้ว ปริมาณ 10 ± 1 กรัม บรรจุลงใน Thimbles ที่อยู่ใน Soxhlet จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมและประกอบเข้ากับชุด Soxhlet และหอกลั่น ดังแสดงในรูปที่ 4 ตั้งความร้อนจนเดือด ทำการสกัดตามจำนวนรอบที่ต้องการ แล้วเลือกจำนวนรอบที่มีค่าสารประกอบ AOX มากที่สุด โดยทำการสกัด 2 ซ้ำ

เมื่อครบจำนวนรอบการสกัด ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการสกัดมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4 การกลั่นด้วยวิธี Soxhlet

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ด้วยเครื่อง AOX Analyzer

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562: 2004 เริ่มจากนำสารละลายที่สกัดได้ในข้อ 2.4.1 มาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 1.5-2.0 ด้วยสารละลายกรดไนตริก เตรียมขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด ชั่งผงถ่านกัมมันต์ จำนวน 50 มิลลิกรัม ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นปิเปตสารละลายที่ปรับ pH แล้ว ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

นำตัวอย่างที่ผ่านการเขย่าแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบคอลัมน์ โดยใช้ Quartz frit เป็นตัวกรองและใช้แก๊สไนโตรเจนในการอัดความดัน จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์อยู่บนถ้วยกรอง ล้างถ่านกัมมันต์ที่กรองได้บน ถ้วยกรองด้วยสารละลาย $NaNO_3$ เพื่อกำจัดสารประกอบอนินทรีย์ ดังนั้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะคงเหลือเพียงสารประกอบคลอไรด์ของสารอินทรีย์ (TOX, AOX) เท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์ที่อยู่บนถ้วยกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ขณะทำการเผาจะใช้แก๊สออกซิเจน

ทำให้สารอินทรีย์ทั้งหมดจะสลายไปและเหลือเพียงก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์และก๊าซแฮโลเจนอื่น ๆ (HCl, HX) ก๊าซที่ได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดและสามารถหาปริมาณของคลอไรด์และแฮโลเจนทั้งหมดได้โดยการไทเทรตแบบคูลอมบ์เมตริก ค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบจะมีหน่วยเป็น มิลลิคูลอมบ์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบ AOX ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรหรือกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.4.3 การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด

ทำการสกัดโดยใช้จำนวนรอบและภาวะที่เหมาะสมตามข้อ 2.4.1 ดำเนินการสกัดและวิเคราะห์ประมาณสารประกอบ AOX ตามขั้นตอนในข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ตามลำดับ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 จำนวนรอบในการสกัด Soxhlet ต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายฟอกขาว

ในการสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าด้วยวิธี Soxhlet ด้วยน้ำปราศจากไอออน 1 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง โดยตามมาตรฐาน ASTM D227-98 กำหนดให้สกัดอย่างน้อย 20 รอบ ใช้เวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 25 – 30 ชั่วโมง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมากและยากต่อการปฏิบัติการสกัด จึงจำเป็นต้องหาจำนวนรอบที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการสกัด โดยทดลองสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างจากตัวอย่างผ้าฝ้ายฟอกขาวซึ่งเป็นผ้าที่มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากกว่าผ้าชนิดอื่น ๆ ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนรอบ Soxhlet ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้

จำนวนรอบการสกัด	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 1	0.3791	0.4367	0.4967	0.5500	0.1533	0.2043	0.2508	0.1777	0.2763	0.1867
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 2	0.1186	0.1366	0.2133	0.5767	0.1953	0.1592	0.2367	0.2223	0.1801	0.1560
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 3	0.2036	0.2249	0.2340	0.5662	0.2093	0.1167	0.1711	0.2262	0.1765	0.1656

จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้ในรอบการสกัดที่ 1 – 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบและมีปริมาณมากที่สุดในการสกัดรอบที่ 4 จากนั้นค่าจะลดลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนในรอบที่ 5 – 20 ดังนั้นการสกัดควรทำที่ 4 รอบ เพราะให้ค่าการสกัดสูงที่สุด และใช้เวลาต่อเนื่องประมาณ 6 – 7 ชั่วโมงในการสกัด โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสกัดสารประกอบ AOX จากตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด โดยใช้จำนวนรอบการสกัดที่ 4 รอบ

3.2 ปริมาณสารประกอบ AOX ในผ้าแต่ละชนิด

ในงานวิจัยนี้เลือกผ้าที่ผลิตมาจากเส้นใยธรรมชาติหรือมีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติที่มีขายและเป็นที่นิยมในท้องตลาด จำนวน 6 ชนิด คือ ผ้าฝ้ายไม่ฟอก ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน และผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ และทำการสกัดจำนวน 4 รอบ โดยสารละลายที่ได้จากการสกัดแสดงในรูปที่ 5 และผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX แสดงดังตารางที่ 3

รูปที่ 5 สารละลายหลังจากการสกัดด้วยวิธี Soxhlet จำนวน 4 รอบ

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าชนิดต่าง ๆ

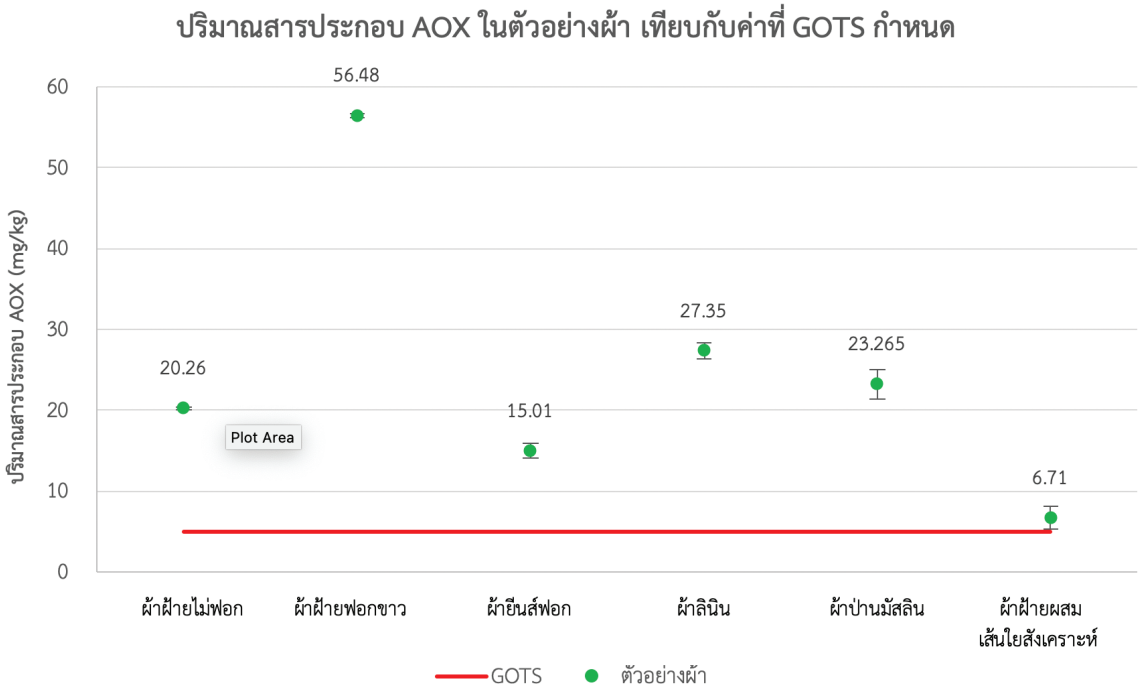
ชนิดผ้า	ปริมาณสารประกอบ AOX ในสารละลายที่สกัดได้จากผ้า 10 กรัม (mg/L)	ปริมาณสารประกอบ AOX (kg/ton) (เทียบน้ำหนักแห้งของผ้า 1 ตัน)
ผ้าฝ้ายไม่ฟอก	0.2026	0.0203
ผ้าฝ้ายฟอกขาว	0.5648	0.0565
ผ้ายืนส์ฟอก	0.1501	0.0150
ผ้าลินิน	0.2735	0.0274
ผ้าป่านมัสลิน	0.2327	0.0233
ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์	0.0671	0.0067

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟอกและผ้าฝ้ายฟอกขาว พบว่าผ้าฝ้ายฟอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX มากกว่า เนื่องจากในกระบวนการฟอกผ้ามีการใช้สารเคมีที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับลิกนินในเส้นใยผ้าเกิดเป็นสารประกอบ AOX และตกค้างในเส้นใยผ้า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟอกและผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ พบว่า ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์มีประมาณสารประกอบ AOX ตกค้างน้อยกว่า ซึ่งเกิดจากผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์มีปริมาณเส้นใยธรรมชาติน้อยกว่า ทำให้มีปริมาณลิกนินน้อยกว่า ดังนั้นโอกาสการเกิดปฏิกิริยาระหว่างลิกนินกับสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนซึ่งทำให้เกิดสารประกอบ AOX ในขั้นตอนการฟอกผ้าจึงมีน้อยกว่าด้วย

ในกรณีของผ้าลินิน พบว่า มีปริมาณ AOX ใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟอก แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณลิกนิกในเส้นใยฝ้ายและเส้นใยลินิน (เส้นใย Flax) มีรายงานว่าพบปริมาณลิกนินในเส้นใยลินินสูงกว่าปริมาณลิกนินในเส้นใยฝ้าย [15] ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการฟอกขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่นำมาฟอกเส้นใยด้วย ในกรณีที่ใช้สารประกอบคลอรีนอื่น เช่น โซเดียมคลอไรต์ ($NaClO_2$) โอกาสในการเกิดสารประกอบ AOX จะน้อยกว่าการใช้คลอรีน (Cl_2) จึงทำให้ปริมาณสารประกอบ AOX ที่พบน้อยกว่า

ในกรณีของผ้ายีนส์ฟอก ซึ่งปัจจุบันผลิตจากผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีครามสังเคราะห์ (Synthetic indigo) ซึ่งผ้าย้อมที่ได้จะมีสีครามเข้มและจะนำไปฟอกเพื่อให้สีจางลง กลายเป็นผ้ายีนส์ที่มีสีแตกต่างกัน โดยปริมาณสารประกอบ AOX ที่วิเคราะห์ได้อาจสกัดได้จากสีย้อมของผ้ายีนส์ฟอกตัวอย่าง ซึ่งสีย้อมดังกล่าวมีส่วนประกอบของโครงสร้างฟีนอลิก (Phenolic) ในโมเลกุล ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนี้สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) และสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบในระหว่างกระบวนการฟอกและเกิดเป็นสารประกอบ AOX ขึ้นได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างผ้ากับมาตรฐาน GOTS ที่กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณตกค้างมากกว่ามาตรฐานกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานฉลากเขียว ซึ่งได้กำหนดปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ ไม่เกิน 0.12 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าไม่เกินค่าที่มาตรฐานฉลากเขียวกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชที่นำมาผลิตผ้า (ฝ้าย) และเส้นใยพืชที่นำมาผลิตกระดาษ (ยูคาลิปตัส) พบว่า เส้นใยฝ้ายมีปริมาณลิกนินประมาณร้อยละ 1 [16] ในขณะที่เส้นใยยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตกระดาษมีปริมาณลิกนินร้อยละ 27 [17] กล่าวคือ ลิกนินในผ้ามีปริมาณน้อยกว่าปริมาณลิกนินในเส้นใยกระดาษ ทำให้โอกาสการเกิดปฏิกิริยาของลิกนินกับสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนเกิดเป็นสารประกอบ AOX ในขั้นตอนการฟอกน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 6 ปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างผ้าเทียบกับค่าตามที่มาตรฐาน GOTS

4. สรุป (Conclusion)

การสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างอยู่บนผ้าฝ้ายฟอกขาวโดยวิธี Soxhlet และใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย พบว่า การสกัดจำนวน 4 รอบ จะสามารถสกัดสารประกอบ AOX ออกได้มากที่สุด และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562:2004 ที่ตกค้างในผ้า 6 ชนิด พบว่าผ้าฝ้ายฟอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากที่สุด เท่ากับ 56.34 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม ถัดมาคือ ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน ผ้าฝ้ายไม่ฟอก และผ้ายีนส์ฟอก โดยมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้าง เท่ากับ 26.6, 22, 20.16, 14.33 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม ตามลำดับ และผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างน้อยที่สุด เท่ากับ 7.73 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณสารประกอบ AOX ที่กำหนดโดย GOTS พบว่าปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ GOTS กำหนด

ทั้งนี้สารประกอบ AOX สัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของสารฟอกขาวที่ใช้และปริมาณลิกนินในเส้นใย การเลือกใช้สารฟอกขาวที่ไม่มีส่วนประกอบของคลอรีน เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะส่งผลเสียกับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ดังนั้นการศึกษาความแตกต่างระหว่างสารฟอกขาวแต่ละชนิดกับปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้น จึงเป็นประเด็นในการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (ผ้าป้าติ๋ว) จังหวัดอุบลราชธานี สำหรับข้อมูลขั้นตอนการผลิตผ้าฝ้ายและเอื้อเฟื้อวัตถุดิบสำหรับกิจกรรมวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Maria, WM, WiŚniowska E. Halogenated organic compounds in water and in wastewater. Civ Environ Eng Rep. 2019;29(4):236-47. doi: 10.2478/ceer-2019-0057.

[2] Shi L, Ge J, Zhang F, Nie S, Qin C, Yao S. Difference in adsorbable organic halogen formation between phenolic and non-phenolic lignin model compounds in chlorine dioxide bleaching. R Soc Open Sci. 2019;6(10):191202. doi: 10.1098/rsos.191202.

[3] Shi L, Ge J, Nie S, Qin C, Yao S. Effect of lignin structure on adsorbable organic halogens formation in chlorine dioxide bleaching. R Soc Open Sci. 2019;6(2):1-10. doi: 10.1098/rsos.182024

[4] Yao S, Gao C, Jiang L, Nie S, Wang S, Qin C. Research on the formation mechanism of absorbable organic halogen during the alkali extraction stage of eucalyptus kraft pulp. J Biobased Mater Bioenergy [Internet]. 2017 [cited 2023 May 9];11(5):461-5. Available from: https://doi.org/10.1166/jbmb.2017.1704

[5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. ข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษ: กระดาษพิมพ์และเขียน (Printing and writing paper). TGL-8/1-15. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2558.

[6] Leri AC, Anthony LN. Formation of organochlorine by-products in bleached laundry. Chemosphere. 2013;90(6):2041-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.10.088.

[7] Leverette MM. 6 Chlorine bleach tips for better laundry results [Internet]. 2022 [cited 2023 May 9]. Available from: https://www.thespruce.com/better-laundry-results-with-chlorine-bleach-2145786

[8] Bluesign Technology. Bluesign® criteria for production sites annex: textile manufacturer version. 3.0. Moevenstrasse: Bluesign technology; 2020 [cited 2023 May 9]. Available from: https://www.bluesign.com/downloads/criteria-2020/annex_textile_manufacturer_v3.0_2020-03.pdf

[9] Global Standard gemeinnutzige GmbH. Global organic textile standard (GOTS) version 6.0 [Internet] 2020 [cited 2023 May 9]. Available from: https://global-standard.org/images/resource-library/documents/standard-and-manual/gots_version_6_0_en1.pdf

[10] International Association of Natural Textile Industry. Naturtexil IVN certified BEST (IVN BEST) [Internet]. 2018 [cited 2023 May 9]. Available from: https://naturtextil.de/wp-content/uploads/2020/08/Richtlinie_IVN_Best_6_1_English_2018_08_01.pdf

[11] Ministry of Commercze and Industry, Department of Commerce, National Programme for Organic Production. Indian standards for organic textiles (ISOT) [Internet]. [cited 2023 May 9]. Available from: https://www.apeda.gov.in/apedawebsite/organic/ISOT_Textiles_Standard.pdf

[12] Sweden Textile Water Initiative. Guildelines for sustainable water use in the production and manufactoring processes of textiles [Internet]. 2014 [cited 2023 May 9]. Available from: https://corporate.bjornborg.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2016/07/Sweden-Textile-Water-Initiative-Guidelines.pdf

[13] 5 ชนิดที่มีบทบาทที่สุดในโลกของเสื้อผ้า [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.teppsimply.com/content/25717/5-ชนิดที่มีบทบาทที่สุดในโลกของเสื้อผ้า

[14] 7 ผ้าที่นิยมใช้ในงานแฟชั่น [อินเทอร์เน็ต]. 2563[เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.winnaargarment.com/content/5505/7-ผ้าที่นิยมใช้ในงานแฟชั่น-summer

[15] Dehabadi L, Karoyo AH, Soleimani M, Alabi WO, Simonson CJ, Wilson LD. Flax biomass conversion via controlled oxidation: Facile tuning of physicochemical properties. Bioeng [Internet]. 2020 [cited 2023 May 9];7(2):38. Available from: https://doi.org/10.3390/bioengineering7020038

[16] MacMillan C, Birke H, Bedon F, Pettolino F. Lignin deposition in cotton cells-Where is the lignin?. J Plant Biochem Physiol [Internet]. 2016 [cited 2023 May 9];1(2):1000e106. Available from: https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000e106

[17] Chen X, Zhang K, Xiao LP, Sun RC, Song G. Total utilization of lignin and carbohydrates in eucalyptus grandis: An integrated biorefinery strategy towards phenolics, levulinic acid, and furfural. Biotechnol Biofuels [Internet]. 2020 [cited 2023 May 9];13(2). Available from: https://doi.org/10.1186/s13068-019-1644-z