

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์



นายอภิชาติ ไชยชนตรี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

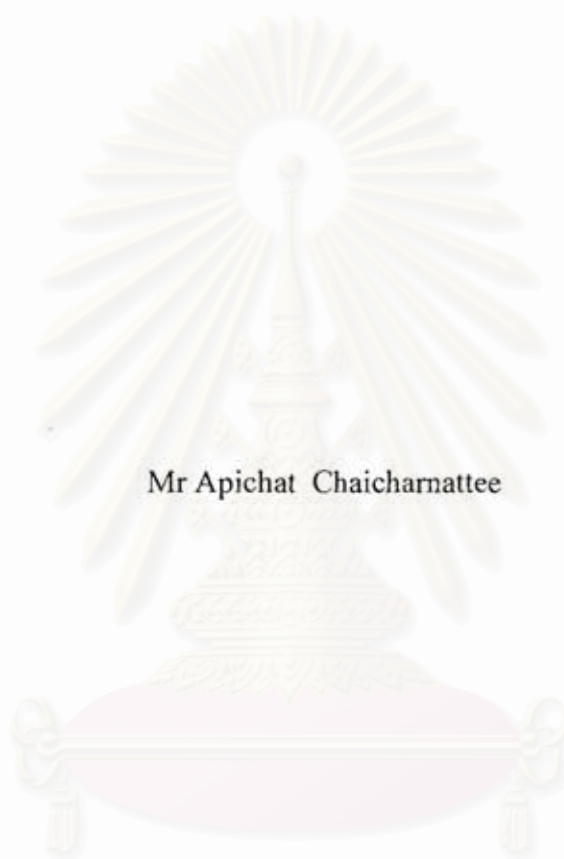
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES



Mr Apichat Chaicharnattee

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006


491760

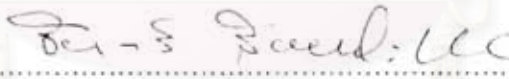
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์
โดย	นายอภิชาติ ไชยชนตรติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เทระก สว่างเสีตรี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพิศุภย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

อภิชาติ ไชยชนนครตี : การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์. (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES)อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ ศัตรูประเสริฐ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม; 121 หน้า.

Degussa P-25 เป็นไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่กำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ การนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดของเสีย ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าเป็นเวลามากกว่า 20 ปี แล้ว โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียของ Degussa P-25 ได้รับการยอมรับในหลายงานวิจัยแล้วว่า มีประสิทธิภาพสูงเหมาะแก่การนำมาใช้ในการกำจัดของเสีย แต่ยังไม่มียานวิจัยใดที่ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณากระบวนการกำจัดของเสียทั้งหมด 5 ชนิด คือ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฟีนอลิกเรซิน ไนโตรเบนซีน สีย้อมเมทิลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์ 4 ซึ่งถือว่าเป็นสารมลพิษที่มีความเป็นพิษสูง และกำจัดได้ยากด้วยวิธีทางชีวภาพ และนิยมกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 มาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดของเสียวิธีอื่น ๆ เพื่อที่จะบ่งชี้ถึงแนวทางในการนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดของเสีย โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 ซึ่งพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดของเสียจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของของเสีย ปริมาณของเสีย และวิธีการกำจัดของเสีย โดยที่กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน ไนโตรเบนซีน และกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดี และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และสีย้อมเมทิลีนบลู นอกจากนี้ในยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ จากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย พบว่ากระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินโดยการส่งไปเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นวิธีที่จะใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำที่ดี เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และมีต้นทุนในการกำจัดและการขนส่งต่ำ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต..... อภิชาติ ไชยชนนครตี
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศัตรู ประเสริฐ
ปีการศึกษา..... 2549..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... สุรเทพ เขียวหอม

4770526021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : DEGUSSA P-25 / WASTE TREATMENT / ENVIRONMENTAL IMPACTS / LIFE CYCLE ASSESSMENT

APICHA CHAICHARNATTEE : LIFE CYCLE ASSESSMENT OF APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR CHAIRIT SATAYAPRASERT, DR.ING. THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, PH.D, 113 pp.

Degussa P-25 is a commercial titanium dioxide nanoparticles that is used to waste treatment for twenty years ago. Degussa P-25 has a high efficiency rate for waste treatment therefore it has many ways to researching about it. There has not been a person who research Degussa P-25 and the environmental impact. This research assessed treatment with Degussa P-25 for nitrogen oxide, phenolic resin, nitrobenzene, methylene blue dye and orange 4 dye, are the toxic substances and hard to damage with biological treatments. The environmental impact assessment of waste treatments has been realized by means of the Life Cycle Assessment (LCA) technique, in order to indicate the way to use Degussa P-25 for waste treatments. The software SimaPro 6.0, developed by Dutch Pr'e Consultants, has been used as the LCA analysis tool, Eco-Indicator 99 have been applied. The results show that the amount of environmental impact of waste treatments depends on the type and the amount of waste and the method of waste treatments. Waste treatment with Degussa P-25 is suitable for phenolic resin, nitrobenzene and orange 4 dye treatments because of high efficiency and low environmental impact, but not suitable for nitrogen oxide and nitrobenzene treatment. In addition, this research has a case study of treatment of phenolic resin waste from the chemical industry in Thailand to find that phenolic resin treatment with incinerator in Portland cement plant have high efficiency, low environmental impact and low cost.

Department....Chemical.Engineering.....Student's signature.....*Apichat Chaicharnattee*
 Field of study..Chemical.Engineering.....Advisor's signature.....*Chairit Satayaprasert*
 Academic year2006.....Co-advisor's signature.....*Soorathep Kheawhom*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดการทำงานวิจัย และอาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมที่ชี้แนะและดูแลการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพิฤกษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจ็ด จงสมจิตร ในฐานะคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจในระหว่าง การศึกษาจนสำเร็จได้ด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	01
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	02
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	02
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	03
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	03
1.6 เนื้อหาในแต่ละบท	04
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	05
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	05
2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต	10
2.3 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ปฏิกริยาสังเคราะห์แสงของไททาเนียม ไดออกไซด์	22
3.2 กระบวนการกำจัดของเสีย	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	60
4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดของเสีย	60
4.2 กรณีศึกษา : กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย.....	81
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดฟีนอลิกเรซิน.....	101
ต่อการเกิดภาวะ โลกร้อน	
4.4 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปัญหาภาวะ โลกร้อนด้วย โปรแกรม.....	105

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	109
รายการอ้างอิง	113
ภาคผนวก	117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	121



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แสดงขอบเขตของงานวิจัย	03
2. แสดงกระบวนการกำจัด ไตรคลอโรเอเทน(TCE)ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25	05
3. แสดงภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการ บำบัดทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้ Degussa P-25	06
4. แสดงแผนภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการ บำบัดทางชีวภาพเบื้องต้นจาก โรงงานผลิตสิ่งทอ โดยใช้ Degussa P-25	07
5. แสดงภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัด ทางชีวภาพเบื้องต้นจาก โรงงานผลิตสิ่งทอ โดยใช้ Degussa P-25	07
6. แสดงขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิต	10
7. แสดงแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99	13
8. แสดงการนำไปใช้งานของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	18
9. แสดงการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการต่อต้านจุลชีพ	19
10. แสดงการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดอากาศเสีย	20
11. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของไททาเนียมไดออกไซด์	22
12. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25	25
13. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย	27
14. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรีย ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์	29
15. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25	31
16. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25...32	32
17. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	34
18. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	36
19. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25	39
20. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	40
21. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	42

ภาพประกอบ	หน้า
22. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก	44
23. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25	46
24. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	47
25. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร	49
26. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ 1 %at. Pt/TiO ₂	50
27. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25	52
28. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	53
29. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน	55
30. แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	57
31. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศ	63
32. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศ	64
33. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	67
34. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	67
35. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	71
36. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	71
37. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด สี้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	75
38. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด สี้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	75
39. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด สี้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	79

ภาพประกอบ	หน้า
40. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด สีย้อมอเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ	79
41. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ	84
42. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ	85
43. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	86
44. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	87
45. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	88
46. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	88
47. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	90
48. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	90
49. แสดงตำแหน่งที่ตั้ง และระยะทางประมาณของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซิน โดยใช้เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์มาพิจารณาพร้อมด้วย	95
50. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์มาพิจารณาพร้อมด้วย	96
51. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์มาพิจารณาพร้อมด้วย	97
52. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ดัน ในน้ำ เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์	98

53. แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต้อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด
 ฝิโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์98

54. แสดงผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลการทำลายต่อสุขภาพมนุษย์.....106



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. แสดงโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับศึกษา LCA	12
2. แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของรูปผลึกชนิดต่าง ๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์	16
3. แสดงคุณสมบัติของ Degussa P-25	17
4. แสดงกระบวนการกำจัดของเสีย	24
5. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25	27
6. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย	28
7. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์	30
8. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	33
9. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	35
10. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	38
11. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	41
12. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	43
13. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำ โดยใช้ผงเหล็ก	45
14. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	48
15. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดย ใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร	49
16. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดย ใช้ 1 %at. Pt/TiO ₂	51

ตาราง	หน้า
17. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	54
18. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ โดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน	56
19. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	59
20. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25	61
21. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย	62
22. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์	62
23. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดพีโนลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	65
24. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดพีโนลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	66
25. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดพีโนลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	66
26. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	69
27. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	69
28. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ผงเหล็ก	70
29. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	72
30. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร	73
31. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ $PuTiO_2$	74

ตาราง	หน้า
32. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	77
33. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน	77
34. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	78
35. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25	82
36. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	83
37. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	83
38. แสดงราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซิน	91
39. แสดงอัตราค่าขนส่งโดยจำแนกตามชนิดรถบรรทุก	92
40. แสดงการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในแต่ละวิธี	92
41. แสดงผลสรุปการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินใน 3 วิธี	93
42. แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ในน้ำ โดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์	96
43. แสดงการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 คันต่อปี โดยใช้ เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์	99
44. แสดงผลสรุปการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้งหมด 4 วิธี	100
45. แสดงชนิดของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases)	101
46. แสดงชนิดและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกจากวัฏจักรชีวิตของ กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25	103
47. แสดงปริมาณเทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ equivalent) ที่ถูกปลดปล่อย ออกจากวัฏจักรชีวิตของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมหลายชนิด เช่น การใช้เทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology), การใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA), การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA), ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเทคนิคที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตลอดอายุ (cradle to grave) ของผลิตภัณฑ์ นั้นๆ เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบ พลังงาน การขนส่ง การผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร นอกจากนี้ยังสามารถนำไปพิจารณาเพื่อประเมินโอกาสที่จะปรับปรุงการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง ทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่พิจารณาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์และสามารถประเมินค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นออกมาเป็นค่าน้ำหนักของผลกระทบนั้นได้อีกด้วย

นาโนไททานเนียมไดออกไซด์เป็นวัสดุขนาดนาโนเมตรที่ได้รับความสนใจ และนิยมนำมาใช้งานมากในปัจจุบันเนื่องจากมีสมบัติเด่นคือ มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่ดี, มีค่าดัชนีหักเหสูง และไม่เป็นพิษ ซึ่งการนำไปใช้งานจะขึ้นอยู่กับชนิดของรูปผลึก โดยนาโนไททานเนียมไดออกไซด์มีรูปผลึก 3 แบบ คือ rutile anatase และ brookite แต่ในอุตสาหกรรมนิยมนำรูปผลึก rutile และ anatase มาใช้มากกว่า brookite เนื่องจาก brookite พบได้น้อยในธรรมชาติ และสังเคราะห์ได้ยาก โดยทั่วไปแล้ว rutile ถูกนำมาใช้เป็นอนุภาคในผลิตภัณฑ์สีเพื่อให้สีขาว และสารกันแดดชนิดสะท้อนแสงในครีม กันแดด เนื่องจาก rutile มีสมบัติในการหักเหและสะท้อนแสงสูง และมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงน้อยกว่า anatase ส่วน anatase เป็นรูปผลึกที่มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงสูงที่สุด ดังนั้นจึงมักใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และจุลชีพต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำและอากาศ

Degussa P-25 เป็นอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีรูปผลึก anatase และ rutile ผสมกันในอัตราส่วน 3:1 ทำให้สมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงกว่า ZnO และ anatase ทำให้ Degussa P-25 ได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้ในการกำจัดของเสียทั้งในจากน้ำ และอากาศในปัจจุบัน แต่กลับยังไม่มีการศึกษาและประเมินถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงการสังเคราะห์สารตั้งต้น และการนำไปใช้ในการกำจัดของเสีย

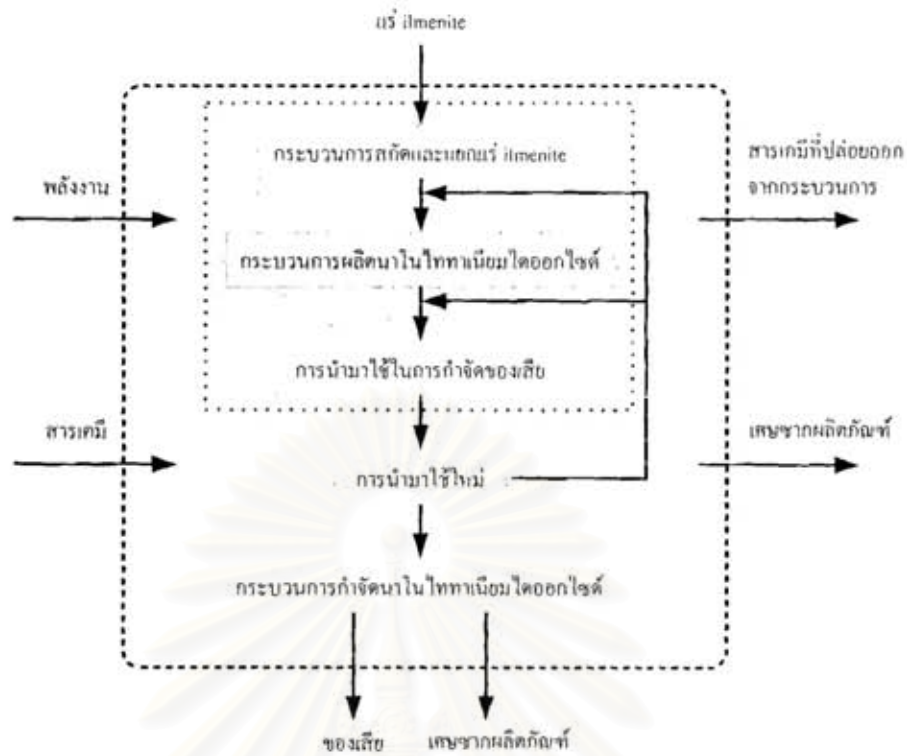
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงกระบวนการกำจัดก๊าซในโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศ การกำจัดพีโนลิก เรซิน การกำจัดไนโตรเบนซีน การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู (MB) และการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 5 (RO4) ซึ่งถือได้ว่าเป็นมลพิษที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ และเป็นมลพิษที่นิยมนำ Degussa P-25 ในการกำจัด โดยจะทำการอ้างอิงว่าสามารถนำ Degussa P-25 มาใช้ใหม่ได้ 2.5 ครั้ง และนำมาพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิตของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และบ่งชี้ถึงการนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิด Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดของเสีย (ก๊าซในโตรเจนมอนอกไซด์, พีโนลิกเรซิน, ไนโตรเบนซีน, สีย้อมเมทิลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์-4) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และพิจารณาถึงการนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิด Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดของเสีย (ก๊าซในโตรเจนมอนอกไซด์, พีโนลิกเรซิน, ไนโตรเบนซีน, สีย้อมเมทิลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์ 4) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดวิธีอื่น ๆ ที่มีใช้ในปัจจุบัน ด้วยการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีขอบเขตในการศึกษาตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์สารตั้งต้น และการนำไปใช้ในการกำจัดของเสีย ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตของงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ทราบถึงวัฏจักรชีวิตของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และได้แนวทางในการกำจัดของเสีย (ก๊าซในโตรเจนมอนอกไซด์, ฟิโนลิกรจีน, ไนโตรเบนซีน, สีย้อมเมทิลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์ 4) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร
2. ศึกษาการนำไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร ไปใช้ในการกำจัดของเสียชนิดต่างๆ
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร
4. ศึกษาผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร ไปใช้ในการกำจัดของเสียชนิดต่างๆ
5. สรุปผลและจัดทำผลการวิจัย

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัยอย่างคร่าวๆ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA), โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro[®] 6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต, ความหมายและคุณสมบัติของโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร, กำจัดของเสียจากโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรด้วยวิธีการต่างๆ, การนำโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ นอกจากนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ จากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับการนำโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมาใช้ในการกำจัดของเสีย

บทที่ 3 อธิบายถึงกระบวนการกำจัดของเสีย (ก๊าซใน ไตรเจนมอนอกไซด์, ฟีนอลิกเรซิน, ไนโตรเบนซีน, สีย้อมเมทิลลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์ 4) โดยใช้โททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดของเสียวิธีอื่น ๆ โดยมีการพิจารณาถึงขั้นตอนในการกำจัดของเสีย ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในการกำจัดของเสีย ปริมาณสารขาเข้าและขาออกในการกำจัดของเสีย และประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดของเสียแต่ละวิธี

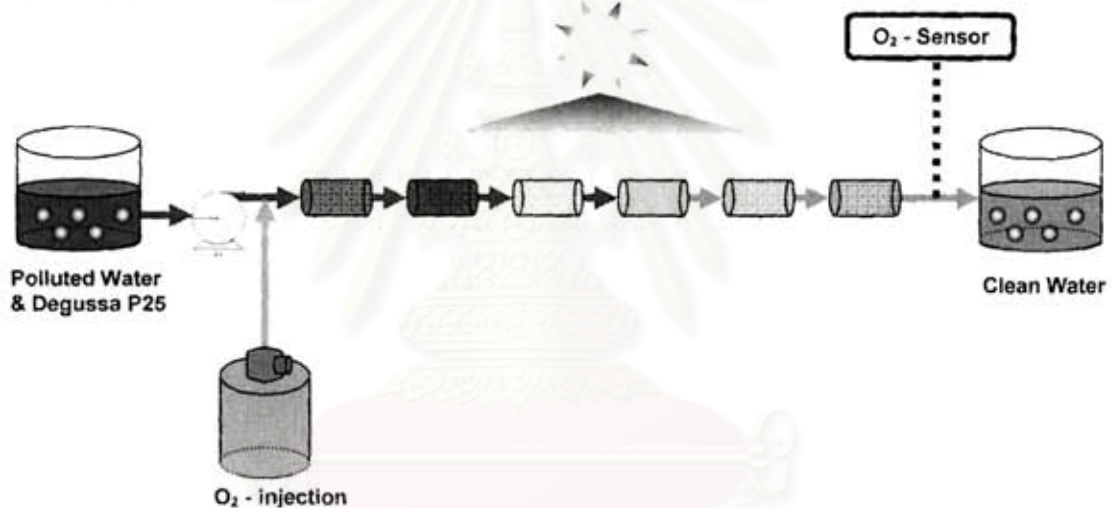
บทที่ 4 เป็นส่วนของผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro[®] 6.0 ผลจากการคำนวณที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการนำโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร มาใช้ในการกำจัดของเสีย เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียโดยใช้วิธีอื่น

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงแนวทางการนำโททานิยมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร มาใช้ในการกำจัดของเสีย โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดของเสีย ต้นทุนของวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบในกระบวนการกำจัดของเสีย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ.1997 Goswami และคณะ^[1-2] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดไตรคลอโรเอทีเทน (TCE) ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง โดยการผ่านน้ำที่ปนเปื้อนด้วยไตรคลอโรเอทีเทน(TCE) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด Parabolic trough reactor (PTR) ขนาด 158 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่าสามารถกำจัดไตรคลอโรเอทีเทน(TCE)ในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 ppb เป็น 5 ppb ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการกำจัดไตรคลอโรเอทีเทน(TCE)ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25^[1]

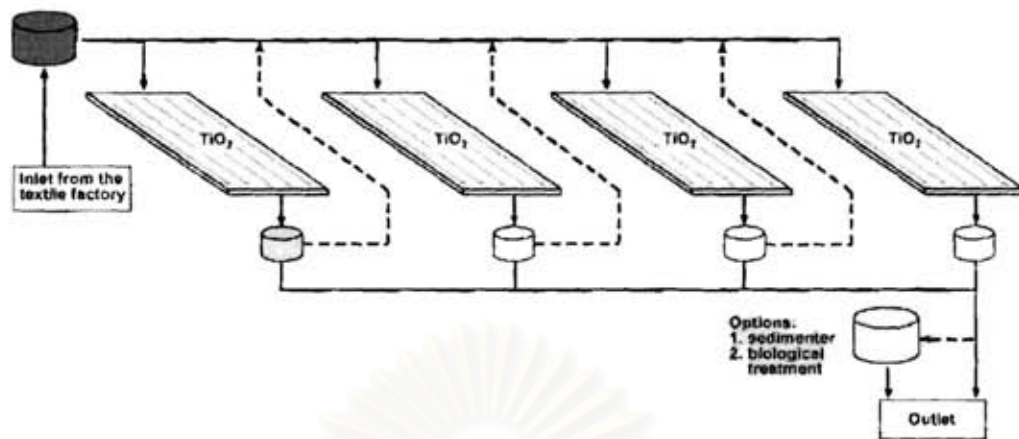
ปี ค.ศ. 1996 Crittenden และคณะ^[1-2] ทำการศึกษากระบวนการกำจัด เบนซีน, โทลูอีน, เอทิลเบนซีน และไซลีน (BTEX) ในน้ำด้วย platinumized titanium dioxide ที่ถูกดูดซับบนซิลิกาเจล และถูกแพคไว้ใน tubular photoreactor ซึ่งพบว่า activity ของตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากภายในระบบมีไอออนเป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาอยู่ ทำให้เกิดการ fouling ขึ้น ซึ่งแก้ไขโดยการผ่านน้ำเสียที่มี BTEX เจือปนอยู่เข้าสู่กระบวนการกำจัดขั้นต้น ที่ประกอบด้วย กระบวนการกรอง การผ่านเข้าสู่ระบบการเติมออกซิเจน และระบบการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการกำจัด BTEX ในน้ำประสิทธิภาพดีขึ้น

ปี ค.ศ. 1999 Dillert และคณะ^[1-2] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเบื้องต้น จากโรงงาน Wolfsburg ในประเทศเยอรมัน และโรงงาน Taubate ของหน่วยปฏิบัติการของบริษัท Volkswagen AG ในประเทศบราซิล โดยใช้ Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง และใช้ เครื่องปฏิกรณ์ชนิด Double skin sheet reactor (DSSR) ทั้งหมด 12 เครื่อง นำมาต่อกับแบบอนุกรม ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสรุปว่าปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกกำจัด ได้ขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารมลพิษ ปริมาณเวลาที่รับแสงอาทิตย์ และความหนาแน่นของฟลักซ์พลังงานของแสงอัลตราไวโอเลต



รูปที่ 2.2 แสดงภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัด ทางชีวภาพเบื้องต้น โดยใช้ Degussa P-25^[1]

ปี ค.ศ. 1997 Freudenhammer และคณะ^[1-2] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเบื้องต้น จากโรงงานผลิตสิ่งทอ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Thin film fixed bed reactor (TFFBR) และ Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งจากการทดลองใช้งานในระดับ pilot plant พบว่ากระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่ดีมีต้นทุนของสิ่งก่อสร้างต่ำ และใช้พลังงานน้อย แต่สำหรับกระบวนการกำจัดของเสียด้วยวิธีการนี้ในระดับอุตสาหกรรม จำเป็นที่จะต้องมิตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่มีราคาถูก และมี activity สูง เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับกระบวนการกำจัดวิธีอื่น ๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเบื้องต้นจากโรงงานผลิตสิ่งทอ โดยใช้ Degussa P-25^[2]



รูปที่ 2.4 แสดงภาพ Pilot Plant กระบวนการกำจัดน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเบื้องต้นจากโรงงานผลิตสิ่งทอ โดยใช้ Degussa P-25^[2]

ปี ค.ศ.2004 Chio Hang Ao และคณะ^[3] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงโดยการผ่านก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มี Degussa P-25 เคลือบอยู่บนแผ่นกรอง และเกิดปฏิกิริยาภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และกรดไนตริก ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์สูงถึง 95%

ปี ค.ศ.2002 Rinie van Helden และคณะ^[4] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์โดยการใช้ยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์ โดยวิธีนี้แบ่งกระบวนการกำจัดออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างยูเรียและน้ำ เกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซแอมโมเนียเพื่อเข้าสู่ส่วนที่สองเพื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ขึ้น ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์เท่ากับ 61%

ปี ค.ศ.2000 Renato Rota และคณะ^[5] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนียโดยการป้อนอากาศที่มีก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์และก๊าซแอมโมเนียเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์แบบถ่วงน้ำหนักที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์เกิดปฏิกิริยากลายเป็นก๊าซไนโตรเจนออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์เท่ากับ 95%

ปี ค.ศ.2003 Joanna Grzechulska และคณะ^[6] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดฟีนอลโดยนำ Degussa P-25 เคลือบลงบนด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงกับฟีนอล พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลเท่ากับ 95%

ปี ค.ศ.2004 M.A. Barakat และคณะ^[7] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดฟีนอลโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่ากระบวนการกำจัดฟีนอลโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลเท่ากับ 94% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 97%

ปี ค.ศ.2003 Dhananjay S. Bhatkhande และคณะ^[8] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนโดยใช้ Degussa P-25 และใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า Degussa P-25 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำเสีย 99.5% ซึ่งสูงกว่าการกำจัดโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเพียง 35% เท่านั้น

ปี ค.ศ.2004 Yang Mu และคณะ^[9] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนโดยใช้ผงเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำผงเหล็กมาผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือปนต่าง ๆ บนพื้นผิวเหล็ก

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก และนำเข้าทำปฏิกิริยากับไนโตรเบนซีนในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเบนซีนเท่ากับ 92%

ปี ค.ศ.2003 G.Sivalingam และคณะ^[10] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลู โดยใช้ Degussa P-25, ใช้ anatase ขนาดนาโนเมตร และใช้ $PuTiO_2$ โดยให้สี้อมเมทิลีนบลูทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลีนบลูโดยใช้ $PuTiO_2$ (99.75%) สูงกว่า การใช้ anatase ขนาดนาโนเมตร (95%) และการใช้ Degussa P-25 (55%) ตามลำดับ เนื่องจาก anatase ขนาดนาโนเมตรมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า Degussa P-25 และการนำโลหะแพลททินัม โคปลงบนอนุภาค anatase ขนาดนาโนเมตรสามารถเพิ่มสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของ anatase ขนาดนาโนเมตรได้

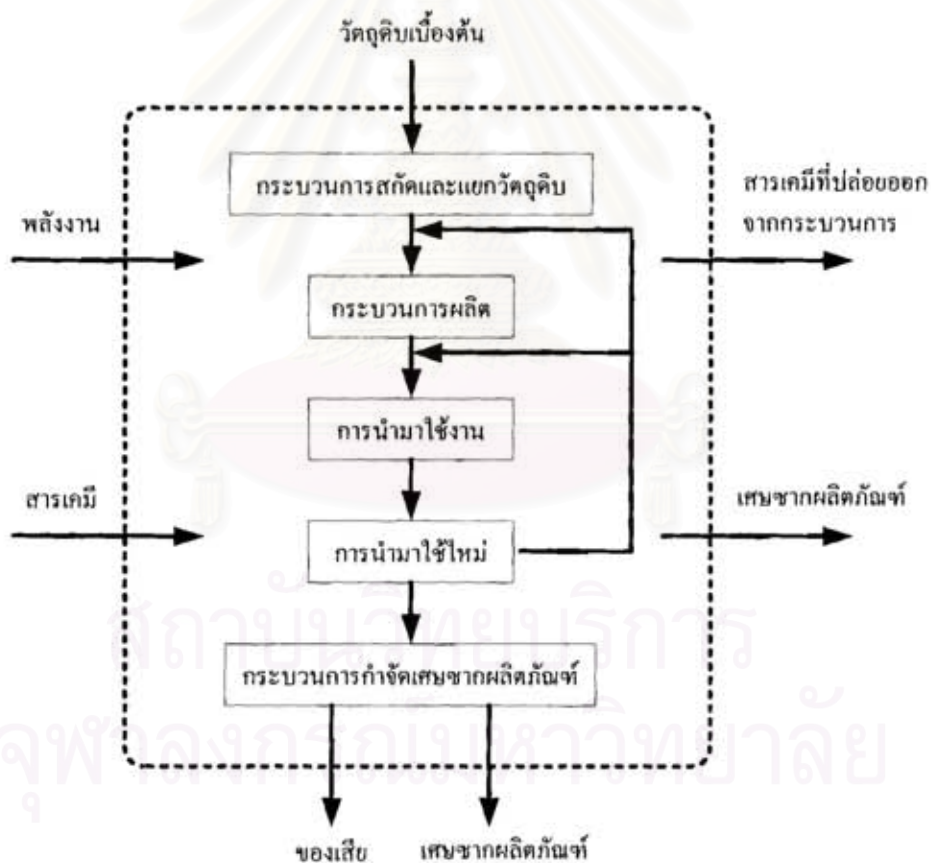
ปี ค.ศ.2004 M.Muruganandham และคณะ^[11] ทำการศึกษากระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 (RO4) โดยใช้ Degussa P-25, การใช้อนุภาค anatase ขนาดไมครอน และการใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าการนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 5 (RO4) ได้ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (87%) สูงกว่าการใช้ Degussa P-25 (71.58%) และการใช้อนุภาค anatase ขนาดไมครอน (34.54%) ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต ^[12-13]

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง โดยพิจารณาตั้งแต่ การออกแบบ การใช้พลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ การนำมาใช้ใหม่ไปจนถึงกระบวนการกำจัดเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากใช้งาน ดังรูปที่ 2.5 โดยจะทำการประเมินค่าวัตถุดิบที่ใช้ พลังงานที่ใช้ การบริการ เทคโนโลยี และของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการปรับปรุงหรือบ่งชี้ถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 แสดงขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ความสำคัญของ LCA

LCA เป็นกระบวนการที่สามารถประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตทำให้สามารถพิจารณาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในทุกกรณีที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังมีการพิจารณาถึงการใช้ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองของกระบวนการ และสารเคมีที่อันตรายที่ถูกปล่อยออกมา เป็นเหตุให้ LCA นับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ถูกระบุในนโยบายต่างๆ ในตลาดโลก เพื่อตรวจหาว่าขั้นตอนใดในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้น โดยดูที่ผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน หรือบริการ ไปจนถึงวัฏจักรชีวิต เพราะสินค้าที่ดีไม่ได้อยู่ที่คุณภาพ หรือราคาถูกเท่านั้น แต่ยังต้องการความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย จึงทำให้มีข้อจำกัดทางการค้าที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้มากขึ้น

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตศึกษา (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายการศึกษาเป็นการตั้งวัตถุประสงค์สำหรับสิ่งที่จะศึกษาว่าอะไรคือสิ่งที่จะศึกษา และจะศึกษาอย่างไร เพื่อที่จะให้การศึกษาเป็นไปในทิศทางที่ถูกต้อง และทำให้การประเมินสารเข้า และสารที่ออกจากระบบทำได้ง่ายและตรงประเด็น

ขอบเขตการศึกษาจะเป็นตัวที่กำหนด ระบบ ขอบเขต ความต้องการข้อมูล สมมุติฐาน และข้อจำกัดของข้อมูล โดยควรมีการกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างความลึกในการวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และขอบเขตการศึกษาจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการศึกษา เนื่องจากถ้าเป้าหมายการศึกษาต้องการความแม่นยำและน่าเชื่อถือสูง จะต้องใช้ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ

สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้า และสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ รวมถึงการใช้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้ และการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อไป

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment :LCIA)

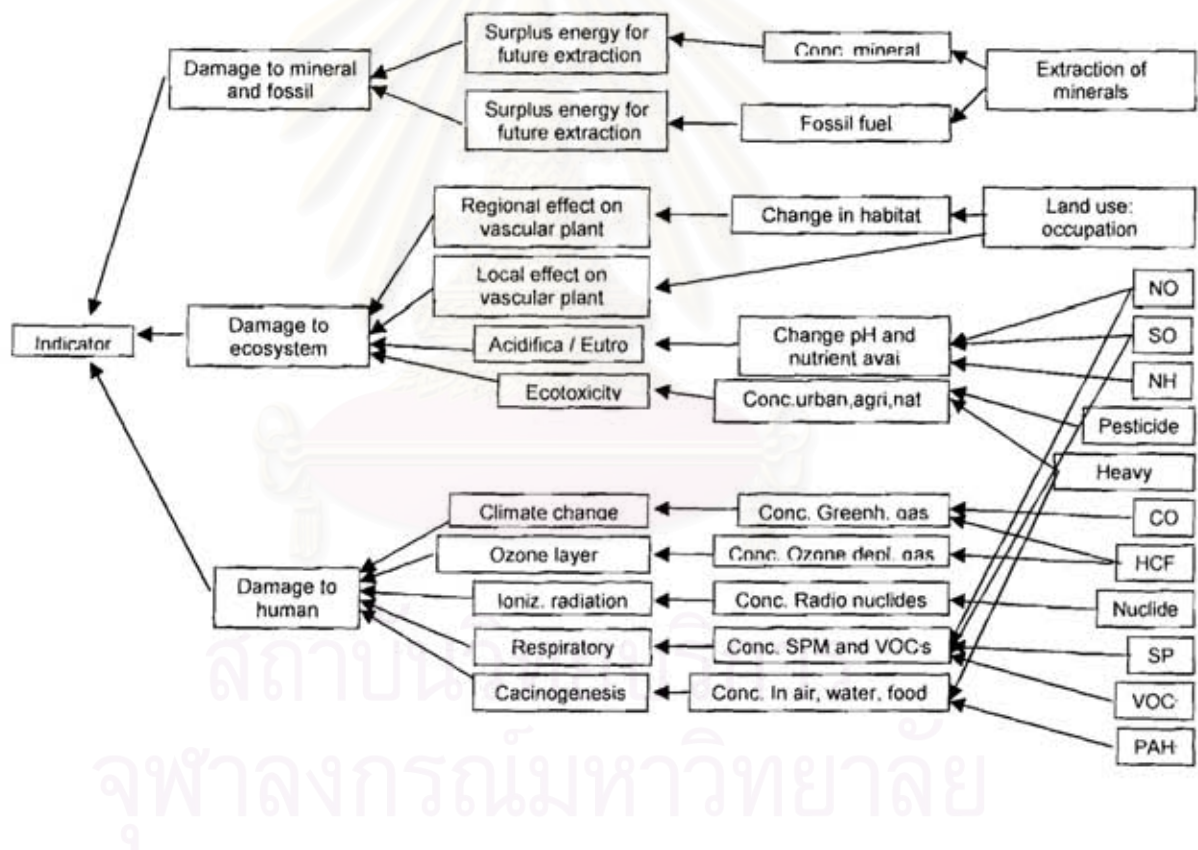
การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ การนำข้อมูลจากบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาตีความ หรือแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปแปลผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมต่อไป และเนื่องจากในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ข้อมูล และตัวเลขมาเกี่ยวข้องจำนวนมากจึงอาจต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการประเมิน ซึ่งสามารถจัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมีคุณภาพ เดิมนิยมใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ในปัจจุบันเริ่มที่จะหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับ LCA มากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายกว่า และเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากได้ ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับศึกษา LCA มีดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับศึกษา LCA

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1	Pre' Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมันนี
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	lfu / ifeu	เยอรมันนี
EcoPro	EMPA, sinum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE-LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น
JEMAI-LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตใช้หลักเกณฑ์ของมาตรฐานการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : ISO 14042) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification) การคำนวณผลกระทบจากสารต่าง ๆ เทียบกับสารฐาน (Characterization) และเทียบความรุนแรงของผลกระทบและคำนวณเป็นคะแนนเดียว (Single score) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแบ่งกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact Categories) ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยใช้วิธี Eco-indicator 99 ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งถูกพัฒนาโดยสถาบันในประเทศเนเธอร์แลนด์ ดังนี้คือ สุขภาพมนุษย์ (Human Health) คุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) และทรัพยากร (Resource)

ตัวอย่างแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99



รูปที่ 2.6 แสดงแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99

4. การแปลผล (Interpretation)

การแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยง เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงาน สรุปการแปลผล การศึกษาให้สามารถเข้าใจง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขต ของการศึกษาที่กำหนดไว้

โปรแกรม SimaPro 6.0 (System For Integrated Environmental Assessment of Products)

บริษัท Pre Consultants ก่อตั้งเมื่อปี 1990 โดย Mr.Mark Goedkoop โดยมุ่งเน้นไปที่การจัดการวัฏจักรชีวิตและการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์และบริการ ด้วย โปรแกรมที่เป็นที่รู้จักกันดี ในชื่อของ SimaPro LCA software ซึ่งเป็น โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตของระบบ

โปรแกรม SimaPro ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1990 สำหรับโครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ โดยใช้ LCA Software เป็นตัวแสดงผลซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่าย โปรแกรม SimaPro 4.0 ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1997 โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window และประสบความสำเร็จอย่างมาก Pre Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมต่อเนื่อง โดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน โดยได้ทำการพัฒนา Eco-indicator 95 และ 99 โดยทั้ง 2 โปรแกรมมีประโยชน์อย่างมากในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักร

ในปัจจุบัน SimaPro ไม่เพียงแต่ใช้ทำการประเมินผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ยังสามารถใช้งานไปถึงกระบวนการผลิตและการบริการอีกด้วย และล่าสุด SimaPro 6.0 เป็นโปรแกรมที่ทำการเก็บข้อมูล, วิเคราะห์ผลและแสดงผลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งเราสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นได้อย่างง่ายดาย และทำการวิเคราะห์ผลที่ซับซ้อนของวัฏจักรชีวิต พร้อมทั้งแสดงผลออกมาได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย

ข้อจำกัดของ LCA

การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ และประเมินตั้งแต่แหล่งกำเนิดทรัพยากรที่นำมาใช้จนถึงการทำลายซากผลิตภัณฑ์ เป็นเหตุให้การศึกษา LCA ต้องการข้อมูลในการวิเคราะห์ที่ละเอียด และปริมาณมากเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและถูกต้อง

2.3 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์^[14-15]

ชนิดและสมบัติของรูปผลึก

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นวัสดุที่มีรูปผลึกแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ

1. Rutile

Rutile เป็นรูปผลึกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ tetragonal มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง และมีสมบัติในการหักเหและสะท้อนแสง (refractive index) ได้ดีกว่ารูปผลึกแบบ anatase แต่มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา (surface area) น้อยกว่ารูปผลึกแบบ anatase จึงนิยมนำ rutile มาใช้เป็นอนุภาคในผลิตภัณฑ์เพื่อให้สีขาว และสารกันแดดชนิดสะท้อนแสงในครีมกันแดด

2. Anatase

Anatase เป็นรูปผลึกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ tetragonal ไม่ค่อยเสถียรที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 915 องศาเซลเซียส รูปผลึกแบบ anatase จะกลายเปลี่ยนเป็นรูปผลึกแบบ rutile โดยอัตโนมัติ โดย anatase จะมีสมบัติในการหักเหและสะท้อนแสงน้อยกว่ารูปผลึกแบบ rutile แต่จะมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา (surface area) มากกว่ารูปผลึกแบบ rutile จึงนิยมนำ anatase มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ และจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำ และอากาศ ตัวอย่างเช่น การนำ anatase มากำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศ นำมากำจัดสารประกอบฟีนอล ไนโตรเบนซีน สีซ็อมเมทิลลิบิลู (MB) และสีซ็อมออเรนจ์ 5 (RO4) ในน้ำเสีย เป็นต้น

3. Brookite

Brookite เป็นรูปผลึกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส รูปผลึกแบบ brookite จะเปลี่ยนกลายเป็นรูปผลึกแบบ rutile โดยอัตโนมัติ และรูปผลึกแบบ brookite เป็นรูปผลึกเดียวที่ไม่นิยมนำมาใช้งานเนื่องจากพบได้ยากในธรรมชาติ และสังเคราะห์ได้ยากในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบสมบัติของรูปผลึกชนิดต่าง ๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์ ได้ดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของรูปผลึกชนิดต่าง ๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์

Properties	Crystalline Structure of Titanium Dioxide		
	Anatase	Brookite	Rutile
Crystal structure	Tetragonal	Orthorhombic	Tetragonal
Optical	Uniaxial, negative	Biaxial, positive	Uniaxial, negative
Density, g/cm ³	3.84	4.0	4.26
Hardness, Mohs scale	5 ¹ / ₂ – 6	5 ¹ / ₂ – 6	7 – 7 ¹ / ₂
Refractive index	2.490	-	2.903
Permittivity	31	-	114
Melting point	changes to rutile at high temp	-	1858 °C

นอกจากสมบัติของรูปผลึกที่ได้กล่าวถึงเบื้องต้นแล้ว ยังพบว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์ยังเป็นวัสดุที่มีความเสถียร ราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อผู้นำมาใช้งานทำให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูปผลึกเป็น rutile และ anatase ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่พบว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 20 นาโนเมตรเป็นสาเหตุให้ปอดหนูทดลองอักเสบได้มากกว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 250 นาโนเมตร และขนาดไมครอนในสภาวะที่แพร่กระจายในอากาศที่มีความเข้มข้นเดียวกัน ดังนั้นกระบวนการผลิต และการนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้งานควรมีระบบการจัดการที่ดี

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิด Degussa P-25

Degussa P-25 เป็นนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผลิตจากบริษัท Degussa AG ในประเทศเยอรมัน ซึ่งมีรูปผลึกเป็น anatase และ rutile ผสมกันในอัตราส่วน 3:1 จึงทำให้เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง และสามารถนำมา regenerate เพื่อใช้ใหม่ได้ถึง 2.5 ครั้ง

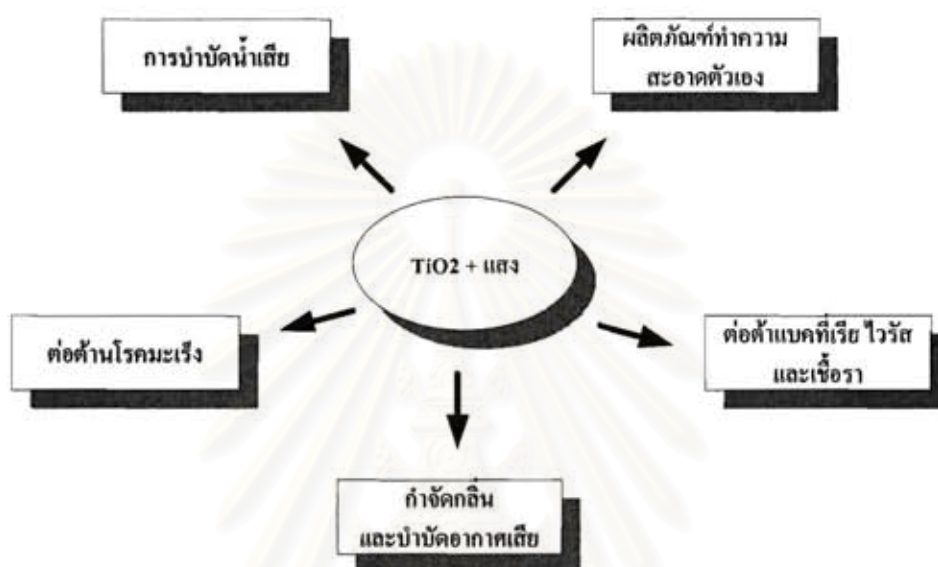
Degussa P-25 ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงในหน่วยปฏิบัติการ และในอุตสาหกรรม เนื่องจาก Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงเชิงการค้าที่มีสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่ดีเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการกำจัดของเสีย และยังเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง ในการเปรียบเทียบ activity ของตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่สังเคราะห์ได้จากหน่วยปฏิบัติการอีกด้วย โดยแสดงคุณสมบัติของ Degussa P-25 ดังตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของ Degussa P-25

Properties	Unit	Typical Value
Specific surface area (BET)	m ² /g	50 ± 15
Average primary particle size	nm	21
Tapped density	g/l	approx. 130
Moisture	wt. %	≤ 1.5
Ignition loss	wt. %	≤ 2.0
pH		3.5 – 4.5
Titanium dioxide - content	wt. %	≥ 99.50
Al ₂ O ₃ - content	wt. %	≤ 0.300
SiO ₂ - content	wt. %	≤ 0.200
Fe ₂ O ₃ - content	wt. %	≤ 0.010
HCl - content	wt. %	≤ 0.300
Sieve residue (by Mocker 45 μm)	wt. %	≤ 0.050

ประโยชน์และการนำไปใช้งาน^[16]

บทบาทในการนำไปใช้งานของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในปัจจุบัน นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่ใช้ในการกำจัดของเสียในรูปสารอินทรีย์ และจุลชีพต่าง ๆ ในน้ำและอากาศ โดยมีตัวอย่างการนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้งาน ดังรูปที่ 2.7 ดังนี้

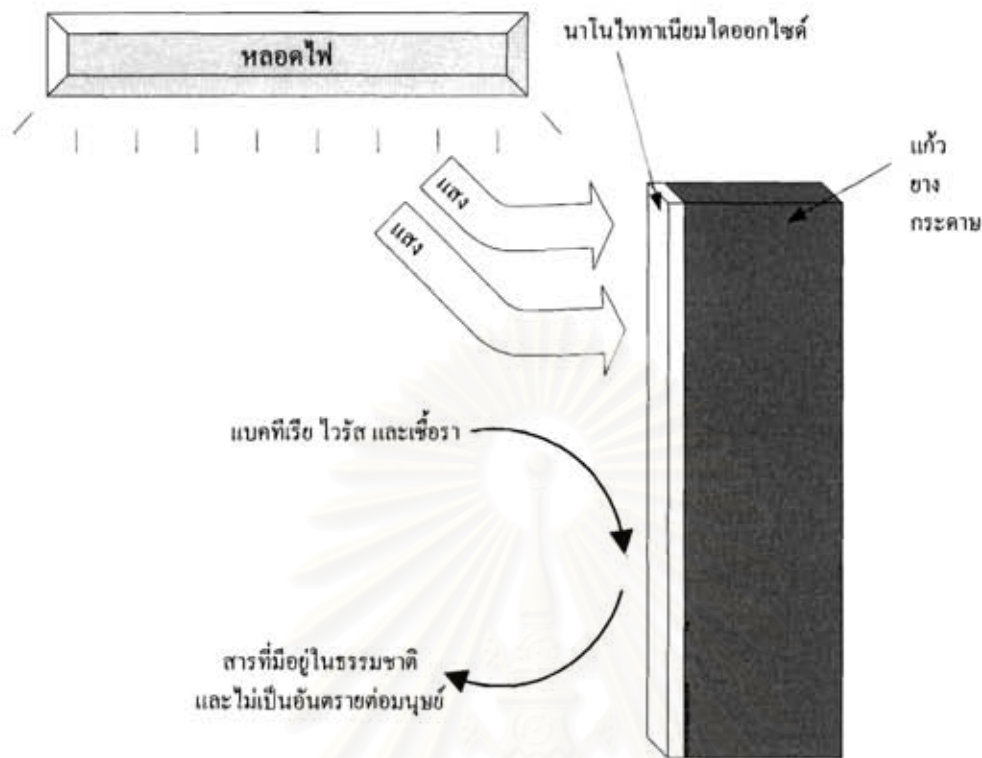


รูปที่ 2.7 แสดงการนำไปใช้งานของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

1. ใช้ต่อต้านจุลชีพ

การต่อต้านจุลชีพโดยใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (photocatalyst) ดังรูปที่ 2.8 เป็นเทคโนโลยีล่าสุดในการขจัดกลิ่น และต่อต้านแบคทีเรีย ซึ่งถูกนำมาใช้ชีวิตประจำวัน อาทิเช่น ระบบฟอกอากาศภายในเครื่องปรับอากาศ และในตู้เย็น เป็นต้น

ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการต้านจุลชีพ มักเคลือบนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิว หรือแผ่นกรอง โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานแสงจะทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิล แรดิคัล (OH) และซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ออกมาสู่อากาศภายในห้อง และอนุภาคไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH) และซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) จะไปดึงอะตอมไฮโดรเจน และคาร์บอนจากผนังเซลล์ของพวกเชื้อโรค รวมถึงสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีผลให้เชื้อโรคและมลภาวะต่าง ๆ แตกสลายกลายเป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์



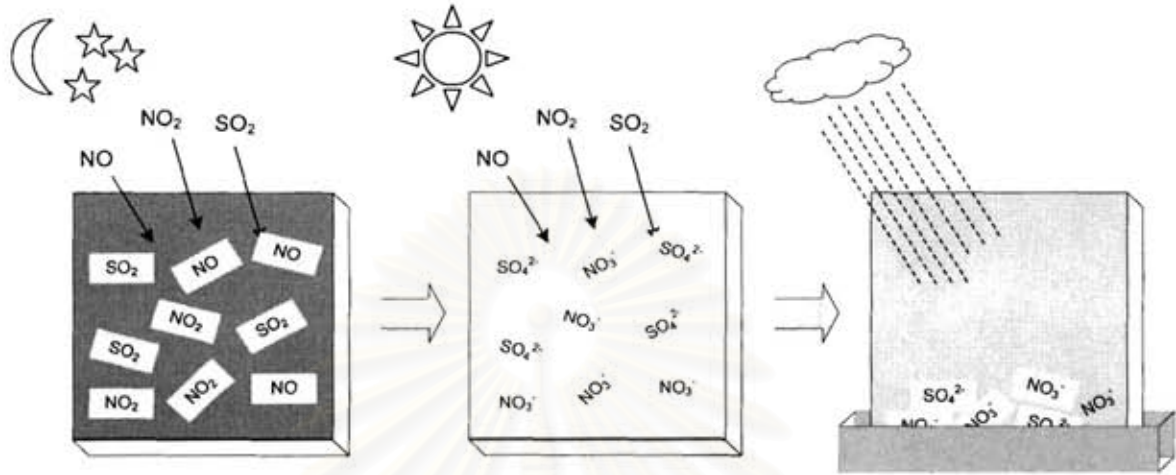
รูปที่ 2.8 แสดงการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการต่อต้านจุลชีพ

2. ใช้บำบัดอากาศเสียและทำให้อากาศบริสุทธิ์

การบำบัดอากาศเสียและทำให้อากาศบริสุทธิ์โดยใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ดังรูปที่ 2.9 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (photocatalyst) นิยมมากในการนำมากำจัดมลภาวะในอากาศ เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สารอินทรีย์ชนิดระเหยได้ (VOCs) และสารทาร์ในควันบุหรี่ เป็นต้น

การกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ จะนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบลงบนพื้นผิวสำหรับเกิดปฏิกิริยาเมื่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 300 – 400 นาโนเมตร จะทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิล แรดิคัล (OH^\cdot) และซูเปอร์ออกไซด์ไอออน

(O_2) เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในอากาศ ทำให้เกิดเป็นกรดไนตริก และกรดซัลฟิวริก ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 แสดงการใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดอากาศเสีย

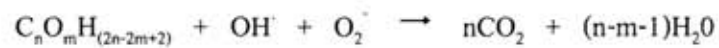
การกำจัดสารพิษในควันบุหรี่ด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะนำอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ผสมลงในเยื่อกระดาษที่ใช้ทำมวนบุหรี่ และทำปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงกับสารพิษที่อยู่ในควันบุหรี่ ทำให้สามารถลดอันตรายจากสารพิษที่เกิดกับผู้สูบบุหรี่และบุคคลรอบข้างได้

3. ใช้บำบัดน้ำเสียและทำน้ำให้บริสุทธิ์

การบำบัดน้ำเสียและทำน้ำให้บริสุทธิ์โดยใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (photocatalyst) นิยมมากในการนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นมลภาวะในน้ำ เช่น น้ำมัน ฟีนอล สีย้อมเมทิลีนบลู (MB) และสีย้อมออเรนจ์ 4 (RO4) เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นสารที่กำจัดได้ยากเมื่อเจือปนอยู่ในน้ำเสีย

การนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มากำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นมลภาวะในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มาเคลือบบนวัสดุที่สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ การเคลือบนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวแบบฟิล์ม และการปล่อยให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งพบว่าวิธีที่เป็นที่ยอมรับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นมลภาวะในน้ำได้ดีที่สุด คือ การปล่อยให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย และเมื่อนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอุลตราไวโอเลต

จะทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิล แรดิคัล (OH) และซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) เข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนน้ำเสียลดลง และทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น โดยสมการทั่วไปของปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ คือ

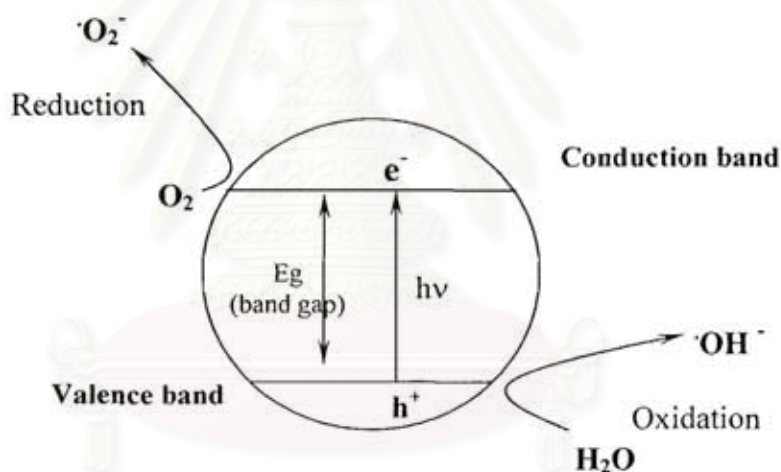


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ปฏิริยาสังเคราะห์แสงของไททาเนียมไดออกไซด์

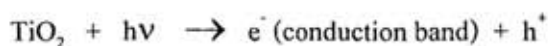
ปฏิริยาสังเคราะห์แสง (Photocatalytic reaction) เป็นกระบวนการที่เป็นกลไกสำคัญในกระบวนการกำจัดของเสียของไททาเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากเมื่ออนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A จากดวงอาทิตย์หรือจากแหล่งพลังงานสังเคราะห์ จะทำให้สามารถปลดปล่อยอนุภาคซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) และอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เข้าทำปฏิริยากับสารมลพิษอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ



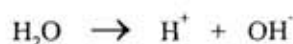
รูปที่ 3.1 แสดงกลไกการเกิดปฏิริยาสังเคราะห์แสงของไททาเนียมไดออกไซด์

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงกลไกการเกิดปฏิริยาสังเคราะห์แสงของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีขั้นตอนการเกิดปฏิริยาดังนี้

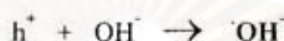
ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



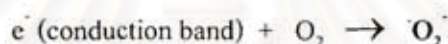
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^\cdot) ดังสมการ



3.2 กระบวนการกำจัดของเสีย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศ การกำจัดฟีนอลิก เรซิน การกำจัดไนโตรเบนซีน การกำจัดสีข้อมเมทิลลีนบลู (MB) และการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 (RO4) ในน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นมลพิษย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ และกำจัดได้ยากด้วยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดทางเคมีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงกระบวนการกำจัดของเสีย

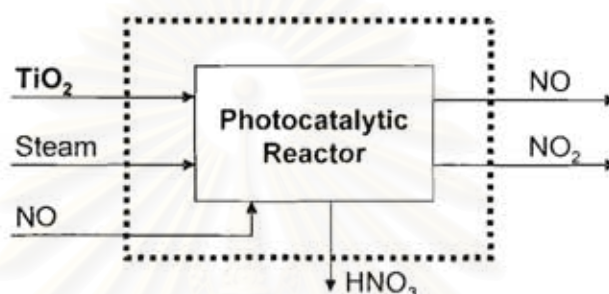
ของเสีย	กระบวนการกำจัดของเสีย
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ Degussa P-25 2. ใช้ก๊าซแอมโมเนีย 3. ใช้สารละลายยูเรีย ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา วานาเดียมออกไซด์
ฟีนอลิก เรซิน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ Degussa P-25 2. ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3. ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ไนโตรเบนซีน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ Degussa P-25 2. ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3. ใช้ผงเหล็ก
สีข้อมเมทิลีนบลู	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ Degussa P-25 2. ใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร 3. ใช้ P/TiO_2
สีข้อมออเรนจ์ 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ Degussa P-25 2. ใช้ Anatase ขนาดไมครอน 3. ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศ^[3-5]

ไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเกิดจากการกำจัดสารอินทรีย์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากรถยนต์ ซึ่งกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มี 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25

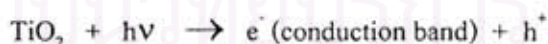
กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 ดังรูปที่ 3.2 ทำโดยผ่านก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 200 ppb เข้าไปใน Photocatalytic reactor ที่มี Degussa P-25 ปริมาณ 1.64 กรัม เคลือบอยู่ที่ผนัง และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต ขนาด 6 W (ความยาวคลื่น 365 nm) เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศเท่ากับ 95 %



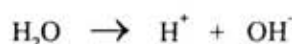
รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



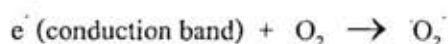
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



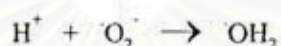
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



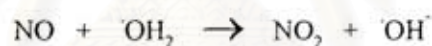
ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าทำปฏิกิริยากับซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) เกิดเป็นอนุภาคเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH_2^-) ขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 6 อนุภาคเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH_2^-) เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 7 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^-) เกิดเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ดังสมการ



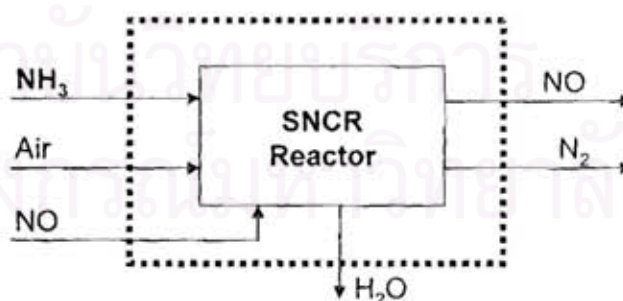
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.6560000
NO	0.0000037
Air	0.0000106
H ₂ O	0.0000007
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	0.0000002
NO ₂	0.0000017
HNO ₃	0.0000052
Degussa P-25	0.6560000
Air	0.0000080

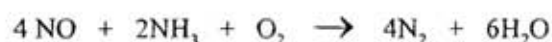
2. กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย

กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย ดังรูปที่ 3.3 ทำโดยผ่านก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3000 ppmV และก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 7200 ppmV เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 727 – 1177 °C ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศเท่ากับ 95 %



รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย

กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนียมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

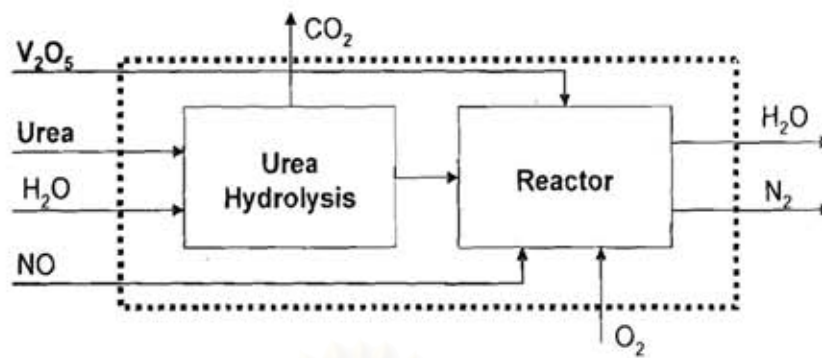


ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
NH ₃	0.080
NO	0.281
O ₂	0.075
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	0.014
N ₂	0.263
H ₂ O	0.159

3. กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์

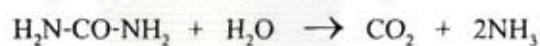
กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์ ดังรูปที่ 3.4 ทำโดยผ่านสารละลายยูเรียที่มีความเข้มข้น 32.5 % wt. ปริมาณ 1573 กรัม และน้ำ เข้าไปในถังปฏิกรณ์เกิดเป็นก๊าซแอมโมเนียขึ้น และผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ 1261 กรัม ภายในถังปฏิกรณ์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์ ที่แพคอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 248 °C ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศเท่ากับ 61 %



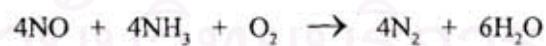
รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยานาเดียมออกไซด์

กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียมีขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สารละลายยูเรียเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ (Urea Hydrolysis) เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซแอมโมเนีย ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ โดยมีวานาเดียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจน และน้ำ ดังสมการ



สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์

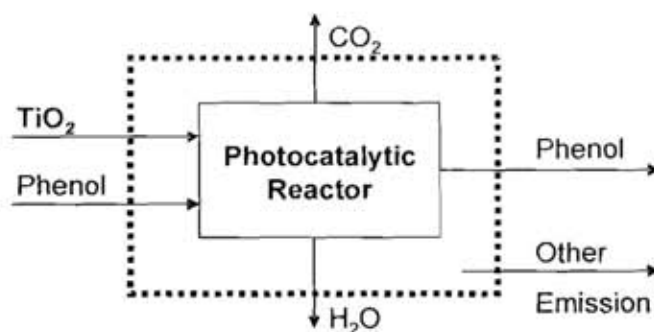
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Urea	1262.47
NO	1261.00
H ₂ O	378.30
O ₂	336.27
V ₂ O ₅	7609.20
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	491.79
N ₂	1176.93
CO ₂	924.73
H ₂ O	644.58
V ₂ O ₅	7609.20

กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำ ^[17-20]

ฟิโนลิกเรซินถูกใช้ป็นสารตั้งต้น สำหรับอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมผลิตกาวสำหรับรถยนต์ และอุตสาหกรรมยา ซึ่งกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในที่ปนเปื้อนในน้ำ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มี 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

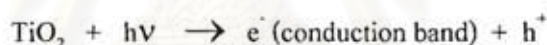
กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ดังรูปที่ 3.5 ทำโดยผ่านสารละลายฟิโนลิกเรซินที่มีความเข้มข้น 0.001 M และสารละลายของ Degussa P-25 ที่มีความเข้มข้น 10 g/l เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาว 13 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 228 - 420 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำเท่ากับ 94 %



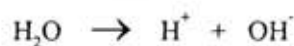
รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



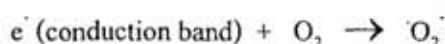
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



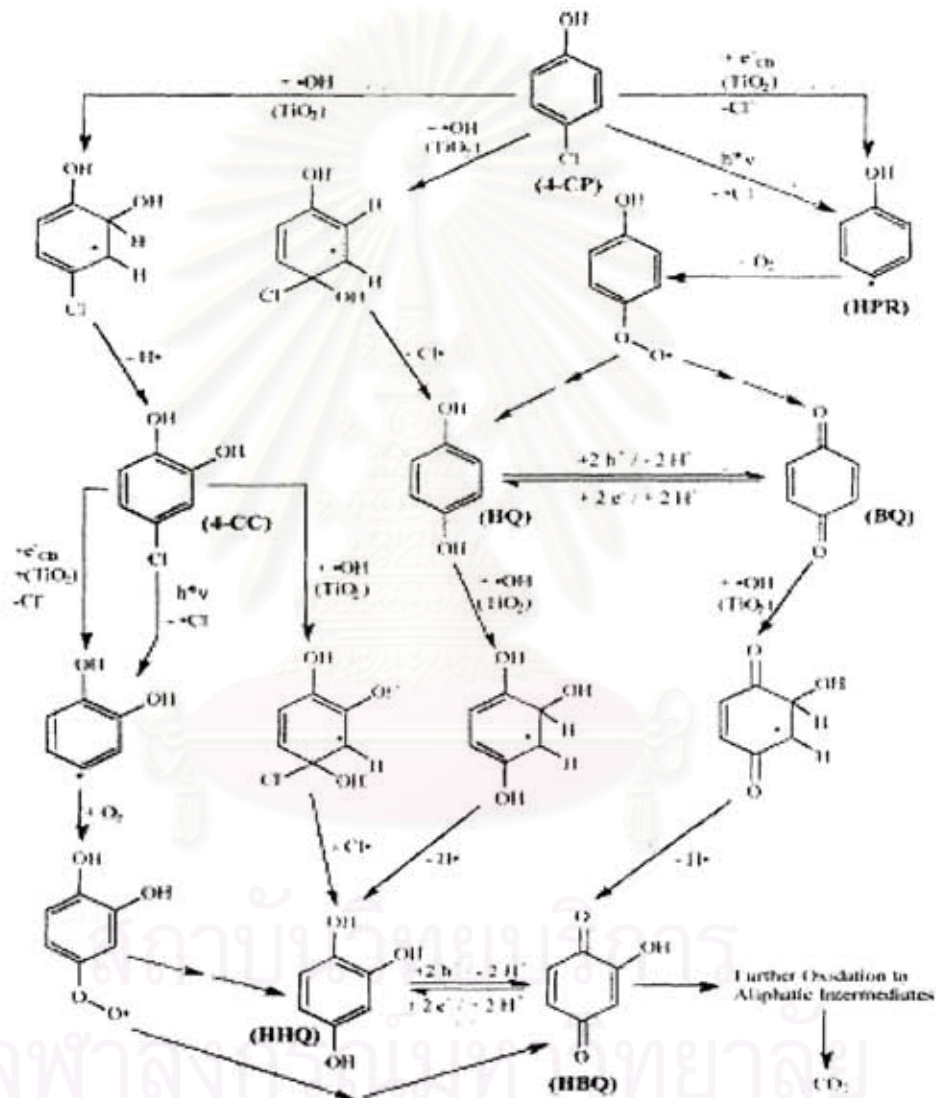
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นรูปเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 ฟีนอลิกเรซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH) และอิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band ของ Degussa P-25 เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ และถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดสารมัธยันต์ (intermediate compounds) เช่น Cathechol, Benzoquinone และ Hydroquinone ขึ้น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 (Theurich, 1996)

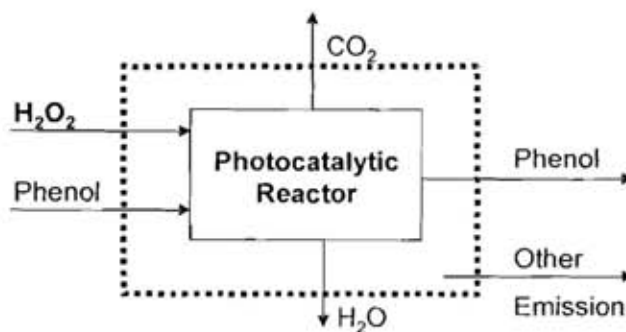
ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.37500
Phenol	0.00193
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.00013
CO ₂	0.00081
H ₂ O	0.00045
Cathechol	0.00022
Hydroquinone	0.00032
Degussa P-25	0.37500

2. กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.7 ทำโดยผ่านสารละลายฟีนอลิกเรซินที่มีความเข้มข้น 0.001 M และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 34 % v. เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาว 13 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 228 - 420 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำเท่ากับ 55 %

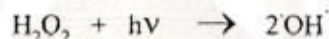
สำนักงานที่ปรึกษา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



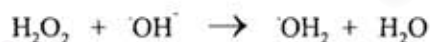
รูปที่ 3.7 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) เกิดเป็นอนุภาค OH_2^\cdot และ น้ำขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 3 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเปอร์ออกซิไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH_2^\cdot) เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) น้ำ และก๊าซออกซิเจนขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 ฟีนอลิกเรซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) ที่เกิดขึ้นจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังกลไกการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันกับ รูปที่ 3.6

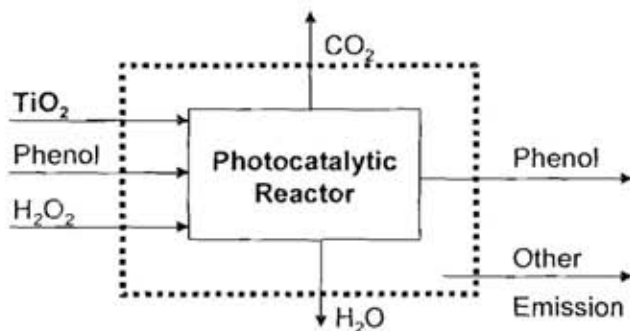
ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
H ₂ O ₂	0.00170
Phenol	0.00193
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.00087
CO ₂	0.00048
H ₂ O	0.00027
Cathechol	0.00013
Hydroquinone	0.00019

3. กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.8 ทำโดยผ่านสารละลายฟีนอลิกเรซินที่มีความเข้มข้น 0.001 M, สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 34 % v. และสารละลายของ Degussa P-25 ที่มีความเข้มข้น 10 g/l เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาว 13 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 228 - 420 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำเท่ากับ 99.5 %

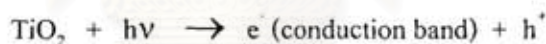
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

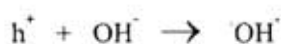
ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



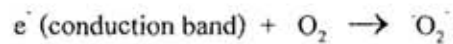
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



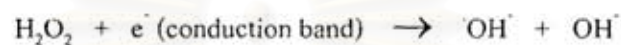
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



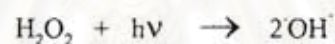
ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในชั้น Conduction Band ของ Degussa P-25 เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 6 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 7 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เกิดเป็นอนุภาค OH_2 และ น้ำขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 8 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเปอร์ออกซีไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH_2) เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) น้ำ และก๊าซออกซิเจนขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 9 ฟิโนลิกเรซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังกลไกการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับ รูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.7 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

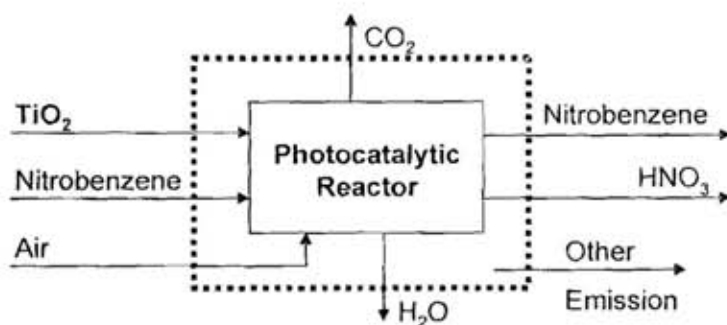
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.37500
H ₂ O ₂	0.00170
Phenol	0.00193
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.00001
CO ₂	0.00163
H ₂ O	0.00090
Cathechol	0.00043
Hydroquinone	0.00065
Degussa P-25	0.37500

กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำ^[21-22]

ไนโตรเบนซีนเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการผลิต aniline ยาปราบศัตรูพืช และอุตสาหกรรมยา ซึ่งกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนที่ปนเปื้อนในน้ำ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัด และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มี 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

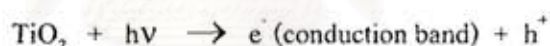
กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ดังรูปที่ 3.9 ทำโดยผ่านสารละลายไนโตรเบนซีนที่มีความเข้มข้น 200 mg/l และสารละลายของ Degussa P-25 ที่มีความเข้มข้น 0.2 % w/v. เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่น 365 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำเท่ากับ 99.5 %



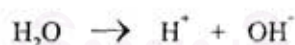
รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

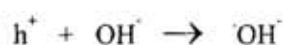
ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



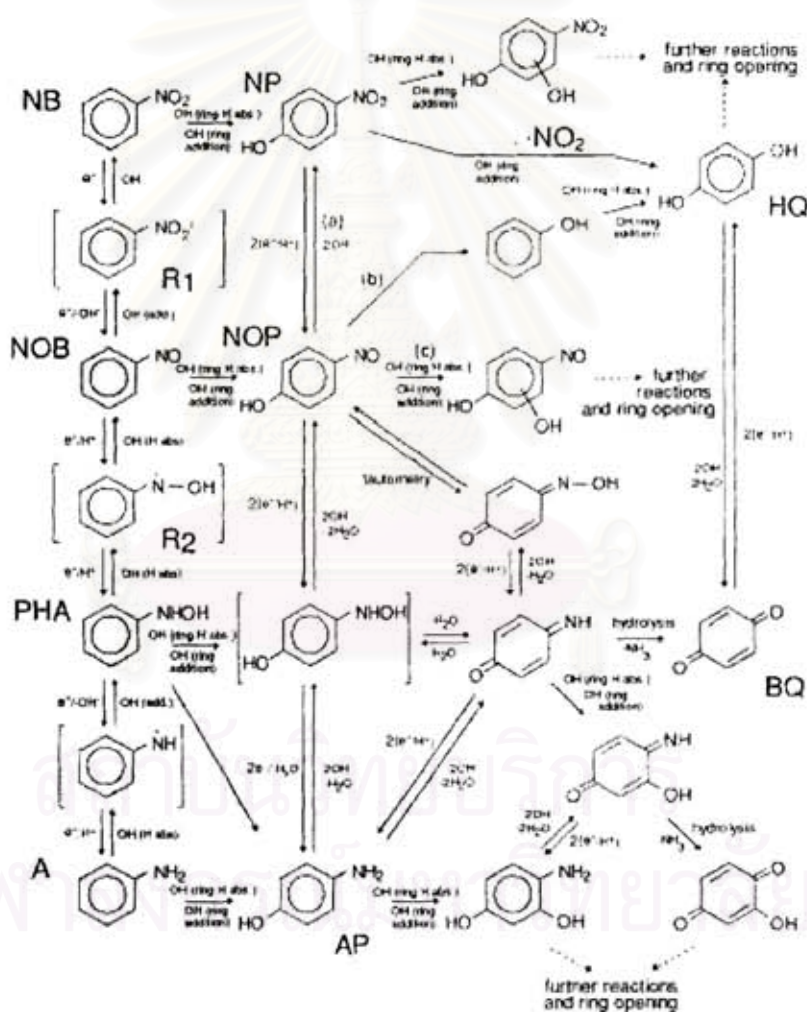
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 ไนโตรเบนซีนจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) และอิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band ของ Degussa P-25 เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ และถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดสารมัธยันต์ (intermediate compounds) เช่น Cathechol, Benzoquinone และ Hydroquinone ขึ้น ดังรูปที่ 3.10



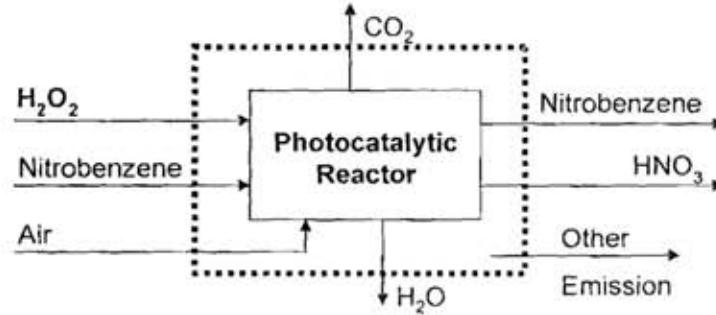
รูปที่ 3.10 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25

ตารางที่ 3.8 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.3200
NB	0.0800
Air	0.7671
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.0004
CO ₂	0.1974
H ₂ O	0.0269
HNO ₃	0.0234
Cathechol	0.0093
Hydroquinone	0.0140
Air	0.5757
Degussa P-25	0.3200

2. กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

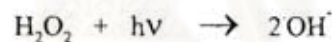
กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.11 ทำโดยผ่านสารละลายไนโตรเบนซีนที่มีความเข้มข้น 200 mg/l และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต ที่มีความยาวคลื่น 365 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำเท่ากับ 35.5 %



รูปที่ 3.11 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตเกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เกิดเป็นอนุภาค OH_2^\cdot และ น้ำขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 3 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเปอร์ออกซีไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH_2^\cdot) เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) น้ำ และก๊าซออกซิเจนขึ้น ดังสมการ



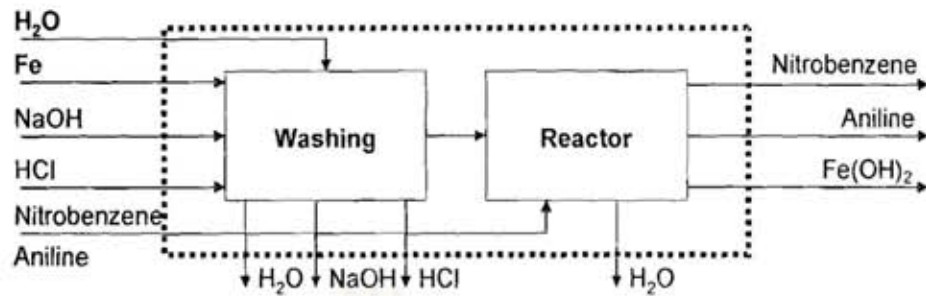
ขั้นตอนที่ 4 ไนโตรเบนซีนจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ที่เกิดขึ้นจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังกลไกการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันกับ รูปที่

ตารางที่ 3.9 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
H ₂ O ₂	0.0254
NB	0.0800
Air	0.7192
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.0516
CO ₂	0.1974
H ₂ O	0.0179
HNO ₃	0.0072
Cathechol	0.0072
Hydroquinone	0.0036
Air	0.5398

3. กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก

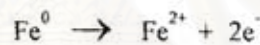
กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก ดังรูปที่ 3.12 ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกจะเป็นขั้นตอนในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่เป็นของเหลวที่อยู่บนผิวของผงเหล็ก ปริมาณ 5 กรัม โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % w/v. เป็นเวลา 20 นาที และกำจัดกรดไฮโดรคลอริก และ Fe²⁺ ที่เหลืออยู่ที่ผิวของผงเหล็กโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 % v. และน้ำกลั่น และส่วนที่สอง คือการนำผงเหล็กที่กำจัดสิ่งเจือปนออกแล้ว เข้าทำปฏิกิริยากับ สารละลายไนโตรเบนซีน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำเท่ากับ 92 %



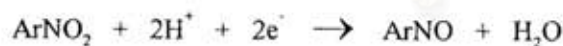
รูปที่ 3.12 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก

กระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้

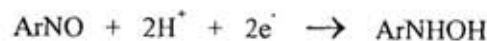
ขั้นตอนที่ 1 ผงเหล็กที่มีค่าเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์ (Fe^0) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็น Fe^{2+} และอิเล็กตรอน ดังสมการ



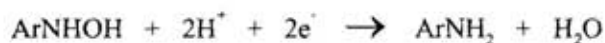
ขั้นตอนที่ 2 ไนโตรเบนซีน (ArNO_2) จะเข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในสภาวะที่เป็นกรด เกิดเป็นสารประกอบ ArNO และน้ำ ดังสมการ



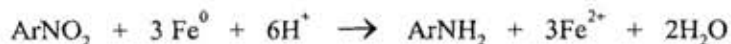
ขั้นตอนที่ 3 สารประกอบ ArNO จะเข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในสภาวะที่เป็นกรด เกิดเป็นสารประกอบ ArNHOH ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 สารประกอบ ArNHOH จะเข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในสภาวะที่เป็นกรด เกิดเป็น Aniline (ArNO_2) และน้ำ ดังสมการ



และสามารถแสดงสมการรวมของกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก
ได้ดังนี้



ตารางที่ 3.10 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนในน้ำโดยใช้
ผงเหล็ก

