ปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นละอองจากกิจกรรมก่อสร้าง:วิธีการแบบจำลองสมการโครงสร้าง

FACTORS INFLUENCING IN PARTICULATE MATTER FROM CONSTRUCTION ACTIVITIES: A STRUCTURAL EQUATION MODELING APPROACH

นภัส บุญติ[1,2], เกรียงไกร อรุโณทยานันท์[2] , พรพจน์ นุเสน[3] และ มานพ แก้วโมราเจริญ[4]
[1] หลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
[2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
*Corresponding author address: naphat2210@gmail.com

บทคัดย่อ

เนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจ และการขยายตัวของตัวเมืองส่งผลให้ธุรกิจก่อสร้างมีแนวโน้มขยายตัวไปด้วยมีการก่อสร้างขยายสาธารณูปโภคต่าง ๆ รวมถึงการก่อสร้างอาคาร ซึ่งปัญหาที่ตามมาจากการก่อสร้างคือฝุ่นละออง พบว่าฝุ่นละอองที่เกิดจากงานก่อสร้างเป็นสิ่งที่ยากต่อการควบคุม ซึ่งส่งผลกระทบต่อบริเวณใกล้เคียงอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้าง โดยทำการเก็บรวบรวมปัจจัยสาเหตุการเกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้างจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ใช้เครื่องเซ็นเซอร์ดิจิตอลในการตรวจจับอนุภาคค่าฝุ่นละออง และทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ในการตรวจสอบปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดฝุ่นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ซึ่งผลงานวิจัยเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยจากกิจกรรมงานก่อสร้างที่มีการขุด ตอก เจาะ ทุบ ส่งผลต่อค่าความเข้มของฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงประจักษ์ในระดับที่สูง และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ด้านการขนส่ง การเคลื่อนย้ายกองวัสดุที่ส่งผลต่อค่าความเข้มฝุ่นเช่นกัน ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นสามารถระบุปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฝุ่น และสามารถนำไปพยากรณ์ค่าฝุ่นที่จะเกิดขึ้นในงานก่อสร้างเพื่อหาวิธีการในการป้องกัน ควบคุมฝุ่นละอองไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

***คำสำคัญ**: ฝุ่นละออง, ฝุ่นจิ๋ว, ฝุ่นละอองในงานก่อสร้าง, แบบจำลองสมการโครงสร้าง, กิจกรรมงานก่อสร้าง*

Abstract

According to the expansion of the economy, the city expansion has resulted in the construction business which is likely to expand. There is a construction, extension of various utilities, including building construction, which the problem that follows from the construction is dust. It found that the dust from construction work is difficult to control and greatly affects the neighborhood. Therefore, this research aims to analyze the factors that cause dust in construction by collecting factors causing dust in construction from related research, using a digital sensor to detect particulate matter. The factor analysis was performed using the SEM: Structure Equation Modelling analysis technique. Whether it is consistent with the empirical data or not. The preliminary research found that factors from drilling, hammering and pounding construction activities had an effect on dust intensity and were associated with high preliminary data. There are other factors in transportation and the movement of the material pile also affects the dust intensity. This correlation can identify the main factors causing dust formation and can be used to predict dust that will occur in construction work to find a way to prevent dust control not exceeding the specified standard.

***Keywords:** Particulate matter, PM2.5, Construction particulate matter, Structure equation modeling, Construction activity*

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีฝุ่นละอองในบรรยากาศจัดว่าเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนขนาดเล็กและขนาดใหญ่อันเป็นผลเนื่องมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยทำให้มีการขยายตัวของธุรกิจก่อสร้างกันรวดเร็ว และทำให้ผลกระทบที่ตามมาคือฝุ่นละอองต่าง ๆ พบว่า การก่อสร้างในเขตเมืองส่งผลกระทบโดยตรงต่อความเดือดร้อนของประชาชนในพื้นที่เขตเมือง นอกจากการจราจรที่ติดขัดและมีควันไอเสียจากรถยนต์ต่าง ๆ แล้ว ยังมีมลพิษเรื่องฝุ่นละอองและเสียงดังรบกวนจากการก่อสร้างอาคาร

ฝุ่นก่อสร้างเป็นสิ่งที่ยากจะควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นได้ เพราะ งานก่อสร้างต้องทำการ ขุด ตอก เจาะ ทุบ ขั้นตอนต่าง ๆ ของงานก่อสร้าง เกิดผล กระทบต่อบริเวณใกล้เคียงอย่างมาก ทั้งด้านเสียง อากาศ และส่วนใหญ่งานก่อสร้างใช้ระยะเวลานานโดยเฉพาะการสร้างตึก อาคารขนาดใหญ่อาจใช้เวลาทำหลายเดือนกว่าจะเสร็จ จึง

เป็นต้นเหตุหลักที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองเกิดขึ้น ปัจจุบันนี้ฝุ่นที่เกิดขึ้นเรียกว่า ฝุ่น pm 2.5 ,pm10 และpm1 จะพบว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมได้รับการร้องเรียนสูงสุด

ด้วยปัญหาที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการวิเคราะห์ศึกษาปัจจัยสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นในแต่ละกิจกรรมของงานก่อสร้าง และหาแนวทางวิธีการจัดการกับฝุ่น ควบคุมฝุ่นก่อสร้าง เพื่อให้ปริมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่จะเกิดขึ้นจากงานก่อสร้างไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และสามารถนำแนวทางที่ได้ศึกษามาปรับใช้กับโครงการก่อสร้างอื่น ๆ เพื่อสร้างเป็นข้อได้เปรียบทางด้านการป้องกันมลพิษทางอากาศควบคู่กับการก่อสร้างได้อย่างเหมาะสมต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาค ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือนทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชนบดบังทัศนวิสัยทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง [1]

2.1.1. ประเภทของฝุ่นละออง

ฝุ่นขนาดเล็กแบ่งตามค่ามาตราฐานฐานสามารถจำแนกได้เป็นเป็น 2 ชนิด คือ PM10 และ PM2.5 สำหรับฝุ่นหยาบ (PM10) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน เกิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง การขนส่งวัสดุ ฝุ่นจากกิจกรรมบดย่อยหิน และฝุ่นละเอียด (PM 2.5) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ และสาร Volatile Organic Compounds ซึ่งก็คือกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละเอียดได้

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองสำหรับแหล่งที่มาของฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ จำแนกได้ 2 ประเภทคือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านหิน กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้างและรื้อถอน และฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเช่น เกิดจากกระแสลมพัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น

2.1.2. แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

สำหรับแหล่งที่มาของฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ จำแนกได้ 2 ประเภทคือฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านหิน กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้างและรื้อถอน และฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเช่น เกิดจากกระแสลมพัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น

2.1.3. สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย

คู่มือมาตรฐานคณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้อง ไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศกเมตร และกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ไว้ดังนี้ ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้อง ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกนิ 0.025 มิลลิกรัมต่อลูกบาศกเมตร[2]

วิธีตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศตามวิธีมาตรฐานของประเทศไทยกรมควบคุมมลพิษฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในประเทศไทยให้ใช้วิธีการวัดแบบระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) คือการวัดค่าฝุ่นละอองโดยดูดอากาศผ่านแผ่นกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอนได้ถึงร้อยละ 99 และหาน้ำหนักจากแผ่นกรองนั้น และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนให้ใช้วิธีตรวจวัดมาตรฐาน Federal Reference Method (FRM) ตามที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศอเมริกา (US EPA) กำหนดไว้หรือวิธีที่กรมควบคุมมลพิษประกาศไว้ในราชกิจจานุเบกษา โดยใช้วิธีที่เทียบเท่าคือ ระบบเบต้า เร (Beta Ray) ระบบเทปเปอ อิลิเม้นออสซิเลติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) ระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) โดยทั่วไปจะตั้งเครื่องวัดฝุ่นให้สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร และไม่เกิน 6 เมตร

2.1.4. อุณภูมิและความชื้น

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ซึ่งเกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อเราใส่พลังงานความร้อนให้กับสสาร อะตอมของมันจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อเราลดพลังงานความร้อน

อะตอมของสสารจะเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง หน่วยที่ใช้วัดอุณหภูมิที่คือ องศาเซลเซียส(°) องศาฟาเรนไฮต์(F) และเคลวิน (K)

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับได้หรือปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรือหาค่าได้จากอัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำที่ในอากาศต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว นิยมบอกค่าเป็นร้อยละ โดยที่ 100 %RH หมายถึงอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ อากาศไม่สามารถรับไอน้ำอีก หากมีไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกจะเกิดเป็นหมอก หรือไอน้ำขนาดเล็กที่อยู่ในสถานะของเหลวกระจายในอากาศ[3]

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ มีลักษณะการเปลี่ยนดังนี้

1.ถ้าอุณหภูมิลดต่ำลง ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออากาศเย็นนตัวลงปริมาตรของอากาศจะหดตัว จำนวนไอน้ำที่มีอยู่จึงมีจำนวนต่อพื้นที่มากขึ้น ในขณะที่อากาศก็จะรับไอน้ำได้ลดลง

2.ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาตรของอากาศจะขยายตัวมากขึ้น ปริมาตรของอากาศจะขยายตัวมากขึ้น ทำให้อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้น

2.2. ทฤษฎีโมเดลสมการโครงสร้าง

ทฤษฎีโมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling : SEM) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการทางสถิติที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง หรือยืนยันโครงสร้างของทฤษฎีว่าสามารถนำไปใช้กับข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ และที่สำคัญการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเป็นวิธีการที่สามารถยืดหยุ่นข้อตกลงเบื้องต้น โดยยอมให้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการวัดตัวแปรสังเกตได้แต่ละตัวแปรมีความสัมพันธ์กันได้ จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการวิเคราะห์โมเดลโครงสร้าง SEM สิ่งสำคัญที่ควรทราบก่อนการวิเคราะห์ คือ โมเดลโครงสร้าง SEM นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบว่าโมเดลโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเป็นเพียงวิธีการหนึ่งที่ใช้ยืนยันความสอดคล้องของทฤษฎีกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ ส่วนผลการวิเคราะห์โมเดลโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นจะมีความสมเหตุสมผลหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับทฤษฎีที่นำมาใช้ในการอ้างอิง โดยหลักการกำหนดสมมติฐานทางการวิจัยสำหรับการวิเคราะห์โมเดลโครงสร้าง “โมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์” หรือสามารถเขียนเป็นสมการทางสถิติได้ดังนี้

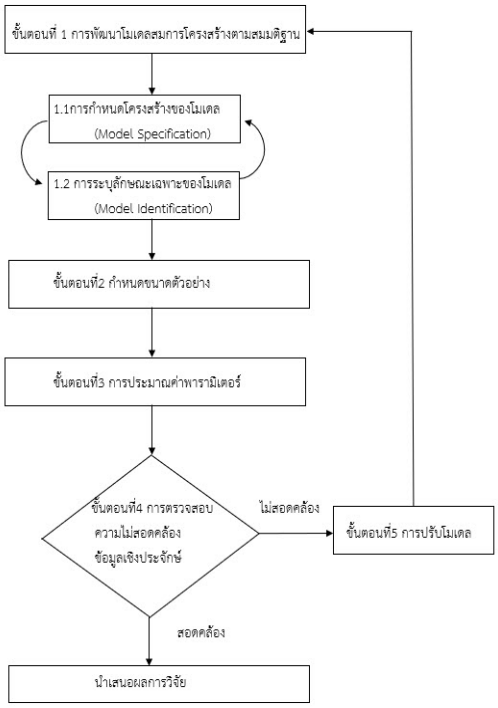
แบบที่ 1 H0 : โมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

H1 : โมเดลตามสมมติฐานไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

แบบที่ 2 H0 : เมทริกซ์ผลรวม เท่ากับ เมทริกซ์ S

H1 : เมทริกซ์ผลรวม ไม่เท่ากับ เมทริกซ์ S

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างนั้น มีขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

2.2.1. การวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ปัจจัย เป็นการวิเคราะห์เชิงสถิติที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณข้อมูล หรือลดจำนวนตัวแปรในการทำวิจัย โดยการอาศัยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมาสร้างเป็นปัจจัย (Factor) ที่อยู่เบื้องหลังตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งทำให้ผู้ทำวิจัยได้เข้าใจในโครงสร้างของตัวแปรได้ดีขึ้น

เทคนิคของการวิเคราะห์ปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis ; EFA) และการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis ; CFA)

1. การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสำรวจจะใช้ในกรณีที่ผู้ศึกษาไม่มีความรู้ หรือมีความรู้อย่างจำกัดเกี่ยวกับโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อศึกษาโครงสร้างของตัวแปรและลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่เดิมให้มีการรวมกันได้

2. การวิเคราะห์ปัจจัยเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor

Analysis; CFA) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันจะใช้กรณีที่ผู้ศึกษาทราบโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร หรือคาดว่าโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรจะใช้เป็นรูปแบบใด หรือคาดว่าตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กันมากและควรอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน หรือคาดว่ามีตัวแปรใดที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ควรจะอยู่ต่างองค์ประกอบกัน หรือกล่าวได้ว่าผู้ศึกษาทราบโครงสร้างความสัมพันธ์กันของตัวแปร หรือคาดไว้ว่าโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นอย่างไร และจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันมาตรวจสอบ หรือยืนยันความสัมพันธ์ว่าเป็นอย่างที่คาดไว้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์หาความตรงเชิงโครงสร้างนั้น ๆ [4]

2.2.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงสาเหตุ

การวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพล (path analysis) แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาทดสอบความ มีนัยสำคัญด้วยสถิติทดสอบที่เพื่อศึกษาโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงเหตุผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฝุ่นในงานก่อสร้างโดยความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฝุ่น โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือทางเทคนิคสถิติ Structural Equation Modeling (SEM) ด้วยโปรแกรม Amos เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนระหว่างโมเดลตามสมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทำการการวิเคราะห์ทั้งทางตรง อิทธิพลทางอ้อม และอิทธิพลของตัวแปรสาเหตุ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าดัชนี ทั้ง 6 รายการ ได้แก่ $\chi 2$, $\chi 2$ /df, GFI, AGFI, CFI และ RMSEA มาทดสอบความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลตามสมมุติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ สำหรับเกณฑ์การพิจาราณาค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลมีดังนี้

1.ค่าไคสแควร์ (X^2) การพิจรณาค่าไคสแวร์ ควรมีค่ามากกว่า 0.05 จะแสดงว่าโมเดลมีความเหมาะสม (Goodness of Fit) และสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

2.ค่าไคสแควร์สัมพัทธ์ (X^2/ df) การพิจารณาค่าไคสแวร์สัมพัทธ์หรือค่า CMIN/df ควรมีค่าน้อยกว่าหรือเทียบเท่า 3.0 df ยิ่งมี ค่าใกล้ 0 มากเท่าไร แสดงว่าโมเดลนั้นยิ่งมีความกลมกลืนสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากขึ้นเท่านั้น

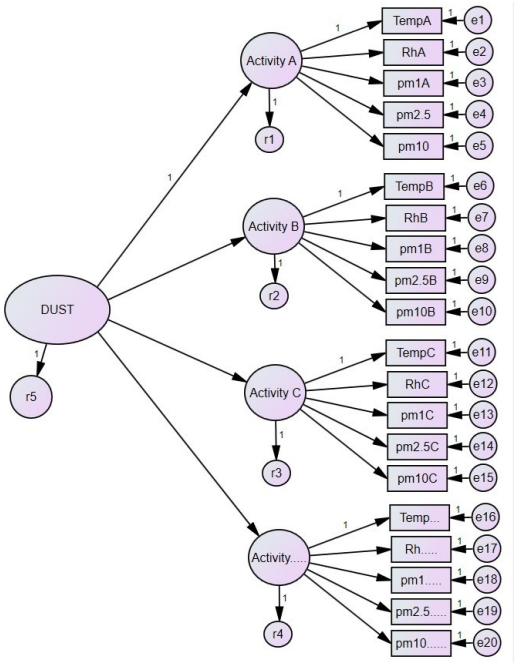
3.ดัชนีวัดความกลมกลืน (Goodness of fit Index: GFI) ควรมีค่าสูงกว่า 0.90 ควรมีค่าสูงกว่า 0.90 แสดงว่าโมเดลมีความมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

4.ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแล้ว (Adjusted Goodness of Fit Index: AGFI) เป็นการนำดัชนี GFI มาปรับแก้โดยถึงขนาดขององศาอิสระแล้ว (df) ซึ่งรวมทั้งจำนวนตัวแปรและขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยค่าดัชนี AFGI มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ GFI โดยควรมีค่าสูงกว่า 0.90 แสดงว่าโมเดลมีความมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

5.ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง กลมกลืนเชิงสัมพัทธ์ (Comparative Fit Index: CFI) โดยค่า CFI อยู่ระหว่าง 0 และ 1 และหากค่า CFI มีค่าดัชนี > 0.90 เป็นระดับที่โมเดลควรถูกยอมรับ

6.ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณ ค่าความคาดเคลื่อน (Root Mean Square Error of Approximation: RMSEA) โดยค่าดัชนี RMSEA จะต้องมีค่าต่ำกว่า 0.08 ถ้าค่าดัชนี RMSEA ยิ่งมีค่าใกล้ 0 มากเท่าไรแสดงว่าโมเดลนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนยิ่งน้อย โมเดลจึงมีความกลมกลืน สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากยิ่งขึ้น

2.2.3. แบบจำลองโมเดลสมการโครงสร้างกิจกรรมที่เกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้าง



รูปที่ 2 โมเดลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงสาเหตุของกิจกรรมงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง

2.3. กิจกรรมในงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่น

ตารางที่ 1 ตารางแสดงงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่น[5-10]

ปัจจัย	ประเภทงาน	ลักษณะกิจกรรม	ผู้แต่ง
กิจกรรมการก่อสร้าง	1.งานดิน	- การขุด ถม ในงานฐานราก - งานปรับระดับดิน - งานเทดิน - งานเกลี่ยดิน	ยรรยง อาภาอนันนต์ (2533) นภาพร พานิช (2540) กัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2559) สมจินตนา แขนงแก้ว (2559)
	2.งานโครงสร้าง	- การตอกเสาเข็ม - การผสมคอนกรีต - การขนย้ายวัสดุในการผสมคอนกรีต - การเทคานคอนกรีตในส่วนงานโครงสร้างฐานราก เสา คาน เทพื้น การเจาะ สกัด และตกแต่งผิวอนกรีต - งานเข้าแบบ-ถอดแบบ - การตัดเลื่อยไม้ การเจาะรูที่ไม้ เศษวัสดุก่อสร้าง	ยรรยง อาภาอนันนต์ (2533) นภาพร พานิช (2540) กัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2559) Stuart & Vina (2004)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่น(ต่อ)

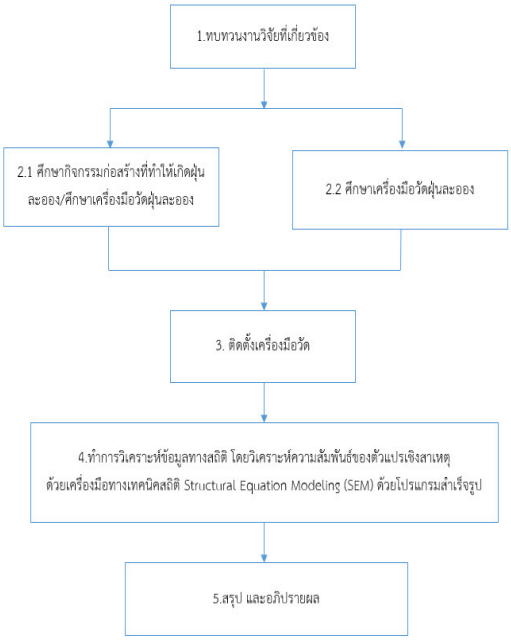
ปัจจัย	ประเภทงาน	ลักษณะกิจกรรม	ผู้แต่ง
กิจกรรมการก่อสร้าง	3.งานสถาปัตยกรรม	- การสกัด เจาะ บริเวณผนัง หรือกำแพง - การก่อ ฉาบ ผนัง - งานปูกระเบื้องพื้น และผนัง - การติดตั้งแผ่นฝ้าหรือผนังยิปซั่ม - งานก่อบล็อก	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553) Stuart & Vina (2004)
	4.งานระบบ	- การติดตั้งระบบท่อประปาในอาคาร - การติดตั้งท่อไฟฟ้าในอาคาร	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553) นภาพร พานิช (2540)
ปัจจัย	**ประเภทงาน**	**ลักษณะกิจกรรม**	**ผู้แต่ง**
กิจกรรมการขนส่ง	3.งานสถาปัตยกรรม	- การสกัด เจาะ บริเวณผนัง หรือกำแพง - การก่อ ฉาบ ผนัง - งานปูกระเบื้องพื้น และผนัง - การติดตั้งแผ่นฝ้าหรือผนังยิปซั่ม - งานก่อบล็อก	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553) Stuart & Vina (2004)
	4.งานระบบ	- การติดตั้งระบบท่อประปาในอาคาร - การติดตั้งท่อไฟฟ้าในอาคาร	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553) นภาพร พานิช (2540)
	1.งานดิน	- การขนย้ายกองดิน ทราย เศษวัสดุภายในไซต์งานก่อสร้าง - การเคลื่อนย้ายดินและเศษวัสดุใส่รถบรรทุกเพื่อนำออกจากไซต์งานก่อสร้าง - เครื่องจักรปล่อยไอเสีย เช่มาขณะใช้เครื่องยนต์	John & David (2001) Gambatese & David (2001)
	2.งานโครงสร้าง	- เขม่าควัน ไอเสียรถยนต์จากการขนส่งคอนกรีต - รถบรรทุก หิน ทราย ซีเมนต์ - เครื่องจักรเทคอนกรีต และตกแต่งผิวคอนกรีต - การใช้รถเครน	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553)
	3.งานสถาปัตยกรรม	- รถบรรทุกหิน ทราย ปูนซีเมนต์กระสอบ อิฐบล็อก - การขนย้ายผนังร้าน	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553)
	4.งานระบบ	รถบรรทุกวัสดุงานไฟฟ้า และประปา	ยรรยง อาภาอนันต์ (2553)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ (Causal Relationship) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของปัจจัยเชิงสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในแต่ละกิจกรรมของงานก่อสร้าง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น ส่วน (1) ประกอบด้วยการศึกษากิจกรรมในการก่อสร้างอาคารที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองในขณะทำการก่อสร้าง (2) การวัดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการก่อสร้าง (3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมายและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา จึงได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3

3.1. การศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการก่อสร้าง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงสาเหตุด้วยเครื่องมือทางเทคนิคสถิติ Structural Equation Modeling (SEM)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2. ศึกษากิจกรรมในการก่อสร้างอาคารที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในอากาศ

ทำการศึกษากิจกรรมในการก่อสร้างอาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง โดยทำการอ้างอิงข้อมูลจากแผนงานการก่อสร้างอาคาร และทำการศึกษาเครื่องที่นำมาใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมในการก่อสร้าง

3.3. การทดลองวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในหน่วยงานก่อสร้าง

ใช้เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง Dust stationที่พัฒนาโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในหน่วยงานก่อสร้างอาคารจำนวน 4จุด วัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองตลอดทุก 5 นาที ใน 8 ชั่วโมงโดยเครื่องมือวัดค่าฝุ่นมีวิธีการทำงานเบื้องต้นดังนี้

3.3.1 เครื่องมือวัดค่าฝุ่นละอองเป็นเครื่องวัดสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีโครงข่ายที่ใช้พลังต่ำ NB-iot ย่อมาจาก Narrowband Internet of Thing ซึ่งสามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็กและมีรัศมีการรับข้อมูลของเครือข่ายต่อสถานีฐานกระจายได้มากกว่า 10 กิโลเมตรซึ่งภายในเครื่องวัดประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง0.3-1.0 , 1.0-2.5,2.5-10 ไมโครเมตร ได้อยู่ในช่วง0-500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถวัดอุณหภูมิความชื้นวัดอุณหภูมิได้ในช่วง-40 ถึง 80องศาเซลเซียสความคลาดเคลื่อน ±5% และสามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์

ในช่วง 0-100% มีความคลาดเคลื่อน ±2%แสดงแสดงผลออกมาในรูปแบบตารางExcel และกราฟ

รูปที่ 4 เครื่องวัดฝุ่นละออง Dust station

3.4. การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลเชิงสาเหตุทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ผลต่อการเกิดฝุ่นละอองในบริเวณก่อสร้าง โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงสาเหตุด้วยเครื่องมือทางเทคนิคสถิติ Structural Equation Modeling (SEM) ด้วยโปรแกรม Amos และสรุปผลอภิปรายผลการวิจัย โดยนำเสนอผลการวิจัยที่มีเหตุผลประกอบตามหลักการ โดยอธิบายเนื้อหาสาระสำคัญที่มีความครอบคลุมถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยทำการศึกษาตามแผมงานกิจกรรมงานก่อสร้าง

3.5. การสรุปและอภิปรายผล

ในการศึกษางานวิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นละอองจากกิจกรรมก่อสร้างได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 1 ไมครอน 2.5 ไมครอน และไม่เกิน 10 ไมครอน พื้นที่ศึกษาเป็นอาคารก่อสร้างที่กำลังทำการก่อสร้าง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังนี้ ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องศึกษากิจกรรมก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง/ศึกษาเครื่องมือวัดฝุ่นละออง และศึกษาเครื่องมือวัดฝุ่นละอองวางแผนการเก็บข้อมูลติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อทำการเก็บข้อมูล เก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวม สรุปผลการวิจัย

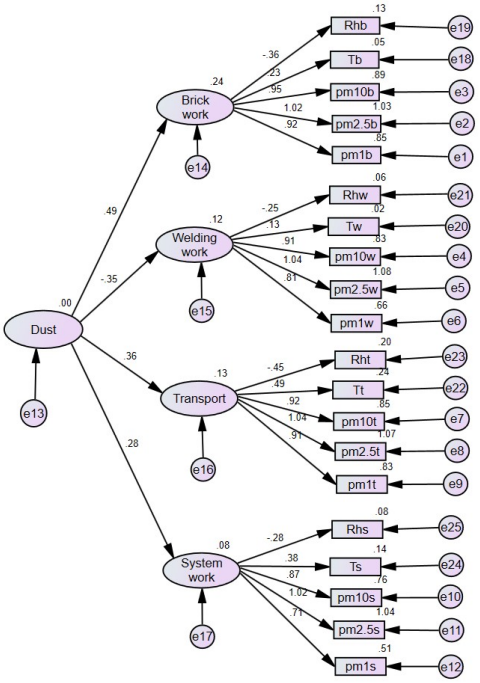
4. ผลการวิจัย

4.1. สรุปกระบวนการ

จากการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดฝุ่นละอองไปวัดค่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในขณะทำกิจกรรมก่อสร้างในเวลา8.00น.ถึง17.00 น. ประกอบด้วยงาน 4 ได้แก่งานก่ออิฐ งานฝ้า งานเชื่อมราวเหล็กและงานขนส่งวัสดุ สำหรับตัวแปรสังเกตได้ที่นำมาวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์รมีจำนวน5ตัวแปรประกอบด้วย ค่าฝุ่นละอองขนาด 1,2.5,10 ไมครอน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

4.2. ผลการวิเคราะห์

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโมเดลที่สร้างขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์โมเดลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้าง



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์โมเดลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้าง

จากโมเดลผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรแฝงจำนวน 4 ตัวแปรได้แก่ Brick work, Welding work, Transport, System work พบว่าค่าน้ำหนักปัจจัยของฝุ่นละอองpm10t พบว่าน้ำหนักปัจจัยของกิจกรรมงานก่ออิฐมีตัวแปรสังเกตได้5ตัว เรียงตามค่าน้ำหนักปัจจัยมากไปน้อยได้แก่ pm2.5b, pm10b, pm1b, Rhb, Tb

น้ำหนักปัจจัยของงานก่ออิฐมีตัวแปรสังเกตได้ 5 ตัว เรียงค่าน้ำหนักปัจจัยมากไปหาน้อยดังนี้ pm2.5t, pm10b, pm1b, Rhb, Tb

น้ำหนักปัจจัยของงานเชื่อมมีตัวแปรสังเกตได้ 5 ตัว เรียงค่าน้ำหนักปัจจัยมากไปหาน้อยดังนี้ pm2.5w, pm10w, pm1w, Rhw, Tw

น้ำหนักปัจจัยของงานขนส่งมีตัวแปรสังเกตได้ 5 ตัว เรียงค่าน้ำหนักปัจจัยมากไปหาน้อยดังนี้ pm2.5t, pm10t, pm1t, Tt, Rht

น้ำหนักปัจจัยของงานขนส่งมีตัวแปรสังเกตได้ 5 ตัว เรียงค่าน้ำหนักปัจจัยมากไปหาน้อยดังนี้ pm2.5s, pm10s, pm1s, Ts, Rhs

ปัจจัยที่มีผลต่อฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างโดยเก็บข้อมูลจากกิจกรรมก่อสร้างที่เกิดขึ้น 4 กิจกรรมประกอบด้วยงานก่ออิฐ

งานเชื่อม งานขนส่ง งานระบบ มีตัวแปรสังเกตุได้จำนวน20ตัวแปร ปัจจัยแฝงที่มีอิทธิพลต่อแนวโน้มสาเหตุของการเกิดฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างเรียงจากมากไปน้อยโดยไม่คิดเครื่องหมายได้แก่ งานก่ออิฐ(0.49) งานเชื่อม(0.35) งานขนส่ง(0.36) และงานระบบ (0.28)

4.3. ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้มีการเก็บข้อมูลโดยเครื่องวัดฝุ่นพบว่าอาคารก่อสร้างมีขนาดใหญ่ และจำนวนเครื่องวัดฝุ่นละอองมีจำนวนจำกัด อาจทำให้ไม่เพียงพอต่อการวัดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในกิจกรรมก่อสร้างที่ทำพร้อมๆกัน และในบางกิจกรรมก่อสร้างใช้ระยะเวลาในการทำงานไม่เท่ากัน หากเก็บข้อมูลในระยะยาวอาจจะได้ค่าที่แม่นยำขึ้น ในศึกษาโมเดลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในงานก่อสร้างนี้เป็นเพียงแนวทางการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีตัวแปรสังเกตได้จากการวัดค่าโดยเครื่องวัดฝุ่นละอองเท่านั้น หากในอนาคตมีการรวบรวมข้อมูลจากเครื่องวัดฝุ่นหรือวิธีการวัดฝุ่นอื่นๆ อาจทำให้ศึกษาปัจจัยสาเหตุของการเกิดฝุ่นละอองมีมากขึ้น และต้องปรับปรุงแบบโมเดลให้มีความเหมาะสมต่อไป

5. บทสรุป

การสร้างแบบจำลองโดยการเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดฝุ่นในกิจกรรมก่อสร้างอาคารที่ดำเนินการก่อสร้างอยู่เพื่อวิเคราะห์ศึกษาปัจจัยสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นในแต่ละกิจกรรมของงานก่อสร้าง พบว่ากิจกรรมที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองคืองานก่ออิฐ โดยที่มาของฝุ่นละอองในงานก่ออิฐคือการผสมปูน รองลองมาคืองานเชื่อม(เชื่อมราวระเบียง,แบบเทคอนกรีตPrecast) งานขนส่ง และงานระบบ(สกัดผนังฝากท่อไฟฟ้าและประปา) จะเห็นได้ว่างานก่ออิฐและงานเชื่อมราวระเบียงเป็นงานที่อยู่ในหมวดงานสถาปัตยกรรม ซึ่งทำให้พบว่าในก่อสร้างประกอบไปด้วยงานหมวดโครงสร้างสถาปัตยกรรม งานระบบไฟฟ้า สุขาภิบาล หากสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากหมวดงานสถาปัตยกรรมได้จะทำให้ค่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นโดยภายในโครงการก่อสร้างลดลง อย่างไรก็ตามในการทำงานตามแผนงานก่อสร้างจะต้องมีการวางแผนการทำงานควบคู่กับการรักษาสภาพแวดล้อมรอบๆ ของอาคารก่อสร้าง หากขาดการควบคุมย่อมส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยการมองเห็นทำให้เกิดอันตรายจากการทำงาน และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ใช้สถานที่ในการเก็บข้อมูลงานก่อสร้างในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิจัยและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารทุกๆท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

7. การอ้างอิง

[1] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10. (2538). กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ประกาศในกิจจานุเบกษา. เล่ม 112 ตอนที่ 52ง. วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2538.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. 2561. โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่ เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล. กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรม ควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[3] วิพัฒน์ หมั่นการ. (2560).*ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะ หมอกควันในแอ่งลำปาง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.* 22(1), 226-239.

[4] เพชรน้อย สิงห์ช่างชัย. (2546). หลักการและการใช้สถิติการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวสำหรับการวิจัยทางการพยาบาล. พิมพ์ครั้งที่3. คณะพยาบาลศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[5] ยรรยง อาภาอนันต์. (2553). การวัดและแนวทางการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อคนงานในหน่วยก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] นภาพร พานิช และคณะ. (2540). โครงการจัดทำระเบียบและข้อปฏิบัติในการควบคุมฝุ่นละอองจากการก่อสร้างประเภทต่างๆ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ

[7] กัลยา วานิชย์บัญชา. (2557). การวิเคราะสมการโครงสร้างด้วย AMOS.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] สมจินตนา แขนงแก้ว. (2559). การวัดและการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมใน โครงการก่อสร้างถนน กรณีศึกษาการก่อสร้างถนนในเขตจังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

[9] Gambatese, J. A., & James, D. E. (2001). Dust suppression using truck-mounted water spray system. Journal of construction engineering and management, *127*(1), 53-59.

[10] Stuart, U.& Vina, k.(2004). Pollution emissions from- a case study. Client report. London: Building Research Establishment Ltd