การศึกษาความเป็นไปได้ของเส้นถนนเรืองแสง : การใช้งาน , ความคุ้มค่าทางเศษฐศาสตร์และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

A Feasibility Study on Glowing Road Marking Lines : Their Uses in Economical And Environment Aspects

จิรายุ จิตต์คงไทย

ธนทัต จิตตะปาโล

ธนรุ่งโรจน์ โกศลานันต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Feasibility Study on Glowing Road Marking Lines : Their Uses in Economical And Environment Aspects

JIRAYU JITKONGTHAI
THANATAT JITTAPALO
TANARUNGROJ KOSALANAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FLFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BECHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเป็นไปได้ของเส้นถนนเรืองแสง : การใช้งานความคุ้มค่าทางเศษฐศาสตร์และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

นาย จิรายุ จิตต์คงไทย รหัสนักศึกษา 59010217
นาย ธนทัต จิตตะปาโล รหัสนักศึกษา 59010564
นายธนรุ่งโรจน์ โกศลานันต์ รหัสนักศึกษา 59010588

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเดินทางในช่วงเวลากลางคืน สิ่งสำคัญที่สุดคือความสว่างแต่ยังมีบางพื้นที่ไฟทางยังเข้าไปไม่ถึง หรือจุดอับสายตาบริเวณต่างๆบนท้องถนน จึงได้มีแนวทางการแก้ไขโดยการใช้เส้นถนนเรืองแสง ซึ่งถ้าหากเส้นถนนเรืองแสงนั้นสามารถนำมาใช้แทนระบบส่องสว่างแบบเดิมได้ จะช่วยเพิ่มการมองเห็นของเส้นถนนได้ดียิ่งขึ้น โดยมีการศึกษาแนวทางการนำมาใช้งานของเส้นถนนเรืองแสง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การศึกษาความสว่างของเส้นถนนเรืองแสง โดยการทดสอบจะใช้อีพ็อกซี่และเติมสารเรืองแสงลงไป 5%,10%,15%,20%,25%,30%โดยมวลตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าหากเติมสารเรืองแสงในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้เส้นถนนเรืองแสงนั้นสว่างไม่มากพอ แต่ถ้าหากเติมสารเรืองแสงมากเกินไปก็จะทำให้ตัวผิวของเส้นถนนเรืองแสงมีความไม่โปร่งใสพอ จึงพบว่าส่วนผสมของสารเรืองแสงที่เหมาะสมที่สุดคือ 10%โดยมวล จากนั้นจึงศึกษาการเติมสารเพิ่มเนื้อชนิดแคลเซียมA เพื่อลดต้นทุนในการผลิต โดยมีการทดสอบกำลังรับแรงอัด และคุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสงเมื่อเติมแคลเซียมA จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดจะมากขึ้นตามปริมาณที่เติมเข้าไป และจะใกล้เคียงกับเส้นถนนเรืองแสงปกติที่ส่วนผสม 20%โดยมวล แต่พบว่าเมื่อเติมสารเพิ่มเนื้อจะทำให้เส้นถนนเรืองแสงไม่โปร่งแสง จึงพิจารณาไม่นำมาใช้

การศึกษาความคุ้มทุน โดยการเปรียบเทียบราคาและค่าบำรุงรักษาของเส้นถนนเรืองแสงและเสาไฟส่องสว่างโดยคิดต้นทุนที่ระยะทาง 1 กิโลเมตรได้ราคาต้นทุนของเส้นถนนเรืองแสงประมาณ 1 ล้านบาทบำรุงรักษาทุก 5-15ปีและต้นทุนเสาไฟส่องสว่าง 7.56 ล้านบาทบำรุงรักษาทุก 30 ปี

การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คำนวณจากCO_2 emissions ระยะทาง 1 กิโลเมตร เส้นถนนเรืองแสงปล่อยค่า CO_2 emissions อยู่ที่ 32.875kg CO_2/วัน/กิโลเมตร และเสาไฟส่องสว่างปล่อยค่าCO_2 emissions 282.74 kg CO_2 emissions /day/km

คำสำคัญ: เส้นถนนเรืองแสง,อีพ็อกซี่,สารเรืองแสง,ความคุ้มทุน,ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Feasibility study on growing road marking lines : their used in Economical and environment aspects

Mr. Jirayu Jitkongthai Student ID. 59010217
Mr. Thanatat jittapalo Student ID. 59010564
Mr. Tanarungroj Kosalanan Student ID. 59010588

Advisor: Asst. Prof. Dr. Chodchanok Attaphong

Academic Year 2019

ABSTRACT

Nowadays, the most important thing when traveling at night is the brightness, but somehow there's some place that the light can't reach so the glowing road marking line is the solution. If the lighting system can be replaced by the glowing road marking line, it would improve your road vision. The used of glowing road marking line can be economic worthiness and environmental effects.

Testing the brightness of the glowing road marking line by using epoxy and add phosphorescent 5%,10%,15%,20%,25%,30% by mass. From the analysis, adding too less phosphorescent makes the glowing road marking line not bright enough, but adding extra makes it not transparent. The suitable percentages of adding phosphorescent is 10% by mass, then adding calcium A to reduce the marginal costs. Testing compressive strength and the properties of the glowing road marking line by adding calcium A. From the test, compressive strength will increase according to the quantity added and similar to the simple glowing road marking line that has 20%by mass, but found out that adding additive will make the glowing road marking line not transparent, so they decided not to use it.

The study economics worthiness marginal cost and maintenance comparing between glowing road marking line and light pole with the distance of 1 kilometer equal to marginal cost of glowing road marking line around 1 million baht of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

maintenance 5-15 years and marginal cost of light pole 7.56 million baht of maintenance in every 30 years.

The studies of environmental effects, from the calculation of releasing CO_2 emissions with the distance of 1 kilometer , glowing road marking line release CO_2emissions for 32.875kgCO_2/day/kilometer and light pole release for 282.74 kgCO_2/day/kilometer.

Keywords: glowing road marking line, glowing in the dark, phosphorescent, epoxy, economics worthiness, environmental effects

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชดชนก อัฑฒพงศ์ และ ผศ.ดร. ชลิดา อู่ตะเภา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดถึงการให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่กลุ่มของข้าพเจ้า สุดท้ายต้องขอขอบคุณ ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์ ที่อำนวยสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือให้กลุ่มข้าพเจ้าใช้ทดลองและอีกทั้งยังให้ความรู้ประสบการณ์ และแนวคิดในการปฏิบัติการต่อกลุ่มข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้เป็นอย่างยิ่งที่ช่วยให้โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าและกลุ่มของข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รัก และ เคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

จิรายุ จิตต์คงไทย
ธนทัต จิตตะปาโล
ธนรุ่งโรจน์ โกศลานันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ IV

สารบัญ V

สารบัญรูปภาพ VIII

สารบัญตาราง IX

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 3

2.1 การมองเห็นและการส่องสว่าง 3

2.1.1 การมองเห็น (Vision) 3

2.1.2 แสงและการส่องสว่าง (Lighting and Luminance) 6

2.2 การเรืองแสง 8

2.2.1 สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) 8

2.2.2 สารเรืองแสงฟอสฟอเรสเซนต์ (Phosphorescence) 9

2.2.3 ประเภทของวัสดุสารเรืองแสง 10

2.2.4 ผงวัสดุเรืองแสง Ultra Violet (UV) 17

2.3 สารที่ใช้ผสมเพิ่มที่เกี่ยวข้อง 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ผงแคลเซียม (Calcium).....20
2.3.2 ผงเกล็ดแก้ว (Glass Flake).....21
2.3.3 เรซิ่นและอีพ็อกซี่ (Resin and Epoxy).....21
2.4 การวิเคราะห์ศึกษาเชิงข้อมูลและมาตรฐานการทดสอบ.....23
2.4.1 การวิเคราะห์การนำไปใช้ของเส้นถนนเรืองแสง.....23
2.4.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน.....24
2.4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....35
บทที่ 3.....38
3.1 ส่วนประกอบของเส้นถนนเรืองแสง.....38
3.2 รูปแบบที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้งานเส้นถนนเรืองแสง.....39
3.3 ศึกษาคุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสง.....39
3.3.1 คุณสมบัติการส่องสว่าง.....39
3.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด.....43
3.4 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง.....45
3.5 การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง.....46
บทที่ 4.....48
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....48
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบติ.....48
4.1.1 คุณสมบัติการส่องสว่าง.....48
4.1.2 คุณสมบัติความต้านทานแรงอัด.....51
4.2 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง.....52
4.3 การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง.....55
บทที่ 5.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 สรุปผลการวิจัย.....57

5.2 ข้อเสนอแนะ.....58

เอกสารอ้างอิง.....59

ภาคผนวก ก.....61

ภาคผนวก ข.....64

ประวัติส่วนตัว.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 มุมมองในแนวนอน 4

รูปที่ 2 ระดับการมองและการจัดพื้นที่ทำงาน 5

รูปที่ 3 ระดับการมองและการจัดพื้นที่ทำงาน 5

รูปที่ 4 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและช่วงแสงที่มองเห็น 6

รูปที่ 5 แผนผังพลังงานของการเกิดฟอสฟอเรซเซนซ์ 9

รูปที่ 6 ULTRA VIOLET (UV) LIGHT REACTIVE POWDER 17

รูปที่ 7 UV LIGHT FLUORESCENT POWDER 19

รูปที่ 8 UV LIGHT FLUORESCENT POWDER 19

รูปที่ 9 ผงแคลเซียม (CALCIUM) 20

รูปที่ 10 ผงเกล็ดแก้ว (GLASS FLAKE) 21

รูปที่ 11 เรซิ่น (RESIN) 21

รูปที่ 12 อีพ็อกซี่ (EPOXY) 22

รูปที่ 13 เครื่อง UTM 23

รูปที่ 14 ภาพแสดงจุดเปรียบเทียบต้นทุน 25

รูปที่ 15 ภาพวัฏจักร CRADLE TO GRAVE 26

รูปที่ 16 แนวคิดของหลักการ LCA 28

รูปที่ 17 ภาพหลักการดำเนิดการ LCA 28

รูปที่ 18 LIFE CYCLE STAGE 29

รูปที่ 19 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมนุษย์ 30

รูปที่ 20 วัฏจักรคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 31

รูปที่ 21 หลักการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร 31

รูปที่ 22 SCOPE ในการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร 32

รูปที่ 23 สมการการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ขนาดของวัสดุสารเรืองแสงที่นำไปใช้งาน 10
ตารางที่ 2 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม SL GROUP 11
ตารางที่ 3 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม L GROUP 12
ตารางที่ 4 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม COLOR GROUP 13
ตารางที่ 5 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม RE GROUP 15
ตารางที่ 6 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม S GROUP 16
ตารางที่ 7 ULTRA VIOLET (UV) LIGHT REACTIVE POWDER 18
ตารางที่ 8 บันทึกภาพแสดงการส่องสว่างของก้อนวัสดุเรืองแสงที่เวลาต่างๆ 48
ตารางที่ 9 บันทึกค่าข้อมูลการรับแรงอัด EPOXY 51
ตารางที่ 10 บันทึกค่าข้อมูลการรับแรงอัด สารผสมเพิ่ม (แคลเซียม A) 51
ตารางที่ 11 ต้นทุนในการใช้เส้นถนนเรืองแสงต่อ 1 กิโลเมตร 52
ตารางที่ 12 แสดงต้นทุนในการใช้เสาไฟส่องสว่าง ต่อ 1 ต้น 53
ตารางที่ 13 CARBON FOOTPRINT CALCULATOR (ACTIVITY BY MATERIAL) IN DISTANCE 1 KM 55
ตารางที่ 14 CARBON FOOTPRINT CALCULATOR (LIGHT POLE) IN DISTANCE 1 KM 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการจราจรบนท้องถนนเป็นสิ่งสำคัญในชีวิตประจำวันของทุกคน ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน แต่การจราจรยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุเป็นอันดับต้นๆของประเทศ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุในเวลากลางคืน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปัญหาระบบส่องสว่างชำรุดเสียหายและไม่ทั่วถึง ซึ่งอาจมีแนวทางการแก้ไขด้วยการใช้สีสะท้อนแสง โดยสีสะท้อนแสงจะทำงานเมื่อมีรถวิ่งผ่านหรือมีแสงจากไฟส่องทาง จึงจะสามารถมองเห็นแสงสะท้อนได้ นอกจากนี้ยังมีการตีเส้นถนนที่ทำจากสารเรืองแสง ซึ่งจะสามารถเพิ่มทัศนวิสัยของผู้ใช้รถใช้ถนนในเวลากลางคืนได้ และยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในระบบส่องสว่างบนท้องถนนในช่วงเวลากลางคืนอีกด้วย

เส้นถนนเรืองแสงนั้นมาจากการใช้สารฟอสฟอเรสเซนต์ ที่มีคุณสมบัติในการเรืองแสงมาผสมกับอีพ็อกซี่ที่มีความโปร่งใสสูงมาใช้แทนเส้นถนน เพื่อทำให้เส้นถนนนั้นเรืองแสง โดยสารเรืองแสงที่นำมาใช้เป็นสารฟอสฟอเรสเซนต์ ที่มีการเก็บและคายพลังงานสูงเป็นพิเศษ เพื่อให้เส้นถนนเรืองแสงนั้นสว่างมากขึ้นสว่างได้นานมากกว่าเดิม เส้นถนนเรืองแสงนั้นสามารถนำมาใช้แทนเส้นถนนแบบเดิมได้ ด้วยการทำร่องบนเส้นถนนเพื่อที่จะหล่อเส้นถนนเรืองแสง หรืออาจจะนำมาทาบนเส้นถนนเพื่อให้เส้นถนนเรืองแสง และยังนำไปพัฒนาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มความสว่างและความปลอดภัยได้มากขึ้น และยังเพิ่มความสวยงามให้กับถนนได้มากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการใช้งาน รูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสง คุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสงเมื่อเติมสารผสมเพิ่มเนื้อชนิดต่างๆ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานเส้นถนนเรืองแสง
2. เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสง
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสงเมื่อเติมสารผสมเพิ่มชนิดต่างๆ
4. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตรในด้านความคุ้มทุนของเส้นถนนเรืองแสง
5. เพื่อศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการใช้งานของเส้นถนนเรืองแสงในด้านความแข็งแรงทนทานของเส้นถนนเรืองแสง การเพิ่มสารผสมเพิ่มเพื่อหาความเหมาะสม การใช้งานที่ถูกต้องตามข้อกฎหมาย ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานและรูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสง
3. ศึกษาคุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสงเมื่อเติมสารผสมเพิ่มชนิดต่างๆ
4. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง
5. ศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง
6. วิเคราะห์ข้อมูลของเส้นถนนเรืองแสงเพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความปลอดภัยบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้นจากการที่ใช้เส้นถนนเรืองแสง
2. ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟส่องสว่าง โดยการใช้เส้นถนนเรืองแสงในการส่องสว่างแทนระบบไฟส่องสว่างแบบเดิม
3. เส้นถนนเรืองแสงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในด้านความคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นนี้เกี่ยวกับสารเรืองแสงที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้า โดยกลุ่มของผู้วิจัยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของสารเรืองแสงรวมถึงศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำไปใช้งาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ โดยในการศึกษาข้อมูล กลุ่มวิจัยได้ศึกษาข้อมูลของงานวิจัยจากบทความของผู้บรรยาย วรรณกรรมจากวารสาร และหนังสือทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมถึงงานวิจัยที่มีข้อมูลเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเรืองแสง อันเป็นที่มาและแนวคิดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้โดยจะกล่าวนำขึ้นต้นจากแสงสว่างที่ใช้ในการมองเห็นรวมไปถึงสารเรืองแสงที่ใช้ในการนำมาทดสอบและการวิเคราะห์ต่างๆดังต่อไปนี้

2.1 การมองเห็นและการส่องสว่าง

2.1.1 การมองเห็น (Vision)

การมองเห็น (Vision) คือ การอาศัยการทำงานร่วมกันของตากับระบบประสาทที่เกี่ยวข้องรวมกัน เรียกว่า ระบบการมองเห็น (Visual System) โดยมีขบวนการป้องกันอันตรายแก่ลูกตา เรียกว่า การตอบสนองต่อสิ่งเร้าของระบบการมองเห็นแบบรีเฟล็กซ์ (Visual Reflex)

<u>การทำงานของตามีส่วนประกอบโดยสรุปได้ ดังนี้</u>

1. เลนส์แก้วตา (Lens) อยู่ส่วนหน้าของลูกตา ทำหน้าที่รวมแสงให้ตกลงบนตัวรับสัญญาณ (Receptors) เลนส์แก้วตามีลักษณะโปร่งแสง ไม่มีสี ความยืดหยุ่นสูง สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ เลนส์ตาถูกยึดกับที่ด้วยเอ็นยึดเลนส์ ด้านหน้าเลนส์ตามีแผ่นบาง ๆ ของกล้ามเนื้อเรียบ มาปิดคลุมเลนส์เอาไว้ เรียกว่า ม่านตา (Iris) ซึ่งทึบแสงตรงกลางมีรูให้แสงผ่านเรียกว่า รูม่านตา (Pupil)
2. ตัวรับ (Receptors) อยู่ภายในลูกตาสำหรับสิ่งเร้า คือ แสง ลม หรือ สิ่งที่ปะทะกะดวงตา โดยเซลล์ประสาทในชั้น Retina ที่สำคัญ คือ เซลล์รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

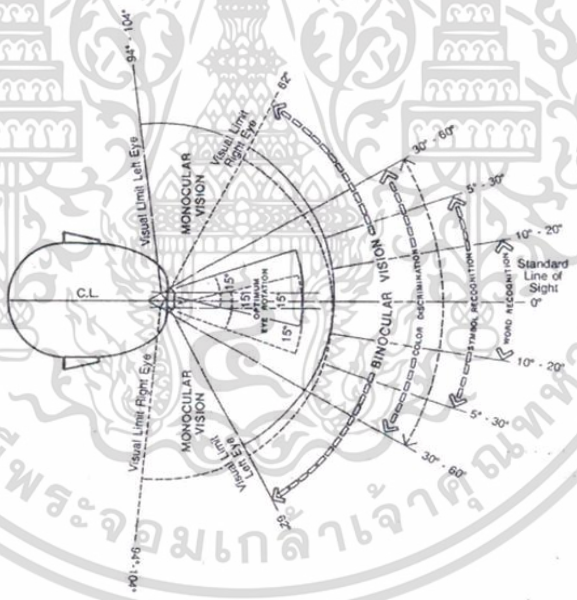
3. ระบบประสาท นำสัญญาณประสาทจากตัวรับ ส่งขึ้นสู่สมองเพื่อแปลภาพเรตินา (Retina) ของลูกตาจะรับการกระตุ้นจากแสง สัญญาณจะส่งผ่าน Optic Nerve จากเรตินาไปยัง Lateral Geniculate Body ของ Thalamus และไปยังสมอง ส่วนที่ทำหน้าที่ในการแปลผลการมองเห็น (Visual Cortex) ในสมองส่วน ท้ายทอย (Occipital Lobe)

<u>สมรรถนะในการมองเห็น</u>

ความสามารถในการมองเห็นของมนุษย์ มีความสำคัญเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในระบบการทำงานโดยรวมของมนุษย์อย่างยิ่งโดยสมรรถนะในการมองเห็น ของมนุษย์ ได้แก่

1. มุมมองในแนวนอน (Visual Field Horizontal Plane)

มุมมองการมองเห็นในแนวนอนขณะมองนั้น คนเราจะมีระยะของมุมมองเห็นภาพที่ชัดเจนประมาณ 62 องศา และมีระยะของมุมมองในการอ่านตัวอักษรประมาณ 10-20 องศา ส่วนระยะในการมองเห็นของตาทั้งซ้ายและขวาประมาณอยู่ที่ประมาณ 94-104 องศา



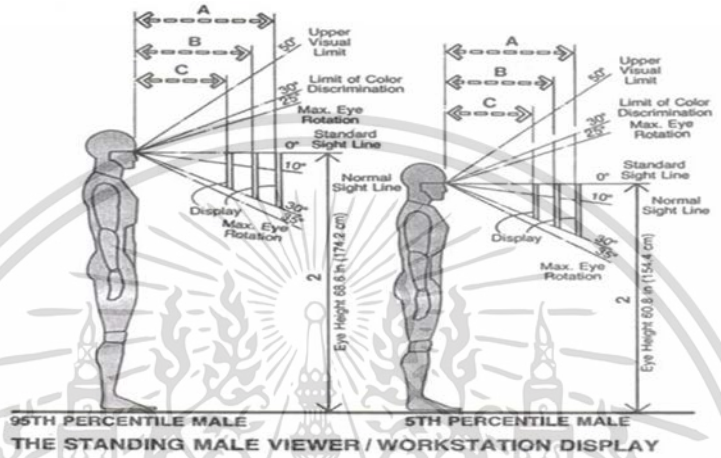
รูปที่ 1 มุมมองในแนวนอน

(ที่มา : http://www.thailandindustry.com/onlinemag/)

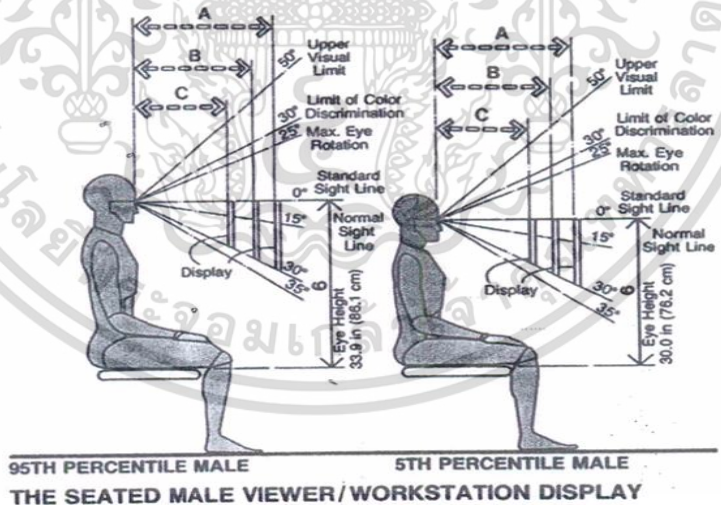
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มุมมองในแนวตั้ง (Visual Field Vertical Plane)

ในขณะมองตรงนั้นมุมมองการเห็นในแนวตั้งมีระยะของมุมมองในการมองเห็นภาพด้านบนประมาณ 50 องศา ด้านล่างประมาณ 70 องศา ขณะเดียวกันจะมีแนวสายตาในระดับยืนประมาณ 10 องศา และในระดับนั่งประมาณ 15 องศา



รูปที่ 2 ระดับการมองและการจัดพื้นที่ทำงาน



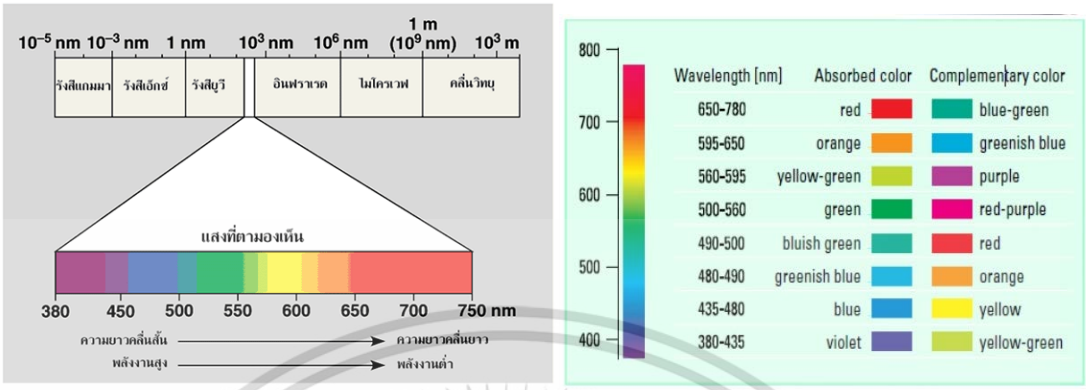
รูปที่ 3 ระดับการมองและการจัดพื้นที่ทำงาน

(ที่มา : http://www.thailandindustry.com/onlinemag/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แสงและการส่องสว่าง (Lighting and Luminance)

แสง (Light)



รูปที่ 4 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและช่วงแสงที่มองเห็น

(ที่มา : https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/)

แสง (Light) เป็นการแผ่คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) หมายถึง แสงที่มองเห็นได้ ซึ่งตามนุษย์มองเห็นได้และทำให้เกิดสัมผัสการรับรู้ภาพ โดยแสงที่มองเห็นได้ปกติมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร โดยในการหักเหของแสงนั้น แสงจะวิ่งผ่านตัวกลางด้วยความเร็วจำกัด ของแสงในสุญญากาศจะมีค่า 299,792,458 เมตร ต่อ วินาที (186,282.397 ไมล์ต่อ วินาที) กำหนดเป็นค่า c โดยไม่ขึ้นกับว่าผู้สังเกตการณ์นั้นเคลื่อนที่หรือไม่ เมื่อแสงวิ่งผ่านตัวกลางโปร่งใสเช่น อากาศ น้ำ หรือ แก้ว ความเร็วแสงในตัวกลางจะลดลงซึ่งเป็นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์การหักเหของแสง คุณลักษณะของการลดลงของความเร็วแสงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงนี้จะวัดด้วยดรรชนีหักเหของแสง (refractive index)

โดยแหล่งกำเนิดแสง คือ วัตถุที่เป็นต้นกำเนิดของแสง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1) แสงที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ ดวงดาว ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า หรือแสงที่เกิดจากสัตว์บางชนิด เช่น หิ่งห้อย โดยแหล่งกำเนิดแสงของธรรมชาติ จะเกิดจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น ดวงอาทิตย์ เช่นเดียวกัน แสงสว่างบนโลกของเราส่วนใหญ่นั้น ได้มากจากแสงของดวงอาทิตย์ที่แผ่พลังงานออกมารอบๆ และส่องมายังโลก และดวงดาวอื่นๆด้วย

2) แสงที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เช่น แสงจากไฟฉาย หลอดไฟ ตะเกียง เทียนไข หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ มนุษย์นั้นได้ประดิษฐ์สิ่งที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงขึ้น เพื่อใช้ในเวลากลางคืน เช่น เทียนไข คบเพลิง แต่แสงเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ จนกระทั่งนักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน นามว่า ทอมัส แอลวา เอดิสัน ได้จดสิทธิบัตรในการประดิษฐ์หลอดไฟขึ้น ในยุคแรกนั้นเป็นหลอดไฟฟ้าแบบมีไส้ แต่พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่นั้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าที่จะเป็นแสงสว่างเสียอีกโดยหากแบ่งตามลักษณะการเกิดแสงแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. แสงสว่างที่เกิดขึ้นจากความร้อน (Thermal Emission ; Incandescence) เป็นแสงที่เกิดในลักษณะของการแผ่รังสี โดยแสงที่เกิดจากคลื่นนี้จะมีความยาวคลื่นค่อนข้างกว้างมาก เช่น แสงกว่างในใส้หลอดไฟ โดยอุณหภูมิจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นคือเมื่อความยาวคลื่นสูง จะได้พลังงานที่ออกมาต่ำ แสงของหลอดใส้จะเริ่มมีสีแดง แต่ถ้าเมื่อ ความยาวของคลื่นที่ปล่อยออกมามีความยาวคลื่นต่ำ แสงนั้นจะให้พลังงานที่สูง แสงของหลอดไฟจะเป็นสีม่วง

ข. แสงสว่างที่ไม่ได้เกิดจากความร้อน (Non-thermal Emission ; Luminescence) เป็นแสงที่ไม่ได้เกิดจากความร้อน แต่เนื่องจากเป็นแสงเพราะฉะนั้นแสงประเภทนี้จึงเป็นแสงที่มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเล่นกันกับแสงที่เกิดจากความร้อน โดยแสงประเภทนี้จะมีความยาวคลื่นที่ไม่ติดต่อกันเป็นบริเวณกว้างแบบแสงที่เกิดจากความร้อน

จากลักษณะของแสงทั้งสองแบบข้างต้น ทำให้ทราบได้ว่าสารเรืองแสงที่จะนำมาทดสอบในการวิจัยนี้เป็นสารในกลุ่มที่ 2 โดยแสงสว่างที่ไม่ได้เกิดจากความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้คือ

1. แสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence)
2. แสงฟอสฟอเรสเซนต์ (phosphorescence)

โดยแสงทั้ง 2 ประเภทนี้มีความแตกต่างกันคือ ระยะเวลาในการคงการให้ความสว่างหลังจากหยุดการได้รับสิ่งกระตุ้น หรือการที่ตัวกระตุ้นหยุดการทำงานไปแล้ว อธิบายได้ว่าแสงประเภทแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) เมื่อตัวที่กระตุ้นให้เกิดแสงหยุดทำงานไปแล้วจะไม่หลงเหลือพลังงานในรูปแบบแสงเหลือยุ่เลย แต่ถ้าเป็นแสงประเภทแสงฟอสฟอเรสเซนต์ (phosphorescence) เมื่อตัวกระตุ้นให้เกิดแสงหยุดทำงานไป แสงประเภทฟอสฟอเรสเซนต์ จะยังคงให้พลังงานส่องสว่างออกมาอีกสักระยะนึง โดยต้องมีการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบของการเรืองแสงระดับโลกที่น่าเชื่อถือได้แก่ DIN-67510 Class C ขึ้นไป, ISO-17398 Class C ขึ้นไป, หรือ JIS Z 9107 เป็นตัวกำหนดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเรืองแสง

การเรืองแสง (luminescence) คือ การปลดปล่อยแสงออกจากสารหนึ่งโดยการกระตุ้นด้วยแสง ปฏิกิริยาเคมี หรือ รังสีไอออไนซ์ (ionizing radiation) เช่น รังสีเอกซ์ โดยการเรืองแสง (luminescence) มี 2 ชนิด คือ ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) และ ฟอสฟอเรสเซนต์ (phosphorescence)

โดยการเรืองแสงแบบต่างๆเกิดขึ้นโดยการที่ตัวสารดูดกลืนโฟตอนของแสงเข้าไป แล้วมันไม่สามารถเกิดการขยับตัวไปมาของโครงสร้างได้ ซึ่งทำให้มีความเครียดในโครงสร้างมากขึ้น ดังนั้นโมเลกุลของสารกลุ่มนี้จึงต้องปล่อยโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่าออกมาจึงทำให้เกิดการเรืองแสงแบบ Fluorescence แต่ถ้าโมเลกุลของโครงสร้างนั้นสามารถที่จะเก็บโฟตอนเข้าหาตัวแล้วเก็บไว้ (โดยในทางปฏิกิริยาเคมีแล้วจะเปลี่ยนสถานะ ซิงเกล็ตของอิเล็กตรอนให้เป็นสถานะทริปเป็ตของอิเล็กตรอน) โดยพลังงานแสงส่วนนี้ก็ไม่สามารถถูปลดปล่อยออกมาได้ทันที ทำให้มี Time lag หรือเวลาหน่วงเกิดขึ้น ทำให้เมื่อเข้าสู่สภาวะไร้แสงสว่างแล้วการสะท้อนของแสงยังคงอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ปรากฏการณ์นี้ก็เลยทำให้เกิดการเรืองแสงแบบ Phosphorescence

ความแตกต่างของ Phosphorescence และ Fluorescence นั้นนอกจากจะเป็นระยะเวลาการคายโฟตอนออกหลังจากที่ดูดกลืนเข้าไปแล้ว ระดับพลังงานของตัวโฟตอนที่ถูกคายออกมาจากในกระบวนการ Phosphorescence นั้นจะมีค่าต่ำกว่าด้วย ดังนั้นเราจึงมักเห็นแสงที่เรืองออกมาจาก Phoshorescence ของแสง UV เป็นสีเหลือง-เขียว ในขณะที่การ Fluorescene ของแสง UV จะเป็นสีน้ำเงิน-ม่วง เป็นต้น

2.2.1 สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence)

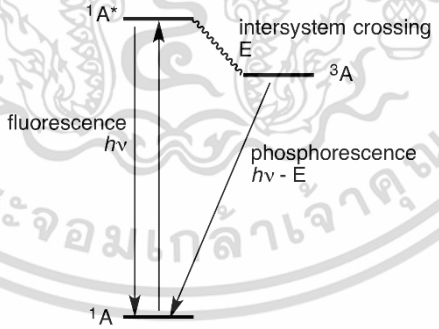
การทำงานของสารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) คือ เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานเข้ามากระทำจะมีการกระโดดของอนุภาคอิเล็กตรอนจากสภาวะพื้นที่เป็นซิงเกล็ตสเตต (singlet state) ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงขึ้น และ เป็นซิงเกล็ตสเตต และ จะกลับสู่สภาวะพื้นทันที เมื่อมีการคายพลังงานส่วนเกินในรูปพลังงานแสง โดยกระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นภายในเวลาไม่กี่นาโนวินาที แต่ในสารพวกฟอสเฟอร์ อิเล็กตรอนที่กระโดดไปสู่ระดับพลังงานสูงขึ้นแต่จะไม่ได้กลับสู่สภาวะพื้นทันที โดยจะมีการย้ายไปสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าแต่มีสปิน มัลติพลิซิตี (spin multiplicity) สูงขึ้น (นั่นคือ ทริปเล็ตสเตต - triplet state) และกลับเข้าสู่สภาวะพื้นโดยคายแสงออกมา ทั้งนี้การกลับเข้าสู่สภาวะพื้นในตอนนี้ต้องใช้เวลานานขึ้น เนื่องจากสภาวะพื้นที่เป็นซิงเกล็ตสเตตทำให้การกลับลงสู่สภาวะกระตุ้นที่เป็นทริปเปล็ตสเตต สู่สภาวะพื้นที่เป็นซิงเกล็ตสเตตเป็นข้อห้ามทางควอนตัม ทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้น ปกติกระบวนการฟอสฟอเรสเซนซ์จะใช้เวลาในช่วงมิลลิวินาที แต่ในสารประกอบบางชนิดอาจใช้เวลาเป็นนาทีถึงชั่วโมงได้ เราจึงเห็นแสงเรืองออกมาได้จากสารฟอสเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ภายหลังจากการปิดไฟไปแล้วเป็นเวลานาน ในหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ก็มีการเคลือบภายในหลอดด้วยสารพวกฟอสเฟอร์เช่นกัน ซึ่งเมื่อมีการให้พลังงานไฟฟ้าแก่หลอดไฟประเภทนี้ แรงดันไฟฟ้าที่สูงมากจะทำให้อะตอมของปรอทปล่อยแสงอัลตราไวโอเลตออกมาเมื่อแสงอัลตราไวโอเลตตกกระทบกับสารฟอสเฟอร์จะทำให้เกิดการเรืองแสงสีขาวออกมา

2.2.2 สารเรืองแสงฟอสฟอเรสเซนต์ (Phosphorescence)

ทั่วไปสารฟอสฟอเรสเซนต์(Phosphorescence) จะเป็นการการเปล่งแสงของวัตถุคล้ายกับฟลูออเรสเซนซ์ วัตถุฟอสฟอเรสเซนซ์จะไม่เปล่งแสงทันทีหลังจากดูดซับแสงเข้าไปโดยในกระบวนการที่สสารดูซับพลังงานไว้และสสารนั้นจะคายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ออกมาอย่างช้าๆ ในบางกรณีก็จะทำให้เกิดการเรืองแสงในที่มืดได้โดยวัสดุนั่นจะสะสมพลังงานจากการรับแสงแล้วค่อยๆ ออกมาพลังงานออกมาในรูปแบบของแสงที่มองเห็นได้ทั่วไป ในทางทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมปรากฏการณ์เปล่งแสงส่วนใหญ่ สารเคมีจะดูดซับและปล่อยอนุภาคโฟตอนในช่วงเวลาสั้นๆในหลัก 10 นาโนวินาที ที่มีเวลาสั้นมาก ซึ่งกระบวนการดูดและคายแสงในเวลาอันรวดเร็วเช่นนี้จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนนั้นพอดีกับระดับพลังงานทำให้สสารนั้นสามารถคายพลังงานมาสถานะพื้นได้อธิบายคือเมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงาน อนุภาคของสสารจะกระโดดจากสภาวะพื้นที่เป็นซิงเกล็ตสเตต (singlet state) ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงขึ้นและเป็นเชิงเกล็ตสเตตเช่นกันและกลับสภาวะพื้นทันที โดยมีการคายพลังงานส่วนเกินในรูปแบบพลังงานแสง



รูปที่ 5 แผนผังพลังงานของการเกิดฟอสฟอเรซเซนซ์

(ที่มา : Karl A. Franz, Wolfgang G. Kehr, Alfred Siggel, Jürgen Wieczoreck, and Waldemar Adam "Luminescent Materials" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังพลังงานของการเกิดฟอสฟอเรซเซนซ์ทำโดยให้โมเลกุล A ถูกกระตุ้นมาอยู่ในสถานะกระตุ้น ซิงเลต (1A*) และข้ามมาที่สถานะทริปเลต (3A) แล้วจึงคายหลังงานโดยการปล่อยแสงออกมาลงมาที่สถานะพื้น (ground state) ในขณะที่การคายพลังงานแบบฟลูออเรซเซนซ์ โมเลกุลในสถานะกระตุ้นจะคายพลังงานลงมาสถานะพื้นโดยตรง จึงเกิดการเรืองแสงของทั้งแบบฟอสฟอเรซเซนซ์และฟลูออเรสเซนต์ที่สถานะพื้น

2.2.3 ประเภทของวัสดุสารเรืองแสง

วัสดุสารเรืองแสงที่นำมาใช้เป็นวัสดุที่ดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์และปล่อยแสงออกมาในที่มืดหรือในเวลากลางคืนซึ่งไม่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยรอบนอกจากนี้ยังมีระยะเวลาที่เก็บได้นานถึง 10 ปี ถ้าเก็บไว้ในที่แห้งชื้น โดยวัสดุสารเรืองแสงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผงวัสดุสารเรืองแสงแบบธรรมดาและผงวัสดุเรืองแสง Ultra Violet (UV)

1. ผงวัสดุสารเรืองแสงแบบธรรมดา

วัสดุเรืองแสงแบบผง (Glow Powder Pigment) คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับแสงที่ถูกปล่อยออกมาหรือแสงจากดวงอาทิตย์ โดยผงเรืองแสงแบบธรรมดามีอยู่หลายชนิดขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

ตารางที่ 1 ขนาดของวัสดุสารเรืองแสงที่นำไปใช้งาน

ลำดับ	Glow Powder Mesh (Particle Size)	Application
1	5 - 10 um (500 Mesh)	มีขนาดค่อนข้างเล็ก มีความหนาแน่นน้อย เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในวัดุที่ให้แสงได้ไม่มาก และต้องการใช้ความละเอียดของเม็ดที่ละเอียด
2	10 - 40 um (300 - 400 Mesh)	ขนาดของเม็ดเรืองแสงขนาดกลาง เหมาะสำหรับ Spray Painting, Slik Screen Printing และ Plastic Mould
3	45 – 65 (200 Mesh)	ขนาดเม็ดเรืองแสงมีขนาดค่อนข้างใหญ่มีความหยาบสูง ความหนาแน่สูง เหมาะสำหรับ Glass Molding หรือ Brush Painting และ Dipping

(ที่มา : Pet's Luminous Creations, Glow Power Mesh / Praticle Size [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแสงของ Glow Powder ที่เรืองแสงออกมาจะมีความเข้มแสงมากหรือน้อย หรือว่าช้าหรือนานส่วนใหญ่มักขึ้นกับคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้งานและยังรวมไปถึงขนาดของ Glow Powder Pigment โดยถ้ายิ่งมีขนาดใหญ่สารเรืองแสงนั้นก็จะยิ่งให้ความสว่างที่มากและเรืองแสงได้นานถึง 15-18 ชั่วโมง แต่ถ้ามีขนาดเล็ก การเรืองแสงที่เปล่งออกมาก็จะมีความสว่างที่น้อยและไม่ยาวนาน และการใช้ Glow Powder ที่ไม่ผสมผงสีเข้าไปเลยจะให้ระยะเวลาในการเรืองแสงได้นานที่สุด

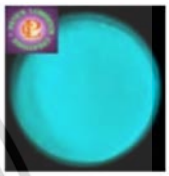
จากการวิจัยและค้นคว้าทางบริษัท Pete'Luminous Creations ที่ประเทศสิงคโปร์ได้มีการจำแนกผลิตภัณฑ์ Glow Powder ได้เป็น 5 ประเภทโดยแต่ละประเภทมีความแตกต่างในเรื่องของสีและแสงที่เปล่งออกมาจากสารหรือผงเรืองแสง รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเรืองแสงของสารนั้น ซึ่งแบ่งตามความเหมาะสมในการนำไปใช้งานดังนี้ คือ SL,LG,Color,RE และ S Groups

SL Group จัดอยู่ในกลุ่มที่ให้ความสว่างมาก มีระยะเวลาในการส่องสว่างได้นาน ซึ่งมีอยู่หลากหลายคุณภาพโดยแบ่งเป็นเกรด 1-4 โดยค่าการส่องสว่างแบ่งตามเกรดที่ส่องสว่างมากที่สุดคือเกรด 1 ไปถึง 4 ที่น้อยที่สุดตามลำดับ โดย SL Glow Powder มี 2 ประเภท คือ Solvent Based Type คือ ประเภทที่ใช้ตัวทำละลายแบบใส เช่น resin และ Water Based Type คือ ประเภทที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 2 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม SL Group

ลำดับ	Code	Particle Size (Um)	Glow Time (Hours)	Normal Color	Glow Color
1	SLG - 1	80 – 85	มากกว่า 15		
2	SLG – 1W	80 – 85	มากกว่า 15		
3	SLG - 2	50 - 55	12		
4	SLG – 2W	50 - 55	12		
5	SLG - 3	30 - 35	10		
6	SLG – 3W	30 - 35	10		
7	SLG - 4	20 - 25	มากกว่า 6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	SLG – 4W	20 - 35	มากกว่า 6		
9	SLB - 1	80 - 85	มากกว่า 15		
10	SLB – 1W	80 - 85	มากกว่า 15		
11	SLB - 2	50 - 55	12		
12	SLB – 2W	50 - 55	12		
13	SLB - 3	30 - 35	10		
14	SLB – 3W	30 - 35	10		
15	SLB - 4	20 - 25	มากกว่า 6		
16	SLB – 4W	20 - 35	มากกว่า 6		

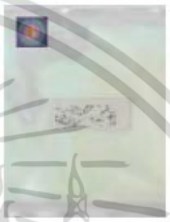
Remake : Code ที่มี “W” หมายถึง Glow Powder Pigment ที่ผสมกับน้ำได้
(ที่มา : Pet’s Luminous Creations, Glow in the Dark Powder (SL Group) [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

L Group จัดอยู่ในกลุ่มที่ให้ความสว่างและมีขนาดของผงในระดับกลางและใช้ผสมเข้ากับตัวทำละลายได้เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะไม่สามารถใช้ร่วมกันกับน้ำได้

ตารางที่ 3 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม L Group

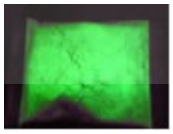
ลำดับ	Code	Particle Size (Um)	Glow Time (Hours)	Normal Color	Glow Color
1	LG – 6B	45 - 65	6		
2	LG – 6C	20 - 40	5		
3	LG – 6D	10 - 15	4		
4	LG – 7B	45 - 65	8		
5	LG – 7C	20 - 40	6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

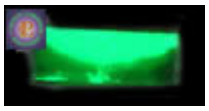
6	LG – 7D	10 - 15	5		
7	LG – 7E	5 - 10	4		
8	LG – 8C	20 - 40	12		
9	LB – 5C	20 - 40	3		
10	LB – 5D	10 - 15	2		
11	LB – 6B	45 - 65	6		
12	LB – 6C	20 - 40	5		
13	LB – 7B	45 - 65	8		
14	LB – 7C	20 - 40	6		
15	LB – 8B	45 - 65	11		

Color Group จัดอยู่ในกลุ่มมีสีสันที่หลากหลายต่อการใช้งาน เป็นแบบ Multi Color โดยสีปกติจะแดสงให้เห็นว่าสีที่จะสะท้อนออกมานั้นมีสีอะไร แต่มีข้อจำกัด คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเรืองแสงในที่มืดนั้นมีระยะเวลาการส่องสว่างได้เพียง 1 – 2 ชั่วโมงเท่านั้น

ตารางที่ 4 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม Color Group

ลำดับ	Code	Particle Size (Um)	Glow Time (Hours)	Normal Color	Glow Color
1	CGY	15 - 20	3 - 4		
2	CGO	15 - 20	3 - 4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

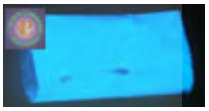
3	CGG	15 - 20	3 - 4		
4	CGP	15 - 20	3 - 4		
5	CGB	15 - 20	3 - 4		
6	N-CGR (Zinc)	15 - 20	20 นาที		
7	N-CGRO (Zinc)	15 - 20	20 นาที		
8	W-REO-B	15 - 20	3 - 4		
9	W-REO-P	15 - 20	1		
10	W-REO-W	15 - 20	3 - 4		
11	W-REO-OR	15 - 20	3 - 4		

(ที่มา : Pet's Luminous Creations, Glow in the Dark Powder (Color Group) [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RE Group จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลักษณะผงเป็นสีขาว แต่เมื่อเรืองแสงออกมาจะมีหลากสีให้เลือกตามความเหมาะสมของชนิดงานที่ต้องการสีขาวเป็นสีปกติ และเมื่อนำไปใช้สามารถผสมกับสารละลาย (Solvent) หรือน้ำก็สามารถผสมได้

ตารางที่ 5 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม RE Group

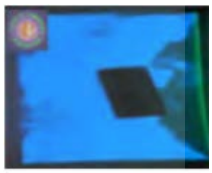
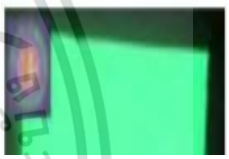
ลำดับ	Code	Particle Size (Um)	Glow Time (Hours)	Normal Color	Glow Color
1	REO - B	20 - 40	5		
2	REO - P	20 - 40	1		
3	REO - OR	20 - 40	2		
4	REO - W	20 - 40	4		
5	REO - 1	20 - 40	2		

(ที่มา : Pet's Luminous Creations, Glow in the Dark Powder (RE Group) [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S Group จัดอยู่ในกลุ่มสีปกติเป็นสีครีม เมื่อมีการเรืองแสงออกมาจะมีแสงเป็นสีเขียวหรือสีฟ้า แม่อนำไปใช้งานสามารถผสมได้กับสารละลาย (Solvent) หรือ น้ำก็ได้

ตารางที่ 6 ชนิดวัสดุเรืองแสงในกลุ่ม S Group

ลำดับ	Code	Particle Size (Um)	Glow Time (Hours)	Normal Color	Glow Color
1	SB – 8B	45 – 65	2		
2	SB – 8C	15 – 25	1		
3	S – 2	20 – 40	1		
4	ZL – 1	35 – 65	6		
5	ZL – 2	3 – 30	6		

(ที่มา : Pet's Luminous Creations, Glow in the Dark Powder (S Group) [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้ศึกษามาพบว่า Glow Powder ที่จะนำไปใช้นั้นต้องพิจารณาถึงชิ้นวัสดุของงานนั้นๆว่าเป็นประเภทที่ทนต่อแรงกด ความเครียด โดยเฉพาะอุณหภูมิ และระยะเวลาในการส่องสว่างว่าสารเรืองแสงมีค่าตามความเหมาะสมที่นำไปใช้งานโดยจากการศึกษาข้อมูลพบว่าต้องใช้สารเรืองแสงในกลุ่ม L Group ประเภท LG – 8C ที่มีระยะเวลาส่องสว่างประมาณ 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ผงวัสดุเรืองแสง Ultra Violet (UV)

ผงวัสดุเรืองแสง Ultra Violet มีคุณสมบัติเหมือนกับผงวัสดุสารเรืองแสงแบบธรรมดา แต่จะมีคุณสมบัติที่มากกว่าผงวัสดุสารเรืองแสงแบบธรรมดา คือ วัสดุเรืองแสงแบบผงที่มี UV จะทำปฏิกิริยาในการเรืองแสงต่อแหล่งพลังงานจากแสง Black Light อย่างเดียวโดยถ้านำแหล่งพลังงานออกปฏิกิริยาจะหยุดทำงานทันทีโดย UV Glow Powder เป็นวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม แต่ผงเรืองแสงชนิดนี้จะไม่ละลายในน้ำซึ่งอาจจะเป็นสารตกค้างเหลือในแหล่งน้ำได้ โดยผงเรืองแสงชนิด UV Glow Powder แบ่งได้ 2 แบบคือUltra Violet (UV) Light Reactive Powder และ UV Light Fluorescent Powder **Ultra Violet (UV) Light Reactive Powder**

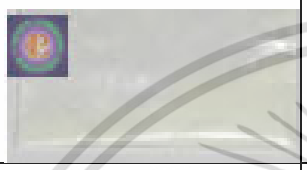
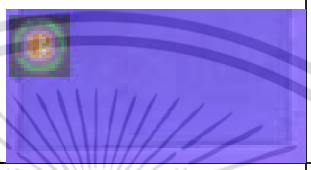
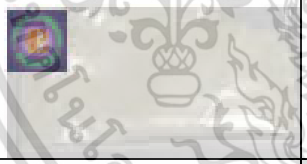
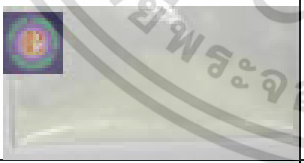
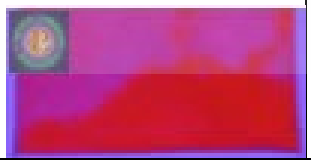
รูปที่ 6 Ultra Violet (UV) Light Reactive Powder

(ที่มา : https://www.miniaturesweethk.com/products/uv-color-pigment-solar-pigment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงเรืองแสงไวโอเลตหรือผงปฏิกิริยาUVแสงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรืองแสงเฉพาะเมื่อสัมผัสกับแสงยูวีแบล็คและด้วยสีธรรมชาติของตัวผงเรืองแสงนั้นจะเป็นสีขาวหรือสีเขียวอ่อนผงเหล่านี้สามารถเรืองแสงให้สีที่แตกต่างกันเมื่อสัมผัสกับแสงยูวีสีดำสามาถแบ่งได้ตามตารางดังต่อไปนี้

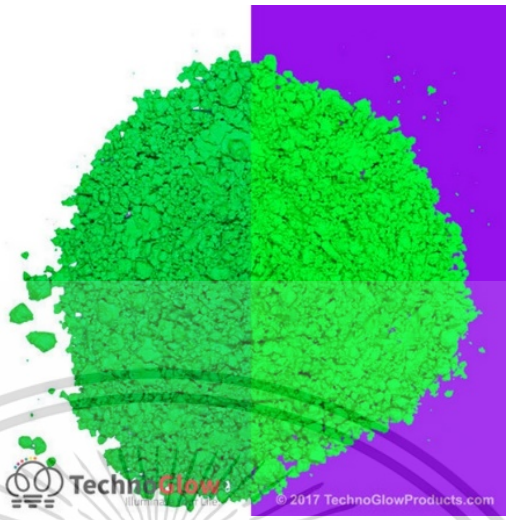
ตารางที่ 7 Ultra Violet (UV) Light Reactive Powder

Type	Normal Color	UV Color	Grain Size (um)	Wave Length (nm)
UVB			5 - 15	450
UVP			5 - 15	420
UVG			5 - 15	505
UVW			5 - 15	510
UVY			5 - 15	545
UVR			5 - 15	615

(ที่มา : Pet’s Luminous Creation, UV (Black Light) Light Sensitive Powder [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

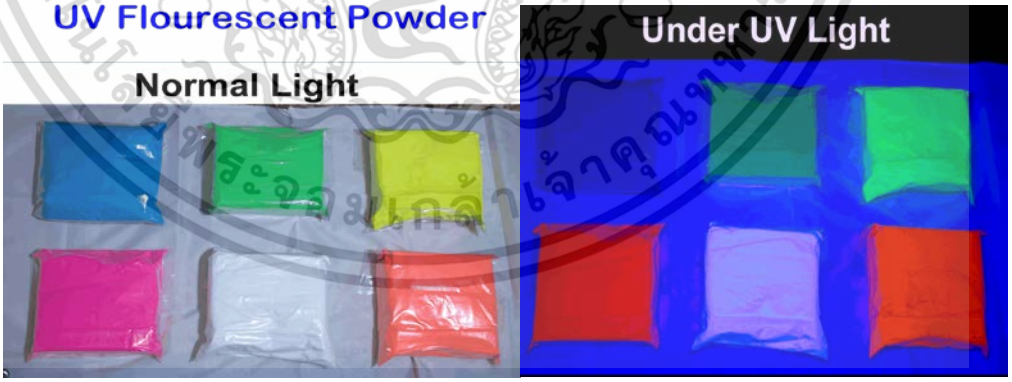
UV Light Fluorescent Powder



รูปที่ 7 UV Light Fluorescent Powder

(ที่มา : https://www.technoglowproducts.com/green-fluorescent-uv-powder/)

ผงเรืองแสงปฏิกิริยา UV เป็นผงที่จะเรืองแสงได้เฉพาะเมื่อสัมผัสกับแหล่งกำเนิดแสงอัลตร้าไวโอเล็ตดำ (Black Light) และสภาวะปกติสีของผงเรืองแสงจะปรากฏเป็นสีของตัวผงเรืองแสงเองแต่พอถูกกระตุ้นด้วยแสง (Black Light) ภายใต้แสง UV มันจะเรืองแสงอย่างสว่างซึ่งสามารถมองเห็นได้ตราบใดทั้งมีแสง UV อยู่ก็ยังสามารถทำงานได้และส่องสว่างได้ดีในที่มืด



รูปที่ 8 UV Light Fluorescent Powder

(ที่มา : Pet's Luminous Creation, UV Light Fluorescent Powder [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารที่ใช้ผสมเพิ่มที่เกี่ยวข้อง

สารผสมเพิ่มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ผงแคลเซียม ผงเกล็ดแก้ว และ อิพล็อกซีเรซิ่น มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มลดปริมาณการใช้สารเรืองแสงที่มีราคาค่อนข้างสูง ประหยัดต้นทุนในการผลิตชิ้นงานและช่วยเพิ่มปริมาณของชิ้นงานให้มีปริมาณมากขึ้นแต่คุณภาพไม่ต่างจากเดิมมากนัก

2.3.1 ผงแคลเซียม (Calcium)

ผงแคลเซียมมีลักษณะทางกายภาพเป็นผงสีขาวคล้ายแป้ง เมื่อนำมาใช้ผสมกับเรซิ่นจะเพิ่มปริมาณเนื้อเรซิ่นให้มีปริมาณมากขึ้น และเพิ่มความเหนียวให้กับเรซิ่นมากขึ้น โดยชิ้นงานที่นำมาผสมกับแคลเซียม จะมีสีขาวกว่าเมื่อเทียบกับสีเดิมของสารตั้งต้น เนื้อเรซิ่นจะมีลักษณะแข็งคล้ายหินน้ำหนักมาก แต่จะขัดแต่งยากขึ้นเมื่อสารผสมนั้นแข็งตัวแล้ว

รูปที่ 9 ผงแคลเซียม (Calcium)

(ที่มา : https://thai.alibaba.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ผงเกล็ดแก้ว (Glass Flake)

ผงเกล็ดแก้วมีคุณสมบัติในการใช้งานโดยจะใช้ผสมกับเรซิ่น อีพ็อกซี่ สีน้ำมัน สีอะคริลิคเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยเน้นผิวด้านนอกหรือด้านบน และยังเพิ่มมิติของผิวหน้าวัสดุ ให้มีการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้น

รูปที่ 10 ผงเกล็ดแก้ว (*Glass Flake)*

(ที่มา : https://www.resinrungart.com/product/)

2.3.3 เรซิ่นและอีพ็อกซี่ (Resin and Epoxy)

เรซิ่น (Resin) ใช้สำหรับงานหล่อใสโดยเฉพาะเหมาะสำหรับชิ้นงานรูปทรงไม่ซับซ้อนควรผ่านการขัดและปัดเงาชิ้นงานที่สำเร็จจะใสและเงามากมีความแข็งแรงมาก ทนความร้อนได้สูง ทนทานต่อการใช้งาน และมีความยืดหยุ่นในวัสดุระดับหนึ่ง

รูปที่ 11 เรซิ่น *(Resin)*

(ที่มา : https://www.resinrungart.com/product/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีพ็อกซี่ (Epoxy) ที่เป็นพลาสติกเหลวลักษณะข้นใสคล้ายโพลีเอสเทอร์ เรซิ่น มีกลิ่นเล็กน้อยแต่ไม่ฉุน เมื่อนำ 200A ผสมกับ 200B เซ็ตตัวแล้วเนื้อจะแข็งใส ทนสารเคมีได้ดี รับแรงดึงได้ดีมาก มีแรงยึดเกาะดีมาก เกาะติดวัสดุได้ดีเกือบทุกชนิด วัสดุผิวมันเงาจะเกาะติดได้ไม่ดี ทนความร้อนได้สูงสุด 350 องศา มีการดูดซึมน้ำต่ำมาก อายุการใช้งานนาน หากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ ไม่เกิน 20 องศา F ไม่โดนแสงแดดจะเก็บได้เกิน 1ปี ระยะที่ใช้งานได้ดีคือ 5 เดือนแรกอีพ็อกซี่ 200AB จะแบ่งเป็น 2 PART คือ

1. 200A เป็นเนื้ออีพ็อกซี่ ลักษณะ ข้น ใส
2. 200B เป็นตัวทำแข็งอีพ็อกซี่ ลักษณะเหลวกว่า 200A สีอมเหลืองเล็กน้อย

รูปที่ 12 อีพ็อกซี่ (Epoxy)

(ที่มา : https://hotdeal.beehome.win/product/)

<u>อัตราส่วนผสม</u>

อีพ็อกซี่ 200A กับ อีพ็อกซี่ 200B

2 : 1 (A= 2 ส่วน : B= 1 ส่วน) โดยน้ำหนัก

เวลาเซทตัวประมาณ 1 ชม. และแห้ง 4 ชม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้านล่างนี้

<u>ข้อดีของการเคลือบอีพ็อกซี่</u>

1. สามารถเคลือบได้บนวัสดุหลากหลายชนิด
2. มีแรงยึดเกาะดีกว่า ไม่เปราะแตกง่าย
3. ไม่ต้องใช้ความร้อน เพราะวัสดุที่เคลือบบางชนิดทนความร้อนได้ต่ำ
4. ใช้เป็นกาวเชื่อมตัวเรือน ซึ่งทำจากวัสดุหลากหลายชนิด
5. ผสมสีได้ตามต้องการ โดยใช้สีที่ใช้ผสมเรซิ่นชนิดครีมข้น

<u>ข้อจำกัดของการใช้อีพ็อกซี่</u>

1. ผิวเคลือบที่ต้องการความทนทาน ต่อการขูดขีดสูง
2. ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่อยู่กลางแจ้ง
3. ไม่ควรผสมสารที่ทำให้เจือจางเช่นทินเนอร์หรือตัวทำละลายอีพ็อกซี่มากจนเกินไป จะทำให้เซ็ตตัวได้ไม่ดี หรือไม่เซ็ตตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวิเคราะห์ศึกษาเชิงข้อมูลและมาตรฐานการทดสอบ

2.4.1 การวิเคราะห์การนำไปใช้ของเส้นถนนเรืองแสง

1) การทดสอบคุณสมบัติต่อการส่องสว่าง

ในการทดสอบคุณสมบัติการส่องสว่างของเส้นถนนเรืองแสงนั้น เพื่อหาส่วนผสมของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงมีความสว่างมากที่สุด โดยจะแบ่งตัวอย่างโดยส่วนผสมของสารเรืองแสงที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารเรืองแสงต่อน้ำหนักทั้งหมด ดังนี้

การทดสอบการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารเรืองแสงต่อน้ำหนักทั้งหมด เพื่อหาส่วนผสมของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงมีความสว่างมากที่สุด

2) การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดเพราะเส้นถนนเรืองแสงทำหน้าที่แทนเส้นถนน ซึ่งมีแรงกระทำจากยานพาหนะ จึงทำให้ต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อศึกษาว่าเส้นถนนเรืองแสงสามารถรับแรงได้เท่าไหร่ เพื่อการออกแบบเส้นถนนเรืองแสงที่เหมาะสม โดยจะใช้เครื่อง UTM ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับวัสดุ

รูปที่ 13 เครื่อง UTM

(ที่มา : http://thai.professionaltestequipment.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นแบบการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการผลิตทั้งหมดตั้งแต่ได้วัตถุดิบมาจนกระทั่งถึงวิธีการทำลายวัตถุดิบนั้นทิ้งโดยจะวิเคราะห์ตามหัวข้อต่อนี้

1) ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Marginal Cost)

ต้นทุน คือมูลค่าที่คิดเป็นเงิน ซึ่งนำมาใช้จ่ายไปในการดำเนินงานหรือการผลิต ทั้งทางตรงหรือทางอ้อม และไม่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีกโดยแนวคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์ต้นทุนมีดังนี้

- ต้นทุนรวม (total cost) คือ มูลค่าของต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต
- ต้นทุนเฉลี่ย (average cost) คือต้นทุนในการผลิตผลผลิต 1 หน่วย เท่ากับต้นทุนรวมหารด้วยปริมาณผลผลิตทั้งหมด
- ต้นทุนเพิ่ม หรือ ต้นทุนหน่วยสุดท้าย (marginal cost) คือต้นทุนรวมที่เพิ่มขึ้นเมื่อผลิตผลผลิตเพิ่มขึ้น 1 หน่วย

<u>ต้นทุนเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิต</u>

ต้นทุนเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ ต้นทุนคงที่ (fixed cost) และ ต้นทุนแปรผัน (variable cost)

- ต้นทุนคงที่ (fixed cost) คือต้นทุนที่ไม่แปรผันกับปริมาณการผลิต เช่นค่าเช่าพื้นที่สำนักงาน ต้นทุนคงที่อาจเกิดขึ้นแม้ไม่มีผลผลิตอะไรเลย
- ต้นทุนแปรผัน (variable cost) คือต้นทุนที่แปรผันกับปริมาณการผลิต เช่นค่าวัตถุดิบเป็นต้น

<u>โดยสูตรในการคำนวณ</u>

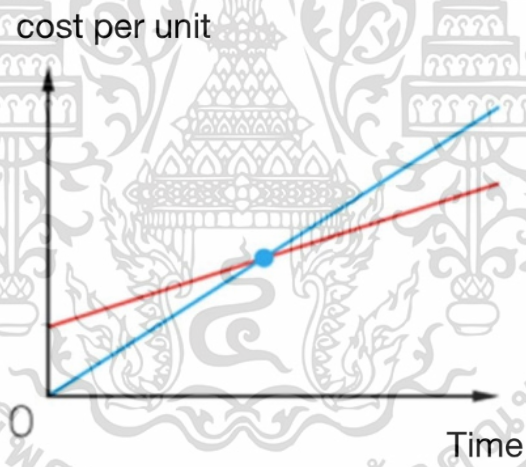
ต้นทุนการผลิต = ราคาสุทธิ (ต่อหน่วย) + ค่าบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวิเคราะห์เปรียบต้นทุน

การวิเคราะห์เปรียบต้นทุน อธิบายคือ โดยจุดเปรียบเทียบทุนนั้นมีความสำคัญในการตัดสินใจในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่2อย่างได้ และรวมไปถึงปริมาณสินค้าที่จะขาย โดยการคำนวณจะต้องคำนวณทีละหนึ่งผลิตภัณฑ์ หากมีผลิตภัณฑ์หลายตัวก็คำนวณหลายครั้งโดยอย่าลืมที่จะจัดสรรค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์แต่ละตัวด้วยเพื่อไม่ให้มีค่าใช้จ่ายคงที่สูงเกินไป โดยการคำนวณต้องใช้ปัจจัยเหล่านี้คือ

- ราคาขายต่อหน่วย คือราคาขายของผลิตภัณฑ์ที่ขายได้ ไม่ใช่ราคาตั้งที่ยังต้องลดราคาอีก
- ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย คือต้นทุนที่ผันแปรตามการผลิตคือ วัตถุดิบ บรรจุภัณฑ์ ค่าแรงงานและค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ค่าแก๊ส ที่เกี่ยวกับการผลิตโดยตรง
- ต้นทุนคงที่รวม คือค่าใช้จ่ายคงที่ที่จำเป็นต้องจ่ายไม่ว่าจะมีการขายเกิดขึ้นหรือไม่ เช่น ค่าแรงพนักงานขาย ค่าเช่าหน้าร้าน ค่าเดินทางเป็นต้น



รูปที่ 14 ภาพแสดงจุดเปรียบเทียบต้นทุน

(ที่มา : https://www.businessplus.co.th/support/index.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1) LCA (Life Cycle Assessmen)

จากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้โดยกลุ่มวิจัยเลือกที่จะใช้หลักการ LCA (Life Cycle Assessmen) มาในการอธิบายข้อมูลของงานวิจัยอันเนื่องจากการส่งผลกระทบออกมาต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ โดยผ่านมาตรฐาน ISO 14040

LCA (Life Cycle Assessmen) คือ หลักการหรือเป็นวิธีการประเมินเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากรณ์ โดยก่อให้เกิดมลพิษขึ้น และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโลก และรวมไปถึงระบบนิเวศของผลิตภัณฑ์หรือบริการโดยการพิจารณาตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการนำไปกำจัด

รูปที่ 15 ภาพวัฏจักร cradle to grave

(ที่มา: Towards the Global Use of Life Cycle Assessment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของการทำ LCA

1. สามารถนำ LCA ไปใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตว่ากระบวนการใดบ้างที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปใช้ในการออกแบบทำ Eco-design
3. ทำให้ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิต ไม่ใช่ช่วงใดช่วงหนึ่ง ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ครบทุกด้าน

ขั้นตอนและกระบวนการศึกษา LCA

การศึกษา LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน หลักดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) คือ การ กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบ (system boundary) หน่วยการทำงาน (functional unit) ที่จะทำการศึกษา ขั้นตอนมีความสำคัญมากเป็นปัจจัยโดยตรงต่อความละเอียดในการศึกษาเพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอจะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินนั้นไม่ถูกต้องและไม่มีประโยชน์ในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ(Inventory analysis) คือการเก็บรวบรวมและ คำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาขั้นตอนนี้มีการคำนวนหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาถึงพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นด้วย

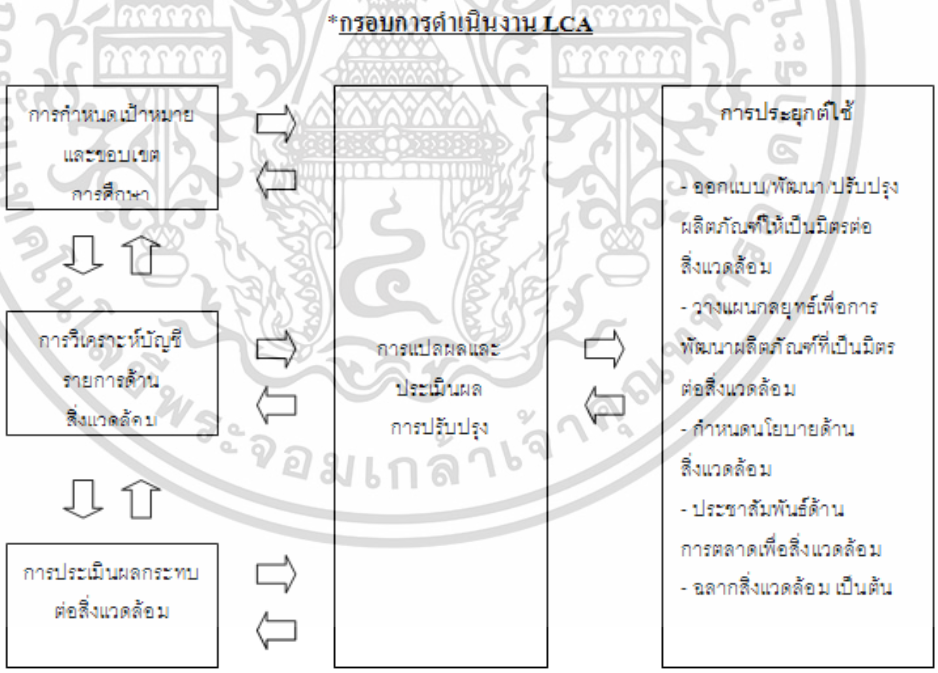
3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) คือมีการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น โดยจะแบ่งหัวข้อหลักๆ คือ การจำแนกประเภท (classification) การกำหนดบทบาท (characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (weighting)

4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) คือ การนำผลการศึกษาที่ ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล การใช้ข้อเสนอแนะจากการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยการสรุปผลจะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่เราตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 16 แนวคิดของหลักการ LCA

(ที่มา : https://chirawatt.wordpress.com/2011/03/01/life-cycle-assessment-lca/)



รูปที่ 17 ภาพหลักการดำเนิดการ LCA

(ที่มา : https://en.mahidol.ac.th/EI/1089_4.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ขอบเขตที่ศึกษา LCA</u>

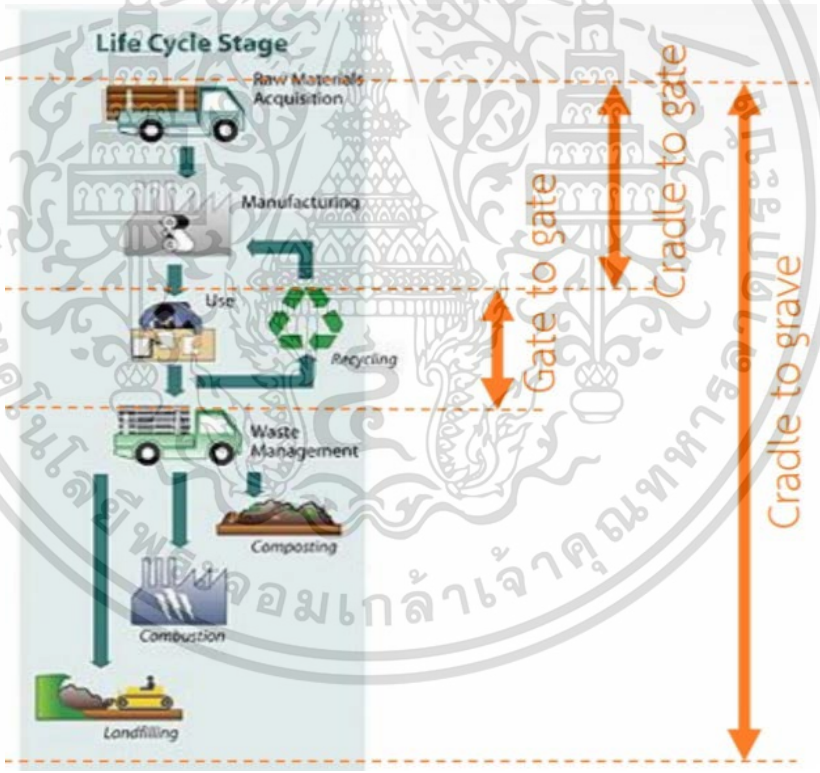
การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

• Gate to gate คือ วิธีการหนึ่งใน LCA โดยจะพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต โดยจะทำการวิเคราะห์แยกออกมาจากสายการผลิตทั้งระบบ

• Cradle to gate คือ กระบวนการวิเคราะห์โดยไม่รวมการใช้ และการกำจัด ซากนิยมใช้ในการทำเอกสาร environmental product declaration (EPD)

• Cradle to grave คือ กระบวนการวิเคราะห์ LCA เต็มรูปแบบที่ ประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การ ผลิต การนำไปใช้ ตลอดจน การกำจัดซากหลังหมดอายุ การใช้งาน

• Cradle to cradle คือ กระบวนการวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนการนำวัฏดิบกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการเดียว โดยจะเป็นการใช้วัตถุดิบซ้ำหรือกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 18 Life Cycle Stage

(ที่มา : https://www.nstdaacademy.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ประเมินตามแนวคิด LCA – Life Cycle Assessment ที่ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดวัฏจักรชีวิต

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) มีความหมายคือ ปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emissions and removals) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยในการคำนวณออกมาจะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยวัดค่ารวมอยู่ในหน่วยน้ำหนัก ตัน (กิโลกรัม) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

<u>วัตถุประสงค์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์</u>

1.เพื่อทราบถึงแหล่งและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

<u>ประเภทของคาร์บอนฟุตพริ้นท์(Carbon Footprint)</u>

1.คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมนุษย์

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมนุษย์เป็นคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวกับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน การเดินทางการรับประทานอาหาร การใช้ชีวิตทั้งที่บ้านและที่ทำงาน (*โดยค่าเฉลี่ยของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 5.3 - 5.5 ตันคาร์บอน/คน/ปี)

รูปที่ 19 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมนุษย์

(ที่มา : https://www.nstdaacademy.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

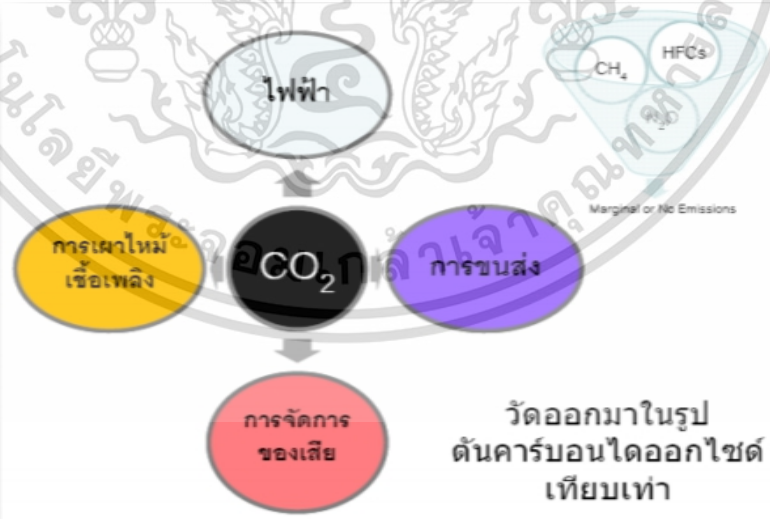
2.คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Products : CFP)

เป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบการขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน จนถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งานโดยคำนวนออกมาในรูปแบบขแงน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2emissions) ต่อ ผลิตภัณฑ์

รูปที่ 20 วัฏจักรคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

(ที่มา : https://www.nstdaacademy.com/)

3.คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organizations)



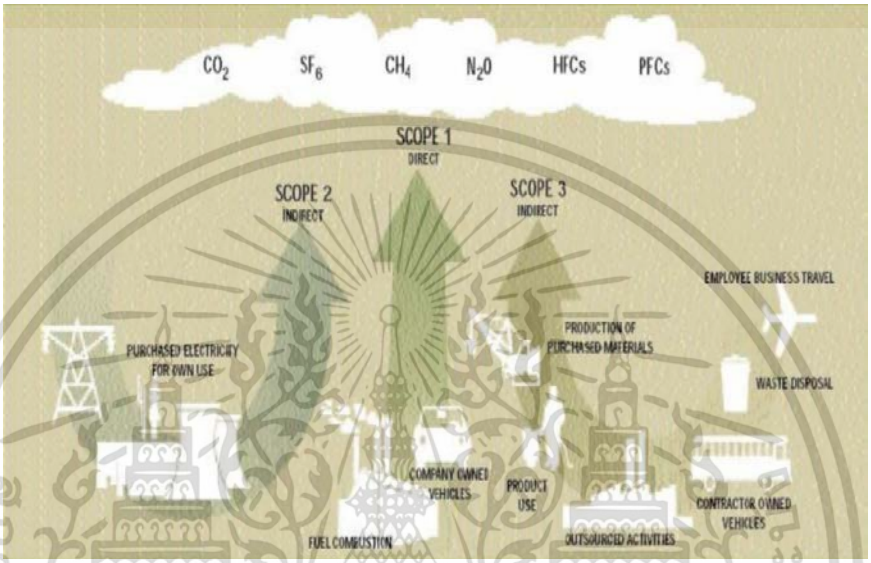
รูปที่ 21 หลักการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

(ที่มา : https://www.nstdaacademy.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organizations) คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง วัดออกมาในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยพิจารณาขอบเขตการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร 3 ส่วนหลักโดยแบ่งเป็น SCOPE

<u>ขอบเขตการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร</u>



รูปที่ 22 SCOPE ในการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

(ที่มา : https://www.nstdaacademy.com/)

<u>SCOPE ในการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร</u>

SCOPE I : การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Direct Emissions) จากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร (ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึม/รั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้น

SCOPE II : การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy Indirect Emissions) ได้แก่ การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น

SCOPE III : การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่นๆ การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสัมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

รูปที่ 23 สมการการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

(ที่มา : http://qa.kpru.ac.th/web/downloads/doc/)

Activity data เป็นข้อมูลกจิกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่

- ค่าพลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh)
- น้ำหนักของเสีย หน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) หรือ ตัน(ton)
- การใช้น้ำมันเชื่อเพลิงของพาหนะ หน่วยเป็น ลิตร(l)
- ระยะทางในการเดินทาง หน่วยเป็น กิโลเมตร(km)

Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตัวอย่าง Emission factor

กิจกรรม	Emission factor
ขยะมูลฝอยทั่วไป	1.3 kg CO_2 e/kg
การฝังกลบขยะมูลฝอยรวม	0.8421 kgCO_2 e/kg
การผลิตBiogas	1.0 gCH_4 /kg
การบำบัดน้ำเสีย Septic system	0.30 kg CH_4 /kg BOD

(เพิ่มเติม : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

ผศ.ดร. กัมปนาท ศิริเวทิน (18 มกรคม พ.ศ. 2561) เป็นอาจารย์จากวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ มจพ. ได้นำทีมวิจัยเกี่ยวกับ การสร้างถนนเรืองแสงในประเทศไทยซึ่งได้แนวคิดมาจากปัญหาระบบส่องสว่างชำรุดเสียหาย อันเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน โดยแนวทางการแก้ปัญหาโดยจะใช้สีสะท้อนแสงในการทดแทน แต่การทำงานของสีสะท้อนแสงคือต้องมีรถผ่านหรือมีแสงจากลอดไฟส่องมาจึงสามารถเนแสงได้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไม่สามารถผลิตในไทยได้ โดยในงานวิจัยจะเลือกใช้ยางพารา ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในประเทศไทย มาใช้แทนในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสารที่เลือกใช้คือสารฟอสฟอเรสเซนต์ เพราะวัตถุประสงค์หลักในการทำวิใจครั้งนี้ คือการนำยาพารามาใช้ทำเป็นผิวทางเรืองแสงได้ในเวลากลางคืน เพื่อช่วยเพิ่มความปลอดภัยของผู้ขับขี่บนท้องถนน และเป็นถนนประหยัดพลังงานอีกอย่างนึ่ง

ดร.สุวิทย์ อินทิพย์ (2557) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีคณะศิลปกรรมศาสตร์ วิจัยเรื่อง การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เทียมของเรซิ่นให้มีความแข็งแรง โดยจารงานวิจัยมีจุดประสงค์ในการศึกษาและออกแบบให้องค์ประกอบของเรซิ่นในผลิตภัณฑ์เทียมจากเรซิ่นในมีความแข็งแรงและทนทานต่อความร้อน

นางสาว อรพรรณ บุญพร้อม (23 กุมภาพันธ์ 2552) ผู้ทำวิจัยวิทยานิพนธ์เรื่องการประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตในระบบการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วโดยการวิเคราะห์ทาง LCA (Life Cycle Assessment) โดยเป็นบทความของนักวิจัยภายในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมนิเวศวิทยาอุตสาหกรรม ที่นำเสนอความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือที่เรียกว่า LCA เป็นเครื่องมือที่เป็นมาตรฐานสิ่งแวดล้อม ISO 14000 ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญอย่างมากกับเครื่องมือตัวนี้ งานวิจัยนี้จึงด้นำเสนอเกี่ยวกับความหมายของ LCA ไว้ในงานวิจัย

ดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และทีมวิจัย (2554) วิจัยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว (Carbon Footprinting of Rice Products) ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกลยุทธ์ธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและศูนย์เทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมกระทรวงศึกษา ประเทศไทยภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมการเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กล่าวปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการพัฒนาการใช้เครื่องมือที่ชื่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละภาคการผลิตนอกจากนี้ยังมีการแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์เพื่อสื่อสาร ไปยังผู้บริโภคทั่วไป และ ผู้บริโภคด้วยฉลากคาร์บอน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังเป็นการการพัฒนาแนวทาง มาตรฐานการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ระดับประเทศ โดยสหราชอาณาจักร นับเป็นประเทศแรกที่มีการพัฒนามาตรฐาน เฉพาะสำหรับการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เรียก PAS 2050 (Carbon Trust, 2008) และสำหรับผู้บริโภค ควรตระหนักในเรื่องการมีส่วนร่วมปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าว เป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย จึงได้รับการคัดเลือกให้เป็นผลิตภัณฑ์นำร่องในการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์

นายสุธีจูอิน (2548) วิทยานิพนธ์นี้วิจัยเกี่ยวกับโครงการศึกษาแนวทางการใช้วัสดุสารเรืองแสงเพื่อการประหยัดพลังงานในงานออกแบบโฆษณา ,The effective use of luminesence pigment in advertising design for energy saving purpose โดยในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติและการใช้งานของวัสดุสารเรืองแสง โดยเป็นหนึ่งในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ โดยผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับวัตถุสารเรืองแสงที่นำมาใช้ในการทดแทนและช่วยระหยัดพลังงานโดยนำสารนี้มาช่วยในการออกแบบสื่อโฆษณากลางแจ้งในเวลามืดหรือช่วงที่ไม่มีแสงสว่างให้มีการมองเห็นที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นอีกทั้งเนการช่วยระหยัดพลังงานทางไฟฟ้าเนื่องจากปัจจุบันป้ายบิลบอร์ดจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก

งานวิจัยในต่างประเทศ

Francois Letard (12 November 2018) หัวหน้าทีมออกแบบและวิจัยเกี่ยวกับถนนเรืองแสง โดยทดลองใช้สีเรืองแสงบนเส้นทางจักรยานเรืองแสงเส้นแรกในฝรั่งเศส บริเวณเทศบาลเปสแซกริมชานเมืองบอร์กโดซ์ ที่ใช้สีเรืองแสงในการทาสัญลักษณ์ต่างๆ บนพื้นถนน รวมถึงเครื่องหมายจราจร โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน และโดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีแสงสว่างจากเสาไฟฟ้าและเป็นหนึ่งในประเทศที่พลเมืองส่วนใหญ่ปั่นจักรยานมากที่สุดในโลก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยทีมวิจัยได้นำเม็ดสีที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้มาใช้โดยจะมีความคงทนต่อรังสียูวีที่มาตกกระทบ ทนต่อความชื้น รวมถึงน้ำหนักของรถบรรทุก ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็นไกลขึ้นในระยะ 50-100 เมตร แม้จะประสบปัญหาทางสภาพอากาศที่ย่ำแย่ก็ตาม และได้มีการลองทดสอบจริงในเมืองในยุโรป Lidzbark Warminski ทางตอนเหนือของโปแลนด์ กล่าวคือ สีเรืองแสงดังกล่าวถูกพัฒนาคิดค้นและออกแบบให้สีเรืองแสงนี้สามารถกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน เปลี่ยนเป็นแสงสว่างในเวลากลางคืน

นาย ดาน รูสการ์ด และ บริษัทวิศวกรรมเฮจมานส์ (16 April 2014) เป็นผู้รับผิดชอบโครงการทดลองถนนตีเส้นเส้นจราจรเรืองแสงที่ระเทศเนเธอร์แลนด์ โดยนาย รูสการ์ด กล่าวว่า ได้แนวความคิดมาจากการเปล่งแสงของแมงกะพรุนที่สามารถเรืองแสงได้ทั้งที่ไม่มีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แต่อย่างใดโดยผลงานในอดีตของเขาคือการค้นคิดฟลอร์เต้นรำประหยัดพลังงานซึ่งใช้แรงจากการเคลื่อนไหวเท้าของนักเต้นรำไปสร้างพลังงานให้แก่ไฟดิสโก้ของห้องเต้นรำ ในด้านศาสตราจารย์พีทโธมัส แห่งศูนย์วิจัยความปลอดภัยในการคมนาคมของมหาวิทยาลัยลาฟเบอระกล่าวว่า นวัตกรรมสำหรับท้องถนนเป็นสิ่งจำเป็นมาก แม้จะมีเส้นจราจรที่เห็นชัดในยามค่ำคืนก็เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทางเลือกที่จะประหยัดพลังงานได้อีก แม้จะเป็นการลงทุนจำนวนมหาศาล เนื่องจากเส้นทางอันยาวไกลของท้องถนน แต่จะได้กับมาซึ่งความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสำนักงานทางด่วนของอังกฤษก็ให้ความสนใจในเทคโนโลยีที่เนเธอร์แลนด์กำลังทดลองอยู่โดยเนเธอร์แลนด์ได้มีการทดลองเปิดใช้ถนนตีเส้นเส้นจราจรเรืองแสงเป็นระยะทาง 500 เมตร สีที่ใช้ทาดังกล่าวทำมาจากผงสีที่สามารถดูดซับแสงสว่างได้ในเวลากลางวัน และจะค่อยๆปลดปล่อยสารเรืองแสงอย่างช้าๆในเวลากลางคืน ที่จะส่องสว่างในยามกลางคืนทดแทนแสงไฟฟ้าข้างถนน เพื่อลดการใช้พลังงานและประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้อย่างมาก โดยการทดลองใช้ระบบเส้นจราจรเรืองแสงแทนไฟฟ้าส่องสว่างข้างทางเริ่มที่ถนนสาย N329 ในเมืองออส ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงอัมสเตอร์ดัมราว 100 กิโลเมตร เส้นจราจรนี้จะเก็บสำรองพลังงานในตอนกลางวันและเปล่งประกายเรืองแสงได้ในเวลากลางคืนติดต่อกันถึง 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

งานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับเส้นถนนเรืองแสงในด้านการใช้งาน รูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสง สารผสมเพิ่มที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆของเส้นถนนเรืองแสง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในด้านความคุ้มทุน และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง ดังนั้นเราจึงแยกการศึกษาเป็น 3 ส่วนหลักๆดังนี้

1. การศึกษาการใช้งานของเส้นถนนเรืองแสง
2. การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสงในด้านความคุ้มทุน
3. การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

3.1 ส่วนประกอบของเส้นถนนเรืองแสง

1. อีพ็อกซี่ 200A , 200B

2. สารเรืองแสง

3. แคลเซียมสารผสมเพิ่มเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปแบบที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้งานเส้นถนนเรืองแสง

จากการศึกษาแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 รูปแบบดังนี้

1. ทำเส้นถนนเรืองแสงด้วยการทาสีเรืองแสงลงไปบนเส้นถนน
2. ทำเส้นถนนเรืองแสงด้วยการทำร่องแล้วหล่อลงไปบนถนน

3.3 ศึกษาคุณสมบัติของเส้นถนนเรืองแสง

เนื่องจากเส้นถนนเรืองแสงจะต้องทำหน้าที่แทนเส้นถนนแบบเดิม ทำให้ต้องมีการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะได้นำมาวิเคราะห์ว่าเส้นถนนเรืองแสงสามารถใช้แทนเส้นถนนแบบเดิมได้หรือไม่ โดยคุณสมบัติที่เราจะทำการทดสอบมีดังนี้

1. คุณสมบัติการส่องสว่าง
2. คุณสมบัติความต้านทานแรงอัด
3. คุณสมบัติความแข็งแรงต้านทานการสึกหลอ

3.3.1 คุณสมบัติการส่องสว่าง

ในการทดสอบคุณสมบัติการส่องสว่างของเส้นถนนเรืองแสงนั้น เพื่อหาส่วนผสมของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงมีความสว่างมากที่สุด โดยจะแบ่งตัวอย่างโดยส่วนผสมของสารเรืองแสงที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารเรืองแสงต่อน้ำหนักทั้งหมด

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

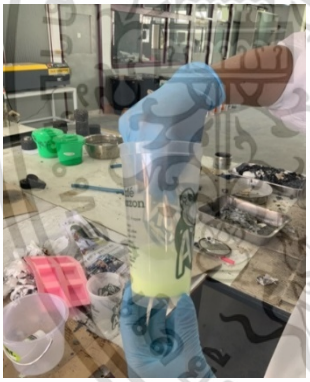
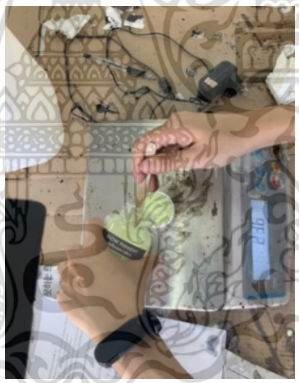
1. ส่วนประกอบตาม **หัวข้อ 3.1**
2. แก้วผสม
3. ไม้ผสม
4. แบบหล่อ
5. เครื่องวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

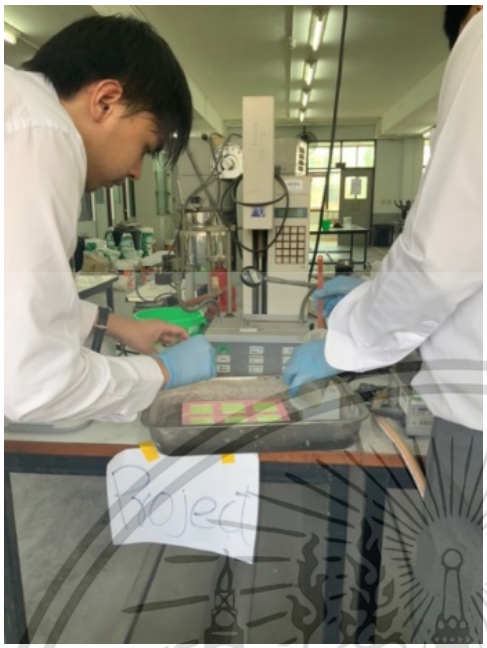
1. เตรียมส่วนผสมเส้นถนนเรืองแสงตาม **หัวข้อ 3.1**

2. ผสมเรซิ่นกับสารเรืองแสง โดยแบ่งตัวอย่างเป็น 6 ตัวอย่าง โดยผสมสารเรืองแสงที่ปริมาณ
ต่างๆ ที่ 5% , 10% , 15% , 20% , 25% , 30% โดยมวล ตามลำดับ

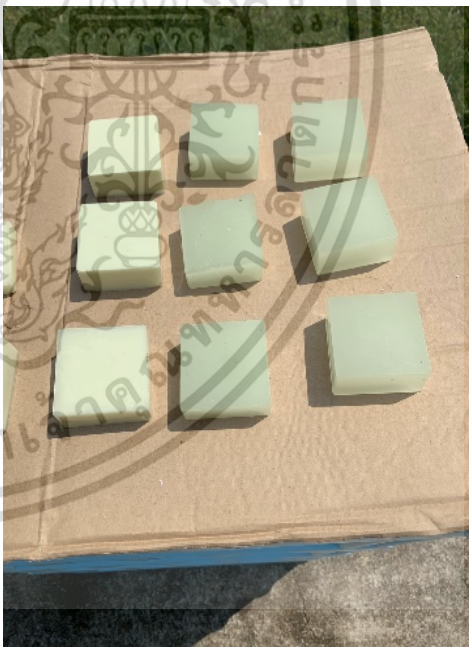



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เทตัวอย่างลงในแบบหล่อ ทิ้งไว้ให้แข็งตัวประมาณ 2 – 4 ชั่วโมง



4. นำตัวอย่างไปตากแดดหรือโดนแสงที่ปริมาณเท่ากันทุกตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำตัวอย่างที่โดนแสง 8 ชั่วโมงแล้ว มาวัดความเข้มแสงในที่มืดสนิทที่เวลาต่างๆตามเวลาในตาราง
6. บันทึกรูปเป็นผลการทดลองโดยจะใช้เกณฑ์ในการเลือกมาจากภาพที่ได้จากการเก็บค่าที่มีความสว่างมากที่สุดตามดุลพินิจของกลุ่มผู้ทดลองเองโดยจะนำมาใช้เลือกเปอร์เซ็นต์ของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงเพื่อให้เกิดความสว่างที่สุด

<u>ตารางบันทึกผล</u>

เปอร์เซ็นต์ของสารเรืองแสงที่ผสม (%)	รูปตัวอย่างก้อนทดสอบเรืองแสงหลังจากทิ้งตัวอย่างไว้ที่ช่วงเวลาต่างๆ (....)				
	0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
5					
10					
15					
20					
25					
30					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดเพราะเส้นถนนเรืองแสงทำหน้าที่แทนเส้นถนน ซึ่งมีแรงกระทำจากยานพาหนะ จึงทำให้ต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงอัดเพื่อศึกษาว่าเส้นถนนเรืองแสงสามารถรับแรงได้เท่าไหร่ เพื่อการออกแบบเส้นถนนเรืองแสงที่เหมาะสม

<u>วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ</u>

1. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
2. เครื่องมือวัดขนาด
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)

เครื่อง UTM

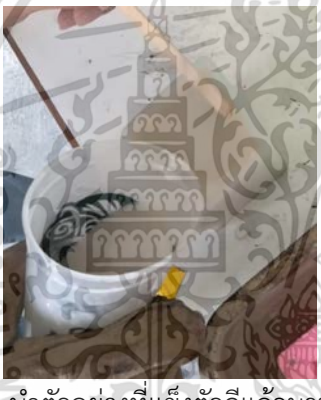
<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. เตรียมอุปกรณ์ทดสอบสารผสมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผสมสารผสมเพิ่มเนื้อที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

3. เทตัวอย่างลงในแบบหล่อ ทิ้งไว้ให้แข็งตัวประมาณ 2 – 4 ชั่วโมง



4. นำตัวอย่างที่แข็งตัวดีแล้วมาทดสอบกำลังรับแรงอัดสูงสุด

5. นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางบันทึกผล

6. ตารางบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผสมเพิ่มเนื้อ (%)	Ultimate Load (kN)		
	1	2	3
0%			
5%			
10%			
15%			
20%			

3.4 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง

- **ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Marginal Cost)**

<u>โดยสูตรในการคำนวณ</u>

ต้นทุนการผลิต = ราคาสุทธิ(ต่อหน่วย) + ค่าบำรุงรักษา

<u>ตาราง</u> การคำนวนต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Marginal Cost)

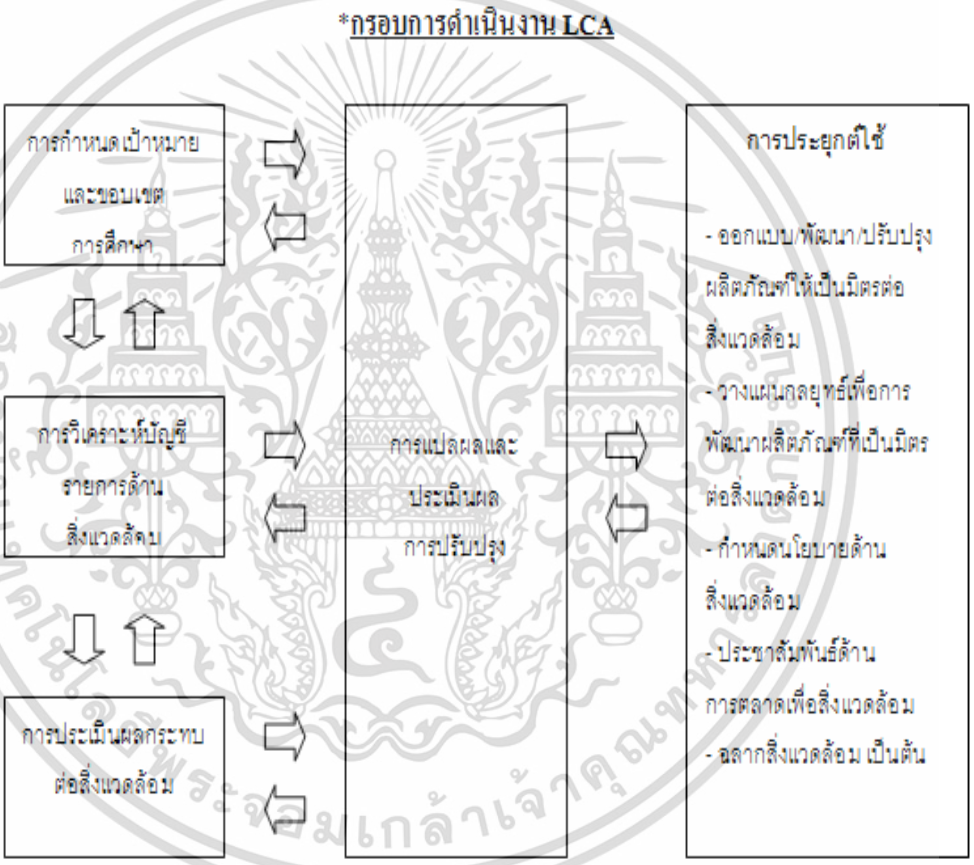
ลำดับที่	รายการ	ราคา(ต่อหน่วย)	ราคา
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
ราคารวมสุทธิ			

การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุน โดยกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังนั้นเราจึงทำการทดสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสงว่าเกิดขึ้นเท่าไหร่ จากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้โดยกลุ่มวิจัยเลือกที่จะใช้หลักการ LCA (Life Cycle Assessmen) มาในการอธิบายข้อมูลของงานวิจัยอันเนื่องจากการส่งผลกระทบออกมาต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ โดยผ่านมาตรฐาน ISO 14040



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนและกระบวนการศึกษา LCA

การศึกษา LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน หลักดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) คือ การ กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบ (system boundary) หน่วยการทำงาน (functional unit) ที่จะทำการศึกษา ขั้นตอนมีความสำคัญมากเป็นปัจจัยโดยตรงต่อความละเอียดในการศึกษาเพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอจะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินนั้นไม่ถูกต้องและไม่มีประโยชน์ในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ(Inventory analysis) คือการเก็บรวบรวมและ คำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาขั้นตอนนี้มีการคำนวนหาปริมาณของสารขาเข้าและสาร ขาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาถึงพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นด้วย

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) คือมีการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น โดยจะแบ่งหัวข้อหลักๆ คือ การจำแนกประเภท (classification) การกำหนดบทบาท (characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (weighting)

4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) คือ การนำผลการศึกษาที่ ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล การใช้ข้อเสนอแนะจากการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยการสรุปผลจะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่เราตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับเส้นถนนเรืองแสงในด้านการใช้งานต่างๆ โดยใช้รูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสง สารผสมเพิ่มที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆของเส้นถนนเรืองแสง โดยจะวิเคราะห์คุณสมบัติ 3อย่าง ได้แก่ คุณสมบัติการส่องสว่าง,คุณสมบัติความต้านทานแรงอัด,คุณสมบัติความแข็งแรงต้านทานการสึกหรอ ส่วนความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในด้านความคุ้มทุนนั้นวิเคราะห์จากต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Marginal cost) และ ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นวิเคราะห์จากหลักการ LCA (Life Cycle Assessmen)

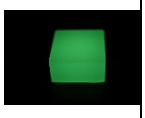
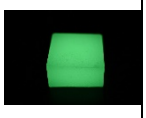
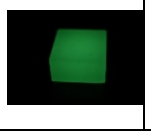
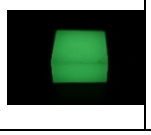
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบติ

จะวิเคราะห์คุณสมบัติ 2 อย่างคือคุณสมบัติการส่องสว่างและคุณสมบัติความต้านทานแรงอัด

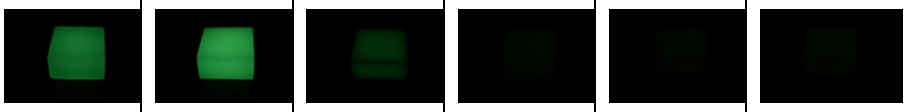
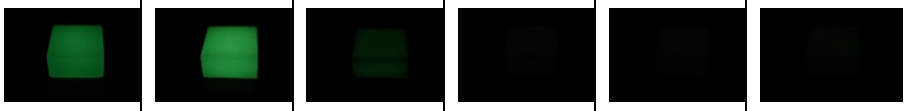
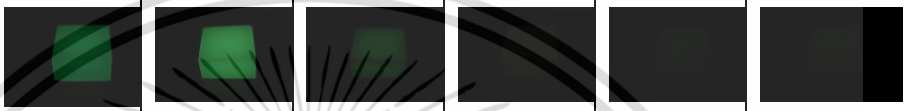
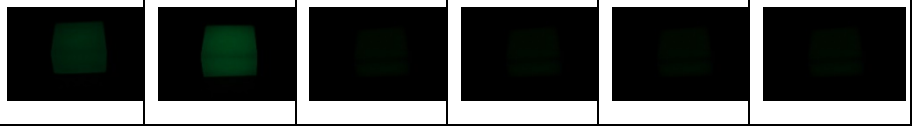
4.1.1 คุณสมบัติการส่องสว่าง

การทดสอบคุณสมบัติการส่องสว่าง เพื่อหาส่วนผสมของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงมีความสว่างมากที่สุด โดยจะแบ่งตัวอย่างโดยส่วนผสมของสารเรืองแสงที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารเรืองแสงต่อน้ำหนักทั้งหมด

ตารางที่ 8 บันทึกภาพแสดงการส่องสว่างของก้อนวัสดุเรืองแสงที่เวลาต่างๆ

%สารเรืองแสง / เวลา	5%	10%	15%	20%	25%	30%
19.00 น.						
20.00 น.						
20.30 น.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21.00 น.						
21.30 น.						
22.00 น.						
22.30 น.						
23.00 น.						
23.30 น.						
00.00 น.						
00.30 น.						
01.00 น.						
01.30 น.						
02.00 น.						
02.30 น.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

03.00 น.						
03.30 น.						
04.00 น.						
04.30 น.						
05.00 น.						

จากการทดสอบคุณสมบัติการส่องสว่าง เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นผสมของสารเรืองแสงที่ทำให้เส้นถนนเรืองแสงมีความสว่างเหมาะสมกับการนำมาใช้งานที่สุด โดยจากผลการทดสอบแสดงดังรูปในตาราง ซึ่งจะใช้เกณฑ์ในการเลือกมาจากภาพที่ได้จากการเก็บค่าที่มีความสว่างเหมาะสมกับการนำมาใช้ที่สุดตามดุลพินิจของกลุ่มผู้ทดลองเอง โดยจากการทดสอบทำให้ทราบว่า เมื่อส่วนผสมของสารเรืองแสงนั้นน้อย ค่าความสว่างและความยาวนานก็จะน้อยลง แต่ว่าถ้าส่วนผสมของสารเรืองแสงนั้นมากเกินไปกลับทำให้ตัววัสดุนั้นเกิดความทึบขึ้นจะเห็นได้จากตัวอย่างว่าที่ 30% นั้นมีความสว่างน้อยกว่า 10% ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเก็บพลังงานได้อย่างที่ควรจะเป็นจึงทำให้ไม่สามารถส่องสว่างได้นาน โดยจากการทดสอบจึงวิเคราะห์ได้ว่าส่วนผสมของสารเรืองแสงที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้งานคือ 10% โดยน้ำหนัก เพราะว่าด้วยความโปร่งแสงของผิววัสดุทำให้สามารถเก็บพลังงานและให้ความสว่างได้เหมาะสมและยาวนานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 คุณสมบัติความต้านทานแรงอัด

ตารางบันทึกผลได้ผลทดสอบดังนี้

ตารางที่ 9 บันทึกค่าข้อมูลการรับแรงอัด *Epoxy*

ขนาด (5 cm x 5 cm x 2.5 cm)

สารผสม (Epoxy A + Epoxy B)			Ultimate
ตัวอย่างที่	เปอร์เซ็นต์โดยมวลA (%)	เปอร์เซ็นต์โดยมวลB (%)	Load (kN)
1	66.67	33.33	108.5

ตารางที่ 10 บันทึกค่าข้อมูลการรับแรงอัด สารผสมเพิ่ม (แคลเซียม *A)*

ขนาด (5 cm x 5 cm x 2.5 cm)

สารผสมเพิ่ม (แคลเซียม A)		Ultimate Load (kN)
ตัวอย่างที่	เปอร์เซ็นต์โดยมวล(%)	
1	5	62.25
2	10	85.87
3	15	89.49
4	20	117.32

จากผลการทดลองทำการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของวัสดุ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ใส่สารเพิ่มเนื้อ(CalciumA) และแบบที่ไม่ใส่สารเพิ่มเนื้อ จะเห็นว่าเมื่อเติมสารเพิ่มเนื้อ (CalciumA) จะมีคุณสมบัติการต้านทานแรงอัดที่เปลี่ยนไป แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติมเข้าไป จากการทดสอบจะเห็นว่า เมื่อเติมสารเพิ่มเนื้อ(CalciumA) ที่ 20%โดยมวล จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกับการทดสอบที่ไม่ใส่สารเพิ่มเนื้อ และจากการวิเคราะห์เส้นถนนเรืองแสงนั้นต้องการความโปร่งใส่เพื่อใช้ในการเก็บพลังงาน แต่เมื่อเติมสารเพิ่มเนื้อ(CalciumA) ลงไป กลับทำให้ตัววัสดุมีความทึบแสง ทำให้ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ ดังนั้นจึงเลือกที่จะไม่ใช้สารผสมเพิ่มเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง

- **ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Marginal Cost)**

<u>โดยสูตรในการคำนวณ</u>

ต้นทุนการผลิต = ราคาสุทธิ (ต่อหน่วย) + ค่าบำรุงรักษา

ต้นทุนในการสร้างเส้นถนนเรืองแสงต่อ 1 กิโลเมตร

จากผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้คือ Epoxy A และ Epoxy B ด้วยอัตราส่วน 2 : 1 และใส่สารเรืองแสง 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยจากรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับเส้นถนนเรืองแสงคือ ใช้เส้นถนนเรืองแสงที่เส้นขอบทางจะใช้ 3 แถบ ทั้ง 2 ฝั่ง และเส้นกลางถนนมี 6 แถบ รวมทั้งหมด 12 แถบ โดยแต่ละแถบขนาดต่อ 1 แถบ (กว้าง x ลึก) 0.01 x 0.01 ม^3

ปริมาตรสารที่ใช้ต่อ 1 กิโลเมตร (0.01 x 0.01 x 1000) X 12 = 1.2 ม^3

ส่วนผสม 2 : 1 Epoxy A ,Epoxy B ตามลำดับ และ สารเรืองแสง 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

<u>ตารางที่ 11</u> ต้นทุนในการใช้เส้นถนนเรืองแสงต่อ 1 กิโลเมตร

ลำดับที่	รายการ	ราคา(ต่อหน่วย)	จำนวน	หน่วย	ราคา
1	Epoxy A	234	900	Kg	210,600
2	Epoxy B	355	450	kg	159,750
3	สารเรืองแสง	5000	135	kg	675,000
ราคาสุทธิ		1,045,350 บาท			

ค่าบำรุงรักษาของเส้นถนนเรืองแสง

เส้นถนนเรืองแสงมีอายุการใช้งานได้ประมาณ 5-15 ปี จึงจะมีการซ่อมบำรุง โดยจะถือว่าเป็นค่าซ่อมบำรุง 1,045,350 บาท ทุก 5 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนในการใช้เสาไฟ ต่อ 1 กิโลเมตร

ตารางที่ 12 แสดงต้นทุนในการใช้เสาไฟส่องสว่าง ต่อ 1 ต้น

ลำดับที่	รายการ	ราคา(ต่อหน่วย)	จำนวน	ราคา
1	เสาไฟ 9.00 เมตร	16,250	1	16,250
2	กิ่งเดี่ยว	3,900	1	3,900
3	โคม 250 วัตต์	13,650	1	13,650
4	สายNNY 2x2.5 มม^3	115	12	1,870
5	แผงฟิวส์เดี่ยว 10 A	208	1	208
6	ปลั๊กอีเกิ้ล	408	1	408
7	กาวด์ลอด	1,040	1	1,040
8	ฐานเสาไฟ	6,760	1	6,760
9	เทปพันสายไฟ NO.33	420	1	420
10	เทปพันสายไฟ NO.23	494	1	494
ราคาสุทธิ		45,000 บาท		

(*หมายเหตุ โดยในการใช้เสาไฟส่องสว่าง มีอายุการใช้งานได้ประมาณ 30 ปี จึงจะเสื่อมสภาพ)

ระยะห่างระหว่างเสาไฟส่องสว่างแต่ละต้น 12 เมตร ดังนั้น ใช้เสาไฟส่องสว่าง 168 ต้น จึงคำนวณต้นทุนในการสร้างเสาไฟส่องสว่างต่อ 1 กิโลเมตร คือ 45,000 x 168 = 7,560,000 บาท และมีการบำรุงรักษาทุก 30 ปี

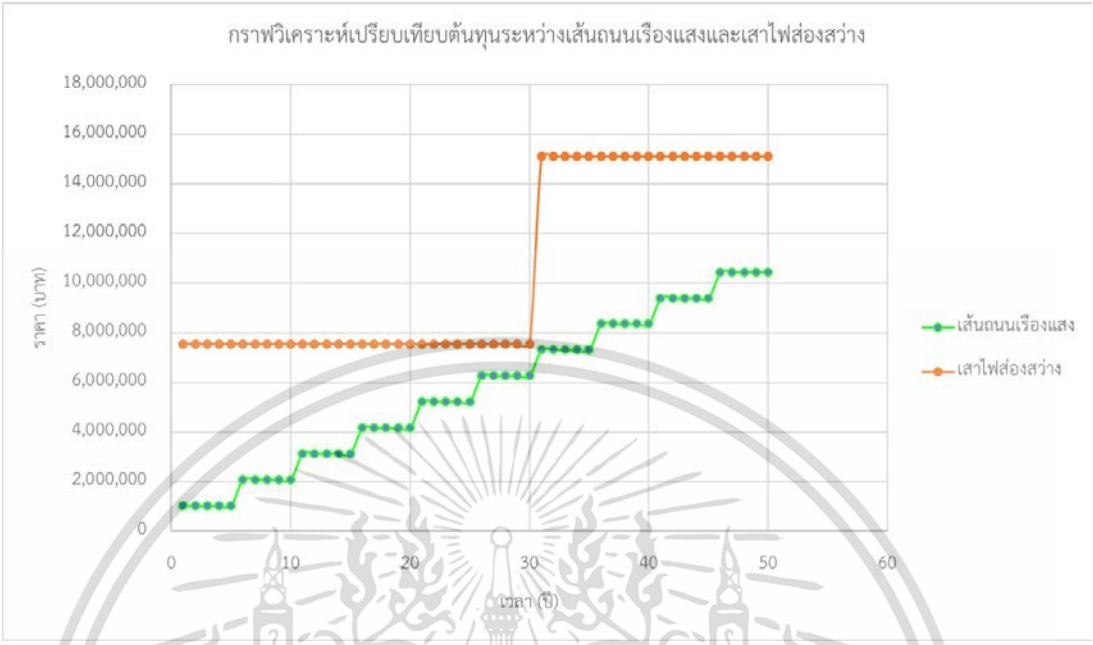
ค่าบำรุงรักษาของเสาไฟส่องสว่าง

โดยในการใช้เสาไฟส่องสว่างมีอายุการใช้งานได้ 30 ปี จึงจะมีการซ่อมบำรุง โดยจะถือว่าเป็นค่าซ่อมบำรุง 7,560,000 บาท ทุก 30 ปี

นำค่าที่ได้จากการศึกษาระหว่างเส้นถนนเรืองแสงและเสาไฟส่องสว่างมาเปรียบเทียบ แสดงในกราฟดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ข้อมูล</u> แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนในการใช้เส้นถนนเรืองแสงกับเสาไฟส่องสว่างและค่าบำรุงรักษา



การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง

จากการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ทำให้ทราบว่าราคาต้นทุนการผลิตของเส้นถนนเรืองแสงนั้นมีราคาที่ถูกกว่าเสาไฟส่องสว่าง และเมื่อรวมค่าบำรุงรักษาเส้นถนนเรืองแสงนั้นก็ยังมีราคาต้นทุนการผลิตที่ถูกกว่าเสาไฟส่องสว่างอยู่ดี จึงสรุปว่าเส้นถนนเรืองแสงนั้นมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าเสาไฟส่องสว่าง แต่ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงค่าไฟของเสาไฟส่องสว่าง และค่าแรงในการก่อสร้างซึ่งเส้นถนนเรืองแสงมีความยากมากกว่าในการก่อสร้างอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

สูตรการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

CO_2 emissions = Activity Data X Emission factor (กรมอนามัย, 2553)

Activity data เป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity by process

CO_2 emissions = CO_2 emissions ปฏิกิริยาการคายความร้อนที่เกิดจากการผสม +
CO_2 emissions ที่เกิดจากความร้อนจากการคุมอุณหภูมิเวลาผสม
(ที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 13 Carbon Footprint Calculator (Activity by material) in Distance 1 km

ลำดับ	รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emissions Factor ($kgCO_2$ emissions / หน่วย)	CO_2 emissions ($kgCO_2$ emissions)
1	ผงเรืองแสง	Sulphur dioxide (SO_2)	67.5	Kg	0.5202	35.1135
		Hydrogen sulphide (H_2S)	67.5	kg	13.900	938.250
2	Epoxy A : 2		900	kg	6.6860	6017.40
3	Epoxy B : 1		450	kg	6.6860	3008.70
รวมค่า CO_2 emissions ($kgCO_2$ emissions)						9999.464

ในการผลิตเส้นถนนเรืองแสงหนึ่งครั้งจะปล่อยค่า CO_2 emissions อยู่ที่ 9999.464 $kgCO_2$ emissions โดยเส้นถนนเรืองแสงมีค่าบำรุงรักษาทุก 5 ปี ซึ่งถ้านำมาเทียบกับเสาไฟส่องสว่าง ที่มีรอบบำรุงรักษา 30 ปีจะเทียบเป็นการปล่อย CO_2 emissions 6 รอบของเส้นถนนเรืองแสง
เท่ากับ $\frac{9999.464}{5\times365} \times 6 = 32.875$ $kgCO_2$ emissions /day/km

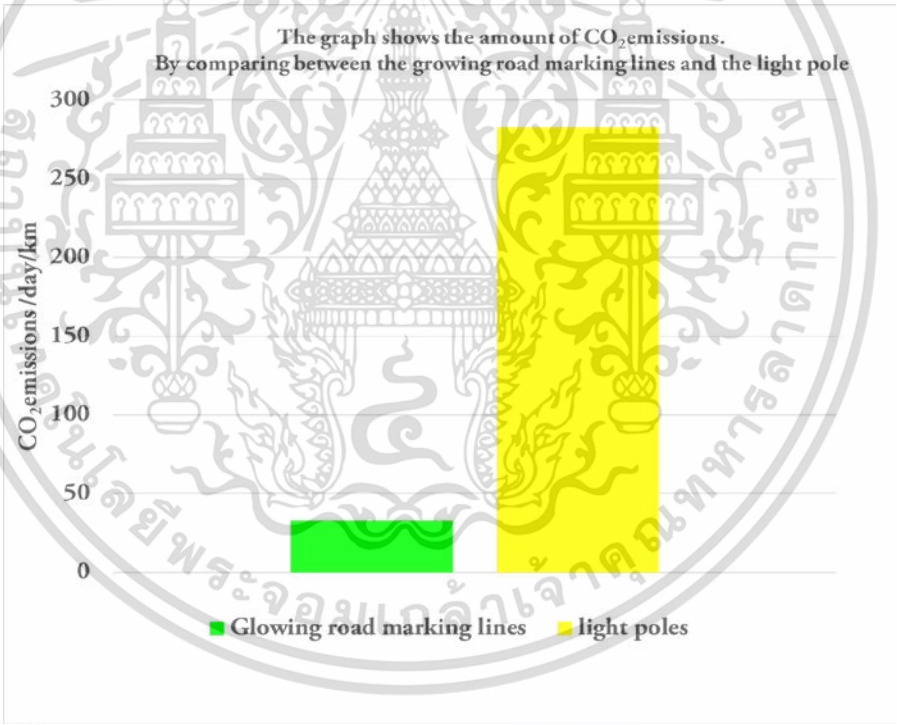
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 Carbon Footprint Calculator (Light pole) in Distance 1 km

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	เวลาที่ใช้	หน่วย	Emissions Factor (E.F.) ($kgCO_2$ emissions/หน่วย)	CO_2 emissions ($kgCO_2$ emissions)
1	เสาไฟทาง 1 ต้น/วัน	0.25	kWh	12	hr	0.561	1.683

เสาไฟทางทั้งหมด 168 ต้นปล่อย CO_2 emissions = 1.683x168 เท่ากับ 282.74 $kgCO_2$ emissions /day/km

กราฟแสดงปริมาณการปล่อย CO_2 emissions โดยเทียบกันระหว่างเส้นถนนเรืองแสงกับเสาไฟเทียบในหน่วย CO_2 emissions /day/km



การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

จากการการศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสงนั้นคำนวณการปล่อย CO_2 emissions ต่อการผลิตหนึ่งครั้งจำเป็นต้องนำมาคิดเฉลี่ยเป็นต่อวัน เพื่อมาเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของเสาไฟส่องสว่างที่เปลี่ยนเป็น CO_2 emissions โดยจากการวิเคราะห์เส้นถนนเรืองแสงนั้นปล่อย CO_2 emissions น้อยกว่าการใช้ไฟจากเสาไฟส่องสว่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเส้นถนนเรืองแสงในด้านการใช้งาน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์และออกแบบรูปแบบที่เหมาะสมของเส้นถนนเรืองแสงได้ และความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง ทั้งในด้านการใช้งาน ความคุ้มค่า และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษาพบว่าเส้นถนนเรืองแสงนั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนไฟถนนได้จริงเพราะการรับพลังงานของเส้นถนนเรืองแสงนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศในแต่ละวันซึ่งไม่สามารถคาดเดาได้ แต่เส้นถนนเรืองแสงยังสามารถนำมาเพิ่มความปลอดภัยและวิสัยทัศน์ของผู้ใช้รถใช้ถนนได้อยู่ โดยการใช้งานควบคู่ไปกับไฟถนนแบบเดิม

จากการทดสอบได้ทดลองเพิ่มสารผสมเพิ่มเนื้อเพื่อลดค่าใช้จ่ายลง แต่กลับทำให้เส้นถนนเรืองแสงนั้นมีความสว่างน้อยลงอย่างมาก จึงได้สรุปว่าเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ที่สุดคือ อีพ็อกซี่ A : อีพ็อกซี่ B คือ 2:1 และผสมสารเรืองแสงด้วยปริมาณ 10% โดยมวล เพื่อให้เส้นถนนเรืองแสงนั้นสว่างที่สุด สามารถรับแสงได้มากที่สุด และสว่างได้นานที่สุด

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ด้วยส่วนผสมเส้นถนนเรืองแสงที่ได้จากการทดสอบ นำมาคำนวณความคุ้มค่าได้ออกมาว่า เส้นถนนเรืองแสงนั้นมีราคาต่อกิโลเมตรถูกกว่าการติดตั้งเสาไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าไฟจากเสาไฟส่องสว่าง และแรงงานก่อสร้างซึ่งการก่อสร้างเส้นถนนเรืองแสงนั้นมีความยากกว่าเสาไฟส่องสว่าง และเวลาในการก่อสร้างที่คาดว่าน่าจะมากกว่า

ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเส้นถนนเรืองแสงนั้นมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระยาวที่น้อยกว่าเสาไฟส่องสว่างเนื่องจากเส้นถนนเรืองแสงนั้นไม่มีการใช้ไฟฟ้าเหมือนเสาไฟส่องสว่าง ซึ่งถ้าหากสามารถผลิตและนำเส้นถนนเรืองแสงมาใช้ได้จริงจะสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นได้อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทดสอบมีความแม่นยำที่ค่อนข้างน้อยจึงต้องเพิ่มค่าความแม่นยำและค่าที่อ้างอิงมากขึ้นได้โดยดังนี้

1. ในขั้นตอนการผสมสารควรเพิ่มอุปกรณ์ในการผสมสารที่เหมาะสมสำหรับงานมากขึ้น
2. ควรเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเส้นถนนเรืองแสงที่มีผลต่อการนำไปใช้งานจริง และวิธีการเก็บค่าที่เหมาะสมมากขึ้น
3. ทำการปรับค่าตัวแปลที่สามารถระบุค่าความสว่างของเส้นถนนเรืองแสงเมื่อเทียบกับเสาไฟส่องสว่าง
4. ควรลดค่าใช้จ่ายของเส้นถนนเรืองแสงด้วยการหาแหล่งผลิตของผงเรืองแสง
5. เนื่องจากเส้นถนนเรืองแสงนั้นยังไม่สามารถนำมาใช้แทนเสาไฟส่องสว่างได้ จึงควรมีการวิเคราะห์การนำเส้นถนนเรืองแสงและเสาไฟส่องสว่างมาใช้ควบคู่กันไป เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Material Safety Data Sheet CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION Product [ออนไลน์]. [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://drive.google.com/file/d/19UKCFAD1ZgiUz_BUxFHQ53cnTYbxdgFD/view

2. งานวิจัยเกี่ยวกับเส้นถนนเรืองแสงโดย ผศ.ดร. กัมปนาท ศิริเวทิน เป็นอาจารย์จากวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ มจพ. ได้นำทีมวิจัยเกี่ยวกับเส้นถนนเรืองแสงในประเทศไทย [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 2 พฤษจิกายน 2562] จาก https://www.matichon.co.th/region/news_807856

3.เนเธอร์แลนด์เปิดใช้ถนนเรืองแสง-ประหยัดพลังงาน-ลดค่าไฟ เผยแนวคิดมาจากแมงกะพรุน [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 2 พฤษจิกายน 2562] จาก http://www.vrvclub.com/index.php/en/news-of-vrv-vrf/116-netherlands-activate-the-glow-energy-saving-lower-power-costs-medusa-s-concept-of

4. ถนนเรืองแสงเส้นแรกในฝรั่งเศส เปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นแสงสว่างยามค่ำคืน [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://thestandard.co/luminescent-bike-paths-light-up-town-in-poland/

5. ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอตุสาหกรรม มีผลบังคับใช้รอบการพิจารณา 4/2563 (22 กรกฎาคม 2563) [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2563]. จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_117a1351b6.pdf

6. Performance of Sodium-Impregnated Activated Carbons toward Low and High Temperature H2S Adsorption [ออนไลน์]. [ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2563]. จาก https://www.researchgate.net/publication/263033372_Performance_of_Sodium-Impregnated_Activated_Carbons_toward_Low_and_High_Temperature_H2S_Adsorpt

7. ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม ของพลังงานไฟฟ้าเป็น carbon emission (23 กรกฎาคม 2562) [ออนไลน์]. [ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2563]. จาก https://qa.kpru.ac.th/web/downloads/doc/ec8956637a99787bd197eacd77acce5e.pdf

8. สมรรถนะในการมองเห็น [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก http://www.thailandindustry.com/onlinemag/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แสงและการส่องสว่าง (Lighting and Luminance) [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/

10. Pet's Luminous Creations, Glow Power Mesh / Praticle Size [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com)

11. Pet's Luminous Creations, Glow in the Dark Powder (Color Group) [Online], accessed 10 August 2005. Available from http://www.darkniteglow.com

12. ผงวัสดุเรืองแสง Ultra Violet (UV) [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://www.miniaturesweethk.com/products/uv-color-pigment-solar-pigment

13. การวิเคราะห์เปรียบต้นทุน [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://www.businessplus.co.th/support/index.php

14. การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม LCA (Life Cycle Assessmen) [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://chirawatt.wordpress.com/2011/03/01/life-cycle-assessment-lca/

15. คาร์บอนฟุตพริ้นท์(Carbon Footprint) [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://www.nstdaacademy.com/

16. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562] จาก http://qa.kpru.ac.th/web/downloads/doc/

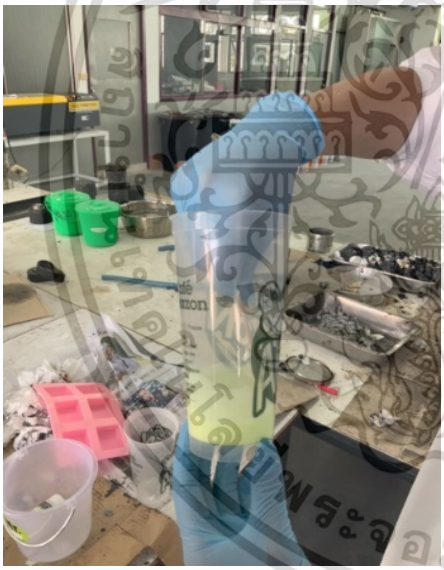
17. คุณสมบัติและข้อมูลเกี่ยวกับสารเรืองแสงชนิด Phosphorescent Pigment (Green) SAFETY DATA SHEET according to 1907/2006/EC, Article 31[ออนไลน์] [ค้นเมื่อ 27 พฤษจิกายน 2562]. จาก https://drive.google.com/file/d/1E7T7hMFXNbuE93VNv7aAgxceAfmQMPn/view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

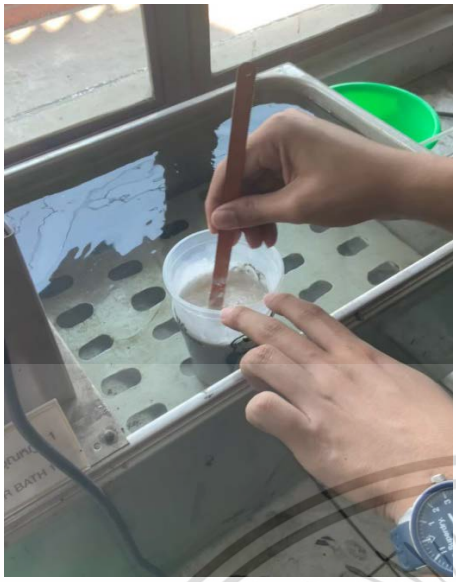
ภาคผนวก ก

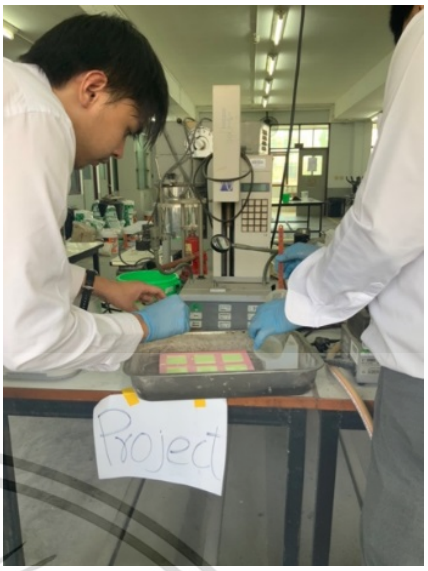
รูปภาพการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

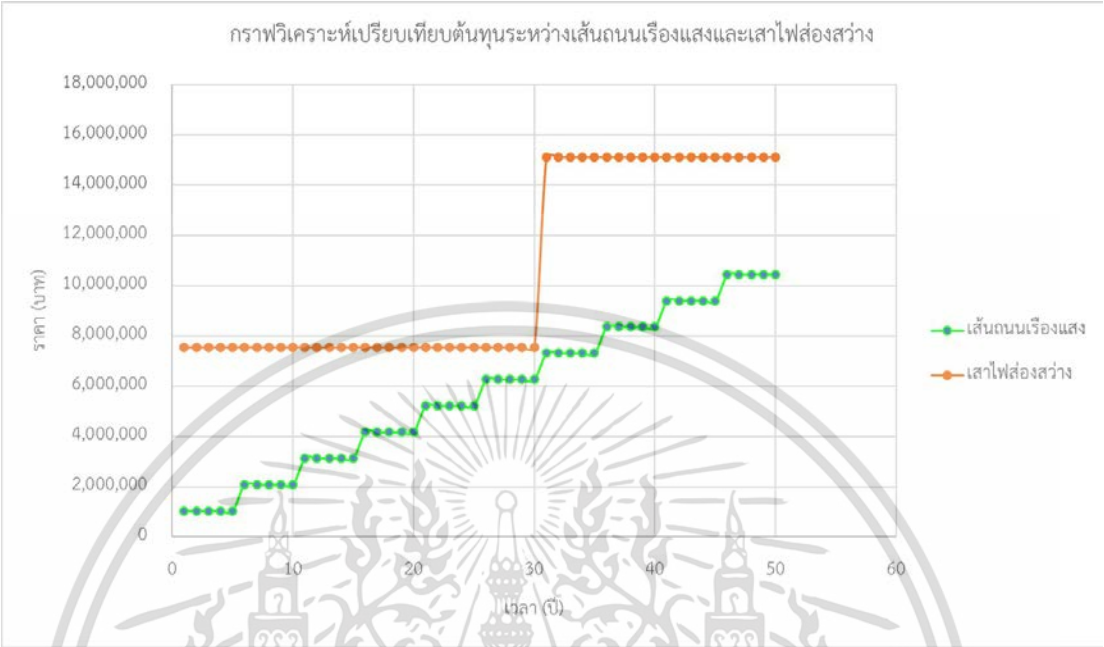
ภาคผนวก ข

แสดงผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเส้นถนนเรืองแสง

ข้อมูล แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนในการใช้เส้นถนนเรืองแสงกับเสาไฟส่องสว่างและค่าบำรุงรักษา



ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนในการใช้เส้นถนนเรืองแสงกับเสาไฟส่องสว่างและค่าบำรุงรักษา

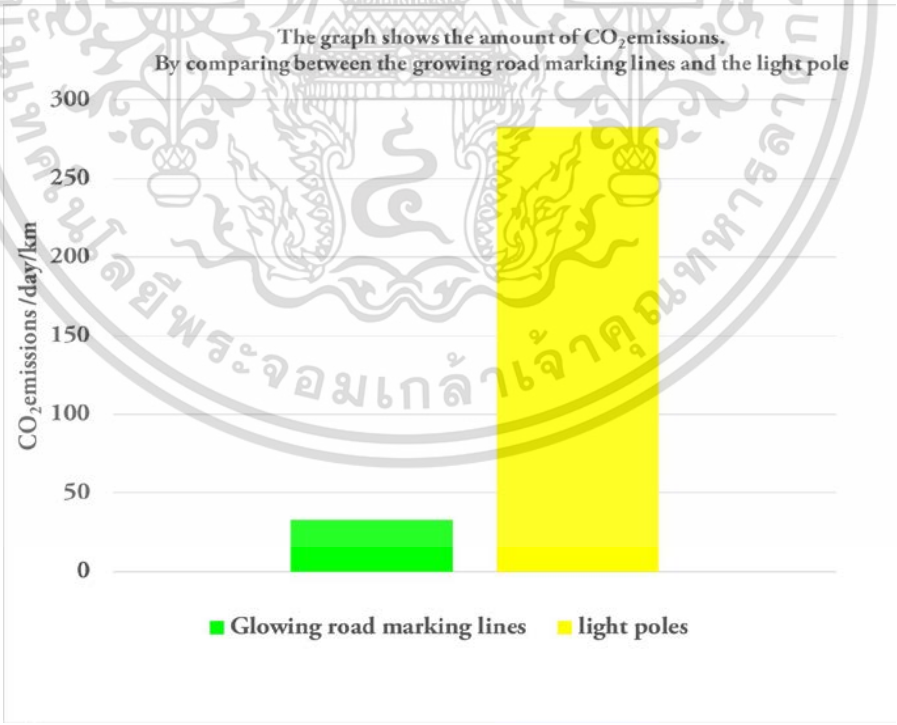
year	1	2	3	4	5
เส้นถนนเรืองแสง	1,045,350	1,045,350	1,045,350	1,045,350	1,045,350
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000
year	6	7	8	9	10
เส้นถนนเรืองแสง	2,090,700	2,090,700	2,090,700	2,090,700	2,090,700
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000
year	11	12	13	14	15
เส้นถนนเรืองแสง	3,136,050	3,136,050	3,136,050	3,136,050	3,136,050
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000
year	16	17	18	19	20
เส้นถนนเรืองแสง	4,181,400	4,181,400	4,181,400	4,181,400	4,181,400
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

year	21	22	23	24	25
เส้นถนนเรืองแสง	5,226,750	5,226,750	5,226,750	5,226,750	5,226,750
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000
year	26	27	28	29	30
เส้นถนนเรืองแสง	6,272,100	6,272,100	6,272,100	6,272,100	6,272,100
เสาไฟ	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000	7,560,000
year	31				
เส้นถนนเรืองแสง	7,317,450				
เสาไฟ	15,120,000				

การศึกษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นถนนเรืองแสง

ข้อมูล กราฟแสดงปริมาณการปล่อย CO_2 emissions โดยเทียบกันระหว่างเส้นถนนเรืองแสงกับเสาไฟเทียบในหน่วย CO_2 emissions /day/km



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอตุสาหกรรม

ตัวที่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวที่มีการเพิ่มเติม

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	วันที่อัพเดท
11.	Styrene Acrylonitrile (SAN)	ผลิตจากกระบวนการอัลคิลเลชันของเบนซีนและเอทีลีน; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	3.0008	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
12.	Vinyl Chlodie Monomer (VCM)	ผลิตจากกระบวนการ Suspension และ Emulsion; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	2.1793	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
13.	Benzene	ผลิตจากกระบวนการ Toluene Hydrodealkylation; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.3268	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
14.	Caprolactam (CPL)	ผลิตจาก Cyclohexane, Ammonia และ Sulfur; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.2916	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
15.	Cyclohexane (CX)	ผลิตจาก Benzene และ Hydrogen; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.4132	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
16.	Ethylene	ผลิตจากกระบวนการ Natural Gas/ Gas Oil Cracking; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.8116	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
17.	Mixed C4	ผลิตจากกระบวนการ Natural Gas/ Gas Oil Cracking; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.1114	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
18.	Toluene	ผลิตจาก Reformate; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	0.9551	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
19.	Propylene	ผลิตจากกระบวนการ Natural Gas/ Gas Oil Cracking; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	1.3790	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
20.	Epoxy resin	-	kg	6.6860	Industry Data	Update_24Sep12
21.	Expanded polystyrene (EPS)	-	kg	4.6127	Franklin USA 98	Update_24Sep12
22.	Polyethylene terephthalate (PET)	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	kg	2.8854	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
23.	Polyethylene terephthalate (PET)	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	kg	2.6922	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
24.	Polybutadiene	Polybutadiene, at plant	kg	3.9106	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
25.	Polycarbonate	Polycarbonate, at plant	kg	7.7760	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12

ตัวที่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวที่มีการเพิ่มเติม

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	วันที่อัพเดท
670.	Phosphoric acid	Phosphoric acid, fertiliser grade, 70% in H_2O, at plant/US database using Thai Electricity 2009	kg	0.8931	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
671.	Phosphoric acid	Phosphoric acid, industrial grade, 85% in H_2O, at plant	kg	1.4063	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
672.	Sodium sulphate	Sodium sulphate, from Mannheim process, at plant	kg	0.4695	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
673.	Sodium sulphate	Sodium sulphate, from natural sources, at plant	kg	0.1454	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
674.	Sulphur dioxide, liquid	Sulphur dioxide, liquid, at plant	kg	0.5202	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
675.	Zinc oxide	Zinc oxide, at plant	kg	2.9066	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
676.	Soap (สบู่)	Soap, at plant	kg	1.6685	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
677.	Nitrogen	Nitrogen, liquid, at plant	kg	0.4970	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
678.	Oxygen	Oxygen, liquid, at plant	kg	0.4690	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
19. กลุ่มโลหะเหล็ก						
679.	Sinter iron (เหล็กซินเตอร์)	Sinter, iron, at plant	kg	0.3493	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
680.	Cast iron (เหล็กหล่อ)	Cast iron, at plant	kg	1.6382	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
681.	Pig iron (เหล็กพิก / เหล็กดิบ)	Pig iron, at plant	kg	1.5143	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12
682.	Galvanized steel sheet	Galvanized steel sheet, at plant	kg	2.7073	USLCI	Update_24Sep12
20. กลุ่มโลหะที่มิใช่เหล็ก						
683.	Alumnium Sheet	Aluminium sheet, primary prod., prod. mix, aluminium semi-finished sheet product	kg	3.2231	ELCD 2.0	Update_24Sep12
684.	Aluminium Primary	Aluminium, primary, at plant	kg	12.2359	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	Update_24Sep12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นาย จิรายุ จิตต์คงไทย
วัน เดือน ปีเกิด	7 ตุลาคม พ.ศ.2540
ที่อยู่	2234/86 หมู่ 1 ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180
โทร	081-4099128
Email	bleach-kmitl@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2559 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิงห์สมุทร จังหวัดชลบุรี
ปัจจุบันศึกษาอยู่ที่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นาย ธนทัต จิตตะปาโล
วัน เดือน ปีเกิด	11 สิงหาคม พ.ศ.2540
ที่อยู่	14/26 หมู่3 ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
โทร	084-3209795
Email	thanatat-big@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2559 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียน มอ.วิทยานุสรณ์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ปัจจุบันศึกษาอยู่ที่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นาย ธนรุ่งโรจน์ โกศลานันต์
วัน เดือน ปีเกิด	7 พฤษภาคม พ.ศ.2541
ที่อยู่	626 หมู่ 10 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร	098-5489864
Email	tanarungroj@outlook.co.th
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2559 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี
ปัจจุบันศึกษาอยู่ที่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้