



ภาคผนวก

โครงการ "การใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงบำบัดซีโอดีในน้ำออกจากระบบชีวภาพที่บำบัดน้ำชะ
ซีเมนต์จากหลุมฝังกลบมั่นคง"

โดย ผศ.ดร. จินต์ อโณทัย และคณะ

ธันวาคม 2547

ภาคผนวก

โครงการ "การใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงบำบัดซีโอทีในน้ำออกจากระบบชีวภาพที่บำบัดน้ำชะ
ซีเมนต์จากหลุมฝังกลบมั่นคง"

คณะผู้วิจัย

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. ดร. จินต์ อโนทัย | ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. นายชัยโรจน์ เตียววงศ์สมบัติ | ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. นายเชษฐา ถาวรศักดิ์ | ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ภาคผนวก ก
บทความสำหรับการเผยแพร่

การใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงบำบัดซีโอดีในน้ำออกจากระบบชีวภาพที่บำบัดน้ำชะซึมจากหลุมฝังกลบมั่นคง

บทนำ

น้ำชะซึม (Leachate) จากหลุมฝังกลบมั่นคง (Secured Landfill) จะถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากที่เป็นของเสียเสี่ยงอันตราย (Hazardous Wastes) ซึ่งถูกฝังอยู่ในหลุมฝังกลบมั่นคง เป็นผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพทั่วไปไม่สามารถลดสารมลพิษอินทรีย์โดยเฉพาะในรูปของซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในบางกรณีมีค่าซีโอดีไม่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่เข้มงวดที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ที่ 120 ถึง 400 (ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม) และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation Processes) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยอาศัยการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical) ซึ่งมีศักยภาพออกซิเดชันสูงกว่าคลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโอโซนซึ่งเป็นสารออกซิแดนท์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายของกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงจะสูงกว่าระบบชีวภาพ แต่เนื่องจากความสามารถในการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์โดยเฉพาะในรูปของซีโอดีให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของทางราชการได้ หรืออย่างน้อยสามารถเปลี่ยนสารมลพิษอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากให้อยู่ในรูปที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ทำให้กระบวนการนี้ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในกรณีที่น้ำเสียอยู่ในประเภทที่ย่อยสลายยาก (Refractory Wastewater)

อย่างไรก็ดีการนำกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงไปประยุกต์ใช้งานจำเป็นต้องมีการศึกษาในรายละเอียดเสียก่อนเนื่องจากประสิทธิภาพในการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสียเป็นสำคัญ ทำให้วิศวกรหรือนักวิทยาศาสตร์ต้องทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะกำจัดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำที่สุด จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ในการที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเฟนตอนและกระบวนการยูวี/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นหน่วยบำบัดขั้นสุดท้าย (Post Treatment) สำหรับน้ำชะซึมจากหลุมฝังกลบมั่นคง ตลอดจนทำการประมาณการณเบื้องต้นของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้กระบวนการรีดักชันด้วยเหล็กประจุศูนย์ในการเปลี่ยนรูปสารมลพิษอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพยากให้สามารถย่อยสลายได้ดีขึ้น น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษามาจากสองแหล่งคือ น้ำออกจากระบบบำบัดขั้นสองด้วยกระบวนการทางชีวภาพของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และน้ำออกจากระบบบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในจังหวัดราชบุรี

วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงในการบำบัดน้ำชะซึมจากหลุมฝังกลบมันคงที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นหรือขั้นสอง
- 2) ประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

กระบวนการเฟนตอน

● น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่จังหวัดระยองมีค่าทีโอซี ซีโอดี และบีโอดีเท่ากับ 1,511, 5,731 และ 217 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเฟนตอนภายใต้สภาวะที่ศึกษาสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้เพียงร้อยละ 20 ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนของอนุมูลคลอไรด์และอนุมูลไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในน้ำเสีย อย่างไรก็ตามหากทำการกระบวนการเฟนตอนซ้ำเพื่อให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอนุมูลเพอร์ร็อกซิมีโอกาสดำเนินการร่วมกันที่ความเข้มข้นสูงๆจะสามารถลดสารอินทรีย์คาร์บอนได้เพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 45 เมื่อมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง ที่ความเข้มข้นของอนุมูลเพอร์ร็อกซิและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และการทำซ้ำครั้งที่ 4 ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้เพิ่มอีก

● ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของกระบวนการเฟนตอนแบบทำซ้ำที่ความเข้มข้นของอนุมูลเพอร์ร็อกซิและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับสูงถึงร้อยละ 75 ในการทำซ้ำครั้งที่ 4 ถึงแม้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนจะไม่ลดลงแล้วก็ตาม ซึ่งเห็นว่าสารมลพิษอินทรีย์ที่เหลืออยู่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์โดยสมบูรณ์ได้ แต่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารตัวกลาง (Intermediates) ที่มีสัดส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอนสูงขึ้น

● เพื่อให้สามารถลดซีโอดีจากสูงกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรให้เหลือต่ำกว่า 750 มิลลิกรัมต่อลิตรอันเป็นมาตรฐานของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จำเป็นต้องทำการกระบวนการเฟนตอนที่ความเข้มข้นของอนุมูลเพอร์ร็อกซิและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ 5 ครั้งซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในด้านของสารเคมีประมาณ 1,700 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และเกิดสลัดจ์แห้งจากกระบวนการเฟนตอนที่ต้องนำไปกำจัดต่อไปอีกประมาณ 38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การรีดักชันด้วยเหล็กประจุศูนย์

● การรีดักชันด้วยเหล็กประจุศูนย์ไม่มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นสองด้วยกระบวนการทางชีวภาพของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่นิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เนื่องจากเหล็กประจุศูนย์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำก่อนสารมลพิษอินทรีย์ส่วนใหญ่ ทำให้ไม่เกิดการลดของสารอินทรีย์และซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ

● เหล็กประจุศูนย์สามารถทำปฏิกิริยารีดอกซ์กับสารมลพิษอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำเสียได้ดีที่พีเอช

กระบวนการยูวีและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

- น้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมที่จังหวัดราชบุรีมีค่าที่ไอซี ซีไอดี และบีไอดีเท่ากับ 338, 1,155 และ 254 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียเหล่านี้ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือแสงยูวีแต่เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง

- สารมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียไม่สามารถระเหยง่ายอย่างที่อุณหภูมิ 25 เซลเซียส, 1 ความดันบรรยากาศ และพีเอช 3.0, 7.0 และ 8.9

- เมื่อพีเอชสูงขึ้นอยู่ในช่วงที่เป็นด่างจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนลดลงอันเนื่องมาจากการแย่งใช้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลของอนุมูลไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต โดยประสิทธิภาพที่พีเอช 3.0, 5.0 และ 7.0 มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 70

- เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก 1,178 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 2,356 และ 4,712 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนสูงขึ้น อัตราการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 1,178 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 2,356 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีกถึงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าอัตราการกำจัดดังกล่าวเป็นอัตราสูงสุดภายใต้สภาวะต่างๆที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ การแบ่งเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สองครั้งให้ผลไม่แตกต่างจากการเติมครั้งเดียวที่ปริมาณรวมเท่ากัน

- การเพิ่มพลังงานของแสงยูวีจาก 60 วัตต์ (90 ลักซ์) เป็น 120 วัตต์ (172 ลักซ์) จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 70 แต่ถ้าเพิ่มขึ้นเป็น 180 (246 ลักซ์) และ 240 วัตต์ (339 ลักซ์) ตามลำดับจะให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย

- สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่พีเอช 7 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 4,712 มิลลิกรัมต่อลิตร และพลังงานของแสงยูวีที่ 180 วัตต์ เป็นเวลา 240 นาที โดยสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและซีไอดีลงเหลือ 39 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือคิดเป็นร้อยละ 88 และ 87 ตามลำดับ ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในรูปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และแสงยูวีเท่ากับ 1,101 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้และที่ดำเนินการมา

ตารางที่ ข.1 การเปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ (■) และที่ทำได้จริง (■)

การดำเนินงาน	46	47												
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น														
2. การเตรียมอุปกรณ์														
3. การทดลองกระบวนการ เฟ้นตอน														
4. การทดลองกระบวนการรีดักชัน ด้วยหลักประจุนย์														
5. การทดลองกระบวนการยูวีและ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์						<								