

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นที่นิยมและมีการส่งเสริมให้ใช้ไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นไม้ที่ปลูกทดแทนได้ ทำให้เกิดโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น โดยใน 14 จังหวัดภาคใต้มีถึง 388 โรงงาน แต่อย่างไรก็ตามการแปรรูปไม้ยางพารานั้นจะต้องใช้สารเคมีที่มีสารประกอบโบรอนในการรักษาเนื้อไม้ เมื่อนำยารักษาเนื้อไม้นั้นมีสีดำจะทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ต้องปล่อยให้ทิ้ง การปล่อยให้ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อนนั้นย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียงได้

สีที่เกิดขึ้นในน้ำยารักษาเนื้อไม้มาจากลิกนินซึ่งให้สีน้ำตาล ลิกนินเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เป็นโพลีเมอร์ของสารพวกอะโรมาติก (พรรณนิภา มาลาณิตย์, 2545) น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานนั้นเป็นน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโบรอนสูงมาก หากโรงงานไม่มีการบำบัดและพื้นที่โรงงานอยู่ใกล้แหล่งชุมชน แหล่งน้ำ โบรอนปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำเป็นจำนวนมากก็จะ เป็นพิษต่อพืช สัตว์และมนุษย์ได้เช่นกัน การบำบัดน้ำทิ้งและนำกลับมาใช้ใหม่โดยที่ไม่ต้องปล่อยให้ทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อมก็จะทำให้ลดการแพร่กระจายของโบรอนที่มีความเข้มข้นสูง และลดการใช้สารประกอบโบรอนได้อีกด้วย

สำหรับบรรจุภัณฑ์กระดาษนั้นเป็นสิ่งคุ้นเคยกันดีในชีวิตประจำวัน มักใช้ในการหีบห่อสินค้า เพราะมีราคาถูก น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง สะดวกต่อการบรรจุและขนย้าย ในปัจจุบันอุตสาหกรรมนี้มีความสำคัญมากเพราะนอกจากผลิตใช้ในประเทศแล้วยังเป็นอุตสาหกรรมส่งออกอีกด้วย น้ำทิ้งที่เกิดจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษได้จากน้ำทิ้งที่เกิดจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ และน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก น้ำทิ้งนั้นจะมีกาปนอยู่เป็นจำนวนมาก และมีสารให้สีทั้งที่เป็นผงสีและสีย้อม ประเภทของสีสังเคราะห์ สามารถจำแนกสีได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง เช่นกลุ่มสีเอโซ (azo colorants) ซึ่งโครงสร้างของสีชนิดนี้จะต้องมีหมู่ $-N=N-$ อย่างน้อย 1 หมู่เป็นองค์ประกอบ และเป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุด เนื่องจากสังเคราะห์ได้ง่ายและให้เจดสีครบทุกเฉด โดยส่วนมากจะมีองค์ประกอบของโลหะหนักอยู่ เช่น โครเมียม ตะกั่วเป็นส่วนประกอบของสีเหลือง และแคดเมียมเป็นส่วนประกอบของสีแดง ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ

อาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากน้ำทิ้งมีส่วนประกอบของหมักพิมพ์แม้จะมีปริมาณไม่มากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ที่ใช้น้ำในการผลิตก็ตาม

การบำบัดสีมีได้หลายวิธี แต่วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการบำบัดสีทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน สารเคมีเฟนตันเป็นสารเคมีที่ผสมกันระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับเหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งทำปฏิกิริยากันได้อนุมูลไฮดรอกซิล ($HO\cdot$) โดยอนุมูลนี้มีความสามารถในการออกซิไดซ์ค่อนข้างสูง การบำบัดน้ำทิ้งทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งน่าจะมีผลกระทบต่อสารเคมีตกค้างน้อยกว่าวิธีการบำบัดทางเคมีอื่น ๆ โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดสีถูกออกซิไดซ์ในสภาวะกรดที่มีไอออนของเหล็กอยู่ อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งหลังการบำบัดทางเคมีนั้นยังคงมีสารเคมีและโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ไม่ควรปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แต่ควรนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ลดการกระจายของสารเคมีเป็นพิษสู่สิ่งแวดล้อม และลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย โดยเฉพาะการนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการใช้ปฏิกิริยาเฟนตันอย่างเหมาะสม ในการลด COD และสีในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์และ โรงงานผลิตกล่องกระดาษ

การตรวจเอกสาร

1. อุตสาหกรรมไม้ยางพารา

(<http://www.108wood.com> accessed 17/07/2006)

อุตสาหกรรมไม้ยางพารา (Rubber wood industry) หมายถึง กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับไม้ยางพาราทั้งระบบทุก ๆ ปัจจัย ครอบคลุมตั้งแต่การเลือกสรรพันธุ์ต้นยางพารา การปลูก การนำไม้ยางพารามาใช้ประโยชน์ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยมีการเพาะปลูกยางพารามากกว่าร้อยปี หากมองนโยบายของภาครัฐในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมานี้ได้มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากน้ำยางเป็นหลัก แนวโน้มการควบคุมการขยายพื้นที่การปลูกต้นยางอย่างชัดเจนซึ่งการจำกัดพื้นที่การปลูกสวนยางโดยมิได้มองถึงประโยชน์จากไม้ยางพาราเป็นสิ่งสำคัญ ข้อจำกัดต่าง ๆ ของไม้ยางพารา ประโยชน์ทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสังคม เรายังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังทั้งระบบและไม่มียุทธศาสตร์การพัฒนาที่ชัดเจน ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำอุตสาหกรรมไม้ยางพาราทั้งระบบมาศึกษา พัฒนาในปัจจัยต่าง ๆ และจัดทำยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมไม้ยางพาราเพื่อสร้างความชัดเจนและความสำคัญของไม้ยางพาราทั้งระบบ

จากการประเมินการตัดโค่นไม้ยางพาราในปริมาณ 2 แสนไร่ / ปี ในส่วนของเนื้อไม้จะสามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ประมาณ 65,000 ล้านบาท หากรวมมูลค่าการส่งออกยางแผ่นรมควันซึ่งใช้ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบในการรม จะมีมูลค่าถึง 97,000 ล้านบาท ซึ่งจากมูลค่าทางเศรษฐกิจนี้หากได้รวมมูลค่าทางเศรษฐกิจด้านอื่น ๆ อย่างครบวงจรแล้วจะทำให้มูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ฉะนั้นจึงควรให้ความสำคัญในการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากไม้ยางพาราต้องสร้างมูลค่าเพิ่มในส่วนที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ให้จริงจัง และพัฒนาข้อจำกัดให้เป็นโอกาสอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล จะทำให้เกษตรกรชาวสวนยางมีรายได้เพิ่มขึ้น และสร้างความเข้มแข็งให้กับผู้ประกอบการรายย่อยใน SME ให้เพิ่มมากยิ่งขึ้นและพัฒนาอุตสาหกรรมปลายน้ำให้มีฐานกว้างครอบคลุมถึงการใช้ไม้ยางพาราให้ได้ประโยชน์สูงสุดทุกด้านและสร้างคุณภาพที่เหมาะสมของการพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ยางพาราทั้งระบบ

1.1 ไม้ยางพารา

(<http://www.thailandrubber.thaigov.net> accessed 07/07/2006)

ไม้ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบกลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ เป็นไม้อยู่ในสกุล (Genus) *Hevea* และวงศ์ (Family) *Euphorbiaceae* ซึ่งวงศ์นี้มีอยู่ประมาณ 12 ชนิด ลำต้นมีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ การปลูกยางพาราในประเทศไทยเริ่มขึ้นระหว่าง

ปี 2442 - 2444 ที่จังหวัดตรัง โดย พระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) ต่อมาได้แพร่หลายไปทั่วพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และได้มีการปลูกบ้างแล้วในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วัตถุประสงค์หลักของการปลูกยางพารา ก็เพื่อกรีดน้ำยางไปทำยางแผ่นเพื่อจำหน่าย เมื่อต้นยางอายุมากขึ้นทำให้น้ำยางน้อยลงจึงทำการตัดโค่นและเผาทิ้งเพื่อปลูกใหม่ แต่ปัจจุบันไม้จากป่ามีปริมาณลดน้อยลงและมีพระราชบัญญัติปิดป่าทำให้ไม้ยางพาราได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะการนำไปแปรรูปเพื่อทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในการส่งออก ทำให้อย่างพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่ง จากการสำรวจพบว่า ไม้ยางพารา 1 ไร่ สามารถนำมาแปรรูปได้เฉลี่ย 20.64 ลบ.เมตร

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลม สูงปานกลาง เปลือกสีเทาดำ โครงสร้างภายในเมื่อมองทางด้านหน้าตัดจะเห็นท่อน้ำยาง (Latex vessel) ต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัส (Tangential) ลักษณะเนื้อไม้มีสีขาวนวล เนื้อไม้ค่อนข้างละเอียด มีเส้นเล็กน้อย ส่วนกระพี้และแก่นไม้แตกต่างกัน เห็นวงปีไม่เด่นชัดแต่ลายไม้มองเห็นได้เนื่องจากความแตกต่างความหนาแน่นของไฟเบอร์และปริมาณความหนาแน่นของเนื้อเยื่อพาราเรณิม (Parenchyma)

ลักษณะเด่นของไม้ยางพารา

ไม้ยางพารา เป็นไม้ที่มีคุณภาพทางกายภาพหลายประการใกล้เคียงกับไม้สัก มีลวดลายที่สวยงาม ย้อมสีได้ ตกแต่งง่าย น้ำหนักเบา รวมทั้งมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น ด้วยองค์ประกอบ ด้านคุณสมบัติอันโดดเด่น หลายประการเช่นนี้ ไม้ยางพาราจึงเป็นที่รู้จัก และนิยมใช้แพร่หลายทั่วโลก ในเวลาอันรวดเร็ว ในชื่อของ “ไม้สักขาว (White teak)”

สมบัติทางเคมีของไม้ยางพารา

สมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสดโดยคิดเป็นร้อยละน้ำหนักอบแห้งประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เพนโตซาน (Pentosan) ลิกนิน (Lignin) เถ้า (Ash) และสารแทรก (Extractives) บางรายงาน พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราแตกต่างไปจากนี้ โดยเฉพาะสัดส่วนของสารแทรก ซึ่งเข้าใจว่าขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพาราและวิธีการวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมี สารแทรกแม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อยแต่จะมีบทบาทสำคัญคือ การมีปริมาณสารแทรกชนิดต่าง ๆ อยู่มากน้อยไม่เท่ากันจะทำให้ไม้นั้นมีสีคล้ำหรือมีสีแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังทำให้มีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดราแตกต่างกันด้วย การมีปริมาณสารแทรกอยู่มากนั้นมีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติและหลังจากแห้งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกนำไปใช้งานในสภาวะอากาศที่มีความรุนแรง

สมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา

ตามมาตรฐานของกรมป่าไม้และสำนักงานมาตรฐาน กระทรวงอุตสาหกรรมจัดไม้ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อน ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นไม้ในการก่อสร้าง สาเหตุสำคัญเนื่องจากลำต้นมีขนาดเล็ก บิดงอง่ายและไม่คงทน แต่ใช้เป็นไม้แบบเพื่อก่อคอนกรีตและทำลั้งใส่ของได้ดี เพราะมีแรงยึดตะปูสูง

