

ชั้นลอยเอนกประสงค์

MUTTI PURPOSE MEZZANINE FLOOR

นางสาวกณทิมา	มินคร
นายเกรียงไกร	เนตรไรสง
นายจตุรงค์	หนูในน้ำ
นายจิรศักดิ์	จันตบุตร
นายชัชวาล	เช็นดิยะนนต์
นายปัญญา	แจ่มเจริญ
นายภักดี	มะลิแย้ม
นายรุ่งโรจน์	รุ่งรต
นายอัครพงษ์	พานทอง

โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

18 มิ.ย. 2544

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ชั้นลอยเอนกประสงค์

นางสาวกณทิมา มินคร

นายเกรียงไกร เนตรไธสง

นายจตุรงค์ หนูในน้ำ

นายจิรศักดิ์ จันตบุตร

นายชัชวาล เชนดิยะนันต์

นายปัญญา แจ่มเจริญ

นายภักดี มะลิแย้ม

นายรุ่งโรจน์ รุ่งรศ

นายอัศวพงษ์ พานทอง

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์บัญชา คังตระกูล

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์บัญชา คังตระกูล)

กรรมการ

(อาจารย์วิชิต บัวแก้ว)

กรรมการ

(อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

ชั้นลอยเอนกประสงค์
ปีการศึกษา 2543

โดย

นางสาวกณทิมา มินคร
นายเกรียงไกร เนตรโธสง
นายจตุรงค์ หนูในน้ำ
นายจิรศักดิ์ จันตบุตร
นายชัชวาล เชนดิยะนันต์
นายปัญญา แจ่มเจริญ
นายภักดี มะลิแย้ม
นายรุ่งโรจน์ รุ่งรส
นายอัศรพงษ์ พานทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ บัญชา คังตระกูล

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้ เป็นการสร้างชั้นลอยเอนกประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่การใช้
สอยในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ โดยสร้างเป็นชั้นลอยโครงสร้างเหล็กมีเนื้อที่ใช้สอย 36 ตาราง
เมตร สูงประมาณ 4 เมตร จากการคำนวณออกแบบโดยใช้ตัวประกอบความปลอดภัยไม่น้อย
กว่า 2 และภาระจร 500 kg/m^2 ชั้นลอยสร้างขึ้นโดยเสาเป็น H-Beam ขนาด H 100 x 100 x 6
x 8, main beam เป็น W 150 x 100 x 6 x 9 Auxiliary beam เป็น channel ขนาด 100 x 50 x 5
x 7.5 Hand rail ทำจากเหล็กท่อขนาด $\phi 60.5 \times 2.3t$ พื้นเป็นไม้อัดขนาดหนา 20 mm

MUTTI PURPOSE MEZZANINE FLOOR

ACADEMIC YEAR 2000

By

Miss. Kantima Menakorn

Mr. Kriangkrai Netthaisong

Mr. Jaturong Noonainam

Mr. Jeerasak Jantabut

Mr. Chatchawan Zentiyanon

Mr. Panya Chaemcharoen

Mr. Bhakdee Maliyham

Mr. Rungrog Rungros

Mr. Akkraphong Phanthong

Project Report Advisor

Mr. Bancha Kongtragool

ABSTRACT

This engineering project is a multipurpose mezzanine for increasing area for using in the test cell for Automotive engineering by building mezzanine floor about 36 meters and about 4 meters high. From calculating the design by using safety factors not less twelve and load 500 kg/m^2 . The mezzanine floor build by using the host H-Beam size $100 \times 100 \times 6 \times 8$, main beam is W $150 \times 100 \times 6 \times 9$, Auxiliary beam is channel size $100 \times 50 \times 5 \times 7.5$. Hand rail made from steel tube size $\phi 60.5 \times 2.3t$. The floor is ply wood 20 mm Thick.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในภาคทฤษฎี ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนทำให้โครงการ
ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรม
เครื่องกลที่ได้เอื้อเฟื้อ สถานที่ เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างจนงานสำเร็จลง
ไปได้ด้วยดี

คุณความดีอันเกิดจากการจัดทำโครงการนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา
และ ครูอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำมาตั้งแต่ต้นจนกระทั่งทำให้
คณะผู้จัดทำมีโอกาสจัดทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	2
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิศวกรรมศาสตร์	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
คาน	3
แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด	3
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอก , แรงเฉือนและ โมเมนต์	5
ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแรงเฉือนและ โมเมนต์	7
ความเค้นในคาน	8
การเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วนที่สมมาตรภายใต้ภาระดัดอย่างเดียว	9
ความเค้นและการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงยึดหยุ่น	12
ความชันในระยะยุบตัวในแนวคิ่งของคาน	15
การแอ่นของคาน	17
การหาระยะแอ่นโดยการอินทิเกรตโดยตรง	17
ชนิดของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนคาน	18
เสา	20
ค่าความปลอดภัย	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ (ต่อ)	หน้า
3. การคำนวณและการออกแบบ	23
ส่วนของคานชอย	24
ส่วนของคานหลัก	27
ส่วนของเสา	32
4. วิธีการดำเนินงานและลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง	34
5. สรุปผลการทำโครงการและข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวกที่ 1 ตารางที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ	44
ภาคผนวกที่ 2 รูปแสดงแบบโครงสร้างชั้นลอยเอนกประสงค์	55
ประวัติผู้จัดทำ	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. สูตรที่ใช้ในการคำนวณของคาน	17
ตารางภาคผนวกที่	
1. ค่าความปลอดภัย	44
2. ค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด	44
3. Channel	45
4. H – Beam	46
5. Wide Flange Shapes	47
6. ชนิดของคุณสมบัติในการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ในงานวิศวกรรม	48
7. ส่วนผสมของลวดเชื่อมเมื่อเป็นเนื้อโลหะเชื่อมของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม	49
8. คุณสมบัติทางแรงดึงของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม	49
9. รหัสลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ประเภทแรงดึง	51
10. รหัสตัวเลขสุดท้ายของลวดไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ประเภทแรงดึง	52
11. รหัสตัวอักษรต่อท้ายรหัสตัวเลข	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รูปแสดงพื้นที่ของการทำโครงการ	1
2.1 รูปแสดงสภาพสมมูลของส่วนตัดทางด้านซ้ายและขวาของคาน	4
2.2 รูปส่วนตัดของคานในช่วงที่ dx	6
2.3 รูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอก , แรงเฉือนและ โมเมนต์	7
2.4 รูปหน้าตัดของคานรับแรงคู่ควบ	8
2.5 รูปแสดงลักษณะของคานภายใต้โมเมนต์ค้ดอย่างเดียว	9
2.6 รูปการผิดรูปภายใต้ภาระค้ด	10
2.7 รูปการกระจายความเค้น	13
2.8 รูปสัญลักษณ์มาตรฐานของแรงกระทำ	16
2.9 รูปแรงที่กระทำเป็นจุด	18
2.10 รูปแรงกระทำบนคานแบบกระจาย	19
2.11 รูปแรงกระทำแบบกระจายมีจุดรองรับที่ปลายคานทั้งสองข้าง	19
2.12 รูปการยึดปลายเสาวิธีต่างๆ	21
3.1 รูปแปลนโครงการ	24
3.2 รูปส่วนของคานชอย	25
3.3 รูปส่วนของคานหลัก (1)	27
3.4 รูปส่วนของคานหลัก (2)	29
3.5 คานเสริมเพลาท	31
3.6 ส่วนของเสา(1)	32
3.7 ส่วนของเสา(2)	33
4.1 รูปการค้ดเสาและการเจียรให้ได้ตามขนาดที่กำหนด	35
4.2 รูปการค้ดแผ่นเพลาทตามขนาดที่กำหนด	36
4.3 รูปทำการตั้งเสา	36
4.4 รูปการนำคานชอยวางพาดบนคานหลัก	37
4.5 รูปการเชื่อมราวแล้วนำขึ้นไปประกอบกับชั้นลอยเอนกประสงค์	37
4.6 รูปการเชื่อมบันไดแล้วนำไปประกอบเข้ากับชั้นลอยเอนกประสงค์	38
4.7 รูปทำการปูไม้ฉลบบนคานชอยเพื่อทำเป็นพื้นชั้นลอยเอนกประสงค์	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ (ต่อ)

หน้า

4.8 รูปการทาสีโดยรอบ	39
4.9 รูปสัญลักษณ์การถอดประกอบ	40
4.10 รูปชั้นลอยเอนกประสงค์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว	40



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	ft ²
C	ระยะสูงสุดของ y	mm
E	โมดูลัสความยืดหยุ่น	GPa
F	แรงกระทำ	kg
F.B.D	แผนภาพแรงอิสระ	-
I	โมเมนต์ความเฉื่อย	m ⁴
k	รัศมีไจเรชั่น	cm
L	ความยาวของคาน	m
Le	ความยาวสมมูล	m
M	โมเมนต์คด	kg - m
M _r	โมเมนต์ด้าน	kg - m
N	ค่าความปลอดภัย	-
r	รัศมีไจเรชั่นของพื้นที่	cm
S	โมดูลัสหน้าตัดยืดหยุ่น	cm ⁴
V	แรงเฉือนในคาน	kN
V _r	แรงเฉือนด้าน	kN
w	แรงกระจายแบบสม่ำเสมอ	kN - m
x	ระยะทางตามแกน x	cm
y	ระยะทางตามแกน y	cm
z	ระยะทางตามแกน z	cm
σ	ความเค้น	Pa
σ_m	ค่าสูงสุดของความเค้น	Pa
σ_x	ความเค้นตั้งฉาก	Pa
τ	ความเค้นเฉือน	Pa
ϵ_m	ความเครียดสูงสุดสมบูรณ	-
ϵ_x	ความเครียดตามแนวแกน x	-

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
θ	ความชัน	-
θ	ขนาดของมุม	องศา ($^{\circ}$)
ρ	รัศมีความโค้ง	cm
δ	การเบี่ยงเบน	mm
ΣF_x	ผลรวมของแรงตามแนวแกน x	kN
ΣF_y	ผลรวมของแรงตามแนวแกน y	kN
$(\Sigma F_y)_L$	ผลรวมของแรงตามแนวแกน y ด้านซ้าย	kN
ΣM	ผลรวมของโมเมนต์	kN - m
ΣM_L	ผลรวมของโมเมนต์ด้านซ้าย	kN - m
ΣM_R	ผลรวมของโมเมนต์ด้านขวา	kN - m
Δv	การเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือน	kN - m
ΔM	การเปลี่ยนแปลงของ โมเมนต์	kN - m

บทที่ 1

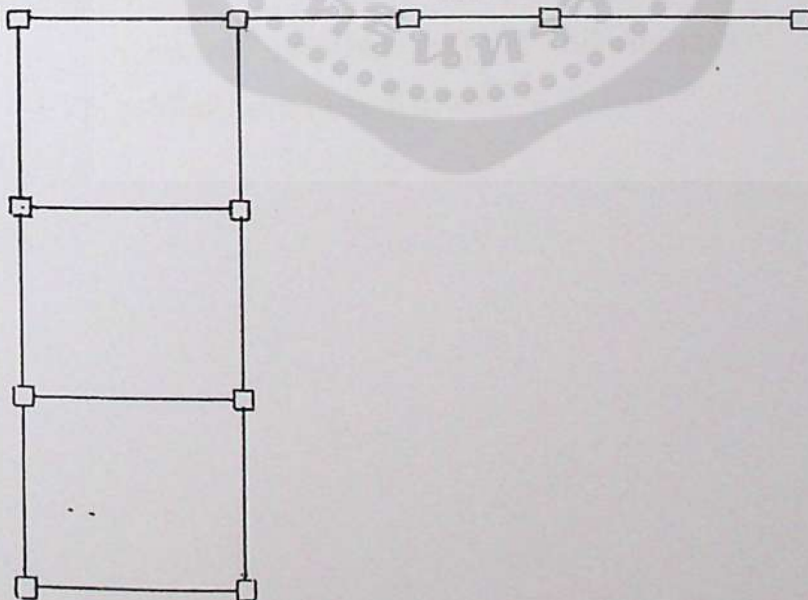
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการติดตั้งเครื่องจักรแต่ละ Section โดยแยกประเภทแต่ละสายงานและด้วยเหตุนี้ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลต่างๆ จำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องจักรให้มีความเป็นระเบียบและมีพื้นที่ในการใช้งานมากที่สุด

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งชั้นลอยเพื่อความสะดวกและมีพื้นที่มากขึ้นด้วยเหตุนี้ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลได้มีการจัดการสอนและได้รับนิสิตนักศึกษาเข้ามาศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์เพิ่มมากขึ้นซึ่งเห็นได้ว่าบางส่วนของโรงฝึกงานที่ได้ใช้เรียนในภาคปฏิบัติมีพื้นที่ในการเรียนที่จำกัด เช่น ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ เป็นต้น

ซึ่งห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ เป็นห้องหนึ่งที่สามารถจะปรับปรุงให้มีชั้นลอยเอนกประสงค์เพื่อใช้งานในด้านปฏิบัติให้กว้างมากขึ้น



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ของการทำโครงการ

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างชั้นลอยเป็นพื้นที่ใช้สอย

ขอบเขตของโครงการ

จัดทำชั้นลอยเอนกประสงค์เพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ มีพื้นที่ทั้งหมด 36 m²

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก
2. ประเมินราคาวัสดุ
3. ทำการปฏิบัติงานจริง
4. ทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาจากการทำงาน
5. จัดทำรายงานและเอกสารประกอบการปฏิบัติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเป็นพื้นที่ใช้สอย หรือใช้ทำงานในโอกาสต่อไป
2. มีพื้นที่ในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คาน

ในการออกแบบงานเพื่อใช้งาน โครงสร้าง เราจำเป็นต้องทราบแรงเฉือน (shear) และ โมเมนต์คด (bending moment) ที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของคาน

แรงเฉือนและโมเมนต์คด

แรงเฉือน(shearing force) คือ แรงที่จะทำให้วัสดุที่รับแรงนี้ถูกเฉือนขาด ปกติแล้วแรงเฉือนนี้จะมีผลต่อการเฉือนขาดของวัสดุที่ใช้ทำคานในงานโครงสร้างต่างๆมาก

โมเมนต์คด (bending moment) คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำต่อคาน โมเมนต์นี้เองที่จะพยายามให้คานที่รับแรงเฉือนโค้งงอจนไม่สามารถที่จะใช้งานต่อไปได้

พิจารณารูปที่ 2.1 ที่ F.B.D. ของคานตามรูป (ก) มีแรงกระทำเป็นจุด P ซึ่งสมดุลกับแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ R_1 และ R_2 (ไม่คือน้ำหนักของคาน) ที่ส่วนตัด a-a แบ่งคานออกเป็น 2 ส่วน ในสภาพสมดุลโดยมีแรงเฉือนต้าน (resisting moment) (V_r) และโมเมนต์ต้าน(resisting moment) (M_r) ซึ่งแรงเฉือนต้านมีค่าเท่ากับผลรวมของ $(\sum Fy)_L$

ในรูปที่ 2.1 (ข) สมการที่ใช้หาแรงเฉือน (V_r) คือ

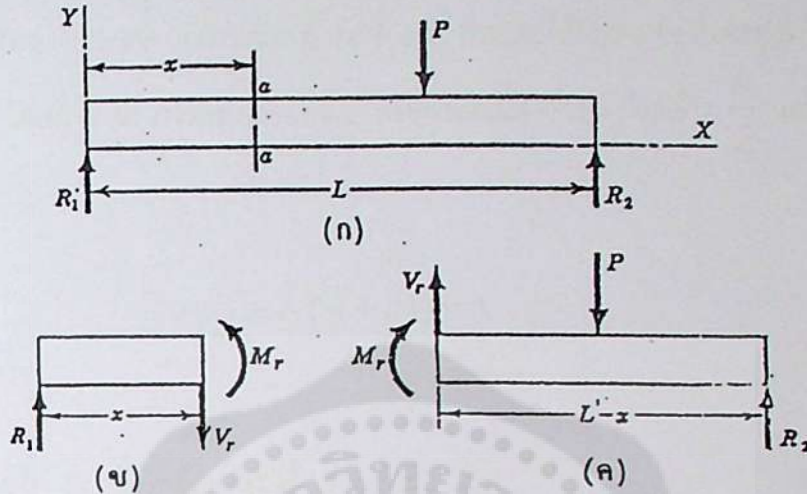
$$V_r = (\sum Fy)_L \quad (2.1)$$

โดยที่

V_r คือ แรงเฉือนต้าน

$(\Sigma Fy)_L$ คือ ผลรวมของแรงภายนอกที่กระทำในแกน y บนส่วนตัดของคาน

ซ้าย



รูปที่ 2.1 แสดงภาพสมดุลของส่วนตัดทางด้านซ้ายและขวาของคาน

ในสมการที่ (2.1) ถ้าแรงเฉือนคานคำนวณได้มีเครื่องหมายบวกแสดงว่าแรงเฉือนคานมีทิศกระทำขึ้นในแนวตั้ง สำหรับโมเมนต์คานในที่นี้ก็คือ โมเมนต์คด (bending moment) มีค่าเท่ากับผลรวมของโมเมนต์รอบแกนเซนทรอยด์ (centroidal axis) ของหน้าตัดของแรงภายนอกที่กระทำต่อคานทางด้านซ้าย $(\Sigma M)_L$ หรือขวา $(\Sigma M)_R$ ของส่วนคานนั้นดังรูป (ข) และ (ค)

สมการใช้หาโมเมนต์คด (M_r) คือ

$$M_r = (\Sigma M)_L = (\Sigma M)_R \quad (2.2)$$

โดยที่

M_r คือ โมเมนต์คด หรือ โมเมนต์คาน

$(\Sigma M)_L$ คือ ผลรวมของโมเมนต์รอบแกนเซนทรอยด์ของหน้าตัดแรงภายนอกที่กระทำต่อคานทางด้านซ้าย

$(\Sigma M)_R$ คือ ผลรวมของโมเมนต์รอบแกนเซนทรอยด์ของหน้าตัดแรงภายนอกที่กระทำต่อคานทางด้านขวา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอก แรงเฉือนและโมเมนต์

พิจารณารูปที่ 2.2 ของส่วนตัดของคานในช่วง dx ผลของแรงภายนอกทำให้ด้านซ้ายของหน้าตัดถูกกระทำด้วยแรงเฉือน V และโมเมนต์ M และทางด้านขวาของส่วนตัดนี้ถูกกระทำด้วยแรงเฉือน $V + dV$ และโมเมนต์ $M + dM$ กำหนดให้มีแรงกระทำต่อคานในช่วง dx นั้น เท่ากับ $w dx$ โดยที่ w คือ การกระจายของแรงกระทำต่อเนื้อซึ่งมีหน่วยเป็น $\frac{N}{m}$ และมีค่าคงที่ จากรูปที่ 2.2 พบว่า

$$[\Sigma F_y = 0] \quad V + w dx - (V + dV) = 0$$

$$dV = w dx$$

หารด้วย dx และให้ dx เข้าใกล้ศูนย์จะได้

$$w = \frac{dV}{dx} \quad (2.3)$$

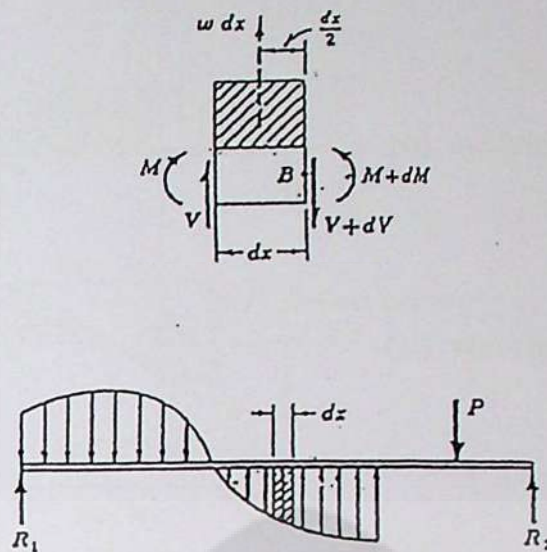
$$[\Sigma M_B = 0] \quad M + V dx + (w dx) \frac{dx}{2} - (M + dM) = 0$$

$$V dx + \left(\frac{w}{2} \right) dx^2 = dM$$

หารด้วย dx และให้ dx เข้าใกล้ศูนย์จะได้

$$V = \frac{dM}{dx} \quad (2.4)$$

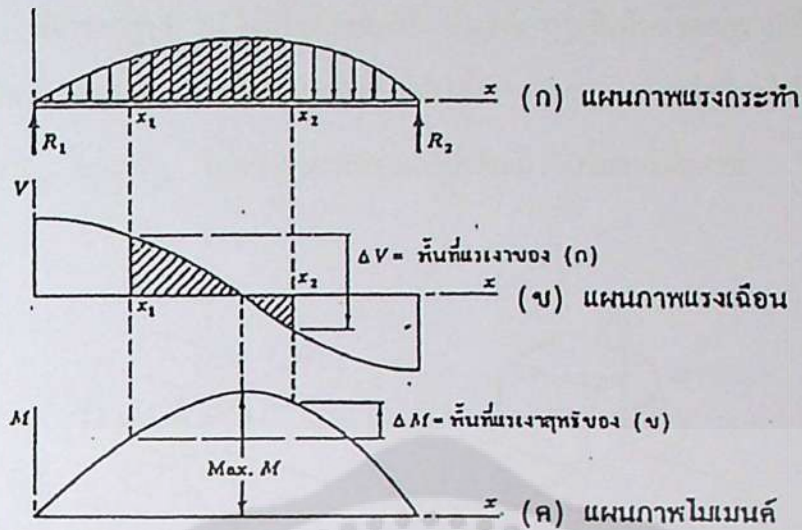
โดยที่ w คือ แรงกระจายแบบสม่ำเสมอ $\frac{kN}{m}$



รูปที่ 2.2 ส่วนตัดของในช่วง dx

สรุป

1. ในสมการที่ (2.3) พบว่าค่าความลาดชันของแผนภาพแรงเฉือนที่ตำแหน่งใดๆ ของคานเท่ากับค่าของแรงกระจายแบบสม่ำเสมอที่ตำแหน่งนั้น (ยกเว้นแรงกระทำเป็นจุด)
2. ในสมการที่ (2.4) พบว่าค่าความลาดชันของแผนภาพแรงเฉือนที่ตำแหน่งใดๆ ของคานเท่ากับค่าของแรงกระจายแบบสม่ำเสมอที่ตำแหน่งนั้น
3. ตำแหน่งที่โมเมนต์สูงสุดและต่ำสุด คือ ตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์
4. การเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือน (ΔV) คือพื้นที่ใต้กราฟของแรงกระทำ (ดูจากรูปที่ 2.3) การเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือน (ΔM) คือ พื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือน



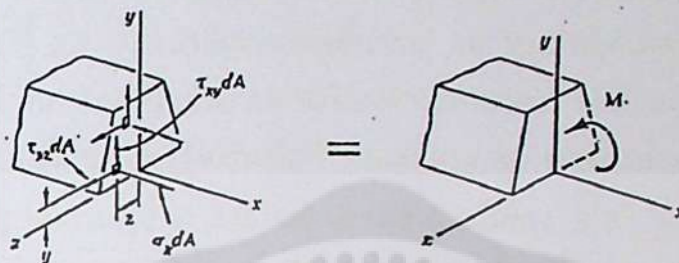
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอก แรงเฉือนและ โมเมนต์

ขั้นตอนการสร้างแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์

1. คำนวณแรงปฏิกิริยาจากสมการของสภาพสมดุล
2. คำนวณแรงเฉือนที่กระทำต่อส่วนตัดของคานแต่ละช่วง ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ โดยใช้สมการที่ (2.1) และคำนวณค่าของแรงเฉือนที่จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ
3. เขียนแผนภาพแรงเฉือน
4. หาคำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์
5. คำนวณโมเมนต์ที่กระทำต่อส่วนตัดของคานแต่ละช่วง โดยใช้สมการที่ (2.2) และคำนวณค่าของโมเมนต์คัตที่จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำและจุดที่มีแรงเฉือนเป็นศูนย์
6. เขียนแผนภาพ โมเมนต์ให้ผ่านจุดกระทำของโมเมนต์คัตที่คำนวณไว้ในขั้นตอน

ความเค้นในแกน

พิจารณารูปที่ 2.4 ใช้วิธีสถิตศาสตร์ พิสูจน์ความสัมพันธ์ของความเค้นภายใต้การคัดอย่างเดียวนที่หน้าตัดขวางของชิ้นส่วนโดยที่ความเค้นตั้งฉาก σ_x กระทำที่หน้าตัดขวางและมีความเค้นเฉือน τ_{xy} และ τ_{xz} โดยมีแรงกระทำบนหน้าตัดเท่ากับโมเมนต์คู่ควบ



รูปที่ 2.4 หน้าตัดของแกนรับแรงคู่ควบ

อาศัยหลักของสถิตศาสตร์โมเมนต์คู่ควบ M จริงๆประกอบด้วยแรงที่มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกันผลรวมของแรงเหล่านี้ในทิศทางตามแกน x เท่ากับศูนย์ โดยที่โมเมนต์คู่ควบ M รอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบของชิ้นส่วนเท่ากับศูนย์ โดยโมเมนต์คู่ควบรอบแกน z เท่ากับแรงคูณด้วยระยะทางรอบแกน z ได้สมการดังนี้

$$[\Sigma F_x = 0] \quad \int \sigma_x dA = 0 \quad (2.5)$$

$$[\Sigma M_y = 0] \quad \int z \sigma_x dA = 0 \quad (2.6)$$

$$\text{โมเมนต์รอบแกน } Z \quad \int (-y \sigma_x dA) = M \quad (2.7)$$

โดยที่

σ_x คือ ความเค้นตั้งฉาก

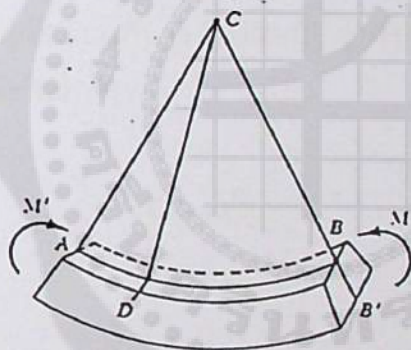
y คือ ระยะทางรอบแกน z

z คือ ระยะทางรอบแกน y

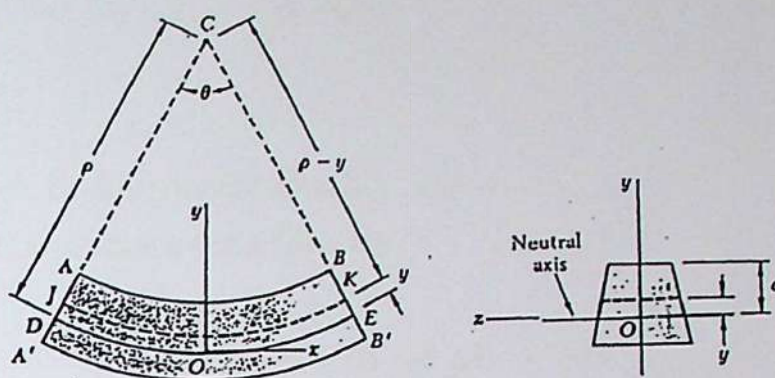
เครื่องหมายลบในสมการที่ (2.7) แสดงว่าความเค้นดึง ($\sigma_x > 0$) หมุนตามเข็มนาฬิการอบแกน z

การเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วนที่สมมาตรภายใต้ภาระคดอย่างเดียว

เมื่อโมเมนต์คด (bending moment) กระทำบนระนาบสมมาตร (plan of symmetry) ตามรูปที่ 2.5 บนหน้าตัดขวางของชิ้นส่วน AB ทุกๆตำแหน่งตลอดความยาวจะมีโมเมนต์คดกระทำเท่ากัน โดยที่ชิ้นส่วน AB จะโค้งอย่างสม่ำเสมอทำให้เส้นตรง AB บนผิวค้ำบนตามระนาบที่โมเมนต์กระทำจะโค้งงออย่างเต็มที่ ซึ่งเส้นตรง AB จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของเส้นโค้งของวงกลมที่จุดศูนย์กลางอยู่ที่ C และในทำนองเดียวกันเส้นตรง A'B' ที่อยู่บนผิวค้ำล่างก็โค้งงอเหมือนกันจึงจะเห็นว่าเส้นโค้ง AB จะสั้นกว่าเส้นโค้ง A'B' ที่ยาวขึ้น ($M > 0$)



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของคานภายใต้โมเมนต์คดอย่างเดียว



รูปที่ 2.6 การผิดรูปภายใต้การระดัด

พิจารณารูปที่ 2.6 (ก) ที่หน้าตัดขวางแนวของผิวเป็นกลาง ซึ่งผิวเป็นกลางคือ ส่วนของวงกลม DE ที่เรียกว่า แกนเป็นกลาง (Neutral Axis) ดังรูปที่ 2.6 (ข) กำหนดจุดกำเนิดของระบบแกนขึ้นที่ผิวเป็นกลางระยะจากจุดใดๆ ไปยังแกนเป็นกลางวัดตามแนวแกน y โดยให้เส้นโค้ง DE ยาว L มีรัศมีความโค้ง ρ และมุมที่จุดศูนย์กลางกลาง θ เป็นเส้นโค้งที่ไม่มีการผิดรูป ความยาวไม่เปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ

$$L = \rho\theta \quad (2.8)$$

โดยที่

L คือ ความยาว

θ คือ มุมที่จุดศูนย์กลาง

ρ คือ รัศมีความโค้ง

เส้นโค้ง JK อยู่สูงกว่าเส้นโค้ง DE เป็นระยะ y กำหนดให้ยาว L'

$$L' = (\rho - y)\theta \quad (2.9)$$

โดยที่

L' คือ ความยาวในช่วง O-JK, mm.

เมื่อยังไม่มีโมเมนต์กระทำ JK ยาวเท่ากับ L ดังนั้นระยะที่เปลี่ยนไป

$$\delta = L' - L \quad (2.10)$$

โดยที่

δ คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป, mm
แทนสมการ (2.8) และสมการ (2.9) ลงใน (2.10)

$$\delta = (p-y)\theta - p\theta = -y\theta \quad (2.11)$$

จากสมการความเครียด (strain : ϵ) ตามแนว JK ได้จาก

$$\epsilon_x = \frac{\delta}{L} \quad (2.12)$$

โดยที่

ϵ_x คือ ความเครียดตามแนวแกน x
เครื่องหมายลบถือว่าโมเมนต์คดเป็นบวกซึ่งเป็นเหตุทำให้คานาด้านบนเว้า
ความเครียดตามสมการ (2.12) แปรไปตามระยะ y และความเครียดสูงสุดอยู่ที่ระยะ y สูงสุด
กำหนดให้

$$\epsilon_m = \frac{c}{\rho} \quad (2.13)$$

โดยที่

ϵ_m คือ ความเครียดสูงสุดสมบูรณ์

c คือ ระยะสูงสุดของ y, mm.

แทนในสมการที่(2.13) ลงในสมการ (2.12)

$$\epsilon_x = \frac{-y}{c} \epsilon_m \quad (2.14)$$

ความเค้นและการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น

พิจารณาความเค้นดึงฉากภายใต้โมเมนต์คดในช่วงไม่เกินจุดที่วัสดุยืดตัวออกโดยไม่ต้องเพิ่มแรง (yield strength : σ_y) ของวัสดุที่ใช้ทำคาน และเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกันตลอด และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : E) จากกฎของฮุกตามแนวแกน x ได้

$$\sigma_x = E \epsilon_x \quad (2.15)$$

โดยที่ E คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น GPa หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 2 จากสมการ (2.14) คุณ E เข้าทั้งสองข้างได้

$$E \epsilon_x = \frac{-y}{c} \sigma_m \quad (2.16)$$

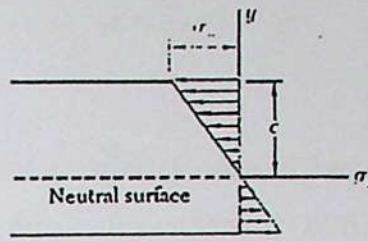
หรือสมการ

$$\sigma_x = \frac{-y}{c} \sigma_m \quad (2.17)$$

โดยที่

σ_m คือ ค่าสมบูรณ์สูงสุดของความเค้น Pa

จะเห็นว่าความเค้นดึงฉากแปรไปตามระยะจากผิวเป็นกลาง (Neutral Surface) ซึ่งเส้นตรงมีค่า σ_m ที่ยังหาไม่ได้เพราะยังไม่ทราบตำแหน่งของผิวเป็นกลาง จากหลักของสถิตศาสตร์บนหน้าตัดขวางเราทราบแล้วว่าต้องมีทั้งแรงอัดและแรงดึง ตามรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาในสถานะสมบูรณ์ที่มีแรงอัดและแรงดึงรวมกันตลอดหน้าตัดต้องเท่ากับศูนย์ ($\sum F_x = 0$) จากสมการ (2.5)



รูปที่ 2.7 การกระจายของความเค้น

แทนสมการ (2.17) ลงในสมการ (2.5) ได้

$$\int \sigma_x dA = \int \left(-\frac{y}{c} \sigma_m \right) = -\frac{\sigma_m}{c} \int y dA \quad (2.18)$$

โดยที่

$$\int y dA = 0$$

จากสมการ (2.18) นี้แสดงว่า โมเมนต์อันดับแรกของพื้นที่หน้าตัดขวางรอบแกนเป็นกลาง (N.A. : Neutral Axial) เป็นศูนย์เมื่อเป็นเช่นนี้ แสดงว่าแกนเป็นกลางจะต้องผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดขวางของคานหรือจุดเซนทรอยด์ ของหน้าตัดขวางของคาน พิจารณาพื้นที่ dA บนหน้าตัดของคานที่ระยะห่าง y จากแกนเป็นกลาง (N.A.) ตามรูปที่ 2.6 ความเค้นตั้งฉากบนพื้นที่ dA คือ $(-\sigma_x)$ เป็นผลมาจากโมเมนต์ dM รอบแกนกลาง โดยที่ผลรวมของโมเมนต์ตลอดพื้นที่หน้าตัดขวางของคานคือ โมเมนต์คดที่กระทำกับคาน

$$M = \int (-\sigma_x) y dA = \int (-y \sigma_m) dA$$

แทนสมการที่ (2.17) ลงในสมการ (2.7) ได้

$$M = \int (-y) \left(-\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA$$

$$M = \frac{\sigma_m}{c} \int y^2 dA \quad (2.19)$$

ในที่นี้ $\int y^2 dA$ คือ โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia :I) ของที่หน้าตัดขวางของรอบแกนเป็นกลางหรือเป็นโมเมนต์อันดับสอง จากสมการ (2.19) กลายเป็น

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \quad (2.20)$$

โดยที่

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย m^4 หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 3

แทนค่า σ_m จากสมการ (2.20) ลงในสมการ (2.17) จะได้ความเค้นดึงฉาก σ_x ที่ระยะจากแกนกลาง

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} \sigma_m = -\left(\frac{y}{c}\right) \left(\frac{Mc}{I}\right)$$

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \quad (2.21)$$

จากสมการ (2.20) กับสมการ (2.21) เรียกว่าสูตรการโค้งยืดหยุ่น โดยที่ความเค้นดึงฉาก σ_x เกิดจากการโค้งของคานแสดงว่าความเค้นอัด ($\sigma_x < 0$) จะอยู่เหนือแกนเป็นกลาง (N.A.) ($y > 0$) เมื่อโมเมนต์คดเป็นบวก และจะเป็นความเค้นดึงเมื่อโมเมนต์คดเป็นลบจะเห็นว่าสมการ (2.20) เป็นค่าสมบูรณ์ $|M|$

จากสมการ (2.20) จะเห็นว่าส่วน $\frac{I}{c}$ จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของหน้าตัดขวางของคาน เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า โมดูลัสของหน้าตัดยืดหยุ่น (elastic section modulus :S)

$$S = \frac{I}{c} \quad (2.22)$$

โดยที่

S คือ โมดูลัสของหน้าตัดยึดหยุ่น cm^2 หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 3
แทน S ลงในสมการ (2.20) ได้

$$\sigma_m = \frac{M}{S} \quad (2.23)$$

เราเห็นว่าค่าความเค้นสูงสุด σ_m แปรผันโดยตรงกับ โมเมนต์คัต M และแปรผกผันกับ โมดูลัสของหน้าตัดยึดหยุ่น ดังนั้นหลักการออกแบบจึงควรเลือกคานที่มีค่า S สูง ๆ ไว้เพื่อความเค้นจะได้น้อย

ความชันและระยะยวบตัวในแนวตั้งของคาน

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและแรงเฉือน โมเมนต์คัต ความชันและระยะยวบตัว
ของคาน

ระยะแอ่น (deflection) = y

$$\theta = \frac{dy}{dx} \quad (2.24)$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.25)$$

$$V = EI \frac{d^3 y}{dx^3} \quad (2.26)$$

$$w = EI \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (2.27)$$

โดยที่

θ คือ ความชัน

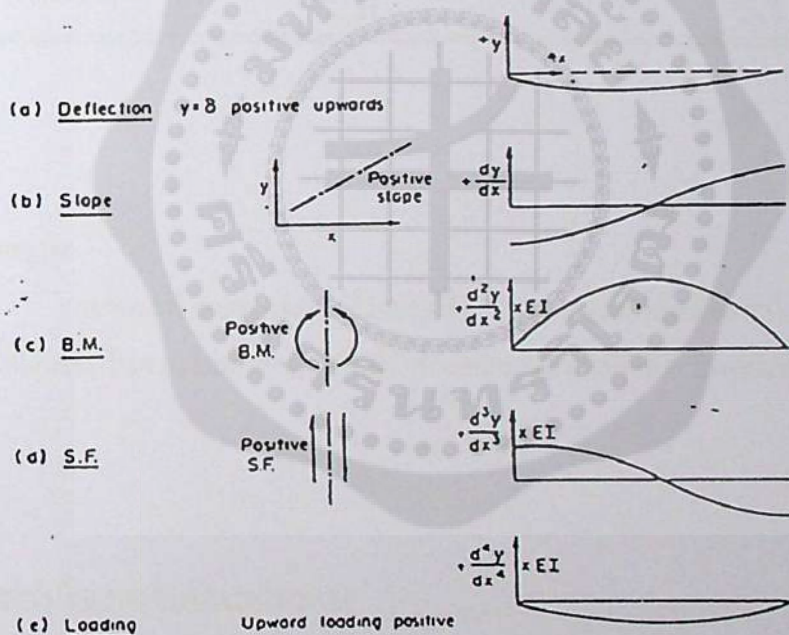
M คือ โมเมนต์คัต kN.m

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น GPa หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 2

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย m^4 หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 3

V คือ แรงเฉื่อย kN

w คือ แรงกระจายแบบสม่ำเสมอ $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$



รูปที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์มาตรฐานของแรงกระทำ

ดังนั้นเหตุผลที่เกี่ยวข้องทางคณิตศาสตร์จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 การใช้สูตรในการหาค่ามาตรฐานสำหรับความชันสูงสุดและระยะขยับตัวของคาน

ตารางที่ 1 แสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณของคาน

MAXIMUM SLOPE AND DEFLECTION OF SIMPLY SUPPORTED BEAMS			
Loading condition	Maximum slope	Deflection (y)	Max. deflection (y_{max})
Cantilever with concentrated load W at end	$\frac{WL^2}{2EI}$	$\frac{W}{6EI} [2L^3 - 3L^2x + x^3]$	$\frac{WL^3}{3EI}$
Cantilever with u.d.l. across the complete span	$\frac{wL^3}{6EI}$	$\frac{w}{24EI} [3L^4 - 4L^3x + x^4]$	$\frac{wL^4}{8EI}$
Simply supported beam with concentrated load W at the centre	$\frac{WL^2}{16EI}$	$\frac{Wx}{48EI} [3L^3 - 4x^3]$	$\frac{WL^3}{48EI}$
Simply supported beam with u.d.l. across complete span	$\frac{wL^3}{24EI}$	$\frac{wx}{24EI} [L^3 - 2Lx^2 + x^3]$	$\frac{5wL^4}{384EI}$
Simply supported beam with concentrated load W offset from centre (distance a from one end b from the other)	$0.062 \frac{WL^2}{EI}$		$\frac{Wa}{3EIL} \left[\frac{L^3 - a^3}{3} \right]^{3/2}$

การแอ่นของคาน

แรงกระทำต่อคานจะเกิดโมเมนต์ดัด และโมเมนต์ดัดนี้จะทำให้เกิดความเค้นขึ้น ถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นในคานไม่เกินความเค้นที่กำหนดตามคุณสมบัติของวัสดุที่มาทำคาน คานจะไม่พัง

การหาระยะแอ่นโดยการอินทิเกรตโดยตรง

หาค่าโมเมนต์ดัดที่จุดใดๆของคานสามารถหาได้ ให้อยู่ในเทอมของระยะ x ตามความยาวของคานจากการอินทิเกรต ก็สามารถจะหาความชันและระยะแอ่นของคานได้

จาก
$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.28)$$

และ
$$\frac{dy}{dx} = \int \frac{M}{EI} dx + A \quad (2.29)$$

หรือ

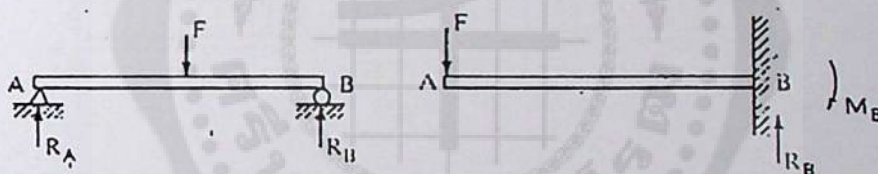
$$y = \iint \left(\frac{M}{EI} dx \right) dx + Ax + B \quad (2.30)$$

ค่าคงที่ A และ B หาได้จากการพิจารณาความชัน และระยะแอ่นจากคุณสมบัติของคานาที่เป็นจริง

ชนิดของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนคานา

เราสามารถแบ่งการพิจารณาชนิดของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนคานาได้ 2 แบบ คือ

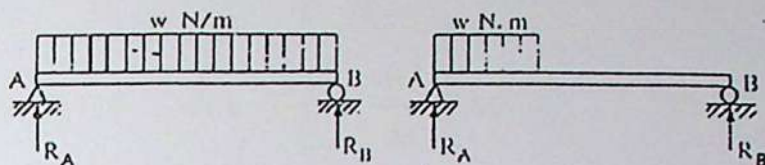
1. แรงที่กระทำเป็นจุด (concentrated load or point load) เป็นแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนพื้นที่ที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงแรงที่กระทำเป็นจุด

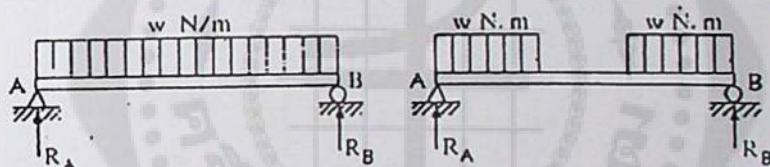
2. แรงที่กระทำบนคานาแบบกระจาย (distributed load) เป็นแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนพื้นที่หนึ่งหรือทั้งหมดของคานานั้น

แรงที่กระจายสม่ำเสมอ (uniformly distributed load) เขียนย่อได้ว่า UDL โดยแรงนี้จะกระทำอย่างสม่ำเสมอ หรือกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่นั้นๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงแรงกระทำบนคานแบบกระจาย

ในโครงงานชั้นลอจเอนกประสงค์นี้แรงที่กระทำจะเป็นแบบที่ 2 คือ แรงกระทำบนคานแบบกระจายสม่ำเสมอคานที่มีจุดรองรับคานที่ปลายคานทั้งสองข้างมีแรงกระทำแบบกระจาย (simply supported beam with uniformly distributed load) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แรงกระทำแบบกระจายมีจุดรองรับที่ปลายคานทั้งสองข้าง

$$M_{xx} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{wLx}{2} - \frac{wx^2}{2}$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{wLx^2}{4} - \frac{wx^3}{6} + A$$

$$EIy = \frac{wLx^3}{12} - \frac{wx^4}{24} + Ax + B$$

ที่ $x=0, y=0 \quad \therefore B=0$

ที่ $x=0, y=0 \quad \therefore 0 = \frac{wL^4}{12} - \frac{wL^4}{24} + AL$

$$\therefore A = -\frac{wL^3}{24}$$

$$\therefore y = \frac{I}{EI} \left[\frac{wLx^3}{12} - \frac{wL^4}{24} - \frac{wL^3x}{24} \right] \quad (2.31)$$

ตามกรณีนี้ระยะที่จะเกิดระยะแอ่นของคานมากที่สุดจะเกิดที่ตรงกลางคาน $x = \frac{L}{2}$

$$y_{\max} = \frac{I}{EI} \left[\frac{wL}{12} \left(\frac{L^3}{8} \right) - \frac{wL}{24} \left(\frac{L^4}{16} \right) - \frac{wL^3}{24} \left(\frac{L}{2} \right) \right] \quad (2.32)$$

$$\therefore y_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (2.33)$$

ทฤษฎีเสา

เสามีลักษณะเป็นท่อนและรับแรงกดในแนวแกน ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาที่เรียวยาวก็ยังคงอยู่ในสภาพที่ตรงได้แต่ถ้าแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งเสาดังกล่าวก็อาจจะเกิดการโก่งงอขึ้น (buckling) แรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอนี้เรียกว่า แรงวิกฤต (critical load) ความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาระยะที่จะเริ่มเกิดการโก่งงออาจจะต่ำกว่าความเค้นใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการโก่งงอขึ้นแล้ว ชิ้นงานนั้นก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอแทนที่จะจำกัดความเค้น

ชิ้นส่วนของเครื่องกลจำนวนมากก็ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเสา เช่น ก้านสูบ เป็นต้น

สูตรที่ใช้กับเสาจะจำแนกออกตามอัตราส่วนความเพรียว (slenderness ratio) $\frac{L_e}{k}$

โดยที่

L_e คือ ความยาวสมมูล (equivalent length) m

k คือ $\left[\frac{I}{A} \right]^{1/2}$ รัศมีไจเรชั่น cm

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด cm^4 หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 3

A คือ พื้นที่หน้าตัด cm^2 หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 3

สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ ดังรูป

ที่ 2.12

ปลายยึดแบบธรรมดา (SS : simply supported)

$$L_e = L \quad (2.34)$$

ปลายยึดแน่นสองข้าง (CC : clamped)

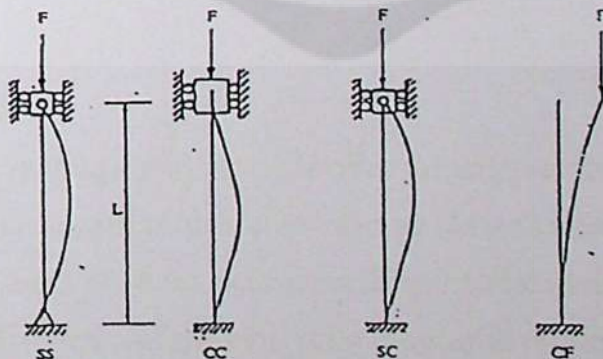
$$L_e = \frac{L}{2} \quad (2.35)$$

ปลายยึดแบบธรรมดา-ยึดแน่น (SC : simply supported-clamped)

$$L_e = 0.707 L \quad (2.36)$$

ปลายยึดแน่น-อิสระ (CF : clamped-free)

$$L_e = 2L \quad (2.37)$$



รูปที่ 2.12 แสดงการยึดปลายเสาวิธีต่าง ๆ

เนื่องจากการออกแบบเสาที่อาจจะเกิดการโก่งงอจะจำกัดแรงกด แทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกดถ้าให้ F_c เป็นแรงวิกฤตแรงกดใช้งาน คือ

$$F = \frac{F_c}{N}$$

สำหรับเหล็กโครงสร้างแล้วจะใช้สูตรของจอห์นสันเมื่ออัตราส่วนความเพียรมี

ค่าประมาณ $40 < \frac{L_e}{k} \leq 115$

สำหรับ โครงงานชั้นลอยเอนกประสงค์นี้ ได้ใช้สูตรของ AISC (American Institute of Steel Construction) ซึ่งได้แนะนำให้ใช้ค่า $\sigma_w = 1190 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ $\beta = 0.034$ ดังนั้นจะได้

$$\left(\frac{P}{A} \right)_w = 1190 - 0.034 \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad (2.38)$$

โดยที่

P คือ แรงปฏิกิริยาที่คานกระทำลงมา

A คือ พื้นที่หน้าตัด

L คือ ความยาวของเสา

r คือ รัศมีจายเรชั่นของพื้นที่

ทฤษฎีค่าความปลอดภัย

ค่าความเค้นสูงสุดที่เราหาได้จากชิ้นงานทดสอบของวัสดุนั้นเราไม่สามารถที่จะนำค่านั้นมาใช้ในการออกแบบหรือคำนวณได้เลย ซึ่งเราจะใช้ค่าความเค้นที่เผื่อเอาไว้ (maximum allowable working stress) มาใช้งาน ทั้งนี้เพราะเราไม่สามารถที่จะทราบลักษณะของแรงกระทำ การออกแบบกรรมวิธีการสร้างหรือผลิตชิ้นงานนั้นได้แน่นอนเราจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าความปลอดภัยหรือค่าเผื่อ (factor of safety) ในการออกแบบชิ้นงานเอาไว้ โดยกำหนดดังนี้

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = \frac{\text{ค่าความเค้นสูงสุด}}{\text{ค่าความเค้นใช้งาน}} \quad (2.39)$$

แต่อย่างไรก็ตาม ตามความเป็นจริงแล้วถ้าวัสดุยังอยู่ในช่วง Plastic ซึ่งเป็นการยอมรับว่าวัสดุนั้นยังสามารถใช้งานได้

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = \frac{\text{Yield stress}}{\text{allowable working stress}} \quad (2.40)$$

ค่าความปลอดภัยนี้ยังไม่สามารถที่จะกำหนดแน่นอนลงไปได้ ส่วนมากค่าความปลอดภัยจะอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 10 ซึ่งโครงการชั้นลอยเอนกประสงค์ ได้ใช้ค่าความปลอดภัย (N) เท่ากับ 2

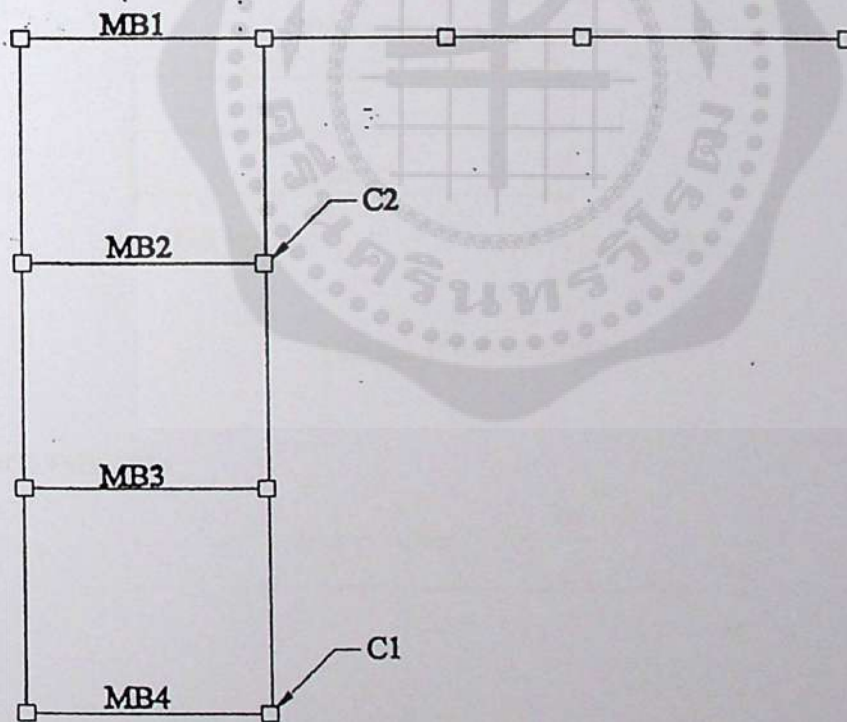


บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

ในการออกแบบและการคำนวณบทนี้จะกล่าวเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ส่วนของคานาสอย (Auxiliary beam)
2. ส่วนของคานหลัก(Main beam)
3. ส่วนของเสา (Column)



รูปที่ 3.1 แพลนของโครงการ

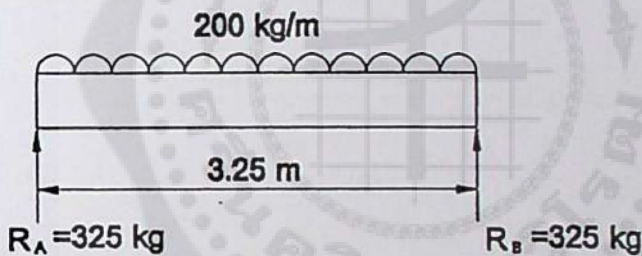
ข้อมูลในการคำนวณส่วนของคานขอย

1. ต้องการให้พื้นที่ใช้งานรับโหลดได้ $= 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
2. ค่าความปลอดภัย (factor of safety) $= 2$
3. ค่า Yield stress (σ_y) ที่ใช้ $= 205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ หรือ $2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
4. Modulus of elasticity (E) $= 21 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

1. ส่วนของคานขอย

Aux. Beam

- ขนาดความยาว 3.25 m
- พื้นที่ที่น้ำหนักกระจายลงบนคาน $0.4 \times 3.25 \text{ m}$



รูปที่ 3.2 ส่วนของคานขอย

ภาระที่กระจายบนคาน

$$w = \frac{0.4\text{m} \times 3.25\text{m} \times 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{3.25\text{m}} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$

$$\frac{wL}{2} = \frac{200 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 3.25\text{m}}{2} = 325 \text{ kg}$$

โมเมนต์สูงสุดที่คานจะสามารถรับไว้ได้

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{200 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times (3.25\text{m})^2}{8} = 246.06 \text{ kg.m}$$

จากข้อมูลการคำนวณ Yield stress $(\sigma_y) = 2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$\therefore \text{ค่าความเค้นใช้งาน } \sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2} = 1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่า Section of Modulus } (Z) &= \frac{M_{\max}}{\sigma_w} \\ &= \frac{(246.06 \times 100) \text{ kg.cm}}{1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 25.27 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

จึงทำการเลือกใช้

$$\text{Channel } 100 \times 50 \times 5 \times 7.5, Z = 37.6 \text{ cm}^3, I = 188 \text{ cm}^4, w = 9.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

ค่าความเค้นที่ใช้งานจริง

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_{\max}}{Z} \\ &= \frac{(246.06 \times 100) \text{ kg.cm}}{37.6 \text{ cm}^3} = 702.28 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

ตรวจสอบค่าความปลอดภัย

$$\text{S.F.} = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

$$= \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{702.287 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 2.97$$

ระยะแฉกของคาน

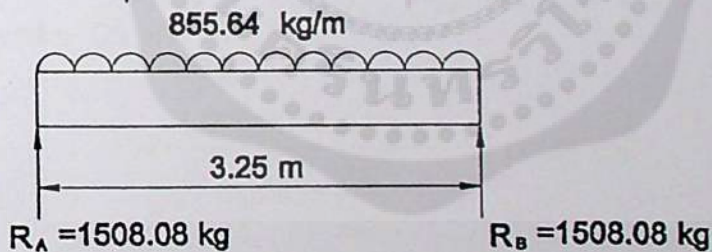
$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \left(2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right) (325\text{cm})^4}{389 \left(21 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (188\text{cm}^4)}$$

$$= 0.7359 \text{ cm หรือ } 7.359 \text{ mm}$$

2. ส่วนของคานหลัก

Main Beam 1 = Main Beam 4

- ขนาดความยาว 3.525 m^2
- พื้นที่น้ำหนักกระจายลงบนคาน $3.525 \text{ m} \times 1.625 \text{ m}$



รูปที่ 3.3 ส่วนของคานหลัก (1)

ภาระที่กระจายบนคาน

$$w = \frac{\left(3.525\text{m} \times 1.625\text{m} \times 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) + \left(1.625\text{m} \times 109.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)}{3.25\text{m}}$$

$$= 855.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$

$$\frac{wL}{2} = \frac{855.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 3.525 \text{ m}}{2} = 1508.08 \text{ kg}$$

โมเมนต์สูงสุดที่คานจะสามารถรับไว้ได้

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{855.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times (3.525 \text{ m})^2}{8} = 1328.98 \text{ kg.m}$$

จากข้อมูลการคำนวณ Yield stress (σ_y) = $2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$\therefore \text{ค่าความเค้นใช้งาน } \sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2} = 1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่า Section of Modulus } (Z) &= \frac{M_{\max}}{\sigma_w} \\ &= \frac{(1328.98 \times 100) \text{ kg.cm}}{1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 127.19 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

จึงทำการเลือกใช้

$$W \ 150 \times 100 \times 6 \times 9, \ Z = 138 \text{ cm}^3, \ I = 1020 \text{ cm}^4, \ w = 21.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

ค่าความเค้นที่ใช้งานจริง

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{(1328.98 \times 100) \text{ kg.cm}}{138 \text{ cm}^3} = 963.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

ตรวจสอบค่าความปลอดภัย

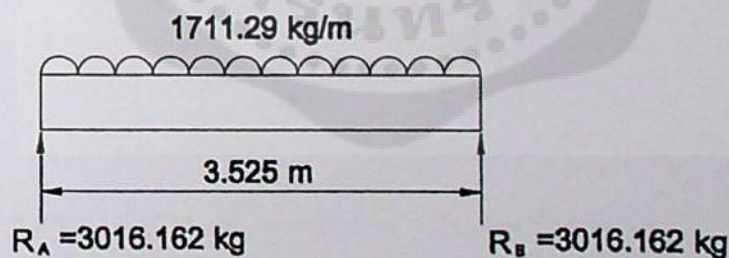
$$S.F. = \frac{\sigma_y}{\sigma} = \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{963.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 2.16 > 2 \text{ ใช้ได้}$$

ระยะแอนของคาน

$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \left(8.5564 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right) (325.5 \text{ cm})^4}{384 \left(21 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (1020 \text{ cm}^4)} = 0.803 \text{ cm หรือ } 8.02 \text{ mm}$$

Main Beam 1 = Main Beam 4

- ขนาดความยาว 3.525 m
- พื้นที่น้ำหนักกระจายลงบนคาน $3.525 \text{ m} \times 1.625 \text{ m}$



รูปที่ 3.4 ส่วนของคานหลัก (2)

ภาระที่กระจายบนคาน

$$w = \frac{\left(3.525 \text{ m} \times 3.250 \text{ m} \times 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) + \left(3.25 \text{ m} \times 10 \times 9.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)}{3.25 \text{ m}} = 1711.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$

$$\frac{wL}{2} = \frac{1711.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 3.525 \text{m}}{2} = 3016.162 \text{ kg}$$

โมเมนต์สูงสุดที่คานจะสามารถรับไว้ได้

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{1711.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times (3.525 \text{m})^2}{8} = 2657.98 \text{ kg.m}$$

จากข้อมูลการคำนวณ Yield stress (σ_y) = $2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$\therefore \text{ค่าความเค้นใช้งาน } \sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2} = 1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{ค่า Section of Modulus } (Z) = \frac{M_{\max}}{\sigma_w} = \frac{(2657.98 \times 100) \text{ kg.cm}}{1044.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 254.38 \text{ cm}^3$$

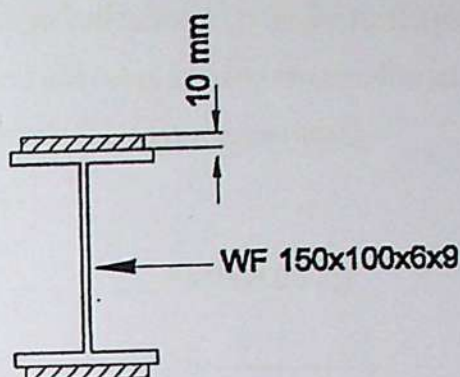
จึงทำการเลือกใช้

W 150 × 100 × 6 × 9, $I = 1020 \text{ cm}^4$, $w = 21.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ ประกอบด้วย PL 10t

$$\text{PL 10t, } I = \frac{9 \text{cm} \times (17 \text{cm})^3}{12} - \frac{9 \text{cm} \times (15 \text{cm})^3}{12} = 1153.5 \text{ cm}^4$$

$$\therefore I_{\text{total}} = 1020 + 1153.5 = 2173.5 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{2173.5 \text{ cm}^4}{\left(\frac{17}{2}\right)}$$



รูปที่ 3.5 คานเสริมเหล็ก

ค่าความเค้นที่ใช้งานจริง

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{(2657.98 \times 100) \text{ kg.cm}}{255.7 \text{ cm}^3}$$

$$= 1039.49 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

ตรวจสอบค่าความปลอดภัย

$$\text{S.F.} = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

$$= \frac{2089.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1039.49 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 2.01 > 2 \text{ ใช้ได้}$$

ระยะแอ่นของคาน

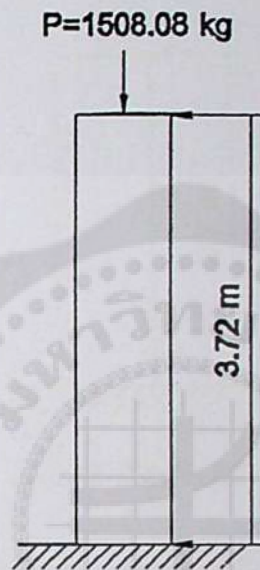
$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \left(17.1129 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right) (325.5 \text{ cm})^4}{384 \left(21 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (2173.5 \text{ cm}^4)}$$

$$= 0.753 \text{ cm หรือ } 7.53 \text{ mm}$$

3. ส่วนของเสา

การคำนวณในส่วนของเสา เราจะพิจารณาในจุดที่รับโหลดมากที่สุด และที่รับ โหลดตรงลงมาก็ Column 2 และ Column 1 โดยสมการการคำนวณ AISC (American Institute of Steel Construction) ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของทฤษฎี

Column 1



รูปที่ 3.6 ส่วนของเสา (1)

P = แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของ Main Beam 1 = 1508.08 kg

$$\left(\frac{P}{A}\right)_w = 1190 - 0.034 \left(\frac{L}{r}\right)^2$$

ทำการเลือกใช้

H 100 × 100 × 6 × 8, $A = 21.9 \text{ cm}^2$, $r = 2.47 \text{ cm}$, $w = 17.2$

$$\left(\frac{P}{A}\right)_w = 1190 - 0.034 \left(\frac{372 \text{ cm}}{2.47}\right)^2$$

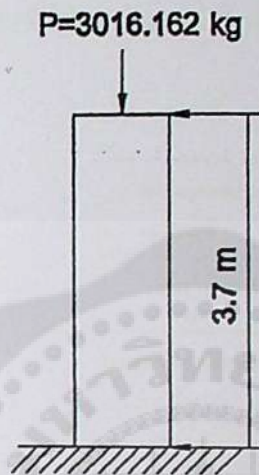
$$= 418.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_w = 418.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 21.9 \text{ cm}^2 = 9171.3 \text{ kg}$$

ค่าความปลอดภัยที่ได้

$$S.F. = \frac{P_w}{P} = \frac{9171.3}{1508.08} = 6.02$$

Column 2



รูปที่ 3.7 ส่วนของเสา (2)

P = แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของ Main Beam 2 = 3016.162 kg

$$\left(\frac{P}{A}\right)_w = 1190 - 0.034 \left(\frac{L}{r}\right)^2$$

ทำการเลือกใช้

H 100 × 100 × 6 × 8, $A = 21.9 \text{ cm}^2$, $r = 2.47 \text{ cm}$, $w = 17.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

$$\left(\frac{P}{A}\right)_w = 1190 - 0.034 \left(\frac{370 \text{ cm}}{2.47}\right)^2 = 427.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

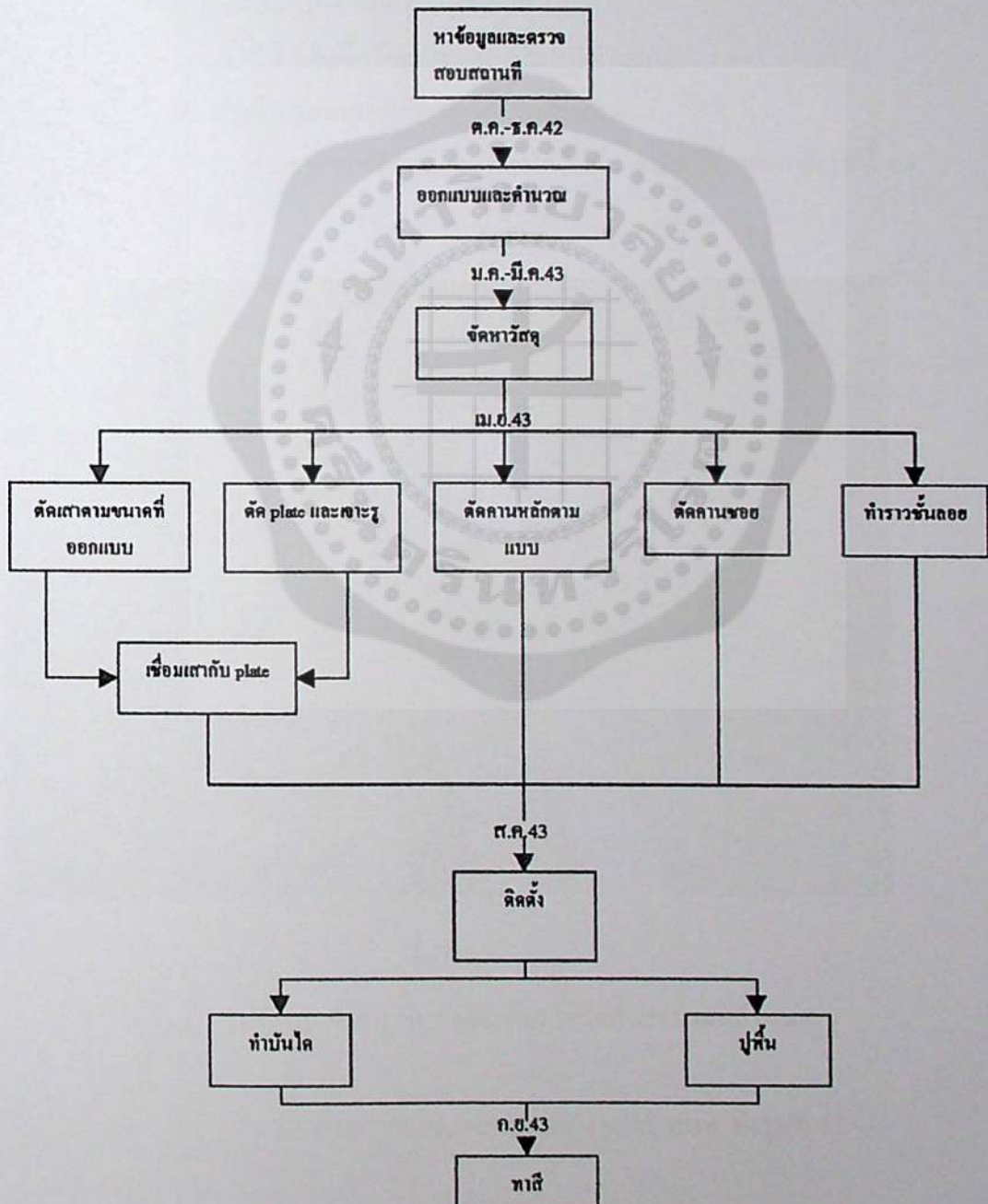
$$P_w = 427.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 21.9 \text{ cm}^2 = 9352.68 \text{ kg}$$

ค่าความปลอดภัยที่ได้

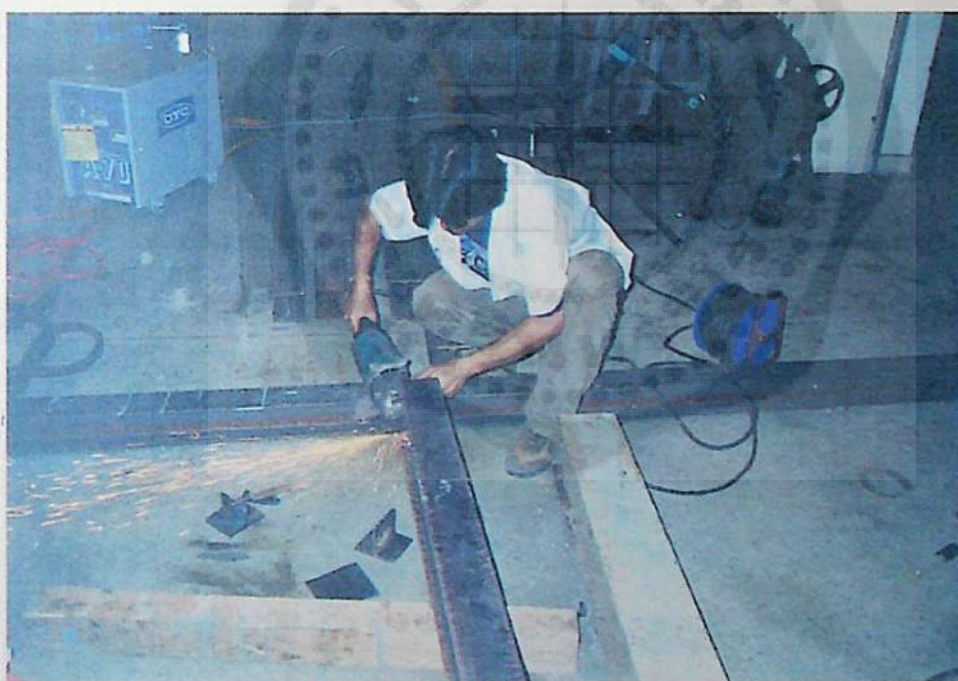
$$S.F. = \frac{P_w}{P} = \frac{9352.68}{3016.162} = 3.1$$

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงานและลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง



1. ตรวจสอบสถานที่ในการสร้างโครงงาน โดยการวัดขนาดของพื้นที่เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาขนาดของวัสดุ
2. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลในการปฏิบัติการ
 - 2.1 ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงาน เพื่อให้เกิดความเหมาะสม
3. การออกแบบและคำนวณโครงสร้าง
 - 3.1 คำนวณการรับภาระของเสา ขนาดของเสา ขนาดของคาน
4. จัดหาวัสดุในการก่อสร้างชั้นลอย
 - 4.1 จัดซื้อวัสดุตามขนาดในการคำนวณ
5. เริ่มทำการก่อสร้างชั้นลอยเอนกประสงค์
 - 5.1 ทำการตัดเสาและเจียรให้ได้ตามขนาดที่กำหนด ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ทำการตัดเสาและเจียรให้ได้ตามขนาดที่กำหนด

5.2 ทำการตัดแผ่นเพลาตามขนาดที่กำหนด ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ทำการตัดแผ่นเพลทตามขนาดที่กำหนด

5.3 นำแผ่นเพลทมาเชื่อมต่อกับเสา

5.4 ตัดเหล็กเพื่อทำคานตามขนาดที่กำหนด

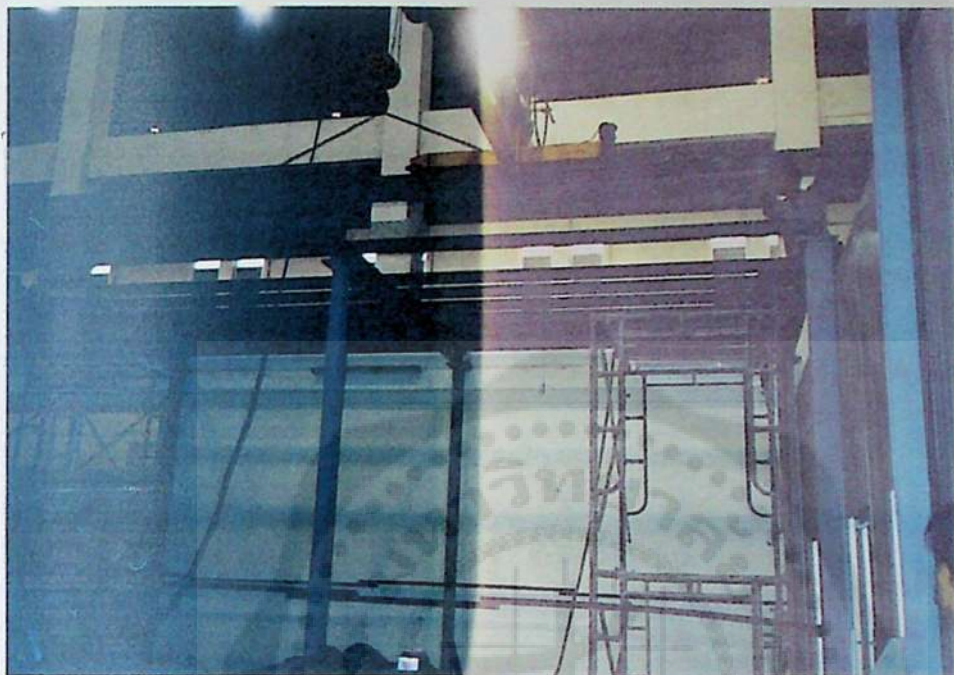
5.5 ทำการตั้งเสาในพื้นที่ที่กำหนด ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ทำการตั้งเสา

5.6 นำคานเชื่อมกับแผ่นเพทแล้วยึดกับเสาโดยใช้สกรู

5.7 นำคานซอยวางพาดบนคานหลัก ดังรูปที่ 4.4



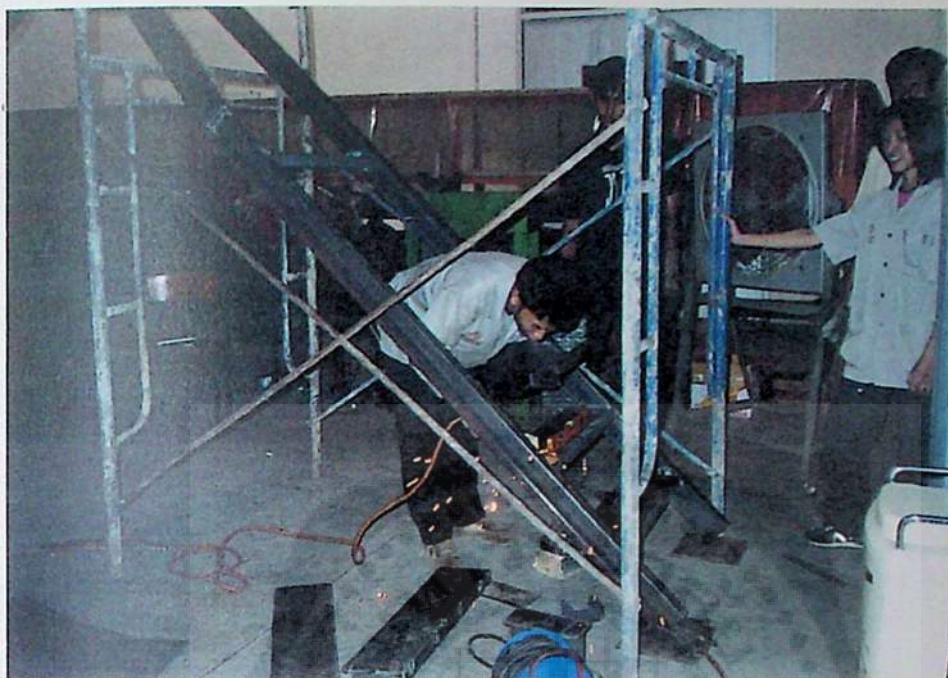
รูปที่ 4.4 นำคานซอยวางพาดบนคานหลัก

5.8 ทำการเชื่อมราวแล้วนำขึ้นไปติดกับชั้นลอยเอนกประสงค์ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เชื่อมราวแล้วนำขึ้นไปติดกับชั้นลอยเอนกประสงค์

5.9 ทำการเชื่อมบันไดประกอบเข้ากับชั้นลอยเอนกประสงค์ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เชื่อมบันไดแล้วนำไปประกอบเข้ากับชั้นลอยเอนกประสงค์

5.10 ปูไม้ฉลบบนคานชอยเพื่อทำเป็นพื้นชั้นลอยเอนกประสงค์ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปูไม้ฉลบบนคานชอยเพื่อทำเป็นพื้นชั้นลอยเอนกประสงค์

5.11 ทำการหาสถิติโดยรอบ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ทำการหาสถิติโดยรอบ

6. ทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้งหมด วิเคราะห์การคำนวณการรับโหลด
7. ทำการแก้ไขและปรับปรุงข้อบกพร่องของโครงการทั้งหมด
 - 7.1 ทำการแก้ไขโครงการเพื่อให้แน่นยิ่งขึ้น
8. การถอดประกอบโครงการช่วงเสากับคาน



รูปที่ 4.9 ลักษณะการถอดประกอบ



รูปที่ 4.10 ชั้นลอยเอนกประสงค์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

10. เรียบเรียงและจัดทำโครงการ

10.1 เรียบเรียงและจัดพิมพ์เนื้อหาของการคำนวณ โครงสร้างทั้งหมด

บทที่ 5

สรุปผลการทำโครงการและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทำโครงการ

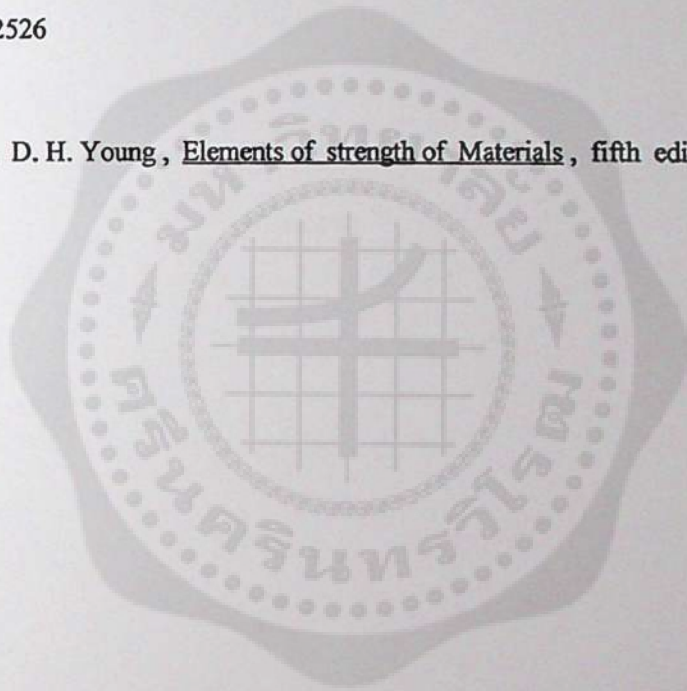
จากการได้ศึกษาและออกแบบชั้นลอยเอนกประสงค์ เพื่อเป็นชั้นลอยสำหรับการวางอุปกรณ์ในการเรียนวิชา Automotive ในการออกแบบได้คำนวณน้ำหนักแต่ละส่วนที่มีผลต่อโครงสร้างดังนี้ เสา คานชอย คานหลัก เพื่อจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมในการคำนวณจะใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H 100×100×6×8 ทำเสา, เหล็ก Channel ขนาด [100×50×5×7.5 ทำคานชอย , เหล็ก Wide Flange Shapes ขนาด WF 150×100×6×9 ทำเป็นคานหลัก, ใช้ไม้อัดหนา 20 mm ทำพื้นและใช้กระเบื้องยางปูบนพื้นไม้อัดอีกครั้งเพื่อกันน้ำมันจากเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงนำค่าทั้งหมดที่ได้คำนวณมาไปสร้างชั้นลอยเอนกประสงค์

ข้อเสนอแนะ

ควรเจาะรูที่พื้นและผนังเพื่อยึด โครงสร้างให้แน่นขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. ขวลิต อยู่ภักดี , กลศาสตร์วัสดุ , กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2526
2. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล , กรุงเทพมหานคร , บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด 2537
3. วีรศักดิ์ กรัยวิเชียร , ชีรยุทธ สุวรรณประทีป และสมาน เจริญกิจพูลผล. กลศาสตร์วิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด นำอักษรการพิมพ์ 2537
4. Tee Group of Engineers. ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร , กรุงเทพมหานคร : อักษรวิทยา , 2526
5. S.Timoshenko , D. H. Young , Elements of strength of Materials , fifth edition







ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_x	N_z
แรงอัดนิ่ง	1.5 – 2	3 – 4	5 – 6
แรงรั้งทิศทางเดียวหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7 – 8
แรงรั้งสองทิศทางหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10 – 12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5 – 7	10 – 15	15 – 20

หมายเหตุ ที่มา การออกแบบเครื่องจักรกล, เล่ม 1 หน้า 24

ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด

วัสดุ	โมดูลัสความยืดหยุ่น E		โมดูลัสความแข็งแรง G		อัตราส่วน ปัวซอง ν	น้ำหนักจำเพาะ w		
	Mpsi	Gpa	Mpsi	Gpa		lb / in ³	lb / ft ³	kN / m ³
Aluminium (all alloys)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Beryllium copper	18.0	124.0	7.00	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Brass	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Carbon steel	30.0	207.0	11.50	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Cast iron, gray	14.5	100.0	6.00	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Copper	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Douglas fir	1.6	11.0	0.60	4.1	0.330	0.016	28	4.3
Glass	6.7	46.2	2.70	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.00	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Lead	5.3	36.5	1.90	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesium	6.5	44.8	2.40	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molybdenum	48.0	331.0	17.00	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.50	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Nickel silver	18.5	127.0	7.00	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Nickel steel	30.0	207.0	11.50	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Phosphor bronze	16.1	111.0	6.00	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Stainless steel (18 – 8)	27.6	190.0	10.60	73.1	0.305	0.280	484	76.0

หมายเหตุ ที่มา การออกแบบเครื่องจักร, เล่ม 1 หน้า 363

ตารางภาคผนวกที่ 3 Channel

Standary Sectional Dimension mm					Section alArea cm ²	Unit Weight kg / m	Reference							
H × B	t ₁	t ₂	r ₁	r ₂			Position of Centre of Gravity cm	Geometrical Moment Of inertia cm ⁴		Radius of Gyratation of Area cm		Modulus of Section cm ³		
								C _x	C _y	I _x	I _y	i _x	i _y	z _x	z_{y}
75 × 40	5	7	8	4	8.818	6.92	0	1.28	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 × 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	0	1.54	188	26.0	3.97	1.48	37.6	7.52
125 × 65	6	8	8	4	17.11	13.4	0	1.90	424	61.8	4.98	1.90	67.8	13.4
150 × 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	0	2.28	861	117	6.03	2.22	115	22.4
150 × 75	9	12.5	15	7.5	30.59	24.0	0	2.31	1050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 × 75	7	10.5	11	5.5	27.20	21.4	0	2.13	1380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 × 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	0	2.21	1950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 × 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	0	2.74	2490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 × 90	9	13	14	7	44.07	34.6	0	2.40	4180	294	9.74	2.58	334	44.5
250 × 90	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	0	2.40	4680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 × 90	9	13	14	7	48.57	38.1	0	2.22	6440	309	11.5	2.52	429	45.7
300 × 90	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	0	2.34	7410	360	11.5	2.54	494	54.1
300 × 90	12	16	19	9.5	61.90	48.6	0	2.28	7870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 × 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	0	2.41	14500	535	14.5	2.78	793	70.5
380 × 100	13	16.5	18	9	78.96	62.0	0	2.33	15600	565	14.1	2.67	823	73.6
380 × 100	13	20	24	12	85.71	67.3	0	2.54	17600	655	14.3	2.76	926	87.8

หมายเหตุ ที่มา ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร , 2526 : 16

ตารางภาคผนวกที่ 4 H-Beam

Standary Sectional Dimension mm					Sectional Area cm ²	Unit Weight kg / m	Reference					
Nominal Dimension (Height × flange)	HxB	t ₁	t ₂	r			Position of Centre of Gravity cm		Radius of Gyration of Area cm		Modulus of Section cm ³	
							I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	100x50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	100x100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125 x 60	125x60	6	8	9	16.84	13.2	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
125x125	125x125	6.5	9	10	30.31	23.8	847	293	5.29	3.11	136	47.0
150x75	150x75	5	7	8	17.85	14.0	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
150x100	148x100	6	9	11	26.84	21.1	1020	151	6.17	2.37	138	30.1
150x150	150x150	7	10	11	40.14	31.5	1640	563	6.39	3.75	219	75.1
175x90	175x90	5	8	9	23.04	18.1	1210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
175x175	175x175	7.5	11	12	51.21	40.2	2880	984	7.50	4.38	330	112
200x100	198x99	4.5	7	11	23.18	18.2	1580	114	8.26	2.21	184	23.0
	200x100	5.5	8	11	27.16	21.3	1840	134	8.24	2.22	184	26.8
200x150	194x150	6	9	13	39.01	30.6	2690	507	8.30	3.61	277	67.6
200x200	200x200	8	12	13	63.53	49.9	4720	1600	8.62	5.02	472	160
	200x204	12	12	13	71.53	56.2	4980	1700	8.35	4.88	498	167
250x125	248x124	5	8	12	32.68	25.7	3540	255	10.4	2.79	285	41.1
	250x125	6	9	12	37.66	29.6	4050	294	10.4	2.79	324	47.0
250x175	244x175	7	11	16	56.24	44.1	6120	984	10.4	4.18	502	113
250x250	250x250	9	14	16	92.18	72.4	10800	3650	10.8	6.29	867	292
	250x255	14	14	16	104.7	82.2	11500	3880	10.5	6.09	919	304
300x150	298x149	5.5	8	13	40.80	32.0	6320	442	12.4	3.29	424	59.3
	300x150	6.5	9	13	46.78	36.7	7210	508	12.4	3.29	481	67.7
300x200	294x200	8	12	18	72.38	56.8	11300	1600	12.5	4.71	771	160
300x300	294x302	12	12	18	107.7	84.5	16900	5520	12.5	7.16	1150	365
	300x300	10	15	18	119.8	94.0	20400	6750	13.1	7.51	1360	450
	300x350	15	15	18	134.8	106	21500	7100	12.6	7.26	1440	466
350x175	346x174	6	9	14	52.68	41.4	11100	792	14.5	3.88	641	91
	350x175	7	11	14	63.14	49.6	13600	984	14.7	3.95	775	112
350x250	340x250	9	14	20	101.5	79.7	21700	3650	14.6	6.00	1280	292

หมายเหตุ ที่มา ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร , 2526 : 17

ตารางภาคผนวกที่ 5 Wide Flange Shapes

Section Index	Weight	Depth of Section (A)	Flange Width (B)	Thickness		Corner Radius (r)	Sectional Area	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
				Web (t ₁)	Flange (t ₂)			J _x	J _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
250x250	82.2	250	255	14	14	16	104.7	11500	3880	10.5	6.09	919	304
	72.4	250	250	9	14	16	92.18	11800	3650	10.8	6.29	867	292
	66.5	248	249	8	13	16	84.70	9930	3350	10.8	6.29	801	269
	64.4	244	252	11	11	16	82.06	8790	2940	10.3	5.98	720	233
250x175	44.1	244	175	7	11	16	56.24	6120	984	10.4	4.18	502	113
250x125	29.6	250	125	6	9	12	37.66	4050	294	10.4	2.79	324	47
	25.7	248	124	5	8	12	32.68	3540	255	10.4	2.79	285	44.1
200x200	65.7	208	202	10	16	13	83.69	6530	2200	8.83	5.13	628	218
	56.2	200	204	12	12	13	71.53	4980	1700	8.35	4.88	498	167
	49.9	200	200	8	12	13	63.53	4720	1600	8.62	5.02	472	160
200x150	30.6	194	150	6	9	13	39.01	2690	507	8.30	3.61	277	67.6
200x100	21.3	200	100	5.5	8	11	27.16	1840	134	8.20	2.22	184	26.8
	18.2	198	99	4.5	7	11	23.18	1580	114	8.26	2.21	160	23.0
175x175	40.2	175	175	7.5	11	12	51.21	2880	984	7.50	4.38	330	112
175x125	23.3	169	125	5.5	8	12	29.65	1530	261	7.18	2.97	181	41.8
175x90	18.1	175	90	5	8	9	23.04	1210	97.5	7.26	2.06	139	21.7
150x150	31.5	150	150	7	10	11	40.14	1640	563	6.39	3.78	219	75.1
150x100	21.1	148	100	6	9	11	26.84	1020	151	6.17	2.37	138	30.1
150x75	14.0	150	75	5	7	8	17.85	666	49.5	6.11	1.66	88.8	13.2
125x125	23.8	125	125	6.5	9	10	30.31	847	293	5.29	3.11	136	47.0
125x60	13.2	125	60	6	8	9	16.84	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
100x100	17.2	100	100	6	8	10	21.90	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
100x50*	9.30	100	50	5	7	8	11.85	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91

หมายเหตุ ที่มา ตารางเหล็กสำหรับรับน้ำหนักก่อสร้างและวิศวกร , 2526 : 44

ตารางภาคผนวกที่ 6 ชนิดของคุณสมบัติในการเลือกวัสดุที่ใช้ในงานวิศวกรรม

Material	Density kg/m ³	Ultimate Strength			Yield Strength ¹		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coefficient of Thermal Expansion 10 ⁻⁶ /°C	Ductility Percent Elongation in 50 mm
		Tension, compression ²	Shear		Tension	Shear				
		Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa				
STEEL :										
Structural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77	11.7	23
High-strength-low-alloy										
ASTM-A242	7860	480			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A441	7860	460			320		200	77	11.7	21
ASTM-A572	7860	415			290		200	77	11.7	24
Quenched & tempered										
ASTM A-514	7860	760			690	380	200	77	11.7	18
Stainforcing Steel										
Cold-rolled	7920	860			520		190	75	17.3	12
Annealed	7920	655			260	150	190	75	17.3	50
Reinforcing Steel										
Medium strength	7860	480			275		200	77	11.7	
High strength	7860	620			415		200	77	11.7	
CAST IRON :										
Gray Cast Iron										
4.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Malleable Cast Iron										
2% C, 1% Si, ASTM A-74	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
ALUMINUM :										
Alloy 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	100	55	70	26	23.6	9
Alloy 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Alloy 2024-T4	2800	470		280	325		73		23.2	19
Alloy 5456-H116	2630	320		185	230	130	72		23.9	16
Alloy 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Alloy 7075-T6	2800	570		330	500		72	28	23.6	11

หมายเหตุ ที่มา BEER Mechanics of Materials , 1992 : 701

ตารางภาคผนวกที่ 7 ส่วนผสมของลวดเชื่อมเมื่อเป็นเนื้อโลหะเชื่อมของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม

AWS-ASTM

<u>Classification</u>	C	Mn	S	Si	Cr	Ni	Mo	V
(H) LOW-ALLOY STEEL COVERED ELECTRODES FOR HEAT TREAT TREATABLE WELD								
Cr-Mo	0.10	0.55	0.02	0.45	0.50	.....	1.10	.....
Cr-Ni-Mo	0.20	1.50	0.02	0.50	0.50	1.25	0.25	.....
4130	0.25	1.00	0.02	0.50	1.00	.....	0.25	.....
4140	0.40	1.00	0.02	0.50	1.00	.....	0.25	.....
4340	0.40	1.00	0.02	0.50	1.00	2.00	0.25	.....
MIL-13018	0.10-	0.80-	0.03	0.30-	0.90-	1.50-	0.45-	0.02
	0.15	1.15	Max	0.60	1.20	2.00	0.75	Max

Not recognized classifications in current AWS – ASTM specification.

ตารางภาคผนวกที่ 8 คุณสมบัติทางแรงดึงของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม

TYPICAL RANGES FOR TENSILE PROPERTIES OF CARBON AND LOW-ALLOY STEEL WELD METAL DEPOSITED BY COVERED ELCTRODES					
PART I – MILD STEEL COVERED ELECTRODES					
AWS-ASTM Classification	Condition In which Tested	Tensile Properties b			
		UTS Ksi	YS ksi	Elong. 2 in. %	Red. Of Area, %
E6010	AW	60-70	50-62	22-28	35-60
E6010 ^a					
Iron powder	AW	60-70	50-62	20-28	30-60
E6011	AW	60-70	50-62	22-30	35-60
E6012	AW	60-78	50-65	17-28	20-50
E6013	AW	60-78	50-65	17-24	25-50
E6014 ^a	AW	60-72	50-62	17-25	30-50
E6020	AW	60-70	50-58	25-30	40-60
E6024 ^a	AW	60-72	50-60	17-22	20-40
E6027	AW	60-68	50-55	25-35	40-75
E6028 ^a	AW	60-72	50-60	22-30	55-75

ตารางภาคผนวกที่ 8 คุณสมบัติทางแรงดึงของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม (ต่อ)

TYPICAL RANGES FOR TENSILE PROPERTIES OF CARBON AND LOW-ALLOY STEEL WELD METAL DEPOSITED BY COVERED ELECTRODES					
PART I – MILD STEEL COVERED ELECTRODES					
Tensile Properties ^b					
AWS-ASTM Classification	Condition In which Tested	UTS Ksi	YS ksi	Elong. 2 in. %	Red. Of Area, %
E6030 ^a	AW	60-68	50-58	25-30	40-60
E7014	AW	70-85	60-77	17-25	30-50
E7015	AW	70-76	60-62	22-35	55-75
E7016	AW	70-76	60-62	22-35	55-75
E7018		70-85	60-70	22-35	55-75
	AW	72	62	38	77
E7024	AW	70-85	60-75	17-22	20-40
E7028	AW	70-85	60-75	22-30	55-75
E7010-A1	AW	70-85	60-75	22-30	62-75
	SR-1150	70-80	58-65	22-35	58-65
E7016-A1	AW	72-85	62-75	24-35	.....
	SR-1150	70-80	58-65	24-35	.....
E7018-A1	AW	72-85	62-75	24-35	55-75
	SR-1150	70-80	58-65	24-40	55-75
E7020-A1	AW	72-80	60-68	22-30	.....
	SR-1150	70-80	58-65	22-35	.....
E8015-G	AW	80-96	67-80	19-35	.....
	SR-1150	80-92	67-80	19-35	.....
E8016-B2	SR-1150	95	85	32	.....
	SR-1350	82	67	29	.....
E8016-C1	AW	82	73	30	70
E8016-C2	AW	80-100	70-90	27	68
E8016-G	AW	96	80	28	.....
	SR-1150	91	77	29	.....

ตารางภาคผนวกที่ 8 คุณสมบัติทางแรงดึงของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม (ต่อ)

E8018-B2	AW	90-95	79-84	24-26	62
	SR-1350	83-93	70-83	25-30	70
E8018-C2	AW	94	83	25	55
	SR-1150	85	77	32	74
E8018-C3	AW	82-90	72-79	28	73
	SR-1150	81	71	30	.....
E8018-G	AW	89	80	30	73

Not a recognized classification in current AWS – ASTM specifications.

ตารางภาคผนวกที่ 9 รหัสสวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ประเภทแรงดึง

AWS Electrode Classification System		
DIGIT	SGINIFICANCE	EXAMPLE
1 st two or 1 st three	Min.tensile strenghtg (stress relieved)	E-60xx = 60,000(min) E-110xx = 110,000 psi (min)
2 nd last	Welding position	E-xx1x = all positions E-xx2x = horizontal and flat E-xx3x = flat
Last	Power supply, type of slag, type of are, amount of penetration, presence of iron powder in coating	See Table 6-2

Note: Prefix “ E ” (to left of a 4 or 5 – digit number) signifies arc welding electrode

ตารางภาคผนวกที่ 10 รหัสตัวเลขสุดท้ายของลวดไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ประเภทแรงดึง

Interpretation of Last Digit in AWS Electrode Classification									
LAST DIGIT	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Power supply	(a)	AC or DC rev Polarity	AC or DC	AC or DC	AC or DC	DC rev polarity	AC or DC rev. polarity	AC or DC	AC or DC rev. polarity
		Organic	Rutile	Rutile	Rutile	Low Hydrogen	Low Hydrogen	Mineral	Low Hydrogen
		Digging	Medium	Soft	Soft	Medium	Medium	Soft	Medium
		Deep	Medium	Light	Light	Medium	Medium	Medium	Medium
		None	0-10%	0-10%	30-50%	None	None	50%	30-50%

Note: (a) E-6010 is DC reverse polarity; E-6020 is AC or DC

(b) E-6010 is organic; E-6020 is mineral

(c) E-6010 is deep penetration; E-6020 is medium penetration

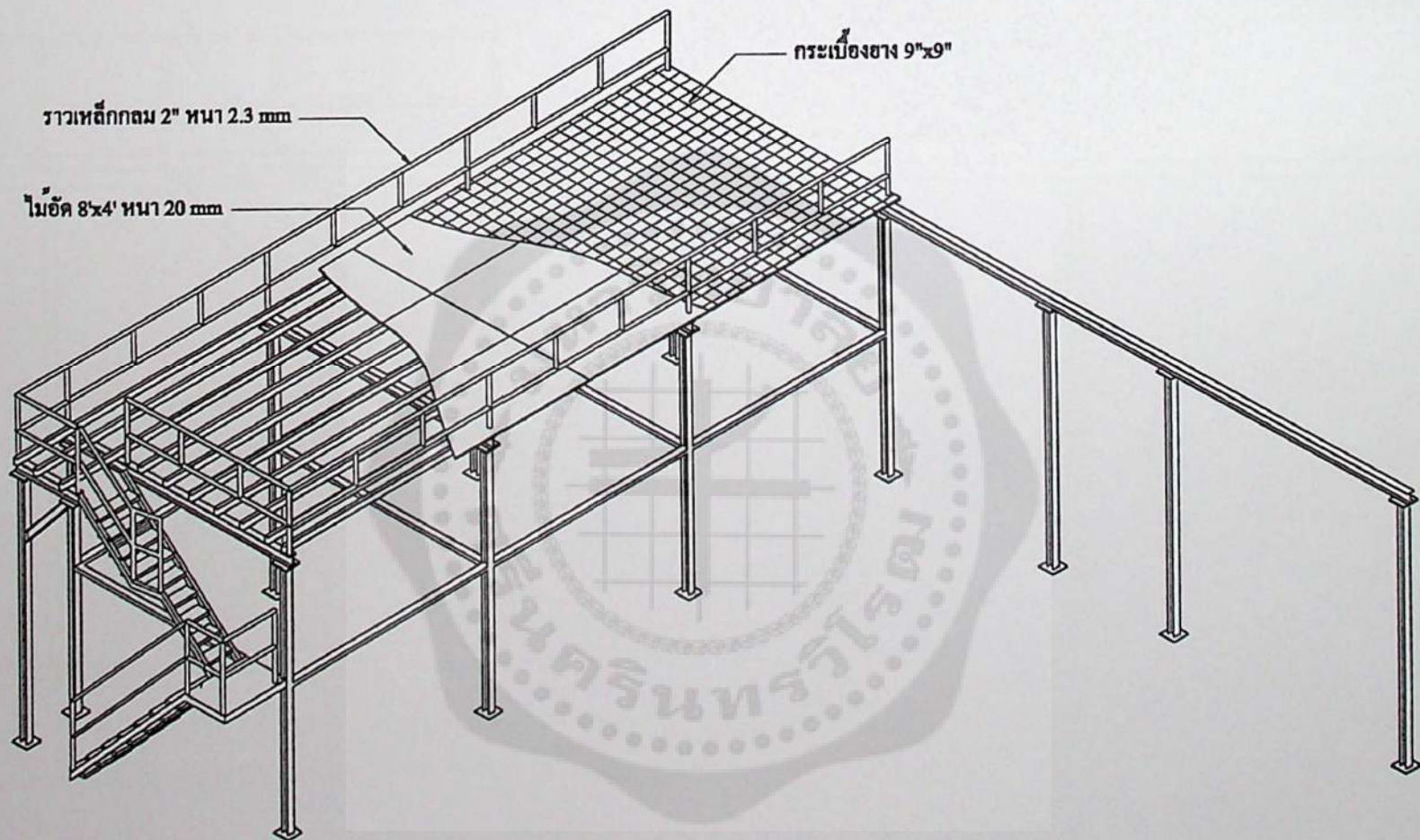
ภาคผนวกที่ 11 รหัสตัวอักษรต่อท้ายรหัสตัวเลข

AWS Designation of Major Alloying Elements In Arc Welding Electrodes					
SUFFIX TO AWS ELECTRODE NO.	ALLOY ELEMENT, %				
	Mo (Molybdenum)	Cr (Chromium)	Ni (Nickel)	Mn (Manganese)	Va (Vanadium)
A ₁	0.5				
B ₁	0.5	0.5			
B ₂	0.5	1.25			
B ₃	1.0	2.25			
B ₄	0.5	2.0			
C ₁			2.5		
C ₂			3.5		
C ₃			1.0		
D ₁	0.3			1.5	
D ₂	0.3			1.75	
G ₁	0.2	0.3	0.5	1.0	0.3

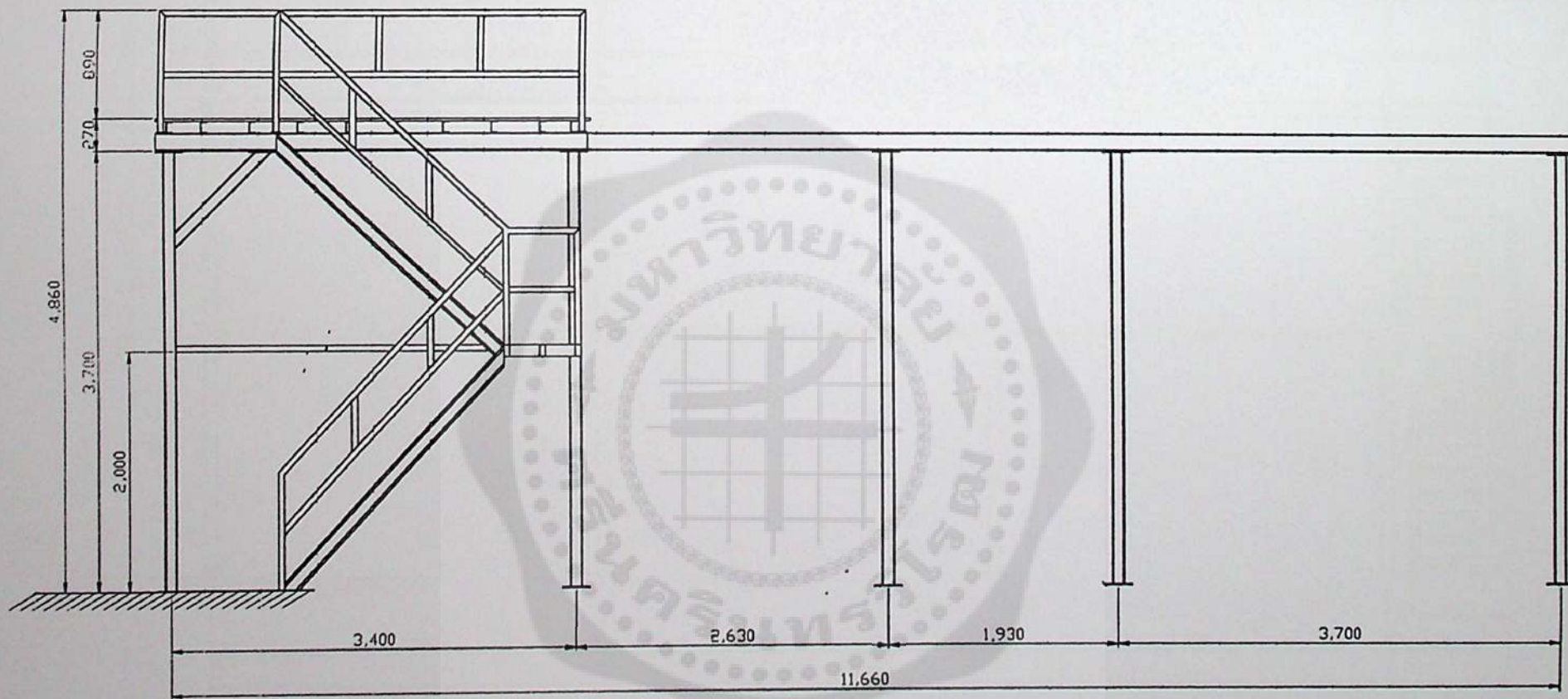
Need have minimum content of one element only

ภาคผนวกที่ 2
แสดงแบบของโครงสร้างชั้นลอยเอนกประสงค์

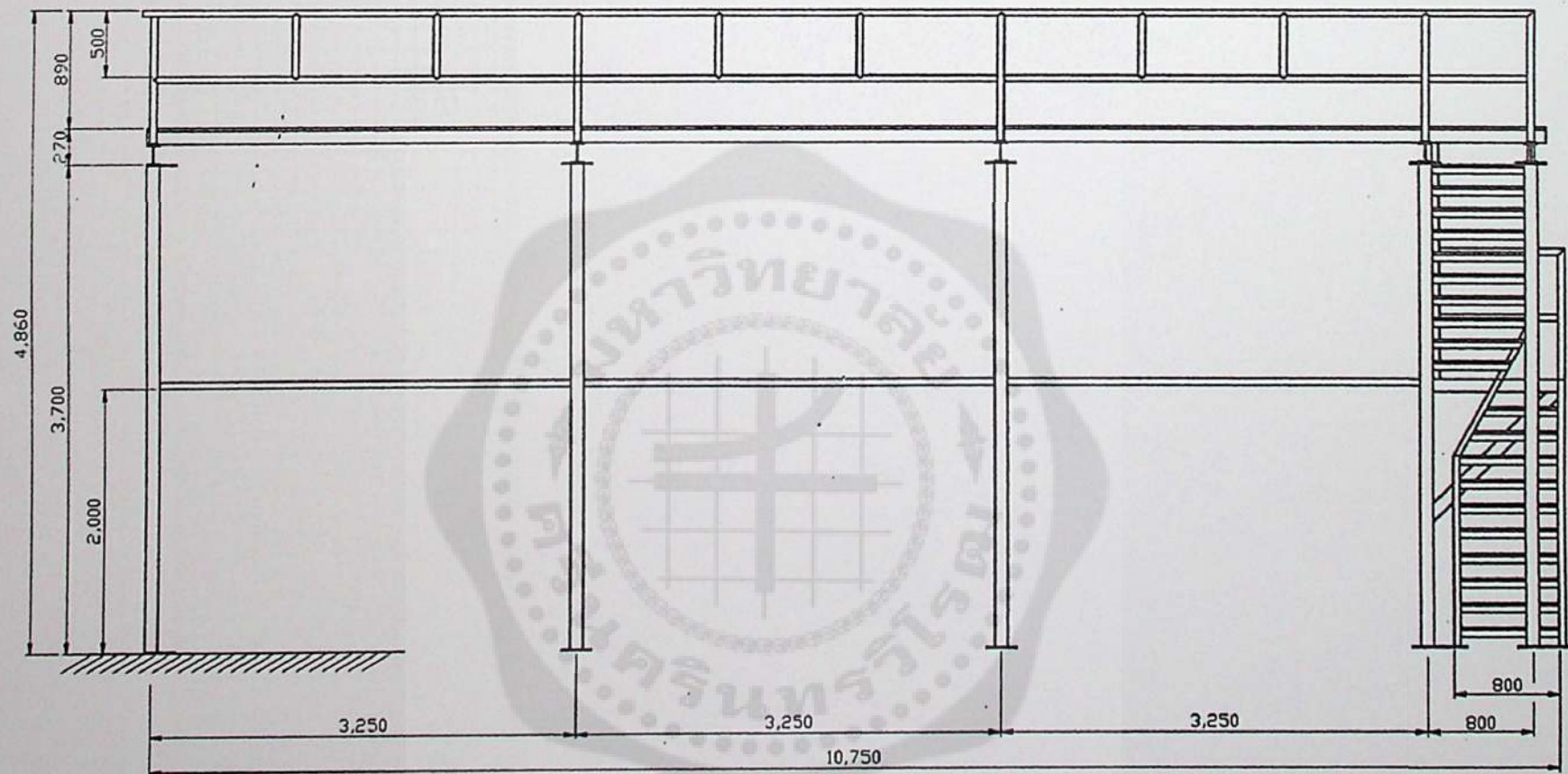




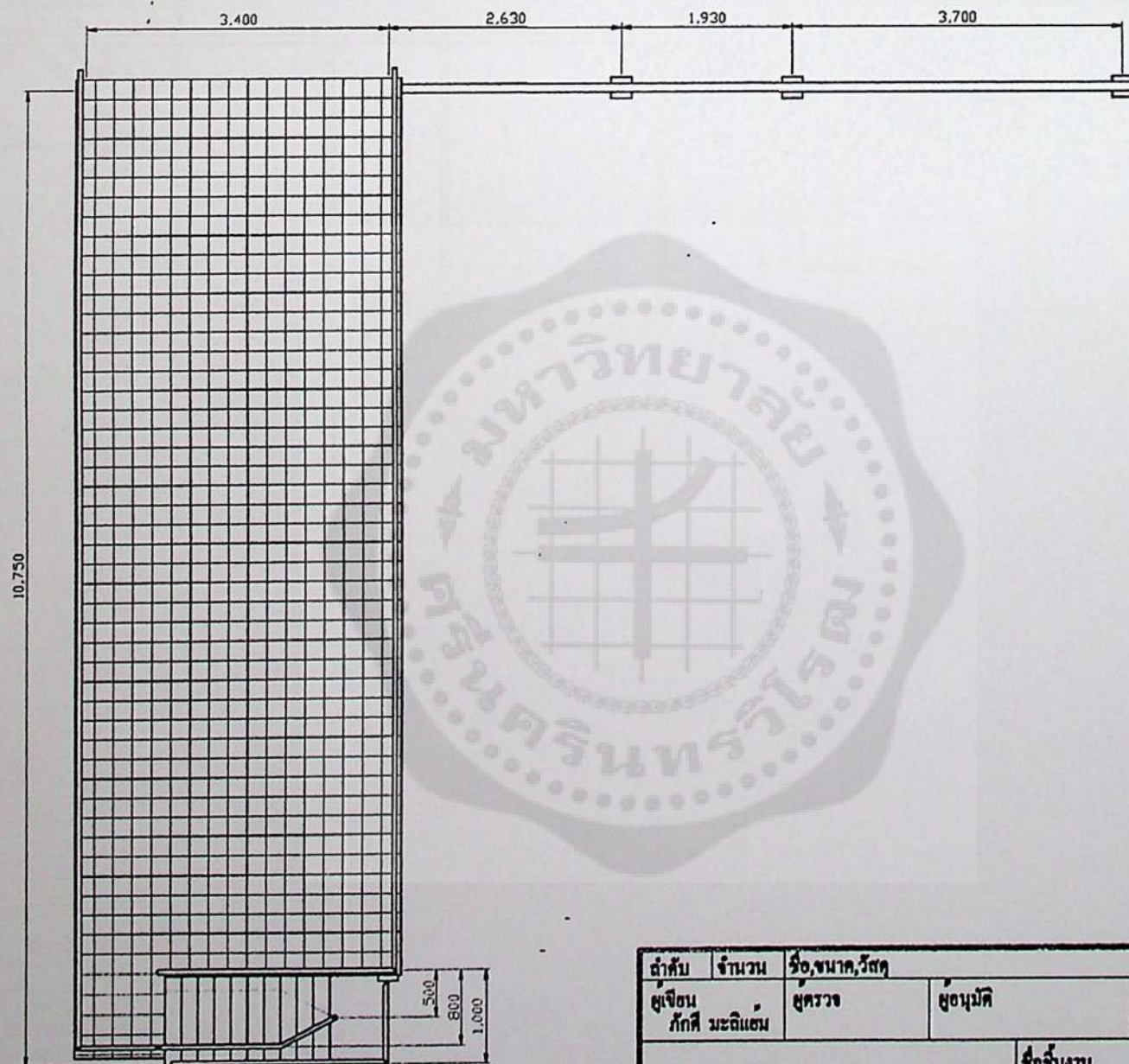
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตรฐาน		
ผู้เขียน ภักดี มะณีแสน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน	ภาพ 3 มิติ	
			หมายเลขแบบ	No.01	แก้ไขครั้งที่ แผ่นที่



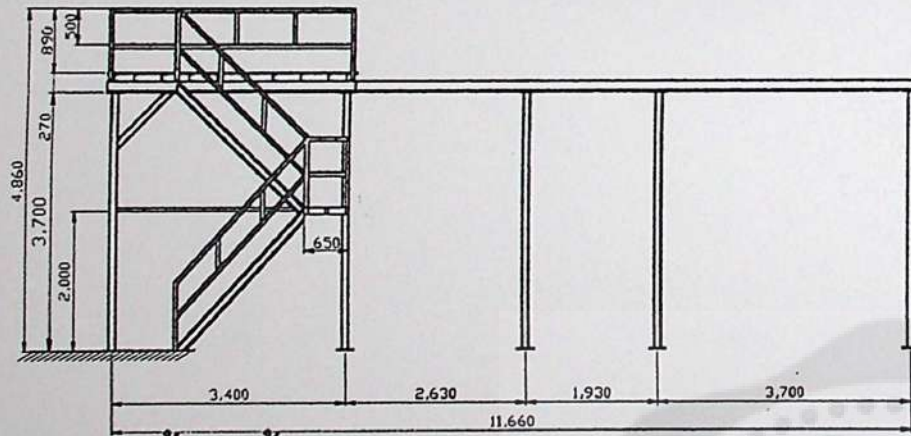
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ			มาตรฐาน 1:30	
ผู้เขียน ภักดิ์ มะลิแสน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ		วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อรับงาน	ด้านหน้า	
				หมายเลขแบบ	No.02	แก้ไขครั้งที่
				แผ่นที่		



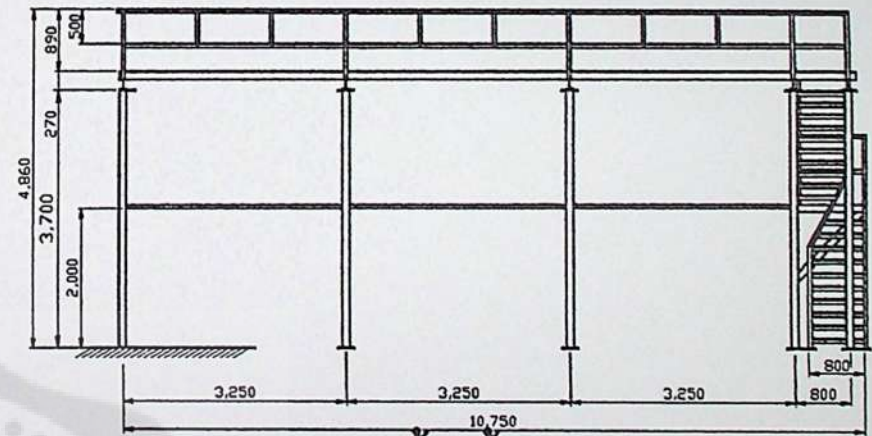
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ		มาตราส่วน	1:50
ผู้เขียน กิติ มณีธรรม	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ		วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อโรงงาน	คาน้ำข้าง	
			หมายเลขแบบ	No.03	แก้ไขครั้งที่
			แผ่นที่		



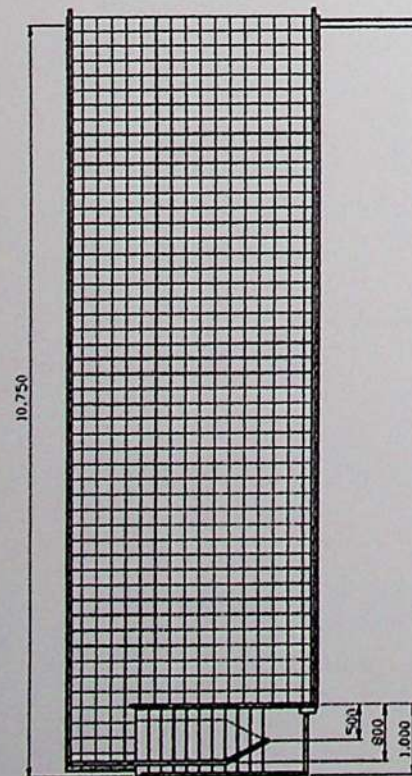
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตรฐาน 1:65		
ผู้เขียน ภักดี มะลิแสน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อรับงาน	คานบ่น	
			หมายเลขแบบ	No.04	แก้ไขครั้งที่ แผ่นที่



ด้านหน้า

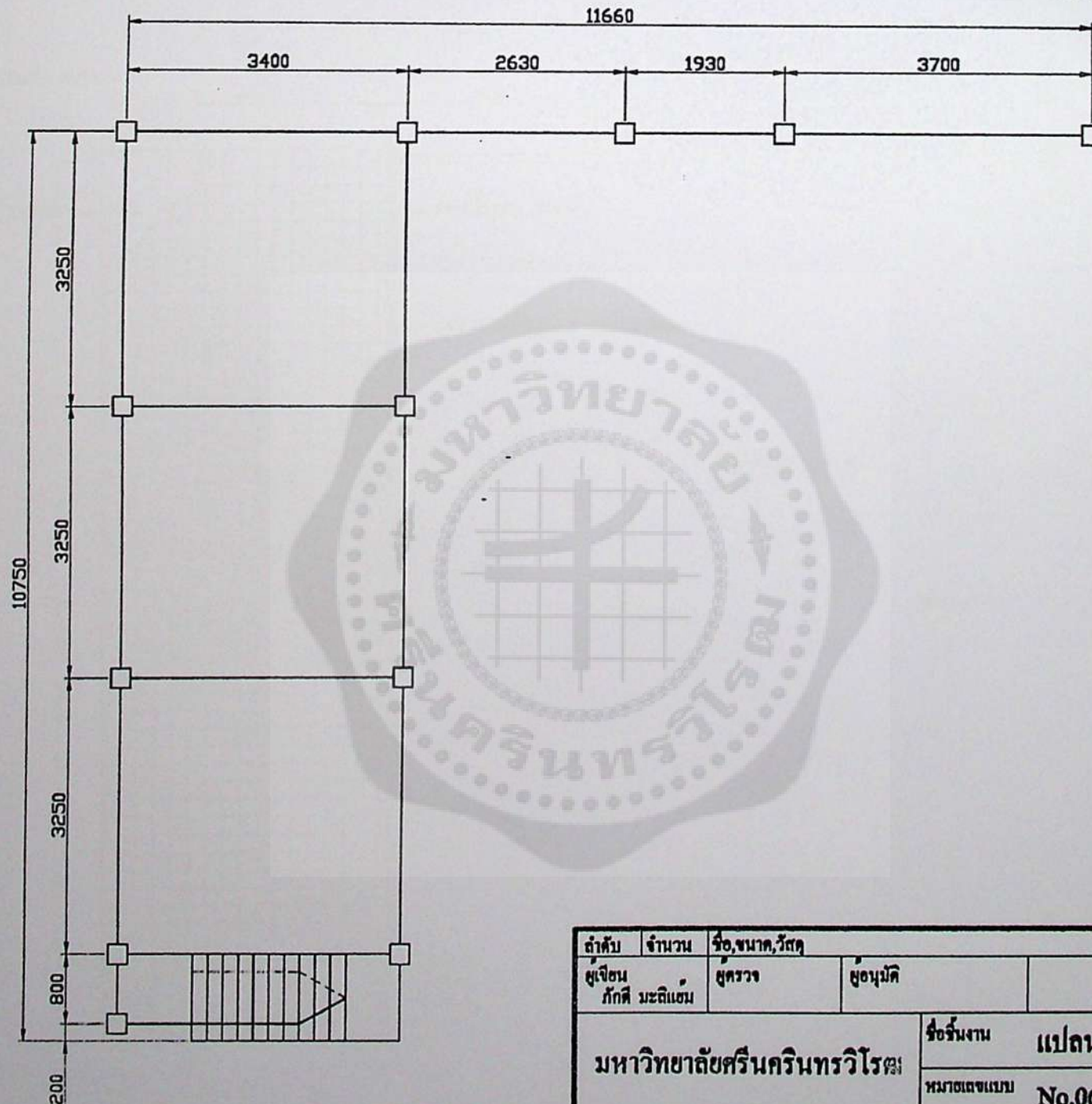


ด้านข้าง

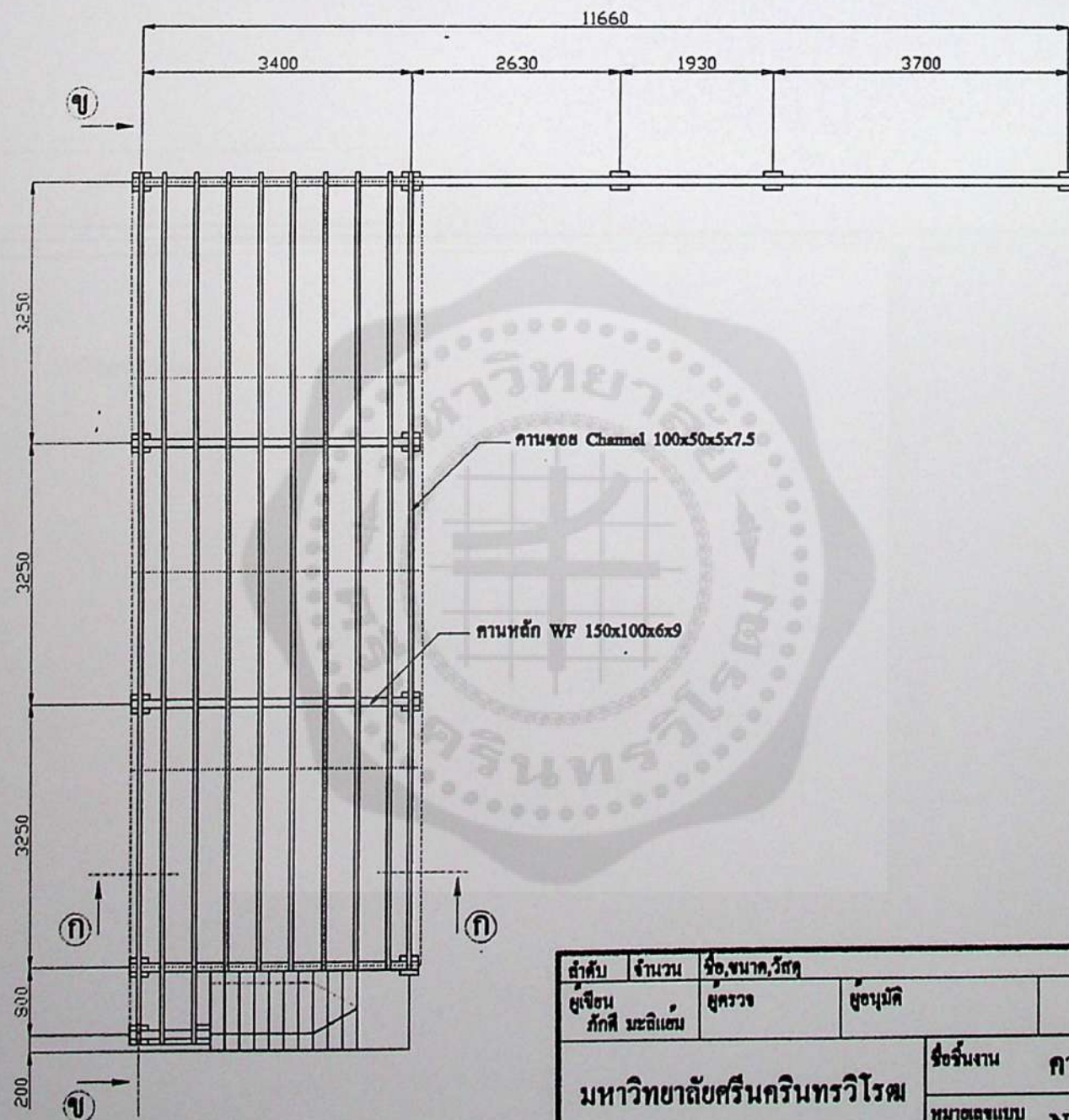


ด้านหลัง

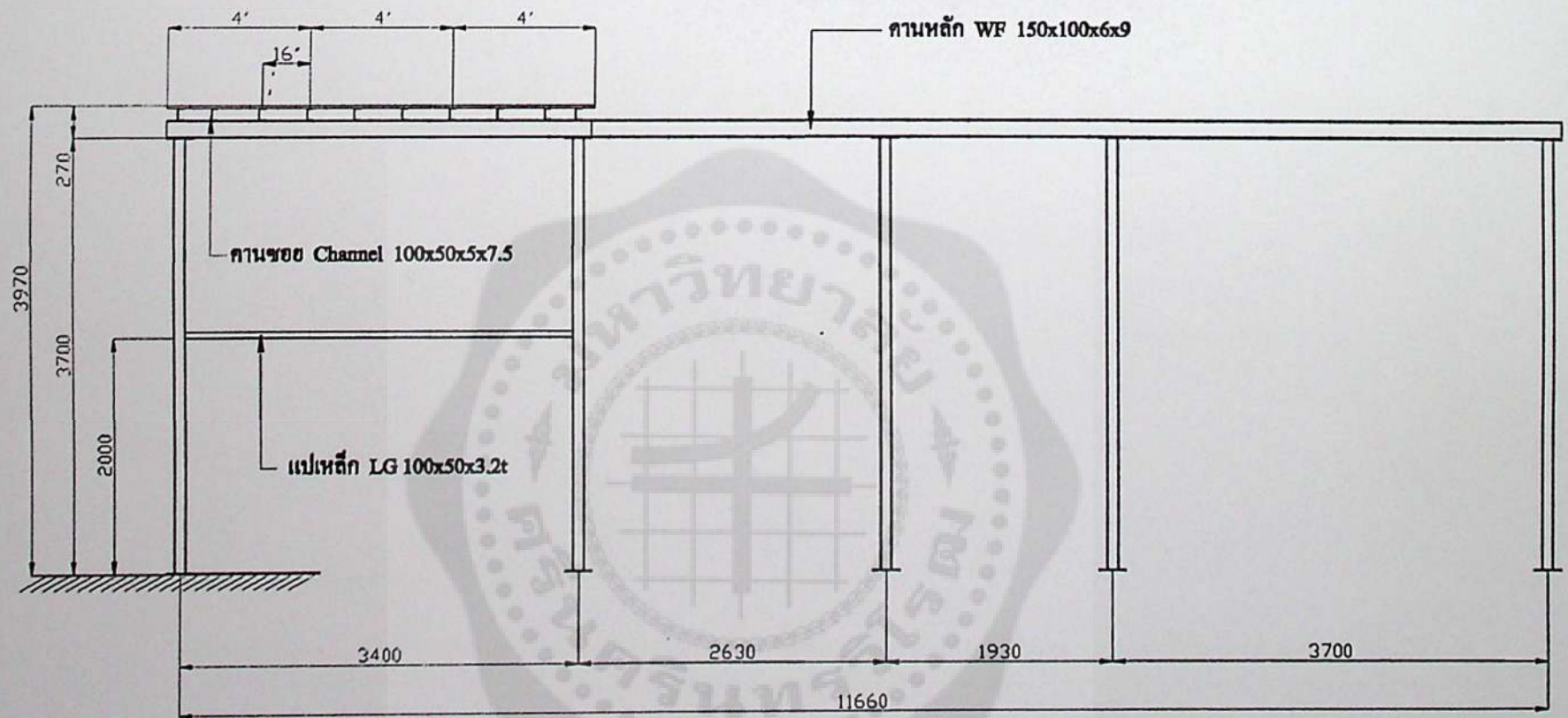
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตราส่วน	1:100
ผู้เขียน กักต๊	มณฑิแฒ	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อรับงาน	3 คำน
			หมวดเลขแบบ	No.05
			แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่



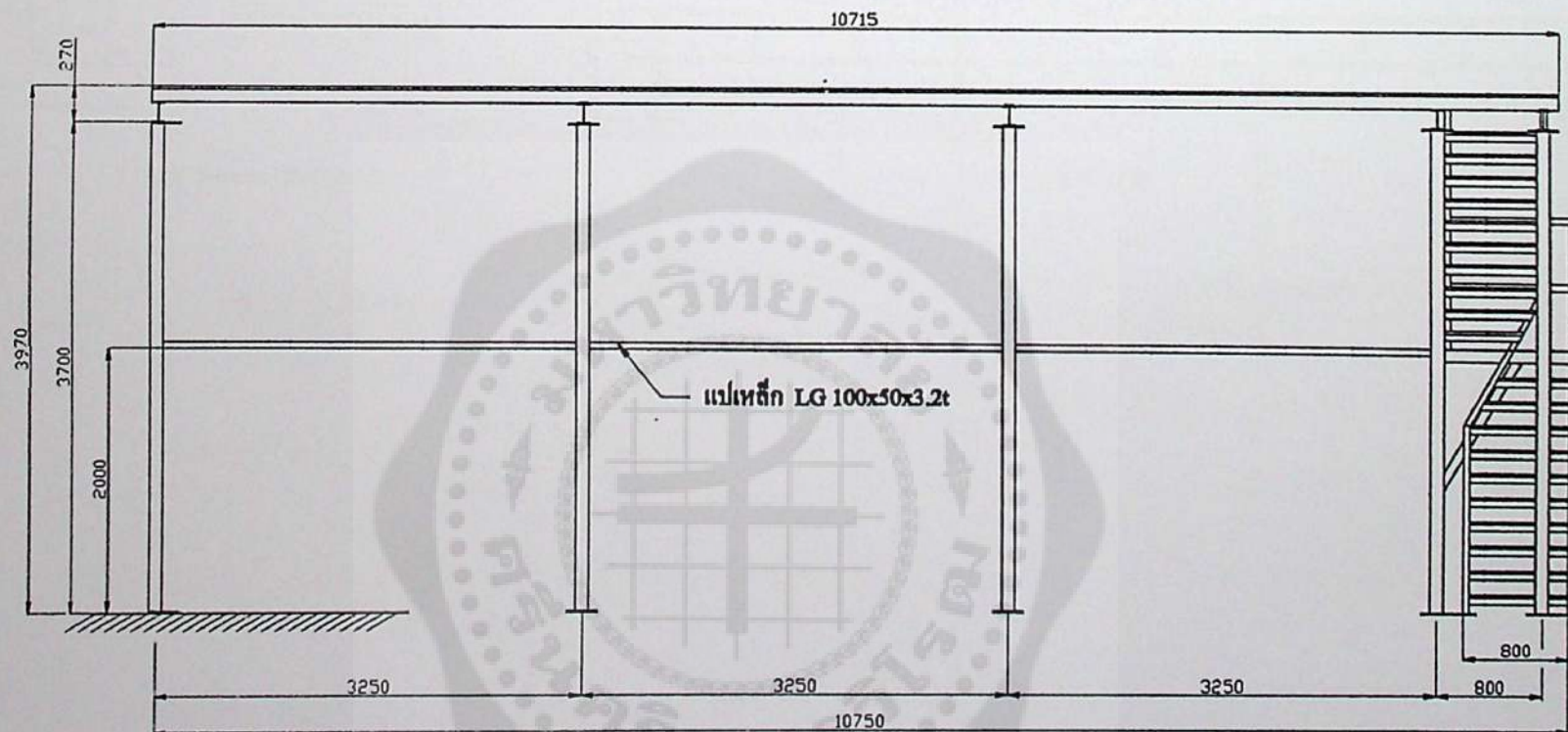
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ			มาตรฐาน 1:70	
ผู้เขียน ภักดี มะติแสน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ		วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อรับงาน แปลน			
			หมายเลขแบบ	No.06	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่



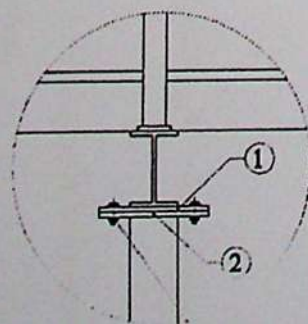
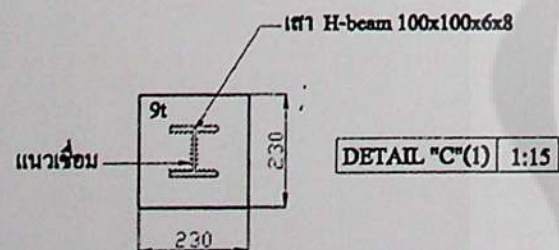
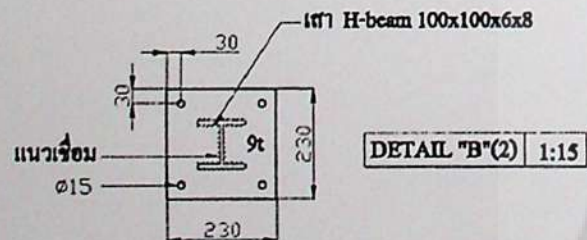
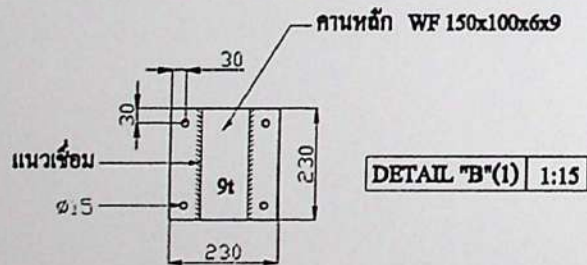
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตราส่วน 1:70	
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่	
ภักดี นະดิแสง				
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ		ชื่อรับงาน	กาน	
		หมายเลขแบบ	No.08	แก้ไขครั้งที่ / แผ่นที่



ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตรฐาน 1:50		
ผู้เขียน ภักดี มะลิแหม่ม		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อโรงงาน	หน้าตัด ก-ก	
			หมายเลขแบบ	No.09	แก้ไขครั้งที่ / แผ่นที่

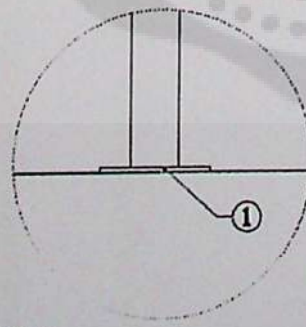


ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตราส่วน	1 : 50	
ผู้เขียน ภิกษี มะลิแสน		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อรับงาน	หน้าตัด ข-ข	
			หมายเลขแบบ	No.10	แก้ไขครั้งที่ แผ่นที่

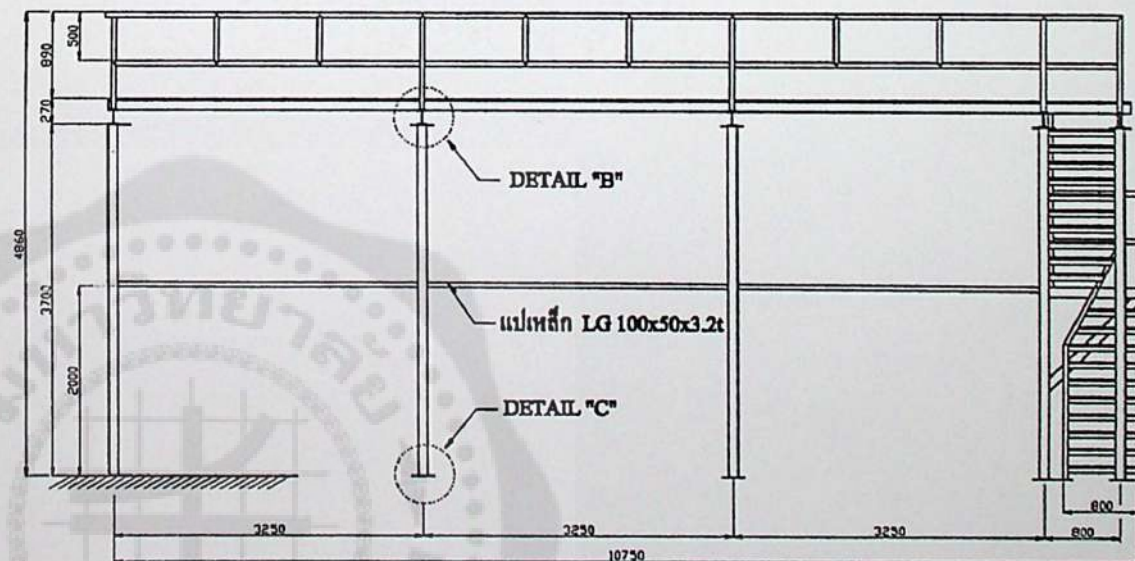


สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม M10x30

DETAIL "B"



DETAIL "C"



ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ	มาตรฐาน
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่
ภักดี มะลิแหม่น			
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ		ชื่อชิ้นงาน	หน้าตัดต่างๆ
		หมวดเลขแบบ	No.11
		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่

ประวัติผู้จัดทำ

- ชื่อ นางสาวกณทิมา มินคร
 ประวัติ เกิดวันที่ 12 พฤษภาคม 2521
 ที่อยู่ 85/1 หมู่ 5 ตำบลบางช้าง อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม 75110 โทร. (01) 6517809
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกล
- ชื่อ นายเกรียงไกร เนตรไธสง
 ประวัติ เกิดวันที่ 23 มกราคม 2521
 ที่อยู่ 825 ซอย ส.ธรณินทร์ 8 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก มหานคร สาขาช่างเทคนิคยานยนต์
- ชื่อ นายจตุรงค์ หนูในน้ำ
 ประวัติ เกิดวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2518
 ที่อยู่ 76 หมู่ 8 ตำบลควนกรด อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ สาขาช่างเทคนิคการผลิต
- ชื่อ นายจิรศักดิ์ จันตบุตร
 ประวัติ เกิดวันที่ 31 ตุลาคม 2521
 ที่อยู่ 74 หมู่ 5 ตำบลบึงนาราง อำเภอสว่างวีรจักร จังหวัดพยุหะคีรี 32110
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา สาขาช่างยนต์

ชื่อ นายชัชวาลย์ เ็นดิชนะนนท์
 ประวัติ เกิดวันที่ 31 พฤษภาคม 2521
 ที่อยู่ 2499 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240 โทร.(02)3146323
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก
 มหานคร สาขาช่างเทคนิคยานยนต์

ชื่อ นายปัญญา แจ่มเจริญ
 ประวัติ เกิดวันที่ 21 กรกฎาคม 2520
 ที่อยู่ 73 ซอยวชิรธรรมสาริต 35 สุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก
 เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร 10260 โทร.(02)7464176
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
 สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกล

ชื่อ นายภักดี มะลิแย้ม
 ประวัติ เกิดวันที่ 6 มกราคม 2521
 ที่อยู่ 22 หมู่ 5 ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัด
 สมุทรปราการ 10290 โทร.(02)8152056
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
 สาขาช่างเขียนแบบเครื่องกล

ชื่อ นายรุ่งโรจน์ รุ่งรส
 ประวัติ เกิดวันที่ 16 มีนาคม 2521
 ที่อยู่ 1055 หมู่ 9 ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
 10280 โทร.(02)3233102
 ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
 สาขาช่างยนต์

ชื่อ	นายอักรพงษ์ พานทอง
ประวัติ	เกิดวันที่ 29 กันยายน 2518
ที่อยู่	14 หมู่ 3 ตำบลพิมลราช อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี (02)571-2317
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รร.คอนบอสโก สาขาช่างยนต์