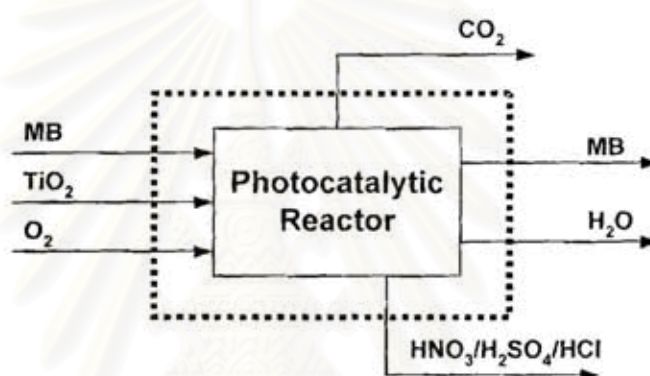
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Fe	5.000
NB	0.030
NaOH	42.000
HCl	32.800
H ₂ O	20.000
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.002
NaOH	42.000
HCl	32.739
H ₂ O	20.010
Aniline	0.026
Fe(OH) ₂	5.053

กระบวนการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูในน้ำ ^[23-26]

สีข้อมเมทิลีนบลูเป็นสีข้อมที่ให้สีฟ้าในอุตสาหกรรม และถูกใช้มากในวงการแพทย์ ซึ่ง
ย่อยสลายได้ยาก และเป็นพิษต่อมนุษย์ทั้งระบบทางเดินหายใจ และทางเดินอาหาร ซึ่งกระบวนการ
กำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูที่ปนเปื้อนในน้ำ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด และ
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มี 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

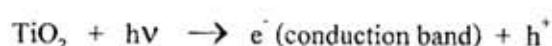
กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ดังรูปที่ 3.13 ทำโดยผ่านสารละลายสีของเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 200 ppm และ Degussa P-25 ปริมาณเท่ากับ 1 kg/m^3 เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาว 21 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.4 เซนติเมตร และมีหลอดไอปรอทที่มีความดันระดับกลาง (Medium Pressure Mercury Vapor Lamp, MPML) ขนาด 125 W ที่มีความยาวคลื่น 365 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำเท่ากับ 55 %



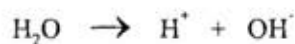
รูปที่ 3.13 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

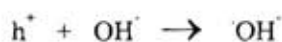
ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



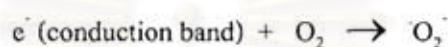
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



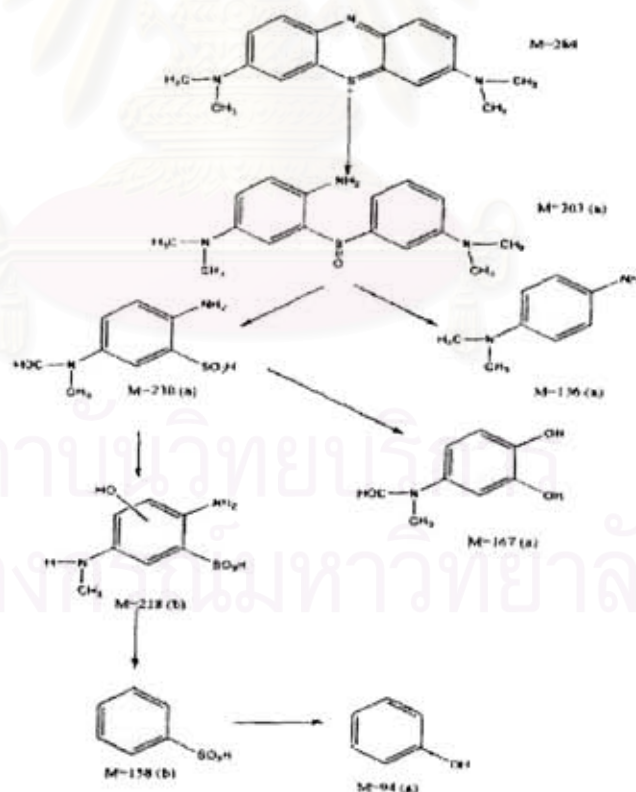
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ

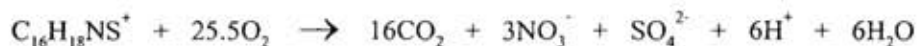


ขั้นตอนที่ 5 ซีซียมเมทิลลิบรูจะเข้าทำปฏิกิริยากับซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) และไฮดรอกซิล เรดิคอล (OH^\cdot) เกิดเป็นสารประกอบฟินอล และเกิดการย่อยสลายต่อเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดซัลฟูริก และน้ำ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดซีซียมเมทิลลิบรูในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25

และสามารถแสดงสมการรวมของกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ได้ดังนี้

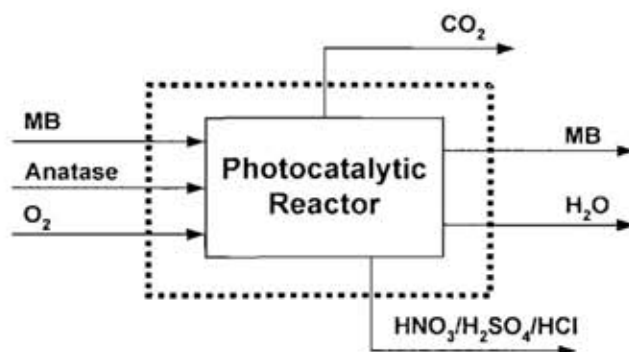


ตารางที่ 3.11 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.0763
MB	0.0381
O ₂	0.0975
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.0172
CO ₂	0.0855
H ₂ O	0.0058
HNO ₃	0.0102
H ₂ SO ₄	0.0053
HCl	0.0118
Degussa P-25	0.0763

2. กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร

กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร ดังรูปที่ 3.15 ทำโดยผ่านสารละลายสีของเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 200 ppm และ Anatase ที่มีขนาด 6 - 10 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 156 m²/g ปริมาณ 1 kg/m³ เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อ ยาว 21 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.4 เซนติเมตร และมีหลอดไอปรอทที่มีความดันระดับกลาง (Medium Pressure Mercury Vapor Lamp, MPML) ขนาด 125 W ที่มีความยาวคลื่น 365 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำเท่ากับ 95 %



รูปที่ 3.15 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร

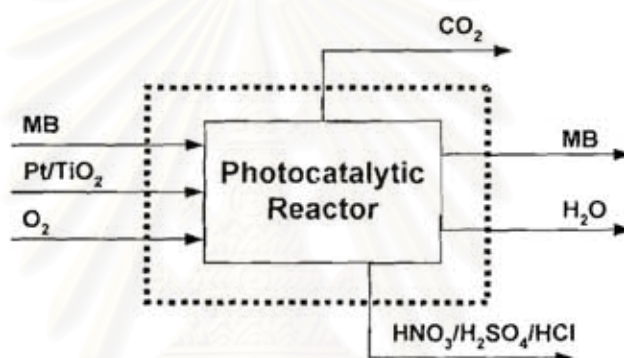
สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร จะเหมือนกับกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 แต่กระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่มากกว่ากระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เนื่องจาก Anatase ขนาดนาโนเมตร มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงมากกว่า Degussa P-25

ตารางที่ 3.12 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Anatase	0.0763
MB	0.0381
O ₂	0.0975
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.0019
CO ₂	0.1301
H ₂ O	0.0006
HN ₃	0.0011
H ₂ SO ₄	0.0006
HCl	0.0013
Anatase	0.0763

3. กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Pt/TiO_2

กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ 1 %at. Pt/TiO_2 ดังรูปที่ 3.16 ทำโดยผ่านสารละลายสีของเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 200 ppm และ Pt/TiO_2 ที่มีขนาด 6 - 7 นาโนเมตร ปริมาณ 1 kg/m^3 เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาว 21 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.4 เซนติเมตร และมีหลอดไอปรอทที่มีความดันระดับกลาง (Medium Pressure Mercury Vapor Lamp, MPML) ขนาด 125 W ที่มีความยาวคลื่น 365 nm เป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำเท่ากับ 99.75 %



รูปที่ 3.16 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ 1 %at. Pt/TiO_2

สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ 1 %at. Pt/TiO_2 จะเหมือนกับกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 แต่กระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ 1 %at. Pt/TiO_2 ก็ยังมีความแตกต่างจากกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูโดยใช้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์วิธีอื่น ๆ คือ การโคปโลหะแพลทินัมลงบนพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ จะทำให้ลดผลจากการรีคอมบิเนชัน (Recombination effect) ซึ่งเกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกกระตุ้นขึ้นไปที่ยัง Conduction Band เกิดการรวมตัวกับ h^+ ในชั้น Valent Band ของไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดกระบวนการกำจัดสีของเมทิลีนบลูในน้ำมีค่าลดลง

ตารางที่ 3.13 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำ โดยใช้ 1 %at. Pt/TiO₂

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Pt/TiO ₂	0.07626
MB	0.03813
O ₂	0.09754
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.00010
CO ₂	0.13539
H ₂ O	0.00003
HNO ₃	0.00006
H ₂ SO ₄	0.00003
HCl	0.00007
Pt/TiO ₂	0.07626

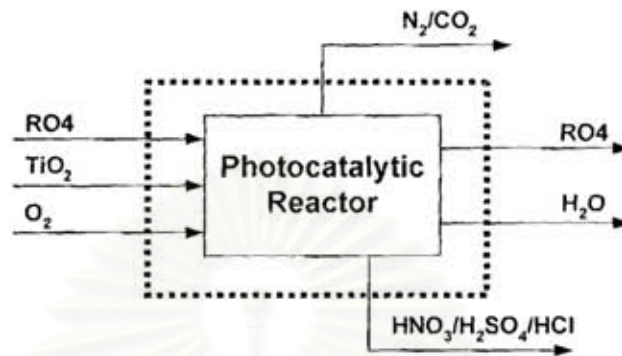
กระบวนการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ

สีย้อมออเรนจ์ 4 เป็นสีย้อมชนิด Azo dye ที่ให้สีส้ม ซึ่งเป็นตัวป้องกันการย่อยสลายทางชีวภาพของแบคทีเรียชนิดแอโรบิก (Aerobic bacteria) และเมื่อนำมาย่อยสลายทางชีวภาพด้วยแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิก (Anaerobic bacteria) จะทำให้เกิดเป็นสารประกอบอะโรมาติก เอมีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีความเป็นพิษ ดังนั้น สีย้อมออเรนจ์ 4 จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมากำจัดโดยใช้วิธีการทางชีวภาพ ซึ่งกระบวนการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ที่ปนเปื้อนในน้ำ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัด และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มี 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดสีย้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ทำโดยผ่านสารละลายสีย้อมออเรนจ์ 4 ที่มีความเข้มข้น 0.0005 mol/l และ Degussa P-25 ปริมาณ 4 g/l เข้าไปในเครื่อง

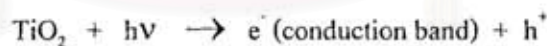
ปฏิกรณ์แบบถังกวนที่มีปริมาตรเท่ากับ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำเท่ากับ 71.58 %



รูปที่ 3.17 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

กระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

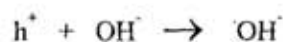
ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



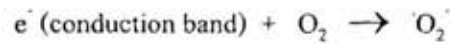
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



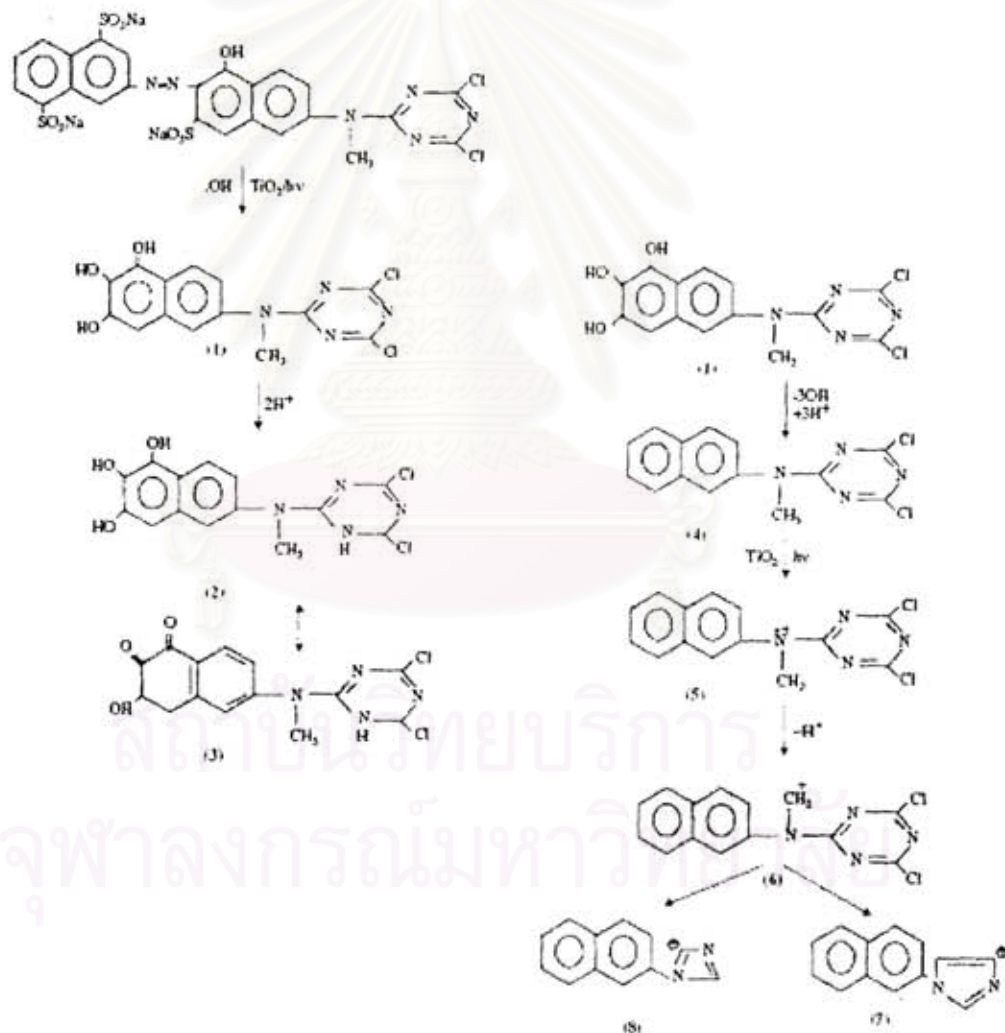
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเดชันในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 กำจัดสี่ซิมมอนส์ 4 (RO4) เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เกิดเป็นสารมัธยันต์ (intermediate compounds) ดังรูปที่ 3.18 และก๊าซไนโตรเจน ดังสมการ

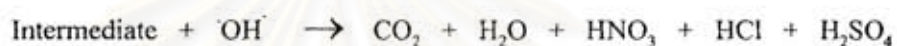


รูปที่ 3.18 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสี่ซิมมอนส์ 4 ในน้ำ

โดยใช้ Degussa P-25 (M. Muruganandham, 2006)

จากรูปที่ 3.18 แสดงกลไกการสลายตัวของสี่อ็อกซิเจนเร็นจ์ 4 (RO4) ซึ่งกลไกการสลายตัวเป็นสารมัธยันท์ (intermediate compounds) เป็นไปได้ในสองทิศทาง คือ กลไกการสลายตัวจากสี่อ็อกซิเจนเร็นจ์ 4 (RO4) เป็นสารประกอบหมายเลข (1), (2) และ (3) ตามลำดับ และอีกทิศทาง คือ การสลายตัวจากสี่อ็อกซิเจนเร็นจ์ 4 (RO4) เป็นสารประกอบหมายเลข (1), (4), (5), (6), (7) และ (8) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 6 สารมัธยันท์ (intermediate compounds) จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และน้ำ ดังสมการ

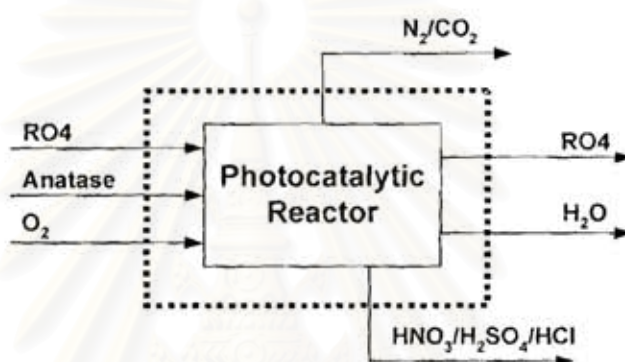


ตารางที่ 3.14 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสี่อ็อกซิเจนเร็นจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	0.2010
RO4	0.0192
O ₂	0.0212
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.0055
CO ₂	0.0157
H ₂ O	0.0087
HNO ₃	0.0024
H ₂ SO ₄	0.0028
N ₂	0.0035
HCl	0.0017
Degussa P-25	0.2010

2. กระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน

กระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาด 1 ไมครอน มีพื้นที่ผิวเท่ากับ $8.9 \text{ m}^2/\text{g}$ ดังรูปที่ 3.19 ทำโดยผ่านสารละลายสีของน้ำ 4 ที่มีความเข้มข้น 0.0005 mol/l และ Anatase ขนาดไมครอน ปริมาณ 4 g/l เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนที่มีปริมาตรเท่ากับ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำเท่ากับ 34.54 %



รูปที่ 3.19 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน

สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน จะเหมือนกับกระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 แต่กระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่น้อยกว่ากระบวนการกำจัดสีของน้ำ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เนื่องจาก Anatase ขนาด 1 ไมครอน มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงน้อยกว่า Degussa P-25

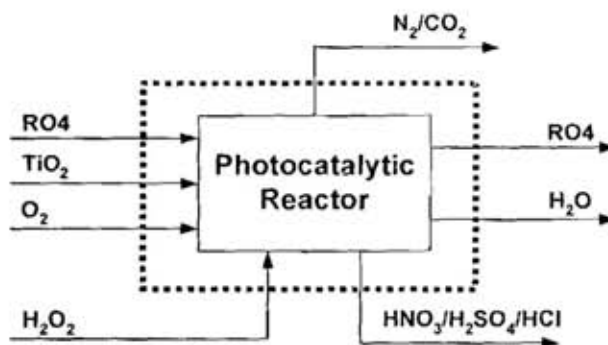
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.15 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Anatase	0.2010
RO4	0.0192
O ₂	0.0212
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.0063
CO ₂	0.0153
H ₂ O	0.0085
HNO ₃	0.0024
H ₂ SO ₄	0.0027
N ₂	0.0034
HCl	0.0017
Anatase	0.2010

3. กระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

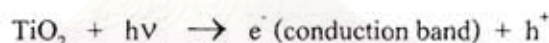
กระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.20 ทำโดยผ่านสารละลายสีข้อมออเรนจ์ 4 ที่มีความเข้มข้น 0.0005 mol/l , Degussa P-25 ปริมาณ 4 g/l และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวน 15 mmol เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนที่มีปริมาตรเท่ากับ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำเท่ากับ 87 %



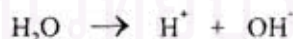
รูปที่ 3.20 แสดงแผนผังกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อิเล็กตรอนในชั้น Valent Band ของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตชนิด A ทำให้ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังชั้น Conduction Band และเกิดเป็น h^+ ขึ้นที่ชั้น Valent Band ดังสมการ



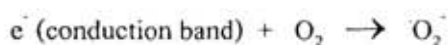
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของน้ำที่อยู่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ จะเกิดการแตกตัวเป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



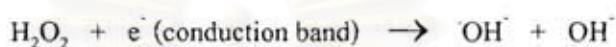
ขั้นตอนที่ 3 ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับ h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น Valent Band เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



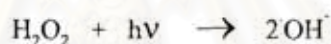
ขั้นตอนที่ 4 อิเล็กตรอนจากชั้น Conduction Band จะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้าทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในชั้น Conduction Band ของ Degussa P-25 เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 6 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 7 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) เกิดเป็นอนุภาค OH_2 และ น้ำขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 8 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเปอร์ออกซีไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH_2) เกิดเป็นอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) น้ำ และก๊าซออกซิเจนขึ้น ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 9 ซีซียมออเรนจ์ 4 จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล เรดิคัล (OH^\cdot) ดังกลไกการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับกับ รูปที่ 3.18

ตารางที่ 3.16 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการกำจัดสีข้อมอเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Pt/TiO ₂	0.20096
RO4	0.01923
H ₂ O ₂	0.68000
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.00125
CO ₂	0.31465
H ₂ O	0.17481
HNO ₃	0.04895
H ₂ SO ₄	0.05594
N ₂	0.06992
HCl	0.03496
Pt/TiO ₂	0.20096

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดของเสีย

การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดของเสียในงานวิจัยนี้ จะทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดของเสีย (ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์, ฟีนอลิกเรซิน, ไนโตรเบนซีน, สีย้อมเมทิลลีนบลู และสีย้อมออเรนจ์-4) โดยใช้ Degussa P-25 เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดของเสียวิธีอื่น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ของกระบวนการกำจัดของเสีย เป็นการทำกำจัดของเสียปริมาณ 1 กรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละวิธีได้

สำหรับการแสดงผลการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดของเสียของงานวิจัยนี้จะแสดงออกมาในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) เนื่องจากเป็นวิธีการแสดงผลที่ง่ายต่อความเข้าใจ และแสดงผลออกมาใน 2 ลักษณะ คือ กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย ซึ่งจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดของเสียออกเป็นผลกระทบย่อย ๆ เช่น ผลกระทบจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance), ผลกระทบต่อโลกร้อน (Climate change), ผลกระทบต่อการลดลงของชั้น โอโซน (Ozone depletion), ผลกระทบต่อการเกิดฝนกรดและการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน (Acidification/Eutrophication), ผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity), ผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) และผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuels) และอีกลักษณะ คือ กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม ซึ่งประกอบด้วยผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม 3 ประเภทหลัก คือ

1. ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ประกอบด้วย ผลกระทบจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic

substance), ผลกระทบต่อโลกร้อน (Climate change), ผลกระทบต่อการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

2. ผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem) ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการเกิดฝนกรดและการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน (Acidification/Eutrophication), ผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)

3. ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) และผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuels)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศ

สำหรับงานวิจัยนี้เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25, ใช้ก๊าซแอมโมเนีย และ ใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์ ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศของแต่ละกระบวนการได้ดังตารางที่ 4.1 – 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	176249.33
NO	1.00
Air	2.85
H ₂ O	0.20
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	0.05
NO ₂	0.46
HNO ₃	1.40
Degussa P-25	176249.33
Air	2.14

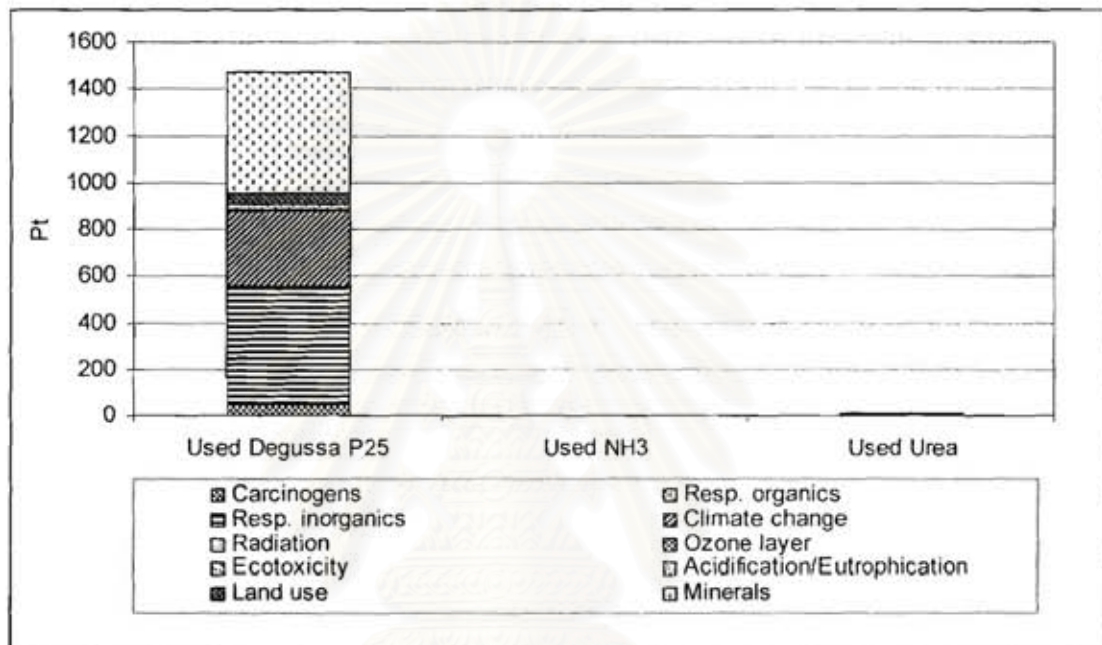
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
NH ₃	0.283
NO	1.000
O ₂	0.267
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	0.050
N ₂	0.933
H ₂ O	0.567

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวานาเดียมออกไซด์

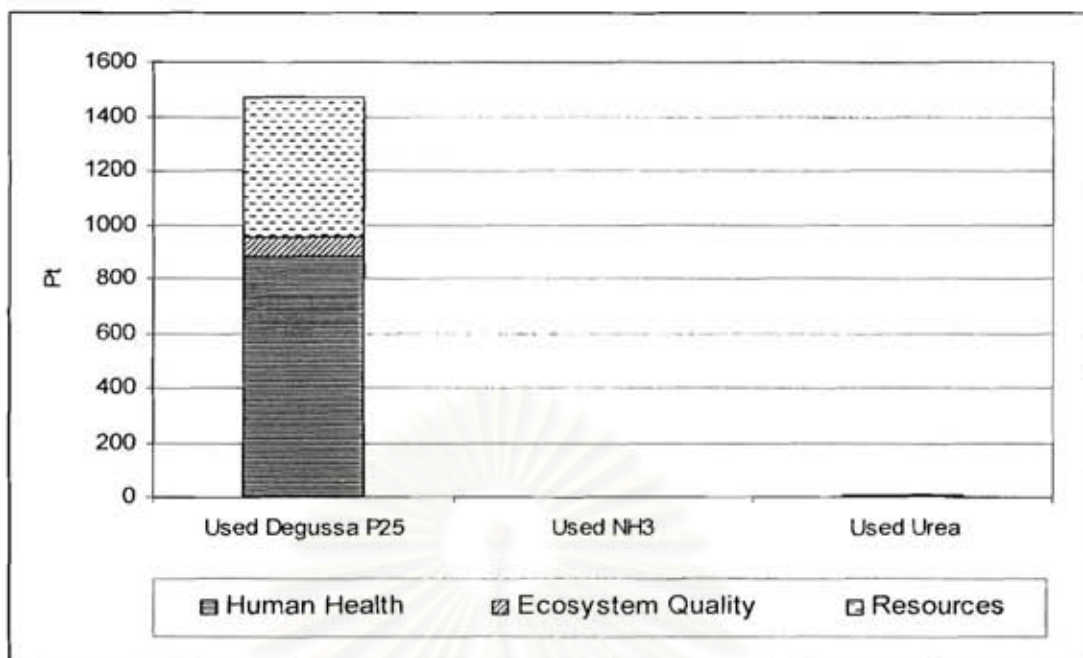
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Urea	1.001
NO	1.000
H ₂ O	0.300
O ₂	0.267
V ₂ O ₅	6.034
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NO	0.390
N ₂	0.933
CO ₂	0.733
H ₂ O	0.511
V ₂ O ₅	6.034

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทั้ง 3 วิธีจะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.1 - 4.3 เข้าไปในโปรแกรม SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ในอากาศ

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่ากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองมาคือ กระบวนการกำจัดโดยใช้สารละลายยูเรียร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแวนาเดียมออกไซด์ และ กระบวนการกำจัดใช้ก๊าซแอมโมเนีย ตามลำดับ โดยผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต Degussa P-25 ซึ่งมีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศ พบว่ากระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 และกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงสุดเท่ากัน (95%) แต่จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่า กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ Degussa P-25 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งแทบจะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ด้าน ดังนั้นควรที่จะ

เลือกใช้ก๊าซแอมโมเนียในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศ เนื่องจาก กระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงที่สุด และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกรีซินในน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกรีซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกรีซินในน้ำของแต่ละกระบวนการ ได้ดังตารางที่ 4.4 – 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกรีซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	77.82
Phenol	1.00
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.07
CO ₂	0.42
H ₂ O	0.23
Cathechol	0.11
Hydroquinone	0.17
Degussa P-25	77.82

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

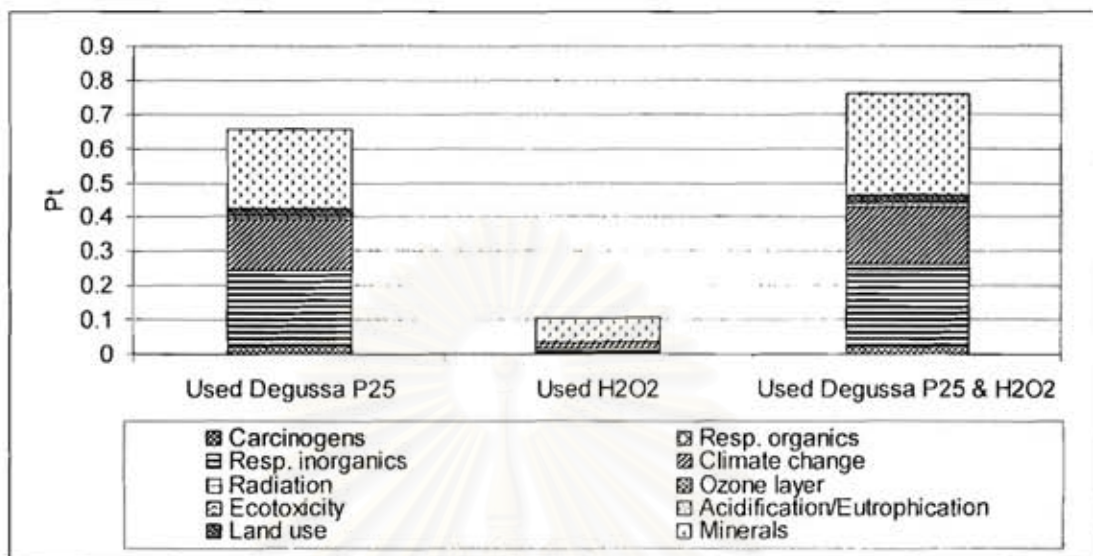
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
H ₂ O ₂	0.88
Phenol	1.00
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.45
CO ₂	0.25
H ₂ O	0.14
Cathechol	0.07
Hydroquinone	0.10

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

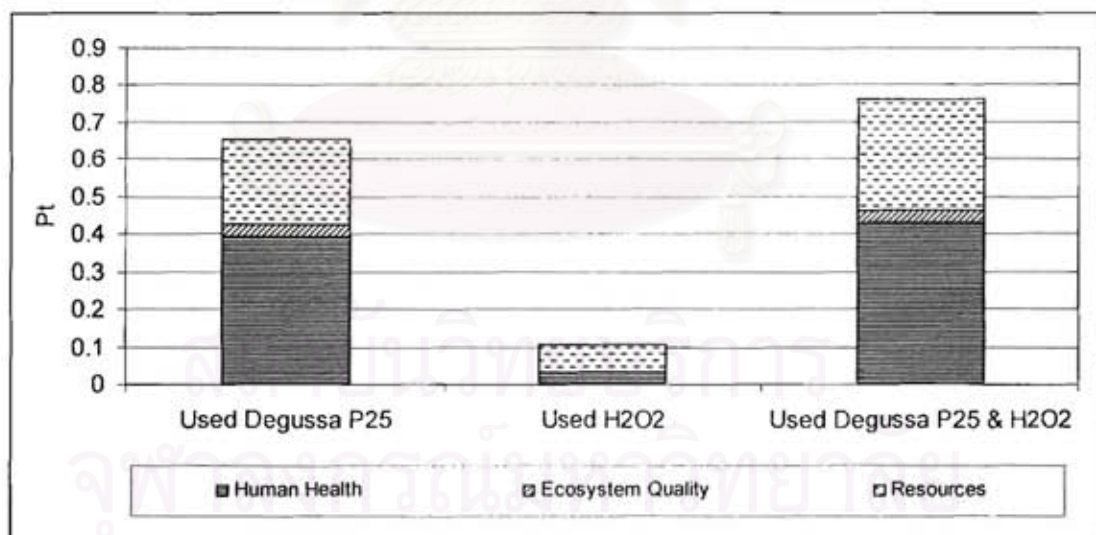
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	77.82
H ₂ O ₂	0.88
Phenol	1.00
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
Phenol	0.01
CO ₂	0.84
H ₂ O	0.47
Cathechol	0.23
Hydroquinone	0.34
Degussa P-25	77.82

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้ง 3 วิธีจะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.4 – 4.6 เข้าไปในโปรแกรม SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ในลักษณะกราฟ

เชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่ากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองมาคือ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 และ กระบวนการกำจัดใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ โดยผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต Degussa P-25 และกระบวนการผลิตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการกำจัดกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำ พบว่ากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิกเรซินสูงสุดเท่ากับ 99.5 % และยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดอีกด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกที่จะกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่เมื่อพิจารณากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 พบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิกเรซินในระดับที่ค่อนข้างสูง (94%) รองมาจากการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่าการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังนั้น ควรที่จะเลือกใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำ

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดในโครเบนซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ผงเหล็ก ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดในโครเบนซินในน้ำของแต่ละกระบวนการ ได้ดัง ตารางที่ 4.7 – 4.9

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	4.000
NB	1.000
Air	9.589
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.005
CO ₂	2.467
H ₂ O	0.336
HNO ₃	0.292
Cathechol	0.117
Hydroquinone	0.175
Air	7.197
Degussa P-25	4.000

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

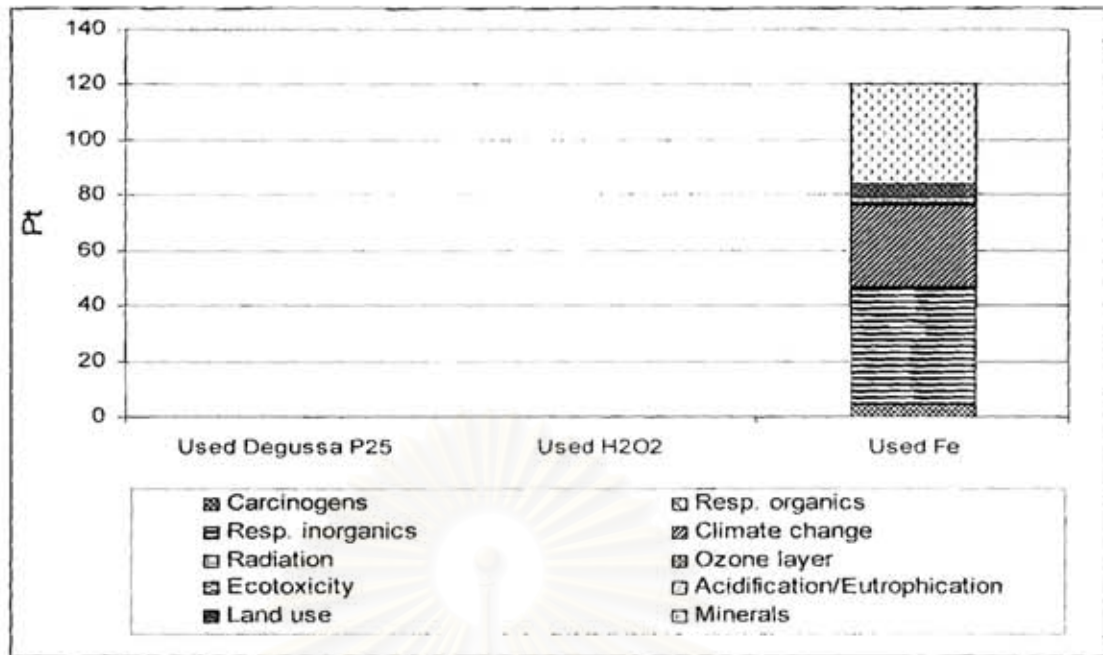
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
H ₂ O ₂	0.318
NB	1.000
Air	8.990
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.645
CO ₂	2.467
H ₂ O	0.224
HNO ₃	0.090
Cathechol	0.090
Hydroquinone	0.045

สารขาออก (ต่อ)	ปริมาณ (กรัม) (ต่อ)
Air	6.747

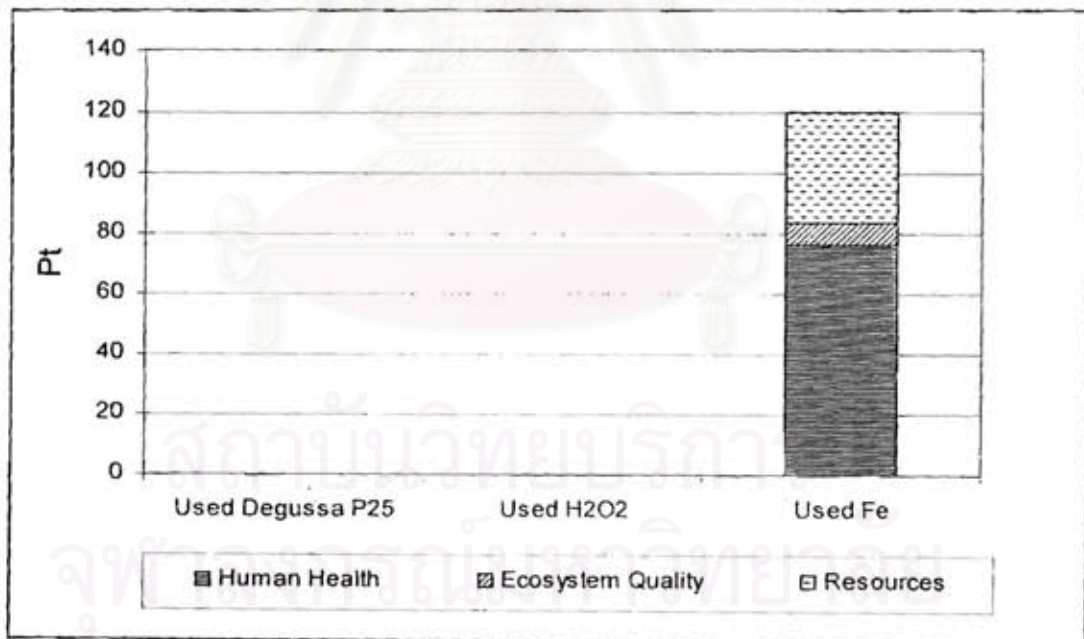
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดไนโตรเบนซีนปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ โดยใช้ผงเหล็ก

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Fe	166.667
NB	1.000
NaOH	1400.000
HCl	1093.333
H ₂ O	666.667
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
NB	0.080
NaOH	1400.000
HCl	1091.287
H ₂ O	667.003
Aniline	0.869
Fe(OH) ₂	168.428

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนทั้ง 3 วิธีจะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.7 – 4.9 เข้าไปในโปรแกรม SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของกระบวนการกำจัดไนโตรเบนซีนทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัดไนโตรเจนในปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดไนโตรเจนในปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคั่งรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่ากระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ส่วนกระบวนการกำจัดในโครเบนซินโดยใช้ Degussa P-25 และ กระบวนการกำจัดในโครเบนซินโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แทบจะไม่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมเลยเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก โดยผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดก๊าซในโครเจนออกไซด์ในอากาศโดยใช้ผงเหล็ก เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิตผงเหล็ก ซึ่งที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการกำจัดในโครเบนซินในน้ำ พบว่ากระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 มีประสิทธิภาพในการกำจัด ในโครเบนซินสูงที่สุดเท่ากับ 99.5 % อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก ดังนั้นควรที่จะเลือกใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดในโครเบนซินในน้ำ เนื่องจาก กระบวนการกำจัดในโครเบนซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงที่สุด และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดซีซียมเมทิลีนบลูในน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดซีซียมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25, ใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร และ ใช้ $PuTiO_2$ ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดซีซียมเมทิลีนบลูในน้ำของแต่ละกระบวนการ ได้ดัง ตารางที่ 4.10 – 4.12

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดซีซียมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	2.000
MB	1.000
O_2	2.558

สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.450
CO ₂	2.242
H ₂ O	0.152
HNO ₃	0.267
H ₂ SO ₄	0.138
HCl	0.309
Degussa P-25	2.000

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม
ในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร

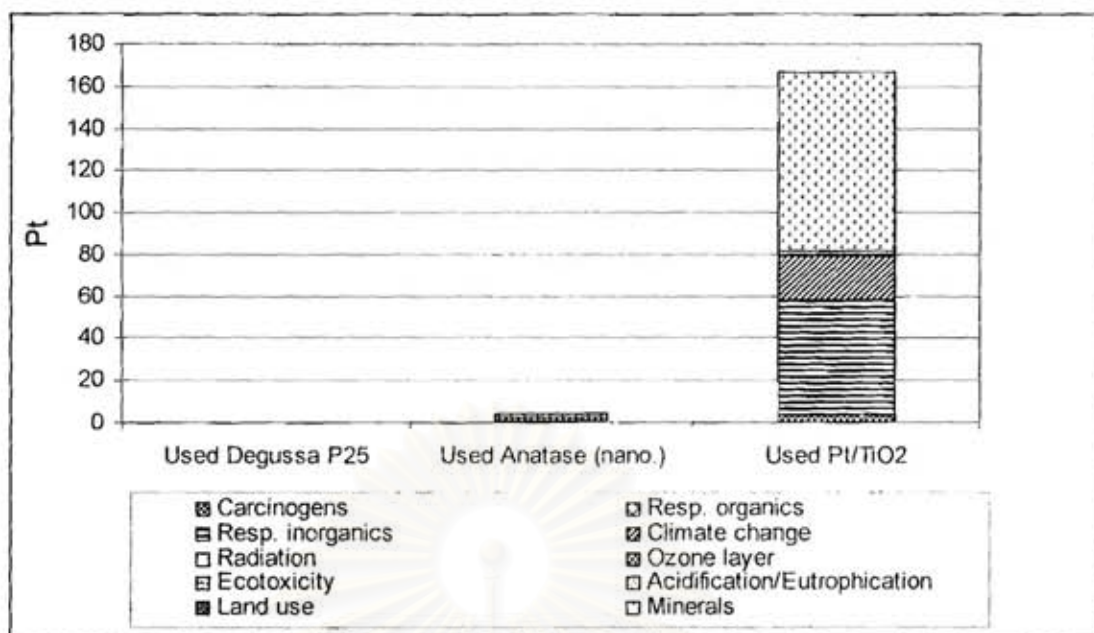
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Anatase	2.000
MB	1.000
O ₂	2.558
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.050
CO ₂	3.412
H ₂ O	0.017
HNO ₃	0.030
H ₂ SO ₄	0.015
HCl	0.034
Anatase	2.000

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม
ในน้ำโดยใช้ PV/TiO_2

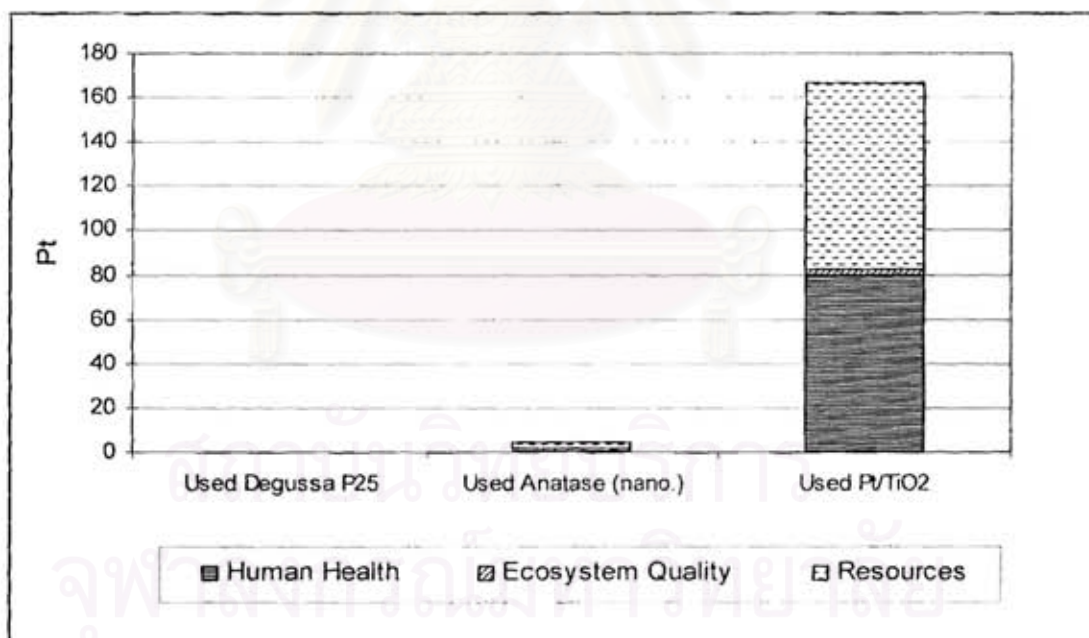
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
PV/TiO_2	2.0000
MB	1.0000
O_2	2.5580
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
MB	0.0025
CO_2	3.5507
H_2O	0.0008
HNO_3	0.0015
H_2SO_4	0.0008
HCl	0.0017
PV/TiO_2	2.0000

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลู
ทั้ง 3 วิธีจะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.10 – 4.12 เข้าไปในโปรแกรม
SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ใน
ลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของ
กระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด สีย้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด สีย้อมเมทิลีนบลูปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่ากระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ $PuTiO_2$ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองมาคือกระบวนการกำจัดโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร และกระบวนการกำจัดใช้ Degussa P-25 ตามลำดับ โดยผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ $PuTiO_2$ เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต $H_2P_2Cl_6$ และ $TiO(NO_3)_2$ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิต $PuTiO_2$ ซึ่งที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการกำจัดกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำ พบว่ากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ $PuTiO_2$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำสูงสุดเท่ากับ 99.5 % และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดอีกด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกที่จะกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ $PuTiO_2$ แต่เมื่อพิจารณากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร พบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในระดับที่ค่อนข้างสูง (95%) รองมาจาก การกำจัดโดยใช้ $PuTiO_2$ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่าการกำจัดโดยใช้ $PuTiO_2$ ดังนั้น ควรที่จะเลือกใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร ในการกำจัดสี้อมเมทิลีนบลูในน้ำ

การผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25, ใช้ Anatase ขนาดไมครอน และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสี้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำของแต่ละกระบวนการ ได้ดัง ตารางที่ 4.13 – 4.15

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ใน น้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	10.453
RO4	1.000
O ₂	1.103
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.284
CO ₂	0.818
H ₂ O	0.455
HNO ₃	0.127
H ₂ SO ₄	0.145
N ₂	0.000
HCl	0.091
Degussa P-25	10.453

ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ใน น้ำโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน

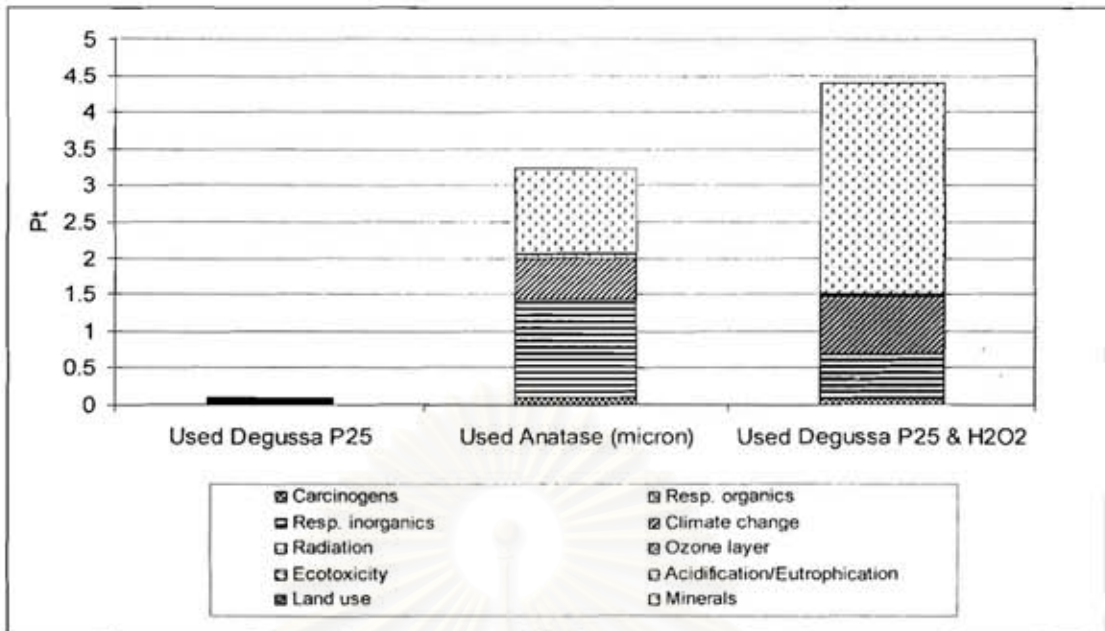
สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Anatase	10.453
RO4	1.000
O ₂	1.103
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.328
CO ₂	0.798
H ₂ O	0.443
HNO ₃	0.124
H ₂ SO ₄	0.142
N ₂	0.000

สารขาออก (ต่อ)	ปริมาณ (กรัม) (ต่อ)
HCl	0.089
Anatase	10.453

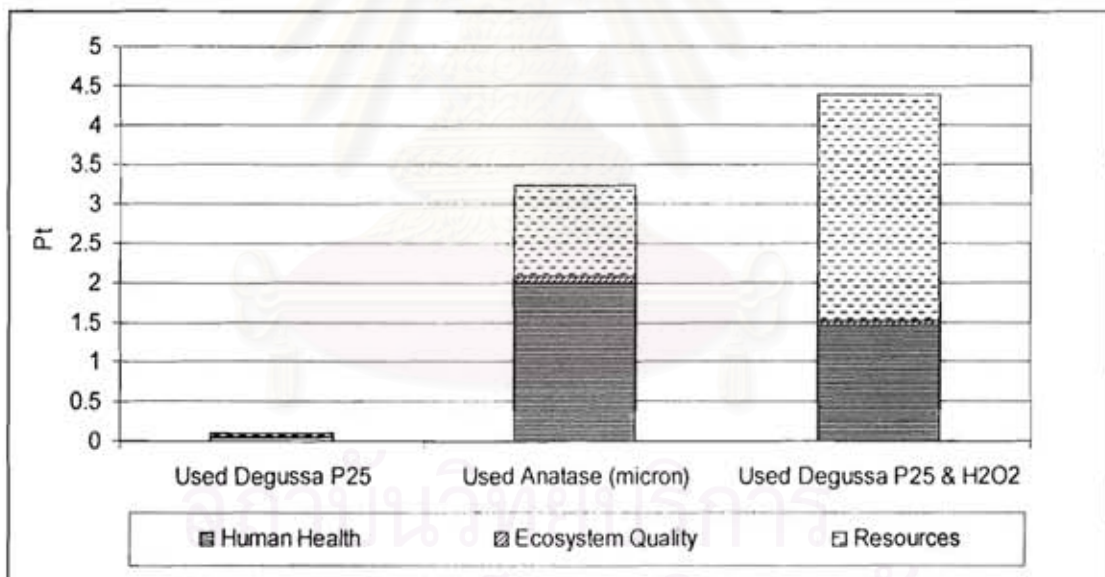
ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สารขาเข้า	ปริมาณ (กรัม)
Degussa P-25	10.453
RO4	1.000
H ₂ O ₂	35.371
สารขาออก	ปริมาณ (กรัม)
RO4	0.065
CO ₂	16.367
H ₂ O	9.093
HNO ₃	2.546
H ₂ SO ₄	2.910
N ₂	0.000
HCl	1.819
Degussa P-25	10.453

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ทั้ง 3 วิธีจะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.13 - 4.15 เข้าไปในโปรแกรม SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด สีข้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด สีข้อมออเรนจ์ 4 ปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่ากระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองมาคือ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Anatase ขนาดไมครอน และ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ตามลำดับ โดยผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต Degussa P-25 และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ พบว่ากระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเมทิลลีนบลูในน้ำสูงสุดเท่ากับ 87 % แต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดอีกด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกที่จะกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเมื่อพิจารณากระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 พบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 สูงในระดับที่ค่อนข้างสูง (71..58%) รองมาจาก การกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้ Anatase ขนาดไมครอน ดังนั้น ควรที่จะเลือกใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ เนื่องจาก กระบวนการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ค่อนข้างสูง และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

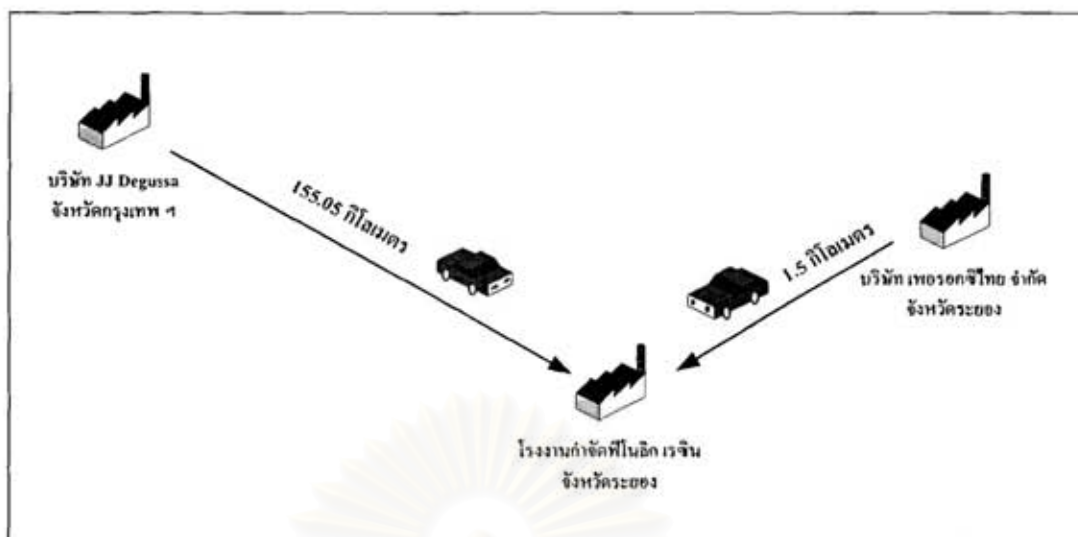
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 กรณีศึกษา : กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย

เนื้อหาในส่วนนี้เป็นกรณีศึกษาของกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย ซึ่งจะเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินที่ โดยนำประสิทธิภาพการกำจัดฟิโนลิกเรซิน ต้นทุนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซิน และต้นทุนการขนส่งในแต่ละกระบวนการ มาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อที่จะสามารถบ่งชี้ถึงแนวทาง ในการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกที่จะศึกษากระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ เนื่องจากฟิโนลิก เรซิน เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ และเมื่อปนเปื้อนในน้ำแล้วไม่สามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยวิธีทางชีวภาพ และยังพบว่าปริมาณของฟิโนลิก เรซินที่ถูกปลดปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีปริมาณรวมเท่ากับ 6501 ตันต่อปีอีกด้วย โดยมีพื้นที่หลักในกา ปลดปล่อยฟิโนลิก เรซิน อยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจะ ทำการศึกษากระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยกำหนดให้มีโรงงานกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซินอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ดังรูปที่ 4.11 เนื่องจากเป็น ตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับโรงงานที่มีของเสียเป็นฟิโนลิก เรซิน และยังพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งของ วัตถุประสงค์ที่จะนำมากำจัดฟิโนลิก เรซิน ซึ่งประกอบด้วย Degussa P-25 ซึ่งนำมาจากบริษัท JJ Degussa จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่าย Degussa P-25 ให้กับบริษัท Degussa AG ประเทศเยอรมัน และวัตถุประสงค์อีกชนิด คือ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นำมาจากบริษัท เพอรอกซิไทย จำกัด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใกล้กับ โรงงานกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซินที่กำหนดไว้มากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง และระยะทางประมาณของกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินในน้ำ

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินในน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลิก เรซิน ต้นทุนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิก เรซิน และต้นทุนการขนส่ง ตามลำดับเพื่อที่จะสามารถบ่งชี้ถึงแนวทางในการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย ได้ดังนี้

1. การประเมินผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินในน้ำ

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ที่ถูกปลดปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยโดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำของแต่ละกระบวนการ ได้ดังตารางที่ 4.16– 4.18

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ในน้ำโดยใช้ Degussa P-25

สารขาเข้า	ปริมาณ (ตัน)
TiO ₂	505914.40
Phenol	6501.00

สารขาออก	ปริมาณ (ตัน)
Phenol	455.07
CO ₂	2720.67
H ₂ O	1511.48
Cathechol	725.51
Hydroquinone	1088.27

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ใน น้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

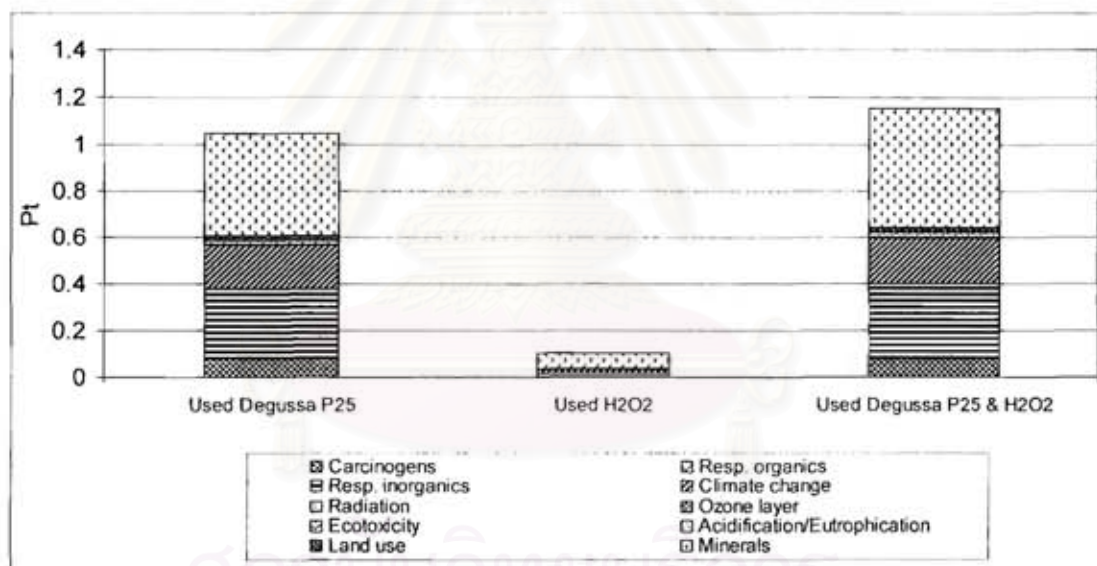
สารขาเข้า	ปริมาณ (ตัน)
H ₂ O ₂	5733.70
Phenol	6501.00
สารขาออก	ปริมาณ (ตัน)
Phenol	2925.45
CO ₂	1609.00
H ₂ O	893.89
Cathechol	429.07
Hydroquinone	643.60

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ใน น้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

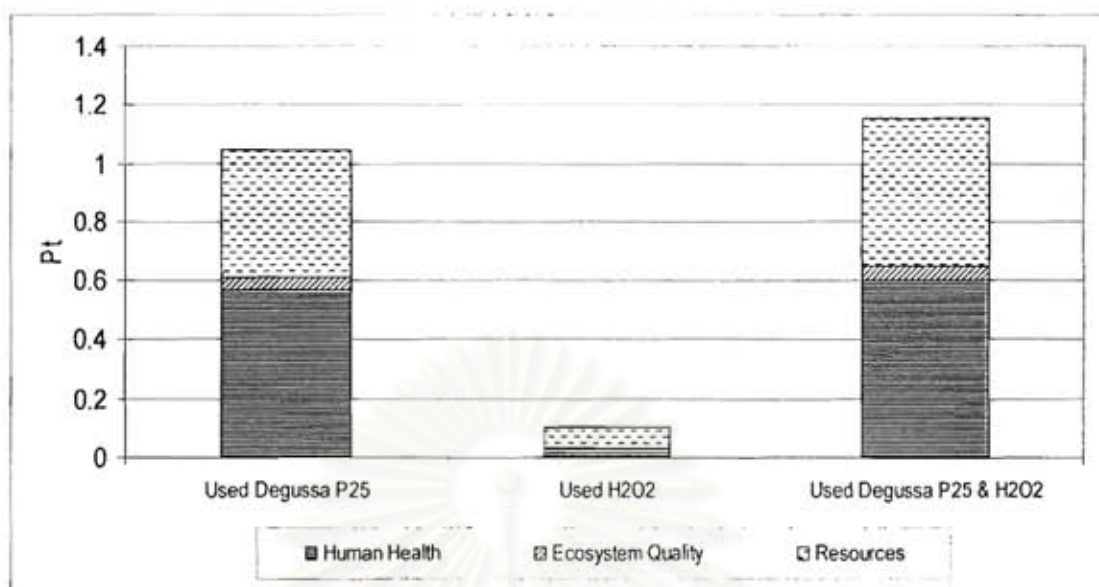
สารขาเข้า	ปริมาณ (ตัน)
TiO ₂	505914.40
H ₂ O ₂	5733.70
Phenol	6501.00
สารขาออก	ปริมาณ (ตัน)
Phenol	32.51
CO ₂	5490.99
H ₂ O	3050.55

สารขาออก (ต่อ)	ปริมาณ (ตัน) (ต่อ)
Cathechol	1464.26
Hydroquinone	2196.39

การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้ง 3 วิธี จะต้องป้อนปริมาณสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 4.16 – 4.18 และข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบ ได้แก่ ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบ และน้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้ง 3 วิธี เข้าไปในโปรแกรม SimaPro 6.0 โดยผลการประเมินจะแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม ในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ที่ให้คะแนนผลกระทบต่อที่มีสิ่งแวดล้อม (point, Pt) ของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้ง 3 วิธี ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ

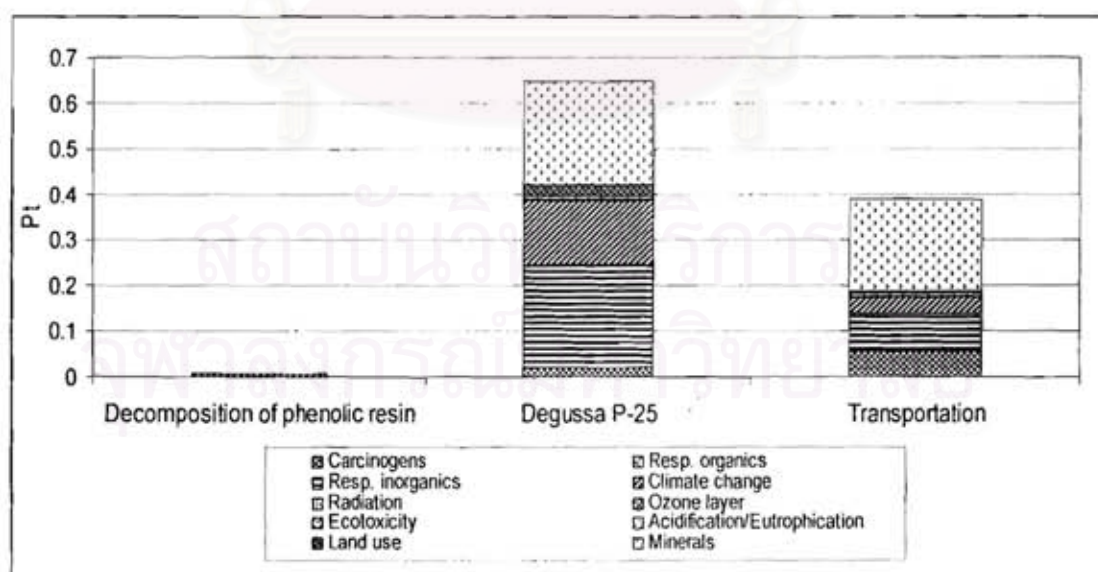


รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ

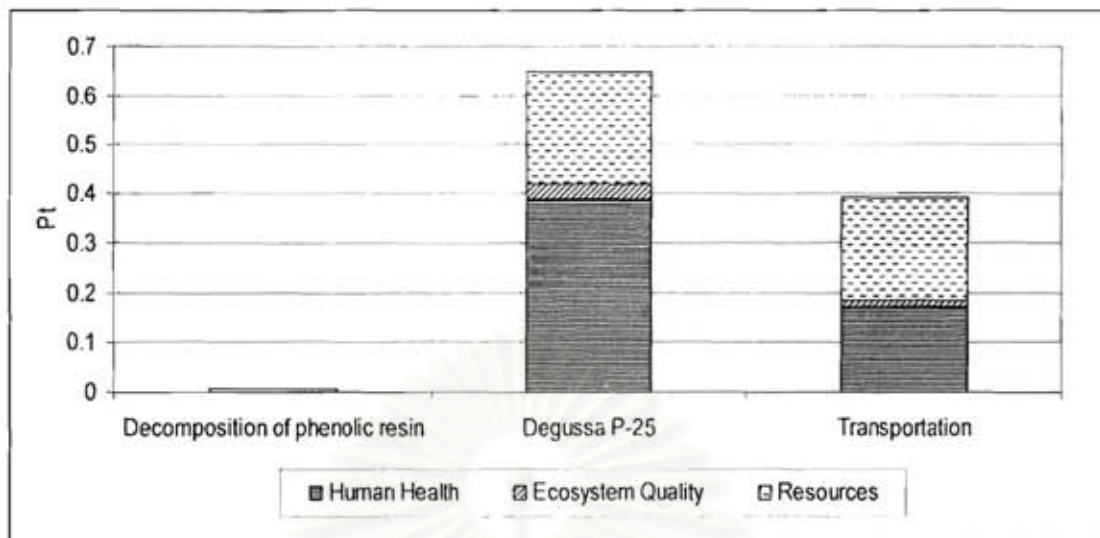
จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จะมีแนวโน้มเดียวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัด ฟิโนลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ คือ กระบวนการกำจัดกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองมาคือ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 และ กระบวนการกำจัดใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ แต่ปริมาณของผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ จะมีค่ามากกว่า กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินปริมาณ 1 กรัม ในน้ำ เนื่องจากมีปริมาณการใช้วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการกำจัดมากกว่า สารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกจากกระบวนการกำจัดมีปริมาณมากกว่า และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งสามารถอธิบายถึงผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำในแต่ละวิธีได้ดังนี้

(1) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน
ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25

จากผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต Degussa P-25 และในการกำจัดฟีนอลิกเรซิน 6501 ตัน จะต้องใช้ปริมาณของ Degussa P-25 มาก ซึ่งเป็นผลที่สืบเนื่องจาก Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของ Degussa P-25 ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดของ Degussa P-25 มีค่าสูง เมื่อความเข้มข้นของฟีนอลิกเรซินมีค่าน้อย ๆ ดังนั้นในการกำจัดฟีนอลิกเรซินในปริมาณมาก ๆ จึงต้องใช้ Degussa P-25 ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยรองที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ขนส่ง Degussa P-25 จากจังหวัดกรุงเทพฯ ไปสู่โรงงานกำจัดฟีนอลิกเรซิน ที่จังหวัดระยอง ซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้ Degussa P-25 ในปริมาณมาก และระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบค่อนข้างไกลจากโรงงานกำจัดฟีนอลิกเรซิน และจากรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า กระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย



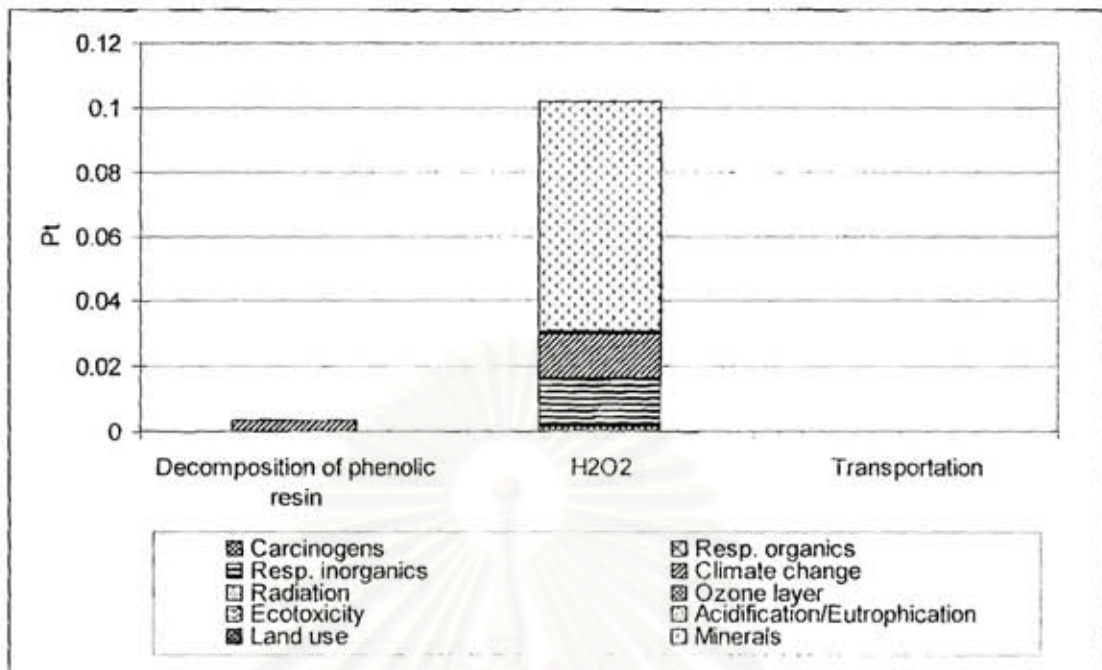
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด
ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25



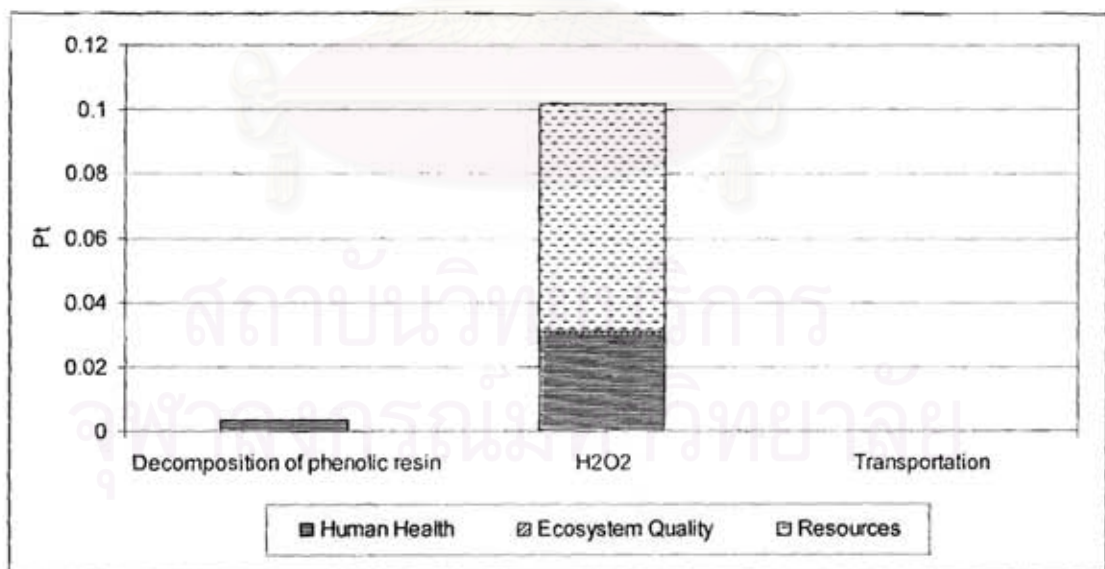
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25

(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินในน้ำ ส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีค่าน้อยมาก เนื่องจากระยะทางระหว่างบริษัทที่ผลิตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับ โรงงานกำจัดฟีนอลิกเรซินมีค่าใกล้เคียงกันมาก และปริมาณของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินก็มีปริมาณที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้นกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงเป็นกระบวนการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก และจากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่ากระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

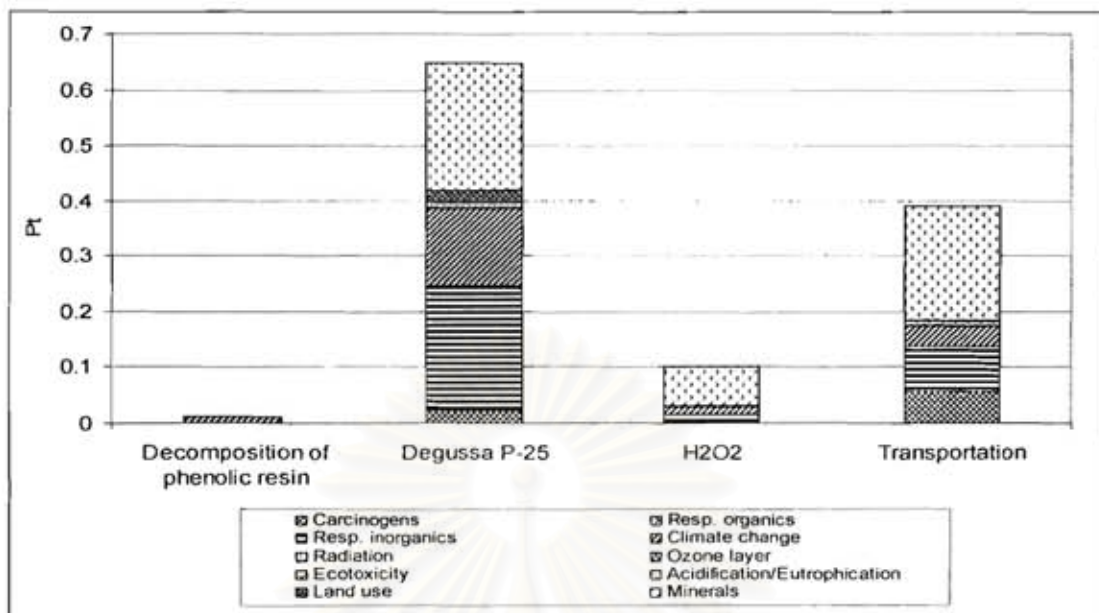


รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

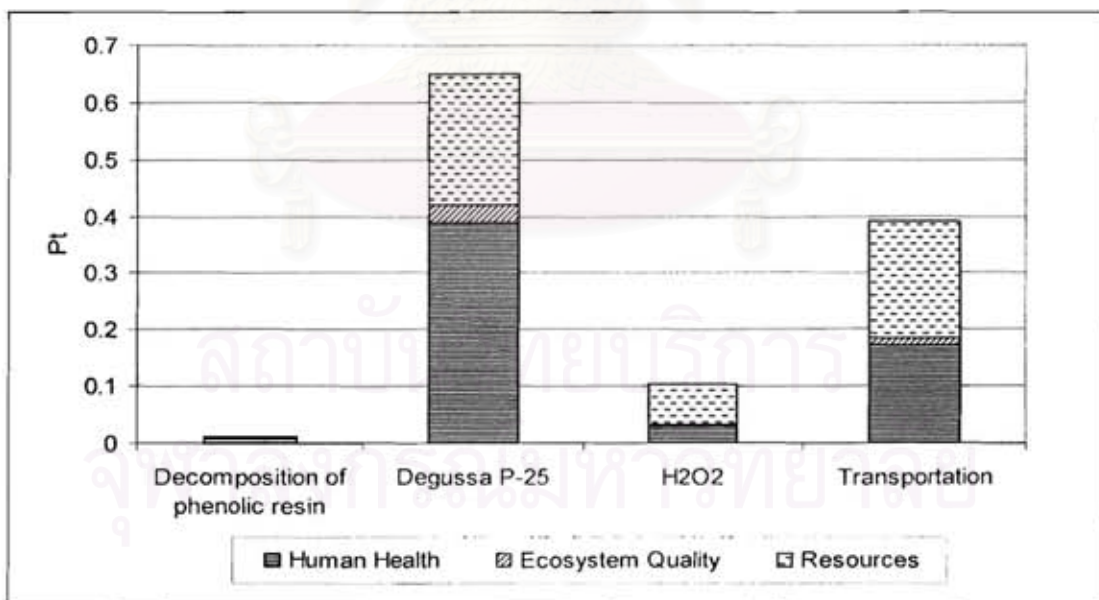
(3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน
ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการนำ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า ผลกระทบหลักที่เกิดจากกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต Degussa P-25 การใช้ Degussa P-25 ในปริมาณมาก และ ระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบก่อนข้างไกลจากโรงงานกำจัดพีโนลิกเรซิน เช่นเดียวกับกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 แต่กระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการขนส่งสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก โรงงานผลิตไปสู่โรงงานกำจัดพีโนลิกเรซิน อีกด้วย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินทั้ง 3 วิธี จึงพบว่า กระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2. ประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิกเรซิน ในน้ำ

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ทำให้ทราบว่า Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่มีประสิทธิภาพดีในการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับฟิโนลิกเรซินได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีค่ามากที่สุดรองมา คือ กระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้ Degussa P-25 และกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ

3. ต้นทุนของวัตถุดิบและต้นทุนการขนส่งที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซิน ในน้ำ

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในน้ำของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะสามารถบ่งชี้ถึงแนวทางในการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาต้นทุนของวัตถุดิบและต้นทุนการขนส่งที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินด้วย เนื่องจากต้นทุนเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจลงทุนสร้างโรงงานกำจัดฟิโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ โดยแสดงข้อมูลราคาวัตถุดิบที่ใช้ อัตราค่าขนส่ง และการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในแต่ละวิธี ดังตารางที่ 4.19-4.22

ตารางที่ 4.19 แสดงราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซิน

วัตถุดิบที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซิน	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ราคา (บาท/ตัน)
Degussa P-25	1400	1400000
H ₂ O ₂	13	13000

ตารางที่ 4.20 แสดงอัตราค่าขนส่งโดยจำแนกตามชนิดรถบรรทุก

ชนิดรถบรรทุก	ปริมาณมากที่สุดที่บรรทุกได้ (ตัน)	อัตราค่าขนส่ง (บาท/กิโลเมตร)
รถปิกอัพ	1	2.18
รถบรรทุก 6 ล้อ	6	4.00
รถบรรทุก 10 ล้อ	10	6.23
รถเทเลอร์ (ตู้สั้น)	15	8.00
รถเทเลอร์ (ตู้ยาว)	21	8.00

ตารางที่ 4.21 แสดงการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินในแต่ละวิธี

วิธีการกำจัด	การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่ง
Degussa P25	ต้นทุนของ Degussa P-25 = 505914.4×1400000 = 708280000000 บาท/ปี ต้นทุนการขนส่ง Degussa P-25 = $(2 \times 155.05 \times 8) \times (505914.4 / 21)$ = 59766552 บาท/ปี ต้นทุนรวม = $708280000000 + 59766552$ = 708,339,766,552 บาท/ปี
H ₂ O ₂	ต้นทุนของ H ₂ O ₂ = 5733.7×13000 = 74538100 บาท/ปี ต้นทุนการขนส่ง H ₂ O ₂ = $(2 \times 1.5 \times 8) \times (5733.7 / 21)$ = 6553 บาท/ปี ต้นทุนรวม = $74538100 + 6553$ = 74,544,653 บาท/ปี
Degussa P25 &	ต้นทุนของ Degussa P-25 = 505914.4×1400000

H ₂ O ₂	= 708280000000 บาท/ปี
ต้นทุนของ H ₂ O ₂	= 5733.7 x 13000
	= 74538100 บาท/ปี
วิธีการกำจัด	การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่ง
	ต้นทุนการขนส่งรวม = [(2 x 155.05 x 8) x (505914.4 / 21)] + [(2 x 1.5 x 8) x (5733.7 / 21)] = 59,773,105 บาท/ปี
	ต้นทุนรวม = 708280000000 + 74538100 + 59773105 = 708,414,311,205 บาท/ปี

ตารางที่ 4.22 แสดงผลสรุปการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินใน 3 วิธี

วิธีการกำจัด	วัตถุดิบ	ต้นทุนวัตถุดิบ และ ต้นทุนการขนส่ง (บาท/ปี)	ต้นทุนวัตถุดิบ และ ต้นทุนการขนส่งรวม (บาท/ปี)	ต้นทุนรวมในการ กำจัดฟิโนลิกเรซิน (บาท/ปี)
Degussa P25	Degussa P25	708,280,000,000	708,280,000,000	708,339,766,552
	Transportation	59,766,552	59,766,552	
H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	74,538,100	74,538,100	74,544,653
	Transportation	6,553	6,553	
Degussa P25 & H ₂ O ₂	Degussa P25	708,280,000,000	708,354,538,100	708,414,311,205
	H ₂ O ₂	74,538,100		
	Transportation	59,773,105		

จากผลการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินในแต่ละวิธีตามตารางที่ 4.22 พบว่า การนำ Degussa P-25 มาใช้ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีต้นทุนรวมที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสูงสุด รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 และกระบวนการกำจัดโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า ต้นทุนรวมของ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ที่ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับค่าตอบแทนที่ได้จากการกำจัดกำจัดฟิโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในปัจจุบันซึ่งจะได้ค่าตอบแทนเท่ากับ $6501 \times 10000 = 65,010,000$ บาท ซึ่งพบว่ากระบวนการกำจัดทั้ง 3 วิธีมีต้นทุนที่สูงมาก

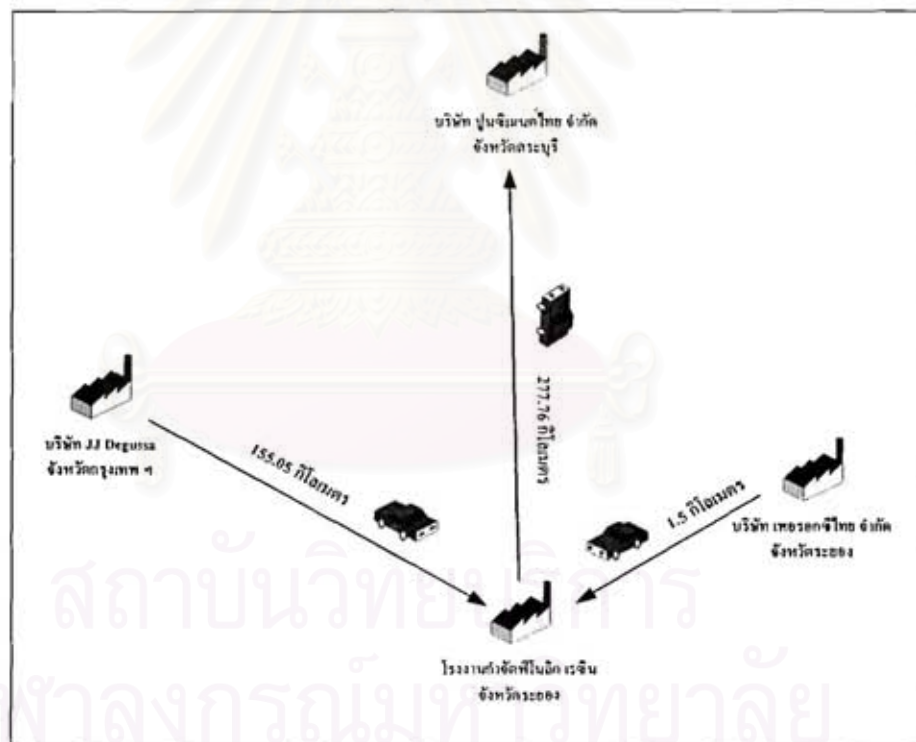
โดยเฉพาะกระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25

จากการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำประสิทธิภาพการกำจัดฟิโนลิก เรซิน และต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิก เรซิน พบว่ากระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่สูงมาก แต่จำเป็นที่จะต้องใช้ Degussa P-25 ในปริมาณมากในการกำจัด เนื่องจาก Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาที่จำกัด เป็นเหตุให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีค่าสูง อีกทั้งต้นทุนต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิก เรซินของวิธีนี้มีค่าสูงมาก ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซิน ในประเทศไทย ส่วนกระบวนการกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซินโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แม้ว่าจะมีต้นทุนรวมในการกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซินต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ มาก แต่วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิก เรซินที่ต่ำมากดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำเช่นกัน

เนื่องจากกระบวนการกำจัด โดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการกำจัดกำจัดฟิโนลิก เรซิน ดังนั้นเราจะทำการพิจารณากระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำ โดยการใส่เตาเผาจากโรงปูนซิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน

กระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำ โดยการใส่เตาเผาจากโรง โรงปูนซิเมนต์ เป็นวิธีที่ถูกเลือกที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟิโนลิก เรซินได้ถึง 100 % และฟิโนลิก เรซิน เป็นสารเคมีที่มีค่าความร้อนเพียงพอที่จะนำไปเผาในเตาเผาปูนซิเมนต์ โดยขั้นตอนในการกำจัด คือ นำฟิโนลิก เรซินที่ถูกปลดปล่อยออกจากอุตสาหกรรมมาเข้าสู่ถังผสมเพื่อให้เกิดการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน และนำส่งไปยังเตาเผาปูนซิเมนต์ ที่จังหวัดสระบุรี โดยมีตำแหน่งที่ตั้งและระยะทางดังรูปที่ 4.20

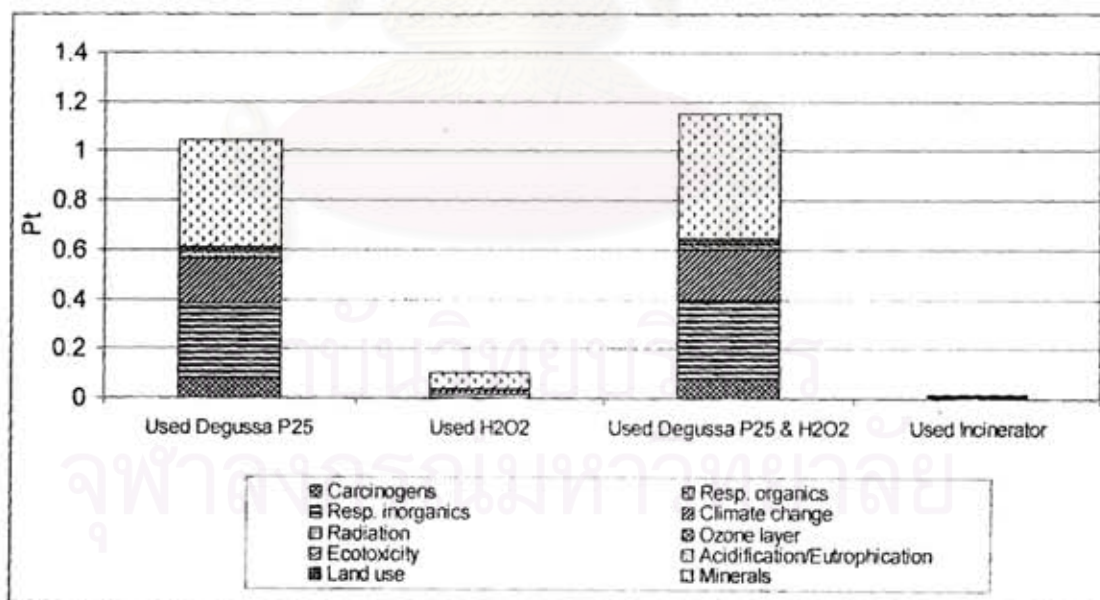
ดังนั้นเราจะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดฟิโนลิก เรซิน ต้นทุนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิก เรซิน และต้นทุนการขนส่ง ตามลำดับ ของกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์ ตามตารางที่ 4.23 และแสดงผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากโปรแกรม SimaPro 6.0 ในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (single score) ดังรูปที่ 4.21 และ 4.22



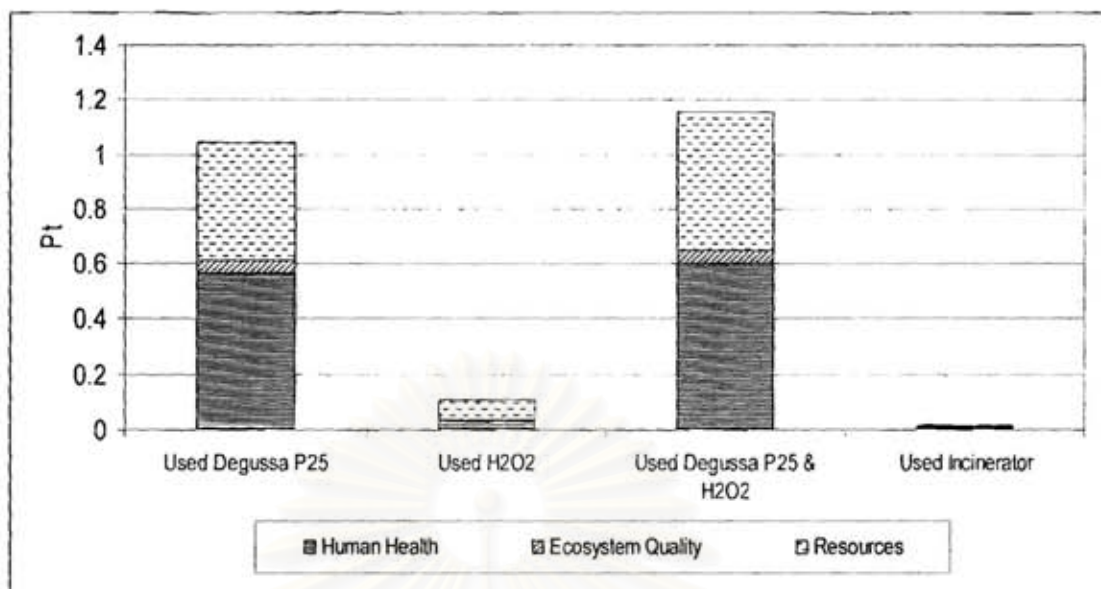
รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง และระยะทางประมาณของกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซินในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟิโนลิก เรซิน โดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์มาพิจารณาพร้อมด้วย

ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณสารขาเข้าและขาออกของการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 กรัม ใน น้ำโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซีเมนต์

สารขาเข้า	ปริมาณ (ตัน)
Phenol	6501
Coal	284.34
สารขาออก	ปริมาณ (ตัน)
CO ₂	2833.12
H ₂ O	1821.29
HCl	1846.59
Particulate	31.844
SO ₂	0.5029531
NO	0.8149476

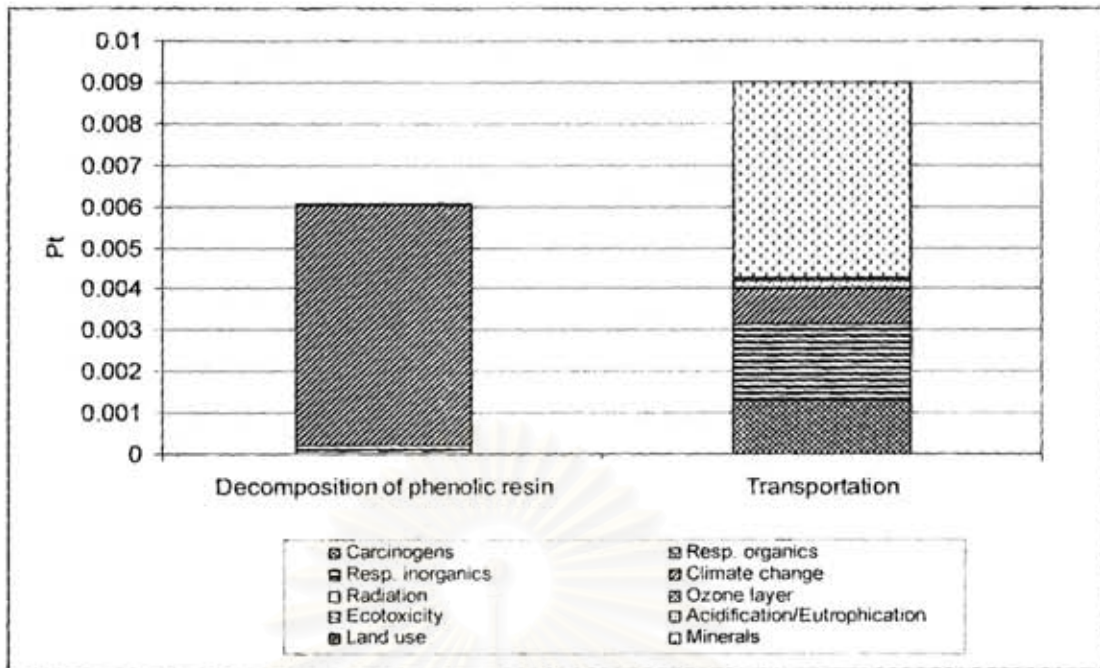


รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซิน โดยใช้ เตาเผาในโรงปูนซีเมนต์มาพิจารณาร่วมด้วย

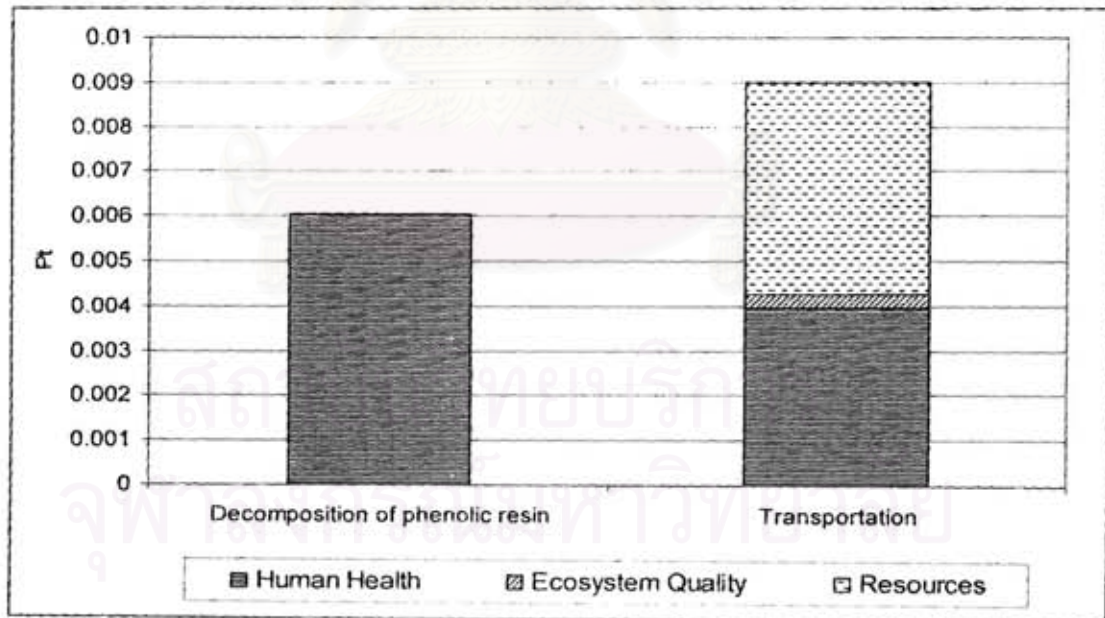


รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำ โดยนำกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์มาพิจารณาร่วมด้วย

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินโดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซิน โดยใช้เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์ เกิดขึ้นจากกระบวนการขนส่งเป็นหลัก เนื่องจากระยะทางจากโรงงานกำจัดฟีนอลิก เรซิน ไปถึง โรงงานผลิตปูนซิเมนต์ มีระยะทางค่อนข้างไกล อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซิน โดยใช้เตาเผา ในโรงปูนซิเมนต์ จะก่อให้เกิด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคของแข็งแขวนลอยในอากาศ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resource depletion) ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) ดังรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำเตาเผาในโรงปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบรวมกลุ่ม จากกระบวนการกำจัด ฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตัน ในน้ำเตาเผาในโรงปูนซีเมนต์

นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาถึงต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์ ซึ่งในขั้นตอนการกำจัดฟิโนลิกเรซินโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์นั้น โรงงานกำจัดฟิโนลิกเรซินจะต้องเสียค่ากำจัดฟิโนลิกเรซินให้กับโรงปูนซิเมนต์ในราคา 3500 บาท ต่อปริมาณของฟิโนลิกเรซิน 1 ตัน คิดเป็นต้นทุนรวมเท่ากับ 24,129,285 บาท ตามตารางที่ 4.24 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตอบแทนที่ได้จากการกำจัดฟิโนลิกเรซิน 6501 ตันซึ่งมีค่าเท่ากับ $6501 \times 5500 = 35,755,500$ บาท แล้วพบว่ากระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์เป็นวิธีที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 4.24 แสดงการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินปริมาณ 6501 ตันต่อปีโดยใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์

วิธีการกำจัด	การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่ง
Incinerator	ต้นทุนการกำจัด $= 6501 \times 3500$ $= 22753500$ บาท/ปี
	ต้นทุนการขนส่ง $= (2 \times 277.76 \times 8) \times (6501 / 21)$ $= 1375785$ บาท/ปี
	ต้นทุนรวม $= 22753500 + 1375785$ $= 24,129,285$ บาท/ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เราสามารถสรุปผลการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินปริมาณ 6501 ตันต่อปี โดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์ ได้ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 แสดงผลสรุปการคำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิกเรซินทั้งหมด 4 วิธี

วิธีการกำจัด	วัตถุดิบ	ต้นทุนวัตถุดิบ และ ต้นทุนการขนส่ง (บาท/ปี)	ต้นทุนวัตถุดิบ และ ต้นทุนการขนส่งรวม (บาท/ปี)	ต้นทุนรวมในการ กำจัดฟีนอลิกเรซิน (บาท/ปี)
Degussa P25	Degussa P25	708,280,000,000	708,280,000,000	708,339,766,552
	Transportation	59,766,552	59,766,552	
H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	74,538,100	74,538,100	74,544,653
	Transportation	6,553	6,553	
Degussa P25 & H ₂ O ₂	Degussa P25	708,280,000,000	708,354,538,100	708,414,311,205
	H ₂ O ₂	74,538,100		
	Transportation	59,773,105		
Incinerator	Treatment Cost	22,753,500	22,753,500	24,129,285
	Transportation	1,375,785	1,375,785	

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซิน ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลิก เรซิน และต้นทุนของรวมที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลิก เรซินทั้ง 4 วิธี ได้แก่ กระบวนการกำจัดโดยใช้ Degussa P-25, ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้เตาเผาในโรงปูนซิเมนต์ พบว่า กระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินใช้เตาเผาใน โรงปูนซิเมนต์ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ใน กระบวนการกำจัดฟีนอลิก เรซินในประเทศไทย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ที่สุด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และใช้ต้นทุนรวมในการกำจัดต่ำที่สุด

4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดฟีนอลิกเรซิน ต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (Climate Change)

1. ภาวะโลกร้อน (Global Warming)

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) หรือภาวะสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) เป็นสภาวะที่พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากมีก๊าซเรือนกระจกอยู่ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะทำตัวเสมือนกระจกที่ข้อมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านทะลุมายังพื้นผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวที่โลกคายออกมาไปไม่ให้หลุดออกนอกชั้นบรรยากาศโลก จากนั้นบรรยากาศจะแผ่รังสีความร้อนออกมาอีกครั้งหนึ่งซึ่งรังสีความร้อนเหล่านี้ส่วนหนึ่งจะหลุดหายไปสู่อวกาศ แต่ส่วนหนึ่งจะกลับลงมาสู่บรรยากาศชั้นล่างและพื้นผิวโลกทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

ตารางที่ 4.26 แสดงชนิดของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	ที่มา	อายุโดยประมาณ
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไม้ และการเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น เผาป่าเพื่อทำการเกษตร	100 ปี
มีเทน (CH ₄)	การผลิตและขนส่งเชื้อเพลิงฟอสซิล การย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ การปลูกข้าวในนาข้าวขัง และการเลี้ยงสัตว์ (ก๊าซที่สัตว์ปล่อยออกมาจากร่างกาย เช่น เรอ และผายลม)	10 ปี
ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	การเผาขยะ เผาถ่านหิน การผลิตและใช้ปุ๋ยเคมีในการเกษตร	150 ปี
คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFCs)	เครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศ โฟม กระจ่างสปเรย์	100 ปี
เพอฟลูโอโรมีเทน (CF ₄)	การผลิตอะลูมิเนียม	50,000 ปี
ละอองไอ	การผลิตไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง ฝุ่น ละอองในอากาศ	2 สัปดาห์

ก๊าซเรือนกระจกที่แสดงในตารางที่ 4.26 เป็นเพียงก๊าซเรือนกระจกตัวหลัก ๆ ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังมี บิวเทน, คาร์บอนมอนนอกไซด์, กลอโรฟอร์ม, อีเทน, เฮกเซน, เพนเทน, โพรเพน และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ เป็นต้น

ก๊าซเรือนกระจกที่เป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี ค.ศ. 2005 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นถึง 380 ส่วนในล้านส่วน และคาดว่าในปี ค.ศ. 2050 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจสูงถึง 500-700 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่เคยเป็นมานานับล้าน ๆ ปีเลยทีเดียว โดยประเทศไทยมีแหล่งที่มาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใหญ่ ๆ อยู่ 3 แหล่งคือ จากการผลิตกระแสไฟฟ้า 43 % การคมนาคม 32 % และอุตสาหกรรม 25 % ทั้งนี้เพราะการที่เราเป็นประเทศกำลังพัฒนา จึงพยายามเพิ่มค่าจีดีพี (GDP) ให้สูงขึ้น ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยมีถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในโรงไฟฟ้าและโรงกลั่นซึ่งเป็นตัวการสำคัญของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรดด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่มีการป้อนกลับพบว่าเมื่อระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้น 1.5-4.5 องศาเซลเซียส

นอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนแล้ว ยังมีก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น ๆ เช่น มีเทน และ ไนตรัสออกไซด์ ที่มีแนวโน้มในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย ซึ่งแม้ว่าในปัจจุบันปริมาณของก๊าซเหล่านี้จะยังมีน้อยกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก แต่สามารถเก็บกักความร้อนได้ดีกว่าและมีอายุยืนยาวกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เสียอีก โดยเมื่อเปรียบเทียบต่อโมเลกุลก๊าซมีเทนจะให้ผลสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นสูงกว่าถึง 310 เท่า นอกจากนี้ยังมี ก๊าซคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน หรือ CFCs เป็นตัวการสำคัญในการทำลายโอโซนซึ่งปกป้องโลกจากรังสีอันตรายนอกโลก โดยมีผลเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปัญหาการเพิ่มอุณหภูมิบนพื้นผิวโลก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีส่วนถึง 63 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งในเวลาต่อมาจึงมีการควบคุมก๊าซคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเพื่อจุดประสงค์หลักคือลดการทำลายโอโซน โดยหันมาใช้สารไฮโดรคลอโร-ฟลูโอโรคาร์บอน (HCFC) และไฮโดร-ฟลูโอโรคาร์บอน (HFC) แทน ซึ่งสารเหล่านี้มีผลกระทบต่อชั้นโอโซนน้อยมาก แต่กลับเป็นก๊าซที่เก็บกักความร้อนได้ดี ดังนั้นเมื่อมีการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFCs) น้อยลง จะส่งผลทางอ้อมให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

2. ผลกระทบจากการใช้ Degussa P-25 ในการกำจัดฟีนอลิกเรซิน ต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (Climate Change)

Degussa P-25 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดของเสียประเภทสารอินทรีย์เช่น ฟีนอลิกเรซินเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ซึ่งเมื่อกระบวนการกำจัดของเสียเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยยังมีปริมาณของฟีนอลิกเรซินที่ต้องการกำจัดมาก ยิ่งก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ซึ่งทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาทั้งวัฏจักรชีวิตของกระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 พบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงชนิดและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกจากวัฏจักรชีวิตของกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกจากกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซินโดย			หน่วย
	ใช้ H ₂ O ₂	ใช้ Degussa P-25	ใช้ Degussa P-25 ร่วมกับ H ₂ O ₂	
Butane	0.00932	2.29	2.3	g
Carbon dioxide	0.25	96.6	97	kg
Carbon dioxide, biogenic	61.7	2.3	64	g
Carbon dioxide, fossil	875	6.8	882	g
Carbon monoxide	0	7.2	7.2	kg
Carbon monoxide, biogenic	24.1	8.21	32.3	mg
Carbon monoxide, fossil	409	10.4	420	mg
Chloroform	0.102	65.6	65.7	µg
Dinitrogen monoxide	0.0167	2.13	2.15	g
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	12.6	1.22	13.8	µg
Ethane, 1,2-dichloro-	475	0.105	475	µg
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	0.00223	4	4	mg
Ethane, dichloro-	0	1.81	1.81	mg
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	3.51	177	181	µg
Hexane	2.19	602	604	mg
Methane	0	461	461	g
Methane, biogenic	1.83	0.0446	1.87	mg
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	0.00172	6.19	6.19	mg
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	37.5	36.7	74.2	µg
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	0	20.5	20.5	µg

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก (ต่อ)	ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อย ออกจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินโดย			หน่วย
	ไซ้ H ₂ O ₂	ไซ้ Degussa P-25	ไซ้ Degussa P-25 ร่วมกับ H ₂ O ₂	
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	5.32E-10	14.2	14.2	mg
Methane, fossil	1.66	0.012	1.67	g
Methane, monochloro-, R-40	9.78	7.67	17.5	pg
Methane, tetrachloro-, CFC-10	0.000758	1.72	1.72	mg
Methane, tetrafluoro-, FC-14	0.0316	1.6	1.63	mg
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	1.00E-06	152	152	µg
Methane, trifluoro-, HFC-23	169	824	993	pg
Propane	0.0143	4.9	4.91	g
Pentane	0.0125	1.98	1.99	g
Sulfur hexafluoride	49.9	0.979	50.9	µg

การเกิดภาวะโลกร้อนเกิดขึ้นจากผลจากการการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น ๆ รวมกัน แต่เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิด ปัญหาภาวะโลกร้อน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจและการวิเคราะห์ผลเราจะคิดผลกระทบ โดยรวม ที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจกทุกตัว เป็นปริมาณเทียบเท่ากับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ equivalent) ดังตารางที่ 4.28 ดังนี้

ตารางที่ 4.28 แสดงปริมาณเทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ equivalent) ที่ถูกปลดปล่อย ออกจากวัฏจักรชีวิตของกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25

ชนิดของก๊าซเรือน กระจก	ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อย ออกจากกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซินโดย			หน่วย
	ไซ้ H ₂ O ₂	ไซ้ Degussa P-25	ไซ้ Degussa P-25 ร่วมกับ H ₂ O ₂	
Carbon dioxide	1.23	119	121	Kg CO ₂ Eq.

จากตารางที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 และกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกจากวัฏจักรชีวิตของกระบวนการกำจัดที่ค่อนข้างสูง ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดฟิโนลิกเรซิน โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ ดังนั้นการนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดฟิโนลิกเรซินจึงเป็นกระบวนการที่มีความ เสี่ยง และเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนมากขึ้น และส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ และโรคติดต่อที่มีขุมเป็นตัวพาหะ

สำหรับการลดปัจจัยส่งเสริมที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนของกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ทำได้โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีปริมาณของเสียพีโนลิกเรซินที่ลดลง, พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (Photocatalytic reactor) ให้สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเลือกใช้พลังงานที่สะอาดแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของ Degussa P-25 แทนการใช้หลอดรังสีอุตราไวโอเล็ต

4.4 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยโปรแกรม SimaPro 6.0

การใช้โปรแกรม Sima Pro 6.0 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากปัญหาภาวะโลกร้อน (Climate Change) สามารถเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ 5 แบบจำลอง คือแบบจำลอง Eco-indicator 95, CML (Center for Environmental Studies), EDIP (Environmental Design of Industrial Products) และแบบจำลองไอพีซีซี (IPCC ; Intergovernmental Panel on Climate Change) ซึ่งแสดงผลกระทบต่อปัญหาภาวะโลกร้อนเป็นปริมาณเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ equivalent) และแบบจำลอง Eco-indicator 99 ซึ่งแสดงผลกระทบต่อปัญหาภาวะโลกร้อนออกเป็นค่าคะแนน (point ; pt) ที่มีผลต่อการทำลายสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะในด้านการก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ และโรคติดต่อที่มีขุมเป็นตัวพาหะ ซึ่งถือว่าเป็นผลกระทบที่ส่งผลกระทบในระดับโลก (Global Effect) ไม่ใช่มีผลกระทบเพียงแค่วิเวณหรือประเทศที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาเท่านั้น

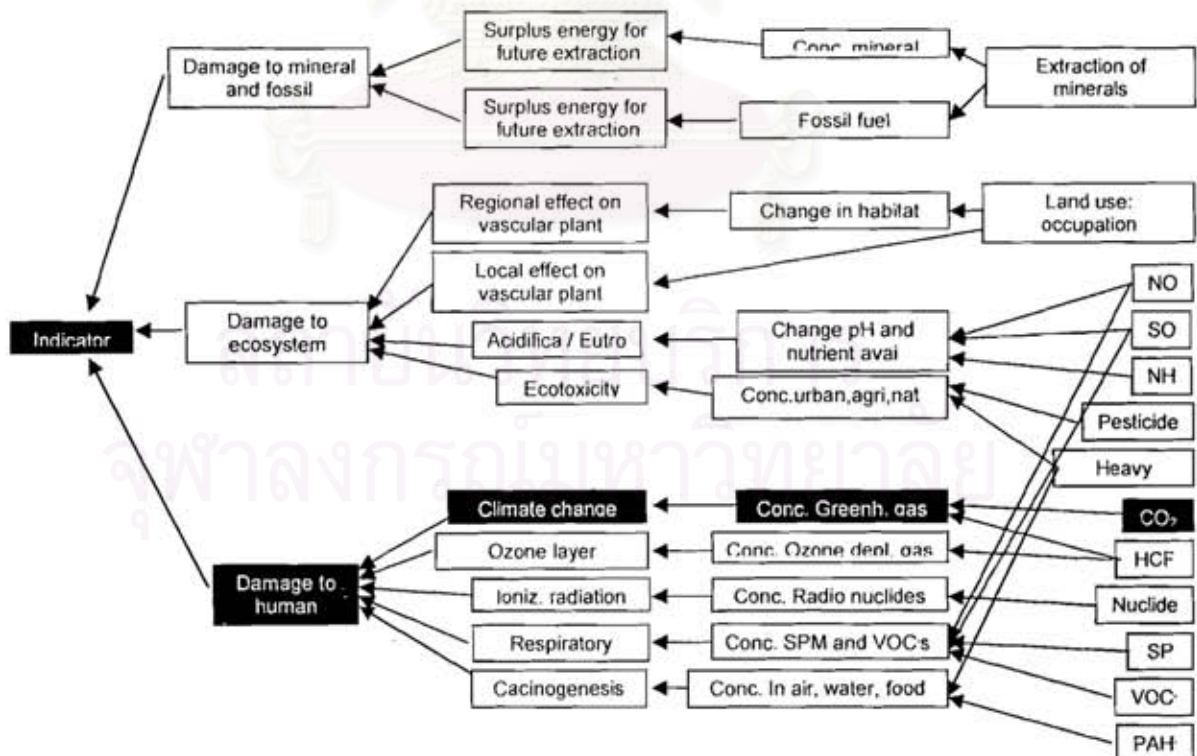
ผลกระทบต่อการทำลายสุขภาพมนุษย์ที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระบวนการ

แบบจำลอง Eco-indicator 99 ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกจากกระบวนการว่า ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) หรือภาวะสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คือ การที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลต่อสภาวะความทรงจำของคน ทำให้เกิดสภาวะหลงลืมง่าย ซึ่งอาจเป็นเพียงผลกระทบเล็กน้อยจากสภาวะโลกร้อน นอกจากนี้การที่พื้นผิวของโลกมีอุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้น จะมีผลต่อการเกิดและความคงทนของเกสร สปอร์ และสารมลพิษต่าง ๆ ทำให้เกิดโรคมามากขึ้นตั้งแต่โรคที่ไม่น่าเป็นไปได้อย่างโรคทางเดินหายใจ เช่น หอบ หืด ภูมิแพ้ อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ยุงบินได้สูงกว่าเดิม และมีเวลาในการวางไข่ยาวนานขึ้น ทำให้เกิดโรคติดต่อต่าง ๆ เช่น ไข้มาลาเรีย ไข้เลือดออก ไข้เหลือง และเชื้อหุ้มสมองอักเสบ ระบาด

หนัก โดยมีงานวิจัยกล่าวว่าด้วยปัจจัยจากภาวะโลกร้อน ไซมาลาเรียและไข้เลือดออกจะสามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วทั่วโลก โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมของทุก ๆ ปี โดยสามารถแพร่กระจายครอบคลุมจากร้อยละ 45 ของประชากรโลกในปัจจุบันเป็นร้อยละ 60 ของประชากรโลกในอนาคต นอกจากนี้การที่โลกร้อนขึ้น โรคบางชนิดก็จะยิ่งระบาดได้ดี เช่น อหิวาตกโรค เนื่องจากเชื้ออหิวาตกโรคมียู่ในธรรมชาติตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อโลกมีอุณหภูมิอุ่นพอเหมาะ เชื้อดังกล่าวจะเจริญเติบโตได้ดีและแพร่กระจายไปสู่แหล่งต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วขึ้น

จากการวิเคราะห์ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าแบบจำลอง Eco-indicator 99 ที่เลือกใช้ในงานวิจัยมีข้อบกพร่องบางประการ ได้แก่

- แบบจำลอง Eco-indicator 99 ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกจากกระบวนการว่า ส่งผลให้เกิดภาวะสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) ซึ่งมีผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมเฉพาะการทำลายสุขภาพมนุษย์เท่านั้นดังรูปที่ 4.25 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำลายคุณภาพของระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) อีกด้วย



รูปที่ 4.25 แสดงผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลการทำลายต่อสุขภาพมนุษย์

- แบบจำลอง Eco-indicator 99 รวมผลกระทบการเกิดฝนกรด (Acidification) และการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่มีมากเกินไป (Eutrophication) ไว้ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ซึ่งทำให้ผลกระทบต่อการเกิดฝนกรดไม่ได้รวมค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระบวนการด้วยซึ่งทำให้ค่าผลกระทบต่อการเกิดฝนกรดของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงจากความเป็นจริง ซึ่งส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการทำลายคุณภาพของระบบนิเวศอีกด้วย

ผลกระทบต่อการทำลายคุณภาพของระบบนิเวศที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระบวนการ

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกออกจากกระบวนการ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการลดลงของพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อทำลายคุณภาพของระบบนิเวศ คือ ภาวะโลกร้อนจะทำให้ก่อให้เกิดพายุหมุนได้ง่ายขึ้น และพายุหมุนมีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากพายุหมุนเกิดขึ้นจากอากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นและอากาศเย็นรอบข้างเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ โดยอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งให้พายุมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีรายงานวิจัยว่า ในรอบ 40 ปีหากอุณหภูมิโลกขยับสูงขึ้นเพียง 0.6-1 องศาเซลเซียสจะส่งผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของภัยธรรมชาติทางอากาศ เช่น พายุหมุน แรงขึ้น 4-5 เท่าตัว ซึ่งเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นต่อมา คือ น้ำท่วมฉับพลัน และระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปะการังซึ่งเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่สำคัญ ทำให้ปะการังงอกตามไม่ทัน โดยปะการังที่อยู่ลึก ๆ จะไม่ได้รับแสง เกิดเป็นปะการังฟอกขาวและตายไปในที่สุด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำเหล่านี้ต้องการแหล่งพักพิงจากปะการัง โดยผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการลดลงของปะการังในอนาคตก็คือ ปริมาณปลาทะเลลดลง ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องสั่งซื้อปลาจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้สูญรายได้เป็นจำนวนมากมหาศาลจากธุรกิจท่องเที่ยว นอกจากภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการลดลงของปะการังซึ่งเป็นระบบนิเวศที่สำคัญทางทะเลชนิดหนึ่งแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลที่สำคัญอีก 2 ชนิด คือ ระบบนิเวศป่าชายเลน และหญ้าทะเล ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในประเทศไทย คือ ในปี 2504 ประเทศไทยมีป่าชายเลนอยู่ประมาณ 2,300,000 ไร่ แต่ในปี 2538 ประเทศไทยเหลือป่าชายเลนอยู่แค่ประมาณ 1 ล้านไร่เศษ จนกระทั่งในปัจจุบันประเทศไทยเหลือป่าชายเลนเพียงแค่ประมาณ 7 แสนไร่ และหญ้าทะเลเหลืออยู่ประมาณอย่างละ 90,000 ไร่ เท่านั้น

นอกจากนี้ภาวะโลกร้อนยังก่อให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอีกด้วย ซึ่งเห็นได้ชัดจากในประเทศไทยในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยตั้งแต่บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก จากจังหวัดตราดไปจนถึงบริเวณชายแดนภาคใต้จังหวัดนราธิวาส ได้ถูกน้ำทะเลกัดเซาะพื้นดินหายไปบนทะเลในระดับรุนแรงและปานกลางไปแล้วกว่า 113,042 ไร่ หรือประมาณ 21 % ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้งหมดของประเทศไทย โดยชายฝั่งที่อยู่ในภาวะวิกฤตของการกัดเซาะรุนแรงที่สุดของประเทศไทย มีอยู่ทั้งหมด 30 แห่ง โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์จนถึงปัตตานีมีถึง 22 แห่ง โดยในปัจจุบันพื้นที่ที่มีอาการหนักที่สุดจากการกัดเซาะชายฝั่งคือบริเวณคลองด่าน จังหวัดสมุทรปราการ เนื่องจากในรอบ 30 ปีที่ผ่านมาชายฝั่งทะเลถูกกัดเซาะไปแล้ว 45 กิโลเมตร หรือประมาณ 10,000 ไร่ อีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

Degussa P-25 เป็นไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรที่กำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ การนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดของเสียซึ่ง เป็นงานวิจัยที่มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าเป็นเวลามากกว่า 20 ปี แล้ว โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียของ Degussa P-25 ได้รับการยอมรับในหลายงานวิจัยแล้วว่า มีประสิทธิภาพสูงเหมาะแก่การนำมาใช้ในการกำจัดของเสีย แต่ยังไม่มียานวิจัยใดที่ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านทุนของวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่งที่ใช้ในกระบวนการกำจัดของเสีย โดยใช้ Degussa P-25

ในส่วนแรกของงานวิจัยจะทำการพิจารณากระบวนการกำจัดของเสียทั้งหมด 5 ชนิด คือ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฟีนอลิกเรซิน ไนโตรเบนซีน สีย้อมเมทิลลิโนบลู และสีย้อมออเรนจ์ 4 ซึ่งถือว่าเป็นสารมลพิษที่มีความเป็นพิษสูง และกำจัดได้ยากด้วยวิธีทางชีวภาพ และนิยมกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 มาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดของเสียวิธีอื่น เพื่อที่จะบ่งชี้ถึงแนวทางในการนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดของเสีย โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยได้ข้อสรุปดังนี้

- ไม่ควรนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์วิธีอื่น ๆ แล้วพบว่ากระบวนการกำจัด โดยใช้ Degussa P-25 ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงก็ตาม แต่จะเลือกใช้กระบวนการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงที่สุดเท่ากับกระบวนการกำจัด โดยใช้ Degussa P-25 แต่ก่อก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
- การกำจัดฟีนอลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลิกเรซินในระดับที่ค่อนข้างสูง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่า การกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง แต่ก่อก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด
- การกำจัดไนโตรเบนซีน โดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงที่สุด และก่อก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

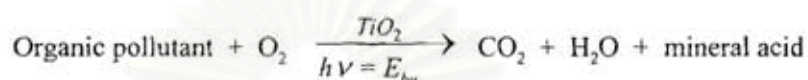
เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัด โดยใช้ผงเหล็ก ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สูงมาก

- แม้ว่ากระบวนการกำจัดกำจัดสีข้อมเมทิลลินบลูโดยใช้ Degussa P-25 จะเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดสีข้อมเมทิลลินบลูโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าแต่มีค่ามากกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดในระดับที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการกำจัดกำจัดสีข้อมเมทิลลินบลูโดยใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตร เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด
- การกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 โดยใช้ Degussa P-25 เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในระดับที่ค่อนข้างสูง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่า การกำจัดโดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง แต่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด
- Degussa P-25 เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดฟีนอลิกเรซิน ในโตรเบนซีน และกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 ในน้ำ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดี และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศ เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง อีกทั้งยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการกำจัดสีข้อมเมทิลลินบลูในน้ำ เนื่องจากการนำ Anatase ขนาดนาโนเมตรมาใช้ในการกำจัดสีข้อมออเรนจ์ 4 เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการใช้ Degussa P-25 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ Anatase ขนาดนาโนเมตรมีค่าน้อย

จากผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าปริมาณผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำ Degussa P-25 มาใช้ในการกำจัดของเสียจะขึ้นอยู่กับชนิดของของเสียที่นำมากำจัด, ปริมาณของเสีย, วิธีที่ใช้ในการกำจัดของเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำ Degussa P-25 มาใช้ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือการ โคปโลหะแพลทินัมลงบนพื้นผิวของ Degussa P-25 เพื่อที่จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนในชั้น Conduction Band และ h^+ ในชั้น Valence Band ของ Degussa P-25 (Recombination Effect) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียสูงขึ้น แต่กลับทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และนอกจากนี้ยังเกิดจากปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดของ Degussa P-25 หรือตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ทั่ว ๆ ไป คือ Degussa P-25 จะมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดของเสียที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ เนื่องจากเกิดการอิ่มตัวของพื้นที่ผิวที่จำกัด เป็นเหตุให้กระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 จำเป็นที่จะต้องใช้ Degussa P-

25 ในปริมาณมากในการกำจัดของเสียในปริมาณน้อย จึงทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นตามลำดับ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 นอกจาก จะเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต Degussa P-25 ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรแร่ (Mineral) แล้ว ยังเกิดจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Degussa P-25 เองซึ่งเรียกว่า “ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (Photocatalytic Reaction)” โดยมีสมการทั่วไปดังนี้



จากสมการจะเห็นว่ากระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 จะเกิดผลิตภัณฑ์เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดแร่ ขึ้นเสมอ และยิ่ง Degussa P-25 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียมากเท่าไร ก็จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้กระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโปรแกรม SimaPro 6.0 สามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดของเสียที่มีกระบวนการที่ต่างกัน ได้ สามารถแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดของเสียออกมาในลักษณะตารางและกราฟซึ่งง่ายต่อการเข้าใจ และนำไปขยายผล นอกจากนี้โปรแกรม SimaPro 6.0 ยังเป็น โปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถสร้างฐานข้อมูลเพิ่มได้ และยังมีราคาที่ไม่สูงมากนักอีกด้วย

จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ คือ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ซึ่งทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (Climate change) ส่วนผลกระทบที่เกิดจากการปลดปล่อยกรดแร่ลงสู่แหล่งน้ำ และชั้นบรรยากาศ คือ จะก่อให้เกิดส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และยังก่อให้เกิดฝนกรด และการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่มากเกินไปจนเกิดเป็น (Acidification/Eutrophication) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem) อีกด้วย

นอกจากนี้ในยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทย เพื่อที่จะเป็นแนวทางที่จะบ่งชี้ถึงการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซินในประเทศไทย ซึ่งถูกปลดปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยในปริมาณ 6501 ตันต่อปี โดยพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนของวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่งที่ใช้ในกระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 ซึ่งพบว่ากระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 และกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยใช้ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นกระบวนการกำจัดกำจัดพีโนลิกเรซินที่มีประสิทธิภาพดีในการกำจัด ($> 90\%$) แต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างสูง และมี ต้นทุนของวัตถุดิบ และต้นทุนการขนส่งที่สูงมาก ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในการตั้งโรงงานกำจัดพีโนลิกเรซิน เนื่องจากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยการส่งไปเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ พบว่า กระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยการส่งไปเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดพีโนลิกเรซินที่สูงมาก (100 %) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ และมีต้นทุนในการกำจัด และต้นทุนการขนส่งที่ไม่มากนัก ดังนั้นกระบวนการกำจัดพีโนลิกเรซิน โดยการส่งไปเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ จึงน่าจะเป็นวิธีที่ใช้ในการกำจัดพีโนลิกเรซินที่ปนเปื้อนในน้ำ ของประเทศไทยที่ดีกว่าการนำ Degussa P-25 หรือ การนำ Degussa P-25 ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มาใช้

อย่างไรก็ตามแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการนำ Degussa P-25 คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของ Degussa P-25 ให้สามารถกำจัดของเสียที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ได้ ซึ่งจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการนำ Degussa P-25 มาใช้ในกระบวนการกำจัดของเสียมีค่าลดลง และยังเป็น การช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการกำจัดของเสีย และต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบ อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- (1) Detlef Bahnemann (2004). *Photocatalytic water treatment: solar energy applications*. Solar Energy 77 : 445–459
- (2) Sixto Malato, Julián Blanco, Alfonso Vidal, Christoph Richter (2002). *Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale*. Applied Catalysis B: Environmental 37 : 1–15
- (3) C.H. Ao, S.C. Lee, S.C. Zou and C.L. Mak (2004). *Inhibition effect of SO₂ on NO_x and VOCs during the photodegradation of synchronous indoor air pollutants at parts per billion (ppb) level by TiO₂*. Applied Catalysis B: Environmental 49 : 187–193
- (4) Renie van Helden, Marcel van Genderen, Marc van Aken and Ruud Verbeek (2002). *Engine Dynamometer and Vehicle Performance of a Urea SCR-System for Heavy-Duty Truck Engines*. Society of Automotive Engineer, Inc
- (5) Renato Rota, ED verton F. Zanoelo, Dorota Antos, Massimo Morbidelli and Sergio C (2000). *Analysis of the thermal DeNO_x process at high partial pressure of reactants*. Chemical Engineering Science 55 : 1041-1051
- (6) Joanna Grzechulska and Antoni Waldemar Morawski (2003). *Photocatalytic labyrinth flow reactor with immobilized P25 TiO₂ bed for removal of phenol from water*. Applied Catalysis B : Environmental 46 : 415-419
- (7) M.A. Barakat, J.M. Tseng and C.P. Huang (2005). *Hydrogen peroxide-assisted photocatalytic oxidation of phenolic compounds*. Applied Catalysis B: Environmental 59 : 99–104

- (8) Dhananjay S. Bhatkhande, Sanjay P. Kamble, Sudhir B. Sawant and Vishwas G. Pangarkar (2004). *Photocatalytic and photochemical degradation of nitrobenzene using artificial ultraviolet light*. Chemical Engineering Journal 102 : 283–290
- (9) Yang Mu, Han-Qing Yu , Jia-Chuan Zheng, Shu-Juan Zhang and Guo-Ping Sheng (2004). *Reductive degradation of nitrobenzene in aqueous solution by zero-valent iron*. Chemosphere 54 : 789–794
- (10) G. Sivalingam, K. Nagaveni, M.S. Hegde, Giridhar Madras (2003). *Photocatalytic degradation of various dyes by combustion synthesized anano anatase TiO₂*. Applied Catalysis B: Environmental 45 : 23-38
- (11) M. Muruganandham, M. Swaminathan (2006). *Photocatalytic decolourisation and degradation of Reactive Orange 4 by TiO₂-UV process*. Dyes and Pigments 68 : 133-142
- (12) A. Azapagic, R. Clift (1999). *The application of life cycle assessment to process optimization*. Computers and Chemical Engineering 23 : 1509-1526
- (13) Almudena Hospido, Peter Tyedmers (2005). *Life cycle environmental impacts of Spanish Tuna fisheries*. Fisheries Research
- (14) D. Verhulst, B. Sabacky, T. Spitler and Duyvesteyn. *The Altair TiO₂ Pigment Process and its Extension into the Field of Nanomaterial*. Altair Nanomaterial Inc.
- (15) Akira Fujishima, Tata N. Rao, Donald A. Tryk (2000). *Titanium dioxide photocatalysis*. Journal of Photochemistry and Photobiology C : 1–21

- (16) Jose A. Ayllon, Ana M. Peiro, Lahcen Saadoun (2000). *Preparation of anatase powders from fluorine-complexed titanium(IV) aqueous solution using microwave irradiation*. Journal of Material Chemistry : 1911-1914
- (17) S. Bekkouche, M. Bouhelassa, N. Hadj Salah, F.Z. Meghlaoui (2004). *Study of adsorption of phenol on titanium oxide (TiO₂)*. Desalination 166 : 355-362
- (18) M. Salaicesa, B. Serranoa, H.I. de Lasaa (2004). *Photocatalytic conversion of phenolic compounds in slurry reactors*. Chemical Engineering Science 59 : 3 – 15
- (19) N. Hadj Salah, M. Bouhelassa, S. Bekkouche, A. Boultif (2004). *Study of photocatalytic degradation of phenol*. Desalination 166 : 347-354
- (20) Chantal Guillard, Jean Disdier, Christine Monnet, Joseph Dussaud, Sixto Malato, Julián Blanco, Manuel I. Maldonado, Jean-Marie Herrmann (2003). *Solar efficiency of a new deposited titania photocatalyst: chlorophenol, pesticide and dye removal applications*. Applied Catalysis B: Environmental 46 : 319–332
- (21) Paola Piccinini, Claudio Minero, Marco Vincenti and Ezio Pelizzetti (1997). *Photocatalytic interconversion of nitrogen-containing benzene derivatives*. J. Chem. Soc., Faraday Trans
- (22) Chul Han Kwon, Hyunmin Shin, Je Hun Kima, Woo Suk Choi, Ki Hyun Yoon (2004). *Degradation of methylene blue via photocatalysis of titanium dioxide*. Materials Chemistry and Physics 86 : 78–82
- (23) Ammar Houas, Hinda Lachheb, Mohamed Ksibi, Elimame Elaloui, Chantal Guillard, Jean-Marie Herrmann (2001). *Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water*. Applied Catalysis B: Environmental 31 : 145–157

- (24) Chamnan Randorn, Sumpun Wongnawa, and Phadoong Boonsin (2004). *Bleaching of Methylene Blue by Hydrated Titanium Dioxide*. ScienceAsia 30 : 149-156
- (25) M. Sameiro T. Gonçalves, Elisa M.S. Pinto, Peter Nkeonye and Ana M.F. Oliveira-Campos (2002). *Degradation of C.I. Reactive Orange 4 and its simulated dyebath wastewater by heterogeneous photocatalysis*. Departamento de Química, Universidade do Minho, Gualtar
- (26) M. Muruganandham, M. Swaminathan (2004). *Solar Photocatalytic of a reactive azo dye in TiO₂-suspension*. Solar Energy Material & Solar Cells 81 : 439-457



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรม SimaPro 6.0

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้ Degussa P-25 เปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดของเสียด้วยวิธีอื่น ๆ เนื่องจาก โปรแกรม SimaPro มีการวิเคราะห์ผลในระบบ ISO , มีการความสามารถในการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ต่างกัน , การแสดงผลในลักษณะตารางและกราฟซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำผลมาวิเคราะห์ , มีความยืดหยุ่นสูง สามารถสร้างฐานข้อมูลเพิ่มได้ และมีราคาที่ไม่สูงมากนัก

การประเมินผลกระทบ

การประเมินผลกระทบ ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นขั้นตอนในการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบตามสมการ

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij})$$

EP_j (Environmental impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

Q (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent / kg substance j)

2. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

การหาขนาดของผลกระทบเป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ โดยการเปรียบเทียบกับผลผลิตหรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยใช้สมการดังนี้

$$NP_{j(\text{product})} = EP_j / (T \times ER_j)$$

$NP_{j(\text{product})}$ (Normalized environmental impact potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติเชิงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent / person / year)

3. การให้น้ำหนัก (Weighting)

การให้น้ำหนักเป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศ, การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดียว โดยใช้สมการดังนี้

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

WP_j (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year ; Pt)

WF_j (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น Ecoscarcity method และ Environmental theme method พัฒนาโดย Baumann (1994) EdIP (Environmental Design of Industrial Products) method พัฒนาโดย Wenzel (1997) EPS method พัฒนาโดย Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems และ Eco-indicator 99 พัฒนาโดย Pre'Consultants (1999) โดยวิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายและมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อช่วยเหลือการออกแบบในการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ขั้นตอนในการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี Eco-indicator 99

1. วัตถุดิบ, พลังงานและของเสียจะถูกแจกแจง ประเภทของผลกระทบซึ่งมีทั้งหมด 9 ประเภท
2. ผลกระทบทั้ง 9 ประเภท จะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
3. การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบ มีดังนี้

1. ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ประกอบด้วย ผลกระทบจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance), ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance), ผลกระทบต่อโลกร้อน (Climate change), ผลกระทบต่อการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

2. ผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem) ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการเกิดฝนกรดและการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน (Acidification/Eutrophication), ผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)

3. ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral) และผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuels)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิชาติ ไชยชนตรดี เกิดวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2526 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากคณะวิทยาศาสตร์ ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้นในปี การศึกษา 2547 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย