



## รายงานวิจัย

การกำจัดสีย้อมโดยสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของเปลือกกล้วยหิน

Decolorization of Textile Dye by Extracts from

Banana Peels (Musa; ABB group)

โดย

นิสาพร มุหะมัด

ผศ.สมภาพ เกาทอง

อุบล ต้นสม

ปิยศิริ สุนทรนนท์

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

## บทคัดย่อ

กล้วยหินเป็นพืชท้องถิ่นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ เนื่องจากสามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิด ส่งผลให้มีเปลือกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมาก ในเปลือกกล้วยหินมีสารต่างๆ ที่มีประโยชน์มากมาย งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาสารต่างๆ คือ ปริมาณโปรตีน เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และสารประกอบฟีนอลิก ที่มีอยู่ในส่วนของเปลือกนอกและเยื่อในของเปลือกกล้วยหิน โดยวิธีสกัดที่ดีที่สุดที่ให้ปริมาณของสารต่างๆ ได้ดีที่สุดคือ สารสกัด (extraction buffer) 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่มี pH 6.5 ที่มี 3 % PVPP และ 0.25 % TritonX-100 ในอัตราส่วน 1:1 (extraction buffer : น้ำหนักของตัวอย่าง) นอกจากนี้ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส บริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยหินยังสามารถกำจัดสี Methylene blue ได้ประมาณร้อยละ 92 ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง

**คำสำคัญ:** เปลือกกล้วย โปรตีน เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส สารประกอบฟีนอลิก

## Abstract

Banana is a popular plant, grown widely in local community of the three southern border provinces. The peels of banana can be applied to various types, which is a lot of banana peel found as waste. The components in the banana peel are known to be useful. In this study, the optimum extraction buffer are 0.2M phosphate buffer pH 6.5 with 3 % PVPP and 0.25 % TritonX-100 in the ratio of 1:1 (extraction buffer: g fresh weight) for highest protein, polyphenoloxidase, peroxidase activity and phenolic compounds in peel and pulp. Moreover, enzyme polyphenoloxidase and enzyme peroxidase in banana peel and pulp could decolorize methylene blue about 92 % in 12 hours.

**Keyword:** Banana peel, Protein, Polyphenoloxidase, Peroxidase, Phenolic compound.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.สมภพ เกาทอง อาจารย์อุบล ต้นสม และอาจารย์ปิยศิริ สุนทรนนท์ ผู้ร่วมวิจัย ที่กรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ เสียสละเวลาให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ คุณนิภาพร สุวรรณโรจน์ และ คุณสุนีย์ แวมะ นักวิทยาศาสตร์สาขาเคมี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก อนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัยเป็นอย่างดีตลอด

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนใต้ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณกำลังใจอันยิ่งใหญ่ของคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ได้กล่าวนามซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญในการทำวิจัยตลอดมาจนสำเร็จ

ดร.นิสาพร มุหะมัด

ผู้วิจัย

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 สีย้อม	4
2.2 เทคโนโลยีการกำจัดสี	10
2.3 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	18
2.4 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	19
2.5 สารประกอบฟีนอลิก	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย	26
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	29
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	
4.1 ผลของการหาสารสกัดในสภาวะที่เหมาะสม	33
4.2 ผลการศึกษาความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	36
4.3 ผลการศึกษาความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	37
4.4 ผลการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	38

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5 ศึกษาการกำจัดสีย้อม (dye decolorization)	39
<b>บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 ผลการศึกษาสมบัติองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหิน	43
5.2 ผลการศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินต่อการกำจัดสีของสีย้อมต่างๆ	44
5.3 ข้อเสนอแนะ	45
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>46</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>55</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ	34
2	แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วยวิธีต่างๆ	35
3	ความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	36
4	ความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	37
5	การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	38
6	ร้อยละการกำจัดสีของ Methylene blue ด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	40
7	ร้อยละการกำจัดสีของ Methylene blue ด้วยเอนไซม์เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	41

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของสีเอซิด	6
2	โครงสร้างทางเคมีของสีคองโกเรด ซึ่งเป็นสีไดเร็กต์สังเคราะห์ตัวแรก	6
3	โครงสร้างทางเคมีของสีเบสิกเรด 46	7
4	โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพอร์ส ประเภทโมโนแอสโซ	7
5	โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ แบลค 5	8
6	โครงสร้างทางเคมีของสีอะโซอิก	8
7	โครงสร้างทางเคมีของสีอินดิโก	9
8	โครงสร้างทางเคมีของสีมอดแนนท์เรด 11	9
9	โครงสร้างทางเคมีของสี Alcain yellow	9
10	โครงสร้างทางเคมีของสีออกซิเดชั่น	10
11	โครงสร้างทางเคมีของสี sulfur black 1	10
12	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาลจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส โดยมีไทโรซีนเป็นสับสเตรต	19
13	แสดงการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	20
14	แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสารประกอบพีนอลิก	21
15	แสดงเปลือกกล้วยหีน โดยที่ ก) บริเวณเยื่อใน ข) บริเวณเปลือกนอก 29	
16	แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ	34
17	แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วยวิธีต่างๆ	35
18	แสดงปริมาณความว่องไวของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	37
19	แสดงปริมาณความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	38

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	39
21	ร้อยละการกำจัดสีย้อม Methylene blue ด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส บริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	40
22	ร้อยละการกำจัดสีย้อม Methylene blue ด้วยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ	42



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาน้ำเสียในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นปัญหาใหญ่ที่กำลังหาทางแก้ไขปัญหายู่ ซึ่งปัญหาน้ำเสียส่วนใหญ่ นั้นได้รับผลกระทบจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ระบายน้ำเสียลงสู่น้ำลำคลองทำให้เกิดสิ่งสกปรกขึ้น โดยเฉพาะสีย้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมฟอกสี อุตสาหกรรมพลาสติกและอื่นๆ ถ้าหากไม่มีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เหล่านี้จะมีสีย้อมปนเปื้อนอยู่ ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมธรรมชาติ เนื่องจาก สีย้อมสังเคราะห์นั้นละลายน้ำได้ดีและสามารถดูดซับกับเส้นใยได้ดีกว่าสีย้อมธรรมชาติ รวมทั้งหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก ส่งผลให้สีย้อมสังเคราะห์ได้รับความนิยมนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ (Zoolinger, 1987) ในระหว่างการผลิต สีย้อมเหล่านี้สามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำเสียของโรงงานได้ตั้งแต่ร้อยละ 2-50 อันนำไปสู่การปนเปื้อนของสีย้อมสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินบริเวณรอบๆ โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสีย้อมนี้เป็นสีที่มีความคงทนต่อจุลินทรีย์จึงทำให้ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทั่วไปได้ (O'Neill *et al.*, 1999) นอกจากนี้สีที่ปนเปื้อนลงไปในแหล่งน้ำยังมีผลต่อการบำบัดน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ อันจะมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศโดยตรง (ประรัชกรณ์, 2545)

โดยทั่วไป สีย้อมเป็นสารที่จัดได้ว่ามีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่ามีอัตราการตายหรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือทาง จมูกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหาร โดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน แต่เป็นที่ทราบกันดีว่า สารวัตถุพิษที่ใช้ในการสังเคราะห์สีย้อมมีจำนวนไม่น้อยที่มีความเป็นพิษสูงมากและมีหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-naphthylamine และ benzidine ผลกระทบของสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อมหรือสมบัติด้านมลพิษของสีย้อมนั้น พบว่า สีย้อมเป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่ความเป็นพิษต่อปลาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของสีย้อมในน้ำทิ้งในปัจจุบันมิได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำทิ้ง เนื่องจาก สีย้อม

เป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้น แม้มีสียอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (กันทรีย์, 2547)

จากคุณสมบัติของสีย้อมสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้สีเหล่านี้มีความคงตัวสูง ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตสีย้อมไม่สามารถที่จะกำจัดออกได้โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป (Pagga and Brown, 1986) จากการศึกษาของ Umbuzeiro *et al.* (2005) แสดงให้เห็นว่า สีย้อมสังเคราะห์ที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน สีย้อมปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีผลต่อการผ่านของแสงและการแพร่ของออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัจจุบันมีการศึกษาทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการย่อยสลายสารสีต่างๆทั้งวิธีการทางกายภาพ ทางเคมีและชีวภาพ แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีปัญหาในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมส่วนใหญ่นิยมใช้การบำบัดทางเคมี (Reife and Freeman, 1996) ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางเคมีจึงเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการทางเคมีต้องใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายสูงเพราะต้องซื้อสารเคมีในการบำบัดจำนวนมาก รวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี เช่น การเติมคลอรีน ยังทำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษ (Sarasa *et al.*, 1998) จึงทำให้วิธีการบำบัดน้ำเสียทางเคมีจึงเป็นวิธีการที่ไม่คุ้มต่อการบำบัดน้ำเสีย เพราะมีค่าใช้จ่ายที่สูงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและอาจเกิดสารที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสีย้อมด้วยวิธีการทางชีวภาพ ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพนั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถที่จะย่อยสลายสีย้อมและยังมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าวิธีการทางเคมี

เนื่องจากใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้มีการทำผลิตภัณฑ์จากกล้วยหินเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น กล้วยต้ม กล้วยทอด กล้วยฉาบ และกล้วยเชื่อม เป็นต้น ส่งผลให้มีเปลือกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมาก นอกเหนือจากการนำไปใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์แล้ว ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้เพราะในเปลือกกล้วยมีแทนนินเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมฟอกหนัง ทำหมึกพิมพ์ สีย้อมผ้า หรือยา เป็นต้น จากการวิจัยที่ผ่านมาของ Wuyts *et al.* (2006) พบว่า ในเปลือกกล้วยมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol

oxidase) และ เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นจำนวนมากซึ่งสารนี้มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งนิยมนำไปเพิ่มสีสำหรับชา และยังเป็นสารในกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของพืช ภายหลังจากได้รับเชื้อได้อีกด้วย (Muhamad *et al.*, 2012) และ จากการวิจัยของ Chanwun *et al.* (2013) ซึ่งทำการศึกษา เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จากยางพาราและทำการทดสอบความสามารถในการกำจัดสีในกลุ่มอะโซไดดี และยังมีคุณสมบัติสามารถย่อยสลายสีย้อมในกลุ่มอื่นๆ หรือแม้กระทั่งโลหะหนักที่มีอยู่ตามแหล่งน้ำได้อีกด้วย จากการใช้เอนไซม์จากสารสกัดจากธรรมชาติถือได้ว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้ในการกำจัดสีย้อมบางประเภทได้ เพราะเอนไซม์เป็นโปรตีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับสีย้อมแล้วทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไป จึงทำให้สีย้อมนั้นจางลง เอนไซม์ที่สนใจนี้จะสกัดจากเปลือกกล้วยหิน เนื่องจากกล้วยหินนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีอยู่มากและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นของสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ นอกจากนี้จะเป็นการประยุกต์ผลผลิตทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์แล้ว ยังเป็นการลดการใช้สารเคมีในการกำจัดสีย้อมอีกด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสารสกัดที่มีอยู่ในเปลือกกล้วยหินที่เหลือใช้เหล่านี้เพื่อเป็นการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูแหล่งน้ำใกล้บริเวณโรงงานสิ่งต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหิน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินต่อการกำจัดสีของสีย้อมต่างๆ
- 1.2.3 เพื่อนำเปลือกกล้วยหินที่เหลือใช้ในชุมชนมาทำให้เกิดประโยชน์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินที่เหลือใช้จากร้านขายกล้วยทอด ใน จ.ยะลา โดยสกัดสารด้วยวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้สารสกัดที่ดีที่สุด พร้อมทั้งหาปริมาณโปรตีน ปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ปริมาณเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พร้อมทั้งนำสารสกัดที่ได้มาศึกษาการกำจัดสีของสีย้อมจากอุตสาหกรรมย้อมผ้าบาติกใน จ.ยะลา

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสารตัวอย่างที่ต้องการ
- 1.4.2 ได้องค์ความรู้มาใช้ในการกำจัดน้ำเสียจากสีย้อมจากแหล่งน้ำต่างๆ ได้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สีย้อม

คือ สารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม หรือถ่านหินเมื่อน้ำมันปิโตรเลียม หรือถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซิน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมา มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ จะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อม มีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกัน ในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (substantivity) แล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ การเกิดสีของสีย้อม

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจาก การเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกกันว่า “โครโมฟอร์” ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) กลุ่มไนโตร (Nitro Group) กลุ่มอะโซ (Azo Group) กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen Group) และกลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีแตกต่างกันไป

ประเภทของสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม (Types of color in industrial waste water) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1) สีแท้หรือสีจริง (True color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่างๆ ในน้ำ และละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ โดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิก และฟัลวิก (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต และผลผลิตจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถย่อยสลายและแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จึงทำได้ยาก (George *et al.*, 2003; กัณธรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547; สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) และ 2) สีปรากฏ (Apparent

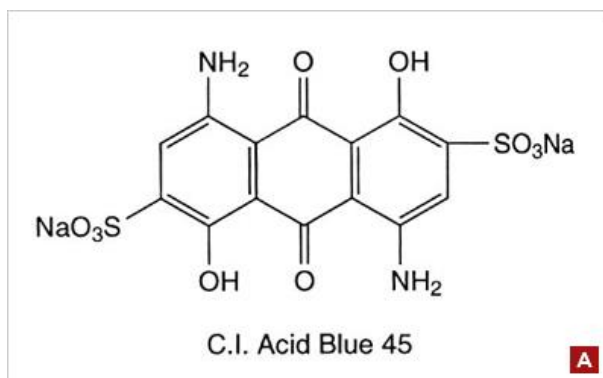
color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสงปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืชซากสัตว์ ตะกอนของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรอง หรือการตกตะกอน (George *et al.*, 2003; กัญชรัยศรีพงศ์พันธุ์, 2547)

สำหรับสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีทั้งสีแท้และสีปรากฏ โดยสีแท้มักเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มและอบไม้ยางพารา ส่วนสีปรากฏเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำจาก 2 กรณี คือ สีของน้ำเสียเองเนื่องจากการปนเปื้อนมาแต่แรกในน้ำเสีย เช่น สีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า ฟอกย้อมเยื่อกระดาษ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นเป็นสีปรากฏจากสารเคมี ในกระบวนการผลิตรวมทั้งลิกนินและแทนนิน (มงคล ดำรงค์ศรี และต่อพงศ์ กริธาชาติ, 2546; วราภรณ์ อภิวัฒนาภิวัด และคณะ, 2550) โดยอาจแบ่งประเภทตามการแตกตัวให้ประจุ เส้นใยที่ใช้ย้อม หมูช่วยละลายรวมทั้งโครงสร้างทางเคมีของสี นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียหลังจากการเก็บกัก หรือหลังจากผ่านการบำบัด เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง (Oxidation pond) ที่อาศัยสาหร่ายให้ออกซิเจน แต่สาหร่ายทำให้น้ำมีสีเขียว เป็นต้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

### 2.1.1 การจำแนกสีย้อม

การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้ เพราะจะต้องมีความคงทนการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน โดยกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท คือ 1. สีเอซิด 2. สีไดเร็กต์ 3. สีเบสิก 4. สีดิสเพอร์ส 5. สีรีแอทีฟ 6. สีอะโซอิก 7. สีแว็ต 8. สีเมอร์แดนท์ 9. สีอินเกรน 10. สีออกซิเดชั่น และ 11. สีซัลเฟอร์ โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัสดุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันไป

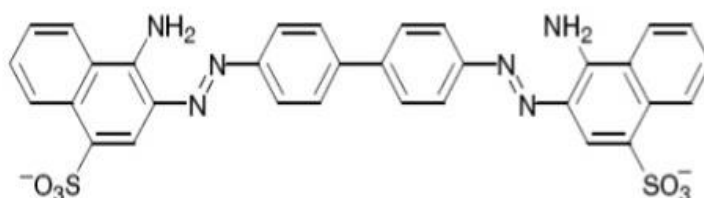
1) สีเอซิด (acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน โยขนแกะ ไหมและอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซักไม่ทนเหงื่อ



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสีเอซิด

(ที่มา <http://www.dharmatrading.com/home/did-you-know-how-acid-dye-works.html>)

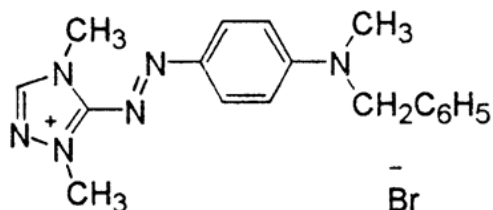
2) สีไดเร็กต์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ดี มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสีคองโกเรด ซึ่งเป็นสีไดเร็กต์สังเคราะห์ตัวแรก

(ที่มา [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net))

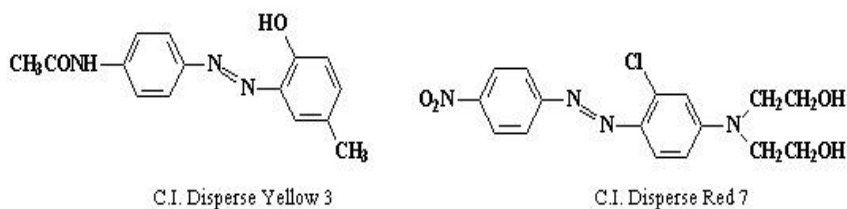
3) สีเบสิก (basic cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและแสง



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของสีเบสิกเรด 46

(ที่มา <http://www.pburch.net/dyeing/dyeblog/C1307213733/E20140617104108/index.html>)

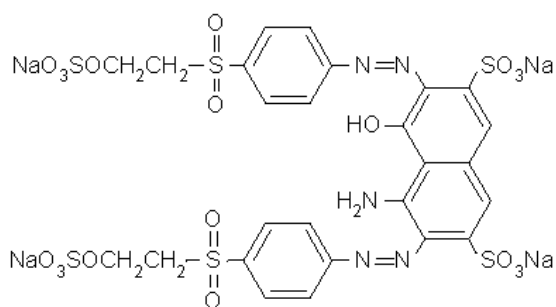
4) สีดิสเพอร์ส (disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพาเพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดิสเพอร์ส แบ่งออกเป็นได้ 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากหมู่เคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (azo dyes) และสีย้อม แอมโนแอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (ethanolamine;  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพอร์ส ประเภทโมโนอะโซ

(ที่มา [www.chemtrack.org](http://www.chemtrack.org))

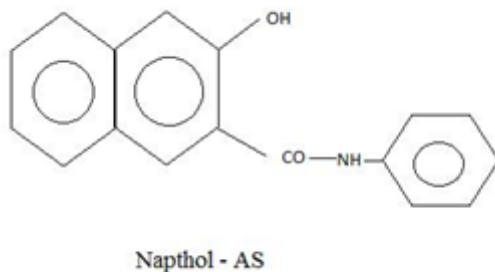
5) สีรีแอคทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุดโมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลสสีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ แบลค 5

(ที่มา <http://www.pburch.net/dyeing/remazol.shtml>)

6) สีอะโซอิก (azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

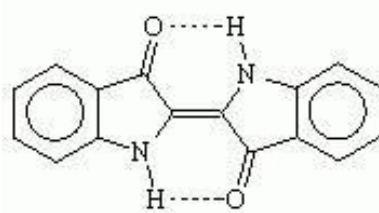


ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสีอะโซอิก

(ที่มา <http://textileapex.blogspot.com/2014/01/azo-dye.html>)

7) สีแวลต์ (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้ สีแวลต์ละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแวลต์จะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแวลต์ สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (antraquinoid)

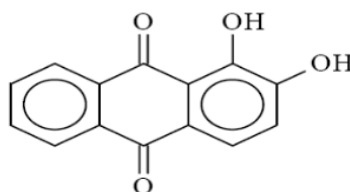




ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสีอินดิโก

(ที่มา <http://www.denimsandjeans.com/denim/manufacturing-process/dyes-used-for-denim-dyeing-a-description/>)

8) สีมอร์แดนต์ หรือโครม (mordant or chrome dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้ คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดนต์ เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนต์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี

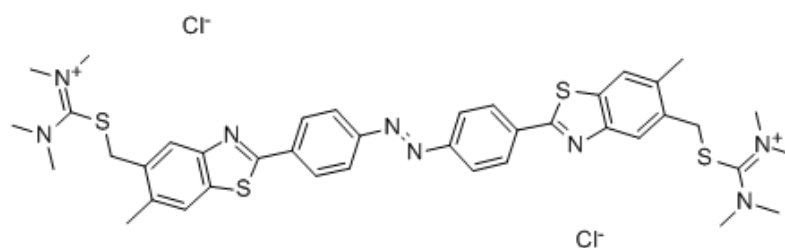


Mordant Red 11

ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของสีมอร์แดนต์เรด 11

(ที่มา <http://textilelearner.blogspot.com/2015/01/different-types-of-dyes-with-chemical.html>)

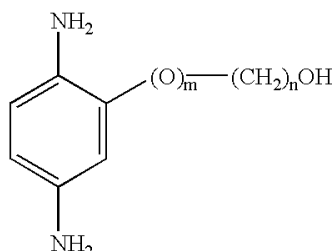
9) สีอินเกรน (ingrain dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมผ้า



ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของสี Alcain yellow

(ที่มา [http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB0163624.htm](http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB0163624.htm))

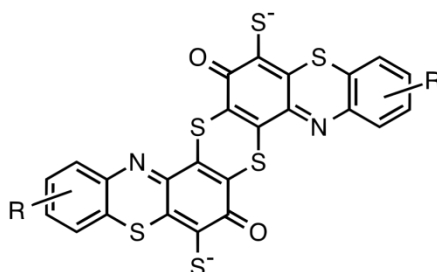
10) สีย้อมออกซิเดชัน (oxidation dye) เป็นสีที่มีละลายน้ำโดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมผ้าและขนสัตว์



ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมออกซิเดชัน

(ที่มา <https://www.google.com.tr/patents/US6554870>)

11) สีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีย้อมซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีย้อมซัลเฟอร์มาย้อมผ้า สีจะติดทนและยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก



ภาพที่ 11 โครงสร้างทางเคมีของสี sulfur black 1

(ที่มา [https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur\\_dye](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_dye))

## 2.2 เทคโนโลยีการกำจัดสี (จากบทความวิจัยของ วนิดา ชูอักษร, 2555)

### 2.2.1 เทคโนโลยีทางกายภาพ (Physical technology)

2.2.1.1 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงและมีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลวหรือก๊าซเอาไว้ได้ในปริมาณสูง เนื่องจากมีรูขนาดเล็ก (Microporosity) (Duygu and Van, 2010) ทำให้

สามารถกำจัดสีแท้และสีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำวัตถุดิบพวกสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านหิน ปีโตรเลียม กะลามะพร้าว เปลือกถั่วเมล็ดแข็ง กากขานอ้อย ชี้เลื่อย กระดูกสัตว์ เป็นต้น นำมาเผาด้วยความร้อนในเตาอบอากาศ และเผาแรงที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดความพรุน (Porosity) แล้วอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิประมาณ 200-1,600 องศาเซลเซียส (Roop and Meenakshi, 2005) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุดความพรุนมีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสต่อมวล (Surface area per mass ratio) ระหว่าง 500-1,600 ตารางเมตรต่อกรัม (ไพศาล วีรกิจ, 2549) จากนั้นนำไปบดเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-2.00 มิลลิเมตร เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powered activated carbon) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-50 ไมครอน ในการกำจัดสีนิยมใช้ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด โดยบรรจุในถังรูปทรงกระบอก (Fixed bed system) แล้วปล่อยให้ น้ำเสียไหลผ่านชั้นถ่านด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสม คือ ระหว่าง 5-25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงต่อหนึ่งตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดถัง และมีระยะเวลาสัมผัส (Contact time) ประมาณ 10-15 นาที (อุตร จารุรัตน์ และคณะ, 2542) ซึ่งจะเกิดกลไกการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ โดยโครงสร้างมีความพรุนสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสโมเลกุลภายในจะถูกกระทำด้วยแรงต่างๆ กันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่อยู่บนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์จะถูกกระทำด้วยแรงที่ไม่สมดุล ซึ่งแรงนี้สามารถทำให้สมดุลได้โดยทำให้โมเลกุลอื่นมาเกาะติดที่ผิวสัมผัสด้วยแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอวาล์ว (Van der wals force) โมเลกุลของสารละลายจะถูกยึดไว้ ในสถานะที่ความเป็นกรดต่างต่ำจะดูดซับได้ดี เนื่องจากถ่านกัมมันต์จะมีสภาพเป็นประจุบวก อันเนื่องมาจากดูดซับประจุบวกของไฮโดรเจนไว้ ในขณะที่เดียวกันสารคอลลอยด์และสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีมีประจุลบ แรงดึงดูดระหว่างกันจึงมีมาก แต่การเกาะยึดกันเป็นแรงอ่อนๆ ดังนั้นสามารถเกิดการเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ทำให้การฟื้นตัวของตัวดูดติดผิวทำได้ง่าย แต่มักเกิดปัญหาสารแขวนลอยติดค้างอุดตันผิวหน้าของชั้นถ่านจนทำให้อัตราการไหลผ่านลดลง สามารถแก้ไขได้โดยการอัดน้ำล้างเข้าทางด้านล่าง (Backwashing) เมื่อรูพรุนของเม็ดถ่านถูกอุดตัน

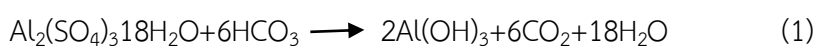
2.2.1.2 การกรองด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น สามารถแบ่งได้ 3 วิธี คือ ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) อัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration) และ นาโนฟิวเตรชัน (Nanofiltration) แต่วิธีอัลตราฟิวเตรชันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีขนาดรูเปิดของเยื่อกรองใหญ่ ไม่สามารถกรองอนุภาคของสีออกจากน้ำเสียได้ (กัลยา ศรีสุวรรณ, 2547; ศุภลักษณ์ อรรณพ, 2552) ส่วนวิธีออสโมซิสย้อนกลับเหมาะสำหรับการกำจัดสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้แก่ สีแท้

เป็นการกรองแยกน้ำออกจากของแข็งแขวนลอย หรือของแข็งที่ละลายน้ำ โดยผ่านรูพรุนขนาดเล็ก และใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนให้น้ำไหลผ่านตัวกรองเป็นกระบวนการที่ต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือ เยื่อออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล ซึ่งด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรกทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพการดูดซับสามารถฟื้นฟูสภาพโดยการเผาในเตาอับออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และผ่านไอน้ำเพื่อเร่งคุณสมบัติของถ่าน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยเยื่อแผ่นแรกสามารถกำจัดสีปรากฏซึ่งมาจากโรงฟอกย้อมได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สองและสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 94 (ชนกฤต พหมทอง, 2552) สำหรับกระบวนการกำจัดสีโดยใช้แผ่นกรองนาโนใช้หลักการเหมือนออสโมซิสผันกลับ แต่การกรองผ่านแผ่นนาโนมีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจากมีรูขนาดเล็กกว่า ทำให้แยกสีออกจากน้ำได้ดีกว่าโดยสามารถแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกจากสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น สารอินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ กรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งขนาดของแผ่นกรองส่วนใหญ่เป็นแบบเชิงประกอบที่มีรูพรุนประมาณ 1.5-2.5 นาโนเมตรและมีช่วงความดันที่ใช้ประมาณ 10-34 บาร์ (Van *et al.*, 1995; Yacubowicz, 2005) เยื่อแผ่นนาโนสามารถกำจัดสีย้อมที่ความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียสได้มากกว่าร้อยละ 97 และจะลดลงเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ปิยนุช เหลืองโสรวรรณ, 2544) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการกรองผ่านด้วยแผ่นนาโน ได้แก่ อัตราการไหลและลักษณะการไหล ความดัน ความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ (ภัทร ศักดิ์เพชร, 2549)

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการกำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมโดยการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้แผ่นกรองร่วมกับไฟฟ้ากระแสตรงแยกสารประจุบวกและประจุลบออกจากน้ำ โดยมีแผ่นกรองที่มีประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ติดตั้งวางสลับกันเป็นชั้นๆ จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าไปในช่องระหว่างแผ่นกรอง และขณะเดียวกันก็มีการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแผ่นกรอง โดยแผ่นกรองประจุบวกยอมให้ประจุบวกไหลผ่านไปพร้อมกับน้ำส่วนหนึ่ง และแผ่นกรองประจุลบยอมให้สารประจุลบไหลผ่าน โดยน้ำที่มีประจุบวกและประจุลบรวมกันแล้วไหลทิ้งออกไป แต่มักเกิดปัญหาตะกอนเกาะติดแผ่นกรองทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก และต้องล้างทำความสะอาดบ่อยครั้งจึงไม่ได้รับความนิยม (ไพศาล วีรกิจ, 2549)

## 2.2.2 เทคโนโลยีการกำจัดสีทางเคมี (Chemical Technology)

2.2.2.1 การสร้างรวมตะกอน (Coagulation-flocculation) การรวมตะกอนด้วยสารเคมีเป็นกระบวนการกำจัดสีแท้และสีปรากฏในน้ำเสียโดยใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรดต่างสารที่นิยมใช้เป็นสารเคมีสร้างตะกอน (Coagulant) คือ สารส้ม (Aluminium Sulfate; Alum) ปูนขาว (CaO) และเหล็กในรูปแบบเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) หรือเฟอร์รัสคลอไรด์ (FeCl<sub>2</sub>) โดยถ้าโมเลกุลของสีมีขนาดเล็ก ละลายน้ำได้ดี การเกิดตะกอนของสีจะไม่สามารถทำได้ แต่ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของการรวมตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) (ชนกฤต พรหมทอง, 2552) การกำจัดสีโดยการสร้างและรวมตะกอนเป็นการทำให้ตะกอนหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอน เนื่องจากอนุภาคของสารแขวนลอยมีประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออนุภาคเหล่านั้นมาพบกันก็จะผลักรันไม่สามารถรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงทำลายประจุของอนุภาคหรือทำให้อนุภาคเป็นกลางโดยการเติมสารเคมีสร้างตะกอนเรียกว่า กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) หลังจากนั้นเกิดกระบวนการรวมกัน (Flocculation) ได้มากขึ้นโดยการเติมสารเคมีรวมตะกอน (Flocculants) ลงไปช่วยยึดหรือจับให้กลุ่มตะกอนที่รวมตัวกันเข้ามาจับเป็นกลุ่มตะกอนใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) เมื่อตะกอนกลุ่มใหญ่ขึ้นมีน้ำหนักมากขึ้นก็จะสามารถตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งสารส้มมีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นทั้งสารสร้างและรวมตะกอน ในขั้นแรกจะเติมปริมาณน้อยเพื่อให้ประจุบวกที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างตะกอน (Coagulant) ไปทำลายประจุลบ และเมื่อเติมสารส้มมากขึ้นจะเกิดเป็นตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)<sub>3</sub>) ซึ่งจะเป็นที่เกาะของอนุภาคต่างๆ ทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยสามารถละลายน้ำได้ดีถึง 71 ส่วนในน้ำ 100 ส่วน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อละลายน้ำจะทำปฏิกิริยาดังสมการที่ (1)



จากสมการที่ (1) อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเป็นเม็ดเหนียวๆ (คล้ายเม็ดแมงลักแต่เล็กกว่า) ไม่ละลายน้ำและจะตกตะกอนช้าๆ และระหว่างที่ตกตะกอนก็จะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ มาเกาะเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น จะมีประสิทธิภาพดีที่ความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.0-7.0 ถ้าน้ำมีค่าสภาพต่างต่ำเติมสารส้มมากทำให้สภาพต่างจะถูกทำลายหมด และจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลดลงจนเป็นกรด ดังนั้นในบางกรณีจำเป็นต้องมีการเติมต่างไปพร้อมกับสารส้มเพื่อชดเชย ซึ่งปริมาณสารส้มที่ต้อง

ใช้นั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับลักษณะของน้ำ จึงจำเป็นต้องหาปริมาณที่ถูกต้งด้วยวิธีทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) โดยการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วเริ่มการกวนเร็วไม่เกิน 1 นาที แล้วเปลี่ยนความเร็วใบพัดมากวนช้า ประมาณ 5-20 นาทีและหยุดให้เกิดการตกตะกอน (ไพศาล วีรกิจ, 2549) ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมี ทำให้มีกากตะกอน (Sludge) จำนวนมากต้องกำจัดต่อไป (Badawy & Ali, 2006) สำหรับปูนขาว (CaO) มีประสิทธิภาพไม่เท่าสารส้ม การใช้งานส่วนใหญ่มักจะเติมพร้อมกับสารส้ม เพื่อให้สารส้มตะตะกอนและปูนขาวปรับค่าความเป็นกรดต่างให้กับน้ำ ส่วนสารประกอบเหล็กในรูปต่างๆไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะมีราคาแพงกว่าสารส้ม และตะกอนของเหล็ก ( $Fe(OH)_3$ ) ที่เกิดขึ้นอาจจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารพิษ (ไพศาล วีรกิจ, 2549)

2.2.2.2 การออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี ใช้สารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดส์สารประกอบต่างๆ ในน้ำเสีย โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวออกซิแดนซ์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ สารเคมีเฟนตัน (Fenton's reagent) และโอโซน ( $O_3$ ) ดังนี้

1) กระบวนการเฟนตัน (Fenton process) เป็นการออกซิเดชันขั้นสูงโดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออนได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์สารอินทรีย์ (สุทธิณี นาควิทยา, 2551) ไอออนบวกของเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยอาศัยอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ( $OH\cdot$ ) ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาเป็นตัวกลางสำคัญ ซึ่งอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลมีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันสูง แสดงถึงความสามารถในการในการรับอิเล็กตรอนถ้าตัวออกซิไดส์ที่แรงจะรับอิเล็กตรอนได้ง่ายมาก (เกรียงศักดิ์ อุตมสินโรจน์, 2546) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จนเปลี่ยนเป็นรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Yang and James, 2006) และมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ (Ruey-Fang Yu *et al.*, 2009) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ได้แก่ ความเข้มข้นของไอออนเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่างและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ชนกฤต พรหมทอง, 2552)

2) กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone oxidation) เป็นการกำจัดสีด้วยโอโซน ทำให้พันธะของโมเลกุลที่ทำให้เกิดสี (Chromophores) แตกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กและสีหายไป โดยสามารถแยกสลายโมเลกุลของสีที่มีความยาวมากให้มีขนาดสั้นลง ทำให้สีของน้ำเสียลดลงซึ่งโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่รุนแรงมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสีในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการ

ละลายในน้ำของออกซิเจน สามารถกำจัดสีแท้จริง ทำลายโครงสร้างโมเลกุลแบบโครงสร้างแบบโซ่ของสารอินทรีย์ (Rice *et al.*, 1980) ความสามารถในการกำจัดสีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสกับโอโซนให้นานขึ้น และสีของน้ำลดลงมากที่สุดเมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าระบบเป็นเวลา 60 นาที ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนออกซิเดชันในการกำจัดสี โดยความเป็นกรดต่างเท่ากับ  $12.0 \pm 0.1$  เป็นสถานะที่สามารถกำจัดสีด้วยกระบวนการโอโซนออกซิเดชันได้ดีที่สุด (วรารณ อภิวัฒนาภิวัด และคณะ, 2550) ก๊าซโอโซนไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย จึงต้องผลิตขึ้นมาใช้ ณ สถานที่ใช้งานเลย หรือเป็นแบบติดอยู่กับที่ (Generated on-site) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซนคืออากาศหรือออกซิเจนโดยออกซิเจน 2 โมเลกุลจะผลิตก๊าซโอโซนได้ 1 โมเลกุล ดังสมการ (2) และ (3) การผลิตก๊าซโอโซนโดยอากาศด้วยเครื่องผลิตโอโซนจะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 0.5-3.0 ในขณะที่การผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซโอโซนประมาณร้อยละ 1.0 – 6.0 การผลิตโอโซนจะอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการเปลี่ยนออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีบางชนิดที่เป็นสารให้ออกซิเจน หรือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยป้อนออกซิเจนเข้าไปในห้องปฏิกิริยาที่มีขั้วประจุไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก แล้วทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจนเป็นอนุมูลออกซิเจนอิสระและไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งการผลิตที่เป็นที่นิยมก็คืออาศัยหลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการผลิต (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549; วรารณ กัลยาเลิศ, 2540)



โอโซนมีสถานะเป็นก๊าซที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ความสามารถในการละลายของโอโซนในน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันรวมทั้งค่าความเป็นกรดต่างเป็นสำคัญ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรอัตราการสลายตัวจึงเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิสูงขึ้น (วรารณ กัลยาเลิศ, 2540) อย่างไรก็ตามการใช้โอโซนอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กรณีที่ก๊าซโอโซนเป็นสารให้ออกซิเจนอย่างแรง (Strongly oxidizing agent) อาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ รวมทั้งอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดในน้ำ และเกิดสารบางชนิดขึ้นโดยสารเหล่านั้นเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic compounds หรือ Mutagenic compound) นอกจากนี้มีกระบวนการกำจัดสีแบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process) ซึ่งสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม โดยเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเกิดขึ้น

โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดออกซิเดชันไปยังสารที่เกิดรีดักชันผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม (Yasar *et al.*, 2007) ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสี ทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไป และสามารถดูดซับกับสารแขวนลอยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโทรดให้เกิดการตกตะกอนขึ้น (อมรภัก ชูทอง, 2551) กระบวนการไฟฟ้าเคมีมีกลไกการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ด้วยกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) และการลอยตัว (Floatation) ทำให้สามารถกำจัดสีออกจากน้ำเสียได้ (ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2547; อมรภัก ชูทอง, 2551; Inan *et al.*, 2004; Ugurlu *et al.*, 2008) ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาการตกตะกอน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยเมื่อใช้ระดับกระแสไฟฟ้าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาการตกตะกอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการลดสี

### 2.2.3 เทคโนโลยีทางชีวภาพ (Biological technology)

เทคโนโลยีทางกายภาพและเคมีเป็นการใช้สารเคมีในการกำจัดสีทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเกิดตะกอน ทั้งยังเป็นการเพิ่มสารเคมีเข้าสู่ระบบสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ (โสภภาพรรณ รัตนพันธุ์, 2547) มีการศึกษาการย่อยสลายโครงสร้างของสีย้อมกลุ่มอะโซ (ประกอบด้วยหมู่ -N=N- เกาะกับวงแอมโรแมติก) และแอนทราควิโนน (ประกอบด้วยหมู่ conjugated aromatics) โดยจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ ราและแบคทีเรียที่ย่อยบริเวณหมู่โครโมฟอร์และลดความเป็นพิษของสี (วีรานุช หลาง และคณะ, 2008) นอกจากนี้ Marco และคณะ (2006) ศึกษาการย่อยสีรีแอกทีฟกลุ่มไดอะโซโดยยีสต์ *Candida oleophila* ที่แยกได้จากน้ำทิ้งในโรงงานสกัดน้ำมันมะกอก พบว่าการย่อยเกิดได้ดีในช่วง การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในอัตราคงที่ (exponential growth phase) โดยการย่อยเกิดโดยเอนไซม์ที่มีความว่องไวคล้ายกับเอนไซม์อะโซรีดักเทส (azoreductase) ที่พบในแบคทีเรีย ซึ่งสามารถลดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมได้ เทคโนโลยีทางชีวภาพสามารถนำมากำจัดสีแท้และสีปรากฏจากจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม เยื่อกระดาษและอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 การดูดซับด้วยสาหร่าย (Algae absorption) สาหร่ายสามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมโดยการดูดซับสีเหล่านั้นภายใต้สภาวะที่มีแสงโดยเปลี่ยนโมเลกุลที่มีสีเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี (Dilek á F. B. *et al.*, 1999) ซึ่งสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*)



สามารถดูดซับสีเบสิคจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ โดยสมดุลของการดูดซับเป็นไปตามทั้งโมเดลของ Langumuir และ Freundlich (พิมล พันธุ์จันทา, 2549) นอกจากนี้สำหรับสีเขียวแถมน้ำเงิน และ กลุ่มสารสีเขียวมีประสิทธิภาพกำจัดสีของโรงงานผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ โดยมีปัจจัยด้านปริมาณความเข้มข้นของอาหาร ปริมาณ ความเข้มข้น ปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ตั้งต้น รวมทั้งค่าความเป็นกรดต่าง และเมื่อนำปฏิกิริยาเพนตันและโอโซนมาบำบัดร่วมกับการใช้สำหรับทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าสารทั้งสองสามารถกำจัดสีได้เพิ่มขึ้น (ชินจิต ชาญชิตปรีชา, 2542)

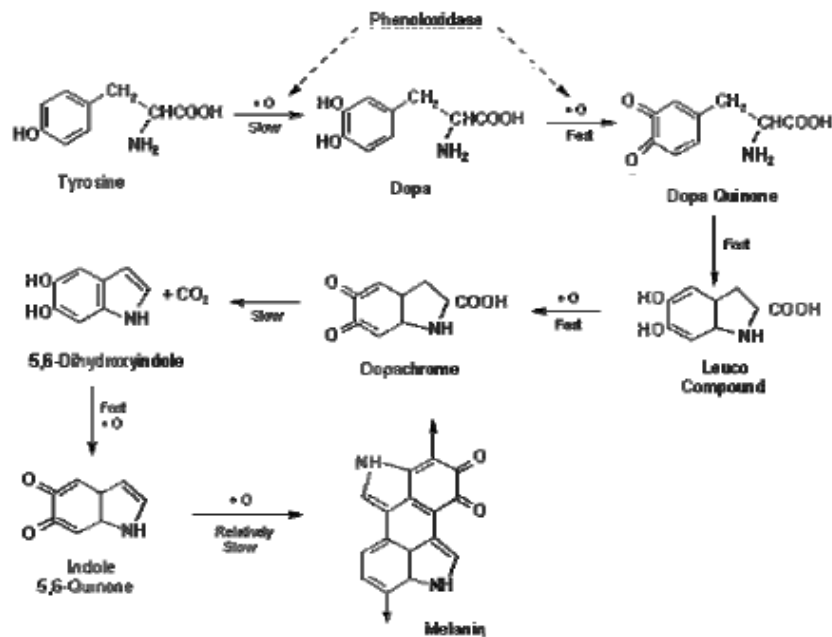
2.2.3.2 การย่อยสลายโดยเชื้อรา (Fungi decomposition) กระบวนการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยเชื้อราเป็นการสร้างเอนไซม์นอกเซลล์กลุ่มลิกนินโอไลติก (Ligninolytic enzyme) (Iimura Y. et al., 1996; Leontievsky A. et al., 2001) ย่อยสลายเนื้อไม้โดยเฉพาะเห็ดราในกลุ่มเชื้อราไวท์ร็อตหรือบราวร็อต (White or brown rot fungi) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนขอนไม้ โดยในเนื้อไม้มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ลิกนินเซลลูโลส ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษได้ (พิมพ์ชนก เต็งเจริญ, 2546; Yuzhu Fu and Viraraghavan T., 2001) นอกจากนี้เชื้อรา *Aspergillus fumigates* สามารถผลิตสารแลคเคส เพอร์แมกานีสและโซลานีสซึ่งมีประสิทธิภาพกำจัดสีโดยย่อยสลายลิกนินในช่วงความเป็นกรดต่าง 6.0-9.0 (Debendra K. Sahoo and Rimpay Gupta, 2005) นอกจากนี้ รา Isolate A19 ที่แยกได้จากเห็ดและรา Isolate B7 ที่แยกได้จากเห็ดและกิ่งไม้ผู้สามารถกำจัดสีและลิกนินของน้ำทิ้งในสถานะที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นอาหาร คาร์บอนและโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่ความเป็นกรดต่าง 5 รวมทั้งเชื้อราเส้นใยสีขาว *Datronia* sp. KAPI0039 สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสลายลิกนินแลคเคสและแมกนีสเปอร์-ออกซิเดส ซึ่งทำให้สีที่ฟองน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอลดลง (จิรวาท เจตน์จันทร์ และคณะ, 2552; อรชรีรา เพ็ชรช้อย และคณะ, 2552) การใช้ราในการกำจัดสีย้อมผ้าไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากมีข้อด้อยในด้านความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา รวมถึงการขนส่งจึงมีการทดลองนำราชนิด *Lentinus polychrous* Lev. ซึ่งอยู่ในรูปของเส้นใยแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบฟลูอิดไรซ์ (fluidized bed drying) กำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อม พบว่าสามารถกำจัดสีได้รวมทั้งการทำแห้งเป็นวิธีง่ายและสะดวก อีกทั้งสามารถประหยัดพลังงานทำให้มีต้นทุนต่ำ (ปัทมา พลอยสว่าง และภคมน จิตประเสริฐ, 2551) โดยปัจจัยที่มีผลต่อความว่องไวเอนไซม์และการเจริญเติบโตได้แก่ สารอาหาร คือ ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน และคาร์บอน อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง สารยับยั้ง จากกระบวนการ

แคทาไลซิสหรือไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ และอออนโลหะ ได้แก่ แมงกานีส (โสภาวรณ รัตนพันธุ์, 2546)

2.2.3.3 การย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (Bacteria decomposition) การย่อยสลายสียด้วยแบคทีเรียสามารถสียหลายประเภทโดย Walker และ Weatherley (2000) ศึกษาการดูดซับสีกลุ่มแอนทราควิโนนโดยเชื้อ *Bacillus gordonae*, *B. benzeovorans* และ *Ps. putida* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 13, 19 และ 18 ตามลำดับ และการย่อยสลายสีรีแอกทีฟ Red 2 พบว่า สามารถกำจัดได้ดีโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก แบคทีเรียที่มีความสำคัญในการกำจัดสี 3 สกุล คือ *Pseudomonas* sp., *Proteus* sp. และ *Klebsiella* sp. นอกจากนี้ วีรานูช หลาง และคณะ (2008) ศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Burkholderia glumae* ในการย่อยสลายสีรีแอกทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่ากระบวนการบำบัดแบบไม่เติมอากาศให้ผลเร่งการกำจัดสีได้ดีกว่าการบำบัดแบบเติมอากาศ โดยสามารถขจัดสีในน้ำทิ้งได้ร้อยละ 76 ในเวลา 7 วัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ รวมถึงความต้องการอากาศในการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและการย่อยสลายสี

## 2.3 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase: PPO)

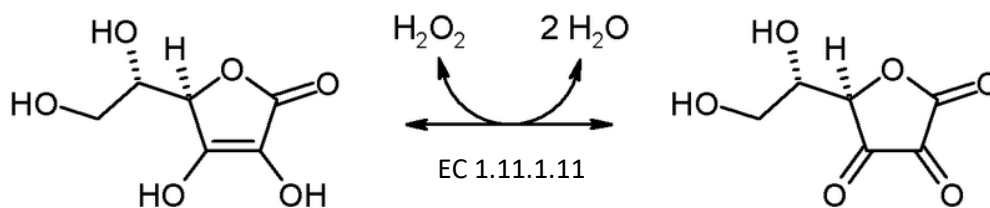
จัดเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีชื่อตามสับสเตรท เช่น tyrosinase, diphenoloxidase, catecholase, phenolase (Martinez and Whitaker, 1995) โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์มี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา hydroxylation ซึ่งเปลี่ยนสารประกอบ monophenols ไปเป็น *o*-diphenols (monophenolase และ cresolase activity) และปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเปลี่ยนสารประกอบ *o*-diphenols ไปเป็น *o*-quinones (diphenolase และ catecholase activity) ซึ่ง *o*-quinones เป็นสารประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ต่อไปเป็น melanins ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเข้มขึ้น



ภาพที่ 12 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาลจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยมีไทโรซีนเป็นสับสเตรต  
(ที่มา Marshall *et al.* (2000))

## 2.4 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase: POD)

เป็นเอนไซม์ที่มี heme เป็นองค์ประกอบโดยทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการที่ทำลายเนื้อเยื่อ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะทำงานเมื่อสารประกอบฟีนอลอยู่ในรูป single-electron oxidation และมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Cantos *et al.*, 2002) โดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีบทบาทในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพทางด้านกลิ่นรส สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา จากการศึกษาของ Bolanos และ Silva (2004) พบว่า เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะมีความไวสูงซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสีที่เพิ่มขึ้นในมันแกวในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 แสดงการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

(ที่มา [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ascorbate\\_peroxidase\\_reaction.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ascorbate_peroxidase_reaction.PNG))

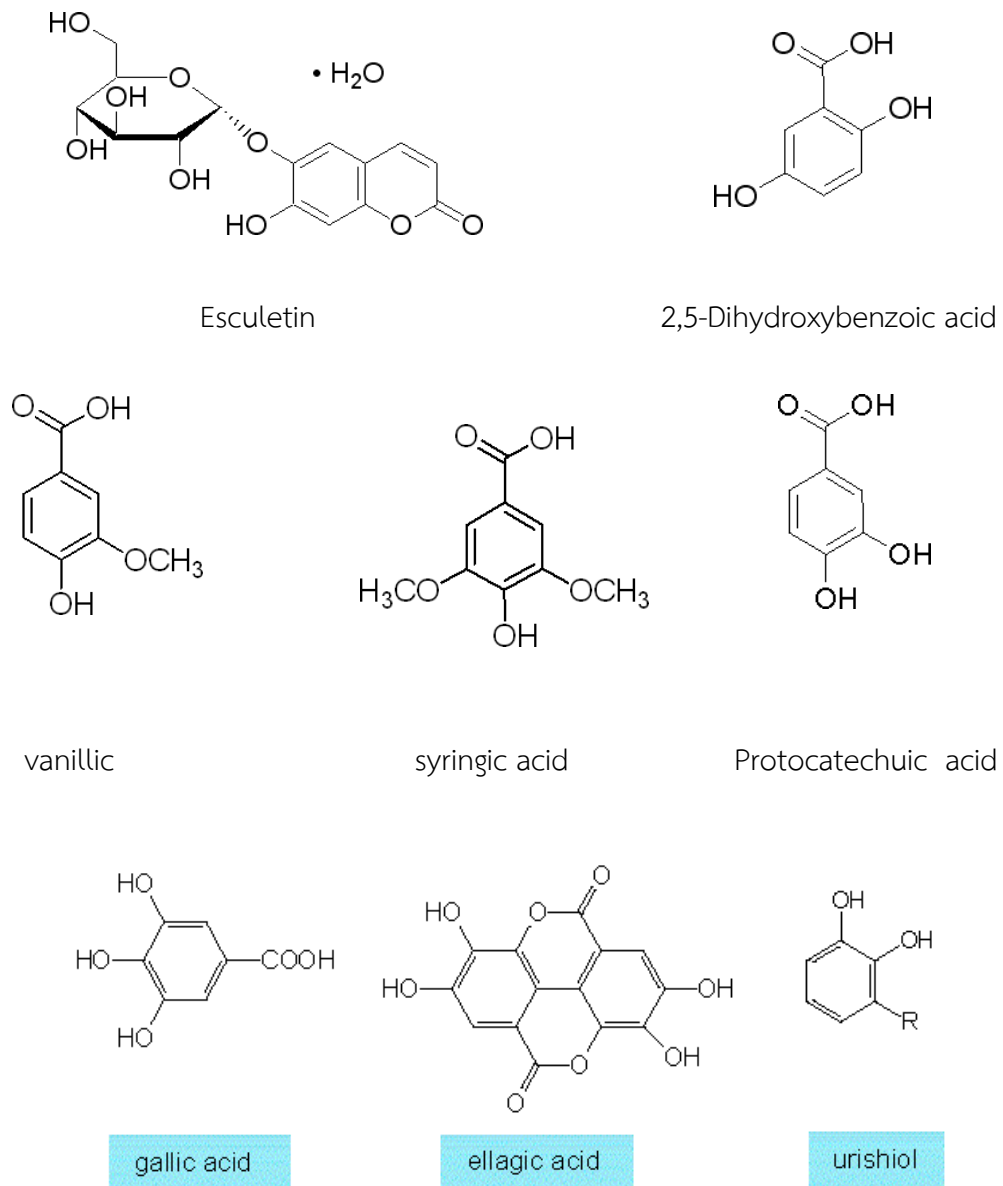
## 2.5 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นสารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ซึ่งมีอนุพันธ์หลายตัว เช่น เพนโทสฟอสเฟต (pentose phosphate) ชิคิเมท (shikimate) และ ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบสรีระ สันฐานวิทยา การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของพืช Lim และคณะ (2004) ยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิก มีความสำคัญต่อระบบการป้องกันจากเชื้อก่อโรคของพืช เป็นสาร antioxidant รวมถึงเป็นสาร anticancer และสามารถต้านทานได้ดีต่อสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรมภายนอกได้ดี ในด้านอาหาร Macheix และคณะ (1990) ได้ศึกษาไว้ว่าในพืชแต่ละชนิดจะพบสารประกอบฟีนอลิกได้แตกต่างกันไป ดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการทำให้เปลี่ยนสีจากสีปกติเป็นสีน้ำตาลในผักและผลไม้ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนรสชาติจากรสปกติให้เป็นรสขม

สารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ฟลาวานอยด์ กรดฟีนอลิก และ แอนโทไซยานิน พบได้ทั่วไปในใบ ลำต้นและเปลือกของพืช กลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะอยู่ในรูปของการกำจัดอนุมูลอิสระ การให้ไฮโดรเจนอะตอม และการกำจัดออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน รวมทั้งการรวมตัวกับโลหะ Rubin และ Artsikhcoskays (1964) ได้อธิบายถึงความแตกต่างของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสะสมในพืชที่เป็นโรความีหน้าที่ให้หรือรับไฮโดรเจน ในปฏิกิริยา oxidation-reduction จะสร้าง lignin เป็น antiauxin ในการยับยั้งการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถแสดงปฏิกิริยาร่วมกับ auxin ในการกระตุ้นการเกิดออกซิเดชัน ของ sulfhydryl group ได้

ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการกระทำของเอนไซม์ ปฏิกิริยาชนิดนี้พบได้ในผักผลไม้หลายชนิด เช่น กัลวยองุ่น เห็ด มันฝรั่ง แอปเปิล เมื่อปอกเปลือก ผัก ผลไม้ทิ้งไว้

จะเกิดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวนอก อันเป็นผลมาจากเอนไซม์ภายในเซลล์ของผลไม้ไม่มีโอกาสสัมผัสและสร้างสารประกอบพวกฟีนอลิก เกิดเป็นสารประกอบพวกเมลานิน (melanin) ซึ่งมีสีน้ำตาล เอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีอยู่หลายตัว เช่น ฟีนอลเลส (phenolase), โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) ฯลฯ



**ภาพที่ 14** แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก

(ที่มา <https://en.wikipedia.org/wiki/Phenols>)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทนา ไพบูรณ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาการดูดซับสี้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว การศึกษาถึงการดูดซับสี้อมเบสิก (Astrazon Red BBL 200%) ด้วยสาหร่ายน้ำจืดสีเขียวสกุล *Spirogyra* ซึ่งดำเนินการทดลองแบบกะ และศึกษาถึงปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น pH ของสารละลายปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสี้อมต่อการดูดซับสี้อมเบสิกโดยมวลชีวภาพจากสาหร่ายและความสามารถในการดูดซับสี้อมเบสิกโดยมวลชีวภาพจากสาหร่าย ด้วยการนำตัวดูดซับแห้งมาลงในสารละลายสี้อมเบสิกที่ pH ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณสี้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสี้อมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพจากสาหร่ายมีความสามารถในการดูดซับสี้อมเบสิกมากที่สุดที่ค่า pH เท่ากับ 6.0 และผลของปริมาณของตัวดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับที่จุดสมดุลบ่งชี้ว่าการดูดซับสี้อมเบสิกลดลงเมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับเบสิกทางชีวภาพของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสี้อมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังใช้รูปแบบการดูดซับของฟรุนดิช และแลงค์เมียร์เพื่ออธิบายถึงสมดุลของการดูดซับและค่าคงที่ของไอโซเทอร์ม ซึ่งผลจากการศึกษานี้เป็นการยืนยันว่าสามารถนำสาหร่ายน้ำจืดมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพเพื่อขจัดสี้อมเบสิกจากสารละลาย และอาจเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป

นิรมล ศากยวงศ์ และดุขยา จันทรเสาร (2556) ได้ศึกษาการทดสอบการบำบัดสีรีแอกทีฟ โดยแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus hornekieae*, *Bacillus* sp. VT\_GPA4/2008, *Paenibacillus* sp Dg-904, *Paenibacillus* sp. B1 และ *Stenotrophomonas* sp. F26 ซึ่งคัดแยกได้จากดินที่ประเทศญี่ปุ่น พบว่า *Paenibacillus* sp. B1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟได้ดีที่สุด จากนั้นนำ *Paenibacillus* sp. B1 มาศึกษาความสามารถในการบำบัดสี RR141 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหารสูตร nutrient broth (NB) ดัดแปลง ตั้งทิ้งไว้ในสภาวะนิ่งที่ขาดออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาการบำบัดผ่านไป 8 ชั่วโมง *Paenibacillus* sp. B1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของสีรีแอกทีฟ RR141 ที่แบคทีเรียชนิดนี้สามารถบำบัดได้ต้องมีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลา 24 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาใน

การเลี้ยงแบคทีเรีย *Paenibacillus* sp. B1 ที่เหมาะสมก่อนที่นำมาบำบัดสีรีแอกทีฟ RR141 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบำบัดนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR

พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์ (2553) ได้เขียนบทความการดูดซับสี ย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติในบทความฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อสรุปข้อมูลเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนในสีย้อมด้วยการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับจากธรรมชาติ ซึ่งตัวดูดซับที่ใช้ คือ ตัวดูดซับที่ได้จากธรรมชาติโดยตรง ตัวดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากวัสดุธรรมชาติ โดยจะกล่าวถึงเรื่องปัจจัยและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับแบบกะและแนวโน้ม การนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม

วนิดา ชูอักษร (2555) ได้เขียนบทความเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสีย อุตสาหกรรม ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดที่ แตกต่างกัน เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีการบำบัดที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อจำกัดคือ การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง กระบวนการกรอง ด้วยเยื่อแผ่น จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและ อุณหภูมิ การสร้างตะกอนและการรวมตะกอนด้วยสารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็ก เป็นวิธีที่มี ประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัด กระบวนการ เฟนตันต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่า ความเป็นกรดต่างและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา การใช้โอโซนต้องควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรดเป็นด่าง และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตใน แหล่งน้ำ การใช้เทคโนโลยีทางกายภาพและทางเคมีก็มีข้อจำกัด เนื่องจากการใช้สารเคมีในการกำจัด นอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วตะกอนที่ได้มีปริมาณมากและเป็นการเพิ่มสารเคมีอีกด้วย การใช้ เทคโนโลยีชีวภาพ ได้แก่ การดูดซับด้วยสาหร่าย การย่อยสลายด้วยเชื้อราบางชนิด มีข้อจำกัดใน ความสะดวกการใช้งาน การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ ในทางปฏิบัติควรมีการนำ น้ำเสียมาทดสอบก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

วีรานุช หลาง และคณะ (2551) ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมผ้าประเภทรีแอกทีฟ ของ *BURKHOLDERIA GLUMAE* ประสิทธิภาพของเชื้อผงจุลินทรีย์ทางการค้าซึ่งจำแนกเป็น แบคทีเรียสายพันธุ์ *Burkholderiaglumae* ได้นำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อการย่อยสลายสีย้อม

ผ้า โดยการทดสอบการกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียซึ่งผสมสีโครงสร้างอะโซ 2 ชนิด (Remazol Red RBG [RB] และ Cibacron Red C2B [CR]) และโครงสร้างแอนทราควิโนน 2 ชนิด (Remazol Navy Blue RGB [RB] และ Cibacron Turquoise HGN [CT]) โดยมีการเติมกลูโคสกับสารสกัดจากยีสต์ เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีอยู่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7-8 และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งมันสำปะหลังและปุ๋ยที่เติมลงไป แทนอาหารเลี้ยงเชื้อปกติลดการเจริญและความสามารถในการย่อยสลายสีของแบคทีเรีย การเพาะเลี้ยงในสภาวะเติมอากาศพบว่าจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในช่วงประมาณ 3 วันแรก แต่กระบวนการแบบไม่เติมอากาศให้ผลเร่งการกำจัดสีได้ดีกว่าการบำบัดแบบเติมอากาศ กระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศถูกออกแบบขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์และย่อยสลายโครงสร้างแอมโรแมติกของสี โดยสามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ร้อยละ 76 ในเวลา 7 วัน

สุเทพ สิริวิทยาปรกรณ์ และวีระนุช บุญรุ่ง (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสารอินทรีย์และสี ด้วยกระบวนการเฟนตันและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของเฟนตัน ใช้ ปริมาณเปอร์ซัลเฟต 0.92 กรัม/ลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6.38 กรัม/ลิตร ที่ค่า pH 3.40 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา 150 นาที ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 97.85 52.83 และ 79.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอะลูมิเนียมซัลเฟต ใช้ปริมาณสารสร้างตะกอน 2.56 กรัม/ลิตร ที่ค่า pH 7.20 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นสี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 94.02 76.28 และ 42.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโพสอะลูมิเนียมคลอไรด์ ใช้ปริมาณสารสร้างตะกอน 4.00 กรัม/ลิตร ที่ค่า pH 7.40 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 96.12 86.75 และ 54.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด พบว่า เฟนตันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด รองลงมาคือ โพสอะลูมิเนียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมซัลเฟต ตามลำดับ ส่วนค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเฟนตัน, อะลูมิเนียมซัลเฟต และโพสอะลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 125.32 25.79 และ 83.15 บาท/ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ

สุดสายชล หอมทอง และคณะ (2554) ได้ทำการกำจัดสีด้วยการดูดซับร่วมกับวิธีการทางชีวภาพ ในการศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการศึกษากำจัดสีเมทิลเรดความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ด้วยวิธีการดูดซับต่อเนื่องด้วยการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพ ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์มี



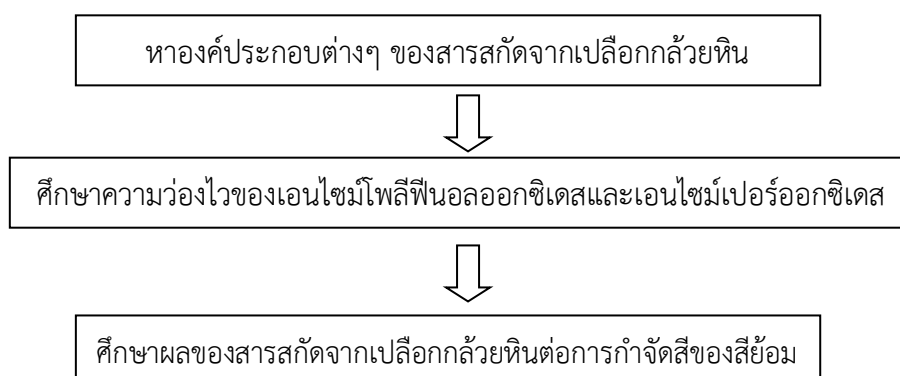
ประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นของสี (จากระดับ 0 ลดเหลือระดับ 8) และลดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 49.19 จากนั้นนำสารจากการกรองในขั้นตอนดังกล่าวที่มีค่าซีไอดีเท่ากับ  $1,095 \pm 45$  มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการบำบัดต่อเนื่องด้วยตะกอนเร่งภายใต้สภาวะแอโรบิกและแอโรบิกดีในทรีฟิเคชัน ผลที่ได้รับพบว่าตะกอนเร่งทั้งสองสภาวะไม่สามารถลดค่าซีไอดีของสารจากการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ได้ แต่กลับมีค่าซีไอดีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการทดลอง 10 วัน จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการกำจัดสีเมทิลเรดความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงแต่การย่อยสลายด้วยตะกอนเร่งภายใต้ทั้ง 2 สภาวะไม่สามารถลดค่าซีไอดีได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง รวมทั้งในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าในตะกอนเร่งทั้ง 2 สภาวะมีค่าของแข็งแขวนลอยลดลงเพียงเล็กน้อย ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีปริมาณลดลงแต่ยังสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน pH ลดลงจากเดิม คือ 6.72 – 6.73 เป็น 5.49 และ 5.96 ภายใต้สภาวะแอโรบิกและสภาวะแอโรบิกดีในทรีฟิเคชัน ตามลำดับ นอกจากนี้ตะกอนเร่งภายใต้สภาวะแอโรบิกดีในทรีฟิเคชันมีปริมาณไนเตรตและไนไตรต์เปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดระยะเวลาการทดลอง ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการย่อยสลายด้วยตะกอนเร่งทั้ง 2 สภาวะยังไม่สามารถบำบัดสารสีได้เท่ากับการบำบัดด้วยวิธีการดูดซับได้

อังคณา ปัญญาอ่อน และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของค่าความต่างศักย์และ pH ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟบลู 235 (Reactive blue 235, CI Blue C-R) ที่มีความเข้มข้นของสีย้อม 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยกระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้าระดับห้องปฏิบัติการขนาด 1.50 ลิตร โดยใช้แผ่นเหล็ก 6 แผ่น เป็นขั้วอิเล็กโทรดต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสตรง และศึกษาผลของความต่างศักย์ที่ใช้ และ pH จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมโดยกระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้า คือค่าความต่างศักย์ที่ 8 โวลต์ และค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดคือ pH ธรรมชาติ ซึ่งมีค่าประมาณ 6-7 เมื่อใช้ระยะเวลา 10 นาที พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมและซีไอดีได้ร้อยละ 95 และ 50 น้ำหลังผ่านการบำบัดมีค่า pH เท่ากับ 8.5 ของแข็งละลายน้ำ และ ของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 1,305 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการลดลงของสีย้อมเกิดจากการตกตะกอนของสีพร้อมกับสารประกอบเหล็ก ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยมีตะกอนแขวนลอยเกิดขึ้น ขณะบำบัดเท่ากับ 837 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการบำบัดทางไฟฟ้าเคมีสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอได้

อาทิตย์ อัครสุชี และคณะ (2551) ได้ศึกษาการใช้ดินแดงจากเหมืองแม่เมาะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสมือนเฟ้นต้นเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟเรด พี8ปี และแอซิดบลู 5 อาร์ อิทธิพลของค่า pH เริ่มต้น ปริมาณของดินแดง ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการลดลงของ ค่าซีไอดี ของสีย้อมถูกศึกษาในถังปฏิกรณ์แบบกะ โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาคือค่า pH เริ่มต้นเป็น 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 8.25 กรัมต่อลิตร ปริมาตรของสีย้อม 200 มิลลิลิตร และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.25 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ ให้ประสิทธิภาพการลดลงของค่าซีไอดีของสีย้อมรีแอคทีฟเรด พี8ปีและแอซิดบลู 5อาร์ เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 30 ชั่วโมง

Lakshimi (2004) ทำการทดลองการกำจัดสารเมทิลีนบลูในน้ำโดยอาศัยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแคตตาลิสต์ โดยศึกษาจาก Brunauer Emmett-Teller (BET) มีพื้นที่ผิว 50 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดท่อภายในโดยเฉลี่ย 30 มิลลิเมตร ภายในบรรจุหลอดไฟชนิดหลอดปรอด ความเข้มแสง 125 วัตต์ ศึกษาการกำจัดสารเมทิลีนบลูด้วย NaOH และ HClO<sub>4</sub> โดยผสมสารเมทิลีนบลูในหลอด Polymerization มีการเพิ่มก๊าซออกซิเจนด้วยการกวนสารละลายสม่ำเสมอ ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างด้วย pH-meter พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเมทิลีนบลู จาก  $6.6 \times 10^{-6}$  เป็น  $3.6 \times 10^{-5}$  โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ 0.05 กรัม ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างที่ 3 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่คำนวณได้เท่ากับ  $1.79 \times 10^4$  โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพบไอออนของสารพวกคาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรต และแอมโมเนีย เมื่อเพิ่มปริมาณแคตตาลิสต์จาก 0.003 เป็น 0.05 กรัมต่อสารละลาย 75 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เมทิลีนบลู  $1.0 \times 10^{-5}$  โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณแคตตาลิสต์ถึง 0.1 กรัม

## 2.7 กรอบแนวคิดงานวิจัย



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เปลือกกล้วยหิที่เหลือใช้จากร้านขายกล้วยทอดในอำเภอเมือง จังหวัดยะลา

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

##### 3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary Evaporator)
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectroscopy)
3. เครื่องบดละเอียดไฟฟ้า (Blender)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Balance)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance)
6. ไมโครปิเปต (Micropipette)
7. ปีกเกอร์ (Beaker)
8. แ่งแก้วคน (Glass Rob)
9. กระบอกตวง (Cylinder)
10. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer Flask)
11. หลอดทดลอง (Test Tube)
12. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
13. อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)
14. เครื่องเขย่า (Vortex)
15. เครื่องปั่น (Blender)
16. ช้อนตักสาร (Spatula)
17. พาราฟิล์ม (Parafilm)
18. คิวเวต (Cuvett)
19. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด ด่าง (pH meter)

20. เครื่องเหวี่ยงตกตะกอนความเร็วสูง (Centrifuge)

### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### 1. การสกัดสารจากเปลือกกล้วยหิน

- Tris-Hcl (Merck)
- Di-sodium hydrogen phosphate-2-hydrate (Fluka)
- Sodium dihydrogen phosphate (Fluka)
- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) (sigma)
- TritonX (J.T.Breaker)
- Ammonium sulfate (Merck)

#### 2. การหาปริมาณโปรตีน

- Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Merck)
- Commassie brilliant blue G-250 (Sigma)
- Ethanol (Merck)
- 85% Phosphoric acid (Merck)
- BSA (sigma)

#### 3. การวิเคราะห์ความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO), และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (POD)

- Tris-Hcl (Merck)
- Di-sodium hydrogen phosphate-2-hydrate (Fluka)
- Sodium dihydrogen phosphate (Fluka)
- Hydrogen peroxide solution 30% m/m in water (Carlo Erba Reagent)
- Catechol (Sigma)
- Guaiacal (Sigma)

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

- Ethanol (Union Science)
- Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Merck)
- Gallic acid monohydrate (Fluka)
- Sodium carbonate (Merck)

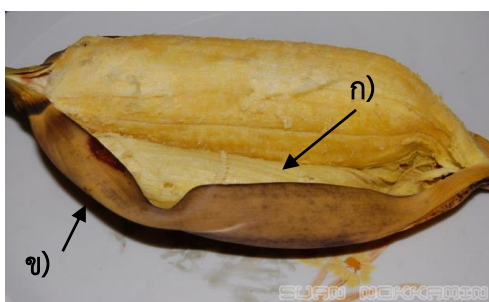
### 4. การกำจัดสีข้อม

- Methylene blue (Merck)

## 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.3.1 การหาสารสกัดในสภาวะที่เหมาะสม

นำเปลือกกล้วยหินทั้งสองบริเวณ คือ เยื่อในและเปลือกนอก น้ำหนัก 2 กรัม (ภาพที่ 15) มาสกัดใน 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH ต่างๆ คือ pH 6.0 6.5 และ 7.5 ที่มี 3 % PVP, 3 % PVP+0.25 % TritonX-100, 3 % PVPP หรือ 3 % PVPP+0.25% TritonX-100 ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นนำไปตกตะกอนโดยการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำส่วนที่เป็นกากทิ้งไปวัดปริมาตรส่วนใส นำสารสกัดที่ได้ไปหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีแบรดฟอร์ด



ภาพที่ 15 แสดงเปลือกกล้วยหิน โดยที่ ก) บริเวณเยื่อใน ข) บริเวณเปลือกนอก

### 3.3.2 การหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford

สารละลาย Bradford : ละลาย Coomassie Brilliant Blue G-250 100 มิลลิกรัม ใน ethanol 50 มิลลิลิตร และ 85% phosphoric acid 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร กรองก่อนนำไปใช้

โปรตีนมาตรฐาน : ละลาย Bovine serum albumin (BSA) จำนวน 0.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร จะได้โปรตีน BSA ที่มีความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นนำมา เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้สารละลายที่มีปริมาณของ BSA เท่ากับ 10 20 30 40 60 80 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร ตามลำดับ

วิธีวัดปริมาณโปรตีน : ใช้สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้นละ 100 ไมโครลิตร และสารตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณ ตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร (ที่เจือจางให้ เหมาะสม) ทำปฏิกิริยากับสารละลายเบรดฟอร์ด 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสาร ตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน BSA

### 3.3.3 ศึกษาความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ใช้ 0.1 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ปริมาตร 2.360 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1 โมลาร์ catechol ซึ่งเป็นสับสเตรท ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และ สารตัวอย่าง 0.04 มิลลิลิตร โดยทำ การทดลองในคิวเวท (cuvette) ขนาด 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว คลื่น 420 นาโนเมตร โดย 1 หน่วยความว่องไวของเอนไซม์ PPO หมายถึง การดูดกลืนแสงที่ เปลี่ยนแปลงไป 0.001 OD. ต่อ 1 นาที

### 3.3.4 การศึกษาการสังเคราะห์เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส โดยใช้ guaiacol เป็นสับสเตรท

การวัดความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสโดยใช้ guaiacol เป็นสับสเตรท โดย นำสารสกัดส่วนใสที่เวลาต่างๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (เจือจางให้เหมาะสมก่อนนำมาทดสอบ) ใส่ ในหลอดทดลองแล้วเติมบัฟเฟอร์ 0.01 โมลาร์ phosphate buffer , pH 7.0 ปริมาตร 2.7 มิลลิลิตร และ 0.25% guaiacol ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติม 0.1 โมลาร์ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร บันทึกค่าทุกๆ 15 วินาที จนครบ 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของเอนไซม์

เปอร์ออกซิเดสโดยให้ 1 หน่วยของความว่องไว หมายถึงเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ออกซิไดซ์ 1 ไมโครโมลของ guaiacol ในเวลา 1 นาที ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ guaiacol เป็นสับสเตรทของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงต่อโมลาร์ (molar extinction coefficient) เท่ากับ  $26.6 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$

### 3.3.5 ศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

ทำการทดลองโดยหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมตามวิธีของ Folin-Ciocalteu method (Torres และคณะ, 1987) คือ ใส่สารตัวอย่าง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรผสมกับ 1 นอร์มอล Folin-Ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2-5 นาที จากนั้นเติม 20%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid (0-0.12 กรัมต่อลิตร)

### 3.3.6 ทดสอบการกำจัดสีย้อม

#### 3.3.6.1 ศึกษาสมบัติของสีย้อม

ซึ่งสีย้อม Methylene blue 1 มิลลิกรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเจือจางสองเท่า แล้วนำไปทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร แล้วบันทึกค่า

#### 3.3.6.2 ทดสอบเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในการกำจัดสีย้อม

นำเอนไซม์ที่สกัดได้มาทดสอบการกำจัดสีย้อมโดยนำเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร ผสมกับสีย้อมปริมาตร 1,900 ไมโครลิตร ตั้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

#### 3.3.6.3 ทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการกำจัดสีย้อม

นำเอนไซม์ที่สกัดได้มาทดสอบการกำจัดสีย้อมโดยนำเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร แล้วเติม 3% Hydrogen peroxide 100 ไมโครลิตร ผสมกับสีย้อมปริมาตร 1,800 ไมโครลิตร ตั้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

การคำนวณหาร้อยละกำจัดสีย้อม

$$\% \text{ Decolorization} = \frac{(C_0 - C_c)}{C_0} \times 100$$

โดยที่  $C_0$  คือค่าความเข้มข้นของสีเริ่มต้น

$C_c$  คือค่าความเข้มข้นของสีที่เปลี่ยนไป



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหิน โดยผลการวิจัยมีดังนี้

#### 4.1 ผลของการหาสารสกัดในสภาวะที่เหมาะสม

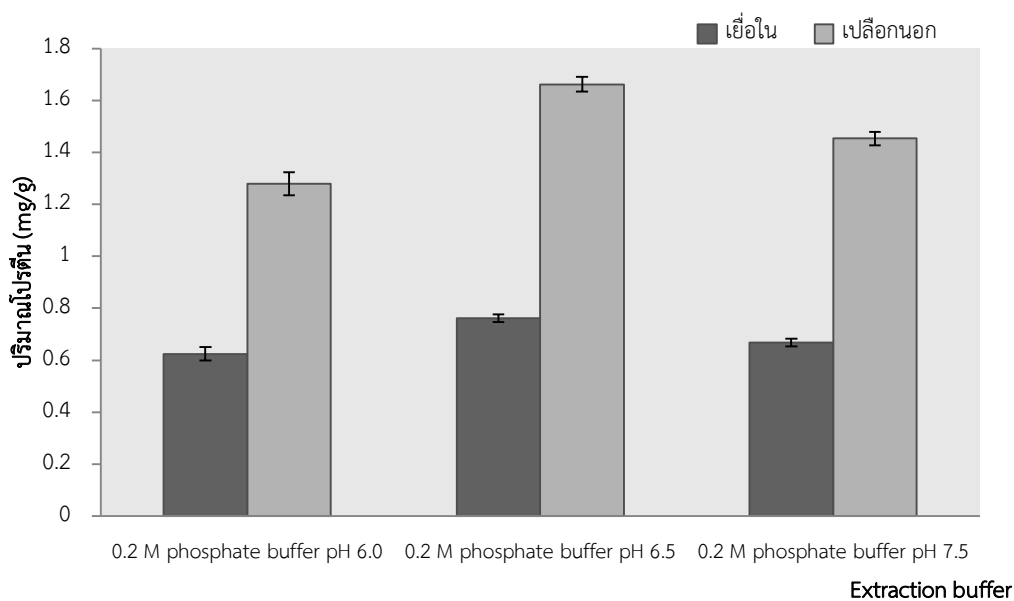
นำเปลือกกล้วยทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณเปลือกนอกและเยื่อในมาสกัด 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ คือ pH 6.0 6.5 และ 7.5 ในอัตราส่วน 1:1 (extraction buffer : น้ำหนักตัวอย่าง) ปรากฏว่า ปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยหินที่สกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ให้ค่าปริมาณโปรตีนที่มากที่สุด คือ  $0.762 \pm 0.015$  และ  $1.662 \pm 0.029$  ตามลำดับ รองลงมาคือ 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 7.5 และ 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.0 (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 16)

หลังจากนำเปลือกกล้วยทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณเปลือกนอกและเยื่อในมาสกัดใน 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ที่มี 3%PVP, 3%PVP+0.25%TritonX-100, 3%PVPP, 3%PVPP+0.25%TritonX-100 ในอัตราส่วน 1:1 (extraction buffer : น้ำหนักตัวอย่าง) พบว่าการสกัดโปรตีนบริเวณเยื่อในของเปลือกกล้วยหินที่ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ การใช้ 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ที่มี 3%PVPP และ 0.25%TritonX-100 ในขณะที่บริเวณเปลือกนอกมีปริมาณโปรตีนสูงสุด เมื่อนำมาสกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ที่มี 3%PVPP และ 0.25%TritonX-100 เช่นเดียวกัน แต่ให้ค่าปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าบริเวณเยื่อใน ซึ่งให้ค่าปริมาณโปรตีนเท่ากับ  $0.964 \pm 0.069$  มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 17)

**ตารางที่ 1** แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ

0.2 M phosphate Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	0.625±0.027	1.279±0.044
pH 6.5	0.762±0.015	1.662±0.029
pH 7.5	0.668±0.015	1.454±0.026

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง ± SD

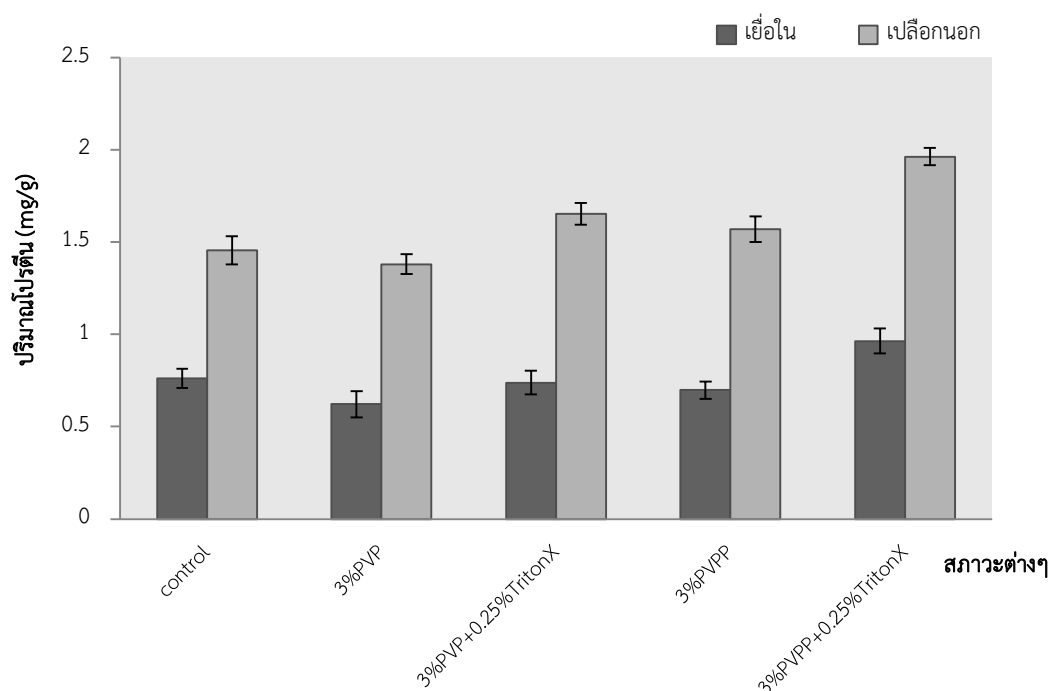


**ภาพที่ 16** แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ

**ตารางที่ 2** แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วยวิธีต่างๆ)

condition	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
control	0.762±0.052	1.454±0.076
3%PVP	0.621±0.072	1.379±0.054
3%PVP+0.25%TritonX-100	0.738±0.065	1.654±0.059
3%PVPP	0.698±0.047	1.569±0.068
3%PVPP+0.25%TritonX-100	0.964±0.069	1.962±0.046

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง ± SD



**ภาพที่ 17** แสดงปริมาณโปรตีนบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดด้วยวิธีต่างๆ

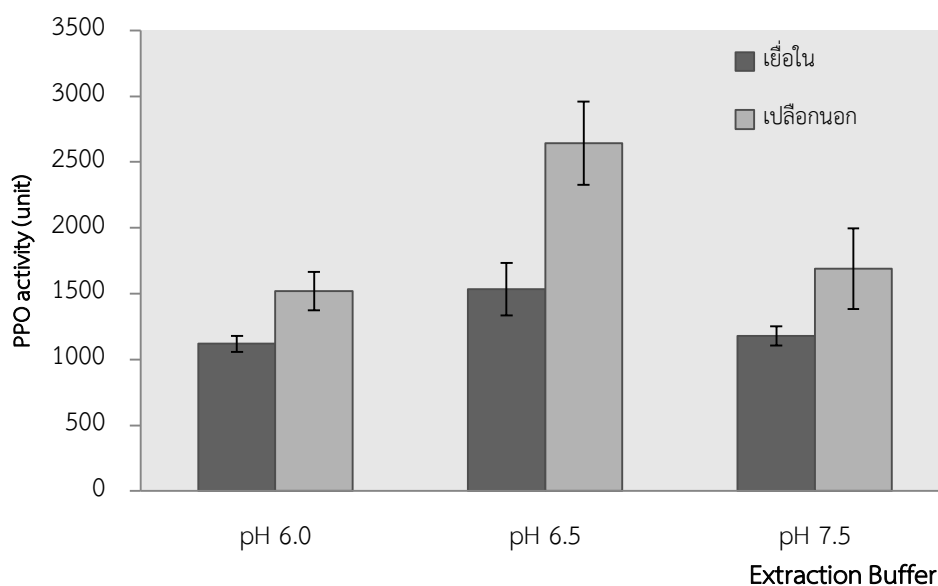
## 4.2 ผลการศึกษาความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

นำเปลือกกล้วยทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณเปลือกนอกและเยื่อใน มาสกัดเพื่อหาปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ที่มี 3%PVPP และ 0.25%TritonX-100 (จากนี้ ผู้วิจัยจะเรียกสารสกัด 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ที่มี 3%PVPP และ 0.25%TritonX-100 ว่า Extraction buffer ที่ pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5) พบว่า บริเวณเปลือกนอกของกล้วยที่สกัดด้วย Extraction buffer pH 6.5 จะมีปริมาณของความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสูงที่สุด คือ เท่ากับ  $2,645 \pm 315.7$  unit และสูงกว่าบริเวณเยื่อในประมาณ 1.73 เท่า ในขณะที่บริเวณเยื่อในของเปลือกกล้วยหิจะมีปริมาณความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสูงที่สุด เมื่อสกัดด้วย Extraction buffer pH 6.5 เท่ากับ  $1,533.33 \pm 199.19$  unit ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 18

**ตารางที่ 3** ความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ (ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD)

Extraction Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	$1,118.33 \pm 62.20$	$1,518.89 \pm 146.98$
pH 6.5	$1,533.33 \pm 199.19$	$2,645.00 \pm 315.78$
pH 7.5	$1,176.94 \pm 72.63$	$1,689.44 \pm 306.98$

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD



**ภาพที่ 18** แสดงปริมาณความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

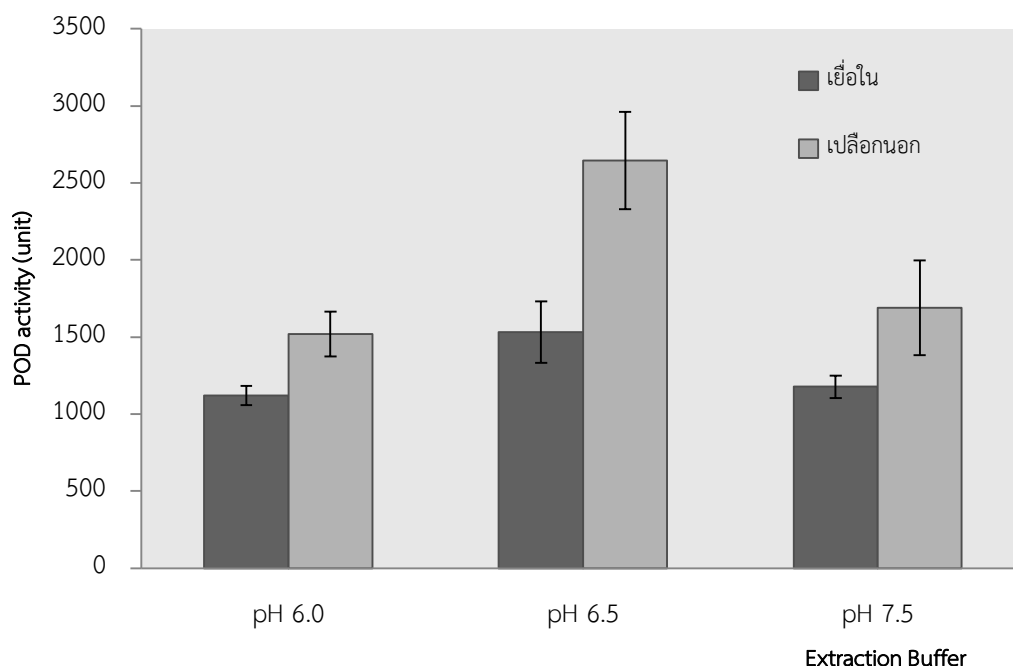
#### 4.3 ผลการศึกษาความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

พบว่า บริเวณเปลือกนอกของกล้วยหินที่สกัดด้วย Extraction buffer pH 6.5 มีปริมาณของความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุด คือเท่ากับ  $3,841.78 \pm 417.77$  unit และสูงกว่าบริเวณเยื่อในประมาณ 1.27 เท่า เมื่อเปรียบเทียบที่สารสกัดตัวเดียวกัน ในขณะที่บริเวณเยื่อในของเปลือกกล้วยหินจะมีปริมาณความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสูงที่สุด เมื่อสกัดด้วย Extraction buffer pH 6.5 เท่ากับ  $4,886.22 \pm 168.32$  unit ดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 19

**ตารางที่ 4** ความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

Extraction Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	$2,932.00 \pm 242.69$	$2,832.89 \pm 286.02$
pH 6.5	$3,841.78 \pm 417.77$	$4,886.22 \pm 168.32$
pH 7.5	$3,227.33 \pm 109.75$	$3,311.56 \pm 385.53$

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD



**ภาพที่ 19** แสดงปริมาณความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

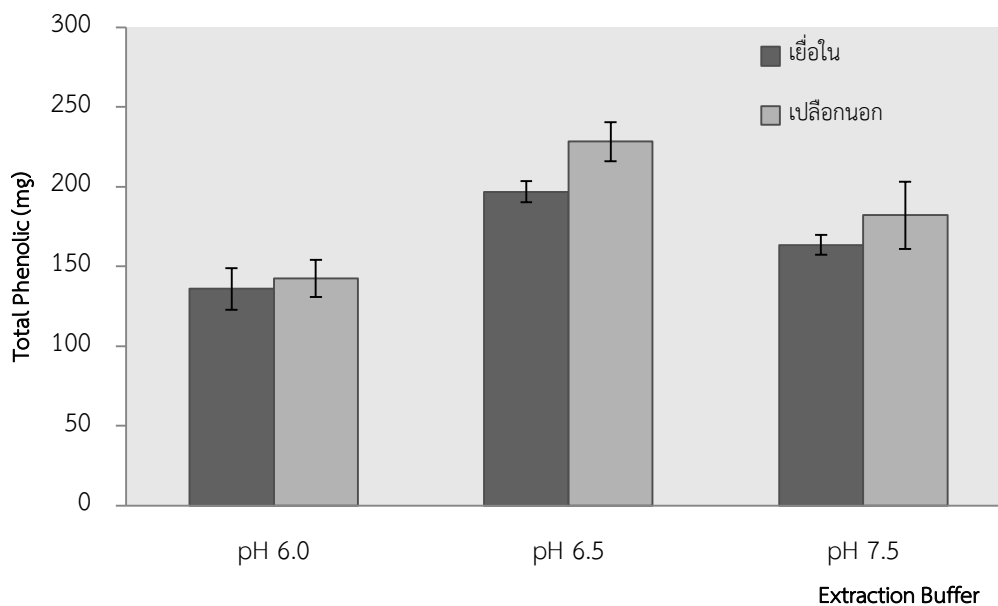
#### 4.4 ผลการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

ในการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในเปลือกกล้วยหีนทั้ง 2 บริเวณ คือ เยื่อใน และเปลือกนอก พบว่า เปลือกกล้วยหีนบริเวณเปลือกนอกที่สกัดด้วย Extraction buffer pH 6.0 6.5 และ 7.5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าบริเวณเยื่อใน คือ  $142.43 \pm 11.50$   $228.27 \pm 12.17$  และ  $182.08 \pm 21.22$  มิลลิกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 5 และภาพที่ 20)

**ตารางที่ 5** การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

Extraction Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	$135.98 \pm 13.11$	$142.43 \pm 11.50$
pH 6.5	$196.78 \pm 6.71$	$228.27 \pm 12.17$
pH 7.5	$163.51 \pm 6.10$	$182.08 \pm 21.22$

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD



**ภาพที่ 20** การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

และจากวัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อ 2 เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกกล้วยห็นต่อการกำจัดสีของสีย้อมต่างๆ โดยผลการวิจัยมีดังนี้

#### 4.5 ศึกษาการกำจัดสีย้อม (dye decolorization)

จากการเตรียมสี Methylene blue (ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เป็นตัวแทนสีย้อมสังเคราะห์อื่นๆ) โดยการ นำสีย้อม Methylene blue 1 มิลลิกรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเจือจางสองเท่า แล้วนำไปทดสอบการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดแสงเริ่มต้น คือ 0.965 นาโนเมตร คิดเป็น 0.5 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร (5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

##### 4.5.1 ทดสอบเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในการกำจัดสีย้อม

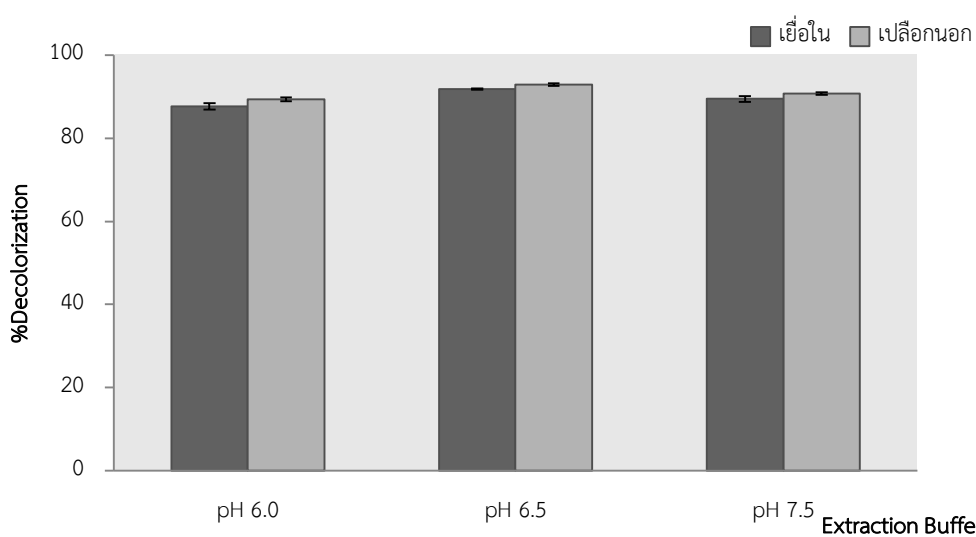
นำเอนไซม์ที่สกัดได้มาทดสอบการกำจัดสีย้อมโดยนำเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร ผสมกับสีย้อมปริมาตร 1,900 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง สังเกตว่า มีการลดลงของสี Methylene blue ได้อย่างชัดเจน และเมื่อครบ 12 ชั่วโมงเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่สกัดได้บริเวณเยื่อในของเปลือก

กล้วยหีนมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue ได้ร้อยละ  $87.67 \pm 0.73$   $91.81 \pm 0.21$  และ  $89.46 \pm 0.67$  ที่ Extraction buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ตามลำดับ ขณะที่ บริเวณเปลือกนอกของเปลือกกล้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue ได้ร้อยละ  $89.33 \pm 0.47$   $92.85 \pm 0.27$  และ  $90.78 \pm 0.31$  ที่ Extraction buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน โดยจากผลของการกำจัดสี Methylene blue จะเห็นได้ว่าการกำจัดสีของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ได้จากเปลือกกล้วยทั้ง 2 บริเวณไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 21)

**ตารางที่ 6** ร้อยละการกำจัดสีของ Methylene blue ด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

Extraction Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	$87.67 \pm 0.73$	$89.33 \pm 0.47$
pH 6.5	$91.81 \pm 0.21$	$92.85 \pm 0.27$
pH 7.5	$89.46 \pm 0.67$	$90.78 \pm 0.31$

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD



**ภาพที่ 21** ร้อยละการกำจัดสีของ Methylene blue ด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ



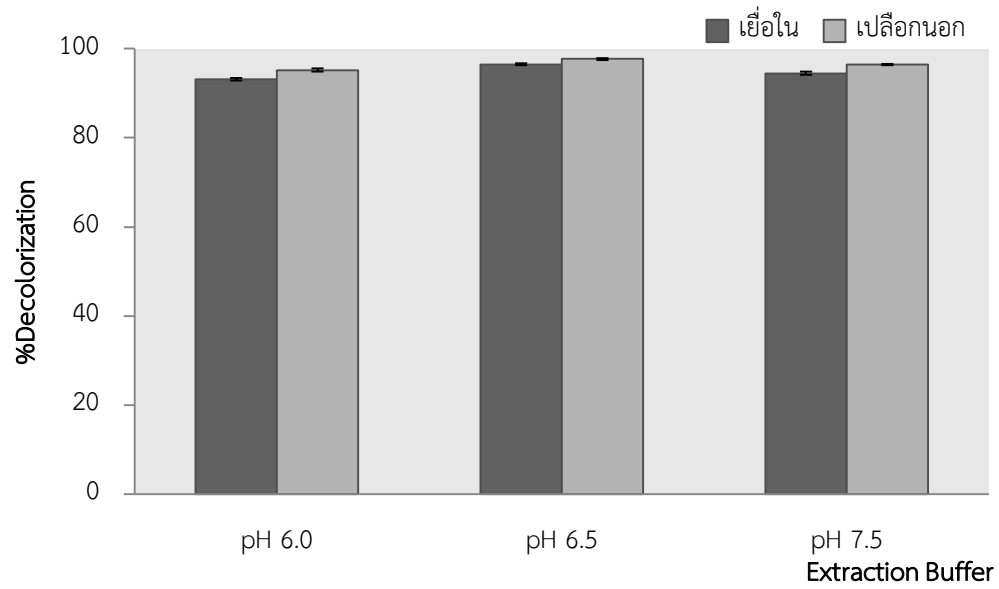
#### 4.5.2 ทดสอบเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการกำจัดสีย้อม

นำเอนไซม์ที่สกัดได้มาทดสอบการกำจัดสีย้อมโดยนำเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร แล้วเติม 3% Hydrogen peroxide 100 ไมโครลิตร ผสมกับสีย้อมปริมาตร 1,800 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร (โดยใช้หลอดที่ไม่ใส่เอนไซม์แต่ใส่ Hydrogen peroxide เป็นหลอดควบคุม) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง มีการลดลงของสี Methylene blue ได้อย่างชัดเจน และเมื่อครบ 12 ชั่วโมง เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่สกัดได้บริเวณเยื่อในของเปลือกกล้วยหินมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue ได้ร้อยละ  $93.16 \pm 0.27$   $96.51 \pm 0.26$  และ  $94.47 \pm 0.33$  ที่ Extraction buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ตามลำดับ ขณะที่ บริเวณเปลือกนอกของเปลือกกล้วยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue ได้ร้อยละ  $95.23 \pm 0.31$   $97.69 \pm 0.16$  และ  $96.51 \pm 0.16$  ที่ Extraction buffer pH 6.0 pH 6.5 และ pH 7.5 ตามลำดับ(ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 22)

**ตารางที่ 7** ร้อยละการกำจัดสีย้อม Methylene blue ด้วยเอนไซม์เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสบริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

Extraction Buffer	บริเวณเยื่อใน	บริเวณเปลือกนอก
pH 6.0	$93.16 \pm 0.27$	$95.23 \pm 0.31$
pH 6.5	$96.51 \pm 0.26$	$97.69 \pm 0.16$
pH 7.5	$94.47 \pm 0.33$	$96.51 \pm 0.16$

หมายเหตุ : ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 3 การทดลอง  $\pm$  SD



ภาพที่ 22 ร้อยละการกำจัดสีของ Methylene blue ด้วยเอนไซม์เปอร็อกซิเดสบริเวณเชื้อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยจากการสกัดที่ pH ต่างๆ

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติจากสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินและการนำไปใช้ประโยชน์ ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

#### 5.1 ผลการศึกษาสมบัติองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหิน

จากการศึกษาสมบัติองค์ประกอบต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหิน โดยใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน คือ 0.2 โมลาร์ phosphate buffer ที่ pH ต่างๆ คือ pH 6.0 6.5 และ 7.5 ในอัตราส่วน 1:1 (extraction buffer : น้ำหนักตัวอย่าง) พบว่า ปริมาณโปรตีน ความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกของทั้ง 2 บริเวณของเปลือกกล้วยหินที่สกัดด้วย 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ให้ค่าที่มากที่สุด

เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีองค์ประกอบต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นจึงเพิ่มสารที่ช่วยในการสกัด คือนำมาสกัดใน 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ที่มี 3%PVP, 3%PVP+0.25%TritonX-100, 3%PVPP, 3%PVPP+0.25%TritonX-100 ในอัตราส่วน 1:1 (extraction buffer : น้ำหนักตัวอย่าง) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ ปริมาณโปรตีน ความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งบริเวณเยื่อและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยหิน คือ การใช้ 0.2 โมลาร์ phosphate buffer pH 6.5 ที่มี 3%PVPP และ 0.25%TritonX-100 ซึ่งสอดคล้องจากรายงานของ นุระอามาลี (2004) ได้ศึกษาการกำจัดสีในใบยางพาราโดยใช้ PVP ที่ 5%, 10% และ 15% พบว่า สามารถป้องกันการเกิดสีได้เพียงบางส่วนเท่านั้น และเมื่อวัดความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสโดยใช้ *o*-dianisidine เป็นสับสเตรท พบว่า ค่าความว่องไวเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ PVP ที่ผสมในบัฟเฟอร์ที่ใช้สกัด คือ มีค่าความว่องไวสูงสุดที่ 10%PVP เท่ากับ 193,805.3 ยูนิตต่อมิลลิลิตร

เนื่องจาก PVP ใช้กำจัดสารฟีนอลิก แต่เมื่อเพิ่มเป็น 15% กลับทำให้ค่าความว่องไวลดลงเหลือ 132,743.4 ยูนิตต่อมิลลิลิตร เนื่องจาก PVP เป็นสารที่ละลายน้ำ ดังนั้น จึงไม่สามารถเอา PVP ออกจากสารสกัดก่อนวัดค่าความว่องไวของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ดังนั้น PVP ที่ 15% อาจมากเกินไปจนไปจับกับสับสเตรท (*o*-dianisidine) ซึ่งเป็นสารฟีนอลิกชนิดหนึ่ง ส่วน

PVPP เป็นตัวจับกับสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสารประกอบพีนอลิก และป้องกันกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ระหว่างขั้นตอนการสกัด ดังนั้น เมื่อนำสารสกัดมาวัดค่าความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จึงให้ผลที่ดีกว่าการใช้ PVP และเนื่องจาก PVPP เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการปั่นแยกกากทิ้งก็จะไม่รบกวนการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Mayer, 1979) นอกจากนี้ นิสาพร (2550) ได้ศึกษาการสกัดเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในเซลล์แขวนลอยของยางพารา ซึ่งพบว่า ในเซลล์แขวนลอยมีสารประกอบพีนอลิกอยู่เป็นจำนวนมากส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลได้ง่าย และในการศึกษาจึงได้เลือกใช้ 3%PVPP : น้ำหนัก ในการกำจัดสีที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน Marques *et al.* (1994) รายงานว่า PPO เป็นโปรตีนประเภท hydrophilic ซึ่งจะมีหางสั้นๆ ที่เป็น hydrophobic เกาะติดอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้น ในการสกัดเพื่อให้ได้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทุกชนิดจึงจำเป็นต้องใช้สารที่ลดแรงตึงผิวซึ่งจะทำให้เกิดการแตกของผนังเซลล์และพลาสติก เช่น TritonX-100, TritonX-114 หรือ SDS (Nicolas *et al.*, 1994) ร่วมในการสกัดจึงจะสามารถช่วยเพิ่มค่าความว่องไวของเอนไซม์ได้ (Mayer, 1979) ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า TritonX-100 (เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิด nonionic) มีผลให้ค่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นมากแต่ให้ค่าความว่องไวของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในเซลล์แขวนลอยยางพาราที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เซลล์นั้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

## 5.2 ผลการศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินต่อการกำจัดสีของสีย้อมต่างๆ

พบว่า เมื่อนำเอนไซม์ที่สกัดได้มาทดสอบการกำจัดสีย้อม คือ สี Methylene blue โดยตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง การทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำให้มีการลดลงของสี Methylene blue ได้อย่างชัดเจน และเมื่อครบ 12 ชั่วโมงเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่สกัดได้ทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณเยื่อในและเปลือกนอกของเปลือกกล้วยหินมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue

ในขณะที่ การทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง มีการลดลงของสี Methylene blue ได้อย่างชัดเจน และเมื่อครบ 12 ชั่วโมง เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่สกัดได้บริเวณเยื่อในของเปลือกกล้วยหินมีความสามารถในการกำจัดสี Methylene blue จนเกือบ 100% และจากการวิจัยของ Chanwun *et al.* (2013) ซึ่งทำการศึกษา เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากเซลล์แขวนลอยยางพาราและทำการทดสอบความสามารถในการกำจัดสีย้อมในกลุ่มต่างๆ พบว่า เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส สามารถกำจัดสีย้อม เช่น aniline blue (83%) malachite green (95%)

และ crystal violet (60%) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Koichi *et al.* (2003) ได้ศึกษาการกำจัดสี Reactive Red 120 โดยเอนไซม์แมงกานีสเปอร์ออกซิเดสที่ได้จาก White-Rot Basidiomycete โดยสามารถกำจัดสี Reactive Red 120 ได้สูงสุดที่ 90.7% เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการสกัดสารต่างๆ จากเปลือกกล้วยหิน ควรใช้ในโตรเจนเหลวร่วมในการสกัด เพื่อให้เซลล์แตกอย่างสมบูรณ์ ทำให้ได้ปริมาณโปรตีนและเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น
2. ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกำจัดสีเพียงชนิดเดียว คือ สี Methylene blue ซึ่งไม่สามารถที่จะระบุได้ว่าเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะสามารถกำจัดสีย้อมชนิดอื่นๆ ได้ด้วยหรือไม่ ในงานวิจัยต่อยอดจะนำสีย้อมชนิดอื่นๆ มาทดสอบความสามารถในการกำจัดสีของสารสกัดจากเปลือกกล้วย รวมถึงการนำสีย้อมผ้าที่ใช้ในชุมชนมาทดสอบการกำจัดสีก่อนการปล่อยสู่ธรรมชาติต่อไป

## บรรณานุกรม

- กัณฑ์ศรี ศรีพงศ์พันธุ์ (2547). มลพิษทางน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 3) กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร
- กัลยา ศรีสุวรรณ (2547). โมเดลการเกิดฟาวลิงของเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2546). ของเสียอันตราย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี
- จิรวาท เจตน์จันทร์ อรชिरา เพ็ชรช้อย พิลาณี ไฉนอมสัตย์ วราภรณ์ อภิวัดนาภิวัด ต่อพงศ์ กริธาชาติ และสาวิตรี จันทรานูรักษ์ (2552). การลดสีน้ำทิ้งที่มีลิกนินเป็นส่วนประกอบโดยเชื้อราเส้นใยสีขาว *Datronia* sp. KAPI0039. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (หน้า 236-244). กรุงเทพฯ
- จันทนา ไพโรบูรณ์ ไศรดากรณ์ พิมลา มัทธริยา แหละเหย็บ และอนงค์ จีร์ภักดิ์ (2555.) การดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
- ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา (2542). การใช้สาหร่ายกำจัดสีและซีโอทีในน้ำทิ้งจากโรงงานสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สุขุมวิทสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ธนกฤต พรหมทอง (2552). การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพและเฟินต้นรีเอเจนต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นิรมล ศากยวงศ์ และดุขยา จันท์เสาร์ (2556). การบำบัดสีรีแอกทีฟโดยแบคทีเรียที่แยกได้จากดิน ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

- นิตยาพร มุหะมัด (2551). การสะสมของเอนไซม์ฟีนอลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส เอนไซม์โพลี-ฟีนอลออกซิเดสและสารประกอบฟีนอลิกในยางพาราหลังติดเชื้อรา. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นุระอามาลี ดีนามอ (2005). ไอโซไซม์ของเปอร์ออกซิเดสที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานโรคของยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ประรัชกรณ์ สาธิตคุณ (2545). การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานสีอ็อกโดยใช้ซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปาริชาติ หมั่นสีทา (2547). การกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปิยนุช เหลืองโสวรรณ (2544). การบำบัดน้ำล้างสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมโดยใช้เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปัทมา พลอยสว่าง และภคมน จิตประเสริฐ (2551). อิทธิพลของสภาวะแวดล้อมและการกระตุ้นการเจริญต่อการกำจัดสีย้อมผ้าโดย *Lentinus polychrous* Lev. ที่ผ่านการทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, (หน้า 270-277). กรุงเทพฯ
- พรสวรรค์ อศวแสงรัตน์ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์ (2553). การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิมล พันธุ์จงหาญ (2549). การกำจัดสีเบสด้วยกลไกการดูดซับทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พิมพ์ชนก เต็งเจริญ (2546). การกำจัดสีของน้ำทิ้งในการผลิตลิกนินโดยราไวต์รอต. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพศาล วีรกิจ (2549). การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ หจก.นำอักษรการพิมพ์

- ภัทร ศักดิ์เพชร (2549). การแยกเกลือในน้ำปลาด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์  
มหาบัณฑิต เทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มงคล ดำรงค์ศรี และต่อพงศ์ กรีธาชาติ (2546). การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเยื่อและ  
กระดาษโดยกระบวนการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอน. การประชุมทางวิชาการของ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาสถาปัตยกรรม  
ศาสตร์. (หน้า 261-268). กรุงเทพฯ
- วนิดา ชูอักษร (2012). เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา:  
181-191
- วราภรณ์ กัลยาเลิศ (2540). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน. วิทยานิพนธ์  
มหาบัณฑิตสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- วราภรณ์ อภิวัดนาภิวัด ต่อพงศ์ กรีธาชาติ และพิลาณีไวณนอมสัจย์ (2550). การลดสีน้ำทิ้งจาก  
โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษโดย โอโซนออกซิเดชัน. ใน การประชุมทาง  
วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และ  
วิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (หน้า 825-834). กรุงเทพฯ.
- วีรานุช หลาง ธนสิริ มีชัย และ วิชชุพร จันท์ศรี (2551). ความสามารถในการกำจัดสีย้อมผ้าประเภท  
รี แอ ก ที ฟ ช อ ง Burkholderia glumae. Environment and Natural Resources  
Journal, 6: 66-81.
- ศุภลักษณ์ อรรณพ (2552). ผลของการเติมอากาศแบบเป็นช่วงต่อระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน  
สำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต การจัดการ  
สิ่งแวดล้อมคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ และ วีระนุช บุญรุ่ง (2553). การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเพน  
ตันภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา  
เขตบางเขน
- สุดสายชล หอมทอง นเรศ เชื้อสุวรรณ และ สุบัณฑิต นิมรัตน์ (2011). การกำจัดสีเมทิลเรดด้วยการ  
ดูดซับ/วิธีทางชีวภาพ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



- สุทธิณี นาควิทยา (2551). ออกซิเดชันสาร 2, 6-ไดเมธิลอะนิลีนโดยกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเพนตัน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549). ระบบบำบัดน้ำเสีย : การเลือกใช้การออกแบบการควบคุมและการแก้ปัญหา. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด
- โสภาพรรณ รัตนพันธุ์ (2547). การบำบัดและกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยเส้นใยเห็ด *Lentinus spp.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อมรภาค ชูทอง (2551). การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อาทิตย์ อัครสุชี ศศิธร อินทร์นอก จิรายุส วรรณโณคา และ ชนิดา กุประดิษฐ์ (2551). การใช้ดินแดงจากเหมืองแม่เมาะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสมือนเฟ้นตัน ชั้นดินวิวิธพันธุ์สำหรับการกำจัดสีออร์แกอิกที่ฟเรด พี8ปีและแอสติบลู 5อาร์. คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
- อุดร จารุรัตน์ จารุรัตน์ วรรณิสรากุล และศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง (2542). วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ
- อรชี่รา เพ็ชรช้อย พิลาณี ไฉนอมสัถย์ วราภรณ์ อภิวัดนาภิวัด จิรวาท เจตน์จันทร์ นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และศวพร ศุภผล (2552). การย่อยสลายทางชีวภาพของสีรีแอกทีฟโดยเชื้อราเส้นใยสีขาว *Datronia sp.* KAPI0039. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 : สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (หน้า 245-252).
- อังคณา ปัญญาอ่อน อนวัช พินิจศักดิ์กุล ศศิธร พุทธรังษี ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร และสร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ (2550). การกำจัดสีรีแอกทีฟบลูโดยกระบวนการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- Badawy M. I. & Ali M. E. M. (2006). Fenton Peroxidation and Coagulation Processes for treatment of combined industrial and domestic wastewater. *Hazardous Materials*, 136, 961-966.
- Bolanos A. E. N. & Silva M. E. (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology*, 33(3), 275-283.
- Cantos E., Espin J. C. & Tomas-Barberan F. A. (2002). Postharvest stilbene-enrichment of red and white table grape varieties using UV-C irradiation pulses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6322-6329.
- Chanwun T., Muhamad N., Chirapongsatonkul N. & Churngchow N. (2013). *Hevea brasiliensis* cell suspension peroxidase: purification, characterization and application for dye decolorization. *AMB Express*. 3, 14.
- Debendra K. Sahoo & Rimpay G. (2005). Evaluation of ligninolytic microorganisms for efficient decolorization of a small pulp and paper mill effluent. *Process Biochemistry*, 40, 1573-1578.
- Dilek F. B., Taplamacioglu H. M. & Tarlan E. (1999). Colour and AOX removal from pulping effluents by algae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 585-591.
- Duygu Ozsoy H. & Van Leeuwen J. (2010). Removal of Color from Fruit Candy Waste by Activated Carbon Adsorption. *Journal of Food Engineering*, 101, 106-112.
- George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, & David Stensel H. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. Boston, McGraw-Hill c2003.
- Lim, J. D., Yu, C. Y., Kim, M. J., Yun, S. J., Lee, S. J., Kim, N. Y. and Chung, L. M. 2004. Comparison of SOD activity and Phenolic compounds contents in various Korean medicinal plant. *Kor. Medical Crop Science* 12: 191-202.

- limura Y. Hartikainen P. & Tatsumi K. (2010). Dechlorination of tetrachloroguaiacol by laccase of white-rot basidiomycete. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 45, 434-439.
- Inan H., Anatoly Dimoglo, imek H. & Karpuzcu M. (2004). Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation. *Separation and Purification Technology*, 36, 23-31.
- Koichi H., Yoshio W. & Kazunori N. (2003). Decolorization of Azo Dye by the White-Rot Basidiomycete *Phanerochaete sordida* and by Its Manganese Peroxidase. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95(5), 455-459.
- Lakshimi (2004). ศึกษาการกำจัดสารเมทิลีนบลูในน้ำ โดยอาศัยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแคตาลีสต์. [ออนไลน์] สืบค้นจาก [www.chiangmai.ac.th/emac/journal](http://www.chiangmai.ac.th/emac/journal), 15/10/2010
- Leontievsky A., Myasoedova N., Baskunov B., Golovleva L., Bucke C. & Evans C. (2001). Transformation of 2,4,6-trichlorophenol by free and immobilized fungal laccase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57, 85-91.
- Lim J. D., Yu C. Y., Kim M. J., Yun S. J., Lee S. J., Kim N. Y. & Chung, I. M., (2004). Comparison of SOD activity and phenolic compound contents in various Korean medical plants. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 12, 191-202.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A., Billot, J. and Lerner, A.B., (1990). Metabolism of phenylalanine and tyrosine. *J. Advance of Enzymomolecule* 14, 73-128.
- Marco S. Lucas, Carla Amaral, Ana Sampaio, José A. Peres & Albino A. Dias. (2006). Biodegradation of the diazo dye Reactive Black 5 by a wild isolate of *Candida oleophila*. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 51-55.
- Marques, L., Fraignier, M. P., Fleuriet, A. & Macheix, J. J. (1994). Biochemical and immunochemical characteristics of polyphenol oxidases from different fruits of *Prunus*. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 43, 2375-2380.

- Marshall M., Kim J. & Wei C. (2000). Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods. FAO, Rome, Italy, <http://fao.org>
- Martinez, M. V. & Whitaker, J. R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends of Food Science and Technology*, 6, 195-200,
- Mayer, A. M. & Harel, E. (1979). Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry*, 18, 193–215.
- Muhamad N., Chirapongsatunkul N. & Churngchow N. (2012). Defense-related polyphenol oxidase from *Hevea brasiliensis* cell suspension: purification and characterization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(1), 177-89.
- Nicolas, J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J. & Aubert, S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Review Food Science Nutrition*, 34, 109-157.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Lourenco, N.D., Pinheiro, H.M. & Delee, W. (1999). Color in textile effluents sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74, 1009-1018.
- Pagga, U. & Brown, D. (1986). The degradation of dyestuffs. Part II. Behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation test. *Chemosphere*, 15, 479-491.
- Reife, A. & Freeman, H.S. (1996). *Environmental chemistry of dyes and pigment*. John Wiley & Sons, New York.
- Rice R. G., Miller G. W., Robson C. M. & Hill A. G. (1980). Ozone Utilization in Europe. In. *AIChE Symposium Series, Ozone Institute, Toronto*, 117-134.
- Roop, C. B. & Meenakshi G. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press.
- Rubin, B. A. & Artsikhovaskaya, Y. V. (1964). Biochemistry of pathological darkening of plant tissues. *Annu Rev Phytopathol*, 2, 157-178.
- Ruey-Fang Y., Ho-Wen C., Wen-Po C. & Peng-Han H. (2009). Dosage Control of the Fenton Process for Color Removal of Textile Wastewater Applying ORP

- Monitoring and Artificial Neural Networks. *Journal of Environmental Engineering*, 135, 325-332.
- Sarasa, J. R., M. P., Ormad, M. P., Gimeno, E., Puig, A. & Ovelleiro, J. L. (1998). Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation. *Water Research*, 32 (9), 2721-2727.
- Torres, A.M., Mau-Lastovicka, T. & Rezaaiyan, R. (1987). Total phenolics and high-performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. *J. Agric. Food Chem.* 35: 921-925.
- Van der Horst H.C., Timmer J. M. K., Robbertsen T. & Leenders J. (1995). Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry: Model for mass transport. *Journal of Membrane Science*, 104, 205-218.
- Ugurlu M., Gürses A., Ç. Doğar & Yalçın M. (2008). The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, 87, 420-428.
- Umbuzeiro G.A., Freeman H.S., Warren S.H., Oliveira D.P., Terao Y., Watanabe T. & Claxton L.D. (2005). The contribution of azo dyes to the mutagenic activity of the Cristais River. *Chemosphere*, 60, 55-64.
- Walker G.M. & Weatherley L.R. (2000). Biodegradation and biosorption of acid anthraquinone dye. *Environmental Pollution*, 108, 2, 219-223.
- Wuyts N., Waele D. D. & Swennen R., (2006). Extraction and partial characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa acuminata* Grande naine) roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44, 308-314.
- Yacubowicz H. & Yacubowicz J. (2005). Nanofiltration: Properties nano and uses. *Filtration + Separation*, 42, 16-21.
- Yang D. & James D. E. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Research*, 40, 3683-3694.

- Yasar A., Ugur K. & Talha G. (2007). Comparison of classical chemical and electrochemical processes for treating rose processing wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 148, 340-345.
- Yuzhu F. & Viraraghavan T. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, 79, 251-262.
- Zoolinger, H. (1987). *Color chemistry-syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments*. VCH, New York.

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย)	นางสาวนิสาพร มุหะมัด
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Nisaporn Muhamad
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน	1-9599-0010-15-9
ตำแหน่งวิชาการ	อาจารย์
หน่วยงานที่สังกัด	สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
ที่อยู่	4 ถ.ผังเมือง 4 ซ.แสนสุข ต.สะเตง อ.เมือง จ. ยะลา 95000
โทรศัพท์	081-3883515
อีเมลล์	ss4420171@hotmail.com

### ประวัติการศึกษา

- 2548 ปริญญาตรี (วท.บ. วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี-ชีววิทยา)) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต หาดใหญ่ จ.สงขลา
- 2551 ปริญญาโท (วท.ม. ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา
- 2556 ปริญญาโท (ปร.ด. ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

### ผลงานวิจัย

- 2551 การสะสมของเอนไซม์ฟีนอลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและสารประกอบฟีนอลิกในยางพาราหลังติดเชื้อรา
- 2556 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในยางพารา
- 2557 ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสด

### รางวัลผลงานวิจัย

**เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในเซลล์แขวนลอยยางพารา** ได้รับรางวัลการนำเสนองานวิจัยแบบโปสเตอร์ในระดับดีเด่น จากงานประชุมวิชาการ TSB 2010 International Conference on Botechnology for Healthy Living ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตตรัง

### ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล(ภาษาไทย)	นายสมภพ เกาทอง
ชื่อ-นามสกุล(ภาษาอังกฤษ)	Mr. Somphop Paothong
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน	3-9599-00067-9-12
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงาน	สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
โทรศัพท์	(073) 266928 โทรสาร (073) 266929
อีเมลล์	somphop.p@hotmail.co.th

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี (กศ.บ. เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญาโท (วท.ม. เคมีศึกษา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

### ประวัติการศึกษา

- 2551 สารสกัดค่าแอสและผลต่อสีไข่แดงนกกระทา
- 2553 การวิเคราะห์ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกดาหลา
- 2553 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในเห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมและเห็ดฟาง
- 2554 การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในดอกดาหลา
- 2555 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุดต่อการต้านเชื้อจุลินทรีย์
- 2557 ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดค่าแอส
- 2558 การศึกษาสมบัติจากสารสกัดจากเปลือกกล้วยหินและการนำไปใช้ประโยชน์



### ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย)	นางสาวอุบล ต้นสม
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Ubol Tansom
เลขที่บัตรประชาชน	5-8099-00018-0-64
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์
หน่วยงานที่สังกัด	สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
โทรศัพท์	(073) 299628 โทรสาร (073) 299629
อีเมลล์	ubolma@gmail.com, ubol.t@yru.ac.th

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี (กศ.บ. เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้

ปริญญาโท (วท.ม. ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

### ผลงานวิจัย

- 2541 การวิเคราะห์สมบัติทางชีวเคมีของเลคตินจากเมล็ดจำปาตะ
- 2550 ผลของสารสกัดหยาบเมล็ดคำแสดต่อคุณภาพไข่และซากนกกกระทาญี่ปุ่น
- 2551 สารสกัดคำแสดและผลต่อสีไข่แดงนกกกระทา
- 2553 การวิเคราะห์ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกดาหลา
- 2553 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในเห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมและเห็ดฟาง
- 2554 การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในดอกดาหลา
- 2555 ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกมังคุดต่อการต้านเชื้อจุลินทรีย์
- 2557 ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดคำแสด

### ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย)	นางสาวปิยศิริ สุนทรนนท์
ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Piyasiri Soontornnon
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน	3-9203-00479-04-9
ตำแหน่งวิชาการ	อาจารย์
หน่วยงานที่สังกัด	สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
ที่อยู่	สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
โทรศัพท์	084-0654076
อีเมลล์	babysoontornnon@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

- 2546 ปริญญาตรี (วท.บ.เคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ จ.สงขลา  
 2551 ปริญญาโท (วท.ม. ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ จ.สงขลา

### ผลงานวิจัย

- 2551 สารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาหลา  
 2553 การวิเคราะห์ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกดาหลา  
 2554 การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในดอกดาหลา  
 2555 การวิเคราะห์ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระจากผลพิลังกาสา  
 2556 การผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษผักผลไม้  
 2557 ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดคำแสด

### รางวัลผลงานวิจัย

**สารต้านอนุมูลอิสระในพืชและผลไม้พื้นบ้าน** ได้รับรางวัลการนำเสนองานวิจัยแบบโปสเตอร์ในระดับ  
ดีเด่น จากงานประชุมวิชาการ ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ประจำปี 2550

### ประชุมวิชาการ

**การผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษผักผลไม้** เวทีถักถนกรองโครงการวิจัย ณ มหาวิทยาลัยนราธิวาส  
 ราชนครินทร์ ประจำปี 2556