

การวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในเสาบอกลทางจราจรแบบแขวนยื่นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*

ธงชัย ฟองสมุทร¹⁾ และ ประกอบ ชาติภักต์²⁾

¹⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Email:p_chartpuk@yahoo.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นภายในเสาบอกลทางจราจรแบบแขวนยื่นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โปรแกรม SolidWorks ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และโปรแกรม Cosmos ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาบอกลทางจราจรแบบแขวนยื่น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สองวิธีคือ วิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ และ วิธีการทดสอบจริงกับเสาบอกลทางจราจรแบบแขวนยื่นจำลองที่มีขนาด 1 ใน 6 ของขนาดเสาบอกลทางจราจรจริง โดยที่ผลการเปรียบเทียบที่ได้มีความสอดคล้องกันระหว่างสามวิธี โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1% จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเสาบอกลทางจราจรแบบแขวนยื่นภายใต้ภาระเนื่องจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกลทางจราจรนี้ได้ สำหรับการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดกับเสาบอกลทางจราจรขนาดจริงนั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่เสาหลักของเสาบอกลทางจราจรนี้มีค่าอยู่ที่ประมาณ 48 MPa ที่บริเวณโคนของเสาบอกลทางจราจร ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย พบว่ามีค่าความปลอดภัยอยู่ที่ประมาณ 5 แต่ถ้าวัดพิจารณาชิ้นส่วนหลักอื่นๆ ของเสาบอกลทางจราจรนี้ จะพบว่าค่าความปลอดภัยในบางชิ้นส่วนมีค่าสูงถึงประมาณ 9 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามค่าความปลอดภัยที่ได้นี้ ได้จากการพิจารณาเฉพาะภาระที่เกิดจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกลทางจราจรเท่านั้น

คำสำคัญ : เสาบอกลทางจราจร, ไฟไนต์เอลิเมนต์

*
รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2549

Analyses of Stress Distribution in Overhanging Traffic Sign Pole Using Finite Element Method^{*}

Thongchai Fongsamootr¹⁾ and Prakorb Chartpuk²⁾

¹⁾ Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

²⁾ Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Email:p_chartpuk@yahoo.com

ABSTRACT

This research is an analysis of stress and strain distribution in the overhanging traffic sign pole by using finite element method. The SolidWorks program was used to create the model and Cosmos program (a finite element analyses commercial program) was used to analyze the model in order to study the stress distribution in the overhanging traffic sign pole. The finite element analysis method (FEA) results were compared with the mathematical equation results and the experimental results, the overhanging traffic sign pole with model 1:6 of real size. The compared results showed a good agreement between three methods. Especially, the compared results between the FEA and mathematical equation results are much closed. The percent error between these two methods is 1%. Therefore, we can conclude that the FEA model of traffic sign pole can be used for solving problems of this traffic sign pole under body force load. The analyzed results of real size of the overhanging traffic sign pole showed that the maximum stress occurred at the main pole of the traffic sign pole is about 48 MPa. The maximum stress can be use to determine the value of safety factor. It is showed that the safety factor of this traffic sign pole is about 5. And for other main parts of the traffic sign pole, the highest safety factor is about 9. It is very high for safety factor value. Anyway, these are results under body force loading only.

Keywords : Overhanging Traffic Sign Pole, Finite Element

^{*} Original manuscript submitted: March 3, 2006 and Final manuscript received: August 18, 2006

บทนำ

ป้ายจราจรเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องหมายจราจร ตามประกาศคณะกรรมการการจ้ดระบบจราจรทางบก ซึ่งใช้ติดตั้งในเขตทางหลวงหรือถนนต่างๆ ทำหน้าที่ในการบังคับควบคุม เตือน และแนะนำ รวมทั้งให้ข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ทาง (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2548) ในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับโครงสร้างรองรับป้ายจราจรแบบโครงยื่น ดังรูปที่ 1 ซึ่งเรียกว่า เสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่น (Overhanging Traffic Sign) โดยจะได้ทำการศึกษาถึงค่าความปลอดภัยของเสาบอกทางจราจรดังกล่าว เพื่อเป็นการยืนยันถึงความปลอดภัยของเสาบอกทางจราจรในลักษณะดังกล่าว เนื่องจากเสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่นที่ไ้ช้ยู่่นนั้นมีความซับซ้อนในส่วนของโครงสร้างค่อนข้างมาก ในการคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ก็สามารถทำได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น โดยที่ยังมีข้อจำกัดในบางส่วน ตัวอย่างเช่นไม่สามารถที่จะรวมเอารายละเอียดของเสาไปได้มากนัก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วิธีอื่นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าว วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method : FEM) เป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในปัจจุบัน มีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยทั่วไปที่มีความสลับซับซ้อน ซึ่งได้ผลดี อีกทั้งวิธีนี้สามารถแสดงผลพื้ที่ได้ออกมาได้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใ้สามารถใช้สามารถเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การแสดงเป็นภาพของการกระจายตัวของความเค้น (Cook และคณะ, 1989), (Knight, 1993), (Logan, 2003) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกที่จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างของเสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่นดังกล่าวต่อไป



รูปที่ 1 เสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่น (Overhanging Traffic Sign)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยจะมีการเน้นหนักไปที่การศึกษาผลของลมที่มีผลต่อป้ายบอกทางจราจรเป็นส่วนใหญ่และจะเป็นลักษณะของการคำนวณทางตัวเลขเพียงเท่านั้น Cali และคณะ (2000) ได้ทำการทดสอบด้วยการสร้างแบบจำลองย่อขนาดจากของจริงลงมา 30 เท่า และทำการทดสอบว่าเมื่อมีรถวิ่งผ่านจะเกิดแรงที่กระทำต่อป้ายบอกทางจราจรอย่างไร โดยทำการเปลี่ยนค่าความเร็วรถ ความยาวของรถ รูปร่างของรถ และความสูงของป้ายบอกทางจราจร พบว่าสาเหตุที่มีผลกระทบต่อภาระที่กระทำกับป้ายบอกทางจราจร คือรูปร่างของยานพาหนะ ซึ่งยานพาหนะที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมยาวจะส่งผลให้เกิดภาระที่กระทำกับป้ายบอกทางจราจรอย่างมาก Andres และคณะ (2003) ได้ทำการคำนวณเพื่อหาขนาดของแรงที่กระทำต่อป้ายบอกทางจราจร ที่เกิดจากการวิ่งผ่านของรถ ซึ่งเป็นการนำเสนอในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าสมการที่ได้สามารถอธิบายพฤติกรรมของแรงที่กระทำได้ คือการเปลี่ยนแปลงความดันของแรงที่กระทำกับป้ายบอกทางจราจรเกิดขึ้นเนื่องมาจากการไหลที่ไม่คงที่เมื่อมีรถวิ่งผ่านไปในแต่ละครั้ง โดยลักษณะของแรงขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่างคือ ขนาดของป้ายบอกทางจราจร พื้นที่หน้าตัดของตัวรถและระยะระหว่างป้ายบอกทางจราจรกับตัวรถ

นอกเหนือจากนี้ จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับรอยต่อของเสา เช่น Osman และคณะ (2001) ได้ทำการออกแบบฐานรองรับเสาและฐานรองรับคานยื่นแบบใหม่โดยใช้ทฤษฎีการโก่งของคาน แผ่นบางและการบิด สร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์เกี่ยวกับแรงโมเมนต์และความเค้นซึ่งค่าที่คำนวณเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของตัวฐานรองรับโครงสร้างของเสาโดยรวมและภาระภายนอก ฐานแบบใหม่นี้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้สลักเกลียวยึด 4 จุด นำสมการทางคณิตศาสตร์ไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณและออกแบบได้เร็วยิ่งขึ้น สามารถหาความเค้นที่สลักเกลียวและขนาดของฐานรองรับ อีกทั้งยังมีการเปรียบเทียบค่าความหนาที่ออกแบบมากับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งได้ค่าความหนาที่ใกล้เคียงกันมาก จึงได้นำเสนอโปรแกรมการคำนวณที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไว้ออกแบบเกี่ยวกับตัวฐานรองรับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษากการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยพิจารณาเฉพาะภาระที่เกิดจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกทางจราจรเท่านั้น

การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดในเสาบอกทางจราจร

ขนาด 1 ใน 6 จากขนาดจริง

การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดในเสาบอกทางจราจรขนาด 1 ใน 6 จากขนาดจริงจะแยกออกเป็น 3 วิธีคือ 1. การทดลอง 2. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และ 3. การคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยมีรายละเอียดในแต่ละวิธีดังนี้

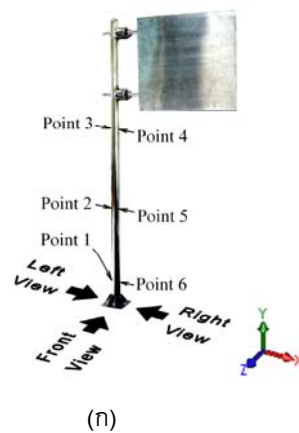
การหาความเค้นและความเครียดจากการทดลอง

1. การสร้างเสาเอกทางจราจร

การสร้างเสาเอกทางจราจรจะกำหนดมาตราส่วนจากของจริง 1 ใน 6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดมาตรฐานของวัสดุที่มีการผลิตอยู่ในปัจจุบัน โดยอ้างอิงแบบการสร้างของจริงจากกรมทางหลวง (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2548) และต้องคำนึงถึงขนาดชิ้นส่วนทั้งหมดของตัวเสาเอกทางจราจรว่าเมื่อลดขนาดลงมาแล้วได้ มาตราส่วนเท่ากันทุกชิ้นส่วน ซึ่งต้องเลือกใช้ Stainless Steel Grad 304 ในการสร้างทั้งหมด

2. วิธีการทดลองเสาเอกทางจราจร

นำเสาเอกทางจราจรที่สร้างมากำหนดจุดที่จะติดตั้ง Strain Gages โดยแยกเป็นสองแนวที่ตรงข้ามกันแนวละ 3 จุดให้แนวที่หนึ่งเป็นมุมมองซ้ายซึ่งมีจุดที่ 1, 2 และ 3 อยู่สูงจากฐานเสา 75, 370 และ 815 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนแนวที่สองเป็นมุมมองขวาซึ่งมีจุดที่ 4, 5 และ 6 อยู่สูงจากฐานเสา 815, 370 และ 75 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 โดยต้องติดตั้งในสภาวะที่เสาไม่เกิดการแอ่นโดยใช้ Strain Gages KYOWA ชนิด KFG-5-120-C1-11L3M2R มี Gage Resistance เท่ากับ 120.0-120.8 Ω ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 24°C, 50 %RH เครื่องมือที่ใช้อ่านค่าความเครียดคือ Strain Indicator Model SM - 60D และ Switching Balance Box SS 24 R หลักการหาค่าความเครียดคือต้องปรับค่าความเครียดให้เป็นศูนย์เมื่อเสาไม่แอ่นและทำการอ่านค่าความเครียดเมื่อเสาดังตรงโดยรับภาระเป็นน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาเอกทางจราจร



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) ตำแหน่งที่ติดตั้ง Strain Gages และ (ข) การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและอ่านค่าความเครียดขณะเสาแอ่น

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยมาตราส่วน 1:6 เช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks ซึ่งขนาดต่างๆของเสาต้องวัดมาจากขนาดของเสาที่ใช้ในการทดลอง การวิเคราะห์ได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Cosmos โดยมีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การ Pre-Processing กำหนดคุณสมบัติวัสดุของโครงสร้างเสาจำลองเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียว (Homogeneous) ชนิดยืดหยุ่นเชิงเส้น โดยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 193 กิกะปาสคาล อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.3 ความแข็งแรงทางแรงดึงเท่ากับ 520 เมกะปาสคาล ความเค้นที่จุดครากเท่ากับ 210 เมกะปาสคาล และความหนาแน่นทางมวลเท่ากับ 8000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดภาระเป็นน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกทางจราจรเท่านั้น เอลิเมนต์ที่เลือกใช้คือ Ten Nodes Tetrahedral ซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลองที่มีขอบโค้งและรูปร่างซับซ้อน จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้คือ 88600, 111000, 132000, 163000 และ 214000 เอลิเมนต์

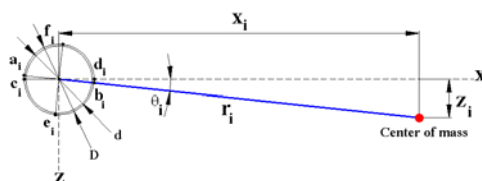
2. การ Solve-Processing วิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาเวกเตอร์ของการขจัดรวมด้วยสมการ (1) และหาความเค้น ความเครียดต่อไป

$$\{D\} = [K]^{-1} \{F\} \quad (1)$$

3. การ Post-Processing โดยค่าความเค้นและความเครียดที่นำเสนอต้องเป็นความเค้นและความเครียดที่ผิวนอกสุดในทิศทางตามความยาวเสาสอดคล้องกับตำแหน่งในการหาค่าความเค้นและความเครียดในการทดลอง

การคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

การคำนวณหาค่าความเค้นและความเครียดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดภาระที่เกิดขึ้นเป็นน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกทางจราจร ความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาบอกทางจราจรจึงเกิดขึ้นจากแรงในแนวแกนเสาซึ่งเป็นแรงกดอัดและเกิดขึ้นจากโมเมนต์ดัด ดังนั้นต้องทำการรวมความเค้นเข้าด้วยกันของแต่ละหน้าตัดเสาในทิศทางตามความยาวเสา เมื่อวัดเทียบจากฐานเสาขึ้นไป น้ำหนักเสาจะมีค่าลดลงตามระยะที่มากขึ้น ต้องทำการหาค่าน้ำหนักโครงสร้างเสาบอกทางจราจรพร้อมกับจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละหน้าตัดออกมา โดยแต่ละหน้าตัดจะมีระยะห่างเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เริ่มต้นที่ระยะจากฐานเสาบอกทางจราจร (พิกัด $x = y = z = 0$) เท่ากับ 75 มิลลิเมตร และสิ้นสุดที่ระยะความสูงของเสาบอกทางจราจรเท่ากับ 815 มิลลิเมตร ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์หามวลของแบบจำลองนั้นคือค่าความหนาแน่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 8000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และทำการหาค่าต่างๆดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 3 ตัวแปรทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์ความเค้นของเสาบอกทางจราจรด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

การกำหนดตัวแปรทางกายภาพที่หน้าตัดใดๆของเสابอกทางจราจรดังรูปที่ 3 มีความหมายต่างๆ ดังนี้

X คือ พิกัดในแนวแกน X

Z คือ พิกัดในแนวแกน Z

X_i คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของโครงสร้างเสابอกทางจราจรในแนวแกน X ที่หน้าตัดใดๆ

Z_i คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของโครงสร้างเสابอกทางจราจรในแนวแกน Z ที่หน้าตัดใดๆ

r_i คือ ความยาวเชิงเส้นที่หน้าตัดใดๆ จากตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของโครงสร้างเสابอกทางจราจรถึงจุดศูนย์กลางของหน้าตัดเสابอกทางจราจร

θ_i คือ มุมของความยาวเชิงเส้น r_i ที่หน้าตัดใดๆ เทียบกับแกน X

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสابอกทางจราจร

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเสابอกทางจราจร

a_i คือ ตำแหน่งใดๆ ที่ผิวนอกสุดของเสابอกทางจราจรในแนวความยาวเชิงเส้น r_i ในทิศทางแกน $-X$

b_i คือ ตำแหน่งใดๆ ที่ผิวนอกสุดของเสابอกทางจราจรในแนวความยาวเชิงเส้น r_i ในทิศทางแกน $+X$

c_i คือ ตำแหน่งใดๆ ที่ผิวนอกสุดของเสابอกทางจราจรในแนวแกน X และอยู่ในแนวที่ 1 (Left View)

d_i คือ ตำแหน่งใดๆ ที่ผิวนอกสุดของเสابอกทางจราจรในแนวแกน X และอยู่ในแนวที่ 2 (Right View)

e_i และ f_i คือ ตำแหน่งใดๆ ที่ผิวนอกสุดของเสابอกทางจราจร ทั้งสองตำแหน่งนี้มีแนวทำมุม θ_i เทียบกับ แกน Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

และกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของเสาเท่ากับ A และโมเมนต์ที่สองของพื้นที่รอบแกน e_i, f_i เท่ากับ I ในกรณีที่พิจารณาแรงในแนวแกนเท่านั้นจะทำให้เกิดความเค้นอัดในเสาตามความยาวเสา ดังนั้นจะได้

$$\sigma_1 = -\frac{P}{A} \quad (2)$$

และในกรณีที่พิจารณาโมเมนต์เท่านั้นก็จะทำให้เกิดความเค้นในทิศทางตามแนวยาวของเสาเช่นกัน จะได้

$$\sigma_2 = \pm \frac{M C}{I} \quad (3)$$

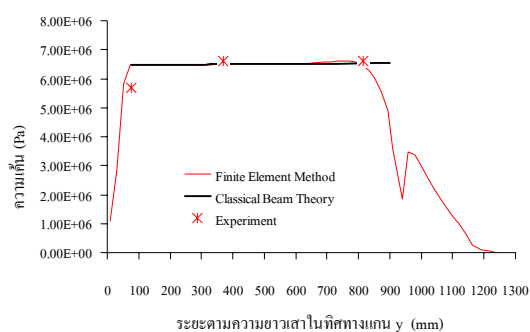
$$\text{ดังนั้นความเค้นรวมที่เกิดขึ้นในเสาเท่ากับ} \quad \sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{M C}{I} \quad (4)$$

เมื่อโมเมนต์ที่สองของพื้นที่เท่ากับ $\pi(D^4 - d^4)/64$ และพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ $\pi(D^2 - d^2)/4$

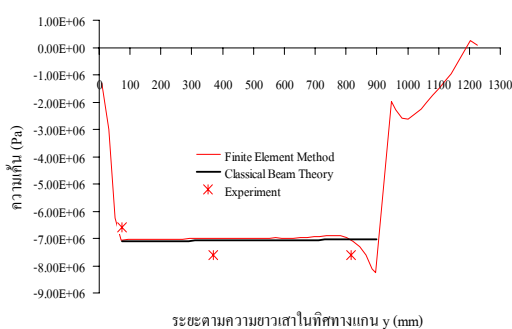
ผลการเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดจากวิธีต่างๆ

ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดนี้มีจุดประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cosmos โดยนำผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เมื่อผลการวิเคราะห์ทั้งสามวิธีให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจะนำวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วย SolidWorks และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cosmos ไปใช้ในการสร้างและวิเคราะห์กับเสาอกทางจราจรที่มีขนาดจริงตามแบบของกรมทางหลวงต่อไปโดยมีผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4-5 และมีรายละเอียดดังนี้

- 1) จากรูปที่ 4 และ 5 ความเค้นและความเครียดที่หาได้ในแต่ละแนวโดยใช้วิธีการที่ต่างกันดังกล่าว ข้างต้นให้ผลที่สอดคล้องกันอย่างมากในช่วงความยาวเสาประมาณ 75-800 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับสมการทางคณิตศาสตร์ และการทดลอง ให้ผลที่แตกต่างกัน 1 % และ 14 % ตามลำดับ
- 2) จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายการกระจายความเค้นและให้ผลที่ถูกต้องในช่วงระยะความยาว 75-800 มิลลิเมตร
- 3) ที่ระยะความยาวเสา 0-75 มิลลิเมตรและ 815-1230 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นไม่สามารถอธิบายการกระจายความเค้นของเสาอกทางจราจรได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปัญหามาจาก End Effect ทั้งสองด้านของเสาตามหลักการของ Saint - Venant ดังนั้นการหาความเค้นในทุกส่วนของเสาที่ซับซ้อนนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

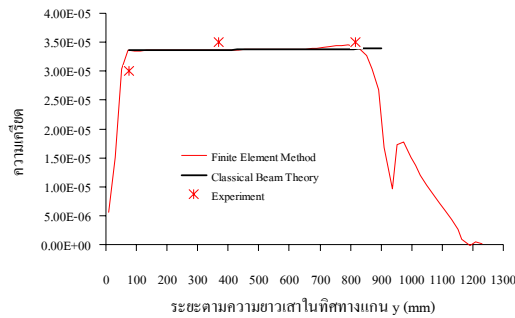


(ก)

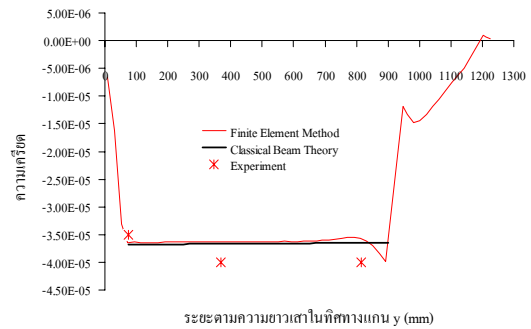


(ข)

รูปที่ 4 เปรียบเทียบการกระจายความเค้นตลอดความยาวเสาในแนวแกน y (ก) แนวที่หนึ่ง และ (ข) แนวที่สอง



(ก)

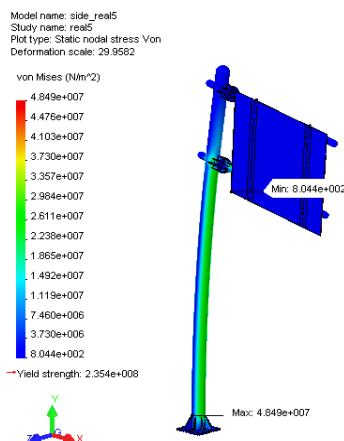


(ข)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบการกระจายความเค้นตลอดความยาวเสาในแนวแกน y (ก) แนวที่หนึ่ง และ (ข) แนวที่สอง

การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดในเสابอกทางจราจรขนาดจริง

ในการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดของเสابอกทางจราจรขนาดจริงจะเริ่มจากการสร้างเสابอกทางจราจรด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยใช้ขนาดของเสาเป็นขนาดจริงตามแบบของกรมทางหลวงและกำหนดค่าคุณสมบัติทางกลตามชนิดของวัสดุที่นำมาสร้างเสابอกทางจราจรจริงคือวัสดุ JIS G3444 Grad STK41 ซึ่งเป็นวัสดุชนิดยัดหยุ่นเชิงเส้นและมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกันในทุกทิศทาง โดยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 200 กิกะปาสคาล อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.3 ความแข็งแรงทางแรงดึงเท่ากับ 402 เมกะปาสคาล ความเค้นที่จุดครากเท่ากับ 235.4 เมกะปาสคาล และความหนาแน่นทางมวลเท่ากับ 7850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยกำหนดภาระเป็นแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสابอกทางจราจรเท่านั้น เอลิเมนต์ที่เลือกใช้คือ Ten Nodes Tetrahedral และมีจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้คือ 116000, 168000, และ 252000 เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแสดงภาพการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเสابอกทางจราจรได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งการเกิดความเค้นสูงสุดและการกระจายความเค้นในเสาอกทางจราจรขนาดจริง

จากการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีพลังงานการเสียรูปสูงสุด (Distortion Energy Criterion) พบว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดนั้นเกิดขึ้นที่โคนเสาอกทางจราจร โดยมีระยะจากฐานเสาวัดขึ้นไปตามความยาวเสาหรือตามแกน Y เท่ากับ 278 มิลลิเมตร (เสานาจริง) มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 48 MPa ซึ่งเป็นตำแหน่งการเกิดความเค้นที่ไม่สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ในส่วนของคานยื่นที่ต่อจากเสาอกทางจราจรเพื่อยึดแผ่นป้ายบอกทางจราจรมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 28 MPa ซึ่งสามารถนำค่าความเค้นดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความปลอดภัยของเสาอกทางจราจรต่อไปได้

สรุป

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สองวิธีคือ วิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ และ วิธีการทดสอบจริงกับเสาอกทางจราจรแบบแขวนยื่นจำลองที่มีขนาด 1 ใน 6 ของขนาดเสาอกทางจราจรจริง โดยที่ผลการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าความสอดคล้องกัน โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1% จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์นั้น สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเสาอกทางจราจรแบบแขวนยื่นนี้ได้

ผลการวิเคราะห์เสาอกทางจราจรแบบแขวนยื่นขนาดจริงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้เลือกและกำหนดขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 30 มิลลิเมตร และมีจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เท่ากับ 116,000 เอลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในเสาอกทางจราจรเมื่อใช้ทฤษฎีพลังงานการเสียรูปสูงสุดมีค่าเท่ากับ 48 MPa ที่บริเวณโคนของเสาอกทางจราจรดังรูปที่ 6 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์จะพบว่ามีความปลอดภัยอยู่ที่ประมาณ 5 แต่ถ้าพิจารณาชิ้นส่วนหลักอื่นๆ จะพบว่าค่า

ความปลอดภัยในบางชิ้นส่วนมีค่าสูงถึง 9 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้นี้พิจารณาเฉพาะภาระที่เกิดจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกทางจราจรเท่านั้น จึงควรทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาภาระที่เกิดในลักษณะอื่น ๆ ด้วยเช่น ภาระจากแรงลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะ (Vehicle-Induced Gusts Effect) และภาระที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของลมโดยทั่วไป (Wind Load Effect) ซึ่งภาระทั้งหมดเมื่อรวมกันจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนและหากมีความรุนแรงมากพอรวมกับการใช้งานที่ยาวนานอาจทำให้เกิดการล้า (Fatigue) และเสียหายในที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. 2548. **มาตรฐานความปลอดภัยการจราจรและขนส่ง** [ออนไลน์]. จาก <http://www.otp.go.th>
- A.D.Quinn, C.J.Baker, N.G.Wright. 2001. **Wind and Vehicle induced Forces on Flat Plates-Part 2: Vehicle Induced Force**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Volume 89, Issue 9 (July 2001): pp 831- 847.
- A.Sanz Andres, J. Santiago Prowald, C. Baker and A Quinn. 2003. **Vehicle induced loads on traffic sign panels**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Volume91, Issue7 (June 2003): pp 925 - 942.
- Charles E. Knight. 1993. **The Finite Element Method in Mechanical Design**. Boston: PWS-KENT Publishing Company.
- Daryl L. Logan. 2003. **A First Course in the Finite Element Method Using Algor**. 2nd Edition. United State: Books/Cole.
- Osman Hag Elsafi, Sreenivas Alampalli and Frank Owens. 2001. **Computer-aided implementation of a new procedure for design of end-plates and base-plates for traffic support structures**. Journal of Engineering Structures. Volume23, Issue11 (November 2001): pp 1503 - 1511.
- Philip M. Cali, Eugene E. Covert. 2000. **Experimental measurements of the loads induced on an overhead highway sign structure by vehicle-induced gusts**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Volume84, Issue1 (January 2000): pp 87 - 100.
- Robert D.Cook, David S. Malkus and Michael E. Plesha. 1989. **Concept and applications of Finite Element Analysis**. 3rd Edition. New York: John Wiley & Son.