

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในผ้าไหมโดยเทคนิคการอาบนิวตรอน

วรรณ วิมลวัฒนภักดี^{1*} อรพรรณ ลีลาณพัฒน์¹ วุฒิชัย จันทระโชติ¹ และ สันญา เทศทอง²

¹สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 025795230

e-mail: chueinta@mail.com

²สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเทคนิคการอาบนิวตรอนสำหรับงานวิเคราะห์ปริมาณโลหะในผ้าไหมไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพผ้าไหมเทียบกับเกณฑ์กำหนดของต่างประเทศ โดยเฉพาะเพื่อการส่งออก

ผลการทดลองเทคนิคการอาบนิวตรอนตัวอย่างผ้าไหมไทย ได้เงื่อนไขที่เหมาะสม สามารถวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ ทั้งโลหะและธาตุปริมาณน้อยอื่นๆในผ้าไหมได้รวม 21 ธาตุ และได้ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณกับผ้าไหมโฮลสตรีจากงานประกวดผ้าไหม ของศูนย์ศิลปาชีพในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ รวม 51 ชิ้น การวิเคราะห์เชิงปริมาณนี้มุ่งวิเคราะห์หาโลหะหนักซึ่งข้อมูลมีความสำคัญต่อคุณภาพผ้าไหม ได้แก่ เงิน สารหนู ทอง โครเมียม ทองแดง เหล็ก ปรีท โพแทสเซียม พลวง และ สังกะสี การทดลองและผลวิเคราะห์แสดงในรายงานนี้

คำสำคัญ: ผ้าไหมไทย เทคนิคการอาบนิวตรอน

Determination of Metals in Thai Silk by Neutron Activation Analysis

Wanna Wimolwattanapun^{1*} Orapun Leelanupat¹ Wuthichai Chantarachot¹ and Sanya Tedthong²

¹Thailand Institute of Nuclear Technology, Vibhavadi-Rangsit Road, Bangkok 10900 Tel.: 025795230,

e-mail: chueinta@mail.com

²Office of Atoms for Peace, Vibhavadi-Rangsit Road, Bangkok 10900

Abstract

The project aimed to develop the technique of neutron activation analysis (NAA) for determination of metals in silk textile. The developed technique can be used for clarification the quality of the silk material according to the requirement from the foreign customers.

The optimum parameters of NAA were found by experiment with standards and silk samples. 21 metals and other trace elements could be determined qualitatively. The technique was then used for quantitative analysis of metals in 51 pieces of silk from Silk Contest, Bangsai Arts and Crafts Centre of H.M. Queen Sirikit of Thailand. The analysis was specified for heavy metals of which information could indicate the quality of the materials, i.e., Ag, As, Au, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Sb and Zn. The experiment and results were reported in this paper.

Key Words: Thai silk, neutron activation analysis

บทนำ

ผ้าไหมไทยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นเอกลักษณ์โดดเด่นในเรื่องของความสวยงามและคุณภาพ เป็นที่รู้จักและยอมรับกันมานานในประเทศทั่วโลกมาเป็นเวลาช้านาน ซึ่งนอกจากจะเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้แก่ประชาชนคนไทยแล้วยังนับเป็นสินค้าทางวัฒนธรรมที่สร้างชื่อเสียงให้แก่ประเทศไทยตลอดมา อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การแข่งขันทางเศรษฐกิจและการกีดกันทางการค้าสูงขึ้นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในตลาดทางทวีปยุโรป เช่นมีข้อกำหนดเรื่องปริมาณสารอินทรีย์และโลหะหนักในมาตรฐานกำหนด ซึ่งมีผลกระทบถึงการตรวจสินค้าผ้าส่งออกยังประเทศยุโรปหลายประเทศ รวมทั้งผ้าไหมจากประเทศไทย

โดยที่สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนการส่งออกผ้าไหมไทย และตระหนักถึงความสำคัญที่จะต้องมีการตรวจวิเคราะห์ผ้าไหมก่อนการส่งออก อย่างไรก็ตามการส่งตัวอย่างผ้าไหมไปตรวจในห้องปฏิบัติการทั่วไป มีค่าใช้จ่ายสูงมากถึงประมาณ 30,000 บาทต่อตัวอย่าง เห็นว่าไม่สามารถจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติสำหรับชาวบ้านที่ทอผ้าทั่วไป จึงขอความร่วมมือมายังสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ในการตรวจสอบวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในผ้าไหม สทน. เล็งเห็นถึงประโยชน์ของโครงการวิจัยเชิงบูรณาการนี้ โดยสถาบันหม่อนไหมแห่งชาติฯ เป็นผู้จัดหาตัวอย่างและนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ และสทน.เป็นผู้ดำเนินงานวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก โดยพิจารณาการนำเทคนิคการอาบนิวตรอน (Neutron Activation Analysis : NAA) มาประยุกต์ใช้ในงานนี้

เทคนิค NAA เป็นเทคนิคที่มีความไวในการวิเคราะห์สูงมากเมื่อเทียบกับวิธีวิเคราะห์อื่นๆ สามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีความเข้มข้นในตัวอย่างในระดับหนึ่งในล้านส่วนถึงหนึ่งในพันล้านส่วนได้ (ppm-ppb) โดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างปริมาณมาก และโดยทั่วไปสามารถวิเคราะห์ธาตุได้กว่า 20 ธาตุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง ทั้งนี้มีการนำเทคนิค NAA นี้มาใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างหลายประเภททั้งที่เป็นตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างชีวภาพ ตัวอย่างชีวแพทย์ รวมทั้งตัวอย่างอาหาร จากการค้นคว้าเบื้องต้นพบว่ามีการนำเอาเทคนิค NAA มาใช้ในการวิเคราะห์หาสารประกอบโลหะที่ใช้เป็นตัวให้น้ำหนักในผ้าไหม⁽¹⁾ (metallic weighting agents) โดยวิเคราะห์พบธาตุต่างๆ ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) แบเรียม (Ba) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และ ดีบุก (Sn) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผ้าไหมไทยโดยเทคนิค NAA ยังไม่พบว่ามีผู้ทำวิจัยมาก่อน

ขอบเขตงานวิจัยนี้จะทำการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของเทคนิคการอาบนิวตรอนแบบใช้เฉพาะเครื่องมือ (Instrumental Neutron Activation Analysis : INAA) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง ไม่อาศัยกรรมวิธีทางเคมีหรือสารเคมีในขบวนการวิเคราะห์ ดังนั้นจะลด

ปัญหาความผิดพลาดหรือการปนเปื้อน อนึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของโลหะหนักในผ้าไหมซึ่งข้อมูลมีความสำคัญต่อคุณภาพผ้าไหมและการส่งออกได้แก่ เงิน (Ag) สารหนู (As) ทอง (Au) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe)ปรอท (Hg) โพแทสเซียม (K) พลวง (Sb) และสังกะสี (Zn) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธี INAA ไม่สามารถวิเคราะห์โลหะหนักบางตัวที่น่าสนใจ ได้แก่ แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) จึงใช้วิธี ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) เสริมงานวิเคราะห์ดังกล่าว ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เป็นตัวอย่างผ้าไหมโฮลสตรี⁽²⁾ จากจังหวัดสุรินทร์ ร้อยเอ็ด และบุรีรัมย์ ในงานประกวดผ้าไหมโครงการศูนย์ศิลปาชีพ

วิธีการ

1. การทดสอบหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาธาตุในตัวอย่างผ้าไหม ด้วยเทคนิค INAA

โดยตรวจสอบความสามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นเบื้องต้น เงื่อนไขที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่

- ชนิดหรือลักษณะของผ้าไหม ขนาดหรือน้ำหนักของผ้า
- เวลาในการอาบรังสีนิวตรอน (irradiation time) เวลาในการให้ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัว (decay time) และ เวลาในการวัดรังสี (counting time)

ตัวอย่างผ้าไหมชุดแรกที่ทำมาทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขประกอบด้วยผ้าไหมพื้นและผ้าไหมลาย รวม 10 ชิ้น นำมาตัดเป็นชิ้นขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ 4 ถึง 20 ตารางเซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 100 ถึง 150 มิลลิกรัม โดยผ้าทอลายจะตัดเอาส่วนที่มีลายหรือเดินด้นเอาไว้ด้วย พับชิ้นผ้าบรรจุใส่ vial ขนาด 1 เซนติเมตร บรรจุรวมกันในภาชนะอาบรังสีที่เหมาะสมสำหรับนำเข้าอาบรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของสทท. ในระบบ Pneumatic Rabbit System (PRS) เพื่อการวิเคราะห์ธาตุที่ให้ธาตุกัมมันตรังสี (หลังการอาบนิวตรอน) ที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น และในระบบ Lazy Susan (LS) เพื่อการวิเคราะห์ธาตุที่ให้ธาตุกัมมันตรังสี (หลังการอาบนิวตรอน) ที่มีค่าครึ่งชีวิตปานกลางและยาว โดยแปรค่าเวลาที่ใช้ในการอาบรังสี และเวลาในการให้ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวก่อนการวัดความแรงรังสี (ดูตารางที่ 1)

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณของโลหะในตัวอย่างผ้าไหม

ผ้าไหมที่ทำการวิเคราะห์เป็นผ้าไหมโฮลสตรีในงานประกวดผ้าไหม โครงการศูนย์ศิลปาชีพ จากจังหวัดสุรินทร์ 24 ชิ้น ร้อยเอ็ด 24 ชิ้น และบุรีรัมย์ 3 ชิ้น รวม 51 ชิ้น นำมาทำการวิเคราะห์หาเฉพาะโลหะที่น่าสนใจ ด้วยเทคนิคหลัก คือ INAA และเทคนิคเสริม คือ ICP-AES

2.1 งานวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค INAA

นำผ้ามาตัดแบ่งมาขนาดประมาณ 1.5x5 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก แต่ละชิ้นบรรจุใส่ vial ขนาด 1 เซนติเมตร เตรียมสารมาตรฐานบรรจุใน vial ในทำนองเดียวกัน บรรจุรวมในภาชนะและนำเข้าอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ในระบบ Lazy Susan (LS) และทำการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมที่เลือกแล้วจากขั้นตอนที่หนึ่ง (ตารางที่ 2, LS) ทำการวิเคราะห์แกมมาสเปกตรัม เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานและสารมาตรฐานเปรียบเทียบ (standard reference material: SRM) เพื่อกำหนดหาปริมาณความเข้มข้นโลหะต่างๆ ได้แก่ เงิน (Ag) สารหนู (As) ทอง (Au) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe)ปรอท (Hg) โพแทสเซียม (K) พลวง (Sb) และสังกะสี (Zn) สารมาตรฐานเปรียบเทียบที่เลือกใช้มีค่ารับรองครอบคลุมโลหะที่จะวิเคราะห์ในผ้าไหม ได้แก่ SRM 1566a (Oyster tissue, National Institute of Standards & Technology: NIST), Soil 7 (Soil, International Atomic Energy Agency: IAEA) และ SDN1/2 (Sediment, IAEA) ทั้งนี้เพื่อประกันความเชื่อถือได้ของผลการวิเคราะห์

2.2 งานวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค ICP-AES

ทำการทำละลายชิ้นผ้าไหม (หนักประมาณ 2 กรัม) ด้วยกรดไนตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปรับสารละลายสุดท้ายที่ได้ให้อยู่ในรูปสารละลาย 5% ไนตริก นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-AES (Perkin Elmer, Plasma 1000) เพื่อวิเคราะห์ แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่เตรียมในเงื่อนไขเดียวกัน

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาธาตุในตัวอย่างผ้าไหม ด้วยเทคนิค INAA

เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ธาตุในผ้าไหมแสดงในตารางที่ 2 โดยการใส่ตัวอย่างผ้าขนาดเพียงประมาณ 1.5x5 เซนติเมตร (น้ำหนักประมาณ 75 มิลลิกรัม) สามารถวิเคราะห์ได้ถึง 21 ธาตุ ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) เงิน (Ag) สารหนู (As) ทอง (Au) โบรมีน (Br) แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) โคบอลต์ (Co) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ปรอท (Hg) ไอโอดีน (I) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) โซเดียม (Na) พลวง (Sb) สแกนเดียม (Sc) ไทเทเนียม (Ti) และสังกะสี (Zn) ทั้งนี้ธาตุ/โลหะที่พบในแต่ละตัวอย่างอาจแตกต่างกันไป ยิ่งไปกว่านั้นยังมีข้อสังเกตว่าผลวิเคราะห์ธาตุบางธาตุอาจไม่น่าเชื่อถือ ได้แก่ โซเดียม (Na) และคลอรีน (Cl) เนื่องจากตัวอย่างผ้ามีโอกาสสัมผัสมือและอาจมีการปนเปื้อนโซเดียม (Na) และคลอรีน (Cl) (เกลือจากเหงื่อ) ในทุกขั้นตอนการผลิต ก่อน

มาถึงห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้สำหรับธาตุบางตัว เช่น เงิน (Ag) และปรอท (Hg) เป็นโลหะที่น่าสนใจแต่สามารถวิเคราะห์ได้ในบางตัวอย่างเท่านั้นและค่าที่ได้มีความไม่แน่นอนสูง

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณของโลหะในผ้าไหมโฮลสตรี

ธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค INAA รวม 10 ธาตุ ได้แก่ เงิน (Ag) สารหนู (As) ทอง (Au) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ปรอท (Hg) โพแทสเซียม (K) พลวง (Sb) และสังกะสี (Zn) สำหรับ แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ICP-AES ผลการวิเคราะห์สรุปแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้สำหรับ แคดเมียม (Cd) ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในผ้าไหมทุกตัวอย่างเนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่าขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ คือ 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากข้อมูลในตารางที่ 3 นำมาสร้างกราฟรูปกล่อง (box plot) แสดงค่ามัธยฐาน และค่าที่ 10 25 75 และ 90 เปอร์เซ็นไทล์ ซึ่งจะทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าโลหะในผ้าไหมอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีอยู่ในปริมาณมาก (major elements) ได้แก่ เหล็ก (Fe) โพแทสเซียม (K) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) และกลุ่มที่มีอยู่ในปริมาณน้อย (trace elements) ซึ่งประกอบด้วยโลหะที่จัดว่ามีพิษ (Toxic metals) ได้แก่ โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) สารหนู (As) และโลหะมีค่า (valuable metals) ได้แก่ เงิน (Ag) พลวง (Sb) และทอง (Au) ตามลำดับ

สำหรับตารางที่ 4 แสดงค่าทางสถิติโดยเปรียบเทียบระหว่างผ้าไหมจากจังหวัดสุรินทร์ ร้อยเอ็ด และบุรีรัมย์ พบว่าปริมาณโลหะต่างๆในผ้าไหมจากทั้ง 3 จังหวัดอยู่ในช่วงเดียวกันและมีค่าเฉลี่ยต่างกันเพียงเล็กน้อยโดยส่วนใหญ่จะมีค่าเฉลี่ยในผ้าไหมจังหวัดสุรินทร์สูงที่สุดและมีค่าต่ำสุดในผ้าไหมจากจังหวัดบุรีรัมย์ ยกเว้น ทอง (Au) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งมีค่าสูงสุดในผ้าไหมจากจังหวัดบุรีรัมย์ ส่วนผ้าไหมจากจังหวัดร้อยเอ็ดพบว่ามีปริมาณเหล็ก (Fe) สูงกว่าจังหวัดอื่นมาก อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่างผ้าไหมจากจังหวัดบุรีรัมย์มีเพียง 3 ตัวอย่าง จึงควรต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมก่อนสรุปคุณลักษณะองค์ประกอบโลหะของผ้าไหมจากจังหวัดต่างๆ

สรุป

การประยุกต์ใช้เทคนิค INAA สำหรับงานวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผ้าไหมไทยเป็นการเปิดแนวทางการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีเชิงนิวเคลียร์อีกสาขาหนึ่ง รวมทั้งสามารถก่อให้เกิดการให้บริการวิเคราะห์โลหะหนักในผลิตภัณฑ์ไหมเพื่อการส่งออกในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสม สามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุในผ้าไหมได้กว่า 20 ธาตุ และได้เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมเฉพาะเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของโลหะในผ้าไหมประกวดของโครงการศูนย์ศิลปาชีพ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการจัดกลุ่ม

ระดับคุณภาพผ้าไหม รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลประกอบสินค้าผ้าไหมส่งออกได้ นอกจากนี้จากการศึกษาเบื้องต้นในการเปรียบเทียบผ้าไหมจากจังหวัดสุรินทร์ ร้อยเอ็ด และบุรีรัมย์ พบว่ามีปริมาณโลหะต่างๆอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งหากได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม อาจสามารถศึกษาถึงคุณลักษณะองค์ประกอบที่เด่นชัดของผ้าไหมจากจังหวัดต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Miller, J. E. and Reagan, B. M. Degradation in weighted and unweighted historic silks. Journal of the American Institute for Conservation. (1989), Vol.2, 2: 97-115.
2. อัจฉรา ภาณุวัตร และคณะ, ผ้าไหมวิถีชีวิตไทยกุยและไทยเขมร.

ตารางที่ 1 ตัวแปรเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในงานวิเคราะห์ INAA

Facilities/Neutron flux	Irradiation time	Decay time	Counting time
PRS/ 8.8×10^{12} n/cm ² .sec	40, 60, 80, 100 sec	2, 5, 10 min	5 min
		3-5 hr	5 min
LS/ 4.4×10^{11} n/cm ² .sec	1, 3 d	2-5 d	30 min
		1-2 wk	1 hr

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่เหมาะสม และ ธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้

Facilities/Neutron flux	Irradiation time	Decay time	Counting time	Elements determined
PRS/ 8.8×10^{12} n/cm ² .sec	60 sec	5 min	5 min	Al, Ca, Cl, Cu, I, Mg, Mn, Ti
		3-5 hr	5 min	Mn, Na
LS/ 4.4×10^{11} n/cm ² .sec	3 d	3 d	30 min	As, Au, Br, K, Na, Sb
		2 wk	1 hr	Ag, Co, Cr, Fe, Hg, Sb, Sc, Zn

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะที่วิเคราะห์ได้ในหน่วย มิลลิกรัมโลหะ/กิโลกรัมตัวอย่างผ้า

รหัส	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ppm)											
	Ag	As	Au	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Pb	Sb	Zn
สร 204	NA	0.051	0.046	< 0.1	1.95	1196	NA	0.443	578	< 0.1	0.021	NA
สร 214	NA	0.188	0.052	< 0.1	2.65	< 90	NA	0.272	1987	< 0.1	0.088	NA
สร 217	NA	0.231	0.036	< 0.1	3.99	378	NA	0.231	1487	< 0.1	0.075	NA
สร 218	NA	0.077	0.014	< 0.1	1.34	< 90	NA	0.157	3956	< 0.1	0.034	NA
สร 221	NA	0.328	0.096	< 0.1	2.44	113	NA	0.482	1067	< 0.1	0.064	NA
สร 230	NA	0.197	0.031	< 0.1	1.70	102	NA	0.373	1111	< 0.1	0.046	NA
สร 232	NA	0.091	0.031	< 0.1	2.23	< 90	NA	0.160	491	< 0.1	0.049	NA
สร 236	NA	0.081	0.027	< 0.1	0.51	< 90	NA	0.354	1422	< 0.1	1.292	NA
สร 239	NA	0.086	0.028	< 0.1	0.63	157	NA	0.659	723	< 0.1	0.051	NA
สร 240	NA	0.268	0.008	< 0.1	3.10	507	NA	0.215	1977	< 0.1	0.067	NA
สร 242	NA	0.214	0.049	< 0.1	2.65	< 90	NA	0.132	1212	< 0.1	0.049	NA
สร 251	NA	0.246	0.009	< 0.1	4.67	< 90	NA	0.282	710	< 0.1	0.060	NA
สร 270	NA	0.062	0.034	< 0.1	0.63	96	NA	0.180	593	< 0.1	0.032	NA
สร 271	NA	0.200	0.012	< 0.1	0.95	91	NA	0.191	595	0.7	0.088	NA
สร 272	NA	0.047	0.030	< 0.1	1.42	1497	NA	0.377	178	< 0.1	0.033	NA
สร 275	NA	0.031	0.011	< 0.1	1.66	< 90	NA	0.203	417	< 0.1	0.024	NA

สร 284	NA	0.279	0.094	< 0.1	3.59	< 90	NA	0.224	772	< 0.1	0.043	NA
สร 288	0.076	0.392	0.113	< 0.1	3.19	154	2700	0.126	870	2.2	0.063	40.6
สร 289	0.144	0.337	0.035	< 0.1	2.88	107	2515	0.220	836	< 0.1	0.060	39.0
สร 292	0.311	0.300	0.375	< 0.1	3.52	218	3465	0.168	915	< 0.1	0.081	28.7
สร 293	0.065	0.080	0.631	< 0.1	1.63	420	262	0.239	421	< 0.1	0.060	24.7
สร 299	0.138	0.322	0.101	< 0.1	3.68	< 90	1720	0.276	1031	< 0.1	0.057	42.2
สร 301	0.239	0.243	0.029	< 0.1	2.91	< 90	1545	0.355	727	2.1	0.069	69.6
สร 382	0.199	0.187	0.020	< 0.1	4.88	94	2819	0.191	1411	< 0.1	0.014	47.9
ร้อ 4	0.221	0.067	0.002	< 0.1	1.50	< 90	2503	0.288	662	1.5	0.042	59.7
ร้อ 22	0.131	0.107	0.015	< 0.1	1.40	< 90	3476	0.107	5367	0.8	0.038	62.8
ร้อ 49	0.065	0.211	0.004	< 0.1	0.82	< 90	5294	0.179	199	2.2	0.029	23.7
ร้อ 59	0.118	0.052	0.027	< 0.1	0.47	< 90	2330	0.609	1038	0.5	0.045	53.6
ร้อ 69	0.100	0.301	0.098	< 0.1	2.81	< 90	6607	0.777	943	< 0.1	0.046	61.3
ร้อ 89	0.150	0.209	0.015	< 0.1	0.70	< 90	5124	0.273	634	2.1	0.042	82.2
ร้อ 99	0.185	0.263	0.006	< 0.1	2.14	< 90	4968	0.130	746	< 0.1	0.058	34.0
ร้อ 104	0.180	0.185	0.007	< 0.1	1.57	< 90	4495	0.251	1708	1.2	0.022	235.2
ร้อ 106	0.275	0.254	0.003	< 0.1	2.33	< 90	5141	0.139	451	< 0.1	0.047	34.6
ร้อ 110	0.289	0.145	0.018	< 0.1	2.74	269	3766	0.360	1335	< 0.1	0.169	198.8

รช 111	0.088	0.261	0.017	< 0.1	5.61	< 90	3560	0.322	1547	2.3	0.087	41.3
รช 134	NA	0.092	0.006	< 0.1	0.52	< 90	NA	0.145	282	1.0	0.021	NA
รช 140	NA	0.183	0.008	< 0.1	0.37	< 90	NA	0.098	769	< 0.1	0.030	NA
รช 211	NA	0.083	0.093	< 0.1	0.65	1257	NA	0.263	459	2.1	0.035	NA
รช 216	NA	0.154	0.004	< 0.1	0.50	< 90	NA	0.158	1265	< 0.1	0.033	NA
รช 219	NA	0.143	0.008	< 0.1	2.79	< 90	NA	0.087	933	< 0.1	0.042	NA
รช 222	0.058	0.106	0.018	< 0.1	0.77	< 90	193	0.107	1115	< 0.1	0.029	37.9
รช 223	0.057	0.044	0.004	< 0.1	0.43	341	1977	0.152	3607	< 0.1	0.030	31.0
รช 224	0.050	0.355	0.100	< 0.1	2.71	210	5821	0.447	680	< 0.1	0.039	42.8
รช 225	0.134	0.221	0.029	< 0.1	0.81	< 90	4889	0.106	1065	0.1	0.040	37.7
รช 226	0.049	0.133	0.318	< 0.1	1.20	115	2804	0.127	587	< 0.1	0.023	66.5
รช 228	0.159	0.277	0.002	< 0.1	1.58	229	4085	0.071	712	< 0.1	0.046	25.4
รช 229	0.040	0.116	0.011	< 0.1	1.08	< 90	2568	0.136	1459	< 0.1	0.046	48.1
รช 231	0.148	0.167	0.108	< 0.1	0.80	< 90	2847	0.196	2539	1.2	0.033	45.1
บร 3	0.068	0.113	0.008	< 0.1	0.57	< 90	117	0.121	2129	0.5	0.040	106.5
บร 20	0.030	0.037	0.267	< 0.1	0.66	< 90	145	0.133	1757	0.3	0.030	60.7
บร 23	0.069	0.102	0.039	< 0.1	0.69	907	132	0.124	343	1.3	0.047	23.4

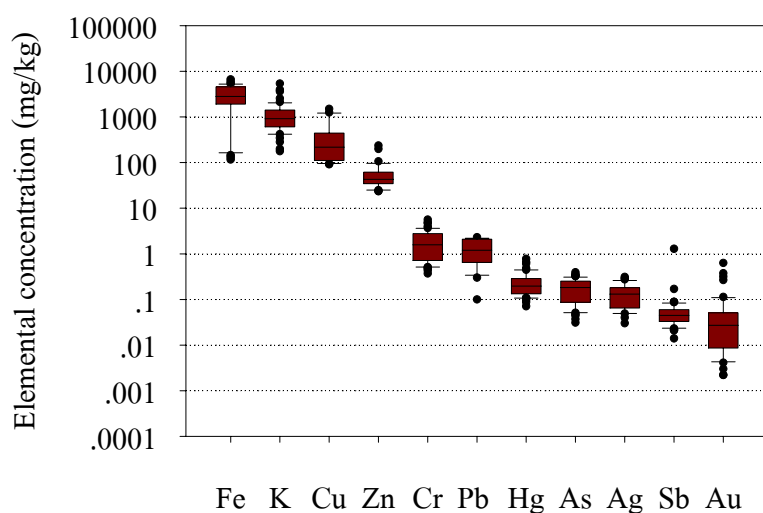
NA = Not analyzed (เนื่องจากปัญหาด้านเครื่องมือวัดรังสีทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ Ag, Fe, Zn ในบางตัวอย่าง)

< = ค่าน้อยกว่าขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ของธาตุนั้นๆ (limit of detection)

ตารางที่ 4 ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างผ้าไหมจากจังหวัดต่างๆ

โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ppm)					
	สุรินทร์		ร้อยเอ็ด		บุรีรัมย์	
	Range	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD
Ag	0.065 - 0.311	0.167 $\pm$ 0.088	0.040 - 0.289	0.131 $\pm$ 0.075	0.030 - 0.069	0.056 $\pm$ 0.022
As	0.031 - 0.392	0.189 $\pm$ 0.109	0.044 - 0.355	0.172 $\pm$ 0.084	0.037 - 0.113	0.084 $\pm$ 0.041
Au	0.008 - 0.631	0.080 $\pm$ 0.139	0.002 - 0.318	0.038 $\pm$ 0.069	0.008 - 0.267	0.105 $\pm$ 0.141
Cr	0.51 - 4.88	2.45 $\pm$ 1.25	0.37 - 5.61	1.51 $\pm$ 1.21	0.57 - 0.69	0.64 $\pm$ 0.06
Cu	91 - 1,497	366 $\pm$ 441	115 - 1,257	403 $\pm$ 424	907*	907*
Fe	262 - 3,465	1,996 $\pm$ 1,138	193 - 6,607	3,813 $\pm$ 1,574	117 - 145	131 $\pm$ 14
Hg	0.13 - 0.66	0.27 $\pm$ 0.13	0.07 - 0.78	0.23 $\pm$ 0.17	0.12 - 0.13	0.13 $\pm$ 0.01
K	178 - 3,956	1,062 $\pm$ 771	199 - 5,367	1,254 $\pm$ 1,149	343 - 2,129	1,410 $\pm$ 942
Pb	0.70 - 2.20	1.67 $\pm$ 0.84	0.10 - 2.30	1.36 $\pm$ 0.74	0.30 - 1.30	0.70 $\pm$ 0.53
Sb	0.014 - 1.292	0.105 $\pm$ 0.254	0.021 - 0.169	0.045 $\pm$ 0.030	0.030 - 0.047	0.039 $\pm$ 0.009
Zn	25 - 70	42 $\pm$ 15	24 - 235	64 $\pm$ 56	23 - 106	64 $\pm$ 42

* มีค่าเดียว



รูปที่ 1 กราฟรูปกล่อง (box plot) แสดงค่ามัธยฐานและค่า 10 25 75 และ 90 เปอร์เซนต์ไทล์