ไม้ยางพารามีความทนทานโดยเฉลี่ยไม่เกิน 2 ปี แต่ไม่ใช่ปัญหาใหญ่เพราะสามารถแก้ปัญหาโดยใช้น้ำยารักษาเนื้อไม้ได้ ไม้ยางพาราได้รับความนิยมสูงในการนำไปทำเครื่องเรือนโดยเฉพาะ โต๊ะ เก้าอี้ เพราะมีลายสวยงาม ตกแต่งได้ง่าย เนื้อไม้สีขาวนวล คล้ายไม้มะปิ่น (*Sterculia alata* Roxb.) ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งและได้รับความนิยมในการนำมาทำเฟอร์นิเจอร์ แต่ไม้ยางพาราสามารถนำมาทดแทนไม้มะปิ่นได้เป็นอย่างดี

การคงรูปขณะใช้งาน (Dimensional stability) นับเป็นคุณลักษณะของไม้ที่สำคัญประการหนึ่ง ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมสำหรับไม้ที่นำมาใช้ทำเครื่องเรือน หรือส่วนประกอบของอาคารที่ต้องการความแน่นอนในการเข้าไม้ เช่น วงกบและกรอบประตูหน้าต่าง การอบหรือผึ่งไม้มีวัตถุประสงค์ที่จะให้ความชื้นเหลืออยู่ในไม้ได้ส่วนสัมพันธ์กันกับสถานะความชื้นในอากาศโดยเฉลี่ยของสถานที่ซึ่งจะนำไม้ขึ้นไปใช้งานให้มากที่สุด เพื่อว่าไม้จะได้มีขนาดค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในภายหลัง

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นได้ง่ายเมื่ออากาศเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเพื่อป้องกันการคุดและคายความชื้น ควรเคลือบสีหรือการชักเงาโดยใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงในการป้องกันความชื้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงเฉพาะด้านรัศมีและสัมผัสจะเห็นได้ว่าไม้ยางพาราจัดเป็นไม้ที่มีการหดตัวน้อย แต่เนื่องจากคุดความชื้นได้มาก การพองตัวก็เป็นไปได้มากเช่นกัน และยิ่งไปกว่านั้นการยืดหดตัวทางด้านยาวของไม้ยางพาราสูงผิดปกติ จึงทำให้การคงรูปขณะใช้งานไม่ดีนัก เว้นแต่ว่าไม้ยางพาราจะได้รับการอบที่ถูกต้องและมีการเคลือบผิวดีเป็นพิเศษ

คุณสมบัติเกี่ยวกับการแห้ง การหดตัว และการคงรูปขณะใช้งานโดยการนำเข้าอบในเตาอบอุตสาหกรรม ปรากฏว่าไม้ยางพาราเป็นไม้ที่อบแห้งได้ง่ายและรวดเร็ว เช่น ไม้หนา 1 – 2 ½ นิ้ว กว้าง 3 – 6 นิ้ว ความชื้นเริ่มอบ 60 – 70 % อาจอบให้แห้งมีความชื้น 8 – 10 % ได้ภายในเวลา 5 – 7 วัน

1.2 การป้องกันและรักษาเนื้อไม้

ความเสื่อมสภาพของไม้สามารถจะจำแนกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1. ความเสื่อมสภาพทางชีวภาพ เกิดจากเชื้อรา แมลงและเฟรียง
2. ความเสื่อมสภาพทางฟิสิกส์ เกิดจากความร้อน ความชื้น การยืด หดตัว แตรกร้าว ปริ และโดยการกระทำของสภาพอากาศ
3. ทางกล เกิดจากการเสียดสี เหยียบย่ำ การแตกหักเพราะมีน้ำหนักกระทำ
4. ทางเคมี เกิดจากการถูกรวด ค้าง ออกซิเจน และถูกไฟไหม้

ความเสื่อมสภาพจากสาเหตุแรกนั้นเป็นความเสื่อมที่สามารถป้องกันได้โดยใช้น้ำยารักษาเนื้อไม้ ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานต่อไปได้อีก ไม้ที่ทนทานต่อการทำลายโดยไม้ต้องอาศัยน้ำยารักษาเนื้อไม้เรียกว่าเป็นไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติ น้ำยารักษาเนื้อไม้ คือสารเคมีที่เป็นพิษต่อตัวการทำลายไม้ ซึ่งได้แก่ เชื้อรา แมลง และเฟรียง ดังกล่าวแล้วข้างต้น โดยปกติแล้วยา รักษาเนื้อไม้จะต้องเป็นของเหลวเพื่อให้ซึมผ่านเนื้อไม้ได้สะดวก จะเป็นในรูปสารเคมีผสมสารละลาย หรือเป็นน้ำมันผสม หรือเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำก็ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ครีโอลิโอสต หรือสารผสมที่ได้จากน้ำมันดิน ถ่านหิน มีประสิทธิภาพสูง ไม้ละลายน้ำ ติดกับไม้ได้นานมาก ช่วยให้ไม้ไม่แตกกร้าว ไม่กัดโลหะ ใช้กับงานที่ต้องการความคงทนมาก ๆ เช่น ไม้หมอนรถไฟ ไม้เสาไฟฟ้า ปกติใช้วิธีการอัดแบบไม่เต็มเซลล์ ซึ่งมีข้อเสียคือมีกลิ่นรุนแรง มีสีดำ ทาสีทับไม่ได้
2. สารเคมีผสมสารละลายประเภทน้ำมัน เช่น Tanalith T (เป็นสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันซึ่งมีสารออกฤทธิ์เป็น Permethrin สามารถใช้วิธีการจุ่ม ฟันหรือทาได้)
3. สารเคมีผสมน้ำ ที่ใช้กันอยู่ในบ้านเรา เช่น สารพวก Boron compound (น้ำยาอัดขาว), Copper Chrome Arsenic (CCA, น้ำยาอัดเขียว) ซึ่งประเภท Boron Compound ใช้กันมากในการรักษาเนื้อไม้พวกไม้ยางพารา ไม้เนื้ออ่อน ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ประเภทใช้งานภายใน โดยอัดให้มีปริมาณน้ำยาตกค้าง ที่ 0.2 % Boric Acid Equivalence (BAE) ส่วน CCA ใช้กับไม้ที่ต้องการทนแดดทนฝนเป็นพิเศษ เพราะมีการยึดติดกับเนื้อไม้ได้ดี โดยปกติจะใช้วิธีการอัดแบบเต็มเซลล์

สมบัติของน้ำยารักษาเนื้อไม้ น้ำยารักษาเนื้อไม้ควรมีสมบัติดังนี้

1. ปลอดภัย หรือเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยที่สุด
2. มีประสิทธิภาพ ต้องเป็นพิษกับตัวการทำลายไม้
3. คงทน อยู่ในเนื้อไม้ได้นาน
4. ค่าใช้จ่ายไม่สูง คຸ້ມกับความต้องการรักษาเนื้อไม้

วิธีการอัดน้ำยาไม้ มี 2 วิธี คือ

1. วิธีใช้แรงอัด คือการอัดโดยใช้ถังอัด แบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ
 - 1.1 กรรมวิธีอัดเต็มเซลล์ คือมีการทำสุญญากาศ (-630 mmHg) ร่วมกับการอัดแรงดัน (150 - 200 psi)
 - 1.2 กรรมวิธีอัดเซลล์ว่าง คือทำการอัดแรงดันอย่างเดียว (ใช้ลมอัด 60 psi และอัดน้ำยาที่ 150 - 200 psi)
 - 1.3 กรรมวิธีใช้แรงดันสลับ คือทำการใช้แรงอัดสลับกับสุญญากาศ หลาย ๆ ครั้ง
 - 1.4 กรรมวิธีใช้สุญญากาศซ้ํอน คล้ายกับวิธีอัดเต็มเซลล์ แต่ใช้แรงดันต่ำกว่า
2. วิธีไม่ใช้แรงอัด เป็นการนำน้ำยารักษาเนื้อไม้ ทา พ่น บนผิวไม้ หรือ นำไม้จุ่ม แช่ ในน้ำยารักษาเนื้อไม้

การอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้

(ฝ่ายวิจัย คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545)

ไม้ท่อนยาวพาราที่ตัดจากสวนไม่เกิน 3 วันหรือ 72 ชั่วโมงจะต้องนำเข้าสู่โรงเลื่อย และถูกเลื่อยทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำลายจากเชื้อราและแมลงที่จะทำลายเนื้อไม้เนื่องจากไม้ยํงพาราเป็นไม้ที่มีน้ำตาล แป้ง และความชื้นสูง ดังนั้นเมื่อเลื่อยเปิดปีกแล้วจะนำไปผ่านกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้เข้าไปเนื้อไม้ด้วยวิธีสุญญากาศ โดยใช้เวลาประมาณ 1 1/2 - 2 ชั่วโมง โรงงานขนาดเล็กมักใช้วิธีการอบน้ำยาโดยการแช่ไม้ลงในบ่อเก็บน้ำยา ซึ่งไม่สามารถรักษาคุณภาพเนื้อไม้ได้ดีเท่าวิธีสุญญากาศ น้ำยารักษาเนื้อไม้ที่ใช้อัดเข้าไปในเนื้อไม้ยํงพารานั้นจะมีส่วนผสมคล้าย ๆ กันบางบริษัทอาจจะเพิ่มสารเคมีอย่างอื่นเข้าไปเพื่อให้ไม่มีสีขาวอมเหลือง แต่อย่างไรก็ตามน้ำยารักษาเนื้อไม้จะมีสารเคมีหลัก ๆ ที่เป็นสารประกอบของโบรอน คือ กรดบอริก (H_3BO_3) และบอเร็กซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)

ขั้นตอนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ (ภาพประกอบที่ 1)

1. นำไม้ยางพาราที่เรียงไว้ในรถเข็นเข้าไปในถังอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ ปิดฝาประตูหัว – ท้าย เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศและน้ำ
2. เปิดเครื่องเพื่อดูดน้ำในถังออกให้หมด และดูดอากาศ (Vacuum) ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ น้ำที่มีในเนื้อไม้ออกมาให้มากที่สุด ตรวจสอบว่าท่อน้ำทิ้งไม่มีน้ำไหลออกมาอีกจึงปิดเครื่อง
3. เปิดวาล์วถึงพักน้ำยารักษาเนื้อไม้เข้าไปในถังอัด ปิดวาล์วน้ำทิ้ง แล้วเดินเครื่องปั๊มน้ำยารักษาเนื้อไม้ให้แรงอัดน้ำยาตามเกจวัด (Pressure gauge) ประมาณ 160 ปอนด์/ตารางนิ้วทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
4. ปิดเครื่องปั๊มน้ำยารักษาเนื้อไม้และเปิดวาล์ว (Drain) ให้น้ำยารักษาเนื้อไม้กลับเข้าถังพักเดิม เพื่อเก็บไว้ใช้ครั้งต่อไป เมื่อน้ำยารักษาเนื้อไม้ออกจากถังอัดหมดแล้ว จึงเปิดถังนำไม้ออกมา

การอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ทั้งกระบวนการจะใช้เวลาประมาณ 1 ½ - 2 ชั่วโมงการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้วิธีสูญญากาศ โดยเฉพาะแบบอัดเต็มเซลล์ จะให้ผลดีกว่าการทาน้ำยาป้องกันบนผิวไม้ซึ่งเป็นวิธีที่ผิวผืนและสิ้นเปลือง การอัดน้ำยานี้สามารถทนทานได้นานถึง 20 ปีส่วนการทาน้ำยาจากทนทานได้เพียง 5 ปี



ภาพประกอบที่ 1 แสดงขั้นตอนการอัดน้ำยา และเครื่องอัดน้ำยาไม้ยางพารา

การอบไม้

การอบไม้ยางพาราจะทำต่อเมื่อไม้แห้งได้ผ่านการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้มาแล้ว โดย การอบทำเพื่อกำจัดความชื้นออกจะทำให้เนื้อไม้แห้ง เนื่องจากไม้ยางพารามีความชื้นสูงลักษณะ การอบจะเป็นการอบแบบใช้ไอน้ำ โดยจะใช้น้ำส่งไปตามท่อ บางโรงงานจะมีเครื่องควบคุมแบบ อัตโนมัติ และมีตารางการอบไม้ยางพารา แต่โรงงานส่วนใหญ่จะไม่มีตารางอบไม้ แต่จะอบโดย อาศัยประสบการณ์ซึ่งจะอบให้มีความชื้นร้อยละ 8 – 10 ปกติการอบไม้จะใช้เวลา 7 – 15 วัน ถ้าไม้ ยางพาราหนา 2 นิ้ว จะต้องใช้เวลาอบ 10 – 12 วัน ซึ่งจะเร็วกว่าการอบไม้สักประมาณ 2 เท่า การอบไม้จะทำให้ไม้หดตัว การหดตัวของไม้ยางพาราจะหดในด้านรัศมีและด้านสัมผัสใกล้เคียง กับไม้สัก แต่การหดตัวของด้านยาวตามเส้นไม้ของยางพาราจะสูงกว่า ร้อยละ 0.9 – 1.1 ความ เสียหายที่เกิดจากการอบมีน้อยมาก หลังจากอบแล้วควรนำไม้เก็บไว้ในที่แห้ง มีหลังคา อากาศถ่าย เทสะดวก

การอบไม้ยางพาราให้แห้งเร็วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก นับเป็นขั้นตอนสุดท้ายของ กระบวนการในกรรมวิธีการรักษาเนื้อไม้ยางพาราก่อนที่จะนำไปทำเครื่องเรือนหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

1.3 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา

ไม้แปรรูป (Sawn timber) การส่งออกไม้ยางพาราแปรรูปจะต้องมีการอัดน้ำยา รักษาเนื้อไม้และอบให้แห้ง ไม้ยางพาราได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์เป็นส่วนใหญ่ซึ่ง นำไปผลิตเฟอร์นิเจอร์หลายรูปแบบ เช่น ชุดโต๊ะอาหาร ชุดรับแขก ตู้ เฟอร์นิเจอร์ทั่วไป ไปจนถึงชุด สนามในสวน เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราส่งออกมีทั้งโดยการประกอบสำเร็จ กึ่งสำเร็จรูป (Semi-knock-down) หรือแยกส่วนประกอบ (Complete-knock-down) ทั้งหมด เนื่องจากสีขาวนวลและ คุณภาพในการทำสียอมทำให้ไม้ยางพาราเป็นที่ยอมรับของตลาดส่งออก ของใช้ในครัวเรือนหลาย อย่าง เช่น ชาม ถาด ที่เสียบมีด ผลิตจากการต่อเศษไม้เล็ก ๆ ของไม้ยางพารา ทำให้การใช้ไม้อย่างมี ประสิทธิภาพสูงสุด ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องการผิวหน้าที่ใสและไม่มีสารพิษ เครื่องใช้ในครัวจากไม้ ยางพาราเป็นที่นิยมในอเมริกาเหนือและประเทศในยุโรป มีการผลิตของเล่นไม้จากไม้ยางพารา สำหรับจำหน่ายภายในประเทศและส่งออก อย่างไรก็ตามการเคลือบของเล่นต้องใช้ยาที่ไม่เป็น พิษต่อมนุษย์ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ทำวัสดุก่อสร้าง ด้วยคุณภาพเฉพาะตัวของไม้ยางทำให้ปรับ คุณภาพต่อแบบนิ้วเสียบและต่อแบบอัดกาวเป็นชิ้นใหญ่ได้ง่ายใช้ทำเป็น คาน (Beams) เสา (Columns) ผนัง (Weatherboards) ฝ้า

การส่งออกไม้ยางพาราแปรรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด และมีอัตราการขยายตัวสูงมาก จะเห็นได้จากปริมาณและมูลค่าการส่งออกปี พ.ศ. 2541 เป็น 74,110 ลูกบาศก์เมตร มูลค่า 353.18 ล้านบาท ได้เพิ่มเป็น 1,305,015 ลูกบาศก์เมตร มูลค่า 3,417.26 ล้านบาท ในช่วง 11 เดือนแรก (มกราคม – พฤศจิกายน) ของปี พ.ศ. 2545 ตลาดส่งออกไม้ยางพาราแปรรูปที่สำคัญได้แก่ จีน ฮองกง เวียดนาม มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน และ ญี่ปุ่น (<http://www.108wood.com> accessed 17/07/2006)

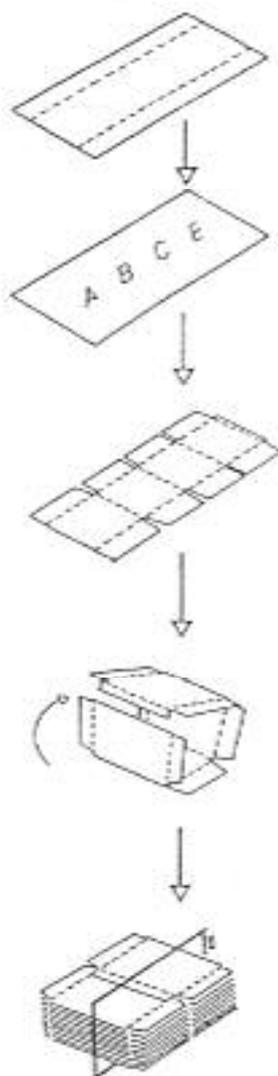
มูลค่าการส่งออกเฟอร์นิเจอร์ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้จากมูลค่าการส่งออกในปี 2540 เป็น 14,393 ล้านบาท เพิ่มขึ้นเป็น 28,081 ล้านบาท ในปี 2544 อัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 18.6 ต่อปี ตลาดส่งออกเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา สหราชอาณาจักร เยอรมนี เกาหลีใต้ ฝรั่งเศส อิตาลี และเนเธอร์แลนด์ ส่วนผลิตภัณฑ์ไม้ ตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร เยอรมนี และเนเธอร์แลนด์ (<http://www.108wood.com> accessed 17/07/2006)

2. อุตสาหกรรมกระดาษ

อุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่เริ่มต้นตั้งแต่อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยใช้เยื่อกระดาษมาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่าง ๆ และเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐาน ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถทดแทน การนำเข้าได้อย่างมาก อัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมนี้เป็นตัวบ่งชี้ ความเจริญก้าวหน้าทางสังคม และการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศได้เป็นอย่างดี โดยอัตราการใช้กระดาษของคนไทยโดยเฉลี่ยมีประมาณ 40 กิโลกรัม/คน/ปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความต่อเนื่องกันอย่างเห็นได้ชัด ปัจจุบันมีผู้ผลิตกระดาษแข็งและกระดาษกล่องประมาณ 14 ราย มีกำลังการผลิตโดยรวมประมาณ 255,000 ตันต่อปี ปริมาณความต้องการใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษทั้งเพื่อการส่งออกและเพื่อการบริโภคในประเทศ

2.1 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์

หลังจากผ่านกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก ทำให้ได้กระดาษลูกฟูกขนาดที่ต้องการแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งมีกระบวนการโดยทั่วไปดังภาพประกอบที่ 2



ตัดกระดาษลูกฟูกให้พอดีกับขนาดกล่องที่จะผลิต

เข้าสู่กระบวนการพิมพ์

ตัดหรือเจาะให้เป็นรูป เพื่อให้เกิดรูปกล่อง แล้วจึงพับให้เป็นรอย

พับและเชื่อมจุดที่ซ้อนกัน โดยอาจใช้วิธีติดกาว ร้อยด้วยเหล็ก หรือติดแถบกาว

รวบรวมให้เป็นระเบียบ จำนวนหนึ่ง แล้วมัดรวมไว้ เมื่อถึงมือผู้บริโภค สามารถขึ้นรูปกล่องได้ทันที

ภาพประกอบที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ที่มา : Layfield, 1990

2.2 การพิมพ์บรรจุภัณฑ์

การพิมพ์บรรจุภัณฑ์ที่นิยมนำมาใช้มี 5 วิธี คือ (บุษยา และวรวรรณ, 2535)

1. กระบวนการพิมพ์ดีด (Letterpress printing)
2. กระบวนการพิมพ์ร่องลึก (Offset printing)
3. กระบวนการพิมพ์ดีดด้วยแม่พิมพ์ทำด้วยยาง (Flexographic printing)
4. กระบวนการพิมพ์พื้นราบ (Gravure printing)
5. กระบวนการพิมพ์ผ่านฉากพิมพ์ (Silk screen process)

2.3 หมึกพิมพ์ (Printing ink)

หมึกพิมพ์ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้ คือ (นันทา วิทวุฒิสักดิ์, 2527)

1. ส่วนที่เป็นสี (Colorant)

ส่วนที่เป็นสี (Colorant) มีหน้าที่ให้สีในกระบวนการพิมพ์ สามารถแบ่งตามคุณสมบัติการละลายในตัวกลางได้เป็น 2 ประเภท คือ ผงสีและสีข้อม โดยผงสีมีคุณสมบัติไม่ละลายในตัวกลาง (Insoluble) ส่วนสีข้อมมีคุณสมบัติที่ละลายในตัวกลาง (Soluble)

1.1 ผงสี (Pigment) เป็นส่วนที่เป็นสีที่มีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอย (Colloid) ขนาดเล็ก ๆ ตั้งแต่ 0.01 – 100 μm แล้วแต่ชนิดของสี (ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1) สามารถจำแนกได้ง่าย ๆ แต่เหมาะสมตามที่มาและองค์ประกอบได้เป็น 2 ชนิดคือ ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigment) และผงสีอินทรีย์ (Organic pigment) ผงสีอนินทรีย์มีทั้งที่ได้มาจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ โดยจะเป็นสารประกอบออกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต ฟอสเฟต โครเมต และคาร์บอเนตของโลหะหนัก จะให้สีแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ (ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2)

ผงสีอินทรีย์จะประกอบขึ้นจากสารเคมี 2 กลุ่มคือ กลุ่ม Chromophores และกลุ่ม Auxochrome (Krik – Othmer, 1985) ซึ่งกลุ่ม Chromophores จะเป็นตัวที่จะให้สีออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้จากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอม ของ Chromophores โดยกลุ่มอะตอมเหล่านี้ จะทำหน้าที่ดูดกลืนแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้เห็นโทนสี (Hue) ต่างกันไปในขณะที่กลุ่ม Auxochrome จะเป็นตัวช่วยเสริมกำลังสีให้เข้มขึ้นและช่วยให้สีมีสมบัติยึดติดกับพื้นผิวสีและความเข้มสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนระดับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนระหว่างพันธะของ Chromophores และ Auxochrome

ตารางที่ 1 ขนาดของสีผงอนินทรีย์บางชนิด, μm

ผงสี	ขนาดของอนุภาค (μm)
Iron blue	0.01 - 02
Titanium dioxide	0.2 - 0.3
Red iron oxide	0.3 - 0.4
Natural crystalline silica	1.5 - 9.0
Strontium chromate	0.3 - 20.0
Hydrated aluminium oxide	0.4 - 60.0
Micaceous iron oxide	5.0 - 100.0

ที่มา Krik – Othmer. 1985

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผงสีอนินทรีย์

ผงสี	สี	ชื่อ	องค์ประกอบทางเคมี	ชนิด
ธรรมชาติ	ขาว	Manesium Silicate	$\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$	ผงสีผสมเพิ่ม
		Baryte	BaSO_4	
		Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
		Silica, quartz	SiO_2	
		Mica	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
	เหลือง	Yellow ochre	20-50% Fe_2O_3	ผงสี
	น้ำตาลแดง	Sienna	50-70% Fe_2O_3	
สังเคราะห์	ขาว	Titanium dioxide	TiO_2	
		Zinc oxide	ZnO	
	ส้ม-เหลือง	Chrome yellow	PbCrO_4	
		Chrome orange	$\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbO}$	
		Cadmium orange	CdS	
แดง	Venetian red	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaSO}_4$		

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ผงสี	สี	ชื่อ	องค์ประกอบทางเคมี	ชนิด
สังเคราะห์		Red lead	$Pb_3O_4 + PbO$	
		Cadmium red	$CdS + CdSe$	
		Chrome red	$PbCrO_4, PbO$	
	น้ำเงิน	Iron blue	$FeNH_4Fe(CN)_6$	
		Cobalt blue	$CaO.Al_2O_3$	
	เขียว	Chrome oxide green	Cr_2O_3	
	น้ำตาล	Iron oxide brown	$\gamma-Fe_2O_3$	
		Metallic brown	$FeO + Silicate$	
	ดำ	Iron oxide black	Fe_3O_4	

ที่มา พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2527

1.2 สีย้อม (Dye or dyestuffs)

การจำแนกสีย้อมตามประโยชน์การใช้งาน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับมาก ทำให้สามารถเลือกใช้สีได้ตามต้องการและถูกวัตถุประสงค์ของงาน สีย้อมประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 11 ชนิดด้วยกันดังต่อไปนี้ (มณฑนา พงษ์ไทยพัฒน์, 2533)

- สีย้อมด่าง (Basic dyes) เป็นเกลือของสารอินทรีย์ที่เป็นด่าง (Organic base) ละลายในน้ำได้ดี ให้สีสดใส ทนทานต่อแสงแดดและการซักล้างค่อนข้างต่ำ แต่มีราคาสูงที่สุด
- สีย้อมกรด (Acid dyes) เป็นเกลือของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดซัลฟูริก เป็นสีที่ย้อมง่ายให้สีสดใส การย้อมควรทำให้สภาวะที่น้ำย้อมเป็นกรดหรือเป็นกลางมีความคงทนต่อแสงตั้งแต่ขั้นพอใช้ถึงดีมากและคงทนต่อการซักล้างปานกลางถึงดีเยี่ยม
- สีไคเรกซ์ (Direct dyes) เป็นเกลือของกรดที่มีสีเมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็นไอออนมีประจุลบ เป็นสีที่ใส่ย้อมได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้สารช่วยให้ติดสี ความทนทานต่อแสงแดดดี
- สีมอร์แดนท์ (Mordant dyes) เป็นสีที่ตัวมันเองไม่ติดเส้นใย ต้องใช้ร่วมกับสารเคมีซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างเส้นใยกับสี โดยส่วน

มากเป็นสารประกอบพวกเกลือของโลหะพวกโครเมียมเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่ไม่ละลายน้ำ

- สีกำมะถัน (Sulphur dyes) มีสมบัติไม่ละลายน้ำ สีไม่สด มักจะให้สีมืดทึบและด้าน ส่วนใหญ่ใช้ย้อมสีดำ น้ำตาล กรมท่า ทนต่อแสงแดด แต่ไม่ทนต่อการซักฟอกด้วยสารประเภทคลอรีน
- สีแวต (Vat dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ ต้องใช้ Reducing agent ที่เหมาะสมมาช่วยทำให้ละลาย สีกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ มีความคงทนที่สุด ปัจจุบันมีการพัฒนาสีแวตให้ละลายน้ำได้ เรียกว่า สีโซลูบิไลซ์ (Solubilised dyes) มีความทนทานยอดเยี่ยม ให้สีสดใสมากและเป็นสีที่มีราคาแพงที่สุด
- สีอะโซอิก (Azoic dyes) เป็นสีที่ประกอบด้วยสารอะโซ (Azo) จะให้สีต่างกันออกไปในขอบเขตที่กว้าง ตั้งแต่เฉดสีส้มไปจนถึงดำและสีน้ำเงิน สีกลุ่มนี้ติดดีมีความทนทานต่อการซักฟอกสูง แต่ความทนทานต่อแสงแดดและความทนทานต่อการขัดสีมีระดับต่าง ๆ กันตั้งแต่ดีจนถึงเลว
- สีดิสเพอร์ส (Disperse dyes) เป็นโมเลกุลสีที่ไม่มีขั้วละลายน้ำได้ยาก แต่จะกระจายตัวเม็ดสีลอยอยู่ในน้ำได้เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว สีมีความทนทานต่อแสงแดดและการซักล้างได้ดีแต่จะมีการซีดจาง หากกระทบกับไอของสารเคมี
- สีออกซิไดซ์ (Oxidation dyes) เป็นสีที่ใช้ย้อมเคลือบเส้นใยโดยไม่เกิดสีก่อน ต่อเมื่อใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น Oxidising agent ย้อมทับเข้าไปสีจะถูกออกซิไดซ์ เกิดเป็นสีส้นขึ้น
- สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) คุณสมบัติละลายในน้ำได้ง่ายแล้วดูดติดเส้นใยได้ดี คงทนต่อการซักล้างได้ดีมาก และให้สีประเภทอ่อนได้สดใสดีด้วย
- สีมิเนอรัลและพิกเมนต์ (Mineral and pigment dyes) เป็นกลุ่มสีที่ได้จากออกไซด์ของโลหะ ตัวสีเป็นผงละเอียดไม่ละลายน้ำต้องอาศัย ตัวเชื่อมพาให้สีติดแน่นกับเส้นใยได้ดี และทำให้สีสดใสติดทนถาวร มีความคงทนต่อการขัดสี แสงแดด กรดและด่าง ได้ดีมาก

2. ส่วนที่เป็นสารนำ (Vehicle) หรือสารยึดเกาะ (Binder)

เป็นส่วนที่ทำให้สีน้ำหมึกเหลวโดยช่วยให้ผงสีสามารถกระจายตัวและไม่จับตัวเป็นก้อน และยังทำหน้าที่ยึดสีไว้ในน้ำหมึก ทำให้น้ำหมึกไม่ระเหยแห้งและเมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษก็ทำหน้าที่เป็นตัวยึดสีให้ติดอยู่กับตัวกระดาษ (นันทา วิทยุศาสตร์, 2527)

3. ตัวทำละลาย (Solvent)

ตัวทำละลายเป็นของเหลวที่ระเหยได้ ใช้ลดความหนืดขณะผสมสี ปัจจุบันน้ำหมึกแห้งเร็วมาก จึงจำเป็นต้องผสมตัวทำละลายหมึก เพื่อให้หมึกที่เก็บอยู่ในภาชนะไม่แข็งตัวก่อนที่จะพิมพ์เป็นการควบคุมระยะเวลาแห้งของสีในช่วงแรกของการทา ตัวทำละลายนี้ทำให้ตัวสีละลายตัวอยู่ตลอดเวลา เมื่อพิมพ์บนกระดาษแล้วตัวทำละลายก็จะระเหยไป หมึกก็จะแห้งได้

4. ตัวทำให้แห้ง (Drier)

ตัวทำให้แห้ง เป็นตัวเติมที่ใส่ลงในสีเพื่อช่วยให้สีแห้งโดยอาศัยออกซิเจนในอากาศ เมื่อหมึกเกาะบนพื้นผิวแล้วจะต้องแห้งโดยเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิมพ์โดยเครื่องพิมพ์เร็ว ๆ ถ้าหมึกแห้งช้าก็จะเลอะหน้ากระดาษถัดไปทำให้การพิมพ์เสียหาย การที่หมึกพิมพ์แห้ง (Dunn.*et.al.*, 1966) เช่นการซึมผ่านพื้นผิว (Absorption) การระเหยของตัวทำละลาย (Solvent evaporation) การตกตะกอนของยางไม้ (Resin precipitation) การรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation) การรวมตัวของหมึกแล้วแข็งตัว (Polymerization) การใช้ความเย็น (Cold - setting) การเปลี่ยนรูปเป็นเจล (Gelatin) เป็นต้น ตัวทำให้แห้งนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ไม่เสื่อมคุณภาพเร็ว รวมตัวกับส่วนที่เป็นตัวนำง่าย และมีปริมาณโลหะที่ควบคุมได้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในหมึกพิมพ์ คือเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) และโลหะของกรดอินทรีย์ (Metallic soaps of organic acid) เช่นโคบอลท์มักใช้ร่วมกับตะกั่ว แมงกานีส แคลเซียม เหล็ก ซีเรียม เซอคอนเนียม และลิเทียม เป็นต้น

5. ตัวทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษ

หมึกที่ใช้พิมพ์หากต้องการคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ จะต้องใช้วัสดุเพิ่มเข้าไปในตัวหมึก เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการนั้น วัสดุที่ใช้ผสมคือ

- ยางไม้ (Resin) เป็นส่วนผสมที่ใช้เพื่อทำให้หมึกข้นและช่วยให้พิมพ์ติดสีดีขึ้น
- Ink compound เป็นวัตถุที่ทำจากขี้ผึ้ง ไชสบู่หรือน้ำมัน เพื่อให้เกิดคุณภาพในการพิมพ์สะดวกขึ้น สีของหมึกกระจายได้สม่ำเสมอ ตัดความเหนียวของหมึก ป้องกันหมึกที่พิมพ์แล้วติดกระดาษด้านบน
- วัตถุที่ทำให้ออกซิไดซ์ช้า (Antioxidants) ในกรณีที่หมึกแห้งเร็ว จำเป็นต้องมีวัตถุที่ช่วยไม่ให้หมึกแห้งระหว่างที่หมึกยังอยู่ในภาชนะ

บรรจุ หรืออยู่ในรางแทนพิมพ์ วัตถุพวกนี้มี Phenols phrocatechol เป็นพวก Ether, Aromatic amines naphthols และ Phenol เป็นต้น

