

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดสีน้ำทิ้งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษด้วยเชื้อรา เส้นใยสีขาว (White-rot Fungi)

Possibility Study of Color Removal from Pulp and Paper Mill Effluent Using White-rot Fungi

คำนำ

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษเพิ่มขึ้นตามสภาพเศรษฐกิจโดยโรงงานดังกล่าวมีกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องใช้น้ำปริมาณมากจึงทำให้เกิดน้ำทิ้งที่ออกมาในปริมาณมากด้วย ขั้นตอนที่ทำให้เกิดน้ำทิ้งมาจากการแช่เยื่อ การต้มเยื่อ การฟอกเยื่อ การล้างเยื่อ และการทำแผ่นกระดาษ ส่วนใหญ่น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว อย่างไรก็ตามยังคงอาจทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Pellinen et al. 1988; Font et al. 1993) น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาอาจจะมีค่าบีโอดี (BOD, Biochemical oxygen demand) ซีโอดี (COD, Chemical oxygen demand) ทีโอซี (TOC, Total organic carbon) เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และสี (Color) ที่เจือปนออกมากับน้ำทิ้ง (Chang et al. 1987; Messner et al. 1990; Poutry 1990; Davis and Burns 1990; 1992) การบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษในปัจจุบันยังไม่ได้มีการกำจัดสีอย่างมีประสิทธิภาพหากปล่อยน้ำทิ้งเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการลดความเข้มของสีในน้ำทิ้งออกก่อนอาจจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษส่วนใหญ่มักจะมีวิธีการลดความเข้มของสีโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical treatment process) แต่วิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและมีข้อเสีย อีกวิธีหนึ่งที่น่าจะเหมาะสมในการลดความเข้มของสีได้ดี คือการใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological treatment process) ที่ทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น

เนื่องจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษมีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีสีปนเปื้อนออกมาผู้วิจัยจึงตระหนักถึงโทษที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำทางชีวภาพ (Biological treatment process) โดยการใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ทำการศึกษหาสายพันธุ์เชื้อราที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการใช้ลดความเข้มของสี (Color) จากโรงงานผลิต

เชื้อและกระดาษและทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์เดี่ยวและผสมสายพันธุ์ซึ่งนำมาจากหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นถ้ามีความเป็นไปได้ในการลดความเข้มของสี (Color) , ซีโอดี (COD, Chemical oxygen demand) ได้ก็จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดความเข้มของสี (Color) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษของประเทศไทยได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. คัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สามารถลดความเข้มสีและปริมาณ COD จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีและปริมาณ COD จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษระหว่างการใช้เชื้อราสายพันธุ์เดี่ยวและผสมสายพันธุ์ที่คัดเลือกแล้ว
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีและปริมาณ COD จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษระหว่างสภาวะใช้อาหารเลี้ยงเชื้อกับสภาวะที่ไม่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อในการใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์

ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษานี้ นำสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) มาจากหน่วยเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสียสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทั้งหมด 20 สายพันธุ์ คือ *Datronia* sp. , *Stereum* sp. , *Phellinus* sp. , *Cariolus* sp. , *Stereum oystrea* sp. , *Dictyopanus* sp. , *Irepex* sp. , *Cymatomerma* sp. , *Marasmiellus* sp. , *Cymatoderma* sp. , *Trichaptum* sp. , *Microporus affinis* sp. , *Hexagonia* sp. , *Hexagonia* sp. , *Trametes* sp. , *Schizophyllum commune* sp. , *Tyromyces* sp. , *Pycnoporus* sp. , *Phellinus* sp. , *Tetrapygoe* sp. และใช้น้ำทิ้งจริงจากโรงงานเยื่อและกระดาษ โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งน้ำเสียที่

ใช้เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเชื้อและกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวเชื้อและการตกตะกอนขั้นต้น (Primary sedimentation tank) แล้ว โดยเป็นน้ำทิ้งที่เรียกว่า PG8 Tank

การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

1.1 นิยามและความหมาย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือ ปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

เกษม (2545) ได้ให้คำนิยามของ น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนของวัสดุ วัตถุ สารเคมีและสิ่งมีชีวิตอันตรายจนเกินมาตรฐานน้ำเสียเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และการระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติสู่ดินและที่ดินเนื่องจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งลักษณะน้ำเสีย มีดังนี้

1.1.1 น้ำเสียทางกายภาพ หมายถึง น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของวัสดุ ขยะ ตะกอน วัตถุ ฯลฯ จนทำให้น้ำมีคุณสมบัติต่างจากน้ำธรรมชาติและ/หรือค่ามาตรฐานของน้ำ เช่น ความเป็นด่าง ความกระด้าง อุณหภูมิ สี กลิ่น รส การนำไฟฟ้า ความขุ่น การส่องผ่านของแสงและปริมาณของออกซิเจนละลายในน้ำ

1.1.2 น้ำเสียทางเคมี หมายถึง น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในรูปของโลหะ โลหะ สารประกอบเคมี ทั้งละลายและไม่ละลายในน้ำ ก๊าซ สารอินทรีย์ สารพิษทางเคมี ฯลฯ

1.1.3 น้ำเสียทางชีววิทยา หมายถึง น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรีย เชื้อรา พารา มิเซียม พยาธิ พืชและสัตว์น้ำขนาดเล็กเซลล์เดียว ฯลฯ เช่น โคลิฟอร์มแบคทีเรีย อมิบา แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ฯลฯ

เสริมพล และไชยยุทธ (2524) ได้อธิบายว่า น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ อาทิเช่น การชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร ฯลฯ ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ถ่าย

เทลงมาเจือปนในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำเสียหรือความสกปรกของน้ำเสียจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ ดังนั้นน้ำเสียจากแต่ละแหล่งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน

น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater) หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่าง ๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแล้วน้ำเสียชุมชนต่าง ๆ จะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมาก ส่วนใหญ่ของเสียจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจาน และภาชนะหรือการปรุงอาหาร รวมถึงสารเคมีต่าง ๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า ล้างรถ บ้านเรือน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

น้ำเสียเทศบาล (Municipal wastewater) หมายถึง น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อน้ำที่โสโครกของเทศบาล ตามปกติแล้วจะมีแต่น้ำโสโครกที่ปล่อยออกจากชุมชน (domestic wastewater) แต่บางแห่งทางเทศบาลอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กยอมถ่าน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายรวมกับน้ำเสียชุมชนได้ น้ำโสโครกในท่อระบายจึงมีความสกปรกมากขึ้นโดยปกติแล้วในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา น้ำเสียเทศบาลจะมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กปะปนอยู่ประมาณร้อยละ 20 (เปี่ยมศักดิ์, 2539) เนื่องจากน้ำเสียเทศบาลส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมในชุมชนของประชากรดังกล่าวจำกัดความข้างต้น น้ำเสียเทศบาลจึงถูกใช้ในความหมายใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน (สุรศักดิ์, 2540)

1.2 ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท ซึ่งธงชัยและวิบูลลักษณ์ (2540) และ เสริมพลและไชยยุทธ (2524) ได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามแหล่งกำเนิดดังนี้

1.2.1 น้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater) น้ำเสียประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ น้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยขนาดต่าง ๆ และน้ำเสียจากสถานประกอบการต่าง ๆ รวมทั้งตลาด ร้านค้า โรงมหรสพ โรงแรม สำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด ฯลฯ น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ อาทิเช่น การชำระร่างกาย การล้างภาชนะอุปกรณ์ การประกอบอาหาร การซักเสื้อผ้า การขับถ่าย เป็นต้น สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ แต่ส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจาก

การล้างจานและภาชนะหรือการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่าง ๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ รวมทั้งอุจจาระและปัสสาวะ เป็นต้น น้ำเสียจากชุมชน แต่ละแห่งต่างก็มีลักษณะและปริมาณแตกต่างกันออกไป

1.2.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) สิ่งสกปรกในน้ำเสียมีลักษณะแตกต่างกันออกไป มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับการใช้น้ำและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการอุตสาหกรรม ได้แก่

ก. น้ำหล่อเย็น (Cooling water) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้จัดเป็นสิ่งสกปรกอย่างหนึ่งเช่นกัน คือทำให้เกิดมลพิษของความร้อน (Thermal pollution)

ข. น้ำล้าง (Wash water) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบผลิตภัณฑ์เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และพื้นโรงงาน เป็นต้น น้ำล้างอาจมีความสกปรกมาก ๆ เช่น มีคราบน้ำมันสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดละลายปนอยู่

ค. น้ำจากกระบวนการผลิต (Process wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นน้ำสกปรกค่อนข้างมาก

ง. น้ำเสียอื่น ๆ (Miscellaneous wastewater) เช่น น้ำเสียจากหม้อน้ำ น้ำเสียจากเครื่องกรองความกระด้างของน้ำ ฯลฯ

1.2.3 น้ำเสียทางการเกษตร (Agricultural wastewater) ได้แก่ น้ำเสียจากการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่ทำเป็นลักษณะของการอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา และกุ้ง เป็นต้น

1.2.4 น้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (Storm sewage) ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลไปตามพื้นดิน น้ำเสียประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านระบบบำบัด สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้เลย

นอกจากนี้ น้ำเสียยังแบ่งตามการละลายของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ ได้เป็น 2 ประเภทตามคุณลักษณะของสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ในน้ำเสีย ดังนี้คือ

ก. น้ำเสียอินทรีย์ (Organic wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ ได้แก่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า โรงงานประกอบอาหาร โรงฆ่าสัตว์ ฯลฯ ลักษณะอื่นของน้ำเสียนี้คือ จะเน่าเหม็นได้หากปล่อยทิ้งไว้นาน

ข. น้ำเสียอนินทรีย์ (Inorganic wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ น้ำเสียประเภทนี้ ได้แก่ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมโลหะ และโรงงานผลิตสารเคมี เช่น โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานผลิตกรดกำมะถัน โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทอาจมีคุณสมบัติเด่นเป็นทั้งน้ำเสียอินทรีย์และน้ำเสียอนินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ ที่มีสารประกอบสังกะสีละลายปะปนอยู่มากและมีสารอินทรีย์ที่เกิดจากคราบน้ำมันปะปนอยู่เช่นกัน

1.3 คุณลักษณะของน้ำเสีย (Characteristic of wastewater)

พัฒนา (2539) ได้จำแนกลักษณะของน้ำเสีย และองค์ประกอบของน้ำเสียไว้ดังนี้

1.3.1 ลักษณะทางด้านกายภาพ (Physical characteristic)

ลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพโดยทั่วไป ได้แก่ ปริมาณของแข็ง อุณหภูมิ สี และกลิ่นของน้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำประกอบด้วยสารแขวนลอย (Suspended solids) และตะกอนหนัก (Settleable solids) ซึ่งเมื่อจมตัวลงสู่ก้นลำน้ำทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินมีความขุ่นสูง และถ้าเป็นสารอินทรีย์ก็จะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำด้วย

ข. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูงผิดปกติเพราะเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำร้อนที่ระบายออกจากระบบระบายความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ และที่เย็นลงผิดปกติเพราะเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำเย็นที่รั่วไหลและ/หรือที่ใช้ทำความสะอาดในอุตสาหกรรมห้องเย็นต่าง ๆ มักจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic life) ทั้งในด้านการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยจุลินทรีย์ในน้ำและมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำด้วย

ค. สี (Colour) สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียนั้นมักถูกนำมาใช้บอกสถานะของน้ำเสียนั้น ๆ โดยสีที่เกิดขึ้นมักมาจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำอีกทั้งสีจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังมีโลหะหนักปนเปื้อนสูงอีกด้วย

ง. กลิ่น (Odor) เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และกรดอินทรีย์ที่ระเหย (Volatile organic acid) ได้ซึ่งมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำปลาป่น ฯลฯ

1.3.2 ลักษณะทางเคมี (Chemical characteristic)

สารอินทรีย์ (Organic matter) หมายถึง สารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) และอนุพันธ์ มีออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และธาตุอื่นประกอบอยู่ด้วย ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย สารอินทรีย์ที่พบในน้ำเสียมี่ดังนี้

ก. โปรตีน (Protein) มีส่วนประกอบจำพวก คาร์บอน(C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) กับอาจมีกำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) รวมอยู่ด้วย โปรตีนเป็นโภชนาหารที่สำคัญของผู้บริโภคและผู้ย่อยสลาย เมื่อผู้ย่อยสลายกินโปรตีนเข้าไปจะเกิดการแปรสภาพแบบต่อเนื่อง (จากชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่ง) จนสุดท้ายจะขับถ่ายออกมาในรูปของสารอินทรีย์ เช่น แอมโมเนียและฟอสเฟต ซึ่งทั้งแอมโมเนียและฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร N และ P สำหรับผู้ผลิตในน้ำ

ข. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) เป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ คาร์โบไฮเดรตที่มีการปนเปื้อนในน้ำเสียทั้งน้ำตาล (Sugar) แป้ง (Starches) เซลลูโลส (Cellulose) และใยไม้ (Wood fiber)

ค. ไขมัน น้ำมัน และจารบี (Fat, Oil and Grease) ไขมันเมื่อถูกปล่อย มากับน้ำเสียจะเคลือบอยู่ที่ผิวน้ำเพราะไม่ละลายน้ำและเบากว่าน้ำ ทำให้เกิดความยุ่งยากทั้งภายใน ท่อระบายน้ำเสียและระบบน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อท่อมีโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นองค์ประกอบหลัก ถ้าไม่มีการกำจัดออกจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ง. สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาด ใหญ่และละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย และทำให้เกิดฟองเป็นตัวเชื่อมระหว่างอากาศกับน้ำเมื่อใส่ลง ไปในของเหลวจะทำให้ของเหลวแผ่ตัวแทรกซึมและเปียกได้เร็วขึ้น ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ

จ. สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ และสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรอื่น ๆ (Pesticides and Agricultural Chemicals) ส่วนใหญ่จะมีสารประกอบอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่แม้ จะมีอยู่ในน้ำเสียปริมาณน้อยแต่ก็มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดส่วนใหญ่จะมาจากน้ำที่ไหล ผ่านหรือน้ำที่ระบายออกจากพื้นที่ทางการเกษตร

สารอนินทรีย์ (Inorganic matter) สารอนินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำเสียอาจมี แหล่งกำเนิดมาจากบ้านเรือน อุตสาหกรรม หรือการเกษตรก็ได้สารอนินทรีย์บางชนิดถ้ามีใน ปริมาณไม่มากอาจเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น แอมโมเนีย ไนเตรต ฟอสเฟต เฟอร์รัสไอออน (Fe^{+2}) แมงกานีสไอออน (Mn^{+2}) คอปเปอร์ไอออน (Cu^{+2}) และสังกะสีไอออน (Zn^{+2}) เป็นต้น บางชนิด แม้มีปริมาณที่น้อยก็เป็นพิษได้ เช่น จำพวก ไซยาไนด์ ปรอท เป็นต้น สารอนินทรีย์ที่สำคัญจำเป็น ต้องทราบหลายชนิดดังนี้ คือ

ก. กรดและด่าง (Acid and Base) การปนเปื้อนของกรดและด่างทราบ ได้จากค่าพีเอช (pH) ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและรวมถึงมีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียทาง ชีวภาพเป็นอย่างมาก พีเอชนี้ถือเป็นตัวบ่งชี้ (Parameter) ในการหาคุณภาพน้ำชนิดหนึ่ง และจำเป็น ต้องมีการควบคุมพีเอชในน้ำเสียให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึง

ความเป็นต่าง ค่าพีเอชน้อยกว่า 7 หมายถึง ความเป็นกรด น้ำสะอาดมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 5-9

ข. คลอไรด์ (Chloride) ในน้ำเสียอาจได้รับการปนเปื้อนคลอไรด์มาจากกิจกรรมต่าง ๆ จากบ้านพักอาศัย เช่น การปรุงอาหาร สิ่งปฏิกูล หรือจากอุตสาหกรรม เช่น การผลิตเกลือหรือผลิตแก้วจากภาคการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ย สารฆ่าแมลงและวัชพืช

ค. ธาตุอาหาร ทั้งในรูปของไนเตรต และฟอสเฟต ที่ถูกพัดพามาจากไร่นา เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกินขีด (Algae Boom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำช่วงเวลากลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

ง. สารประกอบที่เป็นพิษ (Toxic Compounds) หมายถึง สารที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมักจะพบในน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากกิจการอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ประกอบด้วย สารประกอบที่มีไอออนบวก (Cation) ได้แก่ ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) เป็นต้น และสารประกอบที่มีไอออนลบ (Anion) ได้แก่ ไซยาไนด์ (CN⁻) ฟลูออไรด์ (F⁻) สารพิษทางการเกษตรบางชนิดยังมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบอยู่บ้างแต่ก็มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำไม่มากนัก

จ. โลหะหนัก (Heavy Metal) โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียมักจะมาจากอุตสาหกรรมโลหะ/เคมี และฟอกย้อมโลหะหนักเหล่านี้ ถ้ามีปริมาณมากอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคในระดับต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ และอันตรายต่อการนำน้ำขึ้นมาใช้อุปโภคบริโภค

1.3.3 ลักษณะทางด้านชีวภาพ (Biological Characteristics)

1) กลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบในน้ำผิวดินและน้ำเสีย โดยปกติแล้วมี 3 กลุ่มด้วยกันได้แก่ Eucaryotes Eubacteria และ Archaeobacteria ซึ่งพวก Procaryotic (Eubacteria และ Archaeobacteria) เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพซึ่งส่วนใหญ่ คือ พวกแบคทีเรีย นอกจากนี้พวกจุลินทรีย์อื่น ๆ ในกลุ่ม Eucaryotes พวกพืช สัตว์และโพรติสตา เป็นต้น นอกจากนี้พวกโพรติสตายังมีบทบาทที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ สาหร่าย

โปรโตซัว รา และโรติเฟอร์ เป็นต้น จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของคอลลอยด์และอิเล็กตรอนเพื่อการหายใจแล้วปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

2) กลุ่มจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่ทำให้เกิดโรค ส่วนใหญ่แล้วจะมาจากแหล่งน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงพยาบาล หรือสถานพยาบาลต่าง ๆ มักเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหาร จึงมักปนเปื้อนมากับสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น อุจจาระ ปัสสาวะ และสารคัดหลั่ง เป็นต้น

3) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้มีด้วยกันหลายชนิดแต่ที่มีการนำมาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย ได้แก่

ก. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเลี้ยงได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Total plate count) หรือ Heterotrophic plate count (HPC) เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ทั้งที่ทำให้เกิดโรคและไม่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์กลุ่มนี้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำสะอาดว่ามีคุณภาพน้ำทางชีวภาพเป็นอย่างไร น้ำดื่มเพื่อการบริโภคกำหนดให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร

ข. ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform) คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่มีในลำไส้ของมนุษย์มีรูปร่างเป็นแท่งเป็นพวกที่อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนหรือไม่ก็ได้ ปกติมนุษย์ปล่อยโคลิฟอร์มออกมากับอุจจาระวันละประมาณ 100-400 พันล้านตัว แต่แบคทีเรียเหล่านี้ไม่ได้มาจากมนุษย์เท่านั้นยังสามารถพบได้ตามพื้นดินทั่วไปและกระเพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่น ๆ ด้วย สำหรับการตรวจวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำมักกำหนดค่า MPN (Most probable number) ของโคลิฟอร์มไม่เกิน 2.2 ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

ค. ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliforms) แบคทีเรียที่สำคัญที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ สายพันธุ์ อี.โคไล (*Escherichia coli* หรือ *E.coli*) ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ที่ดีว่าในน้ำมีการปนเปื้อนของอุจจาระหรือไม่ และถ้าพบแสดงว่าในน้ำนั้นมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค

2. กระบวนการผลิตกระดาษและน้ำเสียจากโรงงานเยื่อและกระดาษ

กระดาษเขียนเริ่มมีปรากฏขึ้นในประเทศอียิปต์โดยผลิตจากพวกต้นกกหรือต้นอ้อที่เรียกว่า กระดาษปาไพรัส (Papyrus) จากนั้นชาวจีนได้ประดิษฐ์วิธีผลิตกระดาษจากต้นไผ่และฝ้าย ต่อมาได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นและเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลาย ประมาณ พ.ศ. 2150 (George, 1984)

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษเป็นเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) จากไม้ซึ่งอาจเป็นไม้เนื้ออ่อนหรือไม้เนื้อแข็งก็ได้แต่ส่วนใหญ่ไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษจะนิยมใช้ไม้เนื้ออ่อนมากกว่าเพราะมีเส้นใยที่ยาวกว่าโดยต้องมีกระบวนการกำจัดลิกนิน (Lignin) ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกาวออกจากเนื้อไม้เพื่อให้เหลือแต่เซลลูโลสจากนั้นจะได้เยื่อกระดาษที่ทำจากเซลลูโลสเมื่อนำเยื่อกระดาษนี้มาทำเป็นแผ่นและเติมสารเติมแต่ง (Additive) เพิ่มคุณภาพที่เหมาะสมและอบแห้ง ก็จะได้กระดาษออกมา (Nelson, 1991)

Clark (1978) รายงานว่าการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในการทำเยื่อกระดาษนั้นได้เริ่มในประเทศแถบยุโรปก่อนจึงแพร่มาสู่ประเทศเอเชีย แอฟริกา และอเมริกาใต้ ซึ่งนิยมนำมาผลิตเป็นกระดาษชนิดละเอียด (Fine paper) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติเป็นเส้นใยสั้นและมีผนังบาง

ส่วนหญ้าจรรยาซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Burma grass ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตกระดาษร่วมกับฟางข้าว จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มีเซลลูโลส 48 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 17.6 เปอร์เซ็นต์ (Chu *et al.*, 1970)

2.2 กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ

ในการผลิตเยื่อและกระดาษส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการทางเคมีในการต้มเยื่อกระดาษซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการที่สำคัญคือ

2.2.1 กระบวนการคราฟท์ (Kraft) หรือกระบวนการซัลเฟต (Sulfate Process) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่นิยมใช้กันมาก สารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) กระบวนการคราฟท์สามารถใช้กับไม้ได้ทุกชนิด และเส้นใยที่ได้แข็งแรงและที่สำคัญคือ สารเคมีที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีก ซึ่งเป็นการลดหรือกำจัดมลพิษได้ แต่กลิ่นของสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อที่ปล่อยออกมาคือสารประกอบอินทรีย์ของกำมะถันอาจทำให้เกิดภาวะมลพิษ และควบคุมได้ยาก (Nelson, 1991)

2.2.2 กระบวนการโซดา (Soda Process) มีลักษณะของกระบวนการผลิตคล้ายกับกระบวนการคราฟท์ ยกเว้น สารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อจะเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Nelson, 1991)

2.2.3 กระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite Process) สารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อคือ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการซัลไฟต์จะมีปริมาณน้อยแต่มีคุณภาพสูง ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการนี้ คือ จะเกิดน้ำเสียที่ก่อให้เกิดเป็นภาวะมลพิษจึงไม่นิยมใช้ในกระบวนการผลิต (Nelson, 1991)

2.3 กระบวนการผลิตกระดาษ

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตกระดาษทั่วไป ได้แก่ กระบวนการผลิตกระดาษแบบเปียก (Wet Process) กล่าวคือ เมื่อได้เยื่อกระดาษแล้วจำเป็นต้องนำเยื่อกระดาษมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้กระดาษที่ผลิตได้มีสมบัติตามที่ต้องการ โดยมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องคือขั้นตอนการตีเยื่อ (Beating) เพื่อให้กระดาษที่ผลิตได้มีความแข็งแรงและหนาขึ้นจนรูปได้ดีกว่ามีความพรุนน้อย เนื่องจากมีพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้จะมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปด้วยเพื่อให้กระดาษมีคุณภาพดีขึ้น สารเคมีที่เติมได้แก่

Filler ซึ่งจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพื่อให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ ทำให้กระดาษมีสีขาวสดใส และเพิ่มความทึบแสงเหมาะสมสำหรับการพิมพ์

Sizing เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลดการดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจเติมผสมในเยื่อกระดาษ หรือฉาบที่ผิวกระดาษที่ทำเป็นแผ่นแล้ว กระดาษที่ผลิตได้จะมีสมบัติที่ดีขึ้น คือ ดัดหมึกดี ป้องกัน ความชื้น และทนต่อการลบแก้ไข

ขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษจะใช้เครื่องมือที่ เรียกว่า Fourdrinier machine โดยหลักการเครื่องมือจะทำการผลิตกระดาษโดยระบายน้ำออกจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษที่เจือจางผ่านเครื่องกรองและทำให้แห้งรีดน้ำออกด้วยลูกกลิ้งแล้วทำให้แห้งบนลูกกลิ้ง ร้อนจากนั้นผ่านไปยังเครื่องรีดกระดาษที่เป็นลูกกลิ้งเหล็กหนักเพื่อทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความ เรียบขึ้นอีก ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ออกมาจะได้เป็นกระดาษ (ต่อพงศ์, 2544)

2.4 น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษจะเกิดขึ้นในแต่ละส่วนของกระบวนการ ผลิตโดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การลอกเปลือกไม้ การต้มเยื่อกระดาษ การล้างและฟอกเยื่อ กระดาษ การทำเยื่อกระดาษให้เป็นแผ่น จากหม้อต้มไอน้ำ หม้อต้มระเหย การผลิตน้ำยาเคมีกลับคืน และจากการเตรียมสารเคมี นอกจากนี้ยังมีน้ำทิ้งจากระบบระบายความร้อน (Blow down) ซึ่ง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไปโดยสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งในกระบวนการผลิตเยื่อ และกระดาษ

สมบัติ	Maximum	Minimum	Average
pH	9.5	7.6	8.2
Total alkalinity	300.0	100.0	175.0
Phenolphthalein alkalinity (mg/l)	50.0	0	0
Total solids (mg/l)	2,000.0	800.0	1,200.0
Volatile solids (%)	75.0	60.0	65.0
Total suspended solids (mg/l)	300.0	75.0	150.0
Volatile suspended solids (%)	90.0	80.0	85.0

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียภายหลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ (ต่อ)

สมบัติ	Maximum	Minimum	Average
BOD (mg/l)	350.0	100.0	175.0
Color (Pt-Co Unit)	500.0	100.0	250.0

ที่มา : Nelson (1991)

ในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ พบว่าน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นยังมีความเข้มข้นของสีที่อยู่ในสภาพที่เกินเกณฑ์มาตรฐานอยู่ด้วย Pellinen and Font กล่าวว่า สีที่เกิดขึ้นจากการปล่อยน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้น โดยความเข้มของสีเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากสารประกอบลิกนิน (Lignin) และความเข้มของสีที่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งซึ่งเป็นตัวหลักในการก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่น้ำด้วย (Chang *et al.* 1987; Messner *et al.* 1990; Poutry 1990; Davis and Burns 1990; 1992)

2.5 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อและกระดาษ (Nemerow, 1977)

2.5.1 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Toxic to stream life) น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อและกระดาษมักมีสารที่มีพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบออกาโนคลอรีน เป็นต้น

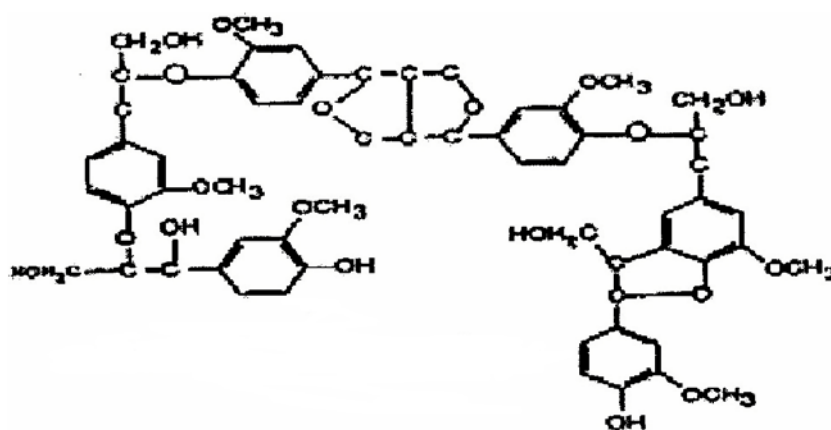
2.5.2 การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen depletion in stream water) น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อและกระดาษ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์

2.5.3 ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (Physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากการผลิตเยื่อและกระดาษ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดสภาพที่น้ำรังเกียจแก่ผู้พบเห็น นอกจากนี้สีขุ่นที่มีความเข้มของสีสูงยังขัดขวางไม่ให้แสงอาทิตย์ผ่านผิวน้ำ

ลงไปได้น้ำทำให้กระบวนการเจริญเติบโตของพืชน้ำและวงจรชีวิตของสัตว์น้ำส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

3. โครงสร้างของลิกนิน

ลิกนินเป็นโพลิเมอร์ที่มีลักษณะไม่แน่นอน (Amorphous polymer) มีโครงสร้าง 3 มิติและไม่เป็นผลึก มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 1,000-10,000 คอลตันหรือมากกว่า (Gottlieb and Pelczar, 1951; Sarkanen and Ludwig, 1971; Crawford, 1981a) จากการศึกษายังไม่พบโครงสร้างที่ถูกต้องของ ลิกนิน ทราบแต่เพียงว่าลิกนินเป็นโพลิเมอร์ที่เกิดจากโมโนเมอร์ 3 ชนิด คือ coniferyl alcohol, sinapyl alcohol and p -coumaryl alcohol (Crawford, 1981a; Janshekar and Fiechter, 1983)



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินในไม้เนื้ออ่อน

ที่มา: Hatfield and Ralph (1997)

ลิกนินไม่ละลายในน้ำและสารละลายอินทรีย์หลายชนิดแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย Dioxane (Gottlieb and Pelczar, 1951) ไม่ละลายในกรด แต่ละลายได้ในสภาพที่เป็นด่าง และอาจถูกออกซิไดซ์ได้ในบรรยากาศ น้ำหนักโมเลกุลของลิกนินที่สร้างขึ้นโดยกระบวนการต่าง ๆ กันในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง ชานอ้อย และฟางข้าวจะแตกต่างกัน (Janshekar and Fiechter, 1983)

4. เชื้อราที่มีความสามารถในการย่อยลิกนิน

การย่อยลิกนินเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดกระบวนการหนึ่งในวัฏจักรของธาตุคาร์บอนและออกซิเจน และการย่อยลิกนินในธรรมชาติทราบได้จากการลดลงของปริมาณลิกนิน (Janshekar and Fiechter, 1983) การย่อยลิกนินในธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้เพราะเชื้อรา (Waksman and Hutching, 1936; Christman and Orlesby, 1971; Evans, 1977; Crawford, 1981a) และจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยลิกนินแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ เชื้อราแอสโคไมซีต และแบคทีเรียเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยลิกนินของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีรายงานว่าเชื้อรามีบทบาทที่สำคัญมากที่สุด (Janshekar and Fiechter, 1983)

Hall (1980) Forney *et al.* (1982) และ Faison and Kirk (1983) รายงานว่าการย่อยสารอะโรมาติกต่าง ๆ เช่น benzene , vanillin และ ferulate ซึ่งนิยมใช้เป็นตัวแทนของสารประกอบอะโรมาติกลิกนิน โดยเชื้อราเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนเพราะออกซิเจนเป็นตัวการสำคัญในการแตกวงแหวนเบนซีนในโมเลกุลของสารนั้น ๆ โดยใช้ ortho หรือ meta pathways กระบวนการดังกล่าวมีสภาพเป็นออกซิเดทีฟอย่างสูงและอาจเกี่ยวข้องกับสารเคมีที่เป็น oxidant อย่างเช่น singlet oxygen และอนุมูลของ hydroxy แต่ Tarvin และ Buswell (1934) ได้แสดงให้เห็นว่าการแตกวงแหวนของสารประกอบอะโรมาติกที่เกิดขึ้นในธรรมชาติไม่ต้องใช้ออกซิเจนนอกจากนี้ Dutton และ Evans (1969) พบว่าการย่อยสลายสารประกอบอะโรมาติกเกิดขึ้นในสภาพไร้ออกซิเจนโดยเกิดรีดักชันของวงแหวนขึ้นก่อนและมีรายงานหลายฉบับยืนยันว่าลิกนินถูกย่อยได้ในสภาพไร้ออกซิเจนและในการแตกโครงสร้างวงแหวนไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนโมเลกุล(molecular oxygen) (Taylor and Heeb, 1972; Evans, 1977; Healy and Young, 1979; Healy *et al.*, 1980; Taylor, 1983; Benner and Hodson, 1985)

จากการสังเกตการทำลายโครงสร้างเบนซีนโดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศอย่างสมบูรณ์พบว่าไม่ต้องมีไนเตรต ซัลเฟต และแสงร่วมในการทำงานของจุลินทรีย์ ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นในธรรมชาติซึ่งเป็นกระบวนการสร้างมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์จากสารอะโรมาติกและเกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน น้ำทิ้งจากโรงงานต่าง ๆ และในการเปลี่ยนรูปยาฆ่าแมลงบางชนิด (Evans, 1977)

ในกระบวนการผลิตมีเทนจากสารประกอบอะโรมาติกของลิกนินยังเกิดสารเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้นได้อีก เช่น vanillin, vanillic acid, ferulic acid, benzoic acid, protocatechuic acid, phenol, -hydroxybenzoic acid, syringic acid และ syringaldehyde เป็นต้น พบว่าการย่อยเกิดขึ้นได้ในสภาพไร้อากาศโดยวงแหวนอะโรมาติกถูกกรีดตัวก่อนแล้วแตกออกได้เป็นกรดอะลิฟาติกซึ่งกรดเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนต่อไปเพื่อให้กระบวนการเสร็จสิ้น โดยสมบูรณ์และการย่อยเกิดขึ้น การเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนไปเป็นก๊าซในขั้นสุดท้ายแตกต่างกันตามชนิดของสารประกอบคาร์บอน จุลินทรีย์ และสภาวะแวดล้อม คาร์บอนในสารประกอบอะโรมาติกเหล่านี้ครึ่งหนึ่งหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งมีศักยภาพในการเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้ (Clark and Fina, 1952; Fina and Fiskin, 1960; and Wofe, 1976; Balba and Evans, 1977; Evans, 1977; Healy and Young, 1978; Healy and Young, 1979; Healy *et al.* 1980; Abbott and Wicklow, 1984)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้ง

กระบวนการกำจัดสารประกอบลิกนินสามารถทำได้โดยใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) Tono *et al.* (1968) รายงานว่า *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. สามารถลดความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อได้ 90% ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 °C และที่ pH 6.8

Eaton *et al.* (1982) ได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับสายพันธุ์ *Phlebia brevispora* *Phlebia subserialis* *Poria cinerascens* และ *Tremetes versicolor* และพบว่าสายพันธุ์ ดังกล่าวข้างต้นสามารถลดความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Livernoche *et al.* (1983) ได้คัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ที่มีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกขาวเยื่อ จากเชื้อราทั้งหมด 15 สายพันธุ์ ซึ่งพบว่ามีเพียง 5 สายพันธุ์ที่แสดงความสามารถในการลดความเข้มข้นของสีได้ ได้แก่ *T. versicolor*, *Phanerochaete*, *chrysosporium*, *Pleurotus*, *ostreatus*, *Polyporus*, *versicolor* และอีกหนึ่งสายพันธุ์ที่ไม่สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ได้ และพบว่าสายพันธุ์ *T. versicolor* มีประสิทธิภาพดีที่สุด

Kannan *et al* . (1990) รายงานว่าเชื้อรา *Aspergillus niger* สามารถลดความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกขาวเยื่อได้ 80% ลดค่า BOD และค่า COD ได้มากกว่า 40% ภายในระยะเวลา 2 วัน

Esposito *et al* . (1991) and Lee *et al* . (1994) รายงานถึงประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White rot fungi) กับน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกขาวเยื่อโดยปราศจากการเติมธาตุอาหารมีการคัดเลือก Ligninolytic fungi *Lentinus edodes* และรา KS-62 พบว่าสามารถลดความเข้มข้นสีได้ 70-80% ภายในระยะเวลา 5-7 วัน โดยปราศจากการเติมธาตุอาหารซึ่งภายในสภาพเดียวกัน *P.chrysosporium* และ *T.versicolor* กำจัดความเข้มข้นสีได้ 13-29% ตามลำดับ

Mehna *et al* .(1995) ใช้ *T.versicolor* ในการลดความเข้มข้นสีของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อจากของเหลือทิ้งจากการเกษตร พบว่าสามารถลดความเข้มข้นสีได้ 50-62% ภายในระยะเวลา 4-7 วัน

Tabak *et al* .(1959) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราเส้นใยสีขาวที่สามารถย่อยลิกนินพบว่าเชื้อราเส้นใยสีขาว (White rot fungi) บริสุทธิ์สามารถย่อยสลายลิกนินได้น้อยกว่าเชื้อราเส้นใยสีขาว (White rot fungi) ผสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เชื้อราที่ใช้ในการทดลอง

สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White rot fungi) ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเชื้อราที่ได้จากตัวอย่างเห็ดโดยหน่วยเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการคัดเลือกไว้ซึ่งเชื้อราที่ใช้ในการทดลองคือสายพันธุ์ *Cymatoderma* sp. (01) , *Hexagonia* sp. (02) , *Datronia* sp. (03) , *Microporus affinis* sp. (04) , *Irepex* sp. (09) , *Trichaptum* sp. (10) , *Phellinus* sp. (11) , *Oystrea* sp. (12) , *Hexagonia* sp. (13) , *Phellinus* sp. (16) , *Trichaptum* sp. (25) , *Schizophyllum commune* sp. (26) , *Ganoderma* sp. (30) , *Stereum* sp. (39) , *Cymatomerma* sp. (41) , *Trametes* sp. (50) , *Tyromyces* sp. (51) , *Marasmiellus* sp. (52) , *Pycnoporus* sp. (55) , *Tetrapygoe* sp. (56) เชื้อราทั้ง 20 ชนิดนี้เลี้ยงในอาหาร Potato dextrose agar (PDA)

2. น้ำเสีย

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้น้ำทิ้งจริงจากโรงงานเยื่อและกระดาษ โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งน้ำทิ้งที่ใช้เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวเยื่อและการตกตะกอนขั้นต้น (Primary sedimentation tank) แล้วโดยเป็นน้ำทิ้งที่เรียกว่า PG8 Tank

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2 อุปกรณ์และอาหารในการเลี้ยงเชื้อรา

3.3 ชุดวิเคราะห์ COD ชนิด Closed reflux แบบเพียบัส ประกอบด้วย หลอดแก้วสำหรับย่อย (Digestion Vessels) เตาซีโอดี (COD Reactor) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectro photometer)

3.4 เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Glas-Col สำหรับเลี้ยงเชื้อรา

3.5 Spectrophotometer ยี่ห้อ Hach รุ่น DR 2010 สำหรับวิเคราะห์ค่า COD และspectrometer Jasco V-530 สำหรับวิเคราะห์สี

3.6 ขวด BOD และ ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) สำหรับการวิเคราะห์ค่า BOD

3.7 เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Cyberscan 500

3.8 เครื่องแก้ว

3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

3.10 แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)

3.11 อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณของแข็ง ได้แก่ กระดาษกรอง GF/C ชามระเหย เครื่องอ่างน้ำ (water bath) เดสิคเคเตอร์ (Desiccator) ตู้อบ (Oven) เครื่องชั่งละเอียด (Balance) เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacum filtration) และกรวยกรอง

3.12 อุปกรณ์สำหรับการเลี้ยงเชื้อราในน้ำตัวอย่าง ได้แก่ โถแก้ว ขนาด 7 นิ้ว เครื่องเติมอากาศ และหัวจ่ายลม

3.13 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถังพลาสติก กระดาษ กระดาษขาว ปากกา อุปกรณ์สำหรับถ่ายรูป

4. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

4.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า BOD ประกอบด้วย

4.1.1 น้ำกลั่น

4.1.2 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

4.1.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ความเข้มข้น 22.5 นอร์มอล

4.1.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ความเข้มข้น 27.5 นอร์มอล

4.1.4 สารละลายเฟอร์รัสคลอไรด์ (FeCl_2) ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล

4.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า COD ประกอบด้วย

4.2.1 สารละลายที่ใช้ย่อย (Digestion Solution) ได้แก่ น้ำกลั่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ความเข้มข้น 0.025 นอร์มอล กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) และปรอทซัลเฟต (HgSO_4) ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล

4.2.2 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)

4.3 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา ประกอบด้วย

4.3.1 อาหาร PDA (Potato dextrose agar) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 200 กรัม Dextrose 20 กรัม Agar 15 กรัม และ น้ำกลั่น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3.2 อาหาร GYE (Glucose yeast extract broth) ประกอบด้วย Glucose 20 กรัม Yeast extract 15 กรัม และน้ำกลั่น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.4 สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับการเลี้ยงเชื้อราในตัวอย่างน้ำเสีย (Pratima และคณะ, 1993) ประกอบด้วย

4.4.1 กลูโคส (Glucose)

4.4.2 ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)

4.4.3 แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)

4.4.4 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

4.4.5 เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

4.4.6 แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3)

วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำทิ้งก่อนตามด้วยการทดลองการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) 20 สายพันธุ์ที่เหมาะสมในการลดความเข้มสีและปริมาณ COD โดยใช้เชื้อราในอัตราส่วน 10:100 นั่นคือ เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) น้ำหนัก 10 กรัมแยกผสมในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตรที่มีอาหารและไม่มีอาหาร เมื่อได้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ที่เหมาะสมก็ทำการผสมเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ได้แก่ทำการผสมเชื้อรา 2 สายพันธุ์ในอัตราส่วน 5:100 นั่นคือ เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) เชื้อราสายพันธุ์ละ 5 กรัมแยกผสมในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ผสมเชื้อรา 3 สายพันธุ์ในอัตราส่วน 3.33:100 นั่นคือ เชื้อราสายพันธุ์ละ 3.33 กรัมแยกผสมในน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร และทำการผสมเชื้อรา 4 สายพันธุ์ ในอัตราส่วน 2.5:100 นั่นคือ เชื้อราสายพันธุ์ละ 2.5 กรัมแยกผสมในน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร และจะนำไปทดลองต่อไปในการลดความเข้มสีและปริมาณ COD ในน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อและกระดาษดังกล่าวละเอียด

1. การทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสีย

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียที่จะใช้ก่อนการทดลอง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย สี (Color) , COD , pH ซึ่งทำการวิเคราะห์ตาม Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater (20th ed.) (APHA, 1998) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้ง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
pH	Electronic pH meter Method
Color	Spectrophotometric Method
COD	Closed Reflux, Colorimetric Method

ที่มา: Clesceri, L.S., A.E. Greenberg, and A.D. Eaton (eds)

2. การทดลองการคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการลดความเข้มข้นและค่า COD

ทำการเลี้ยงเชื้อราที่ได้มาจากตัวอย่างเห็ด หน่วยเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย สถาบันคีนันคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ในอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เชื้อราเจริญเต็มจานอาหารจากนั้นทำการถ่ายเชื้อราเลี้ยงในอาหาร Glucose yeast extract broth (GYE) จำนวน 5 loop/พลาสติก เลี้ยงเชื้อราดังกล่าวให้เจริญโดยการเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการถ่ายเชื้อราที่เจริญเต็มที่แล้วใส่ในตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อการทดลองต่อไป

3. การทดลองการลดความเข้มข้นน้ำทิ้งด้วยเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi)

3.1 เชื้อราเส้นใยสีขาวที่เลี้ยงในอาหาร Glucose yeast extract broth (GYE) เป็นเวลา 5 วัน นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 ชั่งตัวอย่างเชื้อรา 10 กรัมเปียกต่อ 1 พลาสติกขนาด 250 มล.

3.2 ตวงตัวอย่างน้ำทิ้งปริมาตร 3 ลิตร และชั่งสารเคมีประกอบด้วย Glucose 1% , K_2HPO_4 0.1% , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.05% , KCl 0.05% , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.001% , NH_4NO_3 0.175% ผสมลงไปในตัวอย่างเป็นน้ำทิ้งที่มีการตกตะกอนขั้นต้นแล้ว (PG 8) คนจนละลายหมด

3.3 ตวงตัวอย่างน้ำทิ้ง ที่ผสมอาหารแล้วและไม่ผสมอาหารในปริมาตร 100 มล.

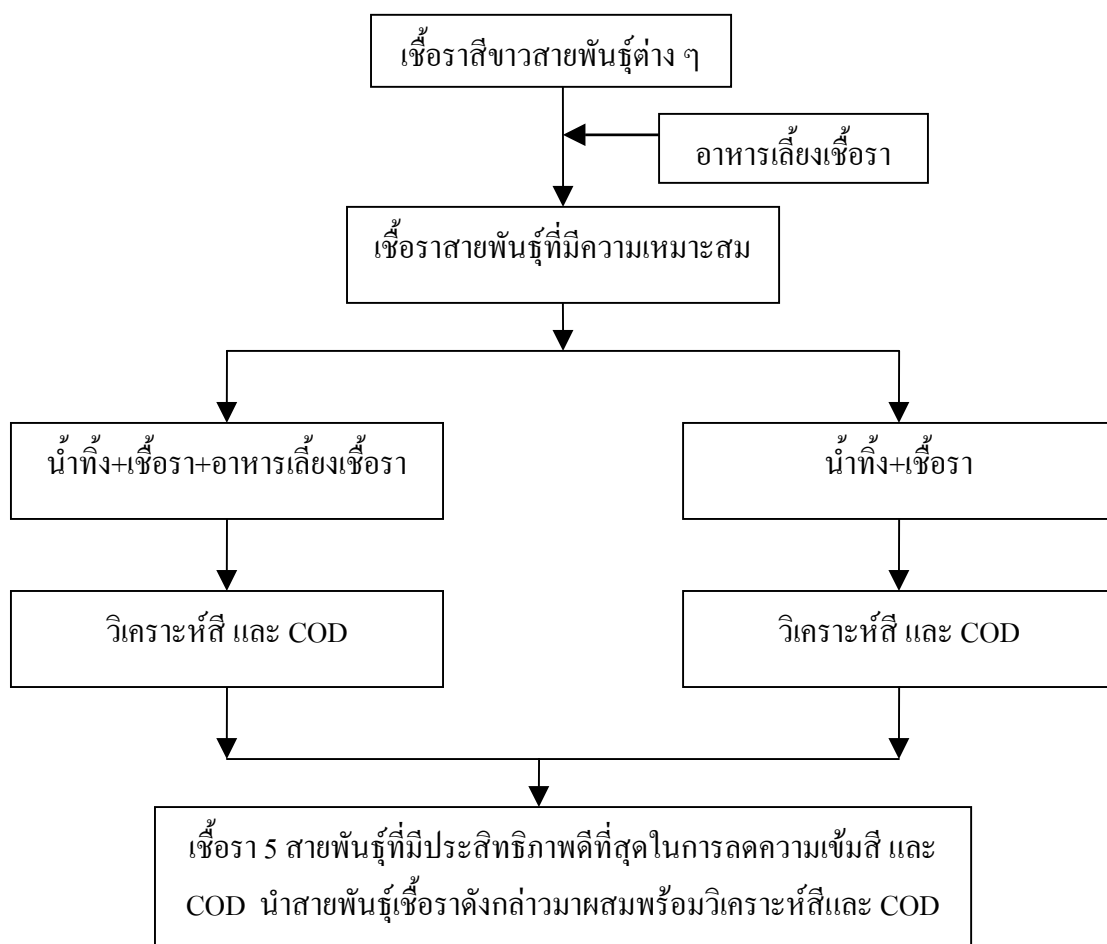
ต่อพลาสติกขนาด 250 มล. และใส่เชื้อราที่กรองจากกระดาษกรองจำนวน 10 กรัมเปียกลงในพลาสติกที่มีตัวอย่างน้ำทิ้ง

3.4 เก็บตัวอย่างน้ำที่ทำการทดลองทุกวันเป็นเวลา 5 วันเพื่อวิเคราะห์ค่า COD และค่า

ความเข้มข้นตามวิธีการวิเคราะห์ข้างต้น

3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อราเส้นใยสีขาวแต่ละสายพันธุ์ในการลดความเข้มข้นและ COD ของน้ำทิ้งหลังการบำบัด เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดสำหรับการทดลองต่อไป

ในการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สามารถสรุปการทดลองดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สรุปแผนผังการทดลองการลดปริมาณ COD และความเข้มข้นหีสี ด้วยเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวและผสมสายพันธุ์

4. การทดลองการลดความเข้มข้นของน้ำทิ้งด้วยเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสม

เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ที่มีความสามารถในการลดความเข้มข้นหีสีที่ได้จากการคัดเลือกในการทดลองที่ 3 จึงนำสายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) มาผสมกันได้แก่ เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สองสายพันธุ์ เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สามสายพันธุ์ และเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สี่สายพันธุ์ แล้วทำการทดลองทำนองเดียว

กับการทดลองที่ 3 ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสีและปริมาณ COD กับการทดลองที่ใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวกัน

5. การคำนวณหา % การลดความเข้มสีและปริมาณ COD

เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD

$$= \frac{(\text{ปริมาณ COD ก่อนการบำบัด} - \text{ปริมาณ COD หลังการบำบัด}) \times 100}{\text{ปริมาณ COD ก่อนการบำบัด}}$$

เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มสี

$$= \frac{(\text{ค่าความเข้มสีก่อนการบำบัด} - \text{ค่าความเข้มสีหลังการบำบัด}) \times 100}{\text{ค่าความเข้มสีก่อนการบำบัด}}$$

ผลและการวิจารณ์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความเข้มข้นน้ำทิ้งโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษด้วย เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การคัดเลือก สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ได้ 4 สายพันธุ์จากทั้งหมด 20 สายพันธุ์ที่สามารถลด ปริมาณ COD และลดความเข้มข้นน้ำทิ้งโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน การลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษระหว่างการใช้เชื้อรา เส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวและผสมสายพันธุ์ที่คัดเลือกแล้วและเปรียบเทียบประ สิทธิภาพของเชื้อราในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นในสภาวะแบบเดิมอาหารและสภาวะ แบบไม่เดิมอาหารโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษจริงซึ่งวิเคราะห์ค่า COD ก่อนการ บำบัดได้ 1,500 mg/l และความเข้มข้นก่อนการบำบัดได้ 2,200 PtCo Unit

ผลของการคัดเลือกสายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ที่ใช้ในการคัดเลือก (รูปภาพอยู่ในภาคผนวก) ในการทดลองมีสายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ทั้งหมด 20 สายพันธุ์ซึ่งการทดลองจะใช้หมายเลขต่าง ๆ แสดงประเภทของเชื้อราดังรายละเอียดที่แสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประเภทของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สัมพันธ์กับหมายเลขในการทดลอง

หมายเลข	สายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi)
01	<i>Cymatoderma</i> sp.
02	<i>Hexagonia</i> sp.
03	<i>Datronia</i> sp.
09	<i>Irepex</i> sp.
10	<i>Trichaptum</i> sp.
11	<i>Phellinus</i> sp.
12	<i>oystrea</i> sp.
13	<i>Hexagonia</i> sp.
15	<i>Microporus affinis</i> sp.

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเลข	สายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi)
16	<i>Phellinus</i> sp.
25	<i>Trichaptum</i> sp.
26	<i>Schizophyllum commune</i> sp.
30	<i>Ganoderma</i> sp.
39	<i>Stereum</i> sp.
41	<i>Cymatomerma</i> sp.
50	<i>Trametes</i> sp.
51	<i>Tyromyces</i> sp.
52	<i>Marasmiellus</i> sp.
55	<i>Pycnoporus</i> sp.
56	<i>Tetrapygoe</i> sp

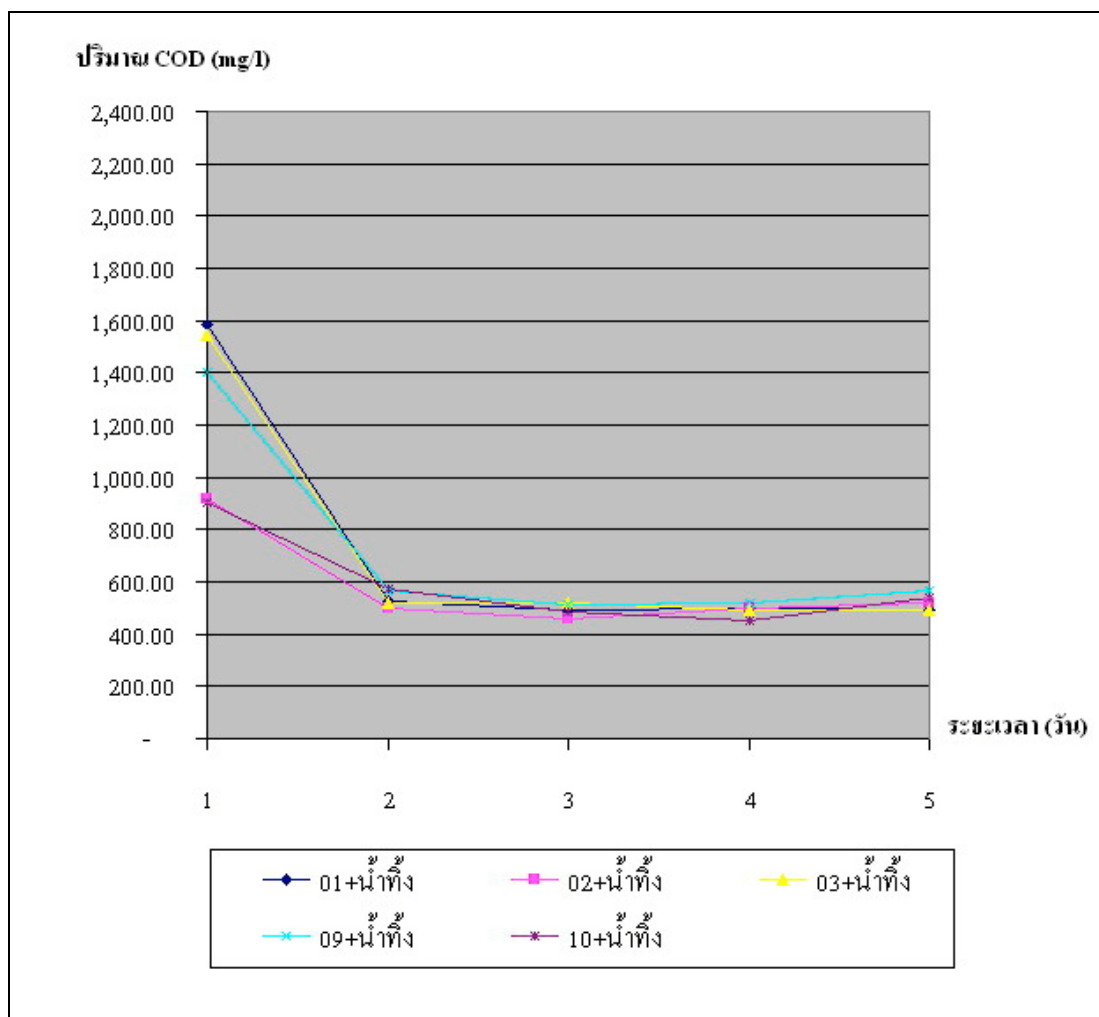
ในการทดลองใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่มีน้ำหนัก 10 กรัม เปียกต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร โดยเติมอาหารคือ Glucose , K_2HPO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KCl , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, NH_4NO_3 ตามสูตรซึ่งผลการทดลองการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นในแต่ละวันของการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4 ตารางที่ 5 ภาพที่ 3 ภาพที่ 4 ภาพที่ 5 และภาพที่ 6

ตารางที่ 4 การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวในการลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

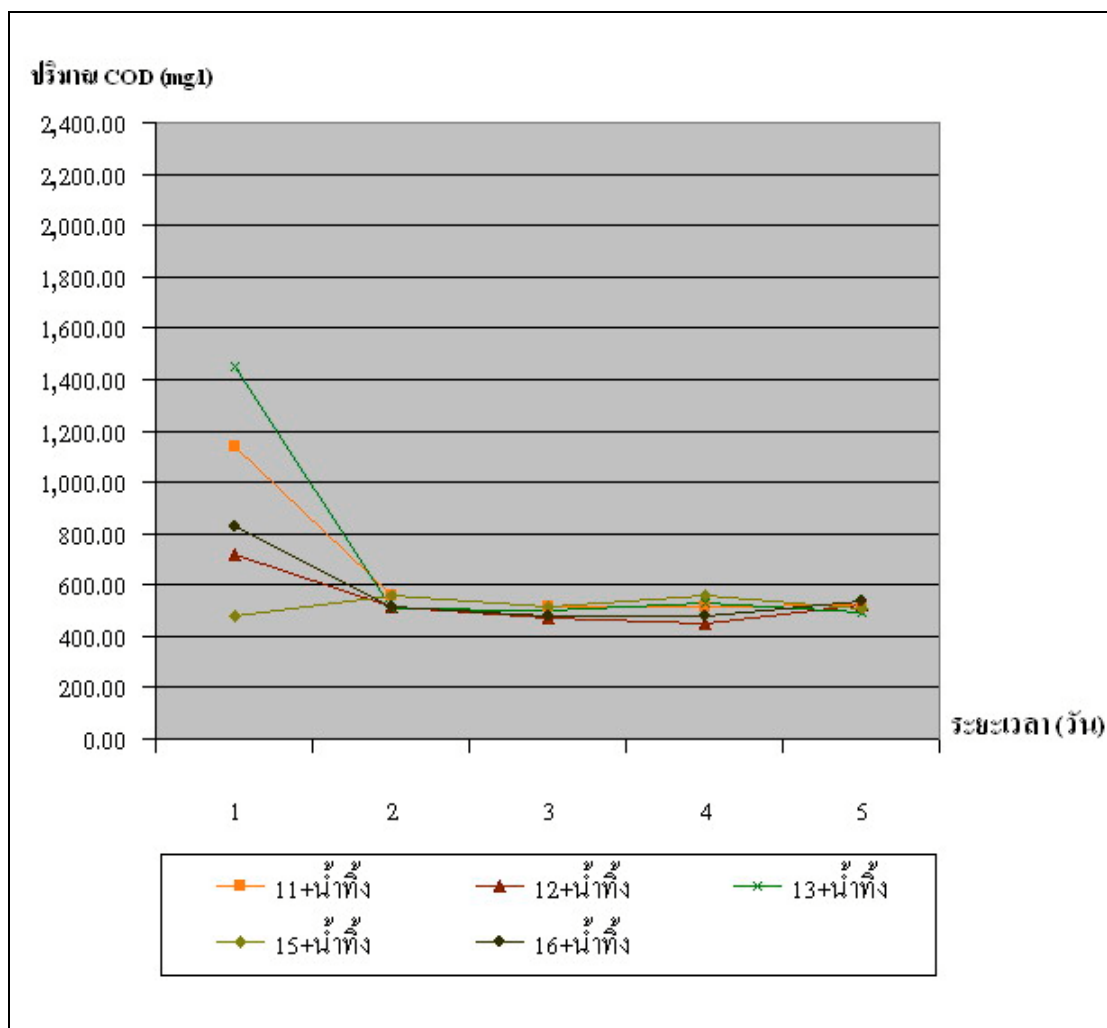
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	ปริมาณ COD (mg/l)					ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
01	1,585	523	493	502	493	671	725	1,315	1,315	1,457
02	916	498	457	496	519	789	983	1,320	1,670	1,965
03	1,545	516	520	494	495	679	923	1,377	1,155	1,021
09	1,400	563	512	521	566	671	1,932	2,071	2,025	2,082
10	904	571	486	455	540	804	1,800	1,820	1,890	2,046
11	1,135	556	518	516	521	693	2,012	2,177	2,305	2,228
12	718	517	474	453	520	756	1,733	1,954	1,963	1,954
13	1,450	506	503	528	495	680	811	1,061	1,113	1,069
15	482	559	512	557	506	662	908	1,192	1,100	1,313
16	829	518	480	477	536	783	1,104	1,467	1,877	2,232
25	470	499	485	511	499	648	740	1,008	1,019	1,044
26	488	614	525	526	522	674	1,332	1,731	1,775	1,643
30	2,325	1,080	795	462	522	809	3,240	1,871	1,856	1,417
39	1,530	712	510	540	471	682	650	855	843	838
41	1,009	478	470	483	542	768	948	1,375	1,934	2,126
50	875	523	464	476	517	764	1,549	1,680	1,810	1,950
51	940	521	428	460	496	766	1,655	1,609	1,702	1,851
52	1,245	581	544	551	508	770	2,162	1,997	1,888	1,586
55	1,239	484	459	443	538	797	1,286	1,395	1,418	1,555
56	843	482	635	446	496	782	1,882	2,029	2,123	2,206

ตารางที่ 5 การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวในการลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

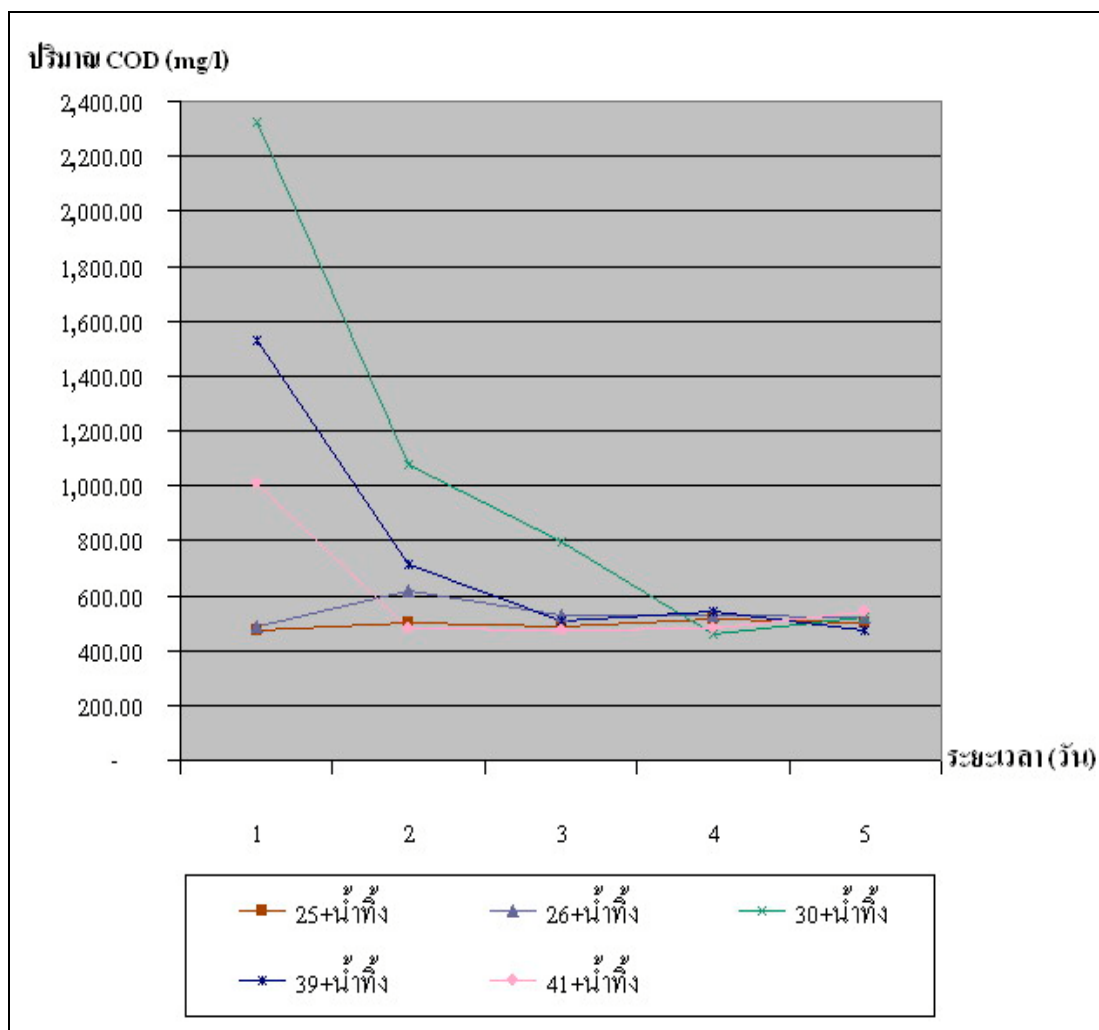
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	ปริมาณ COD (mg/l)					ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
01	495	762	523	527	531	957	906	1,414	1,939	1,854
02	891	520	461	448	498	1,008	1,222	1,427	1,961	1,850
03	556	556	521	529	473	955	1,328	1,453	1,394	1,124
09	504	575	551	514	508	999	1,752	2,190	2,110	1,946
10	982	510	512	440	511	1,037	1,432	1,661	1,574	1,410
11	826	614	526	531	534	1,127	2,188	2,015	1,951	1,500
12	775	590	508	462	504	1,067	1,980	2,119	2,138	1,998
13	506	558	525	510	414	1,013	1,075	1,461	1,324	935
15	529	538	501	524	515	966	905	1,279	1,245	1,266
16	860	504	475	475	514	1,054	1,401	1,676	1,807	1,666
25	530	521	523	486	499	924	579	802	784	855
26	540	1,256	776	623	588	979	1,244	1,490	1,758	2,206
30	2,290	467	474	454	494	1,039	1,604	1,683	1,655	1,226
39	569	894	567	533	313	1,012	2,501	2,411	1,976	1,631
41	983	703	801	457	487	1,032	1,001	1,201	1,807	1,308
50	970	536	521	477	517	1,106	1,918	2,058	2,102	2,049
51	1,308	514	487	453	516	1,406	2,005	2,299	2,082	1,928
52	499	550	539	520	496	990	1,914	1,967	1,884	1,543
55	1,220	472	467	467	538	961	1,589	1,581	1,783	2,004
56	792	493	498	481	511	1,069	2,005	2,297	2,224	2,189



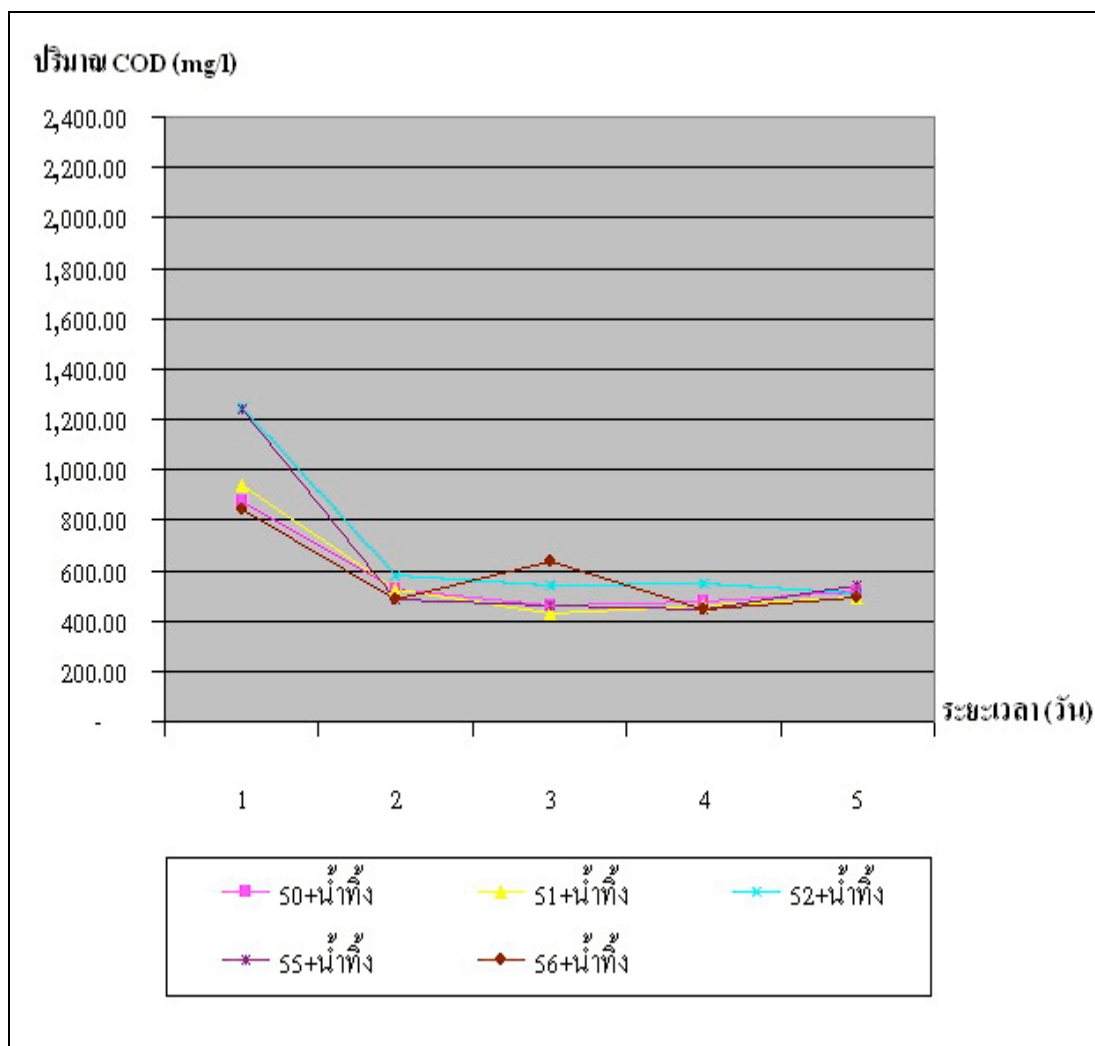
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

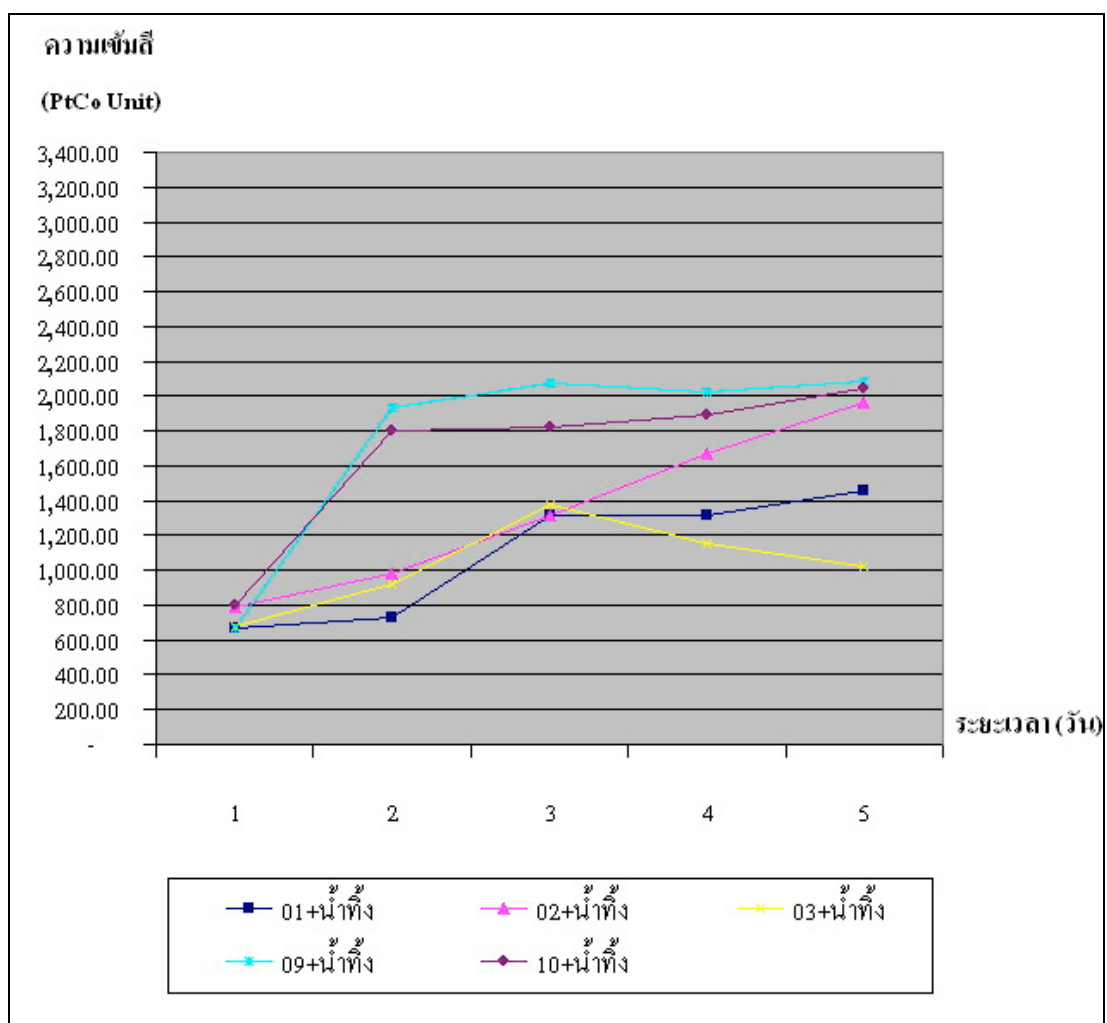


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

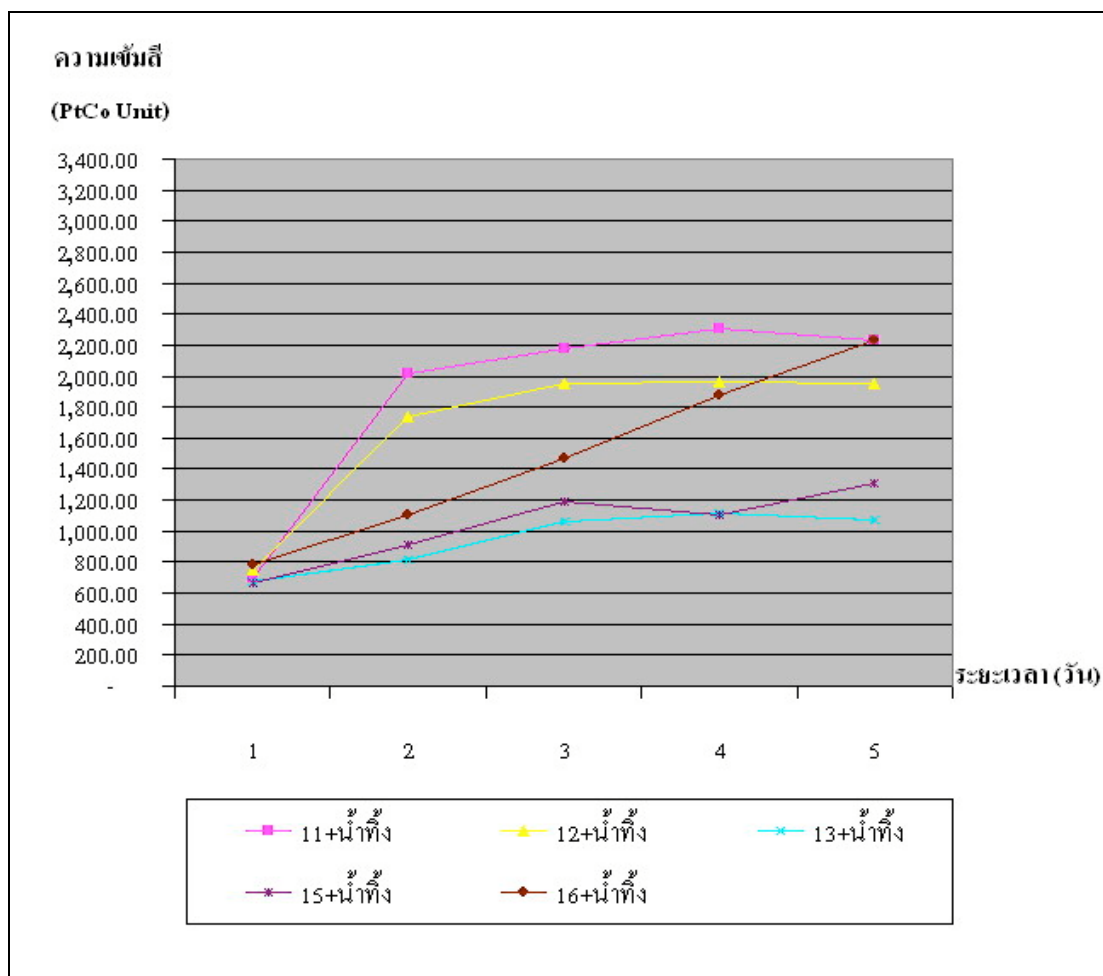


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

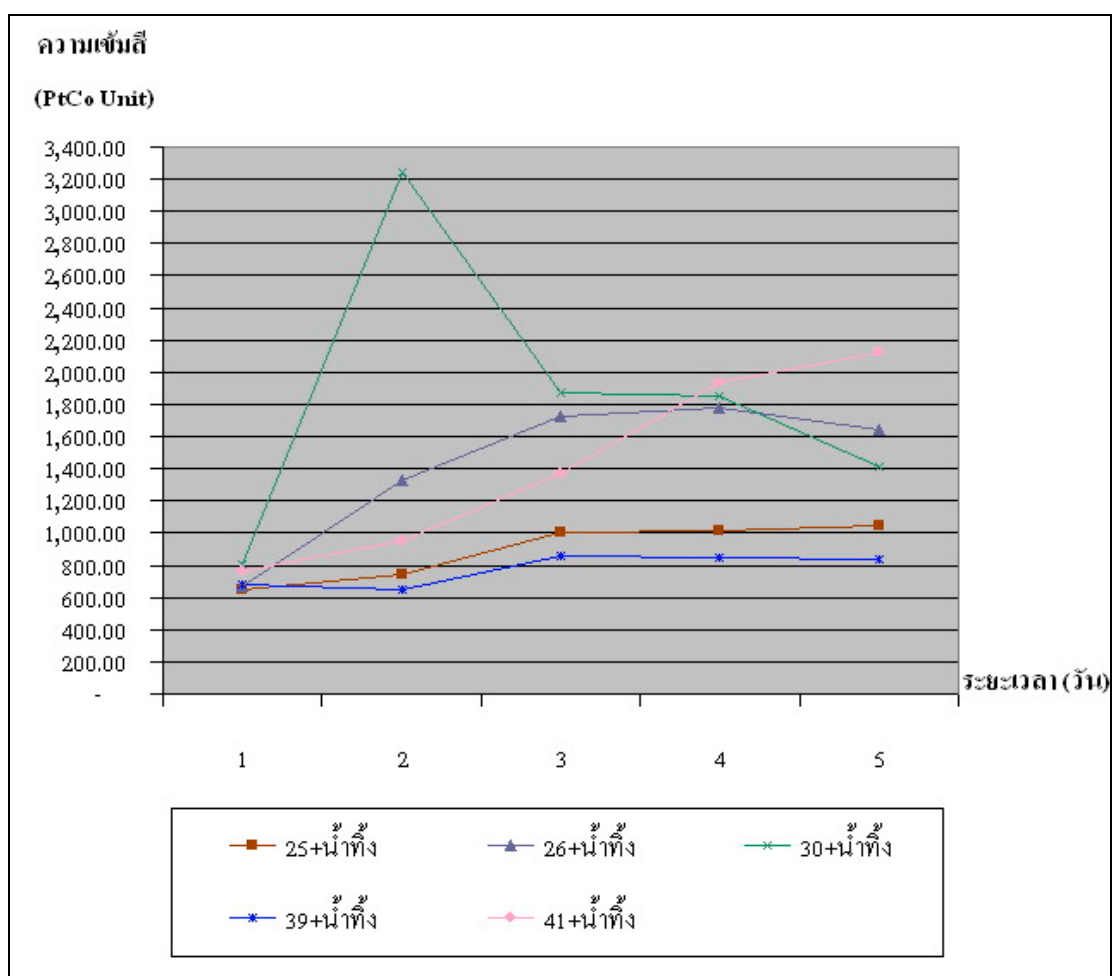
ผลการทดลองจากตารางที่ 4 ภาพที่ 3 ภาพที่ 4 ภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัด พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราทุกชนิดสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีในระยะเวลาของวันที่ 4 ของการบำบัดซึ่งปริมาณ COD ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันคือใกล้เคียงกับ 500 mg/l ซึ่งลดลงจากปริมาณ COD ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 1,500 mg/l



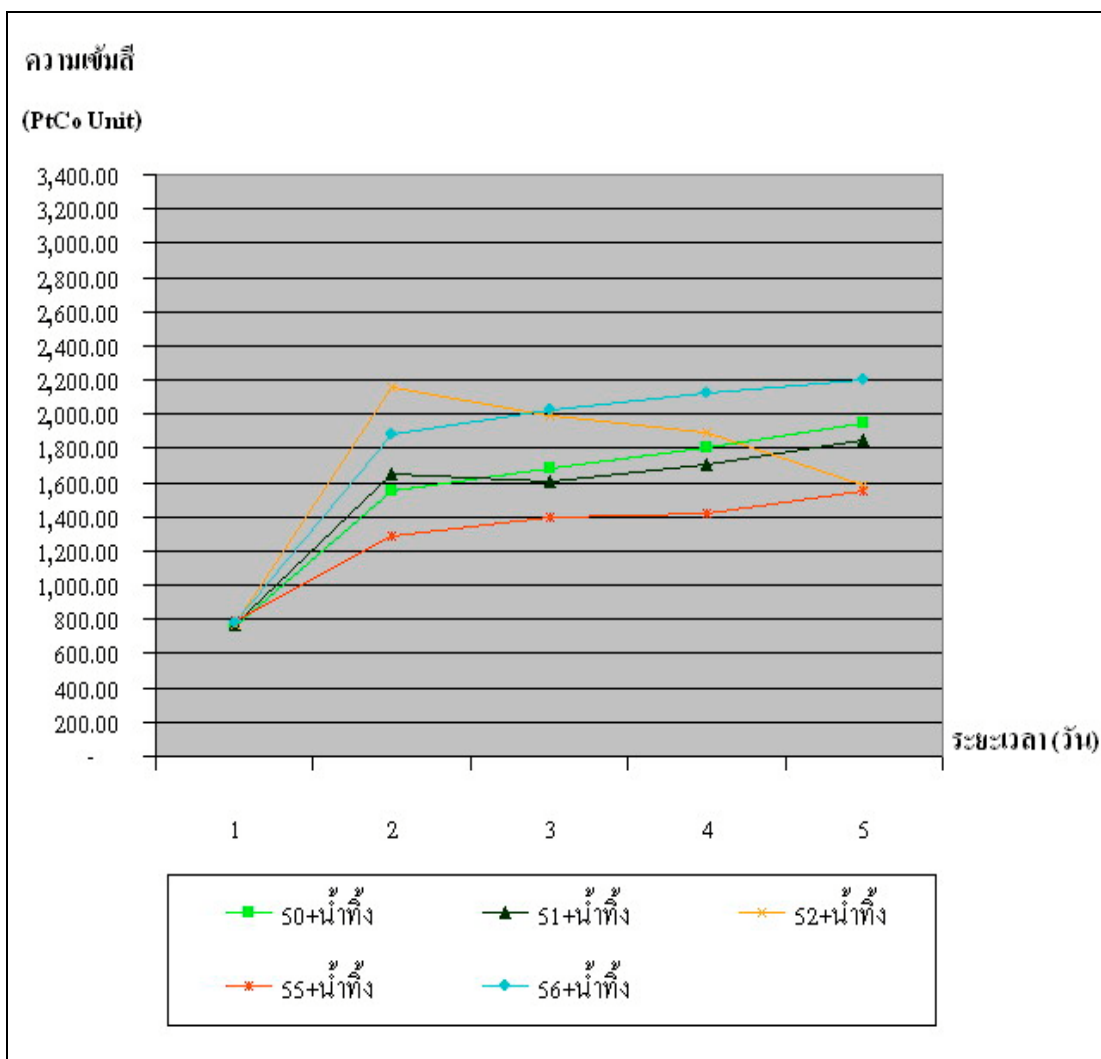
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

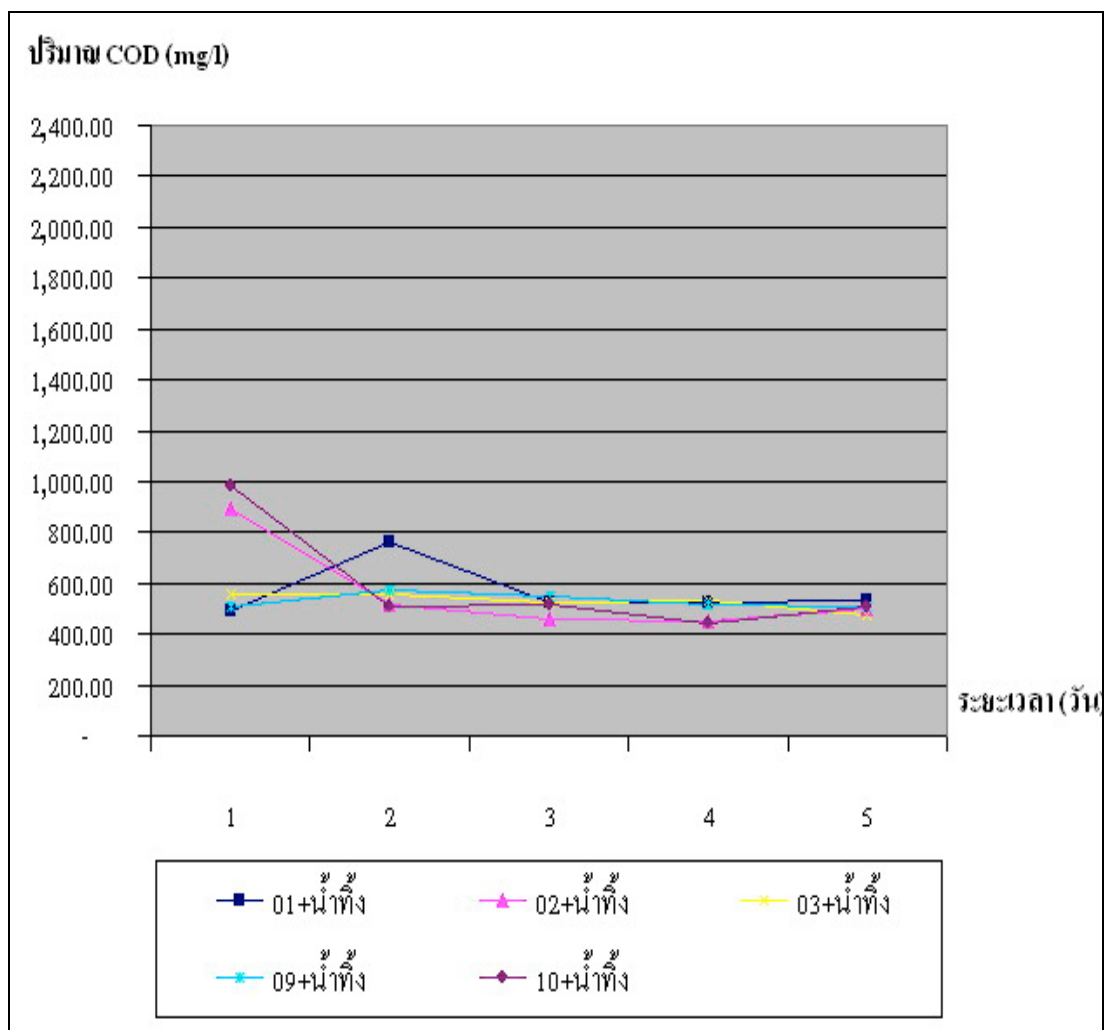


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสี และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

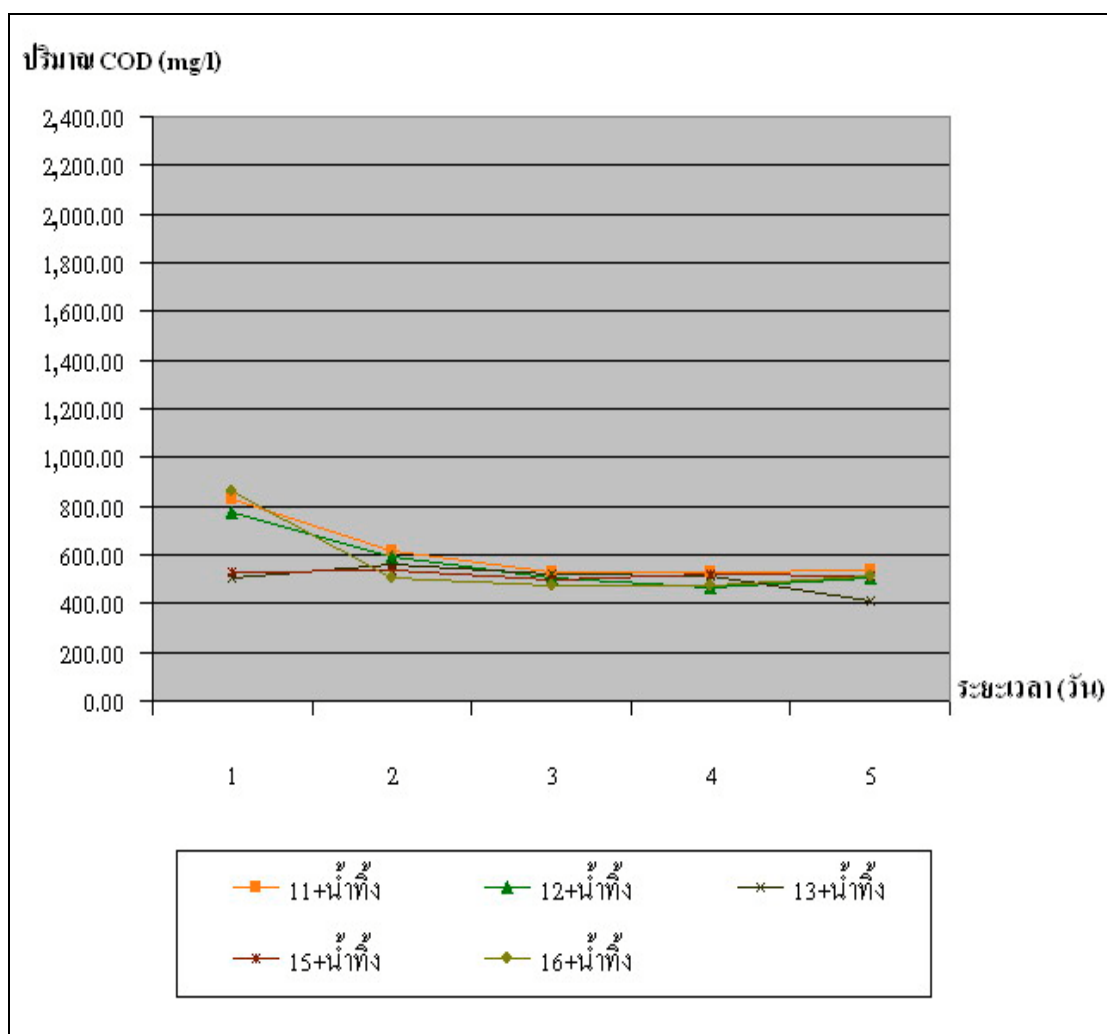


ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

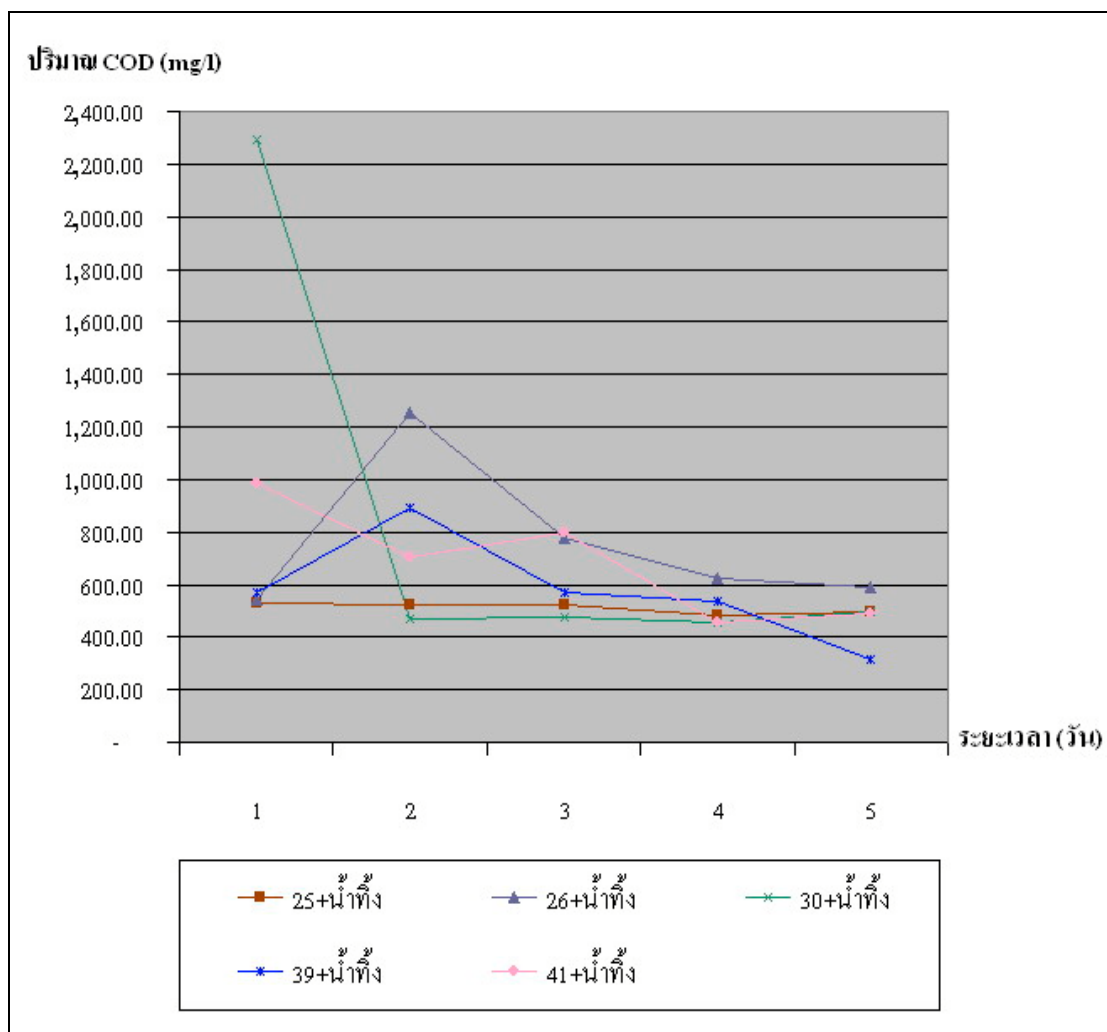
ผลการทดลองจากตารางที่ 4 ภาพที่ 7 ภาพที่ 8 ภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัด พบว่าความเข้มข้นของน้ำทิ้งลดลงได้ดีในวันที่ 1 ของการบำบัดของน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราทุกชนิด คือ ปริมาณความเข้มข้นจะอยู่ในช่วง 700-800 PtCo Unit ซึ่งลดลงจากค่าความเข้มข้นก่อนการบำบัดมีปริมาณความเข้มข้นประมาณ 2,200 PtCo Unit และเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 2 , 3 , 4 และ 5 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้น



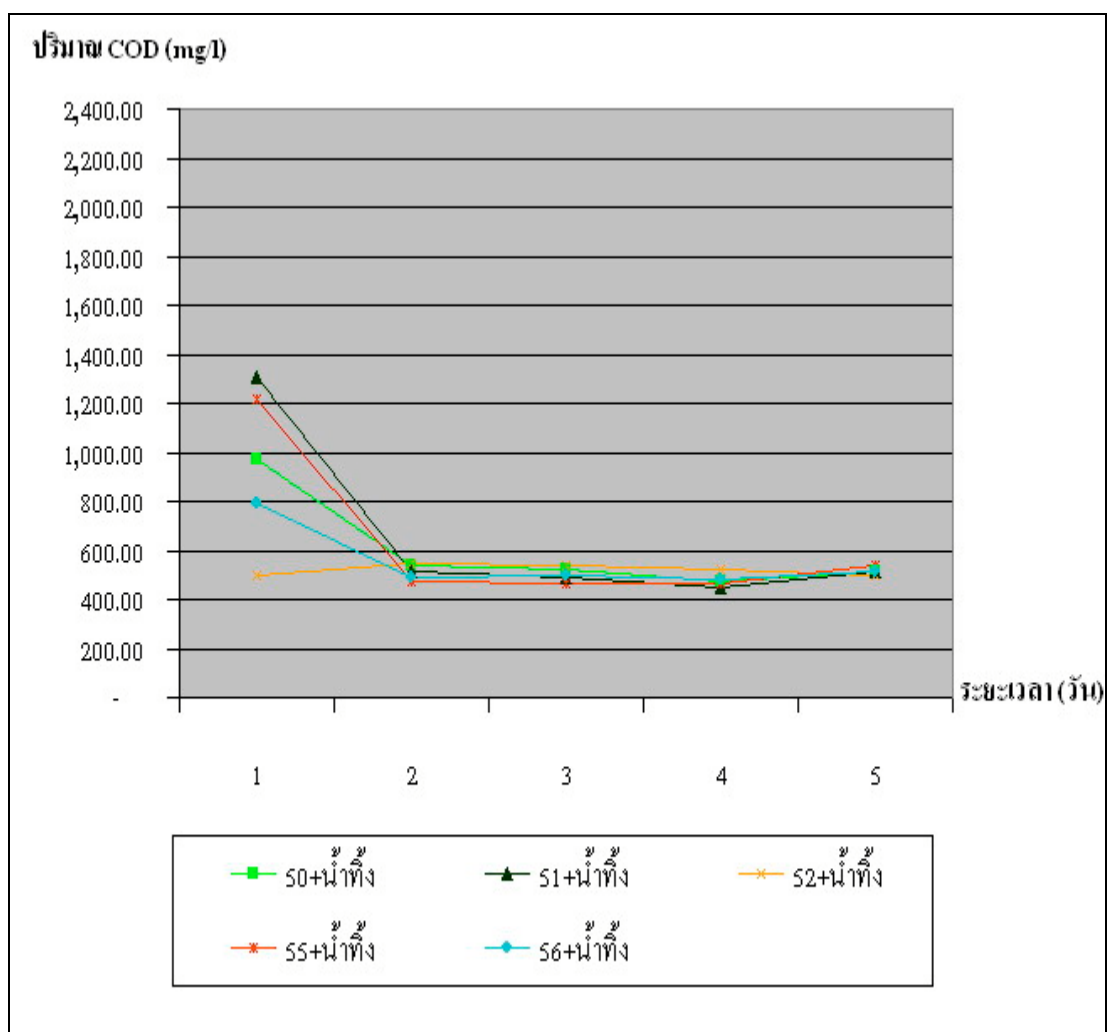
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

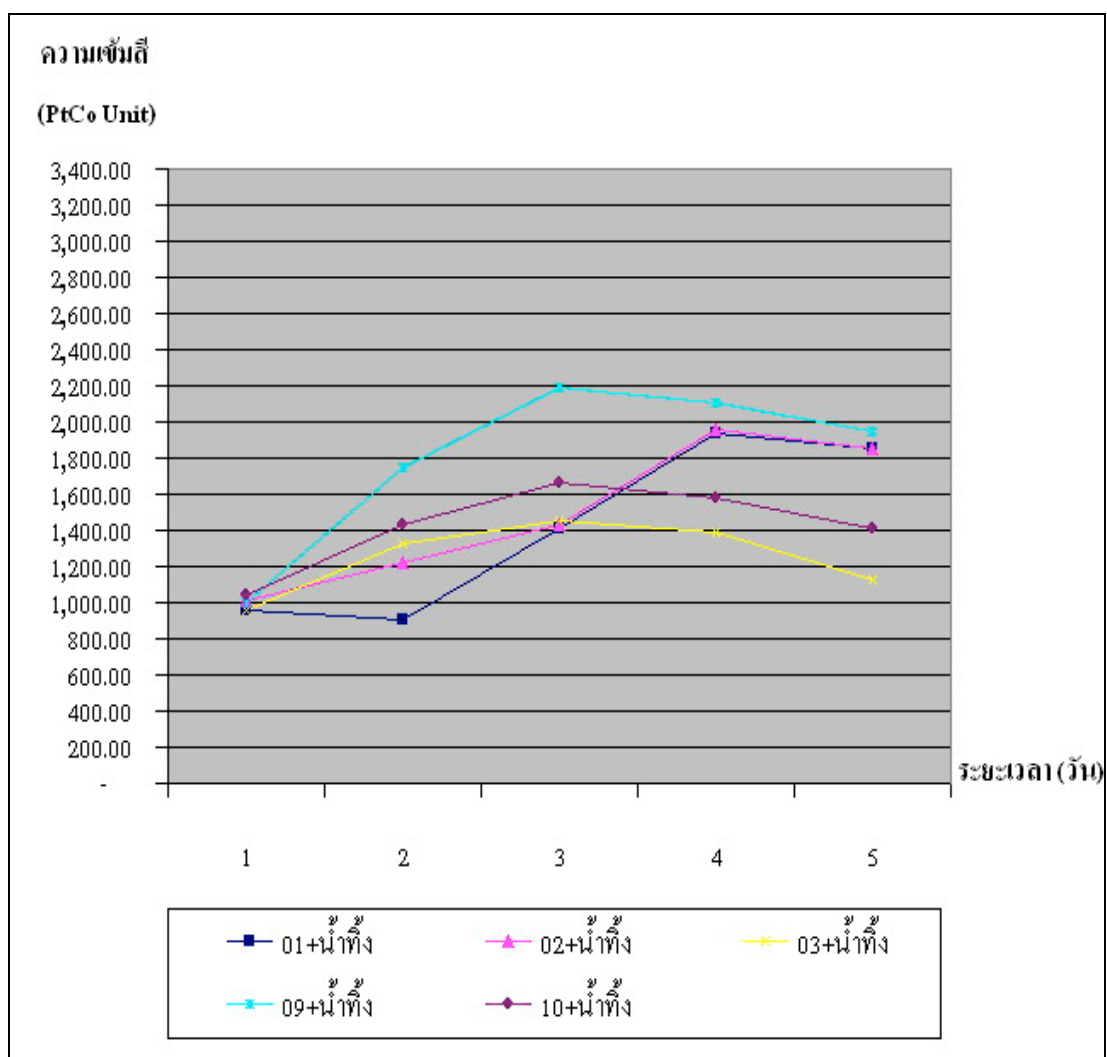


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

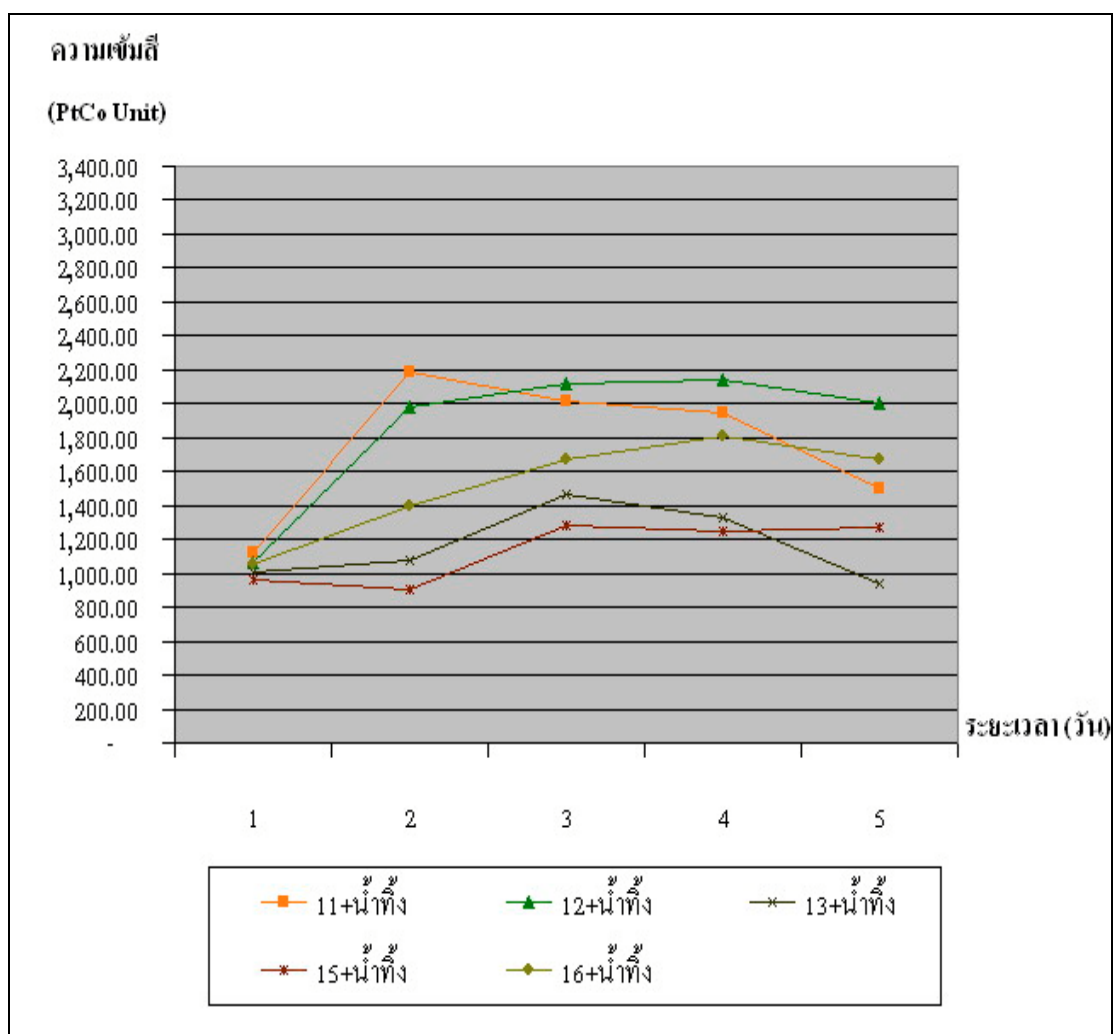


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

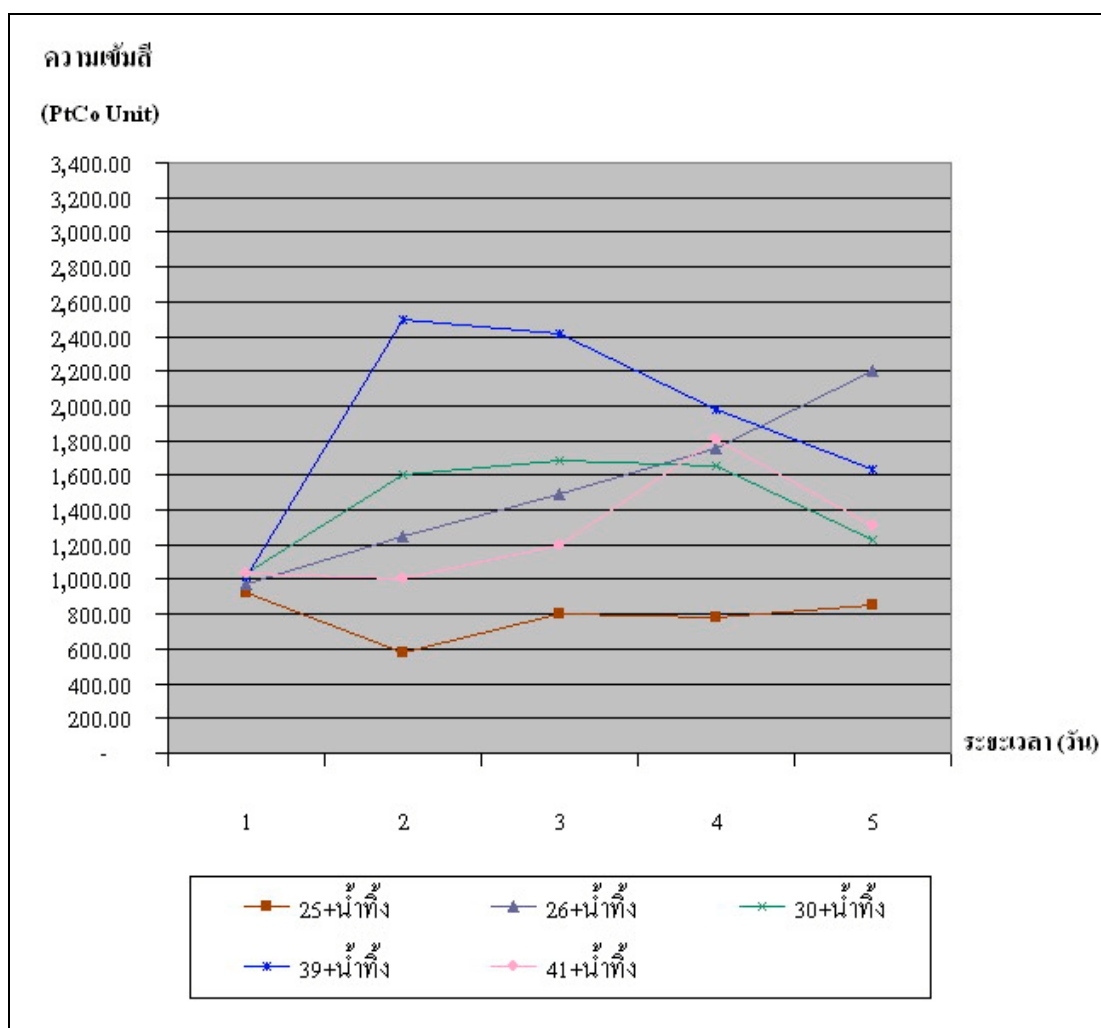
ผลการทดลองจากตารางที่ 5 และภาพที่ 5 ของกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัด พบว่าที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารในน้ำทิ้งสามารถทำให้เชื้อราทุกชนิดลดปริมาณ COD ได้เช่นเดียวกับที่สภาวะแบบเติมอาหาร และพบว่าระยะเวลาของการบำบัดในวันที่ 4 สามารถลดปริมาณ COD ได้ใกล้เคียงกับ 500 mg/l ซึ่งลดลงจากปริมาณ COD ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่า COD ประมาณ 1,500 mg/l และเมื่อนำผลการลดปริมาณ COD ของเชื้อราที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารไปเปรียบเทียบกับเชื้อราที่สภาวะแบบเติมอาหารพบว่าผลการทดลองที่ได้จะเหมือนกันคือปริมาณ COD จะลดได้ดีในวันที่ 4 ของการบำบัด



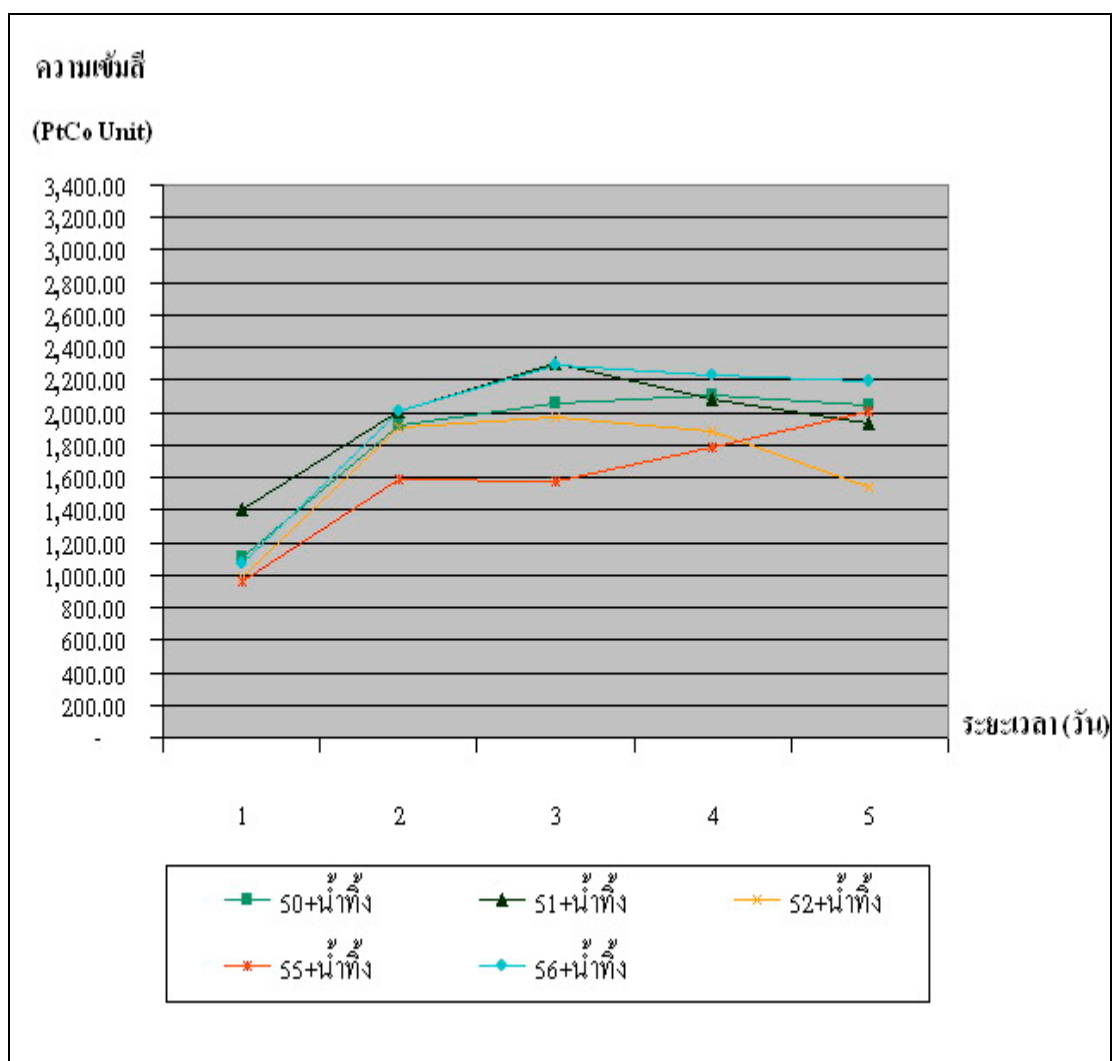
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสีและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสีและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก
สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของการคัดเลือก

สายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

จากผลการทดลองจากตารางที่ 5 ภาพที่ 15 ภาพที่ 16 ภาพที่ 17 และภาพที่ 18 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัด พบว่าความเข้มข้นลดลงได้ดีในวันที่ 1 ของการบำบัดของ เชื้อราทุกชนิด ค่าความเข้มข้นที่ลดลงอยู่ที่ประมาณ 1,000 PtCo Unit ซึ่งลดลงจากความเข้มข้นในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าความเข้มข้นประมาณ 2,200 PtCo Unit และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบการลดความเข้มข้นโดยการบำบัดด้วยเชื้อราพบว่า ที่สภาวะแบบเติมอาหารจะลดความเข้มข้นได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารของวันที่ 1 ของการบำบัดแต่วันที่ 2 , 3 , 4 และ 5 ความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเหมือนกัน

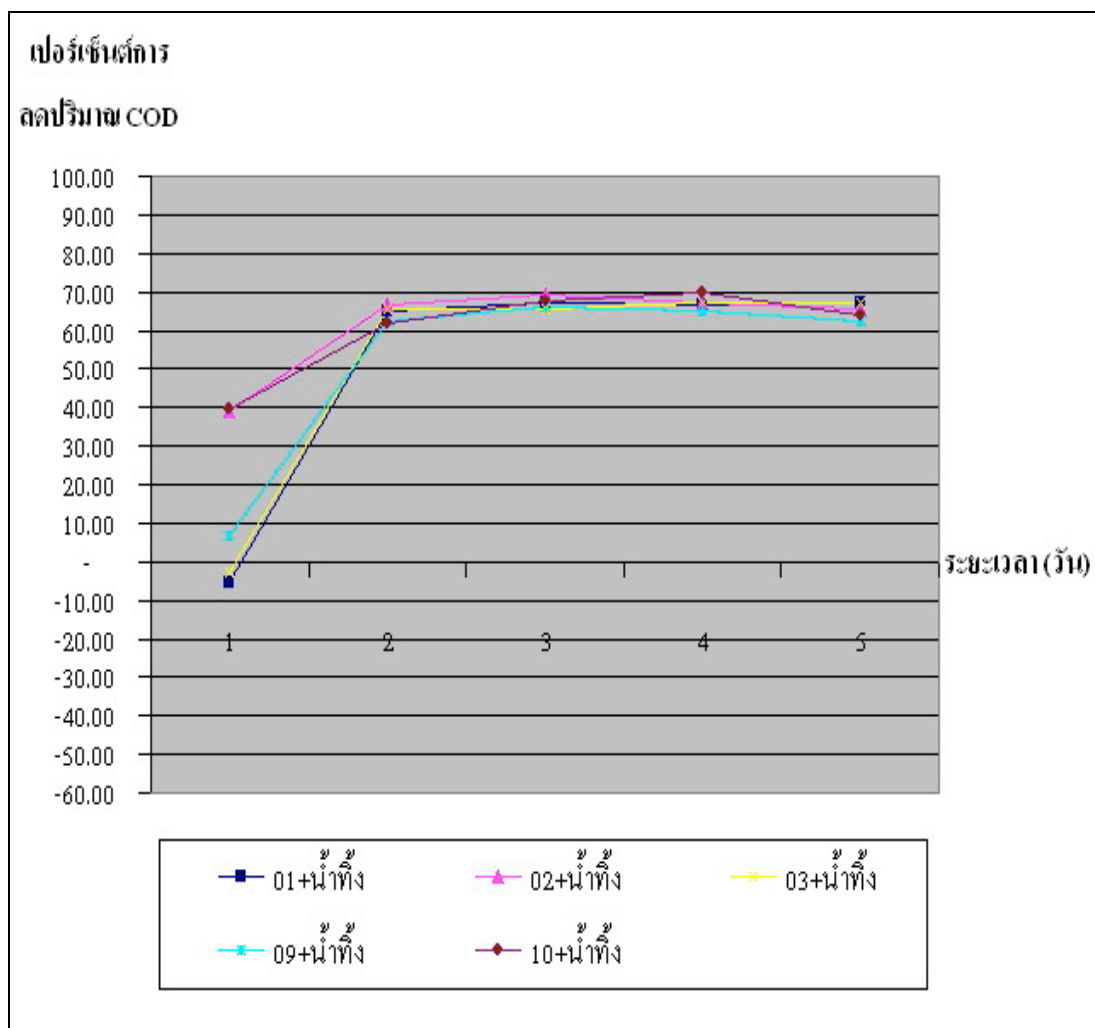
ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นที่ระยะเวลาของวันต่าง ๆ ในการบำบัดด้วยเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการลดปริมาณ COD และความเข้มข้นที่สภาวะแบบเติมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารได้ผล ดังตารางที่ 6 , 7 ภาพที่ 7 , 8 , 9 และ 10

ตารางที่ 6 เปรูเซ็นต์ความสามารถของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวในการ
ลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบเติมอาหาร

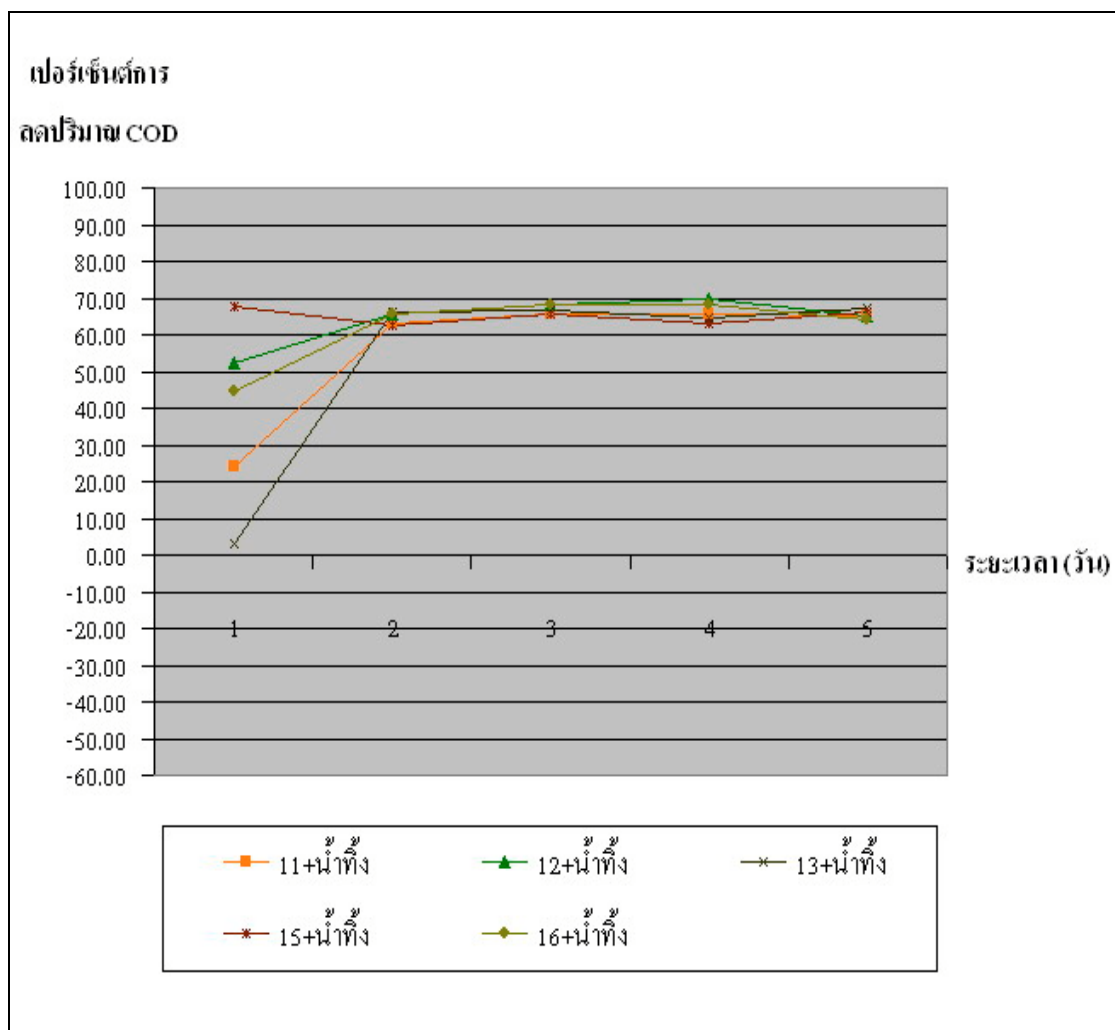
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD					เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
01	เพิ่ม 5.67	65.13	67.13	66.53	67.13	69.50	67.05	40.23	40.23	33.77
02	38.93	66.80	69.53	66.93	65.40	64.10	55.32	40.00	24.09	10.68
03	เพิ่ม 3.00	65.60	65.33	67.07	67.00	69.14	58.05	37.41	47.50	53.59
09	6.67	62.47	65.87	65.27	62.27	69.50	12.18	5.86	7.95	5.36
10	39.73	61.93	67.60	69.67	64.00	63.45	18.18	17.27	14.09	7.00
11	24.33	62.93	65.47	65.60	65.27	68.50	8.55	1.05	เพิ่ม 4.77	เพิ่ม 1.27
12	52.13	65.53	68.40	69.80	65.33	65.64	21.23	11.18	10.77	11.18
13	3.33	66.27	66.47	64.80	67.00	69.10	63.14	51.77	49.41	51.41
15	67.87	62.73	65.87	62.87	66.27	69.91	58.73	45.82	50.00	40.32
16	44.73	65.47	68.00	68.20	64.27	64.41	49.82	33.32	14.68	เพิ่ม 1.45
25	68.67	66.73	67.67	65.93	66.73	70.55	66.36	54.18	53.68	52.55
26	67.47	59.07	65.00	64.93	65.20	69.36	39.45	21.32	19.32	25.32
30	เพิ่ม 55.00	28.00	47.00	69.20	65.20	63.22	เพิ่ม 47.23	14.95	15.64	35.59
39	เพิ่ม 2.00	52.53	66.00	64.00	68.60	69.00	70.45	61.14	61.68	61.91
41	32.73	68.13	68.67	67.80	63.87	65.09	57.05	37.50	12.09	3.36
50	41.67	65.13	69.07	68.27	65.53	65.27	29.59	23.64	17.72	11.36
51	37.33	65.27	71.47	69.33	66.93	65.18	24.77	26.86	22.64	15.86
52	17.00	61.27	63.73	63.27	66.13	65.00	1.73	9.23	14.18	27.91
55	17.40	67.73	69.40	70.47	64.13	63.77	41.55	36.59	35.55	29.32
56	43.80	67.87	57.67	70.27	66.93	64.45	14.54	7.77	3.50	เพิ่ม 0.27

ตารางที่ 7 เปรูเซ็นต์ความสามารถของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวในการ
ลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

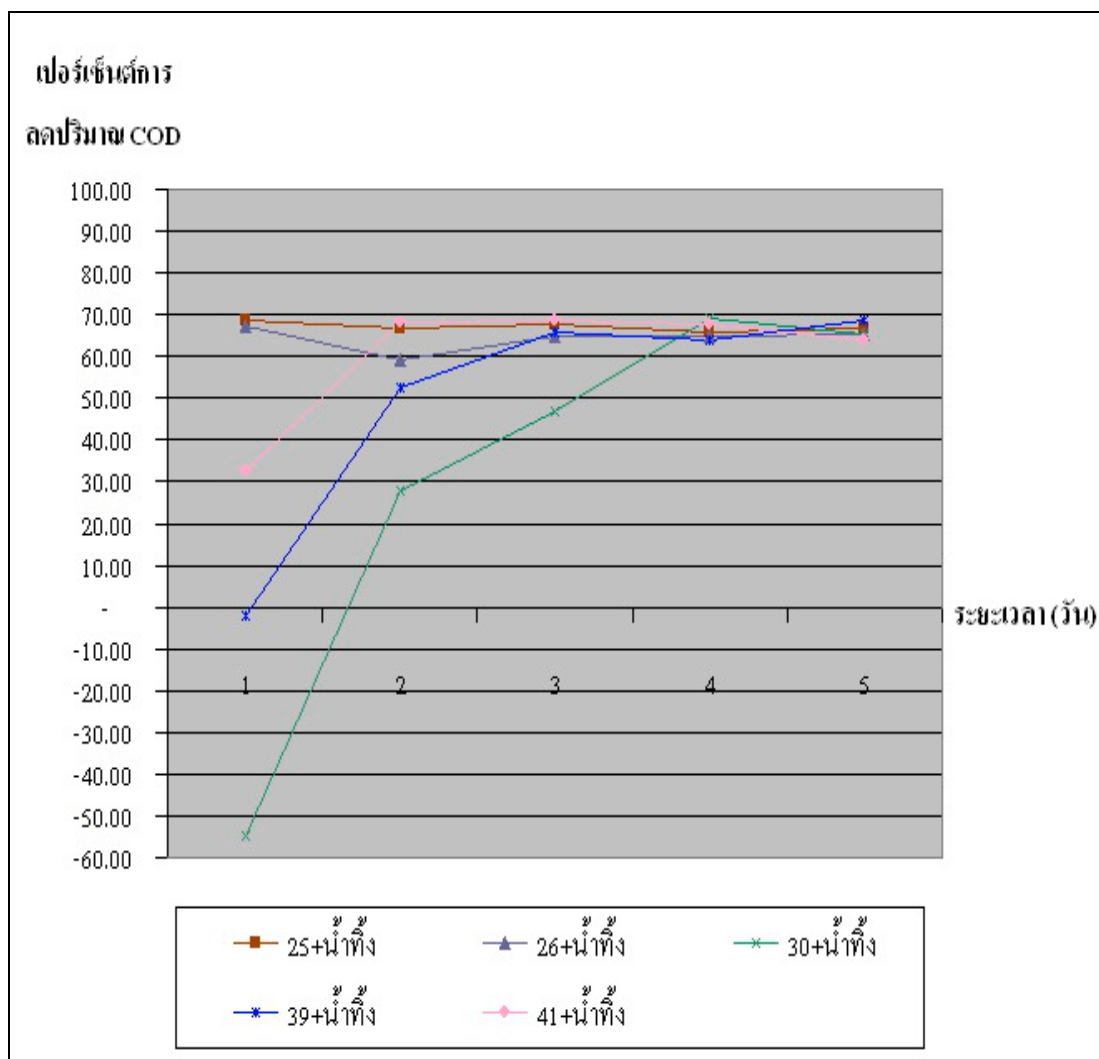
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD					เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
01	67.00	49.20	65.13	64.87	64.60	56.50	58.82	35.73	11.86	15.72
02	40.60	65.33	69.27	70.13	66.80	54.18	44.45	35.14	10.86	15.91
03	62.93	62.93	15.27	64.73	68.47	56.59	39.64	33.95	36.64	48.91
09	66.40	61.67	63.27	65.73	66.13	54.59	20.36	0.45	4.09	11.54
10	34.53	66.00	65.87	70.67	65.93	52.86	34.91	24.50	28.45	35.91
11	44.93	59.07	64.93	64.60	64.40	48.77	0.55	8.41	11.32	31.82
12	48.33	60.67	66.13	69.20	66.40	51.50	10.00	3.68	2.82	9.18
13	66.27	62.80	65.00	66.00	72.40	53.95	51.14	33.59	39.82	57.50
15	64.73	64.13	66.60	65.07	65.67	56.09	58.86	41.86	43.41	42.45
16	42.67	66.40	68.33	68.33	65.73	52.09	36.32	23.82	17.86	24.27
25	64.67	65.27	65.13	67.60	66.73	58.00	73.68	63.55	64.36	61.14
26	64.00	16.27	48.27	58.47	60.80	55.50	43.45	32.27	20.09	เพิ่ม 0.27
30	เพิ่ม 52.67	68.87	68.40	69.73	67.07	52.77	27.09	23.50	24.77	เพิ่ม 44.27
39	62.07	40.40	62.20	64.47	79.13	54.00	เพิ่ม 13.68	เพิ่ม 9.59	10.08	25.86
41	34.47	53.13	46.60	69.53	67.53	53.09	54.50	45.41	17.86	40.55
50	35.33	64.27	65.27	68.20	65.53	49.72	12.82	6.45	4.45	6.86
51	12.8	65.73	67.53	69.80	65.60	36.09	8.86	4.50	5.36	12.36
52	66.73	63.33	64.07	65.33	66.93	55.00	13.00	10.59	14.36	29.86
55	18.67	68.53	68.87	68.67	64.13	56.32	27.77	28.14	18.95	8.91
56	47.20	67.13	66.80	67.93	65.93	51.41	8.86	เพิ่ม 4.41	1.09	0.50



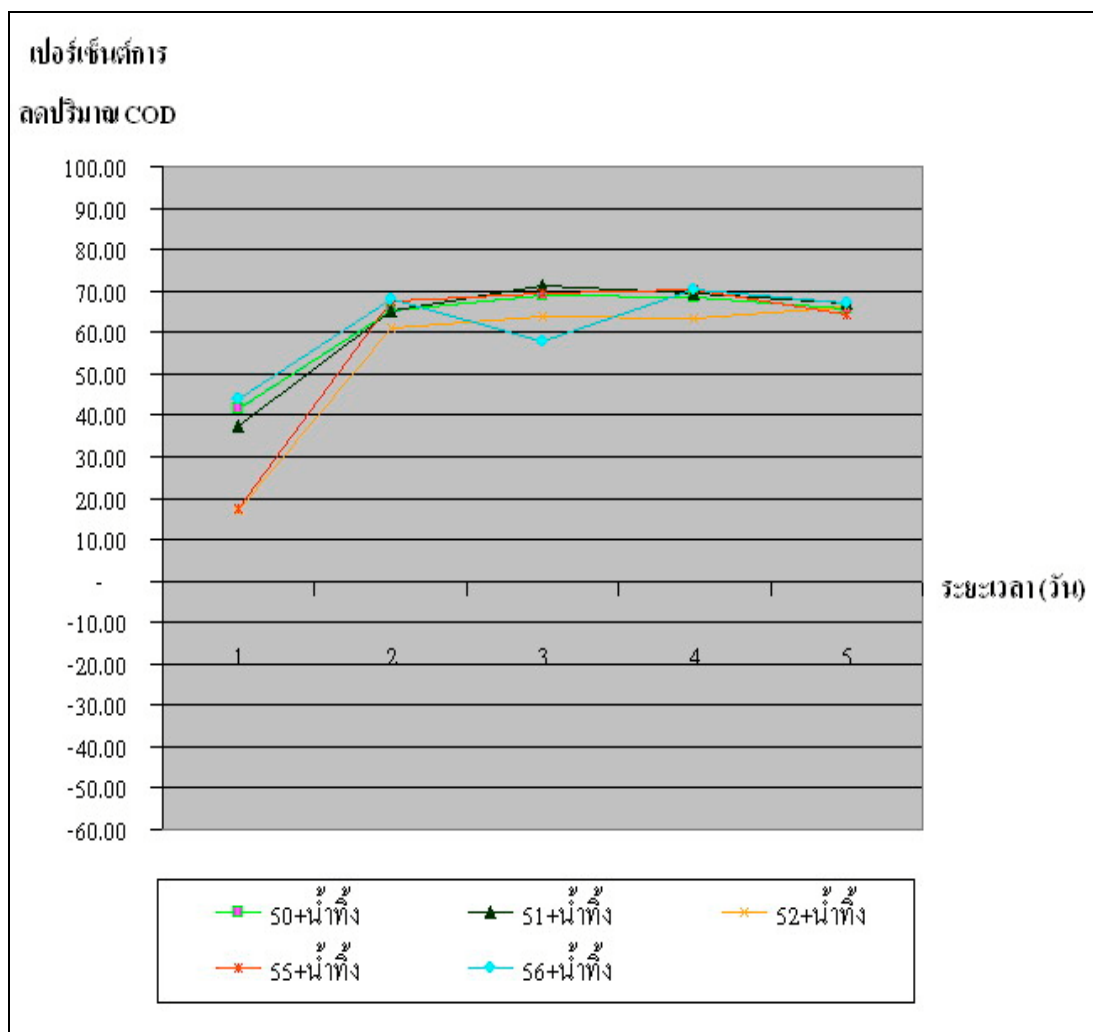
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

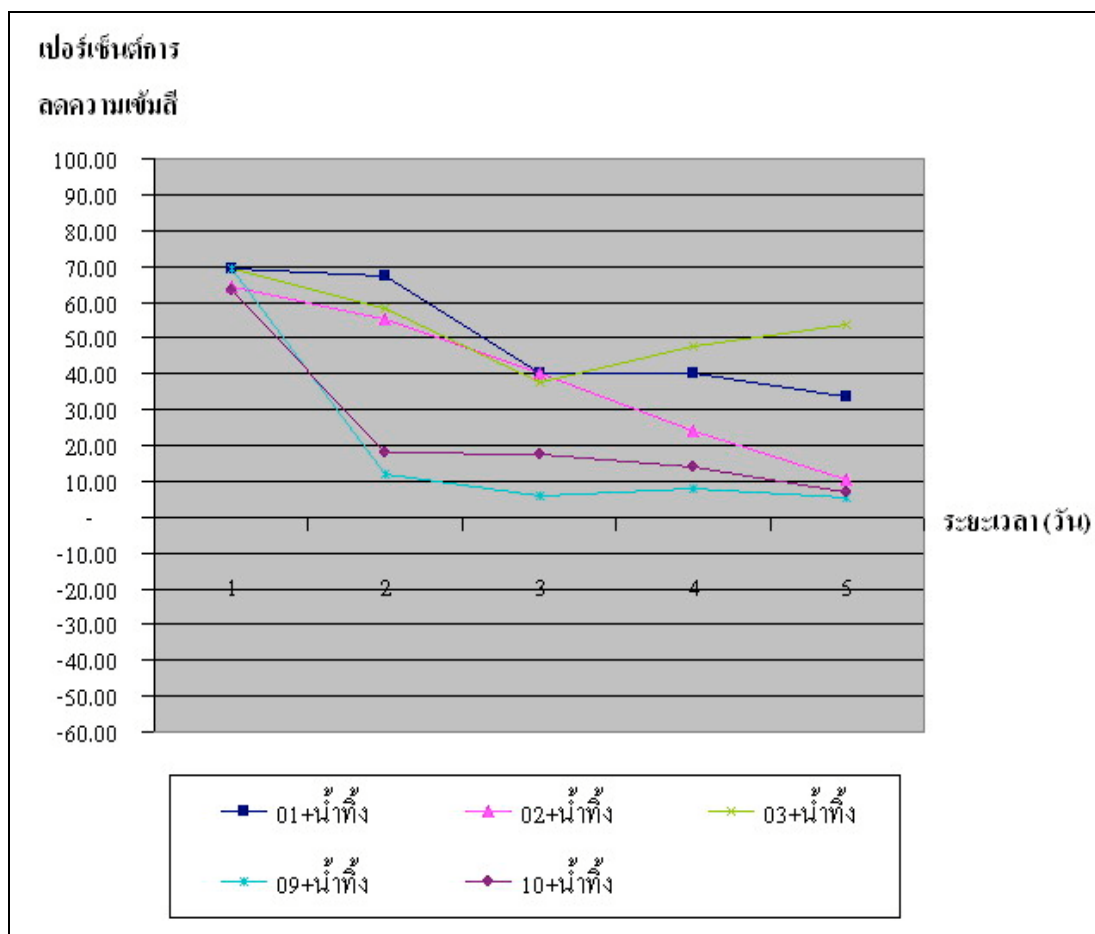


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้ง
ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

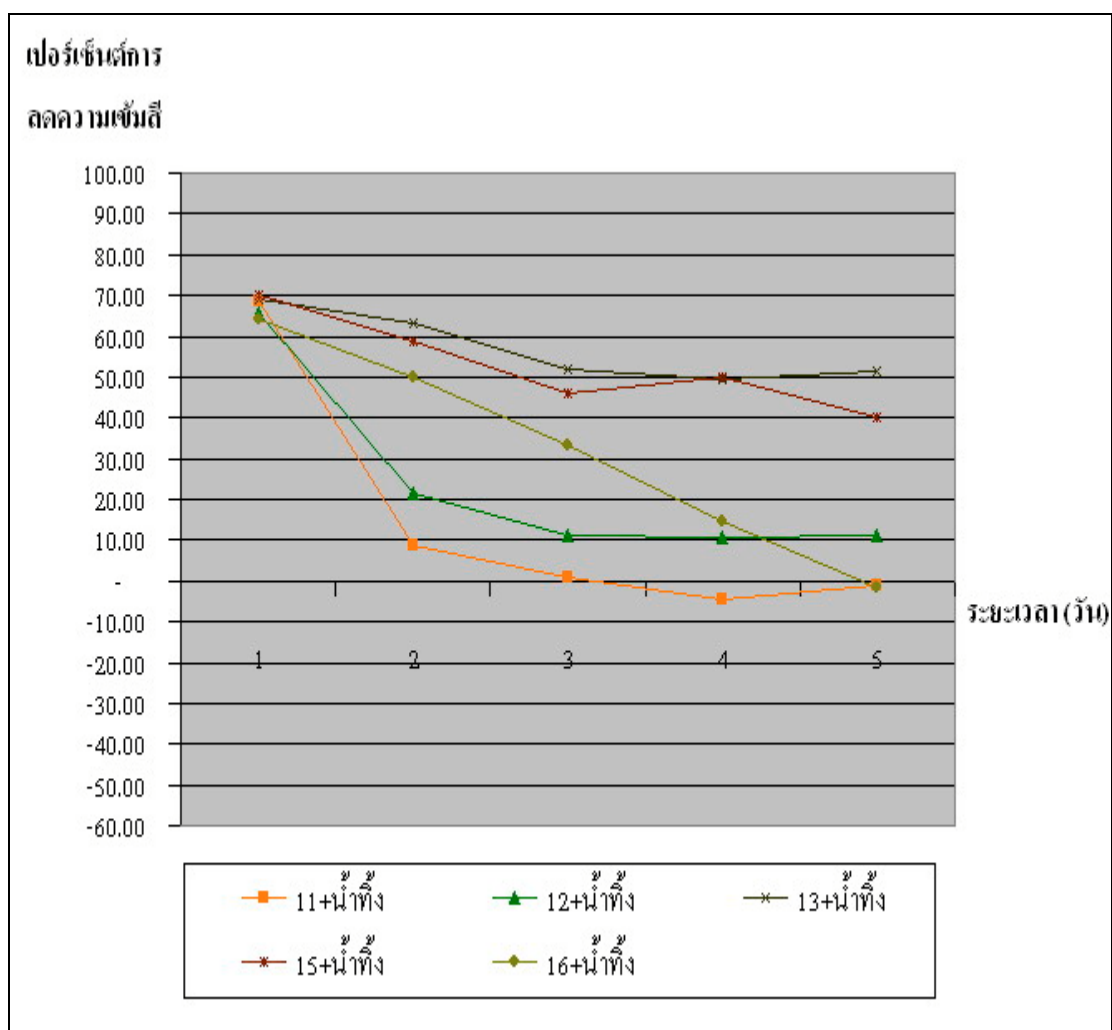


ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

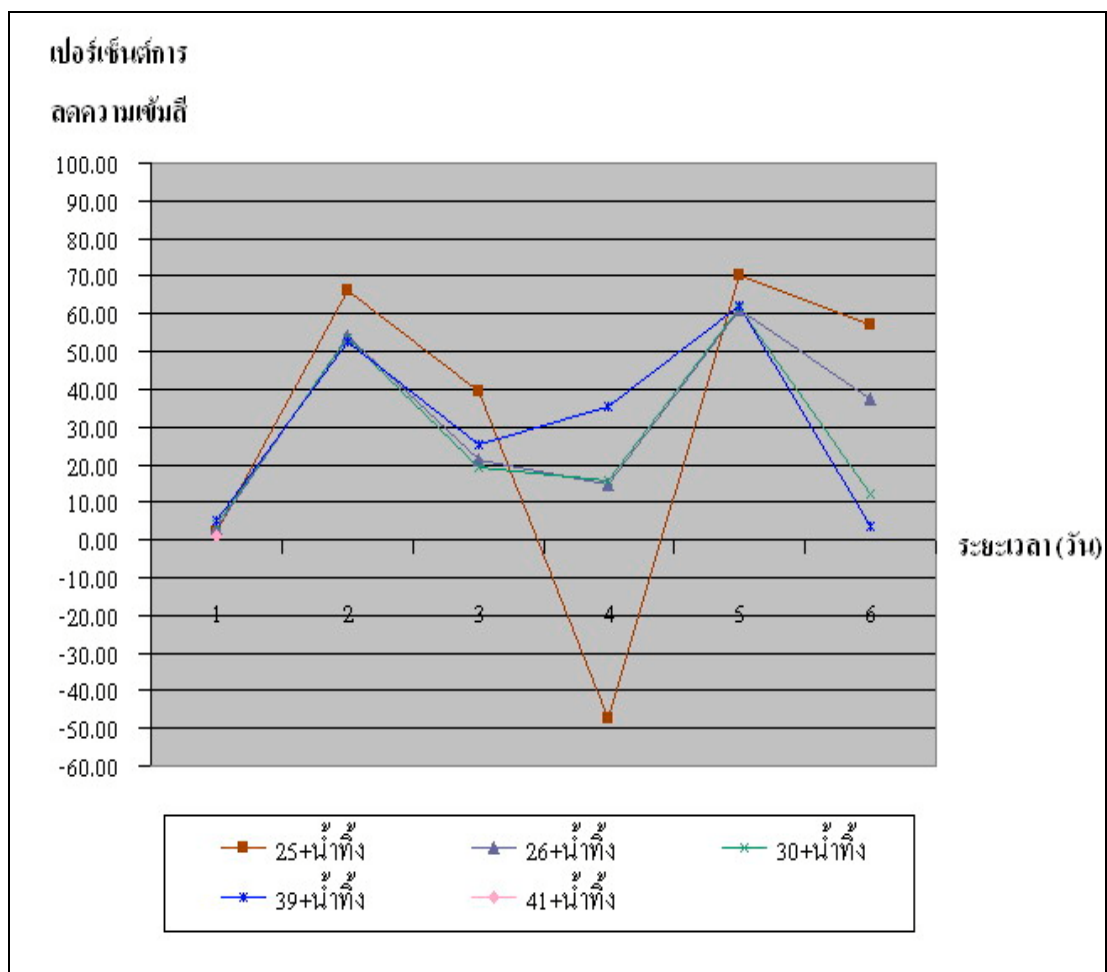
ผลการทดลองจากตารางที่ 6 ภาพที่ 19 ภาพที่ 20 ภาพที่ 21 และภาพที่ 22 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งที่เติมเชื้อราทุกชนิดในระยะเวลาของวันที่ 4 ของการบำบัดสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีที่สุด คือสามารถลดปริมาณ COD ได้มากกว่า 62% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ COD ก่อนการบำบัดในน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 1,500 mg/l



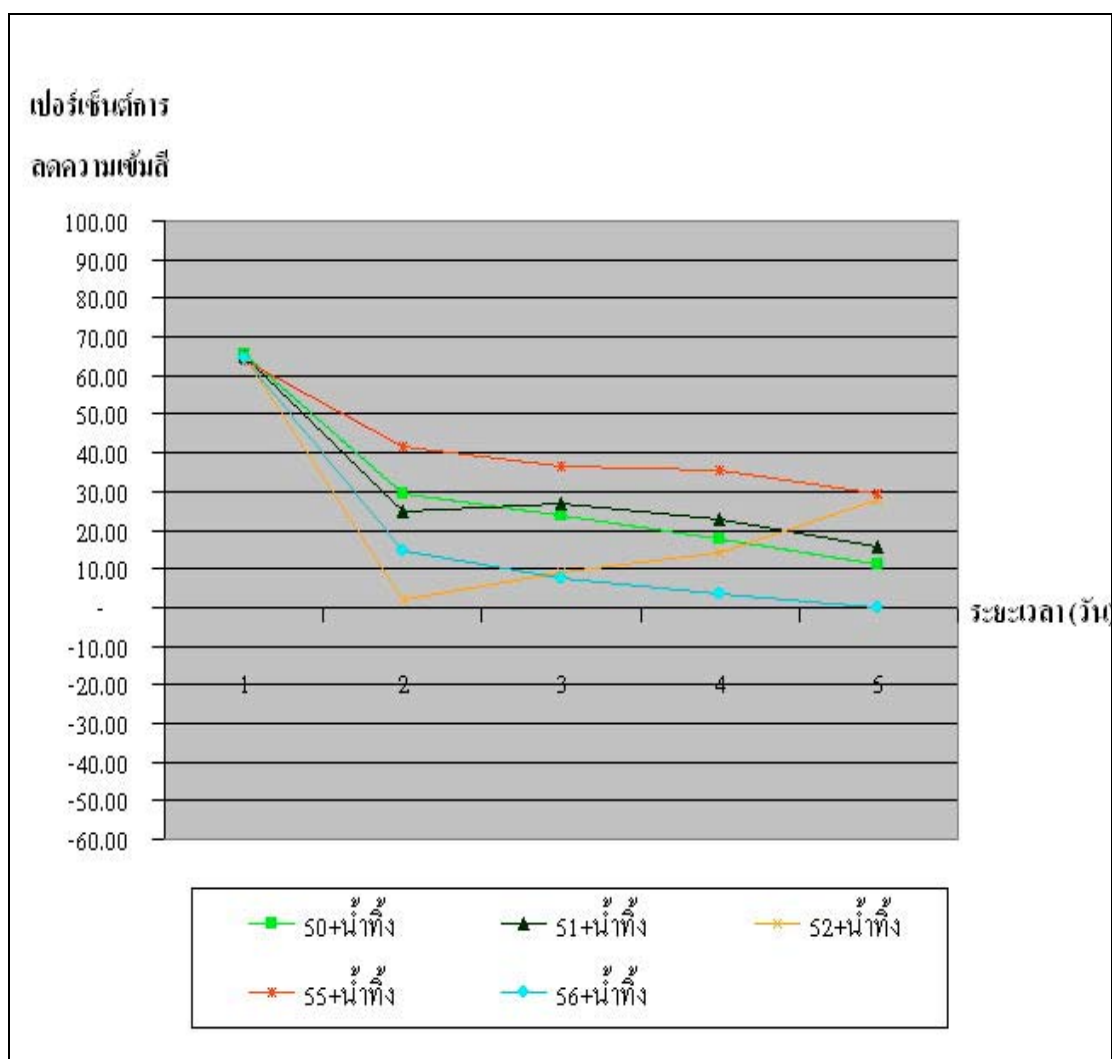
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

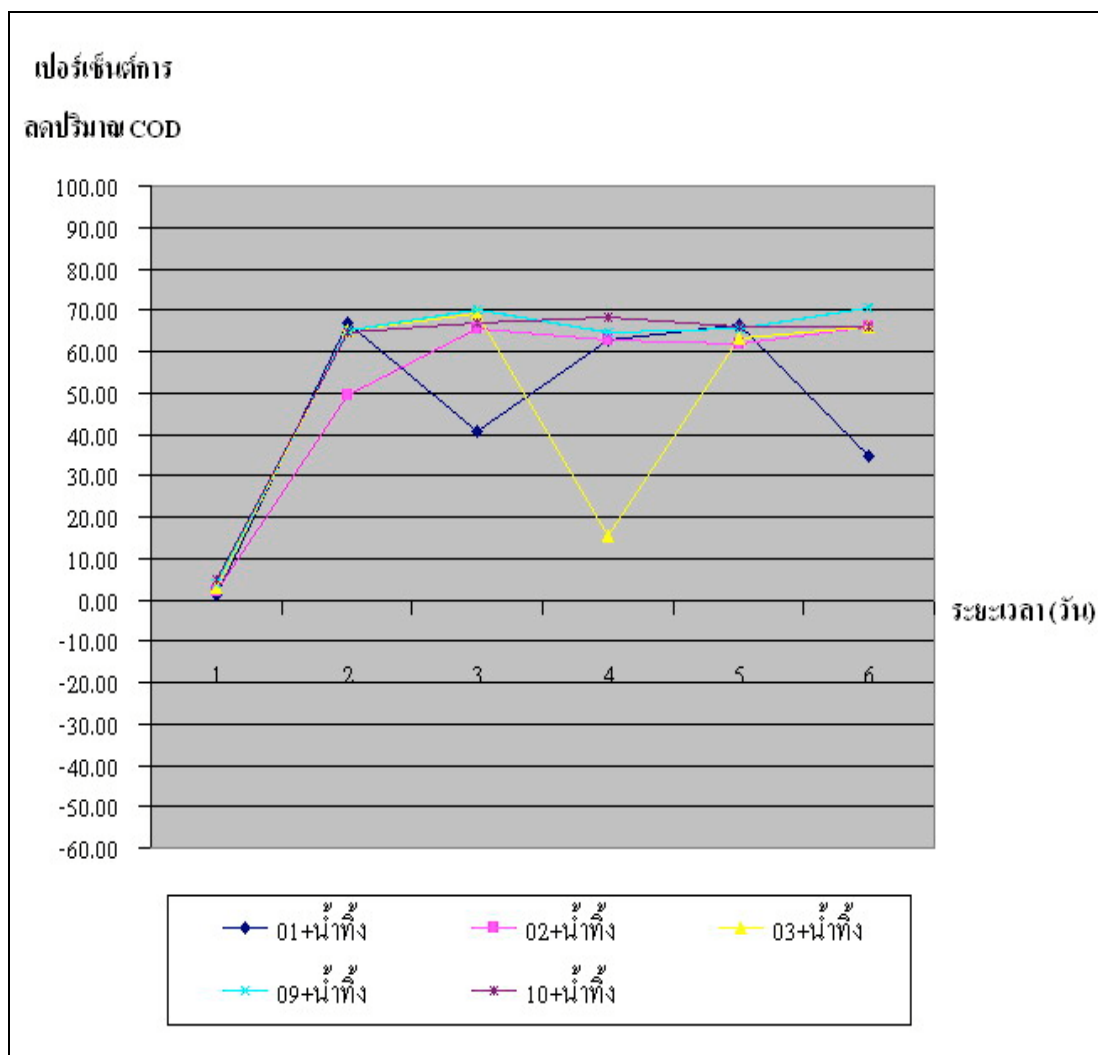


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

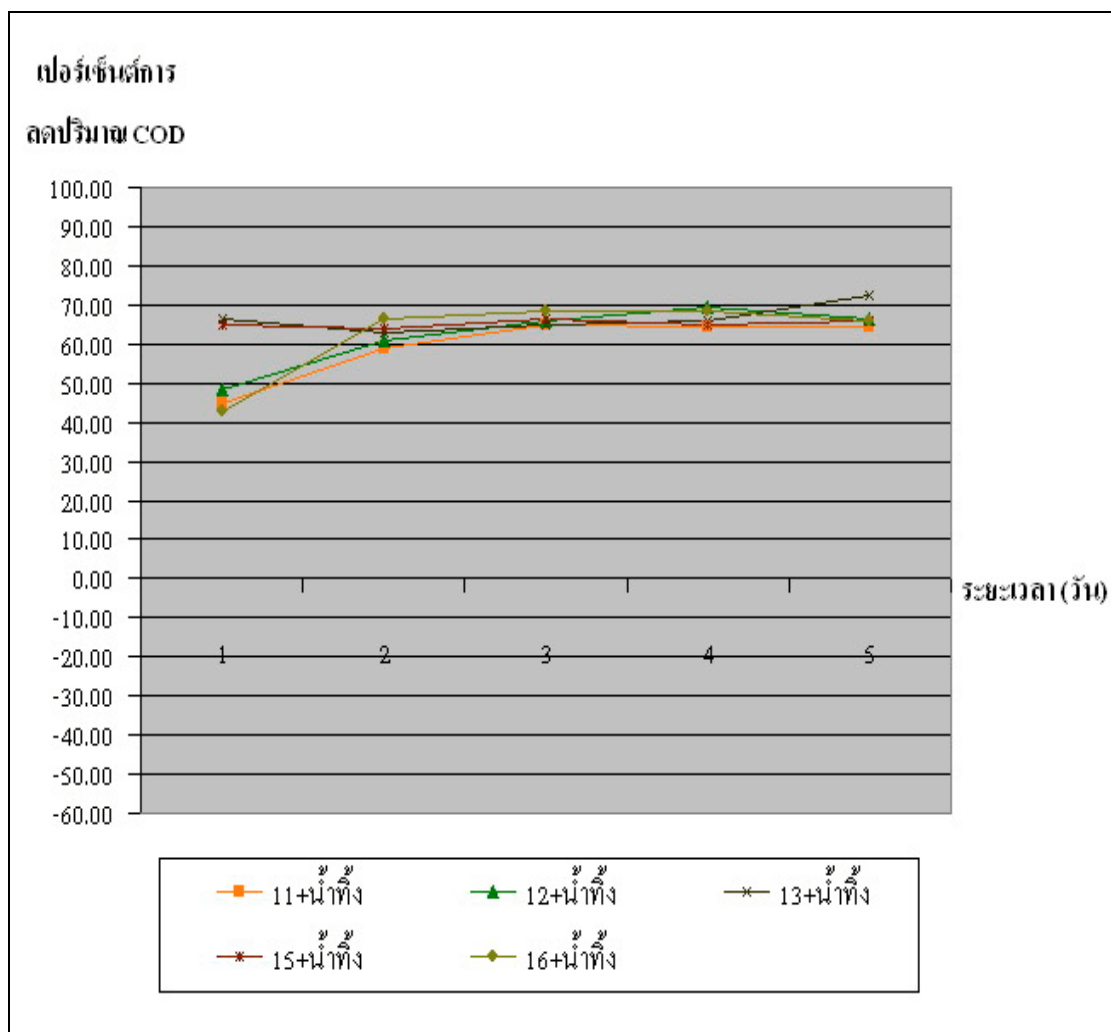


ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

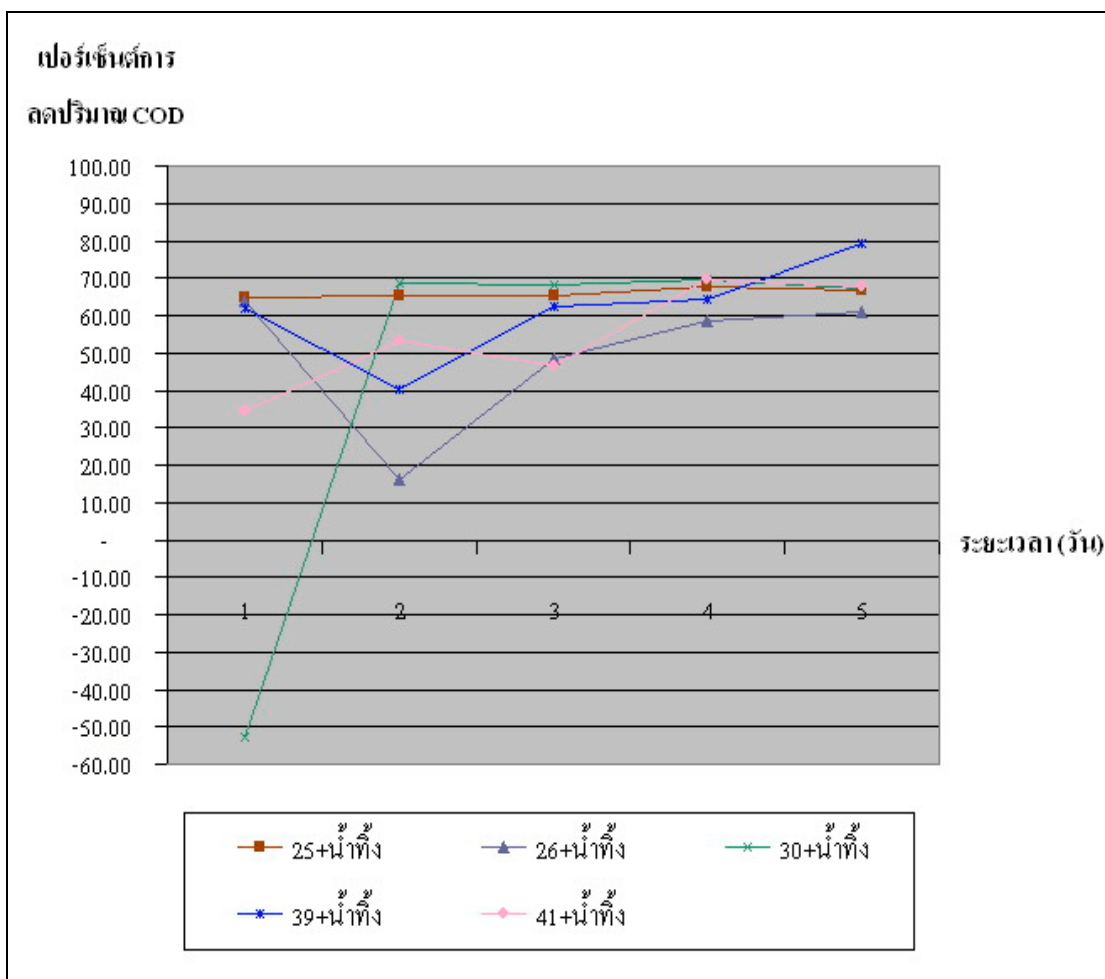
ผลการทดลองจากตารางที่ 6 ภาพที่ 23 ภาพที่ 24 ภาพที่ 25 และภาพที่ 26 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งที่เติมเชื้อราทุกชนิดสามารถลดความเข้มข้นของน้ำทิ้งได้มากกว่า 60% ของระยะเวลาในการบำบัด 1 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit และเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 1 , 2, 3 , 4 และ 5 พบว่า เปอร์เซ็นต์ในการลดความเข้มข้นจะลดลง



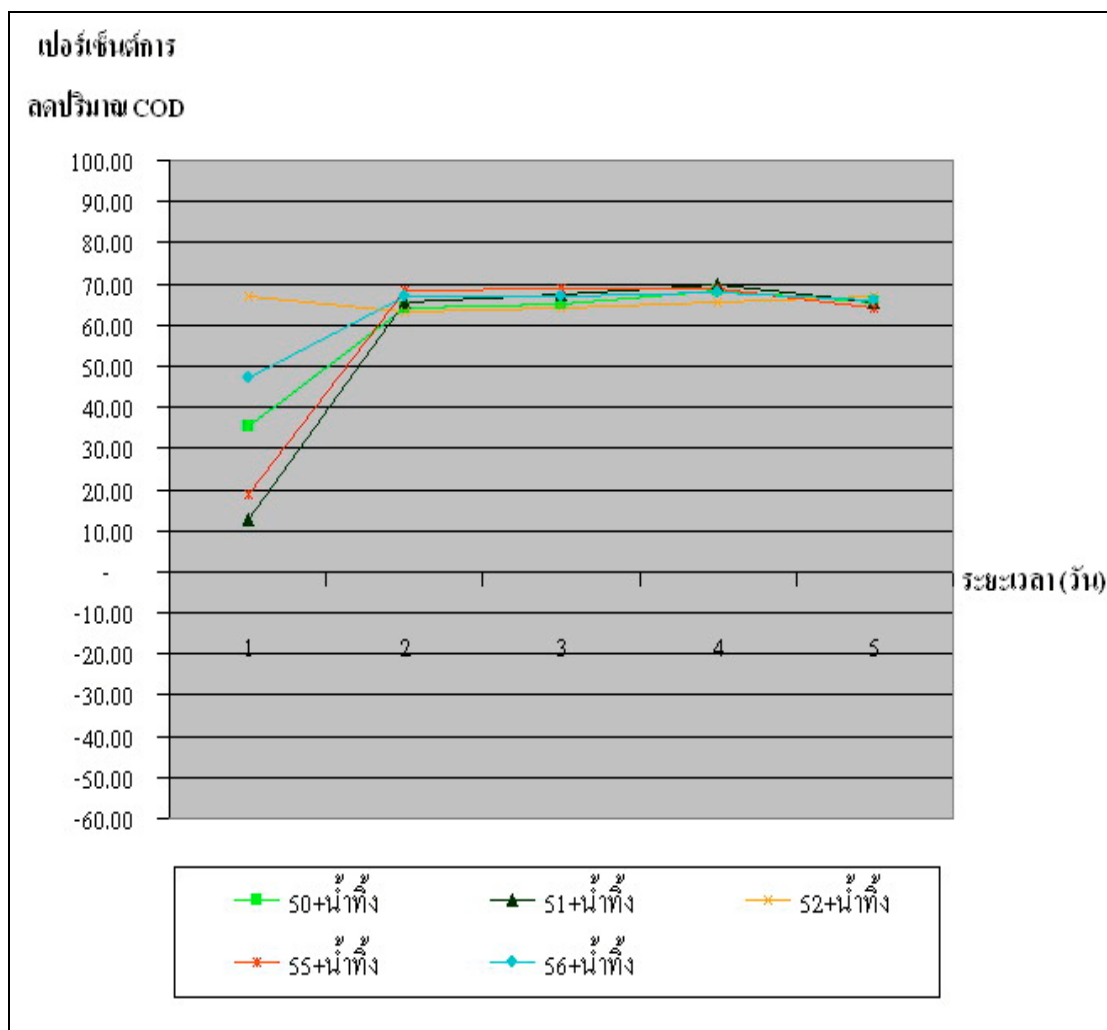
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้ง
ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

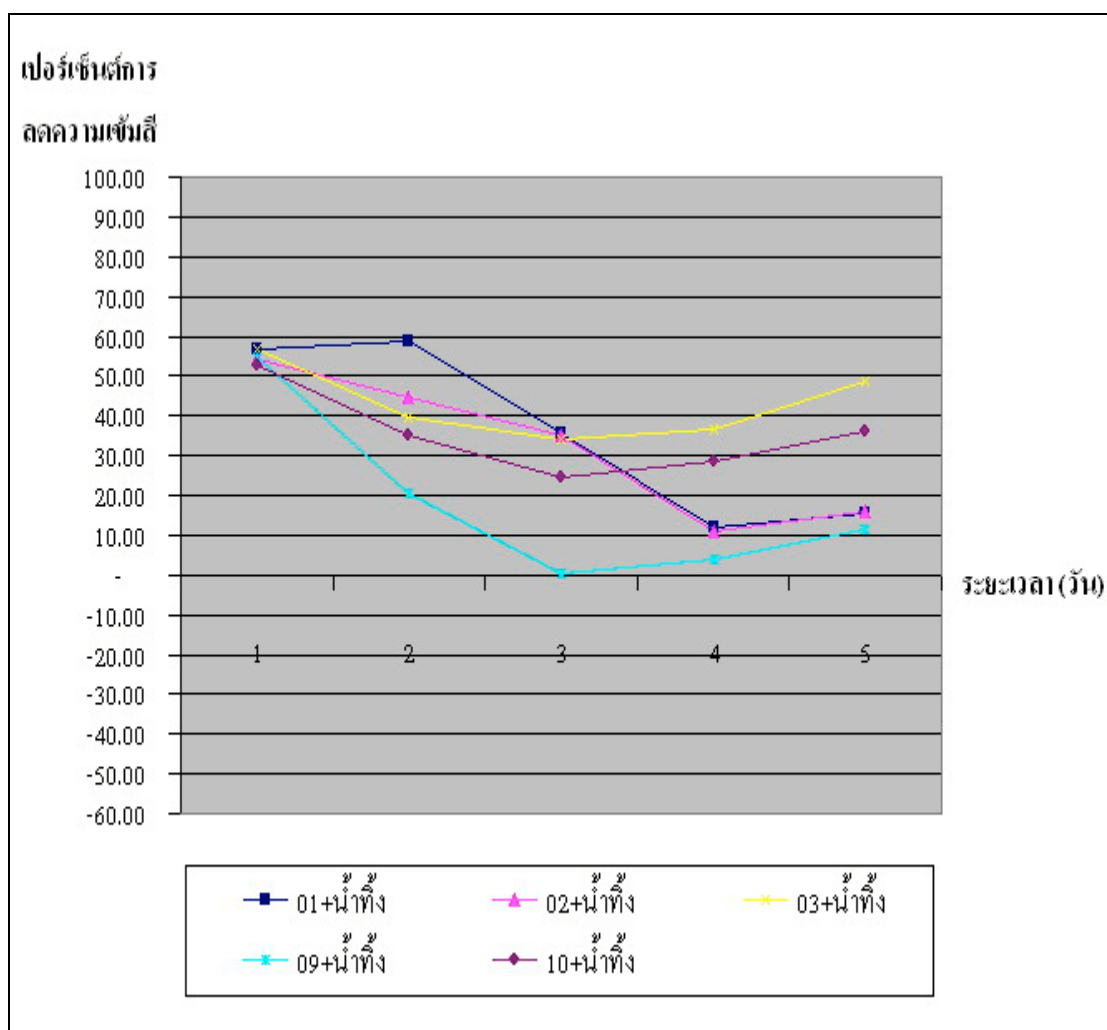


ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

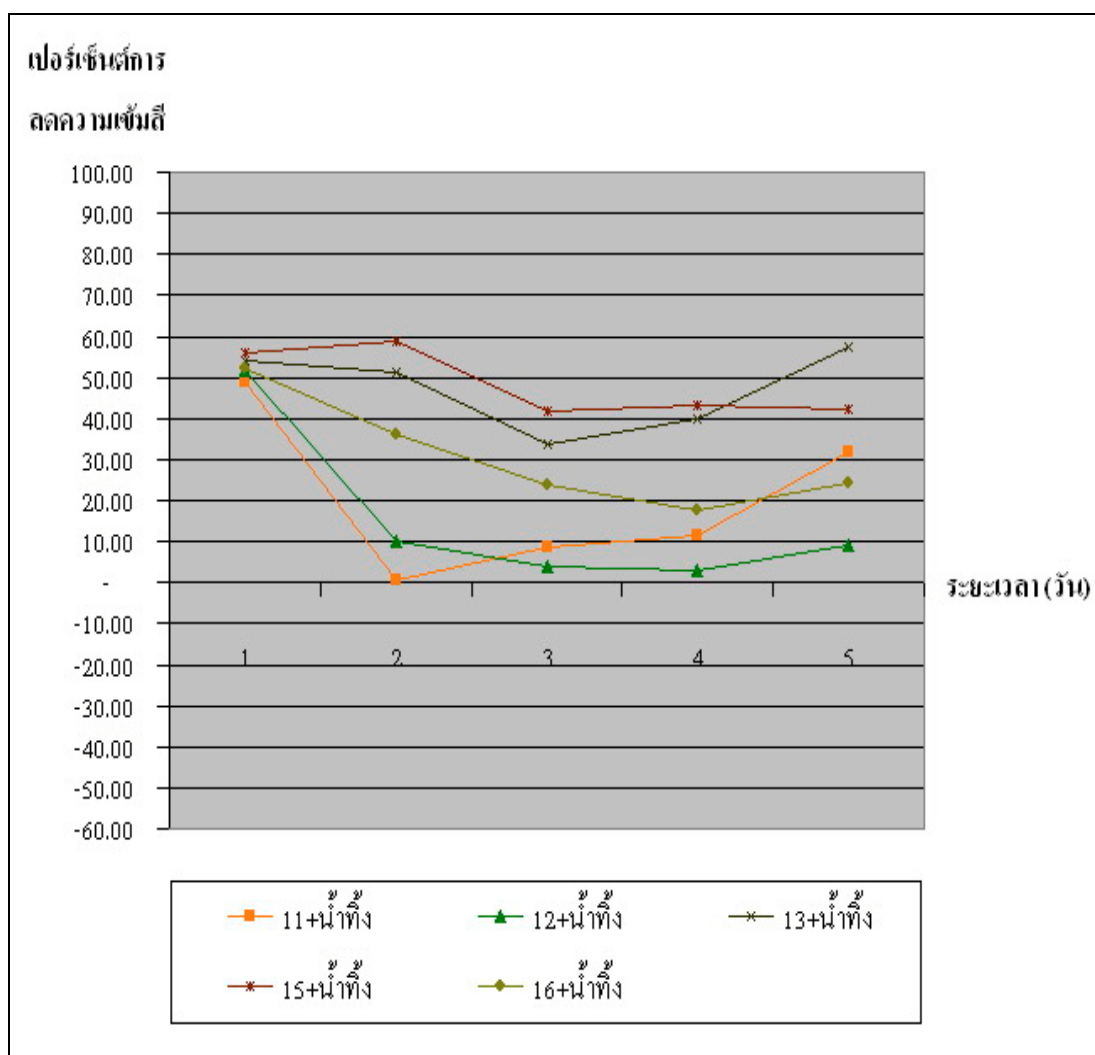


ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

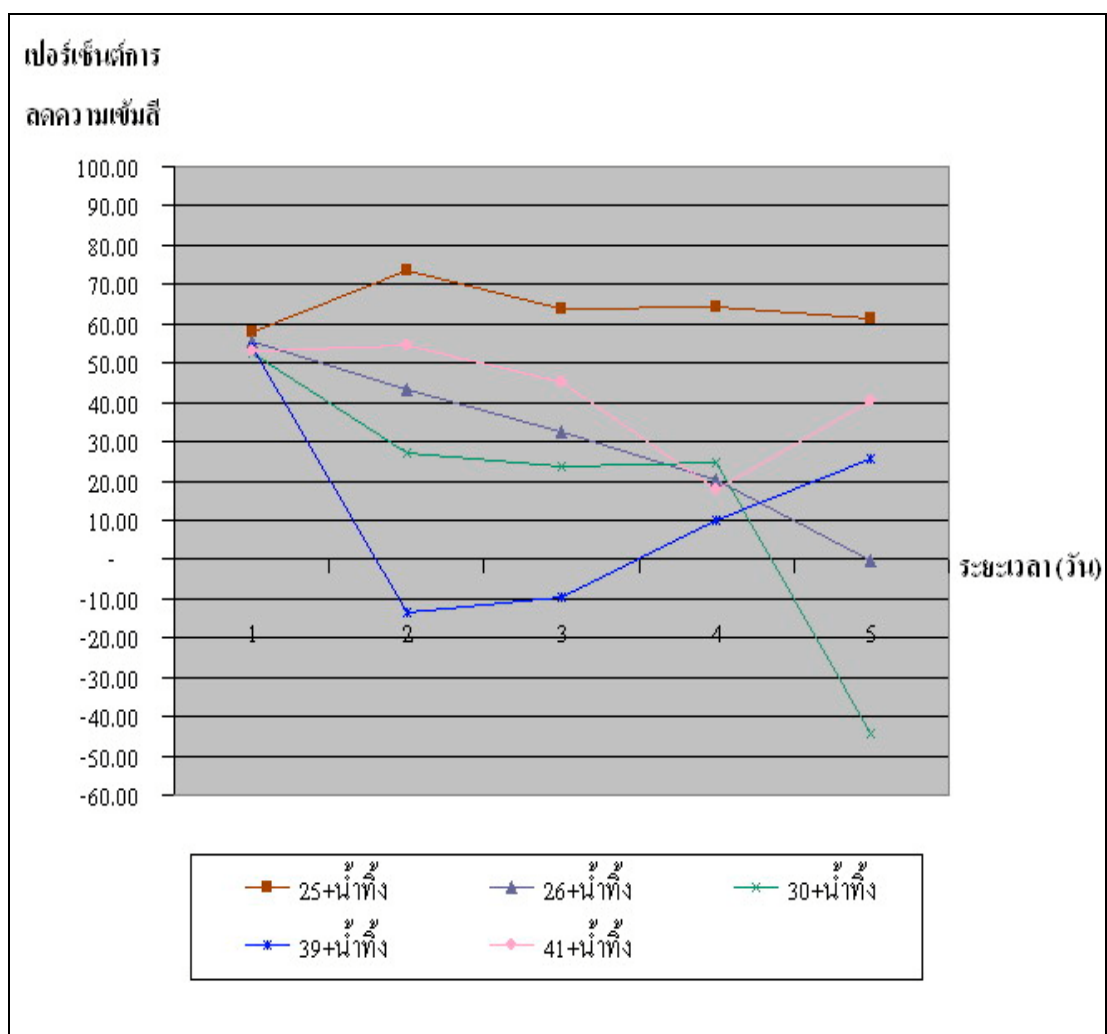
ผลการทดลองจากตารางที่ 7 ภาพที่ 27 ภาพที่ 28 ภาพที่ 29 และภาพที่ 30 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาของการบำบัด พบว่า เปอร์เซ็นต์ในการลดปริมาณ COD ที่ดีที่สุดจะอยู่ในระยะเวลาของการบำบัดในวันที่ 4 ของเชื้อราทุกชนิดนั้นคือ เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD จะมากกว่า 60% ซึ่งลดลงจากปริมาณ COD ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 1,500 mg/l เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD โดย การบำบัดด้วยเชื้อรา ที่ระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งวันที่ 4 พบว่า ที่สภาวะแบบเติมอาหารจะมี เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD สูงกว่าที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



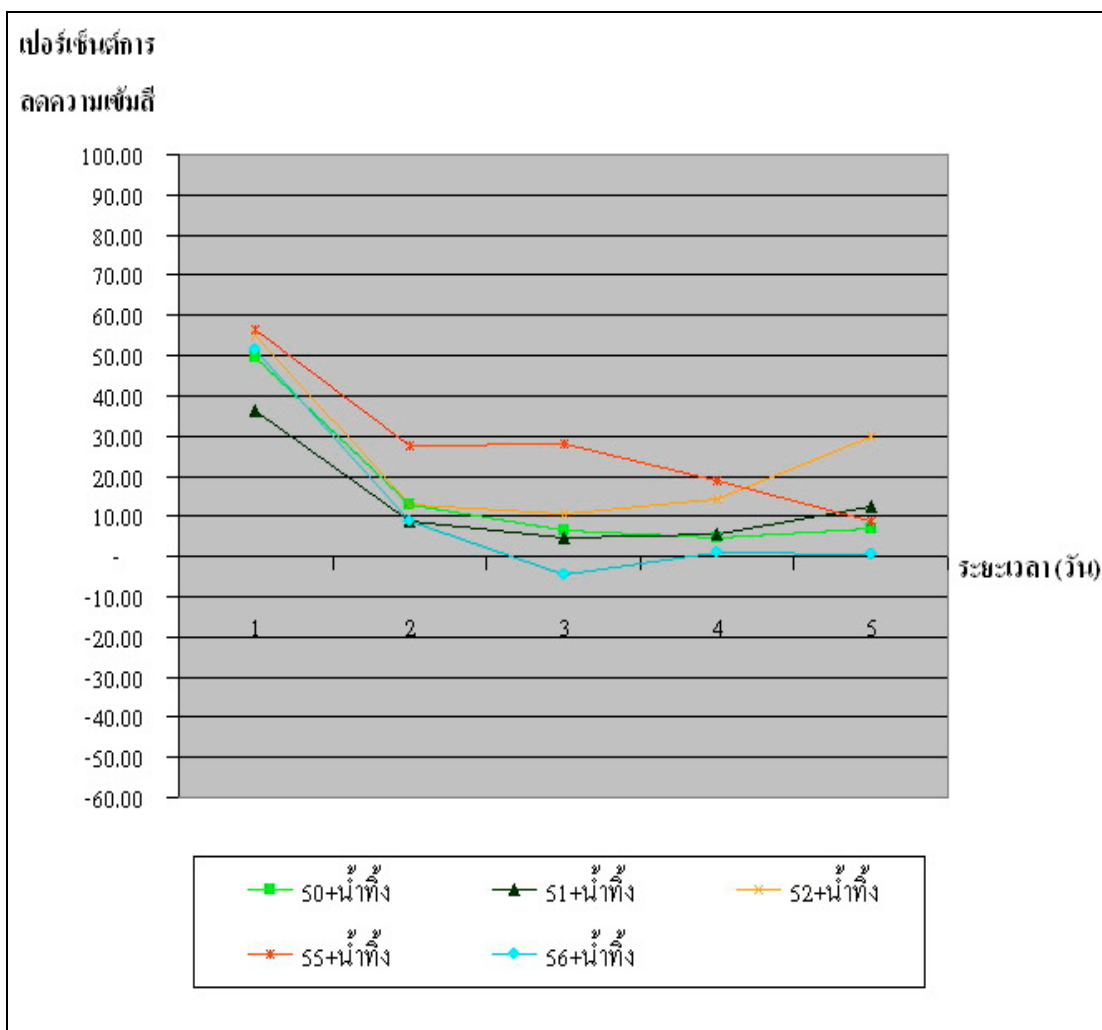
ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

จากตารางการทดลองที่ 7 ภาพที่ 31 ภาพที่ 32 ภาพที่ 33 และภาพที่ 34 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาของการบำบัด พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นที่ดีที่สุดจะอยู่ในระยะเวลาของการบำบัดในวันที่ 1 ของเชื้อราทุกชนิด นั่นคือเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 36-58% ซึ่งลดลงจากความชื้นในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit และเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์การลดความชื้นก็จะลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นโดยการบำบัดด้วยเชื้อรา เมื่อระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 1 พบว่า ที่สภาวะแบบเติมอาหารมี

เปอร์เซ็นต์การลดความชื้นที่สูงกว่าที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร แต่เมื่อระยะเวลาของการบำบัดน้ำ
ทิ้งเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 2 , 3 , 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์การลดความชื้นจะลดลงเหมือนกัน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อราเส้นใยสีขาว(White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวพบว่า เชื้อราที่สภาวะแบบเดิมอาหารจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหาร นั่นคือเชื้อราที่สภาวะแบบเดิมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้มากกว่า 62% ลดความเข้มข้นได้มากกว่า 60% และที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้มากกว่า 60% ลดความเข้มข้นได้ 36-58% ทั้งสองสภาวะสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีที่สุดในช่วงเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 และความเข้มข้นได้ดีที่สุดในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 1

จากการทดลองในการคัดเลือกสายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยว พบว่าเชื้อราบางสายพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ในการลด COD สูงแต่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดความเข้มข้นต่ำ หรือเชื้อราบางสายพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ในการลด COD ต่ำแต่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดความเข้มข้นที่สูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกสายพันธุ์ของเชื้อราที่สภาวะแบบเดิมอาหาร และที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหาร คือ คัดเลือกเชื้อราที่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดปริมาณ COD และความเข้มข้นสูงที่สภาวะแบบเดิมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหารซึ่งสามารถคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวได้จำนวน 4 สายพันธุ์จากทั้งหมด 20 สายพันธุ์ในการลดความเข้มข้นและลดปริมาณ COD ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษซึ่งจากการคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สามารถสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์ในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นได้ ดังตาราง ที่ 6 ตารางที่ 7 ภาพที่ 7 ภาพที่ 8 ภาพที่ 9 และภาพที่ 10 โดยสายพันธุ์ของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ที่สามารถลดความเข้มข้นและปริมาณ COD ที่เกิดจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเชื้อและกระดาษที่คัดเลือกมีดังนี้ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) ลดปริมาณ COD ได้ 65.93-67.60% ลดความเข้มข้นได้ 57.0-70.55% , *Datronia* sp. (หมายเลข 03) ลดปริมาณ COD ได้ 64.73-67.07% ลดความเข้มข้นได้ 56.59-69.14% , *Hexagonia* sp. (หมายเลข 13) ลดปริมาณ COD ได้ 64.8-66.0% และลดความเข้มข้นได้ 53.8-69.1% , *Stereum* sp. (หมายเลข 39) ลดปริมาณ COD ได้ 64.0-64.4% และลดความเข้มข้นได้ 54.0-69.0% ตามลำดับ



Trichaptum sp. (หมายเลข 25)



Datronia sp. (หมายเลข 03)



Hexagonia sp. (หมายเลข 13)



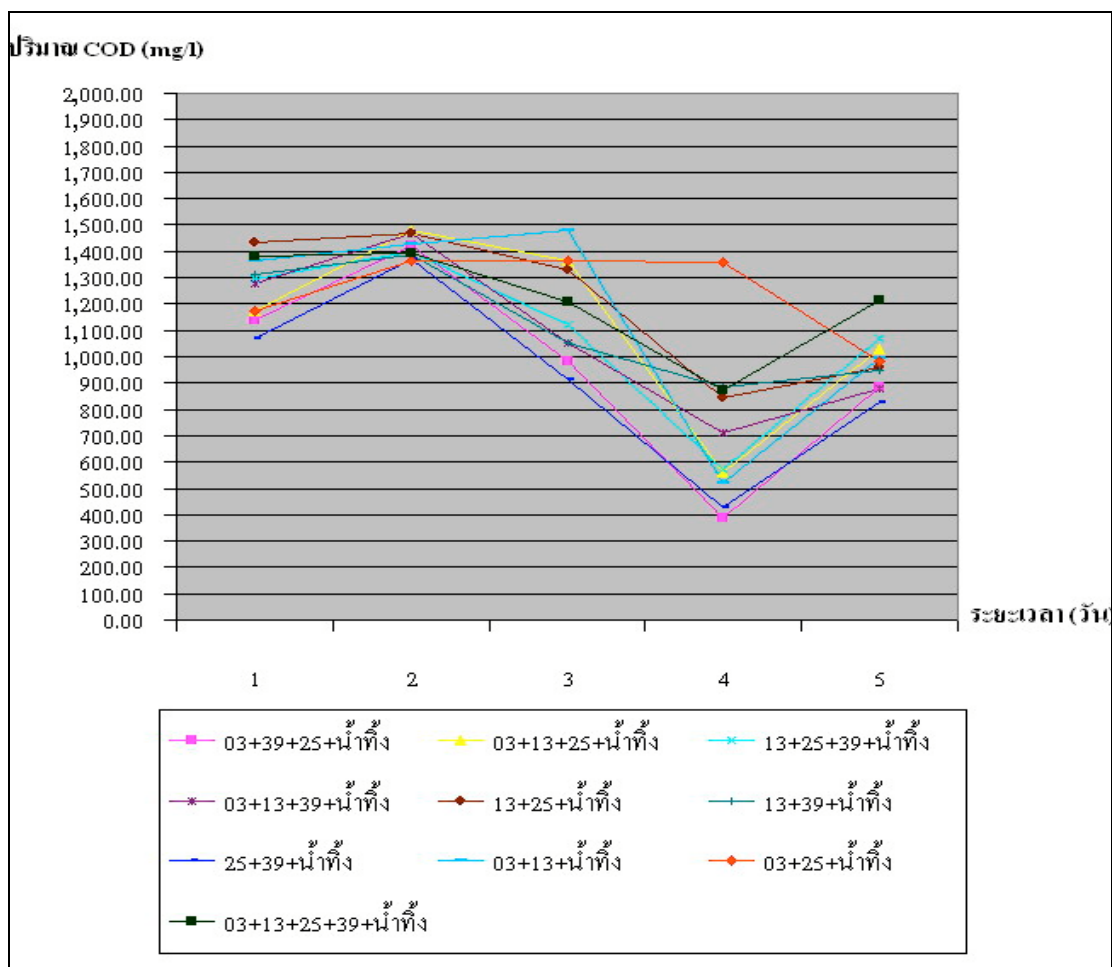
Stereum sp. (หมายเลข 39)

ภาพที่ 35 เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่ถูกคัดเลือกเพื่อทำการผสมเชื้อราในการบำบัดน้ำทิ้งที่สภาวะแบบเดิมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหารเพื่อลดปริมาณ COD และความเข้มข้น

หลังจากนั้นนำเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวทั้ง 4 สายพันธุ์นำมาผสมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นโดยทำการทดลองด้วยการใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวผสมโดยการผสมดังนี้คือ ผสม สายพันธุ์ 03+39+25 ผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ผสม สายพันธุ์ 13+25+39 ผสม สายพันธุ์ 03+13+39 ผสมสายพันธุ์ 13+25 ผสมสายพันธุ์ 13+39 ผสม สายพันธุ์ 25+39 ผสมสายพันธุ์ 03+13 ผสมสายพันธุ์ 03+25 และผสมสายพันธุ์ 03+13+25+39 ที่สภาวะแบบเดิมอาหารลงในน้ำทิ้งได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 8 ภาพที่ 11 และภาพที่ 12

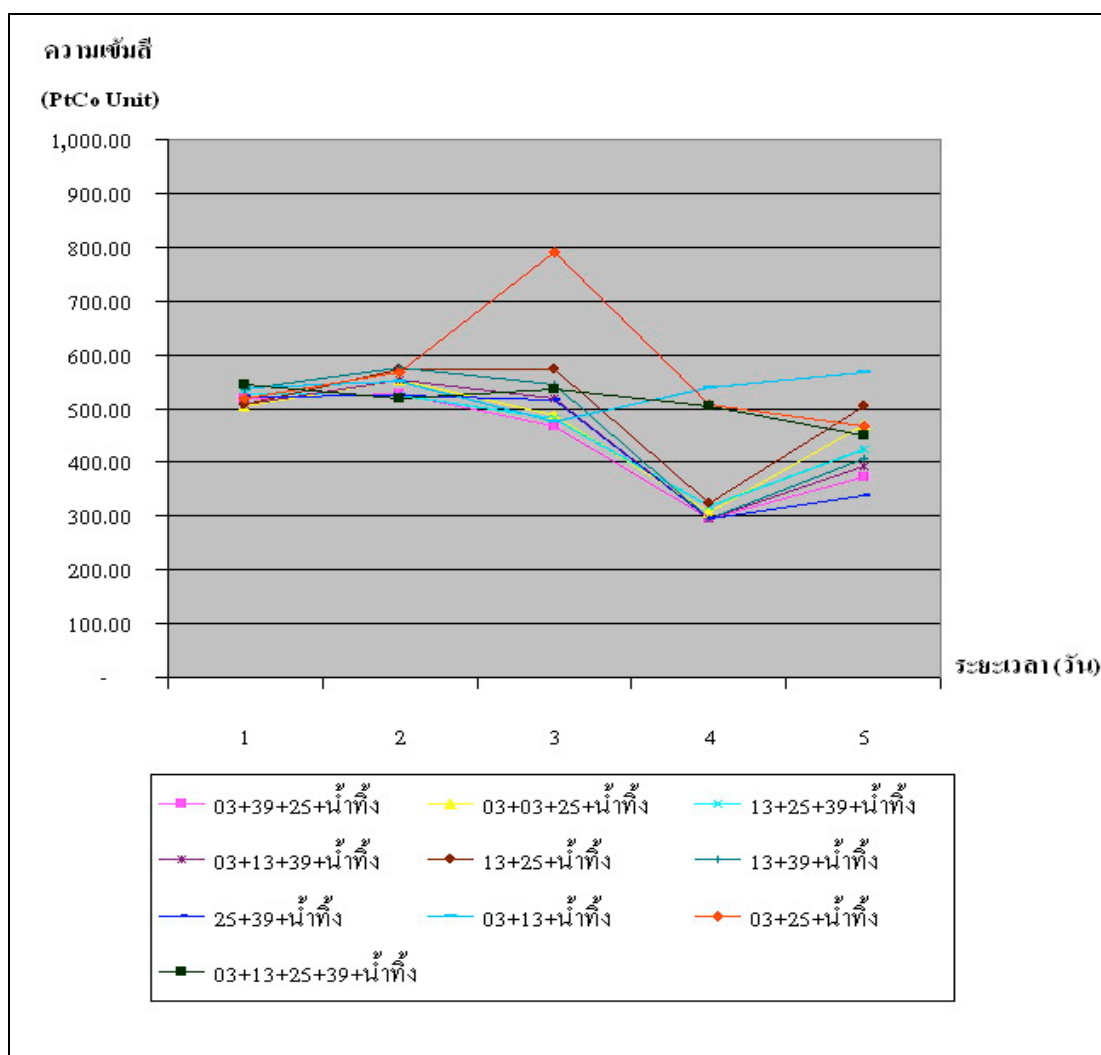
ตารางที่ 8 การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ในการลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

เชื้อรา+น้ำทิ้ง	ปริมาณ COD (mg/l)					ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25	1,140	1,420	984	389	882	519	526	466	295	372
03+13+25	1,176	1,480	1,363	559	1,028	503	553	486	307	471
13+25+39	1,294	1,401	1,120	571	1,070	526	524	482	318	424
03+13+39	1,276	1,467	1,052	712	880	508	553	518	296	392
13+25	1,432	1,466	1,329	843	962	508	574	572	323	503
13+39	1,311	1,387	1,052	884	949	535	577	545	296	408
25+39	1,071	1,369	915	428	828	521	524	515	296	339
03+13	1,364	1,425	1,477	521	993	540	551	477	540	567
03+25	1,173	1,364	1,363	1,361	984	519	567	492	508	466
03+13+25+39	1,380	1,392	1,208	875	1,212	545	520	535	503	450



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อรา
เส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 8 และภาพที่ 36 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราผสมสายพันธุ์สามารถลดปริมาณ COD ได้ดีในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ซึ่งมีปริมาณ COD ที่ได้มีค่าลดลงน้อยกว่า 600 mg/l ซึ่งลดลงจากปริมาณ COD ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 1,500 mg/l โดยใช้เชื้อราผสม 5 ชนิด คือ ผสม สายพันธุ์ 03+39+25 ผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ผสม สายพันธุ์ 13+25+39 ผสมสายพันธุ์ 25+39 และ ผสมสายพันธุ์ 03+13 ซึ่งปริมาณ COD ที่วิเคราะห์ได้ภายหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 389 mg/l , 559 mg/l , 571 mg/l , 428 mg/l และ 521 mg/l ตามลำดับ



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อรา
เส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

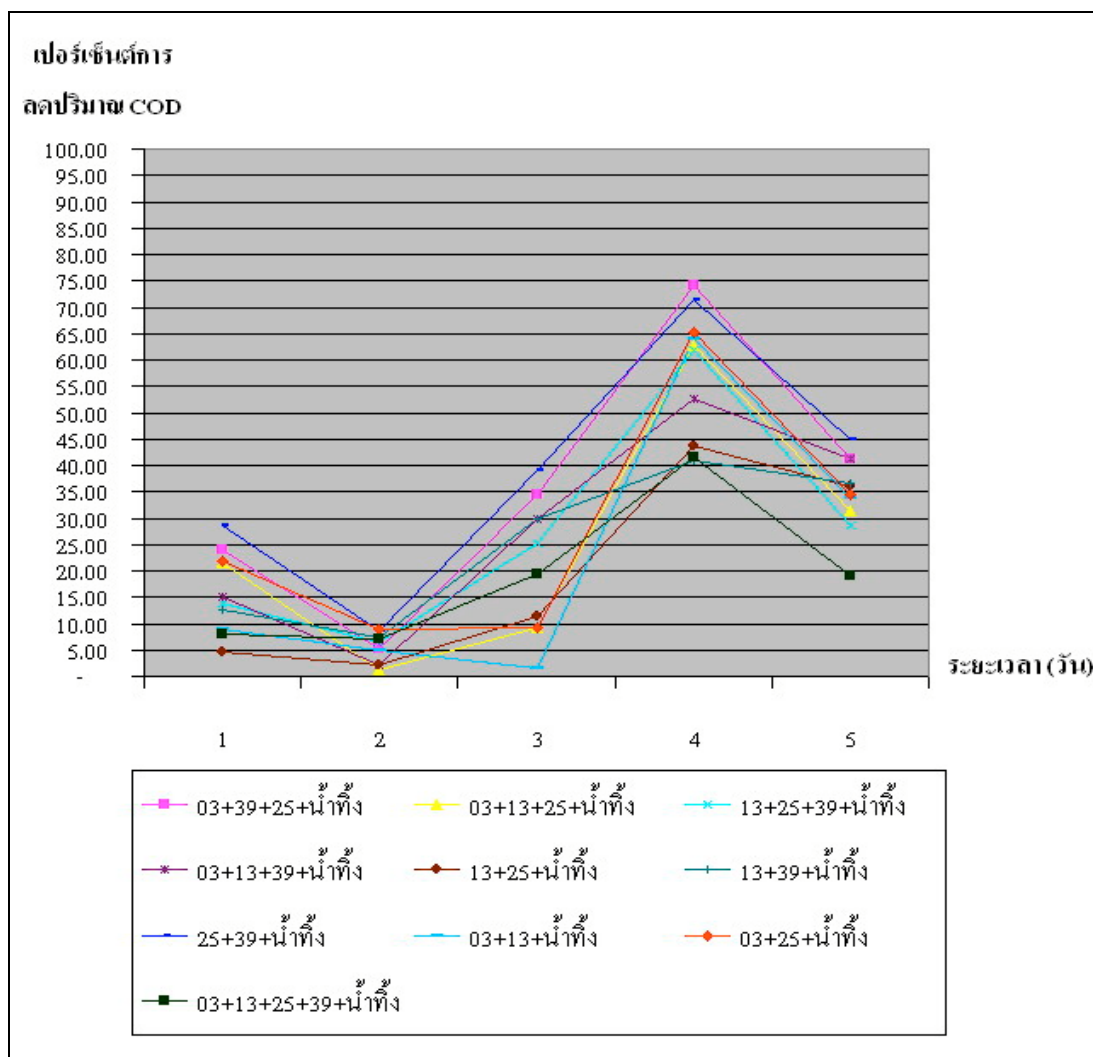
ผลการทดลองจากตารางที่ 8 และภาพที่ 37 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot
Fungi) ผสม สายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราผสมสายพันธุ์สามารถลดความเข้มข้นได้ดีที่สุดใน
ระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ซึ่งความเข้มข้นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ 300 PtCo Unit ซึ่งลด
ลงจากความเข้มข้นในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit โดยใช้เชื้อราผสม 7
ชนิด คือ ผสมสายพันธุ์ 03+39+25 ผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ผสมสายพันธุ์ 13+25 ผสมสายพันธุ์
03+13+39 ผสมสายพันธุ์ 13+25 ผสมสายพันธุ์ 13+39 และผสม สายพันธุ์ 25+39 ซึ่งค่าความเข้มข้นมี

ค่าเท่ากับ 295 PtCo Unit , 307 PtCo Unit , 323 PtCo Unit , 318 PtCo Unit , 323 PtCo Unit , 296 PtCo Unit และ 296 PtCo Unit ตามลำดับ

จากข้อมูลของปริมาณ COD และค่าความเข้มของสีที่ระยะเวลาของการบำบัดวันต่าง ๆ สามารถนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณ COD และเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มสีดังแสดงผลในตารางที่ 9 ภาพที่ 38 และภาพที่ 39 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 เปรูเซ็นต์การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ใน
การลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบเติมอาหาร

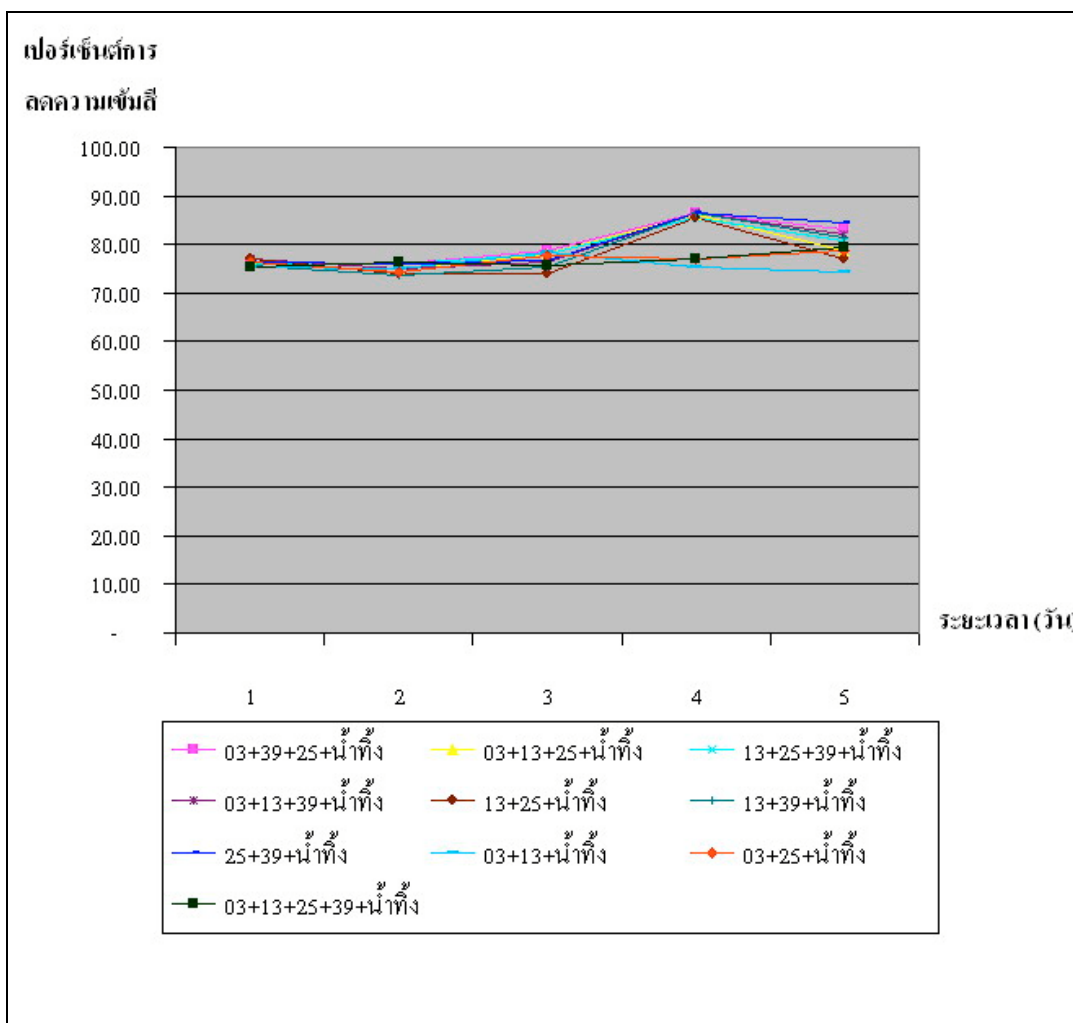
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD					เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25	24.00	5.30	34.40	74.07	41.20	76.41	76.10	78.82	86.59	83.09
03+13+25	21.60	1.30	9.13	62.73	31.46	77.14	74.86	77.91	86.05	78.59
13+25+39	13.73	6.60	25.33	61.93	28.67	76.09	76.18	78.10	85.55	80.73
03+13+39	14.93	2.20	29.87	52.53	41.33	76.91	74.86	76.45	86.55	82.18
13+25	4.53	2.27	11.40	43.80	35.87	76.91	73.91	74.00	85.32	77.14
13+39	12.60	7.53	29.87	41.07	36.73	75.68	73.77	75.23	86.55	81.45
25+39	28.60	8.73	39.00	71.47	44.80	76.32	76.18	76.59	86.55	84.59
03+13	9.07	5.00	1.53	63.93	33.80	75.45	74.95	78.32	75.45	74.23
03+25	21.80	9.07	9.13	65.27	34.40	76.41	74.23	77.64	76.91	78.82
03+13+25+39	8.00	7.20	19.47	41.67	19.20	75.25	76.36	75.68	77.14	79.55



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 9 และภาพที่ 38 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราผสมสายพันธุ์ทุกชนิดสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีที่สุดในช่วงเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะเชื้อราผสมสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดปริมาณ COD มากกว่า 50% โดยสามารถคัดเลือกเชื้อราผสมได้ 7 ชนิด คือ ผสมสายพันธุ์ 03+39+25 ลดปริมาณ COD ได้ 74.04% ผสมสายพันธุ์ 25+39 ลดปริมาณ COD ได้ 71.47% ผสมสายพันธุ์ 03+25 ลดปริมาณ COD ได้ 65.27% ผสมสายพันธุ์ 03+13 ลดปริมาณ COD

ได้ 63.93% ผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ลดปริมาณ COD ได้ 62.73% ผสมสายพันธุ์ 13+25+39
ลดปริมาณ COD ได้ 61.93% และผสมสายพันธุ์ 03+13+39 ลดปริมาณ COD ได้ 52.53% ตามลำดับ



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 9 และภาพที่ 39 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราผสมสายพันธุ์สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุดในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะเชื้อราผสมสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดความชื้นได้มากกว่า 80% โดยสามารถคัดเลือกเชื้อราผสมได้ 7 ชนิด คือ ผสม สายพันธุ์ 03+39+25 ลดความชื้นได้ 86.59% ผสมสายพันธุ์ 13+25 ลดความชื้นได้ 85.32% ผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ลดความชื้นได้ 86.05% ผสม สายพันธุ์ 13+25+39 ลดความชื้นได้

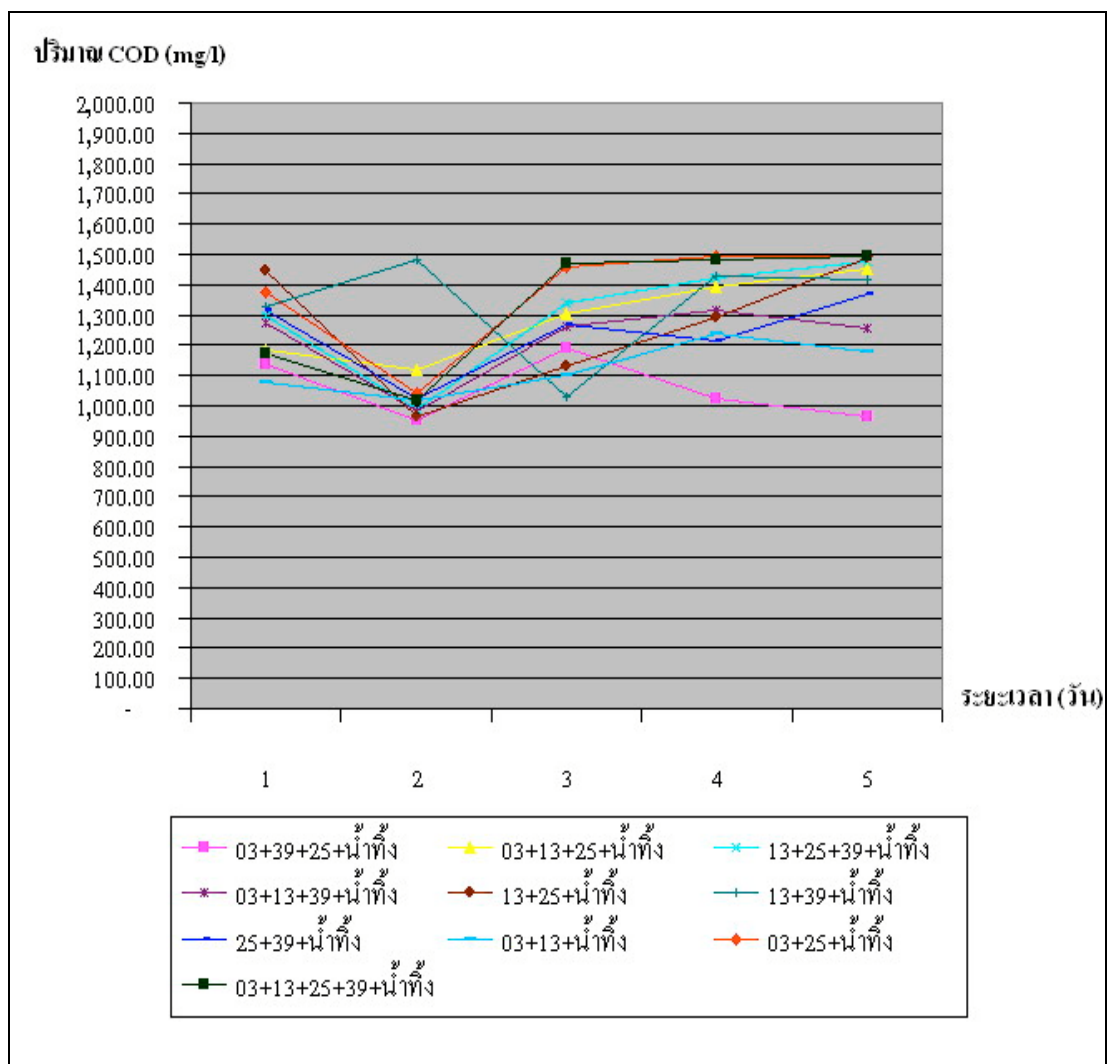
85.55% ผสมสายพันธุ์ 25+39 ลดความเข้มสีได้ 86.55% ผสมสายพันธุ์ 03+13+39 ลดความเข้มสีได้ 86.50% และผสม สายพันธุ์ 13+39 ลดความเข้มสีได้ 86.58% ตามลำดับ

จากผลการทดลองของตารางที่ 8 ภาพที่ 36 ภาพที่ 37 ตารางที่ 9 ภาพที่ 38 และภาพที่ 39 พบว่าในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นซีอีราฟสม 7 ชนิดที่สามารถลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นซีอีราฟสมชนิดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 โดยเปรียบเทียบปริมาณ COD ก่อนการบำบัดเท่ากับ 1,500 mg/l และความเข้มข้นซีอีราฟสมก่อนการบำบัดเท่ากับ 2,200 PtCo Unit สรุปได้ว่า ซีอีราฟสมสายพันธุ์ หมายเลข 03+39+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 74.07% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 86.69% ซีอีราฟสมสายพันธุ์ 25+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 71.41% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 86.55% ซีอีราฟสมสายพันธุ์ 03+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 62.27% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 76.91% ซีอีราฟสมสายพันธุ์ 03+13 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 63.93% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 74.45% ซีอีราฟสมสายพันธุ์ 03+13+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 62.73% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 86.05% ซีอีราฟสมสายพันธุ์ 13+25+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 61.93% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 85.55% และซีอีราฟสมสายพันธุ์ 03+13+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 52.53% ลดความเข้มข้นซีอีราฟสมได้ 86.55% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ซีอีราฟสมแบบเดิมอาหารครบของระยะเวลาในการบำบัด 4 วัน ซีอีราฟสมสายพันธุ์ *Datronia* sp. (หมายเลข 03) สายพันธุ์ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) และสายพันธุ์ *Stereum* sp. (หมายเลข 39) มีความสามารถในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นซีอีราฟสมสายพันธุ์ชนิดอื่น ๆ

ผลการทดลองซีอีราฟสมที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารในการลดปริมาณ COD และความเข้มข้นของระยะเวลาต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำทิ้งแสดงในตารางที่ 10 ภาพที่ 40 และภาพที่ 41 ตามลำดับ

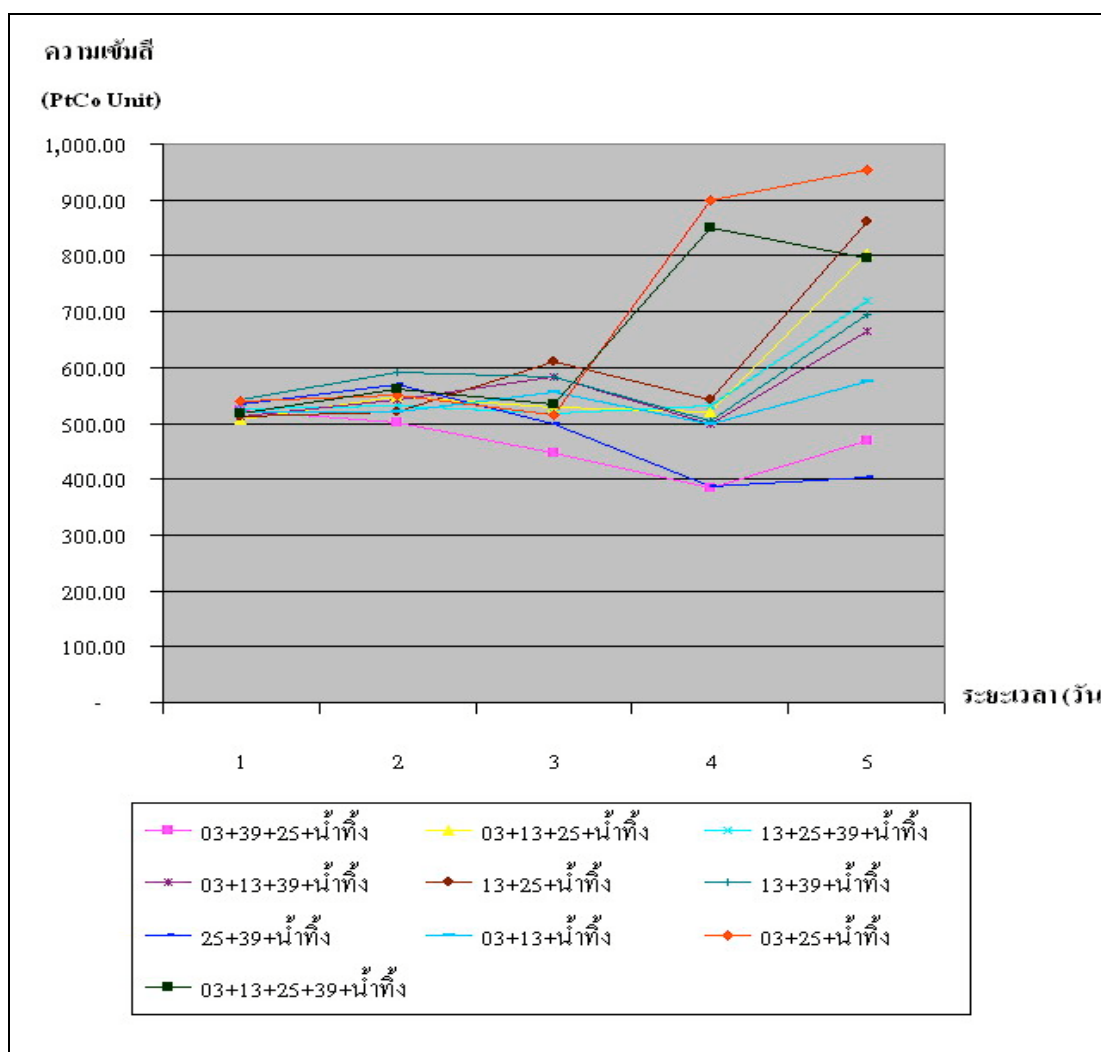
ตารางที่ 10 การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ ในการลดปริมาณ
COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

เชื้อรา+น้ำทิ้ง	ปริมาณ COD (mg/l)					ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25	1,139	953	1,189	1,025	967	524	502	447	385	469
03+13+25	1,183	1,122	1,301	1,392	1,455	507	547	528	520	804
13+25+39	1,297	990	1,337	1,422	1,478	525	530	519	532	720
03+13+39	1,276	980	1,261	1,317	1,258	511	543	584	498	664
13+25	1,445	967	1,128	1,293	1,491	513	521	611	543	860
13+39	1,328	1,482	1,030	1,428	1,419	543	592	583	503	694
25+39	1,318	1,023	1,267	1,215	1,368	534	569	498	386	402
03+13	1,078	1,018	1,100	1,239	1,176	521	521	556	500	575
03+25	1,377	1,044	1,456	1,492	1,496	540	550	515	900	955
03+13+25+39	1,174	1,016	1,472	1,482	1,493	519	562	535	850	796



ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์แบบไม่เติมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 10 และภาพที่ 40 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร พบว่าน้ำทิ้งที่เติมเชื้อราผสม สายพันธุ์ 8 ชนิด สามารถลดปริมาณ COD ได้ดีในระยะเวลาของวันที่ 2 ของการบำบัดซึ่งมีปริมาณ COD ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ 1,000 mg/l ซึ่งลดลงจากปริมาณ COD ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 1,500 mg/l ยกเว้น ผสมสายพันธุ์ 13+39 และผสมสายพันธุ์ 03+13+25 ที่ยังคงมีปริมาณ COD ใกล้เคียงกับน้ำทิ้งก่อนการบำบัด



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

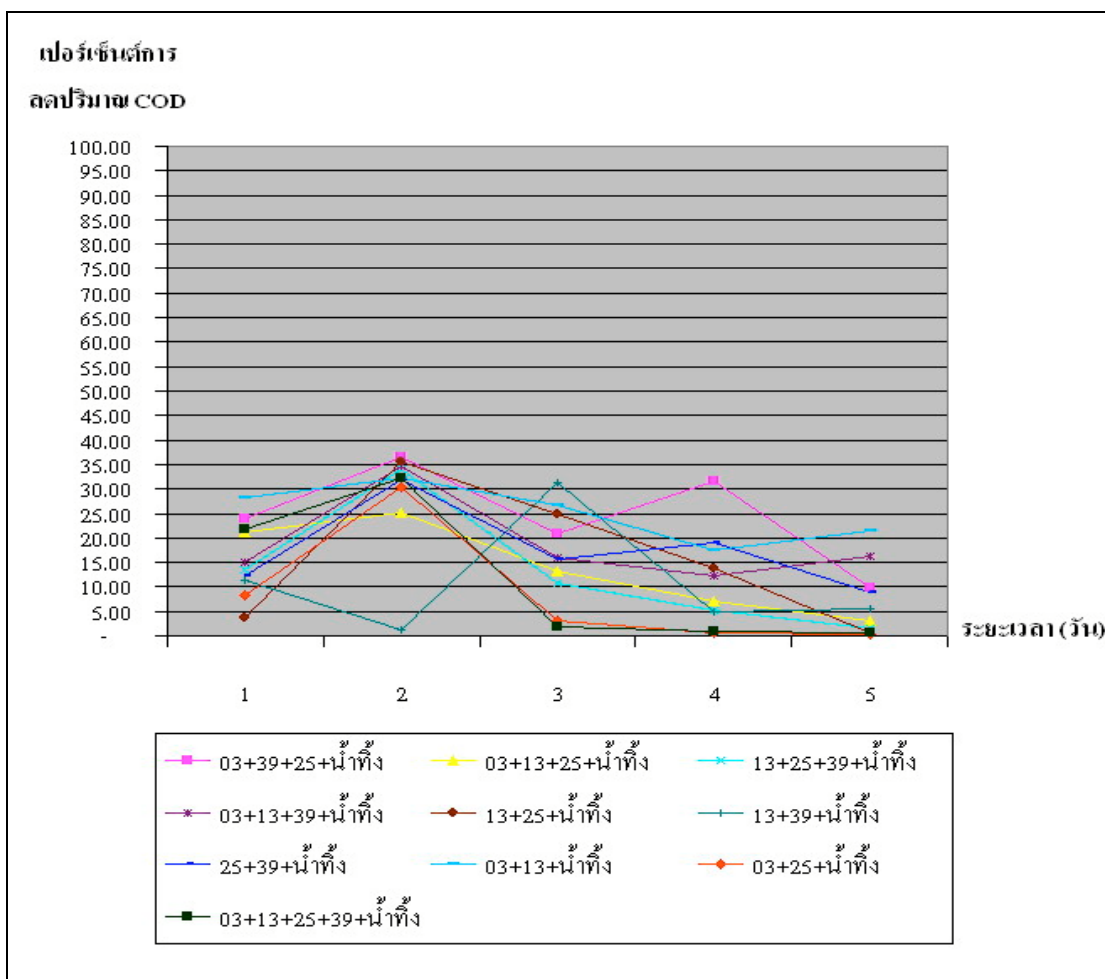
ผลการทดลองจากตารางที่ 10 และภาพที่ 41 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เติมเชื้อราผสมสายพันธุ์ทุกชนิดสามารถลดความชื้นได้ในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 1 , 2 และ 3 ซึ่งมีความชื้นใกล้เคียงกับ 600 PtCo Unit เมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 4 และ 5 พบว่าเชื้อราผสมสายพันธุ์บางชนิดมีความชื้นเพิ่มขึ้น และระยะเวลาดำเนินการวันที่ 4 ของการบำบัดพบว่า มีเชื้อราผสมสายพันธุ์ 2 ชนิดที่สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุดซึ่งมีความชื้นใกล้เคียงกับ 400 PtCo Unit คือ ผสมสายพันธุ์

03+39+25 และสายพันธุ์ 25+39 คือมีความเข้มสี 385 PtCo Unit และ 386 PtCo Unit ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มสีในน้ำทิ้งก่อนการบำบัดที่มีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit

จากผลการทดลองปริมาณ COD และความเข้มสีของระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ นำไปคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และเปอร์เซ็นต์การลดความเข้มสีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11 ภาพที่ 42 และภาพที่ 43 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 เปรูเซ็นต์การคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ในการ
ลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

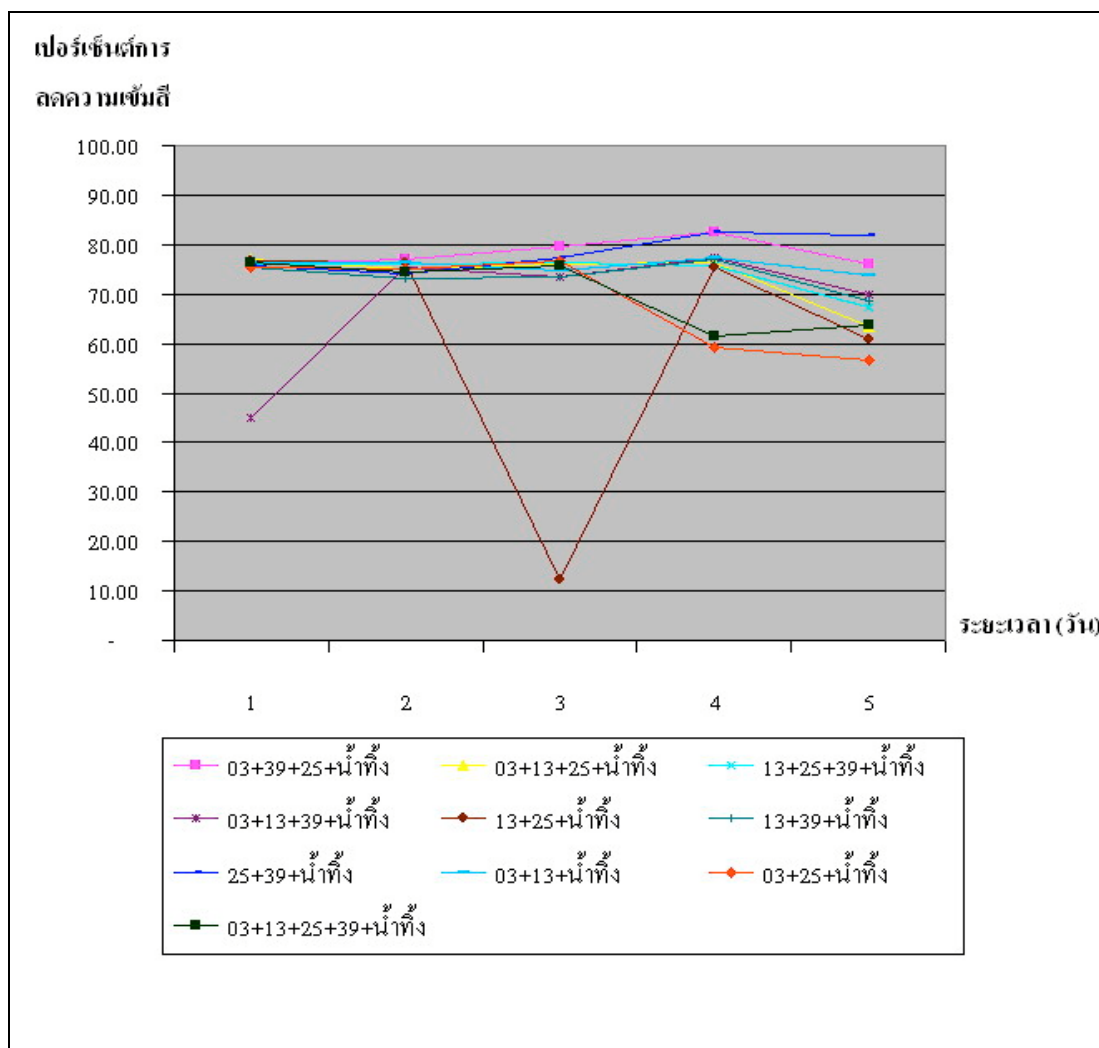
เชื้อรา+น้ำทิ้ง	เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD					เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25	24.07	36.47	20.73	31.67	9.67	76.18	77.18	79.68	82.50	76.14
03+13+25	21.13	25.20	13.27	7.20	3.00	76.95	75.14	76.00	76.36	63.45
13+25+39	13.53	34.00	10.87	5.20	1.47	76.14	75.91	76.41	75.82	67.27
03+13+39	14.93	34.67	15.93	12.20	16.13	44.95	75.32	73.45	77.36	69.82
13+25	3.67	35.53	24.80	13.80	0.60	76.68	76.32	12.23	75.32	60.91
13+39	11.47	1.20	31.33	4.80	5.40	75.32	73.09	73.50	77.14	68.45
25+39	12.13	31.80	15.53	19.00	8.80	75.73	74.14	77.36	82.45	81.73
03+13	28.13	32.13	26.67	17.40	21.60	76.32	76.32	74.73	77.27	73.86
03+25	8.20	30.40	2.93	0.53	0.27	75.45	75.00	76.59	59.09	56.59
03+13+25+39	21.73	32.27	1.87	1.07	0.47	76.41	74.45	75.68	61.36	63.82



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 11 และภาพที่ 42 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เติมเชื้อราผสม สายพันธุ์ 8 ชนิดสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 2 ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะเชื้อราผสมสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการลดปริมาณ COD ได้มากกว่า 30% โดยสามารถคัดเลือกเชื้อราผสมได้ 8 ชนิด ผสมสายพันธุ์ 03+39+25 ลดปริมาณ COD ได้ 36.47% ผสมสายพันธุ์ 13+25 ลดปริมาณ COD ได้ 35.53% ผสม สายพันธุ์ 03+13+39 ลดปริมาณ COD ได้ 34.67% ผสมสายพันธุ์ 13+25+39 ลดปริมาณ COD ได้ 34% ผสม สายพันธุ์ 03+13+25+39 ลดปริมาณ COD ได้ 32.27% ผสมสาย

พันธุ์ 03+13 ลดปริมาณ COD ได้ 32.13% ผสม สายพันธุ์ 25+39 ลดปริมาณ COD ได้ 31.8% และ ผสมสายพันธุ์ 03+25 ลดปริมาณ COD ได้ 30.4% ตามลำดับ



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นและระยะเวลาในการบำบัด น้ำทิ้งของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

ผลการทดลองจากตารางที่ 10 และภาพที่ 43 ของกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการบำบัดของการคัดเลือกเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ พบว่าน้ำทิ้งที่เดิมเชื้อราผสมสายพันธุ์ทุกชนิดสามารถลดความชื้นได้ในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 1 , 2 และ 3 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลดความชื้นใกล้เคียงกัน เมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นวันที่ 4 และ 5 พบว่าเชื้อราผสมสายพันธุ์บางชนิดมีความชื้นเพิ่มขึ้น และระยะเวลาวันที่ 4 ของการบำบัดพบว่า มีเชื้อราผสมสายพันธุ์ 2 ชนิด ที่สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด คือ ผสม สายพันธุ์ 03+39+25 ลดความชื้นได้ 82.5% และผสมสายพันธุ์ 25+39 ลดความชื้นได้ 82.45% ตามลำดับ

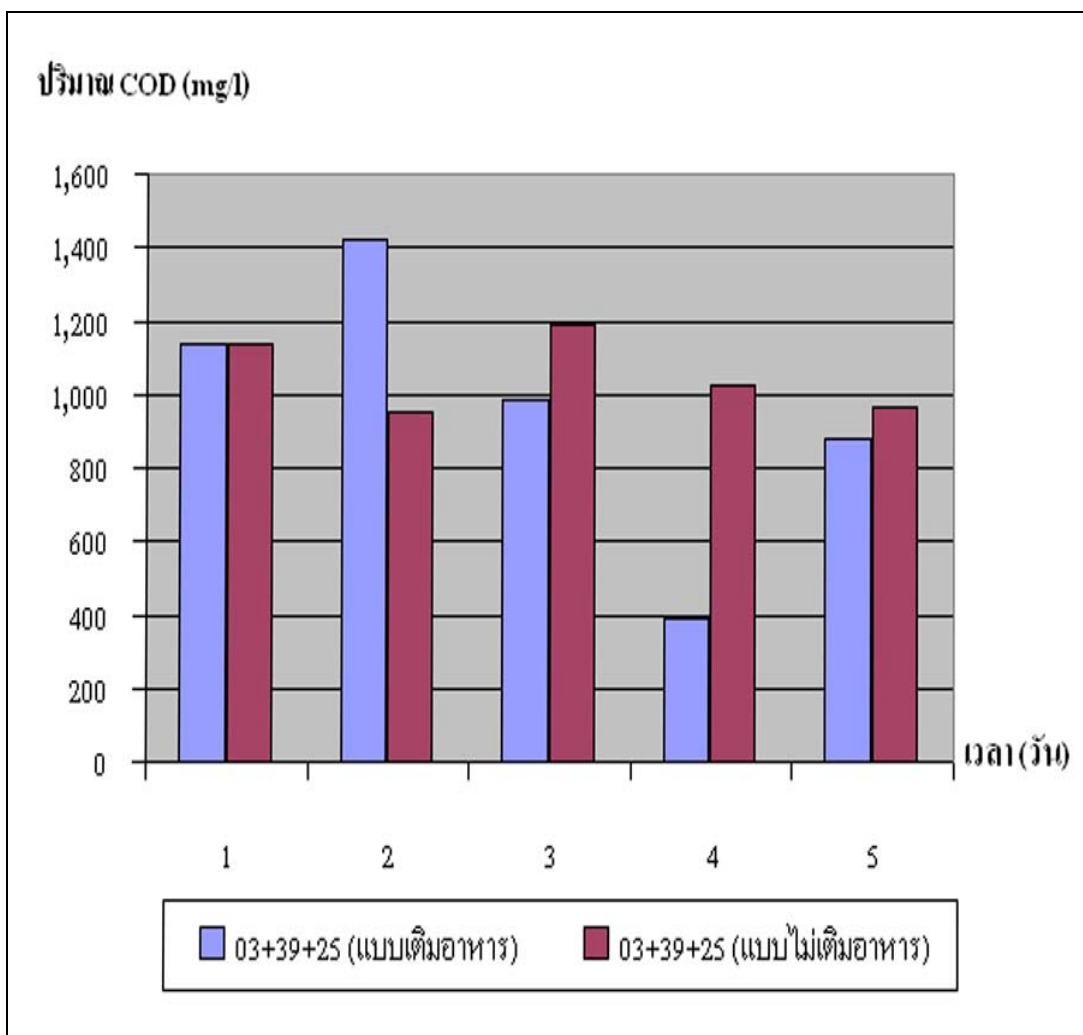
จากผลการทดลองของตารางที่ 10 ภาพที่ 33 ภาพที่ 34 ตารางที่ 35 ภาพที่ 36 และภาพที่ 37 พบว่ามีเชื้อราผสม 7 ชนิดที่สามารถลดปริมาณ COD ได้ในระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 2 และสามารถลดความเข้มข้นได้ดีกว่าเชื้อราผสมชนิดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 โดยเปรียบเทียบปริมาณ COD ก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 1,500 mg/l และความเข้มข้นก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit สรุปได้ว่า เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 36.47% ลดความเข้มข้นได้ 82.50% เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 13+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 35.53% ลดความเข้มข้นได้ 75.32% เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+13+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 34.67% ลดความเข้มข้นได้ 77.36% เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 13+25+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 34.00% ลดความเข้มข้นได้ 75.82% เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 25+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 31.80% ลดความเข้มข้นได้ 82.45% เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+13+25+39 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 32.27% ลดความเข้มข้นได้ 61.36% และเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+13 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 32.13% ลดความเข้มข้นได้ 77.27% ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเชื้อราผสมที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 2 และลดความเข้มข้นได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 เชื้อราผสมสายพันธุ์นั้นคือ เชื้อราผสมสายพันธุ์ *Datronia* sp. (หมายเลข 03) สายพันธุ์ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) และสายพันธุ์ *Stereum* sp. (หมายเลข 39) มีความสามารถในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นได้ดีกว่าเชื้อราผสมสายพันธุ์ชนิดอื่น ๆ

ผลการทดลองศึกษาเปรียบเทียบเชื้อราผสมสายพันธุ์ 03+25+39 ที่มีความสามารถลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นได้ดีที่สุดทั้งสองสภาวะการทดลอง คือ สภาวะแบบเติมอาหารและสภาวะแบบไม่เติมอาหาร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะแสดงผลในตารางที่ 12 ภาพที่ 44 และภาพที่ 45 ตามลำดับ

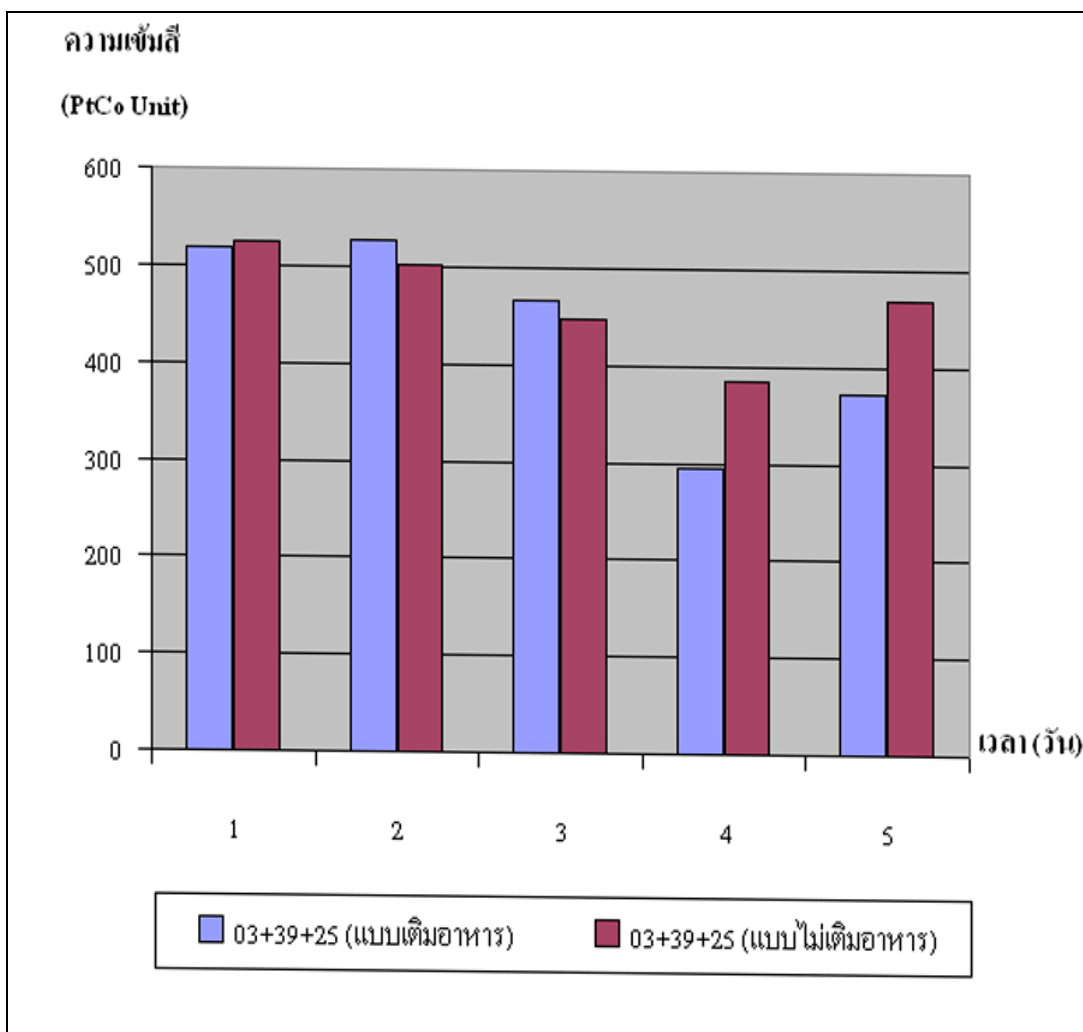
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นของน้ำทิ้งโดยใช้เชื้อราเส้น
ใยสีขาว(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ในน้ำทิ้งที่สภาวะแบบ
เติมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

เชื้อรา+น้ำทิ้ง	ปริมาณ COD (mg/l)					ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25 (แบบเติม อาหาร)	1,140	1,420	984	389	882	519	526	466	295	372
03+39+25 (แบบไม่เติม อาหาร)	1,139	953	1,189	1,025	967	524	502	447	385	469



ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราผสมสายพันธุ์ หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

จากผลการทดลองตารางที่ 12 และภาพที่ 44 ของกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 พบว่า ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ เชื้อราผสมหมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารอย่างเห็นความแตกต่างได้เด่นชัด คือ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ให้เหลือ 389 mg/l แต่เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ในระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ 2 คือ สามารถลดปริมาณ COD ให้เหลือ 950 mg/l เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ COD ก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 1,500 mg/l



ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบความเข้มข้น และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราผสมสายพันธุ์ หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารและที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหาร

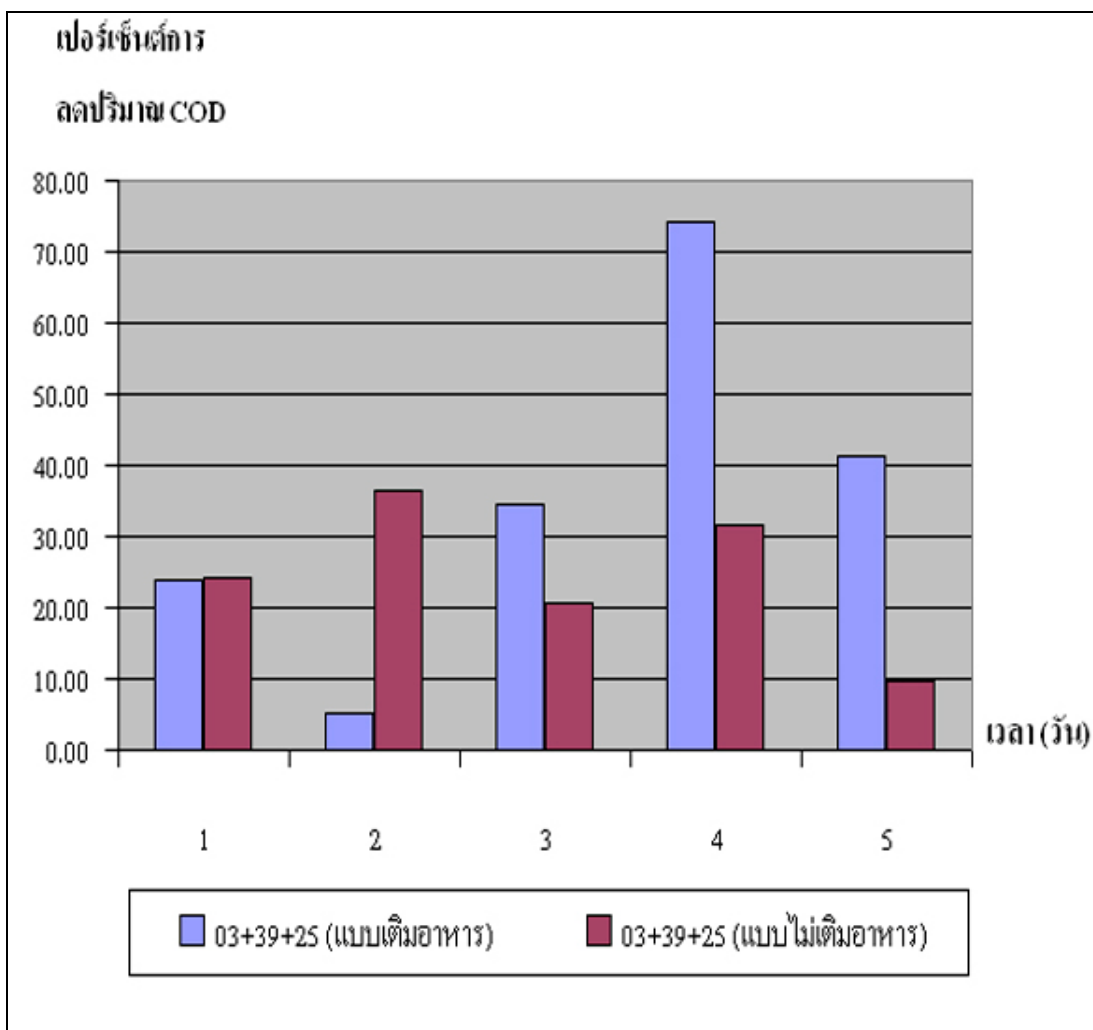
จากผลการทดลองตารางที่ 12 และภาพที่ 45 ของกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดของเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 พบว่าระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ 4 ด้วยเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหาร คือ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นให้เหลือ 295 PtCo Unit แต่ที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นให้เหลือ 385 PtCo Unit เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit และผลการลดความเข้มข้นที่สภาวะแบบเต็มอาหารและที่

สภาวะแบบไม่เติมอาหารจะให้ผลเหมือนกัน คือ สามารถลดความเข้มข้นได้ดีที่สุดในระยะเวลาการบำบัดของวันที่ 4

จากผลของปริมาณ COD และความเข้มข้นเมื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นสามารถแสดงได้ในตารางที่ 13 ภาพที่ 46 และภาพที่ 47 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และการลดความเข้มข้นของน้ำทิ้งโดยใช้เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ในน้ำทิ้งที่สถานะแบบเต็มอาหารและที่สถานะแบบไม่เต็มอาหาร

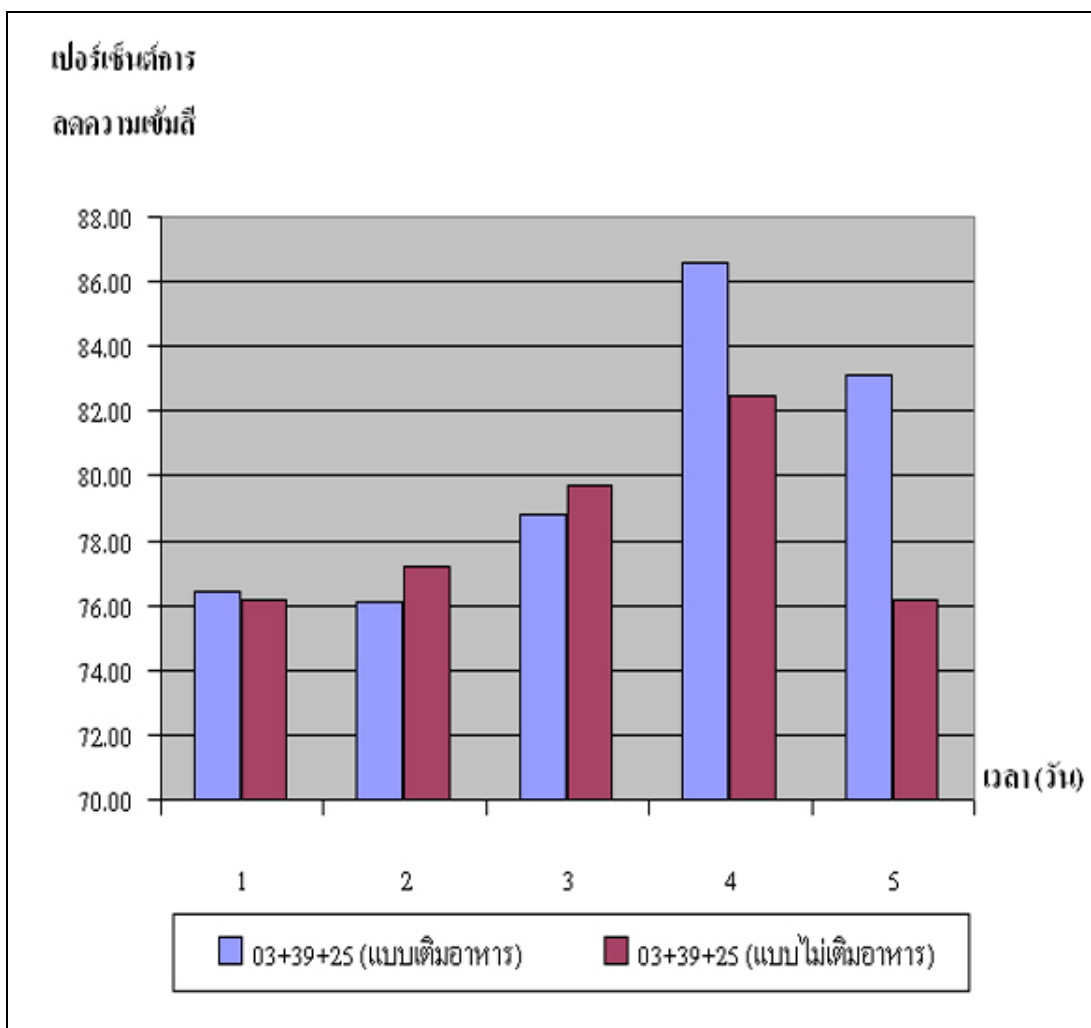
เชื้อรา+น้ำ ทิ้ง	เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD					เปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้น				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
03+39+25 (แบบเต็ม อาหาร)	24.00	5.30	34.40	74.07	41.20	76.41	76.10	78.82	86.59	83.09
03+39+25 (แบบไม่ เต็ม อาหาร)	24.07	36.47	20.73	31.67	9.67	76.18	77.18	79.68	82.50	76.14



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารและที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

จากผลการทดลองตารางที่ 13 และภาพที่ 22 ของกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ COD และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 พบว่าระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ 4 ด้วยเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าแบบไม่เติมอาหาร คือ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ 74.04% แต่ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีที่สุดในช่วงเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งวันที่

2 คือ สามารถลดปริมาณ COD ได้ 36.47% และระยะเวลาในการบำบัดน้ำทั้งวันที่ 4 ที่สภาวะแบบ
ไม่เติมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ 31.67%



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารและที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหาร

จากผลการทดลองตารางที่ 13 และภาพที่ 47 ของกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นและระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 พบว่าระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ 4 ด้วยเชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหาร คือ เชื้อราผสมสายพันธุ์หมายเลข 03+39+25 ที่สภาวะแบบเต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นได้ 86.59% แต่ที่สภาวะแบบไม่เต็มอาหารสามารถลดความเข้มข้นได้ 82.50% เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นก่อนการบำบัดมีค่าประมาณ 2,200 PtCo Unit

จากผลการทดลองของตารางที่ 12 ภาพที่ 44 ภาพที่ 45 ตารางที่ 13 ภาพที่ 46 และภาพที่ 47 พบว่าเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ชนิด 03+39+25 คือ สายพันธุ์ *Datronia* sp. (หมายเลข 03) สายพันธุ์ *Stereum* sp. (หมายเลข 39) และสายพันธุ์ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) สามารถลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าเชื้อราผสมสายพันธุ์ชนิดอื่นซึ่งสายพันธุ์ผสมชนิด 03+39+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 74.04% และลดความเข้มข้นได้ 86.59% เมื่อคิดระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 โดยบำบัดที่สภาวะแบบเดิมอาหารและถ้าบำบัดที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหาร เชื้อราผสมสายพันธุ์นี้ก็สามารถลดปริมาณ COD ได้ 31.67% และลดความเข้มข้นได้ 82.50% และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของเชื้อราผสมสายพันธุ์ชนิด 03+39+25 ระหว่างสภาวะแบบเดิมอาหารและสภาวะแบบไม่เดิมอาหาร พบว่า เชื้อราผสมสายพันธุ์ชนิด 03+39+25 ที่สภาวะแบบเดิมอาหารสามารถลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าที่สภาวะแบบไม่เดิมอาหารแต่การลดความเข้มข้นจะให้ผลใกล้เคียงกันเมื่อคิดระยะเวลาการบำบัดน้ำทิ้งของวันที่ 4

จากผลการทดลองของ Tono และคณะ (1968) Eaton และคณะ (1982) Livernoche และคณะ (1983) Kannan และคณะ (1990) Esposito และคณะ (1991) Mehna และคณะ (1995) และ Tabak และคณะ (1959) สนับสนุนการทดลองในครั้งนี้คือ เชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สามารถลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นได้โดยใช้ระยะเวลาที่ดีที่สุดของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ซึ่งสามารถลดปริมาณ COD ได้ 79.13% และลดความเข้มข้นได้ 58.82% ซึ่งจากการทดลองประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD ของสายพันธุ์เชื้อรา *Stereum* sp. (หมายเลข 39) มีประสิทธิภาพดีกว่าการทดลองของ Kannan และคณะ (1990) ที่ใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* ซึ่งสามารถลดปริมาณ COD ได้เพียง 40% และการทดลองของ Esposito และคณะ (1991) ที่ใช้ เชื้อรา *P.chrysosporium* และ *T.versicolor* สามารถลดความเข้มข้นได้เพียง 13-29% และเมื่อนำเชื้อราเส้นใยสีขาวมาผสมกันมากกว่าหนึ่งสายพันธุ์สามารถลดปริมาณ COD ได้ 74.04% และลดความเข้มข้นได้ 86.59% ซึ่งพบว่าเชื้อราผสมมีประสิทธิภาพดีกว่าเชื้อราสายพันธุ์เดี่ยวซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ Tabak และคณะ (1959) ที่รายงานว่า การทดลองด้วยเชื้อราเส้นใยสีขาวจะมีการย่อยสลายลิกนินโดยการแตกวงแหวนเบนซีนในโมเลกุลของสารนั้น ๆ โดยใช้ ortho หรือ meta pathways กระบวนการดังกล่าวมีสภาพเป็นปฏิกิริยาออกซิเดทีฟอย่างสูงทำให้สามารถลดปริมาณ COD และลดความเข้มข้นให้ลดน้อยลงรวมทั้งข้อสนับสนุนที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราเส้นใยสีขาวที่สามารถย่อยลิกนินพบว่าเชื้อราเส้นใยสีขาวสายพันธุ์เดี่ยวสามารถย่อยสลายลิกนินได้น้อยกว่าเชื้อราเส้นใยสีขาวเชื้อราผสม สายพันธุ์ คือ เชื้อราเส้นใยสีขาวสายพันธุ์เดี่ยวสามารถย่อยลิกนินได้ 45.25 % และเชื้อราเส้นใยสีขาว

ผลสมสายพันธุ์สามารถย่อยสลายได้นินได้ 61.02% จึงเป็นการสนับสนุนการทดลองในครั้งนี้ได้อย่าง
สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

สรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดสีน้ำทิ้งโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษด้วยสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาวซึ่งได้คัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราเส้นใยสีขาวที่มีความสามารถในการลดสีน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จากเชื้อราทั้งหมด 20 สายพันธุ์ พบว่า

1. เชื้อรา 4 สายพันธุ์ที่สามารถลดปริมาณ COD และความเข้มสีได้ดีที่สุด เมื่อใช้ระยะเวลาของการบำบัดน้ำทิ้งในวันที่ 4 ได้แก่ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) , *Datronia* sp. (หมายเลข 03) , *Hexagonia* sp. (หมายเลข 13) และ *Stereum* sp. (หมายเลข 39) โดยสายพันธุ์ *Trichaptum* sp. (หมายเลข 25) ลดปริมาณ COD ได้ 65.93-67.60% ลดความเข้มสีได้ 57.0-70.55% , *Datronia* sp. (หมายเลข 03) ลดปริมาณ COD ได้ 64.73-67.07% ลดความเข้มสีได้ 56.59-69.14% , *Hexagonia* sp. (หมายเลข 13) ลดปริมาณ COD ได้ 64.8-66.0% และลดความเข้มสีได้ 53.8-69.1% และ *Stereum* sp. (หมายเลข 39) ลดปริมาณ COD ได้ 64.0-64.4% และลดความเข้มสีได้ 54.0-69.0% ตามลำดับ

2. ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มสีของเชื้อราเส้นใยสีขาว

สายพันธุ์เดี่ยวและเชื้อราเส้นใยสีขาวผสมสายพันธุ์พบว่าเชื้อราเส้นใยสีขาวผสมสายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มสีและลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าเชื้อราเส้นใยสีขาวสายพันธุ์เดี่ยว โดยเชื้อราผสม สายพันธุ์ 03+39+25 (*Datronia* sp. (หมายเลข 03)) , (*Stereum* sp. (หมายเลข 39)) และ (*Trichaptum* sp. (หมายเลข 25)) สามารถลดปริมาณ COD ได้ดีกว่าเชื้อราผสมสายพันธุ์ชนิดอื่นซึ่งเชื้อราผสมสายพันธุ์ 03+39+25 สามารถลดปริมาณ COD ได้ 74.04% และลดความเข้มสีได้ 86.59% ตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งเป็นเวลา 4 วันของการบำบัดที่สภาวะแบบเติมอาหารนอกจากนี้เชื้อราผสมสายพันธุ์ 03+39+25 ยังสามารถลดปริมาณ COD ได้ 31.67% และลดความเข้มสีได้ 82.50% เมื่อใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งเป็นเวลา 4 วันของการบำบัดที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

3. ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มสีของเชื้อราเส้นใยสีขาวผสมสายพันธุ์ในน้ำทิ้งที่สภาวะแบบเติมอาหารมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ COD และลดความเข้มสีได้ดีกว่าเชื้อราเส้นใยสีขาวผสมสายพันธุ์ในน้ำทิ้งที่สภาวะแบบไม่เติมอาหาร

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงปริมาณของเชื้อราเส้นใยสีขาวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดความเข้มข้นของสีและปริมาณ COD
2. ควรมีการผสมเชื้อราเส้นใยสีขาวที่มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสีและปริมาณ COD ให้หลากหลายสายพันธุ์มากขึ้น
3. ควรมีการนำน้ำทิ้งจากโรงงานประเภทอื่นที่มีส่วนประกอบเป็นสารประกอบลิกนินมาใช้ในการลดปริมาณความเข้มข้นสีและปริมาณ COD
4. เมื่อมีการใช้เชื้อราเส้นใยสีขาวเพื่อลดความเข้มข้นสีและปริมาณ COD แล้วควรนำน้ำที่ได้การบำบัดนั้นมาหาค่าดัชนีคุณภาพของน้ำอื่น ๆ อีก เช่น pH และ BOD และชนิดของสารประกอบลิกนิน เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มินตราการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 442 น.

เกษม จันทรแก้ว. 2545. การจัดการสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสาน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 333 น.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2525. รายงานโครงการศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา
ตอนล่าง. งานคุณภาพน้ำ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 87 น.

ณรงค์ ณี เชียงใหม่. 2525. มลพิษสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 248 น.

ต่อพงศ์ กริธาชาติ. 2544. การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการ
การดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ.

ทศพร ชงทอง. 2529. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนโดยใช้ทราย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. สมาคมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 379 น.

นนทพงษ์ ภาณุกุลกิตติ. 2548. การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการไอโซเนชัน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเสวต. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 318 น.

- พนิดา วงศ์เกียรติจิกร. 2530. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสในสถานะแอนแอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พัฒนา มุลพุกษ์. 2539. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็น. เอส. แอล พรินติ้ง, กรุงเทพฯ. 545 น.
- พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. **เคมีสถานะสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 215 น.
- พรชัย นพนาศิพงษ์. 2527. การผลิตโปรตีนจากยีสต์โดยใช้น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษเป็นวัตถุดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. 2523. การออกแบบขั้นตอนการของระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีววิทยาเล่ม 3- การออกแบบ. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 414 น.
- วุฒินันท์ ศิริพงศ์. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 317 น.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. **พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง**. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 154 น.

- Microbiol. 1984; 47:585-587 .
- Balba, M. T. and W. C. Evans. **The methanogenic fermentation of aromatic substances.** Biochem. Soc. Trans. 1977; 5:302-304.
- Ball, A.S. 1996. **C NMR cross polarization and magic angle spinning (CPMAS) and Gas chromatography/mass spectrometry analysis of the products from a soda Pulp mill Effluent decolourised by two Streptomyces strains.** Ph.D. Thesis. University of Essex, Wivenhoe Park, England.
- Benner, R. and R. E. Hodson. **Thermophilic anaerobic biodegradation of cellulose and Lignocellulose preparations.** Appl. Environ. Microbiol. 1985; 50:971-976.
- Borgmeyer, J. R. and D. L. Crawford. **Production and characterization of polymeric lignin Degradation. Intermediates from two different Streptomyces spp.** Appl. Environ. Microbiol. 1985; 49:273-278.
- Boruff, C. S. and A. M. Buswell. **The anaerobic fermentation of loignin.** J. Am. Chem. Soc. 1934; 56:886-888.
- Clesceri, L. S., A. E. Greenberg, and A. D. Eaton (eds.): **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th ed., American Public Health Association. Washington, DC, 1998.
- Colberg, P. J. and L. Y. Yong. **Anaerobic degradation of soluble fraction of lignocellulose.** Appl. Environ. Microbiol. 1985; 49:345-349.
- Eaton, D. C., H.-M. Chang, T. W. Joyce, T. W. Jeffries, and T. K. Kirk. **Method obtains fungal Reduction of the colour of extraction stage kraft effluents.** Tappi J., 1982; 65, 89-92.
- Eckenfelder, W.W., Jr. 1980. **Principles of water Quality Management.** CBI Publishing company, Inc., London. 717 p.

Esposito E, Canhos VP, Duran N: **Screening of lignin degrading fungi for removal of color from Kraft mill wastewater with no additional extra carbon source**. Biotechnol. Lett. 1991; 13 (8):571-576.

Fukuzumi, K., A. Nishida, K. Aoshima, and K. Minami. Mokuzai Garraishi .1977; 23(6):290.

George, t.a. 1984. **Shrev' s Chemical Process Industries**, 5th ed., McGraw-Hill, Inc., New York. 859 p.

Hanel, K.B., chambers and B.D. Hemminge. 1985. **Biological Treatment of sewage by the Activated Sludge Process**. Ellis Horwood Limited, England. 299 p.

Hatfield R.D. and J., Ralph. 1997. **Should Lignin be Redefined?**. 1997 Reserch summaries, US Diary Forage Reserch Center.

Hungate, R.E. 1950. **The anaerobic mesophilic cellulolytic bacteria**. Bacterial Rev. 14 : 1-48 p.

Kannan K: **Decolorization of pulp and paper mill effluent by *Aspergillus niger***. World J Microbiol.Biotechnol. 1990; 6(2):114-116.

Lee SH, Kondo R, Sakai K: **Treatment of kraft bleaching effluents by lignin-degrading fungi LITreatment by newly found fungus KS-62 without additional nutrients**. Mokuzai Gakkaishi 1994; 40(6):612-619.

Livernoche, D., L. Jurasek, M. Desrochers, J. Dorica, and I. A. VELIKY. **Biotechnol. Bioeng.** 25:2055, 1983.

Mckinney, R.E. 1962. **Microbiology for sanitary Engineers**. McGrawHill, Book Company Inc., New York. 293 p.

Mehna A, Bajpai P, Bajpai PK. **Studies on decolorization of effluent from a small pulp mill Utilizing agriresidues with *Trametes versicolor*. Enzyme Microb. Technol.** 1995; 17 (1):18-22.

Nelson, L.N. and A. Dasgupta. 1991. **Industrial and Hazardous Waste Treatment** 5th ed., Van Nostrand Reinhold, New York. 743 p.

Pellinen J, Yin CF, Joyce TW, Chang HM. 1988. **Treatment of chlorine bleaching effluents using A white rot fungi. J Biotechnol** 8: 67-76.

Tono T, Tani Y, Ono KJ: **Microbial treatment of agricultural industrial waste. Part 1: Adsorptions Of lignins and clarification of lignin containing liquor by mold. Ferment. Technol.** 1968; 46:569-574.

WWW.SCIENCE.COM

ภาคผนวก

อาหารและน้ำยาเคมี

1. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

1.1 Potato dextroseagar (PDA)

มันฝรั่งหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์	200	กรัม
Dextrose	20	กรัม
วุ้น	15	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

ต้มมันฝรั่งด้วยไฟอ่อน ๆ จนเดือดกรองเอาแต่น้ำ ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร นำมาผสมน้ำตาลคนให้ละลายเติมน้ำลงไป ต้มวุ้นจนหลอมหมด บรรจุในฟลasksนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

1.2 Glucose yeast extract broth (GYE)

Glucose	20	กรัม
Yeast extract	3	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

นำน้ำตาลและยีสต์ผสมลงไปในน้ำคนให้ละลาย ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตรบรรจุฟลasksนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

1.3 อาหารของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง

Glucose	30	กรัม
KH_2PO_4	3	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.5	กรัม
KCl	1.5	กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.03	กรัม
NH_4NO_3	5.25	กรัม

นำอาหารทั้งหมดผสมในน้ำทิ้งคนให้ละลาย ตวงใส่ในพลาสติกเพื่อทำการเลี้ยงเชื้อราในน้ำทิ้งต่อไป

2. การเตรียมสารเคมีวิเคราะห์ไอดี

2.1 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม.หนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 มล. และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

2.2 กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

ชั่งซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

วิธีวิเคราะห์ซีไอดีและบี

1. วิเคราะห์ซีไอดี

1.1 คูดสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 1.5 มล. พร้อมทั้งกรดซัลฟูริก และซิลเวอร์ซัลเฟต 3.5 มล. ลงในหลอดซีไอดี ปิดฝาและทำการเขย่า

1.2 คูดน้ำตัวอย่าง 2.5 มล. ใส่ในขวดซีไอดีและทำการเขย่า

1.3 วางหลอดซีไอดีในบล็อค COD Rector ที่มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชม.

1.4 วางข้างนอกให้หลอดซีไอดีที่มีน้ำตัวอย่างให้มีอุณหภูมิห้อง และทำการวิเคราะห์ซีไอดีด้วยความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

2. วิเคราะห์บีโดยใช้วิธี Space Unit (S.U.)

2.1 เตรียมเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วยความยาวคลื่นแสง 450 นาโนเมตร

2.2 ก่อนวัดควรวัดความยาวคลื่นของ Blank (น้ำกลั่น) ก่อนและถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นควรกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกำจัดความขุ่นและวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำที่ความยาวคลื่นที่ตั้งไว้

มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำทิ้ง

1. มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2525)

1. การแบ่งคุณภาพน้ำ

การกำหนดคุณภาพของแหล่งน้ำจืดภายในประเทศเป็นไปตามความสำคัญของการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้น ๆ โดยให้แบ่งระดับคุณภาพของน้ำออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

3.1 คุณภาพระดับ 1 เป็นแหล่งน้ำสะอาดดีมาก ที่ใช้ประโยชน์เพื่อ

1.1.1 การอุปโภคและบริโภค โดยอาจไม่จำเป็นต้องผ่านขบวนการบำบัดน้ำ นอกจากการฆ่าเชื้อโรคอย่างปกติ

1.1.2 หรือเพื่อการอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ โดยให้สิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (primary production) แพร่ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติ

1.1 คุณภาพระดับ 2 เป็นแหล่งน้ำสะอาดดี ที่ใช้ประโยชน์เพื่อ

1.2.1 การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านขบวนการบำบัดโดยทั่วไปก่อนใช้ประโยชน์

1.2.2 การอนุรักษ์สัตว์น้ำโดยทั่วไปให้มีชีวิตอยู่รอด และเอื้ออำนวยต่อการประมง

1.2.3 การพักผ่อนหย่อนใจ

1.2 คุณภาพระดับ 3 เป็นแหล่งน้ำสะอาดปานกลางที่ใช้ประโยชน์เพื่อ

1.3.1 การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านขบวนการบำบัดน้ำโดยทั่วไปก่อนใช้ประโยชน์

1.3.2 การเกษตรกรรม (เพาะปลูก)

1.3 คุณภาพระดับ 4 เป็นแหล่งน้ำสะอาดพอใช้ ที่ใช้ประโยชน์เพื่อ

1.4.1 การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านขบวนการบำบัดน้ำเป็นพิเศษ ให้มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการก่อนใช้ประโยชน์

1.4.2 การอุตสาหกรรม

1.4.3 กิจกรรมอื่น ๆ ที่มีความต้องการน้ำที่มีคุณภาพในระดับนี้

1.5 คุณภาพระดับ 5 เป็นแหล่งน้ำที่ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ข้างต้น แต่อาจใช้ประโยชน์ในด้านการคมนาคมได้

2. กฎเกณฑ์ควบคุมเกี่ยวกับการแบ่งระดับคุณภาพน้ำ

2.1 น้ำที่คุณภาพแต่ละระดับสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับกิจกรรมที่มีความต้องการคุณภาพต่ำกว่าที่ระดับนั้น ๆ ได้

2.2 ค่า pH ของแหล่งน้ำทุกระดับต้องอยู่ระหว่าง 6-8

2.3 ไม่สมควรอนุญาตให้มีการระบายน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทลงสู่แหล่งน้ำระดับ 1

2.4 การทิ้งน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำระดับ 2 จะสามารถกระทำได้ต่อเมื่อผลของการระบายน้ำเสียนั้นไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแหล่งน้ำนั้น ตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

2.4.1 ต้องไม่มีสารเคมีหรือสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ วัตถุและสิ่งของที่ลอยอยู่ สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นและรสผิดไปจากสภาพธรรมชาติ

2.4.2 จะต้องไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิดจากธรรมชาติของแหล่งน้ำนั้น ๆ

2.4.3 อุณหภูมิของแหล่งน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิของแหล่งน้ำนั้น ๆ

4 องค์าเซลเซียส

2.4.4 สารเป็นพิษต่าง ๆ ในแหล่งน้ำนั้นจะต้องไม่พบค่าที่สูงเกินกว่ารายการที่กำหนด ดังนี้

. แอมโมเนีย (NH_3) 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจน

. สารหนู (As) 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

. แคดเมียม (Cd)

1) 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่มีความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO_3

2) 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่มีความกระด้างเกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูป CaCO_3

ง. โครเมียม (Cr hexavalent) 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

จ. ทองแดง (Cu) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฉ. ไฮยาไนด์ (CN) 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

ช. ตะกั่ว (Pb) 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซ. แมงกานีส (Mn) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ณ. ปรอท (Hg) 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร

ญ. นิกเกิล (Ni) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฎ. สังกะสี (Zn) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฎ. ไนเตรต (NO_3^-) 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฐ. ฟีนอล (Phenols) 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

ท. ยาปราบศัตรูพืช (Pesticides) 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฒ. สารกัมมันตภาพรังสี (radioactive) ต้องไม่พบ

2.4.5 จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (total coliform bacteria) ต้องไม่สูงเกินกว่า 5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร (most probable number) และ fecal coliform เกินกว่า 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ซึ่งจำนวนตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง

2.4.6 ค่า บีโอดี (BOD_5) ต้องไม่สูงเกินกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.7 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5 คุณภาพน้ำในระดับ 3 จะมีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขเหมือนกับระดับ 2 ยกเว้นแต่ในข้อ 2.4.5 ถึง 2.4.7 ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

2.5.1 จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (total coliform bacteria) ต้องไม่สูงเกินกว่า 20,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร หรือ fecal coliform ไม่สูงกว่า 4,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

2.5.2 ค่า บีโอดี (BOD_5) ต้องไม่สูงเกินกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5.3 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 คุณภาพน้ำในระดับ 4 มีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขเหมือนกับระดับ 2 ยกเว้นแต่

2.6.1 ค่า บีโอดี (BOD_5) ต้องไม่สูงเกินกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6.2 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6.3 ในกรณีที่จะใช้น้ำจากแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเป็นพิเศษ เพื่อให้มีคุณภาพดีก่อนการนำไปใช้ประโยชน์

2.7 คุณภาพน้ำในระดับ 5 มีเงื่อนไขและหลักเกณฑ์ดังนี้

2.7.1 มีคุณสมบัติดีกว่าแหล่งน้ำที่กำหนดไว้ข้างต้น และมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ ยกเว้นการคมนาคม

2.7.2 แหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำในระดับนี้จะต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขให้มีคุณภาพดีขึ้น

ตารางผนวกที่ 1 มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดโดย WHO Consultant และกระทรวงอุตสาหกรรม

ลักษณะคุณภาพน้ำ	หน่วย	WHO Consultant	กระทรวงอุตสาหกรรม
BOD	mg/l	40	20
COD	mg/l	100	-
Permanganate value	mg/l	-	60
Suspended solids	mg/l	60	30
Dissolved solids	mg/l	2,000	2,000
pH value		5-9	5-9
Sulphide (H ₂ S)	mg/l	3.0	1.0
Cyanide (HCN)	mg/l	1.0	0.2
Oil, grease	mg/l	15.0	none
Tar	mg/l	none	none
Formaldehyde	mg/l	-	1.0
Phenolic	mg/l	0.05	1.0
Free chlorine	mg/l	5.0	1.0
Heavy metal	mg/l	5.0	-
Zinc	mg/l	2.0	ไม่เกิน 1.0
Chromium	mg/l	0.1	ไม่เกิน 1.0
Arsenic	mg/l	-	ไม่เกิน 1.0
Silver	mg/l	-	ไม่เกิน 1.0
Selenium	mg/l	-	ไม่เกิน 1.0
Lead	mg/l	-	ไม่เกิน 1.0
Nickel	mg/l	-	ไม่เกิน 1.0
Copper	mg/l	2.0	-
Iron	mg/l	5.0	-
Insecticide	mg/l	-	none
Pesticide	mg/l	0.01	-
Temperature	°C	40	40
Radioactive material	mg/l	-	none

ตารางผนวกที่ 2 มาตรฐานน้ำดิบกำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขสหรัฐอเมริกา

ไอออน, จุลินทรีย์หรือสาร	การใช้น้ำ			
	แหล่งชุมชน	อุตสาหกรรม	การเกษตร	พักผ่อนหย่อนใจ
Algae, std. Units vol.	1,000 std.	1,000	absence of units	vol toxic algae
Alkalinity, ppm	120	50-150	-	-
Ammonia, ppm	0.1	-	-	0.3
Biochemical oxygen Demand, ppm	max, 1.0-3.0 av. 0.75-1.5	-	-	see DO
Bicarbonates, ppm	150	3-100	-	-
Boron, ppm	1	-	0.2-0.5	-
Cadmium, ppm	0	0	0	0
Calcium, ppm	-	-	40	-
Carbon dioxide, ppm	-	-	20-40	-
Carbonates, ppm	-	200-400	10	-
Chloride, ppm	50	20-250	100	-
Chromium, ppm	0	0.05	0	10.0
Coliform-MPN/100 ml	50	-	-	500-100
Color	20-70	100-1,000	-	-
Copper, ppm	3.0	-	0.2	1.0
Cyanides, ppm	0	0	0	0
Do, ppm	over 4.0	0.2-2.0	0.2	over 4.0
Floating solids	0	0	0	0
Fluoride, ppm	1.5	1.0	-	5.0
Hydrogen ion Concentration, pH	6.5-8.5	6.0-9.6	-	5.0-9.5
Iron, ppm	0.3	0.5	-	-
Magnesium, ppm	-	-	20	-

ตารางผนวกที่ 2 มาตรฐานน้ำดิบกำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขสหรัฐอเมริกา (ต่อ)

ไอออน, จุลินทรีย์หรือสาร	การใช้น้ำ			
	แหล่งชุมชน	อุตสาหกรรม	การเกษตร	พักผ่อนหย่อนใจ
Nitrate, ppm	10	-	-	44
Oil, ppm	0	0	0	0
Phenolic compounds, ppm	0	0.001-0.010	0.005-0.020	0.2-1.0
Radioactivity				
μ (micron) Ci/liter	background	background	background	background
Sodium, ppm	0-10	50	10	-
Suspended solids, ppm	-	-	absence of sludge deposits	-
Total dissolved				
Solids, ppm	1,000	100-1,000	-	-
Temperature, °F				
(desirable)	50	60	60	32-95
Total nitrogen, ppm	10	-	-	10
Turbidity, ppm	0-40	10-50	-	2,000

ที่มา : พิมพ์ และชัยวัฒน์ (2525)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 1

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	1,585	1,587	1,582	1,585	3	675	669	669	671	3
02	916	918	914	916	2	791	789	787	789	2
03	1,547	1,545	1,543	1,545	2	679	681	677	679	2
09	1,400	1,400	1,399	1,400	1	671	671	671	671	-
10	904	904	904	904	-	804	804	804	804	-
11	1,135	1,137	1,133	1,135	2	693	692	694	693	1
12	720	715	718	718	3	756	756	756	756	-
13	1,450	1,447	1,453	1,450	3	680	682	678	680	2
15	482	481	483	482	1	660	662	664	662	2
16	830	830	826	829	2	783	785	781	783	2
25	467	473	470	470	3	648	648	648	648	-
26	488	488	488	488	-	674	674	674	674	-
30	2,328	2,327	2,321	2,325	4	807	811	809	809	2
39	1,532	1,527	1,531	1,530	3	682	681	683	682	1
41	1,010	1,009	1,008	1,009	1	768	768	768	768	-
50	874	876	876	875	1	764	765	763	764	1
51	942	937	941	940	3	767	765	766	766	1
52	1,246	1,241	1,248	1,245	4	770	769	771	770	1
55	1,239	1,236	1,242	1,239	3	797	797	797	797	-
56	843	843	843	843	-	782	782	782	782	-

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 2

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	525	526	518	523	4	725	725	725	725	-
02	498	500	497	498	2	982	983	984	983	1
03	515	520	513	516	4	920	925	923	923	3
09	566	561	563	563	3	1,932	1,928	1,936	1,932	4
10	571	571	571	571	-	1,932	1,802	1,799	1,800	2
11	554	554	560	556	3	2,015	2,009	2,012	2,012	3
12	519	520	512	517	4	1,733	1,733	1,733	1,733	-
13	507	507	504	506	2	813	812	808	811	3
15	555	563	559	559	4	906	912	906	908	3
16	520	521	513	518	4	1,100	1,105	1,107	1,104	4
25	499	499	499	499	-	738	740	742	740	2
26	615	615	612	614	2	1,332	1,332	1,332	1,332	-
30	1,082	1,080	1,078	1,080	2	3,244	3,241	3,235	3,240	5
39	713	713	710	712	2	649	652	649	650	2
41	480	475	479	478	3	949	947	948	948	1
50	523	523	523	523	-	1,551	1,545	1,552	1,549	4
51	521	521	521	521	-	1,655	1,655	1,655	1,655	-
52	584	579	580	581	3	2,162	2,162	2,162	2,162	-
55	484	486	481	484	3	1,288	1,280	1,290	1,286	5
56	480	484	483	482	2	1,880	1,880	1,886	1882	3

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 3

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	493	493	493	493	-	1,316	1,314	1,315	1,315	1
02	456	457	458	457	1	1,325	1,318	1,317	1,320	4
03	517	524	519	520	4	1,375	1,376	1,380	1,377	3
09	510	515	511	512	3	2,068	2,070	2,075	2,071	4
10	484	488	486	486	2	1,817	1,817	1,826	1,820	5
11	524	515	515	518	5	2,177	2,177	2,177	2,177	-
12	474	474	474	474	-	1,953	1,955	1,954	1,954	1
13	502	507	500	503	4	1,013	1,009	1,011	1,011	2
15	510	515	511	512	3	1,187	1,192	1,197	1,192	5
16	481	481	478	480	2	1,468	1,466	1,467	1,467	1
25	483	490	482	485	4	1,008	1,007	1,009	1,008	1
26	525	525	525	525	-	1,730	1,730	1,733	1,731	2
30	793	795	797	795	2	1,869	1,868	1,876	1,871	4
39	505	510	515	510	5	855	855	855	855	-
41	468	472	470	470	2	1,376	1,374	1,375	1,375	1
50	464	465	463	464	1	1,680	1,680	1,680	1,680	-
51	428	429	427	428	1	1,608	1,606	1,613	1,609	4
52	550	540	542	544	5	1,996	1,996	1,999	1,997	2
55	457	465	455	459	5	1,394	1,394	1,397	1,395	2
56	636	635	634	635	1	2,032	2,028	2,027	2,029	3

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 4

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	502	501	503	502	1	1,315	1,315	1,315	1,315	-
02	496	496	496	496	-	1,670	1,670	1,670	1,670	-
03	492	497	493	494	3	1,154	1,157	1,154	1,155	2
09	520	522	520	521	1	2,025	2,022	2,027	2,025	3
10	455	458	453	455	3	1,891	1,890	1,889	1,890	1
11	514	519	515	516	3	2,303	2,305	2,308	2,305	3
12	453	453	453	453	-	1,960	1,963	1,966	1,963	3
13	528	527	529	528	1	1,113	1,113	1,113	1,113	-
15	555	556	560	557	3	1,100	1,100	1,100	1,100	-
16	476	480	475	477	3	1,877	1,877	1,876	1,877	1
25	511	511	511	511	-	1,018	1,022	1,017	1,019	3
26	525	529	524	526	3	1,773	1,775	1,777	1,775	2
30	461	460	465	462	3	1,855	1,856	1,857	1,856	1
39	539	540	541	540	1	842	844	843	843	1
41	484	483	482	483	1	1,934	1,933	1,935	1,934	1
50	476	473	479	476	3	1,810	1,810	1,810	1,810	-
51	460	462	457	460	3	1,703	1,700	1,703	1,702	2
52	551	551	551	551	-	1,888	1,888	1,888	1,888	-
55	442	446	441	443	3	1,418	1,418	1,418	1,418	-
56	446	446	446	446	-	2,123	2,123	2,123	2,123	-

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 5

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	493	493	493	493	-	1,457	1,457	1,457	1,457	-
02	519	519	519	519	-	1,963	1,968	1,964	1,965	3
03	496	495	494	495	1	1,022	1,020	1,021	1,021	1
09	566	567	565	566	1	2,083	2,081	2,082	2,082	1
10	539	538	543	540	3	2,044	2,044	2,050	2,046	3
11	520	523	520	521	2	2,222	2,230	2,227	2,228	2
12	520	520	520	520	-	1,955	1,953	1,953	1,954	1
13	496	495	494	495	1	1,069	1,069	1,069	1,069	-
15	506	506	506	506	-	1,311	1,313	1,315	1,313	2
16	533	539	535	536	3	2,339	2,235	2,232	2,232	3
25	499	499	499	499	-	1,042	1,044	1,047	1,044	3
26	523	523	520	522	2	1,643	1,643	1,643	1,643	-
30	522	522	522	522	-	1,417	1,417	1,417	1,417	-
39	472	470	472	471	1	839	837	838	838	1
41	540	546	540	542	3	2,126	2,128	2,125	2,126	2
50	517	517	517	517	-	1,950	1,950	1,950	1,950	-
51	496	496	496	496	-	1,851	1,851	1,851	1,851	-
52	508	508	508	508	-	1,586	1,586	1,586	1,586	-
55	538	536	540	538	2	1,556	1,555	1,554	1,555	1
56	496	499	493	496	3	2,209	2,206	2,203	2,206	3

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 1

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	496	495	494	495	1	957	957	957	957	-
02	891	891	891	891	-	1,006	1,010	1,008	1,008	2
03	556	559	554	556	3	955	955	955	955	-
09	502	504	506	504	2	1,000	998	999	999	1
10	980	985	981	982	3	1,036	1,036	1,038	1,037	1
11	825	828	825	826	2	1,124	1,130	1,127	1,127	3
12	776	775	774	775	1	1,067	1,067	1,067	1,067	-
13	506	506	506	506	-	1,013	1,013	1,013	1,013	-
15	529	529	529	529	-	966	966	966	966	-
16	857	860	863	860	3	1,055	1,054	1,053	1,054	1
25	528	532	530	530	2	924	924	924	924	-
26	538	540	542	540	2	978	977	982	979	3
30	2,289	2,290	2,292	2,290	2	1,038	1,041	1,037	1,039	2
39	569	569	569	569	-	1,013	1,012	1,011	1,012	1
41	983	983	983	983	-	1,032	1,032	1,032	1,032	-
50	970	970	970	970	-	1,105	1,105	1,108	1,106	2
51	1,307	1,310	1,307	1,308	2	1,405	1,408	1,405	1,406	2
52	499	499	499	499	-	990	990	990	990	-
55	1,219	1,218	1,223	1,220	3	961	961	961	961	-
56	793	791	792	792	1	1,069	1,069	1,069	1,069	-

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 2

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	762	762	762	762	-	906	906	906	906	-
02	520	520	520	520	-	1,222	1,221	1,223	1,222	1
03	557	556	555	556	1	1,326	1,330	1,328	1,328	1
09	573	577	575	575	2	1,751	1,752	1,753	1,752	2
10	508	512	510	510	2	1,431	1,432	1,433	1,432	2
11	614	617	611	614	3	2,186	2,191	2,187	2,188	3
12	590	590	590	590	-	1,980	1,981	1,980	1,980	-
13	558	558	558	558	-	1,075	1,075	1,075	1,075	-
15	538	538	538	538	-	905	905	905	905	-
16	503	504	505	504	1	1,398	1,401	1,404	1,401	3
25	519	521	523	521	2	580	579	578	579	1
26	1,254	1,256	1,258	1,256	2	1,245	1,244	1,243	1,244	1
30	467	467	467	467	-	1,604	1,604	1,604	1,604	-
39	894	895	893	894	1	2,501	2,501	2,501	2,501	-
41	703	703	703	703	-	1,001	1,001	1,001	1,001	-
50	536	536	536	536	-	1,920	1,917	1,917	1,918	2
51	514	515	513	514	1	2,002	2,008	2,005	2,005	3
52	550	549	551	550	1	1,916	1,914	1,913	1,914	2
55	474	472	470	472	2	1,589	1,588	1,590	1,589	1
56	491	495	493	493	2	2,005	2,005	2,005	2,005	-

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดี่ยวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 3

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	523	523	523	523	-	1,414	1,414	1,414	1,414	-
02	461	463	459	461	2	1,427	1,428	1,426	1,427	1
03	521	521	521	521	-	1,452	1,453	1,454	1,453	1
09	553	551	549	551	2	2,188	2,190	2,192	2,190	2
10	512	511	513	512	1	1,662	1,661	1,660	1,661	1
11	525	527	526	526	1	2,015	2,015	2,015	2,015	-
12	508	508	508	508	-	2,119	2,119	2,119	2,119	-
13	525	527	523	525	2	1,459	1,461	1,463	1,461	2
15	501	501	501	501	-	1,279	1,279	1,279	1,279	1
16	475	476	474	475	1	1,676	1,676	1,676	1,676	-
25	523	522	524	523	1	802	802	802	802	-
26	776	778	774	776	2	1,489	1,490	1,491	1,490	1
30	474	474	474	474	-	1,681	1,683	1,685	1,683	2
39	568	567	566	567	1	2,411	2,411	2,411	2,411	-
41	801	801	801	801	-	1,201	1,201	1,201	1,201	-
50	521	521	521	521	-	2,061	2,058	2,055	2,058	3
51	487	490	484	487	3	2,299	2,299	2,299	2,299	-
52	539	539	539	539	-	1,967	1,968	1,966	1,967	1
55	467	467	467	467	-	1,581	1,580	1,582	1,581	1
56	498	498	498	498	-	2,297	2,298	2,296	2,297	1

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 4

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	527	527	527	527	-	1,939	1,939	1,939	1,939	-
02	448	448	448	448	-	1,961	1,961	1,961	1,961	-
03	529	529	529	529	-	1,394	1,394	1,394	1,394	-
09	514	514	514	514	-	2,110	2,110	2,110	2,110	-
10	440	440	440	440	-	1,574	1,575	1,573	1,574	1
11	531	530	532	531	1	1,951	1,953	1,949	1,951	2
12	462	464	460	462	2	2,138	2,138	2,138	2,138	-
13	510	510	510	510	-	1,325	1,324	1,324	1,324	1
15	524	527	521	524	3	1,244	1,245	1,246	1,245	1
16	475	476	474	475	1	1,805	1,807	1,809	1,807	2
25	486	484	488	486	2	784	784	784	784	-
26	623	623	623	623	-	1,758	1,758	1,758	1,758	-
30	454	453	455	454	1	1,655	1,655	1,655	1,655	-
39	533	533	533	533	-	1,976	1,975	1,977	1,976	1
41	457	456	458	457	1	1,807	1,807	1,807	1,807	-
50	477	478	476	477	1	2,102	2,102	2,102	2,102	-
51	455	453	452	453	2	2,082	2,082	2,082	2,082	-
52	520	520	520	520	-	1,884	1,884	1,884	1,884	-
55	467	467	467	467	-	1,783	1,783	1,783	1,783	-
56	481	481	481	481	-	2,224	2,224	2,224	2,224	-

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) สายพันธุ์เดียวที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 5

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
01	531	531	531	531	-	1,854	1,854	1,854	1,854	-
02	498	498	498	498	-	1,850	1,850	1,850	1,850	-
03	473	475	471	473	2	1,124	1,124	1,124	1,124	-
09	508	508	508	508	-	1,946	1,946	1,946	1,946	-
10	511	511	511	511	-	1,410	1,410	1,410	1,410	-
11	534	533	535	534	1	1,500	1,505	1,505	1,503	3
12	504	504	504	504	-	1,998	1,998	1,998	1,998	-
13	414	414	414	414	-	935	935	935	935	-
15	515	515	515	515	-	1,266	1,266	1,266	1,266	-
16	514	514	514	514	-	1,666	1,666	1,666	1,666	-
25	499	499	499	499	-	855	855	855	855	-
26	588	588	588	588	-	2,206	2,206	2,206	2,206	-
30	494	496	492	494	2	1,226	1,225	1,227	1,226	1
39	313	313	313	313	-	1,631	1,633	1,629	1,631	2
41	487	487	487	487	-	1,308	1,308	1,308	1,308	-
50	517	517	517	517	-	2,049	2,049	2,049	2,049	-
51	516	516	516	516	-	1,928	1,928	1,928	1,928	-
52	496	496	496	496	-	1,543	1,543	1,543	1,543	-
55	538	538	538	538	-	2,004	2,004	2,004	2,004	-
56	511	511	511	511	-	2,189	2,189	2,189	2,189	-

**ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว
(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของ
การบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 1**

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	1,140	1,140	1,140	1,140	-	519	519	519	519	-
03+13+25	1,176	1,176	1,176	1,176	-	503	503	503	503	-
13+25+39	1,294	1,294	1,294	1,294	-	526	526	526	526	-
03+13+39	1,276	1,276	1,276	1,276	-	508	508	508	508	-
13+25	1,435	1,432	1,429	1,432	3	508	508	508	508	-
13+39	1,311	1,311	1,311	1,311	-	535	535	535	535	-
25+39	1,071	1,071	1,071	1,071	-	521	521	521	521	-
03+13	1,364	1,363	1,364	1,364	1	540	540	540	540	-
03+25	1,173	1,172	1,174	1,173	1	519	518	520	519	1
03+13+25+39	1,379	1,381	1,380	1,380	1	542	545	548	545	3

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 2

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	1,421	1,420	1,419	1,420	1	526	525	527	526	1
03+13+25	1,480	1,480	1,480	1,480	-	553	553	553	553	-
13+25+39	1,401	1,401	1,401	1,401	-	524	524	524	524	-
03+13+39	1,467	1,467	1,467	1,467	-	553	556	550	553	3
13+25	1,466	1,466	1,466	1,466	-	574	574	574	574	-
13+39	1,385	1,387	1,389	1,387	2	577	577	577	577	-
25+39	1,369	1,366	1,372	1,369	3	524	524	524	524	-
03+13	1,425	1,425	1,425	1,425	-	549	553	551	551	2
03+25	1,364	1,364	1,364	1,364	-	567	567	567	567	-
03+13+25+39	1,392	1,392	1,392	1,392	-	520	520	520	520	-

**ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว
(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของ
การบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 3**

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	984	984	984	984	-	466	466	466	466	-
03+13+25	1,363	1,363	1,363	1,363	-	486	486	486	486	-
13+25+39	1,120	1,120	1,120	1,120	-	482	482	482	482	-
03+13+39	1,052	1,052	1,052	1,052	-	518	518	518	518	-
13+25	1,328	1,329	1,330	1,329	1	572	572	572	572	-
13+39	1,052	1,052	1,052	1,052	-	545	545	545	545	-
25+39	915	915	915	915	-	515	515	515	515	-
03+13	1,475	1,477	1,479	1,477	2	477	477	477	477	-
03+25	1,363	1,363	1,363	1,363	-	492	492	492	492	-
03+13+25+39	1,208	1,206	1,210	1,208	2	535	535	535	535	-

**ตารางผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว
(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของ
การบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 4**

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	389	389	389	389	-	295	295	295	295	-
03+13+25	559	559	559	559	-	307	307	307	307	-
13+25+39	571	571	571	571	-	318	318	318	318	-
03+13+39	712	712	712	712	-	296	296	296	296	-
13+25	843	843	843	843	-	323	323	323	323	-
13+39	884	884	884	884	-	296	296	296	296	-
25+39	428	428	428	428	-	296	296	296	296	-
03+13	521	521	521	521	-	540	540	540	540	-
03+25	1,359	1,361	1,363	1,361	2	508	508	508	508	-
03+13+25+39	875	875	875	875	-	503	503	503	503	-

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบเดิมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 5

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	882	882	882	882	-	372	372	372	372	-
03+13+25	1,028	1,028	1,028	1,028	-	471	471	471	471	-
13+25+39	1,070	1,070	1,070	1,070	-	424	424	424	424	-
03+13+39	879	880	881	880	1	392	392	392	392	-
13+25	962	962	962	962	-	503	504	502	503	1
13+39	949	949	949	949	-	408	408	408	408	-
25+39	828	831	825	828	3	339	339	339	339	-
03+13	993	993	993	993	-	567	567	567	567	-
03+25	984	984	984	984	-	466	469	463	466	3
03+13+25+39	1,212	1,211	1,213	1,212	1	450	450	450	450	-

**ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มสีของเชื้อราเส้นใยสีขาว
(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของ
การบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 1**

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มสี				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	1,139	1,139	1,139	1,139	-	524	524	524	524	-
03+13+25	1,83	1,183	1,183	1,183	-	507	507	507	507	-
13+25+39	1,297	1,297	1,297	1,297	-	525	525	525	525	-
03+13+39	1,276	1,276	1,276	1,276	-	511	511	511	511	-
13+25	1,445	1,445	1,445	1,445	-	513	514	512	513	1
13+39	1,328	1,328	1,328	1,328	-	545	545	545	545	-
25+39	1,318	1,318	1,318	1,318	-	534	534	534	534	-
03+13	1,078	1,078	1,078	1,078	-	521	520	522	521	1
03+25	1,377	1,377	1,377	1,377	-	540	540	540	540	-
03+13+25+39	1,174	1,176	1,172	1,174	2	519	519	519	519	-

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มสีของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 2

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มสี (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	953	953	953	953	-	502	502	502	502	-
03+13+25	1,122	1,122	1,122	1,122	-	547	547	547	547	-
13+25+39	990	990	990	990	-	530	530	529	530	1
03+13+39	977	980	983	980	3	543	543	543	543	-
13+25	967	967	967	967	-	521	521	521	521	-
13+39	1,482	1,482	1,482	1,482	-	592	592	592	592	-
25+39	1,023	1,023	1,023	1,023	-	566	569	572	569	3
03+13	1,018	1,018	1,018	1,018	-	521	521	521	521	-
03+25	1,045	1,044	1,044	1,044	1	550	550	550	550	-
03+13+25+39	1,016	1,016	1,016	1,016	-	562	562	562	562	-

**ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มสีของเชื้อราเส้นใยสีขาว
(White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของ
การบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 3**

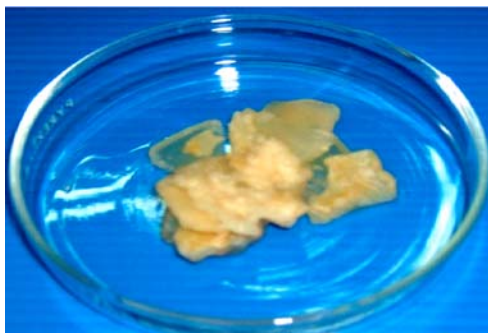
เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มสี				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	1,89	1,189	1,189	1,189	-	447	447	447	447	-
03+13+25	1,301	1,301	1,301	1,301	-	528	528	528	528	-
13+25+39	1,337	1,335	1,339	1,337	2	519	519	519	519	-
03+13+39	1,261	1,261	1,261	1,261	-	584	586	582	584	2
13+25	1,128	1,128	1,128	1,128	-	611	611	611	611	-
13+39	1,030	1,030	1,030	1,030	-	583	583	583	583	-
25+39	1,267	1,266	1,268	1,267	1	498	496	500	498	2
03+13	1,100	1,100	1,100	1,100	-	556	556	556	556	-
03+25	1,456	1,456	1,456	1,456	-	515	514	516	515	1
03+13+25+39	1,472	1,472	1,472	1,472	-	535	535	535	535	-

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 4

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ COD (mg/l)					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น (PtCo Unit)				
				เฉลี่ย	SD				เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	1,025	1,025	1,025	1,025	-	385	385	385	385	-
03+13+25	1,392	1,392	1,392	1,392	-	520	520	520	520	-
13+25+39	1,422	1,422	1,422	1,422	-	532	532	532	532	-
03+13+39	1,317	1,317	1,317	1,317	-	498	498	498	498	-
13+25	1,293	1,292	1,294	1,293	1	543	543	543	543	-
13+39	1,428	1,428	1,428	1,428	-	503	503	503	503	-
25+39	1,215	1,215	1,215	1,215	-	384	386	388	386	2
03+13	1,239	1,236	1,242	1,239	3	500	500	500	500	-
03+25	1,492	1,492	1,492	1,492	-	900	900	900	900	-
03+13+25+39	1,482	1,482	1,482	1,482	-	850	850	850	850	-

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ COD และความเข้มข้นของเชื้อราเส้นใยสีขาว (White-rot Fungi) ผสมสายพันธุ์ที่สภาวะแบบไม่เติมอาหารที่ระยะเวลาของการบำบัดในน้ำทิ้งวันที่ 5

เชื้อรา+ น้ำทิ้ง	จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ปริมาณ					จำนวนครั้งในการ วิเคราะห์ความเข้มข้น				
	COD (mg/l)			เฉลี่ย	SD	(PtCo Unit)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
03+39+25	966	967	968	967	1	469	469	469	469	-
03+13+25	1,455	1,455	1,455	1,455	-	804	804	804	804	-
13+25+39	1,478	1,478	1,478	1,478	-	720	720	720	720	-
03+13+39	1,258	1,258	1,258	1,258	-	664	664	664	664	-
13+25	1,489	1,491	1,493	1,491	2	857	860	863	860	3
13+39	1,491	1,491	1,491	1,491	-	694	694	694	694	-
25+39	1,368	1,368	1,368	1,368	-	402	402	402	402	-
03+13	1,176	1,176	1,176	1,176	-	576	575	575	575	1
03+25	1,496	1,496	1,496	1,496	-	955	955	955	955	-
03+13+25+39	1,493	1,493	1,493	1,493	-	796	796	796	796	-



Cymatoderma sp. (หมายเลข 01)



Hexagonia sp. (หมายเลข 02)



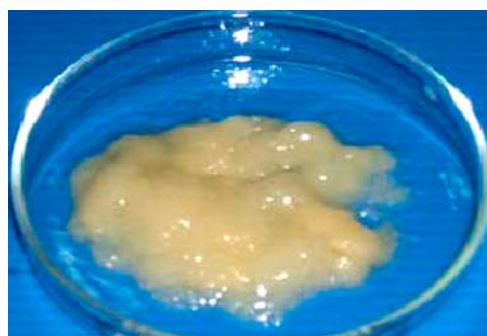
Datronia sp. (หมายเลข 03)



Irepex sp. (หมายเลข 09)



Trichaptum sp. (หมายเลข 10)



Phellinus sp. (หมายเลข 11)

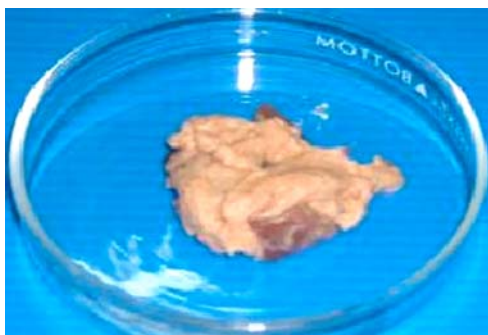
ภาพที่ 1 ลักษณะของเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่เลี้ยงใน GYE ระยะเวลา 5 วัน



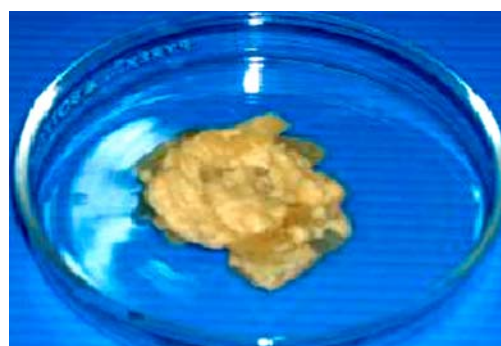
Stereum oystrea sp. (หมายเลข 12)



Hexagonia sp. (หมายเลข 13)



Microporus affinis sp (หมายเลข 15)



Phellinus sp. (หมายเลข 16)

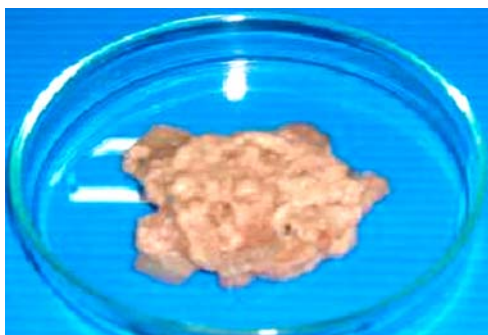


Trichaptum sp. (หมายเลข 25)



Schizophyllum commune sp. (หมายเลข 26)

ภาพที่ 1 (ต่อ)



Ganoderma sp. (หมายเลข 30)



Stereum sp. (หมายเลข 39)



Cymatomerma sp. (หมายเลข 41)



Trametes sp. (หมายเลข 50)

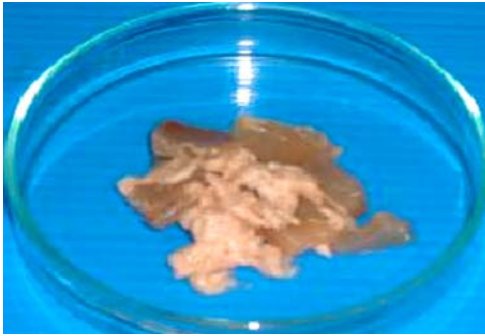


Tyromyces sp. (หมายเลข 51)

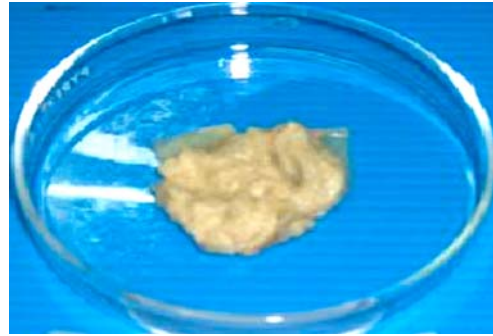


Marasmiellus sp. (หมายเลข 52)

ภาพที่ 1 (ต่อ)



Pycnopus sp. (หมายเลข 55)



Tetrapygoe sp. (หมายเลข 56)

ภาพที่ 1 (ต่อ)