



การกำจัดสีในน้ำเสียสิ่งทออย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วย
สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

Ecofriendly Decolorization of Textile Wastewater using
Natural Coagulants.

คณะผู้วิจัย

ชนิษฐา เจริญलग
ปทุมทิพย์ ปราบพาล

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. ๒๕๕๖
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการ ทำให้มีน้ำเสียในปริมาณมาก รวมทั้งสมบัติของน้ำเสียจะแตกต่างกันขึ้นกับกระบวนการย้อมและการตกแต่งสำเร็จ ในการวิจัยนี้ ศึกษาการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ได้แก่ เมล็ดมะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว และมะขาม ในการกำจัดสีรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและสามารถลดต้นทุนสารเคมี ทดลองโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ได้แก่ พีเอช ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ เวลาในการรวมตะกอน ผลการทดลองพบว่าที่ พีเอช 9 ปริมาณโคแอกกูแลนต์ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มะรุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นข้าวโพด อลูมิเนียมซัลเฟต ถั่วเขียวและมะขาม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 80.26, 78.30, 74.04, 72.68 และ 70.53 ตามลำดับ และจากการพิจารณาจนถึงปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการบำบัด กล่าวได้ว่าสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติมีความเหมาะสมในการเป็นสารรวมตะกอนมากกว่าอลูมิเนียมซัลเฟตทั้งในด้านของการกำจัดสี และปริมาตรตะกอนเกิดขึ้นน้อยกว่า

คำสำคัญ: กระบวนการรวมตะกอน สารรวมตะกอนจากธรรมชาติ สีรีแอคทีฟ



Abstract

The textile dyeing industry consumes large quantities of water and produces large volumes of wastewater from different processes in dyeing and finishing processes. The low-cost, easily available naturally prepared coagulants like moringa seed powder, maize seed powder, green bean powder and tamarind seed powder as an alternative to recent expensive coagulant methods for reactive dye removal has been investigated in this study. Various process parameters like pH, coagulant dose, flocculation time and also its optimization were exploited. The maximum percentage color removal was found to be 80.26, 78.30, 74.04, 72.68 and 70.53 for moringa, maize seed, aluminium sulphate, green bean and tamarind, respectively, at pH 9.0, coagulant dose of 30 mg/l, flocculation time 120 min. The sludge volume index (SVI) was calculated for these parameters including process optimization. Natural coagulants were better coagulant than aluminium sulphate which corresponds to color removal and sludge volume index.

Keyword: Coagulation, Natural coagulant, reactive dye



กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการจัดสีในน้ำเสียสิ่งทออย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยสารโคแอกทูแลนต์จากธรรมชาติ สำเร็จลุล่วงด้วยดีจนสมบูรณ์ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ขอขอบพระคุณ นายอัมมาต สมงาม และนางสาววาสนา นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้มีส่วนร่วมเป็นผู้ช่วยในการดำเนินการวิจัย

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	26
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	75
ภาคผนวก ค	91

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.2.1 ประเภทของสีย้อมที่นิยมใช้กับเส้นใยประเภทต่าง ๆ	5
ตารางที่ 4.1.1 การเตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช	26
ตารางที่ 4.2.1 สมบัติของน้ำเสียสีรีแอคทีฟ	27
ตารางที่ 4.2.2 สมบัติของน้ำเสียสีดิสเพอร์ส	28
ตารางที่ 4.7.1 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดระหว่างสารโคแอกูแลนต์จากธรรมชาติกับ อลูมิเนียมซัลเฟต	48



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 น้ำเสียและการจัดการน้ำเสียของงานหัตถกรรมพื้นบ้าน	4
รูปที่ 4.2.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสีรีแอกทีฟ สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง	27
รูปที่ 4.2.2 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสีดิสเพอร์ส สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง	28
รูปที่ 4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารโคแอกกูแลนต์ ต่าง ๆ	29
รูปที่ 4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากพืชที่ความเข้มข้นต่างกัน	32
รูปที่ 4.3.3 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้นต่างกัน	32
รูปที่ 4.3.4 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างกัน	32
รูปที่ 4.3.5 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวความเข้มข้นต่างกัน	33
รูปที่ 4.3.6 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ของน้ำที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามความเข้มข้นต่างกัน	33
รูปที่ 4.3.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน	34
รูปที่ 4.3.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุมที่ความเข้มข้นต่างกัน	35
รูปที่ 4.3.9 การกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ความเข้มข้นต่างกัน	35
รูปที่ 4.3.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น ต่างกัน	36
รูปที่ 4.3.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน	37

รูปที่ 4.3.12 การกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน	38
รูปที่ 4.3.13 การกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน	38
รูปที่ 4.3.14 การกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน	38
รูปที่ 4.3.15 การกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ที่ค่าพีเอชของ น้ำเสียต่างกัน	38
รูปที่ 4.3.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน	39
รูปที่ 4.3.17 การกำจัดสีดีเพอร์ส Foron blue RD-S บำบัดด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำ เสียต่างกัน	40
รูปที่ 4.3.18 ชนิดของสีย้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ	41
รูปที่ 4.3.19 ผลของเจดสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม	42
รูปที่ 4.3.20 ผลของเจดสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดีเพอร์สด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม	43
รูปที่ 4.3.21 ผลของเวลาทวนซ้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ ด้วยสารโคแอกกูแลนต์จาก ธรรมชาติ	44
รูปที่ 4.5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจาก การย้อมผ้าด้วยสีรีแอคทีฟ	45
รูปที่ 4.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมกับบอลูมิเนียมซัลเฟต ในการกำจัดสีรีแอค ทีฟสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง	46
รูปที่ 4.5.3 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมในการบำบัดน้ำทิ้งจาก การย้อมผ้าด้วยสีดีเพอร์ส	47
รูปที่ 4.5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างสารสกัดจากเมล็ดมะรุม กับบอลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดสีดีเพอร์ส	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันคนไทยให้ความสำคัญกับภูมิปัญญาชาวบ้านมากขึ้น หันมาบริโภคสินค้าไทย นิยมแต่งกายด้วยผ้าไทย ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผ้าทอมือในโครงการส่งเสริมอาชีพงานศิลปวัฒนธรรมด้านต่างๆ โดยเฉพาะผ้าทอมือของไทยมีเทคนิคการทอที่สวยงาม เป็นเอกลักษณ์ประจำท้องถิ่นต่างๆ และได้รับการกล่าวขวัญมานานทั้งในด้านความงดงามของสีและลวดลาย ผ้าทอมือส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยจากธรรมชาติทั้งฝ้ายและไหม ซึ่งได้รับความนิยมจากผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ อุตสาหกรรมผ้าทอพื้นบ้านของไทยนอกจากจะมีความสำคัญในงานศิลปหัตถกรรม การพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชนแล้ว ปัจจุบันการตระหนัก และให้ความสำคัญต่อการรักษาสีแวดล้อม เป็นเรื่องที่สำคัญ โดยปัญหามลพิษสีแวดล้อม เมื่อเกิดขึ้นแล้ว การแก้ไขคุณภาพสีแวดล้อมให้กลับเหมือนเดิมหรือใกล้เคียงเป็นเรื่องยาก ต้องอาศัยระยะเวลาตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ในส่วนของการพัฒนาหัตถกรรมพื้นบ้านโดยการทอผ้าฝ้ายและผ้าไหม ต้องผ่านกระบวนการย้อมก่อนที่จะนำไปทอ การขาดความรู้ ความเข้าใจ และความตระหนักถึงปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการย้อม ทำให้มีการทิ้งน้ำที่ผ่านการย้อมไหมลงสู่สีแวดล้อม โดยไม่ผ่านการบำบัด ในระยะแรกชุมชนจะยังไม่เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้น เนื่องจากสีแวดล้อมสามารถปรับสภาพและฟื้นฟูตัวเองได้ แต่เมื่อมีการทิ้งน้ำเสียลงสู่สีแวดล้อมไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่เกินความสามารถที่จะรองรับได้ของสีแวดล้อม จะทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมา ตั้งแต่มลภาวะทางดิน แหล่งน้ำผิวดิน ไปจนถึงแหล่งน้ำใต้ดิน อาจส่งผลให้การพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชนปรากฏออกมาในรูปของความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสีแวดล้อม และเป็นการผลกระทบปัญหาดังกล่าวไปสู่คนรุ่นหลัง

น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม โดยทั่วไปมีสมบัติที่มีสี มีค่าบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย ค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิสูง รวมทั้งยังอาจมีสารที่เป็นพิษปะปนออกมาด้วย (Laikou, S., et.al., 1997) โดยเฉพาะปัญหาสำคัญในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมคือ สีย้อมที่ถูกปล่อยออกมาปนกับน้ำเสีย สีย้อมที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมทั่วไป มักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ ซับซ้อน และมีความเป็นพิษ ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลายสีย้อม และถูกปล่อยออกมาปนกับน้ำเสีย (Bogoeva-Gaceva, G., 2008) ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไป ตั้งแต่ ร้อยละ 5 - 50 ขึ้นกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีต่อผู้พบเห็น และสีย้อมบางชนิดมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสีแวดล้อม เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยในน้ำทั้งทางตรง และทางอ้อม จึงมีความจำเป็นต้องบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำสาธารณะได้ โดยในปัจจุบันมีการกำจัดสีจากน้ำย้อมหลายวิธี ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) การแลกเปลี่ยน

ไอออน (ion-exchange) การกรองด้วยเมมเบรน (membrane filtration) การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี (electrocoagulation) การออกซิเดชัน (oxidation) และการดูดซับ (adsorption) โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation process) เป็นวิธี การใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่รู้จักกัน และใช้อยู่ทั่วไปในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ (Abdel-Shafy and Abdel-Basier, 1991; Bromley, et al., 2002; Tatsi, et al., 2003) แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีเป็นสารรวมตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี และทำให้เกิดตะกอนของสารเคมี รวมถึงมีรายงานการวิจัยพบว่าการใช้สารส้มมีผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นสาเหตุหนึ่งของการโรคสมองเสื่อม (Alzheimer's disease) (Ndabigesere, 1997; United nations world water assessment program, 2003.; Montgomery. M. 2007) และนอกจากนี้พบว่าสารโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากสารอินทรีย์สังเคราะห์จากอะคริลาไมด์ (acrylamide) มีความเป็นพิษต่อระบบประสาทและเป็นสารก่อมะเร็ง (Mallevialle, J., et al., 1984) และจากการทบทวนเอกสาร มีรายงานพบว่าได้มีการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ในการบริโภค มาตั้งแต่สมัยโบราณโดยเฉพาะในแถบประเทศแอฟริกาและละตินอเมริกา โดยนำส่วนต่างๆ ของพืชตั้งแต่เมล็ด ใบ เปลือก ราก และผล มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ งานวิจัยนี้จึงสนใจนำสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ซึ่งมีความปลอดภัยและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน



1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ
- (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ของสารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช กับสารส้ม
- (3) เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- (1) น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากสีรีแอคทีฟ โดยใช้สี
 - a. Drimarene red CL-58p
 - b. Drimarene yellow CL-2RP
 - c. Drimarene brilliant blue CL-BR
- (2) ทดลองแบบ Jar test ในการหาภาวะที่เหมาะสมของสารโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดพืช 4 ชนิด ได้แก่ เมล็ดมะรุม เมล็ดมะขาม เมล็ดข้าวโพด และเมล็ดถั่วเขียว
- (3) วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ดังนี้ ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าสี และค่าซีโอดี
- (4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ กับสารส้ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) สามารถประเมินความเป็นไปได้ในการนำเมล็ดพืชมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ และเป็นโคแอกกูแลนต์เอดส์ ทดแทนหรือลดการใช้สารส้ม และสารพอลิอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์
- (2) เป็นแนวทางในการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุธรรมชาติอื่นๆ มาใช้แทนสารส้ม และสารพอลิอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานประปา
- (3) ช่วยประหยัดและลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี
- (4) เป็นการลดอันตรายที่จะเกิดต่อสุขภาพในอนาคตจากการใช้สารส้ม
- (5) เป็นการเพิ่มคุณค่าของเมล็ดพืชที่เหลือใช้ ซึ่งจะช่วยลดปัญหา และประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะที่อาจปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม

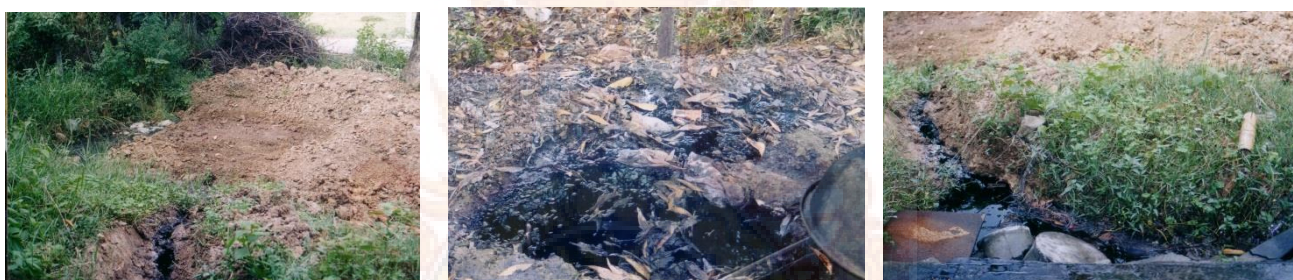
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ส่วนใหญ่เกิดจากการน้ำเสีย โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการผลิต ตั้งแต่การเตรียมผ้า การย้อม และการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาด มีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูง และเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (Laikou, S., et.al., 1997)

ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้าพื้นบ้าน ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน พบว่าในปัจจุบันยังไม่มีกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมอย่างเหมาะสม โดยชาวบ้านจะใช้วิธีขุดบ่อและถมบ่อด้วยทรายและทิ้งน้ำจากการฟอกย้อมลงในบ่อทราย (ชนิษฐา เจริญลาภ และคณะ, 2547)



รูปที่ 2.1 น้ำเสียและการจัดการน้ำเสียของงานหัตถกรรมพื้นบ้าน (ชนิษฐา เจริญลาภ และคณะ, 2547)

2.2 สีย้อม

สีย้อมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งตามแหล่งที่ได้ 2 แหล่ง คือสีสังเคราะห์ (synthetic dye) และสีธรรมชาติ (natural dye)

(1) สีธรรมชาติ

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์และแร่ธาตุต่าง ๆ สีที่ได้จากพืชมักเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชตั้งแต่ราก เปลือก ราก ลำต้น เปลือกต้น แก่นไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด สีจากสัตว์มักเป็นสีที่ได้จากแมลง เช่น ครั่ง ซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้นเป็นสีในกลุ่มสีแดงที่ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifera lacca* นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สีจากจุลินทรีย์พบมากในรา ยีสต์ และแบคทีเรีย

(2) สีสั่งเคราะห์

สีสังเคราะห์เป็นสารสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่าง ๆ ได้มากมาย มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสด มีความคงทนไม่ตกสีง่าย ทนต่อการซักฟอกและแสง สามารถปรับให้เลือกย้อมกับเส้นใยต่าง ๆ ได้ดี ใช้งานเก็บรักษาได้ดี สามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากพอกับการใช้งาน และราคาไม่แพง มีผลการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับอันตรายของสีย้อมหลายชนิดต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าสีย้อมที่มีสารประกอบเอมีน (amine) โดยเฉพาะเบนซิดีน (benzidine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในระหว่างการย้อม และเมื่อมีการทิ้งน้ำย้อมลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือตามพื้นดิน สารประกอบเอมีนในตัวของสีย้อมที่ตกค้างอยู่ในธรรมชาติสามารถแยกตัวและเข้าไปสะสมในร่างกาย ในสัตว์ ในพืช ในสัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากสีย้อม การรับประทานผัก ผลไม้หรือเนื้อสัตว์ที่มีเอมีนสะสมอยู่ เอมีนจะเข้าไปสะสมในร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารก่อมะเร็ง และยิ่งเอมีนมีการสะสมมากตามห่วงโซ่อาหารก็จะยิ่งอันตรายมากขึ้น

สีย้อมสังเคราะห์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน และมีวิธีการที่ต่างกัน ในการนำไปย้อมกับเส้นใยชนิดต่าง ๆ ตารางที่ 2.2.1 แสดงประเภทของสีย้อมที่นิยมใช้กับเส้นใยประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2.1 ประเภทของสีย้อมที่นิยมใช้กับเส้นใยประเภทต่าง ๆ

ประเภทของสีย้อม	ประเภทของเส้นใย
สีแอซิด (acid)	ไนลอน ขนสัตว์ ไหม
สีอะโซอิก (azoic)	ฝ้าย เรยอน เซลลูโลสอะซิเตต พอลิเอสเตอร์
สีเบสิก (basic)	พอลิอะคริลาไมด์ ไนไตรล์ โมดิไฟไนลอน พอลิเอสเตอร์
สีไดเรกต์ (direct)	ฝ้าย เรยอน ไนลอน
สีดีสเพอร์ส (disperse)	พอลิเอสเตอร์ พอลิเอไมด์ อะซิเตต อะคริลิก
สีรีแอคทีฟ (reactive)	ฝ้าย ขนสัตว์ ไหม ไนลอน
สีซัลเฟอร์ (sulphur)	ฝ้าย เรยอน
สีแวต (vat)	ฝ้าย เรยอน ขนสัตว์

ที่มา: K. Hunger., 2003: 4.

(2.1) สีดไเรกท์ (direct dye)

สิดไเรกท์ คือสีย้อมที่ละลายน้ำได้และมีประจุลบ สามารถย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้ดี เช่น ฝ้าย (cotton) วิสโคส เรยอน (viscose rayon) คิวพราโมเนียม เรยอน (cupramonium rayon)

สิดไเรกท์เป็นสีที่ใช้อย่างง่าย ราคาถูก ระดับสีกว้าง มีสมบัติความคงทนต่าง ๆ ต่ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสีประเภทนี้กับเส้นใยเป็นพันธะอ่อน ๆ เช่นพันธะไฮโดรเจน พันธะแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งปรับปรุงสมบัติด้านความคงทนด้วยการย้อมทับ (aftertreatment of direct dye) หรือตกแต่งให้คงทนต่อการยับด้วยเรซิน ซึ่งจะช่วยให้สีคงทนยิ่งขึ้น การย้อมสีประเภทนี้ต้องอาศัยเกลือ (electrolyte) เพื่อให้ประจุภายในเส้นใยลดลง หรือหายไป ช่วยเร่งการดูดซึมของสี โดยสิดไเรกท์มีการดูดซึมสีได้ดีที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ขึ้นกับโครงสร้างสี

(2.2) สีซัลเฟอร์ (sulphur dyes)

สีซัลเฟอร์เป็นสีย้อมเส้นใยเซลลูโลส โดยเฉพาะย้อมผ้าฝ้ายให้ความคงทนต่อภาวะต่าง ๆ ได้ดี มีขอบเขตของสีค่อนข้างจำกัด ส่วนใหญ่เป็นสีทึบ ด้านไม่ค่อยสดใส ในโมเลกุลของสีจะมีพันธะที่เชื่อมระหว่าง ซัลเฟอร์ 2 อะตอม (sulphur linkage) ปกติไม่ละลายน้ำ หรือละลายบ้างเล็กน้อย แต่จะละลายในสารละลายของสารรีดิวซ์ เช่นโซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulphite) ซึ่งจะรีดิวซ์โมเลกุลสีให้แตกออกตรงตำแหน่งที่เชื่อมระหว่างซัลเฟอร์ 2 อะตอม เกิดเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ที่ละลายน้ำ และสามารถย้อมติดกับเส้นใยเซลลูโลส

(2.3) สีแวนต์ (vat dye)

สีแวนต์ มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ไม่ละลายน้ำ และมีระดับสีเกือบทุกเฉดสี (shade) ในการย้อมสีแวนต์ ขั้นแรกต้องทำให้สีย้อมอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ โดยการรีดิวซ์สีแวนต์ด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ในสารละลายต่างแก่ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ในสภาพนี้สีแวนต์จะมีลักษณะเป็นสารประกอบลิวโค (leuco) ซึ่งละลายน้ำได้ และมีความสามารถในการย้อมติดกับเส้นใยเซลลูโลส หลังจากนั้นทำการออกซิไดส์เพื่อให้สีแวนต์เปลี่ยนกลับสู่สภาพที่ไม่ละลายน้ำ

(3) สีรีแอคทีฟ (reactive dye)

สีรีแอคทีฟเป็นสีที่มีประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส โดยสีจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกไซด์ ($-OH$) ของเส้นใยเซลลูโลส ในน้ำย้อมที่ภาวะต่าง เกิดพันธะเคมีแบบโควาเลนต์ระหว่างสีรีแอคทีฟกับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง ให้เฉดสีที่มีความสดใส มีความสม่ำเสมอ และมีความคงทนต่อการซักดี

ในปัจจุบันการย้อมเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟกำลังได้รับความนิยมสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นสีย้อมที่สามารถย้อมได้เกือบทุกเฉด สีที่ได้มีความสดใส แต่การย้อมสีรีแอคทีฟต้องควบคุมการย้อมอย่างใกล้ชิด เพราะอาจทำให้ผลการย้อมไม่เป็นไปตามต้องการ

โครงสร้างพื้นฐานของสีย้อมที่ประกอบด้วยสามส่วนดังนี้

- ส่วนที่มีสี (chromophore) แทนด้วยตัวอักษร D มีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับโมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่เป็นพวกสีอะโซ (azo) แอนทราควิโนน (anthraquinone) และฟทาโลไซยามีน (phthalocyanine)
- กลุ่มทำปฏิกิริยา (reactive group) แทนด้วยตัวอักษร R แบ่งออกได้อีก 3 ส่วนคือ
 - ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมกับส่วนที่มีสี แทนด้วยตัวอักษร X
 - ส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักของกลุ่มทำปฏิกิริยา แทนด้วยตัวอักษร C โดยมีโครงสร้างทางเคมีหลัก คือโครงสร้างที่อะตอมเรียงตัวกันเป็นแนวตรง(aliphatic chain) และโครงสร้างที่อะตอมเรียงตัวเป็นวง(heterocyclic ring)
 - ส่วนที่เป็นกลุ่มที่จะหลุดออกไป (leaving group) แทนด้วยอักษร L

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสีกลุ่ม X กลุ่ม C และกลุ่ม L ทำให้ได้สีย้อมที่ที่มีสมบัติแตกต่างกันไป ได้มากมาย

การย้อมสีย้อมที่ฟ ใช้อุณหภูมิในช่วง 40 – 70 องศาเซลเซียส ขึ้นกับประเภทของสี (สีย้อมเย็นหรือย้อมร้อน) ในขณะที่ย้อมต้องใช้สารช่วย เกลือและด่าง ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้น สีย้อมที่ฟแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้ย้อม ได้ 2 กลุ่ม

- สีย้อมเย็น ได้แก่สีที่ย้อมที่อุณหภูมิ 20-40 °C สีย้อมที่ฟในกลุ่มนี้ได้แก่ สี Procion M (ICI) Levafix EA (Dystar) Cibacron F (Ciba)
- สีย้อมร้อน ได้แก่สีที่ย้อมโดยใช้อุณหภูมิ 60-80 °C สีย้อมที่ฟในกลุ่มนี้ได้แก่ สี Procion H (ICI) Levafix E (Dystar) Drimarene X (Sandoz) ในการวิจัยนี้ใช้สีย้อม Drimarene จากบริษัทแซนดอส

(4) สีแอซิด (acid dye)

สีแอซิดเป็นสีประจุลบ (anionic dye) ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไหม และเส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน ในภาวะที่เป็นกรด โดยใช้กรดซัลฟิวริก กรดฟอร์มิก กรดแอซิดิก หรือแอมโมเนียมซัลเฟต ค่าพีเอชของน้ำย้อมอยู่ระหว่าง 2 – 7 ขึ้นกับชนิดของเส้นใยที่ใช้ย้อม ความเข้มข้นของสีที่ต้องการ และชนิดของกรดที่ใช้ ให้กรดสีที่สดใส ถ้าเลือกสีที่เหมาะสมจะได้สีที่มีความคงทนต่อแสงดีมาก สมบัติด้านความคงทนตลอดจนความสม่ำเสมอของสีแต่ละตัวขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของสี

(5) สีเบสิก (basic dye)

สีเบสิกเป็นสีประจุบวก (cationic dye) ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก สีถูกดูดซึม และยึดติดกับสายโซ่พอลิเมอร์ได้เร็วมาก จนทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ จึงต้องมีการเติมสารชะลอการติดสี (retarder) เพื่อช่วยชะลออัตราเร็วในการแพร่ของสีเข้าสู่เส้นใย และในการยึดติดของสีกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเส้นใย

(6) สีดิสเพอร์ส (disperse dye)

สีดิสเพอร์สเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ต่ำ ต้องใช้สารเคมีช่วยย้อมที่ช่วยให้สียกระจายตัวในน้ำย้อม (dispersing agent) ใช้ย้อมเส้นใยไนลอน และพอลิเอสเตอร์



2.3 วิธีกำจัดสียจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม

การกำจัดสียจากน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากเดิมซึ่งโรงงานทั่วไปมักใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยในสมัยก่อนสียที่ปล่อยออกมามีปริมาณน้อย ทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรที่ทันสมัย การเติมสารเคมีช่วยเพิ่มคุณภาพของผ้า จนกระทั่งการพัฒนาสียที่ใช้ในการย้อม เพื่อให้สียติดผ้ามากขึ้น ทำให้น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ประกอบด้วยสารเคมีและสียย้อมมากมายหลายชนิด จนไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (activated sludge) ในการกำจัดสียให้ลดลงได้ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับวิธีการกำจัดสียหลายวิธี การเลือกวิธีการกำจัดสียหนึ่งวิธีหรือมากกว่า ขึ้นกับขั้นตอนในการฟอกย้อม และชนิดสียที่ใช้โดยจำแนกวิธีการกำจัดสียได้ ดังนี้

2.3.1 การกำจัดสียทางเคมี-ฟิสิกส์

การกำจัดสียโดยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองต่อไป หรืออาจใช้ตามหลังกระบวนการชีวภาพ ตัวอย่างของการกำจัดสียโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารเคมีซึ่งสามารถกำจัดสียอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกของกระบวนการดังกล่าว เกิดจากอนุภาคหรือสิ่งปนเปื้อนถูกดูดติดผิว ฟล็อก โรงฟอกย้อมส่วนมากนิยมใช้สารเคมีต่างๆ ในการทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชัน ได้แก่ ปูนขาว สารส้ม เหลือเฟอริค หรือพอลิอิเล็กโทรไลต์ แล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน ซึ่งพบว่ามีข้อเสียเนื่องจากใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสีย และมีสไลด์จ์ทางเคมีเกิดขึ้นมากตามมาด้วย ดังนั้นการใช้วิธีการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชัน ในการกำจัดสียจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม ข้อสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ การประเมินปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ ให้มีปริมาณพอเหมาะกับลักษณะของน้ำเสีย

2.3.2 กระบวนการทางเคมี

(1) การออกซิเดชัน (oxidation)

(1.1) การเติมคลอรีน (chlorination)

สียย้อมหลายชนิดถูกกำจัดได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวออกซิไดซ์ สารเคมีที่นิยมใช้มากในการกำจัดสียขั้นต้นคือ คลอรีนในรูปของเหลวหรือแก๊ส อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้คลอรีนในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในรูปสารประกอบคลอรีน จากงานวิจัยของ Ghosh และคณะ (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ในการกำจัดสียโดยกระบวนการเติมคลอรีน สรุปได้ว่าต้องใช้คลอรีนปริมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสียร้อยละ 77 แต่จะมีคลอรีนตกค้างในน้ำเสียปริมาณ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าใช้คลอรีนต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่มีคลอรีนตกค้างเหลืออยู่ แต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสียลดลงเหลือร้อยละ 57

(1.2) การเติมโอโซน (ozonation)

โอโซนได้ถูกใช้ในการกำจัดกลิ่นในน้ำดื่ม ตลอดจนใช้ในการย่อยสลายสารประกอบสี โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน และพบว่ากลไกที่ได้จากกระบวนการออกซิไดซ์น้ำเสียที่มีสีโดยใช้โอโซน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากสารพวกอินทรีย์ที่มีคลอรีน ในการวิจัยของ Horning (1978) พบว่า การใช้โอโซน ปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวออกซิไดซ์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ และ สีเบสิด แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดิสเพอร์ส ส่วนการกำจัดสีไดเรกต์ ต้องใช้โอโซนในปริมาณที่ไม่แน่นอน และนอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งอุปกรณ์ และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก บำบัดด้วยโอโซนแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำ ด้วยเครื่องกำเนิดโอโซนแบบโคโรน่าดิสชาร์จ พบว่าปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำได้ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีเบสิดในน้ำย้อมได้ร้อยละ 86.22 กำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 31.39 และกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 8.45 (ชนิษฐา และ วุฒิวัฒน์, 2550)

(1.3) การรีดักชัน (reduction)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการรีดักชันของสีชนิดเอโซ (azo) ด้วยโซเดียมไฮไดรอสัลไฟด์ พบว่าสีเอโซจะถูกสลายให้กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เกิดเป็นสารประกอบแอมโรแมติกเอมีน ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นดังกล่าว พบว่า หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นพิษมากกว่าตัวของสีย้อมเอง (Reife และ Freeman , 1996)

(1.4) กระบวนการดูดติดผิว

กระบวนการดูดติดผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่างๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก ลิกไนต์ ถ่านหิน เศษไม้ เศษฝ้าย กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีพื้นที่ผิว 500 - 1400 ตารางเมตรต่อกรัม (Reife และ Freeman , 1996) โดยพบว่าโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม มีผลต่อปริมาณการดูดติดผิวบนผิวน้ำกัมมันต์อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดติดผิวของสารประกอบจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขนาดของโมเลกุล ความเป็นสารประกอบแอมโรแมติก (aromaticity) ความมีขั้ว (polarity) และการแตกพันธะลูกโซ่ของคาร์บอน (carbon chain balancing)

(1.5) กระบวนการไฟฟ้าเคมี

สถาบัน ADMI ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี พบว่า นอกจากจะสามารถกำจัดโลหะหนักแล้ว ยังสามารถกำจัดสีให้ลดลงได้อีกด้วย จึงทำให้มีการใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมเป็นครั้งแรก และมีการจดลิขสิทธิ์โดยใช้ชื่อว่า Andco Environmental Process (Uhrich ,1989) โดย Carneiro, P.A., Fugivara, C.S., Nogueira, F.P. , Boralle, N., and Zanoni, V.B. (2003) ศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอคทีฟ (Reactive Blue 4 Dye) ระหว่างกระบวนการไฟฟ้าเคมีโดยใช้ SnO_2 อิเล็กโทรด และกระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเพนตอน ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเลต ผลการทดลองรายงานไว้ว่า เมื่อใช้ SnO_2 อิเล็กโทรด สามารถลดค่าทีโอซี

(TOC) ลงได้ร้อยละ 58 และกำจัดสีจากน้ำเสียได้ทั้งหมด และเมื่อใช้การออกซิเดชันด้วยสารเพนตอน ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสามารถลดค่าที่โอซี (TOC) ลงได้ร้อยละ 80 และกำจัดสีจากน้ำเสียได้ทั้งหมด และจากรายงานผลการวิจัยในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ด้วย กระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าเคมีของ Chareoenlarp and Choypan (2009) ผลการทดลองพบว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ (Sumifix Supra Navy Blue BF Gran) ด้วยขั้วไฟฟ้า อะลูมิเนียม ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 96.05 การบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ นาน 180 นาที จะให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 85.61 และผลการศึกษาของ Chen, X., Shen, Z., Zhu, X., Fan, Y., and Wang, W. (2005) พบว่า การออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าเคมีมีประสิทธิภาพสูงในการลดค่าซีโอดี (ร้อยละ 89.8) และหลังจากผ่านกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนพบว่าสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยลงได้ เกือบทั้งหมด ลดค่าความขุ่นลงได้ร้อยละ 93.3 และน้ำที่ผ่านการกรองสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกใน กระบวนการผลิต

2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- (1) ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (anaerobic treatment system)
- (2) ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic treatment system)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศ เป็นวิธีที่ไม่ต้องเติมออกซิเจนหรือถังหมัก ระบบนี้เริ่มนิยมใช้กัน อย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ แก๊สมีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นแก๊สที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้ และใช้ในการต้มน้ำ ในหม้อต้มน้ำของ โรงงานอุตสาหกรรมได้ ในอดีตเข้าใจกันว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศ จำเป็นต้องมีน้ำเสียที่มีความสกปรกมาก แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกริยาขึ้นมาเรื่อยๆ จนสามารถ บำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น

2.3.4 อื่นๆ

นอกจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีกระบวนการกำจัดสีโดยอาศัยเทคโนโลยีใหม่ๆ อีก เช่นกระบวนการออสโมซิสผันกลับ การกรองโดยผ่านแสงยูวี การแลกเปลี่ยนไอออน โดยจะใช้ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่มีความเข้มข้นของสีสูง และน้ำที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการ ดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ยังไม่เป็นวิธีที่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและ บำรุงรักษาอุปกรณ์สูงมาก

2.4 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation process) หรือกระบวนการรวมตะกอน เป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทั้งน้ำประปาที่มาจากน้ำผิวดิน และยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการรวมตะกอนจะมีบทบาทสำคัญมากในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ เช่น อนุภาคความขุ่น อนุภาคของสี หรืออื่นๆ สำหรับอนุภาคแขวนลอยในน้ำที่มีขนาดใหญ่ อาจแยกออกจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนหรือวิธีกรองหรือทั้งสองวิธีด้วยกัน แต่วิธีดังกล่าวมักใช้ไม่ได้ผลกับอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น อนุภาคคอลลอยด์ มีขนาดอยู่ในช่วง 10^{-6} มิลลิเมตร (1 นาโนเมตร) จนถึง 10^{-3} มิลลิเมตร (1 ไมครอน)

ดังนั้นในการทำให้อนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก สามารถตกตะกอนภายในเวลาอันรวดเร็ว จึงต้องใช้กระบวนการรวมตะกอนหรือกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยทั่วไปมักใช้สารเคมีในการทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น ดังนั้นจึงเรียกรวมตะกอนทางเคมี (chemical coagulation) มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญได้แก่

- กำจัดความขุ่นอันเนื่องจากสารอินทรีย์ และอนินทรีย์
- กำจัดสี
- กำจัดแบคทีเรีย
- กำจัดสาหร่าย
- กำจัดสารซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่น และรสในน้ำ
- กำจัดฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของสาหร่าย
- กำจัดสารอื่น ๆ เช่น โลหะหนัก เป็นต้น

กระบวนการโคแอกกูเลชัน เกิดขึ้นโดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) หรือสารสร้างตะกอนลงในน้ำ ซึ่งมีสารแขวนลอยที่เป็นสาเหตุของความขุ่นหรือสีในน้ำ สารเหล่านี้เป็นพวกคอลลอยด์ (colloid) ที่เกิดจากสารอินทรีย์ (inorganic matter) หรือสารอินทรีย์ (organic matter) เพื่อทำให้เกิดการทำลายเสถียรภาพ (destabilized) ของคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาเกาะกัน เมื่อสารโคแอกกูแลนต์สัมผัสกับอนุภาคต่างๆ เหล่านั้นทำให้เกิดเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น ในขั้นนี้การผสมอย่างรวดเร็วเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะทำให้เกิดการกระจายของสารเคมีได้อย่างทั่วถึง และเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะให้อนุภาคต่างๆ มาเจอกัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นในระยะเวลายอันสั้น ผลที่ได้คือ การเกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว จะเป็นขั้นตอนการรวมตัวของตะกอน (flocculation) หรือการเกิดตะกอน (floc) รวมตัวกันกลายเป็นกลุ่ม ซึ่งมีลักษณะคล้ายก้อนขนสัตว์เป็นปุย และพร้อมที่จะตกตะกอน การรวมตัวกันของตะกอนเกิดโดยการผสมเบาๆ และใช้เวลานาน เพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากเล็กให้เป็นอนุภาคใหญ่ ซึ่งมองเห็นได้และสามารถตกตะกอนได้เร็ว

สรุปได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน หรือกระบวนการรวมตะกอน เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมตัวและจับกันเป็นฟล็อก มีหลักใหญ่ ๆ 2 ประการคือ

(1) การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของคอลลอยด์ ซึ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน มี 4 รูปแบบ (Mollah, M.A.Y. et al., 2001) ดังนี้

- การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) การเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับ ประจุของอนุภาคจะทำให้จำนวนไอออนต่างประจุ (counter ion) ในชั้นกระจายเพิ่มขึ้น และทำให้ความหนาของชั้นกระจายลดลง เนื่องจากจำนวนประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กัน จนเกาะกันได้ด้วยแรงดึงดูด
- การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า ของอนุภาคคอลลอยด์ (absorption/charge neutralization) สารเคมีบางชนิดสามารถแตกตัวให้ประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ มีความสามารถในการดูดติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนทำให้สามารถเข้าใกล้กันแล้วรวมตัวกันเป็นตะกอนตกลงได้
- การใช้สารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนัก และขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (sweep coagulation) เป็นการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิด ซึ่งมีความสามารถในการตกผลึกอย่างรวดเร็ว โดยใช้อนุภาคคอลลอยด์เป็นแกนกลาง ทำให้อนุภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และอิทธิพลของประจุไฟฟ้าลดลง อนุภาคจึงสัมผัสและตกตะกอนได้
- การใช้สารพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (polymer bridging) พอลิเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีอนุภาคต่อกันเป็นสายยาว เมื่อเติมลงไปในน้ำจะมีส่วนยึดเกาะกับอนุภาคได้โดยกลไกต่างๆ และมีหน้าที่เชื่อมอนุภาคเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น

(2) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่มากระทบ หรือสัมผัสให้มากที่สุด (transport of colloidal particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม และเมื่ออนุภาคต่าง ๆ สัมผัสกันแล้ว ควรเกาะติดกันแน่น และหลุดน้อยที่สุด

2.5 สารเคมีที่ใช้ในการสร้างรวมตะกอนหรือ สารโคแอกกูแลนต์

สารเคมีที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ อะลูมิเนียม และเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน ที่มีประสิทธิภาพ ราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และถูกควบคุมปฏิกิริยาด้วยพีเอชในระบบ หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทำให้กระบวนการตกตะกอนมีประสิทธิภาพต่ำ หรือไม่มีประสิทธิภาพเลย (Mollah, M. A.Y., et al., 2001)

(1) สารสร้างตะกอนในกลุ่มอะลูมิเนียม

(1.1) อะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม

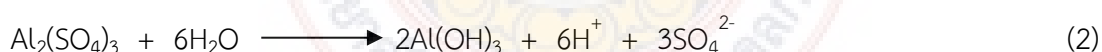
มีสูตรทางเคมี $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ (โดยปกติทั่วไป*มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18) มีขายทั้งในรูปสารละลาย และของแข็ง ในรูปของแข็งจะมีสีขาวขุ่น ลักษณะเป็นเกล็ด หรือผง มีชื่อเรียกทางการค้าว่า สารส้ม สามารถละลายน้ำได้ดีถึง 71 ส่วนในน้ำ 100 ส่วนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ไพศาล วีรกิจ, 2545)

สารส้มเมื่อละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับความเป็นต่าง (HCO_3^-) ของน้ำ ดังสมการต่อไปนี้ (Bensadok.K. et al., 2008)

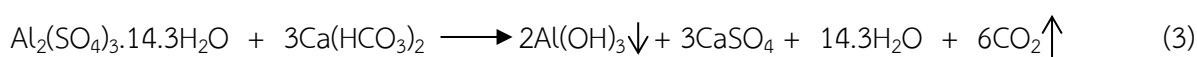


อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $(Al(OH)_3)$ ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนช้าๆ ระหว่างตกตะกอน จะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ มาเกาะ ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนเร็วขึ้น

ค่าพีเอชมีความสำคัญมากในกระบวนการสร้างตะกอน เพราะจากปฏิกิริยาในสมการที่ 2 ประจุบวกของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะลดค่าพีเอชลงจนการเกิดของ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นตะกอนที่ต้องการเกิดได้ยาก ถ้าน้ำมีค่าความเป็นต่างต่ำ และมีการเติมสารส้มมาก ความเป็นต่างของน้ำจะถูกทำลายหมด และทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลงเป็นกรด



ดังนั้นในบางกรณีจำเป็นต้องเติมต่างลงไปพร้อมกับสารส้มเพื่อชดเชยค่าความเป็นต่างของน้ำที่ลดลง ดังแสดงในสมการที่ 3 – 5 ปริมาณสารส้มที่ใช้จะแตกต่างกัน ขึ้นกับแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำ



จากสมการพบว่าการใช้ปูนขาวร่วมกับสารส้มทำให้เกิดแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ซึ่งเป็นความกระด้างถาวรในน้ำ ส่วนการใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) ไม่ก่อให้เกิดความกระด้างเพิ่มขึ้นแต่มีราคาแพงกว่าปูนขาว และจากสมการ Hammer, M.J. (1996) สรุปว่า การเติมสารส้ม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไปในน้ำ จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ

5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรของความเป็นด่างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

0.39 มิลลิกรัมต่อลิตรของปูนขาวร้อยละ 95 ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรของปูนขาวร้อยละ 85 ในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

0.53 มิลลิกรัมต่อลิตรของโซดาแอชในรูปโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

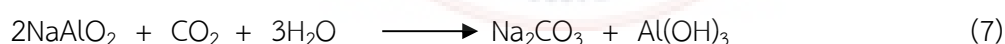
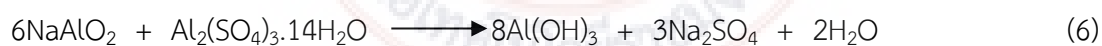
โดยปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มอยู่ในช่วง 5 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ 5.5 - 8.0

(1.2) พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Hammer, M.J., 1996.)

เป็นสารพอลิเมอร์ เตรียมจากไดอะลูมิเนียมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (AlCl_3) หลังจากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับด่างที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมพอลิเมอร์ มีสูตรทั่วไปคือ $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m}$ มีความสามารถละลายน้ำได้ดี พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์มีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตะกอนสูง และตกตะกอนได้รวดเร็วกว่าสารส้ม ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 4.0-10.0

(1.3) โซเดียมอะลูมิเนต (Hammer, M.J., 1996.)

มีสูตรทางเคมีคือ NaAlO_2 ละลายน้ำให้สารละลายที่มีความเป็นด่าง ในการใช้งานควรใช้ควบคู่กับสารส้ม ตกตะกอนได้ดีในช่วงพีเอชกว้าง เกิดฟล็อกที่มีเนื้อแน่นหนัก ไม่แตกสลายง่าย ทำให้ตกตะกอนได้เร็ว และกรองได้ดี การใช้สารส้มทำให้มีอะลูมิเนียมในน้ำมาก ซึ่งการเติมโซเดียมอะลูมิเนต และปรับพีเอชเป็น 6 จะสามารถตกตะกอนอะลูมิเนียมได้ ปฏิกิริยาโซเดียมอะลูมิเนตกับสารส้ม และคาร์บอนไดออกไซด์อิสระเป็นดังนี้



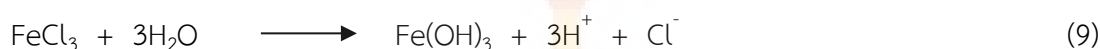
(2) สารสร้างตะกอนในกลุ่มเกลือของเหล็ก (Hammer, M.J., 1996.)

(2.1) เฟอร์ริกคลอไรด์

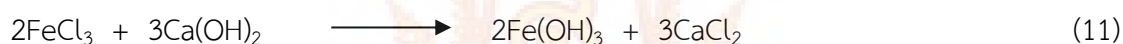
มีสูตรทางเคมีคือ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{FeCl}_3 \cdot \text{anhydrous}$ มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง ละลายน้ำได้ดี มีขายในท้องตลาด 3 รูปแบบคือ ของแข็งที่ไม่มีน้ำ เป็นผลึกน้ำและในรูปของเหลว เติมในน้ำดิบในรูปของสารละลาย มีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกริยาจะคล้ายกับอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) โดยเมื่อใส่ลงในน้ำที่มีความเป็นด่าง จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 8



ในภาวะที่ไม่มีความเป็นด่างปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการที่ (9)



เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) มีลักษณะคล้ายกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)_3) คือไม่ละลายน้ำ เมื่อตกตะกอนจะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ ลงมาด้วย จากสมการที่ 8 จะเห็นได้ว่าต้องการความเป็นด่างในการทำปฏิกิริยา จึงต้องปรับพีเอชให้สูงขึ้นโดยการเติมปูนขาว โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ในช่วงที่พีเอชมากกว่า 8.5



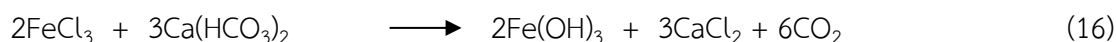
(2.2) เฟอร์รัสซัลเฟต

สูตรทางเคมีคือ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ มีลักษณะเป็นทั้งผง เม็ด หรือผลึก มีสีเขียวถึงน้ำตาลปนเหลือง ละลายน้ำได้ดี เมื่อเป็นสารละลายจะมีความเป็นกรด และกัดกร่อน เติมในน้ำในรูปของแข็งหรือสารละลายก็ได้ เฟอร์รัสซัลเฟตเมื่อใส่ลงไปในน้ำจะเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_2) ซึ่งละลายน้ำได้ดี จึงต้องออกซิไดส์ เพื่อเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ด้วยการเติมอากาศ หรือคลอรีน



เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) ที่เกิดขึ้นมีเนื้อแน่นและตกตะกอนได้เร็ว แต่ต้องควบคุมปริมาณปูนขาวอย่างถูกต้อง เพราะถ้าเติมปูนขาวมากเกินไปอาจมีการตกผลึกของหินปูนเกิดขึ้นในท่อส่งน้ำและจ่ายน้ำ เพราะปูนขาวทำปฏิกิริยากับสารไบคาร์บอเนตทำให้เกิดหินปูนซึ่งตกผลึกได้ เฟอร์รัสซัลเฟตจึงเหมาะกับน้ำตามธรรมชาติ ที่มีสารไบคาร์บอเนตพอเพียงโดยไม่ต้องเติมปูนขาว โดยมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนค่อนข้างกว้าง อยู่ในช่วง 4.8 - 11.0

การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตร่วมกับคลอรีน ทำให้เกิดเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ตามสมการที่ 14

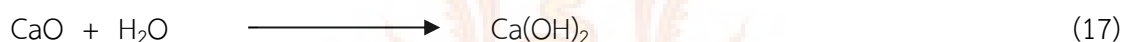


2.6 สารช่วยสร้างตะกอน

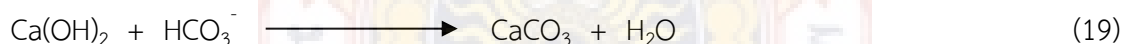
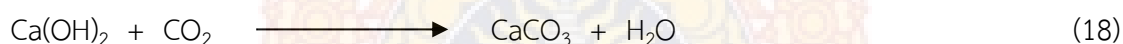
การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (coagulant aids) สารช่วยสร้างตะกอน หมายถึงสารที่ช่วยทำให้การตกตะกอนดียิ่งขึ้น ตะกอนแข็งแรงยิ่งขึ้น มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยออกจากน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอน สารช่วยสร้างตะกอนมีหลายชนิดดังนี้

(1) ปูนขาว

มีสูตรทางเคมีคือ CaO มีสีขาว มีลักษณะเป็นเม็ด หรือผงละลายน้ำได้ไม่ดี เมื่อผสมกับน้ำจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ตามสมการที่ 17



และเมื่อผสมกับน้ำจำนวนมากจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอเนตในน้ำ ตามสมการที่ 18 – 19



แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นไม่ละลายน้ำ และจะตกตะกอน ดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ ลงมาด้วย ในการใช้งานมักเติมปูนขาวพร้อมกับสารส้ม

(2) สารถ่วงน้ำหนัก (weighing agent)

น้ำที่มีความขุ่นสูงมาก จะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องการตกตะกอน น้ำที่มีความขุ่นต่ำ บางครั้งจะไม่ตกตะกอน ถึงแม้ว่าจะเติมสารเคมีลงไป เพราะน้ำหนักตะกอนที่ก่อตัวขึ้น ไมโตและหนักพอ จึงต้องเติมสารถ่วงน้ำหนักเข้าช่วย สารถ่วงน้ำหนักที่ใช้อาจเป็นผงดินเหนียว ถ่านกัมมันต์ หรือเบนโทไนต์ ปริมาณที่เติมขึ้นกับสมบัติของน้ำโดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 10 - 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) พอลิเมอร์ (polymer)

สารช่วยสร้างตะกอนแบบพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพในการจับตะกอนที่ดี สามารถจับอนุภาคคอลลอยด์ และเกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้โดยใช้ในปริมาณเล็กน้อย มีหลายชนิดขึ้นกับน้ำหนักและรูปร่างของโมเลกุล ซึ่งอาจเป็นโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้สารที่มีประจุบวก ประจุลบ หรือไม่มีประจุ มีสมบัติดังนี้

- สารช่วยสร้างตะกอนแบบพอลิเมอร์เป็นสารที่ละลายน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ทำปฏิกิริยาหลายหมู่
- ฟล็อกที่เกิดจากการใช้พอลิเมอร์ จะเกิดได้รวดเร็ว มีขนาดใหญ่ และค่อนข้างคงตัว ทำให้ใช้เวลาในการบำบัดลดลง
- ใช้ในปริมาณน้อยทำให้ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นน้อย

2.7 ชนิดของเมล็ดพืชที่ใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์

(1) มะรุม

ชื่อสามัญ : Horse radish tree, Drumstick

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Moringa oleifera Lam.

วงศ์ : Moringaceae

ชื่ออื่น : กาเหว่าแดง (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี) ผักเนื้อไก่ (ฉาน-แม่ฮ่องสอน) ผักอีฮีม ผักอีฮุม มะค้อนก้อม (ภาคเหนือ) เส่ช้อยะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น : ลำต้นเหนือดิน ตั้งตรงได้เอง ผิวลำต้นมีลักษณะเรียบถึงหยาบขรุขระ ไม่เห็นข้อปล้องที่ชัดเจน ต้นอ่อนมีสีเขียว ต้นแก่มีสีเทาอ่อนไม่มีน้ำยาง

ใบ : เป็นใบประกอบแบบขนนก 2 ชั้น ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อนนวล ใบแก่มีสีเขียวมีการเรียงตัวตรงกันข้าม รูปไข่กลับ ขอบใบ

ดอก : ออกดอกเป็นช่อ ออกบริเวณข้อส่วนยอด มีสีเหลืองนวล กลีบเลี้ยงติดกัน จำนวน 16 กลีบ สีเขียว กลีบดอกแยกกัน จำนวน 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้จำนวน 5 อัน เกสรตัวเมียจำนวน 1 อัน

ผล : มีรูปร่างกลม ยาว ปลายและท้ายแหลม เมื่อผลแห้งจะไม่แตก เมื่อแก่สีอ่อนสีแดงเรื่อๆ ผลแก่มีสีเขียวยาว 20 - 40 เซนติเมตร มีร่องลึกตามยาวโดยรอบรองฝัก

เมล็ด : มีประมาณ 10 - 15 เมล็ด มีรูปร่างกลม

(2) ข้าวโพด

ชื่อสามัญ : Corn

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Zea mays* L.

ชื่อวงศ์ : Poaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ข้าวโพดเป็นพรรณไม้จำพวกหญ้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ปัจจุบันสามารถนำไปปลูกได้ทั่วไปในเขตร้อน และเขตอบอุ่นทั่วโลก ลำต้นนั้นอวบตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในพามมีลักษณะคล้ายฟองน้ำมีความสูงประมาณ 1.4 เมตร

ใบ เป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2-10 เซนติเมตร เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัดตรงขอบใบจะมีขนอ่อนๆ สีขาว

ดอก ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน (Monoecious) ช่อดอกตัวผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น ช่อดอกตัวเมียจะอยู่ต่ำถัดลงมาอกระหว่างกาบของใบและลำต้น ดอกย่อยจะมีก้านเกสรตัวผู้ 9-10 อัน และมีอับเรณูสีเหลืองส้ม ยาวราว 5 มิลลิเมตร ยอดเกสรตัวเมียจะเป็นเส้นบางๆ คล้ายกับเส้นไหมยาวและยื่นพ้นออกมาเป็นจำนวนมาก

ฝัก เกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ข้าวโพดต้นหนึ่งอาจให้ฝักมากกว่าหนึ่งฝักก็ได้ ฝักข้าวโพดหุ้มด้วยกาบหลายชั้น ฝักอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีนวล เรียกว่า เปลือกข้าวโพด ฝักข้าวโพดจะประกอบไปด้วยซังข้าวโพด (cob) ซึ่งเป็นที่สำหรับให้ผลที่เรียกว่าเมล็ดเกาะ

ผล จะเป็นทรงกระบอกยาว ในฝัก 1 ฝัก มีเมล็ดเกาะอยู่ประมาณ 8 แถว แถวหนึ่งๆ จะมีเมล็ดประมาณ 30 เมล็ด และมีสีต่างๆ กันเช่นสีนวล เหลือง หรือม่วงดำ

ใบ จะเป็นเส้นตรงปลายของมันแหลมยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2-10 เซนติเมตร เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัดตรงขอบใบจะมีขนอ่อนๆ สีขาว

(3) ถั่วเขียว

ชื่อสามัญ : Mung Bean, Green Bean, Green Gram, Golden Gram

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Vigna radiata* (L.) R. Wilcz.

ชื่อวงศ์ : Fabaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ไม้ล้มลุกอายุหนึ่งปี แตกกิ่งก้านมาก มีใบห่างๆ ใบเรียงเวียน ใบประกอบแบบขนนก มี 3 ใบย่อย ใบตั้ง รูปไข่ถึงรูปคล้ายสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด ช่อดอกแบบช่อกระจะ จำนวนดอกน้อยอยู่บริเวณปลายช่อดอกแบบดอกถั่ว สีเหลือง เมล็ดรูปกึ่งกลม สีเขียว

ต้น : เป็นพรรณไม้ล้มลุกเนื้ออ่อน และจะมีอายุนานเพียงไม่เกิน 1 ปี ลำต้นจะมีขนเป็นสีน้ำตาล และจะแตกกิ่งก้านสาขา

ใบ : เป็นใบรวมประกอบด้วยใบย่อยประมาณ 3 ใบ ฐานใบนั้นจะกว้างตรงปลายใบและแหลม

ดอก : สีเหลือง

เมล็ด(ผล) : ผลนั้นจะออกเป็นฝักและมีขนเป็นสีน้ำตาลอยู่ทั่วฝัก ฝักจะมีความยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ส่วนเมล็ดถั่วเขียวจะมีสีแตกต่างกัน จะเป็นสีเขียวหรือสีเหลืองก็ได้ สีเหลืองก็คือถั่วทองที่เราเรียกกันนั่นเอง

(4) มะขาม

ชื่อสามัญ : Tamarind

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Tamarindus indica Linn.

วงศ์ : Casealpiniaceae

ชื่ออื่น ๆ : สามอเกล (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), หมากแกง (ฉาน-แม่ฮ่องสอน), มะขาม, มะขามไทย (ภาคกลาง), ตะลูป(นครศรีธรรมราช), อำเปยล (สุรินทร์), มะขามกะดาน, มะขามขี้แมว

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น : เป็นพรรณไม้ยืนต้น ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขาตรงส่วนยอดของต้น และแข็งแรงมาก ลำต้นมีความสูงประมาณ 60 ฟุต เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน และแตกสะเก็ดเป็นร่องเล็ก ๆ

ใบ : เป็นไม้ใบรวม จะออกใบเป็นคู่ ๆ เรียงกันตามก้านใบ ก้านหนึ่งมีใบอยู่ประมาณ 10-18 คู่ ลักษณะของใบย่อย เป็นรูปขอบขนาน ปลายใบและโคนใบมน มีสีเขียวแก่

ดอก : ดอกออกเป็นช่อเล็ก ๆ อยู่ตามบริเวณปลายกิ่ง ช่อหนึ่งจะมีดอกประมาณ 10-15 ดอก ดอกจะเล็กมีกลีบเป็นสีเหลือง และมีจุดประสีแดงอยู่ตรงกลางดอก ดอกจะออกในช่วงฤดูฝน ดอกมีรสเปรี้ยว

ผล : เมื่อดอกร่วงแล้วก็จะติดผล ซึ่งผลนี้จะมีอยู่ 2 ชนิดคือชนิดฝักกลมเล็กยาว ซึ่งเรียกว่ามะขามขี้แมว และอีกชนิดหนึ่งฝักใหญ่แบน และโค้ง มีรสเปรี้ยว เรียกว่ามะขามกะดาน เปลือกนอกเปราะเป็นสีเทาอมน้ำตาล ข้างในผลมีเนื้อเยื่อแรก ๆ เป็นสีเหลืองอ่อน และจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่จัด ซึ่งจะหุ้มเมล็ดอยู่ ลักษณะของเมล็ดเป็นรูปค่อนข้างกลม ผิวเปลือกเกลี้ยง เป็นสีดำ หรือสีน้ำตาลเข้ม

2.8 การใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เป็นวิธีการใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่รู้จักกัน และใช้อยู่ทั่วไปในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ (Abdel-Shafy and Abdel-Basier, 1991; Bromley, et al., 2002; Tatsi, et al., 2003) แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีเป็นสารรวมตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี และทำให้เกิดตะกอนของสารเคมี รวมถึงมีรายงานการวิจัยพบว่าการใช้สารส้มมีผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นสาเหตุหนึ่งของการโรคสมองเสื่อม (Alzheimer's disease) (Ndabigesere, 1997; United nations world water assessment program, 2003.; Montgomery. M. 2007) และนอกจากนี้พบว่าสารโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากสารอินทรีย์สังเคราะห์จากอะคริลาไมด์ (Acrylamide) มีความเป็นพิษต่อระบบประสาทและเป็นสารก่อมะเร็ง (Mallevialle, J., et al., 1984) และจากการทบทวนเอกสาร มีรายงานพบว่าได้มีการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ในการบริโภค มาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยเฉพาะในแถบประเทศแอฟริกาและละตินอเมริกา โดยนำส่วนต่างๆ ของพืชตั้งแต่เมล็ด ใบ เปลือก ราก และผล มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยวัตถุประสงค์หลักของการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ เพื่อทำให้น้ำใสสำหรับการบริโภค โดยสรุปชนิดของสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ที่มีการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ได้ดังนี้ (Nilanjana Rao., 2005: online)

ทหารในประเทศเปรูใช้เมล็ดข้าวโพด (*Zea mays*) นำมาคั่ว ปั่นละเอียด

ประเทศอินเดียใช้เมล็ดของ *Strychnos potatorum* (Nirmali tree)

ประเทศชิลีและเปรู ใช้ยางของต้นตะบองเพชร (*Opuntia fiscus indica*)

ประเทศอินเดีย ซีนิกัล และชูดาน ใช้เมล็ดมะรุม (*Moringa olifeira*)

ประเทศในแถบอเมริกาใต้ ใช้เปลือกของต้น *Schinopsis Quebracho*

ประเทศโบลิเวียและ เปรู ใช้เมล็ดแห้งของถั่ว (*Vicia faba*) เมล็ดของลูกพีช (*Percica valgoris*)

ประเทศอียิปต์ และชูดาน ใช้ถั่วหลายชนิดมาเป็นสารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดน้ำเสีย

จากการทบทวนเอกสาร Folkard, G, et al. (1995) พบว่าพืชที่นิยมและมีประสิทธิภาพดีในการเป็นสารโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ คือ มะรุม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera* Lam. วงศ์ *Moringaceae* เป็นพืชในเขตร้อน เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่ปลูกไว้ในบริเวณบ้านไทยมาแต่โบราณ ต้นมะรุมพบได้ทุกภาคในประเทศไทย มะรุมเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ตั้งแต่เป็นผักพื้นบ้าน ใช้เป็นยาสมุนไพร ใช้สกัดเอาน้ำมันจากเมล็ด โดยในเมล็ดของมะรุมพบว่ามีน้ำมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 35 และมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 37 (Ndabigesere, 1995) และมีรายงานการวิจัยพบว่าเมล็ดมะรุมสามารถนำมาใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และช่วยกำจัดความขุ่นของน้ำได้ (Jahn, 1986; Ndabigesere, 1995, 1997) ช่วยลดความกระด้างของน้ำ (Muyibi and Evison, 1995) ช่วยแก้ไข้ปัญหาเรื่องตะกอนเคมี (Ademiluyi, 1988) และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (Grabow et al., 1985) มะรุมที่พบ

ในปัจจุบันมีทั้งหมด 14 สายพันธุ์ แต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่ต่างกัน (Ndabigesere, 1997) จากการศึกษาส่วนของเมล็ดมะรุมที่ทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าเป็นส่วนของโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 13 KDa และมีค่าไอโซอิเล็กทริก (iso-electric point) ประมาณ 10-11 (Ndabigesere, 1995; Folkard and Sutherland, 2001) และจากรายงานการวิจัยพบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นสารโคแอกกูแลนต์ สามารถกำจัดความขุ่นในน้ำได้ถึง ร้อยละ 80-99 (Ndabigesere, 1995; Muyibi and Evison, 1995) ปัจจุบันสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอย่างหลากหลายมากขึ้น (Agarwal et al., 2003; Mishra et al., 2002, 2003). นอกจากนี้พบว่าสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ เนื่องจากเป็นสารที่ (renewable resources) และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) (Okuda et al., 1999) โดย Patel and Vashi (2010) ได้ศึกษาการใช้ผงของเมล็ด Surjana และ Maize ในการกำจัดสีย้อมโกเรต (Congo red) พบว่าสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 98.0 และ 89.4 ตามลำดับ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

- (1) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 N
- (2) สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 N
- (3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N
- (4) สารช่วยกระจายสี
- (5) สีรีแอคทีฟ สีนํ้าเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) สีเหลือง (Drimarene yellow CL-2RP) และสีแดง (Drimarene red CL-58p)
- (6) สีดีสเพอร์ส สีนํ้าเงิน (Foron blue RD-S) สีเหลือง (Foron yellow RD-4GRL) และสีแดง (Foron brilliant red E-2BL200)
- (8) กรดแอสติคเข้มข้น
- (9) อลูมิเนียมซัลเฟต
- (10) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 N
- (11) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.05 N
- (12) สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบการตกตะกอน

- (1) เครื่องมือทดสอบจาร์เทสต์ ยี่ห้อ Stuart Scientific รุ่น SW1
- (2) เครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo รุ่น Helios Aquamate
- (3) เครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ EUTECH รุ่น NT-100
- (4) เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ CyberScans รุ่น PC 200
- (5) เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี
- (6) เครื่องบดละเอียด
- (7) ตู้อบ

3.2 วิธีดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช

- (1) นำเมล็ดพืช 4 ชนิด (มะรุม มะขาม ข้าวโพด ถั่วเขียว) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 1 วัน
- (2) บดเมล็ดพืชแห้งให้เป็นผงละเอียด และกรองด้วยตะแกรงขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร
- (3) นำผงเมล็ดพืชแห้ง 10 กรัมผสมกับ 0.5 โมลต่อลิตร NaCl ปริมาตร 1 ลิตร โดยผสมในเครื่องปั่นเป็นเวลา 10 นาที
- (4) กรองด้วยผ้ามัสลิน และนำส่วนใสมาใช้งาน

3.2.2 การเตรียมน้ำย้อมสังเคราะห์

ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีสมบัติไม่คงที่ ขึ้นกับกระบวนการผลิต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมา โดยเลียนแบบจากภาวะจริงของการย้อมสีรีแอคทีฟ (Duk.J.J., et al. 2005) เพื่อให้ปริมาณของสารช่วยย้อม และสีย้อมในน้ำเสียมีค่าคงที่

- (1) สีย้อมรีแอคทีฟ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ปริมาณ 2 กรัม เติมลงในสารละลายต่าง (NaCl 2 N Na_2CO_3 3.2 กรัม NaOH 3.2 กรัม และ น้ำกลั่น 20 ลิตร)
- (2) นำสารละลายทั้งหมดมาให้ความร้อนที่ 50°C นาน 1 ชั่วโมง
- (3) ทิ้งให้น้ำย้อมเย็น นำมาวิเคราะห์ค่า พีเอช ค่าการดูดกลืนแสง ซีไอดี และค่าความขุ่น

น้ำเสียสีดิสเพอร์ส

- (1) สีย้อมดิสเพอร์ส เข้มข้นร้อยละ 0.25 ผสมสารช่วยกระจายตัวของสี (Uniperse RL) 2 กรัม ต่อลิตร ใช้สารละลายกรดแอซิดิกเข้มข้น ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5 ถึง 4.5
- (2) ให้ความร้อนจนสารละลายเดือด เป็นเวลา 30 นาที
- (3) ทิ้งให้เย็น นำมาวิเคราะห์ค่า พีเอช ค่าการดูดกลืนแสง ซีไอดี และค่าความขุ่น

3.2.3 การหาภาวะที่เหมาะสมของสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

- (1) ทดลองหาปริมาณสารสร้างตะกอนแบบหยาบโดยการทำการทดสอบ โดยใช้ปริมาณของสารสกัดจากเมล็ดพืชที่เตรียมจากข้อ 13.1 ในปริมาณต่างๆ โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง เลือกปริมาณสารสร้างตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงสุด
- (2) ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบโดยการทำการทดสอบ โดยนำน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนด้วย H_2SO_4 0.1 N หรือ NaOH 0.1 N แล้วเติมสารสร้างตะกอนในปริมาณที่ได้จากข้อ 1 เลือกค่าพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงสุด

(3) ทดลองหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมแบบละเอียด โดยนำน้ำทิ้งมาปรับค่าพีเอชให้ได้ตามค่าข้อ 2 และเติมสารสกัดจากเมล็ดพืชในปริมาณที่หาได้จากข้อ 1 และค่าข้างเคียงอีก 5 ค่าแล้วทดลองกับเครื่องจาร์เทสต์ เลือกปริมาณสารสกัดจากเมล็ดพืชที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด

(4) ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมแบบละเอียดโดยนำน้ำตัวอย่างมาปรับค่าพีเอชให้ได้ตามข้อ 2 และค่าข้างเคียงอีก 5 ค่า เติมสารสกัดจากเมล็ดพืชในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3 แล้วจึงทดสอบด้วยเครื่องจาร์เทสต์ จากนั้นจึงนำน้ำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น พีเอช และค่าซีโอดี เลือกค่าพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด

(5) ทดลองกับตัวอย่างน้ำอีก 4 ชุดตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 1 - 4

(6) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต

3.2.4 วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์มีดังนี้ ค่าพีเอช ค่าความขุ่น สีของน้ำ ค่าซีโอดี ใช้วิธีตาม American Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20th.ed. 1998.

3.2.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(1) วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) ทดสอบค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว(one-way analysis of variance) โดยการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ 0.05 เมื่อพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่ากลางด้วยวิธีของเชฟเฟ่ โดยให้ดัชนีคุณภาพน้ำเป็นตัวแปรตาม ชนิดเมล็ดพืช และชนิดสีย้อม เป็นตัวแปรต้น

3.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติและการ ใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต

(1) เปรียบประสิทธิภาพ ในการกำจัดสี ความขุ่น ซีโอดี และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำหลังบำบัด

(2) เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดในระดับ Lab scale

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารโคเอกกุลแลนต์จากธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ มะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว มะขาม ในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์จากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอซิก เพื่อศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดของสารโคเอกกุลแลนต์แต่ละชนิดในการกำจัดสี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีกับโพลีเมอร์ซัลเฟต ซึ่งเป็นสารโคเอกกุลแลนต์ที่นิยมใช้กันทั่วไป รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารโคเอกกุลแลนต์จากธรรมชาติ

4.1 การเตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช

นำเมล็ดพืช 4 ชนิด (มะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว มะขาม) อบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 1 วัน บดเมล็ดพืชแห้งให้เป็นผงละเอียด และกรองด้วยตะแกรงขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 การเตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช

ชนิดของเมล็ดพืช	ก่อนบด	หลังบด
มะรุม		
ข้าวโพด		
ถั่วเขียว		
มะขาม		

หลังจากนั้นนำผงเมล็ดพืชแห้ง ผสมกับ 0.5 โมลต่อลิตร NaCl ปริมาตร 1 ลิตร โดยผสมในเครื่องปั่นเป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยผ้ามัสลิน และนำส่วนใสมาใช้งาน

4.2 การเตรียมน้ำย้อมสังเคราะห์

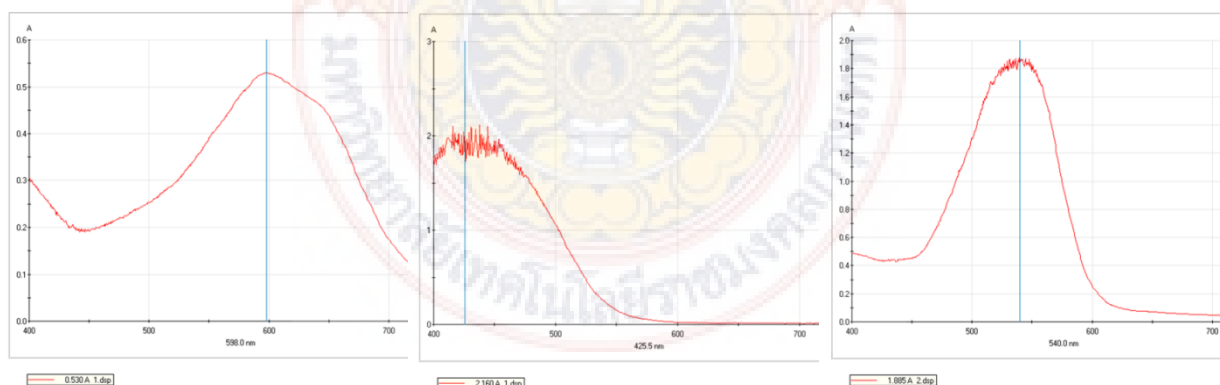
ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีสมบัติไม่คงที่ ขึ้นกับกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมา 2 ชนิด คือสีรีแอคทีฟ และสีดิสเพอร์ส

(1) น้ำเสียสีรีแอคทีฟ

ชั่งสีย้อมรีแอคทีฟ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน ปริมาณ 2 กรัม เติมน้ำในสารละลายต่าง (NaCl 2 N Na_2CO_3 3.2 กรัม NaOH 3.2 กรัม และ น้ำกลั่น 20 ลิตร) ให้ความร้อน $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้น้ำย้อมเย็น นำน้ำมาวิเคราะห์ค่า พีเอช สี ซีโอดี และค่าความขุ่น ได้ลักษณะน้ำเสียสีรีแอคทีฟ แสดงในตารางที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 สมบัติของน้ำเสียสีรีแอคทีฟ

ชนิดสี	พีเอช	ความขุ่น NTU	ซีโอดี (mg/l)	ค่าความยาวคลื่นสูงสุด (nm)	ค่าการดูดกลืนแสง
สีน้ำเงิน	9.91	92.8	1515.4	598	0.530
สีเหลือง	11.68	18.97	1581.0	425.5	2.160
สีแดง	10.33	45.2	1294.5	540	1.885



สีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน

สีรีแอคทีฟสีเหลือง

สีรีแอคทีฟสีแดง

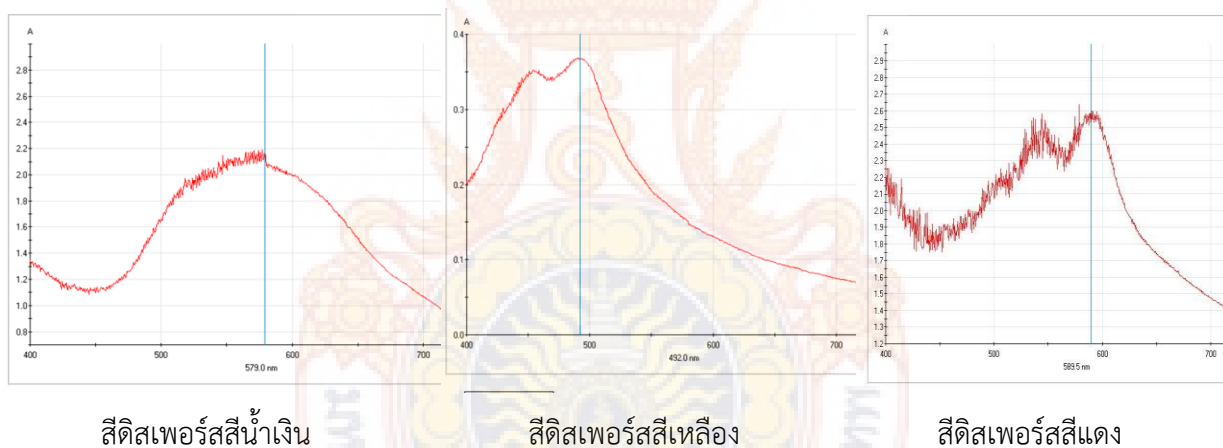
รูปที่ 4.2.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสีรีแอคทีฟ สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง

(2) น้ำเสียสีดิสเพอร์ส

เตรียมสารละลายสีดิสเพอร์สจำนวน 3 สี คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน ความเข้มข้นร้อยละ 0.0250 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมสารช่วยกระจายตัวของสี ปริมาณ 2 กรัมต่อลิตร ใช้สารละลายกรดแอสติกเข้มข้น ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.5 ถึง 5.5 ให้ความร้อนจนสารละลายเดือด 30 นาที ให้น้ำย้อมเย็น นำมาวิเคราะห์ค่า พีเอช สี ซีไอดี และค่าความขุ่น ได้ลักษณะน้ำเสียสีดิสเพอร์ส แสดงในตารางที่ 4.2.2 และรูปที่ 4.2.2

ตารางที่ 4.2.2 สมบัติของน้ำเสียสีดิสเพอร์ส

ชนิดสี	พีเอช	ความขุ่น (NTU)	ซีไอดี (mg/L)	ค่าความยาวคลื่นสูงสุด (nm)	ค่าการดูดกลืนแสง
สีน้ำเงิน	6.22	1,553	1,728	579	2.190
สีเหลือง	5.34	1,717	1,736	492	3.690
สีแดง	6.65	2,049	1,769	589.5	2.643



รูปที่ 4.2.2 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสีดิสเพอร์ส สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสี

4.3.1 ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์

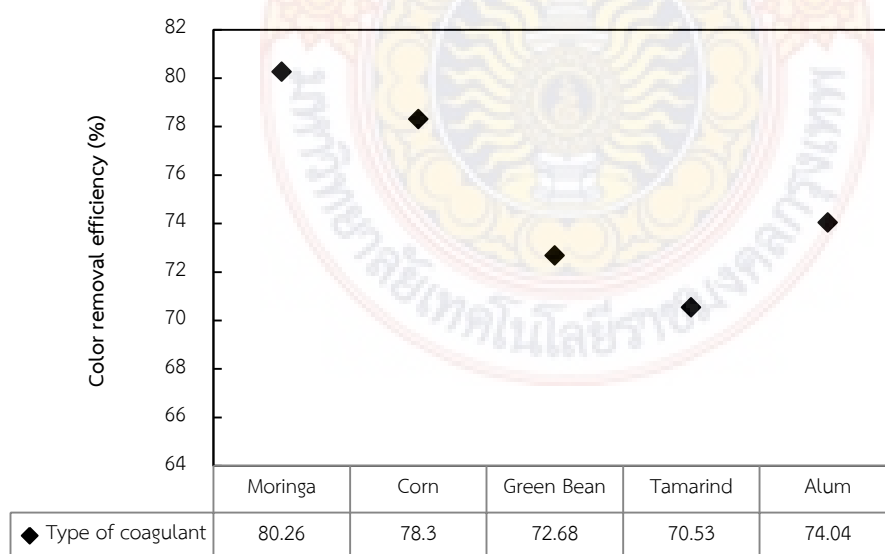
นำน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติมสารสกัดจากเมล็ดมะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว เมล็ดมะขาม และอลูมิเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม ต่อปริมาตรน้ำเสีย 1 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1ก จากข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสีในน้ำเสียแปรผันโดยตรงกับค่าการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 1ข และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่หุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 2ก

$$\%color\ removal = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (4.1)$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนการบำบัด

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยไฟฟ้า

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากสารสกัดจากเมล็ดพืชต่างกัน และอลูมิเนียมซัลเฟต ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 1ข และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่หุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 2ข



รูปที่ 4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารโคแอกกูแลนต์ต่าง ๆ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอดทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR แตกต่างกัน และจากรูปที่ 4.3.1 สารสกัดจากเมล็ดมะรุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด รองลงมาเป็น สารสกัดจากข้าวโพด อลูมิเนียมซัลเฟต สารสกัดจากถั่วเขียว และสารสกัดจากเมล็ดมะขาม มีประสิทธิภาพ การกำจัดสีร้อยละ 80.26, 78.30, 74.04, 72.68 และ 70.53 ตามลำดับ

โดยมีรายงานว่าสารสกัดจากมะรุมเป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำ มีประจุบวก (cationic peptides) ช่วยลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Folkard, Sutherland & Grant, 1993; Folkard, Sutherland & Al-Khalili, 1995; Ndabigengesere, Narasiah, & Talbot, 1995; Okuda, Baes, Nishijima & Okada, 1999; Okuda, Baes, Nishijima & Okada, 2001; Kwaambwa & Maikokera, 2007) รวมทั้งสารสกัดจากถั่ว สารสกัดจากข้าวโพด มีโปรตีนที่มีสมบัติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ช่วยลดความขุ่นของน้ำ (Stojimirović, 2005; Homa, 2006; Beljkaš, 2007; Antov, Šćiban, and Petrović, 2010) และจากการทบทวนเอกสาร ส่วน ใหญ่รายงานว่าสารสกัดจากเมล็ดมะรุมเป็นสารที่มีประสิทธิภาพดีในการลดความขุ่นของน้ำ นิยมใช้ปรับ สภาพน้ำใช้ สำหรับการบริโภคในถิ่นทุรกันดารของประเทศตามแถบทวีปอาฟริกา และละตินอเมริกา โดยจาก การศึกษาส่วนที่แสดงสมบัติของสารโคแอกกูแลนต์ และกลไกในการใช้มะรุมเป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าสาร สกัดจากเมล็ดมะรุม เป็น dimeric protein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 13 kDa และจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ประมาณ 10-11 (Ndabigesere et al; 1995; Ghebremichael, 2005) ประกอบด้วย กรดอะมิโนมากกว่า 6 ชนิด และกรดอะมิโนส่วนใหญ่จะเป็นกรดกลูตามิก (glutamic acid) เมไทโอนีน (methionine) และ อาร์จินีน (arginine) (Jahn, 1986). กลไกหลักในการโคแอกกูเลชันด้วยสารสกัดจากเมล็ด มะรุมคือ กลไกดูดติดผิว และทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมเป็นโปรตีนที่มีประจุบวก (cationic peptides) จึงสามารถดูดติดผิวอนุภาค คอลลอยด์ที่ประจุตรงข้ามทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ลดลง (Ndabigesere et al; 1995; Katayan, et al, 2006) และเมื่อใส่ลงในน้ำที่ต้องการบำบัดจะไปช่วยลดประจุลบของอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ในสถานะที่เหมาะสมอนุภาคแขวนลอยจะมีขนาดใหญ่ขึ้น รวมเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถ ตกตะกอนและแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง Ndabigesere; (1995) กลไกในการลด ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ของโปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดมะรุม มีลักษณะคล้ายกับสารโคแอกกูแลนต์พอลิ เมอร์สังเคราะห์ (Bergstedt, 2011) มีรวมทั้งมีสมบัติของความเป็นสารโคแอกกูแลนต์สูงกว่าอลูมิเนียมซัลเฟต (Ndabigesere et al, 1995)

โดยอะลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมลงในน้ำเสียจะไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกหลักที่เสนอ โดย M.J.Hammer (1996) ดังนี้

- กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (adsorption and charge neutralization) เกิดจาก สารประกอบเชิงซ้อนอะลูมิเนียมซัลเฟตที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมีประจุ เป็นลบให้เป็นกลาง (neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาด

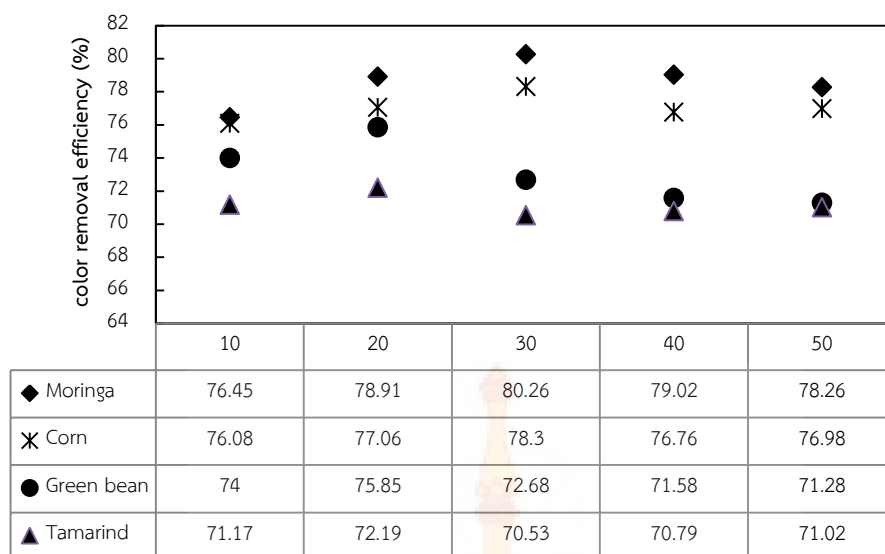
ใหญ่ และสามารถตกตะกอน ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งควบคุมการทำงานให้ได้ดียาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไป โคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมาก ทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวก และเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย

- กลไกแบบกวาด (sweep coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของอะลูมิเนียมซัลเฟตเกินพอ จนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้ $Al(OH)_3$ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาค และทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง
- กลไกโคแอกกูเลชันแบบรวม (combination coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และกลไกแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณอะลูมิเนียมซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารสัมต่ำกว่าแบบกวาด

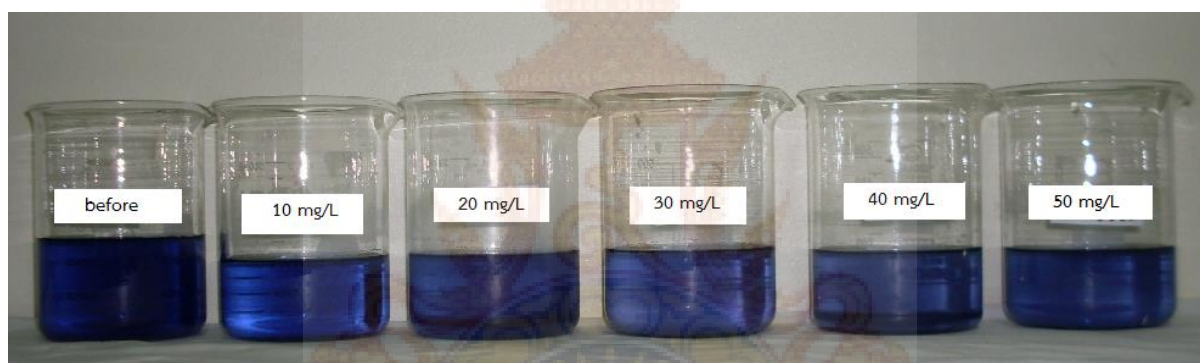
4.3.2 ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์

(1) ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์จากพืชที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอดทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR)

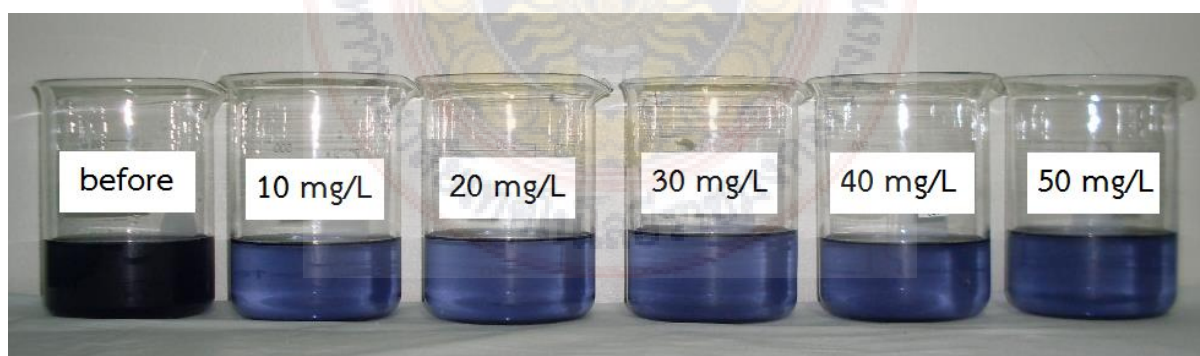
นำน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอดทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติมสารสกัดจากเมล็ดมะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว เมล็ดมะขาม แปรผันความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, และ 50 ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.2 – 4.3.6 และตารางผนวกที่ 3ก – 10ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชที่ใช้ต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอดทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ต่างกันหรือไม่ และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเซฟเฟ่ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 3ข – 10ข



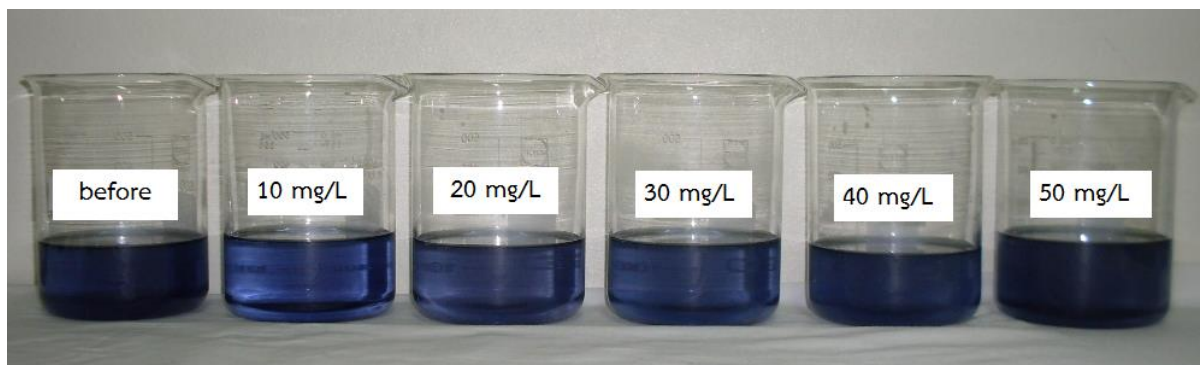
รูปที่ 4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากพืชที่ความเข้มข้นต่างกัน



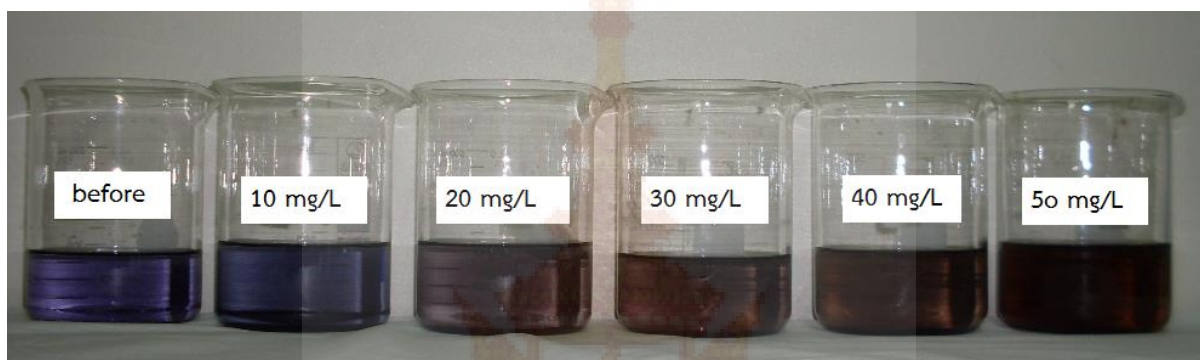
รูปที่ 4.3.3 การกำจัดสีย้อม Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.3.4 การกำจัดสีย้อม Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.3.5 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวความเข้มข้นต่างกัน



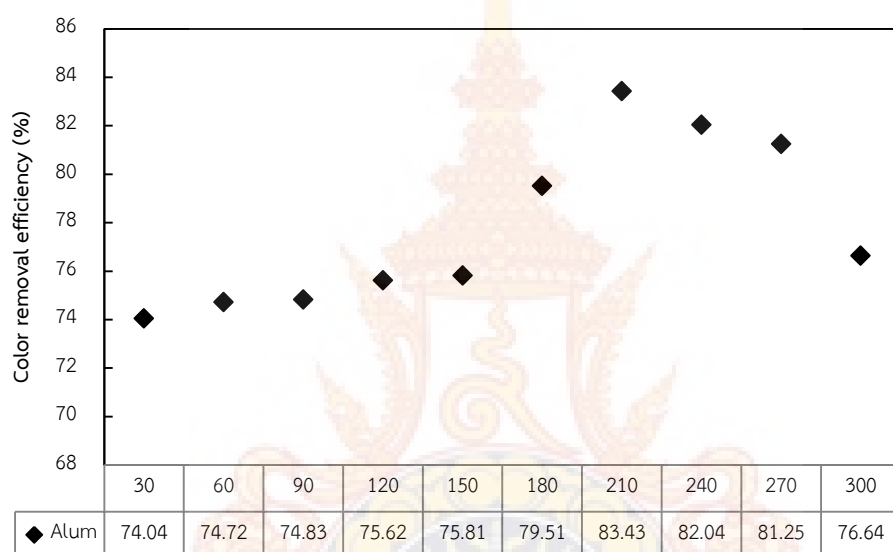
รูปที่ 4.3.6 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ของน้ำที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามความเข้มข้นต่างกัน

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความเข้มข้นของสารสกัดจากพืช มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR โดย

- สารสกัดจากมะรุมที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด คือร้อยละ 80.26
- สารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด คือร้อยละ 78.91
- สารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด คือร้อยละ 75.85
- สารสกัดจากเมล็ดมะขาม ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด คือร้อยละ 72.19

(2) ปริมาณของอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR)

นำน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติม อลูมิเนียมซัลเฟต แปรผันความเข้มข้น 30 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการ ดูดกลืนแสง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.7 และตาราง แผนกที่ 11ก - 12ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบ ว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชที่ใช้ต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางแผนกที่ 10ข และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่ พหุคูณ แบบเซฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางแผนกที่ 11ข

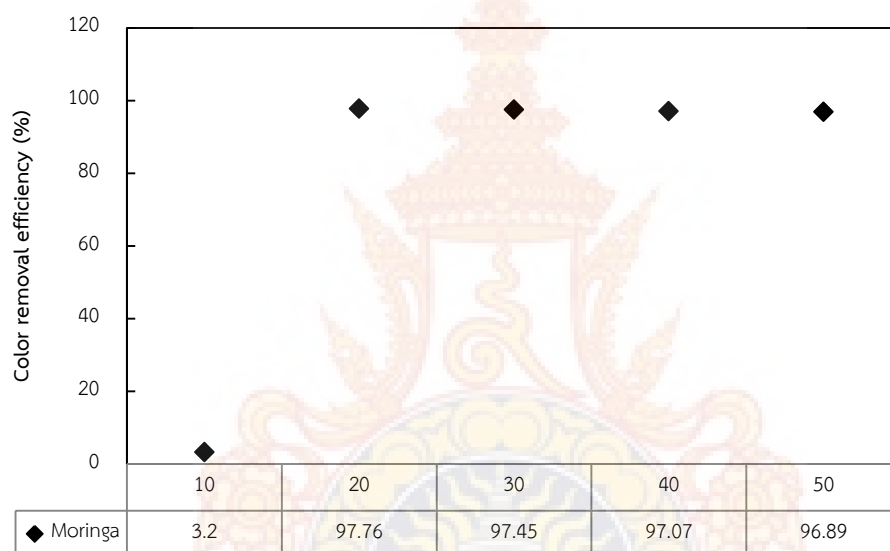


รูปที่ 4.3.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตที่ ความเข้มข้นต่างกัน

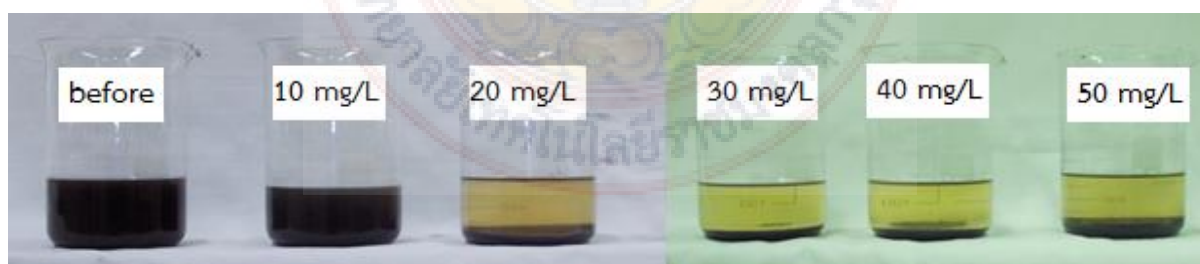
ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟต มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR โดยเมื่อ ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอะลูมิเนียมซัลเฟต และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ อะลูมิเนียมถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลง ผลการทดลองพบว่าการใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้น 210 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR มากที่สุด คือร้อยละ 83.43

(3) ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์จากพืชที่เหมาะสมในการกำจัดสีดิสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S)

จากการทดลองกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากพืช พบว่าสารสกัดจากมะรุมมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัดสีรีแอคทีฟ ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดจากมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ในการกำจัดสีดิสเพอร์ส โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์สีดิสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติมสารสกัดจากมะรุม แปรผันความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, และ 50 ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.8 – 4.3.9 และตารางผนวกที่ 13ก-14ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ใช้ต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ 12ข-13ข



รูปที่ 4.3.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุมที่ความเข้มข้นต่างกัน

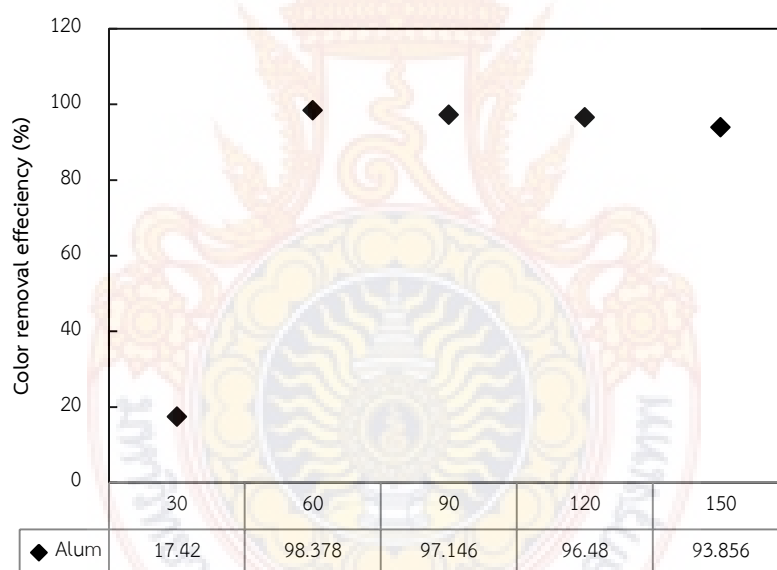


รูปที่ 4.3.9 การกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 13 พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากมะรุมต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ต่างกัน สารสกัดจากมะรุมที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุดคือร้อยละ 97.76 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง

(4) ปริมาณของอลูมิเนียมซิลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดสีดิสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S)

นำน้ำเสียสังเคราะห์สีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติมอลูมิเนียมซิลเฟต แปรผันความเข้มข้น 30 - 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.9 และ ตารางผนวกที่ 15ก - 16ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชที่ใช้ต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ต่างกันหรือไม่ และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 14ข - 15ข



รูปที่ 4.3.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยอลูมิเนียมซิลเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน

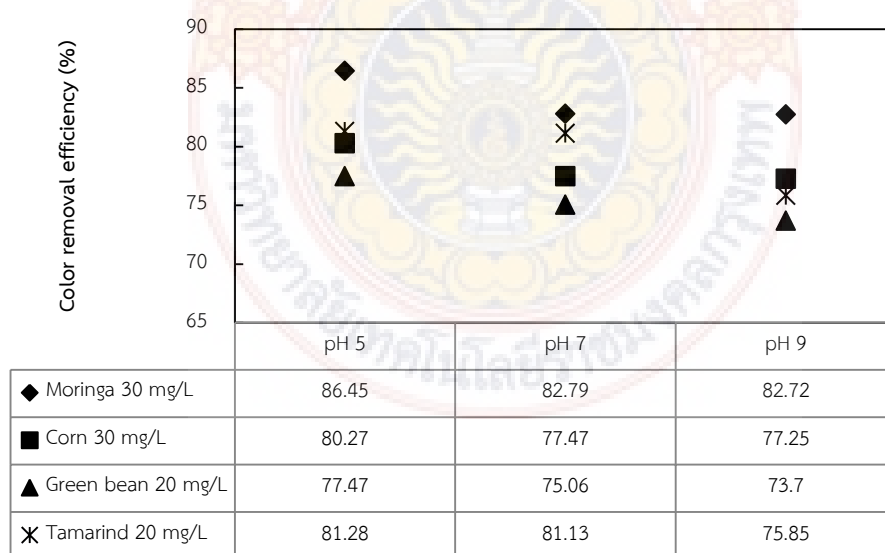
ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 14ข พบว่าความเข้มข้นของอลูมิเนียมซิลเฟตต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ต่างกัน อลูมิเนียมซิลเฟตที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุดคือร้อยละ 97.76 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง

ผลจากการทดลองสรุปได้ว่าปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ทั้งจากธรรมชาติ และอลูมิเนียมซัลเฟต มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าสารสกัดจากพืช และอลูมิเนียมซัลเฟต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณจนถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มลดลง ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากอนุภาคฟล็อกที่รวมตัวกันเกิดการกระจายตัวใหม่ และไปรบกวนการตกตะกอนของฟล็อก (Chan and Chiang, 1995). และจากการศึกษาหาปริมาณของเมล็ดมะรุมในการกำจัดความขุ่นของน้ำ

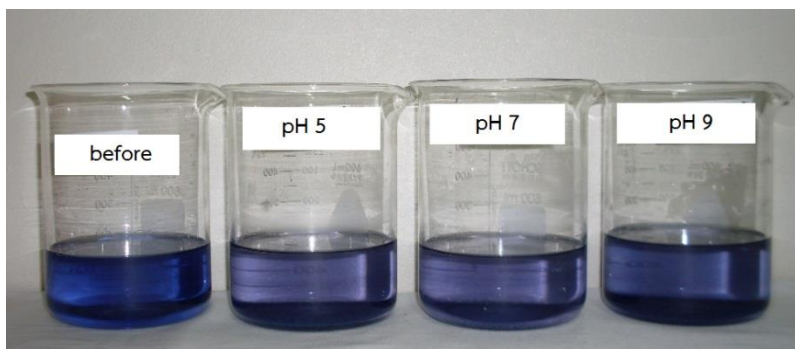
4.3.3 พืชที่เหมาะสมของการใช้สารสกัดจากพืชในการกำจัดสี

(1) พืชที่เหมาะสมของการใช้สารสกัดจากพืชกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR

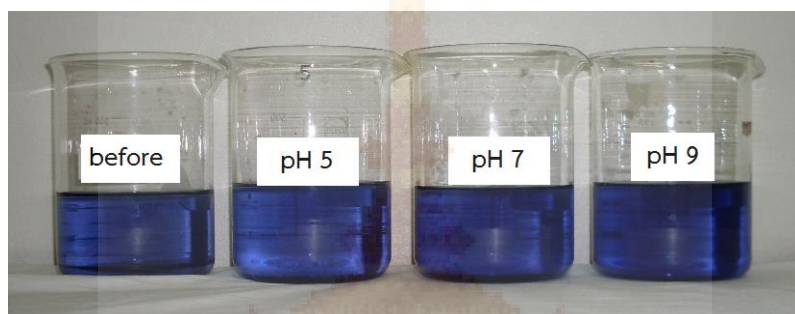
นำน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แปรผันค่าพีเอชก่อนบำบัดที่ พีเอช 7, 8, และ 9 ตามลำดับ โดยเติมสารสกัดจากพืชแต่ละชนิดที่ปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.3.1 คือใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุม 30 มิลลิกรัมต่อลิตร สารสกัดจากข้าวโพด 30 มิลลิกรัมต่อลิตร สารสกัดจากถั่วเขียว 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สารสกัดจากมะขาม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.10 – 4.3.14 และตารางผนวกที่ 17 ก-24ก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR ต่างกันหรือไม่ และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเซฟเฟ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 17ข-24ข



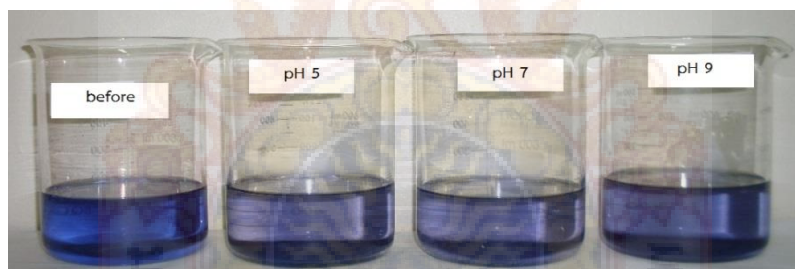
รูปที่ 4.3.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน



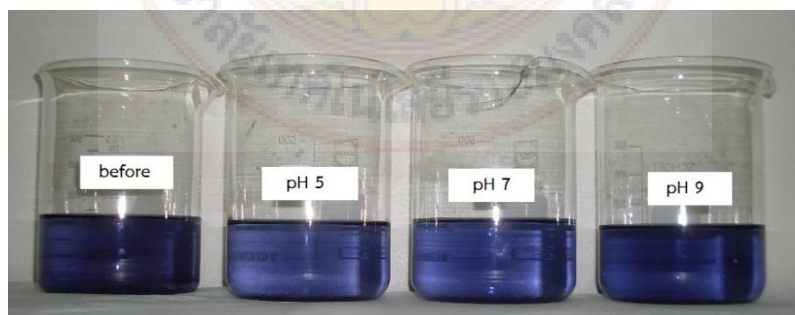
รูปที่ 4.3.12 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากมะรุุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน



รูปที่ 4.3.13 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน



รูปที่ 4.3.14 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

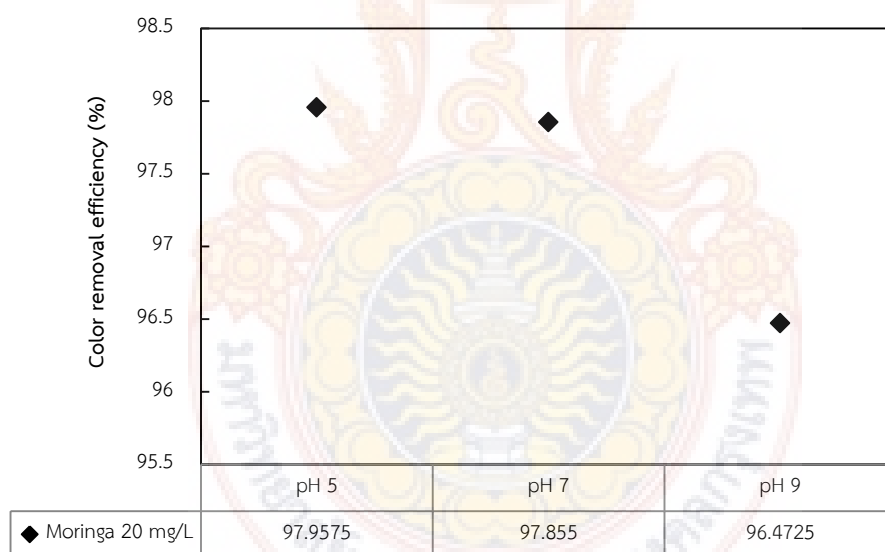


รูปที่ 4.3.15 การกำจัดสีรีแอกทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ที่ค่าพีเอชของ น้ำเสียต่างกัน

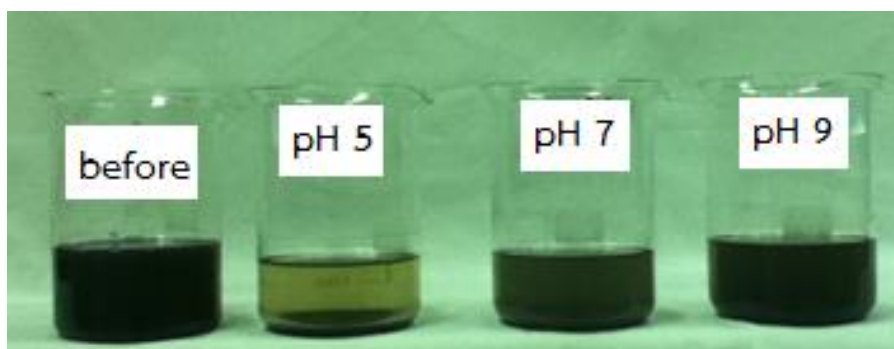
ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยสารสกัดจากพืชทุกชนิดที่นำมาทดลองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำลดลง โดยที่พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 5 ที่ภาวะเหมาะสมของสารสกัดจากเมล็ดพืช พบว่าสารสกัดจากมะรุมให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด คือร้อยละ 86.45 รองลงมาเป็นสารสกัดจากมะขาม สารสกัดจากข้าวโพด และสารสกัดจากถั่วเขียว โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 81.28, 80.27, และ 77.47 ตามลำดับ

(2) พีเอชที่เหมาะสมของการใช้สารสกัดจากพืชกำจัดสีดีสเพอร์ส Foron blue RD-S

นำน้ำเสียสังเคราะห์สีดีสเพอร์ส Foron blue RD-S ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แปรผันค่าพีเอชก่อนบำบัดที่พีเอช 7, 8, และ 9 ตามลำดับ โดยเติมสารสกัดจากสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.15 – 4.3.16 และตารางผนวกที่ 25ก-26ก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุม ที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์ส Foron blue RD-S ต่างกันหรือไม่ และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 25ข - 26ข



รูปที่ 4.3.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน



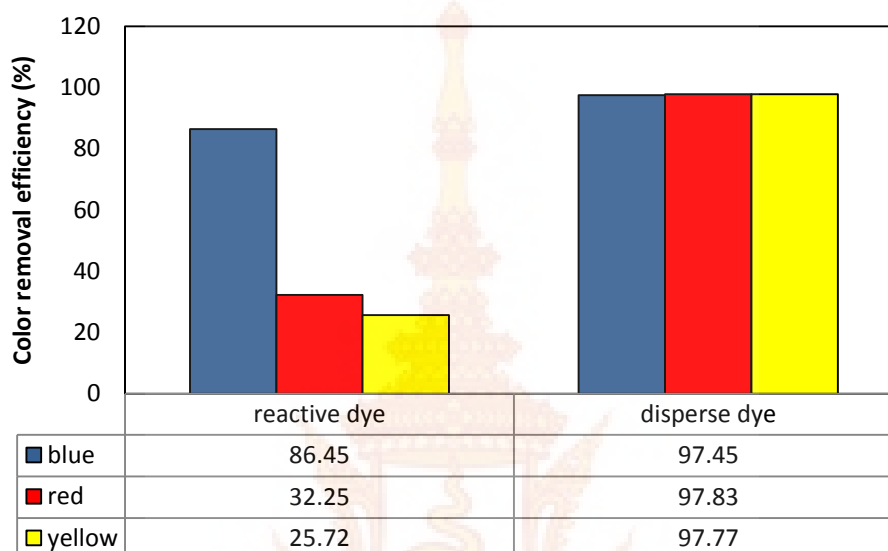
รูปที่ 4.3.17 การกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S บำบัดด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำ เสียต่างกัน

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส Foron blue RD-S ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม ที่พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีดิสเพอร์สสูงที่สุด คือร้อยละ 97.96

จากการศึกษาการกำจัดสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของ Li and Gregory (1991) รายงานว่าค่าพีเอชของน้ำเสีย มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในภาวะพีเอชที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการรวมตะกอนได้ดี ในเวลาสั้น ในกรณีการกำจัดสีด้วยสารสกัดจากเมล็ดพืช พบว่าสารสกัดจากเมล็ดพืชทำงานได้ในช่วงพีเอชค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่พีเอช 5 – 9 แต่จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในช่วงพีเอชเป็นกรด ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดจากพืชมีโปรตีน และมีประจุบวก ซึ่งจะทำงานได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำ ๆ (Beltran-Heredia, et.al., 2009)

4.3.4 ชนิดของสีย้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

การกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ นอกจากปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ และภาวะพีเอชของน้ำแล้ว ศึกษาปัจจัยชนิดของสีย้อมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารสกัดจากพืชหรือไม่ โดยเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดสีรีแอกทีฟ และสตีตสเพอร์ส ใช้ภาวะเหมือนกันคือ ปริมาณสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5 ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.3.17 และตารางผนวกที่ 27ก และ 31ก และ



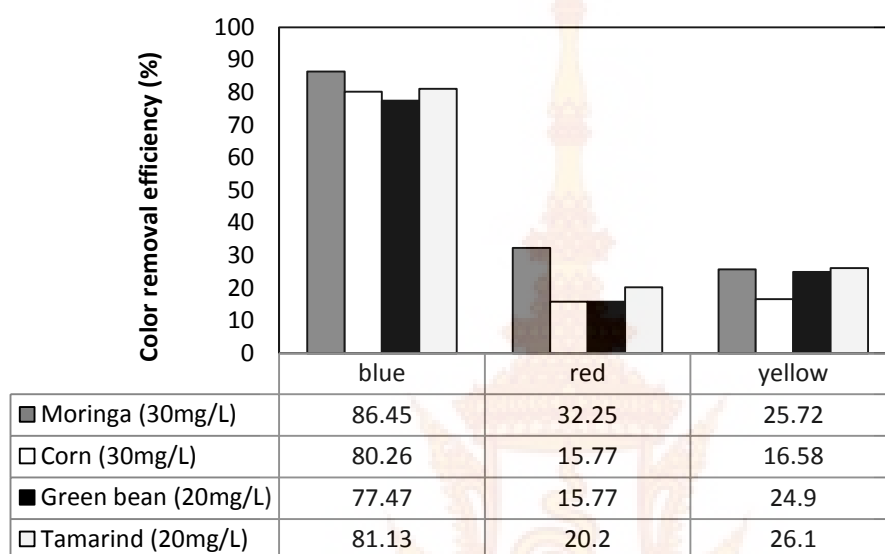
รูปที่ 4.3.18 ชนิดของสีย้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

จากผลการทดสอบสถิติ t test พบว่าชนิดของสีย้อมมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ โดยสตีตสเพอร์สจะถูกกำจัดได้มากกว่าสีรีแอกทีฟอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากสีรีแอกทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี มีประจุลบจากกลุ่มของซัลโฟเนต (sulphonate, SO_3^-) จะทำปฏิกิริยากับ Al^{3+} เกิดเป็นตะกอนตกลงมา จึงถูกกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดีเท่ากับการกำจัดสตีตสเพอร์ส มีโครงสร้างทั่วไปเป็นพวก Azo, Anthraquinonid และ Dipheylamine Compounds สตีตสเพอร์สเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ (Kuo, 1992) อยู่ในน้ำจะมีลักษณะเป็นคอลลอยด์เมื่อเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงไป ทำให้อนุภาคคอลลอยด์โตขึ้นจนเกิดการตกตะกอนได้ นอกจากสามารถตกตะกอนสีแล้วยังสามารถตกตะกอนสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์อื่น ๆ ได้ จึงทำให้สามารถลดค่าบีโอดี และซีโอดี ของน้ำทิ้งลงได้ และจากผลการศึกษาของ Okuda, (1999) พบว่าปริมาณของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ใช้ขึ้นกับปริมาณความขุ่นของน้ำเริ่มต้นด้วย น้ำที่มีความขุ่นสูง สารสกัดจากเมล็ดมะรุมจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า ซึ่งในกรณีนี้ น้ำเสียสตีตสเพอร์สซึ่งเป็นสีที่ละลายน้ำได้น้อย ส่วนน้ำเสียสีรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้สตีตสเพอร์สถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าสีรีแอกทีฟ

4.3.5 ผลของเมล็ดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

(1) ผลของเมล็ดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารสกัดจากพืช ของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีรีแอกทีฟที่มีเมล็ดต่างกัน ดังนี้ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3.18 และตารางผนวกที่ 27ก - 30ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าเมล็ด ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำหลังการบำบัด ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 26ข - 30ข

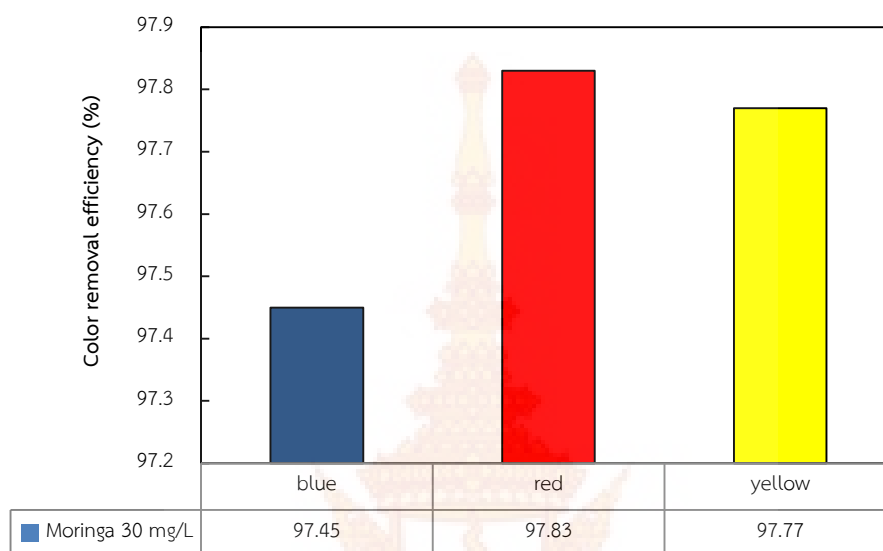


รูปที่ 4.3.19 ผลของเมล็ดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า พบว่า เมล็ดมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟในแต่ละเมล็ดของน้ำต่างกัน โดยสีน้ำเงินจะถูกกำจัดได้มากที่สุด ส่วนสีแดงและสีเหลืองถูกกำจัดได้ยากด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

(2) ผลของเฉดสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารสกัดจากพืช ของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีดิสเพอร์ส ที่มีเฉดสีต่างกัน ดังนี้ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3.19 และตารางผนวกที่ 31 ก นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าเฉดสี ทำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สของน้ำหลังการบำบัด ต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางผนวกที่ 32 ข

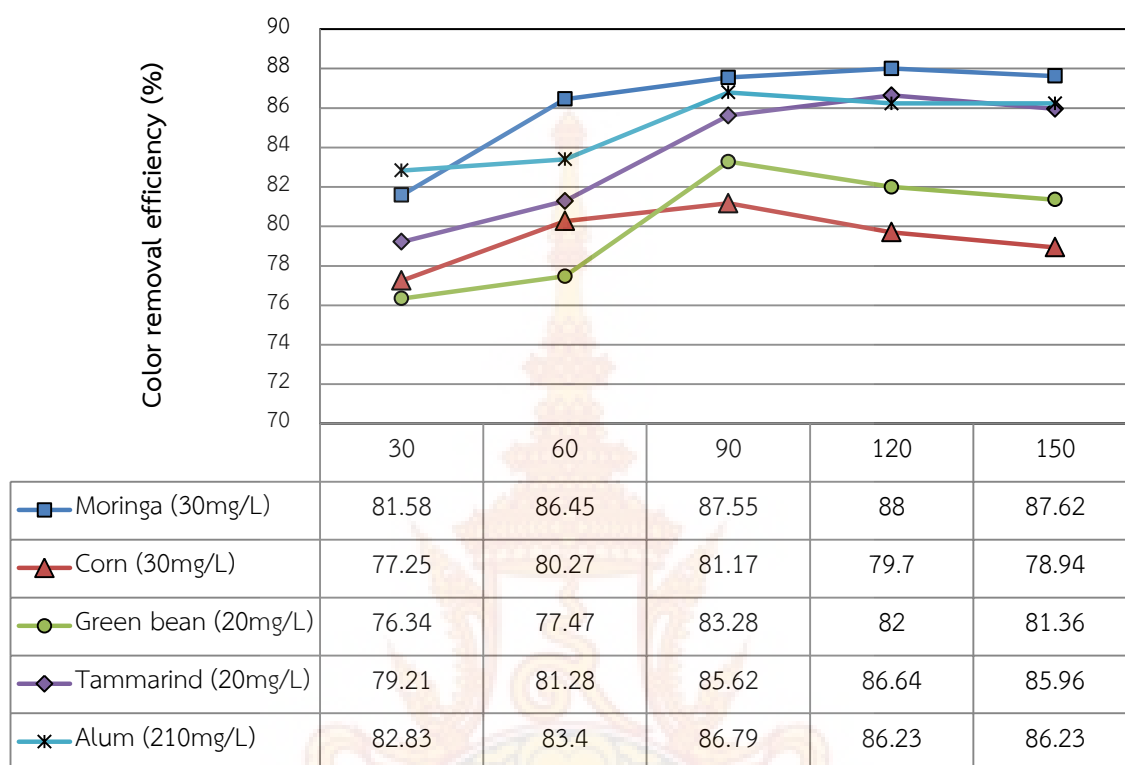


รูปที่ 4.3.20 ผลของเฉดสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า พบว่าเฉดสีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์ส

4.4.3 ผลของเวลาในการกวนซ้ำ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารสกัดจากเมล็ดมะรุม ของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ Drimarene brilliant blue CL-BR ที่ระยะเวลาในการกวนต่างกัน ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3.20 ตารางผนวกที่ 32ก – 41ก



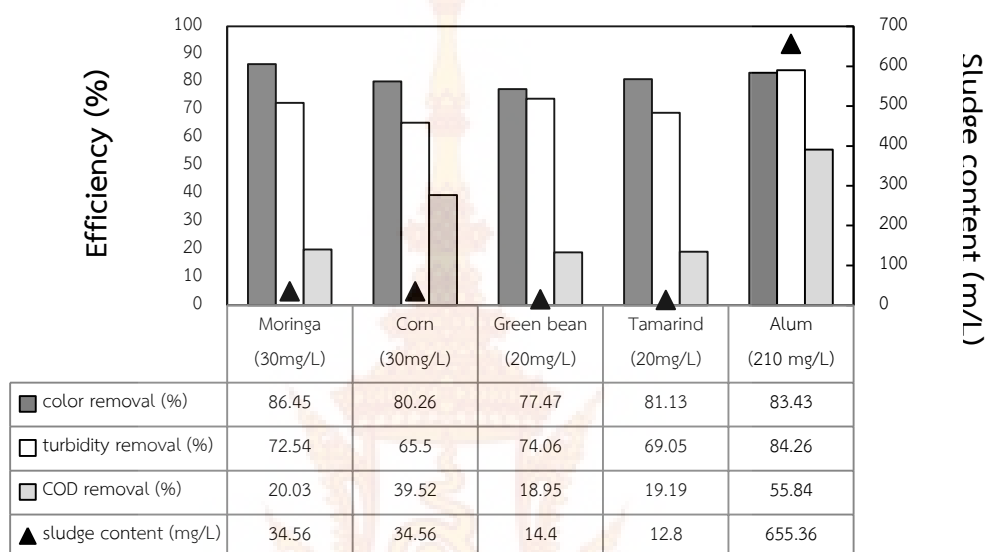
รูปที่ 4.3.21 ผลของเวลาการกวนซ้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมแอคทีฟด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

ผลการทดลอง พบว่าเวลาในการกวนซ้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี Drimarene brilliant blue CL-BR ที่ระยะเวลาการกวนนานขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกวนซ้ำถึงระยะเวลาหนึ่ง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่ และลดลง พิจารณาจากกราฟ จะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ช่วงแรกกราฟจะมีความชันมากที่สุด เป็นช่วงการที่โมเลกุลของสีย้อมเมื่อสัมผัสกับสารโคแอกกูแลนต์แล้วทำให้ความเสถียรของโมเลกุลสีย้อมลดลง และรวมตัวกันเป็นฟลอคที่มีอนุภาคใหญ่ขึ้น ในช่วงที่สองกราฟจะมีความชันลดลง เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่ได้รวมตัวเป็นฟลอคที่มีอนุภาคใหญ่ขึ้น และในช่วงที่สามแสดงถึงความเสถียรของฟลอคที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Agarwal et al. (2003) ซึ่งรายงานว่าปริมาณของสีย้อมจะถูกกำจัดมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างสารโคแอกกูแลนต์กับสีย้อม

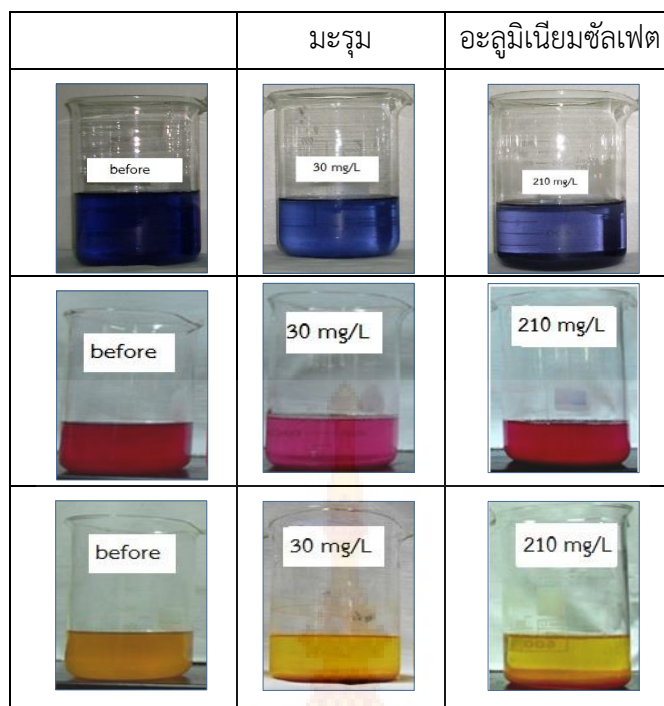
4.5 ประสิทธิภาพของสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อม

4.5.1 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ

ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของอะลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดสีย้อมแอคทีฟสีน้ำเงิน พบว่าปริมาณที่เหมาะสมคือ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร (ผลการทดลองในตารางผนวกที่ 12ก) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมแอคทีฟสีน้ำเงิน ระหว่างสารสกัดจากเมล็ดพืช 4 ชนิด (มะรุม ข้าวโพด ถั่วเขียว มะขาม) ในภาวะที่เหมาะสมของสารสกัดแต่ละชนิด ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ 42ก-47ก และรูปที่ 4.5.1-4.5.2



รูปที่ 4.5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ

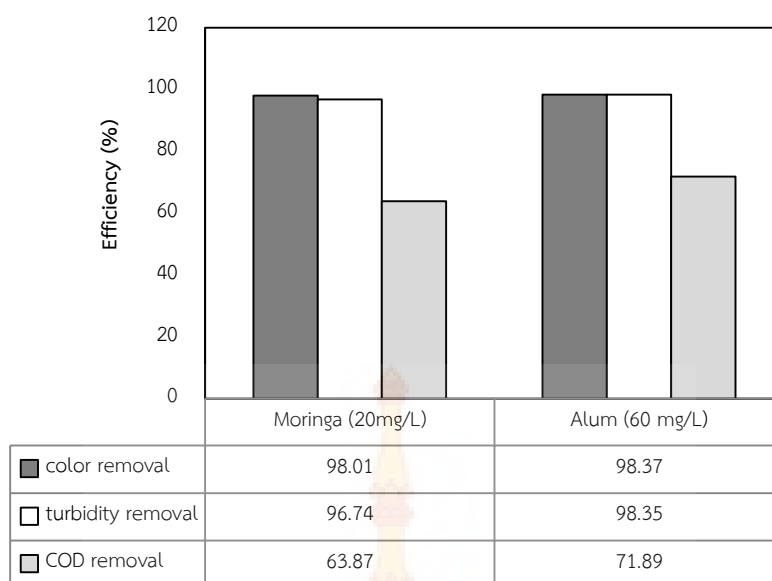


รูปที่ 4.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมกับอะลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดสีรีแอดทีฟสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง

ผลการทดลองพบว่าสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้มีภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด ที่ภาวะเหมาะสมของสารนั้นๆ พบว่า สารสกัดจากเมล็ดมะรุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด รองลงมาเป็นอะลูมิเนียมซัลเฟต สารสกัดจากเมล็ดมะขาม สารสกัดจากข้าวโพด และสารสกัดจากถั่วเขียว โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 86.45, 83.43, 81.28, 80.27, และ 77.47 ตามลำดับ ในการกำจัดความขุ่นอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาเป็นสารสกัดจากถั่วเขียว สารสกัดจากมะรุม สารสกัดจากมะขาม และสารสกัดจากข้าวโพด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ร้อยละ 84.26, 74.06, 72.54, 69.05 และ 65.5 ตามลำดับ ในการกำจัดความสกปรกของน้ำในรูปซีไอดี อะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาเป็นสารสกัดจากข้าวโพด สารสกัดจากมะรุม สารสกัดจากมะขาม และสารสกัดจากถั่วเขียว โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 55.844, 39.52, 20.03, 19.19, และ 18.95 ตามลำดับ และพบว่าตะกอนเคมีหรือสลัดจ์ ที่เกิดจากการบำบัดอะลูมิเนียมซัลเฟตมีปริมาณสูงที่สุดคือ 655.36 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ในขณะที่สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติมีปริมาณต่ำกว่ามาก โดยมีค่าไม่เกิน 35 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

4.3.2 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมเพอร์ส

ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของอะลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดสีย้อมเพอร์สสีน้ำเงิน พบว่าปริมาณที่เหมาะสมคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ผลการทดลองในตารางผนวกที่ 15ก) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเพอร์ส สีน้ำเงิน ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม ในภาวะที่เหมาะสมของสารสกัดแต่ละชนิด ได้ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ 48ก-49ก และรูปที่ 4.5.3 -4.5.4



รูปที่ 4.5.3 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีดิสเพอร์ส



รูปที่ 4.5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างสารสกัดจากเมล็ดมะรุมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดสีดิสเพอร์ส

ผลการทดลองพบว่าอลูมิเนียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดิสเพอร์ส ความขุ่น และซีไอดีมากกว่าสารสกัดเมล็ดมะรุมเล็กน้อย แต่ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ต่างกันมากถึง 5 เท่า กล่าวคือใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่อลูมิเนียมซัลเฟตใช้ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จะเห็นได้ว่าการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตทำให้น้ำหลังบำบัดมีตะกอนเคมี หรือสลัดจ์ (chemical sludge) เกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่าการใช้สารสกัดจากพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Folkard, et al., 1996) นอกจากนี้การใช้อลูมิเนียมซัลเฟตทำให้น้ำหลังการบำบัดมีค่าพีเอชต่ำลงมากด้วย (Folkard, et al., 2002)

4.7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดระหว่างสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติกับอลูมิเนียมซัลเฟต

ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดระหว่างสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติกับอลูมิเนียมซัลเฟต แสดงในตารางที่ 4.7.1

ตารางที่ 4.7.1 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดระหว่างสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติกับอลูมิเนียมซัลเฟต

โคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ราคาต่อ 1 กิโลกรัม (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
มะรุม	0.03	400	12.00
ข้าวโพด	0.03	45	1.35
ถั่วเขียว	0.01	10	1.00
มะขาม	0.01	5	0.50
อลูมิเนียมซัลเฟต	0.20	140	28.00

หมายเหตุ: คำนวณเฉพาะในส่วนของการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพพีเอช

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ และ อลูมิเนียมซัลเฟต พบว่าการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติมีต้นทุนในส่วนของการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่า การใช้อลูมิเนียมซัลเฟต และนอกจากนี้ยังลดต้นทุนในส่วนอื่น ๆ ได้อีก ตั้งแต่ต้นทุนของสารเคมีในการปรับสภาพพีเอชของน้ำ เนื่องจากสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติสามารถทำงานได้ดีในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า คือ พีเอช 5-9 รวมทั้งพีเอชหลังการบำบัดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่การใช้อลูมิเนียมซัลเฟตจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 8-9 และพีเอชของน้ำหลังการบำบัดจะอยู่ในสภาพกรด รวมถึงต้นทุนในการกำจัดตะกอนเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตมีปริมาณสลัดจ์มากกว่าการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ประมาณ 18 เท่า แสดงว่าค่าใช้จ่ายในการบำบัดตะกอนเคมีที่เกิดจากการใช้อลูมิเนียมสูงกว่าการใช้โคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติถึง 18 เท่าเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในส่วนของการบำบัดน้ำเสียจากธรรมชาติพบว่า การใช้มะรุมจะมีต้นทุนสูงที่สุด เนื่องจากมะรุมเป็นพืชสมุนไพร เป็นอาหาร มีสมบัติทางยา จึงมีราคาค่อนข้างสูงกว่าโคแอกกูแลนต์อื่นๆ ในขณะที่การใช้เมล็ดมะขามจะมีต้นทุนต่ำที่สุด เนื่องจากเมล็ดมะขาม เป็นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร รวมทั้งปริมาณของตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการใช้เมล็ดมะขามมีปริมาณต่ำที่สุด คือร้อยละ 12.8 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสีในน้ำเสียสิ่งทอ

(1) ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์

สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแต่ละชนิด สามารถกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอคทีฟได้ โดยชนิดของสารโคแอกกูแลนต์จากพืชต่างชนิดกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากเมล็ดมะรุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารสกัดจากข้าวโพด สารสกัดจากถั่วเขียว และสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 9.91 และความเข้มข้นของสารสกัดจากพืช 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 80.26, 78.30, 72.68 และ 70.53 ตามลำดับ

(2) ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์

ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่สกัดได้จากธรรมชาติ มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าสารสกัดจากพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณจนถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มลดลง

(3) พีเอชของน้ำเสีย

พีเอชของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารโคแอกกูแลนต์จากพืช อย่างมีนัยสำคัญ พบว่า สารสกัดจากพืช มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงพีเอช 5 ถึง 9 แต่ในช่วงพีเอชของน้ำเสียเป็นกรดจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

(4) ชนิดของสีย้อม

ชนิดของสีย้อมมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูเลชันจากธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญ พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะรุม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีสเปอร์สมาากว่าการกำจัดสีรีแอคทีฟ โดยการกำจัดสีดีสเปอร์ส ภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 20 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร พีเอช 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีสเปอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ร้อยละ 98.02 และการกำจัดสีรีแอคทีฟ ภาวะที่เหมาะสมคือปริมาณสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 30 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร พีเอช 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ สีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ร้อยละ 86.45

(4) เจดสี

ในการกำจัดสีรีแอคทีฟด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ พบว่าเจดสีมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีแตกต่างกัน จากการใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุม 30 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร พีเอช 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ สีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ร้อยละ 86.45 สีรีแอคทีฟสีเหลือง (Drimarene yellow CL-2RP) ร้อยละ 25.72 และสีรีแอคทีฟสีแดง (Drimarene red CL-58p) ร้อยละ 32.25 ส่วนในการกำจัดสีดิสเพอร์ส พบว่าเจดสีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารสกัดจากมะรุม

(5) เวลาในการกวนช้า

เวลาในการกวนช้า เป็นเวลาที่สารโคแอกกูแลนต์สัมผัสกับน้ำเสีย ซึ่งเวลาในการสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ พบว่าเมื่อเวลาสัมผัสนานมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากขึ้น และเมื่อทิ้งไว้นานจนถึงช่วงเวลาหนึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่

5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ กับ อลูมิเนียมซัลเฟต

- (1) ในการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) พบว่า
 - สารสกัดจากเมล็ดมะรุม (30 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด รองลงมา เป็นอลูมิเนียมซัลเฟต (210 มิลลิกรัมต่อลิตร) สารสกัดจากเมล็ดมะขาม (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) สารสกัดจากข้าวโพด (30 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารสกัดจากถั่วเขียว (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 86.45, 83.43, 81.13, 80.26 และ 77.47 ตามลำดับ
 - อลูมิเนียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น และกำจัดซีโอดีของน้ำเสียรีแอคทีฟสูงที่สุด คือร้อยละ 84.26 และ 55.84
 - การใช้อลูมิเนียมซัลเฟตทำให้เกิดสลัดจ์หลังการบำบัดมากที่สุด
- (2) ในการบำบัดน้ำเสียสีดิสเพอร์ส สีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) พบว่า อลูมิเนียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดี มากกว่าสารสกัดจากมะรุมเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณของอลูมิเนียมซัลเฟตใช้มากกว่าสารสกัดจากมะรุม 5 เท่า และอลูมิเนียมซัลเฟตทำให้เกิดปริมาณสลัดจ์หลังการบำบัดมากกว่า

5.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดระหว่างสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ กับอลูมิเนียมซัลเฟต

การใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติมีค่าต้นทุนในส่วนของสารโคแอกกูแลนต์ต่ำกว่าการใช้อลูมิเนียมซัลเฟต และนอกจากนี้ยังลดต้นทุนในส่วนอื่น ๆ ได้อีก ตั้งแต่ต้นทุนของสารเคมีในการปรับสภาพพีเอชของน้ำ เนื่องจากสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติสามารถทำงานได้ดีในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า รวมไปถึงต้นทุนในการกำจัดตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นน้อยกว่าตะกอนจากการใช้อลูมิเนียมซัลเฟต รวมทั้งเป็นตะกอนที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าตะกอนที่เกิดจากการใช้อลูมิเนียมซัลเฟต

5.4 ข้อเสนอแนะ

- (1) ทดลองสกัดโปรตีนจากเมล็ดพืชให้อยู่ในรูปของแข็งที่สามารถทำให้เก็บได้นานและใช้งานง่าย
- (2) ทดลองกับน้ำเสียจริงจากการฟอกย้อมขนาดเล็ก เพื่อหาแนวทางการนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดเล็ก
- (3) ทดสอบความเป็นพิษของน้ำหลังการบำบัดด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมซัลเฟต

เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา เจริญลาก และคณะ. 2547. รายงานวิจัยเรื่องการพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- ชนิษฐา เจริญลาก และวุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ. 2550. การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วย โอโซน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- ไพศาล วีรกิจ. 2545. การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: บริษัทเอ็มแอนด์ อี จำกัด.
- Abdel-Shafy, H.I., and Abdel-Basier, S.E. 1991. Chemical treatment of industrial wastewater. *Environmental Management Health*. 2(3): 19-23.
- Ademiluyi A. 1988. Sludge conditioning with Moringa seeds. *Envier. Int*. 14: 59 – 63.
- Agarwal, M., Rajani, S., Rai, J.S.P., Mishra, A., 2003. Utilization of biodegradable okra gum for the treatment of tannery effluent. *Int. J. Polym. Mater*. 52 (11–12): 1049–1057.
- American Water Works Association (AWWA). 1998. Water quality and treatment: A Handbook of Community Water Supplies, 20th ed. McGraw-Hill, New York.
- Barth V. H., Habs M., Klute R., Miiller S. and Tauscher B. 1982. Water treatment on Moringa oleifera. *Chem. z*. 106 (2): 75-78.
- Bensadok, K., Benemmar, S., Lappiicque, F., and Nezzal, G. 2008. Electrocoagulation of cutting oil emulsion using aluminium plate electrodes, *J. Hazardous Materials*. 152: 423-430.
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., Delgado-Regalado, A., Jurado-Bustos, C. 2009. Removal of Alizarin Violet 3R (anthraquinonic dye) from aqueous solutions by natural coagulants. *J Hazard Mater*. Oct 15, 170(1): 43-50.
- Beljkaš, B. Ekstrakt sjemena divljeg kestena kao prirodni koagulant. 2007. Diplomski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Berger, M. R., Habs, M., Jahn, S. A. A. and Schmahl, D. 1984. Toxicological assessment of seeds from Moringa oleifera and Moringa stenopetala, two highly efficient primary coagulants from domestic water treatment of tro-pical raw waters *East African Medical Journal*, 61, 712 – 716.

- Bromley, D., Gamal El-Din,M., Smith, D.W. 2002. A low cost treatment process to reduce phosphorus and suspended solids in liquid wastes from animal farm operations, In: proceedings of the fourth international livestock waste management symposium and technology expo Malaysia society of animal production, Penang, Malaysia, 215.
- Bogoeva-Gaceva,G., Buzarovska, A., and Dimzoski, B. 2008. Discoloration of synthetic dyeing wastewater using polyaluminium chloride. G.U. Journal of Science. 21(4): 123-128.
- Carneiro, P.A., Fugivara, C.S., Nogueira, F.P., Boralle, N. and Zanoni, V.B. 2003. A Comparative on chemical and electrochemical degradation of reactive blue 4 Dye. Portugaliae Electrochimica Acta. 21:49-67
- Chen, X. , Shen, Z. , Zhu, X. , Fan, Y. , and Wang, W. 2005. Advanced treatment of textile wastewater for reuse using electrochemical oxidation and membrane filtration. water SA. 31(1).
- Chan, W.C., Chiang, C.Y., 1995. Flocculation of clay suspension with water insoluble grafted acrylamide/sodium allylsulphonated copolymer powder. J. Appl. Polym. Sci. 58, 1721–1726.
- Charoenlarp, K., and Choyphan, W. 2009. Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. As. J. Energy Env. 2009, 10(04), 250-260
- Duk,J.J., Won, S.S.,Jeong-Hak,C., Sang,J.C., Myung-Chui,Kim., Myung,H.H., Tae,W.H., and Yong-Hun,K. 2007. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. Dyes and Pigments. 73; 59-64.
- Folkard , G.K., Sutherland , J.P. & Grant, W.D. 1993, Natural coagulants at pilot scale ; In: Pickford , J. ed. Water, Environment and Management; Proc. 18th WEDC Conference, Kathmandu, Nepal, 30 Aug-3 Sept 1992. Loughborough University Press, pp 51-54
- Folkard, G.K., Sutherland, J.P. and Al-Khalili, R. Natural Coagulants. 1995. A Sustainable Approach. In: Pickford,J.et al eds. Sustainability of Water & Sanitation Systems: Proceedings of the 21st WEDC Conference", Kampala, Uganda, 4-8 September, 1995. WEDC Publications, ISBN 0906055466, 1995, pp 263 - 266.
- Folkard, G.K., and Sutherland,J.P. 2006. Development of a naturally derived coagulant for water and wastewater treatment, Water Sci. Technol.: Water Supply 2 (5/6) (2002) 89 – 94.

- Grabow, W.O.K., Slabert, J.L., Morgan, W.S.G., Jahn, S.A.A. 1985. Toxicity and mutagenicity evaluation of water coagulated with hMoringa oleifera seed preparation using fish protozoan, bacterial coliphage. enzyme and salmonella assay. CAB Abstract 1984-1986.
- Ghebremichael, K. A.; Gunaratna, K. R.; Henriksson, H.; Brumer, H.; Dalhammar, G. 2005. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed. Water Res, 39(11), 2338–2344.
- Hammer, M.J. 1996. Water and wastewater technology, 3rd, United States of America: Prentice-Hall, Inc. 519p.
- Himanshu Patel, R.T. Vashi. 2010. Removal of Congo Red dye from its aqueous solution using natural coagulants. Journal of Saudi Chemical Society.16, 131 - 136
- Homa, V. 2006. Ispitivanje efikasnosti koagulacije i flokulacije prirodnim koagulantima – ekstraktima soje i različitih sorti pasulja Diplomski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Horning, R.H. 1978. Textile Dyeing Wastewater-Characterization End Treatment. U.S.Environmental Protection Agency. EPA-600/2-78-098. Washington, D.C.
- Hunger, K. 2003. Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications. John Wiley & Sons.
- Jahn S. A. A. 1986. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies – Research in the Sudan and a guide to new projects. GTZ Manual No. 191.
- Laikou, S., Pavlou, S., Lyberatos, G. 1997. Ozonation of azo dyes. Water Sci Technol. 35(4):279-286.
- Katayon S., Megat Mohd Noor M.J., Asma M., Abdul Ghani L.A, Thamer A.M., Azni I., Ahmad J., Khor B.C. and Suleyman A.M. 2006. Effects of storage conditions of Moringa Oleifera seeds on its performance in coagulation. Bioresource technology, Vol 97(13), September 2006, pp. 1455–60.
- Katayon S., Megat Mohd Noor M.J., Asma M., Thamer A.M., Liew Abdullah A.G., Idris A., Suleyman A.M., Aminuddin M.B. and Khor B.C. 2004. Effects of storage duration and temperature of Moringa Oleifera stock solution on its performance in coagulation. international Journal of Engineering and technology, Vol. 1(2), pp. 146–151, ISSN: 1823-1039.
- Kuo. W.G. (1992) Decolorization of dye wastewater with Fenton's reagent" Water Res., 26 (6), 881 - 886

- Li and Gregory. 1991. [online] Available: <http://www.awwoa.ab.ca/Acrobat/Coagulation%20101.pdf>. (Retrieved Sep 14, 2011)
- Mallevalle, J., Brichet, A., and Fiessinger, F. 1984. How safe are organic polymers in water treatment. J. Am. Wat. Wks. Assoc. 76: 87-93.
- Mirjana G. Antov, Marina B. Šćiban, Nada J. Petrović. 2010. Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. Bioresource Technology .Volume 101, Issue 7, April 2010, Pages 2167-2172
- Mishra, A., Rajani, S., Dubey, R., 2002. Flocculation of textile wastewater by *Plantago psyllium* mucilage. Macromol. Mater. Eng. 287, 592–596.
- Mishra, A., Agarwal, M., Yadav, A., 2003. Fenugreek mucilage as a flocculating agent for sewage treatment. Colloid Polym Sci. 281, 164–167.
- Mollah, M.A.Y, Schennach, R.S., Parga, R.J. and David, L. 2001. Electrocoagulation science and application, J. Hazard. Matter. B84;29-41.
- Montgomery, T., Elimelech, M. 2007. Water and Sanitation in Developing Countries: including Health in the Equation. Environ. Sci. Technol. 41(1): 17-24.
- Muyibi, S.A., Okufu, C.A., 1995. Coagulation of low turbidity surface water with *Moringa oleifera* seeds. Int. J. Environ. Stud. 48, 263– 273.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S., 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. Water Res. 32 (3), 781– 791.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S., Talbot, B.G., 1995. Active agent and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Res. 29 (2), 703–710.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. Water research, Vol. 32 (3), pp.781–791(11).
- Nilanjana Rao. 2005. Use of Plant Material as Natural Coagulants for Treatment for Waste Water” [online] Available: <http://www.visionriverviewpoint.com/article.asp?Articleid=48> (Retrieved Sep 13, 2011)

- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W.; Okada, M. 2001. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Res*, 35(2), 405–410.
- Okuda, T., Baes, A.U., Nishijima, W., Okada, M., 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Res.* 33 (15), 3373–3378.
- Reife , A. and Freeman , H.S. 1966. Environmental chemistry of dyes and pigments. U.S., John Wiley & Sons, Inc.
- Sutherland J.P., Folkard G.K., Mtawali M.A. and Grant W.D. 1994. *Moringa Oleifera* as a natural coagulant, Affordable water supply and sanitation, 20th WEdC Conference Colombo, Sri Lanka.
- Stojmirović, J. 2005. Ispitivanje koagulacione aktivnosti prirodnih koagulanata iz semena različitih vrsta leguminoza Diplomski rad, Teh-nološki fakultet, Novi Sad
- Tatsi, A.A., Zouboulis, A.I., Matis, K.A., Samara, P. 2003. Coagulation-flocculation pre-treatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*. 53: 737-744.
- Uhrich, K.D. 1989. Method for removing dyestuffs from wastewater. Inventor, Andco Environmental Process. U.S. Pat.4,880, 510. Nov.14.
- United Nations World Water Assessment Program. 2003. Water for people, water for life. Barcelona.

ภาคผนวก ก



ตารางที่ 1ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิงส์รีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ และอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารสกัดจากพืช	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
เมล็ดมะรุม	0.530	0.102	0.101	0.106	0.107	0.107
ข้าวโพด	0.530	0.114	0.120	0.113	0.116	0.112
ถั่วเขียว	0.530	0.146	0.146	0.144	0.145	0.143
เมล็ดมะขาม	0.530	0.156	0.157	0.157	0.156	0.155
อลูมิเนียมซัลเฟต	0.530	0.137	0.137	0.137	0.138	0.139

ตารางที่ 2ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ และอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารสกัดจากพืช					
	1	2	3	4	5
เมล็ดมะรุม	80.75	80.94	80.00	79.81	79.81
ข้าวโพด	78.49	77.36	78.68	78.11	78.87
ถั่วเขียว	72.45	72.45	72.83	72.64	73.02
เมล็ดมะขาม	70.57	70.38	70.38	70.57	70.75
อลูมิเนียมซัลเฟต	74.15	74.15	74.15	73.96	73.77

ตารางที่ 3ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิงส์รีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาตร (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
10	0.530	0.126	0.124	0.124	0.126	0.124
20	0.530	0.109	0.110	0.115	0.113	0.112
30	0.530	0.102	0.101	0.106	0.107	0.107
40	0.530	0.106	0.112	0.114	0.111	0.113
50	0.530	0.122	0.117	0.118	0.107	0.112

ตารางที่ 4ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
10	76.23	76.60	76.60	76.23	76.60
20	79.43	79.25	78.30	78.68	78.87
30	80.75	80.94	80.00	79.81	79.81
40	80.00	78.87	78.49	79.06	78.68
50	76.98	77.92	77.74	79.81	78.87

ตารางที่ 5ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
10	0.530	0.127	0.128	0.129	0.126	0.124
20	0.530	0.121	0.122	0.121	0.121	0.123
30	0.530	0.114	0.120	0.113	0.116	0.112
40	0.530	0.125	0.121	0.122	0.123	0.125
50	0.530	0.123	0.120	0.123	0.122	0.122

ตารางที่ 6ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
10	76.04	75.85	75.66	76.23	76.60
20	77.17	76.98	77.17	77.17	76.79
30	78.49	77.36	78.68	78.11	78.87
40	76.42	77.17	76.98	76.79	76.42
50	76.79	77.36	76.79	76.98	76.98

ตารางที่ 7ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิงส์รีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาตร (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
10	0.530	0.140	0.135	0.137	0.136	0.141
20	0.530	0.127	0.127	0.130	0.128	0.128
30	0.530	0.146	0.146	0.144	0.145	0.143
40	0.530	0.152	0.150	0.151	0.151	0.149
50	0.530	0.154	0.152	0.151	0.154	0.150

ตารางที่ 8 ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิงส์รีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาตร (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
10	73.58	74.53	74.15	74.34	73.40
20	76.04	76.04	75.47	75.85	75.85
30	72.45	72.45	72.83	72.64	73.02
40	71.32	71.70	71.51	71.51	71.89
50	70.94	71.32	71.51	70.94	71.70

ตารางที่ 9ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิงส์รีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาตร (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
10	0.530	0.153	0.152	0.151	0.156	0.152
20	0.530	0.155	0.150	0.142	0.144	0.146
30	0.530	0.156	0.157	0.157	0.156	0.155
40	0.530	0.152	0.156	0.156	0.156	0.154
50	0.530	0.154	0.153	0.154	0.151	0.156

ตารางที่ 10 ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
10	71.13	71.32	71.51	70.57	71.32
20	70.75	71.70	73.21	72.83	72.45
30	70.57	70.38	70.38	70.57	70.75
40	71.32	70.57	70.57	70.57	70.94
50	70.94	71.13	70.94	71.51	70.57

ตารางที่ 11 ก การบำบัดน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินด้วย (Drimarene brilliant blue CL-BR) อลูมิเนียมซัลเฟต 10 % w/w

ความเข้มข้น (mg/L)	ก่อนทดลอง	ค่าดูดกลืนแสง				
		1	2	3	4	5
30	0.530	0.137	0.137	0.137	0.138	0.139
60		0.135	0.136	0.137	0.133	0.129
90		0.134	0.134	0.134	0.133	0.132
120		0.131	0.129	0.126	0.129	0.131
150		0.132	0.131	0.129	0.126	0.123
180		0.105	0.109	0.112	0.110	0.107
210		0.090	0.088	0.086	0.087	0.088
240		0.096	0.096	0.095	0.095	0.094
270		0.101	0.098	0.097	0.099	0.102
300		0.125	0.122	0.121	0.124	0.127

ตารางที่ 12ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินด้วย (Drimarene brilliant blue CL-BR)

อลูมิเนียม ซัลเฟต

ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี				
	1	2	3	4	5
30	74.15	74.15	74.15	73.96	73.77
60	74.53	74.34	74.15	74.91	75.66
90	74.72	74.72	74.72	74.91	75.09
120	75.28	75.66	76.23	75.66	75.28
150	75.09	75.28	75.66	76.23	76.79
180	80.19	79.43	78.87	79.25	79.81
210	83.02	83.40	83.77	83.58	83.40
240	81.89	81.89	82.08	82.08	82.26
270	80.94	81.51	81.70	81.32	80.75
300	76.42	76.98	77.17	76.60	76.04

ตารางที่ 13ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งสีดีสเพิร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาตร (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง (579 nm)					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
10	2.190	2.080	2.100	2.120	2.140	2.160
20	2.190	0.046	0.045	0.048	0.049	0.057
30	2.190	0.059	0.065	0.050	0.050	0.055
40	2.190	0.064	0.069	0.058	0.062	0.068
50	2.190	0.071	0.058	0.077	0.069	0.069

ตารางที่ 14ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีดีสเพิร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
10	5.02	4.11	3.20	2.28	1.37
20	97.90	97.95	97.81	97.76	97.40
30	97.31	97.03	97.72	97.72	97.49
40	97.08	96.85	97.35	97.17	96.89
50	96.76	97.35	96.48	96.85	96.85

ตารางที่ 15ก ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำทิ้งสีดีสเพิร์สสีน้ำเงิน ที่บำบัดด้วยอนุเมียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง (579 nm)					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
30	2.190	1.723	1.763	1.811	1.708	1.751
60		0.043	0.030	0.038	0.032	0.036
90		0.053	0.048	0.058	0.061	0.091
120		0.068	0.071	0.052	0.063	0.098
150		0.151	0.105	0.136	0.130	0.157

ตารางที่ 16ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีดีสเพิร์สสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยอนุเมียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปริมาณ (mg/L)	1	2	3	4	5
30	18.30	16.41	16.41	19.01	16.97
60	97.96	98.58	98.58	98.48	98.29
90	97.49	97.72	97.72	97.11	95.69
120	96.78	96.63	96.63	97.01	95.35
150	92.84	95.02	95.02	93.84	92.56

ตารางที่ 17ก การทดสอบหาพีเอชที่เหมาะสมของสารสกัดเมล็ดมะรุม

pH	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
9	0.530	0.071	0.071	0.072	0.071	0.074
7	0.530	0.092	0.091	0.091	0.090	0.092
5	0.530	0.094	0.093	0.088	0.089	0.094

ตารางที่ 18ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
9	86.60	86.60	86.42	86.60	86.04
7	82.64	82.83	82.83	83.02	82.64
5	82.26	82.45	83.40	83.21	82.26

ตารางที่ 19ก การทดสอบหาพีเอชที่เหมาะสมของสารสกัดเมล็ดข้าวโพด

pH	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
5	0.530	0.105	0.106	0.103	0.103	0.106
7	0.530	0.117	0.118	0.118	0.121	0.123
9	0.530	0.118	0.124	0.122	0.120	0.119

ตารางที่ 20ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด ที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
5	80.19	80.00	80.57	80.57	80.00
7	77.92	77.74	77.74	77.17	76.79
9	77.74	76.60	76.98	77.36	77.55

ตารางที่ 21ก การทดสอบหาพีเอชที่เหมาะสมของสารสกัดเมล็ดถั่วเขียว

pH	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
5	0.530	0.119	0.118	0.121	0.118	0.121
7	0.530	0.134	0.135	0.133	0.132	0.127
9	0.530	0.145	0.142	0.135	0.133	0.142

ตารางที่ 22ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
5	77.55	77.74	77.17	77.74	77.17
7	74.72	74.53	74.91	75.09	76.04
9	72.64	73.21	74.53	74.91	73.21

ตารางที่ 23ก การทดสอบหาพีเอชที่เหมาะสมของสารสกัดเมล็ดมะขาม

pH	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
5	0.530	0.102	0.100	0.097	0.098	0.099
7	0.530	0.106	0.101	0.095	0.098	0.100
9	0.530	0.128	0.129	0.128	0.128	0.127

ตารางที่ 24ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
5	80.75	81.13	81.70	81.51	81.32
7	80.00	80.94	82.08	81.51	81.13
9	75.85	75.66	75.85	75.85	76.04

ตารางที่ 25ก การหาพีเอชที่เหมาะสมของสารสกัดเมล็ดมะรุมในการกำจัดสีดีสเพอร์ส

pH	ค่าดูดกลืนแสง					
	ก่อนทดลอง	1	2	3	4	5
5	2.190	0.045	0.044	0.039	0.051	0.038
7	2.190	0.046	0.045	0.048	0.049	0.057
9	2.190	0.071	0.072	0.082	0.084	0.078

ตารางที่ 26ก ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งสีดีสเพอร์สสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
5	97.95	97.99	98.22	97.67	98.26
7	97.90	97.95	97.81	97.76	97.40
9	96.76	96.71	96.26	96.16	96.44

ตารางที่ 27ก ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีรีแอคทีฟ

ครั้งที่	สีน้ำเงิน			สีแดง			สีเหลือง		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.071	86.60	1.885	1.296	31.25	2.106	1.549	26.45
2		0.071	86.60		1.252	33.58		1.618	23.17
3		0.072	86.42		1.280	32.10		1.544	26.69
4		0.071	86.60		1.276	32.31		1.552	26.31
5		0.074	86.04		1.282	31.99		1.559	25.97

ตารางที่ 28ก ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ

ครั้งที่	สีน้ำเงิน			สีแดง			สีเหลือง		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.105	80.19	1.885	1.573	16.55	2.106	1.765	16.19
2		0.106	80.00		1.591	15.60		1.746	17.09
3		0.103	80.57		1.598	15.23		1.757	16.57
4		0.103	80.57		1.587	15.81		1.756	16.62
5		0.106	80.00		1.590	15.65		1.760	16.43

ตารางที่ 29ก ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ

ครั้งที่	สีน้ำเงิน			สีแดง			สีเหลือง		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.119	77.55	1.885	1.695	16.55	2.106	1.560	25.93
2		0.118	77.74		1.706	15.60		1.594	24.31
3		0.121	77.17		1.693	15.23		1.596	24.22
4		0.118	77.74		1.698	15.81		1.583	24.83
5		0.121	77.17		1.700	15.65		1.575	25.21

ตารางที่ 30ก ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะขามในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมแอคทีฟ

ครั้งที่	สีน้ำเงิน			สีแดง			สีเหลือง		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.102	80.75	1.885	1.502	20.32	2.106	1.523	27.68
2		0.100	81.13		1.493	20.80		1.591	24.45
3		0.097	81.70		1.523	19.20		1.560	25.93
4		0.098	81.51		1.503	20.27		1.558	26.02
5		0.095	81.32		1.500	20.42		1.550	26.40

ตารางที่ 31ก ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดมะรุมปริมาณ 30 mg/L ในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าด้วยสีย้อมเพอร์ส

ครั้งที่	สีน้ำเงิน			สีแดง			สีเหลือง		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	2.190	0.059	97.31	2.643	0.045	98.30	3.690	0.087	97.64
2		0.065	97.03		0.055	97.92		0.086	97.67
3		0.050	97.72		0.065	97.54		0.077	97.91
4		0.050	97.72		0.053	97.99		0.080	97.83
5		0.055	97.49		0.069	97.39		0.082	97.78

ตารางที่ 32ก ค่าการดูดกลืนแสงของสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ระยะเวลาการกวนช้าต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนช้า (นาที)	1	2	3	4	5
30	5	30	0.098	0.096	0.101	0.098	0.095
		60	0.071	0.071	0.072	0.071	0.074
		90	0.066	0.066	0.069	0.066	0.063
		120	0.065	0.064	0.062	0.064	0.063
		150	0.064	0.066	0.065	0.069	0.064

ตารางที่ 33ก ประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ระยะเวลากวนช้าต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนช้า (นาที)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	mean (%)	SD (%)
30	5	30	81.51	81.89	80.94	81.51	82.08	81.58	0.43
		60	86.60	86.60	86.42	86.60	86.04	86.45	0.25
		90	87.55	87.55	86.98	87.55	88.11	87.55	0.40
		120	87.74	87.92	88.30	87.92	88.11	88.00	0.22
		150	87.92	87.55	87.74	86.98	87.92	87.62	0.39

ตารางที่ 34ก ค่าการดูดกลืนแสงของสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ระยะเวลา
กวนข้าวต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนข้าว (นาทีก)	1	2	3	4	5
30	5	30	0.117	0.122	0.123	0.121	0.12
		60	0.105	0.106	0.103	0.103	0.106
		90	0.098	0.1	0.102	0.099	0.1
		120	0.107	0.108	0.108	0.108	0.107
		150	0.114	0.112	0.11	0.11	0.112

ตารางที่ 35ก ประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ระยะเวลา
กวนข้าวต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนข้าว (นาทีก)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	mean (%)	SD (%)
30	5	30	77.92	76.98	76.79	77.17	77.36	77.25	0.43
		60	80.19	80.00	80.57	80.57	80.00	80.27	0.29
		90	81.51	81.13	80.75	81.32	81.13	81.17	0.28
		120	79.81	79.62	79.62	79.62	79.81	79.70	0.10
		150	78.49	78.87	79.25	79.25	78.87	78.94	0.32

ตารางที่ 36ก ค่าการดูดกลืนแสงของสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวที่ระยะเวลา
กวนข้าวต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนข้าว (นาทีก)	1	2	3	4	5
20	5	30	0.128	0.126	0.128	0.121	0.124
		60	0.119	0.118	0.121	0.118	0.121
		90	0.098	0.085	0.087	0.085	0.088
		120	0.098	0.098	0.092	0.098	0.091
		150	0.100	0.102	0.095	0.101	0.096

ตารางที่ 37ก ประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวที่ระยะเวลาการกวนซ้ำต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนซ้ำ (นาที)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	mean (%)	SD (%)
20	5	30	75.85	76.23	75.85	77.17	76.60	76.34	0.56
		60	77.55	77.74	77.17	77.74	77.17	77.47	0.29
		90	81.51	83.96	83.58	83.96	83.40	83.28	1.02
		120	81.51	81.51	82.64	81.51	82.83	82.00	0.68
		150	81.13	80.75	82.08	80.94	81.89	81.36	0.59

ตารางที่ 38ก ค่าการดูดกลืนแสงของสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ระยะเวลาการกวนซ้ำต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนซ้ำ (นาที)	1	2	3	4	5
20	5	30	0.108	0.110	0.100	0.117	0.116
		60	0.102	0.100	0.097	0.098	0.099
		90	0.076	0.074	0.078	0.075	0.078
		120	0.070	0.072	0.071	0.071	0.07
		150	0.071	0.075	0.075	0.075	0.076

ตารางที่ 39ก ประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ระยะเวลาการกวนซ้ำต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาการกวนซ้ำ (นาที)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	mean (%)	SD (%)
20	5	30	79.62	79.25	81.13	77.92	78.11	79.21	1.30
		60	80.75	81.13	81.70	81.51	81.32	81.28	0.36
		90	85.66	86.04	85.28	85.85	85.28	85.62	0.34
		120	86.79	86.42	86.60	86.60	86.79	86.64	0.16
		150	86.60	85.85	85.85	85.85	85.66	85.96	0.37

ตารางที่ 40ก ค่าการดูดกลืนแสงของสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่บำบัดด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาบ่ม (นาท)	1	2	3	4	5
210	8	30	0.095	0.090	0.094	0.098	0.091
		60	0.090	0.088	0.086	0.087	0.088
		90	0.069	0.067	0.073	0.071	0.07
		120	0.069	0.069	0.073	0.072	0.073
		150	0.069	0.072	0.073	0.075	0.073

ตารางที่ 41ก ประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	pH	เวลาบ่ม (นาท)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	mean (%)	SD (%)
210	8	30	82.08	83.02	82.26	81.51	82.83	82.34	0.61
		60	83.02	83.40	83.77	83.58	83.40	83.43	0.28
		90	86.98	87.36	86.23	86.60	86.79	86.79	0.42
		120	86.98	86.98	86.23	86.42	86.23	86.57	0.39
		150	86.98	86.42	86.23	85.85	86.23	86.34	0.41

ตารางที่ 42ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีโอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.071	86.60	92.8	24.47	73.64	1515.4	1201.20	20.73	9	8.92	0.89
2		0.071	86.60		26.43	71.52		1151.92	23.99		8.96	0.44
3		0.072	86.42		25.48	72.54		1281.28	15.45		8.94	0.67
4		0.071	86.60		25.68	72.33		1174.72	22.48		8.98	0.22
5		0.074	86.04		25.38	72.65		1250.48	17.48		8.98	0.22
mean			86.45			72.54			20.03			0.49
SD			0.24			0.76			3.52			0.29

ตารางที่ 43ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีไอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.105	80.19	92.8	31.66	65.88	1515.4	1057.58	30.21	9	7.40	17.78
2		0.106	80.00		31.61	65.94		983.58	35.09		7.47	17.00
3		0.103	80.57		30.60	67.03		879.68	41.95		7.24	19.56
4		0.103	80.57		33.61	63.78		808.06	46.68		7.24	19.56
5		0.106	80.00		32.62	64.85		853.38	43.69		7.51	16.56
mean			80.26			65.50			39.52			18.09
SD			0.29			1.23			6.72			1.41

ตารางที่ 44ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีไอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.119	77.55	92.8	24.52	73.58	1515.4	1213.52	19.92	9	8.93	0.78
2		0.118	77.74		24.15	73.97		1151.92	23.99		8.91	1.00
3		0.121	77.17		25.00	73.06		1293.60	14.64		8.95	0.56
4		0.118	77.74		23.48	74.69		1281.28	15.45		8.96	0.44
5		0.121	77.17		23.18	75.02		1201.20	20.73		8.96	0.44
mean			77.47			74.06			18.95			0.64
SD			0.29			0.80			3.88			0.24

ตารางที่ 45ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขาม

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีไอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.106	80.00	92.8	34.8	62.50	1515.4	1212.22	20.01	9	7.38	18.00
2		0.101	80.94		29.0	68.75		1259.36	16.90		7.28	19.11
3		0.095	82.08		26.9	71.01		1234.88	18.51		7.20	20.00
4		0.098	81.51		26.9	71.01		1210.40	20.13		7.20	20.00
5		0.100	81.13		26.0	71.98		1206.49	20.38		7.20	20.00
mean			81.13			69.05			19.19			19.42
SD			0.77			3.85			1.47			0.88

ตารางที่ 46ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากอะลูมิเนียมซัลเฟต

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีโอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	0.530	0.090	83.02	92.8	15.61	83.18	1515.4	664.58	56.14	9	7.17	20.33
2		0.088	83.40		13.57	85.38		740.10	51.16		7.33	18.56
3		0.086	83.77		14.51	84.36		604.16	60.13		7.25	19.44
4		0.087	83.58		15.02	83.82		657.02	56.64		7.29	19.00
5		0.088	83.40		14.33	84.56		679.68	55.15		7.22	19.78
mean			83.43			84.26			55.84			19.42
SD			0.28			0.82			3.22			0.69

ตารางที่ 47ก ปริมาณสลดจ์ที่เกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยสารโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ

สารโคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (mg/L)	pH	ปริมาณสลดจ์ (ml/250ml)							
			1	2	3	4	5	mean	SD	
เมล็ดมะรุม	30	5	9.60	9.60	8.00	8.00	8.00	8.64	0.88	
เมล็ดข้าวโพด	30	5	8.00	8.00	9.60	9.60	8.00	8.64	0.88	
เมล็ดถั่วเขียว	20	5	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	0.00	
เมล็ดมะขาม	20	5	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	0.00	
อลูมิเนียมซัลเฟต	210	7	161.6	164.8	164.8	161.6	166.4	163.84	2.15	

ตารางที่ 48ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสีดิสเพอร์สสีน้ำเงินด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมปริมาณ 20 mg/L

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีโอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	2.190	0.046	97.90	1553	46.6	97.00	1553	550	64.58	5	6.29	25.80
2		0.045	97.95		51.0	96.72		560	63.94		6.29	25.80
3		0.048	97.81		49.7	96.80		551	64.52		6.29	25.80
4		0.049	97.76		56.1	96.39		558	64.07		6.32	26.40
5		0.057	97.40		50.0	96.78		587	62.20		6.32	26.40
mean		0.049	97.764		50.68	96.738		561.20	63.86		6.30	26.04
SD		0.005	0.2167		3.4478	0.2212		15.06	0.97		0.02	0.33

ตารางที่ 49ก ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสปีดเพอร์สตีน้ำเงินด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าความขุ่น (NTU)			ค่าซีโอดี (mg/L)			ค่าพีเอช		
	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%	ก่อน	หลัง	%
1	2.190	0.043	98.04	1553	31.3	97.98	1553	428	72.44	5	3.19	36.20
2		0.030	98.63		21.9	98.59		428	72.44		3.20	36.00
3		0.038	98.26		25.8	98.34		435	71.99		3.16	36.80
4		0.032	98.54		23.8	98.47		450	71.02		3.15	37.00
5		0.036	98.36		25.7	98.35		442	71.54		3.18	36.40
mean		0.036	98.38		25.7	98.35		436.60	71.89		3.18	36.48
SD		0.0051	0.26		3.51	0.2285		9.48	0.61		0.021	0.41



ภาคผนวก ข



ตารางที่ 1ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารโคแอกกูแลนต์ ต่างกัน

ชนิดสารโคแอกกูแลนต์	N	mean (%)	SD	P
เมล็ดมะรุม	5	80.26	0.54	<0.001
ข้าวโพด	5	78.30	0.59	
ถั่วเขียว	5	72.68	0.25	
เมล็ดมะขาม	5	70.53	0.16	
อะลูมิเนียมซัลเฟต	5	74.04	0.17	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 2ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากพืชและอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

	เมล็ดมะขาม (70.53)	ถั่วเขียว (72.68)	อะลูมิเนียมซัลเฟต (74.04)	ข้าวโพด (78.30)	เมล็ดมะรุม (80.26)
เมล็ดมะขาม (70.53)		2.1480*	3.5060*	7.7720*	9.7320*
ถั่วเขียว (72.68)			1.3580*	5.6240*	7.5840*
อะลูมิเนียมซัลเฟต (76.00)				2.3020*	4.2620*
ข้าวโพด (78.30)					1.9600*
เมล็ดมะรุม (80.26)					

ตารางที่ 3ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
10	5	76.45	0.20	<0.001
20	5	78.91	0.45	
30	5	80.26	0.54	
40	5	79.02	0.59	
50	5	78.26	1.10	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้นต่างกัน

	10 (76.45)	50 (78.26)	20 (78.91)	40 (79.02)	30 (80.26)
10 (76.45)		1.8120*	2.4540*	2.5680*	3.8100*
50 (78.26)			0.642	0.7560	1.9980*
20 (78.91)				0.1140	1.3560
40 (79.02)					1.2420
30 (80.26)					

ตารางที่ 5ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ด ข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
10	5	76.08	0.36	<0.001
20	5	77.06	0.17	
30	5	78.30	0.59	
40	5	76.76	0.23	
50	5	76.98	0.23	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 6ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ความเข้มข้น ต่างกัน

	10 (76.08)	40 (76.76)	50 (76.98)	20 (77.06)	30 (78.30)
10 (76.08)		0.6800	0.9040*	0.9800*	2.2260*
40 (76.76)			0.2240	0.3000	1.5460*
50 (76.98)				0.0760	1.3220*
20 (77.06)					1.2460*
30 (78.30)					

ตารางที่ 7ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
10	5	74.00	0.49	<0.001
20	5	75.85	0.23	
30	5	72.68	0.25	
40	5	71.58	0.22	
50	5	71.28	0.34	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 8ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวที่ความเข้มข้น ต่างกัน

	50 (71.28)	20 (71.59)	30 (72.68)	40 (73.09)	10 (75.85)
50 (71.28)		0.3040	1.3960	1.8120*	4.5680*
20 (71.59)			1.0920	1.5080	4.2640*
30 (72.68)				0.4160	3.1720*
40 (73.09)					2.7560*
10 (75.85)					

ตารางที่ 9ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ด มะขามความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
10	5	71.17	0.36	<0.001
20	5	72.19	0.99	
30	5	70.53	0.16	
40	5	70.79	0.33	
50	5	71.02	0.34	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 10ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น ต่างกัน

	30 (70.53)	40 (70.79)	50 (71.02)	20 (71.17)	10 (72.19)
30 (70.53)		0.2640	0.4880	0.6400	1.6580*
40 (70.79)			0.2240	0.3760	1.3940*
50 (71.02)				0.1520	1.1700*
20 (71.17)					1.0180
10 (72.19)					

ตารางที่ 11ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
30	5	74.04	0.17	<0.001
60	5	74.72	0.60	
90	5	74.83	0.17	
120	5	75.62	0.39	
150	5	75.81	0.70	
180	5	79.51	0.51	
210	5	83.43	0.28	
240	5	82.04	0.16	
270	5	81.24	0.39	
300	5	76.64	0.45	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 13 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
10	5	3.20	1.44	<0.001
20	5	97.76	0.22	
30	5	97.45	0.29	
40	5	97.07	0.21	
50	5	96.89	0.31	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 14 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ความเข้มข้น ต่างกัน

	10 (3.20)	50 (96.89)	40 (97.07)	30 (97.45)	20 (97.76)
10 (3.20)		93.6620*	93.8720*	94.2580*	94.5680*
50 (96.89)			0.2100	0.5960	0.9060
40 (97.07)				0.3860	0.6960
30 (97.45)					0.3100
20 (97.76)					

ตารางที่ 15 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ด้วย
อลูมิเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (mg/L)	N	mean	SD	P
30	5	17.42	1.18	<0.001
60	5	93.38	0.26	
90	5	97.15	0.85	
120	5	96.48	0.65	
150	5	93.86	1.16	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 16 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ด้วย
อลูมิเนียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นต่างกัน

	30 (17.42)	150 (93.86)	120 (96.48)	90 (97.15)	60 (98.38)
30 (17.42)		76.4360*	79.0600*	79.7260*	80.9580*
150 (93.86)			2.6240*	3.2900*	4.5220*
120 (96.48)				0.6660*	1.8980
90 (97.15)					1.2320
60 (98.38)					

ตารางที่ 17 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากมะรุม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน

ค่าพีเอช	N	mean	SD	P
5	5	86.45	0.24	<0.001
7	5	82.79	0.16	
9	5	82.72	0.55	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 18 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

	pH 9 (82.72)	pH 7 (82.79)	pH 5 (86.45)
pH 9 (82.72)		0.7600	3.7360*
pH 7 (82.79)			3.6600*
pH 5 (86.45)			

ตารางที่ 19 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน

ค่าพีเอช	N	mean	SD	P
5	5	80.27	0.29	<0.001
7	5	77.47	0.47	
9	5	77.25	0.46	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 20ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

	pH 9 (77.25)	pH 7 (77.47)	pH 5 (80.27)
pH 9 (77.25)		0.2260	3.0200*
pH 7 (77.47)			2.7940*
pH 5 (80.27)			

ตารางที่ 21ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน

ค่าพีเอช	N	mean	SD	P
5	5	77.47	0.29	<0.001
7	5	75.06	0.59	
9	5	73.70	0.97	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 22ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

	pH 9 (73.70)	pH 7 (75.06)	pH 5 (77.47)
pH 9 (73.70)		1.3580*	3.7740*
pH 7 (75.06)			2.4160*
pH 5 (77.47)			

ตารางที่ 23ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ที่บำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน

ค่าพีเอช	N	mean	SD	P
5	5	81.28	0.37	<0.001
7	5	81.13	0.77	
9	5	75.85	0.13	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 24ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน (Drimarene brilliant blue CL-BR) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

	pH 9 (75.85)	pH 7 (81.13)	pH 5 (81.28)
pH 9 (75.85)		5.2820*	5.4320*
pH 7 (81.13)			0.1500
pH 5 (81.28)			

ตารางที่ 25ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์สสีน้ำเงิน (Foron blue RD-S) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขามที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

ค่าพีเอช	N	mean	SD	P
5	5	98.02	0.24	<0.001
7	5	97.76	0.22	
9	5	96.47	0.26	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

ตารางที่ 26ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดีสเพอร์สสีน้ำเงิน(Foron blue RD-S) ด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุมที่ค่าพีเอชของน้ำเสีย ต่างกัน

	pH 9 (96.47)	pH 7 (97.76)	pH 5 (98.02)
pH 9 (96.47)		1.2980*	1.5520*
pH 7 (97.76)			0.2540
pH 5 (98.02)			

ตารางที่ 27ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟในแต่ละชนิดสี ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารโคแอกกูแลนต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์	ชนิดสี	N	mean	SD	P
เมล็ดมะรุม (30 mg/L, pH 7)	น้ำเงิน	5	86.45	0.24	<0.001
	แดง	5	32.25	0.85	
	เหลือง	5	25.72	1.45	
เมล็ดข้าวโพด (30 mg/L, pH 7)	น้ำเงิน	5	80.27	0.29	<0.001
	แดง	5	15.77	0.49	
	เหลือง	5	16.58	0.33	
เมล็ดถั่วเขียว (20 mg/L, pH 5)	น้ำเงิน	5	77.47	0.29	<0.001
	แดง	5	15.77	0.49	
	เหลือง	5	24.90	0.70	
เมล็ดมะขาม (20 mg/L, pH 5)	น้ำเงิน	5	81.28	0.37	<0.001
	แดง	5	20.20	0.60	
	เหลือง	5	26.10	1.16	

ตารางที่ 28ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีต่างๆด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม

	สีน้ำเงิน (86.45)	สีแดง (32.25)	สีเหลือง (25.72)
สีน้ำเงิน (86.45)		54.2060*	60.7340*
สีแดง (32.25)			6.5280*
สีเหลือง (25.72)			

ตารางที่ 29ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีต่างๆด้วยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด

	สีน้ำเงิน (80.26)	สีเหลือง (16.58)	สีแดง (15.77)
สีน้ำเงิน (80.26)		63.6860*	64.4980*
สีเหลือง (16.58)			0.8120*
สีแดง (15.77)			

ตารางที่ 30ข การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีต่างๆด้วยสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว

	สีน้ำเงิน (77.47)	สีเหลือง (15.77)	สีแดง (24.90)
สีน้ำเงิน (77.47)		52.5740*	61.7060*
สีเหลือง (15.77)			9.1320*
สีแดง (24.90)			

ตารางที่ 31 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟเดดสีต่างๆด้วยสารสกัดจากเมล็ดมะขาม

	สีน้ำเงิน (81.28)	สีเหลือง (26.10)	สีแดง (20.20)
สีน้ำเงิน (81.28)		55.1860*	61.0800*
สีเหลือง (26.10)			5.8940*
สีแดง (20.20)			

ตารางที่ 32 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ด มะรุมความเข้มข้นต่างกัน

เดดสี	N	mean	SD	P
น้ำเงิน	5	97.45	0.29	0.115
แดง	5	97.83	0.36	
เหลือง	5	97.77	0.11	

ตารางที่ 33 การทดสอบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารสกัดจากเมล็ด มะรุมที่ระยะเวลาการกวนช้าต่างกัน

เวลา (นาที)	N	mean	SD	P
30	5	79.34	2.62	0.059
60	5	81.19	3.88	
90	5	83.96	3.65	
120	5	84.45	3.46	
150	5	85.10	2.75	

ภาคผนวก ค



ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล นางชนิษฐา เจริญลาภ

Mrs Khanittha Charoenlarp

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3100602422195

3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

2 ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

E.mail Khanit_C@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ สถานศึกษา สาขาวิชาเอก ปริญญา ปีที่จบ

ปริญญาตรี ม.ศิลปากร เคมี วท.บ. 2529

ปริญญาโท ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วท.ม. 2539

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ การบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

- (1) การกำจัดสปีดเพิร์ส สปีดเร็กซ์ และสปีดแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอน ทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2544)
- (2) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2545)
- (3) อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์ (สกว. พ.ศ.2546)
- (4) การพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2547)
- (5) การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของห้างหุ้นส่วนจำกัด เจริญชัยการย้อมให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง (สกว. พ.ศ. 2547)
- (6) การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับโรงงานฟอกย้อม (งบผลประโยชน์พ.ศ. 2548)
- (7) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยโอโซน (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2549)
- (8) ผลของโลหะในน้ำต่อกระบวนการย้อม (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2550)
- (9) ผลของโลหะไอออนในน้ำต่อกระบวนการฟอกผ้าฝ้ายถัก(งบผลประโยชน์ พศ. 2550)
- (10) การอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลนอำเภอคลอง จังหวัดจันทบุรี (งบผลประโยชน์ พศ. 2550)
- (11) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2551)
- (12) การบำบัดน้ำเสียโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องวอเตอร์เจ็ตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2552)
- (13) ประสิทธิภาพของบีงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2553)
- (14) การบำบัดน้ำเสียอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยเครื่องจักรชีวภาพ (งบวิจัยทุนนวัตกรรม พ.ศ.2553)
- (15) การมีส่วนร่วมระหว่างชุมชนและโรงเรียนในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ (งบประมาณเงินรายได้ พศ. 2554)
- (16) สิ่งทอสร้างสรรค์ด้วยสีย้อมธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (งบ สกอ. พ.ศ. 2555)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

- (1) การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (สกว. พ.ศ.2545)
- (2) แนวทางการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสีย ตลาดน้ำลำพญา จังหวัดนครปฐม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, พ.ศ.2553)

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่ตีพิมพ์ การเผยแพร่

- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2001. การกำจัดสีดีสเพิร์ส สีไดเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟ จากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. *Textile Journal:Colour way*, 7(34): 32-38.
- บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอน 1. *Textile Journal:Colour way*, 8(45): 18-20.
- บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ . *Textile Journal:Colour way*, 8(46): 47-50.
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. ระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม. *Textile Journal:Colour way*, 9(47) : 23-26
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. แนวทางการเลือกใช้สารเคมี. *Textile Journal:Colour way*, 9(47) : 65-67
- ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี . *Textile Journal:Colour way*, 10(47).
- ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี . *Textile Journal:Colour way*, 11(47).
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2005. อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์. *Textile Journal:Colour way*, 10(48): 40-45
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2005. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมให้อยู่ในมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง *Textile Journal:Colour way*, 11(48): 84-88.
- Charoenlarp, K., Narongchai, C., and Numphet, J., 2009, "Effects of metal in water on cotton knitted bleaching process", The commemorative international conference of the occasion of the 4th cycle anniversary of KMUTT sustainable development to save the earth: Technologies and strategies vision 2050 (SDSE2008), Millennium Hilton Bangkok Hotel, Bangkok, Thailand. 7-9 April 2009, pp 364-366.

- Charoenlarp, K and Choyphan,W. 2009. Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. *As.J. Energy Env.* 10(04), 250-260.
- Charoenlarp,K., Thongpob,K., Matmoosay, K., Kaewkhew,W., and Lanchakawin,S. 2010. Treatment of textile industrial wastewater from water jet loom machine, *Journal of chemistry and chemical engineering.* 4(05), 23-28.



ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ นางสาวปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง

Miss Pathumthip Tonthubthimthong

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3659900625675

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โทรศัพท์ 0 2287 9734, 0 2286 3991 – 5 ต่อ 9734, 1210, 1201 โทรสาร 0 2287 9734

e-mail : pathumthip.t@rmutk.ac.th, tpathumthip@hotmail.com, tpathumthip@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การดูดซับ การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

-

- 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

ลำดับที่	ชื่อโครงการวิจัย	แหล่งทุน	ปีงบประมาณ
1	การพัฒนากระถางต้นไม้จากไยมะพร้าว	เครือข่ายงานวิจัยภาคกลางตอนล่าง	2547
2	การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา	งบประมาณผลประโยชน์	2548
3	กระถางต้นไม้ขำร่วยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณผลประโยชน์	2548
4	การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ	งบประมาณผลประโยชน์	2548
5	กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณแผ่นดิน	2548
6	สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด	งบประมาณแผ่นดิน	2549

- | | | | |
|-----|---|--------------------|------|
| 7 | การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา | งบประมาณแผ่นดิน | 2550 |
| 8 | การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทย | งบประมาณแผ่นดิน | 2551 |
| 9 | การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน | งบประมาณผลประโยชน์ | 2551 |
| 10 | การสกัดน้ำมันจากเมล็ดชะมดตัน (Hibiscus abelmoschus Linn.) | งบประมาณแผ่นดิน | 2552 |
| 11 | การผลิตธูปหอมจากสารธรรมชาติเพื่อศึกษาสารก่อมะเร็งในควันธูป | งบประมาณแผ่นดิน | 2554 |
| 12 | การผลิตลูกหอมสมุนไพรไล่แมลงและขจัดกลิ่นอับ | งบประมาณแผ่นดิน | 2555 |
| 7.3 | งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน | | |

(อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึ้งและจิรพล กลิ่นบุญ. “การพัฒนาระถางต้นไม้จากไยมะพร้าว” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเครือข่ายภูมิภาคกลางตอนล่าง ประจำปีงบประมาณ 2547.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. “การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ้ง, มาริสา จินะดิษฐ์ และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์. “การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

สุรัตน์ บุญพึ้ง และปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากทองพันชั่ง” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

พรประสิทธิ์ คงบุญ, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มณฑล ชูโซนา และสมจิตร สุขสวัสดิ์. “การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ้ง, มาริสา จินะดิษฐ์, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วงษ์จันทานนท์. “กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, โสริยา ชินอม, สุรัตน์ บุญพึ้ง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วงษ์จันทานนท์. “กระถางต้นไม้ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

มาริสา จินะดิษฐ์ และปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. “การผลิตกระถางต้นไม้จากเศษใบไม้” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2549.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. “สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2549.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และชัชวาลย์ สุขมัน. “การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2550.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. “พัฒนาการผลิตน้ำอบไทย” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2551

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, นันทวัน กลิ่นจำปา และไชยยันต์ ไชยยะ. “การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2551

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. “การสกัดน้ำมันจากเมล็ดชะมดต้น (*Hibiscus abelmoschus* Linn.)” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2552

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์, ขนิษฐา เจริญลาภ, อรุณี สุรัตน์พิพิธ, สุชาติ วิเชียรสรณ์, วรรณดี แสงดี, สมรรถ ปรีกลาง, ทวีป ณ ระนอง, ยุทธการ ชันเงิน, ดารานัย รบเมือง, จิตตานันท์ รังสิมันตุชาติ, เบญจภรณ์ ประภักดี, ่องอาจ พฤกษ์ประมูล, เจนจิรา รุธิโรโก, จุฑาธิป อยู่เย็น, ศรีนคร สุกสอาด และกมลพร จุดจ้องสิน “การจัดการน้ำเสียเชิงบูรณาการในตลาดน้ำอโยธยา” (ผู้ร่วมงานวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2553

International Journal

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W., Wittaya Teppaitoon and La-eid Pengsopa. 2004. “Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO₂ and a Supercritical CO₂ -Methanol Mixture” *Journal of Supercritical fluids*. 30: 287-301.

(ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W. 2001. “Supercritical CO₂ Extraction of Nimbin from Neem Seeds-an Experimental Study” *Journal of Food Engineering*. 47: 289-293. (ผู้วิจัย)

International & Regional Conference

Tonthubthimthong, P., Ajcharyapagorn, A., Douglas, S., Douglas, P. L. and Pongamphai, S. 2005. "Simulation of Nimbin Extraction by Using Aspen Plus" the 88th Canadian Chemistry Conference and Exhibition. May 28-June 1. Saskatoon Centennial Convention Centre Saskatoon Saskatchewan Canada. (ผู้ร่วมวิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chinadit, M., Boonpong, S., Supanya, C., Tanuwong, S. and Tanakulrungsank, W. 2005. "Cultivate Flowerpot Production from Agricultural Waste Materials", The 3rd EMSES International Symposium Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium. April 6-9. Lotus Hotel Pang Suan Kaew Chiangmai Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon, W. and Pengsopa, L. 2002. "Nimbin Extraction from Neem Seed using Supercritical CO₂ and a Supercritical CO₂ – Methanol Mixture" International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering. December 11 – 13. AIT Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon W. and Pengsopa, L. 2001. "Effect of Particle Size, Methanol:CO₂ Ratio and Temperature on Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO₂" Canadian Society for Chemical Engineering 2001 Conference. October 17. Halifax Nova Scotia Canada. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S. and Luewisuttichat, W. 1999. "Extraction of Medicinal Substances from Neem Seeds using Supercritical Fluid Extraction-A Preliminary Study" Regional Symposium on Chemical Engineering 1999. November 22-24. B.P. Smilar Beach Hotel Songkla Thailand. (ผู้วิจัย)

Local Conference

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง นันทวัน กลิ่นจำปาและอนุพันธ์ ดอนชัย. 2552. "การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 3 "การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์". 24-26 พฤศจิกายน 2553. ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. 2552. “การพัฒนการผลิตน้ำอบไทย” การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 4. “ทรัพยากรไทย : ผันสู่วิถีใหม่ในฐานไทย”. 20-22 ตุลาคม 2552. สวนสัตว์เปิดเขาเขียว ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา. จังหวัดชลบุรี. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง นันทวัน กลิ่นจำปาและไชยยันต์ ไชยยะ. 2552. “การดูดซับควันเครื่องร่ำด้วยถ่านกัมมันต์” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยที่เน้นการปฏิบัติจริง จากมหาวิทยาลัยสู่สังคม”. 23-28 สิงหาคม 2552. โรงแรมฮอลิเดย์ อินน์ จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. 2551. “การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1 “ถ่ายทอดงานวิจัยสู่สังคม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน”. 27-29 สิงหาคม. โรงแรมธรรมรินทร์ธนา จังหวัดตรัง.(ผู้วิจัย)

เจษฎา มณีพงษ์สวัสดิ์, สุชาติ วาสิกบุตร, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. 2550. “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึ่ง, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์,

ธิดารัตน์ มานิตย์ และอุษาวดี ไ้มั่ง. 2548. “การผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21. 28-30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่

ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้วิจัย)

ชัชวาลย์ สุขมัน, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, กฤษณ์ หวังเจริญกุลชัย และ คมเดช

งามสมจิตร. 2548. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์สละแทน” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21. 28-30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้ร่วมวิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, จุฑาลักษณ์ จีระรัตนกุล และ ประทุมรัตน์ แสนพล. 2547. “การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการดัดแปรแป้งด้วยสารโซเดียมไดโพลีฟอสเฟต” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20. 11-13 กุมภาพันธ์. โรงแรมอมรินทร์ ลาภูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และละเอียด เพ็งโสภา. 2546. “การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดและคาร์บอนไดออกไซด์-เมทานอลวิกฤตยิ่งยวด” การประชุมวิชาการและงานแสดงผลผลิตงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ครั้งที่ 29. 20-22 ตุลาคม. ศูนย์ประชุมเอนกประสงค์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และ ละเอียด เพ็งโสภา. 2545. “การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด : ผลของขนาดอนุภาค, อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. 8-9 พฤศจิกายน. โรงแรมโซล ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ และ วิไล ลือวิสุทธิชาติ. 2543. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10. 26-28 ตุลาคม. ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา “การผลิตรูปหอมจากสารธรรมชาติเพื่อศึกษาสารก่อมะเร็งในควันธูป ” (หัวหน้าโครงการ)ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2554 ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณ 70 %

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา “การพัฒนาชุดอุปกรณ์ร้าววันเครื่องร้าวในการผลิตน้ำอบไทย ” (ผู้ร่วมงานวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณรายได้ ปี 2554 ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณ 80 %

ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง และชนิษฐา เจริญลาภ “การมีส่วนร่วมระหว่างชุมชนและโรงเรียนในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ ” (ผู้ร่วมงานวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณ 20 %