- วัตถุระงับกลิ่นและวัตถุสร้างกลิ่น (Deodorants and reodorants) หมักพิมพ์บางครั้งก็มีกลิ่นน่ารังเกียจเพราะมีส่วนผสมต่าง ๆ อาจให้กลิ่นแรง จึงมีการคิดผสมสารเคมีบางอย่างเพื่อขจัดกลิ่นและบางครั้งก็เพิ่มกลิ่นหอมเข้าไป
- Chelating agents เป็นสารที่ช่วยป้องกันไอออนของโลหะที่ไม่ต้องการ ซึ่งจะช่วยให้หมึกมีสีสม่ำเสมอ น้ำหมึกข้นเหนียว
- Surfactant เป็นสารที่ใส่เข้าไปเพื่อให้ น้ำหมึกแผ่ตัวแทรกซึมได้เร็วขึ้น

3. ผลกระทบจากน้ำทิ้ง

3.1 ผลกระทบจากน้ำยารักษาไม้

จากกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้เนื้อนี้ เมื่อใช้น้ำยาซ้ำหลาย ๆ ครั้งอาจทำให้น้ำยามีสีเปลี่ยนไปโดยน้ำที่ได้จะมีสีน้ำตาลจนถึงดำ ส่งผลต่อสีของเนื้อไม้ เมื่อมีการใช้น้ำยาในครั้งต่อไปโดยมีสีเข้มขึ้น โรงงานจะต้องมีถังเก็บน้ำยารักษาเนื้อไม้ปริมาณ 20,000 ลิตร ซึ่งในการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ 3,250 กิโลกรัมจะใช้ น้ำยา 1,600 – 1,800 ลิตรต่อครั้งและถึงผสมน้ำยาขนาด 2,500 ลิตร อัตราส่วนการผสม กรดบอริก (H_3BO_3) 10 กิโลกรัม และสารบอแร็กซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) 15 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ 1 กิโลกรัม เพื่อใช้เป็นสารฟอกขาวอีกด้วย (โรงงานรัตนภูมิพาราเวด)

เนื่องจากน้ำยารักษาเนื้อไม้บางพาราที่ใช้มานานจะมีสีที่เกิดขึ้น จึงต้องเปลี่ยนน้ำยาใหม่และทำให้ต้องปล่อยทิ้งไป น้ำทิ้งจากโรงงานนั้นเป็นน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโบรอนสูง หากโรงงานไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งและพื้นที่โรงงานอยู่ใกล้แหล่งชุมชน และแหล่งน้ำ การปนเปื้อนของโบรอนสู่ดิน สู่แหล่งน้ำ เป็นจำนวนมากก็จะเป็นพิษต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ได้เช่นกัน

ผลกระทบจากสารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากน้ำยารักษาเนื้อไม้

สารเคมีที่ปล่อยออกมามีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ดังแสดงในตารางที่ 3

(<http://msds.pcd.go.th> accessed 09/07/2006)

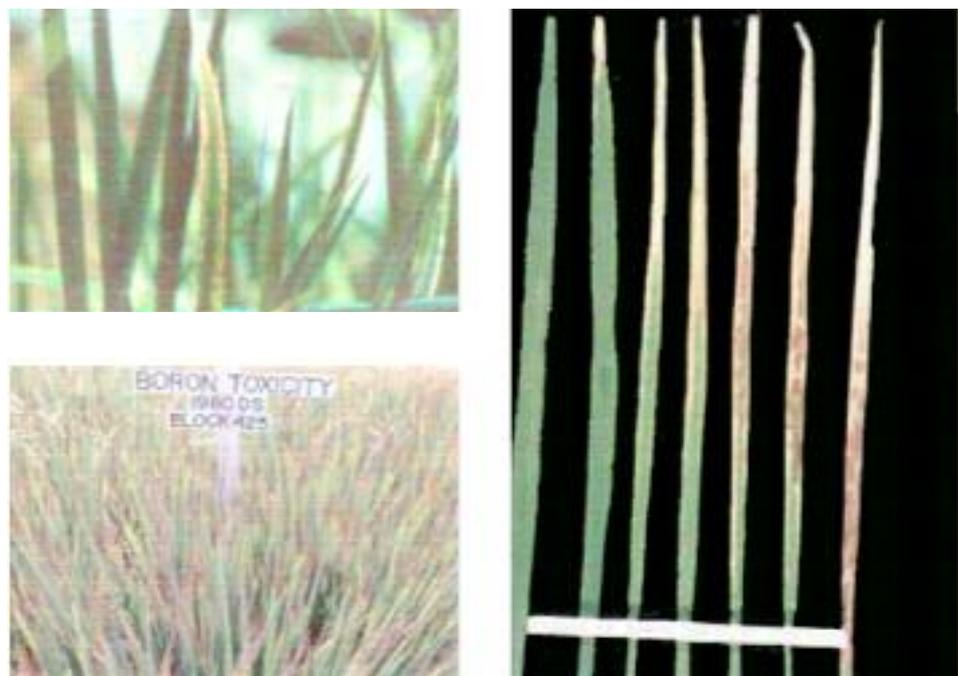
ตารางที่ 3 สารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากน้ำยารักษาเนื้อไม้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ผลกระทบ / สัมผัส / ความผิดปกติ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย		
	จากโบรอน (B)	จากกรดบอริก (H_3BO_3)	จากสารบอร์แรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
สัมผัสทางหายใจ	ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และมีอาการเนื่องจากพิษของโบรอน	คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เชื้องซึม ผิวหนังผื่นแดง ปวดศีรษะ ความดันโลหิตต่ำ ไตได้รับอันตราย ผิวหนังสีเขียวคล้ำเนื่องจากขาดออกซิเจน หมดสติและตาย	ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ไอ คลื่นไส้ อาเจียน
สัมผัสทางผิวหนัง	ระคายเคืองเล็กน้อย ถ้าสัมผัสนาน ๆ จะทำให้ผิวหนังอักเสบ	สัมผัสจะระคายเคือง เป็นแผลไหม้ การดูดซึมผ่านผิวหนังจะมีอาการเช่นเดียวกับการหายใจ	ผิวหนังผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน
กินหรือกลืนเข้าไป	ระคายเคืองกระเพาะ ลำไส้ และมีอาการพิษของโบรอน	มีอาการเช่นเดียวกับการหายใจ ผู้ใหญ่กินสารเข้าไปมากกว่า 30 กรัมอาจจะทำให้ถึงตายได้	คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง หัวใจเต้นเร็ว ผิดปกติ ลำตัวเขียวคล้ำ เพื่อกลั่ง ชัก หมดสติ
สัมผัสสูดดม	ระคายเคืองตา	ระคายเคืองตา เป็นผื่นแดง ปวดตา	ระคายเคือง ตาแดง เจ็บตา
การก่อมะเร็งหรือความผิดปกติอื่น ๆ	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง พิษของโบรอนจะทำให้เกิดการท้งานหัวใจ อาเจียน ท้องร่วง หมดสติและอาการ โคม่า	รับสารเป็นเวลานานน้ำหนักลด อาเจียน ท้องร่วง ชักกระตุกอย่างรุนแรง โรคลิหิตจาง อาจทำลายตับ ไต อันตรายต่อทารกในครรภ์	ทารกได้รับสาร 5 กรัมผู้ใหญ่ 5 - 20 กรัมอาจถึงเสียชีวิตได้ อันตรายต่อตา ทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง ไต อัณฑะ

ผลกระทบต่อพืชเมื่อ โบรอนปนเปื้อนสู่ดิน

แม้ว่าโบรอนจะเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้ามีปริมาณที่มากเกินไปก็เป็นอันตรายต่อพืชได้เช่นกันดังนั้นจึงควรระมัดระวังการปนเปื้อนของโบรอนในน้ำยารักษาไม้สู่พื้นดินบริเวณใกล้เคียงโรงงาน เพราะจะทำให้มีผลเสียต่อการเกษตรกรรมได้ เช่น

- เมื่อต้นข้าวได้รับโบรอนมากเกินไป จะทำให้เกิดเป็นจุดสีน้ำตาลอ่อนที่ส่วนปลายและขอบของใบ และจะกลายเป็นสีน้ำตาลทั้งใบเมื่อเวลาผ่านไป 2 - 4 สัปดาห์ ดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ลักษณะต้นข้าวที่ปลูกในดินมีโบรอนปนเปื้อน

- หัวมันหวานเมื่อได้รับโบรอนในปริมาณมากพบว่าจะทำให้คลอโรฟิลล์ที่ใบทำงานบกพร่องและทำให้ใบไหม้ได้ในที่สุด
- แตงกวา เมื่อได้รับโบรอนมากเกินไปจะทำให้ใบแก่ถูกทำลายโดยขอบใบจะเป็นสีเหลือง และใบจะห่อตัว และมีภาวะบกพร่องของคลอโรฟิลล์

3.2 ผลกระทบของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษจะมีสีซึ่งเป็นผลมาจากการใช้หมึกพิมพ์ ในปัจจุบันผงสีเกือบทั้งหมดเป็นผงสีสังเคราะห์ แม้ว่าน้ำทิ้งจะถูกบำบัดโดยวิธีทั่วไปโดยจุลชีพแต่สีที่อยู่ในน้ำทิ้งไม่ได้ถูกบำบัดหรือบำบัดได้น้อยมาก ทำให้น้ำทิ้งมีสีไม่น่าดู นอกจากนี้แล้วสารที่ก่อให้เกิดสีเหล่านี้ประกอบไปด้วยโลหะหนักโดยเฉพาะ ตะกั่ว และโครเมียม ซึ่งอาจแตกตัวเป็นสารก่อมะเร็งได้อีกด้วย

ผลกระทบจากสารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ สารเคมีที่ปล่อยออกมามีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ดังแสดงในตารางที่ 4 (<http://msds.pcd.go.th> accessed 09/07/2006)

ตารางที่ 4 สารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ผลกระทบ สัมผัส / ความผิดปกติ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย	
	จากตะกั่วและอนุพันธ์	จากแคดเมียมและอนุพันธ์
สัมผัสทางหายใจ	ปวดศีรษะ เมื่อยล้า คลื่นไส้ ปวดท้อง ปวดข้อต่อ อาเจียน ท้องผูก นอนไม่หลับ อูจจาระเป็นเลือด การสะสมของตะกั่วทำให้เป็นโรคแพ้พิษตะกั่ว	ทำลายเนื้อเยื่อของเยื่อเมือก ทางเดินหายใจส่วนบน เกิดแผลพุพองและเกิดรูพรุนต่อผนังกันโพรงจมูก ลำคออักเสบ ไอ หายใจถี่เร็ว ภูมิแพ้จากโรคหืด สัมผัสสารเป็นจำนวนมากอาจทำให้เกิดอาการน้ำท่วมปอด
สัมผัสทางผิวหนัง	ระคายเคือง คันซึมเข้าสู่ผิวหนังน้อยมาก	ผิวหนังผื่นแดง เจ็บปวดและแผลไหม้อย่างรุนแรง ถ้าดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะมีผลต่อการทำงานของไต ตับ จะเป็นเหตุให้ผิวหนังไวต่อสิ่งกระตุ้น
กินหรือกลืนเข้าไป	ปวดศีรษะ เมื่อยล้า คลื่นไส้ เป็นตะคริวในช่องท้องและข้อต่อ อาเจียน ท้องผูก อูจจาระเป็นเลือด การสะสมของตะกั่วทำให้เป็นโรคแพ้พิษตะกั่ว	เป็นแผลไหม้ในปาก คอ กระเพาะอาหาร อาเจียน ท้องร่วง เส้นเลือดหดตัว วิงเวียนศีรษะ กระจายน้ำ เกิดตะคริว หมดสติ ทำลายตับ และไตวายเฉียบพลัน

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผลกระทบ สัมผัส / ความผิดปกติ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย	
	จากตะกั่วและอนุพันธ์	จากแคดเมียมและอนุพันธ์
สัมผัสสูดดม	ฝุ่นของสารนี้ทำให้ระคายเคือง น้ำตาไหล กระทบตาเอง	ตาพาล่มองไม่ชัด ตาแดง ปวดตา และเกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง อาจก่อให้เกิดบาดเจ็บต่อกระจกตาหรือตาบอดได้
การก่อมะเร็งหรือความผิดปกติอื่น ๆ	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบย่อยอาหาร ไต โลหิต หัวใจ การเจริญพันธุ์ การพัฒนาการของทารกในครรภ์ อวัยวะเป้าหมายคือ ตา กระเพาะอาหาร ลำไส้ ระบบประสาทส่วนกลาง ไต เลือด	สัมผัสซ้ำๆ กันเป็นเวลานานทำให้เกิดแผลพุพอง และเกิดรูของผนังกันโพรงจมูก ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ตับและไตถูกทำลาย เป็นแผลพุพองของผิวหนัง เริ่มแรกไม่มีอาการเจ็บปวดแต่ทะลุเข้าไปถึงกระดูกทำให้เกิดรูพรุน สารนี้เป็นสารมะเร็งต่อมนุษย์

4. การบำบัดสีในน้ำทิ้ง

4.1 การรวมตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด เบส และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้น ก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารรวมตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม และ เฟอร์รัสคลอไรด์หรือเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการรวมตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์

ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีเอเล็กโทรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง จะส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

4.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรม สีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10 - 11 ซึ่งส่งผลให้น้ำทิ้งมีค่าพีเอชสูง ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งโดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกากซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอช ก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยมแม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

4.3 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนชัน (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษ ต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

4.4 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

4.4.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)

ใช้ในการกำจัดสีย้อม ที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้างโดยใช้กำจัดสีประเภทสดีดิสเพอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทสดีซัลเฟอร์ สีแวต และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย และวิสคอส (Viscose) สีย้อมดิสเพอร์สเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4.4.2 ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis)

เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล (Sea water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือ จะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

4.4.3 ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic membrane)

ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่นเหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลีลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

4.5 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟต้องใช้สาร อิเล็กโตรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโตรไลต์เหล่านี้ ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

4.6 เทคโนโลยีใหม่ ๆ (New technology)

เทคโนโลยีใหม่ ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่าง ๆ กันแต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่าง เช่น

4.6.1 ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงาน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่น ๆ ที่คล้ายกันดังนั้น เทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

4.6.2 ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กโทรไลซิสที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูง และบางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวาจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันน้ำตาลไว้แลกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอนินทรีย์ได้

4.7 กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี (Chemical oxidation)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมี เป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดซ์สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการนี้สามารถใช้งานได้ในหลายจุดประสงค์เช่น

- การกำจัดสารเคมีเป็นพิษที่มีความเข้มข้นต่ำในน้ำบาดาล
- การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงแต่ปริมาณน้อย เพื่อลดความเป็นพิษ
- การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากให้สามารถถูกย่อยได้ง่ายขึ้น
- ลดความเป็นพิษของน้ำเสียเพื่อให้สามารถบำบัดทางชีวภาพได้
- เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิเดนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

- โอโซน (Ozone (O₃))
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide (H₂O₂))
- คลอรีน (Chlorine (Cl₂))
- โพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต (Potassium permanganate (KMnO₄))
- สารเคมีเฟนตัน (Fenton's reagent)

ในการเลือกใช้สารเคมีชนิดใดเป็นตัวออกซิเดนต์ สำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้น จะต้องคำนึงถึง ชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียชนิดนั้น ๆ ประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ เทคโนโลยีเกี่ยวกับการใช้สารเคมีนั้นว่าอย่างไรเพียงใด สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาของออกซิเดนต์นั้น ๆ ความสามารถในการบำบัด ผลผลิตที่ได้จากการออกซิไดซ์ ตลอดจนความปลอดภัยในการใช้สารเคมีนั้นและราคาโดยรวมว่าเหมาะสมหรือไม่ เพื่อให้ได้การบำบัดน้ำเสียที่ต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง

5. ความเป็นมาของสารเคมีเฟนตัน

ในปี ค.ศ.1876, Fenton เป็นคนแรกที่ได้เสนอถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

Fenton (1900) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมที่สมบูรณ์ขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารละลายผสมระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเฟอร์รัสไอออน นั้นจะมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ได้สูง ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาต่ออีกมากมาย

Haber & Weiss (1934) ได้เสนอบทความที่แสดงถึงกระบวนการทางเคมีของสารเคมีเฟนตันว่าจะส่งผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปโดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเฟอร์รัสไอออนในสารละลาย

Baxendale (1946) Barb (1949) และ Mertz & Waters (1974) ได้เสนอกลไกและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น สำหรับกระบวนการทางเคมีของสารเคมีเฟนตัน

ในปี ค.ศ.1971 สมการการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตันก็ได้ถูกพิสูจน์ และได้รับการยอมรับในเวลาต่อมา (Lipczynska - Kochany, 1994)

5.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสารเคมีเฟนตัน (Fenton's reagent)

สารเคมีเฟนตันนั้นเป็นการผสมกันระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับ ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) โดยจะทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล (Hydroxyl radicle) ซึ่งมีค่าศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation potential) สูง โดยสูงกว่าคลอรีนถึง 200 % และสูงกว่าโอโซน (O_3) 25 % โดยมีค่าสูงรองจากอนุมูลฟลูออรีน (Fluorine radicle) เท่านั้น โดยแสดงลำดับศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation potential) ดังตารางที่ 5

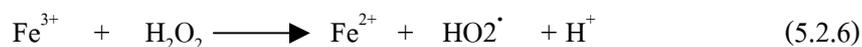
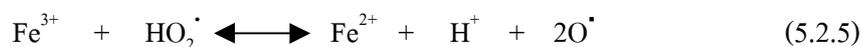
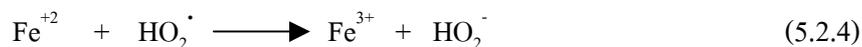
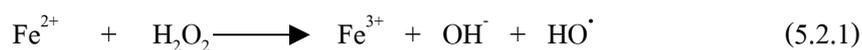
ความสามารถในการออกซิไดซ์ที่สูงของอนุมูลไฮดรอกซิล ซึ่งได้จากสารเคมีเฟนตันนั้นทำให้มีการนำสารเคมีเฟนตันไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในกระบวนการบำบัดของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ อากาศ ดิน ตลอดจนใช้บำบัดสีของเสียอันตรายด้วย

ตารางที่ 5 ศักย์ออกซิเดชันของอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับสารออกซิแดนท์ที่เป็นโมเลกุลปกติ (Flaherty และ Huang, 1992)

Oxidant	Potential (volts)
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	2.87
$HO^\cdot + H^+ + e^- \longrightarrow H_2O$	2.33
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow O_2 + H_2O$	2.07
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	1.77
$MnO_4 + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.68
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	1.39
$ClO_2(g) + e^- \longrightarrow ClO_2^-$	0.95
$ClO_2^- + 2H_2O + 2e^- \longrightarrow Cl^- + 2OH^-$	0.90

5.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน

สมการการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตัน ที่เป็น Pure System คือแสดงเฉพาะปฏิกิริยาที่จะเกิดสำหรับสารเคมีเฟนตันเท่านั้น แสดงได้ดังนี้ (Flaherty, 1992)



โดยสมการทั้งหมด จะไม่เกิดทุกสมการ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยที่

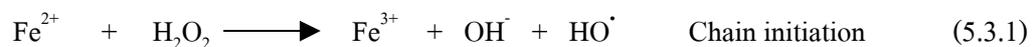
- เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) มีปริมาณมากเกินไปการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการ (5.2.1) และ (5.2.2)

- เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) มีปริมาณมากเกินไป ในสถานะที่เป็นกรดการเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (5.2.5) และ (5.2.6) จะไม่เกิดขึ้น แต่จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (5.2.1) (5.2.3) และ (5.2.4) แทน

จะเห็นได้ว่าสารเคมีเฟนตันในสถานะที่เป็นกรดจะสามารถทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (HO^\cdot) ซึ่งเป็นออกซิแดนต์ที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงสามารถเข้ากับสารอินทรีย์ได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบ เช่น สำหรับสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ดินที่มีการปนเปื้อนน้ำเสียจาก Land field ที่มีสารพิษ โดยสิ่งที่จะได้รับการบำบัดตามที่กล่าวมานั้นมันจะมีสารที่เป็นพิษ เช่น Aromatic compounds, Phenols, Chlorophenols, Benzene, Hydroxy methanesulfonic acid, Sulfide, Organic dye เป็นต้น

5.3 การเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตันกับสารอินทรีย์

ปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตันกับสารอินทรีย์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งด้วยกลไกแบบลูกโซ่ หรือไม่ใช่ว่าลูกโซ่ ซึ่งกลไกเหล่านั้นได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางโดยแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ (Flaherty, 1992)



เมื่อปฏิกิริยา (5.3.1) เกิดขึ้นในน้ำเสีย ซึ่งมีสารประกอบหลาย ๆ ประเภท พลังงานการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเริ่มแรกที่อนุมูลไฮดรอกซิล สามารถที่จะเหนี่ยวนำให้มีการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ได้ ปฏิกิริยาต่อมาคือ อนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับเพอร์สไดออกไซด์ตามสมการที่ (5.2.2) ซึ่งในขณะเดียวกันอนุมูลไฮดรอกซิลก็จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ดังสมการที่ (5.3.2) - (5.3.6)

อนุมูลสารอินทรีย์ (Organic radical) ทั้ง 3 รูปแบบ คือ HO^\cdot , O^\cdot (ตามสมการที่ 5.2.5) และ R^\cdot (ตามสมการที่ 5.3.3) ที่เกิดขึ้นจะสามารถไปรีดิวส์ Fe^{3+} ให้กลับมาเป็น Fe^{2+} ได้อีกทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ยาวออกไปอีก จึงทำให้การสลายตัวของสารอินทรีย์ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Walling, 1975)

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน

5.4.1 พีเอช (pH)

วุฒิ วิพันพงษ์ (2540) ได้กล่าวอ้างถึง Gregor (1992) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ เหล็ก เพื่อให้ได้อนุมูลไฮดรอกซิล (HO^\bullet) เกิดได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำประมาณ 3

เมื่อพีเอชต่ำว่า 2.5 จะทำให้การทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช้าลงและทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลได้น้อย นอกจากนี้เมื่อพีเอชต่ำมาก ๆ ยังจะทำให้เกิดการรวมกันเองของอนุมูลไฮดรอกซิลและไฮโดรเจนและทำให้ปฏิกิริยาของ Fe^{3+} และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถูกยับยั้งอีกด้วย (Tang and Huang, 1996) ที่พีเอชมากกว่า 4 จะทำให้ไอออนเหล็ก (Free iron species) ในสารละลายลดลง อาจจะเป็นเนื่องมาจากการรวมตัวเป็นสารประกอบของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) กับอนุมูลอิสระตัวอื่นและอาจเป็นเพราะการตกตะกอนของเฟอร์ริกออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (Ferric oxyhydroxides) ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเกิดของเฟอร์รัสไอออน (Lin and Lo, 1997) และนอกจากนี้ศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation potential) ของอนุมูลไฮดรอกซิลจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น (Kwon, 1999)

5.4.2 อุณหภูมิ หาเปเปอร์แล้วอ่านอีกทีทั้ง2อัน

Lin and Lo (1997) ได้ทำการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส จะมีการยับยั้งการสลายของ COD เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$ เป็นไปได้ช้า และที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส การสลายตัวของ COD เป็นไปได้ช้าเนื่องจากเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งไม่ส่งเสริมให้เกิดการสลายตัวของ COD

อัตราการเกิดของปฏิกิริยาเฟนตันเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 - 50 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากมีการเร่งให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นออกซิเจนและน้ำ ในการประยุกต์ใช้ปฏิกิริยาเฟนตันจึงมักใช้ที่อุณหภูมิระหว่าง 20 - 40 องศาเซลเซียส (<http://www.h2o2.com/applications/industrial> accessed 08/12/2005)

5.4.3 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Lin and Lo (1997) ได้ทำการศึกษาการลดลงของ COD ในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมพบว่า ใช้ระยะเวลา 120 นาทีในการทำให้ความเข้มข้นของ COD ลดลงจนหมด

Swaminathan *et al* (2003) ได้ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาพบว่าต้องใช้เวลา 120 นาทีในการบำบัดค่า COD ให้ลดลงได้สูงสุด

วุฒิ วิพันธุ์ (2540) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเฟนตันรีเอเจนต์ ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำเสียจริงที่มีสีแสดที่ฟจากโรงงานย้อมผ้าและด้ายฝ้าย พบว่า เวลา 1 ชั่วโมงเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยา

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำทิ้งต่าง ๆ นั้น เวลาในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีเฟนตัน ชนิด และความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่จะนำมาบำบัด

5.4.4 ความเข้มข้นของไอออนเหล็ก

ไอออนเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วเมื่อความเข้มข้นไอออนเหล็กเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นด้วย (Lin and Lo, 1997) ความเข้มข้นของไอออนเหล็กที่จุดเริ่มต้น คือ 3 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่จะกระตุ้นให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าภายในระยะเวลาที่เหมาะสมโดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์

ในการนำไปประยุกต์ใช้ เราไม่สามารถรู้ได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริงเป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ทันทีถ้ามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารอินทรีย์อยู่มากพอ อย่างไรก็ตามถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าต่ำกว่า 10 - 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปฏิกิริยาจะเกิดกับไอออนของเฟอร์รัสได้ดีกว่าโดยที่ไอออนของเฟอร์รัสอาจมาจากเกลือของคลอไรด์หรือเกลือของซัลเฟตก็ได้ โดยอัตราส่วนของไอออนเหล็กต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (Substrate) คือ 1 ส่วนของไอออนเหล็กต่อ 10 - 50 ส่วนของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ (<http://www.h2o2.com/applications/industrial> accessed 08/12/2005)

5.4.5 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นเป็นสิ่งสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพื่อประสิทธิภาพในกระบวนการสลายสารมลพิษ โดยทั่วไปพบว่าเปอร์เซ็นต์การสลายของสารมลพิษเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น (Kang and Hwang, 2000) แต่ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากเกินไปส่วนที่เหลือจะทำให้รบกวนการวิเคราะห์ค่า COD ทำให้ได้ค่ามากเกินไปจริง อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก

ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งตามทฤษฎีพบว่าต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ประมาณ 2.1 lbs. ต่อ lb. COD ที่ถูกออกซิไดซ์จึงทำให้ค่า COD และความเป็นพิษลดลงเกือบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามในหลาย ๆ กรณีก็ไม่จำเป็นที่ต้องย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ให้สมบูรณ์เพื่อให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเนื่องจากการใช้สารเคมีให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วนเพียงพอที่จะช่วยให้เกิดสารประกอบที่ไม่

เสถียร (Intermediate compounds) ซึ่งช่วยลดค่าความเป็นพิษ , BOD และ COD ได้

(<http://www.h2o2.com/applications/industrial> accessed 08/12/2005)

5.4.6 อัตราส่วนระหว่าง เหล็ก : ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วุฒิ วิพันธุ์ (2540) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเฟนตันรีเอเจนต์ ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำเสียจริงที่มีสีรีแอกทีฟจากโรงงานย้อมผ้าและค้าฝ้ายอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮออนเหล็กต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1 : 5 ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีดำ โทนสีแดง โทนสีน้ำตาลอ่อน และที่อัตราส่วน 1 : 10 ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีม่วง จะสามารถกำจัดสีได้สูงกว่า 80 %

จิราวรรณ ศรีโยม (2547) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์โดยวิเคราะห์การลดลงของค่า COD และสารเคมีตกค้างในน้ำและตะกอน สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้คือ ฟีนอล และ 2,4 – ไดคลอโรฟีนอล โดยทั้ง 2 กรณีใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างไฮออนเหล็กต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์เท่ากับ 1 : 11.7 : 4.5 พบว่าสามารถบำบัด COD ของฟีนอลได้สูงสุด 99 % และกรณีของ 2,4 – ไดคลอโรฟีนอล 93 %

ทั้งนี้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไฮออนเหล็กต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ควรอยู่ในช่วง 1 ต่อ 5 - 25 (wt/wt) (<http://www.h2o2.com/applications/industrial> accessed 08/12/2005)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วุฒิ วิพันพงษ์ (2540) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเฟนตันรีเอเจนต์ ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำเสียจริงที่มีสีรีแอกทีฟจากโรงงานย้อมผ้าและด้ายฝ้าย มีการทดลอง 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางเคมี และการศึกษาการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ พบว่า เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็ก = 5 : 1 ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีดำ โทนสีแดง โทนสีน้ำตาลอ่อน และที่อัตราส่วน 10 : 1 ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีม่วง จะสามารถ กำจัดสีได้สูงกว่า 80 % และพบว่า เวลา 1 ชั่วโมงเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้ว ไม่เป็นอันตรายต่อระบบเอสปีอาร์ แต่ระบบเอสปีอาร์ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ

ณัฐนรี วงศ์วิเคราะห์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพของเฟนตันรีเอเจนต์ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ในการกำจัด COD สี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการฟอกย้อม พบว่า ปริมาณการใช้สารเคมีเฟนตันที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมก่อนบำบัดต่อด้วยระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์อยู่ที่ระดับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลา 30 นาที สำหรับการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส เฉลี่ย 90.1 % , 72.6 % , 73.0 % และ 90.6 % ตามลำดับ

จิราวรรณ ศรีโยม (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนโดยวิเคราะห์การลดลงของค่า COD และสารเคมีตกค้างในน้ำและตะกอน สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้คือ ฟีนอล และ 2,4 - ไคคลอโรฟีนอล ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารประกอบอินทรีย์ต่อไฮดรอกซิลเท่ากับ 1 : 0.65 (อัตราส่วนที่ 1) และ 1 : 0.45 (อัตราส่วนที่ 2) โดยทั้ง 2 กรณีใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างไฮดรอกซิลต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์เท่ากับ 1 : 11.7 : 4.5 พบว่าสามารถบำบัด COD ในกรณีของฟีนอลได้ดีกว่า กรณีของ 2,4 - ไคคลอโรฟีนอล ทั้ง 2 อัตราส่วนโดยอัตราส่วนแรกบำบัดได้ 99 % และ 86 % ตามลำดับ และอัตราส่วนที่ 2 บำบัดได้ 98 % และ 93 % กรณีสารตกค้างในน้ำและตะกอน พบว่า กรณีของฟีนอลมีปริมาณไอออนของซัลเฟตในตะกอนน้อยกว่า 2,4 - ไคคลอโรฟีนอลทั้ง 2 อัตราส่วน โดยอัตราส่วนแรกมีประมาณ 13 % และ 30 % ตามลำดับ อัตราส่วนที่ 2 มีประมาณ 7 % และ 23 % ตามลำดับ ปริมาณไอออนเหล็กทั้ง 2 กรณีพบว่า ปริมาณไอออนอยู่ในตะกอนเกือบ 100% กรณีของ

ไอออนของแคลเซียมตกค้างอยู่ในตะกอนของฟีนอลมากกว่ากรณีของ 2,4- ไดคลอโรฟีนอล โดยอัตราส่วนแรกมีประมาณ 62 % และ 46 % ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนที่ 2 มีประมาณ 51 % และ 41 % ตามลำดับ เมื่อนำอัตราส่วนที่ 2 มาประยุกต์กับน้ำทิ้งจากบริษัททักทิมปาล์ม (2521) จำกัด พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD และ สีสำหรับกรณีไม่เติมแคลเซียมออกไซด์เท่ากับ 35 % และ 75 % ตามลำดับ เมื่อเติม แคลเซียมออกไซด์จะช่วยลดค่า COD และ สี ได้ประมาณ 60 % และ 90 % ตามลำดับ กรณีสารตกค้างในน้ำและตะกอนพบว่าค่าซัลเฟตและแคลเซียมมีปริมาณตกค้างในตะกอนน้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีประมาณ 13 % และ 18 % ตามลำดับ ส่วนกรณีของไอออนเหล็กในตะกอนมีค่า 100 %

Lin and Lo (1997) ทำการศึกษาการบำบัด น้ำเสียที่มีโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งอยู่ในสี ย้อม 2 ชนิดคือ Blue G และ Black B โดยใช้ปริมาตรน้ำเสีย 2 ลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย เป็น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ pH ที่ช่วง 2 - 5 เวลาในการบำบัด 1 ชั่วโมง H_2O_2 1000 มิลลิกรัมต่อ ลิตร $FeSO_4$ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังใช้สารตกตะกอนด้วยคือ PAC และ โพลีเมอร์ พบว่า pH ที่ เหมาะสมคือ pH 3 อุณหภูมิที่เหมาะสม 30 องศาเซลเซียส และจากการทดลองสารตกตะกอนยังสามารถช่วยลดค่า COD ได้อีกด้วย โดยเมื่อไม่ใช้สารตกตะกอน น้ำเสีย Blue G ค่า COD ลดลง ต่ำกว่า 60 % และเมื่อใช้สารตกตะกอน ทำให้ค่า COD ลดลงได้ถึง 90 % สำหรับ Black B บำบัดได้ง่ายกว่า โดยใช้ H_2O_2 800 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารตกตะกอนไม่มีความสำคัญต่อการลดลงของสี แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไปจะรบกวนการวิเคราะห์ค่า COD

Pignatello *et al.* (1998) Pentachlorophenol (PCP) และสารประกอบออกานิกส์ใน ครีโอโซต (Creosote) มักจะปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินจากโรงงานรักษาเนื้อไม้ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่มี พิษดังนั้นจึงได้ทำการศึกษการบำบัดด้วย Photo - Fenton reaction โดย Fe 1 มิลลิโมลต่อลิตร / H_2O_2 10 มิลลิโมลต่อลิตร / $1.4 \times 10^{-3} M$ $h\nu \text{ min}^{-1}$ black lamp UV ที่ pH 2.75 อุณหภูมิ 25 องศา เซลเซียส ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 180 นาที พบว่าสามารถทำลาย 37 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ชนิด 2 และ 3 วง (Ring) Heterocyclics และสารประกอบที่มีฟีนอลเป็นหลักรวมไปถึง PCP ในครีโอโซต ที่ปนเปื้อนในน้ำ การเปลี่ยนรูปของ 4 และ 5 วงของ PAHs ยังไม่สมบูรณ์เมื่อเทียบกับ สารประกอบอื่น ๆ การลดลงของค่า TOC มีถึง 80 % สารพิษตัวสำคัญมีการรีดักชันไปเป็นรูปที่ไม่ เป็นพิษจากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า Photo - Fenton oxidation นี้มีความสามารถในการ บำบัด ครีโอโซต / PCP ที่ปนเปื้อนในน้ำได้

Kang และ Hwang (2000) ศึกษาประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟนตันรีเอเจนต์ของน้ำใต้ดินจากแหล่งทิ้งขยะของเมืองคิมโป ประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งมีค่า COD ประมาณ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการแปรผันค่า pH 2 - 9 FeSO_4 อยู่ในช่วง 250 - 2250 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0 - 1600 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันและการตกตะกอนโดยเฟนตันรีเอเจนต์ พบว่าการลดลงของค่า COD โดยการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.5 แต่จะไม่ใช่เป็นผลดีต่อการบำบัดเมื่อ pH มากกว่า 6 แต่ค่า COD จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

Zhu *et al.* (2000) ทำการบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานผลิต 4,4' - diaminostilbene-2,2' - disulfonate acid (DSD - acid) ด้วยสารเคมีเฟนตันร่วมกับการตกตะกอน น้ำเสียนี้อาจมีค่า COD ประมาณ 60,000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ประมาณ 2.5 พบว่า เมื่อใช้เฟอร์รัส 2.7 มิลลิโมลต่อลิตร และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.21 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นรวมตะกอน (flocculation) ด้วยสารรวมตะกอน TS-1 ในปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร สารเคมีเฟนตันสามารถกำจัด COD ได้ 64 % และสีได้ 62% และสารเคมีเฟนตันสามารถกำจัดสารออกานิกส์ที่มีกลุ่มซัลโฟเนตที่ละลายน้ำได้ และเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเติม FeCl_3 เป็นสารตกตะกอน โดยสามารถลดทั้ง COD และสีได้ถึง 90 %

Chamarro *et al.* (2001) ทำการศึกษาการบำบัดสารประกอบหลายชนิด ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดอะซิติก (Acetic acid) 4- คลอโรฟีนอล (4- Chlorophenol) 2,4- ไดคลอโรฟีนอล (2,4 - dichlorophenol) และไนโตรเบนซีน (Nitrobenzen) โดยใช้ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ในช่วง 0.01 - 1 ต่อ หนึ่งหน่วยของสารประกอบ ในขณะที่ อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อสารประกอบนั้นแปรผันในช่วง 0.1 - 50 พบว่า ปริมาณของไฮโดรเจนที่เพียงพออยู่ที่ อัตราส่วนโดยโมล 3 ต่อ 1 ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อ สารประกอบ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของ ไอออนของเหล็กต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.1 : 10

Rivas *et al.* (2001) ศึกษาการบำบัด *p*-hydroxybenzoic acid ด้วยสารเคมีเฟนตัน โดยที่ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนเป็น 0 - 0.1 โมลต่อลิตรในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็น 0 - 4 โมลต่อลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส , pH 3.2 โดยควบคุมความเข้มข้นของสารพิษไว้ที่ 0.01 โมลต่อลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีเฟนตันทั้ง 2 จะทำให้กำจัดสารพิษได้มากขึ้นแต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่เหมาะสมสำหรับ เฟอร์รัสไอออนที่ศึกษาได้คือ

5 มิลลิโมลต่อลิตร สำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นเป็นตัวกำหนดปฏิกิริยาซึ่งจะถูกใช้จนหมด การเพิ่มขึ้นของ pH จาก 3 ถึง 7 นั้นจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง

Lopez and Kiwi (2001) ศึกษาประสิทธิภาพการลดสีและการย่อยสลายของสารละลาย Azo dye (Orange II) โดยการใช้นาฟิออน - Fe (1.78 %) membrane ใน Photo reaction โดยใช้ความเข้มข้น 3 ค่า ที่อัตราส่วนระหว่าง Azo dye (Orange II) : H_2O_2 เป็น 0.032 : 1 พบว่าที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ Orange II 0.16 มิลลิโมล : H_2O_2 5 มิลลิโมล ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาด้วยแสงที่ 36 w และ pH 3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และในที่มืดอีก 20 ชั่วโมง จะทำให้ค่า TOC ลดลงต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น และ TOC จะสูงขึ้นเมื่อ H_2O_2 มากกว่า 5 มิลลิโมล

Sureyya *et al.* (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาเฟนตัน งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงความเข้มข้นของ เฟอร์รัสซัลเฟต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ pH และ อุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้การบำบัดได้ดี จากการทดลองพบว่าในการบำบัดน้ำเสีย Reactive black 5 ความเข้มข้น 100 mg/L สภาวะในการบำบัดที่ดีที่สุดคือ pH 3 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ เฟอร์รัสซัลเฟต เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถบำบัด COD ได้ 71 % และบำบัดสีได้ถึง 99 % ส่วนน้ำเสียสี Reactive black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะที่ดีที่สุดคือ pH 3 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ เฟอร์รัสซัลเฟต 225 มิลลิกรัมต่อลิตร H_2O_2 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัด COD ได้ 84 % และบำบัดสีได้มากกว่า 99 %

Azbar *et al.* (2004) ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงหลายกระบวนการกับการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3$ และ $FeSO_4$ เพื่อลดค่า COD และสีจากน้ำเสียที่มีโพลีเอสเตอร์และสีอะซีเตทไฟเบอร์ พบว่าเมื่อใช้สารเคมีอย่างเดียวนั้น $FeSO_4$ จะให้ประสิทธิภาพในการลด COD และสีได้ 60 % และ 49 % ตามลำดับ pH และ $FeSO_4$ ที่เหมาะสมคือ 8.5 และ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร กระบวนการเฟนตัน ลด COD และสีได้ 96 % และ 94 % ตามลำดับ pH, H_2O_2 และ $FeSO_4$ ที่เหมาะสมคือ 5, 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้โอโซน ลด COD และสีได้ 92 % และ 90 % การใช้ O_3/UV จะให้การลดลงของ COD และสีได้ 94 % และ 93 % การใช้ H_2O_2/UV ลด COD และสีได้ 90 % และ 85 % และการใช้ $O_3/H_2O_2/UV$ ร่วมกันนั้นจะให้การลดลงของ COD และ สีได้ 99 % และ 96 % ตามลำดับ ดังนั้นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงจะทำให้ค่า COD และสีลดลงมากกว่า 85 % ในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการดำเนิน

การนั้น กระบวนการที่ใช้ โอโซน ($5.28 \text{ \$/m}^3$) และ UV ($1.1 \text{ \$/m}^3$ ไม่รวม UV lamp และค่าแรง) นั้น จะมีค่าใช้จ่ายแพงกว่าการใช้กระบวนการเฟนตัน ($0.23 \text{ US\$/m}^3$) ซึ่งเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดที่ทำให้การลดลงของ COD และสีมากกว่า 90 %

Poole (2004) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกขนแกะในออสเตรเลีย โดยการใช้อนุมูลไฮดรอกซิลในการกำจัดสารออกซิกนิกส์ที่ยังหลงเหลือในน้ำเสียซึ่งน้ำเสียมีค่า COD 500 - 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสีเข้ม โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับแสง UV ในถังปฏิกรณ์ แสตนเลส pH อยู่ในช่วง 3 - 9 อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง ออกซิเจนกับ ค่า COD ของน้ำเสียเป็น 1 : 1 โดย 1 โมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะให้ 1 โมล ของ ออกซิเจน สารประกอบออกซิกนิกส์ที่อยู่ในน้ำเสียนั้นจะถูกทำลายโดยการออกซิเดชันของอนุมูลไฮดรอกซิล ทำให้ค่า COD ลดลง 75 % และ TOC ลดลง 85 % และลคสีได้อย่างสมบูรณ์

วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ศึกษาการใช้เฟนตันรีเอเจนต์ในการบำบัดค่า COD และสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของการนำน้ำทิ้งหลังการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาและทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. บำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษด้วยปฏิกิริยาเฟนตันและการตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์ โดยทำการทดลองการแปรผันปริมาณของรีเอเจนต์ของปฏิกิริยาเฟนตันกับปริมาณน้ำทิ้งโดยใช้พารามิเตอร์ต่อไปนี้เป็นตัวตรวจวัดประสิทธิภาพของการบำบัด

1.1 COD

1.2 ความเข้มของสีในหน่วย Pt – Co

1.3 ค่า พีเอช (pH)

2. นำน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. ปฏิกิริยาเฟนตัน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายที่มีอนุมูลไฮดรอกซิลซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับเฟอร์รัสไอออน
2. สารเคมีเฟนตัน คือ การผสมกันระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับ ไอออนเหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) โดยจะทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radicle)
3. น้ำทิ้ง เป็นน้ำจากการรักษาเนื้อไม้ยางพาราที่ผ่านการใช้แล้วจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์และน้ำทิ้งป่อสุดท้ายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ
4. น้ำทิ้งสังเคราะห์ เป็นน้ำรักษาเนื้อไม้ยางพาราที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ
5. โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ หมายถึง โรงงานรัตภูมิพาราวูด ซึ่งตั้งอยู่ ณ บ้านเลขที่ 89 ตำบลท่าชะมวง อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา
6. โรงงานผลิตกล่องกระดาษ หมายถึง โรงงานเอสแพคแอนด์พรีนท์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งตั้งอยู่ ณ ถนนกาญจนวนิช ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
7. ห้องปฏิบัติการ หมายถึง ห้องที่ใช้ทำการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แนวทางการบำบัดค่า COD และสีจากธรรมชาติของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์
2. ได้แนวทางการบำบัดค่า COD และสีสังเคราะห์ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ
3. ได้แนวทางลดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำและดินจากสารเคมีของ โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์และ โรงงานผลิตกล่องกระดาษ