

การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์



นางสาวณัฐพิรา เนตรสว่าง

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES PRODUCTION



Miss Natpira Nedsawang

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์

โดย    นางสาวณัฐพิรา เนตรสว่าง

สาขาวิชา                                    วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษา                          รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชฎุทธิ์ สัตยาประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม                    อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชฎุทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

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

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤษย์)

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

ณัฐพิรา เนตรสว่าง : การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์. (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES PRODUCTION) อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม; 87 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ โดยแบ่งผลกระทบออกเป็น 3 กลุ่มหลักคือ ผลกระทบต่อมนุษย์, ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร โดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 และใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 ในการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์และวิธีที่ควรหลีกเลี่ยง ซึ่งจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ และยังรวมถึงสารพิษและโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ ดังนั้นงานวิจัยนี้แบ่งการประเมินวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Pyrolysis, Sol-gel, Precursor process และ Organochemical route โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร ซึ่งนำไปใช้เป็นสารเติมแต่ง จากผลการประเมินพบว่าวิธี Organochemical route ส่งผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรแร่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น แต่ส่งผลกระทบสูงในด้านอื่นๆ ซึ่งสาเหตุที่ส่งผลกระทบสูงเนื่องมาจากเอทิลีนไกลคอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวิธีอื่นในด้านปัญหาภาวะโลกร้อน เนื่องจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสังเคราะห์น้อยที่สุด และส่วนที่สองของงานวิจัยนี้เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากตัวทำละลายสามกลุ่มได้แก่ อะโรมาติก, แอลกอฮอล์และไกลคอล พบว่าการใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์และไกลคอลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต..... ณัฐพิรา เนตรสว่าง.....  
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สุรเทพ เขียวหอม.....  
 ปีการศึกษา..... 2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... สุรเทพ เขียวหอม.....



## 4770289321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : ZINC OXIDE NANOPARTICLES / ENVIRONMENTAL IMPACTS / LIFE CYCLE ASSESSMENT.

NATPIRA NEDSAWANG: LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES PRODUCTION. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR CHAIRIT SATTAYAPRASERT, DR.ING. THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, PH.D, 87 pp.

This paper presents the Life Cycle Assessment (LCA) of ZnO nanoparticles synthesis in various different methods in order to compare the impact of the synthesis processes to the environment. The impacts have been classified into three groups including impact on the human, environment and mineral depletion. By using SimaPro 6.0 program and Eco-indicator99 index, we can identify the best practice and avoid the synthesizing methods that have high environmental impacts. To do this, we have looked into the effect of the input in the synthesis and the waste released during the process. This assessment separately considers two groups of synthesizing method categorized by the applications of ZnO nanoparticles produced. In the first part, the environmental impact of Pyrolysis, Sol-gel, Precursor process and Organochemical route method are considered. These methods can obtain about 20 to 70 nanometer ZnO. The results show that the Organochemical route method has the least environment impact in terms of mineral depletion because the reactants required do not use minerals as raw materials. Unfortunately, it affects the environment significantly in other way due to the use of ethylene glycol as an input. The Pyrolysis method has a minimum environmental impact of climate change because this method has the least carbon dioxide emission. The second part of the assessment is the environmental impact assessment of the nano ZnO synthesized by solvothermal method in the electronics industry. By studying the impact of three solvents – aromatic, alcohol and glycol, we have found out that the alcohol and glycol have high environmental impacts.

Department.....Chemical Engineering.....Student's signature.....*Natpira Nedsawang*.....

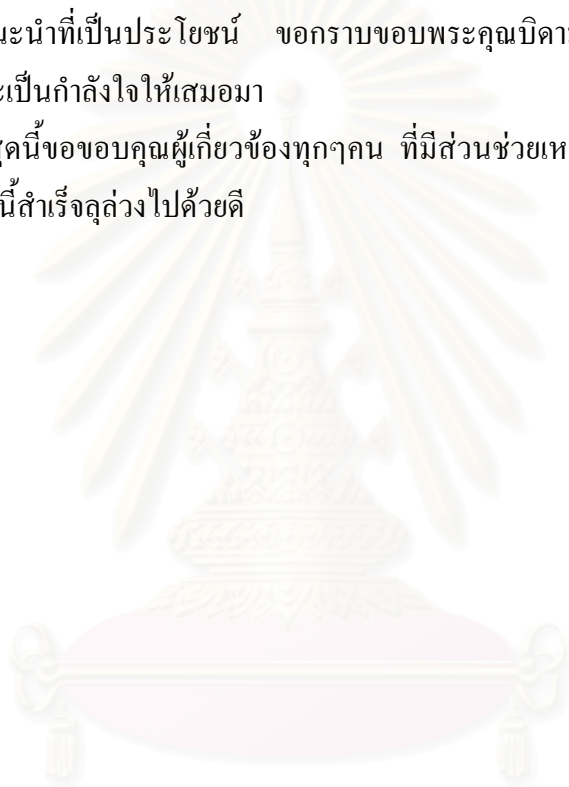
Field of study...Chemical Engineering.....Advisor's signature.....*Chairit Sattayaprasert*.....

Academic year .....2007.....Co-advisor's signature.....*Soorathep Kheawhom*.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สุรเทพ เจียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ คำปรึกษาและแนะนำตลอดการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติ พฤษ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่ สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 เนื้อหาในแต่ละบท.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต.....	6
2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป.....	11
2.3 ชิงค์ออกไซด์.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 การสังเคราะห์ชิงค์ออกไซด์.....	25
3.1 วิธีการสังเคราะห์ชิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับไมครอน.....	25
3.1.1 การสังเคราะห์ทางตรง.....	25
3.1.2 การสังเคราะห์ทางอ้อม.....	25
3.2 วิธีการสังเคราะห์ชิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร.....	27
3.2.1 การสังเคราะห์โดยวิธี Organochemical route.....	27
3.2.2 การสังเคราะห์โดยวิธี Precursor process-1.....	28
3.2.3 การสังเคราะห์โดยวิธี Precursor process-2.....	29
3.2.4 การสังเคราะห์โดยวิธี Pyrolysis-1.....	30
3.2.5 การสังเคราะห์โดยวิธี Pyrolysis-2.....	31

	หน้า
3.2.6 การสังเคราะห์โดยวิธี Sol-gel.....	32
3.2.7 การสังเคราะห์โดยวิธี Solvothermal.....	33
3.3 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ.....	34
บทที่ 4 การประเมินวัฏจักรชีวิต.....	40
4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์วิธี Organochemical route.....	40
4.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Precursor-1.....	41
4.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Precursor-2.....	42
4.4 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Pyrolysis-1.....	44
4.5 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Pyrolysis-2.....	46
4.6 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Sol-gel.....	47
4.7 สรุปผลการเปรียบเทียบการสังเคราะห์ทั้ง 4 วิธี.....	49
4.8 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์โดยวิธี Solvothermal.....	50
บทที่ 5 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	55
บทที่ 6 สรุป.....	61
6.1 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์(ส่วนที่1).....	61
6.1.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายสุขภาพมนุษย์.....	61
6.1.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายระบบนิเวศน์.....	61
6.1.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้ทรัพยากรแร่.....	61
6.2 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์(ส่วนที่2).....	62
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	62
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	69
Eco-Indicator 99.....	70
วิธีการใช้โปรแกรม SimaPro6.0.....	80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	87



## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตของงานวิจัย.....	3
รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ของ UNEP.....	8
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	10
รูปที่ 2.3 แร่ซิงค์ไคต์(Zincite).....	13
รูปที่ 2.4 แร่สมิทซอไนต์(Smithsonite).....	13
รูปที่ 2.5 แร่ฟาเลไรต์(Sphalerite).....	14
รูปที่ 2.6 แร่เฮมิมอร์ไฟต์(Hemimorphite).....	14
รูปที่ 3.1 แสดงการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Organochemical route.....	24
รูปที่ 3.2 แสดงการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Precursor process.....	25
รูปที่ 3.3 แสดงการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Sol-Gel.....	27
รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Pyrolysis.....	28
รูปที่ 4.1 แสดงผลการประเมินการสังเคราะห์จากวิธี Organochemical route.....	36
รูปที่ 4.2 แสดงผลการประเมินการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Precursor-1.....	37
รูปที่ 4.3 แสดงผลการประเมินการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Precursor-2.....	38
รูปที่ 4.4 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของขั้นตอนการเตรียม $Zn(NH_3)_4^{2+}$ -Precursor จากวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2).....	38
รูปที่ 4.5 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของขั้นตอนการเตรียม $Zn(NH_3)_4^{2+}$ -Complex จากวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2).....	39
รูปที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างวิธี Precursor-1 กับ Precursor-2.....	39
รูปที่ 4.7 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ (Pyrolysis-1).....	40
รูปที่ 4.8 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์ โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ(Pyrolysis-1).....	41
รูปที่ 4.9 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Xinyu Zhao และคณะ (Pyrolysis-2).....	42
รูปที่ 4.10 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างวิธี Pyrolysis-1 กับ Pyrolysis-2.....	42
รูปที่ 4.11 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel).....	43

รูปที่ 4.12	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Sol-Gel.....	44
รูปที่ 4.13	แสดงผลเปรียบเทียบการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ทั้ง 4 วิธี.....	45
รูปที่ 4.14	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลาย.....	46
รูปที่ 4.15	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย.....	47
รูปที่ 4.16	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ไซลีนเป็นตัวทำละลาย.....	47
รูปที่ 4.17	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้เฮกซะนอลเป็นตัวทำละลาย.....	48
รูปที่ 4.18	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ 1, 4-บิวเทน ไดออลเป็นตัวทำละลาย.....	48
รูปที่ 4.19	แสดงผลเปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal จากตัวทำละลายแต่ละชนิด.....	49
รูปที่ 5.1	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-Indicator 99) .....	58
รูปที่ 5.2	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ IPCC) .....	58
รูปที่ 5.3	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process(ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML) .....	59

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน..... 11
ตารางที่ 2.2	แสดงสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์..... 15
ตารางที่ 2.3	แสดงเกรดทางการค้าของซิงค์ออกไซด์..... 16
ตารางที่ 3.1	แสดงอิทธิพลของสารตั้งต้นที่อัตราส่วนต่างๆ..... 26
ตารางที่ 3.2	แสดง Rate constant k และ Reaction time ของการสลายตัวของซิงค์อะซิเตท ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 27
ตารางที่ 3.3	แสดงผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวทำละลายชนิดต่างๆ..... 29
ตารางที่ 3.4	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process ของTakaki Masaki และคณะ (Precursor-1)..... 30
ตารางที่ 3.5	แสดงข้อมูลการเตรียม Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Complex ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)..... 30
ตารางที่ 3.6	แสดงข้อมูลการเตรียม Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)..... 30
ตารางที่ 3.7	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)..... 31
ตารางที่ 3.8	แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ (Pyrolysis-1)..... 31
ตารางที่ 3.9	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ(Pyrolysis-1)..... 31
ตารางที่ 3.10	แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Xinyu Zhao และคณะ (Pyrolysis-2)..... 32
ตารางที่ 3.12	แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel)..... 32
ตารางที่ 3.13	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel-2)..... 33
ตารางที่ 3.14	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Benzene เป็นตัวทำละลาย..... 33
ตารางที่ 3.15	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Toluene เป็นตัวทำละลาย..... 34

ตารางที่ 3.16	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ o-Xylene เป็นตัวทำละลาย.....	34
ตารางที่ 3.17	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Hexanol เป็นตัวทำละลาย.....	35
ตารางที่ 3.18	แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ 1, 4-butanediol เป็นตัวทำละลาย.....	35



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารประกอบที่พบมากในธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ และไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้ซิงค์ออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในครีมกันแดด เนื่องจากสามารถสะท้อนรังสียูวีเอและยูวีบีที่อยู่ในแสงแดด ซึ่งเป็นอันตรายต่อผิวหนังและเป็นสาเหตุในการเกิดโรคมะเร็งผิวหนัง นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์, สี, ยางรถยนต์, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ตัวเร่งปฏิกิริยา และเซรามิก อีกทั้งยังใช้เป็นสารผสมเพื่อด้านแบคทีเรียอีกด้วย ทำให้มีผู้สนใจศึกษาวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ระดับไมครอนไปจนถึงระดับนาโนเมตร โดยซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคอยู่ในระดับไมครอนนั้น ส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางตรง (American process) และวิธีการสังเคราะห์ทางอ้อม (French process) สำหรับนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี และเพื่อให้ได้นาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคและโครงสร้างต่างๆตามที่ต้องการ ทำให้มีวิธีที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์เกิดขึ้นมากมาย ได้แก่ Precipitation, Precursor process, Microemulsion, Spray pyrolysis, Hydrothermal, Solvothermal, Laser vaporization condensation, Sol-Gel, Chemical vapor deposition และ Solvothermal ซึ่งสมบัติที่น่าสนใจของซิงค์ออกไซด์มีหลายประการและเมื่อซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตรจะมีสมบัติดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ได้แก่ สมบัติในการเรืองแสง (Luminescence), การดูดซับ (Adsorption), การสะท้อนกลับ (Reflectivity), การเหนี่ยวนำทางแสง (Photoconductivity), การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Electrical conductivity), การโปร่งแสง (Transparency invisible) และนอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่



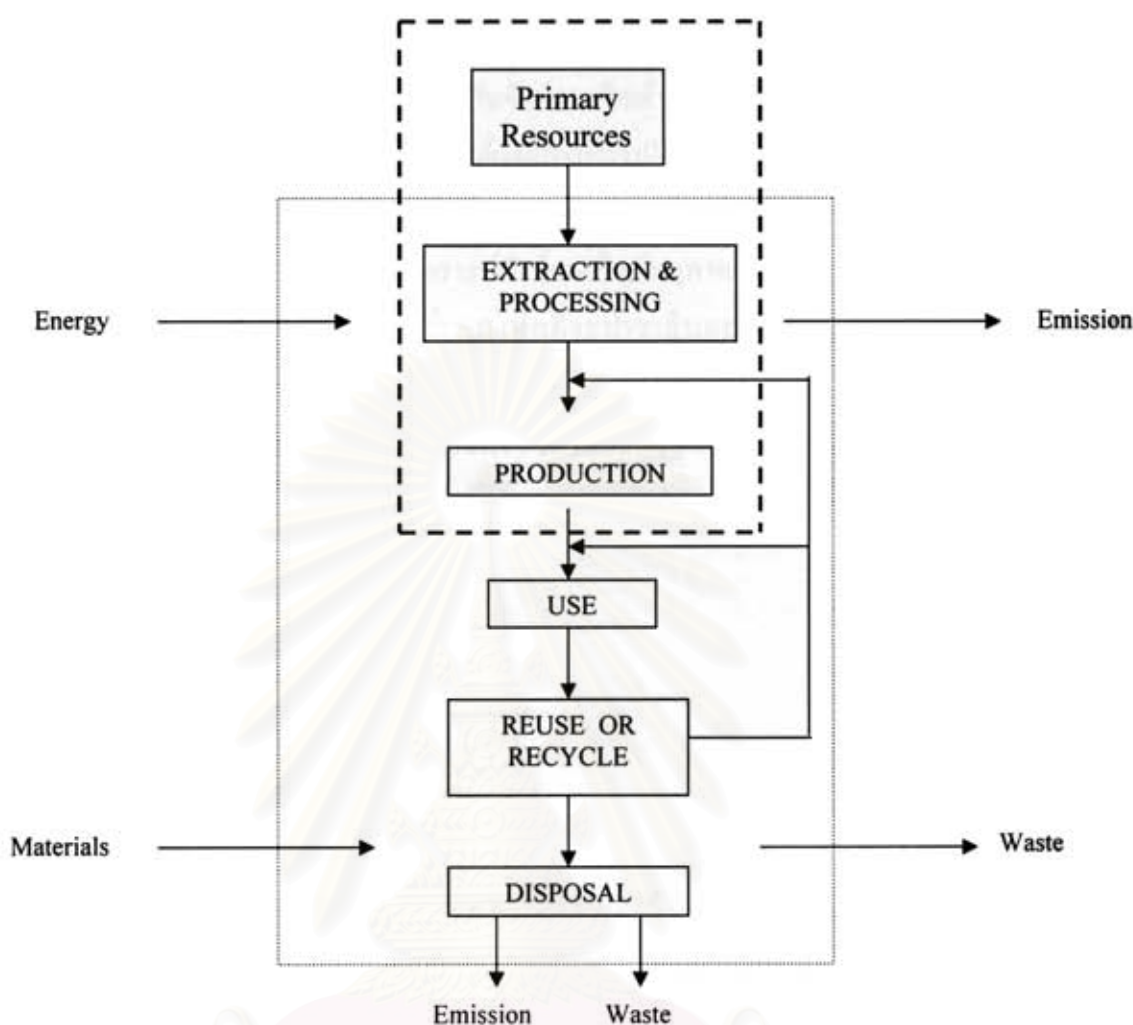
งานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นและยังแบ่งผลกระทบออกเป็น 3 กลุ่มหลักคือ ผลกระทบต่อมนุษย์, ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร โดยพิจารณาว่าวิธีใดมีความเหมาะสมในการสังเคราะห์และวิธีใดควรหลีกเลี่ยง ซึ่งจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิต และยังรวมไปถึงสารพิษและโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมา ระหว่างกระบวนการผลิต โดยทั่วไปนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 30-50 นาโนเมตรจะมีสมบัติในการสะท้อนแสงอัลตราไวโอเลตได้ดี แต่ในงานวิจัยนี้ศึกษานาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร เพื่อขยายกรอบการศึกษาให้กว้างขึ้นทำให้สามารถพิจารณาเลือกวิธีการสังเคราะห์ที่เหมาะสมได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตโดยวิธีการผลิตหลายๆวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis, Sol-gel, Precursor process, Organochemical route และ Solvothermal เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงอันตรายที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นและสารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ศึกษานาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร และศึกษาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ ตั้งแต่แหล่งแร่ไปจนถึงกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตของงานวิจัย

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม
- ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นและวิธีที่ใช้ในกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากการใช้สารตั้งต้นและกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม

## 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์
2. ศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์
3. พิจารณาข้อดีข้อเสียของซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน
4. ศึกษาวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับไมครอนและนาโนเมตร
5. ใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 เพื่อที่จะประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์
6. ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆและเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แต่ละวิธี
7. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย
8. เขียนรายงานผลการวิเคราะห์

## 1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA), ขั้นตอนและกรอบการดำเนินงานของ LCA รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro<sup>®</sup> 6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และในส่วนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต



บทที่ 3 กล่าวถึงการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ โดยอธิบายการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับไมครอน ซึ่งการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับไมครอนสามารถสังเคราะห์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางตรง(American process) และวิธีการสังเคราะห์ทางอ้อม(French process) และการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรมีหลายวิธี ได้แก่ Organochemical route, Precursor process, Pyrolysis, Sol-Gel และ Solvothermal และในส่วนท้ายของบทนี้จะแสดงข้อมูลจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ

บทที่ 4 เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะทำการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยพิจารณาตั้งแต่แหล่งวัตถุดิบไปจนถึงกระบวนการสังเคราะห์ และประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro<sup>®</sup> 6.0 ผลจากการประเมินที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ รวมถึงวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการสังเคราะห์ โดยทำการประเมินรวมถึงประมาณข้อมูลให้อยู่บนค่าอ้างอิงเดียวกัน

บทที่ 5 เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต จากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ

บทที่ 6 จะกล่าวสรุปแต่ละวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ว่าวิธีใดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รวมถึงข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) กรอบการดำเนินงาน ประโยชน์และขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และในส่วนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

#### 2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต

##### ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต ( Life Cycle Assessment : LCA ) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดแนวทางในการเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในการศึกษา LCA สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังลดการใช้วัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมในกระบวนการผลิตได้ ซึ่ง LCA เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต

การศึกษา LCA มีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่สนใจทั้งวงจรชีวิต ตั้งแต่การกำหนดขอบเขตในการศึกษา วัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานของผลิตภัณฑ์รวมไปจนถึงการจัดการกับเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการนำไปใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรเป็นหลัก



## วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือจากข้อมูลของสารขาเข้าหรือขาออกของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีด้านสิ่งแวดล้อม

## ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา LCA นั้นสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ว่าผลิตภัณฑ์ชนิดใดเหมาะแก่การนำไปใช้งานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มทางเลือกในกระบวนการผลิตซึ่งสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต และนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

## ขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA

ในการศึกษาการดำเนินงานของ LCA นั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)
4. การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

## กรอบการดำเนินงานของ LCA

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA ออกเป็น 8 ขั้นตอนย่อยดังแสดงในรูปที่ 2.1



### รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ของ UNEP

(ที่มา : Life Cycle Assessment : What it is and How to do it, UNEP 1996)

#### การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของ LCA เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดสิ่งที่ต้องการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการศึกษา ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้เอง

หลักสำคัญในการกำหนดเป้าหมายคือ ควรกำหนดให้ชัดเจนไม่คลุมเครือ ควรกำหนดเหตุผลและจุดมุ่งหมายในการศึกษาเพื่อประโยชน์ในการศึกษา หรือการนำไปใช้งานต่อ ในส่วนของขอบเขตศึกษานั้นจะเป็นตัวกำหนดข้อจำกัดของสิ่งที่ศึกษา ซึ่งควรกำหนดรายละเอียดของ

ขอบเขตที่เพียงพอเพื่อให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยขอบเขตการศึกษาจะมีความสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และมีผลกระทบโดยตรงต่อเวลา และค่าใช้จ่ายในการศึกษา

### **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม**

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล ที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้าและขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตมีการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าใด โดยความยากง่ายในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้นพิจารณาจากพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ หรือพิจารณาถึงการปล่อยของเสียระหว่างกระบวนการผลิตสู่อากาศ แหล่งน้ำและดิน

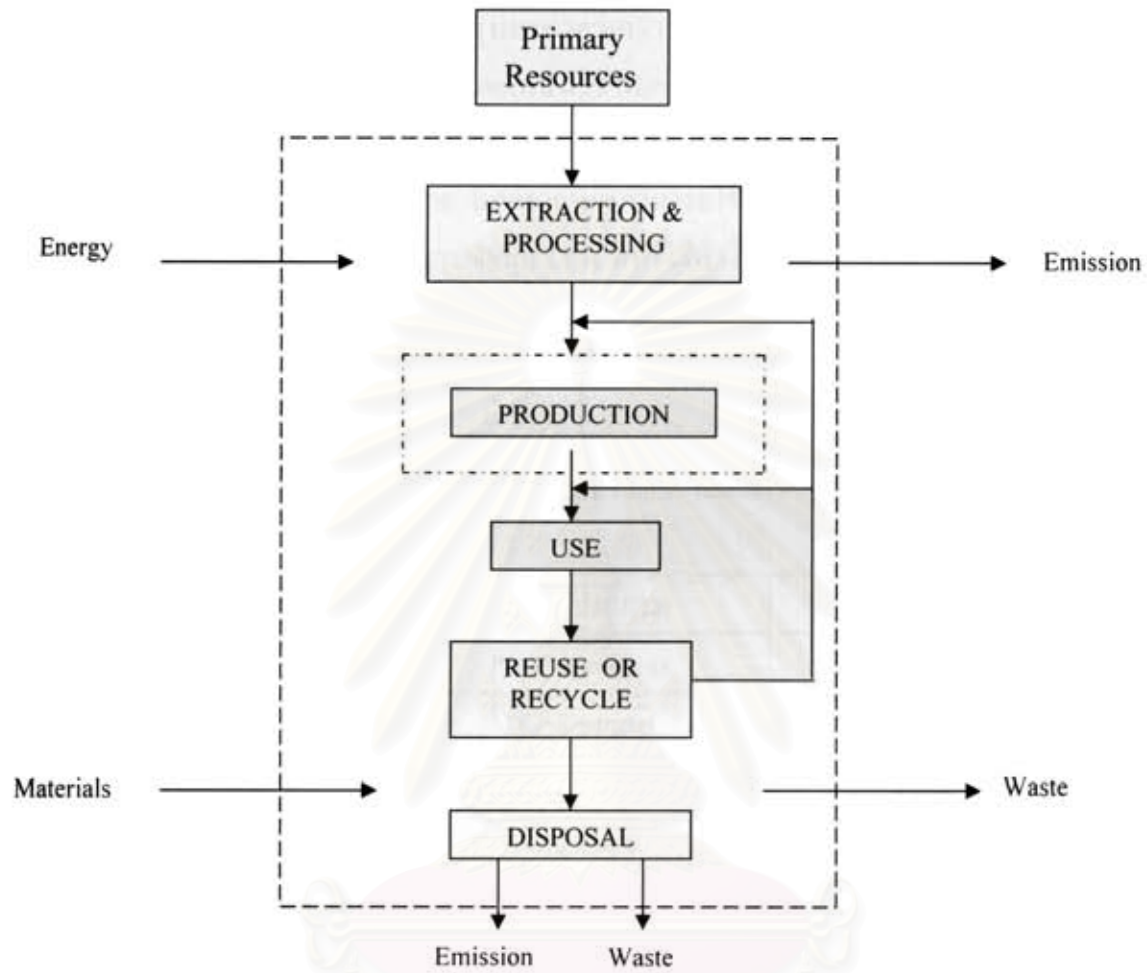
### **การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต**

ในขั้นตอนนี้การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นการแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกจากระบบในระหว่างกระบวนการผลิต หรือจากสารขาเข้าและขาออกเพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับการแปลผลการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

### **การแปลผล**

การแปลผลการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ก็คือการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมกับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อนำมาสรุปผลและอธิบายสิ่งที่ได้มาจากผลลัพธ์ จากนั้นจึงทำรายงานเพื่อสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจง่าย สมบูรณ์ครบถ้วนและมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

## ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เริ่มศึกษาตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากร กระบวนการผลิต การนำไปใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ตลอดจนถึงขั้นตอนการกำจัดเศษซากของผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากร พลังงานที่ใช้ สารขาเข้าและขาออก หรือสิ่งที่ปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการผลิต



## 2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต ต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยวิเคราะห์ผล โดยโปรแกรมที่นำมาใช้มีความสะดวก รวดเร็วและมีคุณภาพ ซึ่งแต่เดิมนั้นใช้ Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ปัจจุบันเริ่มหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมากขึ้นเนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย รวมถึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนหลายๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ที่ทำไว้ทั่วโลกได้ ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1, 6	Pre'Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมันนี
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	Ifu / ifeu	เยอรมันนี
EcoPro	EMPA, sinum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE-LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น*
JEMAI-LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น*

\* มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่นเท่านั้น



### โปรแกรม SimaPro6.0 (System for Integrated Environmental Assessment of Products)

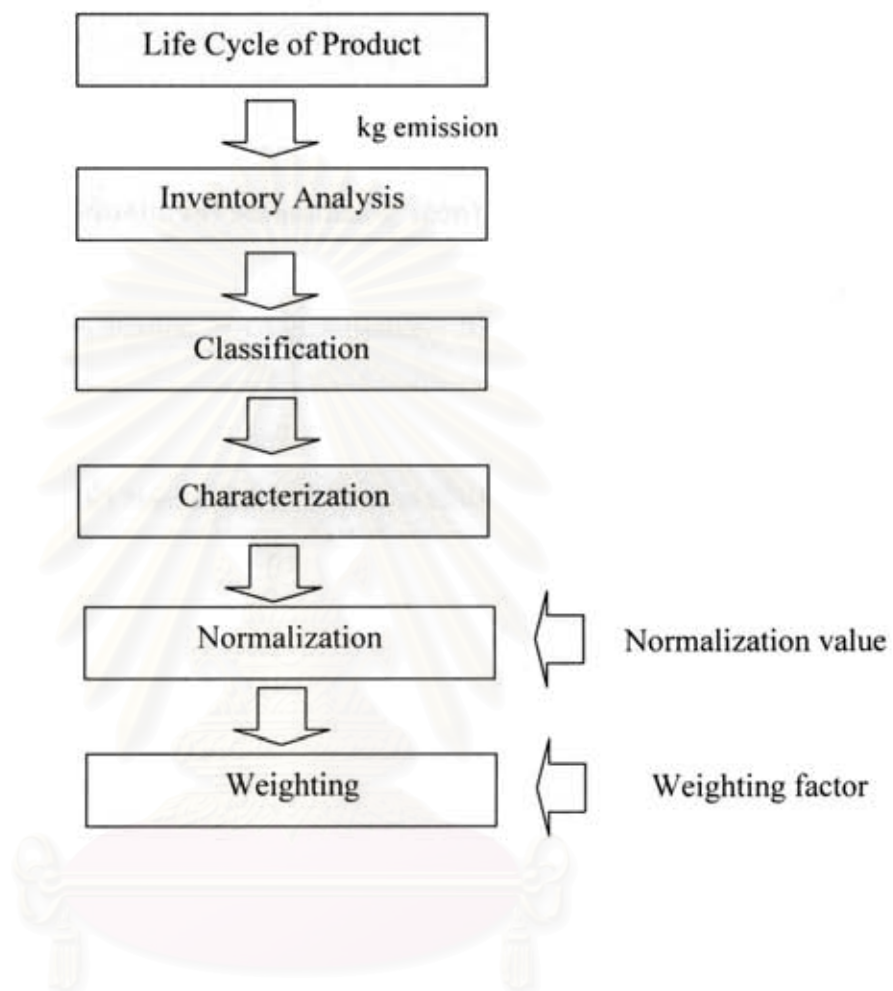
บริษัท PRe Consultants ก่อตั้งเมื่อปี 1990 โดย Mr.Mark Goedkoop โดยมุ่งเน้นไปที่การจัดการวัฏจักรชีวิตและการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์และบริการ ด้วยโปรแกรมที่เป็นที่รู้จักกันดี ในชื่อของ SimaPro LCA software ซึ่งเป็น โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตของระบบ

โปรแกรม SimaPro ถูกสร้างในปี ค.ศ.1990 สำหรับโครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ โดยใช้ LCA software เป็นตัวแสดงผลซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่าย โปรแกรม SimaPro 4 ถูกสร้างในปี ค.ศ. 1997 โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window และประสบความสำเร็จอย่างมาก Pre Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน โดยได้ทำการพัฒนา Eco-indicator 95 และ 99 โดยทั้ง 2 โปรแกรมมีประโยชน์อย่างมากในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักร

ในปัจจุบัน SimaPro ไม่เพียงแต่ใช้ทำการประเมินผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ได้ขยายการใช้งานไปถึงกระบวนการผลิตและบริการอีกด้วย และล่าสุด SimaPro 6.0 เป็นโปรแกรมที่ทำการเก็บข้อมูล, วิเคราะห์ผลและแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งเราสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นได้อย่างง่ายดาย และทำการวิเคราะห์ผลที่ซับซ้อนของวัฏจักรชีวิต พร้อมทั้งแสดงผลออกมาได้อย่างชัดเจนและเข้าใจได้ง่าย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบของดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99



ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-Indicator 99 มีขั้นตอนการประเมินผลโดยเริ่มจาก Life Cycle of Product ซึ่งเป็นขั้นตอนที่พิจารณาว่า ในกระบวนการผลิตมีขั้นตอนอะไรบ้างและในแต่ละขั้นตอนมีสารขาเข้าและสารขาออกปริมาณเท่าไร นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงสารที่ถูกปล่อยออกมา ระหว่างกระบวนการ โดยหน่วยที่นำมาใช้ต้องแปลงให้อยู่ในรูปของ mass ก่อน ต่อมาเป็นขั้นตอนของการเก็บข้อมูล(Inventory Analysis) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทั้งหมด เพื่อนำไปป้อนเข้าโปรแกรม โดยโปรแกรมจะนำข้อมูลที่เก็บจากขั้นตอนของการเก็บข้อมูล ไปจำแนกประเภทของผลกระทบ(Classification) ว่าสารแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องส่งผลกระทบในด้านใดบ้าง แล้วสุดท้ายจึงรวมผลกระทบว่าเป็นผลกระทบต่อด้านใด

โดยดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-Indicator 99 นี้ได้แบ่งผลกระทบออกเป็น 3 ด้านคือ ผลกระทบต่อมนุษย์, ระบบนิเวศน์และการใช้ทรัพยากร ส่วนขั้นตอนต่อมาคือขั้นตอนของการ Characterization ซึ่งเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยค่า Characterization เกิดจาก

$$\text{Characterization} = \text{Damage factor} \times \text{kg emission}$$

ซึ่งค่า Damage factor เป็นค่า data base แต่ผลกระทบที่ได้จากขั้นตอนนี้ ยังมีหน่วยที่แตกต่างกัน อยู่ ดังนั้นขั้นตอนต่อมาจึงเป็นขั้นตอนของ Normalization โดยค่า Normalization เกิดจาก

$$\text{Normalization} = \text{Characterization} / \text{Normalization value}$$

ค่า Normalization ที่ออกมาจะอยู่ในรูปไร้หน่วยที่เรียกว่า Pi ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆได้ และค่า Normalization value เป็นค่า data base ซึ่งในขั้นตอน Normalization เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ด้านที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากผลกระทบทั้ง 3 ด้านมีหน่วยเดียวกัน คือหน่วย Pi และขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนการ Weighting ซึ่งการ Weighting มีได้หลายแบบขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้องการให้น้ำหนักด้านไหน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.3 ชิงค์ออกไซด์

โดยทั่วไปชิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่(ระดับไมครอน) ผลิตมาจากสังกะสีบริสุทธิ์ หรือผลิตจากแร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในกระบวนการผลิตจะนำแร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบไปถลุงเพื่อให้ได้เป็นสังกะสีบริสุทธิ์ โดยแร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบมีหลายชนิด ได้แก่



รูป 2.3 แร่ซิงค์ไคต์(Zincite)

**สมบัติทางฟิสิกส์ :** มีลักษณะเป็นชั้นบาง หรือมีเนื้อสมานแน่น ผลึกสมบูรณ์หาได้ยาก มีสีแดงจัดถึงสีส้มอมเหลือง สีผงสีส้ม โปรงแสง

**สมบัติทางเคมี :** สูตรเคมี  $ZnO$  มี Zn 80.3% O 19.7% โดยทั่วไปมักมี  $MnO$  ปนอยู่ด้วยประมาณ 5% แมงกานีสในรูปสารประกอบ  $Mn_2O_4$  ทำให้แร่มีสีแดง

**ประโยชน์ :** เป็นสินแร่สังกะสีที่สำคัญเป็นอันดับสองของโรงถลุงแฟลนกลินในอเมริกา โดยถลุงเอาโลหะสังกะสี และยังใช้ในการผลิตชิงค์ออกไซด์



รูป 2.4 แร่สมิทซอไนต์(Smithsonite)

**สมบัติทางฟิสิกส์ :** เปราะแข็ง วาวคล้ายแก้ว สีแร่อาจมีสีขาว เทาขาว เขียวขาวและสีน้ำตาล มีลักษณะกึ่งโปรงแสง ถ้าแร่มีสีเหลืองแสดงว่ามีแคลเซียมปนอยู่ด้วย

**สมบัติทางเคมี :** สูตรเคมี  $ZnCO_3$  มี ZnO 64.8%  $CO_2$  35.2% บางครั้งอาจมีเหล็กและแมงกานีสปะปนอยู่ บางครั้งอาจมีแคลเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง และโคบอลต์ปนอยู่เล็กน้อย

**ประโยชน์ :** นำไปถลุงเป็นสินแร่สังกะสี



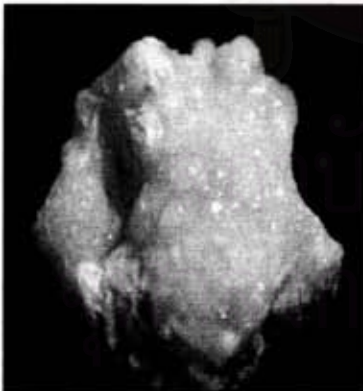


รูป 2.5 แร่ฟาเลไรต์(Sphalerite, ZnS)

**สมบัติทางฟิสิกส์ :** รูปผลึกแบบไอโซเมทริกหรือเป็นมวลมืด เป็นก้อนเนื้อสมานแน่นหรือเป็นแผ่น สีเหลืองคล้ายสีน้ำผึ้ง น้ำตาลปนแดงหรือดำ วาวคล้ายเพชร เนื้อร่วนเปราะ

**สมบัติทางเคมี :** สูตรเคมี ZnS มี Zn 67.0% แต่มักมี Fe ปนอยู่เกือบ 20% ละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก เผาได้กลิ่นกำมะถัน ผงที่เหลือเมื่อร้อนจะมีสีเหลืองแต่เมื่อเย็นตัวลงจะมีสีขาว

**ประโยชน์ :** นำมาถลุงเอาโลหะสังกะสี ใช้เคลือบแผ่นเหล็กสังกะสีมุงหลังคา ลวด ท่อ ไซ้ เปลือกในของถ่านไฟฉาย ใช้เป็นอิเล็กโทรด ถ้ามีกำมะถันมากสามารถเอามาทำกรดกำมะถันได้ โดยนำไปผลิตเป็นสังกะสีออกไซด์จะนำไปใช้ในการทำสี ถ้าผลิตเป็นสังกะสีคลอไรด์ จะนำไปใช้รักษาเนื้อไม้ และนำไปผลิตเป็นสังกะสีซัลเฟต จะนำไปใช้ทำสีย้อมผ้า



รูป 2.6 แร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite)

**สมบัติทางฟิสิกส์ :** รูปผลึกแบบออร์โทโรมบิก ปกติมีรูปร่างเป็นหนาไม่มากนัก บางทีผลึกเล็กๆเกิดรวมกันแน่นเป็นกลุ่ม เนื้อสมานแน่น มีสีขาว ฟ้าอ่อน เหลือง และน้ำตาล โปร่งใส รอยแตกขรุขระ วาวคล้ายแก้วหรือเพชร

**สมบัติทางเคมี :** สูตรเคมี  $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot 2H_2O$  มี ZnO 67.5%  $SiO_2$  25.0% และ  $H_2O$  7.5% อาจมีอะลูมิเนียมและเหล็กปนอยู่เล็กน้อย

**ประโยชน์ :** เป็นสินแร่โลหะสังกะสี

### สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีขาว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อได้รับความร้อนตั้งแต่ 300 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ซึ่งซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 366 นาโนเมตร และเนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีรูปผลึก ทำให้ซิงค์ออกไซด์มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ อนุภาคของซิงค์ออกไซด์เกิดขึ้นได้จากวิธีการสังเคราะห์โดยใช้ความร้อน ซึ่งอนุภาคที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดรูปร่างกลมหรือมีลักษณะแหลมเหมือนเข็มหรือเป็นหนามก็ได้

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์

Density	5.65-5.68 g/cm <sup>3</sup>
Refractive index	1.95-2.1
Melting point	1975 C
Boiling point	sublimes at 1800
Thermal conductivity	25.2 w m <sup>-1</sup> k <sup>-1</sup>
Colour	white
Appearance	Crystalline solid
Crystal structure	hexagonal, wurtzite

### สมบัติทางเคมี

1. ละลายน้ำได้น้อยมาก
2. ละลายได้ดีในกรดและโลหะอัลคาไลด์
3. รวมตัวได้ดีกับ acidic gas เช่น CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub>S
4. ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกับออกไซด์ชนิดอื่น เพื่อเกิดเป็นสารประกอบชนิดอื่น

ตารางที่ 2.3 แสดงเกรดทางการค้าของซิงค์ออกไซด์

Parameter	Indirect process	Direct process
ZnO(min), wt%	99.5	98.5
Pb(max), wt%	0.004	0.25
Cd(max), wt%	0.001	0.03
Cu(max), wt%	0.0005	0.005
Mn(max), wt%	0.0005	0.005
water-soluble salts(max), wt%	0.02	0.65
Specific surface area, m <sup>2</sup> /g	3 to 8	1 to 5

### การนำไปใช้ประโยชน์

#### 1. อุตสาหกรรมยาง

ซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยางประมาณ 50% โดยใช้เป็นตัวกระตุ้นเพื่อเร่งในการวัลคาไนซ์ ทั้งในยางจากธรรมชาติและยางสังเคราะห์ การเกิดปฏิกิริยาของซิงค์ออกไซด์เป็นฟังก์ชันกับค่าความจำเป็นของพื้นที่ผิว แต่สิ่งเจือปน เช่นตะกั่วและซัลเฟตก็มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาของซิงค์ออกไซด์ นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังช่วยเพิ่มความทนทานในยาง โดยในยางจะมีซิงค์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 2-5 %

#### 2. อุตสาหกรรมสีและการเคลือบ

ถึงแม้จะมีการนำซิงค์ออกไซด์มาทำเป็นสีขาว แต่ซิงค์ออกไซด์ไม่ได้จัดเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำสีเป็นอันดับแรก แต่ก็พบว่าซิงค์ออกไซด์เป็นสีขาวที่ดีเยี่ยมในงานด้านศิลปะ ซิงค์ออกไซด์มีสมบัติเฉพาะตัวในการต้านทานการกัดกร่อน และยังป้องกันการหลุดร่อนของสีเมื่อถูกแสงแดดโดยตรง นอกจากนี้ยังต้านทานการเกิดเชื้อราในไม้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในยาที่ใช้กำจัดพวกเห็บรา เพราะว่าเมื่อซิงค์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีสภาพเป็นกรด



### 3. อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

ซิงค์ออกไซด์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ป้องกันการซึมผ่านของรังสีอัลตราไวโอเล็ตแทรกซึมสู่ผิวหนัง ทำให้ป้องกันการเกิดความคล้ำจากแดด, ผิวเหี่ยวขุ่น, ไหม้เกรียมและป้องกันการเกิดมะเร็งที่ผิวหนังได้ นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังมีสมบัติในการทำละลายเชื้อแบคทีเรีย ทำให้ถูกใช้ในทันตกรรมโดยใช้เป็นสารยึดติดในฟัน

### 4. ใช้ในแก้ว, เซรามิกและการเคลือบต่างๆ

มีการใช้ซิงค์ออกไซด์ในการเคลือบเพื่อป้องกันการเกิดรอยร้าว เนื่องจากซิงค์ออกไซด์สามารถลดการขยายตัวที่เกิดขึ้นจากความร้อน ทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงและเพิ่มความต้านทานทางเคมี นอกจากนี้ยังใช้เพื่อทำให้เกิดภาวะทึบแสงในผลิตภัณฑ์

### 5. ใช้เป็นวัตถุเติม

ซิงค์ออกไซด์ถูกใช้เป็นวัตถุเติมในการผลิตสารหลายชนิด ได้แก่ ฟอสเฟต, โครเมต และโบรเมต เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งของธาตุสังกะสีในอาหารสัตว์

### 6. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ซิงค์ออกไซด์ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์สารอินทรีย์

### 7. อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

มีการนำซิงค์ออกไซด์มาใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยซิงค์ออกไซด์ที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงมาก ซึ่งจะนำไปเคลือบกับสารปรุแต่ง เช่น  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

**ข้อดีข้อเสียจากการนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้งานเมื่อมีขนาดอนุภาคต่างกัน**

การนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้งาน พบว่าเมื่อซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตรจะมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า คือ มีพื้นที่ผิว, การดูดซับ, การสะท้อนกลับ, การกระจายตัว และการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ในกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ส่วนใหญ่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน, ค่าใช้จ่ายสูงอีกทั้งปริมาณที่ได้จากการสังเคราะห์มีน้อยกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ไมครอนจากวิธีการสังเคราะห์ทางตรงและทางอ้อม



## พิษวิทยา

ซิงค์หรือสังกะสีเป็นวัสดุที่แตกต่างจากโลหะหนักชนิดอื่นๆ เนื่องจากสังกะสีเป็นวัสดุที่ไม่มีความเป็นพิษหรืออันตรายต่อมนุษย์ แต่ในทางกลับกัน สังกะสีจัดเป็นสารประกอบที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ซึ่งในร่างกายของมนุษย์ควรได้รับสังกะสีในปริมาณ 10-20 มิลลิกรัมต่อวัน และเมื่อพิจารณาค่า LD<sub>50</sub> ในหนูทดลอง พบว่ามีค่า LD<sub>50</sub> 630 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ถ้าร่างกายได้รับสังกะสีเข้าไปในปริมาณมากเนื่องมาจากการกินหรือการสูดดม จะมีอาการเป็นไข้ คลื่นไส้ และระคายเคืองต่อระบบหายใจ ซึ่งอาการเหล่านี้จะหายไปอย่างรวดเร็วโดยไม่ส่งผลตามมาเมื่อเวลาผ่านไป

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี ซึ่งวิธี Precursor process[1-3] ก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งในงานวิจัยของ Takaki Masaki และคณะได้ทำการสังเคราะห์โดยใช้ Zinc sulfate salt และ aluminum sulfate salt เป็นสารตั้งต้นโดยใช้ pulp และ crystalline cellulose เป็น precursor ซึ่งในสารละลายผสมของซิงค์เตรียมขึ้นจาก ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคขนาด 50 นาโนเมตร สำหรับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical route[4] ในงานวิจัยของ Yong Jae Kwon และคณะสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารตั้งต้นคือ ethylene glycol, citric acid และ Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O ซึ่งการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 30-70 นาโนเมตร จากงานวิจัยนี้พบว่า อัตราส่วนของสารตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ มีผลต่อขนาดของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

วิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Sol-gel[5-9] ซึ่งงานวิจัยของ D.Mondelaers และคณะโดยนำซิงค์อะซิเตทมาละลายน้ำ จากนั้นเติมกรดซิดริก 99 เปอร์เซ็นต์ลงไป เพื่อให้เกิดโคออร์ดิเนตไอออนของโลหะ ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาผลของขนาดและโครงสร้างของอนุภาคต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้การสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal[10-12] และ Hydrothermal[13-17] ก็เป็นอีกวิธีที่ได้รับความสนใจในการสังเคราะห์ โดยงานวิจัยของ Tonto. P ได้สังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Solvothermal โดยใช้ซิงค์อะซิเตทเป็นสารตั้งต้นและศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มต่างๆ คือ เบนซีน, ไกลคอล และกลุ่มแอลกอฮอล์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายโซลีนมีค่า

Aspect ratio มากที่สุด รองลงมาคือโทลูอิน และเบนซีน ซึ่งค่าAspect ratioนี้เป็นค่าของความยาวเฉลี่ยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งขนาดนาโนเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ค่าต่างๆ

วิธีการสังเคราะห์วิธี Spray pyrolysis[18-20] เป็นวิธีการสังเคราะห์ที่นิยมในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ได้ปริมาณมาก ซึ่งงานวิจัยของ Olivera Milosevic และคณะ ศึกษาการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Aerosol spray pyrolysis โดยใช้สารตั้งต้นคือ  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ละลายในน้ำกลั่น ซึ่งจากวิธีการสังเคราะห์นี้พบว่า สารละลายถูกทำให้เป็นละลายใน tubular reactor โดยมีอากาศเป็นตัวพา และในงานวิจัยนี้ยังศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์คือ อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาในการสังเคราะห์ สำหรับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precipitation[21-23] ก็เป็นอีกวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเช่นเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยของ Chung-Hsin Lu และคณะ ทำการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Emulsion precipitation ซึ่งในสารละลายประกอบด้วยซิงค์แคทไอออน เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในสารละลาย n-heptane และทำให้ตกตะกอนด้วยแอมโมเนีย จากนั้นให้ความร้อนกับตะกอนเกิดเป็นนาโนซิงค์ออกไซด์ งานวิจัยนี้เปรียบเทียบการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Emulsion precipitation กับวิธี Precipitation แบบธรรมดา พบว่าวิธี Emulsion precipitation ให้ผลดีกว่าเนื่องจาก ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้เทคนิคนี้ในการเตรียมผงเซรามิก ในขั้นตอนการสังเคราะห์นั้นเมื่ออิมัลชันถูกเตรียมแล้ว สามารถทำการระเหยได้โดยตรงแล้วจึงทำให้แห้งเพื่อไล่เฟสน้ำมันออกไป หรือเติมสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอนที่เหมาะสมลงไปเพื่อให้ตะกอนเกิดขึ้น และงานวิจัยของ S.C. Zhang และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precipitation transformation จาก  $Zn(CO_3)_2(OH)_6$  ในสารละลายที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ, ความเข้มข้นและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลให้เฟสของซิงค์ออกไซด์ถูกสร้างได้ง่ายขึ้น ปกติแล้วเทคนิคการตกตะกอนต้องใช้ความร้อนในกระบวนการเพื่อตกตะกอน ซึ่งต้องใช้พลังงานมากกว่าและในระหว่างการให้ความร้อนในกระบวนการ อนุภาคจะเกิดการรวมตัวทำให้ขนาดของอนุภาคมีการกระจายตัวในช่วงกว้าง

นอกจากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ข้างต้น ก็ยังมีวิธีการสังเคราะห์อื่นๆอีกได้แก่ chemical vapor deposition, thermal oxidation[24-29], pulsed laser deposition[30-31], Laser vaporization/condensation[32], thermal Microwave-hydrothermal[39], thermal decomposition[34] และวิธีอื่นๆนอกจากนี้[35-46] โดยงานวิจัยของ M.Sany, E.Shall และคณะใช้เทคนิค Laser vaporization ในการสังเคราะห์โลหะออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตร โดยวิธีนี้มีโลหะเป้าหมายอยู่ใน chamber ซึ่งภายในบรรจุก๊าซฮีเลียมหรือก๊าซอาร์กอนก็ได้ โดย



โลหะเป้าหมายจะได้รับความร้อนจากเลเซอร์ จากนั้นอะตอมของโลหะจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน(ในกรณีของการสังเคราะห์โลหะออกไซด์) เกิดเป็นไอของโลหะออกไซด์ขึ้น จากงานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้น และงานวิจัยของ M. Mondelaers และคณะ ศึกษาการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากเจลของสารละลาย acetate-urate ซึ่งเริ่มต้นจากสารละลายซิงค์อะซิเตตผสมกับกรดซิตริก พบว่าซิงค์ออกไซด์เกิดจากการละลายตัวของเจล ซึ่งโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นได้รับอิทธิพลอย่างสูงจากอุณหภูมิที่ใช้ และเมื่อเปรียบเทียบข้อดีระหว่างอนุภาคขนาดเล็กละเอียดกับอนุภาคขนาดเล็กหยาบพบว่าอนุภาคขนาดเล็กที่มีความละเอียดจะหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ R. Dhage และคณะ ศึกษาการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยสารตั้งต้นที่ใช้คือ ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรท นำไปละลายในน้ำกลั่นแล้วเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เพื่อทำให้เกิดตะกอนของไฮดรอกไซด์ขึ้นแล้วจึงล้างตะกอน หลังจากนั้นนำไปกวนนาน ชั่วโมงแล้วทำการรีฟลักซ์อีก 4 ชั่วโมง ซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกรองและทำให้แห้งซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีอนุภาคเฉลี่ยที่ 100 นาโนเมตร

งานวิจัยของ A. Azapagic[63] และคณะ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยศึกษาถึงขั้นตอนการเลือกและการออกแบบกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตลิควิดคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้น การปล่อย SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> และ VOCs ออกมา ทำให้ต้องใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเข้ามาเป็นเครื่องมือในการเลือกกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยจะจำแนกวิธีที่ใช้ในการกำจัด SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> และ VOCs ซึ่งในการกำจัดสารแต่ละตัวจะมีวิธีและกระบวนการกำจัดที่ต่างกันออกไปตามความเหมาะสม จากนั้นจึงใช้ LCA เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ นอกจากนี้มีการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ จากรงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ[64-68]

ผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ ส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ทำให้ปัจจุบันมีการก่อตั้งหน่วยงานระหว่างรัฐบาลด้วยความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ เรียกว่า IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นโดยองค์การสหประชาชาติ โดยสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศเกิดจากก๊าซเรือนกระจก ซึ่งก๊าซเรือนกระจกนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้อุณหภูมิทั่วโลกปรับตัวสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิทั่วโลกปรับตัวสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้สภาพอากาศแปรปรวน รวมถึงการเกิดปัญหาภัยธรรมชาติร้ายแรงชนิดต่างๆขึ้น สำหรับผลกระทบในด้านนี้พบว่า การก่อกมลพิษจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลก็เป็นสาเหตุหนึ่งเช่นกัน

สาเหตุของการเกิดปัญหาโลกร้อนนั้น มาจากความไม่สมดุลของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งในปัจจุบันมีอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ระดับของก๊าซเรือนกระจกในโลกมีปริมาณมากเกินไป ซึ่งก๊าซเรือนกระจกนี้ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซมีเทน( $\text{CH}_4$ ) และก๊าซไนตรัสออกไซด์( $\text{NO}_x$ ) ก๊าซเหล่านี้จะดูดกลืนความร้อนได้ โดยตัวมันจะดูดความร้อนไว้ ทำให้ความร้อนที่แผ่ออกจากโลกไม่สามารถออกสู่อวกาศได้ จึงทำให้ความร้อนถูกเก็บสะสมอยู่ภายในโลก ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกเลยก็จะทำให้อุณหภูมิลดลง ทำให้สิ่งมีชีวิตอาศัยได้ยาก ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะต้องมีในปริมาณที่พอดี แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการขุดปิโตรเลียม ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติมาใช้ในปริมาณมาก ซึ่งในขั้นตอนและกระบวนการผลิตเพื่อจะให้ได้มาซึ่งเชื้อเพลิงนั้น พบว่าในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นมีการปล่อยมลพิษต่างๆหลายชนิด โดยมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ รวมไปถึงจนถึงปัญหาการเกิดโลกร้อนด้วย ในการเผาไหม้นั้นทำให้เสียสมดุลย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น นอกจากปัญหาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มากเกินไปแล้วพบว่าการตัดไม้ทำลายป่าก็เป็นสาเหตุอีกอย่างหนึ่ง โดยการตัดไม้จะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากต้นไม้เป็นตัวดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ต้นฉบับไม่มีหน้านี้  
NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

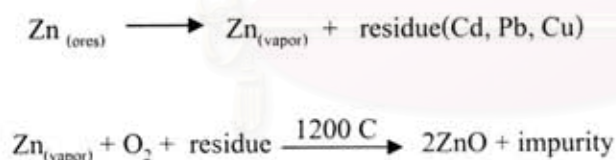
## การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้ในปัจจุบันมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ระดับไมครอนจนถึงนาโนเมตร โดยซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดของอนุภาคต่างกันจะส่งผลให้สมบัติแตกต่างกันด้วย ทำให้มีผู้สนใจศึกษาซิงค์ออกไซด์กันมากขึ้น ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆเป็นจำนวนมาก

### 3.1 วิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับไมครอน

กระบวนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคระดับไมครอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มี 2 กระบวนการ คือ การสังเคราะห์ทางตรง (American process) และการสังเคราะห์ทางอ้อม (French process)

#### 3.1.1 การสังเคราะห์ทางตรง



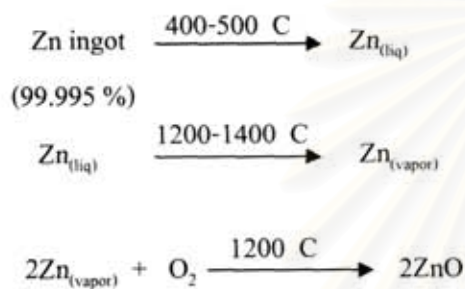
วิธีนี้เป็นวิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยตรงจากแร่ที่มีซิงค์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแร่ที่นำมาใช้จะมีซิงค์เป็นองค์ประกอบ 60-80% ได้แก่ ซิงค์ซลิเกต, ซิงค์ไซค์, ฟาเลไรต์, เฮมิมอร์ไฟต์ และสมิทซอไนต์ เป็นต้น ซึ่งพบว่าในกระบวนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้จะมีการปล่อยสิ่งปนเปื้อน (แคดเมียม, ทองแดงและตะกั่ว เป็นต้น) ออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีลักษณะเป็นผงสีขาวปนเทา เนื่องจากมีโลหะหนักและสิ่งปนเปื้อนอยู่มากและโลหะหนักที่มักพบคือ อะลูมิเนียม, แคดเมียม, ทองแดง, เหล็ก, แมงกานีส และตะกั่ว โดยซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีอนุภาคอยู่ในช่วง 1-2 ไมครอนและมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 98.5-99.5 %

ซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วงนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสี, ยางหรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์มากนัก

ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือ สังเคราะห์ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ และมีการปล่อยโลหะหนักออกมาระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สูง ทำให้ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ลดลง

### 3.1.2 การสังเคราะห์ทางอ้อม



การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้เป็น การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จากซิงค์อินกอตซึ่งเป็นซิงค์ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.995 % ทำให้ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากวิธีนี้มีความบริสุทธิ์สูงกว่าการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จากแร่โดยตรง โดยจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนของการผลิตซิงค์ออกไซด์โดยเริ่มจากซิงค์อินกอตจนกระทั่งได้ซิงค์ออกไซด์ออกมานั้นพบว่าไม่มีการปล่อยโลหะหนักออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการผลิตจึงทำให้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ นิยมผลิตซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้

ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงสีขาวบริสุทธิ์คล้ายแป้งมีขนาดอยู่ในช่วง 1-2 ไมครอน และมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 99.5-99.8 % โดยซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วงนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์, เลี้ยวสัตว์, ยา, เซรามิกหรือในอุตสาหกรรมที่ต้องการซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง

### 3.2 วิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโน

ซิงค์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนนั้นมีวิธีการสังเคราะห์หลายวิธี ซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์จะมีขนาด, โครงสร้างและการนำไปใช้งานแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยพารามิเตอร์ที่มีผลได้แก่อุณหภูมิ, ชนิดของสารตั้งต้น, ชนิดของตัวทำละลาย, ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและความเข้มข้นตัวทำละลาย เป็นต้น

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

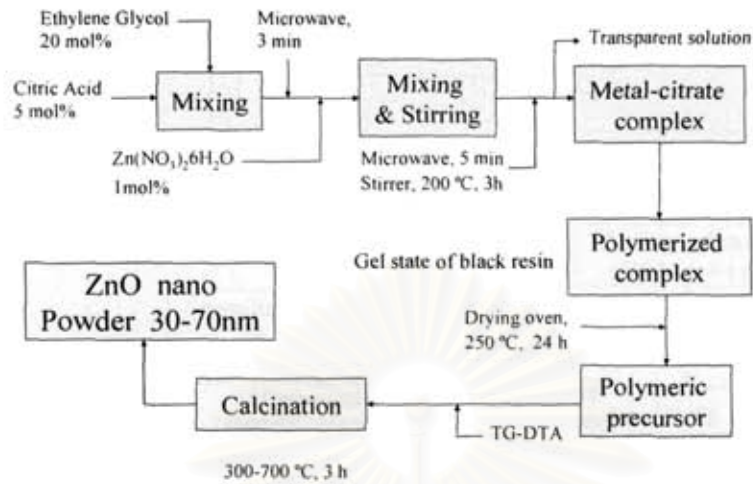
ส่วนที่ 1 : สังเคราะห์โดยใช้วิธี Organochemical route, Precursor process, Pyrolysis และ Sol-Gel ซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร

ส่วนที่ 2 : สังเคราะห์โดยใช้วิธี Solvothermal ซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่ง โดยนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

#### 3.2.1 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Organochemical route route ของ Yong Jae Kwon และคณะ

การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ใช้เอทิลีน ไกลคอล, กรดซิตริก และซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรทเป็นสารตั้งต้นโดยเอทิลีนไกลคอลกับกรดซิตริก ในอัตราส่วน 4:1 แล้วนำไปให้ความร้อนในไมโครเวฟนาน 3 นาที จากนั้นกวนสารละลายจนกระทั่งไม่มีตะกอนเกิดขึ้น แล้วซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรทถูกเติมในสารละลายก่อนนำไปให้ความร้อนในไมโครเวฟนาน 3 นาทีอีกครั้ง หลังจากขั้นตอนนี้จะได้สารละลายใสของซิงค์ซิเตรท โดยปฏิกิริยาจะถูกดำเนินไปที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างการเกิดปฏิกิริยานี้ สารละลายใสจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเจลที่มีความหนืดสูงมาก จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ก็จะได้นาโนซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 30-70 นาโนเมตร



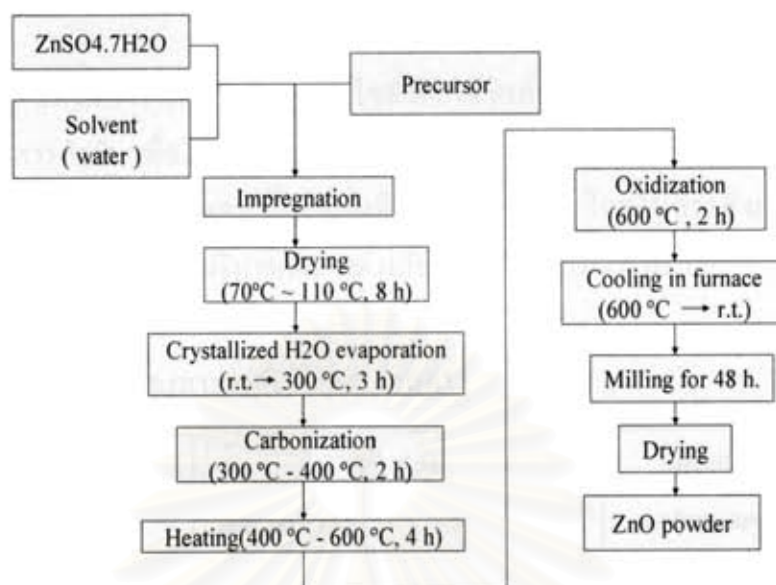


รูปที่ 3.1 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Organochemical route

### 3.2.2 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Precursor ของ Takaki Masaki และคณะ

นาโนซิงค์ออกไซด์ถูกสังเคราะห์โดยใช้ Zinc sulfate salt และ aluminum sulfate salt เป็นสารตั้งต้นโดยใช้ pulp และ crystalline cellulose เป็น precursor ซึ่งในสารละลายผสมของซิงค์เตรียมขึ้นจาก  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  และจุ่มใน precursor นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 -110 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จึงนำไปประเหยที่อุณหภูมิห้องจนถึง 300 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงทำการ Carbonization ตั้งแต่ 300-400 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส อีกเป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วทำการ Oxidization ที่ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จึงค่อยนำไป Cooling in furnace จนอุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไป Milling เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก็จะได้นาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 50 นาโนเมตร

ผังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Precursor process

### 3.2.3 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Precursor ของ Minggang Li และคณะ

การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธีนี้ สังเคราะห์ด้วยขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนผ่านสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  precursor ซึ่งเตรียมได้จากการนำซิงค์ซัลเฟต 0.38 โมลมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย 0.71 โมลและกวนเป็นเวลา 10 นาที ก็จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  กับ  $\text{SO}_4^{2-}$  ขึ้น จากนั้นจึงเติมไฮดรอกไซด์ 0.016 โมลและเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.08 กรัมลงไปในการละลาย แล้วปรับค่า pH ให้มีค่าประมาณ 8.5 ด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงนำไปตั้งไว้ใน water-bath ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส โดยในระบบจะมีแอมโมเนียถูกปล่อยออกมา ซึ่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากสารประกอบเชิงซ้อนของ  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  precursor สอดคล้องกับปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใช้เวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งในระบบจะเกิดตะกอนสีขาวของซิงค์ออกไซด์ขึ้น หลังจากนั้นก็นำมากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นและล้างด้วยเอทานอลหลายๆครั้ง แล้วจึงอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 30-60 นาโนเมตร

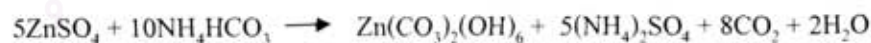
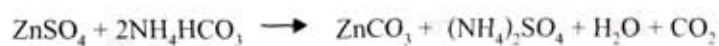
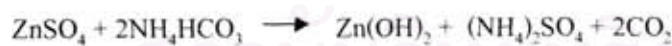
### 3.2.4 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้ซิงค์ซัลเฟต และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตเป็นสารตั้งต้น เพื่อใช้ในการเตรียม  $Zn_3(CO_3)_2(OH)_6$  ซึ่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 20 นาโนเมตร โดยในการสังเคราะห์จะศึกษาอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

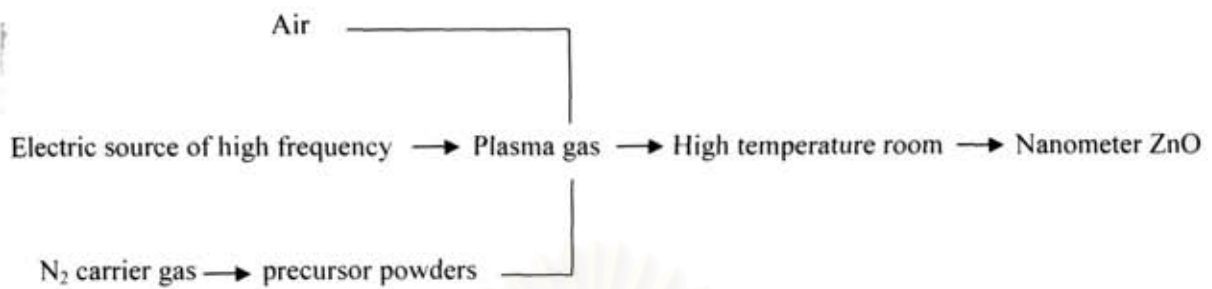
ตารางที่ 3.1 แสดงอิทธิพลของสารตั้งต้นที่อัตราส่วนต่างๆ

Excess ratio	ZnSO <sub>4</sub> (g/L)	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> (g/L)	Specific surface area of Precursor(m <sup>2</sup> /g)	Specific surface area of ZnO(m <sup>2</sup> /g)	ZnO yield (wt%)
1.05	40	250	7	54	97.0
1.05	100	500	8	68	98.1
1.05	150	500	15	76	98.4
1.1	40	500	17	53	98.3
1.1	100	500	13	64	99.2
1.1	150	250	16	76	99.5

จากกระบวนการสังเคราะห์ที่กล่าวข้างต้น มีสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ขั้นตอนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Plasma pyrolysis



รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Plasma pyrolysis

### 3.2.5 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Spray pyrolysis ของ Xinyu Zhao และคณะ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากการสลายตัวของซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต โดยการเพิ่มอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งอัตราของการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate constant  $k$ ) และ Reaction time  $t$  แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดง Rate constant  $k$  และ Reaction time ของการสลายตัวของซิงค์อะซิเตทที่อุณหภูมิต่างๆ

Reaction temperature T/C	350	400	500	650	800
Rate constant $k/s^{-1}$	0.042	0.180	1.98	26.7	174
Reaction time $t/s$	39.7	9.24	0.84	0.062	0.0095

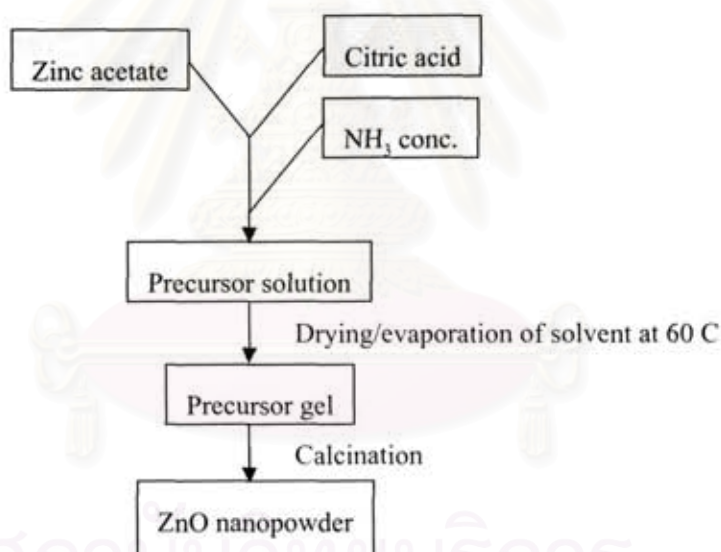
ซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรตที่ใช้มีความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร โดยซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธีนี้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-30 นาโนเมตร และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้สังเคราะห์อยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส



### 3.2.6 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Sol-Gel โดยนำซิงค์อะซิเตทมาละลายน้ำ จากนั้นเติมกรดซิตริก 99 เปอร์เซ็นต์ลงไป เพื่อทำให้เกิดโคออร์ดิเนตไอออนของโลหะ ซึ่งในวิธีทดลองใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดและโลหะเป็น 0.66 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 1 จากนั้นเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงไป เพื่อปรับ pH ให้มีค่าเป็น 8.5 แล้วจึงเติมน้ำเพื่อให้ Zn-precursor มีความเข้มข้นเป็น 0.5 M เมื่อได้สารละลาย Zn-precursor แล้วจึงนำสารละลายมา 10 มิลลิลิตร เทลงในภาชนะที่มีฝาปิด

จากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป จะได้เจลของ precursor แล้วจึงให้ความร้อนจนถึง 500 องศาเซลเซียส โดยจะเพิ่มความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อศึกษาผลของขนาดและ โครงสร้างของอนุภาค



รูปที่ 3.3 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Sol-Gel

### 3.2.7 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Solvothermal

นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธีนี้ใช้ซิงค์อะซิเตตเป็นสารตั้งต้น และศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ คือ เบนซีน, โทลูอีน, ไซลีน, เฮกซะนอล และ 1,4-บิวเทนไดออล ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยคือเครื่อง autoclave

งานวิจัยนี้ใส่สารตั้งต้นปริมาณ 10, 15 และ 20 กรัม และใส่ตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองและใส่ตัวทำละลายอีก 30 มิลลิลิตร รอบๆหลอดทดลองภายในเครื่อง ก่อนทำการทดลองจะป้อนไนโตรเจนเข้าไป เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆภายในเครื่อง หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200–300 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยเพิ่มอุณหภูมิที่ 2.5 องศาเซลเซียสต่อ นาที หลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว เครื่องจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำซิงค์ออกไซด์ที่ได้ไปล้างด้วยเมทานอล 5 ครั้งแล้วนำไปทิ้งไว้ให้แห้งก็จะได้นาโนซิงค์ออกไซด์

สมการการเกิดปฏิกิริยา



รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นแท่งขนาดนาโนเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวทำละลายชนิดต่างๆ

Solvent	Average diameter (nm)	Average length (nm)	Aspect ratio	BET surface area (m <sup>2</sup> /g)
1, 4-Butanediol	45	84	1.87	11.69
Hexanol	91	264	2.90	9.33
Benzene	92	558	6.06	6.93
Toluene	98	920	9.39	6.89
o-Xylene	60	1034	17.2	4.64

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายไซลีนมีค่า Aspect ratio มากที่สุด รองลงมาคือโทลูอีนและเบนซีน ซึ่งค่า Aspect ratio นี้เป็นค่าของความยาวเฉลี่ยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

### 3.3 แสดงข้อมูลจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process ของ Takaki Masaki และคณะ (Precursor-1)

Component	Input(g)	Output(g)
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	280	
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·8H <sub>2</sub> O	473.85	341.085
Zinc Oxide		79.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		116.025
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		23.89
H <sub>2</sub> O		193.5

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลการเตรียม Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> Complex ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)

Component	Input(g)	Output(g)
ZnSO <sub>4</sub>	61.32	
NH <sub>3</sub>	12.07	
Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> complex		73.39

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลการเตรียม Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)

Component	Input(g)	Output(g)
Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> complex	73.39	
NaOH	25.52	
Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Precursor		56.394
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		45.298

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor-2)

Component	Input(g)	Output(g)
Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> Precursor	56.394	
Zinc Oxide		25.96
NH <sub>3</sub>		21.692
H <sub>2</sub> O		5.742

ตารางที่ 3.8 แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ (Pyrolysis-1)

Component	Input(g)	Output(g)
ZnSO <sub>4</sub>	150	
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	250	102.972
Zn <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>		102.1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		122.76
CO <sub>2</sub>		65.472
H <sub>2</sub> O		6.696

ตารางที่ 3.9 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ(Pyrolysis-1)

Component	Input(g)	Output(g)
Zn <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	102.1	
Zinc Oxide		75.683
CO <sub>2</sub>		16.368
H <sub>2</sub> O		10.044



ภาพที่ 3.10 แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Xinyu ๑๐ และกษณะ (Pyrolysis-2)

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	109.75	
O <sub>2</sub>	48	
Zinc Oxide		40.69
CO <sub>2</sub>		88
H <sub>2</sub> O		27

ภาพที่ 3.12 แสดงข้อมูลการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Sol-Gel ของ J.Mondelaers และกษณะ (Sol-gel-1)

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	430	
Citric acid	376.38	
Zn-Precursor		806.38

ตารางที่ 3.13 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel-1)

Component	Input(g)	Output(g)
Zn-Precursor	10	
Zinc Oxide		1.95
CO		2.016
CO <sub>2</sub>		4.224
H <sub>2</sub> O		0.432

ตารางที่ 3.14 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Benzene เป็นตัวทำละลาย

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	15	
Benzene	87.86	
Zinc Oxide		6.657
Acetylbenzene		94.7
H <sub>2</sub> O		2.94

ตารางที่ 3.15 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Toluene เป็นตัวทำละลาย

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	15	
Toluene	86.69	
Zinc Oxide		6.657
Acetyl methyl benzene		93.563
H <sub>2</sub> O		2.94

ตารางที่ 3.16 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ o-Xylene เป็นตัวทำละลาย

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	15	
o-Xylene	88	
Zinc Oxide		6.657
1-Acetyl-3, 4-dimethylbenzene		94.873
H <sub>2</sub> O		2.94

ตารางที่ 3.17 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ Hexanol เป็นตัวทำละลาย

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	15	
Hexanol	80.98	
Zinc Oxide		6.657
$C_8H_{16}O_2$		81.8
$H_2O$		2.94

ตารางที่ 3.18 แสดงข้อมูลการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Solvothermal เมื่อใช้ 1, 4-butanediol เป็นตัวทำละลาย

Component	Input(g)	Output(g)
Zinc acetate	15	
1, 4-butanediol	101	
Zinc Oxide		6.657
$C_6H_{10}O_4$		107.87
$H_2O$		2.94

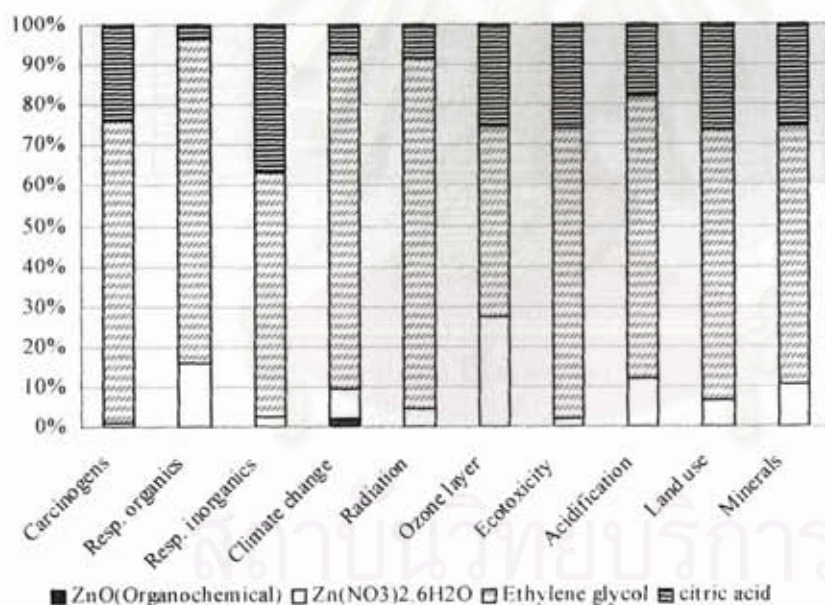


## บทที่ 4

### การประเมินวัฏจักรชีวิต

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ผลจากการประเมินที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ รวมถึงวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการสังเคราะห์ โดยทำการประเมินรวมถึงประมาณข้อมูลให้อยู่บนค่าอ้างอิงเดียวกัน

#### 4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Organochemical route ของ Yong Jae Kwon และคณะ

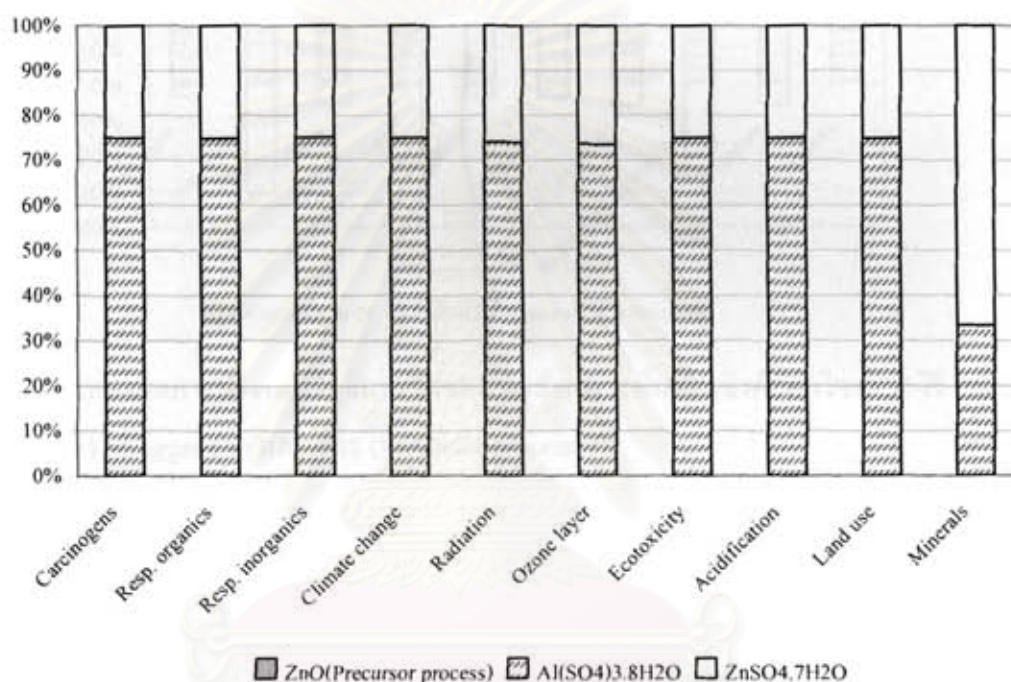


รูปที่ 4.1 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Organochemical route ของ Yong Jae Kwon และคณะ

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของสารตั้งต้นที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยวิธี Organochemical route พบว่าสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในกระบวนการสังเคราะห์คือเอทิลีนไกลคอล โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในทุกๆด้านโดยเฉพาะภาวะโลกร้อน ในขณะที่กรดซิตริก ส่งผลกระทบต่อรองลงมาในด้าน

ของการเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอนินทรีย์ ทำลายระบบนิเวศน์ รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ และการสิ้นเปลืองทรัพยากรแร่ ส่วนเชิงเคมีในเศรษฐศาสตร์ไฮดรอลิกส่งผลกระทบต่อภัยแล้งที่สุดในด้านของ การเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอนินทรีย์และการทำลายระบบนิเวศน์

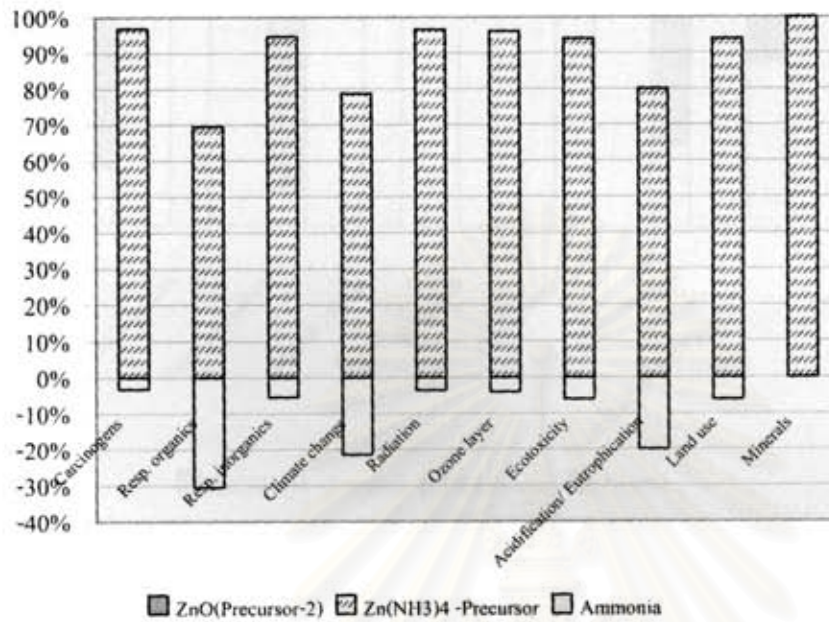
#### 4.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Precursor process ของ Takaki Masaki และคณะ (Precursor process-1)



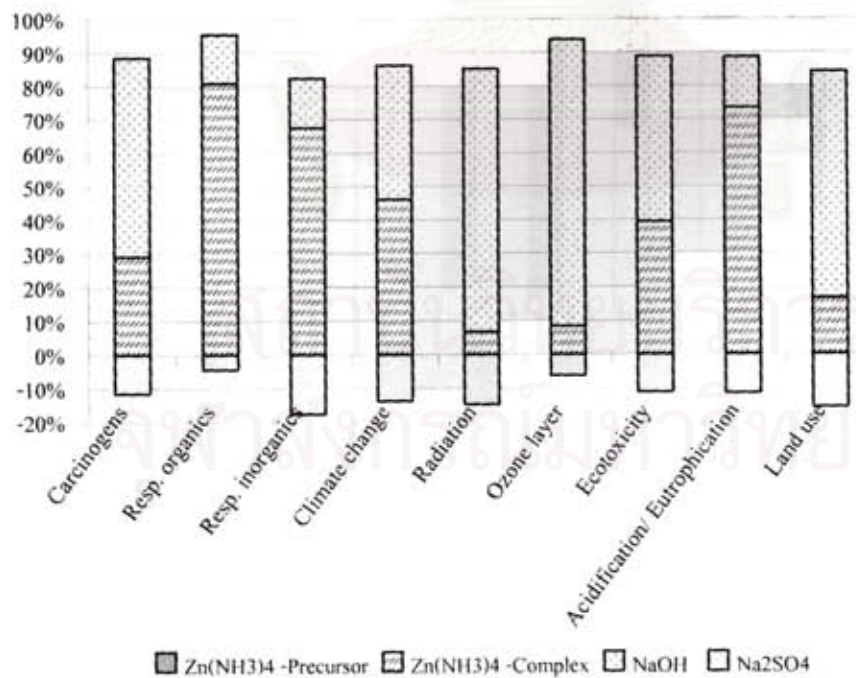
รูปที่ 4.2 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Precursor process ของ Takaki Masaki และคณะ (Precursor process-1)

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Precursor process ซึ่งจากการประเมินพบว่าสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ว สารตั้งต้นที่เป็น  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยจะส่งผลกระทบต่อสูงในด้านของการใช้ทรัพยากรและแร่ธาตุ เนื่องจากในกระบวนการผลิต  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  นั้นมีการใช้สังกะสีเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งสังกะสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อด้านการใช้ทรัพยากรแร่

#### 4.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จาก วิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2)

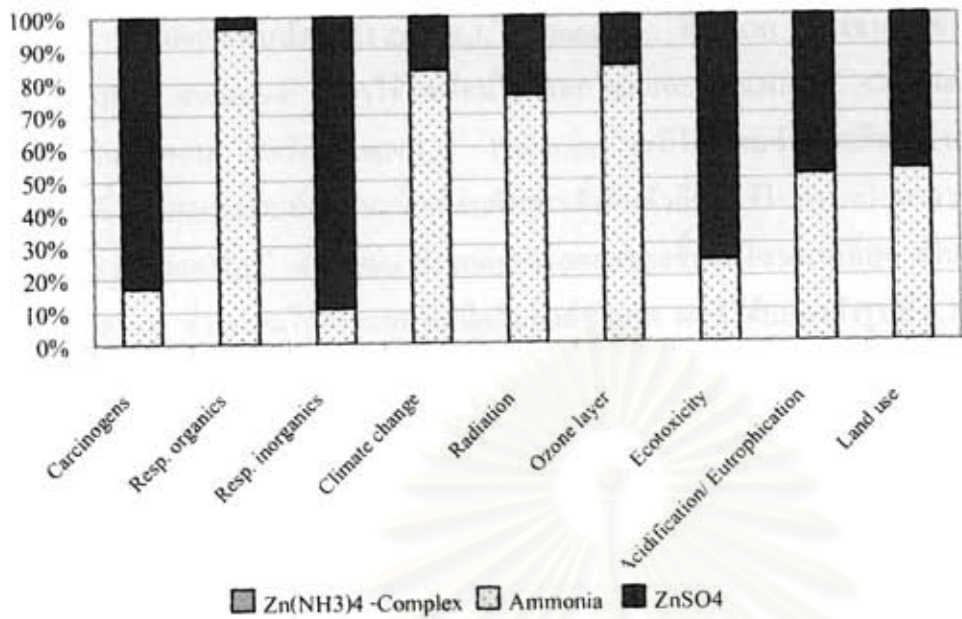


รูปที่ 4.3 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2)

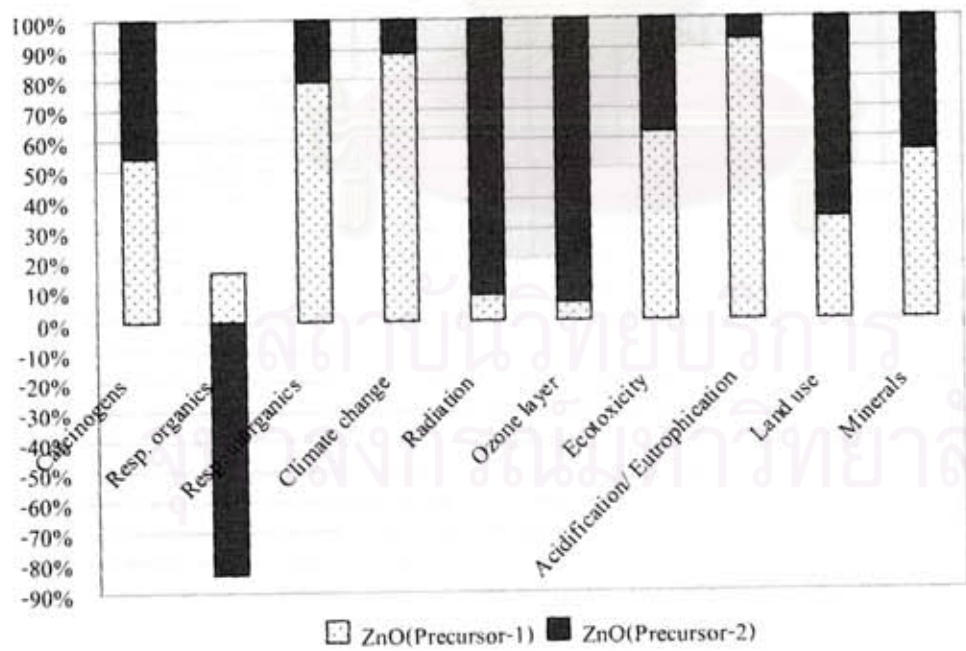


รูปที่ 4.4 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของขั้นตอนการเตรียม  $Zn(NH_3)_4^{2+}$ -Precursor จากวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2)





รูปที่ 4.5 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของขั้นตอนการเตรียม  $Zn(NH_3)_4^{2+}$ -Complex จากวิธี Precursor process ของ Minggang Li และคณะ (Precursor process-2)

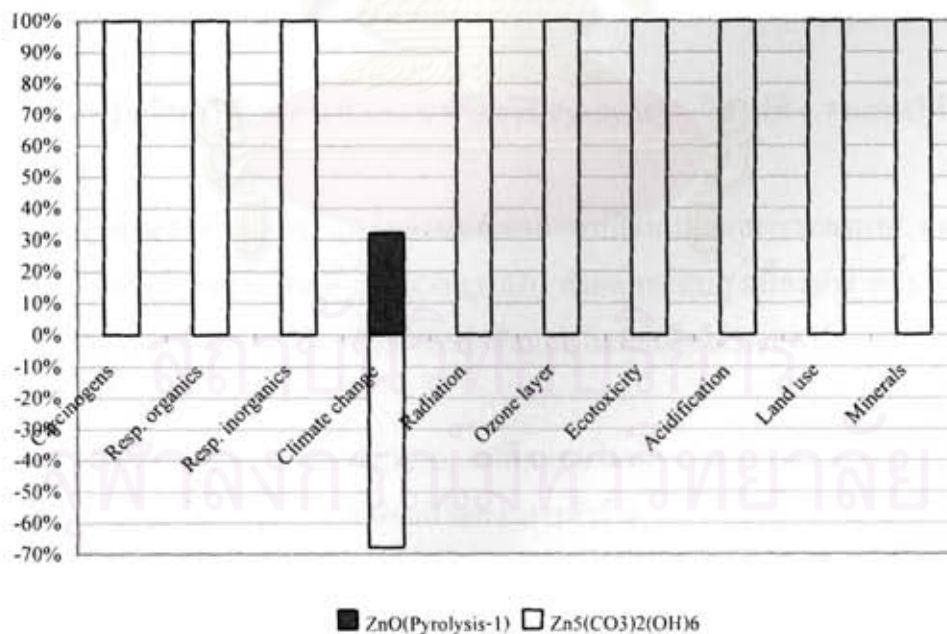


รูปที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างวิธี Precursor-1 กับ Precursor-2

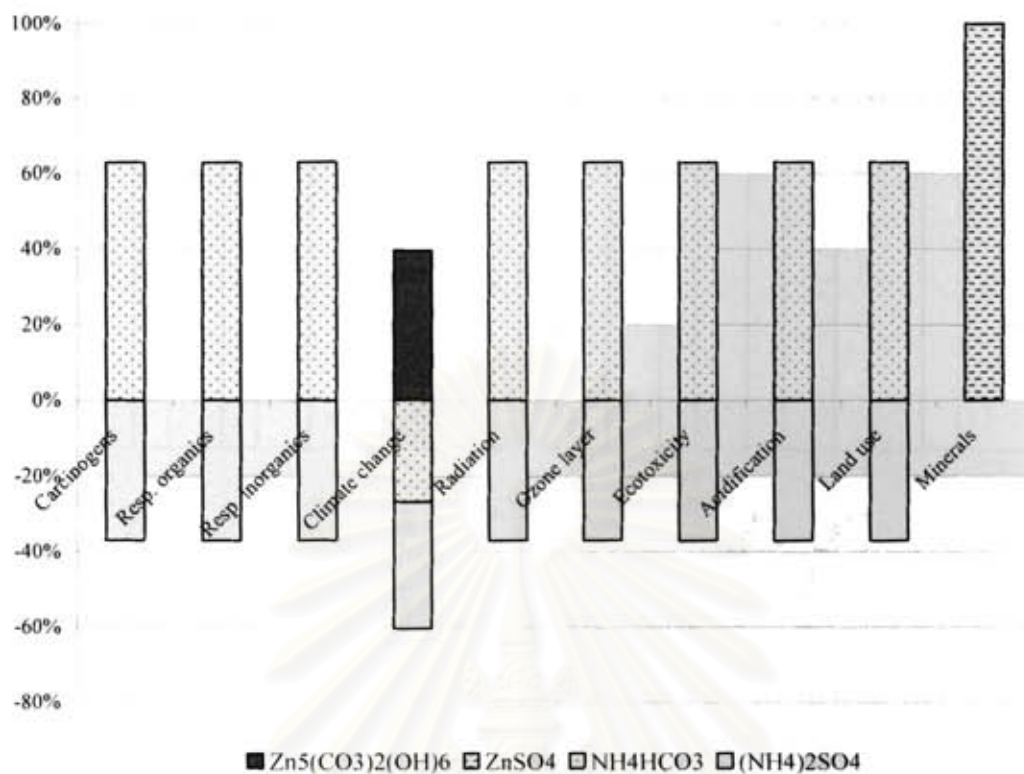


ผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor-2 ส่งผลกระทบต่อ Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>-Precursor ที่ใช้มาก เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียม Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>-Precursor มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และ Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>-Complex เป็นสารตั้งต้น และในขั้นตอนการเตรียม Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>-Precursor จะมีโซเดียมซัลเฟตเกิดขึ้น แต่โซเดียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นตัวอื่นที่ใช้ในการเตรียม จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>-Complex ส่งผลต่อการลดลงของชั้นโอโซนมากที่สุด เป็นผลมาจากขั้นตอนการเตรียม ซึ่งเตรียมได้จากแอมโมเนียกับซิงค์ซัลเฟต ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และเมื่อนำการสังเคราะห์จากวิธี Precursor -1 และ Precursor -2 มาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor -1 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นกรดมากกว่า Precursor -2 เนื่องจากมีการใช้กรดซัลฟูริกในการเตรียมสาร ซึ่งกรดซัลฟูริกเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อด้านความเป็นกรด ถึงแม้ว่าในการสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor -2 จะมีการใช้กรดซัลฟูริกเพื่อเตรียมซิงค์ซัลเฟตเหมือนกัน แต่พบว่าปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการเตรียมมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีในปริมาณที่เท่ากัน

#### 4.4 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ (Pyrolysis-1)



รูปที่ 4.7 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ (Pyrolysis-1)

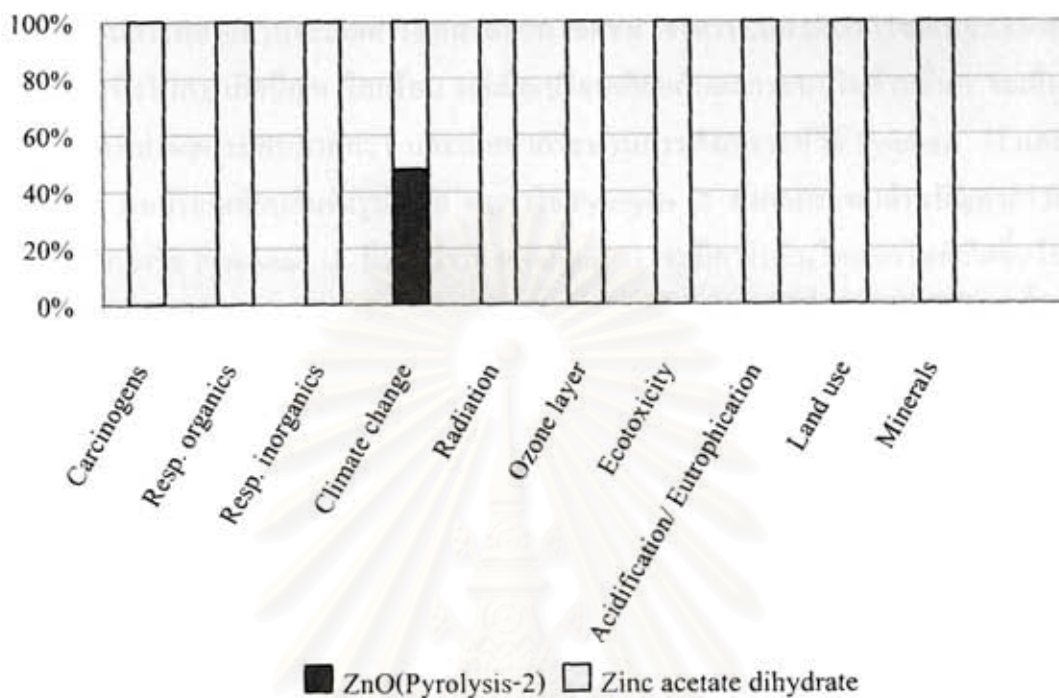


รูปที่ 4.8 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis ของ Lanhua Lin และคณะ(Pyrolysis-1)

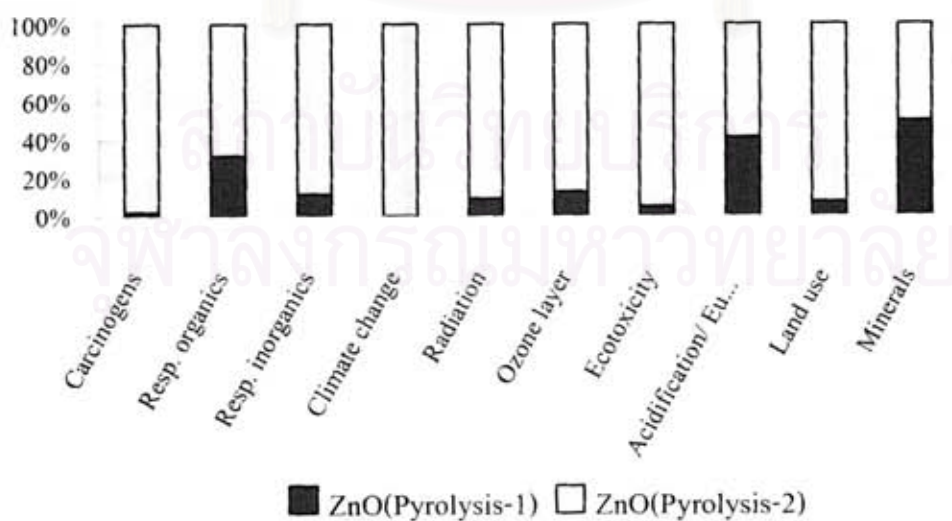
ผลการประเมินที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Pyrolysis-1 ในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในด้านปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ แต่ส่งผลกระทบสูงในด้านอื่นๆ และสาเหตุที่  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ส่งผลกระทบสูงเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียม  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ซึ่งเตรียมได้จากซิงค์ซัลเฟตกับแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

ในปฏิกิริยาการเตรียม  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  จะเกิดแอมโมเนียมซัลเฟตขึ้น โดยแอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารตัวอื่น ดังแสดงในรูป 4.8 จากรูปพบว่า สารที่ส่งผลกระทบสูงสุดเมื่อเทียบกับสารตัวอื่นคือ แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โดยจะส่งผลกระทบสูงที่สุดในทุกๆด้านยกเว้นในด้านปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นจากซิงค์ออกไซด์ และปัญหาการสิ้นเปลืองทรัพยากรแร่ที่เกิดขึ้นจากซิงค์ซัลเฟต ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์มีการใช้สังกะสี ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรแร่

4.5 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Xinyu Zhao และคณะ (Pyrolysis-2)



รูปที่ 4.9 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Pyrolysis ของ Xinyu Zhao และคณะ (Pyrolysis-2)

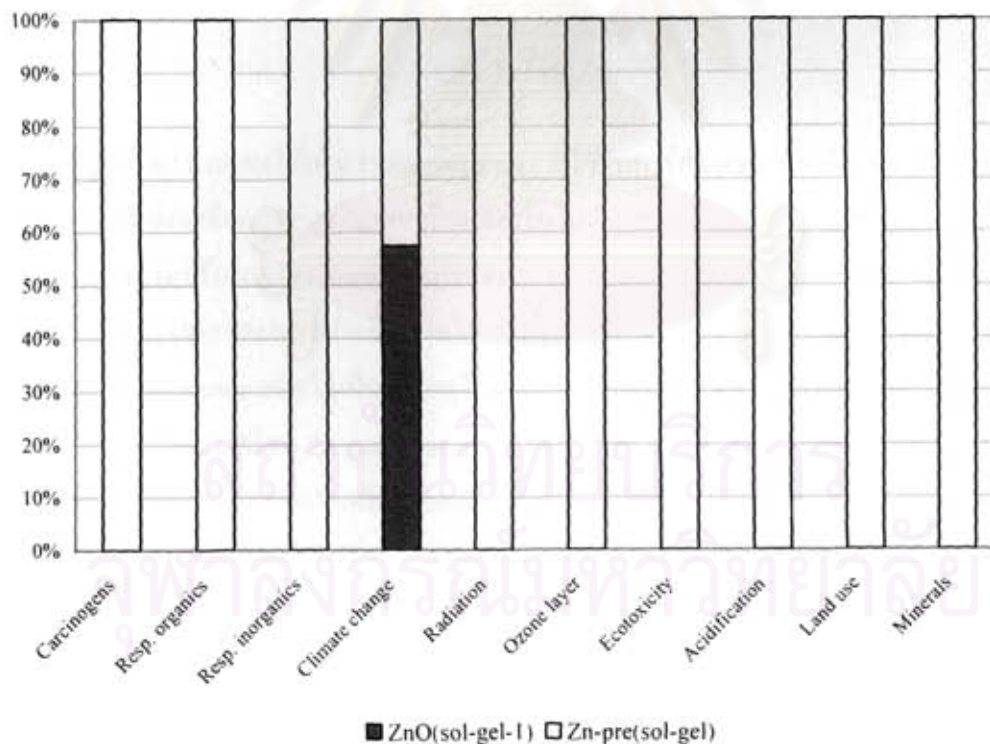


รูปที่ 4.10 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างวิธี Pyrolysis-1 กับ Pyrolysis-2



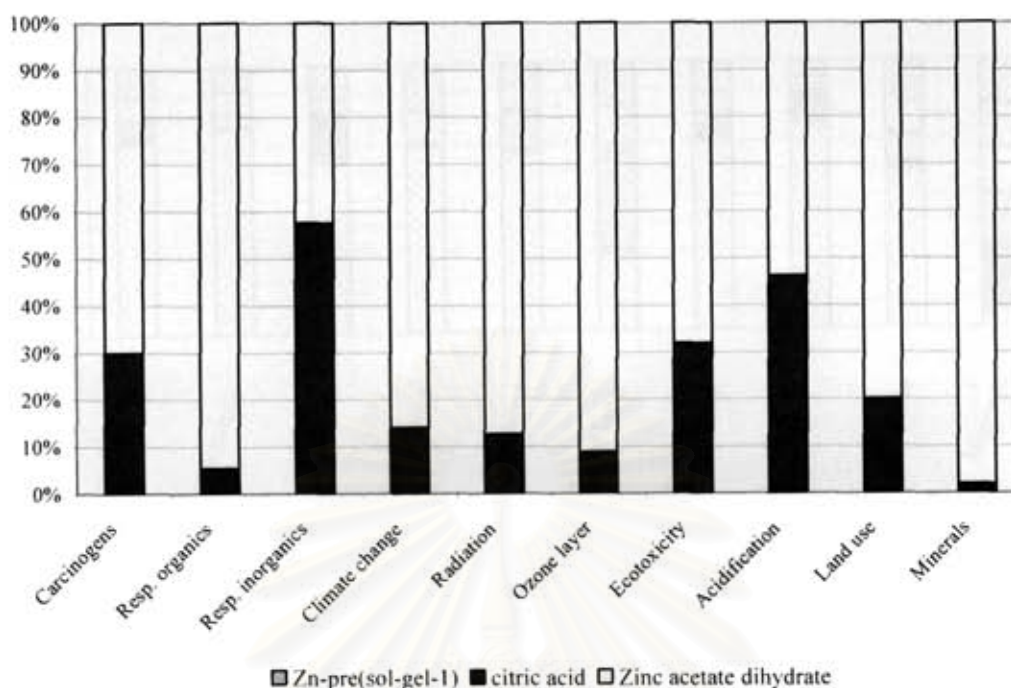
จากรูปที่ 4.9 พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis -2 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน เนื่องจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ เริ่มต้นโดยการนำซิงค์อะซิเตทไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ซิงค์อะซิเตทเกิดการสลายตัว โดยในขั้นตอนการสลายตัวนี้จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการเกิดปัญหาโลกร้อน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบในด้านอื่นๆ จะเห็นว่าซิงค์อะซิเตทส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า และเมื่อนำกระบวนการสังเคราะห์วิธี Pyrolysis -1 และ Pyrolysis -2 มาเปรียบเทียบกับกันดังรูป 4.10 พบว่าวิธี Pyrolysis -2 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากกว่าวิธี Pyrolysis -1 ถึงแม้ว่าวิธี Pyrolysis -1 จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์เหมือนกัน แต่เมื่อเทียบกับปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าวิธี Pyrolysis -1 มีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าวิธี Pyrolysis -2 มาก

#### 4.6 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel)



รูปที่ 4.11 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธี Sol-Gel ของ D.Mondelaers และคณะ (Sol-gel)

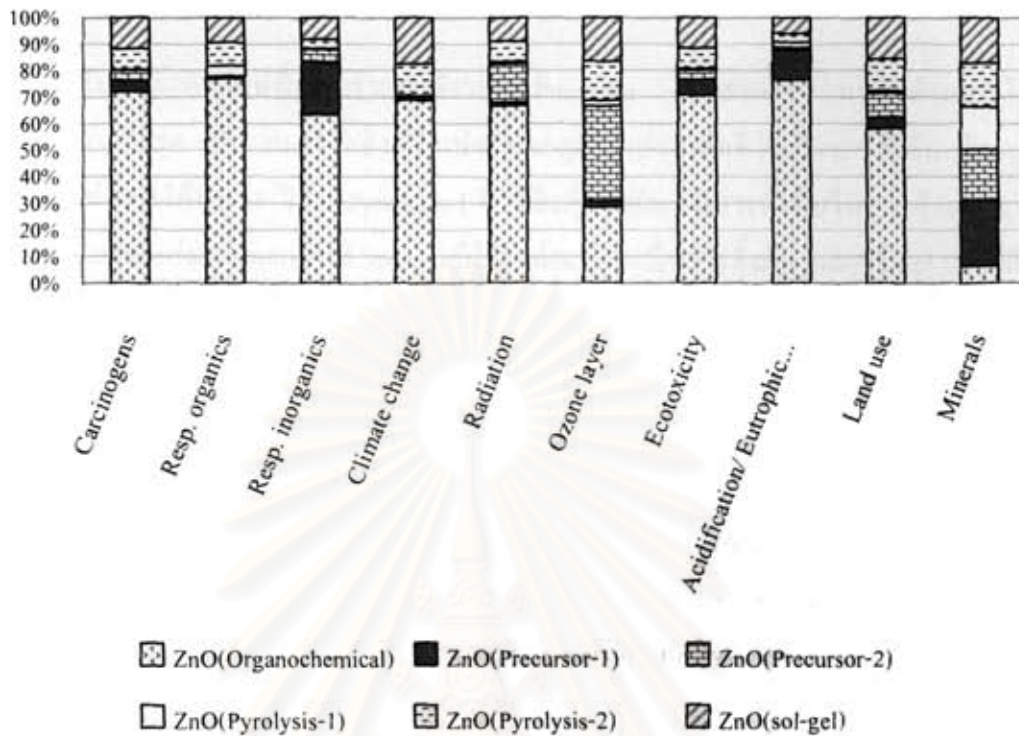




รูปที่ 4.12 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเตรียม Precursor ในการสังเคราะห์โดยใช้วิธี Sol-Gel

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า Zn-precursor ที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในทุกๆด้าน ยกเว้นในด้านของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ที่เป็นสาเหตุภาวะโลกร้อน Zn-precursor จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าซิงค์ออกไซด์ โดยผลที่ได้จากรูปที่ 4.11 ทำให้เราว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจาก Zn-precursor แต่ยังไม่ทราบว่าสารที่ใช้ในการเตรียม Zn-precursor ชนิดใดเป็นสาเหตุในการเกิดผลกระทบ ทำให้ต้องมีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการเตรียม Zn-precursor ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงผลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเตรียม Zn-precursor เพื่อพิจารณาว่าสารที่ใช้ในการเตรียม คือ กรดซิตริกและซิงค์อะซิเตท ซึ่งซิงค์อะซิเตทส่งผลกระทบสูงในด้านการใช้ทรัพยากรแร่ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอินทรีย์และทำลายชั้นโอโซน ส่วนกรดซิตริกส่งผลกระทบสูงในด้านการทำลายระบบหายใจจากสารอินทรีย์ และการเกิดฝนกรด

#### 4.7 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากทั้ง 4 วิธี



รูปที่ 4.13 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ทั้ง 4 วิธี

เมื่อนำการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.13 พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากสังเคราะห์จากวิธี Organochemical route ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในทุกด้าน ยกเว้นด้านการใช้ทรัพยากรแร่ สาเหตุที่ส่งผลกระทบสูงเนื่องจากเอทิลีน ไกลคอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ส่งผลกระทบสูงกว่าสารตั้งต้นที่ใช้ในวิธีการสังเคราะห์อื่นเนื่องจากเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารที่มีขั้นตอนการเตรียมมาจากสารอินทรีย์ แต่เอทิลีน ไกลคอลและกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลกระทบในด้านการใช้ทรัพยากรแร่

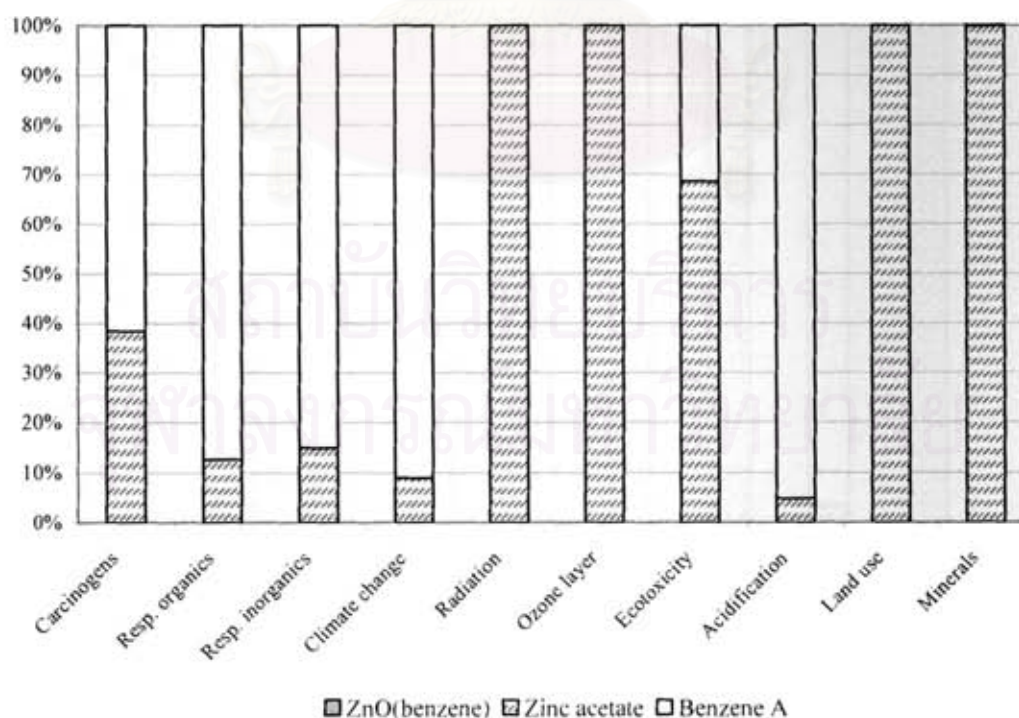
นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี Pyrolysis-1 ส่งผลกระทบน้อยที่สุดในหลายๆ ด้านเมื่อเทียบกับวิธีอื่น เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์อื่น ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จะพบว่าแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตส่งผลกระทบสูงในการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น พบว่าแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตส่งผลกระทบน้อยกว่า และสาเหตุที่วิธี Pyrolysis-1 ส่งผลกระทบด้านปัญหาภาวะโลกร้อนน้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในระหว่าง

กระบวนการสังเคราะห์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธีอื่นในปริมาณที่เท่ากัน

นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี Precursor -1 ส่งผลกระทบในด้านการใช้ทรัพยากรแร่สูงที่สุด เป็นผลมาจากซิงค์ซัลเฟตกับอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลที่ได้พบว่า วิธี Pyrolysis-1 ก็ใช้ซิงค์ซัลเฟตเป็นสารตั้งต้นในสารสังเคราะห์เหมือนกัน แต่กลับส่งผลน้อยกว่าวิธี Sol-Gel ที่ใช้ซิงค์อะซิเตทเป็นสารตั้งต้น และวิธี Sol-Gel ก็ยังส่งผลกระทบน้อยกว่าวิธี Precursor -1 ที่ใช้ซิงค์ซัลเฟตเป็นสารตั้งต้นร่วมกับอะลูมิเนียมซัลเฟต ในขณะที่นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี Precursor -2 ส่งผลกระทบน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ในด้านการเกิดปัญหาสภาพความเป็นกรดและความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

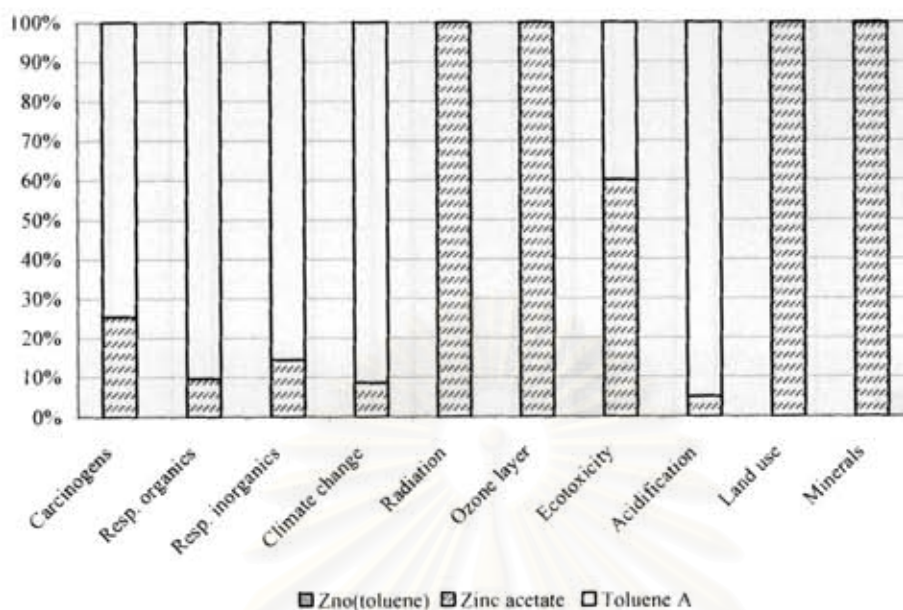
นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี Sol-Gel ส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนรองจากวิธี Organochemical route สาเหตุจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าวิธีอื่นเมื่อเทียบกับปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในปริมาณที่เท่ากัน

#### 4.8 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal

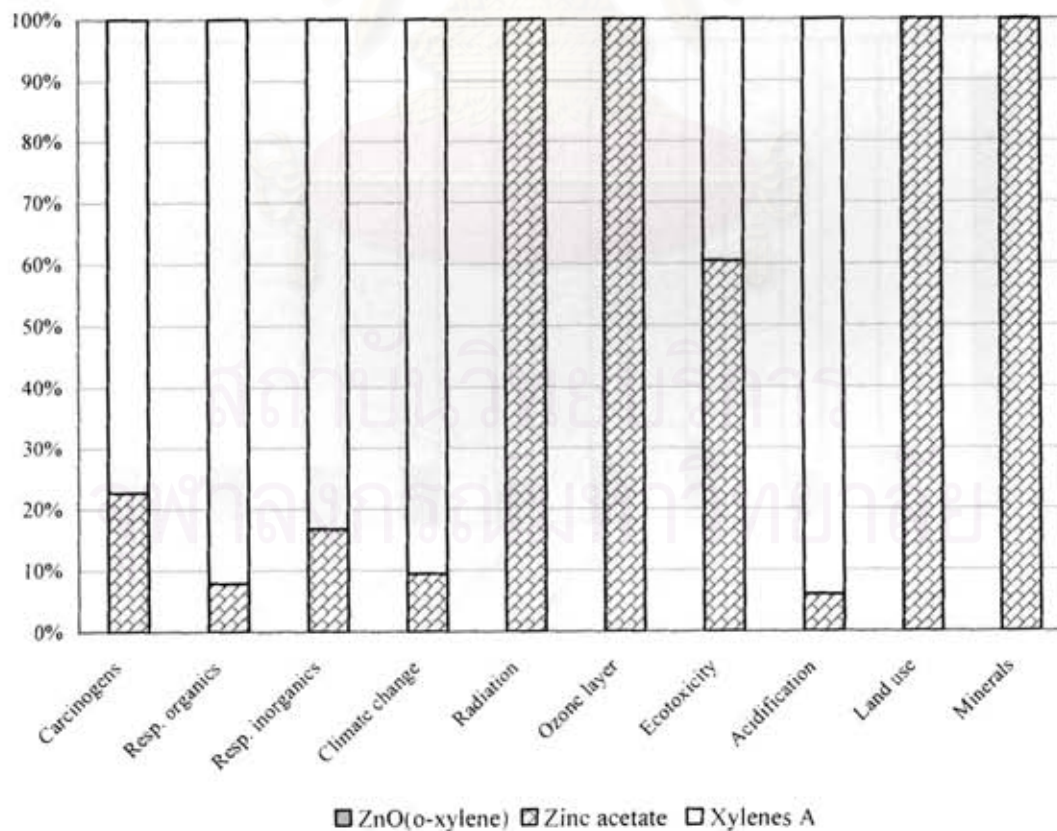


รูปที่ 4.14 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal (Benzene)



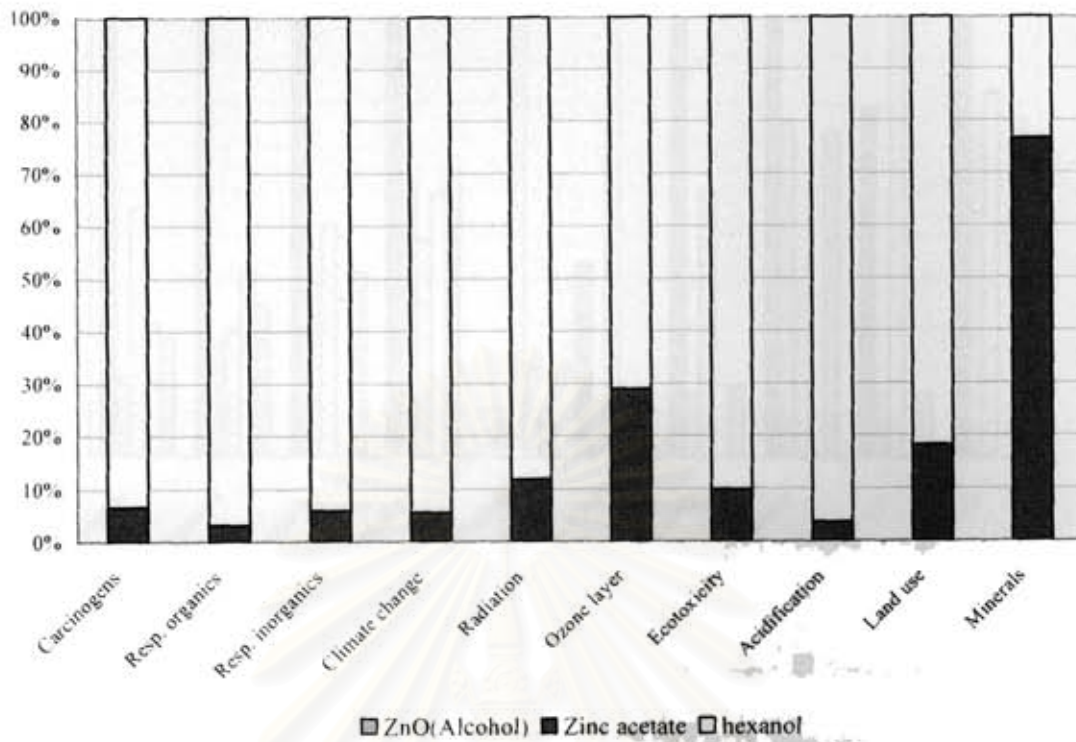


รูปที่ 4.15 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal (Toluene)

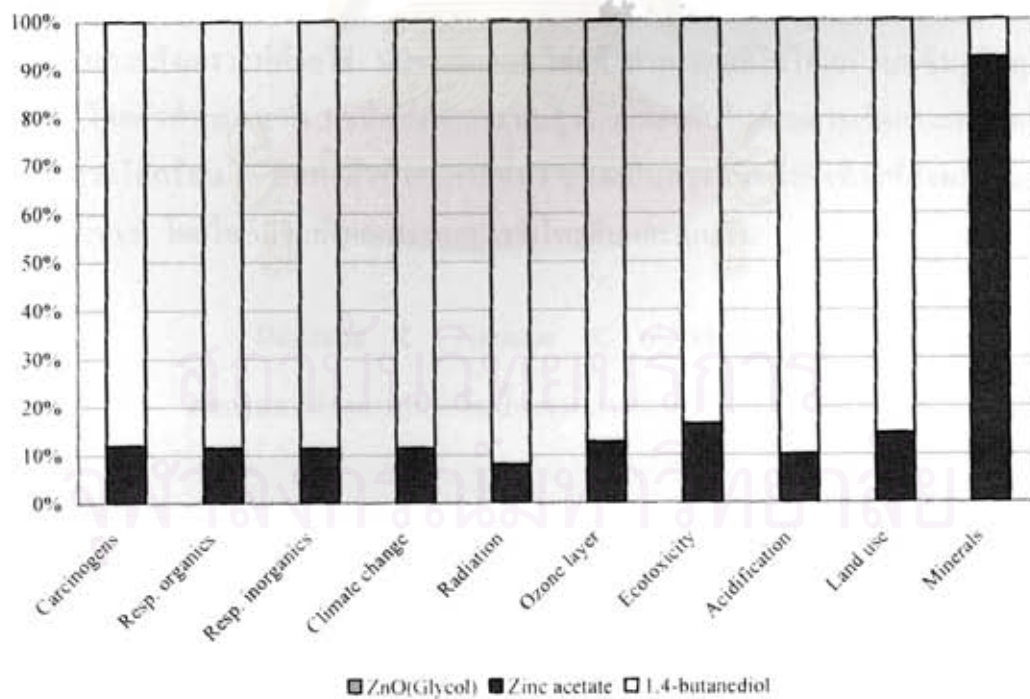


รูปที่ 4.16 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal (o-Xylene)

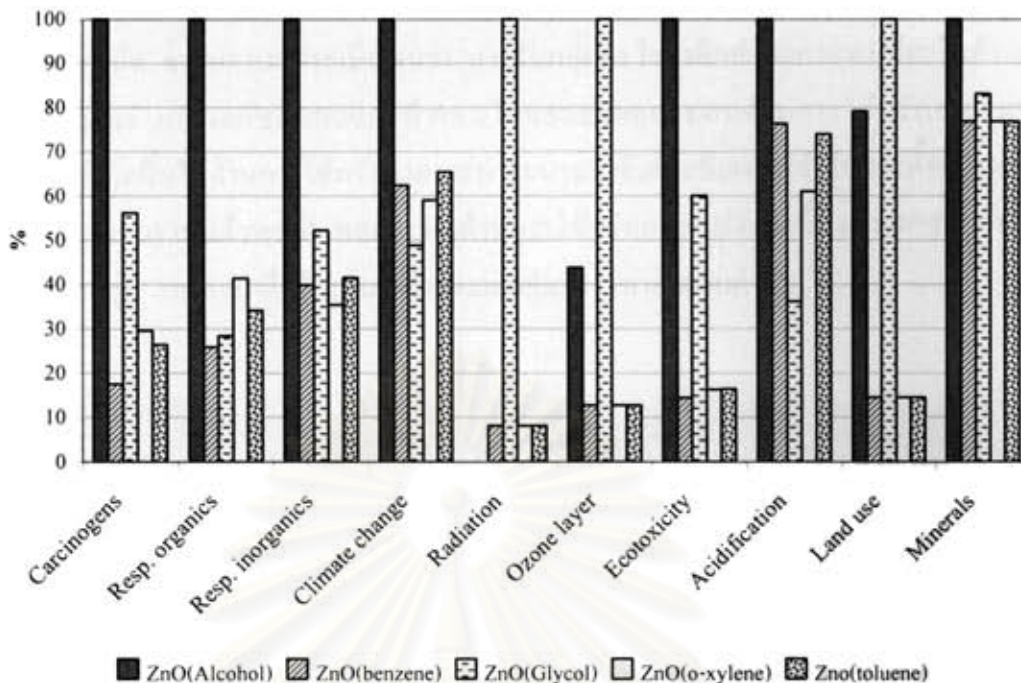




รูปที่ 4.17 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal (Hexanol)



รูปที่ 4.18 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal (1,4-butanediol)



รูปที่ 4.19 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal จากตัวทำละลายแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากชนิดของตัวทำละลายกลุ่มอะโรมาติกที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal โดยตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เบนซีน, โทลูอิน และไซลีน โดยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดส่งผลกระทบสูงใกล้เคียงกันในด้านการเกิดภาวะความเป็นกรดและภาวะโลกร้อน อีกทั้งตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดเป็นสารอินทรีย์จึงทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ โดยไซลีนจะส่งผลกระทบสูงกว่าโทลูอินและเบนซีน

$$\text{Benzene} < \text{Toluene} < \text{o-Xylene}$$

ผลกระทบต่อระบบหายใจเนื่องจากสารอินทรีย์ของสารทั้ง 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นการสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นจากวิธี Solvothermal เมื่อใช้เฮกเซนอล และ บิวเทนไดออล เป็นตัวทำละลาย โดยผลที่ได้พบว่า การสังเคราะห์เมื่อใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในด้านของการใช้ทรัพยากรแร่ โดยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดส่งผลในด้านการใช้ทรัพยากรแร่สูง แต่ตัวทำละลายชนิดบิวเทนไดออลจะส่งผลกระทบมากกว่าเฮกเซนอล

จากรูปที่ 4.19 เป็นผลการประเมินที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal จากตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด จากผลการประเมินพบว่า สารในกลุ่มอะโรมาติกส่งผลกระทบน้อยในด้านการใช้ทรัพยากรแร่ และเฮกซะนอลและบิวเทนไดออลส่งผลกระทบบ้านการใช้ทรัพยากรแร่สูงถึงแม้ว่าผลที่เกิดขึ้นในด้านการใช้ทรัพยากรแร่จะมาจากซิงค์อะซิเตทที่ใช้เป็นสารตั้งต้น แต่เมื่อพิจารณาผลจากกราฟแล้วพบว่า ผลกระทบบ้านการใช้ทรัพยากรแร่ที่เกิดขึ้นจากเฮกซะนอลมีผลมากที่สุดในกลุ่ม รองลงมาคือบิวเทนไดออลและกลุ่มอะโรมาติกตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### วิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

การสังเคราะห์ด้วยวิธี Organochemical route ส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ธาตุที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลในด้านการใช้ทรัพยากรแร่ แต่ส่งผลกระทบต่อสูงในหลายด้านซึ่งสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อสูงเนื่องมาจากเอทิลีนไกลคอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในทุกๆด้าน โดยเฉพาะภาวะโลกร้อน ในขณะที่กรดซัลฟริก ส่งผลกระทบต่อลงมาในด้านของการเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอนินทรีย์ ทำลายระบบนิเวศรวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรดและการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และการสิ้นเปลืองทรัพยากรแร่ ส่วนซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตส่งผลกระทบต่อต่ำสุดในด้านของ การเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอนินทรีย์และการทำลายระบบนิเวศ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Precursor process-1 ซึ่งจากผลการประเมินพบว่าสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ว สารตั้งต้นที่เป็น  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยจะส่งผลกระทบต่อสูงในด้านการใช้ทรัพยากรและแร่ธาตุ เนื่องมาจากในกระบวนการผลิต  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  นั้นมีการใช้สังกะสีเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งสังกะสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อในด้านการใช้ทรัพยากรแร่

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor-2 แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อต่ำกว่า  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ -Precursor ที่ใช้มาก เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียม  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ -Precursor มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และ  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ -Complex เป็นสารตั้งต้น และในขั้นตอนการเตรียม  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ -Precursor จะมีโซเดียมซัลเฟตเกิดขึ้น แต่โซเดียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อต่ำมากเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นตัวอื่นที่ใช้ในการเตรียม จากผลการประเมินผลกระทบต่อแสดงให้เห็นว่า  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ -Complex ส่งผลกระทบต่อการลดลงของชั้นโอโซนมากที่สุด เป็นผลมาจากขั้นตอนการเตรียม ซึ่งเตรียมได้จากแอมโมเนียกับซิงค์ซัลเฟต และเมื่อนำการสังเคราะห์จากวิธี Precursor -1 และ Precursor -2 มาเปรียบเทียบกันพบว่า การสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor -1 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นกรดมากกว่า



Precursor -2 เนื่องจากในการสังเคราะห์มีการปล่อยกรดซัลฟูริกออกมา ซึ่งกรดซัลฟูริกเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อด้านความเป็นกรด ถึงแม้ว่าในการสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor -2 จะมีการใช้กรดซัลฟูริกเพื่อเตรียมซิงค์ซัลเฟตเหมือนกัน แต่พบว่าปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการเตรียม มีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีในปริมาณที่เท่ากัน โดยปกติแล้วปัญหาด้านการเจริญเติบโตของพืชน้ำมากเกินควรจะเกิดร่วมกับการเกิดฝนกรด ซึ่งในการเกิดฝนกรดเกิดจากสารกลุ่ม NOx และ SOx เมื่อสารกลุ่มนี้รวมกับน้ำจะอยู่ในรูปของซัลเฟตและไนเตรท ซึ่งซัลเฟตและไนเตรทเป็นอาหารของพืชน้ำ ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อพืชน้ำมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ต่อมาพอพืชน้ำเหล่านี้ตายลงก็จะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายพืชน้ำที่ตายไป เมื่อพืชน้ำที่ตายมีจำนวนมากขึ้นเท่าไร แบคทีเรียก็ใช้ออกซิเจนในการย่อยมากขึ้นเท่านั้น ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

ผลการประเมินผลกระทบที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Pyrolysis-1 แสดงให้เห็นว่า  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในด้านปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อน แต่ส่งผลกระทบสูงในด้านอื่นๆ และสาเหตุที่  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ส่งผลกระทบสูงเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียม  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  ซึ่งเตรียมได้จากซิงค์ซัลเฟตกับแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ซึ่งในการเตรียม  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  จะเกิดแอมโมเนียมซัลเฟตขึ้น โดยแอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารตัวอื่น ซึ่งสารที่ส่งผลกระทบสูงสุดเมื่อเทียบกับสารตัวอื่นคือ แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โดยจะส่งผลกระทบสูงที่สุดในทุกๆด้านยกเว้นในปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่ส่งผลน้อยกว่าซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อน นอกจากนี้แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตยังส่งผลกระทบน้อยในด้านปัญหาการสิ้นเปลืองทรัพยากรแร่ โดยปัญหาในด้านนี้เกิดขึ้นจากซิงค์ซัลเฟต ซึ่งในกระบวนการสังเคราะห์ซิงค์ซัลเฟตมีการใช้สังกะสี ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรแร่

นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis -2 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนสูง เนื่องจากในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ เริ่มต้นโดยการนำซิงค์อะซิเตทไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ซิงค์อะซิเตทเกิดการสลายตัว โดยในขั้นตอนการสลายตัวนี้จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการเกิดปัญหาโลกร้อน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบในด้านอื่นๆ จะเห็นว่าซิงค์อะซิเตทส่งผลกระทบมากกว่า และเมื่อนำกระบวนการสังเคราะห์วิธี Pyrolysis -1 และ Pyrolysis -2 มาเปรียบเทียบกันพบว่าวิธี Pyrolysis -2 ส่งผลกระทบต่อด้านปัญหาภาวะโลกร้อน

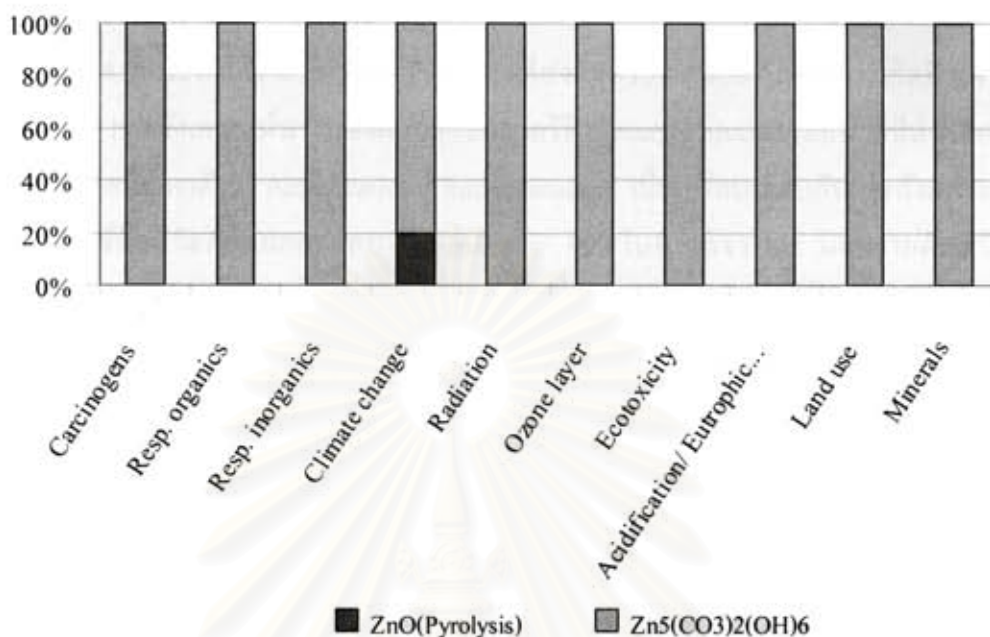
มากกว่าวิธี Pyrolysis -1 ถึงแม้ว่าวิธี Pyrolysis -1 จะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์เหมือนกัน แต่เมื่อเทียบกับปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าวิธี Pyrolysis -1 มีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าวิธี Pyrolysis -2 มาก

จากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธี Sol-gel แสดงให้เห็นว่า Zn-precursor ที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในทุกๆด้าน ยกเว้นในด้านของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่เป็นสาเหตุภาวะโลกร้อน Zn-precursor จะส่งผลกระทบต่อซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบทำให้ส่งผลกระทบต่อด้านปัญหาภาวะโลกร้อน โดยผลที่ได้จากรูปที่ 4.11 ทำให้เราว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจาก Zn-precursor แต่ยังไม่ทราบว่าสารที่ใช้ในการเตรียม Zn-precursor ชนิดใดเป็นสาเหตุในการเกิดผลกระทบ ทำให้ต้องมีการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเตรียม Zn-precursor ซึ่งแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเตรียม Zn-precursor เพื่อพิจารณาว่าสารที่ใช้ในการเตรียม คือกรดซิดริกและซิงค์อะซิเตท ซึ่งซิงค์อะซิเตทส่งผลกระทบสูงในด้านการใช้ทรัพยากรแร่ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอินทรีย์และทำลายชั้นโอโซน ส่วนกรดซิดริกส่งผลกระทบสูงในด้านการทำลายระบบหายใจจากสารอินทรีย์ และการเกิดฝนกรด

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ข้างต้น เมื่อพิจารณาการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ พบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis ส่งผลกระทบที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ขั้นตอนการสังเคราะห์ พบว่ามีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจึงส่งผลให้นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากวิธีนี้มีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วย ถึงแม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจะส่งผลให้เกิดปัญหา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น พบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ซึ่งการประเมินผลกระทบดังกล่าวเป็นการประเมินโดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 และใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 ในการพิจารณา นอกจากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 แล้วโปรแกรม SimaPro 6.0 ยังมีดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบที่ประเมินผลที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนโดยตรง คือดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change) ซึ่งดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบชนิดนี้จะแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาภาวะโลกร้อนโดยตรง โดยเทียบกับกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ที่เท่ากันและเมื่อนำผลการประเมินผลกระทบด้านปัญหาภาวะโลกร้อนที่ได้จากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis มาเปรียบเทียบกับดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ IPCC แสดงดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

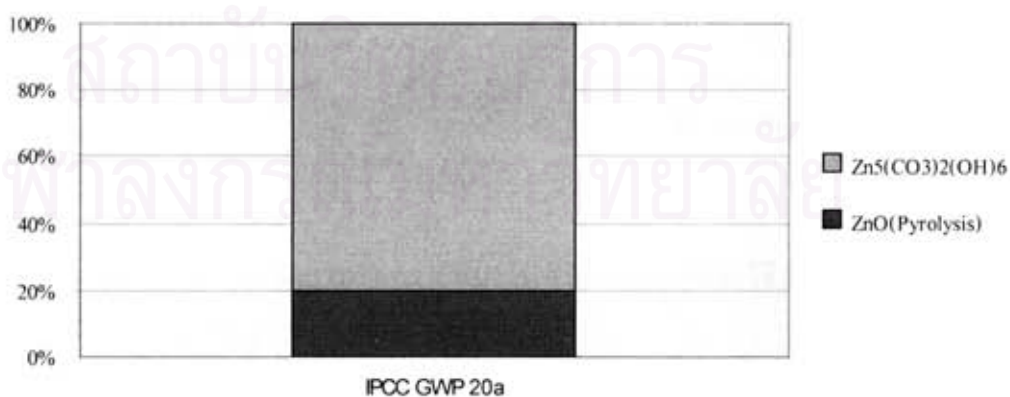


5.1 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-Indicator 99)



รูปที่ 5.1 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-Indicator 99)

5.2 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ IPCC)

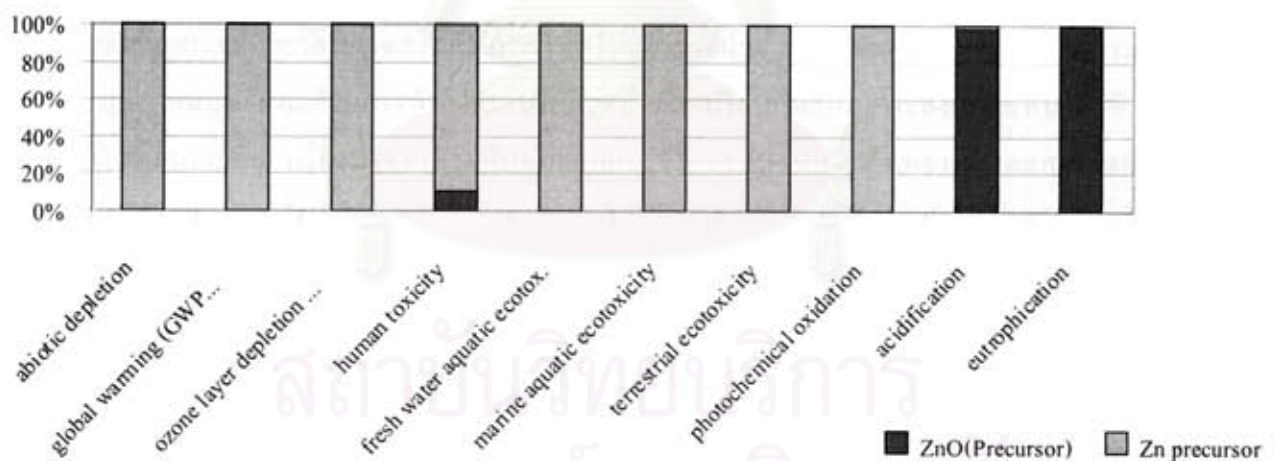


รูปที่ 5.2 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Pyrolysis (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ IPCC)

จากรูปแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบทั้ง 2 มีแนวโน้มเดียวกัน โดยพิจารณาได้ผลการประเมินที่แสดงผลว่านาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีผลกระทบที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนใกล้เคียงกัน

นอกจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Pyrolysis ที่ส่งผลกระทบต่อภัยในด้านการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อนแล้ว การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process ก็เป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อภัยในการเกิดปัญหาด้าน Acidification / Eutrophication เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น โดยใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 ในการพิจารณา นอกจากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 ที่มีการประเมินผลกระทบด้าน Acidification / Eutrophication ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศน์แล้ว ยังมีดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML ซึ่งเป็นดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และผลกระทบต่อมนุษย์ ดังรูปที่ 5.3

### 5.3 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML)



รูปที่ 5.3 ผลการประเมินวัฏจักรของการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process (ใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML)



โดยดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML จะแยกผลกระทบออกเป็น 10 ผลกระทบ ได้แก่ Abiotic depletion, Global warming, Ozone layer depletion, Human toxicity, Fresh water aquatic ecotoxicity, Marine aquatic ecotoxicity, Terrestrial ecotoxicity, Photochemical oxidation, Acidification และ Eutrophication จากผลกระทบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การประเมินผลกระทบ โดยใช้ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML จะแยกผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก Acidification และ Eutrophication ออกจากกัน ในขณะที่ดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 จะรวมผลกระทบของ Acidification และ Eutrophication ไว้ด้วยกัน และเมื่อนำผลการประเมินผลกระทบด้าน Acidification / Eutrophication ที่ได้จากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Precursor process มาเปรียบเทียบกับดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML โดยพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก Acidification และ Eutrophication ซึ่งจากผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ Eco-indicator 99 และดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาได้จากผลการประเมินของดัชนีวัดกลุ่มผลกระทบ CML ซึ่งแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก Acidification และ Eutrophication มีค่าใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical route พบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการใช้ทรัพยากรแร่ เนื่องจากในขั้นตอนการสังเคราะห์ พบว่าสารตั้งต้นส่วนใหญ่ที่ใช้ไม่มีแหล่งกำเนิดมาจากแร่ ส่งผลให้การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีนี้ส่งผลในด้านการใช้ทรัพยากรแร่น้อย แต่ส่งผลกระทบสูงในด้านการทำลายสุขภาพมนุษย์และด้านการทำลายระบบนิเวศน์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์จากวิธีอื่น เนื่องมาจากสารที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการสังเคราะห์และสารตั้งต้นที่ใช้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และด้านการทำลายระบบนิเวศน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์เพื่อใช้ในการพิจารณาวิธีการสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้แบ่งการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งเนื้อหาในส่วนแรกเป็นวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อนำไปใช้เป็น Additive โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-70 นาโนเมตร และเนื้อหาส่วนที่สองเป็นวิธีการสังเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงข้อสรุปและข้อเสนอแนะที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ

#### 6.1 สรุปผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ(ส่วนที่ 1)

##### 6.1.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายสุขภาพมนุษย์

Pyrolysis < Precursor process < Sol-gel < Organochemical route

##### 6.1.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายระบบนิเวศน์

Precursor process < Pyrolysis < Sol-gel < Organochemical route

##### 6.1.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้ทรัพยากรและแร่ธาตุ

Organochemical route < Sol-gel, Pyrolysis < Precursor process

## 6.2 การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์(ส่วนที่ 2)

ผลการประเมินที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Solvothermal จากตัวทำละลายทั้ง 5 ชนิด จากผลการประเมินพบว่า สารในกลุ่มอะโรมาติกส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ และผลที่เกิดขึ้นยังน้อยกว่าเฮกซะนอลและบิวเทนไดออล ถึงแม้ว่าผลที่เกิดขึ้นในการใช้ทรัพยากรแร่ น่าจะมาจากซิงค์อะซิเตทที่ใช้เป็นสารตั้งต้น แต่จากกราฟแสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรแร่ที่เกิดขึ้นจากเฮกซะนอลมีผลมากที่สุดในกลุ่ม รองลงมาคือบิวเทนไดออลและ กลุ่มอะโรมาติกตามลำดับ โดยผลกระทบต่อที่เกิดขึ้นจากตัวทำละลายกลุ่มอะโรมาติก ได้แก่ เบนซีน, โทลูอิน และไซลีน โดยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงใกล้เคียงกันในการเกิดภาวะความเป็นกรดและภาวะโลกร้อน อีกทั้งตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดเป็นสารอินทรีย์จึงทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ โดยไซลีนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าโทลูอินและเบนซีน

การสังเคราะห์เมื่อใช้เฮกซะนอล และ บิวเทนไดออลเป็นตัวทำละลาย ผลที่ได้พบว่าการสังเคราะห์เมื่อใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในด้านของการใช้ทรัพยากรแร่ โดยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดส่งผลในการใช้ทรัพยากรแร่สูง แต่ตัวทำละลายชนิดบิวเทนไดออล จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเฮกซะนอล

## 6.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มี การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ในระดับอุตสาหกรรม จึงทำให้ งานวิจัยนี้เกิดขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางและประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจที่จะศึกษาต่อไปในอนาคต



## รายการอ้างอิง

1. Takaki M., Soo-Jong K., Hironori W., Kei M., Mamoru O., Ki-Hwan K., Synthesis of nano-sized ZnO powders prepared by precursor process, *Journal of Ceramic Processing Research* 2003; 4: 125-139.
2. Minggang L., Hari B., Xiaokun M., Fang S., Lanqin T., Zichen W., Direct synthesis of monodispersed ZnO nanoparticles in an aqueous solution, *Materials Letters* 2007; 61: 690-693.
3. Franck R., Celin N., Marie-Jose C., Andre M., Bruno C., Synthesis and characterization of monodisperse zinc and zinc oxide nanoparticles from the organometallic precursor  $[Zn(C_6H_{11})_2]$ , *Journal of Organometallic Chemistry* 2002; 307-312.
4. Yong Jae K., Kyoung H. K., Chang S. L., Kwang B. H., Characterization of ZnO nanopowders synthesized by the polymerized complex method via an organochemical route, *Journal of Ceramic Processing Research* 2002; 3: 146-149.
5. Bahsi Z.B. and Oral A. Y., Effect of Mn and Cu doping on the microstructures and optical properties of sol-gel derived ZnO thin films, *Optical Materials* 2006.
6. Cheong K.Y., Muti N and Ramanan S. R., Electrical and optical studies of ZnO:Ga thin films fabricated via the sol-gel technique, *Thin Solid Films* 2002; 410: 142-146.
7. Kamalasanan M.N. and Chandra S., Sol-gel synthesis of ZnO thin films, *Thin Solid Films* 1996; 288: 112-115.
8. Xu Z. G., Deng H., Li Y., Guo Q. H. and Li Y. R., Characteristics of Al-doped c-axis orientation ZnO thin films prepared by the sol-gel method, *Materials Research Bulletin* 2006; 41: 345-348.
9. Mondelaers D., Vanhoyland G., Vanden Rul H., Haen J.D., Van Bael M.K., Mullens J. and Van Poucke L.C., Synthesis of ZnO nanopowder via an aqueous acetate-citrate gelation method, *Materials Research Bulletin* 2002; 37: 901-914.
10. Chen S. J., Li L. H., Chen X. T., Xue Z., Hong J. M. and You X. Z., Preparation and characterization of nanocrystalline zinc oxide by a novel solvothermal oxidation route, *Journal of Crystal Growth* 2003; 252: 184-189.

11. Tonto P., Effect of organic solvents on crystal shape and ultraviolet absorption of zinc oxide synthesized via solvothermal method. Master's Thesis, Chemical engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, 2004.
12. Yang L., Synthesis and photoluminescence of corn-like ZnO nanostructures under solvothermal-assisted heat treatment, *Chemical Physics Letters* 2005; 409: 337-341.
13. Sue K., Kimura K., Yamamoto M. and Arai K., Rapid hydrothermal synthesis of ZnO nanorods without organics, *Materials Letters* 2004; 58: 3350-3352.
14. Chung-Hsin L. and Chi-Hsien Y., Influence of hydrothermal conditions on the morphology and particle size of zinc oxide powder, *Journal of Ceramic Processing Research* 2000; 26: 351-357.
15. Kiwamu S., Kazuhito K., Maki Y. and Kunio A., Rapid hydrothermal synthesis of ZnO nanorods without organics, *Materials Letters* 2004; 58: 3350-3352.
16. Ming Y., Guangsheng P., Linfeng J. and Shouhua F., Hydrothermal synthesis of one-dimensional zinc oxides with different precursors, *Nanotechnology* 2006; 17: 206-212.
17. Wen-Jun L., Er-Wei S., Tsuguo F., Particle size of powders under hydrothermal conditions, *Crystal Research Technology* 2003; 38: 847 - 858 .
18. Yuanhua L., Zilong T., Zhongtai Z., Preparation of Nanometer Zinc Oxide Powder by Plasma Pyrolysis Technology and Their Applications, *Journal of Ceramic Processing Research*
19. Olivera M., Vladimir G., Joze V., Aleksandr M., Ljiljana K., Biljana S., Ljiljana Z., Synthesis and deposition of ZnO based particles by aerosol spray pyrolysis, *Thin Solid Film* 1997; 296: 44-48.
20. Fiddes A., Durose K., Preparation of ZnO films spray pyrolysis, *Journal of Crystal Growth* 1996; 159: 210-213.
21. Rodriguez P., Villegas M., Duran P., Controlled precipitation methods: formation mechanism of ZnO Nanoparticles 2001; 21: 925-930.
22. Zhang S.C., Li XG., Preparation of ZnO particles by precipitation transformation method and its inherent formation mechanisms, *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng* 2003; 35-44.
23. Chung-Hsin L., Chi-Hsien Y., Emulsion precipitation of submicron zinc oxide powder, *Materials Letter* 1997; 33: 129-132.



24. Khranovsky V., Grossner U., Lazorenko V., Lashkarev G., Svensson B. G. and Yakimova R., PEMOCVD of ZnO thin films, doped by Ga and some of their properties, *Superlattices and Microstructures* 2006; 39: 275-281.
25. Kim K. S. and Kim H. W., Synthesis of ZnO nanorods on bare Si substrate using metal organic chemical vapor deposition, *Physic B* 2003; 328: 368-371.
26. B.S. Li, Y.C. Liu, Effect of the growth temperature on ZnO thin films grown by plasma enhanced chemical vapor deposition, *Thin Solid Films*, 414(2002)170-174.
27. Y.J.Li, R.Duan, P.B.shi and G.G.Qin, Synthesis of ZnO nanoparticles on Si substrates using a ZnS source, *Journal of Crystal Growth*, 260(2004)309-315.
28. Lin H. F., Liao S. C. and Hung S. W., The dc thermal plasma synthesis of ZnO Nanoparticles for visible-light photocatalyst, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2005; 174: 82-87.
29. M.Grassi, D.A.W. Soares, A.A.A.de Queiroz, A.H.A.Bressiani and J.C.Bressiani, Organometallic chemical vapor deposition of compound semiconductors, *Materials Science and Engineering B*, 112(2004)179-181.
30. Liu Z.F., Shan F. K., Li Y.X., Shin B. C. and Yu Y. S., Epitaxial growth and properties of Ga-doped ZnO films grown by pulsed laser deposition, *Journal of Crystal Growth* 2003; 259: 130.
31. Posada E.d., Tobin G., McGlynn E. and Lunney J.G., Pulsed laser deposition of ZnO and Mn-doped ZnO thin films, *Applied Surface Science* 2003; 589: 208-209.
32. M.Samy E. S., Graiver D. and Pernisz U., Synthesis and characterization of nanoscale zinc oxide particles : I Laser vaporization/condensation technique, *Nanostructured Materials* 1995; 6: 297-300.
33. Madler L., Stark W.J. and Pratsinis S.E., Rapid synthesis of stable ZnO quantum dots, *Journal of Applied Physics* 2002; 92: 6537.
34. Yang Y. and Chen H., Size control of ZnO Nanoparticles via thermal decomposition of zinc acetate coated on organic additives, *Journal of Crystal Growth* 2004; 263: 447-453.
35. Meulenkamp E.A., Synthesis and Growth of ZnO Nanoparticles, *Journal of Physical Chemistry B* 1998; 29: 102.
36. Ren C. Y., Chiou S. H. and Hsue C. S., Ga-doping effects electronic and structural properties of wurtzite ZnO, *Physical B: Condensed Matter* 2004; 349: 136-142.



37. Sakthivel S., Neppolian B., Shankar M. V., Arabindoo B., Palanichamy M. and Murug V., Solar photocatalytic degradation of azo dye: comparison of photocatalytic efficiency of ZnO and TiO<sub>2</sub>, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2003; 77: 65-82.
38. Srikant V. and Clarke D. R., Anomalous behavior of the optical band gap of nanocrystalline ZnO thin films, *Journal of Materials Research* 1997; 12:1425.
39. Srikant V. and Clarke D.R., On the optical band gap of zinc oxide, *Journal of Applied Physics* 1998; 83: 10.
40. Wang Z.L., Nanostructures of zinc oxide, *Materials today* 2004; 7: 26-33.
41. Weng J., Zhang Y., Han G., Zhang Y., Xu L., Xu J., Huang X. and Chen K., Electrochemical deposition and characterization of wide band semiconductor ZnO thin film, *Thin Solid Films* 2005; 478: 25-29.
42. Wu H.Q. and Wei X. W., Synthesis of zinc oxide nanorods using carbon nanotubes as templates, *Journal of Crystal Growth* 2004; 265: 184-189.
43. Zou G., Yu D., Wang D., Zhang W., Xu L., Yu W. and Qian Y., Controlled synthesis of ZnO nanocrystals with column, rosette and fiber-like morphologies and their photoluminescence property, *Materials Chemistry and Physics* 2004; 88: 150-154.
44. Xiao L. Z., Young H. K. and Young S. K., Low-temperature synthesis and shape control of ZnO nanorods, *Journal of Applied physics* 2006; 6: 796-800.
45. Zhong L. W., Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications, *Journal of Physics* 2004; 16: R829-R858.
46. S.R. Dhange, Renu Pasricha, V.Ravi, Synthesis of fine particles of ZnO at 100 C, *Materials Letters* 2004;59:779-781.
47. Wang, S., G.Xia, J.Shao and Z.Fan, Structure and UV emission of nanocrystal ZnO films by thermal oxidation of ZnS films, *Journal of Alloys and Compounds*, 2006.
48. Chung-Hsin L., Wen-Jeng H. and Godbole S.V., Microwave-hydrothermal synthesis and photoluminescence characteristics of zinc oxide powders, *Materials Research Society* 2005.
49. Kanade K., Kale B., Effect of solvents on the synthesis of nano-size zinc oxide and its properties, *Materials Research Bulletin* 2006;41:590-600.
50. Umar A, Ra HW, Jeong JP, Suh EK, Hahn YB, Synthesis of ZnO nanowires on Si substrate by thermal evaporation method without catalyst: Structural and optical properties, *Korean Journal of Chemical Engineering* 2006; 23(3):499-504.

51. Lee S, Im YH, Hahn YB, Two-Step Growth of ZnO Films on Silicon by Atomic Layer Deposition, Korean Journal of Chemical Engineering 2005;22(2):334-338.
52. Kim TY, Lee SH, Mo YH, Nahm KS, Kim JY, Suh EK, Kim M, Growth Mechanism of Needle-shaped ZnO Nanostructures over NiO-coated Si Substrates, Korean Journal of Chemical Engineering 2004; 21(3) :733-738.
53. Bong J., Generation of Non-Equilibrium Plasma Under Atmospheric Pressure and Its Application to Etching Processes of Zinc Oxide Films, Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers 2002;40(5):592-595.
54. Woo P, Do-Young Y and Jae S.Y, Structure and Cathodoluminescence Characteristics of ZnO Films Prepared by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition, Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers 2000;38(2):219-224.
55. Jeon GS, Han MH, Seo G, Effect of ZnO Contents at the Surface of Brass-Plated Steel Cord on the Adhesion Property to Rubber Compound, Korean Journal of Chemical Engineering 1999;16(2):248-252.
56. Takehana M, Nishino T, Sugawara K, Sugawara T, Additives Distribution and Electrical Properties in Zinc Oxide Varistor Prepared by a Wet Chemical Method, Korean Journal of Chemical Engineering 1996;13(5):538-543.
57. Xinyu Z., Baicun Z., Chunzhong L. and Hongchen G., Acetate-derived ZnO ultrafine particles synthesized by spray pyrolysis, Powder Technology 1998; 100: 20-23.
58. Dhage S.R., Renu P., Ravi V., Synthesis of fine particles of ZnO at 100 C, Materials Letters 2002; 59: 779-781.
59. Yang Y. and Chen H., Size control of ZnO nanoparticles via thermal decomposition of zinc acetate coated on organic additives, Journal of Crystal Growth 2004; 263: 447-453.
60. Inoue M., Kominami H. and Inui T., Novel synthesis method for thermally stable monoclinic zirconia: hydrolysis of zirconium alkoxides at high temperatures with a limited amount of water dissolved in inert organic solvent from the gas phase, Applied Catalysis A: General 1995; 121: L1-L5.
61. Iwamoto S., Saito K., Inoue M and Kagawa K., Preparation of the xerogels of nanocrystalline titanias by the removal of the glycol at the reaction temperature after the glycothermal method and their enhanced photocatalytic activities, Nano Letters 2001; 1: 417-421.
62. Mekasuwandumrong, O., Prasertdam P., Inoue M., Pavarajarn V and Tanakulrungsank W., Phase transformation behavior of nanocrystalline chialumina powder obtained by thermal decomposition of AIP in inert organic solvent, Journal of Materials Science 2004; 39(7): 2417-2421.

63. Adisa Azapagic, Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization, Chemical Engineering Journal 1999;73:1-21
64. Fava J., Dennison R., Jones B., Curran M. A., Vigon B., Selke S., Barnum J., A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, SETAC Foundation for Environmental Education, Washington, DC, 1991.
65. ISO/DIS 14040, Environmental management- Life Cycle Assessment- Part 1: Principles and Framework, 1997.
66. ISO/TC 207/SC 5/WG 2 N 112, ISO/DIS 14041: Environmental management- Life Cycle Assessment- Part 2: Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis, Voting draft, 1997.
67. ISO/TC 207/SC 5/N 112, ISO/DIS 14042.3: Environmental management- Life Cycle Assessment- Part 3: Life Cycle Impact Assessment, Committee draft, 1998.
68. ISO/TC 207/SC 5/N 112, ISO/DIS 14043: Environmental management- Life Cycle Assessment- Part 4: Life Cycle Interpretation, Voting draft, 1998.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### Eco-indicator 99

วิธีในการประเมินค่าทางผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี 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

#### ขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี Eco-indicator 99

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

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบ มีดังนี้

Human Health (สุขภาพมนุษย์) ประกอบด้วย สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ส่งผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance), ผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance), ภาวะโลกร้อน (Climate change), การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

Ecosystem (ระบบนิเวศวิทยา) ประกอบด้วย ภาวะการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน (Acidification/Eutrophication), ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)

Resource depletion (การลดลงของทรัพยากร) ประกอบด้วย การใช้ทรัพยากรแร่ (Mineral), การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuels) โดยที่ Eco-indicator 99 จะประกอบไปด้วย

### การกำหนดบทบาท (Charaterisation)

เป็นขั้นตอนในการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบตามสมการ

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

$EP_j$  (Environmental impact potential) คือศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท  $j$  ใดๆ (kg substance equivalent)

$Q$  (Quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร  $j$  ที่ปล่อยออกมา (kg substance  $j$ )

$EF_{ij}$  (Equivalency factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร  $i$  ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  (kg substance equivalent / kg substance  $j$ )

### การหาขนาดของผลกระทบ (Normalisation)

เป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ โดยเปรียบเทียบกับผลผลิตหรือบริการที่ต้องการอ้างอิง

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

$NP_{j(\text{product})}$  (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  ใดๆของผลิตภัณฑ์ (person)

$T$  (Lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

$ER_j$  (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่  $j$  ใดๆที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent / person / year)



### การให้น้ำหนัก (Weighting)

เป็นขั้นตอนการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภทคือ สุขภาพ มนุษย์ ระบบนิเวศ การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนน เดียว

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

$WP_j$  (Weighted environmental impact potential) คือค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  ใดๆ หลังการให้น้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year; Pt.)

$WF_j$  (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

ค่าสัดส่วนน้ำหนักที่ใช้ในการประเมินผลแสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงสัดส่วนน้ำหนักที่ใช้ในการประเมินผลใน Eco-indicator 99 (SimaPro)

Impact category	Weighting Factor	Unit
Human health Carcinogen	300	DALY
Human health Resp. org.	300	DALY
Human health Resp. inorg.	300	DALY
Human health Climate change	300	DALY
Human health Radiation	300	DALY
Human health Ozone Layer	300	DALY
Ecosystem Quality Ecotox	400	PDF*m2yr
Ecosystem Quality Acid/Eutrophication	400	PDF*m2yr
Ecosystem Quality Land use	400	PDF*m2yr
Resources Minerals	300	MJ surplus energy
Resources Fossil fuels	300	MJ surplus energy

### การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

## สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบบประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ ก.2 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบบด้านสารก่อมะเร็ง

Carcinogens	
1,2-dibromoethane	Dichlorvos
1,2-dichloroethane	2,3,7,8-TCDD Dioxin
1,3-butadiene	epichlorohydrin
1,4-dioxane	epichlorohydrin
2,4,6-trichlorophenol	formaldehyde
acetaldehyde	gamma- HCH(Lindane)
acrylonitrile	Hexachlorobezene
alpha-hexachlorocyclohexan	metals
Arsenic	Nickel
Bis(chloromethyl)ether	Nickel-refinery-dust
benzene	Nickel-subsulfide
benzo(a)anthracene	PAH's
benzo(a)pyrene	particles diesel soot
benzotrichloride	Polychlorobiphenyls
benzylchloride	pentachlorophenol
beta-chlorocyclohexane	propyleneoxide
bromodichloromethane	styrene
Cadmium	perchloroethylene
Chromium	carbontetrachloride
di(2-ethylhexyl)phthalate	chloroform
dibenz(a)anthracene	vinyl chloride
sichloromethane	

ตารางที่ ก.3 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการลดลงของชั้น โอโซน

Ozone layer depletion	
1,1,1-trichloroethane	HALON-2402
CFC-11	HFCF-123
CFC-113	HFCF-124
CFC-114	HFCF-141b
CFC-115	HFCF-142b
HALON-1201	HFCF-22
HALON-1202	HFCF-225ca
HALON-1211	HFCF-225cb
HALON-1301	Methyl bromide
HALON-2311	Methyl chloride
HALON-2401	carbontetrachloride

ตารางที่ ก. 4 ประเภทของสินแร่

Mineral	
aluminium(in ore)	molybdenc(in ore)
bauxite	molybdenum(ore)
chromium(in ore)	nickel(in ore)
copper(ore)	nickel(ore)
iron(ore)	tin(in ore)
lead(in ore)	tin(ore)
lead(ore)	tungsten(ore)
manganese(in ore)	zinc(in ore)
manganese(ore)	zinc(ore)
mercury(in ore)	



ตารางที่ ก.5 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์

Respiration by organic substances	
1,1,1-trichloroethane	3,5-dimethyl ethyl benzene
1,2,3-trimethyl benzene	3-hexanone
1,2,4-trimethyl benzene	3-methyl 1 butanol
1,3,5-trimethyl benzene	3-methyl 1 butene
1,3-butadiene	3-methyl 2-butanol
1-butene	3-methyl hexane
1-butoxy propanol	3-methyl pentane
1-hexene	3-pentanol
1-methoxy 2-propanol	3-pentanone
1-pentene	acetaldehyde
2,2-dimethyl butane	acetic acid
2,3- dimethyl butane	acetone
2-butoxy ethanol	propionaldehyde
2-ethoxy ethanol	alcohols
2-hexanone	aldehydes
2-methoxy ethanol	alkanes
2-methyl 1-butanol	alkenes
2-methyl 1-butene	benzene
2-methyl 2-butanol	butane
2-methyl hexane	butanol
2-methyl pentane	butene
2-pentanone	cis 1,2-dichloroethane
hepane	s-butanol
hexane	s-butyl acetate
i-butane	t-butanol
i-butanol	t-butyl acetate
i-butyraldehyde	perchloroethylene
i-pentane	toluene
3,5 dithyl toluene	

ตาราง ก.6 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์ (ต่อ)

Respiration by organic substances	
cis 2-butene	methyl chloride
cis 2-hexene	methyl ethyl ketone
cis 2-pentene	methyl formate
CxHy aromatic	methyl i-butyl ketone
CxHy chloro	methyl i-propyl ketone
CxHy halogenated	methyl propene
cyclohexane	methyl t-butyl ether
cyclohexanol	Methyl t-butyl ketone
cyclohexanone	n-butanol
decane	n-butyl acetate
di-I-propyl ether	n-butylaldehyde
diacetone alcohol	n-propanol
dichloromethane	n-propyl acetate
dethyl ether	n-propyl benzene
dimethyl ether	neopentane
dodecane	NMVOG
esters	nonane
ethane	o-ethyl toluene
ethane diol	o-xylene
ethanol	octane
ethene	p-ethyl toluene
ethers	p-xylene
ethyl t-butyl ether	pentanal
ethylacetate	pentane
ethylbenzene	propane
acetylene	propane diol
formaldehyde	propene
formic acid	propanic acide

ตาราง ก. 7 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์ (ต่อ)

Respiration by organic substances	
i-propyl acetate	trans 1,2-dichloroethane
i-propyl benzene	trans 2-butene
isoprene	trans 2-hexene
ketones	trans 2-pentene
m-ethyl toluene	trichloroethylene
m-xylene	chloroform
methane	undecane
methanol	VOC
methyl acetate	xylene

ตารางที่ ก.8 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอนินทรีย์

Respiration by inorganic substances	
ammonia	NO <sub>x</sub>
dust(PM 10)	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>2</sub> )
dust(PM 2.5)	SO <sub>2</sub>
TSP	SO <sub>3</sub>
NO	SO <sub>x</sub>
NO <sub>2</sub>	Sox (as SO <sub>2</sub> )



ตารางที่ ก.9 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้ฤดูกาลเปลี่ยนแปลง

Climate change	
methyl chloroform	HCFC-143
perfluoroethane	HCFC-143a
trifluoriodomethane	HCFC-152a
perfluomethane	HCFC-227ea
CFC-11	HCFC-23
CFC-113	HCFC-236fa
CFC-13	HCFC-245ca
carbon dioxide	HCFC-32
methylene chloride	HCFC-41
HCFC-123	methane
HCFC-124	nitrous oxide
HCFC-141b	perfluorhexane
HCFC-142b	perfluorpentane
HCFC-22	perfluorpropane
HCFC-125	sulphur hexafluoride
HCFC-134	carbontetrachloride
HCFC-134a	chloroform

ตารางที่ ก.10 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นกรด

Acidification/Eutrophication	
ammonia	SO <sub>2</sub>
NO	SO <sub>3</sub>
NO <sub>2</sub>	Sox
NOx	Sox(as SO <sub>2</sub> )
NOx(as NO <sub>2</sub> )	

ตารางที่ ก.11 สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นพิษ

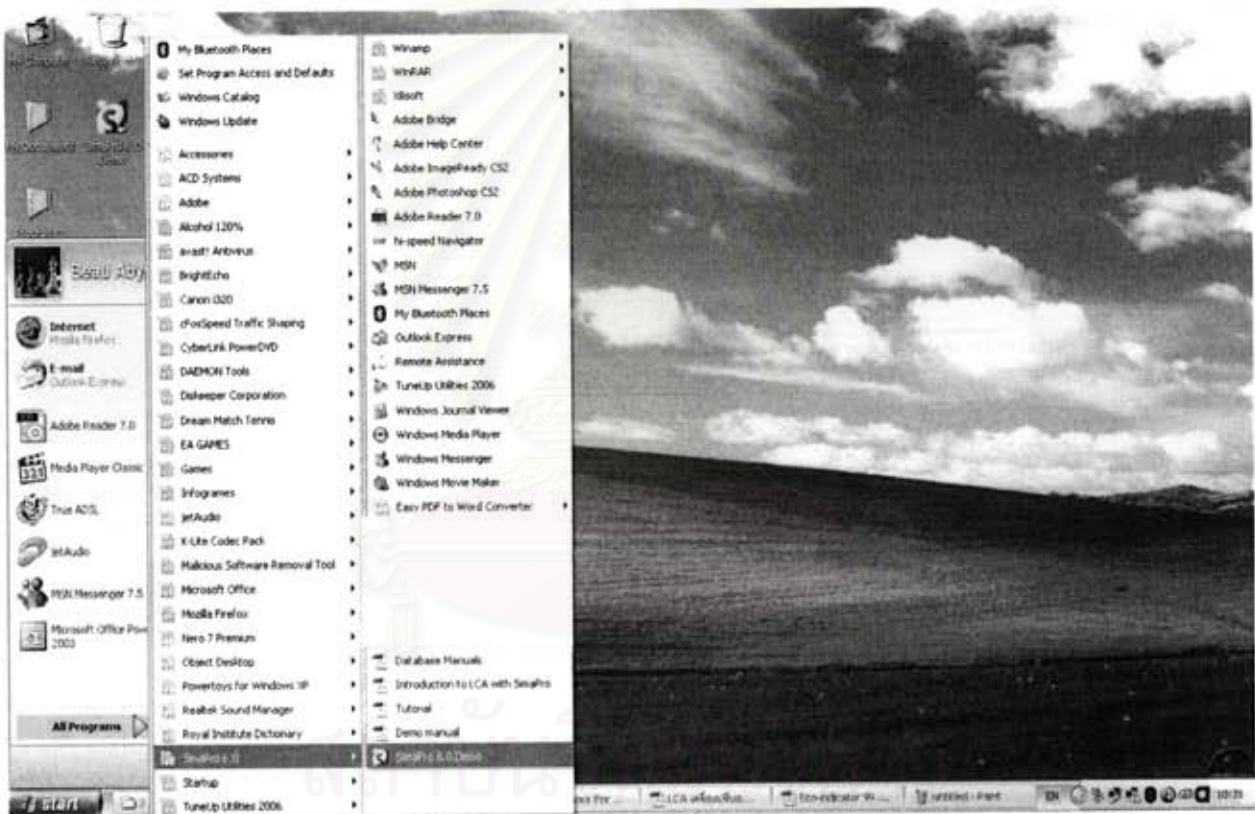
Ecotoxic emission	
1,2,3-trichlorobenzene	Hexachlorobenzene
1,2,4-trichlorobenzene	Mercury
1,3,5-trichlorobenzene	Malathion
2,4-D	Maneb
Arsenic	Mecoprop
Atrazine	Metabenzthiazuron
Azinphos-methyl	Metals
Bentazon	Metamitron
benzene	Metribuzin
benzo(a)pyrene	Mevinphos
Carbendazim	Monolinuron
Cadmium	Nickel
Copper	PAH's
di(3-ethylhexyl)phthalate	Prathion
dibutylphthalate	Lead
Dichlorvos	Polychlorobiphenyls
2,3,7,8-TCDD Dioxin	pentachlorophenol
Diquat-dibromide	Simazine
Diuron	Thiram
DNOC	toluene
fentin acetate	Trifluralin
fluoranthene	Zinc
gamma-HCH(Lindane)	

## ภาคผนวก ข

### วิธีการใช้โปรแกรม SimaPro 6

วิธีการเข้าโปรแกรม SimaPro 6 มีดังต่อไปนี้

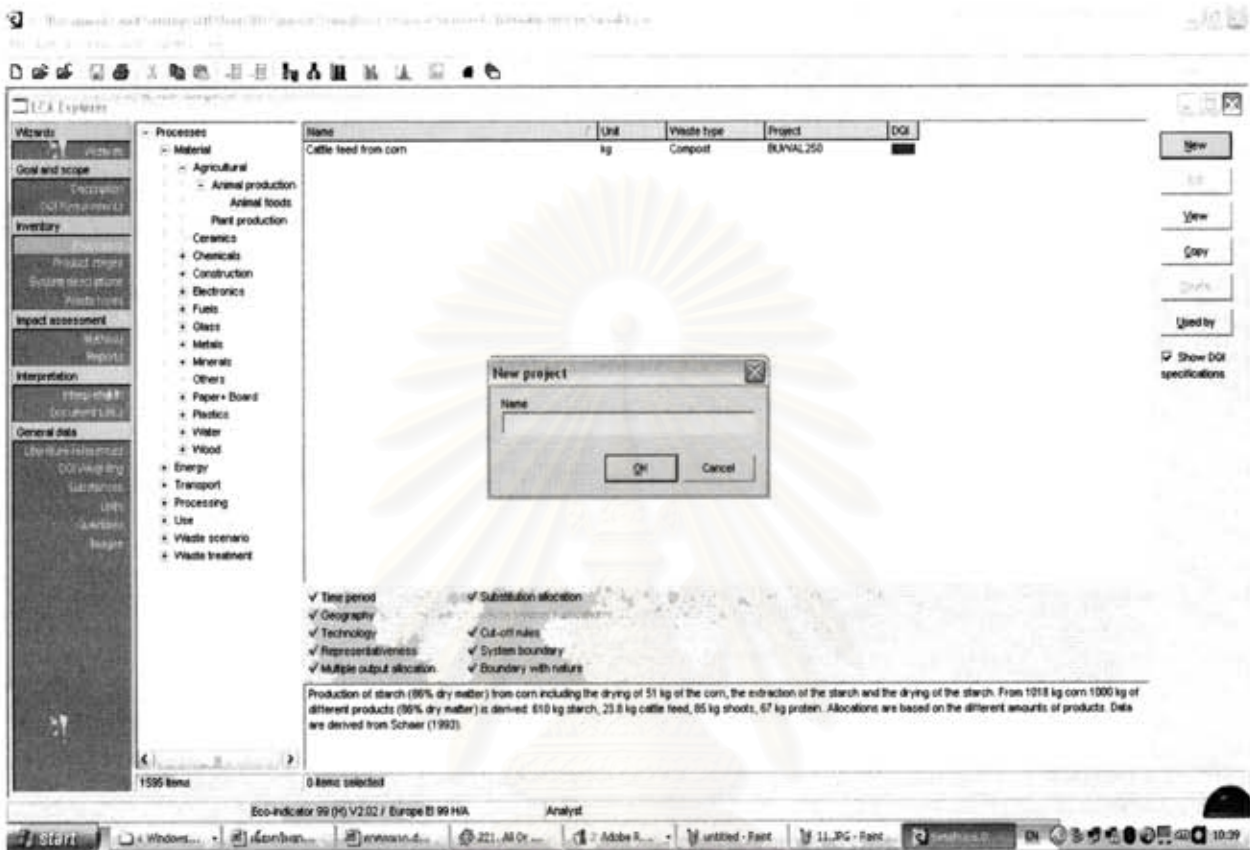
1. เข้าสู่หน้าจอ Window เลือกปุ่ม START เลือก Programs → SimaPro 6 ดังรูป ข.1



รูปที่ ข.1 แสดงขั้นตอนการเข้าโปรแกรม SimaPro 6



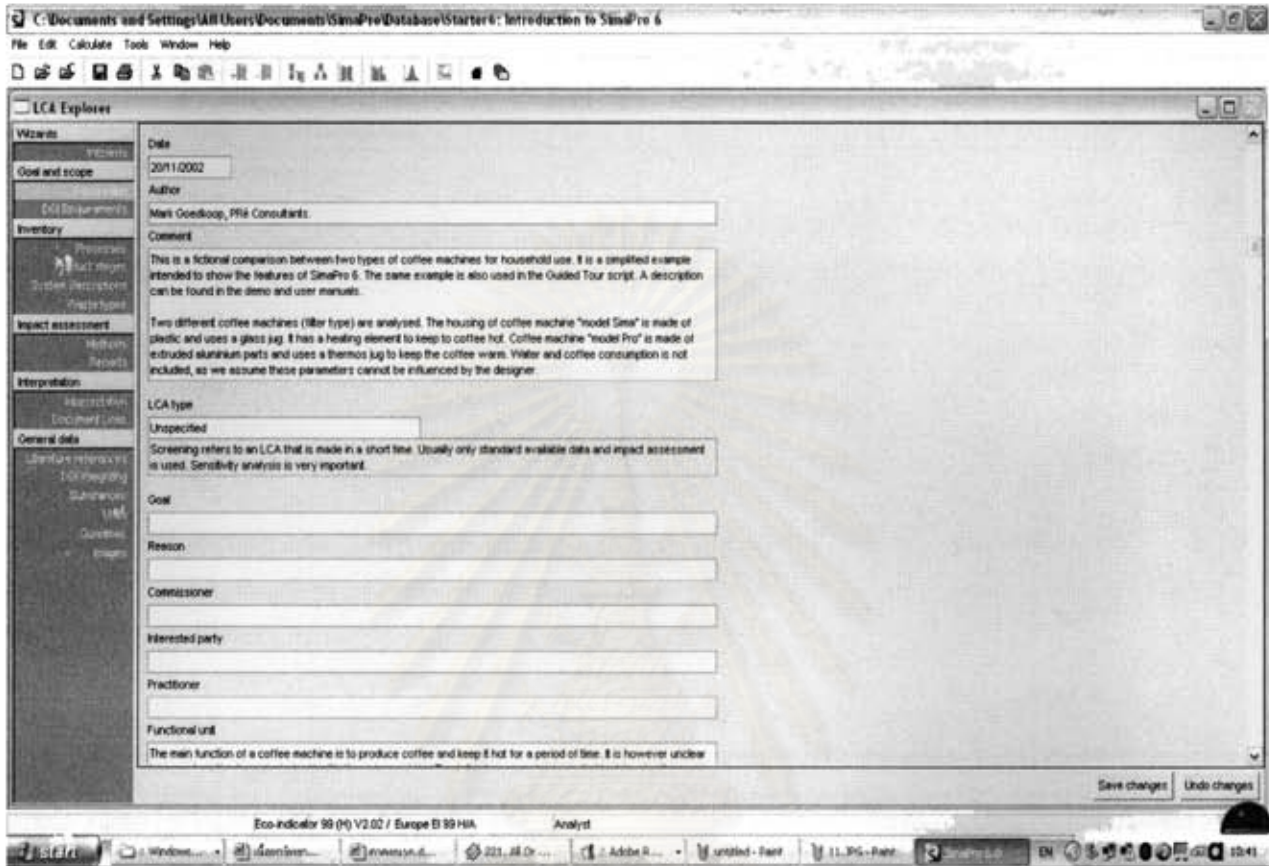
## 2. คลิก New เพื่อสร้าง Project ใหม่ ดังรูป ข.2



รูป ข.2 แสดงการสร้าง project ใหม่

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

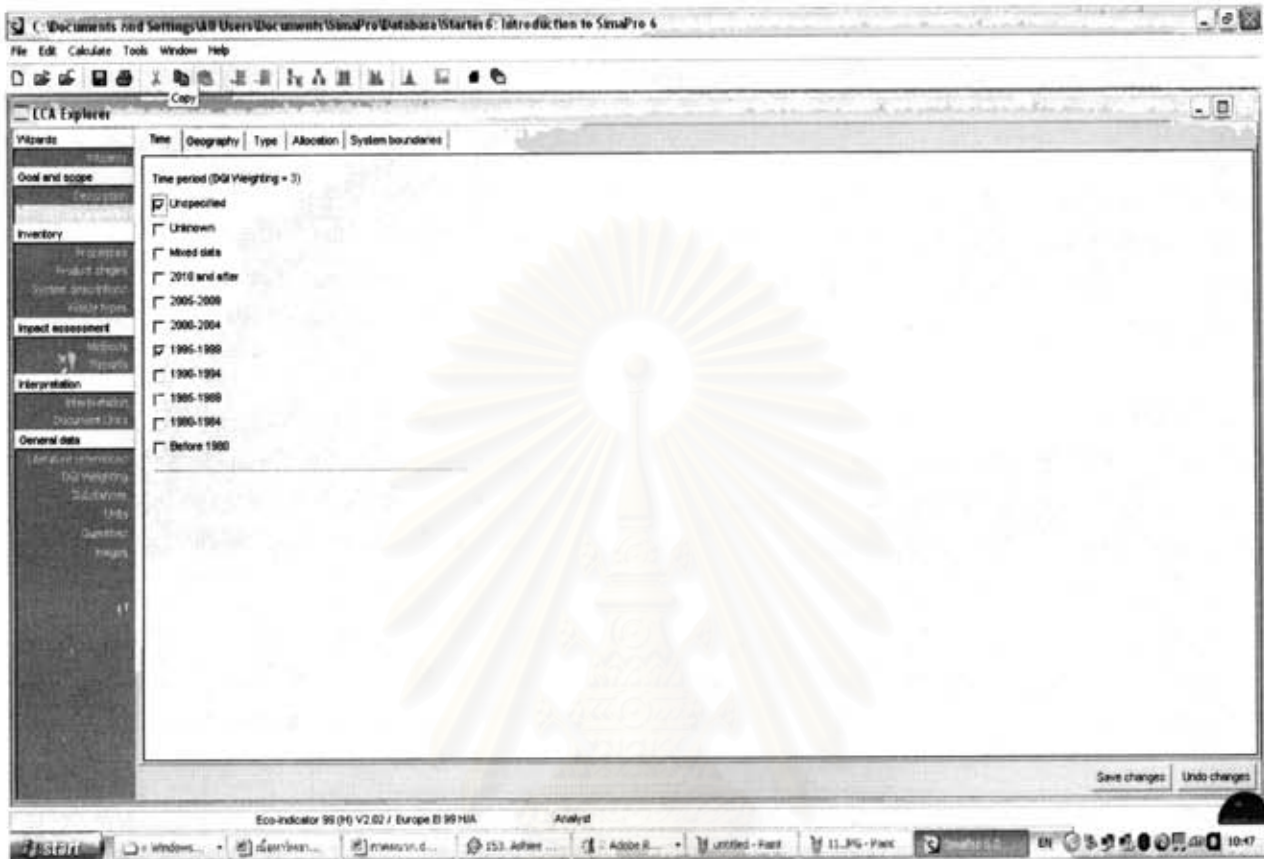
### 3. จากนั้น โปรแกรมจะเข้าสู่ Work Sheet แล้วจึงใส่ข้อมูลเกี่ยวกับ Project ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 แสดงการป้อนข้อมูลในส่วนของรายละเอียด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1. ป้อนข้อมูลในส่วนของ DQI Requirement ดังรูปที่ ข.4

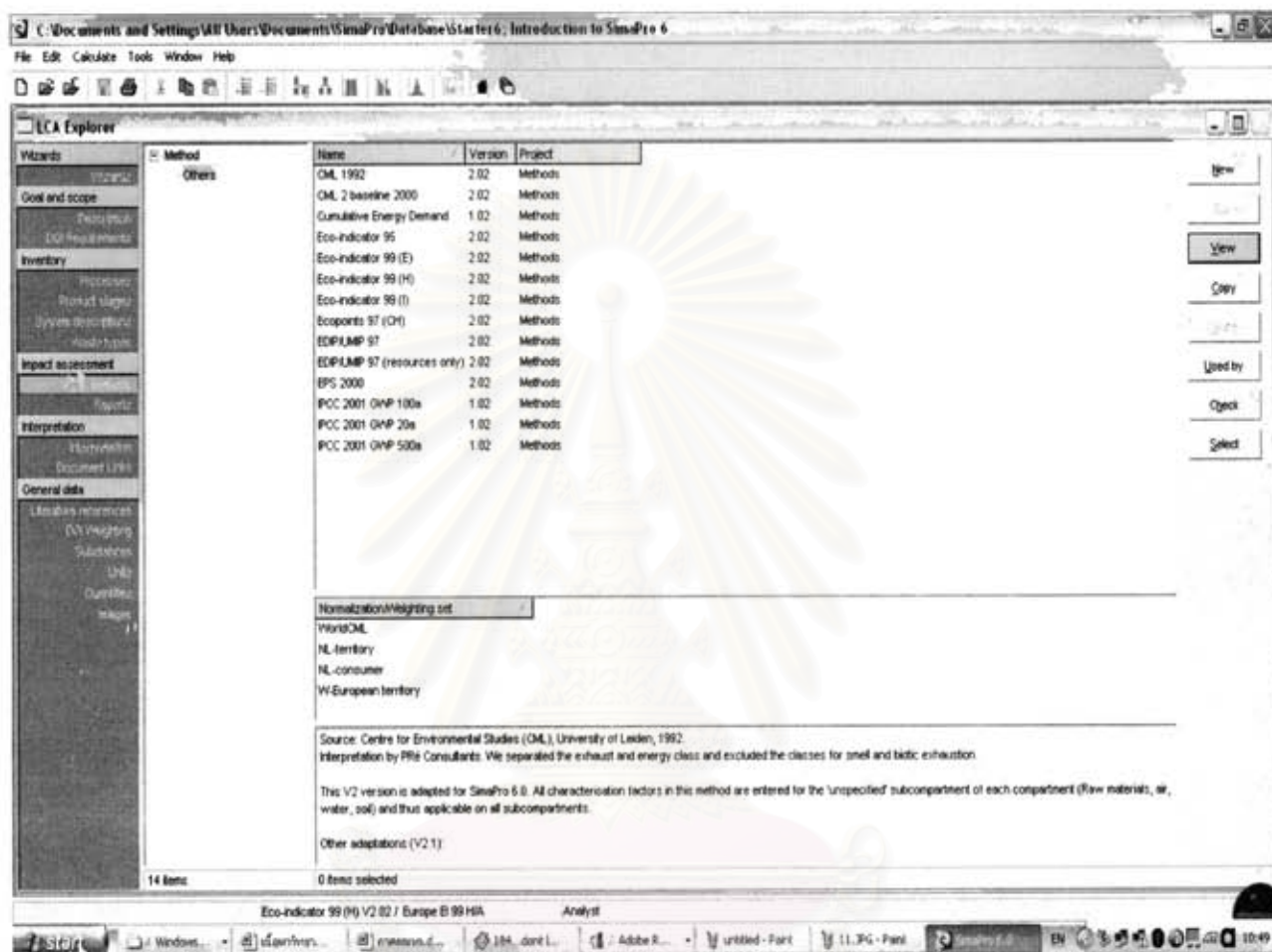


รูป ข.4 แสดงการป้อนข้อมูลใน DQI Requirement

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5. จากนั้นเลือกวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ Project โดยการเลือก Method ซึ่งคำอธิบายของแต่ละวิธีจะอยู่ที่ส่วนล่างของ Work Sheet ดังรูป ข.5



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ ข.5 แสดงการเลือก Method ที่ใช้ใน Project

6. จากนั้นเลือก Inventory → Process แล้วเลือก Category ที่เหมาะสมกับ Project จากนั้นคลิก New เพื่อสร้าง Process แล้วทำการป้อนข้อมูลในส่วนของ Process ที่นำมาใช้ใน Project ดังรูปที่ ข.6

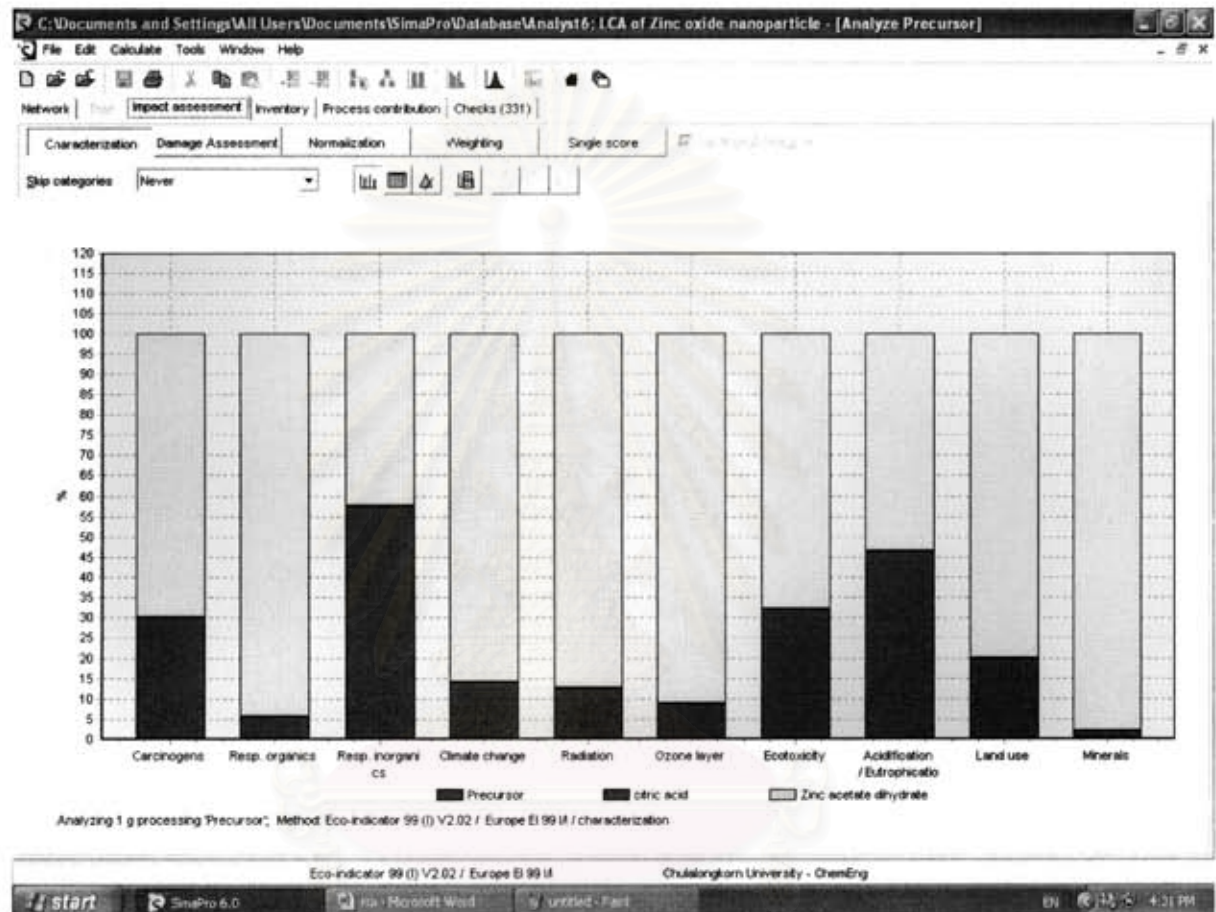
The screenshot displays the SimaPro software interface for editing a process. The main window is titled "Products" and contains several data tables. The "Known inputs from technosphere (materials/fuels)" table is populated with the following data:

Name	Amount	Unit	Distribution	SD*2 or 2*SD Min	Max	Comment
citric acid	376.38	g	Undefined			
Zinc acetate dihydrate	430	g	Undefined			

The interface also shows sections for "Known outputs to technosphere. Products and co-products", "Known outputs to technosphere. Avoided products", "Known inputs from nature (resources)", "Known inputs from technosphere (electricity/heat)", and "Outputs" (Emissions to air, water, and soil). The status bar at the bottom indicates "Eco-indicator 99 (I) V2.02 / Europe E199 IIF" and "Chulalongkorn University - ChemEng".

รูปที่ ข.6 แสดงการป้อนข้อมูลในส่วนของ Process  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงผล LCA โดยคลิกที่ปุ่ม Analyze ซึ่งโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล Project ภายใต้วิธีการที่เลือกใช้ ในที่นี้คือ Eco-indicator 99 ดังรูป ข.7



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ ข.7 แสดงการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม SimaPro



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐพิรา เนตรสว่าง เกิดวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2525 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม จากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2547 ได้เข้า ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2550



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย