ME-NETT 25
The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

AMM86

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

# การวิเคราะห์การเสริมคานโครงสร้างเครนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

# Crane structure add beam analysis by finite element method

ชัยยันต์ ใจบุญมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2975-6999, โทรสาร: 0-2979-6728
E-mail: chaiyun_engineer@hotmail.co.th

***บทคัดย่อ***

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความเค้นและระยะกระจัดของโครงสร้างเครน (Ship-to-Shore Gantry Crane) หลังจากเสริมคานขวาง โดยวิธีจำลองแบบ และวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้างหลักทำด้วยเหล็กรูปพรรณรีดร้อน (SM 490) มีขนาดมิติโครงสร้างเท่ากับ 30 x 75 x 42 เมตร ด้านบนเสริมคานขวางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 711.2 มิลลิเมตร หนา 8.8 มิลลิเมตร โครงสร้างเครนแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะ คือลักษณะโครงสร้างทำงานปกติ และโครงสร้างหยุดการทำงาน โครงสร้างทำงานปกติพิจารณาสภาวะภาระหยุดนิ่ง 7 ตำแหน่ง ภาระกระทำ 82.7 เมตริกตัน แบบไม่มีความเร็วลม และมีความเร็วลม 16 m/s ลักษณะโครงสร้างหยุดการทำงานแบบที่ 1 พิจารณาสภาวะภาระหยุดนิ่ง 7 ตำแหน่ง ค้างภาระไว้ มีความเร็วลม 35 m/s และลักษณะโครงสร้างหยุดการทำงานแบบที่ 2 ไม่มีภาระกระทำ มีความเร็วลม 48 m/s ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทำงานปกติจากไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ตัวดึง Boom (Forestay) เท่ากับ 239.05 MPa ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 ลักษณะยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น ส่วนความเค้นและระยะกระจัดที่เกิดขึ้นของคานขวางอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ และผลการเสริมคานขวางทำให้ลดการเสียรูปทรงของโครงสร้างได้

***คำหลัก***: โครงสร้างเครน, ปั่นจั่นยกตู้สินค้า, ความเค้น, ระยะกระจัด

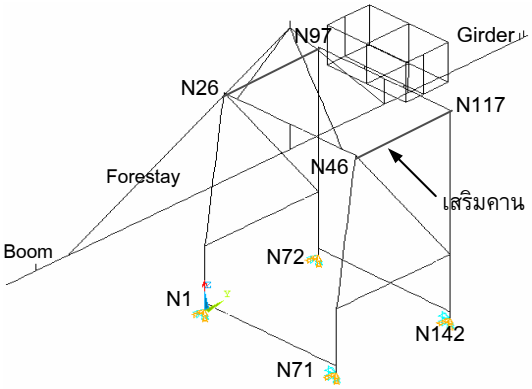
***Abstract***

The objective of this study was to analyze the stresses and displacement in a ship-to-shoe gantry crane after beam addition by using a finite element method. The crane structure was made of steel (SM490) and sized of 30x75x42-meter the crane beam addition and sized 711.2 millimeter of diameter 8.8 of thickness. The crane structure was analyzed in two ways called the in-service and out-off-service structures. The in-service structure was 82.7 metric toness of loaded in 7 positions with wind velocity at 16 m/s acting on its structure. The out-of-service structure was divided as in CASE-1 and CASE-2. In CASE-1 the structure was loaded in 7 positions with wind velocity at 35 m/s. In CASE-2 the loads was taken off and the boom of the crane was hold-up with wind velocity at 48 m/s. The results on the in-service structure shown that the maximum stress was 239.05 MPa on the forestay. The results on the out-off-service structure also shown that the linearity of the stress-stain curve was not violated on the basement of the crane. The results of beam addition can decrease shape of the structure.

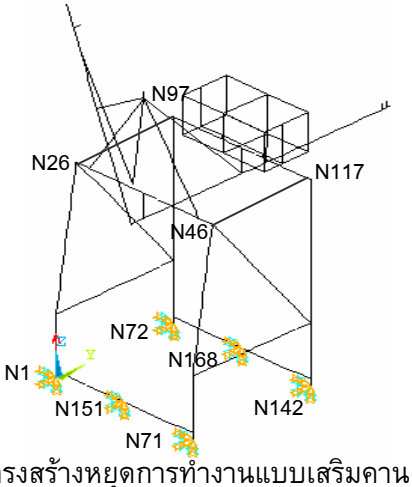
***Keywords****:* Crane Structural, ship-to-shoe gantry crane, Stress, Displacement.

## 1. บทนำ

การออกแบบโครงสร้างที่รับภาระภายใต้การทำงานปกติกรณีไม่มีแรงลมปะทะ กรณีมีแรงลมปะทะที่ความเร็วลม 16 m/s และหยุดการทำงานกรณีมีแรงลมปะทะที่ความเร็วลม 35 m/s ดังรูปที่ 1 หยุดการทำงานกรณีมีความเร็วลม 48 m/s [1] ดังรูปที่ 2 ผู้ออกแบบควรออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก โดยเฉพาะโครงสร้างที่ทำงานปกติรับภาระสูงสุด และมีแรงลมปะทะที่โครงสร้าง ต้องออกแบบโดยคำนึงถึงการวิบัติของโครงสร้าง และพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากภาระสูงสุด รวมถึงระยะกระจัดของโครงสร้างให้อยู่ในเงื่อนไขของผู้ออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการวิบัติของโครงสร้าง และที่สำคัญผู้ออกแบบต้องเข้าใจการเกิดพฤติกรรมของโครงสร้าง ในขณะที่รับภาระสูงสุดได้เป็นอย่างดี ฉะนั้นในการออกแบบโครงสร้างที่ไม่สามารถทดสอบหาพฤติกรรมของโครงสร้างได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องสร้างจำลองแบบและใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์หาคำตอบ




**รูปที่ 1** โครงสร้างทำงานปกติแบบเสริมคาน



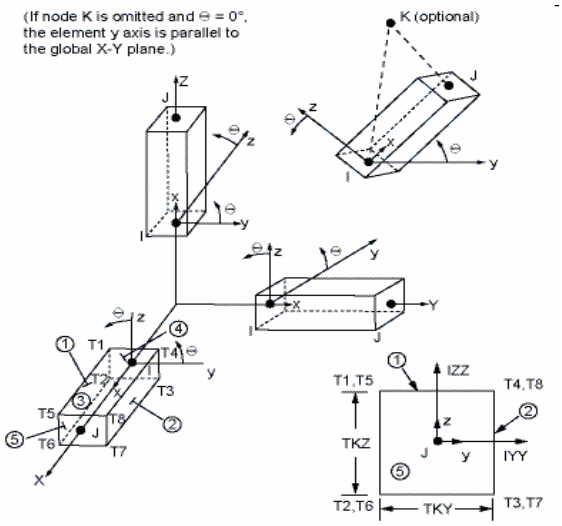

**รูปที่ 2** โครงสร้างหยุดการทำงานแบบเสริมคาน

งานวิจัยนี้ออกแบบสร้างจำลองแบบโครงสร้าง ที่เหมือนจริง เป็นสามมิติชนิดเอลิเมนต์ BEAM4 โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการสร้างจำลองแบบดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 วิเคราะห์ความเค้นในโครงสร้างและระยะกระจัดโดยรวมทั้งระบบของโครงสร้างเพื่อตรวจสอบการวิบัติ เนื่องจากความเค้นเกินจุดครากของวัสดุ

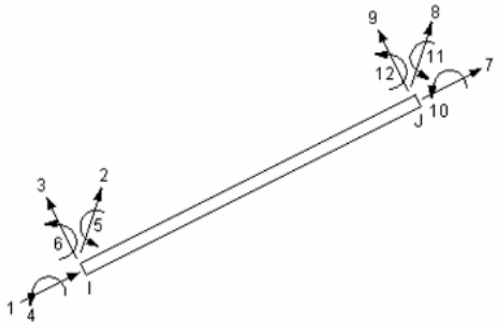
## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยการวิเคราะห์ความเค้นและระยะกระจัดของโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เลือกชนิดเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์เป็นแบบ Beam4

### 2.1 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ชนิดเอลิเมนต์แบบ BEAM4




**รูปที่ 3** ชนิดเอลิเมนต์แบบ BEAM4



**รูปที่ 4** ลำดับขั้นอิสระชนิดเอลิเมนต์แบบ BEAM4

ดังนั้นได้เมตริกความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์เป็น [3]

$$[k_e]\{d_e\} = \{F_e\} \quad (1)$$

และระบบรวมเป็น

$$[k]\{d\} = \{F\} \quad (2)$$

โดยที่ [k] คือ เมตริกของความแข็งเกร็ง, {d} คือ เมตริกของระยะกระจัด (m), {F} คือเมตริกของแรงกระทำ (N)

**2.2 ความเค้นของเอลิเมนต์ชนิด BEAM4**

ความเค้นตรง

$$\sigma_i^{dir} = F_{X,i} / A \quad (3)$$

โดยที่ $\sigma_i^{dir}$ คือความเค้นตรง (N/m$^2$)

$F_{x,i}$ คือแรงในแนวแกน (N)

$A$ คือพื้นที่ภาคตัด (m$^2$)

ความเค้นดัด

$$\sigma_{Z,i}^{bnd} = M_{y,i} t_z / 2I_y \quad (4)$$

$$\sigma_{Y,i}^{bnd} = M_{Z,i} t_y / 2I_Z \quad (5)$$

โดยที่

$\sigma_{Z,i}^{bnd}$ คือความเค้นดัดบนเอลิเมนต์ Z+ ของคานที่โหนด i (N/m$^2$)

$\sigma_{y,i}^{bnd}$ คือความเค้นดัดบนเอลิเมนต์ Y- ของคานที่โหนด i (N/m$^2$)

$M_y,i$ คือโมเมนต์รอบแกน y ที่โหนด i

$M_z,i$ คือโมเมนต์รอบแกน z ที่โหนด i

$t_z$ คือความหนาของคานในแนวแกน z

$t_y$ คือความหนาของคานในแนวแกน y

$I$ คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ภาคตัดคาน

ความเค้นสูงสุดและความเค้นต่ำสุดเป็น

$$\sigma_i^{\max} = \sigma_i^{dir} + \left|\sigma_{z,i}^{bnd}\right| + \left|\sigma_{y,i}^{bnd}\right| \quad (6)$$

$$\sigma_i^{\min} = \sigma_i^{dir} - \left|\sigma_{z,i}^{bnd}\right| - \left|\sigma_{y,i}^{bnd}\right| \quad (7)$$

**2.3 แรงลมปะทะ**

$$F = Aq \quad (8)$$

โดยที่ $F$ คือแรงลมปะทะ (N)

$A$ คือพื้นที่หน้าตัดโครงสร้างที่ลมปะทะ (m$^2$)

$q$ คือ Wind Pressure = $0.612V^2$, $N/m^2$

$V$ คือความเร็วลม (m/s)

**2.4 ระยะกระจัดของโครงสร้างที่ยอมให้ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD**

ระยะกระจัดตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD งานวิจัยนี้ระยะกระจัดสูงสุดที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยกว่า L/180 โดยที่ L เป็นช่วงความยาวของคาน (mm)

## 3. การวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะ

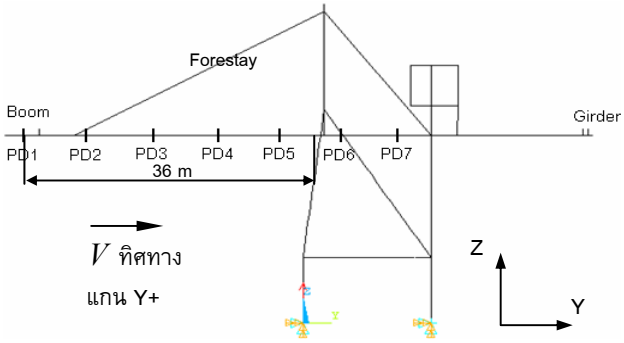
**3.1 ลักษณะโครงสร้างทำงานปกติ (In-Service: BD1)**

กรณีไม่มีแรงลมปะทะ และกรณีมีแรงลมปะทะ ที่ความเร็วลม 16 m/s ทิศทางแกน X+ และทิศทางแกน Y+ วิเคราะห์ภาระกระทำ 7 ตำแหน่งคือ Boom ถึง Girder ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

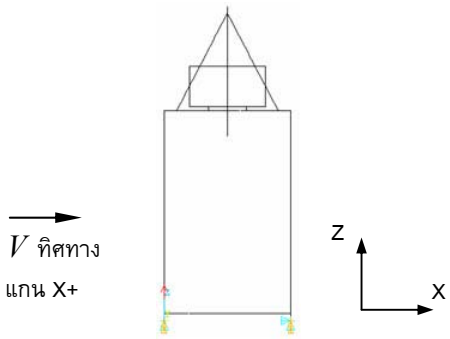
**รูปที่ 5** แสดงภาพถ่ายโครงสร้างเครน

ตารางที่ 1 แสดงภาระที่กระทำต่อโครงสร้างเครน

| สัญลักษณ์ | ตำแหน่งวิเคราะห์ | ภาระกระทำ | |
|---|---|---|---|
| | | เมตริกตัน | นิวตัน |
| Trolley load | PD6 | 29.7 | 291 357 |
| Total Lifted Load | - | 53 | 519 930 |
| Total Load | PD1-PD7 | 82.7 | 811 287 |



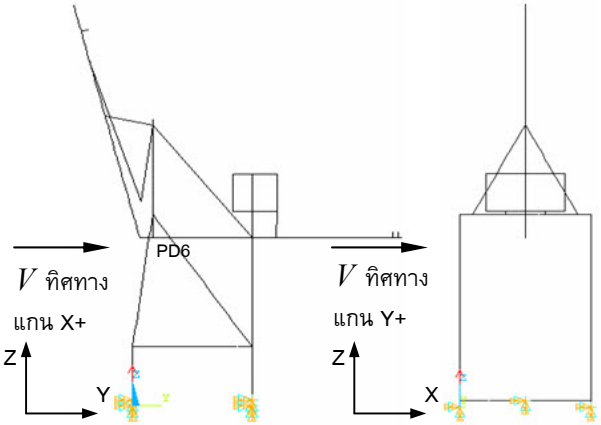

**รูปที่ 6** ตำแหน่งภาระที่วิเคราะห์และความเร็วลมทิศทาง Y+




**รูปที่ 7** ความเร็วลมทิศทาง X+

**3.2 ลักษณะโครงสร้างหยุดการทำงานมี 2 กรณี**

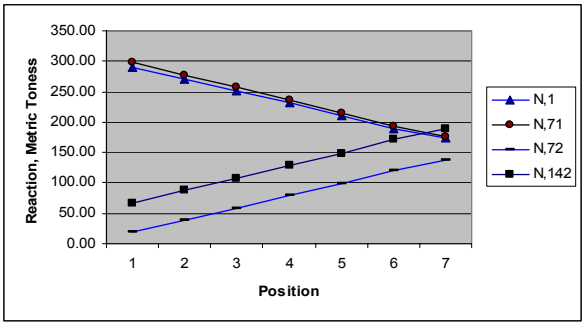
กรณี CASE-1 (Stowed Wind: BD2) ค้างภาระ Total Load ไว้ วิเคราะห์ 7 ตำแหน่งภาระ มีแรงลมปะทะที่ความเร็วลม 35 m/s ทิศทางแกน X+, Y+ ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 กรณี CASE-2 (Out-off-Service: BU) วิเคราะห์ภาระ Trolley Load ตำแหน่งที่ 6 มีแรงลมปะทะที่ความเร็วลม 48 m/s ทิศทางแกน X+, Y+ ดังรูปที่ 8




**รูปที่ 8** โครงสร้างหยุดการทำงานกรณี CASE-2

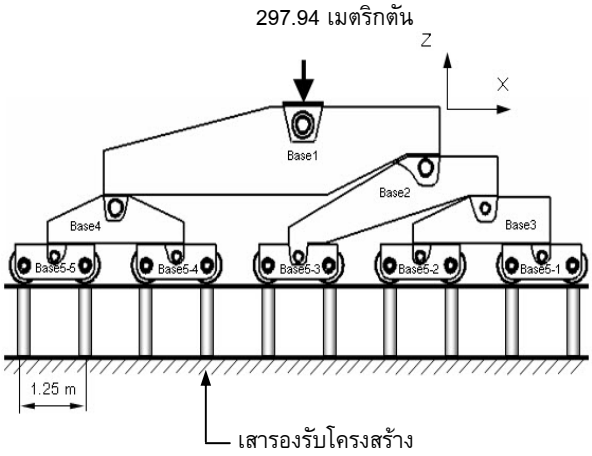
**4. ผลการวิเคราะห์จากไฟไนต์เอลิเมนต์**

ผลการวิเคราะห์ทุกกรณีจะแสดงค่าสูงสุดที่มีผลต่อโครงสร้างคือ แรงปฏิกิริยาสูงสุด ความเค้นสูงสุด และระยะกระจัดสูงสุดตามลำดับ

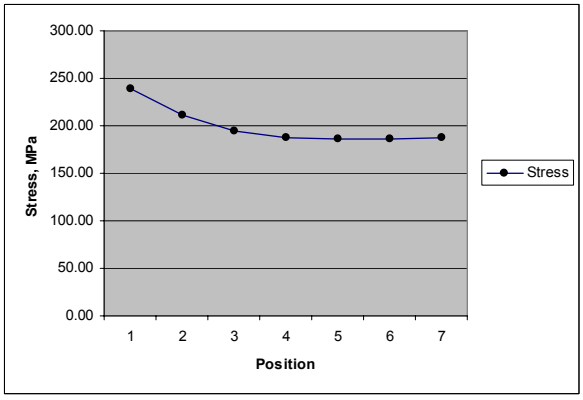



**รูปที่ 9** ผลแรงปฏิกิริยาสูงสุด

แรงปฏิกิริยาสูงสุดเท่ากับ 297.94 เมตริกตัน เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง N71(Right Sea Side Corner) ลักษณะหยุดการทำงานกรณี CASE-1 ความเร็วลม 35 m/s ทิศทางแกน X+ ตำแหน่งภาระกระทำที่ 1(PD1) และจากเงื่อนไขของผู้ออกแบบกำหนดเสารองรับโครงสร้างไว้ให้รับภาระห้ามเกิน 30 เมตริกตันต่อเสา จากผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาสูงสุดเท่ากับ 297.94 เมตริกตัน ฉะนั้นเสารองรับจะรับแรงเท่ากับ 297.94 เมตริกตัน/10 = 29.794 เมตริกตัน ดังรูปที่ 10 ในทางปฏิบัติแล้วแรงปฏิกิริยาจะไม่มากที่จุดใดจุดหนึ่ง เพราะในลักษณะหยุดการทำงานกรณี CASE-1 (Stowed Wind: BD2) จะไม่ค้างภาระไว้ที่ตำแหน่งปลาย Boom จะขยับภาระให้อยู่ระหว่างตำแหน่งกลาง Boom เพื่อการกระจายภาระให้กับเสาของโครงสร้างและเสารองรับโครงสร้าง จากนั้นค่อยปลดภาระ (Total Lifted Load) และเลื่อน Trolley Load มายังตำแหน่งที่ 6(PD6)

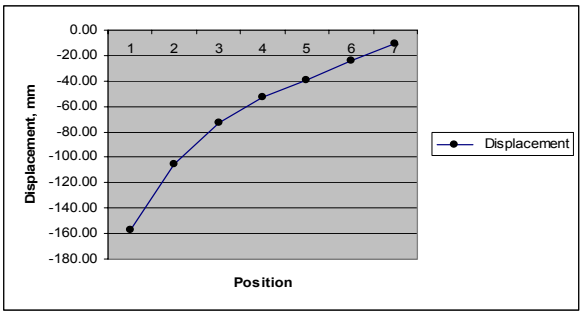



**รูปที่ 10** เสารองรับโครงสร้าง



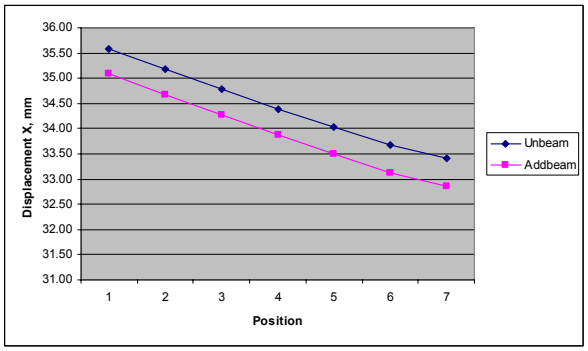

**รูปที่ 11** ผลความเค้นสูงสุด

ความเค้นสูงสุดเท่ากับ 239.05 MPa เกิดขึ้นที่ตัวดึง Boom (Forestay) ลักษณะทำงานปกติ ตำแหน่งภาระกระทำที่ 1(PD1) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความต้านแรงดึงครากของวัสดุ $\sigma_y$ = 325 MPa ปลอดภัยจากการวิบัติเนื่องจากความเค้นเกินจุดครากตัวของวัสดุ

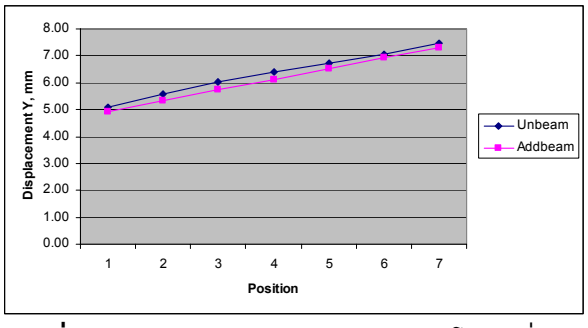



**รูปที่ 12** ผลระยะกระจัดสูงสุด

ระยะกระจัดสูงสุดเท่ากับ 157.02 mm เกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลาย Boom (PD1) ลักษณะหยุดการทำงานกรณี CASE-1 (Stowed Wind: BD2) ทิศทางแกน X+ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า L/180 = 36000/180 = 200 mm, และกรณี CASE-2(Out-off-Service: BU) ระยะกระจัดสูงสุดตำแหน่งปลาย Boom ทิศทางแกน X+, Y+ เท่ากับ 79.04 mm และ 42.13 mm ตามลำดับ




**รูปที่ 13** ระยะกระจัดทิศทาง X ตำแหน่งโหนดที่ 46




**รูปที่ 14** ระยะกระจัดทิศทาง Y ตำแหน่งโหนดที่ 26

รูปที่ 13 แสดงระยะกระจัดในแนวแกน X แบบไม่มีคานและเสริมคาน รูปที่ 14 แสดงระยะกระจัดในแนวแกน Y แบบไม่มีคานและเสริมคานลักษณะหยุดการทำงานกรณี CASE-1 (Stowed Wind: BD2)

## 5. สรุปผล

5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะทำงานปกติและลักษณะหยุดการทำงานกรณี CASE-1 ภาระกระทำที่ PD1-PD7 ความเค้นสูงสุดเท่ากับ 239.05 MPa เกิดขึ้นที่ตัวดึง Boom ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความต้านแรงดึงครากของวัสดุ $\sigma_y$ = 325 MPa ปลอดภัยจากการวิบัติเนื่องจากความเค้นเกินจุดครากตัวของวัสดุ

5.2 ระยะกระจัดสูงสุดของโครงสร้างเท่ากับ 157.02 mm เกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลาย Boom ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า L/180 = 36000/180 = 200 mm ค่าระยะกระจัดที่ยอมให้ตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD

5.3 การเสริมคานขวางทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงขึ้นและลดการเสียรูปทรงของโครงสร้างได้

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยปทุมธานีที่เอื้อทุนและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

**เอกสารอ้างอิง**

[1] Francesco, Zaupa. Main Structure Calculation and Safety Checks Revision 1. (Paolo De Nicola-Paceco Portainer Cranes for Port Authority of Thailand).Italy : Via Borgo Vicenza, 2006.

[2] Federation Europeenne De La Manutention Section 1. Rules for the Design of Hoisting Appliances. (Classification and Loading on Structures and Mechanisms). 3rd ed. French and German : Technical Committee of the Section 1 of the F.E.M., 1987.

[3] Saeed Moaveni.(1999). Finite element analysis theory and application with ANSYS, Prentice-Hall.

[4] วินิต ช่อวิเชียร และ วรนิติ ช่อวิเชียร (2550). การออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน AISC/ASD/LRFD, กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย