

การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับการเปรียบเทียบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์



นางสาวอรนุช ตันตีสุข

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3700-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR COMPARISON OF ZINC SULFIDE
NANOPARTICLES SYNTHESIS



Miss Oranuch Tantisook

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

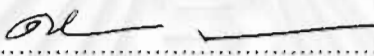
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

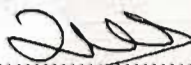
ISBN 974-17-3700-9

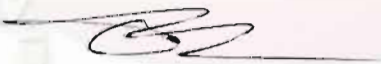
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับการเปรียบเทียบการสังเคราะห์อนุภาค
นาโนของซิงค์ซัลไฟด์
โดย นางสาวอรนุช ตันติสุข
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ สัตยาประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม

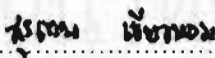
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

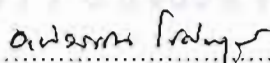

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

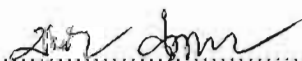
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์รี วงศ์ศรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ สัตยาประเสริฐ)


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


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์วรรณ โชติพิทักษ์)


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

อรนุช ตันติสุข: การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับการเปรียบเทียบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์. (LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR COMPARISON OF ZINC SULFIDE NANOPARTICLES SYNTHESIS THESIS) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษา: ดร.สุรเทพ เขียวหอม 83. หน้า. ISBN 974-17-3700-9

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ รวมไปถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธีเคมีเคลือบพอลิเมอร์ (chemical bath deposition) เคมีเคลือบพอลิเมอร์ไอออไนซ์ (chemical vapor deposition) สเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) และ ซักเซสตีฟไอออนิกเลเยอร์แอดซอร์ปชันและรีแอคชัน (successive ionic layer adsorption and reaction)

จากการวิเคราะห์พบว่าวิธีการสังเคราะห์โดยวิธี เคมีเคลือบพอลิเมอร์ (chemical bath deposition) โดยใช้ซิงค์ซัลไฟด์ และ ไทโอxyรีบ เป็นสารตั้งต้น มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และระบบนิเวศน์มากที่สุด และเป็นกระบวนการที่มีความเสี่ยงที่สารเคมีจะหลุดลอดออกมาได้สูง เพราะกระบวนการนี้เป็นระบบเปิด และใช้สารตั้งต้นที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้สังเคราะห์ได้ ส่วนกระบวนการเคมีเคลือบพอลิเมอร์ไอออไนซ์ (chemical vapor deposition) จะส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรมากที่สุด สำหรับกระบวนการสเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) และ ซักเซสตีฟไอออนิกเลเยอร์แอดซอร์ปชันและรีแอคชัน (successive ionic layer adsorption and reaction) จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำทั้ง ในด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนการสังเคราะห์โดยวิธี สเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ปริมาณในผลิตภัณฑ์อนุภาคนาโนซิงค์ซัลไฟด์สูงและมีศักยภาพในการขยายการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....อรนุช ตันติสุข.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....สุรเทพ เขียวหอม.....

#4770534021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ZnS NANOPARTICLE / ENVIRONMENTAL IMPACT / RISK ASSESSMENT

ORANUCH TANTISOOK : LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR COMPARISON OF ZINC SULFIDE NANOPARTICLES SYNTHESIS. THESIS ADVISOR: CHAIRIT SATAYAPRASERT, THESIS COADVISOR: SOORATHEP KHEAWHOM, 83 pp. ISBN 974-17-3700-9.

This research studies the effects to the environment and the risk in synthesizing zinc sulfide nanoparticles. The study also includes economical analysis. We use life cycle assessment and the risk assessment to quantify the effects and risk each step in synthesizing zinc sulfide nanoparticles by using various techniques : chemical bath deposition, chemical vapor deposition, spray pyrolysis, and successive ionic layer adsorption and reaction.

The analysis shows that chemical bath deposition using zinc sulfate and thiourea as reactant has the highest effect to human health and ecosystem quality. Because this technique is carried out in, and uses highly toxic reactants. Chemical vapor deposition technique has the highest effect in resources. For spray pyrolysis and successive ionic layer adsorption and reaction techniques have the lowest effect in environment, human health and resources. Furthermore, this research considers economic view point of spray pyrolysis technique. This technique has a high potential to synthesis zinc sulfide nanoparticles in a large scale or industrial scale.

Department.....Chemical Engineering.....Student's signature...Oranuch Tantisoak
 Field of study.....Chemical Engineering.....Advisor's signature...
 Academic year.....2005..... Co-advisor's signature...Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐและ อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิวรรณ โชติพฤษ์และ อาจารย์ ดร. บรรเจิด จงสมจิตรในฐานะคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจในระหว่างการศึกษาจนสำเร็จได้ด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	10
3.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม.....	10
3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต.....	14
3.3 โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	28
3.4 การสังเคราะห์หอนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์.....	37
3.5 การประเมินความเสี่ยง.....	40
บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	45
4.1 วัตถุประสงค์ในการทำงานวิจัย.....	45
4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ.....	45
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย.....	46
4.4 วิธีดำเนินโครงการ.....	46
บทที่ 5 ผลการวิจัย.....	49
5.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	49
5.2 ผลการประเมินความเสี่ยง.....	55

	หน้า
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	58
6.1 สรุป.....	58
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป		หน้า
รูปที่ 3.1	Life cycle stages	11
รูปที่ 3.2	กรอบการดำเนินงาน LCA.....	14
รูปที่ 3.3	ตัวอย่างแสดงขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์.....	17
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างชุดของกระบวนการย่อยที่อยู่ภายในระบบผลิตภัณฑ์	17
รูปที่ 3.5	ตัวอย่างกระบวนการย่อย สารขาเข้าและสารขาออก.....	18
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ.....	20
รูปที่ 3.7	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ.....	23
รูปที่ 3.8	แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี EcoIndicator 99.....	34
รูปที่ 3.9	กระบวนการ chemical bath deposition.....	35
รูปที่ 3.10	กระบวนการ Chemical Vapor Deposition.....	36
รูปที่ 3.11	กระบวนการ spray pyrolysis.....	37
รูปที่ 5.1	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง	47
รูปที่ 5.2	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ.....	48
รูปที่ 5.3	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ.....	48
รูปที่ 5.4	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านอุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลง.....	49
รูปที่ 5.5	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการลดลงของโอโซน	49
รูปที่ 5.6	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านนิเวศวิทยาเป็นพิษ.....	50
รูปที่ 5.7	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะกรดในบรรยากาศ.....	51
รูปที่ 5.8	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร.....	51
รูปที่ 5.9	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการลดลงของเชื้อเพลิง.....	52
รูปที่ 5.10	แสดงผลการ เปรียบเทียบของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์.....	53
รูปที่ ก	ขั้นตอนการเข้าโปรแกรม SimaPro 6.....	53
รูปที่ ข	การสร้าง Project ใหม่.....	61
รูปที่ ค	การป้อนข้อมูลในส่วนของ Description.....	62
รูปที่ ง	จากการป้อนข้อมูลในส่วนของ DQI Requirement.....	62
รูปที่ จ	การเลือก Method ที่ใช้ใน Project.....	63
รูปที่ ฉ	การสร้างProcess.....	63
รูปที่ ช	การป้อนข้อมูลในส่วนของ Life Cycle.....	64
		65

รูป		หน้า
รูปที่ ๑	ผลการวิเคราะห์ด้วย LCA	65
รูปที่ ๒	ผลการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Project.....	66



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 3.3	ความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ.....	31
ตารางที่ 3.4	ค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย.	34
ตารางที่ 3.5	ค่าแสดงระดับความเป็นพิษของ LD ₅₀	40
ตารางที่ 3.6	ค่าแสดงระดับความเป็นพิษของ LC ₅₀	41
ตารางที่ 4.1	แสดงข้อมูลสำหรับป้อนลงใน โปรแกรม SimaPro6.0.....	43
ตารางที่ ก	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง.....	69
ตารางที่ ข	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการลดลงของชั้น โอโซน.....	70
ตารางที่ ค	ประเภทของสินแร่.....	70
ตารางที่ ง	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์.....	71
ตารางที่ จ	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอนินทรีย์.....	73
ตารางที่ ฉ	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้ฤดูกาลเปลี่ยนแปลง.....	74
ตารางที่ ช	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นกรด.....	74
ตารางที่ ฌ	สสารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นพิษ.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นาโนเทคโนโลยีหมายถึง เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ สร้าง การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กหรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการ ได้อย่างแม่นยำ และถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสสารมีคุณสมบัติพิเศษ ไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ จะเห็นได้ว่าสินค้าบางอย่างเริ่มที่จะใช้คำว่า"นาโนเทคโนโลยี" มาเป็นจุดขายของผลิตภัณฑ์ เช่นตู้เย็นที่มีเครื่องกำจัดกลิ่นไม่เพียงประสงค์ เครื่องซักผ้าที่สามารถกำจัดแบคทีเรีย รา และเชื้อโรคได้ดีกว่าเครื่องรุ่นปัจจุบัน เสื้อผ้านาโนที่ผลิตด้วยสารเคมีบางชนิดที่ช่วยป้องกันคราบสกปรก หรือเครื่องสำอางที่สามารถซึมซับเข้าสู่เซลล์ผิวหนังได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ก็เป็นสารตัวหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ เช่น โซลาเซลล์ คาโทด - เรย์ อิเล็กโทรลูมินิสเซนซ์ โฟโตไดโอด ทั้งยังนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น จอแสดงผลใน โน้ตบุ๊ก จอแสดงผลในยานยนต์ของกองทัพ และยานกระสวยอวกาศ (space shuttle) ขององค์การ นาซ่า เป็นต้น เนื่องจากอนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์นั้น มีคุณสมบัติในการเรืองแสง การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และเป็นสารกึ่งตัวนำ

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์สามารถทำได้หลายวิธีเช่น ไมโครอิมัลชัน สเปรย์ไพโรไลซิส โซล-เจล chemical vapor deposition และ chemical bath deposition ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดี เรื่องประสิทธิภาพแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้าง ปัจจุบันจึงมีพัฒนาการสังเคราะห์เพื่อให้เหมาะสำหรับการเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม แต่การผลิตนั้นจะต้องมีการควบคุมป้องกันสารเคมีตกค้างหรือเข้าสู่ร่างกาย จากที่ผ่านมายังไม่มีรายงานที่ชัดเจนว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ มีผลกระทบต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างไร

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งความเป็นพิษของกระบวนการการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาวิธีการสังเคราะห์แบบ chemical bath deposition , chemical vapour deposition , spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถ

นำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์ ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดได้

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ ด้วยวิธีประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรม Simapro 6.0
2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ chemical bath deposition , chemical vapour deposition , spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction และเลือกการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ ที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของงานการวิจัย

1. นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตประยุกต์ใช้กับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์
2. เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงการนำวัตถุดิบมาใช้ และการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี chemical bath deposition , chemical vapour deposition , spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction ทั้งนี้จะไม่รวมถึงการใช้งาน ขั้นตอนการทำลาย และขั้นตอนการนำกลับมาใช้ใหม่
3. ใช้โปรแกรม Simapro 6.0 ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านต่างๆ สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ โดยใช้ ดัชนีชี้วัด ซึ่งประกอบไปด้วย สารก่อมะเร็ง อุณหภูมิที่ทำให้โลกเปลี่ยนแปลง ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเขียนแบบจำลองวัฏจักรชีวิตสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

2. ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมอันเนื่องมาจากกระบวนการการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

3. สามารถนำผลการประเมินและการวิเคราะห์มาพิจารณาในการเลือกวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ เพื่อเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์กระบวนการสังเคราะห์ สารชนิดอื่น ได้อีกด้วย

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษา ค้นคว้า ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน

2. รวบรวมข้อมูล เอกสารสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธี chemical bath deposition , chemical vapour deposition , spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction

3. สรุปเนื้อหาจากบทความทางวิชาการ ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต และทฤษฎีสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

4. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิต

5. รวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินผล

6. ทำการประเมินผลโดยใช้โปรแกรม SimaPro 6

7. วิเคราะห์ผลที่ได้

8. สรุปผล และทำรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ และเริ่มมีบทบาทมากขึ้นเนื่องจากได้ถูกกำหนดให้ใช้เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ตามกฎเกณฑ์การค้าระหว่างประเทศ ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาไว้ G. Rebitzer และคณะ ได้แนะนำโครงสร้าง และขั้นตอนการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต , จำลองวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ , การใส่ข้อมูลลงในตาราง และยังคงกล่าวถึงโปรแกรม การประเมินวัฏจักรชีวิต ในอุตสาหกรรม และนโยบายในการทำ เพราะว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การประเมินวัฏจักรชีวิตจะทำให้ได้ฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์อย่างครบวงจร

D.W. Pennington และคณะ ได้กล่าวถึงความแตกต่างในพื้นฐาน หลักการและวิธีปฏิบัติ ทำให้สะดวกสำหรับการวัดผลกระทบของวัฏจักรชีวิต ตัววัดเหล่านี้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิต เช่น การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก , การลดลงของโอโซน , ภาวะความเป็นกรด , ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศน์, การลดลงของทรัพยากร, การใช้น้ำ, การใช้ที่ดินและการเกิดเสียงรบกวน และอีกมากมาย

พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ ได้จัดทำคู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้นักวิจัย ผู้ประกอบการ และผู้สนใจ สามารถศึกษาและจัดการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง โดยเรียบเรียงจากอนุกรมมาตรฐาน (ISO 1404x) คู่มือการทำ LCA ของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) และประสบการณ์การทำ LCA ของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

Setac การประเมินวัฏจักรชีวิตหมายถึง กระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรมโดยการบ่งชี้ปริมาณของพลังงานวัตถุดิบที่ใช้ และของเสียที่ปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบของ สิ่งเหล่านั้นเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อพัฒนาสิ่งแวดล้อม การประเมินนี้ได้รวมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม และกระบวนการนำ

วัตถุดิบมาใช้ ขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และจัดจำหน่าย การใช้ หรือการใช้ซ้ำ การซ่อมบำรุง การนำกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดในขั้นตอนนี้

รัตติกาล กองบุญ และคณะ ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต สารทำความเย็นระหว่าง HCFC-22 กับ HFC-134a เพื่อศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้วัตถุดิบและช่วงการใช้งานรวมถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ ได้ทราบวิธีการประยุกต์หลักการสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต สำหรับประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น และสามารถนำผลการประเมินและการวิเคราะห์มาพิจารณาวางแผนการเลือกสารทำความเย็นที่จะนำมาใช้ในเครื่องทำความเย็น เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สามารถนำการศึกษานี้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์กระบวนการของผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

Y. Nishioka และคณะ การประเมินความเสี่ยงหรือการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถใช้คำนวณผลกระทบสุทธิและมีผลต่อทั้งกฎเกณฑ์พลังงานที่เข้มมากขึ้น หรือการรับรองนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน แต่มีการวิเคราะห์จำนวนหนึ่งที่ยังมององค์ประกอบของทั้งสองวิธีการเข้าด้วยกัน ในบทความนี้, นำเสนอการวิเคราะห์แบบรวมในส่วนแรก โดยมีจุดประสงค์ในการประมาณผลกระทบต่อสุขภาพสุทธิของการเพิ่มฉนวนกันความร้อนในที่พักอาศัย สำหรับการสร้างที่พักใหม่จากหลักเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานระดับนานาชาติล่าสุด ทำการอภิปรายวิธีการคำนวณแบบวัฏจักรชีวิตที่สามารถให้ผลโดยประมาณซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุน เพื่อหาผลกระทบของต้นทุนภายนอกกับการคำนวณผลประโยชน์ที่ได้รับกับต้นทุน

ในส่วนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น Aubale และคณะ ได้สังเคราะห์ฟิล์มของซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธี chemical bath deposition แล้วใช้ ซิงค์อะซิติก และไทโอยูเรีย เป็นสารตั้งต้น ใช้แก้วเป็นตัวรองรับ ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ค่า pH เวลาที่เกิดฟิล์ม และอุณหภูมิฟิล์ม ของ ซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้จะมีความหนาแตกต่างกัน 76 – 332 นาโนเมตร เพราะว่าเป็นการเตรียมที่เปลี่ยนเวลาของการเกิดฟิล์ม 6- 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 °C

D.A. Johnston และคณะ ได้สังเคราะห์ฟิล์มของซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธี chemical bath deposition โดยใช้ ซิงค์ซัลเฟต และ ไทโอยูเรียเป็นสารตั้งต้น ใช้ แก้วเป็นตัวรองรับและใช้ โซเดียม ซิเตรต เป็นสารเอเจนต์ อุณหภูมิ ที่ใช้ในการทดลอง 70 °C เวลาที่เกิดฟิล์ม 50 นาที จากการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์มีขนาดอนุภาค 50-100 นาโนเมตร การสังเคราะห์โดยวิธี chemical bath deposition นั้นมีมากมาย ดังได้แสดงในตาราง

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย
S.D. Sartale, B.R. Sankapal	Preparation of nanocrystalline ZnS by a new chemical bath deposition route
Ran Zhai, ShuBo Wang	Rapid formation of CdS, ZnS thin films by microwave-assisted chemical bath deposition
Sambhu Kundu ,Larry C. Olsen	Chemical bath deposited zinc sulfide buffer layers for copper indium gallium sulfur-selenide solar cells and device analysis
U. Gangopadhyay, Kyunghae Kim	Low cost CBD ZnS antireflection coating on large area commercial mono-crystalline silicon solar cells
J. Vidal, O. de Melo	Influence of magnetic field and type of substrate on the growth of ZnS films by chemical bath
T. Nakada, M. Mizutani,	High-efficiency Cu(In,Ga)Se ₂ thin-film solar cells with a CBD-ZnS buffer layer
Paul O'Brien, David J. Otway	The importance of ternary complexes in defining basic conditions for the deposition of ZnS by aqueous chemical bath deposition
J. Vidal, O. Vigil	Influence of NH ₃ concentration and annealing in the properties of chemical bath deposited ZnS films
I. O. Oladeji ,L. Chow	A study of the effects of ammonium salts on chemical bath deposited zinc sulfide thin films
T. Ben Nasr, N. Kamoun	Effect of pH on the properties of ZnS thin films grown by chemical bath deposition
A. Antony, K.V. Murali	The effect of the pH value on the growth and properties of chemical-bath-deposited ZnS thin films

นอกจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์แล้วแล้วยังมีการสังเคราะห์ด้วยวิธี chemical vapour deposition โดย C.S. Chang และคณะ ได้สังเคราะห์อนุภาคซิงค์ซัลไฟด์โดยใช้ ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ และซิงค์ เป็นสารตั้งต้นและใช้ อาร์กอน เป็น แครีแก๊ส อุณหภูมิที่ทำให้ซิงค์ หลอมละลายคือ 685 °C อัตราการไหลของ ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ 0.8 l/min ฟิล์มจะเกิดที่อุณหภูมิ 850 °C โดยใช้เวลา 16 ชั่วโมง อนุภาคของ ซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้ ประมาณ 2 ไมโครเมตร

N.H. Tran และคณะ ได้สังเคราะห์อนุภาคซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี single source chemical vapour deposition โดยใช้ ซิงค์ ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมท (zinc diethyldithiocarbamate) เป็นสารตั้งต้น ใช้ซิลิกอนเป็นตัวรองรับ การเกิด ฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์ จะเกิดที่อุณหภูมิมากกว่า 300 °C เมื่อวัดอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์โดย UV-vis absorption จะพบว่า ฟิล์ม เป็นลูกบาศก์ขนาด 36- 50นาโนเมตร ตารางนี้แสดงถึงผู้วิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์โดยวิธี chemical vapour deposition

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย
Z.Z. Zhang, D.Z. Shen	The growth of single cubic phase ZnS thin films on silica glass by plasma-assisted metalorganic chemical vapor deposition
Everett Y.M. Lee, Nguyen H. Tran	Growth of ZnS films by chemical vapor deposition of Zn[S ₂ CN(CH ₃) ₂] ₂ precursor
C. S. Chang, J. L. He	The grain size effect on the empirically determined erosion resistance of CVD-ZnS
Fang Zhenyi	CVD growth of bulk polycrystalline ZnS and its optical properties
N. H. Tran, R. N. Lamb	Single source chemical vapour deposition of zinc sulphide thin films: film composition and structure
J. R. Heine, J. Rodriguez-Viejo	Synthesis of CdSe quantum dot-ZnS matrix thin films via electrospray organometallic chemical vapor deposition
Satoshi Suzuki, Susumu Kitagawa	Structure and resistivity of heat-treated polycrystalline zinc sulfide prepared by chemical vapor deposition
Akiyoshi Mikami, Kosuke Terada	Chemical vapor deposition of ZnS: Mn electroluminescent films in a low-pressure halogen transport system
Takashi Yasuda, Kazuhiko	Plasma-enhanced doping of manganese in zinc sulfide layers during metalorganic chemical vapor deposition
Dario M. Frigo, Omar F. Z. Khan	Growth of epitaxial and highly oriented thin films of cadmium and cadmium zinc sulfide by low-pressure metalorganic chemical vapour deposition using diethyldithiocarbamates
N. G. Patel , A. G. Fischer	Conducting luminescent ZnS films formed by plasma-assisted metal-organic chemical vapour deposition
P. J. Wright, B. Cockayne	Manganese doping of ZnS and ZnSe epitaxial layers grown by organometallic chemical vapour deposition

I.Wuled Lenggoro และคณะ ได้สังเคราะห์อนุภาคซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี eletrospray pyrolysis โดยใช้ซิงค์ ไนเตรต และ โทโอยูเรีย เป็นสารตั้งต้น โดยให้ความเข้มข้น 0.0025 ถึง 0.2 mol/l และ อิเล็กทริคัล คอนดักติวิตี (electrical conductivities) ระหว่าง 10^{-4} และ 10^{-1} S/m เป็นอิเล็กโตรสเปรย์ จากนั้นศึกษาอัตราการไหลของของเหลวที่ สเปรย์ จาก 0.05 ถึง 0.16 ml/h จากการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์มีขนาดอนุภาค 20 – 50 นาโนเมตร อัตราการไหลของของเหลว 0.10 ml/h การสังเคราะห์โดย eletrospray pyrolysis ได้นิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งได้แสดงอยู่ในตาราง

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย
M.C. López, J.P. Espinos	Growth of ZnS thin films obtained by chemical spray pyrolysis: The influence of precursors
Mustafa ozta,A. Necmeddin Yazici	The effect of pre-irradiation heat treatment on TL glow curves of ZnS thin film deposited by spray pyrolysis method
A. Necmeddin Yazici, Mustafa ozta	Effect of sample producing conditions on the thermoluminescence properties of ZnS thin films developed by spray pyrolysis method
B. Elidrissi, M. Addou	Structure, composition and optical properties of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis
I. Wuled Lenggoro, Kikuo Okuyama	Preparation of ZnS nanoparticles by eletrospray pyrolysis
H. H. Afifi, S. A. Mahmoud	Structural study of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis
A. AshourH. H. AfifiS. A. Mahmoud	Effect of some spray pyrolysis parameters on electrical and optical properties of ZnS films
Mustafa Ozta, Metin Bedir	Characterization of copper-doped sprayed ZnS thin films
János Madarász, Petra Bombicz	Thermal decomposition of thiourea complexes of Cu(I), Zn(II), and Sn(II) chlorides as precursors for the spray pyrolysis deposition of sulfide thin films
R. D. Pike, H. Cui	Preparation of zinc sulfide thin films by ultrasonic spray pyrolysis from bis(diethyldithiocarbamate) zinc(II)
I. W. Lenggoro ,K. Okuyama	Preparation of nanometer-sized zinc sulfide particles by eletrospray pyrolysis

G. Laukaitis และคณะ ได้สังเคราะห์ ฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์ โดยใช้เทคนิค successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) ได้ศึกษา พื้นผิว โดยใช้ซิงค์กลอไรด์ และ โซเดียมซัลไฟด์ เป็นสารตั้งต้น ฟิล์มของซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้คือ 50 nm และมีค่า stress เท่ากับ ($\sim 6.9 \times 10^8 \text{ N m}^{-2}$) การสังเคราะห์โดยวิธี successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) นั้นมีมากมาย ดังได้แสดงในตาราง

ผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย
X. D. Gao, X. M. Li	Morphology and optical properties of amorphous ZnS films deposited by ultrasonic-assisted successive ionic layer adsorption and reaction method
Giedrius Laukaitis, Seppo Lindroos	Stress and morphological development of CdS and ZnS thin films during the SILAR growth on (1 0 0)GaAs
G. Laukaitis, S. Lindroos	Stress and surface studies of SILAR grown ZnS thin films on (100)GaAs substrates
Mika P. Valkonen, Seppo Lindroos	Growth of zinc sulfide thin films on (100)Si with the successive ionic layer adsorption and reaction method studied by atomic force microscopy
S. Lindroos, Y. Charreire	Growth and Characterization of Zinc Sulfide Thin Films Deposited by the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (Silar) Method Using Complexed Zinc Ions As the Cation Precursor
Seppo Lindroos, Tapio Kanniainen	Growth of zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (Silar) method on polyester substrates
Mika P. Valkonen, Seppo Lindroos	Thin multilayer CdS/ZnS films grown by SILAR technique
Mika P. Valkonen, Tapio Kanniainen	Growth of ZnS, CdS and multilayer ZnS/CdS thin films by SILAR technique
Seppo Lindroos, Tapio Kanniainen	Deposition of manganese-doped zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 เครื่องมือการจัดการและการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ได้มีการพยายามนำเครื่องมือการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วยในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เพื่อระบุขนาดและความหนักเบาของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือโครงการในปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น Life Cycle Assessment (LCA) , RA (Risk Assessment) , EIA (Environmental Impact Assessment) , EPE (Environmental Performance Evaluation) โดยแต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกัน แสดงในตารางที่ 3. 1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม					
เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)	
วัตถุประสงค์รวม	-เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้าง ทางสิ่งแวดล้อมของระบบ -เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	-เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ มนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง กับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวก และลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผน โครงการในอนาคต	-เพื่อค้นหาข้อมูลที่เชื่อถือและ พิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะ ทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร	
ข้อดี	-พิจารณาผลกระทบทั้งระดับ โลกและภูมิภาค -สะดวกในการพิจารณาผล กระทบต่อสังคม	ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และ ภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	-ประเมินผลกระทบทั้งด้าน บวกและลบ -พิจารณาผลกระทบของโครง การในระดับพื้นที่	มีการวัดสมรรถนะทาง สิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรง กับนโยบายและเป้าหมาย	
ข้อเสีย	ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	มิได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิต ไม่พิจารณาถึงปริมาณการใช้ ทรัพยากร	ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบ ระดับโลก ภูมิภาค และตลอด วงจรชีวิต	ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ใน การวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม	
ผู้ใช้; อุตสาหกรรม	-มุ่งเน้นในการปรับปรุง -กลยุทธ์ในการวางแผนระยะยาว -ติดต่อสื่อสาร	-เพื่อตรวจสอบการยอมรับของความ เสี่ยง	-เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ ทางกฎหมาย -ชี้วัดความต้องการในการเปลี่ยน	-เพื่อวัดสมรรถนะ ทางสิ่งแวดล้อมและการปรับปรุง -เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทางธุรกิจ	

ตารางที่3.1 (ต่อ) เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (environmental Impact Assessment)	EPE (Environmenral Performance Evaluation)
หน่วยงานรัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบ วงจร	-เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่ยอมรับได้ -ในการจัดสรรลำดับทรัพยากรให้ เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย	เป็นเหมือนข้อมูลเข้าเพื่อช่วยใน การตัดสินใจในการยอมรับแผน โครงการ	เพื่อติดตามความก้าวหน้า
หน่วยงานที่มีใช้รัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบ วงจรแต่ยังมีข้อสงสัยในการ ประยุกต์ใช้	-เพื่อคัดค้านการยอมรับสถาน การณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผน โครงการ	ไม่ได้นำไปใช้
เป้าหมายของการ วิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการ โดยทั่วไป เป็นโครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่างๆขององค์กร
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณาผลกระทบ ทางด้านใด	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวม จากการใช้ทรัพยากรและข้อ เสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการ ต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรม ขององค์กร

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

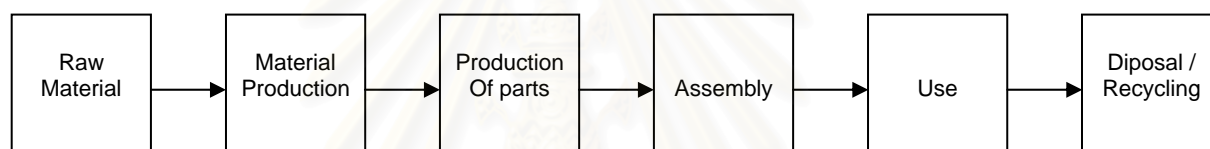
เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
การแปลผล	การประเมินผลกระทบ	เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับ ได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของ สมรรถนะ
ฐานการเปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	สถานการณ์ที่ต้องการการ เปรียบเทียบ	โครงการ	หน่วยการทำงาน

ที่มา : SETAC- Europe Working Group , 2003

3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต

3.2.1 ความหมายและความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 3.1 Life cycle stages

LCA มีประวัติความเป็นมายาวนาน ตั้งแต่ พ.ศ. 2513 ถึง พ.ศ. 2533 ได้มีการเริ่มต้นศึกษาทั้งในสหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป จากนั้น พ.ศ. 2523 สถาบันต่างๆ เช่น สมาคมพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมและเคมี (Society of Environmental Toxicology and Chemistry : SETAC) ได้เข้ามาศึกษาและพัฒนาการวิจัยถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ เรื่อยมา เช่น พลาสติก ของเสียและสิ่งไม่ใช่แล้ว บรรจุภัณฑ์ต่างๆ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2540 สถาบันรับรองมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization Standardization :ISO) ได้กำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 1440-43 ว่าด้วยเรื่องการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอนุกรมที่ทำให้การรับรอง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2545) ได้แก่

ISO 14040 หลักการและแนวทางปฏิบัติโดยทั่วไป

ISO 14041 การวิเคราะห์และบัญชีข้อมูล

ISO 14042 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ISO 14043 การแปลผล

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตลอดจนข้อบังคับต่างๆของสหภาพยุโรปหรือ EU เช่น WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) และ RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substance in Electrical and Electronic Equipment) ถูกมุ่งไปที่ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากประการแรก ผู้ผลิตสินค้าต่างๆแข่งขันกันพัฒนาสินค้าและมีการขยายตลาดทำให้สินค้าชนิดใหม่ๆมีมากขึ้น ส่งผลทำให้มีการบริโภคเพิ่มขึ้นผลกระทบต่างๆจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและพฤติกรรมกรรมการบริโภคของผู้ใช้ที่ต่างไปจากเดิมที่มีการใช้สินค้าจนกระทั่งสินค้านั้นหมดอายุแล้วจึงเปลี่ยนใหม่ กลายเป็นลักษณะของการบริโภคตามเทคโนโลยีมากขึ้น ดังนั้น อายุของสินค้าที่ใช้ได้จริงๆก็จะต่ำลง

สำหรับประเทศไทยเองนั้นสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยก็ได้หาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy :IPP) ของ EU มีการสัมมนากระตุ้นภาคอุตสาหกรรมไทย เร่งทำความเข้าใจนโยบายสินค้าครบวงจรก่อนที่จะบังคับใช้ในปี พ.ศ. 2551 โดยนำมาตรการทางภาษีกดดันผู้ส่งสินค้าให้ได้มาตรฐาน สิ่งแวดล้อมที่กำหนด

ISO (International Standard for Organization) กล่าวว่า การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการตลอดวงจรชีวิตเริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงาน การขนส่ง การผลิต การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้ และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่า พิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมายคือ การใช้ทรัพยากร สุขภาพของมนุษย์ และผลต่อระบบนิเวศ

3.2.2 หลักการและการประยุกต์ใช้ LCA

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่มีอยู่ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่ LCA จะเป็นการมองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อน มากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- 1) การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง / ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ถูกใช้ การปล่อยของเสียและการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม
- 2) การประเมินและการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาภาระทางสิ่งแวดล้อมต่างๆที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก
- 3) การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจการเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

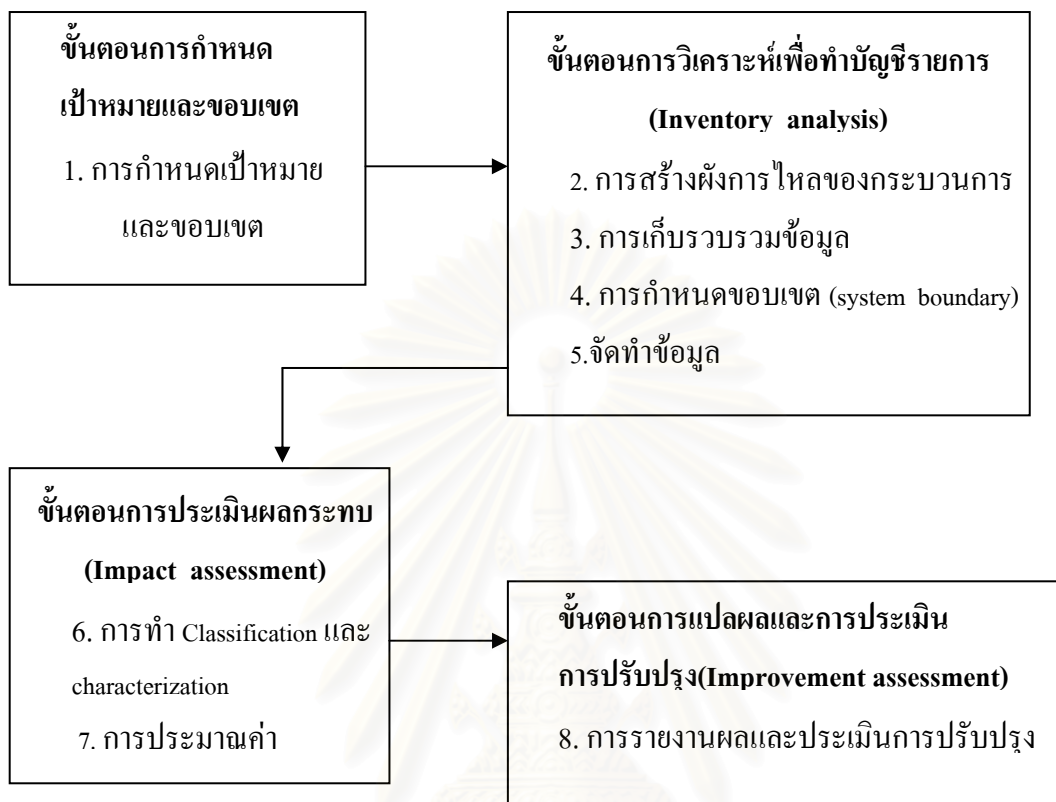
วัตถุประสงค์ของ LCA คือ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น LCA จึงเป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts assessment) ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การสร้างหรือต่อเติมโรงงานหรือสาธารณูปโภคชนิดใหม่

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบทางมลพิษต่างๆจากการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะแห่ง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และคุณลักษณะของเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิด จะพบว่าการทำ LCA เป็นการพิจารณาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตและไม่มีข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์และระยะเวลา

การประยุกต์ใช้ LCA

LCA ทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางการดำเนินการด้านของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทั้งต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค และกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม

3.2.3 ขั้นตอนในการศึกษา การประเมินวัฏจักรชีวิต



รูปที่ 3.2 กรอบการดำเนินงาน LCA ของ UNEP

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

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็น ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญคือ

- การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)
- การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)
- หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)
- หน่วยการทำงาน (Functional unit)
- ขอบเขตของระบบ (System boundaries)
- คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

เป้าหมายของการศึกษา LCA ควรมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ ควรกำหนดเหตุผลในการศึกษา และจุดหมายของผู้ที่จะนำผลการศึกษาไปเผยแพร่หรือใช้ในงานต่อ นอกจากนี้ควรประเมินว่าวิธีการวิเคราะห์ห่วิธีใดสามารถมาใช้ในการศึกษาได้บ้าง เพราะถ้านำผลการวิเคราะห์ไปใช้อย่างผิดๆจะนำไปสู่การสรุปผลที่ไม่ถูกต้อง

การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

ขอบเขตของการศึกษาเป็นตัวกำหนด ระบบ ขอบเขต ความต้องการของข้อมูล สมมุติฐานและข้อจำกัดของข้อมูล โดยที่ควรมีการกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างและความลึกในการวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งขอบเขตทั้งหมดรวมทั้งลำดับขั้นและสมมุติฐานควรกล่าวไว้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย ในบางครั้งอาจต้องกล่าวรวมถึงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (ท้องถิ่น เชื้อชาติ ภูมิภาค ทวีปหรือโลก) และเวลา (ชีวิตของผลิตภัณฑ์ และช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาศึกษา) ด้วย

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตก็คือ การบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. กำหนดสิ่งที่จะศึกษารวมทั้งกำหนด Functional Unit
2. การเลือกระบบอ้างอิง หรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงให้เห็นวัตถุประสงค์ของการศึกษา
3. การออกแบบตัวแปร (Parameter) ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA
4. บ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA
5. การกำหนดขอบเขตของเวลา สำหรับการตัดสินใจที่จะใช้ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ LCA รวมทั้งกำหนดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการประเมินทางสิ่งแวดล้อมมาแล้ว
6. การจัดสรรการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา LCA ควรระบุหน้าที่ และคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่งๆอาจมีหน้าที่หลายอย่างเช่น รองเท้า มีหน้าที่

หลักคือใส่เพื่อป้องกันเท้า และยังมีหน้าที่รองอื่นๆที่เป็นปัจจัยสำคัญ เช่นใส่เพื่อเป็นแฟชั่น ใส่เพื่อเป็นความเหมาะสมกับชุดหรือเพื่อเป็นทางการ หรือใส่แล้วสะดวกสบายกับผู้ใช้ อีกตัวอย่างเช่น หน้าที่หลักของสีทาบ้าน คือทาเพื่อรักษาวัสดุที่เป็นตัวบ้าน แต่ยังมีหน้าที่รองอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่นเพื่อความสวยงามเป็นต้น ซึ่งหากต้องการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ที่ครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง จะทำให้การศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนและยากยิ่งขึ้นดังนั้นหน้าที่ที่ถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA จะสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

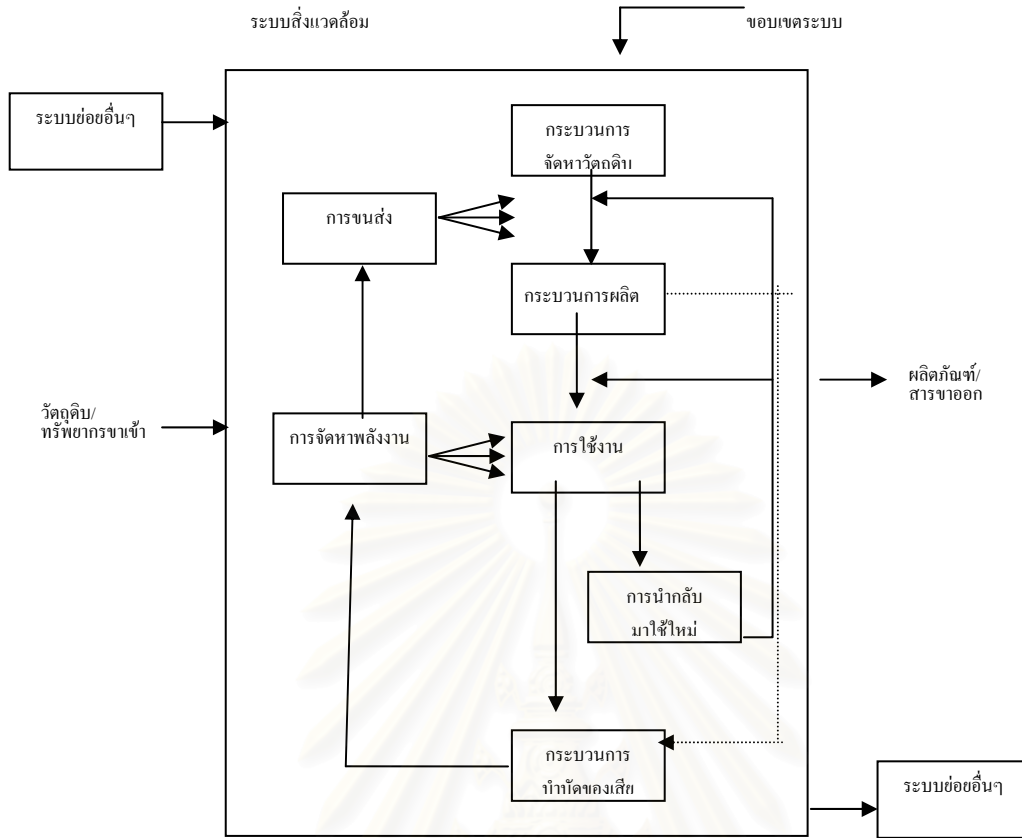
หน่วยการทำงาน (Function Unit)

หน่วยการทำงาน จะถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าหรือสารขาออกของระบบ หน่วยการทำงานมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระบบที่ต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบ เช่น

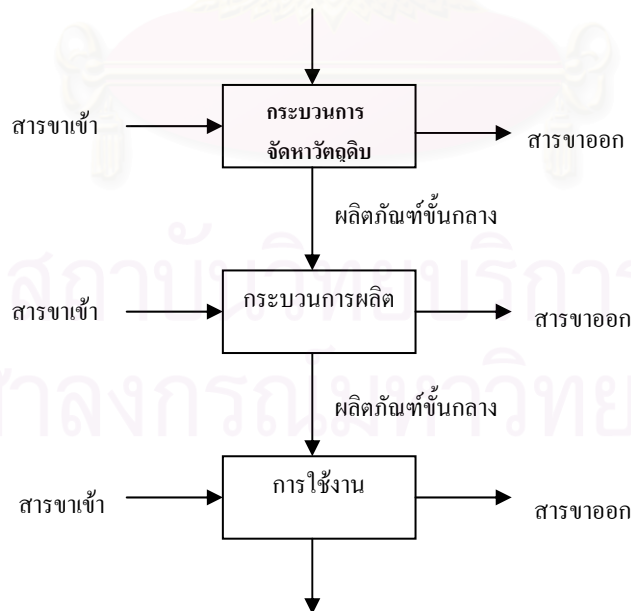
- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียม 1 กระป๋อง หรือ
- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียมจากปริมาณวัตถุดิบ 1 ตันอลูมิเนียม
- การกำหนดปริมาณของสารซักฟอกที่จำเป็นสำหรับการซักล้างในครัวเรือน
- จำนวนมือที่ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อน
- ขวดพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำผลไม้ขนาด 2 ลิตร

ขอบเขตของระบบ (System boundary)

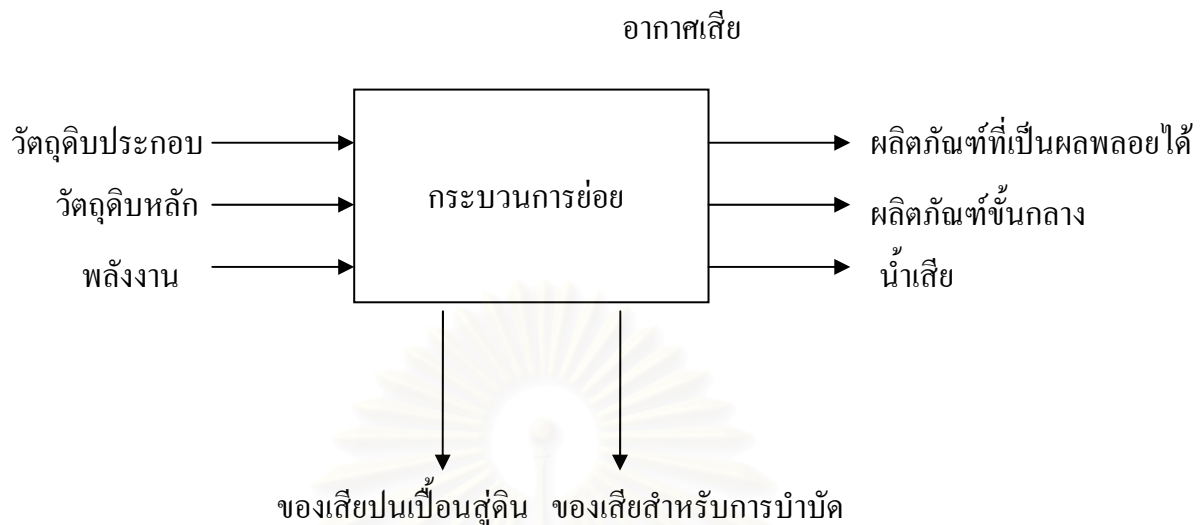
ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์ (product system) กับสิ่งแวดล้อม หรือกับผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นจากระบวนการย่อยโดยระบบกระบวนการย่อย (unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆออกสู่สิ่งแวดล้อม (รูปที่ 3.3 ถึง รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแสดงขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำ LCI
ที่มา : International Standard ISO 14041 : 1998 (E)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างชุดของกระบวนการย่อยที่อยู่ภายในระบบผลิตภัณฑ์
ที่มา : International Standard ISO 14041 : 1998 (E)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกระบวนการย่อย สารขาเข้าและสารขาออก

ที่มา : International Standard ISO 14041 : 1998 (E)

ขอบเขตระบบที่กำหนดขึ้นในการศึกษา LCA จะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษาซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ ทรัพยากร และเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใดจำเป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้

นอกเหนือจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (process flow diagram) ภายในระบบผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นและจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา LCA เนื่องจากทำให้การระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างครบถ้วน อันจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมวลสารและพลังงานของแต่ละกระบวนการเป็นไปได้ถูกต้อง

การสร้างแผนภาพกระบวนการทำได้โดยเริ่มจากกระบวนการย่อยเริ่มต้น ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของการรับวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง (intermediate products) แล้วจึงเขียนกระบวนการย่อยอื่นที่ต่อเนื่องมาก ไปจนถึงกระบวนการย่อยสุดท้ายซึ่งอาจเป็นกระบวนการปลายทางของผลิตภัณฑ์ขั้นกลางหรือผลิตภัณฑ์สุดท้าย และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการ

กำหนดขอบเขตของระบบ คือ ควรมีการอธิบายรายละเอียดของวิธีปันส่วน (allocation) ของข้อมูล สารขาเข้าหรือสารขาออกที่ชัดเจน เพื่อให้ผู้อ่านหรือผู้ศึกษาต่อสามารถเข้าใจได้อย่างถูกต้อง

คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

เนื่องจากการศึกษาด้าน LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการระบุ รายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็น การระบุคุณภาพของข้อมูลควร ครอบคลุมถึงตัวแปรที่สำคัญ เช่น

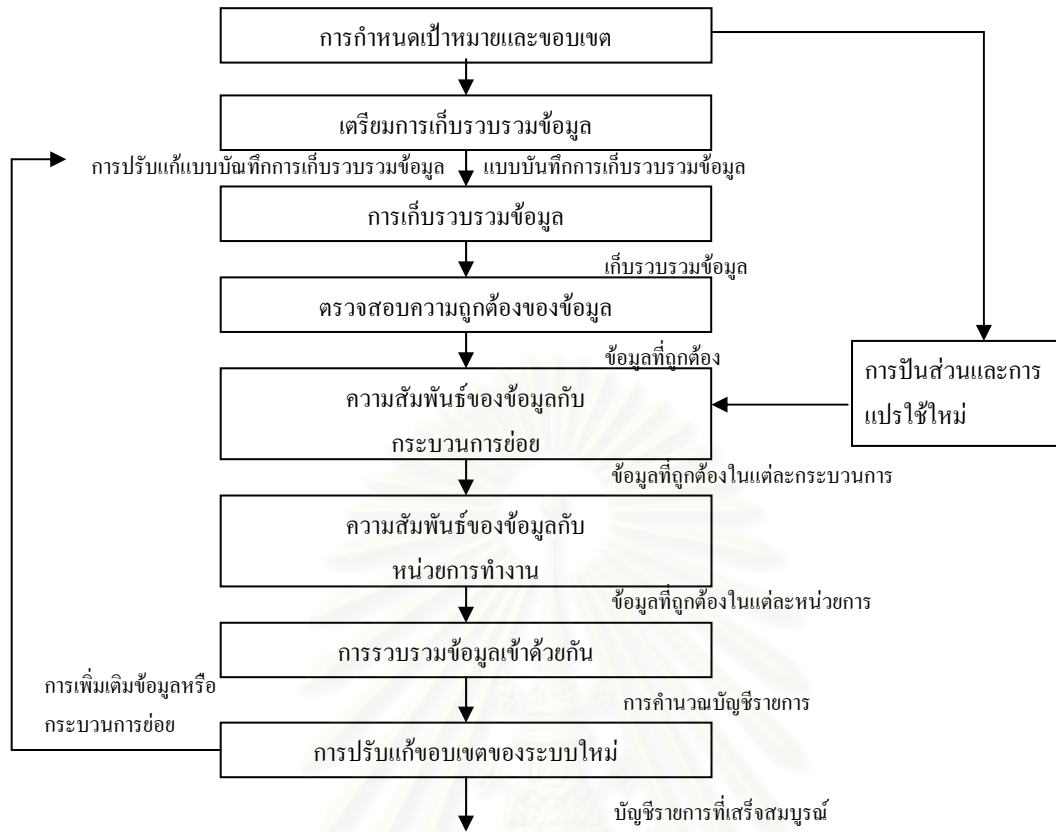
- ช่วงเวลาของข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใด และ ระยะเวลาการเก็บข้อมูลเท่าใด และระยะเวลาการเก็บข้อมูลเท่าใด
- ลักษณะที่มาของข้อมูล ว่าเป็นข้อมูลจากกระบวนการใด เป็นข้อมูลการผลิตจริง หรือเป็นข้อมูลสถิติ ข้อมูลเป็นตัวแทนของโรงงานเดียวหรือเป็นตัวแทนของภาพรวม อุตสาหกรรม
- ด้านเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับข้อมูล ว่าข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลจากสภาวะ การผลิตปกติ ผิดปกติ หรือมาจากช่วงที่กำลังการผลิตสูงสุด เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการ วิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

และหากข้อมูลใดที่ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้อง อธิบายสมมติฐานต่างๆที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดเพื่อให้ผู้อ่านผลการศึกษารู้ถึงที่มาของ ข้อมูลและผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

3.2.4 การทำบัญชีรายการ (Inventory)

จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการกำหนดไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหา ปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึง ทรัพยากรและพลังงาน ที่ใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมนั้นควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณ ความถูกต้องของข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล กับระบบย่อย การกำหนดขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น (Refining system boundaries) และ การปันส่วน (Allocation) ขั้นตอนต่างๆ ในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของ ผลิตภัณฑ์นั้น มีดังนี้



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ
ที่มา: อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041:1998 หน้า 8

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจาก

- การร่างผังการไหลที่แสดงถึงกระบวนการย่อย (unit process) ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย

- การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อยและหาความสัมพันธ์ของการจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยนั้น

- กำหนดและระบุหน่วยที่ใช้ในการวัด

- อธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเทคนิคในการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อช่วยให้ทราบแหล่งที่มา และทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่ต้องใช้เพื่อการศึกษา LCA ในครั้งนี้ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจเริ่มจากรายงานต่างๆและสื่อสิ่งพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้ และควรมีรายงานที่มาของข้อมูลเป็นรายลักษณ์อักษร

อย่างชัดเจน ในกรณีที่ต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลเป็นพิเศษ หรือมีข้อมูลที่ผิดปกติแต่จำเป็นต้องใช้

- ข้อมูลที่เกี่ยวกับการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในระบบเป็นสิ่งที่สำคัญ ข้อมูลที่เลือกใช้ ควรตรวจสอบย้อนกลับไปถึงวัตถุดิบได้ รวมทั้งต้องมีข้อมูลของสารที่ต้องออกมาจากระบบย่อยทั้งหมดและการปล่อยมลพิษต่างๆออกสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ควรรวมการขนส่งมาอยู่ภายในระบบเดียวกัน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อแบ่งกระบวนการทั้งระบบออกเป็นกระบวนการย่อยต่างๆแล้ว จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน)

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพของสารขาเข้า และสารขาออกจะต้องมีการกำหนดว่ากระบวนการนั้นเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใดพร้อมทั้งกำหนดหน้าที่และหน่วยงานทำงานด้วย เมื่อกระบวนการย่อยมีสารเข้าไปหลายชนิด (เช่น มีทางน้ำเข้าหลายที่เข้าไปในโรงบำบัดน้ำ) หรือสารขาออกหลายชนิด จะต้องมีการขึ้นตอนการปันส่วนมาเกี่ยวข้อง สำหรับพลังงานขาเข้าและขาออกก็ควรมีการกำหนดปริมาณในหน่วยพลังงานและบันทึกหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงเอาไว้

ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Validation of data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการเก็บรวบรวมหรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่นๆ

ความสัมพันธ์ของข้อมูลกับกระบวนการย่อย (Relating data to the specific system)

พื้นฐานของข้อมูลขาเข้าและขาออก บ่อยครั้งที่ได้จากในหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงาน ในหน่วย เมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสัปดาห์ หรือ ของเสียต่อระบบการจัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงนั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

การคำนวณข้อมูล

ในการคำนวณการทำบัญชีรายการที่เกี่ยวกับพลังงานนั้น ควรมีการพิจารณาถึงแหล่งที่มาและแสดงหน่วยของพลังงานไว้ด้วย ส่วนการใช้วัตถุดิบอาจจะคำนวณในหน่วยมวล ซึ่งปกติจะเป็นส่วนที่ป้อนเข้าไปในกระบวนการ ในกรณีที่วัตถุดิบส่วนที่ป้อนเข้าไปเป็นสารอินทรีย์ วิธีการคำนวณจะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์วัตถุดิบนั้นสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงก็ได้ ซึ่งหากใช้เป็นเชื้อเพลิงนำไปเผาไหม้ให้เกิดพลังงาน จะมีการปล่อยก๊าซออกมาและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

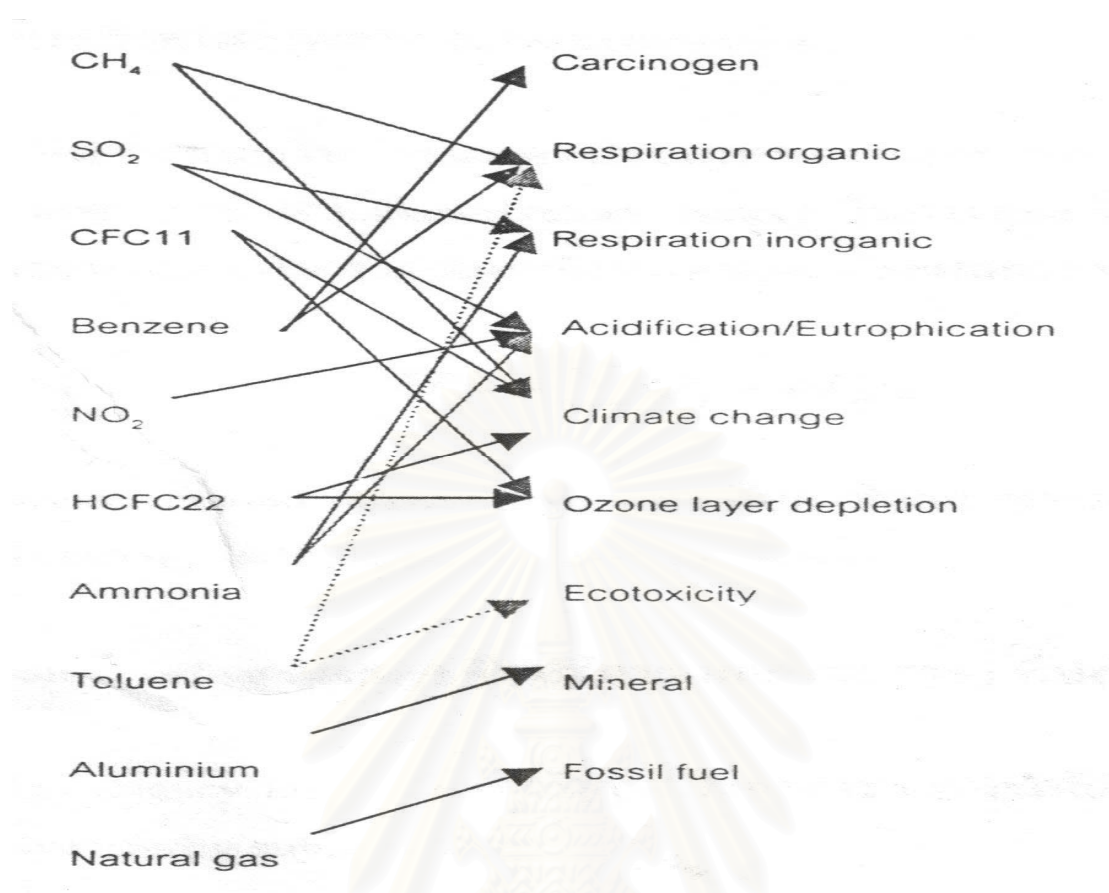
ในทางตรงกันข้าม หากใช้สารอินทรีย์นั้นเป็นวัตถุดิบป้อนเข้า ในระบบดังกล่าวจะสามารถมาแปรใช้ใหม่ได้ ดังนั้น ในการคำนวณการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ใดๆนั้น จะต้องคิดรวมถึงพลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบและความสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วย

3.2.5 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญ แต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม แหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ

การจำแนกประเภท (Classification)

เป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลเข้าและข้อมูลออกไปยังผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) ถูกจัดอยู่ในรูปผลกระทบประเภทการทำให้โลกร้อนขึ้น หรือ Climate change ในบางสารสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบหรือถูกจัดว่าเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทการจัดการเกี่ยวกับปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งสุขภาพมนุษย์และภาวะความเป็นกรด (แต่ไม่ได้เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 50% ของสุขภาพมนุษย์ และ 50% ของภาวะความเป็นกรด กรณีที่สอง ไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งการลดลงของชั้นโอโซนและภาวะความเป็นกรด (แต่เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์จะคิดเป็น 100% ของการลดลงของชั้นโอโซน และ 100% ภาวะความเป็นกรดดูได้ดังภาพ



รูปที่ 3.7 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา : Pre'Consultants, (2001)

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 ประเภทให้เป็นคะแนนเดียว

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

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

WF_j (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

3.2.6 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

ISO (International Standard for Organization) ได้นิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผล เพื่อให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัดและข้อเสนอแนะโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษาประเด็นหลักๆที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียดย และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่น ๆ หรือไม่

การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบของข้อมูลจาก 3 ขั้นตอนแรกของการกระบวนการ การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อที่จะระบุข้อมูลที่ให้ผลกระทบมากที่สุดในการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินค่าผลกระทบในแต่ละกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ การระบุประเด็นสำคัญทางสิ่งแวดล้อมรวมถึง

- ชนิดของบัญชีรายการ เช่น พลังงาน ของเสีย
- ประเภทของผลกระทบ เช่น การใช้ทรัพยากร
- ขั้นหรือ กระบวนการที่เป็นผลสำคัญในการวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือการประเมินผลกระทบ เช่น ขั้นตอนการขนส่ง ขั้นตอนการใช้ กระบวนการผลิตวัตถุดิบ

3.3 โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณและการประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ ประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการประเมินข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษาประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีดังนี้

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ

- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

ซึ่งคุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จภาพที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตแต่ละโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 3.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบ โปรแกรม LCA

หัวข้อ	CUMPAN1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro4.0	TEAM	Umberto3.5	
ประเทศ	Germany	Holland	Denmark	Sweden	Germany	Holland	France	Germany	
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้		62	70	100	>200	250	>600	>200	>350
ราคา	\$6,000	\$215	\$700	\$3,200	\$2,500-8,000	\$2,540	\$3,000	\$1,000-20,000	
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชั่วโมง	<1สัปดาห์	< 1 สัปดาห์	< 1 เดือน	< 1 วัน	< 1 วัน	< 1 สัปดาห์	
วิธีในการประเมินผล	Several	All single score	EDIP,	EPS	Eco	EI95,EI99,EP97,	CML,EPA,	Eco indicator,	
กระทบ		method	environmetal	method	Indicator + create	CML,EDIP,EPS	IPCC,CVCH	Swiss eco	
เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14040	x	-	x	x	x	x	x	x	
แสดงผลในตาราง	x	x	x	x	x	x	x	x	
แสดงผลในรูปภาพ	x	x	x	x	x	x	x	x	
การปรับปรุงข้อมูล	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ทุก 2ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	
แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อมเป็นหน่วย Pt.	-	x	x	x	x	x	x	x	

x หมายถึง มีคุณสมบัติในโปรแกรม

— หมายถึง ไม่มีคุณสมบัติในโปรแกรม

ตารางที่3.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA

หัวข้อ	CUMPAN1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro4.0	TEAM	Umberto3.5
แสดงผลในแต่ละประเภทของผล กระทบ	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถผลเพื่อเปรียบเทียบผลิต ภัณฑ์ได้	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถดึงผลการประเมินออกจาก โปรแกรมได้	x	x	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกร ออกแบบ	x	x	x	x	-	x	-	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกร สิ่งแวดล้อม	x	-	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ ผู้เชี่ยวชาญ ด้าน LCA	-	-	-	x	x	x	x	x
มีฐานข้อมูล	x	x	x	x	x	x	x	x
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปใหม่ได้	x	x	x	x	x	x	x	x

x หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม, - หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

ที่มา : Jonbrink(2000)

โปรแกรมสำเร็จรูป Simapro

ถึงแม้ว่าการเปรียบเทียบสำเร็จรูปดังตารางที่ 3.2 จะเป็นเวอร์ชันที่ไม่ใช่โปรแกรมในปัจจุบัน แต่ผลการเปรียบเทียบนี้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาโปรแกรมที่เหมาะสมได้ จากการเปรียบเทียบข้างต้น จะเห็นได้ว่า โปรแกรมสำเร็จรูป SimsPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปแบบตาราง หรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ ใความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษามาก มีการปรับปรุงฐานข้อมูล

นอกจากนี้แล้วยังสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรม LCA อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ และให้ผลเป็นที่ยอมรับ

EcoIndicator 99

วิธีการประเมินค่าทางผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี 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 EcoIndicator 99 พัฒนาโดย Pre' Consultants (1999) โดยวิธี EcoIndicator ถูกใช้อย่างแพร่หลายและมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลสำหรับข้อมูลทางข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Phylipsen,2002) นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อช่วยเหลือกระบวนการการออกแบบในการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี EcoIndicator 99

- วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียจะถูกแจกแจง ประเภทของผลกระทบซึ่งมีทั้งหมด 9 ประเภท
- ผลกระทบทั้ง 9 ประเภท จะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย

- การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบ มีดังนี้ (ดูตารางที่ 3.3)

Human Health (สุขภาพมนุษย์) ประกอบด้วย

สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)

ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)

ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic

substance)

ภาวะโลกร้อน (Climate change)

การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

Ecosystem (ระบบนิเวศวิทยา) ประกอบด้วย

ภาวะความเป็นกรด / สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / eutrophication)

ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)

Resource depletion (การลดลงของทรัพยากร) ประกอบด้วย

การใช้สินแร่ (Mineral)

การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

กลุ่มเป้าหมายของ การทำลาย; หน่วย	ประเภทของผลกระทบ	สารที่เป็นปัจจัยของ ผลกระทบ
Human health;	Carcinogenic	Arsenic , cadmium , nickel
DALYs(Disability Adjusted Life Years)	Respiration of organic substance	Methane , benzene ,xylene
	Respiration of inorganic substance	CO, Sox , NH3
	Climate change	CO2 , methane , CFCs
	Ozone depletion	CFCs , HFCs
Ecosystem quality ;	Acidification / eutrophication	Sox , Nox , NH3
PDF (Potentially Disappeared Fraction),	Ecotoxicity	Heavy metal , benzene
Resource depletion;	Mineral	Copper , nickel ,zinc
(MJ surplus energy	Fossil fuel	Crude oil ,coal

ที่มา : Phylipsen(2000)

ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จะแสดงหน่วยเป็น DALY (disability – adjusted life years) คำนี้นี้กำหนดโดย World Bank และ WHO

1. Fate analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่ กับความเข้มข้น
2. Effect analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับประเภทของผลกระทบต่อน้ำหนัของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์
3. Damage analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนัของสารกับจำนวนปีที่เจ็บป่วยซึ่งไม่สามารถทำอะไรได้ (DALY / kg)

ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาแสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อมแสดงหน่วยเป็น PDF / m² / year (potentially disappeared fraction)

1. Fate analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่ กับความเข้มข้น

2. Effect analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับหน่วยความเสี่ยง

3. Damage analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของหน่วยความเสี่ยงกับการสูญหาย PDF / m² / year

การใช้ทรัพยากร นำไปสู่การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่และเชื้อเพลิง แสดงหน่วยเป็นปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง (MJ surplus energy)

1. Resource analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของการสกัดทรัพยากร ทรัพยากรอันนำไปสู่การลดลงของทรัพยากร

2. Damage analysis คือ เป็นการสร้างความสัมพันธ์ของการลดลงของ ทรัพยากรกับความพยายามที่เพิ่มขึ้นในการสกัดทรัพยากรในอนาคต

ผลจากการทำ Fate analysis, Effect analysis และ Damage analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือเป็นการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization และการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Weighting จาก Pre' Consultants

Fate factor (F)

$$F, w_i \rightarrow \text{air}; \text{Fate factor} (m^2 y) m^3 = \frac{\text{Concentration}_{in_air} (mg / m^3)}{\text{Emission} (mgy^{-1}) / m^2}$$

$$F, w_i \rightarrow \text{water}; \text{Fate factor} (m^2 y) / y = \frac{\text{Concentration}_{in_water} (mg / l)}{\text{Emission} (mgy^{-1}) / m^2}$$

$$F, w_i \rightarrow \text{food}; \text{Fate factor} (m^2 y) / (kg.d) = \frac{\text{Concentration}_{by_food} (mg / kg / d)}{\text{Emission} (mgy^{-1}) / m^2}$$

ที่มา: Pre' Consultants (2001)

Effect analysis (E)

$$E(\text{cases} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})) = UR(\text{cases} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3) / \text{lifetime}(70 \text{ year}) * \text{pop.density}(\text{person} / \text{m}^2)$$

$$\text{Incidence}(\text{cases} / \text{kg}) = \text{Effect}(\text{cases} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})) * \text{Fate}(\text{m}^2 \cdot \text{y}) / \text{m}^3$$

ที่มา:Pre'Consultants(2001)

Damage analysis(DALYs)

$$\text{DALYs}_{\text{ per kg emission to } w_i} = \text{Incidence}_{w_i - \text{air}}(\text{cases} / \text{kg}) * \text{DALYs}(\text{inhalation}) + \text{Incidence}_{w_i - \text{drw}}(\text{cases} / \text{kg}) * \text{DALYs}(\text{oral uptake}) + \text{Incidence}_{w_i - \text{food}}(\text{cases} / \text{kg}) * \text{DALYs}(\text{oral uptake})$$

ที่มา:Pre'Consultants(2001)

เมื่อ

$w_i = \text{air, water, food}$

UR=Unit Risk

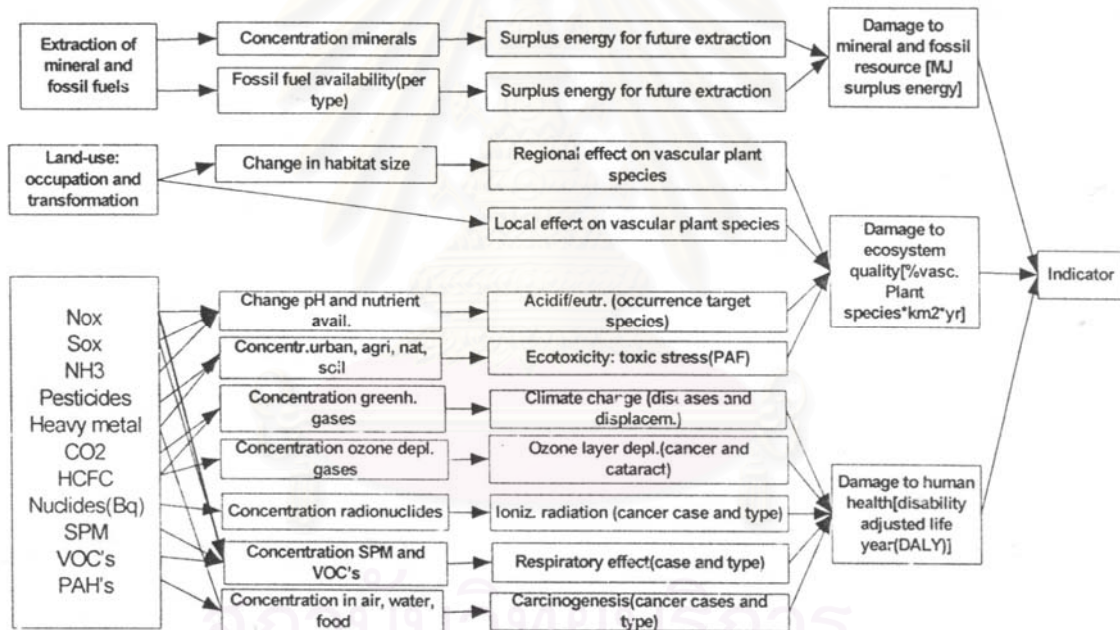
=โอกาสที่จะเป็นโรครันเกิดมาจากสารที่รับเข้าไปในความเข้มข้นหนึ่งไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อช่วงชีวิตหนึ่งของคน 1 คนซึ่งกำหนดว่า 70 ปี

หลังจากจัดกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภท จะทำการเปรียบเทียบกับปีฐาน โดยใช้ค่า Normalization และให้ค่าความสำคัญหรือน้ำหนักโดยใช้ค่า Weighting และรวมเป็นคะแนนเดี่ยว (Single Score หรือ Indicator) ค่า Normalization และ Weighting ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.4 นอกจากนี้ แผนภาพขั้นตอนการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามวิธี EcoIndicator 99 แสดงได้ดังรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 ค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

Damage categories	Pre' Consultants normalization factor	Pre' Consultants weighting factor
Human health	2.65E-01	300
Ecosystem quality	1.95E-04	400
Resource depletion	1.19E-04	300

ที่มา: Pre' Consultants(2001)



รูปที่ 3.8 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี EcoIndicator 99

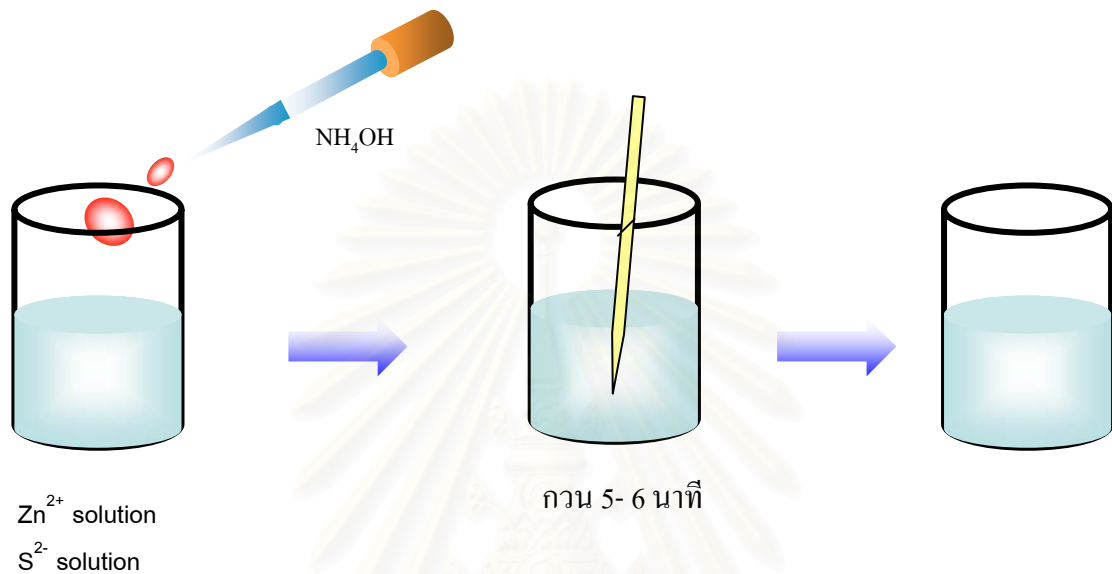
ที่มา: Pre' Consultants(2001)

3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

การสังเคราะห์โดยวิธี chemical bath deposition (D.A. Johnston และคณะ)

การเกิดฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี chemical bath deposition จะมีความหลากหลายโดยขึ้นอยู่กับ ปริมาตรของ ซัลไฟด์ไอออน , pH ของ bath , อุณหภูมิ , เวลา ฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์เกิดโดยการ

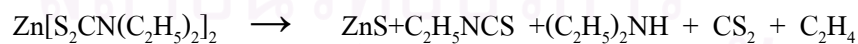
สลายตัวของไทโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$) ในสารละลายต่าง ที่บรรจุไปด้วยเกลือของ ซิงค์ และ สารเอเจนท์ในที่นี้ใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เพื่อให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อน โดยจะเกิดอย่างช้าๆ โดยปล่อยไอออนของ Zn^{2+} , S^{2-} ในสารละลายต่อมาควมแน่นบนตัวรองรับ



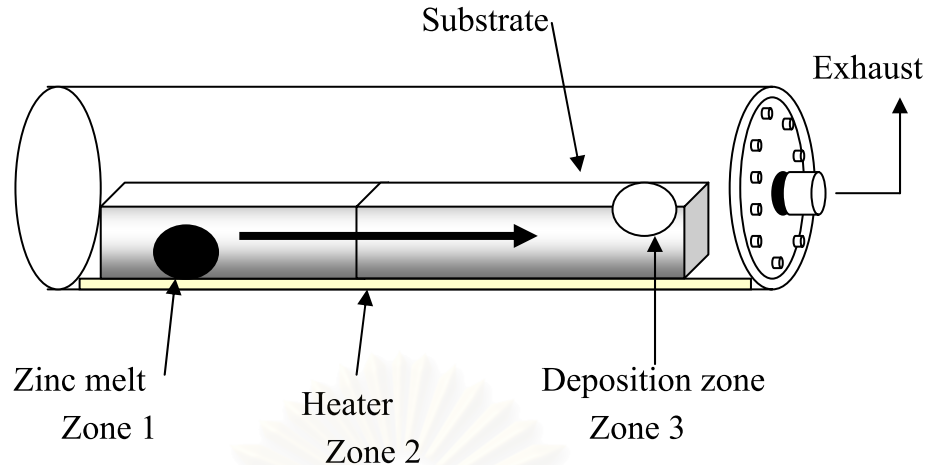
รูปที่ 3.9 กระบวนการ chemical bath deposition

การสังเคราะห์โดยวิธี chemical vapour deposition (N.H. Tran และคณะ)

การผลิตนาโนฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี CVD จะใช้สารระเหยง่ายเพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์มบางๆ และช่วยดึงเอาผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกมาได้ ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต CVD เป็นไปตามสมการ



ซึ่งในการผลิตจะใช้เครื่องปฏิกรณ์แนวนอน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 3.10 โดยนาโนฟิล์มซิงค์ซัลไฟด์ จะเกิดขึ้นที่สถานะสุญญากาศ ความดันประมาณ 10^{-3} mbar และใช้อุณหภูมิ ที่ 400 ถึง 500 °C ขนาดอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 นาโนเมตร



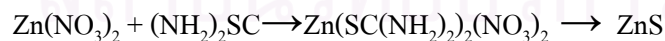
รูปที่ 3.10 กระบวนการ Chemical Vapor Deposition

การสังเคราะห์โดยวิธี spray pyrolysis (I.Wuled Lenggoro และคณะ)

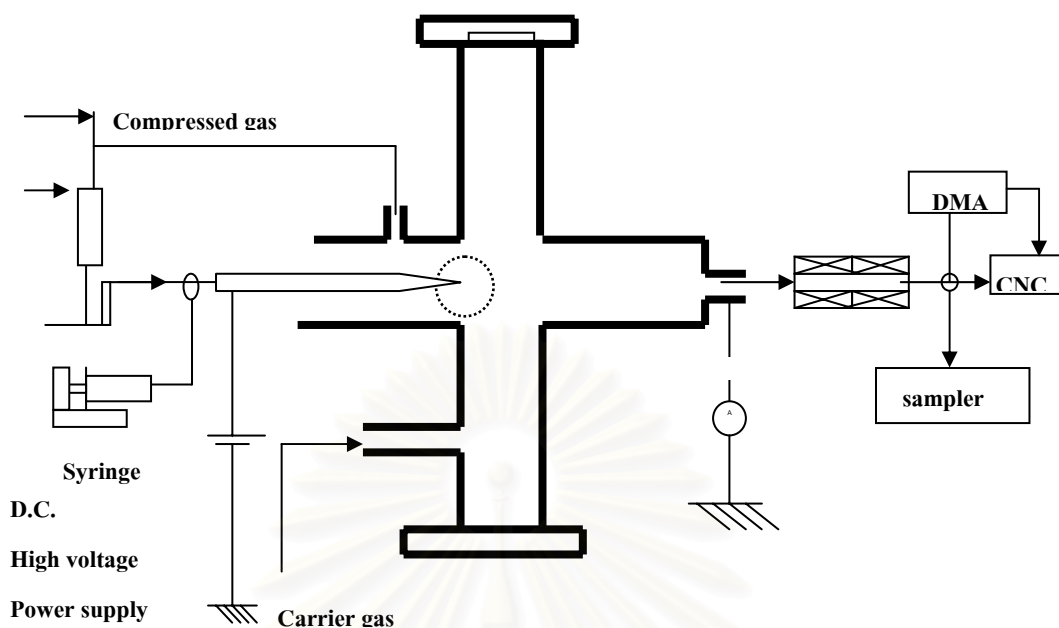
ในการสังเคราะห์นาโนฟิล์มของซิงค์ซัลไฟด์ กระบวนการ spray pyrolysis แสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นสามส่วนคือ

1) อิเล็กโทรสเปรย์ จะฉีดพ่นสารละลายเป็นละอองฝอยด้วยอัตรา 0.05 to 0.16 บนตัวกลางวัสดุแก้วที่สะอาด โดยไนโตรเจนเป็น แก๊ส ก๊าซ และใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเอทานอลสามารถละลายได้ทั้ง ซิงค์ไนเตรด $[Zn(NO_3)_2]$ และไทโอยูเรีย $[SC(NH_2)_2]$ อีกทั้งยังมีแรงตึงผิวต่ำอีกด้วย ทำให้ได้แผ่นนาโนฟิล์มที่มีความหนาค่อนข้างสม่ำเสมอ

2) ปฏิกิริยาความร้อน ในส่วนนี้จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างzincnitrate $[Zn(NO_3)_2]$ และ ไทโอยูเรีย $[SC(NH_2)_2]$ โดยจะเกิดสารละลายเชิงซ้อนขึ้นมาซึ่งจะเปลี่ยนเป็นซิงค์ซัลไฟด์ ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต spray pyrolysis เป็นไปตามสมการ



3) การวิเคราะห์ขนาด ขนาดอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 - 40 นาโนเมตร และเป็นโครงร่างผลึกแบบ hexagonal



รูปที่ 3.11 กระบวนการ spray pyrolysis

การสังเคราะห์โดยวิธี successive ionic layer adsorption and reaction (G. Laukaitis และคณะ)

เทคนิคการเกิด ฟิล์มจากสารละลายไอออนิก ชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่งที่อุณหภูมิห้อง และความดันปกติ วิธีนี้คล้ายกับวิธี CBD แต่ควบคุมการเกิดฟิล์มได้ง่ายกว่าเพราะว่าสารตั้งต้นซึ่งเป็นส่วนประกอบของไอออนบวกและไอออนลบอยู่คนละภาชนะ โดยการเกิด ฟิล์มจะเกิด 4 ขั้นตอนดังนี้

- 1) นำแผ่นรองรับ มาทำความสะอาดกับ อะซิโตน และเอทานอล และทำให้แห้งในสุญญากาศ จากนั้นนำแผ่นรองรับ จุ่มลงในสารละลายไอออนบวก 0.1 M ซิงค์คลอไรด์ pH 5.5 ใช้เวลา 20 วินาที
- 2) นำแผ่นรองรับ มาล้างน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำคือ 300 ml/min
- 3) นำ แผ่นรองรับ จุ่มลงในสารละลายไอออนลบ 0.05 M Na_2S pH 12.5 ใช้เวลา 20 วินาที
- 4) นำแผ่นรองรับ มาล้างน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำคือ 300 ml/min

3.5 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึง ปัจจัย หรือสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่มีและที่แอบแฝงอยู่ ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ และอาจก่อให้เกิด เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของ

สารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุการณ์เหล่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายแก่ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

การประเมินความเสี่ยง เพื่อการป้องกันและควบคุมอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ โรงงาน และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริหารในการดำเนินงานของ โรงงานที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางธุรกิจ และไม่ทำผิดกฎหมาย นอกเหนือจากนั้น โรงงานยังได้รับประโยชน์ต่อการบริหารงานด้านความปลอดภัย โดยมีจุดประสงค์ดังนี้

- 1.ควบคุม กำกับ ดูแล การประกอบกิจการ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม
- 2.ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง
- 3.สร้างความตระหนักในด้านความปลอดภัยแก่ผู้ประกอบการ
- 4.ให้เกิดการทบทวนการดำเนินงานด้านความปลอดภัย

การประเมินความเสี่ยง แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1.การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment)

อันประกอบด้วย กระบวนการบ่งชี้ความเป็นอันตราย (Hazard Identification) ของสารเคมี

สารเคมีอันตรายเป็นสารเคมีซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในภาวะเฉียบพลัน (acute) หรือเรื้อรัง (chronic) ให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับสารเคมีนั้น แหล่งของข้อมูลดังกล่าวจะกล่าวถึงต่อไปนี้อาจเป็นประโยชน์ในการช่วยบ่งชี้ความเป็นอันตรายของสารเคมี

1.ฉลาก (Labels) สารเคมีอันตราย ภาชนะบรรจุสารเคมีทั้งหมดจะมีฉลากติดเพื่อบ่งชี้ถึงส่วนประกอบและอันตรายของสารเคมีนั้นๆ ภาชนะบรรจุสารเคมีส่วนใหญ่จะถูกติดฉลาก โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสารเคมีอันตราย (HMIS) และสมาคมป้องกันไฟแห่งชาติ (NFPA) โดยเป็นฉลากรูปเพชรให้เห็นชัด

2.Material Safety Data Sheets (MSDS)สำเนาของ MSDS สามารถที่จะหาได้จาก DES และหากทำเรื่องขอทาง DES ก็จะมีการจัดส่งให้ ซึ่ง MSDS นี้ทางบริษัทผู้ขายสารเคมีก็จะให้มาพร้อมกับสารเคมีแต่ละตัวที่ได้ทำการจัดซื้ออยู่ด้วยเช่นกัน MSDS ของสารเคมีในแต่ละห้องปฏิบัติการของ มจร. นั้นสามารถที่จะดึงข้อมูลได้จากฐานข้อมูล MSDS ของ DES มจร. โดยใช้คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการ

ความเป็นพิษของสารเคมี แบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. สารที่ทำให้เกิดการระคายเคือง คัน แสบ ร้อน พุพอง เช่น กรด ต่าง ๆ ก๊าซคลอรีน แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
2. สารที่ทำให้หมดสติได้ สารเคมีนี้ไปแทนที่ออกซิเจนเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ในโตรเจน ไชยาไนด์
3. สารเสพติด เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อระบบประสาท เช่นสารที่ระเหยได้ง่าย ได้แก่ แอลกอฮอล์ เบนซินอะซิโตน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม ทำให้ปวดศีรษะเวียนมึนงง
4. สารที่เป็นอันตรายต่อระบบการสร้างโลหิต เช่น ตะกั่วจะไปกดไขกระดูก ซึ่งทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เม็ดเลือดแดงน้อยกว่าปกติ เกิดโลหิตจาง
5. สารที่เป็นอันตรายต่อกระดูก ทำให้กระดูกเสียรูปร่าง หรือทำให้กระดูกเปราะ ฟอสฟอรัส แคลเซียม
6. สารที่ทำอันตรายต่อระบบการหายใจ เช่น ปอด ทำให้เกิดเยื่อพังผืด ไม่สามารถแลกเปลี่ยนกับออกซิเจนได้ ความจุอากาศ ในปอดจะน้อยลง ทำให้หอบง่าย เช่น ฟุนทราย ฟุนถ่านหิน
7. สารก่อกลายพันธุ์ ทำอันตรายต่อโครโมโซม ซึ่งความผิดปกติจะปรากฏให้เห็น ในลูกหรือ ชั้นหลาน เช่น สารกัมมันตภาพรังสี สารฆ่าแมลง โลหะบางชนิด ยาบางชนิด
8. สารก่อมะเร็ง ทำให้สร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาเรื่อย ๆ มากเกินความจำเป็น ทำให้เกิดเนื้องอกชนิดที่ไม่จำเป็น เช่น สารกัมมันตภาพรังสี สารหนู แอสเบสตอสนิเกิล เวนิลคลอไรด์ เบนซิน
9. สารเคมีที่ทำให้ทารกเกิดความพิการคลอดออกมามีอวัยวะไม่ครบ เช่น ปากแหว่ง เพดานโหว่ แขนด้วน ขาดนิ้วตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ยาธาไลโดไมด์ สารตัวทำลายบางชนิด ยาปราบศัตรูพืชบางชนิด

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน(acute exposure tests) เป็นการทดสอบโดยให้สารแก่สัตว์ทดลอง โดยวิธีที่เหมือนกับการได้รับสัมผัสสารในสภาพจริงมากที่สุด การให้มักให้ครั้งเดียว หรือต่อเนื่องภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นสัตว์ทดลองทั้งสองเพศ เพศละ 5-10 ตัว หลังจากนั้นเฝ้าสังเกตอาการของสัตว์ทดลองเป็นเวลานาน 14 วัน สัตว์ทดลองที่มีชีวิตเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะถูกฆ่า และนำไปตรวจด้านพยาธิวิทยาชีวเคมี เพื่อตรวจหาความผิดปกติต่อไป ค่ามาตรฐานที่บอกถึงการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน คือ ค่า LD_{50} และ LC_{50}

LD_{50} (Lethal Dose fifty) : หมายถึง ปริมาณ (dose) ของสารเคมีซึ่งคาดว่าจะทำให้สัตว์ทดลองที่ได้รับสารนั้นเพียงครั้งเดียว ตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50 %) ของจำนวนเริ่มต้น LD_{50} เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลการศึกษา ซึ่งให้สัตว์ทดลองหลายกลุ่มได้รับสารเคมีที่ปริมาณต่างๆ กัน ระยะเวลาที่เฝ้าสังเกตการตายของสัตว์ ประมาณ 2-3 วัน แต่จะไม่เกิน 2 สัปดาห์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความเป็นพิษของสารเคมีในสัตว์ต่างชนิด ซึ่งมีน้ำหนักตัวแตกต่างกันได้ จึงรายงานค่า LD_{50} เป็นน้ำหนักของสารเคมีต่อน้ำหนักของสัตว์ทดลอง เช่น LD_{50} (oral) ของ benzene ในหนู rat เท่ากับ 4,900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3.5 ค่าแสดงระดับความเป็นพิษของ LD_{50}

ค่า LD_{50}	ระดับความเป็นพิษ
$LD_{50} < 1$ มก./นน.กก.	มีความเป็นพิษร้ายแรงมาก (Extremely Toxic)
$1 < LD_{50} \leq 50$ มก./นน.กก.	มีความเป็นพิษร้ายแรง (Highly Toxic)
$50 < LD_{50} \leq 500$ มก./นน.กก.	มีความเป็นพิษปานกลาง (Moderate Toxic)
$0.5 < LD_{50} \leq 5$ กรัม/นน.กก.	มีความเป็นพิษเล็กน้อย (Slightly toxic)
$5 < LD_{50} \leq 15$ กรัม/นน.กก.	ในทางปฏิบัติถือว่าสารนี้ไม่เป็นพิษ (Practical non-Toxic)

LC_{50} (Lethal Concentration fifty) : ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศซึ่งคาดว่าจะทำให้สัตว์ทดลองที่สูดดมในระยะเวลาที่ระบุไว้ตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนเริ่มต้น (LC_{50}) เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลการศึกษา การทดลอง ทำโดยแบ่งสัตว์ทดลองออกเป็นกลุ่ม จำนวนสัตว์ในแต่ละกลุ่มเท่า ๆ กัน กลุ่มละ 10 ตัวหรือมากกว่า ให้สัตว์ทดลองสูดดม ดังนั้นการรายงานค่า LC_{50} จึงต้องระบุระยะเวลาของการทดลองด้วย เช่น LC_{50} (4 ชั่วโมง) ของ benzene ในหนู rat เท่ากับ 44,660 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 ค่าแสดงระดับความเป็นพิษของ LC₅₀

LC ₅₀		ระดับความเป็นพิษ
ก๊าซ	ฝุ่นละออง	
LC ₅₀ ≤ 1000 ppm	LC ₅₀ ≤ 0.5 มก./ลิตร	มีความเป็นพิษร้ายแรงมาก (Extremely Toxic)
1000 < LC ₅₀ ≤ 3000 ppm	0.5 < LC ₅₀ ≤ 2 มก./ลิตร	มีความเป็นพิษร้ายแรง (Highly Toxic)
3000 < LC ₅₀ ≤ 5000 ppm	2 < LC ₅₀ ≤ 10 มก./ลิตร	มีความเป็นพิษปานกลาง (Moderate Toxic)
5000 < LC ₅₀ ≤ 10,000 ppm	10 < LC ₅₀ ≤ 200 มก./ลิตร	มีความเป็นพิษเล็กน้อย (Slightly toxic)
LC ₅₀ > 10,000 ppm	LC ₅₀ > 200 มก./ลิตร	ในทางปฏิบัติถือว่าสารนี้ไม่เป็นพิษ (Practical non-Toxic)

TLV (Threshold Limit Value) : ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน ที่พนักงานเกือบทั้งหมดสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำ ๆ กันแล้ววันละโดย ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย กำหนดขึ้นโดย The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) เพื่อเป็นแนวทางหรือข้อเสนอแนะในการควบคุม สภาพแวดล้อมในการทำงาน แบ่งออกเป็น

- ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (TLV-TWA) คิดที่ 8 ชั่วโมงต่อวันหรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

- ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้น ๆ (TLV-STEL) สำหรับการสัมผัสกับสารเคมีในระยะเวลาสั้น ๆ ปกติประมาณ 15 นาที

- ค่าขีดจำกัดสูงสุด (TLV-Ceiling) จะต้องไม่เกิดค่านี้ไม่ว่าในเวลาใด ๆ ของการทำงาน

2. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

1. การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณ (Dose-Response Assessment)
2. การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)
3. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

บทที่ 4

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทที่แล้วได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ สำหรับในบทนี้จะแสดงแนวทางและขั้นตอนในการประเมิน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ และนำทฤษฎีที่กล่าวถึงมาใช้ในการวิเคราะห์

4.1 วัตถุประสงค์ในการทำงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 และทำการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการที่อาจมีการหลุดรอดของสารเคมี เพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัย สำหรับความเป็นพิษนั้นจะใช้ค่า LD_{50} , LC_{50} , TLV-TWA และ TLV-STEL เป็นดัชนีชี้วัดอันตรายของสารเคมี อีกทั้งเป็นแบบอย่างในการเปรียบเทียบการสังเคราะห์โดยวิธี chemical vapour deposition , spray pyrolysis , chemical bath deposition , successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) และสามารถเลือกการสังเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

ในการทำงานวิจัยนี้เน้นที่จะศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธี chemical vapour deposition , spray pyrolysis , chemical bath deposition , successive ionic layer adsorption and reaction ซึ่งตัวแปรที่คำนึงถึงในการคำนวณมีดังนี้

1. ขนาดอนุภาค फिल्म ของซิงค์ซัลไฟด์

ในการทำโครงการนี้ได้พิจารณาถึงอนุภาคของซิงค์ซัลไฟด์ขนาด 40-50 นาโนเมตร

2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการทำโครงการพิจารณาเปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบ และวิธีการสังเคราะห์ ถึงปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ Pentium IV , Microsoft Window xp 1 เครื่อง
2. โปรแกรมสำเร็จรูป Simapro 6.0

4.4 วิธีดำเนินโครงการ

กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำ LCA ของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

1. ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์และวิธีการสังเคราะห์
2. เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของการสังเคราะห์โดย chemical vapour deposition , spray pyrolysis , chemical bath deposition , successive ionic layer adsorption and reaction

กำหนดขอบเขตการศึกษา (Scope definition)

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนในการทำโครงการนี้จะกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ที่ 40-50 นาโนเมตร

การทำบัญชีรายการ

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสำหรับป้อนลงในโปรแกรม SimaPro6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Material (g)	CBD	CVD	Spray pyrolysis	SILAR
Input	ZnSO ₄	1.659			
	CS(NH ₂) ₂	0.783		0.783	
	NH ₄ OH	0.36			
	Zn(S ₂ CN(C ₂ H ₅) ₂) ₂		3.72		
	Zn(NO ₃) ₂			1.947	
	C ₂ H ₅ OH			0.473	0.473
	N ₂			0.288	
	ZnCl ₂				1.401
	Na ₂ S				0.803
	C ₃ H ₆ O				0.596
	Out put	H ₂ SO ₄	1		
CH ₂ N ₂		0.432		0.432	
H ₂ O		0.185			
NH ₃		0.174			
C ₂ H ₅ NCS			0.895		
(C ₂ H ₅) ₂ NH			0.751		
CS ₂			0.783		
C ₂ H ₄			0.288		
HNO ₃				1.299	
N ₂				0.288	
C ₂ H ₅ OH				0.473	0.473
C ₃ H ₆ O					0.596
NaCl					1.205
Out put Product	ZnS	1	1	1	1

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Impact assessment)

วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ใช้คือโปรแกรม SimaPro 6.0

1. ป้อนชื่อโครงการที่จะทำลงไป ซึ่งในที่นี้คือ การสังเคราะห์ซิงค์ซัลไฟด์
2. ป้อนข้อมูลด้านต่างๆลงไป ซึ่งได้แก่ วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์
3. นำผลที่ได้มาประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (Impact assessment)

จากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro วิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งในโปรแกรมแบ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

Carcinogen สารก่อมะเร็ง

Respiratory organic สารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ ได้แก่ มีเทน (Methane) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ไม่ใช่มีเทน (Non Methane Organic Compound) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอน

Respiratory inorganics สารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2), ฝุ่นละออง (Dust)

Climate change อุณหภูมิของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป เกิดจากก๊าซที่มีผลต่อภาวะเรือนกระจกคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์

Ozone layer depletion ปัญหาการลดลงของโอโซนเกิดจากการปล่อยสาร Halocarbons ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ ทำให้ปริมาณโอโซนลดลงซึ่งปริมาณความเข้มข้นของรังสี UV ในแสงอาทิตย์สามารถส่องถึงพื้นโลกได้โดยตรงเป็นอันตรายต่อทุกสิ่งในโลก

Ecotoxicity นิเวศวิทยาเป็นพิษ

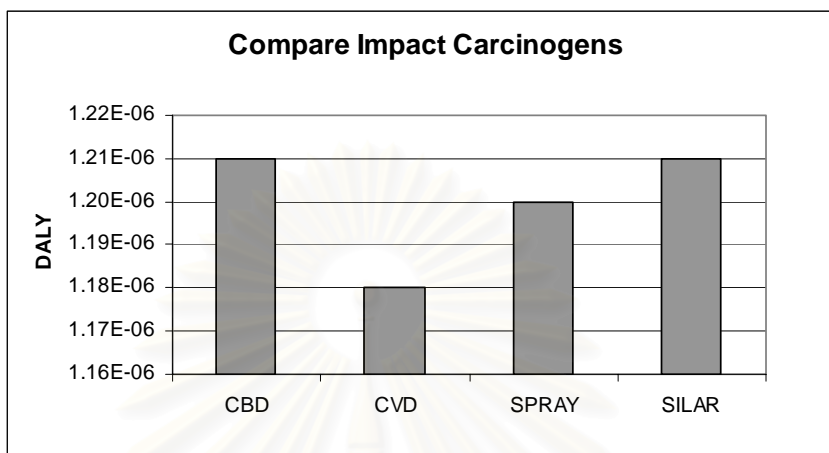
Acidification เป็นปัญหาภาวะความเป็นกรดในบรรยากาศ เกิดจากการปล่อยก๊าซพิษที่สามารถก่อตัวรวมกับไอน้ำในบรรยากาศเกิดเป็นกรดร้ายแรงได้

Minerals ปัญหาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยแหล่งทรัพยากรส่วนมากใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างตัวนานมากๆ เช่นแร่ธาตุต่างๆมนุษย์มีการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองโดยไม่มีการประหยัด ถ้าไม่มีการรณรงค์เรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) วัสดุต่างๆเหล่านี้จะหมดไป

Fossil fuel depletion ปัญหาการลดลงของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อฟอสซิล เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ปัจจุบันเชื้อเพลิงเหล่านี้มีปริมาณลดลงมากเนื่องจากการเติบโตของประชากรสูง มีความต้องการใช้เชื้อเพลิงนี้มากยิ่งขึ้น ถือเป็นปัญหาสำคัญลำดับต้นๆในการพิจารณาเรื่องผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสังคม

นำข้อมูลที่ได้มาใส่ลงโปรแกรมเพื่อประมวลผลออกมา และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงการสังเคราะห์ การเปรียบเทียบผลกระทบของการสังเคราะห์

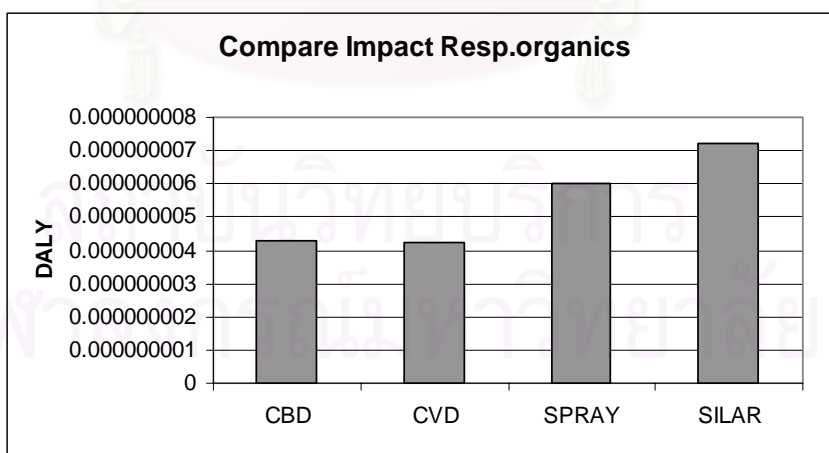
5.1.1 สารก่อมะเร็ง(Carcinogen)



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง (Carcinogen)

จากผลที่แสดงในรูปที่ 5.1. ซึ่งให้เห็นว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี CBD มีผลทำให้เกิดสารก่อมะเร็งมากที่สุด ซึ่งสารก่อมะเร็งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

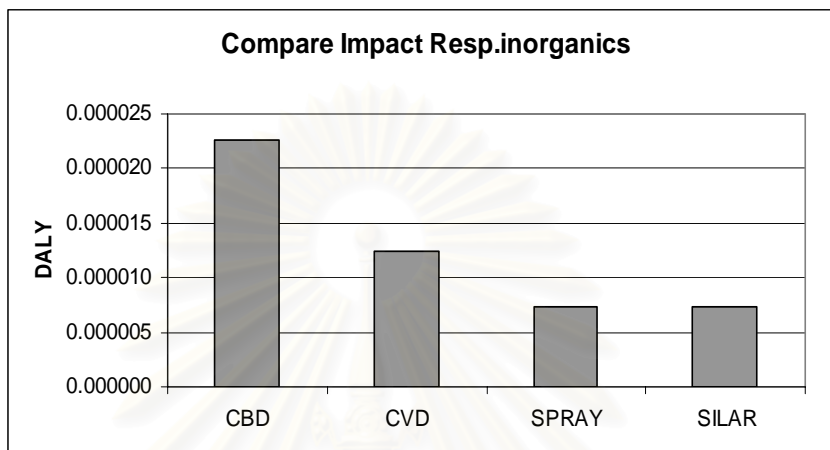
5.1.2 สารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ (Respiratory organics)



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ (Respiratory organics)

จากรูปที่ 5.2 ผลกระทบด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ทั้งสี่วิธี ซึ่งจากผลการประเมินวิธีการสังเคราะห์ CVD มีผลกระทบด้านระบบหายใจมากกว่าการสังเคราะห์วิธีอื่นมาก

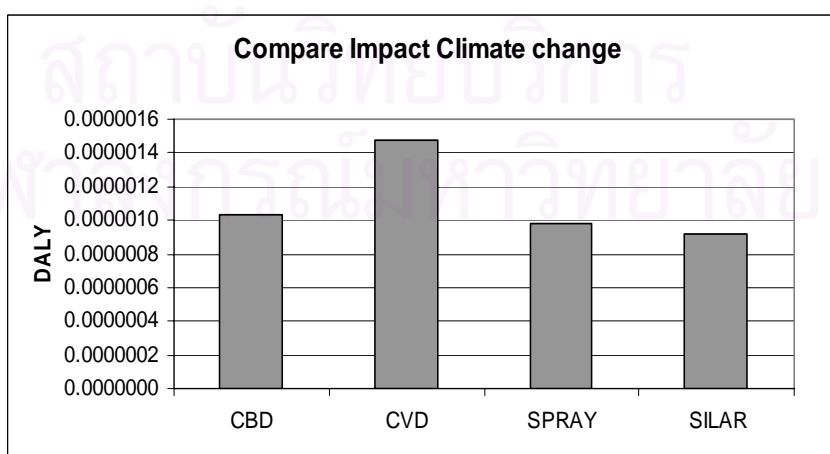
5.1.3 สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ (Respiratory inorganics)



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจ (Respiratory inorganic)

จากรูปที่ 5.3 ผลกระทบด้านสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อระบบหายใจของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ทั้งสี่วิธี ซึ่งผลการประเมินวิธีการสังเคราะห์ CBD มีผลกระทบด้านระบบหายใจมากกว่าการสังเคราะห์วิธีอื่น

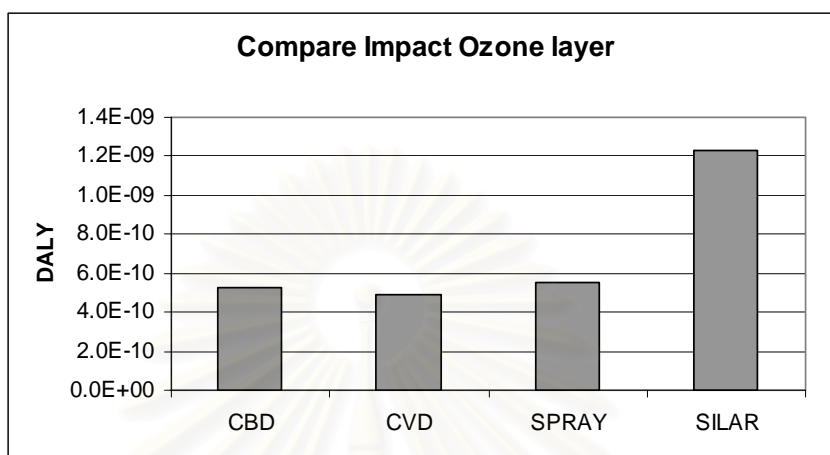
5.1.4 อุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลงไป (Climate change)



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านอุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลง (Climate change)

จากรูปที่ 5.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์วิธี CVD มีผลกระทบทำให้อุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

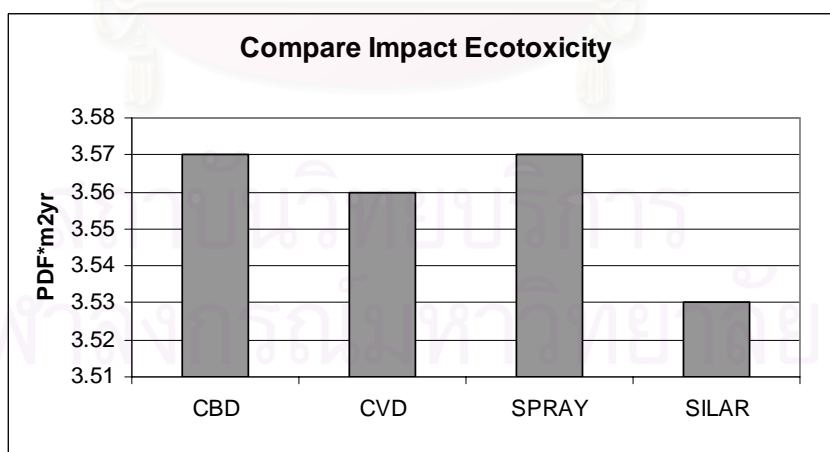
5.1.5 การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion)



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการลดลงของโอโซน (Ozone layer depletion)

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี SILAR มีผลกระทบต่อโอโซน ทำให้เกิดการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศมากกว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น

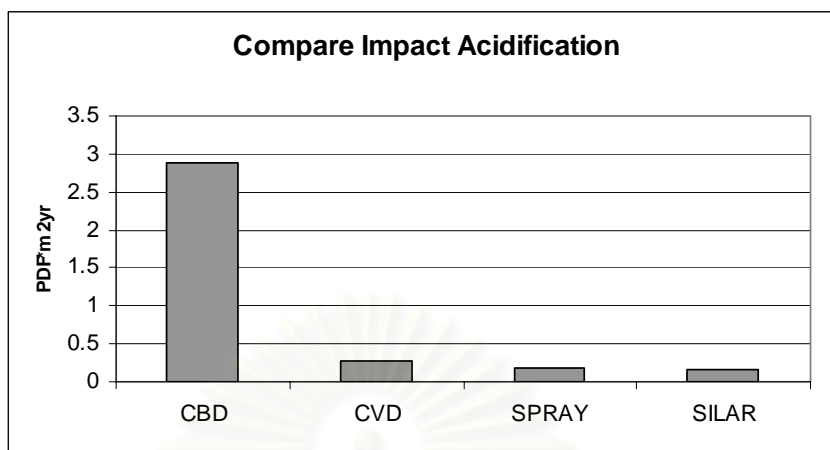
5.1.6 นิเวศวิทยาเป็นพิษ (Ecotoxicity)



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านนิเวศวิทยาเป็นพิษ (Ecotoxicity)

จากรูปที่ 5.6 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ มีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

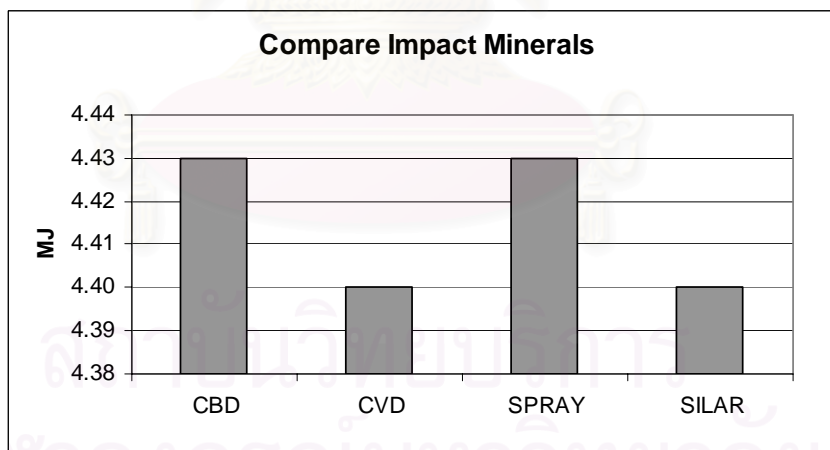
5.1.7ภาวะกรดในบรรยากาศ (Acidification)



รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะกรดในบรรยากาศ(Acidification)

จากรูป 5.7 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี CBD ทำให้เกิดปัญหาด้านภาวะกรดในบรรยากาศมากกว่าการสังเคราะห์วิธีอื่น เนื่องจากการปล่อยก๊าซพิษที่สามารถก่อตัวรวมกับไอน้ำในบรรยากาศ ทำให้เกิดกรดในปริมาณที่มากกว่า

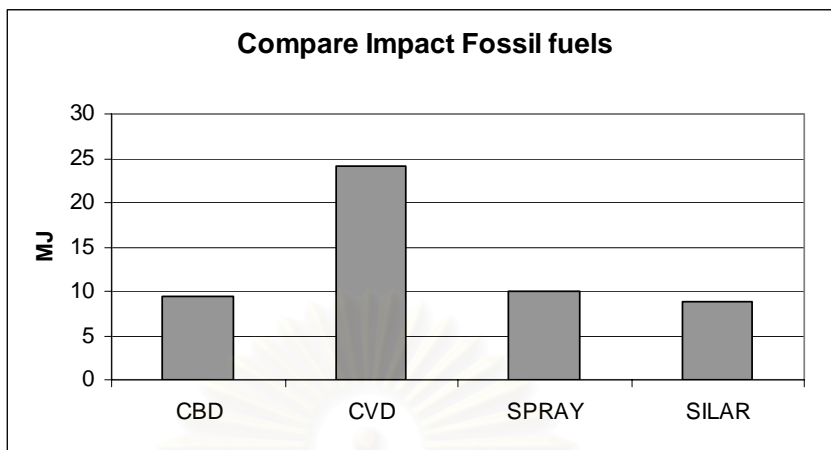
5.1.8 การใช้ทรัพยากร (Minerals)



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร (Minerals)

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าการสังเคราะห์โดยวิธี SPARY จะใช้ทรัพยากรในปริมาณที่น้อยที่สุด ทำให้ช่วยลดปัญหาด้านการใช้ทรัพยากรได้ เนื่องจากการลดลงของทรัพยากรในปัจจุบันมีปริมาณลดลงมากซึ่งเกิดจากการเติบโตของประชากรสูง จึงมีความต้องการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้นด้วย

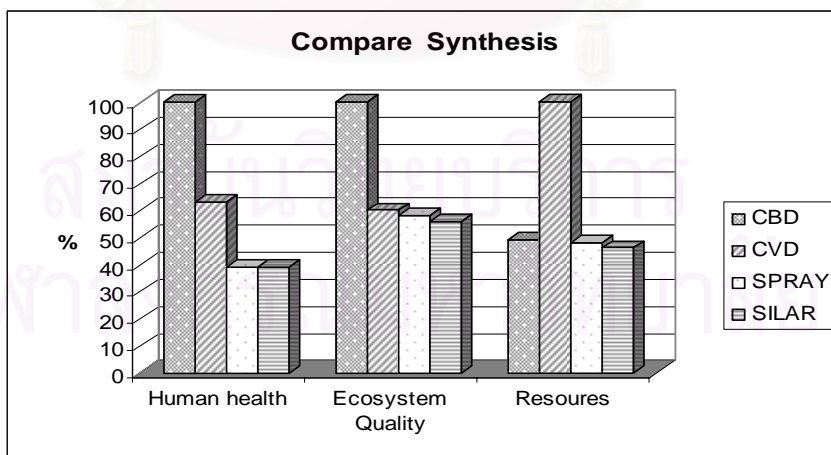
5.1.9 การลดลงของเชื้อเพลิง (Fossil Fuels depletion)



จากรูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการลดลงของเชื้อเพลิง (Fossil Fuels depletion)

จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์วิธี CVD มีการลดลงของเชื้อเพลิงมาก

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SimaPro 6.0 พบว่า การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ด้วยวิธี CBD ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายๆด้านสูงสุด เช่น เป็นสารก่อมะเร็ง , ส่งผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์ , ระบบนิเวศวิทยาเป็นพิษ , ภาวะกรดในบรรยากาศ , การใช้ทรัพยากร สำหรับกระบวนการ CVD ส่งผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอินทรีย์ และการใช้เชื้อเพลิง



รูปที่ 5.10 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของการสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์

ในรูปที่ 5.10 จะพิจารณาผลกระทบ 3 ส่วน คือ 1) สุขภาพของมนุษย์ (Human Health) 2. คุณภาพของระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem Quality) 3. แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) พบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธี CBD ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์ , คุณภาพของระบบนิเวศวิทยามากที่สุด และการสังเคราะห์แบบ CVD จะส่งผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรธรรมชาติมากที่สุด

5.2 ผลการประเมินความเสี่ยง(Risk Assessment)

มาตรการความปลอดภัย ความเป็นพิษนั้นจะใช้ค่า LD₅₀, LC₅₀, TLV-TWA และ TLV-STEL มาจากศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ <http://www.pcd.co.th>

5.2.1 กระบวนการสังเคราะห์โดยวิธี chemical bath deposition

ในการเตรียมการสังเคราะห์จะมีการผสมสารละลายเข้าด้วยกันระหว่างนี้อาจจะมีสารเคมีระเหยออกมา และอาจทำอันตรายต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงานได้ สารเคมีที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการนี้คือ H₂SO₄ ,CH₂N₂ , NH₃

H₂SO₄ (LD₅₀(มก./กก.) : 2140 (หนู) , LC₅₀(มก./ม³) :1020/4 ชั่วโมง (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 0.25 , TLV-STEL (ppm) : 0.75) การหายใจเข้าไป สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนและก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้มีอาการน้ำท่วมปอด เจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด และหายใจถี่เร็ว การหายใจเอาสารที่ความเข้มข้นสูงอาจทำให้เสียชีวิตได้ สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เป็นแผลไหม้ และปวดแสบปวดร้อนการสัมผัสผิวหนัง สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้ตาแดง ปวดตา และสายตาสั้น สายนี้มีผลทำลายฟัน ระบบหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ

CH₂N₂ (TLV-TWA (ppm) : 0.2) การหายใจเข้าไป ทำให้เกิดปวดศีรษะ หายใจติดขัด หายใจถี่เร็ว เจ็บคอ อาเจียน ร่างกายอ่อนแอ และอาการอาจรุนแรงขึ้น การสัมผัสผิวหนังจะทำให้ผิวหนังเป็นผื่นแดง เป็นแผลไหม้ ปวดแสบปวดร้อน เป็นแผลพุพองเนื่องจากความเย็น การสัมผัสผิวหนัง จะทำให้ตาแดง ปวดตา สารนี้จัดเป็นสารก่อมะเร็ง

NH₃ (LC₅₀(มก./ม³) : 2,000/4 ชั่วโมง (หนู) , TLV-TWA (ppm) :25 , TLV-STEL (ppm) : 35) การหายใจเข้าไปในปริมาณมากกว่า 25 ppm ทำให้ระคายเคืองจมูกและคอ ถ้าได้รับปริมาณมากจะหายใจติดขัด เจ็บหน้าอก หลอดลมบีบเกร็ง มีเสมหะและปอดบวม การสัมผัสผิวหนังจะเป็นผื่นแดง บวม เป็นแผล อาจทำให้ผิวหนังแสบไหม้ถ้าได้รับสารปริมาณมากๆ การกลืนกินเข้าไปจะทำให้แสบไหม้บริเวณปาก คอ หลอดอาหารและท้อง เป็นสารก่อมะเร็งและทำลายไต ตับ ปอด ระบบประสาทส่วนกลาง

ดังนั้นการปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้ จึงควรทำในตู้ดูดควัน และมีอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลสวมอยู่ด้วยตลอดเวลา โดยเฉพาะแว่นตา, หน้ากากและถุงมือ

5.2.2 กระบวนการสังเคราะห์โดยวิธี chemical vapour deposition

กระบวนการ CVD โดยปกติจะเป็นระบบปิด แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะมีการเปิดเครื่องปฏิกรณ์ออกมาซึ่งระหว่างนี้จะมีการหลุดรอดของสารเคมีเช่น C_2H_5NCS , $(C_2H_5)_2NH$, CS_2 และเกิดก๊าซ C_2H_4

C_2H_5NCS ก่อให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อเมือก, ไอ และ หายใจลำบาก ระคายเคืองต่อเยื่อในปาก หลอดลม หลอดอาหารและระบบลำไส้ ก่อให้เกิดอาการแพ้

$(C_2H_5)_2NH$ (LD_{50} (มก./กก.): 540 (หนู) , LC_{50} (มก./ m^3) : 4,000/4 ชั่วโมง (หนู)) สารนี้ก่อให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรงต่อ เยื่อเมือก, ระบบทางเดินหายใจส่วนบน, ดวงตา, และผิวหนัง. การสูดดมอาจทำให้เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ อักเสบ อาการที่เกิดจากการได้รับสารนี้อาจได้แก่ รู้สึกแสบร้อน, ไอ, หายใจมีเสียง, หลอดลมตอนบนอักเสบ, หายใจถี่, ปวดหัว, คลื่นไส้, และอาเจียน

CS_2 (LD_{50} (มก./กก.): 3118 (หนู) , LC_{50} (มก./ m^3) : 50/4 ชั่วโมง (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 10) การหายใจเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทำให้ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เจ็บคอ คลื่นไส้ อาเจียน หัวใจเต้นช้าลง เหนื่อยง่าย และกดระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อสัมผัสผิวหนังจะทำให้ผิวหนังไหม้ถ้าสัมผัสผิวหนังสารนาน ๆ สารนี้ดูดซึมผ่านผิวหนัง การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตาอย่างรุนแรง ทำให้ตาแดง ปวดตา สายตาพร่ามัว และอาจทำให้ตาบอด สารนี้ทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้สูญเสียการมองเห็น ทำลายไต

C_2H_4 สารนี้จะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางถูกกด ทำให้ดับ ใต และเลือดถูกทำลาย ถ้าสัมผัสก๊าซนี้ที่มีความเข้มข้นสูง (มากกว่า 20%) หรือ 200,000 ppm อาจจะทำให้หมดสติ และร่างกายขาดออกซิเจน, ผลของการขาดออกซิเจน : 12-16% การหายใจและชีพจรเต้นเร็วขึ้น การทำงานของกล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กัน 10-14% โมโหง่าย เหนื่อยผิดปกติ ระบบหายใจป่นป่วน 6-10% เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ 6% เกิดอาการชัก ระบบหายใจติดขัด และเสียชีวิตได้

การปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้ จึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลสวมอยู่ด้วยตลอดเวลา โดยเฉพาะแว่นตา, หน้ากากและถุงมือ

5.2.3 กระบวนการสังเคราะห์โดยวิธี spray pyrolysis

กระบวนการ spray pyrolysis โดยปกติจะเป็นระบบปิด แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ จะมีการเปิดเครื่องปฏิกรณ์ออกมาซึ่งระหว่างนี้จะมีการหลุดรอดของสารเคมี HNO_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ และอาจจะมีก๊าซ N_2 ตกค้าง

HNO_3 (LC_{50} (มก./ m^3) :244/2 ชั่วโมง (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 2 , TLV-STEL (ppm) : 4) การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ หายใจติดขัดอย่างรุนแรง ในบางกรณีอาจเสียชีวิตได้ การสัมผัสผิวหนัง จะก่อให้เกิดผื่นแดง ปวด และเกิดแผลไหม้ ทำให้เกิดการระคายเคือง และเมื่อถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ทำให้ตาแดง ปวดตา และทำให้มองเห็นไม่ชัดเจน

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (LD_{50} (มก./กก.) : 7076 (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 1000) การหายใจเข้าไปทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ไอ เชื้องซึม เมื่อถูกผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคือง แสบไหม้ ผื่นแดง สารนี้ดูดซึมผ่านผิวหนัง การกลืนหรือกินเข้าไป ทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และมีอาการเชื่องซึม

CH_2N_2 (TLV-TWA (ppm) : 0.2) การหายใจเข้าไป ทำให้เกิดปวดศีรษะ หายใจติดขัด หายใจถี่เร็ว เจ็บคอ อาเจียน ร่างกายอ่อนแอ และอาการอาเจียนรุนแรงขึ้น การสัมผัสผิวหนัง จะทำให้ผิวหนังเป็นผื่นแดง เป็นแผลไหม้ ปวดแสบปวดร้อน เป็นแผลพุพองเนื่องจากความเย็น การสัมผัสถูกตา จะทำให้ตาแดง ปวดตา สารนี้จัดเป็นสารก่อมะเร็ง

N_2 การหายใจเข้าไป สารนี้จะทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน ทำให้มีอาการหายใจติดขัด, หายใจถี่เร็ว, อารมณ์แปรปรวน, กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน, สับสน, ความรู้สึกชา, เหนื่อย, ทำให้สลบ, คลื่นไส้, อาเจียน, อ่อนเพลีย, หมดสติ และเสียชีวิตได้

การปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้ จึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลสวมอยู่ด้วยตลอดเวลา โดยเฉพาะแว่นตา, หน้ากากและถุงมือ

5.2.4 กระบวนการสังเคราะห์โดยวิธี successive ionic layer adsorption and reaction

ในกระบวนการนี้จะนำ แผ่น substrate มาจุ่มในสารละลายซึ่งในขั้นตอนนี้อาจทำให้สารเคมีสัมผัสกับร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ ZnCl_2 , Na_2S , $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

$ZnCl_2$ (LD50(มก./กก.) : 350 (หนู), TLV-TWA (ppm) : 0.18 ,TLV-STEL (ppm) : 0.36)การดูดซึมของสารผ่านทางผิวหนังจะก่อให้เกิดอันตรายได้ สารนี้จะไปทำลายเนื้อเยื่อหรือเยื่อของผิวหนังทำให้ผิวหนังแตก เมื่อสัมผัสถูกตา จะทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อตา ทำให้ตาแดง และเกิดแผลไหม้ของกระจกตา การสัมผัสเรื้อรัง จะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของทารกในครรภ์

Na_2S (LD50(มก./กก.) : 50 (หนู), TLV-TWA (ppm) :10) หายใจเข้าไป จะทำให้เจ็บคอ ทำให้เกิดอาการไอ หายใจติดขัด การได้รับสารที่มีความเข้มข้นสูงหรือสัมผัสนานๆจะทำให้เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดบวม และอาจเสียชีวิตได้ เมื่อสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง เจ็บตา เป็นแผลไหม้ และอาจทำให้ตาบอดได้

C_3H_6O (LD₅₀(มก./กก.) : 5,800(หนู) , LC₅₀(มก./ม³) : 25,050/4 ชั่วโมง (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 500 , TLV-STEL (ppm) : 750) สัมผัสถูกผิวหนัง จะทำลายชั้นไขมันของผิวหนัง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผื่นแดง ผิวหนังแห้งและแตก ก่อให้เกิดอาการปวดแสบปวดร้อนได้ การหายใจเอาไอระเหยเข้าไปจะเกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ หดหู่ และปวดศีรษะ ถ้าได้รับปริมาณมาก ๆ มีผลกระทบต่อระบบประสาท สารนี้มีผลทำลายปอด ทรวงอก ไต ท่อนไต กระเพาะปัสสาวะ

C_2H_5OH (LD₅₀(มก./กก.) : 7076 (หนู) , TLV-TWA (ppm) : 1000) การหายใจเข้าไปทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ไอ เชื้องซึม เมื่อถูกผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคือง แสบไหม้ ผื่นแดง สารนี้ดูดซึมผ่านผิวหนัง การกลืนหรือกินเข้าไป ทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และมีอาการเชื่องซึม

ดังนั้นการปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้ จึงควรทำในตู้ดูดควัน และมีอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลสวมอยู่ด้วยตลอดเวลา โดยเฉพาะแว่นตา, หน้ากากและถุงมือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 แสดงการประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ (จากการวิเคราะห์โดยดูจาก ค่า MSDS)

กระบวนการสังเคราะห์	ขั้นตอน		โอกาสที่จะเกิด	ความรุนแรงของผลกระทบ
chemical bath deposition	การเตรียมสาร	ไอระเหยจากการเตรียมสาร	มาก	มาก
		อันตรายจากการสัมผัส	ปานกลาง	มาก
		กลิ่นสารเคมี	มาก	มาก
	การผลิต	การหลุดลอกของสารเคมี	มาก	มาก
		การใช้พลังงานในกระบวนการ	น้อย	น้อย
		เสียงที่เกิด	น้อย	น้อย
		น้ำทิ้งจากกระบวนการ	น้อย	น้อย

กระบวนการสังเคราะห์	ขั้นตอน		โอกาสที่จะเกิด	ความรุนแรงของผลกระทบ
chemical vapor deposition	การเตรียมสาร	ไอระเหยจากการเตรียมสาร	ปานกลาง	มาก
		อันตรายจากการสัมผัส	น้อย	มาก
		กลิ่นสารเคมี	น้อย	มาก
	การผลิต	การหลุดลอกของสารเคมี	น้อย	มาก
		การใช้พลังงานในกระบวนการ	ปานกลาง	ปานกลาง
		เสียงที่เกิด	มาก	มาก
		น้ำทิ้งจากกระบวนการ	ปานกลาง	ปานกลาง

กระบวนการ สังเคราะห์	ขั้นตอน		โอกาสที่ จะเกิด	ความรุนแรงของ ผลกระทบ
spray pyrolysis	การเตรียมสาร	ไอระเหยจากการเตรียมสาร	มาก	ปานกลาง
		อันตรายจากการสัมผัส	ปานกลาง	มาก
		กลิ่นสารเคมี	ปานกลาง	ปานกลาง
	การผลิต	การหลุดรอดของสารเคมี	น้อย	ปานกลาง
		การใช้พลังงานในกระบวนการ	ปานกลาง	ปานกลาง
		เสียงที่เกิด	มาก	มาก
		น้ำทิ้งจากกระบวนการ	ปานกลาง	น้อย

กระบวนการ สังเคราะห์	ขั้นตอน		โอกาสที่ จะเกิด	ความรุนแรงของ ผลกระทบ
successive ionic layer adsorption and reaction	การเตรียมสาร	ไอระเหยจากการเตรียมสาร	มาก	ปานกลาง
		อันตรายจากการสัมผัส	ปานกลาง	น้อย
		กลิ่นสารเคมี	ปานกลาง	น้อย
	การผลิต	การหลุดรอดของสารเคมี	มาก	น้อย
		การใช้พลังงานในกระบวนการ	น้อย	น้อย
		เสียงที่เกิด	น้อย	น้อย
		น้ำทิ้งจากกระบวนการ	มาก	น้อย

เมื่อพิจารณาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ พบว่าวิธีการสังเคราะห์แบบ CBD มีความเสี่ยงมากที่สุด เพราะการทดลองเป็นระบบเปิดโอกาสที่สารเคมีจะหลุดรอดออกมาได้สูง และสารเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะมีความเป็นอันตรายสูง ดังนั้นในระหว่างปฏิบัติงานจึงควรระมัดระวังมากเป็นพิเศษ โดยทำในตู้ดูดควัน และสวมอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตลอดเวลา

จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์พบว่ากระบวนการ spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ งานวิจัยนี้จึงทำการพิจารณาต้นทุนของการสังเคราะห์โดยวิธี spray pyrolysis เพราะว่าเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการขยายสู่ระดับอุตสาหกรรม

ต้นทุนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี spray pyrolysis

ต้นทุนคงที่

เครื่อง	ราคา(บาท)
pump	8,156x2
syringe pump	51,186
furnace	200,000
electrometer	364,905
stainless-steel	6,000
Total	638,403

ต้นทุนแปรผัน

ในกระบวนการนี้ต้นทุนแปรผันคือราคาสารเคมีและค่าไฟฟ้า

ต้นทุนสารเคมี	ต้นทุน (บาท)
CS(NH ₂) ₂	29.52
Zn(NO ₃) ₂	5.82
C ₂ H ₅ OH	52.14
N ₂	26.05
tatol	113.52

การสังเคราะห์โดยกระบวนการ spray pyrolysis โดยปริมาณที่สังเคราะห์ ซิงค์ซัลไฟด์ 1 กรัม จะใช้จ่ายค่าไฟ 19.00 บาท

ค่าใช้จ่าย	ราคา (บาท)
สารเคมี	113.52
ค่าไฟฟ้า	19.00
รวม	132.53

จุดคุ้มทุนของการสังเคราะห์ ซิงค์ซัลไฟด์ด้วยวิธี spray pyrolysis จำนวนได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายคงที่ = 638,403 บาท

ค่าใช้จ่ายแปรผัน = 113.52 / กรัม

ค่าใช้จ่าย C = 638,403 + 113.52 N บาท

ราคา ซิงค์ซัลไฟด์ = 194.94 บาท / กรัม

รายได้ R = 194.94N

ณ จุดคุ้มทุน R=C

194.94N = 638,403 + 113.52 N

N = 7.840 กิโลกรัม

จากการวิเคราะห์ จุดคุ้มทุนคือ ปริมาณผลิต 7.840 กิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเมินความเสี่ยง การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธี chemical bath deposition , chemical vapour deposition , spray pyrolysis , successive ionic layer adsorption and reaction ขนาดอนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ที่ได้มีขนาด 40-50 นาโนเมตร

เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตและประเมินความเสี่ยงของกระบวนการสังเคราะห์พบว่ากระบวนการสังเคราะห์วิธี chemical bath deposition มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และระบบนิเวศน์มากที่สุด และเป็นกระบวนการที่มีความเสี่ยงมากที่สุดด้วย เนื่องจากเป็นระบบเปิดโอกาสที่สารเคมีจะหลุดรอดออกมาได้สูง และกระบวนการนี้เกิดสารเคมีที่เป็นอันตรายสูง ดังนั้นในระหว่างปฏิบัติงานจึงควรระมัดระวังมากเป็นพิเศษ โดยทำในตู้ดูดควัน และสวมอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตลอดเวลา ส่วนกระบวนการสังเคราะห์วิธี chemical vapour deposition จะส่งผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรธรรมชาติมากที่สุด สำหรับการสังเคราะห์โดยวิธี Successive ionic layer adsorption and reaction นั้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงน้อยสุด

ข้อเสนอแนะ

1. ในการประเมินวัฏจักรชีวิตการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์ ควรจะมีข้อมูลที่ครบทุกขั้นตอนซึ่งต้องใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ ซึ่งในการทำงานวิจัยนี้พิจารณาช่วงการสังเคราะห์ มิได้พิจารณาทั้งหมดซึ่งผลสรุปที่ได้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้
2. โปรแกรม SimaPro ยังใช้ข้อมูลพื้นฐาน (Database) ของต่างประเทศ จึงควรมีการปรับปรุงและพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ประเมินวัฏจักรชีวิตของสารอื่นๆให้ได้ประสิทธิภาพและถูกต้อง แม่นยำมากขึ้น
3. ในการวางแผนที่จะทำงานวิจัย ก่อนที่จะเลือกหัวข้อเรื่องควรมีข้อมูลว่ามีเพียงพอที่จะนำมาทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากในบางเรื่อง มีข้อมูลไม่เพียงพอ จึงควรเลือกทำในหัวข้อที่มีข้อมูลเพียงพอ และหาได้สะดวก เนื่องจากงานวิจัยนี้ข้อมูลส่วนใหญ่ไม่มีในประเทศ ดังนั้นผลการประเมินอาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้

รายการอ้างอิง

1. G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W.P. Schmidt, S. Suhh, B.P. Weidemaier, D.W. Pennington. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International 30 (2004): 701– 720.
2. D.W. Pennington, J. Potting, G. Finnveden, E. Lindeijer, O. Jolliet, T. Rydberg, G. Rebitzer. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. Environment International 30 (2004): 721– 739.
3. ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย เมืองทองธานี อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี, 2547.
4. SETAC – Europe Working Group.2003. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes.
5. รัตติกาล กองบุญ.การประเมินวัฏจักรชีวิต สารทำความเย็นระหว่าง HCFC-22 กับ HFC-134a. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.2546
6. Y. Nishioka, J. I. Levy, G. A. Norris, A. Wilson, P. Hofstetter, J. D. Spengler. Integrating Risk Assessment and Life Cycle Assessment: A Case Study of Insulation. Risk Analysis 22 (2002): 1003-1017.
7. S.D. Sartale, B.R. Sankapal, M. Lux-Steiner, A. Ennaoui. Preparation of nanocrystalline ZnS by a new chemical bath deposition route. Thin Solid Films 480 (2005): 168-172.
8. Ran Zhai, ShuBo Wang, HaiYan Xu, Hao Wang ,Hui Yan. Rapid formation of CdS, ZnS thin films by microwave-assisted chemical bath deposition. Materials Letters 59 (2005): 1497-1501.
9. Sambhu Kundu ,Larry C. Olsen. Chemical bath deposited zinc sulfide buffer layers for copper indium gallium sulfur-selenide solar cells and device analysis. Thin Solid Films 47 (2005): 298-303.
10. Gangopadhyay, Kyunghae Kim, D. Mangalaraj , Junsin Yi. Low cost CBD ZnS antireflection coating on large area commercial mono-crystalline silicon solar cells. Applied Surface Science 230 (2004): 364-370.
11. J. Vidal, O. de Melo, O. Vigil, N. López, G. Contreras-Puente ,O. Zelaya-Angel. Influence of magnetic field and type of substrate on the growth of ZnS films by chemical bath. Thin Solid Films 419 (2002): 118-123.

12. T. Nakada, M. Mizutani, Y. Hagiwara, A. Kunioka. High-efficiency Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells with a CBD-ZnS buffer layer. Solar Energy Materials and Solar Cells 67, (2001): 255-260.
13. Paul O'Brien, David J. Otway, David Smyth-Boyle. The importance of ternary complexes in defining basic conditions for the deposition of ZnS by aqueous chemical bath deposition. Thin Solid Films 362 (2000): 17-21.
14. J. Vidal, O. Vigil, O. de Melo, N. López, O. Zelaya-Angel. Influence of NH₃ concentration and annealing in the properties of chemical bath deposited ZnS films. Materials Chemistry and Physics 61 (1999): 139-142.
15. I. O. Oladeji, L. Chow. A study of the effects of ammonium salts on chemical bath deposited zinc sulfide thin films. Thin Solid Films 339 (1999): 148-153.
16. T. Ben Nasr, N. Kamoun, M. Kanzari, R. Bennaceur. Effect of pH on the properties of ZnS thin films grown by chemical bath deposition. Thin Solid Films 500 (2006): 4-8.
17. A. Antony, K.V. Murali, R. Manoj, M.K. Jayaraj. The effect of the pH value on the growth and properties of chemical-bath-deposited ZnS thin films. Materials Chemistry and Physics 90 (2005): 106-110.
18. Z.Z. Zhang, D.Z. Shen, J.Y. Zhang, C.X. Shan, Y.M. Lu, Y.C. Liu, B.H. Li, D.X. Zhao, B. Yao, X.W. Fan. The growth of single cubic phase ZnS thin films on silica glass by plasma-assisted metalorganic chemical vapor deposition. Thin Solid Films (2006).
19. Everett Y.M. Lee, Nguyen H. Tran, Robert N. Lamb. Growth of ZnS films by chemical vapor deposition of Zn[S₂CN(CH₃)₂]₂ precursor. Applied Surface Science 241 (2005): 493-496.
20. C. S. Chang, J. L. He, Z. P. Lin. The grain size effect on the empirically determined erosion resistance of CVD-ZnS. Wear 255 (2003): 115-120.
21. Fang Zhenyi, Chai Yichao, Hao Yongliang, Yang Yaoyuan, Dong Yanping, Yan Zewu, Tian Hongchang, Xiao Hongtao, Wang Heming. CVD growth of bulk polycrystalline ZnS and its optical properties. Journal of Crystal Growth 239 (2002): 1707-1710.
22. N. H. Tran, R. N. Lamb, G. L. Mar. Single source chemical vapour deposition of zinc sulphide thin films: film composition and structure. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 155 (1999): 93-100.
23. J. R. Heine, J. Rodriguez-Viejo, M. G. Bawendi, K. F. Jensen. Synthesis of CdSe quantum dot-ZnS matrix thin films via electrospray organometallic chemical vapor deposition. Journal of Crystal Growth 19 (1998): 564-568.

24. Satoshi Suzuki, Susumu Kitagawa, Hiroshi Iwata, Yasushi Sasaki. Structure and resistivity of heat-treated polycrystalline zinc sulfide prepared by chemical vapor deposition. Journal of Crystal Growth 134 (1993): 67-74.
25. Akiyoshi Mikami, Kosuke Terada, Katsuji Okibayashi, Koichi Tanaka, Masaru Yoshida, Shigeo Nakajima. Chemical vapor deposition of ZnS: Mn electroluminescent films in a low-pressure halogen transport system. Journal of Crystal Growth 110 (1991): 381-394.
26. Takashi Yasuda, Kazuhiko Hara, Masashi Mizuta, Hiroshi Kukimoto. Plasma-enhanced doping of manganese in zinc sulfide layers during metalorganic chemical vapor deposition. Journal of Crystal Growth 96 (1988): 979-981.
27. Dario M. Frigo, Omar F. Z. Khan, Paul O'Brien. Growth of epitaxial and highly oriented thin films of cadmium and cadmium zinc sulfide by low-pressure metalorganic chemical vapour deposition using diethyldithiocarbamates. Journal of Crystal Growth 96 (1989): 989-992.
28. N. G. Patel, A. G. Fischer. Conducting luminescent ZnS films formed by plasma-assisted metal-organic chemical vapour deposition. Thin Solid Films 162 (1988): 263-271.
29. P. J. Wright, B. Cockayne, A. F. Cattell, P. J. Dean, A. D. Pitt, G. W. Blackmore. Manganese doping of ZnS and ZnSe epitaxial layers grown by organometallic chemical vapour deposition. Journal of Crystal Growth 59 (1982): 155-160.
30. M.C. López, J.P. Espinos, F. Martín, D. Leinen, J.R. Ramos-Barrado. Growth of ZnS thin films obtained by chemical spray pyrolysis: The influence of precursors. Journal of Crystal Growth 285 (2005): 66-75.
31. Mustafa Ozta, A. Necmeddin Yazici. The effect of pre-irradiation heat treatment on TL glow curves of ZnS thin film deposited by spray pyrolysis method. Journal of Luminescence 110 (2004): 31-37.
32. A. Necmeddin Yazici, Mustafa Ozta, Metin Bedir. Effect of sample producing conditions on the thermoluminescence properties of ZnS thin films developed by spray pyrolysis method. Journal of Luminescence 104 (2003): 115-122.
33. B. Elidrissi, M. Addou, M. Regragui, A. Bougrine, A. Kachouane, J. C. Bernede. Structure, composition and optical properties of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis. Materials Chemistry and Physics 68 (2001): 175-179.

34. I. Wuled Lenggoro, Kikuo Okuyama, Juan Fernández de la Mora ,Noboru Tohge. Preparation of ZnS nanoparticles by electrospray pyrolysis. Journal of Aerosol Science 31 (2000): 121-136.
35. H. H. Afifi, S. A. Mahmoud ,A. Ashour. Structural study of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis. Thin Solid Films 263 (1995): 248-251.
36. A. AshourH. H. AfifiS. A. Mahmoud. Effect of some spray pyrolysis parameters on electrical and optical properties of ZnS films. Thin Solid Films 248 (1994): 253-256.
37. Mustafa Oztas, Metin Bedir, A. Necmeddin Yazici, E. Vural Kafadar ,Huseyin Toktamı. Characterization of copper-doped sprayed ZnS thin films. Physica B: Condensed Matter (2006).
38. Janos Madarasz, Petra Bombicz, Masayuki Okuya ,Shoji Kaneko. Thermal decomposition of thiourea complexes of Cu(I), Zn(II), and Sn(II) chlorides as precursors for the spray pyrolysis deposition of sulfide thin films. Solid State Ionics 14 1(2001): 439-446.
39. R. D. Pike, H. Cui, R. Kershaw, K. Dwight and A. WoldT. N. BlantonA. A. Wernberg ,H. J. Gysling. Preparation of zinc sulfide thin films by ultrasonic spray pyrolysis from bis(diethyldithiocarbamate) zinc(II). Thin Solid Films 224 (1993): 221-226.
40. I. W. Lenggoro ,K. Okuyama. Preparation of nanometer-sized zinc sulfide particles by electrospray pyrolysis. Journal of Aerosol Science 28 (1997): S351-S352.
41. X. D. Gao, X. M. Li ,W. D. Yu. Morphology and optical properties of amorphous ZnS films deposited by ultrasonic-assisted successive ionic layer adsorption and reaction method. Thin Solid Films 468 (2004): 43-47.
42. Giedrius Laukaitis, Seppo Lindroos, Sigita Tamulevicius ,Markku Leskela. Stress and morphological development of CdS and ZnS thin films during the SILAR growth on (1 0 0)GaAs. Applied Surface Science 185 (2001): 134-139.
43. Mika P. Valkonen, Seppo Lindroos, Roland Resch, Markku Leskela, Gernot Friedbacher, Manfred Grasserbauer. Growth of zinc sulfide thin films on (100)Si with the successive ionic layer adsorption and reaction method studied by atomic force microscopy. Applied Surface Science 136 (1998): 131-136.
44. S. Lindroos, Y. Charreire, D. Bonnin, M. Leskela. Growth and Characterization of Zinc Sulfide Thin Films Deposited by the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (Silar) Method Using Complexed Zinc Ions As the Cation Precursor. Materials Research Bulletin 33 (1998): 453-459.

45. Seppo Lindroos, Tapio Kanninen, Markku Leskela. Growth of zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method on polyester substrates. Materials Research Bulletin 32 (1997): 1631-1636.
46. Mika P. Valkonen, Seppo Lindroos, Tapio Kanninen, Markku Leskelä, Unto Tapper, Esko Kauppinen. Thin multilayer CdS/ZnS films grown by SILAR technique. Applied Surface Science 120 (1997): 58-64.
47. Mika P. Valkonen, Tapio Kanninen, Seppo Lindroos, Markku Leskela, Eero Rauhala. Growth of ZnS, CdS and multilayer ZnS/CdS thin films by SILAR technique. Applied Surface Science 115 (1997): 386-392.
48. Seppo Lindroos, Tapio Kanninen, Markku Leskela, Eero Rauhala. Deposition of manganese-doped zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. Thin Solid Films 263 (1995): 79-84.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

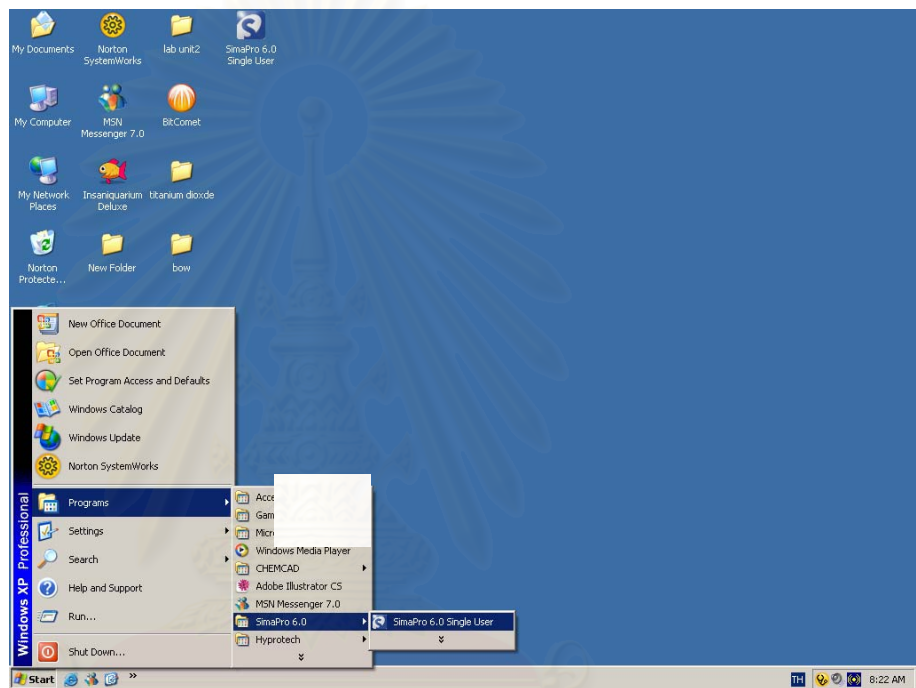
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีการใช้โปรแกรม SimaPro 6.0

วิธีเข้าสู่โปรแกรม SimaPro 6.0 มีดังต่อไปนี้

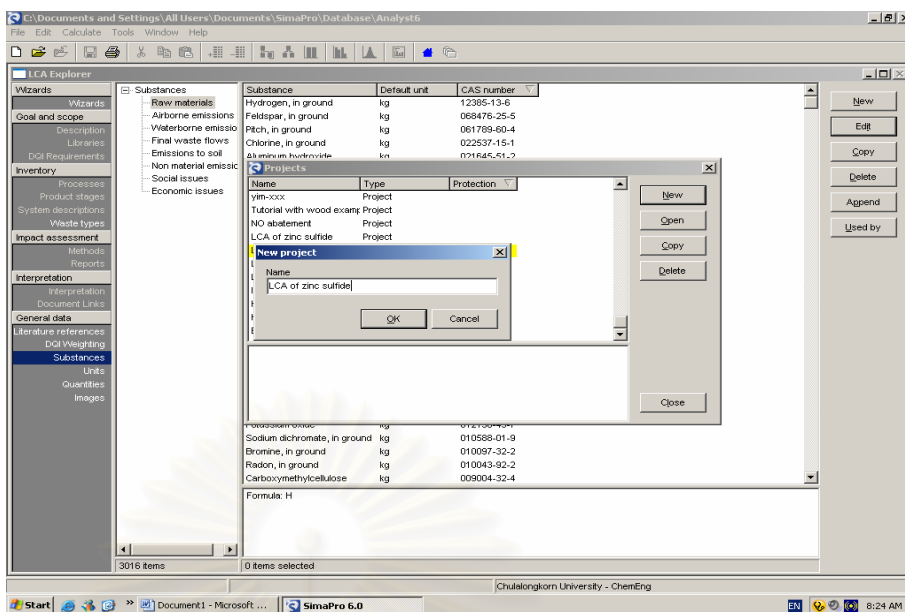
1. เข้าสู่หน้าจอ window เลือกปุ่ม start เลือก Programs → SimaPro 6 → SimaPro 6 Single User ดังแสดงในรูป



รูปที่ ก ขั้นตอนการเข้าโปรแกรม SimaPro 6

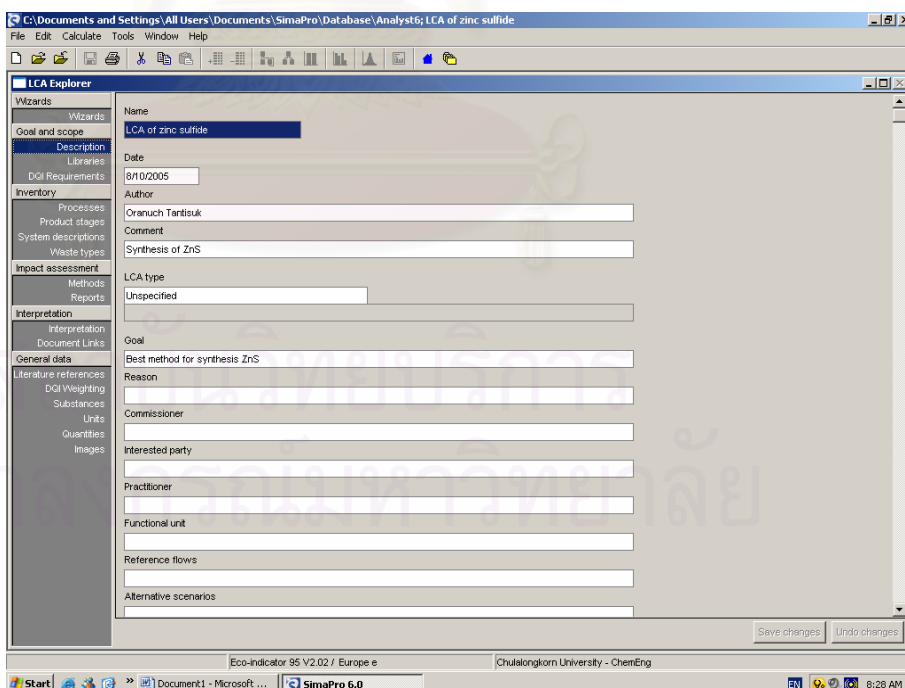
2. คลิก New เพื่อสร้าง Project ใหม่ ดังแสดงในรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

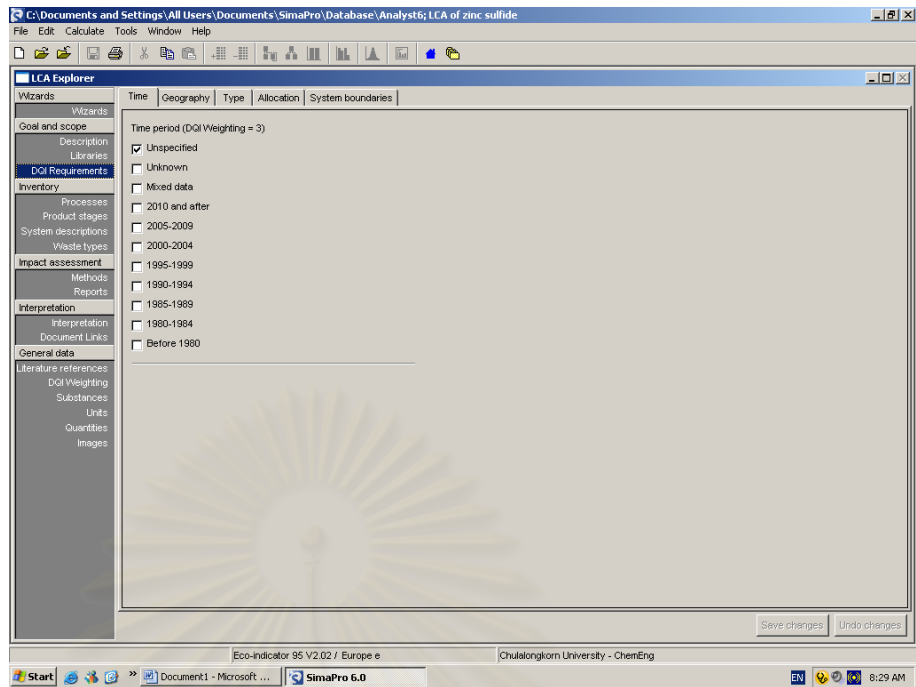


รูปที่ ข การสร้าง Project ใหม่

3. จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่ Work Sheet จากนั้นให้ใส่ข้อมูลเกี่ยวกับ Project โดยเลือกที่ Goal and Scope → Description และ DQI Requirement เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงหรือเติมข้อมูลโปรแกรมจะทำการ Save โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ ค และ ง

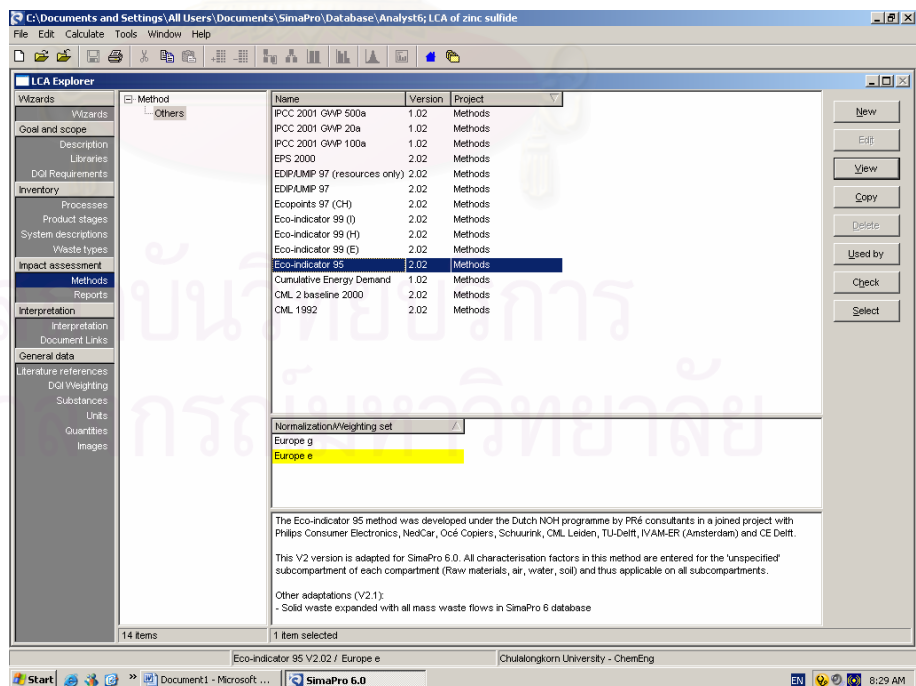


รูปที่ ค การป้อนข้อมูลในส่วนของ Description



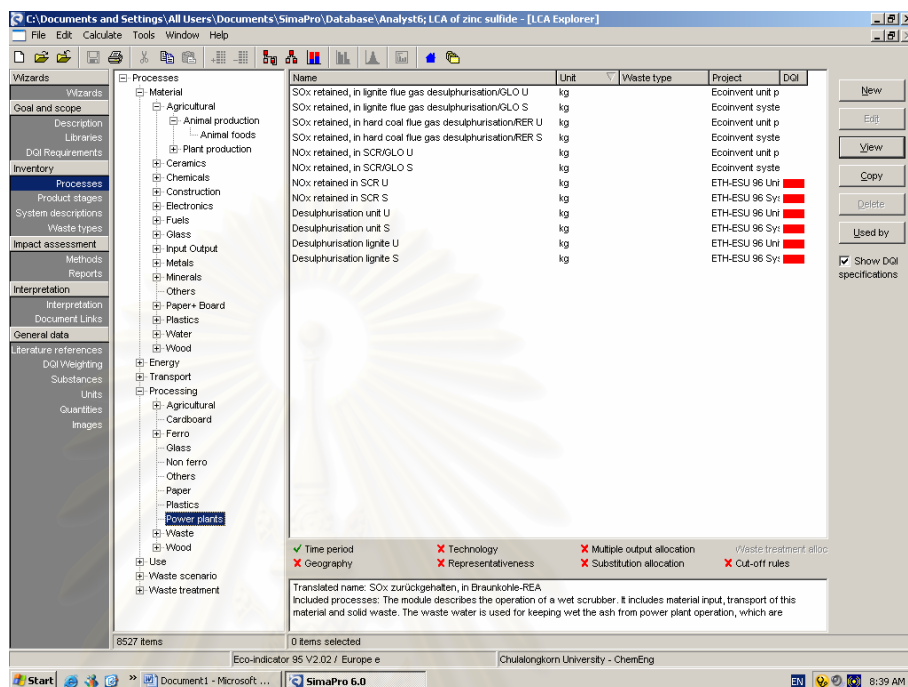
รูปที่ ง จากการป้อนข้อมูลในส่วนของ DQI Requirement

4. จากนั้นเลือกวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ Project โดยการเลือกที่ Method ที่ต้องการใช้ จากนั้นคลิก Select โดยคำอธิบายของแต่ละวิธีจะอยู่ที่ด้านล่างของ Work Sheet ดังรูปที่ จ



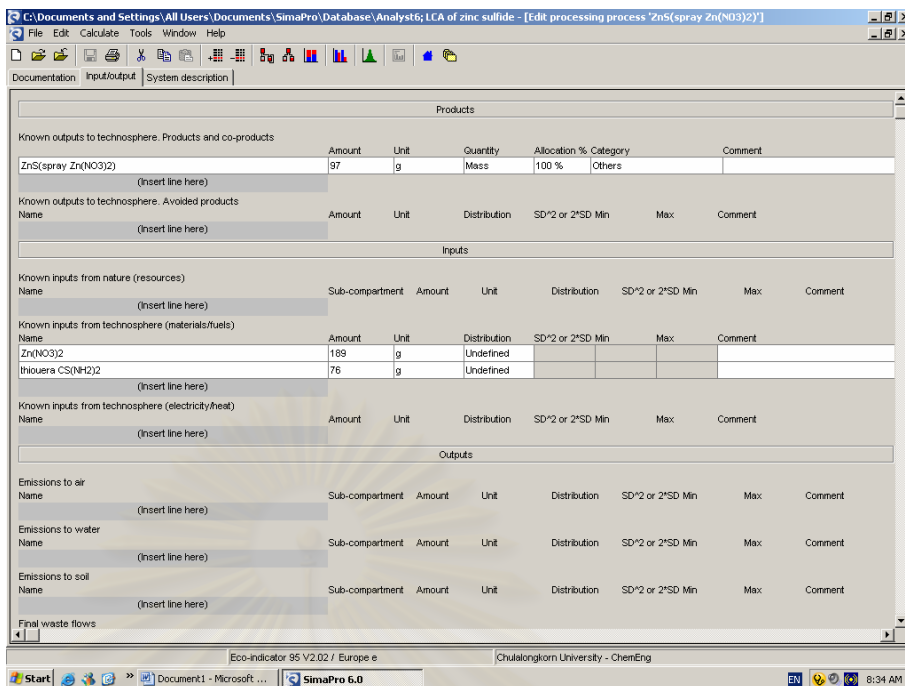
รูปที่ จ การเลือก Method ที่ใช้ใน Project

5. เลือก Inventory → Processes เลือก Category ที่เหมาะสมกับ Project จากนั้นคลิก New เพื่อสร้าง Process จากนั้นทำการใส่ข้อมูลในส่วนของ Process ที่นำมาใช้ใน Project โดยจะป้อนข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติที่ได้และสารที่เป็นของเสียจากกระบวนการดังรูปที่ ๖



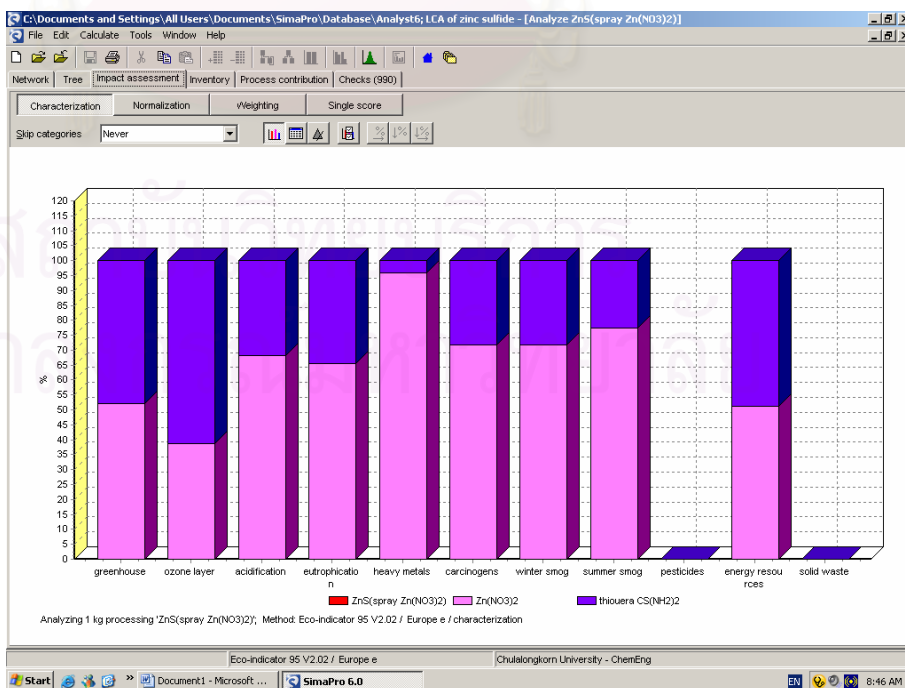
รูปที่ ๖ การสร้าง Process

6. เมื่อทำการสร้าง Process แล้ว เลือก Product Stage → Assembly → Others → New เพื่อทำการสร้าง Life Cycle จากนั้นทำการป้อนข้อมูลใน Life Cycle โดยทำการใส่ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและสารที่ป้อนเข้าในระบบที่ Processes ให้เลือก Process ที่สร้างไว้ในขั้นตอนที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ ๗



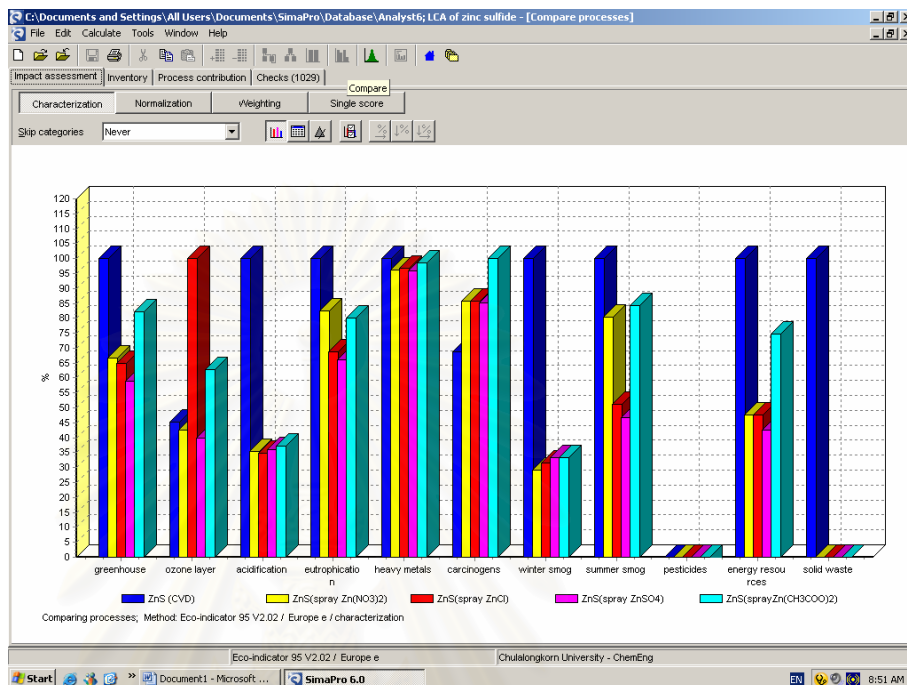
รูปที่ ๗ การป้อนข้อมูลในส่วนของ Life Cycle

7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การแสดงผลด้วย LCA โดยคลิกปุ่มที่ Analyze โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล Project ภายได้วิธีการที่ใช้ในที่นี้คือ Eco-indicator 95 ดังแสดงในรูปที่ ๘



รูปที่ ๘ ผลการวิเคราะห์ด้วย LCA

8. ผู้ที่ใช้สามารถทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่าง Project ตั้งแต่สอง Project ขึ้นไปได้ โดยการคลิกที่ปุ่ม Compare โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลของ Project ที่นำมาเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ ๗



รูปที่ ๗ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Project

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ ก สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง

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 ข สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อด้านการลดลงของชั้นโอโซน

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

ตารางที่ ค ประเภทของสินแร่

Resource	
aluminium(in ore)	molybdene(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 ง 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 ง 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	NMVOC
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 ง 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 จ สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจจากสารอนินทรีย์

Respiration by inorganic substances	
ammonia	NO _x
dust(PM 10)	NO _x (as NO ₂)
dust(PM 2.5)	SO ₂
TSP	SO ₃
NO	SO _x
NO ₂	Sox (as SO ₂)

ตารางที่ ฉ สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้ฤดูกาลเปลี่ยนแปลง

Climate change

methyl chloroform	HCFC-143
perfluoroethane	HCFC-143a
trifluoriodomethane	HCFC-152a
perfluoromethane	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	perfluoropentane
HCFC-22	perfluoropropane
HCFC-125	sulphur hexafluoride
HCFC-134	carbontetrachloride
HCFC-134a	chloroform

ตารางที่ ๗ สารที่เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นกรด

Respiration by inorganic substances

ammonia	SO ₂
NO	SO ₃
NO ₂	Sox
NOx	Sox(as SO ₂)
NOx(as NO ₂)	

ตารางที่ ๘ 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)	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอรนุช ตันตีสุข เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2524 จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำเร็จการศึกษาในปี 2547 และศึกษาในระดับปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย