# การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ ชนิด Solvent based และ Water based

ภาวัช แก้วสำราญ

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2562
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ภาวัช แก้วสำราญ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.....ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.....ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

.....เอมม่า อาสนจินดา..... กรรมการ
(ดร. เอมม่า อาสนจินดา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)
วันที่ 14 เดือน มกราคม พ.ศ. 2562

# กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงานทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และดร. เอมม่า อาสนจินดา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขงานวิจัยให้มีคุณภาพ และทำให้นิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออุดร คุณแม่วิน แก้วสำราญ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ภาวัช แก้วสำราญ

56921231: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ผลกระทบสิ่งแวดล้อม/ กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์/ สีชนิด Solvent based/
สีชนิด Water based

ภาวัช แก้วสำราญ: การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based (COMPARISON OF ENVIRONMENT IMPACT FROM PAINTING PROCESS BETWEEN SOLVENT BASED PAINT AND WATER BEASED PAINT) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา, Ph.D., 133 หน้า. ปี พ.ศ. 2561

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based โดยใช้โปรแกรม SimaPro 8.4 ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 โดยเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานและสารเคมีประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของตัวถังรถยนต์ จากการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่า กระบวนการชนิด Solvent based มีปริมาณการใช้สารเคมีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 kg/ $m^2$ และกระบวนการชนิด Water based เท่ากับ 0.15 kg/ $m^2$ ข้อมูลปริมาณการใช้สาร VOCs เฉลี่ยพบว่ากระบวนการชนิด Solvent based เท่ากับ 0.04335 kg/ $m^2$ และกระบวนการชนิด Water based เท่ากับ 0.00591 kg/ $m^2$ ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยพบว่า กระบวนการชนิด Solvent based เท่ากับ 1.78 kWh/ $m^2$ และกระบวนการชนิด Water based เท่ากับ 1.48 kWh/ $m^2$ ข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ยพบว่า กระบวนการชนิด Solvent based เท่ากับ 0.14 SCM/ $m^2$ และกระบวนการชนิด Water based เท่ากับ 0.08 SCM/ $m^2$ ข้อมูลปริมาณการใช้ไอน้ำเฉลี่ยพบว่า กระบวนการชนิด Solvent based เท่ากับ 0.84 MJ/ $m^2$ และกระบวนการชนิด Water based เท่ากับ 5.00 MJ/ $m^2$ เมื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการชนิด Solvent based พบว่า มีกระทบสูงกว่ากระบวนการชนิด Water based ในทุกผลกระทบที่ทำการวิเคราะห์ โดยผลกระทบทางด้าน Photochemical ozone formation ของกระบวนการชนิด Solvent based มีสัดส่วนการการก่อให้เกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการชนิด Water based ถึง 84.4% โดยที่กระบวนการชนิด Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 3.12E-02 kg NMVOC eq/ $m^2$ ในขณะที่กระบวนการชนิด Water based มีศักยภาพเท่ากับ 4.88E-03 kg NMVOC eq/ $m^2$ ส่วนผลกระทบทางด้าน Climate change ของกระบวนการชนิด Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการชนิด Water based เพียง 0.9% เท่านั้น โดยที่กระบวนการชนิด Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.50 kg $CO_2$ eq/ $m^2$ ในขณะที่กระบวนการชนิด Water based มีศักยภาพเท่ากับ 1.49 kg $CO_2$ eq/ $m^2$

56921231: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT; M.Eng. (ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)
KEYWORDS: ENVIRONMENTAL IMPACT/ AUTO BODY PAINTING/ SOLVENT BASED PAINT/ WATER BASED PAINT
PAWAT KAEWSAMRAN: COMPARISON OF ENVIRONMENT IMPACT FROM PAINTING PROCESS BETWEEN SOLVENT BASED PAINT AND WATER BEASED PAINT. ADVISORY COMMITTEE: ASSIST. PROFESSOR. THIPSUREE KORNBOONRAKSA, Ph.D. 133 P. 2018.

The objective of this study was to compare the environmental impact of auto body painting between Solvent based painting (SBP) process and Water based painting (WBP) process using SimaPro 8.4 with ILCD 2011 Midpoint + V1.10 method based on the consumption of energy and volatile organic compounds (VOCs) per square meter of auto body. Data were collected for one year long and the researcher found that the SBP process consumed an average chemical of 0.18 kg/ $m^2$ and WBP process of 0.15 kg/ $m^2$. In terms of VOCs consumption, an average SBP process was 0.04335 kg/ $m^2$ and WBP process was 0.00591 kg/ $m^2$. An average consumption of electricity for SBP process and WBP process were 1.78 kWh/ $m^2$ and 1.48 kWh/ $m^2$, respectively. An average consumption of natural gas for SBP process and WBP process were 0.14 SCM/ $m^2$ and 0.08 SCM/ $m^2$, respectively. In terms of stream consumption of SBP process and WBP process were 0.84 MJ/ $m^2$ and 5.00 MJ/ $m^2$, respectively. From the analysis results reflected that SBP process showed more environmental impact than WBP process for all categories. Photochemical ozone formation produced from SBP process was higher than WBP process approximately 84.4%. It was 3.12E-02 kg NMVOC eq/ $m^2$ for SBP process while WBP process was 4.88E-03 kg NMVOC eq/ $m^2$. Climate change impact potential also investigated in this study. It was found that SBP process showed higher climate change impact than WBP process approximately 0.9%. It was to 1.50 kg $CO_2$ eq/ $m^2$ for SBP process while WBP process was 1.49 kg $CO_2$ eq/ $m^2$.

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……... จ

สารบัญ……..…….....…... ฉ

สารบัญตาราง……..…….. ซ

สารบัญภาพ...……..……..…… ญ

บทที่

1 บทนำ……..…..……...……...…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..…… 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา……..…….... 3

ขอบเขตของการศึกษา……...……..…….. 4

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา……..……..... 5

ระยะเวลาศึกษาวิจัย……..…….....…….....…….. 5

สถานที่ทำการศึกษา……...……..…….....…….....…….. 5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……...…….…….. 6

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์……..……..…..…… 6

ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์……...…… 6

ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ……..……...…… 13

ผลกระทบด้านการเกิดหมอกผสมควัน ……...…… 14

Life cycle assessment software……..…….…….. 14

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro……...…… 18

การประเมินผลกระทบโดยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ ……..….. 20

กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ในโรงงานผลิตรถยนต์……..…… 22

Water based paint……..…….….. 27

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…….. 28

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3 | วิธีดำเนินการวิจัย…….. | 31 |
| | การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย……..……..…….. | 31 |
| | การวิเคราะห์บัญชีรายการ……..……..…….. | 32 |
| | การประเมินผลกระทบ……..……..... | 39 |
| | การแปรผล……..……..…….…..... | 41 |
| 4 | ผลและการวิเคราะห์…… | 42 |
| | ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์……..…….... | 42 |
| | ข้อมูลปริมาณสาร VOCs……..……..……..…….. | 43 |
| | ข้อมูลการใช้พลังงาน……..... | 46 |
| | ข้อมูลต้นทุนการผลิต……..……..……..... | 50 |
| | การวิเคราะห์บัญชีรายการของข้อมูล……..... | 51 |
| | การประเมินผลกระทบ……..……...…..... | 54 |
| 5 | สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ…….. | 71 |
| | สรุปผลการศึกษา……..……...……... | 71 |
| | ข้อเสนอแนะ……..……...…..……. | 73 |
| บรรณานุกรม……..……... | | 74 |
| ภาคผนวก…..……..……... | | 77 |
| | ภาคผนวก ก……..……..……... | 78 |
| | ภาคผนวก ข……..……..……... | 110 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย…..……..……..……... | | 133 |

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2-1 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA……...……. 16

2-2 ตัวอย่าง Method ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต……..…… 19

2-3 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ……..……. 26

3-1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่าง Inventory ของสี Primer เป็นรายเดือน ของ Solvent based paint……...……..…….. 34

3-2 ตัวอย่างแบบฟอร์มการคำนวนปริมาณการใช้สารเคมีด้วยวิธีปันส่วน ของสี Primer ชนิด Solvent based……...…… 34

3-3 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลของสี Primer เป็นรายเดือนของ Water based paint……... 36

3-4 ตัวอย่างแบบฟอร์มการคำนวณปริมาณการใช้สารเคมีด้วยวิธีปันส่วน ของสี Primer-L30 ชนิด Water based…….....……..……..…… 36

3-5 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่าง Inventory การใช้พลังงานเป็นรายเดือน ของ Solvent based paint process…….……...……..…… 39

3-6 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่าง Inventory การใช้พลังงานเป็นรายเดือน ของ Water based paint process……..…..…… 39

4-1 ข้อมูลปริมาณสาร VOCs ของไลน์ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based ….....…… 44

4-2 ข้อมูลปริมาณสาร VOCs ของไลน์ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based (kg/ $m^2$)…… 45

4-3 ข้อมูลการใช้พลังงานทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากระบบ Solvent based.....…… 47

4-4 ข้อมูลการใช้พลังงานทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากระบบ Water based.....…… 48

4-5 การเปรียบเทียบวธีการหาผลกระทบด้าน Climate change จากการคำนวณด้วย Emission factor และจากการใช้ Software SimaPro 8.4 ของการใช้พลังงานใน สี Solvent based.....…… 52

4-6 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการกำหนดบทบาท ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ.....…… 55

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-7 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ..... 57

4-8 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ ชนิด Solvent based..... 62

4-9 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ ชนิด Water based..... 63

4-10 ผลการตรวจวัดสาร VOCs ในพื้นที่ทำงาน..... 64

4-11 ผลการประเมินผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ..... 66

4-12 ผลการประเมินผลกระทบด้าน Climate change แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท ..... 68

# สารบัญภาพ


ภาพที่ หน้า

1-1 เปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent base และ Water based…..…. 2

1-2 กรอบแนวคิดการวิจัย……..……. 3

2-1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040…… 7

2-2 การพิจารณาฐานข้อมูลของการปประเมินวัฏจักรชีวิต…….…….. 11

2-3 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ……..…… 12

2-4 กระบวนการผลิตรถยนต์……..……..….. 23

2-5 กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์……..……..…….. 25

2-6 กราฟเปรียบเทียบ Organic solvent ระหว่างสีชนิด Solvent based และ Water based…. 28

2-7 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างสีชนิด Solvent based และ Water based……...……..….. 29

3-1 กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์และการปลดปล่อยมลพิษ……..……..….. 32

3-2 Flow diagram แสดง Input-Output ในกระบวนการผลิต……...……..…..….. 33

3-3 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตในส่วนของการระบุสาร..... 37

3-4 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตในส่วนของข้อมูลองค์ประกอบ……..……..…..…….…… 37

3-5 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตในส่วนของข้อมูลทางพิษวิทยา……..……..…… 38

3-6 ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรม SimaPro 8.4 ที่จะนำมาใช้งาน…….…… 40

3-7 ตัวอย่างการเลือกสาร Toluene ในฐานข้อมูลของ Method ‘IMPACT 2002+’……..….. 40

4-1 จำนวนชนิดของสารเคมีทั้งหมดและสาร VOCs ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based ……..……...……...…..…… 43

4-2 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารเคมีและสาร VOCs ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based ……..……..……..…… 46

4-3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ……...…… 49

4-4 การเปรียบเทียบการใช้ก๊าซธรรมชาติทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ…..…...…...… 49

# สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-5 การเปรียบเทียบการใช้ไอน้ำทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2561ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ…….…..…..… 50

4-6 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านการใช้พลังงานของกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด.… 51

4-7 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านการใช้สารเคมีของกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด.… 51

4-8 ปริมาณสาร Input-Output ในกระบวนการผลิตของไลน์ Solvent based ……...…..... 53

4-9 ปริมาณสาร Input-Output ในกระบวนการผลิตของไลน์ Water based …….……..... 54

4-10 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการกำหนดบทบาท ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ…….……...…..…… 56

4-11 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ…….……...…… 58

4-12 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนัก ความสำคัญแบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ ทั้ง 2 ชนิด……..……..……...…… 63

4-13 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation แบบแยก แหล่งกำเนิดของผลกระทบ…….……...……..…… 66

4-14 การเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation ของ กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based แบบแยก แหล่งกำเนิดของผลกระทบ…….……...……..…… 67

4-15 การเปรียบเทียบผลกระทบด้าน Climate change แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท…….....… 69

4-16 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบด้าน Climate change ของกระบวนการ ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based แบบแยกแหล่งกำเนิด ของผลกระทบ……...… 69

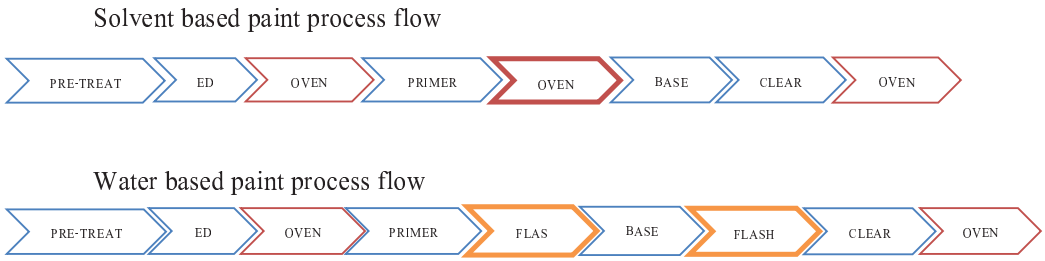
# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรถยนต์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกคนทั้งสำหรับการเดินทางและการพาณิชย์ และจากการเจริญเติบโตทางเศษฐกิจจึงทำให้ความต้องการทางการตลาดของรถยนต์สูงมาก โดยจากข้อมูลยอดการผลิตรถยนต์ทั่วโลกปี พ.ศ. 2559 ปรากฏว่ามีการผลิตทั้งสิ้น 90.68 ล้านคัน ส่วนประเทศไทยมียอดการผลิตสูงถึง 1.9 ล้านคัน (ลิขิต น้ำประเสริฐ, 2559) เมื่อพิจารณาวัฏจักรชีวิตในส่วนการผลิตนั้นพบว่า 90% ของการปลดปล่อยมลพิษมาจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ (Julio Tatiana, 2014) เนื่องจากมีการใช้พลังงาน สารเคมีและน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการปลดปล่อยมลพิษทั้งทางน้ำ ทางอากาศ และกากอุตสาหกรรม โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ประกอบด้วย ผลกระทบด้านการปลดปล่อยก๊าซเรื่องกระจกซึ่งเกิดจากการใช้พลังงาน ผลกระทบทางน้ำที่เกิดจากระบบม่านน้ำที่ดักจับละอองสีจากการพ่น ผลกระทบทางดินที่เกิดจากการกำจัดกากสีด้วยวิธีฝังกลบ ผลกระทบทางอากาศที่เกิดจากการปลดปล่อยสารมลพิษ เช่น $PM_{10}$, $SO_x$, $NO_x$, CO และ $CO_2$ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไอสารเคมีที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) เช่น Xylene และ Toluene ที่เป็นองค์ประกอบในตัวทำละลายในส่วนผสมของสีพ่นรถยนต์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตรถยนต์ต้องมุ่งเน้น การสร้างนวัตกรรมในส่วนการผลิตที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องก็ได้ออกกฎหมาย หรือข้อกำหนดเพื่อควบคุมสาร VOCs เช่น กำหนดความเข้มข้นของสาร Xylene และ Toluene เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ อยู่ที่ 100 ppm และ 200 ppm ตามลำดับ (ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560) ในขณะที่ญี่ปุ่นกำหนดมาตรฐานอยู่ที่ 50 ppm ทั้ง 2 ชนิด (Wen-Tien Tsai, 2018)

การเลือกใช้สีชนิด Water based นั้น เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถใช้น้ำแทนที่ทินเนอร์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในสีชนิด Solvent based โดยสีชนิด Solvent based นั้น จะมีสัดส่วนองค์ประกอบของแข็งประมาณ 15% และทินเนอร์ 85% ส่วนสีชนิด Water based นั้น จะมีสัดส่วนองค์ประกอบของแข็งประมาณ 20% ทินเนอร์ 10% และน้ำอีก 70% (สมพร ขวัญเลิศจิตต์, 2552) เนื่องจากสี Water based นั้นมีการผสมน้ำและเมื่อส่วนที่เป็นน้ำได้ระเหยออกไปหมดแล้วก็จะกลายเป็นสีที่มีคุณสมบัติเหมือนกับสี

Solvent based ดังนั้นระบบพ่นสีแบบ Water based จะต่างกับระบบพ่นสีแบบ Solvent based ตรงที่มีการเพิ่มกระบวนการระเหยน้ำ คือ Primer flash off และ Base coat flash off ดังภาพที่ 1-1



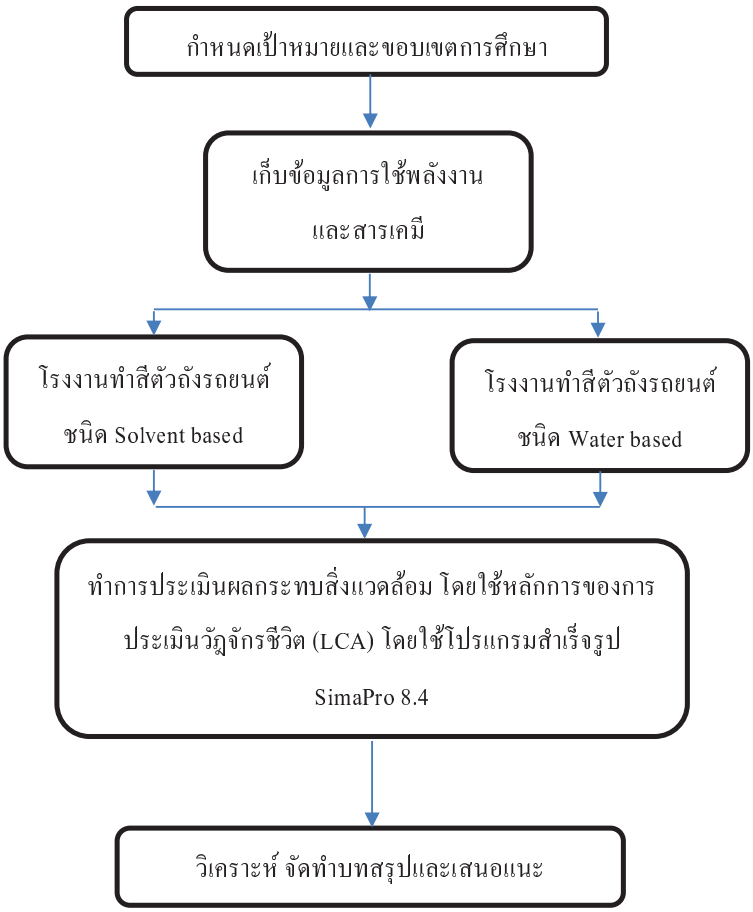

ภาพที่ 1-1 เปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent base และ Water based

จากรายงานของ บริษัท Honda motor ปี 2011 ระบุว่า แผนก Paint & Plastic โรงงาน Suzuka factory ได้ทำการเปลี่ยนสายการผลิตในระบบสีพ่นตัวถังรถยนต์จากแบบ Solvent based เป็นแบบ Water based ทำให้สามารถลดปริมาณ Solvent (ทินเนอร์) ลงได้ 85% และสามารถลดปริมาณสาร VOCs ลงจาก 40 กรัมต่อตารางเมตร (g/ $m^2$) เหลือเพียง 21 กรัมต่อตารางเมตร (g/ $m^2$)

ในทางเดียวกันรายงาน Sustainable data book ปี 2016 ของบริษัท Toyota motor corporation (TMC) ได้ระบุว่า ที่โรงงาน Tsutsumi แห่งใหม่ ได้ทำการเปลี่ยนกระบวนการพ่นสีแบบ Solvent based เป็น Water based ระบบ 3-wet painting method โดยการเปลี่ยนสี Primer เป็นชนิด Water based และยกเลิกการอบสี (Baking) หลังจากพ่นสี Primer และด้วยวิธีการนี้ทำให้สามารถลด VOCs ได้ถึง 45% อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานได้อีกด้วย

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ที่ใช้สีชนิด Solvent based นั้นปลดปล่อยสาร VOCs เป็นจำนวนมาก และการเปลี่ยนมาใช้สีชนิด Water based นั้นสามารถลดการปลดปล่อยสาร VOCs ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ (Facilities) ด้วยเทคโนโลยีการผลิตแบบใหม่ เช่น การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องพ่น รวมไปถึงการอบสี (Baking) ซึ่งใช้พลังงานสูง ดังนั้นหากทำให้กระบวนการเหล่านี้สั้นลงได้ เช่น ยกเลิกเตาอบสี (Oven) สำหรับสีรองพื้นชนิด Water based (Water based primer) เหลือเพียงวิธีการระเหยไล่น้ำ (Flash off) ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่า ก็จะสามารถช่วยลดการปลดปล่อย $CO_2$ ได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจที่จะประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีของระบบพ่นสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based กับชนิด Water based ด้วยหลักการของ

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 8.4 โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual framework) ดังนี้




ภาพที่ 1-2 กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual framework)

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้พลังงานจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based
2. เพื่อศึกษาปริมาณสารมลพิษที่เกิดจากการใช้สารเคมีจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based
3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

**ขอบเขตของการศึกษา**

1. ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ 2 ชนิด คือ แบบ Solvent based และแบบ Water based โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน การพ่นสีรองพื้น การพ่นสีจริง การอบ จนกระทั่งการตรวจสอบขั้นสุดท้ายและส่งต่อไปสู่กระบวนการประกอบรถยนต์

2. ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ได้แก่ ไฟฟ้า แก๊สธรรมชาติและไอน้ำ

3. ศึกษาปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ได้แก่ กาว สี และตัวทำละลาย

4. กำหนดหน่วยหน้าที่การใช้ (Functional unit) คือ พื้นที่ตัวถังรถยนต์ขนาด 1 ตารางเมตร ที่มีการทำสีรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based และระบบ Water based

5. ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจำนวน 12 เดือน ในรอบ 1 ปี ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro 8.4 โดยมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา 16 ประเภท คือ

5.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)

5.2 การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

5.3 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity, non-cancer effect)

5.4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity, cancer effect)

5.5 สภาวะการเกิดความเป็นกรด (Acidification)

5.6 ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matter)

5.7 การแผ่รังสีไอออไนซ์ต่อระบบนิเวศน์ (Ionizing radiation ecosystem)

5.8 รังสีไอออไนซ์ ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Ionizing Radiation-human health effects)

5.9 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (Photochemical Ozone Formation)

5.10 ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นบนบก (Terrestrial eutrophication)

5.11 ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication)

5.12 ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นทางทะเล (Marine eutrophication)

5.13 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity)

5.14 การใช้ที่ดิน (Land use)

5.15 การลดลงของทรัพยากรน้ำ (Water resource depletion)

5.16 การลดลงของสินแร่และเชื้อเพลิงฟอสซิล (Mineral, fossil & ren resource depletion)

## ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

2. ทำให้ทราบถึงปริมาณสารมลพิษที่เกิดจากการใช้สารเคมีจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

3. ทำให้ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

4. ทำให้ทราบถึงผลการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

## ระยะเวลาศึกษาวิจัย

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาเก็บข้อมูล 1 ปี

## สถานที่ทำการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ หรือบริการตลอดวงจรชีวิต เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงาน การขนส่ง การผลิต ผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้ และการจักการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่าพิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมาย คือ การใช้ทรัพยากร สุขภาพมนุษย์และผลต่อระบบนิเวศน์ (International standard for organization [ISO 14040], 1997)

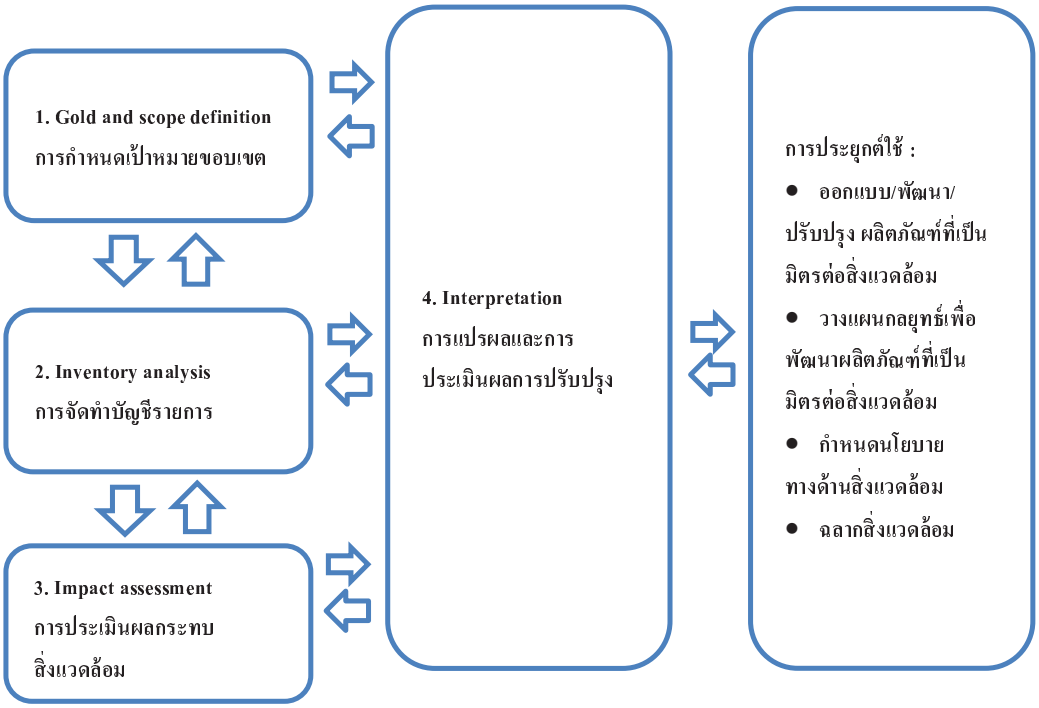
การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental management standard) ISO 14000 โดยมีกรอบการดำเนินตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 (ISO 14040, 1997) เป็นดังนี้

1. ISO 14040: 1997 หลักการและระเบียบปฏิบัติทั่วไป (Environmental management life cycle assessment-Principle and performance)
2. ISO 14041: 1998 ขอบข่าย คำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ (Environmental management life cycle assessment-Goal and scope definition and inventory analysis)
3. ISO 14042: 2000 การประเมินผลกระทบ (Environmental management life cycle assessment-impact assessment)
4. ISO 14043: 2000 การตีความ/ การแปลความ (Environmental management life cycle assessment-Life cycle interpretation)

## ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)




ภาพที่ 2-1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ISO 14040, 1997)

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วย

1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเนื่องจากจะมีผลต่อแนวทางและขอบเขตการศึกษา สำหรับการตั้งเป้าหมายนั้นจะต้องชัดเจนนอกจากนี้จะต้องระบุถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา เช่น นำผลของการศึกษาไปใช้ในการปรับปรุงรูปแบบของผลิตภัณฑ์

1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope) เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องคลอบคลุมถึงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา ขอบเขตของผลิตภัณฑ์ วิธีการลงบัญชีข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรจะอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอเพื่อให้แน่ใจได้ว่ารายละเอียดในการศึกษามีความเกี่ยวข้อง และเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

1.3 ขอบเขตของระบบ (System boundaries) ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) กับสิ่งแวดล้อมหรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นมาจากกระบวนการหน่วย (Unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ขอบเขตที่กำหนดขึ้นในการศึกษาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษาซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกทุกตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล ทรัพยากรและเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใดจำเป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้

การจัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Process flow diagram) ภายในระบบผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเนื่องจากทำให้การระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างครบถ้วน ทำให้การวิเคราะห์ดุลมวลสารและพลังงานของแต่ละกระบวนการเป็นไปได้อย่างถูกต้อง

1.4 การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional unit) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบสำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่จะประกอบด้วย ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน

1.5 คุณภาพของข้อมูล (Data quality) ต้องมีการกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการศึกษาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นย่อมส่งผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่กำลังทำการศึกษา คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

1.5.1 คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ

1.5.2 ช่วงเวลาในการศึกษา

1.5.3 ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค

1.5.4 เทคโนโลยีของการศึกษา

1.5.5 แหล่งที่มาของข้อมูล

1.5.6 วิธีในการได้มาของข้อมูล

1.5.7 ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2. การจัดทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory, ISO 14041,1998)

การจัดทำ บัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งจุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการ ก็คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และทำการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารที่เข้า (Input) และสารที่ออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารที่เข้าและสารที่ออกเหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะข้อมูล ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การสร้างผังแสดงกระบวนการ (Product system) เป็นการระบุถึงกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบผังแสดงกระบวนการ โดยที่ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นมีกระบวนการต่าง ๆ มากมาย ซึ่งจะเริ่มขึ้นตั้งแต่กระบวนการ การดึงวัตถุดิบและพลังงานจากสิ่งแวดล้อมมาใช้แล้วผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิต การบริโภคและจบลงที่การกำจัดของเสีย หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปจัดการยังโรงงานบำบัดของเสีย ซึ่งชิ้นบางชิ้นจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้งในบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นการกำจัดก็จะเกี่ยวพันกับอีกหลายกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานและทรัพยากร ดังนั้นท้ายสุด วัสดุจากทุกกระบวนการจะกลับสู่สิ่งแวดล้อมโดยการปล่อยออกสู่น้ำ อากาศและดิน

2.2 การรวบรวมข้อมูล สำหรับในขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สองของการทำบัญชีรายการ ซึ่งจะเป็นการรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน โดยที่ในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน) ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควร

หลีกเลี่ยงการนับซ้ำ เมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง อาจใช้แหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นหรือนักออกแบบกระบวนการ

2.2.2 คำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ

2.2.3 การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน

2.2.4 สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น

2.3 ความถูกต้องของข้อมูล (Validation of data) การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์ จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่น ๆ

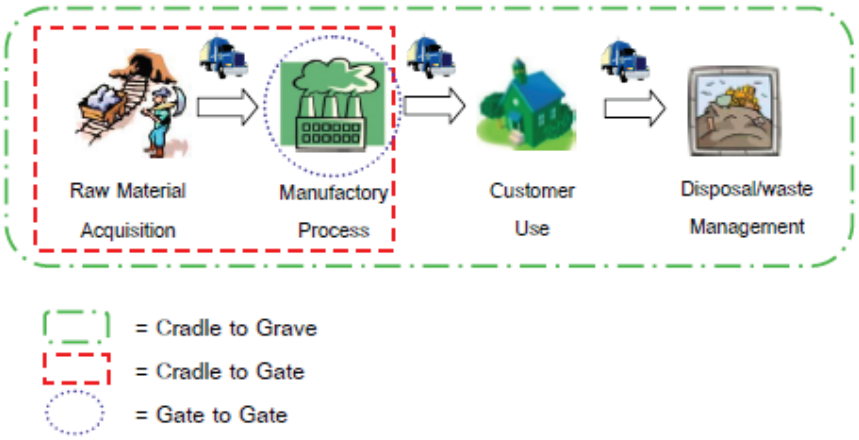
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการ โดยที่การทำบัญชีรายการ จำเป็นต้องมีการปรับสารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการ โดยที่สารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการจะถูกแปลออกมาเป็นมวลสารเข้าและออกด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปลออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.5 รูปแบบในการพิจารณาฐานข้อมูลในแต่ละประเภท มีดังนี้

2.5.1 Cradle to grave: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบสมบูรณ์ โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน หรือกล่าวได้ว่าเริ่มพิจารณาตั้งแต่เกิดจนถึงตาย ซึ่งในการพิจารณารูปแบบนี้จำเป็นต้องใช้เวลาที่มากและมีค่าใช้จ่ายที่สูง

2.5.2 Cradle to gate: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์แต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซากหลังจากการใช้งาน ซึ่งการพิจารณาแบบนี้จะทำให้ได้ผลในการประเมินที่จำกัด แต่การพิจารณาแบบนี้จะทำให้ลดความยุ่งยากของการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงทำให้ใช้เวลาและค่าใช้ที่น้อยกว่าการพิจารณาแบบแรก ซึ่งการพิจารณารูปแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทำเอกสารการรับรองผลิตภัณฑ์

2.5.3 Gate to gate: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งโซ่อุปทาน ซึ่งผลที่ได้จะน้อยกว่าการพิจารณาทั้ง 2 รูปแบบ



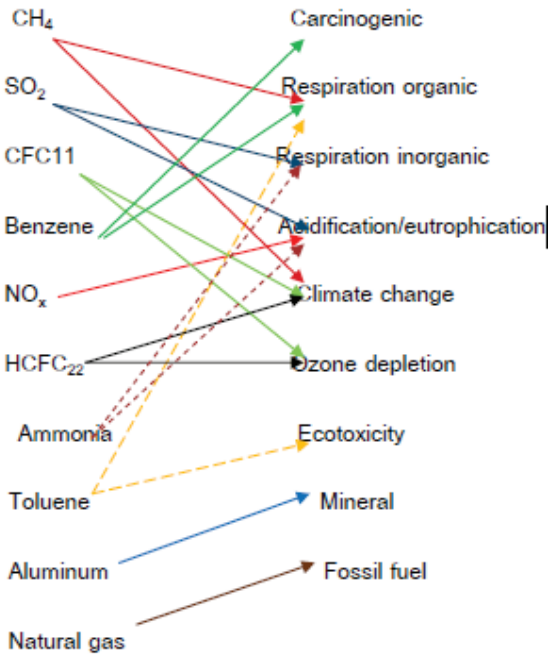

ภาพที่ 2-2 การพิจารณาฐานข้อมูลของการปประเมินวัฏจักรชีวิต (วรสิทธิ์ หินทอง, 2553)

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยจะใช้ข้อมูลของทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการผลิต โดยจะรวมถึงการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตด้วย หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์สารที่เข้าและออกจากกระบวนการต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลสารเข้าและออกจากกระบวนการทั้งหมดจะได้จากขั้นตอนที่สองหรือในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ โดยที่ขั้นตอนการประเมินผลกระทบจะประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

3.1 การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of impact categories, Category indicator and characterization models) การจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใดบ้าง โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่

3.2 การจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification) หลังจากที่มีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและแบบจำลองในการทำ Characterization แล้ว ในขั้นตอนนี้จะต้องนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ LCI มาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ เช่น มีเทน ($CH_4$) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการทำให้เกิดโลกร้อนขึ้นหรือ Climate change โดยที่ในกลุ่มผลกระทบหนึ่งอาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังภาพที่ 2-3




ภาพที่ 2-3 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ (วรสิทธิ์ หินทอง, 2553)

3.3 การกำหนดบทบาท (Characterization) การกำหนดบทบาทเป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential environmental impact) และใช้ค่า factor (Characterization factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ

3.4 การเทียบหน่วย (Normalization) คือ ขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยมองเป็นภาพรวมทั้งหมดโดยจะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่ออายุการใช้งานและสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ต่อคนต่อปี

3.5 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ขั้นตอนนี้เราจะให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใด

สำคัญที่สุด ซึ่งลักษณะของผลกระทบจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากร

4. การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา โดยจะจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน

สำหรับ ISO (International standard for organization) ได้ให้นิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผล เพื่อให้ได้ข้อสรุป โดยอธิบายข้อจำกัดและข้อแนะนำโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษาประเด็นหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

4.1 การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

4.2 การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง

4.3 การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่น ๆ หรือไม่

## ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change)

การทำให้โลกร้อน (Global warming) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เกิดจากการใช้พลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์โดยเฉพาะการผลิตทางอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่งทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดเป็น Greenhouse effect หรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปโดยทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพราะส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลให้มีจำนวนวันที่อากาศร้อนเพิ่มขึ้น คลื่นความร้อนรุนแรงขึ้น เกิดภัยพิบัติสืบเนื่องจากภูมิอากาศ เช่น พายุ น้ำท่วมอย่างรุนแรง มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เป็นต้น

ก๊าซธรรมชาติซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า ให้ความร้อนในการอบสี รวมไปถึงใช้ผลิตไอน้ำ ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นก๊าซหลักที่ผสมอยู่ในก๊าซธรรมชาติ การเผาไหม้ของก๊าซมีเทน ($CH_4$) จะมีการปล่อยพลังงานความร้อนออกมาและมีสมการเคมี ดังนี้

$CH_4 + 2O_2 + 7.52N_2 = CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$

ในกรณีของการปล่อยก๊าซ $CO_2$ $CH_4$ และ $N_2O$ ออกสู่สิ่งแวดล้อมพบว่าก๊าซแต่ละตัวมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global warming potential, GWP) ไม่เท่ากัน จึงต้องนำมาเทียบกับก๊าซอ้างอิง ซึ่งในกลุ่มผลกระทบภาวะโลกร้อนนี้ก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงคือ $CO_2$ ซึ่งให้ค่า GWP เท่ากับ 1 ในขณะที่ $CH_4$ มีค่า GWP เท่ากับ 21 เมื่อเทียบกับ $CO_2$ และ HFC-23 มีค่า GWP เท่ากับ 11,700 เมื่อเทียบกับ $CO_2$ เป็นต้น

**ผลกระทบด้านการเกิดหมอกผสมควัน (Photochemical smog)**

สาร VOCs เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีการดูดซับพลังงานแสง ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า หมอกผสมควัน (Photochemical smog) เนื่องจากการรวมตัวของสาร VOCs กับออกไซด์ของไนโตรเจน ($NO_x$) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดเป็นสารออกซิแดนซ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอโซน แสดงปฏิกิริยาดังสมการ

VOC + NO + $O_2$ + UV = $O_3$ and other oxidants

โอโซนที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสูงจะทำหน้าที่กรองแสงอุลตราไวโอเลตคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้ตกสู่พื้นโลก แต่เมื่อโอโซนอยู่ในบรรยากาศชั้นใกล้โลกกลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เจ็บไข้ไม่สบาย เกิดอาการเจ็บคอ หายใจไม่สะดวก ถ้าได้รับเป็นเวลานาน เนื้อเยื่อปอดจะถูกทำลายอย่างถาวร และมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์ นอกจากนี้โอโซนยังเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ทำให้สิ่งก่อสร้างชำรุด เป็นตัวฟอกสี และยังมีผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำลงอีกด้วย การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลจะถูกวัดด้วยการเกิดพิษของโอโซน (Photochemical ozone formation) มีหน่วยเป็น kg NMVOC eq หรือ kg equivalent of non methane volatile organic compounds

**Life cycle assessment software**

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่าง ๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณและการประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั้นคือ ประกอบด้วยการวิเคราะห์บัญชีรายการการประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษา ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีดังนี้

1. ฐานข้อมูล
2. การคำนวณบัญชีรายการ
3. การประเมินผลกระทบ
4. การแปลผลข้อมูล

ซึ่งคุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและโปรแกรมดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA (วรสิทธิ์ หินทอง, 2553)

| หัวข้อ | CUMPA N 1.44 | ECO-it 1.0 | EDIP PC tool | EPS 4.0 Design System | Gabi 3 | SimaPro 4.0 | TEAM | Umberto 3.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | $2,500 | $3,000 | $1,000-20,000 |
| เวลาที่ใช้ในการศึกษา | 1 วัน | <2ชั่วโมง | <1สัปดาห์ | <1สัปดาห์ | <1เดือน | <1วัน | <1วัน | <1สัปดาห์ |
| วิธีการประเมินผลกระทบ | Several | All single score method | EDIP, Environmental Method | EPS | Eco Indicator +create your own method | EI95,EI99,EP 97, CML,EDIP,EPS | CML,EPA, IPCC, CVCH | Eco Indicator, Swiss eco Point |
| เป็นไปตามมาตรฐาน ISO | x | - | x | x | x | x | x | x |
| แสดงผลในภาพตาราง | x | x | x | x | x | x | x | x |
| แสดงผลในภาพกราฟ | x | x | x | x | x | x | x | x |
| การปรับปรุงข้อมูล | ทุกปี | ช่วงเวลาอื่น | ช่วงเวลาอื่น | ทุกปี | ช่วงเวลาอื่น | ทุก 2 ปี | ทุกปี | ช่วงเวลาอื่น |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| หัวข้อ | CUMPA N 1.44 | ECO-it 1.0 | EDIP PC tool | EPS 4.0 Design System | Gabi 3 | SimaPro 4.0 | TEAM | Umberto 3.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อมเป็นหน่วย Pt | x | - | x | x | x | x | x | x |
| แสดงผลในแต่ละประเภทของผลกระทบ | x | - | x | x | x | x | x | x |
| สามารถผลเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ | x | x | x | x | x | x | x | x |
| สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้ | x | x | x | x | - | x | - | x |
| ตรงเป้าหมายสำหรับวิศวกรออกแบบ | x | - | x | x | x | x | x | x |
| ตรงเป้าหมายสำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม | - | - | - | x | x | x | x | x |
| ตรงเป้าหมายสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA | x | x | x | x | x | x | x | x |
| มีฐานข้อมูล | x | x | x | x | x | x | x | x |
| สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปได้ | x | - | x | x | x | x | x | x |

หมายเหตุ: X หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม, - หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

## โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

จากตารางการการเปรียบเทียบข้างต้น จะเห็นได้ว่า โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปตารางหรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาไม่มาก มีการปรับปรุงข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรม LCA อื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ ราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre' Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่าง ๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิตมาจัดอย่างเป็นระบบโดยข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป (วรสิทธิ์ หินทอง, 2553) โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล

2. การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น

3. การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-indicator 99, EDIP, EPS 2000 เป็นต้น โดยที่ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็นขั้นตอน ดังนี้

3.1 Characterization: การจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบ พลังงาน หรือสิ่งต่าง ๆ ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบอย่างไร อาทิเช่น สาร $CO_2$ ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เป็นต้น

3.2 Damage assessment: การแปลข้อมูลที่ทำการ Characterization แล้วให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ทางด้วยกัน คือ ผลกระทบต่อมนุษย์นิเวศวิทยา และการเสื่อมสลายของทรัพยากร

3.3 Normalization: การหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม

3.4 Weighting: การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting factor) ขึ้นกับผู้ประเมิน

4. การแปลความหมายข้อมูล: การนำเอาผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่าง Method ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (วณิชญา ถนอมพลกรัง, 2557)

| Method | รายละเอียด |
|---|---|
| **CML 2 baseline 2000** | เป็นฐานข้อมูลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อมูลจาก Eco-invent 2.0 และเพิ่มข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ที่ไม่มีในโปรแกรมนี้โดยตั้งชื่อใหม่เป็น CML 2 baseline 2000 โดย Method นี้จะประเมินผลกระทบสำคัญที่มีการแนะนำใน Handbook on life cycle assessment เท่านั้น |
| **CML2001 (All impact categories)** | เหมือนวิธี CML 2 baseline 2000 แต่แตกต่างจาก CML 2 baseline 2000 คือ CML 2 baseline 2000 มีแค่ผลประเมินที่สำคัญเพียงเท่านั้น แต่ CML 2001 เป็นการประเมินผลกระทบทั้งหมด |
| **Eco-indicator 99(E)** | เป็นการให้น้ำหนักผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อทรัพยากร โดย E มาจาก Egalitarian perspective |
| **Eco-indicator 99(H)** | เหมือนวิธี Eco-indicator 99(E) แต่มองคนละมุมมองกับ Eco-indicator 99(E) โดย H มาจาก Hierarchies perspective |
| **Eco-indicator 99(I)** | เช่นเดียวกับ Eco-indicator 99(E) โดย Individualist perspective มาจาก Hierarchies perspective ซึ่งมองคนละมุมมองกับ Eco-indicator 99(E) |

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

| Method | รายละเอียด |
|---|---|
| **Ecological Scarcity 2006** | เป็น Method ที่นำฐานข้อมูลจากการรวบรวมของบริษัท ESU-service ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้าน LCA โดยเฉพาะ ประกอบด้วยผลกระทบ 7 ประเภท ได้แก่ Emission into air, emission into surface water, emission into top soil, emission into ground water, emission into top soil, Energy resource, Natural resource, Deposited waste โดยใช้หน่วยเดียวกัน คือ UBP |
| **EDIP 2003** | เป็น Method ในการทำ LCA ของประเทศเดนมาร์ก ดัดแปลงจาก EDP 2007 |
| **EPS 2000** | Method นี้เป็นมาตรฐานที่นักวางแผนด้านสิ่งแวดล้อมนิยมใช้ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 13 ประเภท |
| **Impact 2002+** | เป็นการรวม Method Impact 2002, Eco-indicator 99, CML และ IPCC เข้าด้วยกันโดยเน้นไปที่สารก่อมะเร็ง ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และความเป็นพิษต่อดิน โดยมีผลกระทบ 14 ประเภท |
| **ILCD2011 Midpoint+** | มีการแจกแจงผลกระทบจากวัตถุดิบหรือกระบวนการมากถึง 16 ประเภท และมีการแปรผลแสดงออกเป็นถึง 4 ลักษณะ คือ Characterization Normalization Weighting และ Single score |

## การประเมินผลกระทบโดยวิธี ILCD 2011 Midpoint+

งานวิจัยนี้เลือกการประเมินผลกระทบโดยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting ซึ่งมีประเภทของการประเมินผลกระทบ Photochemical ozone formation และ Climate change ที่เป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้อยู่ด้วยและมีการแปรผลแสดงออกเป็นถึง 4 ลักษณะ คือ Characterization, Normalization ,Weighting และ Single scoreโดยการแจกแจงผลกระทบจากวัตถุดิบหรือกระบวนการของวิธี ILCD 2011 Midpoint+ แบ่งออกเป็น 16 ประเภท คือ

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) มีหน่วยเป็น kg $CO_2$ eq. หรือ kg equivalent in $CO_2$

2. การลดลงของโอโซน (Ozone depletion) มีหน่วยเป็น kg CFC-11 eq. หรือ kg equivalent of trichlorofluoromethane

3. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity, non-cancer effect) มีหน่วยเป็น CTUh หรือ comparative toxic units for human (In practice: disease cases per kg emitted = CTUh per kg emitted.)

4. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity, cancer effect) มีหน่วยเป็น CTUh หรือ comparative toxic units for human (In practice: disease cases per kg emitted = CTUh per kg emitted.)

5. สภาวะการเกิดความเป็นกรด (Acidification) มีหน่วยเป็น mole H+ eq. หรือ equivalent molar concentration of the hydrogen ion

6. ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matter) มีหน่วยเป็น kg $PM_{2.5}$ eq. หรือ kg equivalent of particulate matter with diameter under 2.5 μm

7. การแผ่รังสีไอออไนซ์ต่อระบบนิเวศน์ (Ionizing radiation ecosystem) มีหน่วยเป็น CTUe หรือ comparative toxic units for ecosystem

8. รังสีไอออไนซ์ – ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Ionizing radiation-human health effects) มีหน่วยเป็น kBq U-235 eq. to air หรือ equivalent uranium radiation measured in kilo becquerel

9. การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลหรือการเกิดพิษของโอโซน (Photochemical ozone formation) มีหน่วยเป็น kg NMVOC eq หรือ kg equivalent of non methane volatile organic compounds

10. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นบนบก (Terrestrial eutrophication) มีหน่วยเป็น mole N eq. หรือ equivalent molar concentration of the nitrogen atom

11. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication) มีหน่วยเป็น kg P eq. หรือ kg phosphorus equivalent

12. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นทางทะเล (Marine eutrophication) มีหน่วยเป็น kg N eq. หรือ kg equivalent nitrogen

13. ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity) มีหน่วยเป็น CTUe หรือ comparative toxic units for ecosystem (expresses the estimated potentially affected

fraction of species (PAF) integrated over time and the volume of the freshwater compartment, per unit of mass of the chemical emitted. In practice: PAF × $m^3$ × day per kg emitted = CTUe per kg emitted.)

14. การใช้ที่ดิน (Land use) มีหน่วยเป็น kg C deficit หรือ soil organic carbon deficit in kg

15. การลดลงของทรัพยากรน้ำ (Water resource depletion) มีหน่วยเป็น $m^3$ water eq. หรือ equivalent volume of water

16. การลดลงของสินแร่และเชื้อเพลิงฟอสซิล (Mineral, fossil & ren resource depletion) มีหน่วยเป็น kg Sb eq. หรือ kg equivalent of antimony

## กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ในโรงงานผลิตรถยนต์

1. กระบวนการผลิตรถยนต์

1.1 กระบวนการขึ้นรูปตัวถังรถยนต์ (Stamping) ดำเนินการผลิตชิ้นส่วนตัวถังของรถยนต์ทั้งชิ้นส่วน ภายนอก (Outer parts) และชิ้นส่วนภายใน (Inner parts) ที่เป็นแผ่นโลหะมาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ ซึ่งกระบวนจะผ่านการขึ้นรูปที่แม่พิมพ์ทีละขั้นตอนโดยผ่านการอัดขึ้นรูปจากเครื่องจักร

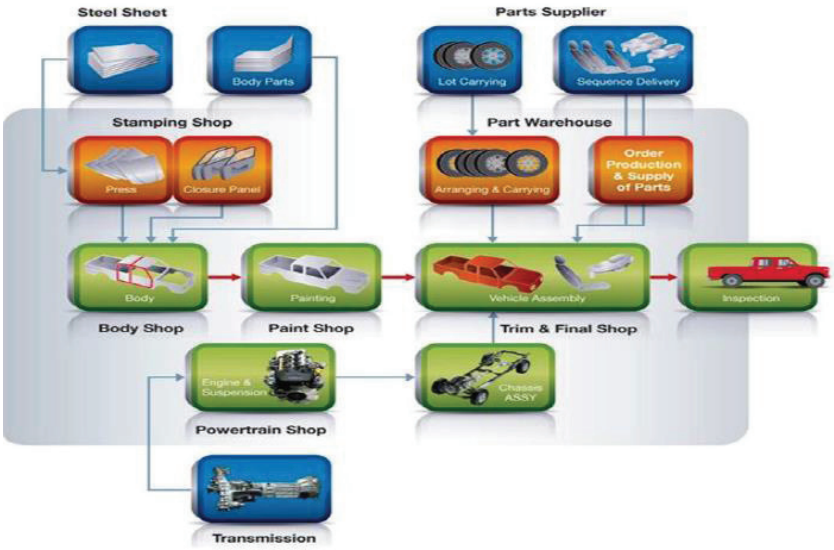
1.2 กระบวนการประกอบตัวถังรถยนต์ (Body) เป็นการประกอบโครงสร้างต่าง ๆ ของตัวถังรวมถึงส่วนกระบะโดยการเชื่อมซึ่งมีความละเอียดและซับซ้อนในการเชื่อมจุดต่าง ๆ เป็นอย่างมาก

1.3 กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ (Paint) หลังจากรับรถ (ตัวถังรถยนต์และตัวกระบะ) ที่ส่งมาจากแผนกประกอบตัวถังรถยนต์ ก่อนเริ่มทำสีต้องผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดและชุบสีกันสนิมด้วยระบบไฟฟ้า และซีลปิดรอยตะเข็บของตัวถังรถยนต์เพื่อกันน้ำรั่ว หลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการเตรียมผิวและพ่นสีต่อไป ซึ่งกระบวนการพ่นสีจะปลดปล่อยมลพิษ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 กระบวนการผลิตและประกอบเครื่องยนต์ (Power train) ซึ่งชิ้นส่วนหลัก ๆ ของเครื่องยนต์จะถูกประกอบขึ้น เช่น ฝาสูบ ชิ้นส่วนภายในฝาสูบ โดยเครื่องยนต์ที่ประกอบเสร็จแล้วจะถูกนำมาทดสอบขั้นสุดท้ายและตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งไปยังส่วนประกอบเครื่องยนต์ต่อไป

1.5 กระบวนการประกอบรถยนต์ (Assembly) มีกระบวนการย่อยต่าง ๆ ได้แก่ การประกอบชิ้นส่วนภายในห้องผู้โดยสาร การประกอบช่วงล่าง (แชสซี) การประกอบเครื่องยนต์

เข้ากับแชสซีและหัวเก๋งเข้ากับแชสซี การประกอบขั้นสุดท้าย นอกจากนั้น ยังทำมีซ่อมแซมหรือแก้ไขส่วนที่บกพร่องในขั้นตอนการประกอบต่าง ๆ เพื่อคุณภาพสูงสุดของรถยนต์ด้วย




ภาพที่ 2-4 กระบวนการผลิตรถยนต์ (อิทธิพล พ่ออามาตย์, 2556)

2. กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์

กระบวนการทำสี หลังจากที่ได้ตัวถังรถจากการเชื่อมประกอบแล้ว ตัวถังที่เป็นโลหะนั้นจะต้องนำมาพ่นสีเพื่อความสวยงาม และเป็นการป้องกันการเกิดสนิม สำหรับกระบวนการทำสีนั้นสามารถสรุปเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการล้างและเตรียมผิวเหล็ก ในขั้นตอนนี้ จะนำตัวถังเข้าล้างคราบไขมันและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ติดอยู่ที่ตัวถังให้สะอาดแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการเตรียมผิว โดยสร้างให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อเพิ่มคุณภาพในการยึดเกาะของสีให้ดีที่สุดและป้องกันสนิม ในกระบวนการนี้จะใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมค่าต่าง ๆ ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ตลอดเวลา

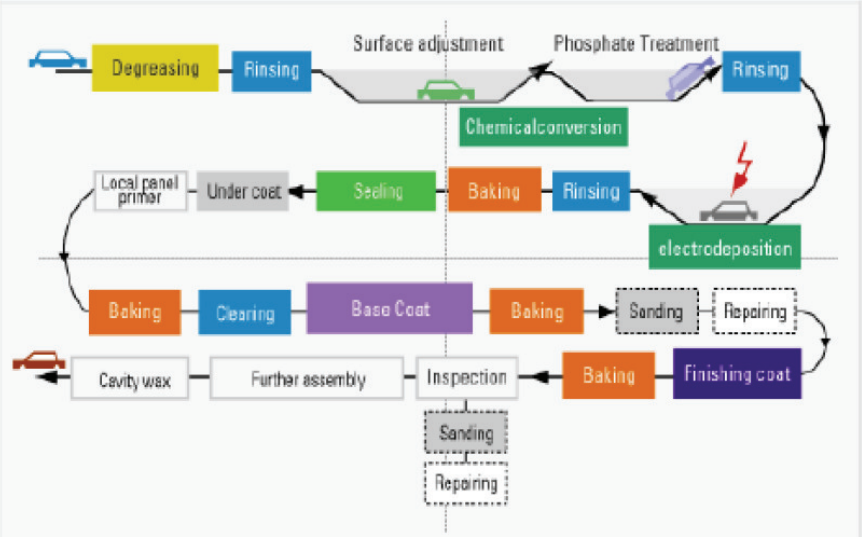
2.2 ขั้นตอนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า หรือ อีดี พี (Electro deposition paint) ตัวถังรถที่ผ่านการล้างและเตรียมผิวแล้ว ก็จะนำมาชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อให้เนื้อสีสามารถเข้าไปเกาะติดที่ตัวถังรถได้ทุกซอกทุกมุม ในการชุบนั้น จะนำตัวถังรถทั้งคันจุ่มลงในบ่อสี แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าไปที่ตัวถังรถ กระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่พาเนื้อสีที่เป็น ตัวนำไฟฟ้า

เช่นกัน ให้เข้าไปเกาะที่ตัวถังรถทุก ๆ จุดในปริมาณเนื้อสีที่ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นก็จะนำเข้าอบสีให้แห้ง

2.3 ขั้นตอนการหยอดกาว หลังจากที่รถยนต์ได้ผ่านกระบวนการพ่นกันสนิมโดยระบบ e-coat เรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปเก็บงานการซีลตะเข็บ การเก็บตะเข็บต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้จะอุดแนวต่อต่าง ๆ ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นรถเพื่อป้องกันน้ำที่จะรั่วเข้ามาในห้องโดยสาร ถ้าต้องนำรถไปใช้งานในขณะฝนตก กาวที่ใช้จะเป็นประเภท พีวีซี (PVC) ซึ่งจะต้องใช้ความร้อนในการอบแห้งเช่นกัน และถูกส่งไปในกระบวนการพ่นสีรองพื้น นี่เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในหลาย ๆ เหตุผล สีรองพื้นนี้จะเป็นตัวเข้าไปอุดรู ลบรอยขีดข่วนต่าง ๆ ในตัวรถ และเป็นตัวยึดเกาะระหว่างตัวถังและสีจริง (Based coat) ยึดเกาะกัน

2.4 ขั้นตอนการพ่นสีพื้น ในขั้นตอนนี้ จะนำตัวถังที่ผ่านการหยอดกาวแล้ว มาพ่นสีพื้น สำหรับการพ่นสีพื้นจะเป็นการเตรียมเฉดของสีให้ใกล้เคียงกับสีจริง เพื่อความสามารถในการยึดเกาะและความเงาของสีส่วนใหญ่ลักษณะของโทนสีพื้นจะเป็นสีอ่อน เช่น สีขาว หรือสีเทา เป็นต้น เมื่อทำการพ่นสีเสร็จแล้ว ก็จะถูกสายพานลำเลียงเข้าสู่ห้องอบสี

2.5 ขั้นตอนการพ่นสีจริง ในขั้นตอนนี้จะมีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติมาช่วยทำงานในการพ่นสี โดยการใช้หุ่นยนต์พ่นสีทั้งสีพื้นและสีจริง จะทำให้การพ่นสีมีประสิทธิภาพสีมีความเงางามและสม่ำเสมอ เพิ่มความสวยงามและคุณภาพของสีตัวถังรถ สีจริงหรือสีชั้นบนสุดนี้จะเป็นสีที่คงทนต่อการขีดข่วน ความร้อนแรงกระแทก และสารเคมีบางชนิดได้เป็นอย่างดีตลอดจนมีความสวยงามและง่ายต่อการบำรุงรักษาอีกด้วยโดยปกติแล้ว จะมีสีอยู่ 2 ประเภท คือ สีโซลิด (Solid) ซึ่งดูเรียบด้านเหมือนสีน้ำทั่วไป และสีเมทัลลิค (Metallic) ซึ่งดูแวววาวมากกว่า และมีเคลียร์ (Clear) เคลือบทับอีกชั้นหนึ่งขั้นตอน ในการพ่นสีจริงนั้น สำหรับสีโซลิดจะมีเพียงชั้นเดียว ส่วนสีเมทัลลิคจะมีอยู่ 2 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 จะเป็นชั้นสี ชั้นที่ 2 จะเป็นชั้นสารเคลือบเงาในประเภทแลคเกอร์ หรือเคลียร์หลังจากพ่นสีแล้วจะนำเข้าห้องอบสีซึ่งจะใช้สายพานลำเลียงส่งเข้าไป และลำเลียง ออกมาด้วยระยะเวลาที่เท่า ๆ กันทุกคัน หลังจากผ่านกระบวนการทำสีแล้วตัวถังก็จะส่งตัวถังที่พ่นสีเสร็จเรียบร้อยแล้วต่อไปยังแผนกประกอบ เพื่อทำการประกอบชิ้นส่วนอื่น ๆ ต่อไป




ภาพที่ 2-5 กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ (อิทธิพล พ่ออามาตย์, 2556)

3. สารเคมีเป้าหมายในอุตสาหกรรมยานยนต์ในกระบวนการพ่นสี 11 ชนิด

3.1 Methyl ethyl ketone

3.2 Toluene

3.3 1,3,5-trimethylbenzene

3.4 Xylenes

3.5 Chromium and its compounds

3.6 Lead and its compounds

3.7 Manganese and its compounds

3.8 Nickel and its compounds

3.9 Zinc and its compounds

3.10 Bis (2-ethylhexyl)phthalate

3.11 Phosphoric Acid

4. ตัวอย่างพื้นฐานการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษของกระบวนการพ่นสี

4.1 โดยใช้วิธีการปันส่วน

ตัวอย่าง การใช้สารเคมี (Chemical treatment) ในกระบวนการพ่นสี ปริมาณน้ำยาเคมีที่ใช้ต่อปี คือ 22 ตันต่อปี สารเคมีเป้าหมายในน้ำยาเคมี คือ Manganese และสารประกอบ (5.2 % โดยน้ำหนัก) คำนวณการปลดปล่อยมลพิษและการเคลื่อนย้ายของสาร Manganese

วิธีการคำนวณ ปริมาณสาร Manganese และสารประกอบที่ใช้ในหนึ่งปีมีค่าเท่ากับ 22 ตัน/ ปี x 5.2%/ 100 x 1,000 = 1,144 กิโลกรัม/ ปี

4.2 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษ

ตัวอย่าง ชนิดของสีที่ใช้ คือ สารเคลือบที่ละลายด้วยตัวทำละลายที่ใช้สำหรับยานยนต์ (Solvent borne spray prime coat) จำนวนยานยนต์ที่ผลิตได้ คือ 13,000 คันต่อปี ปริมาณสาร Xylene ในสี คือ 42 % โดยน้ำหนัก คำนวณการปลดปล่อยสาร Xylene สู่อากาศ ตารางสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศของการเคลือบผิว การพ่นสี ยานยนต์และรถบรรทุกขนาดเล็ก

ตารางที่ 2-3 ค่าสัมประสิทธิ์ การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ (อิทธิพล พ่ออามาตย์, 2556)

| **การพ่นสี** | **รถยนต์ (kg-VOC)** | | **รถบรรทุกขนาดเล็ก (kg-VOC)** | |
|---|---|---|---|---|
| **และการเคลือบสี** | **ต่อคัน** | **ต่อชั่วโมง** | **ต่อคัน** | **ต่อชั่วโมง** |
| **Prime coat Solvent borne spray** | 6.61 | 363 | 19.27 | 732 |
| **Cathode electrodeposition** | 0.21 | 12 | 0.27 | 10 |
| **Guide coat** | | | | |
| **Solvent borne spray** | 1.89 | 104 | 6.38 | 243 |
| **Waterborne spray** | 0.68 | 38 | 2.3 | 87 |

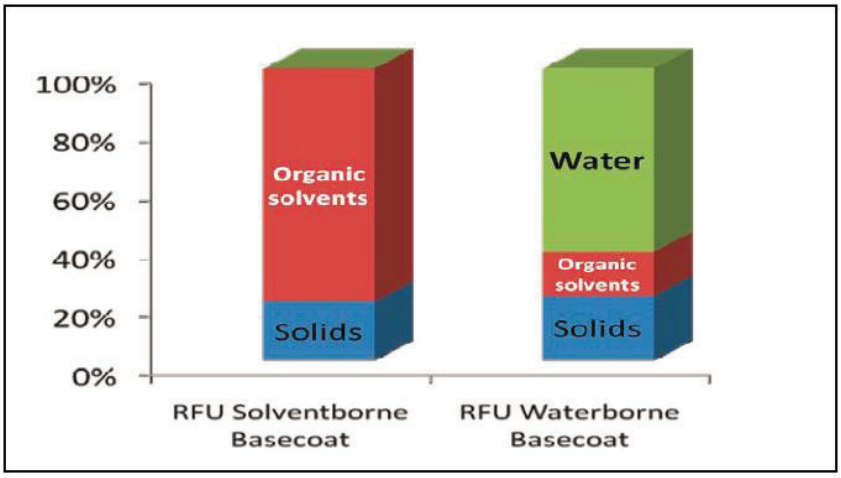
ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

| การพ่นสี | รถยนต์ (kg-VOC) | | รถบรรทุกขนาดเล็ก (kg-VOC) | |
|---|---|---|---|---|
| และการเคลือบสี | ต่อคัน | ต่อชั่วโมง | ต่อคัน | ต่อชั่วโมง |
| **Top coat** | | | | |
| **Dispersion lacquer** | 14.50 | 798 | ND | ND |
| **Enamel** | 7.08 | 390 | 17.71 | 673 |
| **Base coat/ clean coat** | 6.05 | 333 | 18.91 | 719 |
| **Waterborne** | 2.25 | 124 | 7.03 | 267 |

วิธีการคำนวณ อ้างอิงตารางค่าสัมประสิทธิ์ การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ 6.61 กิโลกรัมต่อคัน ดังนั้นการปลดปล่อยสาร Xylene สู่อากาศมีค่าเท่ากับ 6.61 กิโลกรัม/คัน x 13,000 คัน/ ปี x 42%/ 100 = 36,090 กิโลกรัม/ ปี

**Water based paint**

Water based paint คือ เทคโนโลยี ซึ่งแทนที่ตัวทำละลาย (ทินเนอร์) ด้วยน้ำ DI ประมาณ 90% ซึ่งเป็นการลดสารอินทรีย์ละเหยง่าย (VOCs) และยังมาพร้อมกับคุณภาพของสีที่ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้ระบบการพ่นทับแบบเปียก (On wet) จึงสามารถลดการใช้พลังงานในการอบสีระหว่างการพ่นซ้ำ ซึ่งถือว่าเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย




ภาพที่ 2-6 กราฟเปรียบเทียบ Organic solvent ระหว่างสีชนิด Solvent based และ Water based (MAHESH N SALKAR, 2015)

## ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

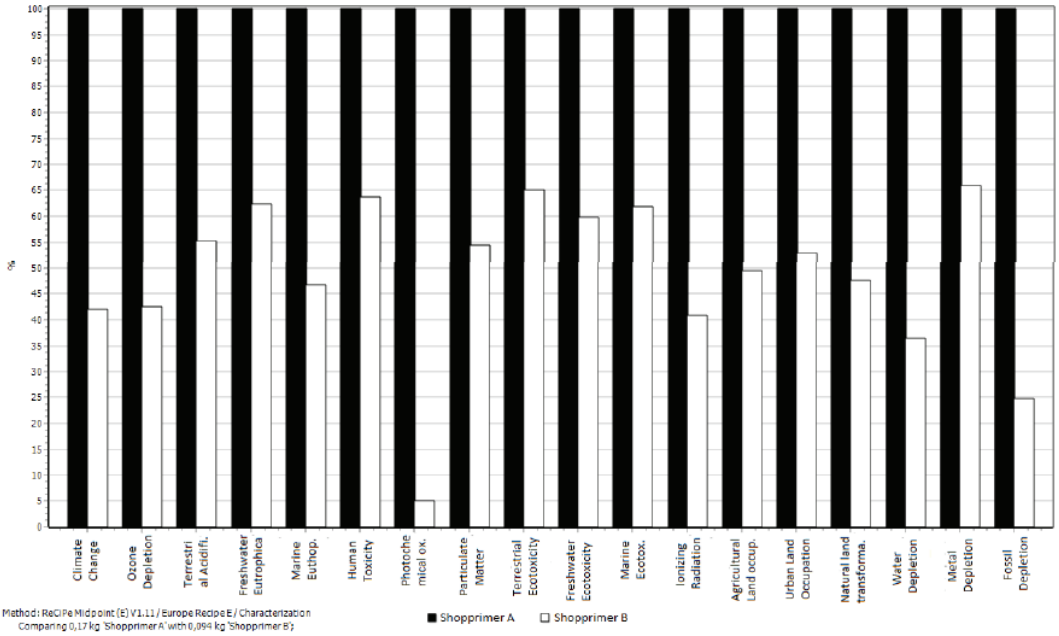
จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถสรุปได้ดังนี้

เนตรนภา ศรีทัดจันทา (2558) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงานที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนระเหยง่ายของสีชนิด Solvent based และ Water based ในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ในอู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์จำนวน 3 แห่งในกรุงเทพมหานคร อู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์ทุกแห่งจะใช้สีพ่นรถยนต์ที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายและน้ำเป็นสารทำละลาย พบว่า สีทั้งสองประเภทมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบในเม็ดสี เนื่องจากระบบระบายอากาศที่ไม่เพียงพอทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในห้องผสมสีมีค่าสูงกว่าห้องพ่นสีรถยนต์ ในห้องผสมสีของอู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์ที่ 1, 2 และ 3 ในกรณีที่ใช้สีชนิดที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวทำละลาย พบโทลูอีน มีความเข้มข้นสูงที่สุด เท่ากับ0.186, 0.276 และ 0.453 ก./ม.$^3$ ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้สีชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย พบเมทิลเอทิลคีโตน ที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.361, 0.541 และ 0.903 ก./ม.$^3$ ตามลำดับ ส่วนห้องพ่นสีของอู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์ที่ 1, 2 และ 3 ในกรณีที่ใช้สีชนิดที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวทำละลาย พบไซลีน มีความเข้มข้นสูงที่สุด เท่ากับ 0.45, 0.45 และ 0.14 ก./ม.$^3$ ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้สีชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย พบโพรพานัล ที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.005, 0.005 และ 0.015 ก./ม.$^3$ ตามลำดับ ถึงแม้ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ประเมินได้ไม่เกินมาตรฐาน แต่ผลการประเมินความเสียงต่อสุขภาพพนักงานที่ปฏิบัติงานในห้องผสมสีและห้องพ่นสีของอู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์ทุกแห่ง พบว่าการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายของ

สีชนิดที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวทำละลายในห้องพ่นสีรถยนต์มีความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพพนักงาน ส่วนการใช้สีชนิดน้ำเป็นตัวทำละลายในห้องพ่นสีรถยนต์มีความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

Anne Ronning, Ole Jorgen Hanssen, Hanne Moller, Anne-Lill Gade, and Una C. Haug, (1993) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของสี 2 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สีชนิด Solvent based paint มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้แก่ Photo-oxidant formation, Global warming, Acidification และ Use of fossil fuel สูงกว่าสีชนิด Water based paint

Semih Oguzcan, Ausra Rande, Jolanta Dvarioniene, and Jolita Kruopiene (2016) ได้ทำการเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของสี primer ชนิด Waster based กับ Solvent based สำหรับกระบวนการ Steel plate priming ของทั้งสองไลน์การผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในไลน์การผลิตแบบ Water based นั้น มีค่าทางด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าทุกด้าน และทุกผลกระทบลดลงมากกว่า 30%




ภาพที่ 2-7 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างสีชนิด Solvent based และ Water based (Semih Oguzcan, et al., 2016)

Stella Papasavva, Sheila Kia, Joseph Claya, and Raymond Gunther (2002) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการทำสีรถยนต์ที่แตกต่างกัน 3 ระบบ โดยแบบจำลองที่ 1 คือ Solvent borne primer-Waterborne basecoat-Solvent borne clear coat แบบจำลองที่ 2 คือ Powder primer-Waterborne basecoat-Solvent borne clear coat และแบบจำลองที่ 3 คือ Powder primer-Waterborne basecoat-Powder clear coat เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกระบวนการทำสีรถยนต์ โดยผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ 3 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และจากการที่เปลี่ยนจากระบบที่ 1 มาเป็นระบบที่ 3 นี้ สามารถลด Energy consumption ลง 22% ลด Water usage ลง 34% และลด Sludge generation ลง 27%

จากการทบทวนงานวิจัยที่มีการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้ พบว่ายังไม่มีการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง VOCs (Photochemical smog) และ $CO_2$ (Global warming) กระบวนการทำสีรถยนต์ในโรงงานประกอบรถยนต์แบบ Solvent based และ Water based ซึ่งจะมีเพียงแค่การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงานที่ได้รับสาร VOCs ของสีชนิด Solvent based และ Water based ในกระบวนการพ่นสีรถยนต์ในอู่ซ่อมพ่นสีรถยนต์เท่านั้น (เนตรนภา ศรีทัดจันทา, 2558) สำหรับในต่างประเทศพบการประเมินวัฏจักรชีวิตที่เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีรถยนต์แบบ Solvent based กับ Water based (Stella Papasavva, et al., 2002) แต่ระบบพ่นสีที่นำมาใช้ในการประเมินนั้นมีสีชนิด Powder อยู่ในระบบด้วย จึงไม่ตรงกับงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการเปรียบเทียบสีรถยนต์แบบ Solvent based กับ Water based เท่านั้น ส่วนอีกงานวิจัยหนึ่งได้ทำการเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของสี Primer ชนิด Solvent based กับ Water based สำหรับกระบวนการ Steel plate priming (Semih Oguzcan, et al., 2016) ซึ่งงานวิจัยนี้ก็จำกัดเพียงแค่สีชนิด Primer และเป็นกระบวนการ Steel plate primingไม่ใช่กระบวนการทำสีรถยนต์ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากกว่า ดังนั้นควรที่จะมีการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง VOCs (Photochemical smog) และ $CO_2$ (Global warming) กระบวนการทำสีรถยนต์ในโรงงานประกอบรถยนต์แบบ Water based กับ Solvent based เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของรถยนต์ต่อไปในอนาคต

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based กับชนิด Water based ด้วยหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 8.4 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยมีขั้นตอนการประเมินดังต่อไปนี้

## การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย (Goal and scope definition)

1. การกำหนดเป้าหมาย (Goal)

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานและสารเคมีของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based กับชนิด Water based โดยมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาทั้งหมด 16 ประเภท

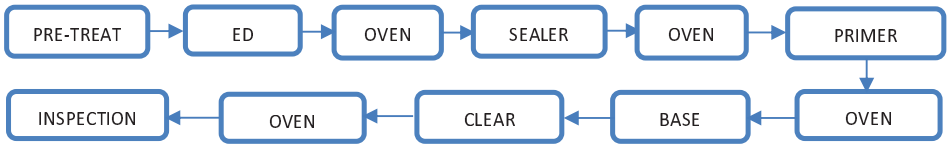
2. หน่วยหน้าที่การใช้ (Functional unit)

กำหนดหน่วยหน้าที่การใช้ (Functional unit) คือ พื้นที่ตัวถังรถยนต์ขนาด 1 ตารางเมตร ที่มีการทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based และระบบ Water based

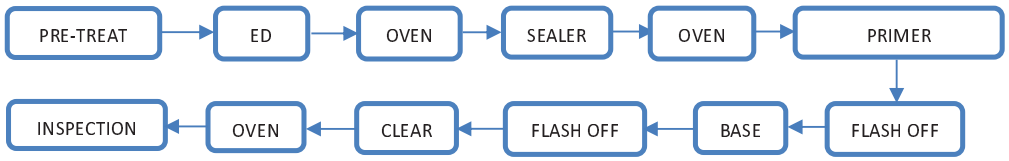
3. การกำหนดขอบเขตของงานวิจัย (Scope and system boundary)

ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ 2 ชนิด คือ แบบ Solvent based และแบบ Water based โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน การพ่นสีรองพื้น การพ่นสีจริง การอบ จนกระทั่งการตรวจสอบขั้นสุดท้ายและส่งต่อไปสู่กระบวนการประกอบรถยนต์ ดังภาพที่ 3-1

Solvent based paint process flow



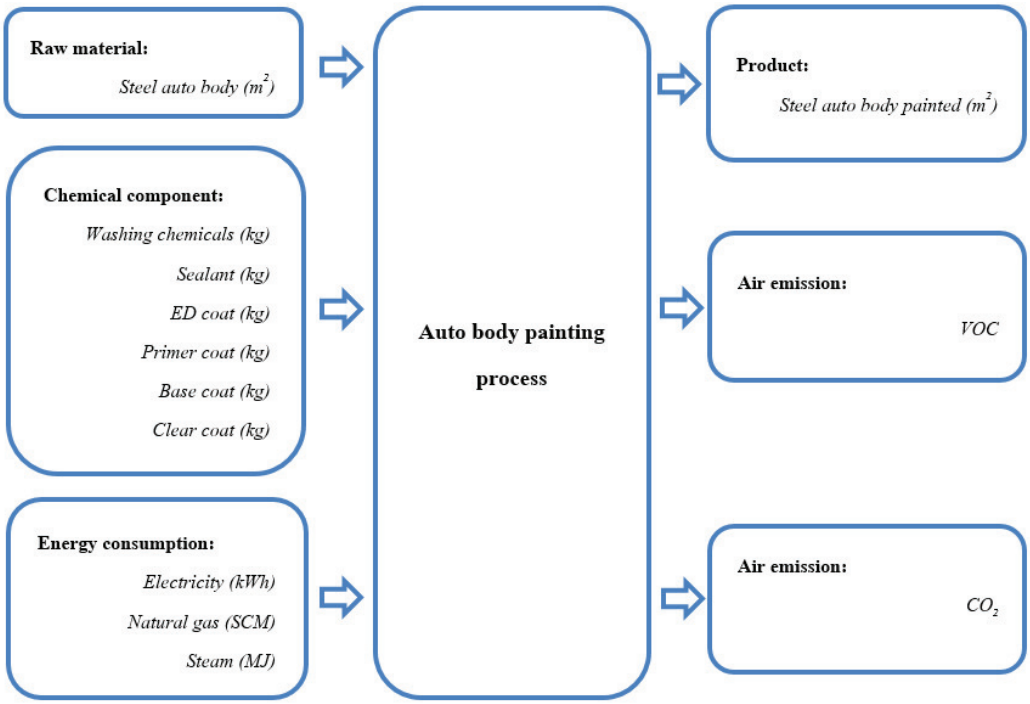

Water based paint process flow




ภาพที่ 3-1 กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์และการปลดปล่อยมลพิษ

**การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)**

หลังจากกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้วจึงวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory: LCI) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการ การเก็บข้อมูล การระบุชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ และพลังงาน ซึ่งการแสดงรายละเอียดของบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อไป




ภาพที่ 3-2 Flow diagram แสดง Input-Output ในกระบวนการผลิต

**1. วัตถุดิบ (Raw materials)**

วัตถุดิบในงานวิจัยนี้ หมายถึง สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ ซึ่งวัตถุดิบหลัก คือ กาว สีและตัวทำละลาย เช่น ไซลีน โทลูอีน โพรพานัล จากระบบ Solvent based paint และระบบ Water based paint

ทำการเก็บข้อมูลบันทึกปริมาณการใช้สีและตัวทำละลายในหน่วยกิโลกรัมของสีหรือสารละลายที่ใช้ต่อพื้นที่ของตัวถังรถยนต์ (กิโลกรัมของสีหรือสารละลายที่ใช้/ ตารางเมตร) และทำการหาองค์ประกอบของสารเคมีจาก SDS จากนั้นจะทำการเฉพาะเลือกสารเคมีที่เป็นสาร VOCs มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาเก็บข้อมูล 1 ปี ดังตารางที่ 3-1 ถึงตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล Inventory ของสี Primer เป็นรายเดือนของ Solvent based paint

| **Solvent based paint process** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Chemical usage/ Energy consumption** | **Unit** | **Month** | | | | | | | | | | |
| | | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| **Primer** | L30 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L53 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L80 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | Primer thin: H26 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | AC-10632(P17/R59) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | AC-10903(X08) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | AC-11019(C06,F27) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | AC-11312(D23) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | Color inner thin: No.36 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างแบบฟอร์มการคำนวณปริมาณการใช้สารเคมีด้วยวิธีป้นส่วนของสี Primer – L30 ชนิด Solvent based

| **Solvent based paint process** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Material name** | **Monthly usage (kg/ $m^2$)** | **Chemical component** | **Concentration %** | **Chemical usage (kg/ $m^2$)** |
| **Primer** | L30 | | ethylbenzene | 0.1-1 | |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 0.01-0.1 | |
| | | | toluene | 5-10 | |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 5-10 | |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 1-5 | |
| | | | silica amorphous | 0.1-1 | |

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

| Solvent based paint process | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Material name** | **Monthly usage ($kg/m^2$)** | **Chemical component** | **Concentration %** | **Chemical usage ($kg/m^2$)** |
| **Primer** | L30 | | n-butyl acetate | 1-5 | |
| | | | titanium dioxide | 15-20 | |
| | | | xylene | 10-15 | |
| | | | carbon black | 1-5 | |
| | | | formaldehyde | 0.1-1 | |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 0.1-1 | |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 1-5 | |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 1-5 | |
| | | | methanol | 0.01-0.1 | |
| | | | n-butanol | 1-5 | |
| | | | isobutanol | 0.1-1 | |
| | | | naphthalene | 0.1-1 | |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 0.1-1 | |

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลของสี Primer เป็นรายเดือนของ Water based paint

| **Water based paint process** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Chemical usage/ Energy consumption** | **Unit** | **Month** | | | | | | | | | | |
| | | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| **Primer** | L30 (NPT) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L53 (NPT) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L30 (TKP) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L53 (TKP) | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | L80 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |
| | Primer thin: H26 | kg/ $m^2$ | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างแบบฟอร์มการคำนวนปริมาณการใช้สารเคมีด้วยวิธีปันส่วนของสี Primer-L30 ชนิด Water based

| **Water based paint process** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Material name** | **Monthly usage (kg/ $m^2$)** | **Chemical component** | **Concentration %** | **Chemical usage (kg/ $m^2$)** |
| **Primer** | L30 | | WATER | 40-45 | |
| | | | BARIUM SULFATE | 10-15 | |
| | | | ACRYLIC RESIN | 5-10 | |
| | | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | 5-10 | |
| | | | TITANIUM DIOXIDE + | 5-10 | |
| | | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 5-10 | |
| | | | POLYURETHANE RESIN | 1-5 | |
| | | | PROPANOL, 1(or2)-(2-methoxymethylethoxy) | 1-5 | |

**PLANITTO #210 THINNER**

Catalogue number: BOM2-00275 / WD5220020018
รุ่นที่: 1.1

วันที่ออก: 14/02/2017
พิมพ์วันที่: 14/02/2017
S.GHS.THA.TH

**มาตรา 1 ระบุสาร / ผสมและของ บริษัท / กิจการ**

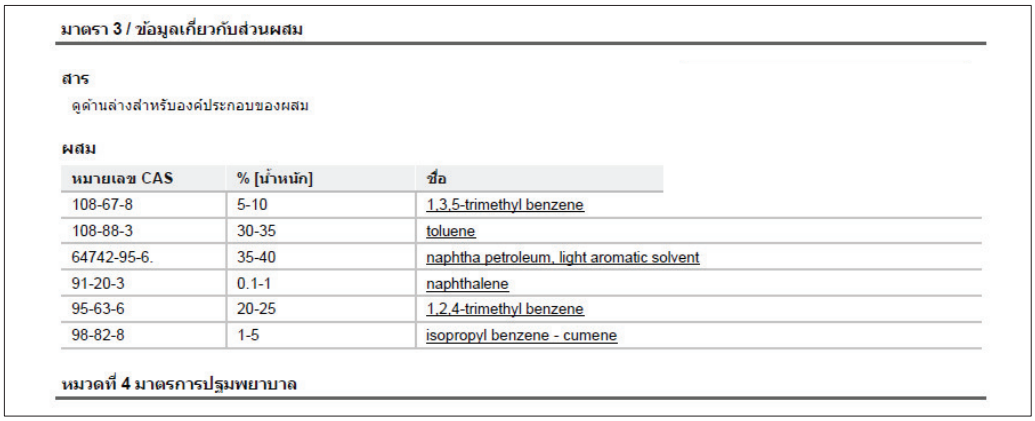
**ตัวบ่งชี้สินค้า**

| | |
|---|---|
| **ชื่อสาร** | PLANITTO #210 THINNER |
| **ชื่อการจัดส่งที่เหมาะสม** | PAINT or PAINT RELATED MATERIAL |
| **วิธีการอื่นของประชาชน** | BOM2-00275 / WD5220020018 |

**การใช้งานที่เกี่ยวข้องในการระบุของสารหรือของผสมและใช้ให้คำแนะนำกับ**

| | |
|---|---|
| **การใช้งานที่เกี่ยวข้องระบุว่า** | for paint |

ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในส่วนของการระบุชื่อสาร



**มาตรา 3 / ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม**

**สาร**

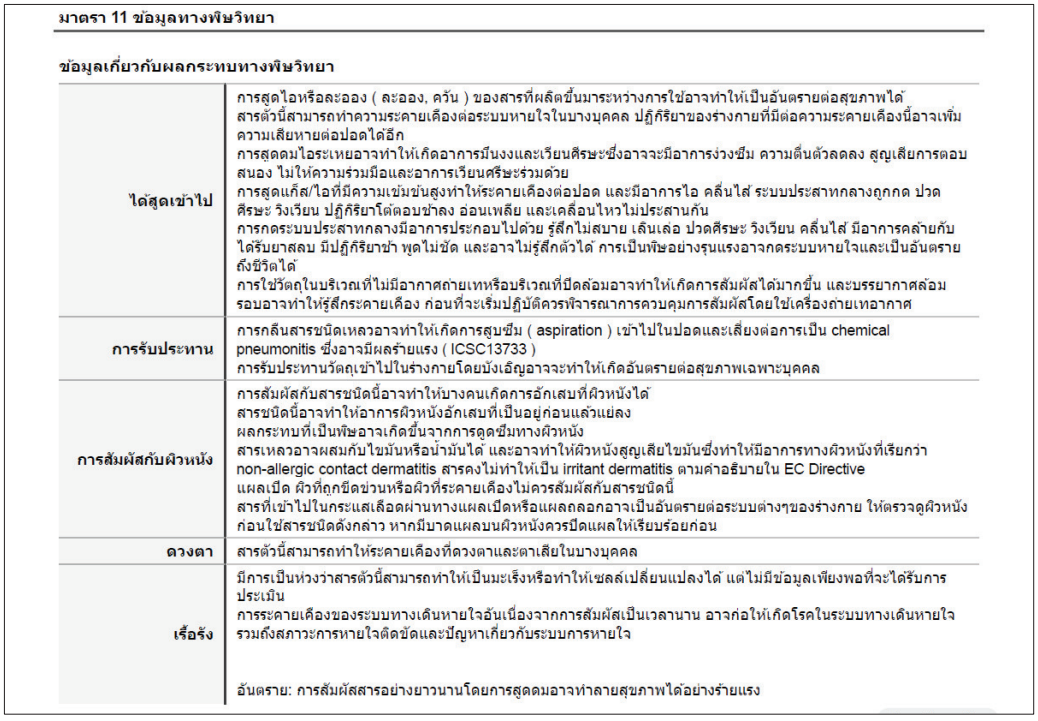
ดูด้านล่างสำหรับองค์ประกอบของผสม

**ผสม**

| หมายเลข CAS | % [น้ำหนัก] | ชื่อ |
|---|---|---|
| 108-67-8 | 5-10 | 1,3,5-trimethyl benzene |
| 108-88-3 | 30-35 | toluene |
| 64742-95-6. | 35-40 | naphtha petroleum, light aromatic solvent |
| 91-20-3 | 0.1-1 | naphthalene |
| 95-63-6 | 20-25 | 1,2,4-trimethyl benzene |
| 98-82-8 | 1-5 | isopropyl benzene - cumene |

**หมวดที่ 4 มาตรการปฐมพยาบาล**

ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในส่วนของข้อมูลองค์ประกอบ



**มาตรา 11 ข้อมูลทางพิษวิทยา**

**ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบทางพิษวิทยา**

| | |
|---|---|
| **ได้สูดเข้าไป** | การสูดไอหรือละออง ( ละออง, ควัน ) ของสารที่ผลิตขึ้นมาระหว่างการใช้อาจทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้<br>สารตัวนี้สามารถทำความระคายเคืองต่อระบบหายใจในบางบุคคล ปฏิกิริยาของร่างกายที่มีต่อความระคายเคืองนี้อาจเพิ่มความเสียหายต่อปอดได้อีก<br>การสูดดมไอระเหยอาจทำให้เกิดอาการมึนงงและเวียนศีรษะซึ่งอาจจะมีอาการง่วงซึม ความดันตัวลดลง สูญเสียการตอบสนอง ไม่ให้ความร่วมมือและอาการเวียนศีรษะร่วมด้วย<br>การสูดแก๊ส/ไอที่มีความเข้มข้นสูงทำให้ระคายเคืองต่อปอด และมีอาการไอ คลื่นไส้ ระบบประสาทกลางถูกกด ปวดศีรษะ วิงเวียน ปฏิกิริยาโต้ตอบช้าลง อ่อนเพลีย และเคลื่อนไหวไม่ประสานกัน<br>การกดระบบประสาทกลางมีอาการประกอบไปด้วย รู้สึกไม่สบาย เฉื่อยเฉย ปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้ มีอาการคล้ายกับได้รับยาสลบ มีปฏิกิริยาช้า พูดไม่ชัด และอาจไม่รู้สึกตัวได้ การเป็นพิษอย่างรุนแรงอาจกดระบบหายใจและเป็นอันตรายถึงชีวิตได้<br>การใช้วัตถุในบริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเทหรือบริเวณที่ปิดล้อมอาจทำให้เกิดการสัมผัสได้มากขึ้น และบรรยากาศล้อมรอบอาจทำให้รู้สึกระคายเคือง ก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติควรพิจารณาการควบคุมการสัมผัสโดยใช้เครื่องถ่ายเทอากาศ |
| **การรับประทาน** | การกลืนสารชนิดเหลวอาจทำให้เกิดการสูบซึม ( aspiration ) เข้าไปในปอดและเสี่ยงต่อการเป็น chemical pneumonitis ซึ่งอาจมีผลร้ายแรง ( ICSC13733 )<br>การรับประทานวัตถุเข้าไปในร่างกายโดยบังเอิญอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเฉพาะบุคคล |
| **การสัมผัสกับผิวหนัง** | การสัมผัสกับสารชนิดนี้อาจทำให้บางคนเกิดการอักเสบที่ผิวหนังได้<br>สารชนิดนี้อาจทำให้อาการผิวหนังอักเสบที่เป็นอยู่ก่อนแล้วแย่ลง<br>ผลกระทบที่เป็นพิษอาจเกิดขึ้นจากการดูดซึมทางผิวหนัง<br>สารเหลวอาจผสมกับไขมันหรือน้ำมันได้ และอาจทำให้ผิวหนังสูญเสียไขมันซึ่งทำให้มีอาการทางผิวหนังที่เรียกว่า non-allergic contact dermatitis สารคงไม่ทำให้เป็น irritant dermatitis ตามคำอธิบายใน EC Directive<br>แผลเปิด ผิวที่ถูกขีดข่วนหรือผิวที่ระคายเคืองไม่ควรสัมผัสกับสารชนิดนี้<br>สารที่เข้าไปในกระแสเลือดผ่านทางแผลเปิดหรือแผลถลอกอาจเป็นอันตรายต่อระบบต่างๆของร่างกาย ให้ตรวจดูผิวหนังก่อนใช้สารชนิดดังกล่าว หากมีบาดแผลบนผิวหนังควรปิดแผลให้เรียบร้อยก่อน |
| **ดวงตา** | สารตัวนี้สามารถทำให้ระคายเคืองที่ดวงตาและตาเสียในบางบุคคล |
| **เรื้อรัง** | มีการเป็นห่วงว่าสารตัวนี้สามารถทำให้เป็นมะเร็งหรือทำให้เซลล์เปลี่ยนแปลงได้ แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะได้รับการประเมิน<br>การระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจอันเนื่องจากการสัมผัสเป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจรวมถึงสภาวะการหายใจติดขัดและปัญหาเกี่ยวกับระบบการหายใจ<br><br>อันตราย: การสัมผัสสารอย่างยาวนานโดยการสูดดมอาจทำลายสุขภาพได้อย่างร้ายแรง |

ภาพที่ 3-5 ตัวอย่างเอกสาร SDS ของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในส่วนของข้อมูลทางพิษวิทยา

2. พลังงาน

พลังงานในงานวิจัยนี้ หมายถึง ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติและไอน้ำ ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากระบบ Solvent based paint และระบบ Water based paint

ทำการเก็บข้อมูลบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/ $m^2$) ของตัวถังรถยนต์ การใช้ก๊าซธรรมชาติมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน (STP) ต่อตารางเมตร (SCM/ $m^2$) ของตัวถังรถยนต์ และการใช้ไอน้ำมีหน่วยเป็น ตันต่อตารางเมตร (MJ/ $m^2$) ของตัวถังรถยนต์ เก็บข้อมูลตั้งแต่ทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาเก็บข้อมูล 1 ปี ดังตารางที่ 3-5 ถึงตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่าง Inventory การใช้พลังงานเป็นรายเดือน ของ Solvent based paint process

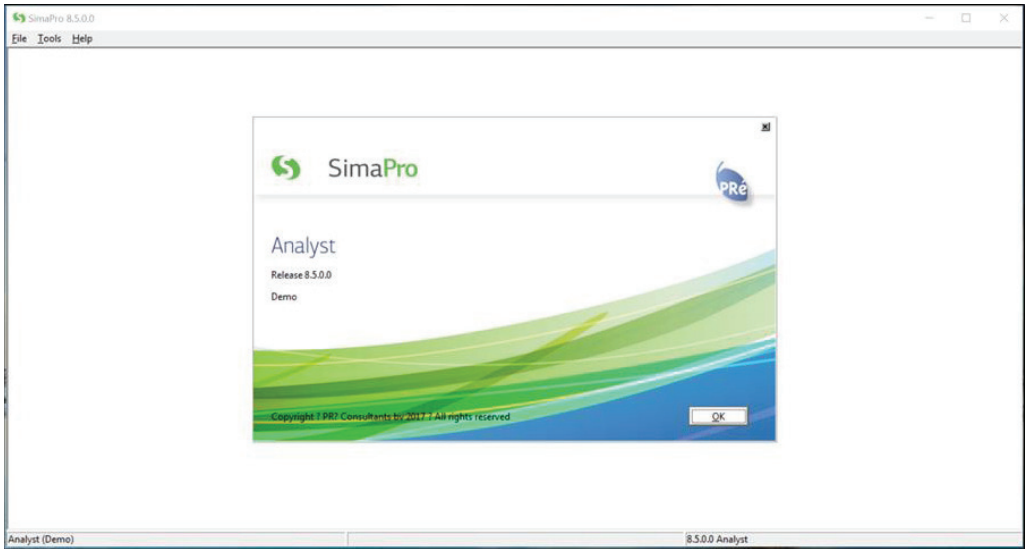
| **Solvent based paint process** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Chemical usage/ Energy consumption** | **Unit** | **Month** | | | | | | | | | | |
| | | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| **All process** | Electricity | kWh/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |
| | Natural gas | SCM/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |
| | Steam | MJ/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3-6 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่าง Inventory การใช้พลังงานเป็นรายเดือนของ Water based paint process

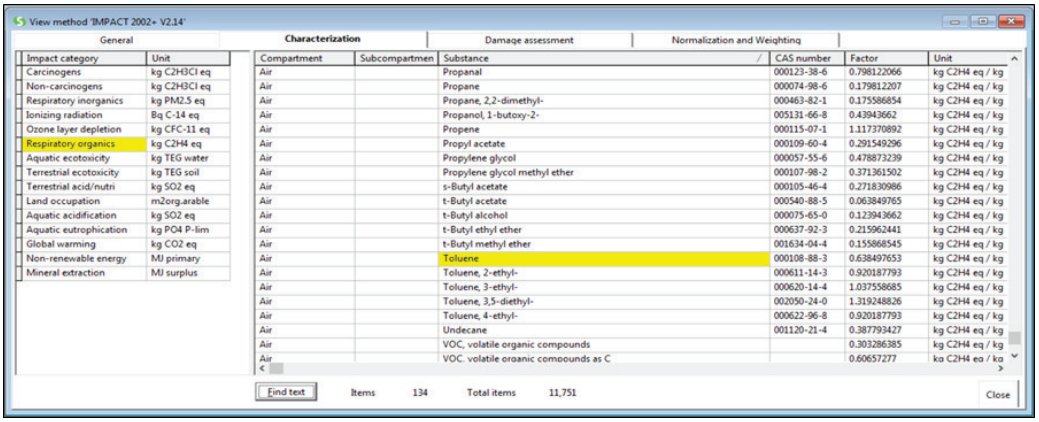
| **Water based paint process** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Process** | **Chemical usage/ Energy consumption** | **Unit** | **Month** | | | | | | | | | | |
| | | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| **All process** | Electricity | kWh/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |
| | Natural gas | SCM/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |
| | Steam | MJ/ $m^2$ | | | | | | | | | | | |

## การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro 8.4 โดยเลือกการประเมินผลกระทบโดยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting ซึ่งมีการประเมินผลกระทบ 16 ประเภทและมีการแปรผลแสดงออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ทั้งนี้จะทำการสอบเทียบการประเมิน Climate change กับอีก 2 Method คือ CML-IA baseline V3.04 / EU25 และ EDIP 2003 V1.06 / Default อีกด้วยเพื่อเป็นการตรวจสอบว่า Method ILCD 2011 Midpoint ที่จะใช้ประเมินในงานวิจัยนี้ผลการประเมินไม่ขัดแย้งกับ Method อื่น ๆ




ภาพที่ 3-6 ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรม SimaPro 8.4 ที่จะนำมาใช้งาน




ภาพที่ 3-7 ตัวอย่างการเลือกสาร Toluene ในฐานข้อมูลของ Method IMPACT 2002+

**การแปลผล (Life cycle interpretation)**

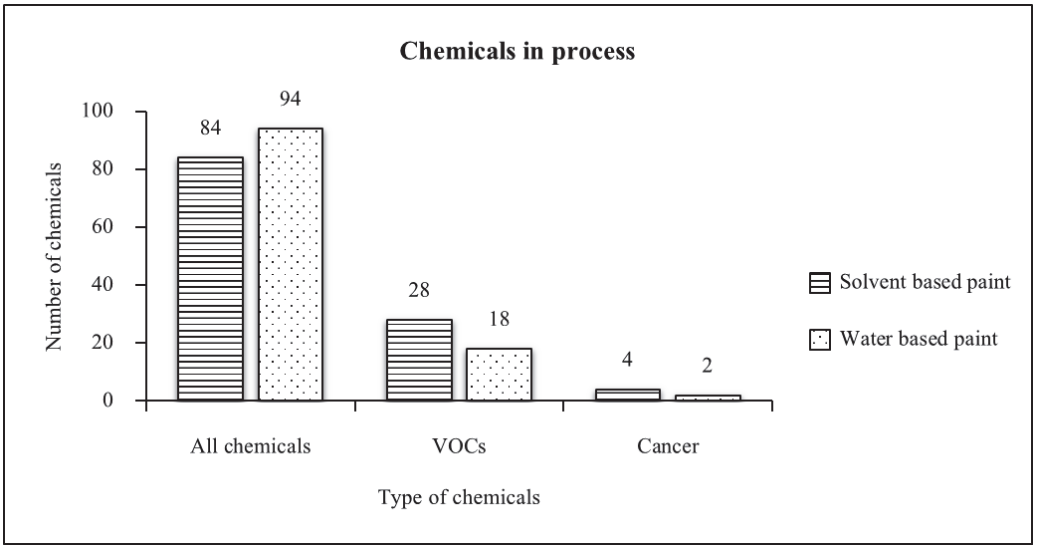
ขั้นตอนของการแปลผล เป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จากขั้นตอนการประเมินผลกระทบ ทำให้สามารถชี้ชัดลงไปได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ณ จุดนั้น ๆ เพื่อการทำให้คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมดีขึ้น งานวิจัยนี้ได้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์เพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้น

# บทที่ 4
# ผลและการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้มีการเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง โดยทำการศึกษาการใช้สารเคมีและพลังงานของกระบวนการทำสีรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 รวม 12 เดือน เพื่อทำเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แบบ Gate to gate โดยใช้โปรแกรม SimaPro 8.4 เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและหาแนวทางปรับปรุงต่อไป สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

## ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานและจากการใช้สาร VOCs เท่านั้น ดังนั้นจึงทำการเลือกสารเคมีที่อยู่ใน https://condorchem.com/en/volatile-organic-compound-list/ ทั้งหมด 615 ชนิด ซึ่งพบว่าสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิดSolvent based มีทั้งหมด 84 ชนิด โดยเป็นสาร VOCs ทั้งหมด 29 ชนิด แต่ไม่พบในฐานข้อมูล SimaPro 1 ชนิด คือ Ethyl 3-ethoxy propionate จึงพิจารณาตัดออกจากงานวิจัยนี้เนื่องจากมีปริมาณการใช้เพียง 0.1% โดยน้ำหนักของสาร VOCs ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based ทั้งหมด จึงไม่ส่งผลกระทบกับผลการประเมิน ส่วนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีสารเคมีทั้งหมด 94 ชนิด โดยเป็นสาร VOCs ทั้งหมด 18 ชนิด ซึ่งมีเพียง 2 ชนิดที่แตกต่าง Solvent based คือ Hexanol, 2-ethyl-1- และ 1-Methyl-2-pyrrolidinone และเมื่อหาข้อมูลสารก่อมะเร็งโดย อ้างอิงงจาก https://www.ehs.uci.edu/programs/sop_library/CARCIN.pdf พบว่า สาร VOCs ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีสารก่อมะเร็ง 4 ชนิด และ สาร VOCs ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีสารก่อมะเร็ง 2 ชนิด ซึ่งทั้ง 2 ชนิดก็พบในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based ดังภาพที่ 4-1




ภาพที่ 4-1 จำนวนชนิดของสารเคมีทั้งหมดและสาร VOCs ที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

## ข้อมูลปริมาณสาร VOCs

จากข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีทั้งหมดเฉลี่ยต่อเดือน พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ในไลน์ Solvent based มีปริมาณการใช้สารเคมีทั้งหมดเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 0.18 kg/$m^2$ และไลน์ Water based เท่ากับ 0.15 kg/ $m^2$ ซึ่งปริมาณการใช้ของไลน์ Solvent based สูงกว่าไลน์ Water based เล็กน้อย ส่วนข้อมูลปริมาณการใช้สาร VOCs เฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ไลน์ Solvent based เท่ากับ 0.04335 kg/ $m^2$ และไลน์ Water based เท่ากับ 0.00591 kg/ $m^2$ ซึ่งปริมาณการใช้สาร VOCs ของไลน์ Solvent based สูงกว่าไลน์ Water based มากถึง 0.03744 kg/ $m^2$ ดังข้อมูลในตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-2 และกราฟในภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลปริมาณสาร VOCs ของไลน์ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

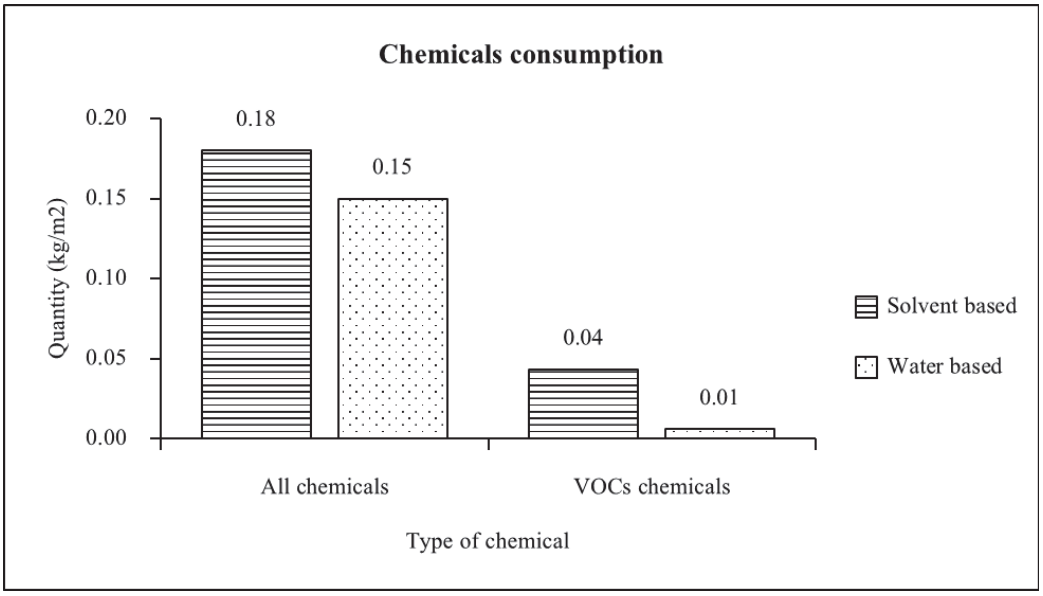
| No. | Name | Cas no | Average Apr 2017 -Mar 2018 (kg/ $m^2$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Benzene, ethyl- | 100-41-4 | 0.00156 |
| 2 | p-Xylene | 106-42-3 | 0.00022 |
| 3 | 4-Methyl-2-pentanone | 108-10-1 | 0.00332 |
| 4 | m-Xylene | 108-38-3 | 0.00035 |
| 5 | Benzene, 1,3,5-trimethyl- | 108-67-8 | 0.00009 |
| 6 | Toluene | 108-88-3 | 0.01017 |
| 7 | 2-Ethoxyethyl acetate | 111-15-9 | 0.00138 |
| 8 | N-octane | 111-65-9 | 0.00024 |
| 9 | Ethanol, 2-butoxy- | 111-76-2 | 0.00457 |
| 10 | Ethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)- | 112-34-5 | 0.00340 |
| 11 | Butyl acetate | 123-86-4 | 0.00506 |
| 12 | Xylene | 1330-20-7 | 0.00564 |
| 13 | Ethyl acetate | 141-78-6 | 0.00173 |
| 14 | Heptane | 142-82-5 | 0.00054 |
| 15 | Formaldehyde | 50-00-0 | 0.00031 |
| 16 | Benzene, 1,2,3-trimethyl- | 526-73-8 | 0.00047 |
| 17 | Ethanol | 64-17-5 | 0.00005 |
| 18 | Formic acid | 64-18-6 | 0.00050 |
| 19 | Acetic acid | 64-19-7 | 0.00005 |
| 20 | Methanol | 67-56-1 | 0.00024 |
| 21 | 2-Propanol | 67-63-0 | 0.00005 |
| 22 | Acetone | 67-64-1 | 0.00011 |
| 23 | Benzene | 71-43-2 | 0.00000 |
| 24 | 2-Methyl-1-propanol | 78-83-1 | 0.00154 |
| 25 | Naphthalene | 91-20-3 | 0.00071 |

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

| No. | Name | Cas no | Average Apr 2017 -Mar 2018 (kg/ $m^2$) |
|---|---|---|---|
| 26 | o-Xylene | 95-47-6 | 0.00022 |
| 27 | Benzene, 1,2,4-trimethyl- | 95-63-6 | 0.00078 |
| 28 | Cumene | 98-82-8 | 0.00002 |
| | Sum | | 0.04335 |

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลปริมาณสาร VOCs ของไลน์ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based (kg/ $m^2$)

| No. | Name | Cas no | Average Apr 2017 -Mar 2018 |
|---|---|---|---|
| 1 | Benzene, ethyl- | 100-41-4 | 0.00006 |
| 2 | Hexanol, 2-ethyl-1- | 104-76-7 | 0.00278 |
| 3 | p-Xylene | 106-42-3 | 0.00000 |
| 4 | m-Xylene | 108-38-3 | 0.00000 |
| 5 | Benzene, 1,3,5-trimethyl- | 108-67-8 | 0.00010 |
| 6 | Toluene | 108-88-3 | 0.00006 |
| 7 | Ethanol, 2-butoxy- | 111-76-2 | 0.00265 |
| 8 | Butyl acetate | 123-86-4 | 0.00000 |
| 9 | Xylene | 1330-20-7 | 0.00016 |
| 10 | Heptane | 142-82-5 | 0.00000 |
| 11 | Formaldehyde | 50-00-0 | 0.00003 |
| 12 | Methanol | 67-56-1 | 0.00001 |
| 13 | 2-Propanol | 67-63-0 | 0.00000 |
| 14 | 2-Methyl-1-propanol | 78-83-1 | 0.00004 |
| 15 | 1-Methyl-2-pyrrolidinone | 872-50-4 | 0.00002 |
| 16 | o-Xylene | 95-47-6 | 0.00000 |
| 17 | Benzene, 1,2,4-trimethyl- | 95-63-6 | 0.00000 |
| 18 | Cumene | 98-82-8 | 0.00000 |
| | Sum | | 0.00591 |




ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารเคมีและสาร VOCs ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based

## ข้อมูลการใช้พลังงาน

จากการเก็บข้อมูลบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรของตัวถังรถยนต์ (kWh/ $m^2$) การใช้ก๊าซธรรมชาติมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน (STP) ต่อตารางเมตรของตัวถังรถยนต์ (SCM/ $m^2$) และการใช้ไอน้ำมีหน่วยเป็น เมกะจูลต่อตารางเมตรของตัวถังรถยนต์ (MJ/ $m^2$) เก็บข้อมูลตั้งแต่ทุกเดือนตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาเก็บข้อมูล 1 ปี ดังตารางที่ 4-3 ถึงตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลการใช้พลังงานทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากระบบ Solvent based

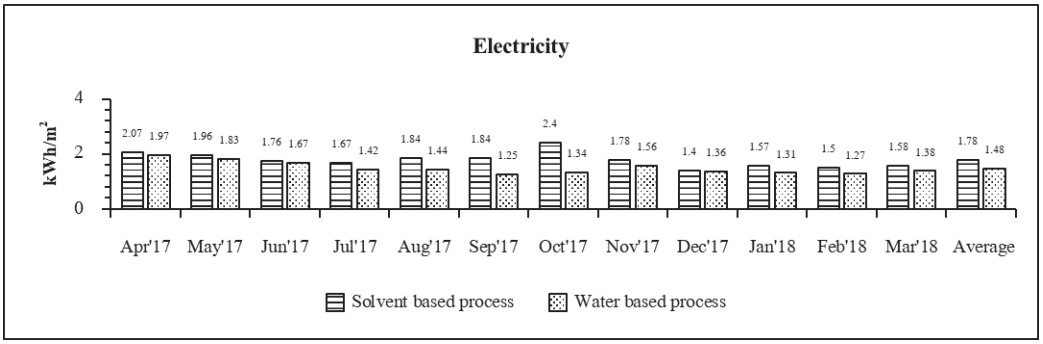
| **Solvent based painting process** | | | |
|---|---|---|---|
| **Month** | **Electricity** | **Natural gas** | **Steam** |
| | **kWh/ $m^2$** | **SCM/ $m^2$** | **MJ/ $m^2$** |
| Apr'17 | 2.07 | 0.14 | 0.80 |
| May'17 | 1.96 | 0.14 | 0.67 |
| Jun'17 | 1.76 | 0.13 | 0.83 |
| Jul'17 | 1.67 | 0.13 | 0.73 |
| Aug'17 | 1.84 | 0.13 | 0.76 |
| Sep'17 | 1.84 | 0.13 | 0.78 |
| Oct'17 | 2.40 | 0.17 | 1.03 |
| Nov'17 | 1.78 | 0.14 | 1.01 |
| Dec'17 | 1.40 | 0.12 | 0.86 |
| Jan'18 | 1.57 | 0.13 | 0.92 |
| Feb'18 | 1.50 | 0.13 | 0.92 |
| Mar'18 | 1.58 | 0.13 | 0.80 |
| Average | 1.78 | 0.14 | 0.84 |
| Standard deviation | 0.27 | 0.01 | 0.11 |

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการใช้พลังงานทุกเดือนตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากระบบ Water based

| **Water based painting process** | | | |
|---|---|---|---|
| **Month** | **Electricity** | **Natural gas** | **Steam** |
| | **kWh/ m$^2$** | **SCM/ m$^2$** | **MJ/ m$^2$** |
| Apr'17 | 1.97 | 0.09 | 6.09 |
| May'17 | 1.83 | 0.09 | 5.37 |
| Jun'17 | 1.67 | 0.09 | 4.19 |
| Jul'17 | 1.42 | 0.08 | 3.27 |
| Aug'17 | 1.44 | 0.08 | 4.34 |
| Sep'17 | 1.25 | 0.07 | 3.13 |
| Oct'17 | 1.34 | 0.08 | 3.03 |
| Nov'17 | 1.56 | 0.09 | 5.48 |
| Dec'17 | 1.36 | 0.10 | 4.94 |
| Jan'18 | 1.31 | 0.08 | 6.66 |
| Feb'18 | 1.27 | 0.08 | 7.35 |
| Mar'18 | 1.38 | 0.08 | 6.10 |
| Average | 1.48 | 0.08 | 5.00 |
| Standard deviation | 0.23 | 0.01 | 1.43 |

1. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

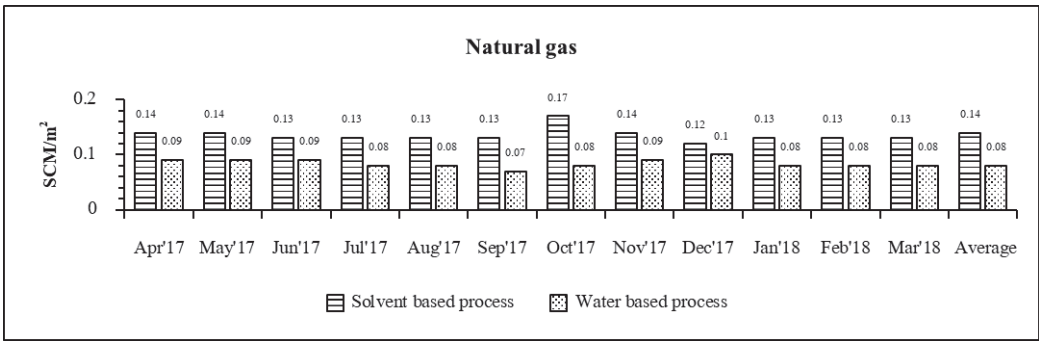
ข้อมูลเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า Solvent based 1.78 kWh/ m$^2$ ส่วน Water based 1.48 kWh/ m$^2$ ดังนั้น Solvent based สูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากโรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Water based สร้างเมื่อปี พ.ศ. 2555 ในขณะที่โรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based สร้างตั้งแต่ปี 2539 ซึ่งสร้างก่อนเป็นเวลาถึง 16 ปี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรโรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Water based สูงกว่ามีผลทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า




ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

2. ข้อมูลการใช้ก๊าซธรรมชาติ

ข้อมูลเฉลี่ยการใช้ก๊าซธรรมชาติของโรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based เท่ากับ 0.14 SCM/ $m^2$ ส่วนโรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Water based 0.08 SCM/ $m^2$ ดังนั้น Solvent based สูงกว่า เนื่องจากสีชนิด Water based สามารถพ่นซ้ำได้โดยไม่ต้องอบเพียงแค่ใช้ความร้อนจากไอน้ำระเหยไล่น้ำ (Flash off) เท่านั้น ดังนั้นเตาอบ (Oven) ของไลน์ Solvent based จึงน้อยกว่าไลน์ Water based

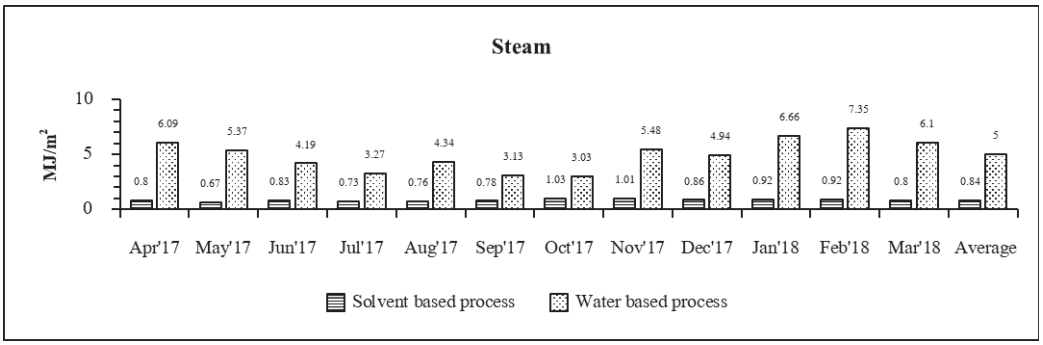



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบการใช้ก๊าซธรรมชาติทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

3. ข้อมูลการใช้พลังงานไอน้ำ

ข้อมูลเฉลี่ยการใช้ไอน้ำของโรงงานทำสีตัวถังรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based เท่ากับ 0.84 MJ/ $m^2$ ส่วนระบบ Water based 5.00 MJ/ $m^2$ ดังนั้นระบบ Water based สูงกว่า เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำในกระบวนการระเหยไล่น้ำ (Flash off)

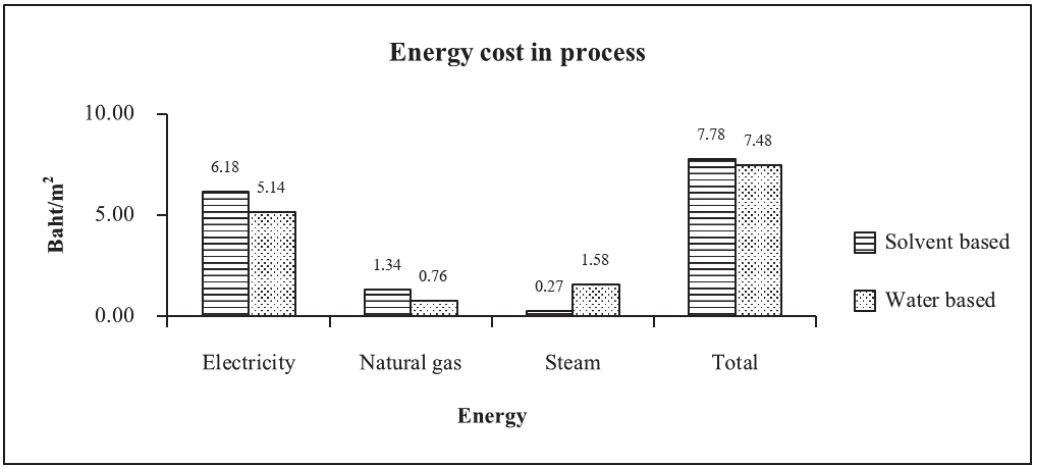
ในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based นั้นจะไม่มีเตาอบสี Primer เหมือนกับกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based แต่จะมีกระบวนการระเหยไล่น้ำ (Flash off) เข้ามาเพิ่ม โดยที่เตาอบ (Oven) ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 150 องศาเซลเซียส จึงต้องใช้ Natural gas เป็นเชื้อเพลิง แต่กระบวนการไล่น้ำ (Flash off) ใช้อุณหภูมิประมาณ 60 – 80 องศาเซลเซียสเท่านั้น จึงใช้เพียงไอน้ำ (Steam) ในการให้ความร้อน



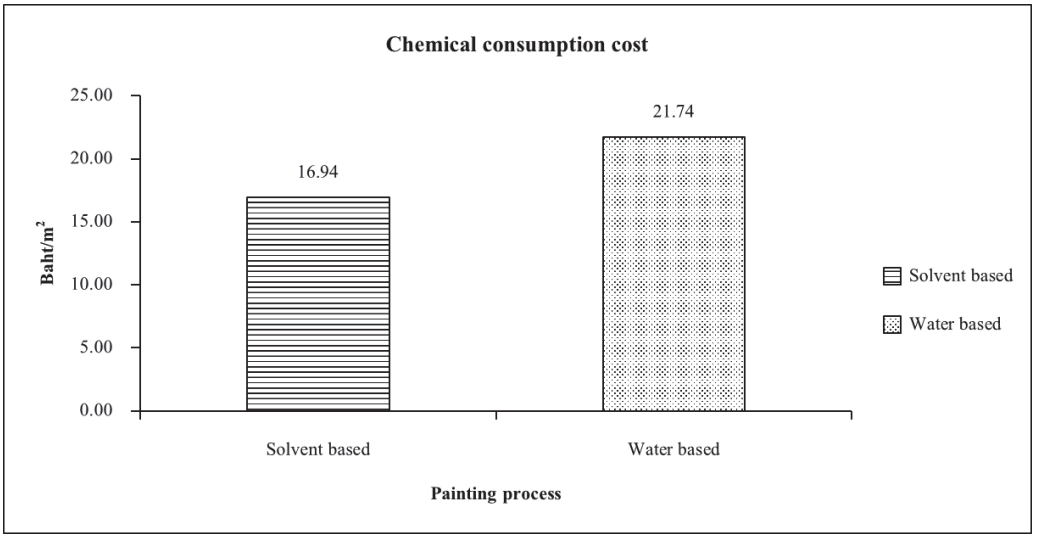

ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบการใช้ไอน้ำทุกเดือนตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

## ข้อมูลต้นทุนการผลิต

หากเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตในส่วนของการใช้พลังงานกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based สูงกว่า 0.3 บาท/ ตารางเมตร และต้นทุนการผลิตในส่วนของการใช้สารเคมีกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based สูงกว่า 4.80 บาท/ ตารางเมตร ดังนั้นต้นทุนการผลิตรวมของกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based สูงกว่าชนิด Solvent based 4.50 บาท/ ตารางเมตร ดังภาพที่ 4-6 ถึงภาพที่ 4-7




ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านการใช้พลังงานของกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด




ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านการใช้สารเคมีของกระบวนทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด

## การวิเคราะห์บัญชีรายการของข้อมูล (Life cycle inventory analysis: LCI)

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เครื่องมือประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดขอบเขตด้วยวิธี Gate to gate: Partial LCA เนื่องจากพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิตเท่านั้น เพราะงานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบเฉพาะกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ที่ใช้ชนิดของสีที่แตกต่างกันเท่านั้น คือ สีชนิด

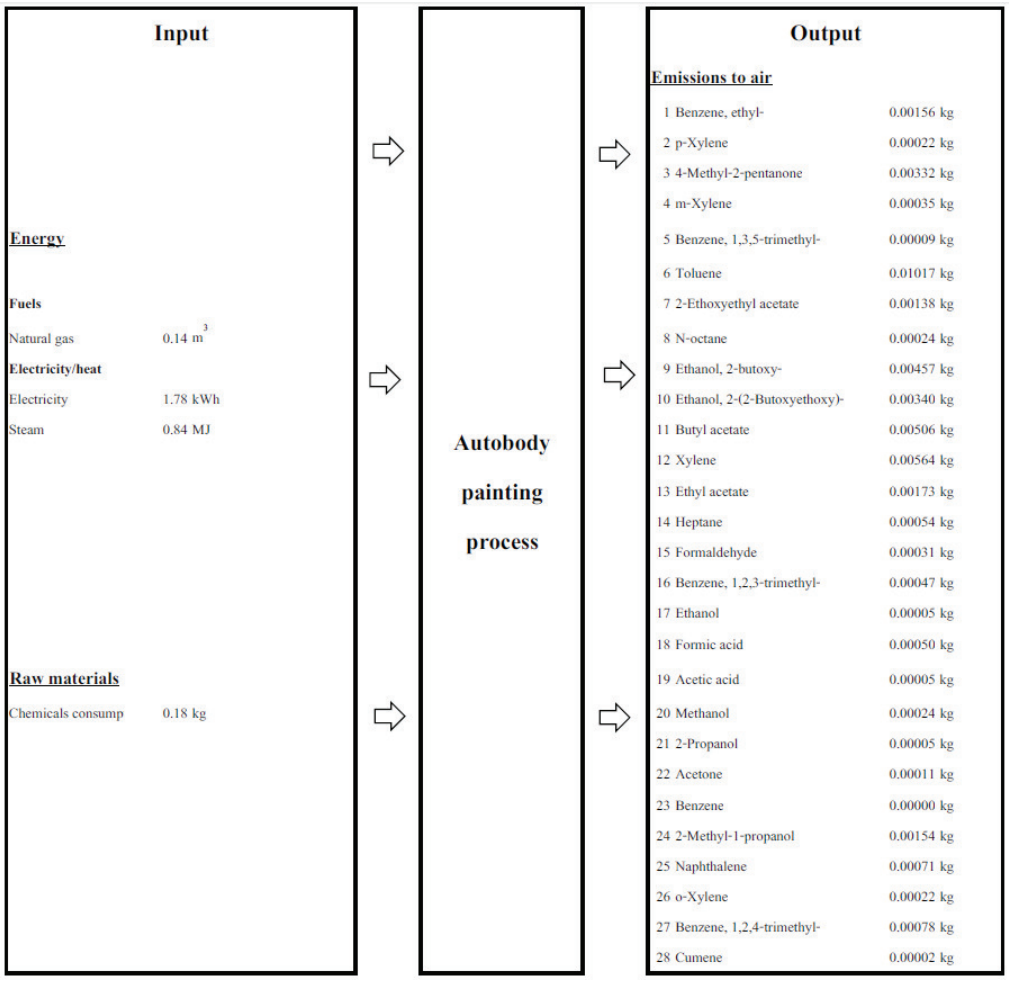
Solvent based และชนิด Water based มลพิษสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้จึงประเมินเฉพาะมลพิษที่มีการปลดปล่อยสาร VOCs สู่บรรยากาศในระหว่างกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์

ในการเลือกฐานข้อมูลพลังงานที่เหมาะสมใน Software SimaPro 8.4 นั้น นอกจากจะทำการเลือกจากคำบรรยายที่ใกล้เคียงกับที่ใช้งานจริงแล้วยังได้ทำการเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วย Emission factor ด้วยดังตารางที่ 4-5 ซึ่งได้ผลกระทบใกล้เคียงกัน

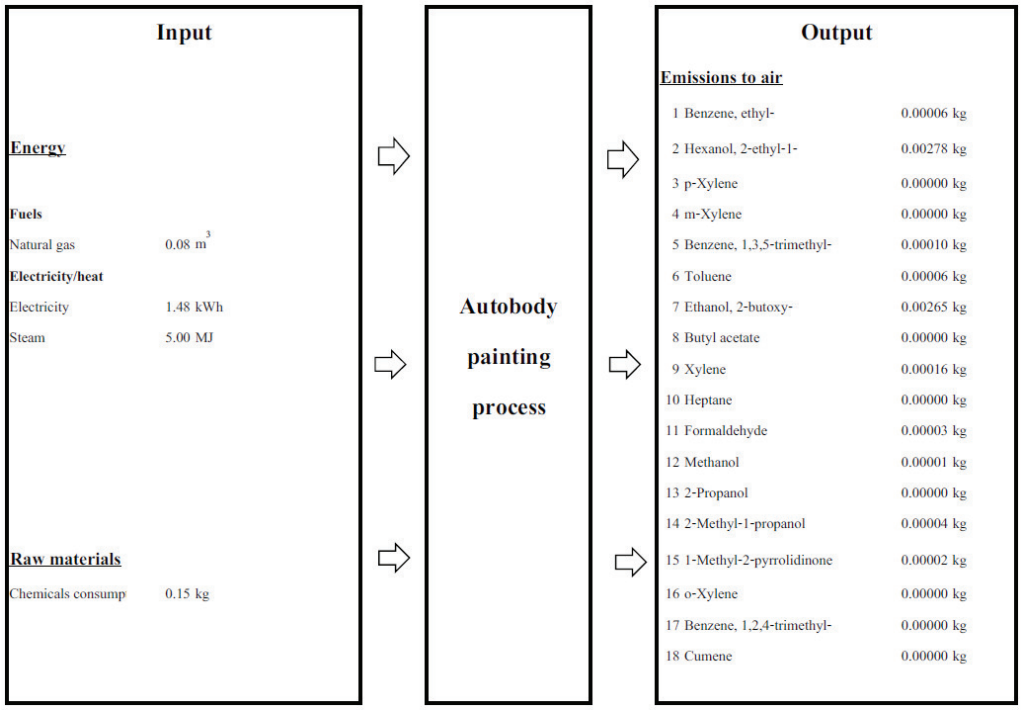
ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบวิธีการหาผลกระทบด้าน Climate change จากการคำนวณด้วย Emission factor และจากใช้ Software SimaPro 8.4 ของการใช้พลังงานในสี Solvent based

| ชื่อ | ข้อมูลการใช้ต่อตารางเมตร | หน่วย | การคำนวณด้วย Emission factor | | | การคำนวณด้วย SimaPro 8.4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Emission factor ($kgCO_2eq$/ หน่วย) | ผลการคำนวณ | แหล่งข้อมูลอ้างอิง | ผลการคำนวณ | แหล่งข้อมูลอ้างอิง |
| พลังงานไฟฟ้า | 1.78 | kWh | 0.5821 | 1.0 | Thailand Grid Mix Electricity LCI Database 2557 (2014) | 1.1 | Electricity, high voltage {TH}\| market for / Alloc Def, S |
| ก๊าซธรรมชาติ | 0.14 | SCM | 2.0235 | 0.3 | IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE | 0.3 | Natural gas, combusted in industrial equipment/RNA |
| พลังงานไอน้ำ | 0.84 | MJ | 0.1615 | 0.1 | องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก | 0.1 | Process steam from natural gas, heat plant, consumption mix, at plant, MJ |

จากขั้นตอนการทำข้อมูลบัญชีรายการจะทำให้สามารถทำการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ไลน์การผลิต ได้ดังภาพที่ 4-8 ถึงภาพที่ 4-9




ภาพที่ 4-8 ปริมาณสาร Input-Output ในกระบวนการผลิตของไลน์ Solvent based




ภาพที่ 4-9 ปริมาณสาร Input-Output ในกระบวนการผลิตของไลน์ Water based

## การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

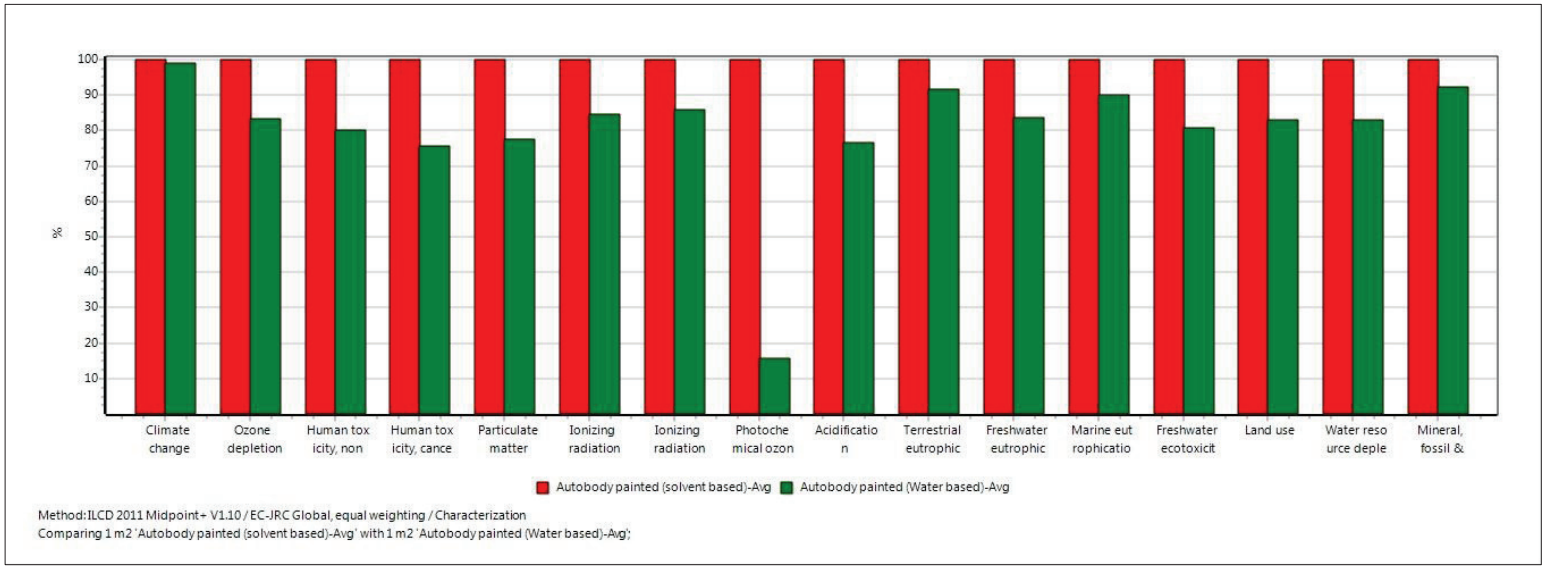
สำหรับการประเมินการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ของไลน์ Solvent based และไลน์ Water based ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 8.4 โดยเลือกการประเมินผลกระทบโดยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, equal weighting ซึ่งมีการประเมินผลกระทบ 16 ประเภทและมีการแปรผลแสดงออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

1. การแปรผลแสดงออกเป็นลักษณะการกำหนดบทบาท (Characterization)

กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ทั้ง 16 ประเภทผลกระทบดังตารางที่ 4-6 และกราฟดังภาพที่ 4-10

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการกำหนดบทบาท (Characterization) ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

| **Impact category** | **Unit** | **Solvent based** | **Water based** |
|---|---|---|---|
| Climate change | kg $CO_2$ eq | 1.50E+00 | 1.49E+00 |
| Ozone depletion | kg CFC-11 eq | 3.41E-08 | 2.84E-08 |
| Human toxicity, non-cancer effects | CTUh | 1.92E-07 | 1.53E-07 |
| Human toxicity, cancer effects | CTUh | 5.04E-08 | 3.82E-08 |
| Particulate matter | kg $PM_{2.5}$ eq | 5.09E-04 | 3.95E-04 |
| Ionizing radiation HH | kBq $U_{235}$ eq | 4.83E-03 | 4.08E-03 |
| Ionizing radiation E (interim) | CTUe | 2.40E-08 | 2.07E-08 |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 3.12E-02 | 4.88E-03 |
| Acidification | mole H+ eq | 8.63E-03 | 6.60E-03 |
| Terrestrial eutrophication | mole N eq | 7.61E-03 | 6.98E-03 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 6.28E-04 | 5.25E-04 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 8.31E-04 | 7.49E-04 |
| Freshwater ecotoxicity | CTUe | 4.79E+00 | 3.87E+00 |
| Land use | kg C deficit | 8.67E-01 | 7.21E-01 |
| Water resource depletion | $M^3$ water eq | 2.05E-03 | 1.71E-03 |
| Mineral, fossil & ren resource depletion | kg Sb eq | 1.67E-06 | 1.54E-06 |



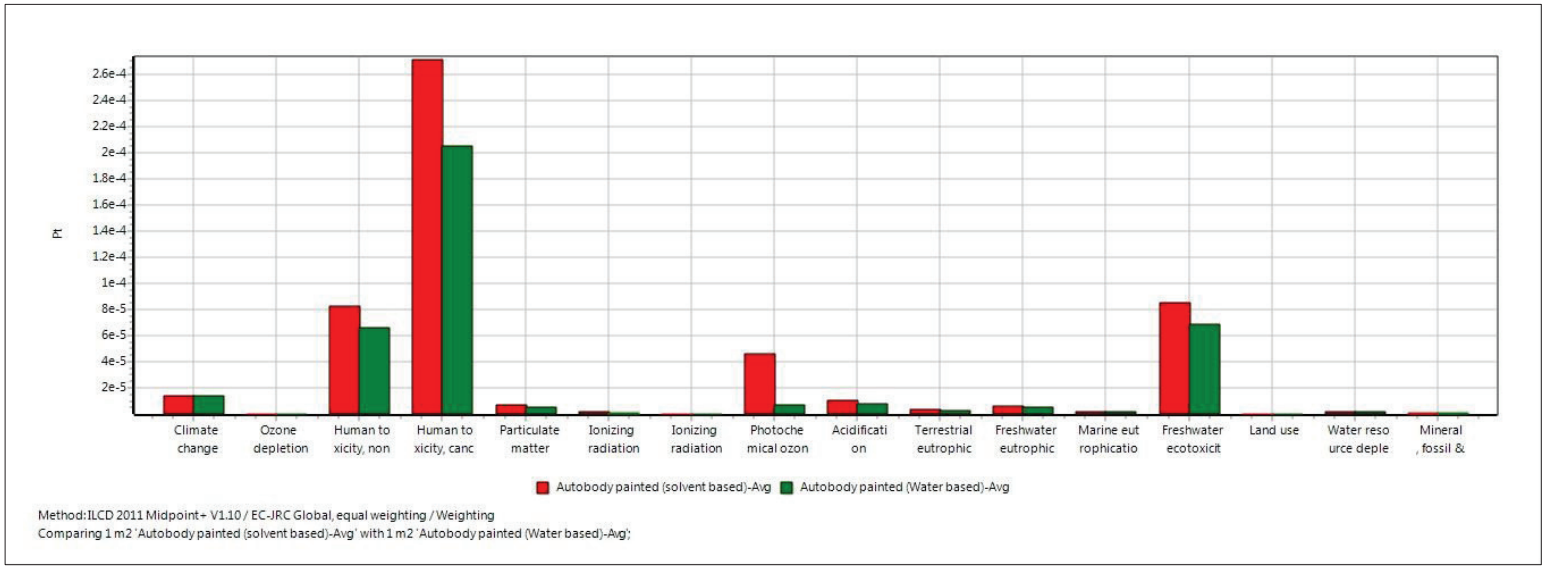

ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการกำหนดบทบาท (Characterization) ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

2. การแปรผลแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

ทำการแปลผลกระทบเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) โดยกำหนดให้ทุกผลกระทบมีน้ำหนักเท่ากัน ได้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก คือ Human toxicity cancer effects, Human toxicity non-cancer effects, Freshwater ecotoxicity, Photochemical ozone formation และ Climate change ตามลำดับดังตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-11

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

| **Impact category** | **Unit** | **Solvent based** | **Water based** |
|---|---|---|---|
| Total | Pt | 5.31E-04 | 3.88E-04 |
| Climate change | Pt | 1.42E-05 | 1.40E-05 |
| Ozone depletion | Pt | 1.86E-07 | 1.55E-07 |
| Human toxicity, non-cancer effects | Pt | 8.24E-05 | 6.60E-05 |
| Human toxicity, cancer effects | Pt | 2.71E-04 | 2.05E-04 |
| Particulate matter | Pt | 6.70E-06 | 5.19E-06 |
| Ionizing radiation HH | Pt | 1.34E-06 | 1.13E-06 |
| Ionizing radiation E (interim) | Pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Photochemical ozone formation | Pt | 4.59E-05 | 7.18E-06 |
| Acidification | Pt | 1.03E-05 | 7.84E-06 |
| Terrestrial eutrophication | Pt | 3.09E-06 | 2.84E-06 |
| Freshwater eutrophication | Pt | 6.40E-06 | 5.36E-06 |
| Marine eutrophication | Pt | 1.82E-06 | 1.64E-06 |
| Freshwater ecotoxicity | Pt | 8.54E-05 | 6.89E-05 |
| Land use | Pt | 1.11E-08 | 9.24E-09 |
| Water resource depletion | Pt | 1.99E-06 | 1.65E-06 |
| Mineral, fossil & ren resource depletion | Pt | 5.77E-07 | 5.33E-07 |




ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงตามลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ระบบ

3. การอธิบายผลกระทบสิ่งแวดล้อม

3.1 ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 1.50 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 1.49 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Climate change ที่ใกล้เคียงกัน แต่หากพิจารณาในมิติของการใช้พลังงานแล้ว พบว่าสัดส่วนของผลกระทบด้านภูมิอากาศของ Solvent based เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ 1.1 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ คิดเป็นร้อยละ 73.3 ในขณะที่ Water based เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ 0.9 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ คิดเป็นร้อยละ 61.5

3.2 ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซน (Ozone depletion) พบว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 3.41E-08 kg CFC-11 eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 2.84E-08 kg CFC-11 eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Ozone depletion น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 16.7%

3.3 ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่ไม่ก่อมะเร็ง (Human toxicity, non-cancer effects) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 1.92E-07 CTUh/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 1.53E-07 CTUh/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Human toxicity, non-cancer effects น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 20.0%

3.4 ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่ก่อมะเร็ง (Human toxicity, cancer effects) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 5.04E-08 CTUh/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 3.82E-08 CTUh/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Human toxicity, cancer effects น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 24.2%

3.5 ผลกระทบด้านฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matter) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 5.09E-04 kg $PM_{2.5}$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 3.95E-04 kg $PM_{2.5}$ eq/ ตารางเมตร

ตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Particulate matter น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 22.5%

3.6 ผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์ต่อมนุษย์ (Ionizing radiation human health) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 4.83E-03 kBq $U_{235}$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 4.08E-03 kBq $U_{235}$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Ionizing radiation human health น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 15.4%

3.7 ผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์ต่อระบบนิเวศน์ (Ionizing radiation ecosystems interim) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 2.40E-08 CTUe/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 2.07E-08 CTUe/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Ionizing radiation ecosystems (interim) น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 14.1%

3.8 ผลกระทบด้านการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลหรือการเกิดพิษของโอโซน (Photochemical ozone formation) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 3.12E-02 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 4.88E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Photochemical Ozone Formation น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ถึง 84.4%

3.9 ผลกระทบด้านสภาวะการเกิดความเป็นกรด (Acidification) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 8.63E-03 mole H+ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 6.60E-03 mole H+ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Acidification น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 23.5%

3.10 ผลกระทบด้านปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นบนบก (Terrestrial eutrophication) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 7.61E-03 mole N eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 6.98E-03 mole N eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด

Water based มีผลกระทบด้าน Terrestrial eutrophication น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 8.2%

3.11 ผลกระทบด้านปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 6.28E-04 kg P eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 5.25E-04 kg P eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Freshwater eutrophication น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 16.4%

3.12 ผลกระทบด้านปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นทางทะเล (Marine eutrophication) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 8.31E-04 kg N eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 7.49E-04 kg N eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Marine eutrophication น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 9.8%

3.13 ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 4.79 CTUe/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 3.87 CTUe/ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Freshwater ecotoxicity น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 19.3%

3.14 ผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land use) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 8.67E-01 kg C deficit/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 7.21E-01 kg C deficit/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Land use น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 16.9%

3.15 ผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรน้ำ (Water resource depletion) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 2.05E-03 $M^3$ water eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 1.71E-03 $M^3$ water eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

มีผลกระทบด้าน Water resource depletion น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 16.8%

3.16 ผลกระทบด้านการลดลงของสินแร่และเชื้อเพลิงฟอสซิล (Mineral, fossil & Ren resource depletion) พบว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based มีค่าเท่ากับ 1.67E-06 kg Sb eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based ที่มีค่าเท่ากับ 1.54E-06 kg Sb eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ หมายความว่า กระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based มีผลกระทบด้าน Mineral, fossil & Ren resource depletion น้อยกว่ากระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based อยู่ 7.6%

จากข้อมูลการแปรผลแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) จะได้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก คือ Human toxicity cancer effects, Human toxicity non-cancer effects, Freshwater ecotoxicity, Photochemical ozone formation และ Climate change ตามลำดับ

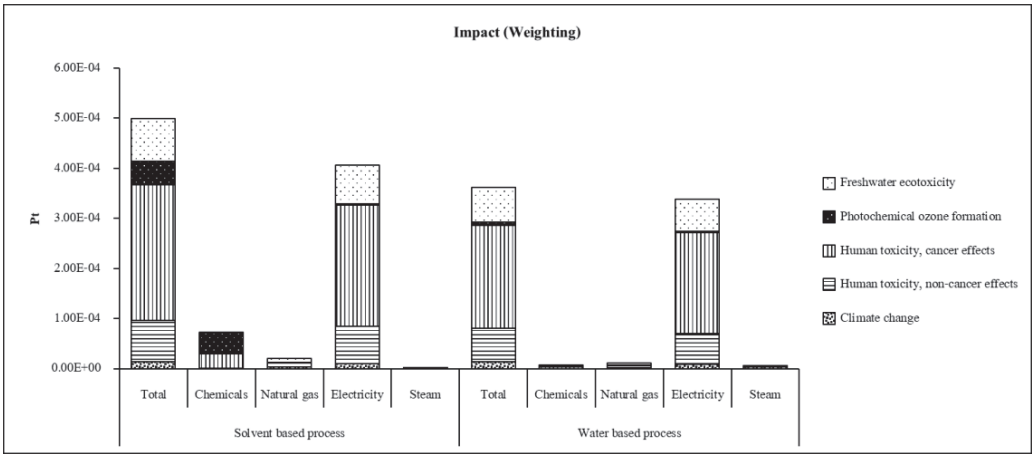
จากนั้นได้ทำการแปรผลแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบดังกล่าว ดังตารางที่ 4-8 ถึงตารางที่ 4-9 และกราฟดังภาพที่ 4-12 โดยพบว่าผลกระทบที่สูงที่สุด คือ Human toxicity ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 4-8 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| **Impact category** | **Unit** | **Solvent based process** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Total** | **Chemicals** | **Natural gas** | **Electricity** | **Steam** |
| Total | Pt | 5.31E-04 | 7.16E-05 | 2.74E-05 | 4.31E-04 | 1.15E-06 |
| Climate change | Pt | 1.42E-05 | 0.00E+00 | 3.18E-06 | 1.04E-05 | 6.04E-07 |
| Human toxicity, non-cancer effects | Pt | 8.24E-05 | 1.03E-06 | 7.63E-06 | 7.38E-05 | 2.46E-08 |
| Human toxicity, cancer effects | Pt | 2.71E-04 | 2.81E-05 | 6.50E-07 | 2.42E-04 | 1.45E-07 |
| Photochemical ozone formation | Pt | 4.59E-05 | 4.21E-05 | 8.03E-07 | 2.90E-06 | 8.53E-08 |
| Freshwater ecotoxicity | Pt | 8.54E-05 | 3.61E-07 | 7.81E-06 | 7.72E-05 | 2.24E-08 |

ตารางที่ 4-9 ข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| **Impact category** | **Unit** | **Water based process** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Total** | **Chemicals** | **Natural gas** | **Electricity** | **Steam** |
| Total | Pt | 3.88E-04 | 6.83E-06 | 1.57E-05 | 3.59E-04 | 6.82E-06 |
| Climate change | Pt | 1.40E-05 | 0.00E+00 | 1.82E-06 | 8.64E-06 | 3.59E-06 |
| Human toxicity, non-cancer effects | Pt | 6.60E-05 | 1.40E-07 | 4.36E-06 | 6.13E-05 | 1.46E-07 |
| Human toxicity, cancer effects | Pt | 2.05E-04 | 2.75E-06 | 3.71E-07 | 2.01E-04 | 8.65E-07 |
| Photochemical ozone formation | Pt | 7.18E-06 | 3.81E-06 | 4.59E-07 | 2.41E-06 | 5.08E-07 |
| Freshwater ecotoxicity | Pt | 6.89E-05 | 1.31E-07 | 4.46E-06 | 6.42E-05 | 1.33E-07 |




ภาพที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงออกเป็นลักษณะการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ทั้ง 2 ชนิด

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Human toxicity cancer effects และ Human toxicity non-cancer effects เกิดจาก 2 สาเหตุ คือ จากสาร VOCs และเกิดจากการใช้พลังงาน สำหรับผลกระทบที่มีสาเหตุจากการใช้ VOCs ในห้องพ่นนั้น เนื่องจากในห้องพ่นสีมีระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพและพนักงานใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ซึ่งมีการตรวจวัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งยังไม่พบรายงานการผลการตรวจสุขภาพพนักงานที่ได้รับผลกระทบจากสารเคมีในห้องพ่นสี ดังตารางที่ 4-10 ส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Human toxicity ที่มีสาเหตุ จากการใช้พลังงานนั้น เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดกระหว่างการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงในพื้นที่ของการผลิตไฟฟ้า แต่ไม่ส่งผลกระทบโดยตรงในพื้นที่โรงงานผลิตรถยนต์ที่มีกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Freshwater ecotoxicity มีเหตุผลเช่นเดียวกันกับผลกระทบด้าน Human toxicity ที่เกิดจากการใช้พลังงานคือ เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดระหว่างการผลิตพลังงาน ดังนั้นการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จึงไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงในพื้นที่โรงงานผลิตรถยนต์

ตารางที่ 4-10 ผลการตรวจวัดสาร VOCs ในพื้นที่ทำงาน

| **จุดตรวจวัด** | **วันเก็บตัวอย่าง** | **โทลูอีน (Toluene)** | | **ไซลีน (Xylene)** | | **หน่วย** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ผลการตรวจวิเคราะห์ | ค่ามาตรฐาน | ผลการตรวจวิเคราะห์ | ค่ามาตรฐาน | |
| Water based shop/ Clear Booth | 08.12.17 | 2.380 | 200 | 0.061 | 100 | ppm |
| Solvent based shop/ Top coat | 21.11.16 | 0.197 | 200 | 0.031 | 100 | ppm |

การอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Photochemical ozone formation และ Climate change เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของงานของการเปลี่ยนกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากชนิด Solvent based มาเป็นชนิด Water based ก็เพื่อลดสาร VOCs ซึ่งส่งผลกระทบในด้าน Photochemical ozone formation และเปลี่ยนกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์จากชนิด Solvent based มาเป็นชนิด Water based นั้นยังทำให้ความต้องการพลังงานในการอบสีเปลี่ยนไปซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงในด้าน Climate change

4. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Photochemical ozone formation

จากการแสดงผลกระทบเป็นลักษณะการกำหนดบทบาท (Characterization) ผลการประเมินผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation โดยการเปรียบเทียบสัดส่วน ตามตารางที่ 4-11 พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ถึง 84.4% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 3.12E-02 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 4.88 E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และสามารถสรุปแยกตามแหล่งกำเนิดของผลกระทบได้ดังนี้

4.1 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้สาร VOCs พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ถึง 91.0% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 2.86E-02 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ2.59E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

4.2 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ก๊าซธรรมชาติ พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based 42.9% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 5.45E-04 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 3.12E-04 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

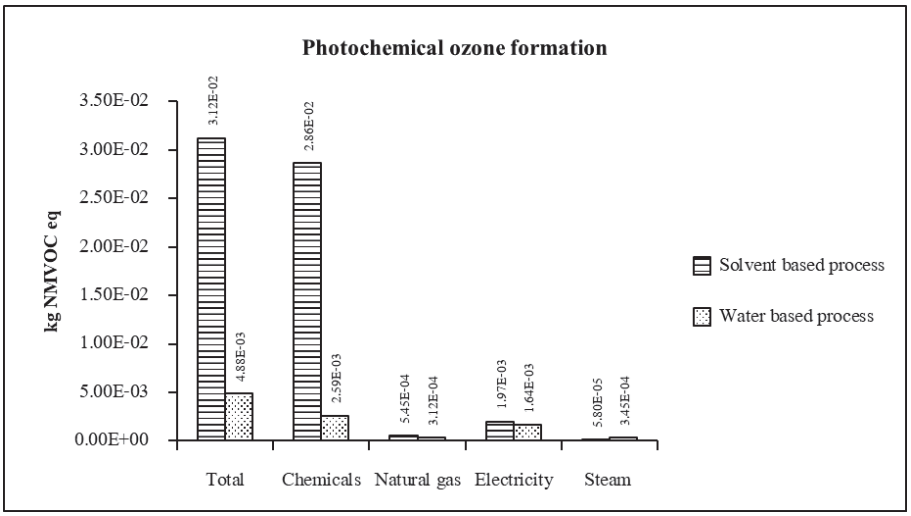
4.3 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based 16.9% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 1.97E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 1.64E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

4.4 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ไอน้ำ พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based 83.2% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone

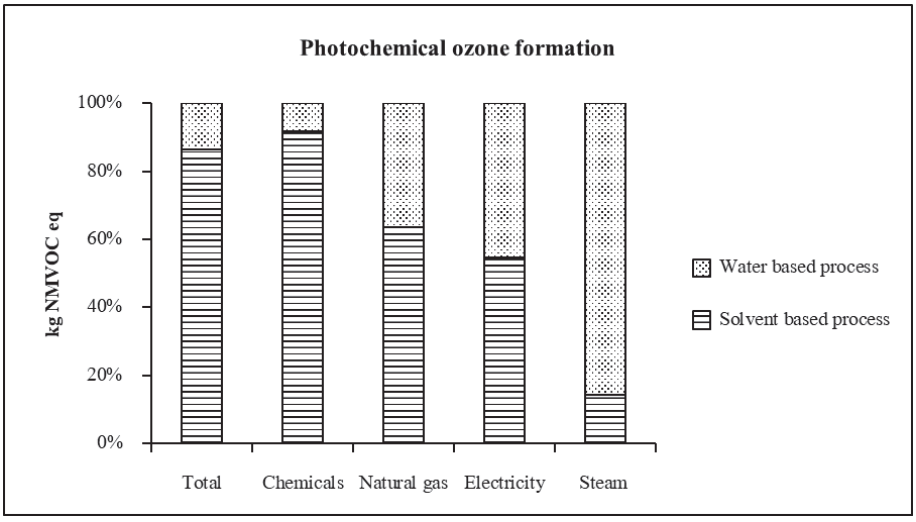
formation เท่ากับ 5.80E-05 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 3.45E-04 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

ตารางที่ 4-11 ผลการประเมินผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ

| **Source of photochemical ozone formation** | **kg NMVOC eq** | |
|---|---|---|
| | Solvent based process | Water based process |
| Total | 3.12E-02 | 4.88E-03 |
| Chemicals | 2.86E-02 | 2.59E-03 |
| Natural gas | 5.45E-04 | 3.12E-04 |
| Electricity | 1.97E-03 | 1.64E-03 |
| Steam | 5.80E-05 | 3.45E-04 |




ภาพที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ




ภาพที่ 4-14 การเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ

และจากกราฟดังภาพที่ 4-13 สามารถสรุปได้ว่าผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation มาจากการใช้สาร VOCs เป็นสำคัญ ส่วนสาเหตุจากการใช้พลังงานมีขนาดของผลกระทบเพียงเล็กน้อย หมายความว่า การใช้สาร VOCs ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ส่งผลกระทบให้เกิดหมอกควันพิษ Photochemical ozone formation ปกคลุมในพื้นที่บริเวณโรงงานที่ผลิตรถยนต์และบริเวณใกล้เคียงเป็นส่วนใหญ่และเกิดที่โรงไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยและยังสรุปได้อีกว่าการใช้พลังงานในภาพรวมของกระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based กับระบบ Water based ไม่ส่งผลกระทบทางด้าน Photochemical ozone formation ที่แตกต่างกัน

5. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน Climate change

จากการแสดงผลกระทบเป็นลักษณะการกำหนดบทบาท (Characterization) ผลการประเมินผลกระทบด้าน Climate change โดยการเปรียบเทียบสัดส่วน ตามตารางที่ 4-12 พบว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based และระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change ที่ใกล้เคียงกัน โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.50 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.49 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ และสามารถสรุปแยกตามแหล่งกำเนิดของผลกระทบได้ดังนี้

5.1 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้สาร VOCs พบว่า ทั้งกระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based และกระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ไม่มีผลกระทบด้าน Climate change

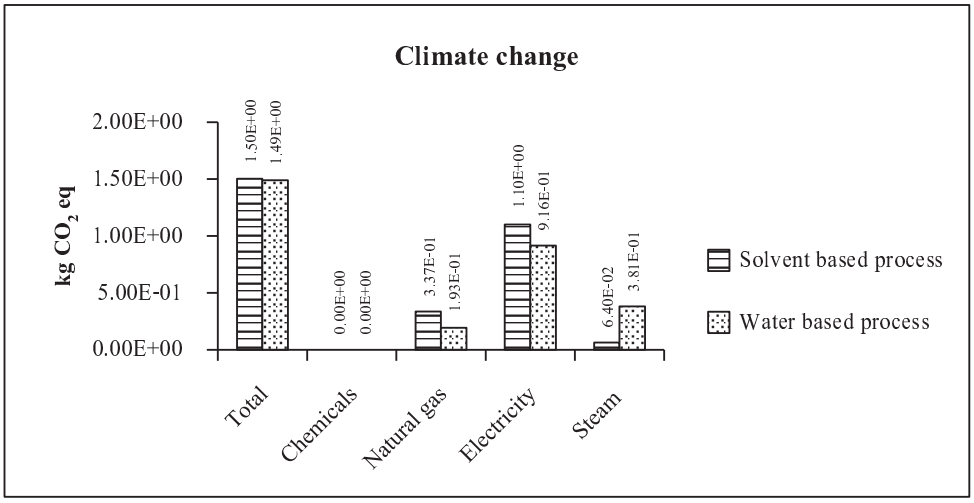
5.2 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ก๊าซธรรมชาติ พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ถึง 42.9% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 3.37E-01 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.93E-01 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

5.3 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ถึง 16.9% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.10 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 0.92 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

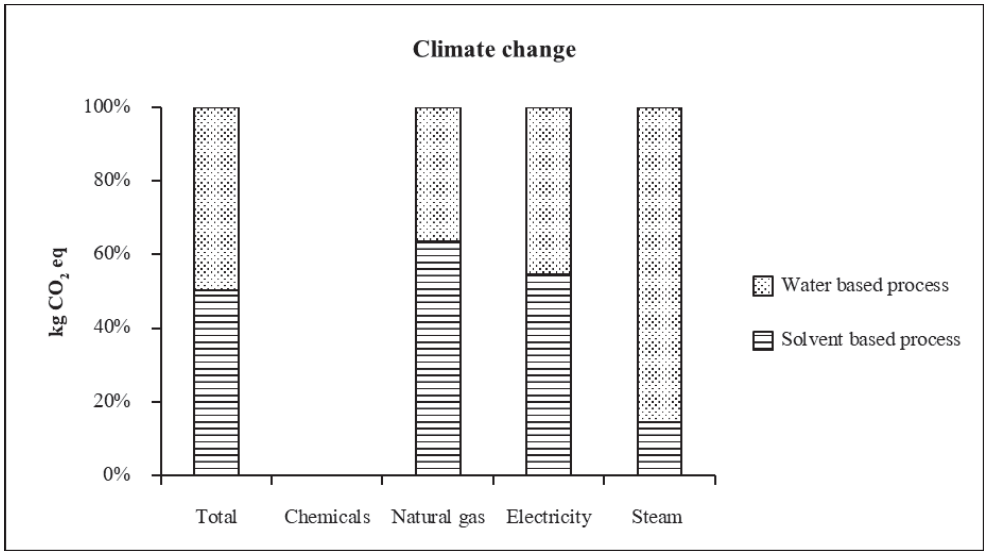
5.4 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ไอน้ำ พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based ถึง 83.2% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 6.40E-02 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 3.81E-01 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

ตารางที่ 4-12 ผลการประเมินผลกระทบด้าน Climate change แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

| **Source of climate change** | **kg $CO_2$ eq** | |
|---|---|---|
| | **Solvent based process** | **Water based process** |
| Total | 1.50E+00 | 1.49E+00 |
| Chemicals | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Natural gas | 3.37E-01 | 1.93E-01 |
| Electricity | 1.10E+00 | 9.16E-01 |
| Steam | 6.40E-02 | 3.81E-01 |




ภาพที่ 4-15 การเปรียบเทียบผลกระทบด้าน Climate change แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)




ภาพที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบด้าน Climate change ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based แบบแยกแหล่งกำเนิดของผลกระทบ

และจากกราฟดังภาพที่ 4-15 สามารถสรุปได้ว่าผลกระทบด้าน Climate change ไม่ได้เกิดจากการใช้สาร VOCs โดยตรง แต่มีสาเหตุมาจากการใช้พลังงานซึ่งเกิดจากการใช้ไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าผลกระทบที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based จะมีผลกระทบด้าน

Climate change จากการใช้ไอน้ำสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based ก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบด้าน Climate change โดยภาพรวมก็ไม่แตกต่างจากกระบวนการทำสีรถยนต์ด้วยระบบ Solvent based

# บทที่ 5
# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 8.4 ในการช่วยวิเคราะห์และประมวลผลทางสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ซึ่งจากการวิเคราะห์และการประมวลผลสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) ทำให้พบว่า กระบวนการผลิตแบบ Solvent based ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการผลิตแบบ Water based ทั้ง 16 ประเภทของผลกระทบโดยที่ผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation มีความแตกต่างกันมากที่สุดถึง 84.4%

2. จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 ในขั้นตอนการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ทำให้พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักของงานวิจัยนี้ คือ Human toxicity cancer effects, Human toxicity non-cancer effects, Freshwater ecotoxicity, Photochemical ozone formation และ Climate change ตามลำดับ และผลกระทบที่น้อยที่สุด คือ Land use และผลกระทบที่ไม่พบ คือ Ionizing radiation ecosystem (interim)

3. ผลการประเมินผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation โดยการเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) ทำให้พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีสัดส่วนการเกิดผลกระทบสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based ถึง 84.4% โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 3.12E-02 kg NMVOC sq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Photochemical ozone formation เท่ากับ 4.88E-03 kg NMVOC eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

4. ผลการประเมินผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation โดยการเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 แบบแยกแหล่งกำเนิดสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation มาจากการใช้สาร VOCs เป็นสำคัญ ส่วนสาเหตุจากการใช้พลังงานมีขนาดของผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของผลกระทบที่เกิดจากการใช้สาร VOCs และการใช้พลังงานไม่ทำให้ผลกระทบด้าน Photochemical ozone formation ของกระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based กับระบบ Water based ต่างกันแม้ว่ารูปแบบของการใช้พลังงานจะต่างกันก็ตาม

5. ผลการประเมินผลกระทบด้าน Climate change โดยการเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) พบว่า กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based และระบบ Water based เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้าน Climate change ที่ใกล้เคียงกัน โดยที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.50 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์ ขณะที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based มีศักยภาพในการเกิด Climate change เท่ากับ 1.49 kg $CO_2$ eq/ ตารางเมตรตัวถังรถยนต์

6. ผลการประเมินผลกระทบด้าน Climate change โดยการเปรียบเทียบกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ด้วยวิธี ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 แบบแยกแหล่งกำเนิดสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบด้าน Climate change ไม่เกิดจากการใช้สาร VOCs แต่มีสาเหตุมาจากการใช้พลังงานซึ่งเกิดจากการใช้ไฟฟ้าเป็นสำคัญและแม้ว่าผลกระทบที่กระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Water based จะมีผลกระทบด้าน Climate change จากการใช้ไอน้ำสูงกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based อยู่มากก็ตามแต่ผลกระทบด้าน Climate change โดยรวมก็ยังต่ำกว่ากระบวนการทำสีรถยนต์ระบบ Solvent based

## ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based และ Water based ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้อยู่ต่างไลน์ผลิตกัน โดยที่ไลน์ทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based เป็นไลน์ที่สร้างมาก่อนชนิด Water based ถึง 16 ปี ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่องจักรต่ำและส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าได้

2. ในการศึกษาวิจัยขั้นต่อไป การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณน้ำเสียและกากของเสียที่เกิดขึ้นจากทั้งสองกระบวนการผลิตจะทำให้ทราบผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวมได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

# บรรณานุกรม


เนตรนภา ศรีทัดจันทา. (2558). *ประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงานที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนระเหย่ายของสีชนิด Solvent Based และ Water Based ในกระบวนการพ่นสีรถยนต์.* โครงงานศึกษา, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2560). (2560, 28 มิถุนายน) *เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย.* ราชกิจจานุเบกษา. หน้า 43.

ลิขิต น้าประเสริฐ. (2559). *10 อันดับ ผู้ผลิตรถ รายใหญ่ของโลก.* นิตยสาร 4WHEELS ฉบับเดือนเมษายน ปี 2559. คอลัมน์ บทบรรณาธิการ. เข้าถึงได้จาก https://www.autoinfo.co.th/article/118813/

เลิศชัย ศรเฉลิม. (2553). *การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้วโดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต*. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วณิชญา ถนอมพลกรัง. (2557). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเปรียบเทียบระหว่างการใช้แผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์กับระบบไฟฟ้าโครงข่าย*. วิทยานิพนธ์. หลักสูตรสถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วรสิทธิ์ หินทอง. (2553). *การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำโดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต.* สารนิพนธ์ วท.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมพร ขวัญเลิศจิตต์. (2552). บริษัท ดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด. สีพ่นซ่อมรถยนต์ระบบน้ำนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. *เทคโนโลยีเรื่องหน้ารู้. December 2009-January 2010, 36 (208)*, 091-092

สุวัฒนา แตงไทย. (2554). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์*. ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการททางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อิทธิพล พ่ออามาตย์. (2556). นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชานาญการ กรมควบคุมมลพิษ. *กรณีศึกษาเกี่ยวกับการประเมินการปลดปล่อยมลพิษ สาหรับโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ชิ้นส่วนและอะไหล่ยานยนต์.* สัมมนา วันที่ 14-15 สิงหาคม 2556 ศูนย์ประชุม Ed - Tech เขตประกอบการสยามอีสเทิร์น อินดัสเตรียลพาร์ค จังหวัดระยอง

Anne Ronning, Ole Jorgen Hanssen, Hanne Moller, Anne-Lill Gade, Una C. Haug. (1993). *Life cycle assessment of two paint products*. Report no.: OR.76.93. ISBN no.: 82-7520-196-9. ISSN no.: 0803-6659

Honda environmental annual report. (2011). *VOCs halved by 50% through the using water-based base coatings and special coatings for inner panels*. Honda Group case studies. Paint & Plastic Department, Suzuka Factory, Honda Motor, Co., Ltd. Page 11-15

International Standard for Organization (1997). *ISO 14040 Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework.*

Julio L. Rivera, Tatiana Reyes-Carrillo. (2014). *A framework for environmental and energy analysis of the automobile painting process.* Troyes University of Technology, Research Centre for Environmental Studies and Sustainability (CREIDD), Troyes, France

MAHESH N SALKAR. (2015). Vice President, Customer Service Group, Toyota Kirloskar Motor Pvt Ltd in Bangalore (India). *TKM EMBRACES ECO-FRIENDLY WATERBORNE PAINTS IN INDIA*. Autotechreview April 2015 Volume 4, Issue 4 (Page 45-46)

Stella Papasavva, Sheila Kia, Joseph Claya,t and Raymond Gunthert. General Motors. *Life Cycle Environmental Assessment of Paint Processes*. Journal of Coatings Technology Vol. 74, No. 925, February 2002

Semih Oguzcan, Aušra Randė, Jolanta Dvarionienė, Jolita Kruopienė, *Comparative Life Cycle Assessment of Water based and Solvent-based Primer Paints for Steel Plate Priming*. Journal of Environmental Research, Engineering and Management Vol. 72 / No. 2 / 2016 pp. 83-96 DOI 10.5755/j01.erem.72.2.16236 Kaunas University of Technology

Sustainability Data Book. (2016). *VOC Emissions Reduction Activities at the Tsutsumi Plant*. Environmental Initiatives. Environmental Management. Page 100

Wen-Tien Tsai. (2018). *A Comparative Study on the Statutory and Technical Regulations for Controlling Indoor Volatile Organic Compounds in Taiwan and Japan*. Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan.

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

ข้อมูลสารเคมีสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

ตารางภาคผนวก ก-1 แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| FCL-4428 | 2.6E+03 | 2.9E+03 | 3.2E+03 | 2.7E+03 | 2.9E+03 | 3.7E+03 | 2.3E+03 | 3.0E+03 | 3.3E+03 | 3.8E+03 | 3.7E+03 | 4.0E+03 |
| AC-131 | 1.6E+03 | 1.7E+03 | 1.2E+03 | 1.9E+03 | 1.5E+03 | 1.9E+03 | 9.0E+02 | 1.6E+03 | 1.6E+03 | 1.7E+03 | 1.9E+03 | 1.7E+03 |
| Prepalene XG | 1.8E+02 | 1.4E+02 | 8.0E+01 | 1.8E+02 | 1.2E+02 | 1.6E+02 | 1.2E+02 | 1.6E+02 | 2.0E+02 | 2.2E+02 | 2.2E+02 | 2.4E+02 |
| Additive 4977 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| Additive 4977B | 3.3E+02 | 3.0E+02 | 1.5E+02 | 6.0E+02 | 5.0E+01 | 5.3E+02 | 3.5E+02 | 7.0E+02 | 5.5E+02 | 5.0E+02 | 5.0E+02 | 5.8E+02 |
| Palbond SX35RDT | 5.3E+03 | 6.3E+03 | 4.8E+03 | 7.4E+03 | 6.7E+03 | 8.3E+03 | 4.4E+03 | 7.3E+03 | 8.6E+03 | 7.2E+03 | 7.7E+03 | 9.0E+03 |
| F1 | 4.4E+03 | 6.5E+03 | 1.3E+04 | 6.8E+03 | 5.4E+03 | 5.9E+03 | 3.1E+03 | 5.1E+03 | 6.8E+03 | 4.6E+03 | 6.1E+03 | 4.8E+03 |
| F2 | 6.7E+04 | 7.5E+04 | 5.0E+04 | 7.3E+04 | 4.7E+04 | 6.9E+04 | 3.5E+04 | 6.6E+04 | 8.2E+04 | 6.6E+04 | 8.2E+04 | 9.3E+04 |
| NT Guardcoat MF-303 | 1.2E+04 | 1.6E+04 | 1.6E+04 | 1.8E+04 | 1.3E+04 | 1.6E+04 | 9.0E+03 | 1.3E+04 | 1.6E+04 | 1.2E+04 | 1.4E+04 | 1.6E+04 |
| #1573DC | 2.9E+04 | 3.6E+04 | 3.8E+04 | 3.9E+04 | 3.2E+04 | 4.6E+04 | 2.2E+04 | 3.6E+04 | 4.1E+04 | 3.3E+04 | 3.8E+04 | 4.9E+04 |
| #1574LL | 4.3E+02 | 5.8E+02 | 5.5E+02 | 6.0E+02 | 4.8E+02 | 6.5E+02 | 5.0E+02 | 6.0E+02 | 6.0E+02 | 5.3E+02 | 5.8E+02 | 6.5E+02 |
| M200 | 3.5E+03 | 4.3E+03 | 4.0E+03 | 4.5E+03 | 3.3E+03 | 5.0E+03 | 2.5E+03 | 4.5E+03 | 6.3E+03 | 4.5E+03 | 5.5E+03 | 6.3E+03 |
| L30 | 6.9E+03 | 9.2E+03 | 1.1E+04 | 9.7E+03 | 7.0E+03 | 1.0E+04 | 6.5E+03 | 9.9E+03 | 1.1E+04 | 9.4E+03 | 1.2E+04 | 1.2E+04 |
| L53 | 3.8E+03 | 4.1E+03 | 4.7E+03 | 5.7E+03 | 4.5E+03 | 4.9E+03 | 3.2E+03 | 4.6E+03 | 5.6E+03 | 4.9E+03 | 5.2E+03 | 6.1E+03 |

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| L80 | 9.0E+03 | 9.7E+03 | 9.0E+03 | 1.2E+04 | 1.1E+04 | 1.4E+04 | 6.3E+03 | 1.2E+04 | 1.5E+04 | 1.4E+04 | 1.6E+04 | 1.7E+04 |
| Primer Thin : H26 | 2.4E+03 | 2.9E+03 | 3.1E+03 | 3.4E+03 | 2.7E+03 | 3.6E+03 | 2.0E+03 | 3.4E+03 | 3.9E+03 | 3.5E+03 | 4.0E+03 | 4.3E+03 |
| AC-10632 (P17/R59) | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 3.2E+01 | 8.0E+01 | 0.0E+00 | 3.2E+01 | 0.0E+00 | 9.6E+01 | 1.9E+02 | 4.8E+01 | 1.4E+02 | 8.0E+01 |
| AC-10903 (X08) | 3.2E+02 | 4.0E+02 | 5.9E+02 | 3.4E+02 | 1.9E+02 | 1.9E+02 | 1.4E+02 | 5.7E+02 | 5.1E+02 | 3.7E+02 | 6.4E+02 | 5.4E+02 |
| AC-11019 (C06,F27) | 8.0E+01 | 1.6E+02 | 1.3E+02 | 2.4E+02 | 6.4E+01 | 1.1E+02 | 6.4E+01 | 9.6E+01 | 8.0E+01 | 8.0E+01 | 4.8E+01 | 8.0E+01 |
| AC-11312 (D23) | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.6E+01 | 1.6E+01 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 1.6E+01 | 3.2E+01 | 4.8E+01 | 3.2E+01 | 3.2E+01 |
| Color inner Thin : No.36 | 3.0E+01 | 6.0E+01 | 1.5E+02 | 1.1E+02 | 0.0E+00 | 4.5E+01 | 3.8E+01 | 1.4E+02 | 1.1E+02 | 8.3E+01 | 1.1E+02 | 4.5E+01 |
| C06 | 3.5E+02 | 4.0E+02 | 5.1E+02 | 5.3E+02 | 3.2E+01 | 6.9E+02 | 4.3E+02 | 4.3E+02 | 5.0E+02 | 3.7E+02 | 5.3E+02 | 5.8E+02 |
| W54(S) | 3.6E+03 | 4.2E+03 | 4.3E+03 | 4.1E+03 | 2.9E+03 | 3.1E+03 | 2.4E+03 | 4.6E+03 | 3.8E+03 | 4.1E+03 | 5.2E+03 | 5.4E+03 |

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| W54(P) | 1.2E+03 | 1.6E+03 | 1.5E+03 | 1.4E+03 | 9.6E+02 | 1.2E+03 | 9.0E+02 | 1.8E+03 | 1.4E+03 | 1.6E+03 | 1.8E+03 | 1.7E+03 |
| X08 | 4.0E+03 | 4.1E+03 | 5.1E+03 | 3.6E+03 | 3.0E+03 | 3.3E+03 | 1.5E+03 | 1.1E+02 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| X37 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 9.9E+02 | 4.4E+03 | 4.0E+03 | 3.3E+03 | 4.9E+03 | 4.5E+03 |
| SPM-300MZ CUD10023 Blue (M) | 3.2E+02 | 3.2E+02 | 2.1E+02 | 1.8E+02 | 3.5E+02 | 4.2E+02 | 1.1E+02 | 2.6E+02 | 2.7E+02 | 7.8E+02 | 4.0E+02 | 7.7E+02 |
| F27 | 8.6E+02 | 8.2E+02 | 9.4E+02 | 1.1E+03 | 5.3E+02 | 1.5E+03 | 7.7E+02 | 1.0E+03 | 1.4E+03 | 7.4E+02 | 9.0E+02 | 1.3E+03 |
| U25 | 3.3E+03 | 3.8E+03 | 4.2E+03 | 4.5E+03 | 3.5E+03 | 3.6E+03 | 2.8E+03 | 5.4E+03 | 4.0E+03 | 4.7E+03 | 3.9E+03 | 4.8E+03 |
| U17 | 3.5E+03 | 4.5E+03 | 5.4E+03 | 5.1E+03 | 3.8E+03 | 5.3E+03 | 3.6E+03 | 5.2E+03 | 5.9E+03 | 5.2E+03 | 5.8E+03 | 6.3E+03 |
| Base Thin (T3) | 6.3E+03 | 8.4E+03 | 1.0E+04 | 9.4E+03 | 6.9E+03 | 7.4E+03 | 5.6E+03 | 9.4E+03 | 8.4E+03 | 7.4E+03 | 9.2E+03 | 1.0E+04 |
| Base Thin.(T610) | 2.8E+03 | 2.6E+03 | 3.3E+03 | 3.1E+03 | 2.0E+03 | 3.6E+03 | 2.2E+03 | 3.0E+03 | 3.7E+03 | 2.9E+03 | 3.3E+03 | 3.8E+03 |
| Base Thin. T1 | 2.4E+02 | 2.7E+02 | 1.7E+02 | 1.5E+02 | 2.8E+02 | 2.7E+02 | 9.0E+01 | 1.4E+02 | 2.3E+02 | 6.5E+02 | 3.4E+02 | 6.0E+02 |
| Base Thin.(T3imp) | 1.9E+03 | 2.0E+03 | 2.0E+03 | 1.9E+03 | 1.4E+03 | 1.5E+03 | 1.1E+03 | 2.0E+03 | 1.7E+03 | 1.9E+03 | 2.4E+03 | 2.4E+03 |
| R59 | 8.8E+02 | 1.1E+03 | 1.1E+03 | 2.1E+03 | 1.1E+03 | 1.6E+03 | 6.7E+02 | 1.4E+03 | 2.5E+03 | 1.3E+03 | 1.7E+03 | 1.7E+03 |

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| W32 | 1.0E+04 | 1.0E+04 | 9.5E+03 | 1.5E+04 | 1.3E+04 | 1.9E+04 | 7.4E+03 | 1.4E+04 | 1.2E+04 | 1.5E+04 | 1.6E+04 | 1.9E+04 |
| Chassis Black | 9.8E+02 | 1.4E+03 | 1.3E+03 | 1.4E+03 | 1.1E+03 | 1.5E+03 | 6.3E+02 | 1.3E+03 | 1.4E+03 | 1.2E+03 | 1.4E+03 | 1.6E+03 |
| Solid Thin. | 2.1E+03 | 1.9E+03 | 1.9E+03 | 2.9E+03 | 2.4E+03 | 3.3E+03 | 1.2E+03 | 2.1E+03 | 3.2E+03 | 2.7E+03 | 2.9E+03 | 3.5E+03 |
| Kino Clear | 1.2E+04 | 1.5E+04 | 1.7E+04 | 1.6E+04 | 1.2E+04 | 1.5E+04 | 1.0E+04 | 1.6E+04 | 1.6E+04 | 1.3E+04 | 1.6E+04 | 1.7E+04 |
| Kino Clear Thin. | 2.7E+03 | 3.4E+03 | 3.9E+03 | 3.7E+03 | 2.7E+03 | 3.6E+03 | 2.4E+03 | 3.6E+03 | 3.6E+03 | 3.1E+03 | 3.7E+03 | 4.1E+03 |

ตารางภาคผนวก ก-2 องค์ประกอบสารเคมีที่และสารเคมีที่เป็นสาร VOCs ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Pre-treatment** | FCL-4428 | 0089 | Sodium silicate | 10213-79-3 | #N/A | 70-80 |
| | | | Surfactant | | #N/A | 10-20 |
| | | | Sodium nitrite | 7632-00-0 | #N/A | 1-10 |
| | | | Tetrasodium pyrophosphate | 7722-88-5 | #N/A | 1-10 |
| | | | Mineral oil | | #N/A | 1-10 |
| | AC-131 | 0080 | Sodium nitrite | 7632-00-0 | #N/A | |
| | PREPALENE XG | 0423 | Zinc compound | | #N/A | 30-40 |
| | | | Water | 7732-18-5 | #N/A | |
| | ADDITIVE 4977 | 0420 | Phosphate | | #N/A | 20-30 |
| | | | Tetrapotassium pyrophosphate | | #N/A | 20-30 |
| | | | Water | 7732-18-5 | #N/A | |
| | ADDITIVE 4977B | 0419 | Potassium hydroxide | 1310-58-3 | #N/A | 23 |
| | | | Phosphate | | #N/A | |
| | | | Condensed phosphate | | #N/A | |
| | PALBOND SX35RDT | 0422 | Zinc dihydrogen phosphate | 13598-37-3 | #N/A | 20-30 |
| | | | Phosphoric acid | 7664-38-2 | #N/A | 1-10 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Manganese dihydrogen phosphate | 18718-07-5 | #N/A | 1-10 |
| | | | Nikel compound | | #N/A | 1-10 |
| | | | Hydrosilicofluoric acid | 16961-83-4 | #N/A | 1-10 |
| **ED** | F1 | 0238 | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 1-5 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 0.1-1 |
| | | | 2-Butoxyethanol | 111-76-2 | 111-76-2 | 1-5 |
| | | | Zinc oxide | 1314-13-2 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 15-20 |
| | | | Acetic acid | 64-19-7 | 64-19-7 | 0.1-1 |
| | | | Dioctyltin oxide | 870-08-6 | #N/A | 1.8 |
| | F2 | 0239 | 2-Butoxyethanol | 111-76-2 | 111-76-2 | 1-5 |
| | | | Formic acid | 64-18-6 | 64-18-6 | 0.1-1 |
| **Sealer & UBC** | NT Guardcoat MF-303 | 0567 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |
| | | | Clcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **Rocker** | #1573DC | 0161 | Zinc Oxide | 8051-03-4 | #N/A | 0-1 |
| | | | Calcium Oxide | 1305-78-8 | #N/A | 0-5 |
| | | | Titanium Dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0-1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | #1574LL | 0163 | Zinc Oxide | 8051-03-4 | #N/A | 0-1 |
| | | | Calcium Oxide | 1305-78-8 | #N/A | 0-3 |
| | M200 | 0398 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |
| | | | Calcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **Primer** | L30 | 0085 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.01-0.1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 5-10 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 5-10 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | silica amorphous | 112926-00-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 15-20 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 10-15 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.1-1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0.1-1 |
| | L53 | 0086 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1-5 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.01-0.1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 1-5 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | silica amorphous | 112926-00-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 15-20 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 10-15 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.1-1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0.1-1 |
| | L80 | 0087 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.01-0.1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 5-10 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | silica amorphous | 112926-00-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 15-20 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 10-15 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | C.I. Pigment Yellow 110, Yellow 137 | 5590-18-1 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.1-1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0.1-1 |
| **Primer Thin.** | Primer Thin : H26 | 1009 | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 20-25 |
| | | | ethyl acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 20-25 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 1-5 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 40-45 |
| | | | benzene | 71-43-2 | 71-43-2 | 0.01-0.1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 5-10 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 5-10 |
| **Color inner** | AC-10632(P17/R59) | 0171 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 5-10 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 5-10 |
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 5-10 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | benzene | 71-43-2 | 71-43-2 | 0.01-0.1 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.1-1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 1-5 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 1-5 |
| | AC-10903(X08) | 0173 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1-5 |
| | | | propylene glycol monomethyl ether acetate, alpha-isomer | 108-65-6 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 5-10 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | trimethylbenzene (mixed isomers) | 25551-13-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 10-15 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 1-5 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 1-5 |
| | | | isopropyl benzene - cumene | 98-82-8 | 98-82-8 | 0.1-1 |
| | AC-11019 (C06,F27) | No Number | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1-5 |
| | | | propylene glycol monomethyl ether acetate, alpha-isomer | 108-65-6 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 0.1-1 |
| | | | silica amorphous | 112926-00-8 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 1-5 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | trimethylbenzene (mixed isomers) | 25551-13-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 5-10 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 10-15 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | isophorone | 78-59-1 | #N/A | 1-5 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 1-5 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 1-5 |
| | | | isopropyl benzene - cumene | 98-82-8 | 98-82-8 | 0.1-1 |
| | AC-11312(D23) | 0172 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | C.I. Pigment Violet 19 | 1047-16-1 | #N/A | 1-5 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | silica amorphous | 112926-00-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | C.I. Pigment Blue 15 | 147-14-8 | #N/A | 5-10 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 5-10 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | benzene | 71-43-2 | 71-43-2 | 0.01-0.1 |
| | | | isobutanol | 78-83-1 | 78-83-1 | 1-5 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 1-5 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 1-5 |
| **Color inner Thin.** | Color inner Thin : No.36 | 1008 | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ethylene glycol monobutyl ether | 111-76-2 | 111-76-2 | 20-25 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 15-20 |
| | | | ethyl acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 10-15 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 10-15 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 20-25 |
| | | | benzene | 71-43-2 | 71-43-2 | 0.01-0.1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 1-5 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 10-15 |
| | | | isopropyl benzene - cumene | 98-82-8 | 98-82-8 | 1-5 |
| **Base Paint** | C06 | 1007 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1-5 |
| | | | p-xylene | 106-42-3 | 106-42-3 | 0.1-1 |
| | | | m-xylene | 108-38-3 | 108-38-3 | 1-5 |
| | | | propylene glycol monomethyl ether acetate, alpha-isomer | 108-65-6 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | | n-octane | 111-65-9 | 111-65-9 | 1-5 |
| | | | oleic acid | 112-80-1 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-5 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Materia l name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | ethanol | 64-17-5 | 64-17-5 | 0.1-1 |
| | | | naphtha petroleum, light alkylate | 64741-66-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.01-0.1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 15-20 |
| | | | aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | phosphoric acid | 7664-38-2 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | white spirit | 8052-41-3 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | o-xylene | 95-47-6 | 95-47-6 | 0.1-1 |
| | W54(S) | 0598 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 15-20 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 20 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 6.1 |
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 10-15 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 10-15 |
| | | | Silicon dioxide | 7631-86-9 | #N/A | 0.1-1 |
| | W54(P) | 0597 | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 5-10 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 19 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 15-20 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | Ethyl acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 10-15 |
| | | | Acetone | 67-64-1 | 67-64-1 | 5-10 |
| | | | Methylethyl ketone | 78-93-3 | #N/A | 0.1-1 |
| | X08 | 0626 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 15-20 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 13 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 5.8 |
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 15-20 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5.8 |
| | | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 1-5 |
| | X37 | 1080 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 15-20 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 14 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acetate | 111-15-9 | 111-15-9 | 5.6 |
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 15-20 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5.5 |
| | | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 1-5 |
| | SPM-300MZ CUD10023 BLUE(M) | 0822 | aluminium | Proprietary | #N/A | <3 |
| | | | carbon black | Proprietary | #N/A | <0.3 |
| | | | Blue pigment | Proprietary | #N/A | <6 |
| | | | Other pigment (s) | Proprietary | #N/A | <0.5 |
| | | | Acrylic resin | Proprietary | #N/A | 15-25 |
| | | | Melamine formaldehyde resin | Proprietary | #N/A | 5-15 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | <10 |
| | | | Xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 15-30 |
| | | | Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 1-10 |
| | | | Ethylene acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | <8 |
| | | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 1-5 |
| | | | N-butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | Other solvent (s) | Proprietary | #N/A | 1-10 |
| | F27 | 0826 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 5-10 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | p-xylene | 106-42-3 | 106-42-3 | 1-5 |
| | | | methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 0.01-0.1 |
| | | | m-xylene | 108-38-3 | 108-38-3 | 1-5 |
| | | | propylene glycol monomethyl ether acetate, alpha-isomer | 108-65-6 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.01-0.1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | | n-octane | 111-65-9 | 111-65-9 | 1-5 |
| | | | oleic acid | 112-80-1 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 0.1-1 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | ethanol | 64-17-5 | 64-17-5 | 0.1-1 |
| | | | naphtha petroleum, light alkylate | 64741-66-8 | #N/A | 1-5 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.1-1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 15-20 |
| | | | aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 0.1-1 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | o-xylene | 95-47-6 | 95-47-6 | 1-5 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0.1-1 |
| | U25 | 0829 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 4.4 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | 2-Butoxyethanol | 111-76-2 | 111-76-2 | 0.1-1 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 5-10 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 27 |
| | | | ethyl acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 1-5 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.33 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 1-5 |
| | | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 5-10 |
| | | | Aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 5-10 |
| | | | White spirits | 8052-41-3 | #N/A | 1-5 |
| | U17 | 0702 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 5-10 |
| | | | p-xylene | 106-42-3 | 106-42-3 | 1-5 |
| | | | m-xylene | 108-38-3 | 108-38-3 | 1-5 |
| | | | propylene glycol monomethyl ether acetate, alpha-isomer | 108-65-6 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.01-0.1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | | n-octane | 111-65-9 | 111-65-9 | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | oleic acid | 112-80-1 | #N/A | 0.01-0.1 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 5-10 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | C.I. Pigment Blue 15 | 147-14-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 0.1-1 |
| | | | ethanol | 64-17-5 | 64-17-5 | 0.1-1 |
| | | | naphtha petroleum, light alkylate | 64741-66-8 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | kerosene, (petroleum), hydrodesulfurised | 64742-81-0 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.1-1 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 15-20 |
| | | | aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.1-1 |
| | | | o-xylene | 95-47-6 | 95-47-6 | 1-5 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0.1-1 |
| **Base Thin.** | Base Thin (T3) | 0124 | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 61 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 9 |
| | | | Ethy accetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 5 |
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 10 |
| | | | 2-Methypropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 10 |
| | Base Thin.(T610) | 0940 | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 40-45 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 10-15 |
| | | | 1,2,3-trimethyl benzene | 526-73-8 | 526-73-8 | 1-5 |
| | | | solvent naphtha petroleum, heavy aromatic | 64742-94-5 | #N/A | 35-40 |
| | | | benzene | 71-43-2 | 71-43-2 | 0.01-0.1 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 5-10 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 5-10 |
| | Base Thin. T1 | 1006 | TOLUENE | 108-88-3 | 108-88-3 | 20 - 50 |
| | | | BUTYL ACETATE | 123-86-4 | 123-86-4 | 10 - 50 |
| | | | ETHYL 3-ETHOXY PROPIONATE | 763-69-9 | 763-69-9 | 1 - 20 |
| | | | OTHER SOLVENT (s) | Proprietary | #N/A | 1 - 20 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Base Thin.(T3imp) | 0601 | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 52 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 2.2 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | ethyl acetate | 141-78-6 | 141-78-6 | 30-35 |
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | 2-Methypropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 1-5 |
| **Solid** | R59 | 0104 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1.4 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 0.1-1 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 23 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.1-1 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.72 |
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 5-10 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.1-1 |
| | | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | | 2-Methypropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 5-10 |
| | W32 | 0349 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | | Methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 15-20 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 20 |
| | | | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 6.1 |
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 10-15 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 10-15 |
| | | | Silicon dioxide | 7631-86-9 | #N/A | 0.1-1 |
| | Chessis BLACK | 0231 | ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 1-5 |
| | | | methyl isobutyl ketone | 108-10-1 | 108-10-1 | 0.1-1 |
| | | | 1,3,5-trimethyl benzene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0.1-1 |
| | | | toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 50-55 |
| | | | n-butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 5-10 |
| | | | xylene | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 1-5 |
| | | | carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.1-1 |
| | | | naphtha petroleum, light aromatic solvent | 64742-95-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | isopropanol | 67-63-0 | 67-63-0 | 1-5 |
| | | | n-butanol | 71-36-3 | #N/A | 5-10 |
| | | | naphthalene | 91-20-3 | 91-20-3 | 0.01-0.1 |
| | | | 1,2,4-trimethyl benzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 1-5 |
| | | | isopropyl benzene - cumene | 98-82-8 | 98-82-8 | 0.1-1 |
| **Solid Thin.** | Solid Thin. | 0125 | 2-Ethoxyethyl acatate | 111-15-9 | 111-15-9 | 5 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 95-100 |
| **Clear** | Kino Clear | 0127 | Ethylbenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 3.6 |
| | | | m-Xylene | 108-38-3 | 108-38-3 | 0.1-1 |
| | | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 1-5 |
| | | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | | diethylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | 112-34-5 | 1-5 |
| | | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 5-10 |
| | | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 6.6 |
| | | | n-Heptane | 142-82-5 | 142-82-5 | 1-5 |
| | | | formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.37 |
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 1-5 |
| | | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 5-10 |
| | | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 5-10 |
| | | | 2-Methypropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 1.5 |
| | | | p-Xylene | 106-42-3 | 106-42-3 | 0 |
| | | | Mesitylene | 108-67-8 | 108-67-8 | 0 |
| | | | Bis-(1,2,2,6,6,-pentamethyl-4-piperidyl)seb | 41556-26-7 | #N/A | 0 |
| | | | methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| Process | Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2-Propanol | 67-63-0 | 67-63-0 | 0 |
| | | | - | 70321-86-7 | #N/A | 0 |
| | | | White spirits | 8052-41-3 | #N/A | 0 |
| | | | Methyl 1,2,2,6,6,-pentamethyl-4-piperidyl seb | 82919-37-7 | #N/A | 0 |
| | | | Benzotriazole | 95-14-7 | #N/A | 0 |
| | | | o-Xylene | 95-47-6 | 95-47-6 | 0 |
| **Clear Thin.** | Kino Clear Thin. | 0128 | White spirits high-boiling | 64742-82-1 | #N/A | 50 |
| | | | Heavy aromatic solvent naphtha | 64742-94-5 | #N/A | 40-45 |
| | | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 10-15 |

ตารางภาคผนวก ก- 3 ตัวอย่างการคำนวณ Functional unit ของเดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| **Model** | **A** | **B** | **C** | **Total** |
|---|---|---|---|---|
| Production volume (car/ month) | 6,902.00 | 2,172.00 | 1,048.00 | 10,122.00 |
| Paint area per car ($m^2$) | 100.00 | 93.00 | 75.00 | 268.00 |
| Paint area/month ($m^2$) | 690,200.00 | 201,996.00 | 78,600.00 | 970,796.00 |

ตารางภาคผนวก ก-4 สรุปข้อมูลพื้นที่การทำสีในแต่ละเดือนของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| **Month** | **Area ($m^2$)** |
|---|---|
| Apr'17 | 970,796.00 |
| May'17 | 1,182,440.00 |
| Jun'17 | 1,313,636.00 |
| Jul'17 | 1,430,295.00 |
| Aug'17 | 1,221,719.00 |
| Sep'17 | 1,550,210.00 |
| Oct'17 | 837,119.00 |
| Nov'17 | 1,382,245.00 |
| Dec'17 | 1,663,913.00 |
| Jan'18 | 1,383,022.00 |
| Feb'18 | 1,572,434.00 |
| Mar'18 | 1,740,915.00 |

ตารางภาคผนวก ก-5 ข้อมูลปริมาณสารเคมี (VOCs) รายเดือนของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Solvent based

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 | Average |
| 1 | Benzene, ethyl- | 1.7E-03 | 1.6E-03 | 1.7E-03 | 1.6E-03 | 1.4E-03 | 1.5E-03 | 1.7E-03 | 1.6E-03 | 1.4E-03 | 1.5E-03 | 1.5E-03 | 1.5E-03 | 1.6E-03 |
| 2 | p-Xylene | 2.3E-04 | 2.3E-04 | 2.5E-04 | 2.2E-04 | 1.8E-04 | 2.2E-04 | 2.7E-04 | 2.3E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 |
| 3 | 4-Methyl-2-pentanone | 3.8E-03 | 3.4E-03 | 3.1E-03 | 3.3E-03 | 3.3E-03 | 3.4E-03 | 3.1E-03 | 3.5E-03 | 2.5E-03 | 3.5E-03 | 3.5E-03 | 3.5E-03 | 3.3E-03 |
| 4 | m-Xylene | 3.6E-04 | 3.7E-04 | 3.9E-04 | 3.5E-04 | 2.7E-04 | 3.4E-04 | 4.1E-04 | 3.5E-04 | 3.3E-04 | 3.2E-04 | 3.3E-04 | 3.4E-04 | 3.5E-04 |
| 5 | Benzene, 1,3,5-trimethyl- | 9.4E-05 | 8.9E-05 | 9.4E-05 | 8.7E-05 | 7.1E-05 | 8.3E-05 | 8.6E-05 | 9.0E-05 | 8.6E-05 | 8.6E-05 | 9.0E-05 | 8.6E-05 | 8.7E-05 |
| 6 | Toluene | 1.1E-02 | 1.1E-02 | 1.1E-02 | 1.0E-02 | 9.2E-03 | 9.2E-03 | 1.0E-02 | 1.1E-02 | 8.3E-03 | 9.9E-03 | 1.0E-02 | 1.0E-02 | 1.0E-02 |
| 7 | 2-Ethoxyethyl acetate | 1.6E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.3E-03 | 1.4E-03 | 1.1E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 |
| 8 | N-octane | 2.4E-04 | 2.4E-04 | 2.6E-04 | 2.3E-04 | 1.8E-04 | 2.4E-04 | 2.9E-04 | 2.4E-04 | 2.3E-04 | 2.3E-04 | 2.3E-04 | 2.4E-04 | 2.4E-04 |

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Apr'17** | **May'17** | **Jun'17** | **Jul'17** | **Aug'17** | **Sep'17** | **Oct'17** | **Nov'17** | **Dec'17** | **Jan'18** | **Feb'18** | **Mar'18** | **Average** |
| **9** | Ethanol, 2-butoxy- | 5.6E-03 | 5.3E-03 | 4.2E-03 | 4.6E-03 | 3.8E-03 | 4.2E-03 | 4.1E-03 | 4.4E-03 | 4.5E-03 | 4.5E-03 | 4.8E-03 | 4.8E-03 | 4.6E-03 |
| **10** | Ethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)- | 3.7E-03 | 3.6E-03 | 3.6E-03 | 3.4E-03 | 3.0E-03 | 3.1E-03 | 3.6E-03 | 3.6E-03 | 3.1E-03 | 3.3E-03 | 3.4E-03 | 3.4E-03 | 3.4E-03 |
| **11** | Butyl acetate | 5.7E-03 | 5.3E-03 | 5.1E-03 | 5.0E-03 | 4.7E-03 | 4.9E-03 | 4.9E-03 | 5.2E-03 | 4.1E-03 | 5.2E-03 | 5.3E-03 | 5.2E-03 | 5.1E-03 |
| **12** | Xylene | 6.0E-03 | 5.8E-03 | 5.8E-03 | 5.7E-03 | 5.1E-03 | 5.3E-03 | 5.7E-03 | 5.8E-03 | 5.3E-03 | 5.8E-03 | 5.7E-03 | 5.7E-03 | 5.6E-03 |
| **13** | Ethyl acetate | 2.0E-03 | 1.9E-03 | 1.9E-03 | 1.7E-03 | 1.5E-03 | 1.4E-03 | 1.7E-03 | 1.9E-03 | 1.5E-03 | 1.8E-03 | 1.8E-03 | 1.7E-03 | 1.7E-03 |
| **14** | Heptane | 5.9E-04 | 6.2E-04 | 6.3E-04 | 5.6E-04 | 4.8E-04 | 4.9E-04 | 6.1E-04 | 5.6E-04 | 4.7E-04 | 4.7E-04 | 5.0E-04 | 5.0E-04 | 5.4E-04 |
| **15** | Formaldehyde | 3.3E-04 | 3.2E-04 | 3.2E-04 | 3.2E-04 | 2.8E-04 | 3.0E-04 | 3.2E-04 | 3.2E-04 | 3.0E-04 | 3.1E-04 | 3.2E-04 | 3.2E-04 | 3.1E-04 |

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Apr'17** | **May'17** | **Jun'17** | **Jul'17** | **Aug'17** | **Sep'17** | **Oct'17** | **Nov'17** | **Dec'17** | **Jan'18** | **Feb'18** | **Mar'18** | **Average** |
| **16** | Benzene, 1,2,3-trimethyl- | 5.1E-04 | 4.7E-04 | 4.8E-04 | 4.7E-04 | 4.1E-04 | 4.7E-04 | 4.9E-04 | 4.7E-04 | 4.6E-04 | 4.7E-04 | 4.9E-04 | 4.8E-04 | 4.7E-04 |
| **17** | Ethanol | 4.8E-05 | 4.9E-05 | 5.2E-05 | 4.7E-05 | 3.5E-05 | 4.8E-05 | 5.7E-05 | 4.8E-05 | 4.7E-05 | 4.5E-05 | 4.6E-05 | 4.7E-05 | 4.7E-05 |
| **18** | Formic acid | 6.9E-04 | 6.3E-04 | 3.8E-04 | 5.1E-04 | 3.9E-04 | 4.4E-04 | 4.2E-04 | 4.8E-04 | 4.9E-04 | 4.8E-04 | 5.2E-04 | 5.4E-04 | 5.0E-04 |
| **19** | Acetic acid | 4.5E-05 | 5.5E-05 | 1.0E-04 | 4.8E-05 | 4.4E-05 | 3.8E-05 | 3.7E-05 | 3.7E-05 | 4.1E-05 | 3.3E-05 | 3.9E-05 | 2.8E-05 | 4.5E-05 |
| **20** | Methanol | 2.6E-04 | 2.5E-04 | 2.5E-04 | 2.4E-04 | 2.2E-04 | 2.0E-04 | 2.5E-04 | 2.8E-04 | 2.1E-04 | 2.7E-04 | 2.1E-04 | 2.4E-04 | 2.4E-04 |
| **21** | 2-Propanol | 5.0E-05 | 5.8E-05 | 5.0E-05 | 4.8E-05 | 4.5E-05 | 4.9E-05 | 3.8E-05 | 4.8E-05 | 4.3E-05 | 4.5E-05 | 4.5E-05 | 4.5E-05 | 4.7E-05 |
| **22** | Acetone | 1.3E-04 | 1.3E-04 | 1.2E-04 | 1.0E-04 | 7.9E-05 | 7.5E-05 | 1.1E-04 | 1.3E-04 | 8.3E-05 | 1.1E-04 | 1.2E-04 | 1.0E-04 | 1.1E-04 |
| **23** | Benzene | 5.4E-06 | 4.7E-06 | 5.0E-06 | 4.7E-06 | 3.9E-06 | 4.7E-06 | 5.0E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 | 4.7E-06 | 4.9E-06 | 4.7E-06 | 4.8E-06 |
| **24** | 2-Methyl-1-propanol | 1.6E-03 | 1.7E-03 | 1.8E-03 | 1.6E-03 | 1.4E-03 | 1.3E-03 | 1.6E-03 | 1.6E-03 | 1.4E-03 | 1.4E-03 | 1.5E-03 | 1.5E-03 | 1.5E-03 |
| **25** | Naphthalene | 7.9E-04 | 7.1E-04 | 7.4E-04 | 7.0E-04 | 6.1E-04 | 7.0E-04 | 7.5E-04 | 7.1E-04 | 7.0E-04 | 7.1E-04 | 7.4E-04 | 7.2E-04 | 7.1E-04 |
| **26** | o-Xylene | 2.3E-04 | 2.3E-04 | 2.5E-04 | 2.2E-04 | 1.8E-04 | 2.2E-04 | 2.7E-04 | 2.3E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 | 2.2E-04 |

ตารางภาคผนวก ก-5 (ต่อ)

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Apr'17** | **May'17** | **Jun'17** | **Jul'17** | **Aug'17** | **Sep'17** | **Oct'17** | **Nov'17** | **Dec'17** | **Jan'18** | **Feb'18** | **Mar'18** | **Average** |
| **27** | Benzene, 1,2,4-trimethyl- | 8.6E-04 | 7.9E-04 | 8.2E-04 | 7.7E-04 | 6.6E-04 | 7.6E-04 | 8.0E-04 | 7.9E-04 | 7.7E-04 | 7.7E-04 | 8.0E-04 | 7.8E-04 | 7.8E-04 |
| **28** | Cumene | 1.6E-05 | 1.9E-05 | 2.1E-05 | 1.7E-05 | 1.1E-05 | 1.3E-05 | 1.2E-05 | 2.0E-05 | 1.5E-05 | 1.5E-05 | 1.7E-05 | 1.4E-05 | 1.6E-05 |

# ภาคผนวก ข

ข้อมูลสารเคมีสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

ตารางภาคผนวก ข-1 แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| Surfcleaner EC90 L-2 | 4.0E+02 | 8.6E+02 | 8.0E+02 | 1.1E+03 | 9.6E+02 | 1.1E+03 | 9.0E+02 | 1.2E+03 | 1.0E+03 | 1.1E+03 | 1.0E+03 | 7.6E+02 |
| Surfcleaner EC90 R-2 | 7.4E+02 | 1.3E+03 | 1.2E+03 | 1.5E+03 | 1.3E+03 | 1.7E+03 | 1.3E+03 | 1.4E+03 | 1.3E+03 | 1.3E+03 | 1.9E+03 | 1.5E+03 |
| Surffine GL-1 | 6.0E+01 | 1.2E+02 | 1.4E+02 | 1.6E+02 | 2.2E+02 | 2.4E+02 | 1.8E+02 | 1.6E+02 | 2.2E+02 | 1.0E+02 | 2.0E+02 | 2.0E+02 |
| Primer #40 | 2.8E+02 | 3.8E+02 | 4.0E+02 | 4.3E+02 | 4.3E+02 | 5.5E+02 | 4.0E+02 | 5.8E+02 | 3.8E+02 | 3.3E+02 | 6.8E+02 | 4.5E+02 |
| Surfdine SD5350MFD | 1.3E+03 | 3.8E+03 | 5.4E+03 | 5.6E+03 | 6.2E+03 | 4.6E+03 | 6.2E+03 | 6.9E+03 | 6.8E+03 | 7.4E+03 | 7.6E+03 | 7.6E+03 |
| Toner 30H | 6.0E+02 | 1.1E+03 | 1.5E+03 | 9.8E+02 | 2.0E+03 | 9.8E+02 | 1.9E+03 | 1.9E+03 | 1.0E+03 | 2.2E+03 | 2.2E+03 | 2.1E+03 |
| Powernics 340Z F1 | 3.4E+03 | 5.7E+03 | 9.4E+03 | 1.2E+04 | 9.6E+03 | 1.3E+04 | 8.2E+03 | 9.2E+03 | 8.4E+03 | 9.0E+03 | 9.7E+03 | 9.1E+03 |
| Powernics 340Z F2 | 2.0E+04 | 3.2E+04 | 3.9E+04 | 4.6E+04 | 3.7E+04 | 5.1E+04 | 3.7E+04 | 4.6E+04 | 4.5E+04 | 4.7E+04 | 4.9E+04 | 4.6E+04 |
| M120S HV | 1.3E+04 | 2.0E+04 | 2.4E+04 | 2.6E+04 | 2.1E+04 | 2.8E+04 | 2.0E+04 | 2.5E+04 | 2.4E+04 | 2.4E+04 | 2.8E+04 | 2.6E+04 |
| M20S LV | 7.2E+02 | 1.3E+03 | 1.5E+03 | 1.8E+03 | 1.5E+03 | 2.0E+03 | 1.4E+03 | 1.7E+03 | 1.5E+03 | 1.4E+03 | 1.7E+03 | 1.5E+03 |
| MF303 | 1.1E+04 | 1.8E+04 | 2.6E+04 | 3.1E+04 | 2.4E+04 | 3.2E+04 | 2.4E+04 | 3.0E+04 | 2.7E+04 | 2.6E+04 | 3.0E+04 | 2.7E+04 |
| MS200 | 7.5E+02 | 2.0E+03 | 2.3E+03 | 2.5E+03 | 2.5E+03 | 2.3E+03 | 1.5E+03 | 1.5E+03 | 1.5E+03 | 1.3E+03 | 1.8E+03 | 2.0E+03 |
| L30 | 1.4E+03 | 2.9E+03 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | 3.1E+03 | 3.4E+03 | 2.3E+03 | 3.6E+03 | 2.9E+03 | 2.7E+03 | 3.6E+03 | 3.4E+03 |
| L53 | 1.6E+03 | 1.8E+03 | 2.5E+03 | 4.0E+03 | 2.7E+03 | 3.1E+03 | 2.2E+03 | 2.3E+03 | 2.3E+03 | 2.3E+03 | 2.5E+03 | 2.0E+03 |
| L30 | 1.2E+03 | 2.0E+03 | 3.0E+03 | 3.6E+03 | 3.0E+03 | 4.4E+03 | 3.2E+03 | 3.6E+03 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | 4.4E+03 | 3.4E+03 |

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| **L53** | 1.0E+03 | 1.2E+03 | 1.6E+03 | 2.0E+03 | 1.6E+03 | 2.0E+03 | 1.2E+03 | 1.6E+03 | 1.4E+03 | 1.6E+03 | 1.6E+03 | 1.4E+03 |
| **L80** | 1.6E+03 | 3.2E+03 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | 2.8E+03 | 3.8E+03 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | 4.2E+03 | 3.4E+03 | 4.0E+03 | 4.6E+03 |
| **P19** | 2.2E+03 | 3.1E+03 | 4.3E+03 | 5.4E+03 | 4.0E+03 | 4.5E+03 | 2.2E+03 | 4.1E+03 | 3.1E+03 | 3.2E+03 | 4.7E+03 | 3.1E+03 |
| **T69** | 9.0E+02 | 7.2E+02 | 1.3E+03 | 3.2E+03 | 2.2E+03 | 2.3E+03 | 2.0E+03 | 2.3E+03 | 2.3E+03 | 2.5E+03 | 2.3E+03 | 2.0E+03 |
| **U17** | 3.1E+03 | 6.3E+03 | 7.7E+03 | 8.3E+03 | 7.0E+03 | 8.1E+03 | 5.6E+03 | 8.6E+03 | 7.2E+03 | 7.0E+03 | 9.2E+03 | 8.1E+03 |
| **A66** | 1.8E+03 | 2.5E+03 | 3.4E+03 | 4.0E+03 | 3.2E+03 | 4.1E+03 | 2.3E+03 | 3.2E+03 | 3.1E+03 | 3.2E+03 | 3.6E+03 | 2.7E+03 |
| **X08** | 1.1E+03 | 2.2E+03 | 2.9E+03 | 3.6E+03 | 3.2E+03 | 4.0E+03 | 4.0E+03 | 4.1E+03 | 3.8E+03 | 4.0E+03 | 5.6E+03 | 4.3E+03 |
| **W19** | 1.1E+03 | 1.4E+03 | 2.0E+03 | 1.4E+03 | 1.3E+03 | 3.1E+03 | 1.3E+03 | 2.5E+03 | 4.9E+03 | 2.7E+03 | 2.3E+03 | 2.7E+03 |
| **W54 C/B** | 2.0E+03 | 5.0E+03 | 4.9E+03 | 5.4E+03 | 4.1E+03 | 4.9E+03 | 5.4E+03 | 5.2E+03 | 4.7E+03 | 4.7E+03 | 5.6E+03 | 6.7E+03 |
| **W54 P/B** | 7.2E+02 | 1.4E+03 | 1.6E+03 | 1.4E+03 | 1.4E+03 | 1.4E+03 | 1.8E+03 | 1.6E+03 | 1.8E+03 | 1.6E+03 | 1.8E+03 | 2.5E+03 |
| **M09** | 3.6E+02 | 3.6E+02 | 7.2E+02 | 1.4E+03 | 9.0E+02 | 1.1E+03 | 9.0E+02 | 1.1E+03 | 9.0E+02 | 1.3E+03 | 9.0E+02 | 9.0E+02 |
| **P57** | 2.0E+03 | 2.5E+03 | 3.6E+03 | 4.7E+03 | 3.8E+03 | 5.9E+03 | 2.9E+03 | 4.3E+03 | 4.0E+03 | 4.0E+03 | 4.5E+03 | 3.1E+03 |
| **Clear N** | 2.2E+03 | 3.5E+03 | 4.8E+03 | 6.1E+03 | 4.6E+03 | 9.0E+03 | 3.7E+03 | 5.0E+03 | 4.6E+03 | 4.3E+03 | 5.6E+03 | 4.6E+03 |
| **Clear K** | 3.0E+03 | 5.3E+03 | 6.6E+03 | 8.0E+03 | 6.4E+03 | 5.3E+03 | 6.7E+03 | 7.8E+03 | 7.4E+03 | 7.4E+03 | 8.5E+03 | 7.8E+03 |
| **Thinner N** | 4.4E+02 | 7.2E+02 | 7.7E+02 | 9.2E+02 | 7.8E+02 | 9.3E+02 | 6.9E+02 | 7.4E+02 | 6.2E+02 | 8.7E+02 | 8.9E+02 | 5.3E+02 |

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

| Material name | Material usage (kg/ month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Apr'17 | May'17 | Jun'17 | Jul'17 | Aug'17 | Sep'17 | Oct'17 | Nov'17 | Dec'17 | Jan'18 | Feb'18 | Mar'18 |
| Thinner K | 4.8E+02 | 9.0E+02 | 1.1E+03 | 8.0E+02 | 6.3E+02 | 8.7E+02 | 7.1E+02 | 8.0E+02 | 9.5E+02 | 8.9E+02 | 9.2E+02 | 8.4E+02 |

ตารางภาคผนวก ข-2 แสดงองค์ประกอบสารเคมีที่และสารเคมีที่เป็นสาร VOCs ใช้ในกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| **Surfcleaner EC90 L-2** | 0507 | Polycarboxylic acid salt | 37199-81-8 | #N/A | 60-65 |
| **Surfcleaner EC90 R-2** | 0506 | Alkaline Salt (C) | 6834-92-0 | #N/A | 10-20 |
| | | Alkaline Salt (F) | 1310-73-2 | #N/A | 20-30 |
| | | Alkaline Salt (D) | 497-19-8 | #N/A | 50-60 |
| | | Kerosine | 64742-81-0 | #N/A | 1-5 |
| **Surffine GL-1** | 0508 | PHOSPHORIC ACID ,ZINC SALT | 7779-90-0 | #N/A | 25-30 |
| **Primer #40** | 0526 | SODIUM HYDROXIDE | 1310-73-2 | #N/A | 15-20 |
| **Surfdine SD5350MFD** | 0503 | PHOSPHORIC ACID | 7664-38-2 | #N/A | 30 - 40 |
| | | NITRIC ACID | 7697-37-2 | #N/A | 1 - 5 |
| | | HYDROFLUOROSILICIC ACID | 16961-83-4 | #N/A | 1 - 5 |
| | | HYDROFLUORIC ACID | 7664-39-3 | #N/A | 0.5 - 1.0 |
| | | HYDROGEN PEROXIDE | 7722-84-1 | #N/A | 0.01 - 0.05 |
| | | ZINC OXIDE | 1314-13-2 | #N/A | 5 - 10 |
| | | NICKEL CARBONATE | 3333-67-3 | #N/A | 1 - 5 |
| | | MANGANESE CARBONATE | 598-62-9 | #N/A | 1 - 5 |
| **Toner 30H** | 0502 | SODIUM NITRITE | 7632-00-0 | #N/A | 35 - 40 |
| **Powernics 340Z F1** | 0505 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 35-40 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | KAOLIN CLAY | 1332-58-7 | #N/A | 20-25 |
| | | TITANIUM DIOXIDE | 13463-67-7 | #N/A | 15-20 |
| | | EPOXY RESIN | proprietary | #N/A | 10-15 |
| | | ETHANOL,2-BUTOXY- | 111-76-2 | 111-76-2 | 5-10 |
| | | DIBUTYLTIN OXIDE | 818-08-6 | #N/A | 1-5 |
| | | 1-((2-HYDROXYETHYL)THIO)PROPAN-2-OL | 6713-03-7 | #N/A | 1-5 |
| | | CARBON BLACK | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1 |
| | | OTHER PIGMENT (S) | proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER SOLVEN (S) | proprietary | #N/A | 0.1-1 |
| | | OTHER ADDITIVE (S) | proprietary | #N/A | 0.1-1 |
| **Powernics 340Z F2** | 0504 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 55-60 |
| | | EPOXY RESIN | proprietary | #N/A | 20-25 |
| | | BLOCKEDISOCYANATE RESIN | proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ETHANOL,2-BUTOXY- | 111-76-2 | 111-76-2 | 1-5 |
| | | ACRYLIC RESIN | proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | ETHANOL,2-(HEXYLOXY)- | 112-25-4 | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER POLYMER (S) | proprietary | #N/A | 0.1-1 |
| | | OTHER SOLVEN (S) | proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER ADDITIVE (S) | proprietary | #N/A | 1-5 |
| **M120S HV** | 0615 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Calcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **M20S LV** | 0617 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **MF303** | 0567 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **MS200** | 0398 | Phthalate ester | 68515-48-0 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium carbonate | 471-34-1 | #N/A | 25-50 |
| | | Calcium oxide | 1305-78-8 | #N/A | 1-<5 |
| **L30** | 0633 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 40-45 |
| | | BARIUM SULFATE | 7727-43-7 | #N/A | 10-15 |
| | | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | TITANIUM DIOXIDE + | 13463-67-7 | #N/A | 5-10 |
| | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 104-76-7 | 104-76-7 | 5-10 |
| | | POLYURETHANE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | PROPANOL, 1(or2)-(2-methoxymethylethoxy) | 34590-94-8 | #N/A | 1-5 |
| | | NAPHTHA (petroleum), hydrotreated heavy | 64742-48-9 | #N/A | 1-5 |
| | | CARBON BLACK + | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER POLYMER(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | OTHER PIGMENT(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER SOLVENT(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER ADDITIVE(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| **L53** | 0637 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 40-45 |
| | | BARIUM SULFATE | 7727-43-7 | #N/A | 5-10 |
| | | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | TITANIUM DIOXIDE + | 13463-67-7 | #N/A | 10-15 |
| | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 104-76-7 | 104-76-7 | 5-10 |
| | | POLYURETHANE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | PROPANOL, 1(or2)-(2-methoxymethylethoxy) | 34590-94-8 | #N/A | 1-5 |
| | | NAPHTHA (petroleum), hydrotreated heavy | 64742-48-9 | #N/A | 1-5 |
| | | CARBON BLACK + | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER POLYMER(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER PIGMENT(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER SOLVENT(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER ADDITIVE(S) | Proprietary | #N/A | 0.1-1.0 |
| **L30** | 0643 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 2.416 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.126 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.608 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 4.084 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.701 |
| | | Dipropyleneglycol monomethyl eher | 34590-94-8 | #N/A | 6.057 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.229 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 0.21 |
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.359 |
| | | 1-Methyl-2-pyrrolidone | 872-50-4 | 872-50-4 | 0.259 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.343 |
| | | 2-Methyethanol amine | 109-83-1 | #N/A | 0.028 |
| | | Silicic acid | 1343-98-2 | #N/A | 0.227 |
| | | Aluminium hydroxide | 21645-51-2 | #N/A | 0.227 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.728 |
| | | Barium sulphate | 7727-43-7 | #N/A | 13.614 |
| | | - | 126-86-3 | #N/A | 13.614 |
| **L53** | 0642 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 4.237 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.121 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.282 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 12.722 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.591 |
| | | Dipropyleneglycol monomethyl eher | 34590-94-8 | #N/A | 4.241 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.214 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 0.196 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.336 |
| | | 1-Methyl-2-pyrrolidone | 872-50-4 | 872-50-4 | 0.242 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.320 |
| | | 2-Methyethanol amine | 109-83-1 | #N/A | 0.027 |
| | | Silicic acid | 1343-98-2 | #N/A | 0.707 |
| | | Aluminium hydroxide | 21645-51-2 | #N/A | 0.707 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.681 |
| | | Barium sulphate | 7727-43-7 | #N/A | 5.656 |
| **L80** | 0641 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 0.441 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.128 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 19.913 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.673 |
| | | Dipropyleneglycol monomethyl eher | 34590-94-8 | #N/A | 4.431 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.223 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 0.205 |
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.350 |
| | | 1-Methyl-2-pyrrolidone | 872-50-4 | 872-50-4 | 0.253 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.334 |
| | | 2-Methyethanol amine | 109-83-1 | #N/A | 0.027 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.016 |
| | | Silicic acid | 1343-98-2 | #N/A | 1.106 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Aluminium hydroxide | 21645-51-2 | #N/A | 1.106 |
| | | 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)Propan-2-ol | 29911-28-2 | #N/A | 0.008 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.710 |
| | | Barium sulphate | 7727-43-7 | #N/A | 1.478 |
| **P19** | 0640 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 65-70 |
| | | BARIUM SULFATE | 7727-43-7 | #N/A | 1-5 |
| | | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | N-BUTANOL | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 104-76-7 | 104-76-7 | 1-5 |
| | | POLYURETHANE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | CARBON BLACK + | 1333-86-4 | #N/A | 0.1-1.0 |
| | | OTHER POLYMER(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER PIGMENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER SOLVENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER ADDITIVE(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| **T69** | 0635 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 65-70 |
| | | ANTIFOAMING AGENT | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | N-BUTANOL | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 104-76-7 | 104-76-7 | 1-5 |
| | | POLYURETHANE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER POLYMER(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER PIGMENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER SOLVENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER ADDITIVE(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| **U17** | 0915 | WATER | 7732-18-5 | #N/A | 30-45 |
| | | BARIUM SULFATE | 7727-43-7 | #N/A | 1-5 |
| | | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | ALKYLATED MELAMINE FORMALDEHYDE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | N-BUTANOL | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| | | 2-ETHYLHEXAN-1-OL | 104-76-7 | 104-76-7 | 1-5 |
| | | POLYURETHANE RESIN | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | CARBON BLACK + | 1333-86-4 | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER POLYMER(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER PIGMENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER SOLVENT(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| | | OTHER ADDITIVE(S) | Proprietary | #N/A | 1-5 |
| **A66** | 0648 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 8.251 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.618 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.397 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.122 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1.309 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.168 |
| | | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.015 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.568 |
| | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 0.020 |
| | | Oleic acid, pure | 112-80-1 | #N/A | 0.081 |
| | | Amorphous precipitated sillica | 112926-00-8 | #N/A | 0.067 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.025 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.071 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 0.769 |
| | | 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)Propan-2-ol | 29911-28-2 | #N/A | 0.372 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.012 |
| | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 0.435 |
| | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.042 |
| | | Aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 2.794 |
| | | Silicon sioxide | 7631-86-9 | #N/A | 0.067 |
| | | White spirits | 8052-41-3 | #N/A | 0.749 |
| **X08** | 0644 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 11.184 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.584 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.436 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.957 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.709 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.136 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1.463 |
| | | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.009 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.327 |
| | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 0.022 |
| | | 2-Butoxyethanol | 1111-76-2 | #N/A | - |
| | | Amorphous precipitated sillica | 112926-00-8 | #N/A | 0.075 |
| | | Mica | 12001-23-4 | #N/A | 0.008 |
| | | Zirconium dioxide | 1314-23-4 | #N/A | - |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.006 |
| | | Tin(IV) oxide | 18282-10-5 | #N/A | - |
| | | 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)Propan-2-ol | 29911-28-2 | #N/A | 0.855 |
| | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.047 |
| | | Silicon sioxide | 7631-86-9 | #N/A | 0.075 |
| | | 2-Methypropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.097 |
| **W19** | 0649 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 7.207 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.461 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.362 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 17.306 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.446 |
| | | 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)Propan-2-ol | 29911-28-2 | #N/A | 1.443 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.11 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1.182 |
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.196 |
| | | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.018 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.661 |
| | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 0.018 |
| | | Oleic acid, pure | 112-80-1 | #N/A | 0.002 |
| | | C.I.Pigment Green 7 | 1328-53-6 | #N/A | 0.002 |
| | | 2-((2-ethylhexyl)-ox4)Ethanol | 1559-35-9 | #N/A | 0.893 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.003 |
| | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 0.007 |
| | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.038 |
| | | Aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 0.063 |
| | | White spirits | 8052-41-3 | #N/A | 0.024 |
| **W54 C/B** | 0646 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 7.221 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.336 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.369 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 15.84 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 1.324 |
| | | 1-(2-butoxy-1-methylethoxy)Propan-2-ol | 29911-28-2 | #N/A | 1.321 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.115 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1.242 |
| | | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.007 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.26 |
| | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 0.018 |
| | | Oleic acid, pure | 112-80-1 | #N/A | 0.001 |
| | | Ferric oxide | 1309-37-1 | #N/A | - |
| | | C.I.Pigment Green 7 | 1328-53-6 | #N/A | 0.001 |
| | | Carbon black | 1333-86-4 | #N/A | 0.002 |
| | | 2-((2-ethylhexyl)-ox4)Ethanol | 1559-35-9 | #N/A | 0.88 |
| | | Propylene glycol n-butyl ether | 5131-66-8 | #N/A | 0.002 |
| | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 0.008 |
| | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.04 |
| | | Aluminium | 7429-90-5 | #N/A | 0.046 |
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.077 |
| | | White spirits | 8052-41-3 | #N/A | 0.015 |
| **W54 P/B** | 0645 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 9.86 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.438 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.48 |
| | | Aluminium oxide | 1344-28-1 | #N/A | 1.083 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 0.444 |
| | | 2-((2-ethylhexyl)-ox4)Ethanol | 1559-35-9 | #N/A | 1.145 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.15 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1.616 |
| | | 2-Methylpropan-1-ol | 78-83-1 | 78-83-1 | 0.101 |
| | | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.009 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0.339 |
| | | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 0.023 |
| | | Amorphous precipitated sillica | 112926-00-8 | #N/A | 0.078 |
| | | Mica | 12001-23-4 | #N/A | 0.218 |
| | | Zirconium dioxide | 1314-23-4 | #N/A | 0.021 |
| | | 1-Propoxypropan-2-ol | 1569-01-3 | #N/A | 0.779 |
| | | Tin(IV) oxide | 18282-10-5 | #N/A | 0.018 |
| | | Tin(IV) oxide | 18282-10-5 | #N/A | 0.39 |
| | | Methanol | 67-56-1 | 67-56-1 | 0.052 |
| | | Silicon sioxide | 7631-86-9 | #N/A | 0.078 |
| **M09** | 0986 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 5-10 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.1-1 |
| | | 2-Butoxyethanol | 111-76-2 | 111-76-2 | 0.1-1 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | Formaldehyde | 50-00-0 | 50-00-0 | 0.11 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| **P57** | 0985 | 2-Ethylhexanol | 104-76-7 | 104-76-7 | 5-10 |
| | | 2-Dimethelaminoethanol | 108-01-0 | #N/A | 0.1-1 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2-Butoxyethanol | 111-76-2 | 111-76-2 | 0.1-1 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | Titanium dioxide | 13463-67-7 | #N/A | 1-5 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 1-5 |
| **Clear N** | 0616 | ACRYLIC RESIN | Proprietary | #N/A | 75-80 |
| | | ADDITIVE (S) | Proprietary | #N/A | 5-10 |
| | | SOLVENT (S) | Proprietary | #N/A | 10-15 |
| **Clear K** | 0620 | Ethybenzene | 100-41-4 | 100-41-4 | 0.1-1 |
| | | Mesitylene | 108-67-8 | 108-67-8 | 1.7 |
| | | Toluene | 108-88-3 | 108-88-3 | 0.1-1 |
| | | 2-(2-ethoxyethoxy)Ethyl acetate | 112-15-2 | #N/A | 1-5 |
| | | Xylene,mixed isomers, pure | 1330-20-7 | 1330-20-7 | 0.1-1 |
| | | Light aromatic solvent naphtha | 64742-95-6 | #N/A | 10-15 |
| | | 1-Butanol | 71-36-3 | #N/A | 5-10 |
| | | Ethyl 3-ethoxypropionate | 763-69-9 | #N/A | 5-10 |
| | | 1,2,4-Trimethylbenzene | 95-63-6 | 95-63-6 | 0 |
| | | p-Xylene | 106-42-3 | 106-42-3 | 0 |
| | | Propyleneglycol monoethylether | 107-98-2 | #N/A | 0 |
| | | m-Xylene | 108-38-3 | 108-38-3 | 0 |
| | | n-Butyl acetate | 123-86-4 | 123-86-4 | 0 |
| | | n-Heptane | 142-82-5 | 142-82-5 | 0 |

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

| Material name | SDS | Chemical Component | CAS no | VOCs | Concentration % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2-Propanol | 67-63-0 | 67-63-0 | 0 |
| | | Benotriazole | 95-14-7 | #N/A | 0 |
| | | o-Xylene | 95-47-6 | 95-47-6 | 0 |
| | | Cumen | 98-82-8 | 98-82-8 | 0 |
| **Thinner N** | 0627 | HEAVY AROMATIC SOLVENT NAPHTHA | 647-42-945 | #N/A | 20-25 |
| | | ESTER | Proprietary | #N/A | 75-80 |
| **Thinner K** | 0619 | 2-Methoxy-1-methylethyl acetate | 108-65-6 | #N/A | 1-5 |
| | | Dietylene glycol monobutyl ether | 112-34-5 | #N/A | 45-50 |
| | | HEAVY AROMATIC SOLVENT NAPHTHA | 64742-94-5 | #N/A | 45-50 |

ตารางภาคผนวก ข-3 ตัวอย่างการคำนวณ Functional unit ของเดือนเมษายน 2560 ของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| **Type of product** | | **Model** | **Paint area per car ($m^2$)** | **Production volume (car/ month)** | **Paint area/ month ($m^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|
| **CBU** | A | A1 | 75.67 | 24.00 | 1,816.08 |
| | | A2 | 75.67 | 238.00 | 18,009.46 |
| | | A3 | 75.67 | 1,920.00 | 145,286.40 |
| | | A4 | 75.67 | 13.00 | 983.71 |
| | | A5 | 75.67 | 510.00 | 38,591.70 |
| | | A6 | 75.67 | 10.00 | 756.70 |
| | B | B1 | 92.00 | 233.00 | 21,436.00 |
| | | B2 | 92.00 | 2,169.00 | 199,548.00 |
| | | B3 | 92.00 | 82.00 | 7,544.00 |
| | | B4 | 92.00 | - | - |
| | | B5 | 92.00 | 2.00 | 184.00 |
| **KD parts** | A | A1 | 26.00 | 3,060.00 | 79,560.00 |
| | B | B1 | 26.00 | 3,600.00 | 93,600.00 |
| | **Total** | | **966.02** | **11,861.00** | **607,316.05** |

ตารางภาคผนวก ข-4 สรุปข้อมูลพื้นที่การทำสีในแต่ละเดือนของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| Month | Area ($m^2$) |
|---|---|
| Apr'17 | 607,316.05 |
| May'17 | 928,724.37 |
| Jun'17 | 1,004,940.13 |
| Jul'17 | 1,336,930.80 |
| Aug'17 | 1,136,623.49 |
| Sep'17 | 1,506,443.18 |
| Oct'17 | 1,103,377.91 |
| Nov'17 | 1,083,414.82 |
| Dec'17 | 1,127,321.50 |
| Jan'18 | 1,144,789.79 |
| Feb'18 | 1,304,853.80 |
| Mar'18 | 1,209,153.03 |

ตารางภาคผนวก ข-5 ข้อมูลปริมาณสารเคมี (VOCs) รายเดือนของกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ชนิด Water based

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Apr'17** | **May'17** | **Jun'17** | **Jul'17** | **Aug'17** | **Sep'17** | **Oct'17** | **Nov'17** | **Dec'17** | **Jan'18** | **Feb'18** | **Mar'18** | **Average** |
| 1 | Benzene, ethyl- | 5.1E-05 | 5.8E-05 | 6.7E-05 | 6.1E-05 | 5.8E-05 | 3.6E-05 | 6.2E-05 | 7.4E-05 | 6.7E-05 | 6.6E-05 | 6.7E-05 | 6.6E-05 | 6.1E-05 |
| 2 | Hexanol, 2-ethyl-1- | 2.4E-03 | 2.6E-03 | 3.1E-03 | 2.8E-03 | 2.7E-03 | 2.5E-03 | 2.5E-03 | 3.2E-03 | 3.0E-03 | 2.8E-03 | 2.9E-03 | 2.8E-03 | 2.8E-03 |
| 3 | p-Xylene | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | m-Xylene | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | Benzene, 1,3,5-trimethyl- | 8.5E-05 | 9.7E-05 | 1.1E-04 | 1.0E-04 | 9.6E-05 | 6.0E-05 | 1.0E-04 | 1.2E-04 | 1.1E-04 | 1.1E-04 | 1.1E-04 | 1.1E-04 | 1.0E-04 |
| 6 | Toluene | 5.0E-05 | 5.7E-05 | 6.5E-05 | 6.0E-05 | 5.6E-05 | 3.5E-05 | 6.1E-05 | 7.2E-05 | 6.5E-05 | 6.4E-05 | 6.5E-05 | 6.5E-05 | 6.0E-05 |
| 7 | Ethanol, 2-butoxy- | 2.2E-03 | 2.4E-03 | 2.9E-03 | 2.7E-03 | 2.5E-03 | 2.6E-03 | 2.5E-03 | 3.0E-03 | 2.8E-03 | 2.9E-03 | 2.7E-03 | 2.7E-03 | 2.6E-03 |
| 8 | Butyl acetate | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | Xylene | 1.3E-04 | 1.4E-04 | 1.7E-04 | 1.5E-04 | 1.4E-04 | 1.3E-04 | 1.5E-04 | 1.8E-04 | 1.7E-04 | 1.7E-04 | 1.6E-04 | 1.6E-04 | 1.6E-04 |
| 10 | Heptane | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

ตารางภาคผนวก ข-5 (ต่อ)

| No | Name | Chemicals consumption (kg/ $m^2$) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Apr'17** | **May'17** | **Jun'17** | **Jul'17** | **Aug'17** | **Sep'17** | **Oct'17** | **Nov'17** | **Dec'17** | **Jan'18** | **Feb'18** | **Mar'18** | **Average** |
| 11 | Formaldehyde | 2.8E-05 | 3.3E-05 | 3.7E-05 | 3.1E-05 | 3.0E-05 | 3.0E-05 | 3.4E-05 | 3.8E-05 | 3.9E-05 | 3.6E-05 | 3.6E-05 | 3.8E-05 | 3.4E-05 |
| 12 | Methanol | 4.7E-06 | 5.8E-06 | 6.3E-06 | 5.1E-06 | 5.1E-06 | 4.9E-06 | 5.8E-06 | 6.6E-06 | 6.8E-06 | 6.1E-06 | 6.3E-06 | 6.8E-06 | 5.9E-06 |
| 13 | 2-Propanol | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14 | 2-Methyl-1-propanol | 3.6E-05 | 4.0E-05 | 4.6E-05 | 3.8E-05 | 3.7E-05 | 3.8E-05 | 4.0E-05 | 4.7E-05 | 4.9E-05 | 4.4E-05 | 4.4E-05 | 4.5E-05 | 4.2E-05 |
| 15 | 1-Methyl-2-pyrrolidinone | 1.6E-05 | 1.7E-05 | 2.0E-05 | 1.7E-05 | 1.6E-05 | 1.7E-05 | 1.8E-05 | 2.1E-05 | 2.0E-05 | 1.9E-05 | 1.9E-05 | 2.0E-05 | 1.8E-05 |
| 16 | o-Xylene | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 17 | Benzene, 1,2,4-trimethyl- | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | Cumene | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |