โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(207499)

ที่ 20 / 2550

เรื่อง

โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ

Web Based Beams Analysis Calculator

ดำเนินงานโดย

นางสาวโสภิตรา ทัดเทียม

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2550

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างคานบนเว็บ

Web Based Beams Analysis Calculator

นามผู้ทำโครงงาน นางสาวโสภิตรา ทัดเทียม

ได้รับความเห็นชอบโดย

ประธานโครงการ .....

(รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน)

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ

โดย : นางสาวโสภิตรา ทัดเทียม

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : .....

(รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์)

...../...../.....

โครงงานวิศวกรรมชลประทานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ เพื่อให้นิสิตนักศึกษาและผู้ที่สนใจทั่วไป เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานในกรณีต่างๆ ได้ง่ายขึ้น ทำให้สามารถเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของคานได้ดียิ่งขึ้น

โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บนี้ เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรม Macromedia Dreamweaver 8 และโปรแกรม Edit plus ในการเขียนเว็บโดยใช้ภาษา PHP เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของคานที่เกี่ยวกับการหาค่าแรงเฉือน ค่าโมเมนต์ดัดของคาน แผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัดของคานแต่ละชนิด ดังนี้

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam) มี 6 แบบ
2. คานยื่น (Cantilever Beam) มี 4 แบบ
3. คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) มี 5 แบบ
4. คานยึดแน่น (Fixed-Ended Beam) มี 4 แบบ
5. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (Propped Beam) มี 3 แบบ
6. คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) มี 4 แบบ

โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บนี้ช่วยให้สามารถคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานในกรณีต่างๆ ได้ง่ายขึ้น และยังเป็นสื่อการเรียนรู้ทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานที่สามารถใช้โปรแกรมช่วยคำนวณนี้ได้จาก website http://pirun.ku.ac.th/~fengvwv/_sophitra/ ได้อีกด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างของคานได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

Abstract

Title: Web Based Beams Analysis Calculator

By Miss Sophitra Thatthaim

Project adviser .....

(Assoc. Prof. Dr. Varawoot Vudhivanich)

...../...../.....

This Irrigation engineering project has the main objective to develop the Web Based Beams Analysis Calculator. This calculator will be useful for students and other interesting persons in calculating the solutions for Beams Analysis problems in order to increase the learning process.

This program uses many softwares including Macromedia Dream weaver 8 program to develop the webpage, Edit Plus program for writing PHP language script for calculation. This program is useful for learning the subject of Beams Analysis about shear, moment, shear diagram and bending moment diagram of beams including

1. Simple Beam or Simply Supported Beam for 6 cases.
2. Cantilever Beam for 4 cases.
3. Overhanging Beam for 5 cases.
4. Fixed-Ended Beam for 4 cases.
5. Propped Beam for 3 cases.
6. Continuous Beam for 4 cases.

This program is useful calculating the solutions for Beams Analysis problems in order to increase the learning process and useful for the subject of Beam Analysis. Those who are interest in this subject can find and use the calculator from the website http://pirun.ku.ac.th/~fengvwv/sophitra/. This program can calculate Beams Analysis problems easily.

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ทางผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเป็นอย่างดี จนทำให้โครงงานวิศวกรรมชลประทานเล่มนี้สำเร็จได้

ขอกราบขอบพระคุณ บุพการี ญาติ พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ วิศวกรรมชลประทานรุ่น IRRE 60 ทุกคน ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ คอยให้กำลังใจและให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเล่มนี้มาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานวิศวกรรมชลประทานเล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและผู้ที่กำลังศึกษาทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรรมไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัย และขอน้อมรับคำแนะนำมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวโสภิตรา ทัดเทียม

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
คำนิยม	iii
สารบัญ	iv
สารบัญภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	
2.1 โครงสร้าง	3
2.2 คำจำกัดความทั่วไป	3
2.3 ชนิดของโครงสร้าง	4
2.4 ชนิดของคาน	7
2.5 ชนิดของฐานรองรับ (Type of support)	10
2.6 สมการของการสมดุล (Equation of Equilibrium)	11
2.7 แรงปฏิกิริยา (Reaction Force)	12
2.8 โครงสร้างดีเทอร์มิเนทและโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท	14
2.9 ชนิดของน้ำหนักบรรทุก (Types of Loadings)	16
2.10 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด (Shearing Force and Bending Moment)	19
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด	22
2.12 แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram : SFD)	24
2.13 แผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram)	26
2.14 แผนภาพมาตรฐาน (Standard Diagram)	28
ตัวอย่างที่ 1 - 4	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ประกอบการใช้งานของโปรแกรม 44

3.2 วิธีดำเนินการ 44

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรม 46

4.2 วิธีการใช้โปรแกรม 47

4.3 โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ 49

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 75

เอกสารอ้างอิง 76

ภาคผนวก 77

Simple Beam - Uniformly Distributed Load. 78

Simple Beam - Load Increasing Uniformly To One End. 81

Simple Beam - Load Increasing Uniformly To Center. 85

Simple Beam - Concentrated Load At Center. 89

Simple Beam - Concentrated Load At Any Point. 93

Simple Beam - Two Equal Concentrated Loads Symmetrically Placed. 98

Beam Fixed At One End, Supported At Other - Uniformly Distributed Load. 102

Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load At Center. 105

Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load Any Point. 109

Beam Fixed At Both Ends - Uniformly Distributed Loads. 115

Beam Fixed At Both Ends - Concentrated Load At Center. 118

Cantilever Beam - Load Increasing Uniformly To Fixed End. 122

Cantilever Beam - Uniformly Distributed Load. 125

Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Uniformly Distributed Load. 128

Cantilever Beam - Concentrated Load At Any Point. 131

Cantilever Beam - Concentrated Load At Free End. 135

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Concentrated Load At Guided End. 138

Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load. 141

Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load On Overhang. 145

Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At End Of Overhang. 150

Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load Between Supports. 155

Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At Any Point Between Supports. 158

Continuous Beam - Two Equal Span - Uniform Load On One Span. 164

Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Center Of One Span. 170

Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Any Point. 178

Continuous Beam - Three Equal Spans – End Spans Loaded. 186

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ชนิดของคาน 4
รูปที่ 2.2 โครงข้อแข็ง 5
รูปที่ 2.3 โครงข้อหมุน 6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างเชิงประกอบ 6
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโครงรูปโค้ง 7
รูปที่ 2.6 คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย 7
รูปที่ 2.7 คานยื่น 8
รูปที่ 2.8 คานช่วงปลายยื่น 8
รูปที่ 2.9 คานยึดแน่น 9
รูปที่ 2.10 คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน 9
รูปที่ 2.11 คานต่อเนื่อง 9
รูปที่ 2.12 Roller Support 10
รูปที่ 2.13 Hinge Support 11
รูปที่ 2.14 Fixed Support 11
รูปที่ 2.15 แสดงการกำหนดเครื่องหมายบวกของแรงภายนอกในระบบสองมิติ 12
ตารางที่ 1 แสดงแบบต่างๆ ของที่รองรับ ในระบบพื้นราบสองมิติ 13
รูปที่ 2.16 โครงสร้างดีเทอร์มิเนท 15
รูปที่ 2.17 โครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท 16
รูปที่ 2.18 Concentrated load 17
รูปที่ 2.19 Uniformly load 18
รูปที่ 2.20 Linearly varying load 18
รูปที่ 2.21 Concentrated moment 19
รูปที่ 2.22 ลักษณะและเครื่องหมายของแรงตามแนวแกน 20
รูปที่ 2.23 ลักษณะของเครื่องหมายของแรงเฉือน 21
รูปที่ 2.24 ลักษณะและเครื่องหมายของโมเมนต์ดัด 21
รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด 22
รูปที่ 2.26 ลักษณะของแผนภาพแรงเฉือน 25
รูปที่ 2.27 ลักษณะของแผนภาพของโมเมนต์ดัด 27

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.29 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงปลายคาน 29
รูปที่ 2.30 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงกลางคาน 30
รูปที่ 2.31 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่จุดกึ่งกลางคาน 31
รูปที่ 2.32 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน 32
รูปที่ 3.33 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด 2 จุด ที่มีขนาดเท่ากัน
วางห่างจากจุดรองรับทั้งสองข้างเท่ากัน 33
รูปที่ 3.34 คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน 34
รูปที่ 3.35 คานยื่นรับน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน 35
รูปที่ 2.36 แผนภาพแรงเฉือน 39
รูปที่ 2.37 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด 41
รูปที่ 4 แสดงเว็บไซต์ของโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
ของคานบนเว็บ 47
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Uniformly Distributed Load. 49
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Load Increasing Uniformly To One End. 50
รูปที่ 4.3 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Load Increasing Uniformly To Center. 51
รูปที่ 4.4 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Concentrated Load At Center. 52
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Concentrated Load At Any Point. 53
รูปที่ 4.6 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Two Equal Concentrated Loads
Symmetrically Placed. 54
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Supported At Other - Uniformly
Distributed Load. 55
รูปที่ 4.8 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Supported At Other –
Concentrated Load At Center. 56
รูปที่ 4.9 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated 57
รูปที่ 4.10 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At Both Ends - Uniformly Distributed Loads. 58
รูปที่ 4.11 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At Both Ends - Concentrated Load At Center. 59
รูปที่ 4.12 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Load Increasing Uniformly To Fixed End. 60
รูปที่ 4.13 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Uniformly Distributed Load. 61

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other – Uniformly Distributed Load. 62
รูปที่ 4.15 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Concentrated Load At Any Point. 63
รูปที่ 4.16 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Concentrated Load At Free End. 64
รูปที่ 4.17 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other – Concentrated Load At Guided End. 65
รูปที่ 4.18 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load. 66
รูปที่ 4.19 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load On Overhang. 67
รูปที่ 4.20 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At End Of Overhang. 68
รูปที่ 4.21 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load Between Supports. 69
รูปที่ 4.22 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At Any Point Between Supports. 70
รูปที่ 4.23 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Span - Uniform Load On One Span. 71
รูปที่ 4.24 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Center Of One Span. 72
รูปที่ 4.25 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Spans – Concentrated Load At Any Point. 73
รูปที่ 4.26 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Three Equal Spans – End Spans Loaded. 74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

สิ่งก่อสร้าง โครงสร้างหรืออาคาร เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์ได้ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้ตามลักษณะความต้องการที่แตกต่างกันไป ดังเช่น เป็นที่พักอาศัย โรงงาน โรงมหรสพ โรงเก็บวัสดุ ต่างๆ เหล่านี้เป็นต้น อาคารที่เห็นบ่อยๆ ได้แก่ อาคารที่อยู่อาศัย สำนักงาน โรงเรียน คลังสินค้า สะพาน โรงภาพยนตร์ ห้องประชุม เขื่อน ตอม่อ ถนน สนามบิน โรงจอดรถ ท่อ อุโมงค์ หอสูง ถังประปา กำแพงกันดิน เป็นต้น ซึ่งอาคารต่างๆ เหล่านี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีรูปลักษณะต่างๆ กันไป เช่น เป็นรูปแท่งตัน แท่งกลวง แผ่นพื้นหนา แผ่นบาง หรือแผ่นโค้ง เป็นต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรมนั้น ถือเป็นวิชาที่สำคัญมากวิชาหนึ่งที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ทางวิศวกรรม เช่น การออกแบบอาคาร สะพาน ถนน เขื่อน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ล้วนแต่ต้องใช้การวิเคราะห์โครงสร้างมาช่วยในการออกแบบด้วยทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อให้เห็นความสำคัญของการวิเคราะห์โครงสร้าง จึงได้มีความคิดว่าสมควรที่จะมีโปรแกรมที่จะมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้การวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรมเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น

สำหรับโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรรมบนเว็บนี้ จะเป็นโปรแกรมที่สามารถที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการคำนวณและออกแบบโครงสร้างได้ง่ายขึ้น โดยการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นจะแบ่งออกได้เป็นหลายกรณี ซึ่งการจะใช้โปรแกรมนั้น ต้องขึ้นอยู่กับผู้ใช้ซึ่งจะต้องเลือกว่าจะวิเคราะห์โครงสร้างในกรณีใด ก็จะได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและแม่นยำ และเนื่องเป็นโปรแกรมที่เขียนบนเว็บไซต์จึงทำให้สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้ง่าย โดยผ่านทางอินเตอร์เน็ต จึงทำให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ที่ต้องการใช้งานโปรแกรมมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาวิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรรม
2. เพื่อพัฒนาความรู้ในการเขียนโปรแกรม Calculator บน Web โดยใช้ภาษา PHP
3. เพื่อให้การวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับคานสามารถทำได้ง่ายขึ้น
4. เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ทางวิศวกรรม
5. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการวิเคราะห์โครงสร้างของคานมากยิ่งขึ้น
6. เพื่อใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาอื่นๆ ต่อไป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การเขียนโปรแกรมบนเว็บเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด โมเมนต์ดัดสูงสุดของคาน จาก Beam diagrams and formulas for various static loading load conditions ของคานชนิดต่างๆ ดังนี้

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam or Simply Supported Beam)
2. คานยื่น (Cantilever Beam)
3. คานช่วยเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam)
4. คานยึดแน่น (Fixed-Ended Beam)
5. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (Propped Beam)
6. คานต่อเนื่อง (Continuous Beam)

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 โครงสร้าง

รังศิยากรณ์ (2533) กล่าวว่า โครงสร้าง (Structure) หมายถึง สิ่งก่อสร้างที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก (load) และทำหน้าที่อื่นๆ เช่น กันแดด กันดิน กันน้ำ เป็นต้น ตัวอย่างโครงสร้าง เช่น อาคาร สะพาน เขื่อน โครงสร้างประกอบด้วยชิ้นส่วน (element or member) ชิ้นเดียวหรือหลายชิ้น ซึ่งประกอบกันในลักษณะที่ทำให้โครงสร้างและชิ้นส่วนสามารถคงตัวอยู่ได้ โดยมีการเปลี่ยนรูปร่างไม่มากนักในระหว่างรับน้ำหนักบรรทุก

2.2 คำจำกัดความทั่วไป

วิชัย (2539) กล่าวว่า

1. แรง (Forces) คือ ความพยายามที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ หรือทำให้วัตถุหยุดนิ่ง หรือทำให้วัตถุเปลี่ยนรูปร่าง แรงต้องแสดงด้วยตำแหน่ง ขนาด และทิศทาง ดังนั้นแรงจึงเป็นปริมาณเวคเตอร์ (Vector) ซึ่งเขียนด้วยเส้นที่มีหัวลูกศร และหัวลูกศรแสดงถึงขนาดและทิศทางของแรงตามลำดับ
2. โมเมนต์ (Moment) คือ ผลคูณของแรงกับระยะตั้งฉากกับแนวแรง
3. โมเมนต์ดัด (Bending moment) คือ โมเมนต์ที่ทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างโก่งงอซึ่งทำให้เกิดแรงอัดและแรงดึง หรือหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงขึ้นในชิ้นส่วนของโครงสร้าง
4. แรงบิด (Twisting moment of Torsion) คือ โมเมนต์ที่ทำให้วัสดุเกิดแรงเฉือนในแนวขวารอบแกน หรือเกิดการบิดลักษณะเป็นเกลียวขึ้นในวัสดุ
5. แรงคู่ควบ (Couple) คือ โมเมนต์ของแรงขนานที่มีขนาดเท่ากัน 2 แรง แต่มีทิศทางตรงกันข้าม
6. แรงลัพธ์ (Resultant force) คือ ผลรวมของแรงย่อยทั้งหมดที่อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดสภาวะสมดุล หรือทำให้วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลแรงลัพธ์เท่ากับแรงต้านทานกลับ ในทิศทางสวนกันและแนวแรงตรงกัน
7. แรงตามแนวแกน (Axial force) คือ แรงกระทำในแนวแกนของชิ้นส่วนทำให้วัตถุเกิดการยืดหรือการหดตามแนวแกน ซึ่งก็คือแรงดึงและแรงอัด
8. แรงเฉือน (Shear force) คือ แรงต้านทานที่เกิดขึ้นในทิศทางขนานกับพื้นที่รับแรงเป็นแรงที่ทำให้วัตถุฉีกขาดออกจากกัน
9. แรงปฏิกิริยา (Reaction force) คือ แรงต้านทานที่เกิดขึ้นในทิศทางตรงข้ามกับแรงกระทำ (action force)

10. หน่วยแรง (Stress) คือ แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดรับแรง

11. แรงที่มีจุดรวมเดียวกันเรียกว่า Concurrent force

12. แรงที่แนวแรงต่างกัน ไม่พบกันที่จุดๆ เดียว เรียกว่า Non-Concurrent force

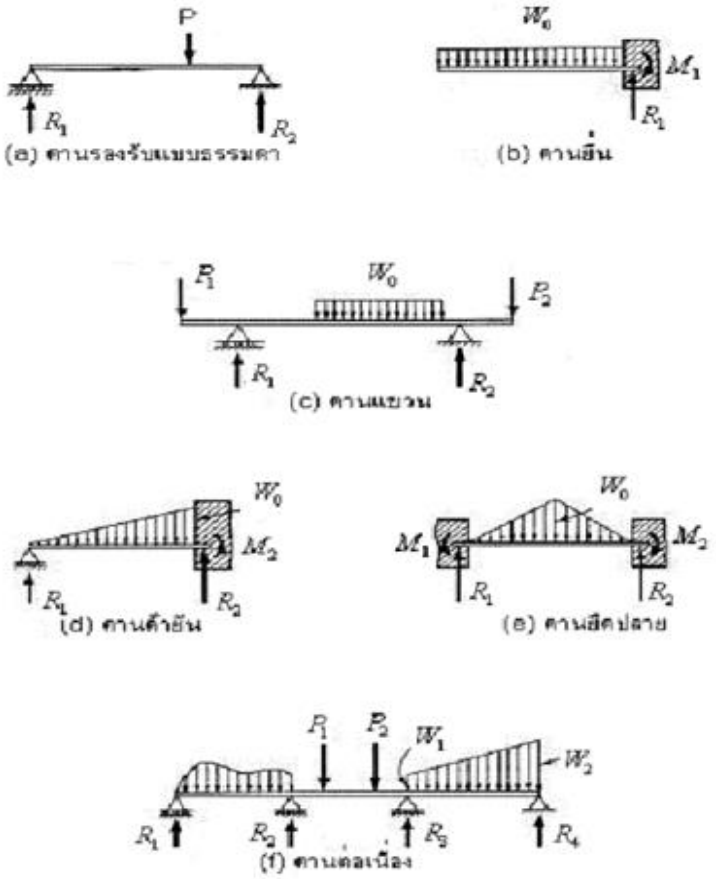
13. แรงที่กระทำในระนาบเดียวกันหรือแรงร่วมระนาบ เรียกว่า Co-planar force

14. ส่วนประกอบของแรง (components of force) คือ แรง 2 แรงหรือมากกว่าที่เขียนแทนแรงที่กระทำ

2.3 ชนิดของโครงสร้าง

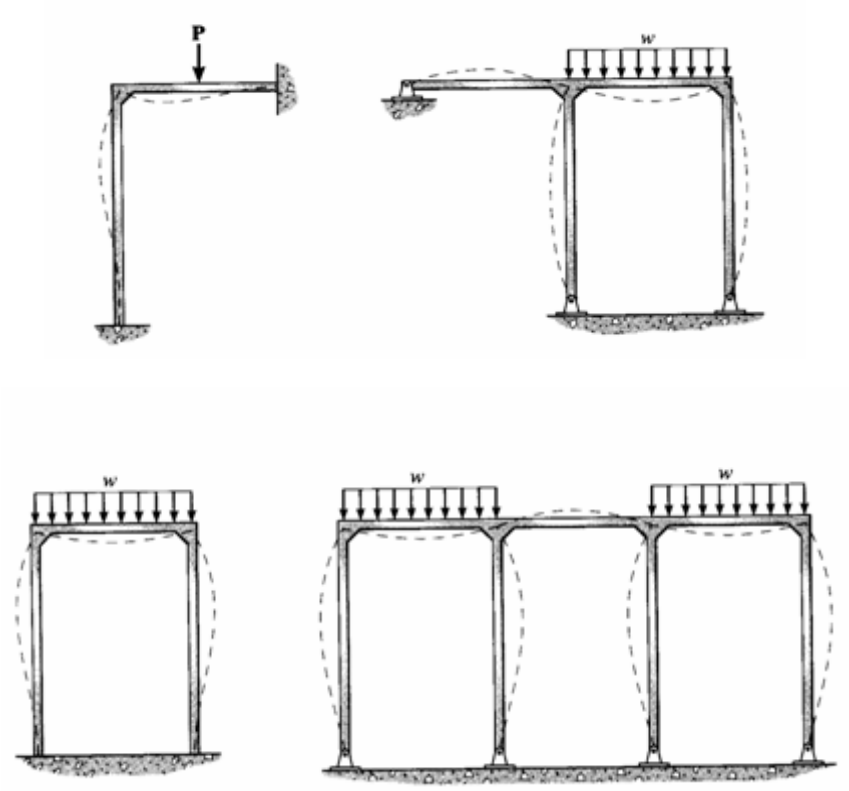
วิชัย (2539) กล่าวว่า ชนิดของโครงสร้างโดยทั่วไปสามารถจำแนกออกเป็น 5 ชนิด คือ

1. คาน (Beam) คือ โครงสร้างที่มีขนาดความยาว ความกว้าง และความลึกน้อยเมื่อเทียบกับความยาว คานอาจมีลักษณะตรงหรือโค้งก็ได้ แต่โดยปกติจะมีลักษณะตรงและอยู่ในแนวระดับราบ และมีแรงกระทำตั้งฉากกับแนวแกน การวิเคราะห์คานจะสมบูรณ์เมื่อหาค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดได้แล้ว



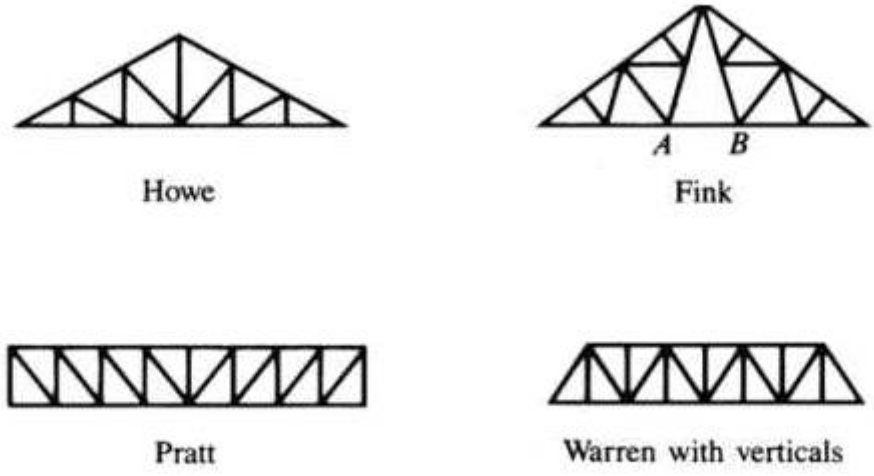
รูปที่ 2.1 ชนิดของคาน

2. โครงข้อแข็ง (Rigid frame) คือ โครงสร้างที่มีข้อต่อยึดแน่น (rigid joint) โดยการเชื่อมการหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง ซึ่งโครงสร้างจะเกิดแรงปฏิกิริยาขึ้น 3 ชนิด คือ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน (แรงในแนวดิ่ง) และโมเมนต์ดัด



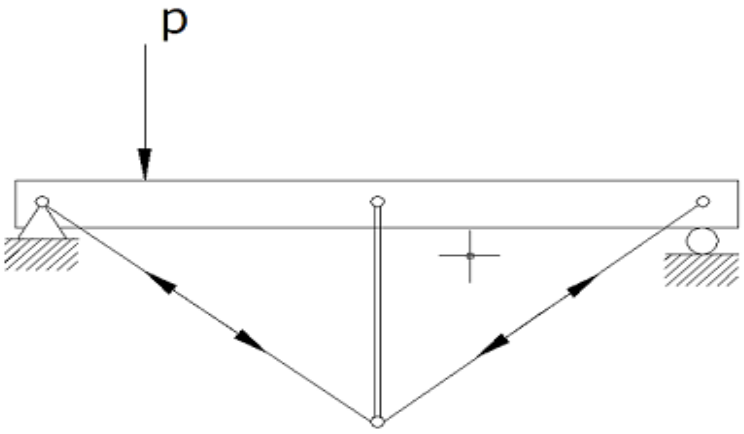
รูปที่ 2.2 โครงข้อแข็ง

3. โครงข้อหมุน (Truss) คือ โครงสร้างที่มีข้อต่อยึด ชนิดหมุนได้และไม่มีความฝืด (frictionless hinges or pins) ประกอบด้วยชิ้นส่วนตรงต่อยึดเป็นรูปสามเหลี่ยมหลายๆ รูป น้ำหนักที่กระทำบนโครงข้อหมุนถูกสมมติว่ากระทำที่จุดข้อต่อแต่ละชิ้นส่วน ที่ประกอบเป็นโครงจะถูกพิจารณาว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีแรงกระทำเพียงสองแรง ดังนั้นแรงภายในที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเป็นชนิดแรงตามแนวแกน คือ เป็นแรงดึงหรือแรงอัดเท่านั้น



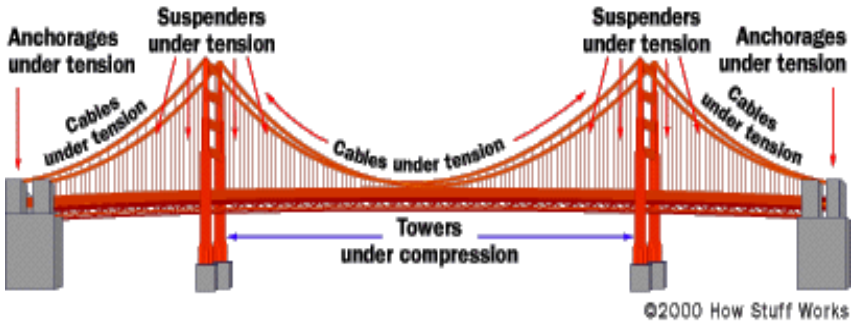
รูปที่ 2.3 โครงข้อหมุน

4. โครงสร้างเชิงประกอบ (Composite Structure) คือ โครงสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสองแรง (two-force member) และชิ้นส่วนอื่นๆ ที่ถูกกระทำด้วยแรงมากกว่า 2 แรง โดยจะใช้วัสดุต่างชนิดกันเพื่อให้เหมาะสมกับแรงที่เกิดขึ้น อาทิ คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเหล็กเส้นจะทำหน้าที่รับแรงดึง ส่วนคอนกรีตทำหน้าที่รับแรงอัด



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเชิงประกอบ

5. โครงสร้างโครงรูปโค้ง (Arches) คือ โครงสร้างที่ประกอบจากชิ้นส่วนที่เป็นรูปโค้ง โดยชิ้นส่วนสามารถต้านทานแรงเฉือน แรงตามแนวแกน และโมเมนต์ดัดได้ โครงรูปโค้งเหมาะกับโครงสร้างที่มีช่วงรองรับ (span) ยาว ทั้งนี้เพราะลักษณะของรูปโค้งนี้จะทำให้ค่าโมเมนต์ดัดมีค่าลดลงกว่าโมเมนต์ดัดที่เกิดบนคานตรง เมื่อช่วงรองรับเท่ากัน

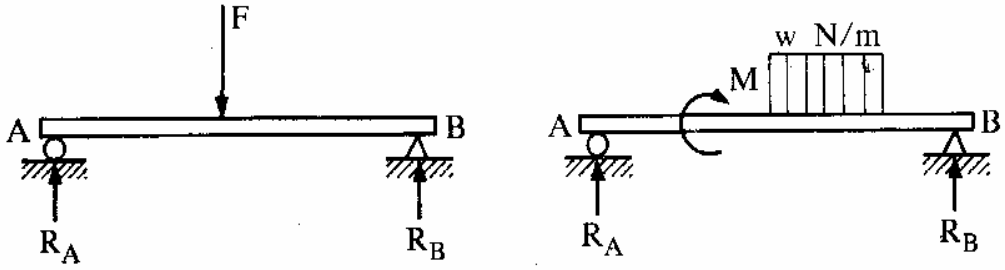


รูปที่ 2.5 โครงสร้างโครงรูปโค้ง

2.4 ชนิดของคาน

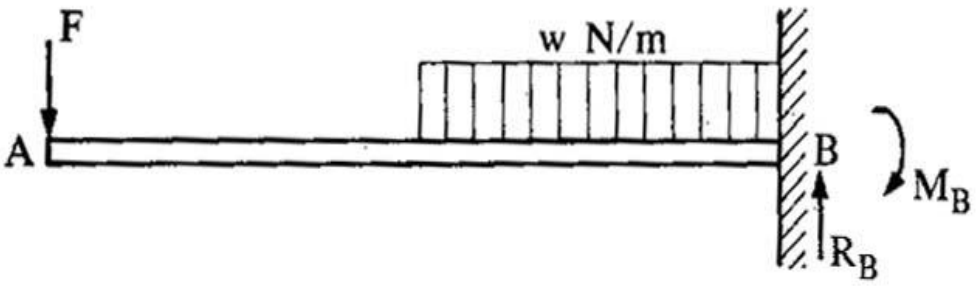
วิชัย (2539) กล่าวว่า ชนิดของคานสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ดังนี้ คือ

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam or Simply Supported Beam) คือ คานที่มีจุดรองรับที่ปลายทั้งสองเป็นแบบยึดหมุน โดยด้านหนึ่งเป็นแบบลูกกลิ้งและปลายอีกด้านหนึ่งเป็นแบบหมุด (คมมีด) ที่จุดรองรับแต่ละแห่งของคานจะเกิดแรงปฏิกิริยาเท่านั้น แต่จะไม่มีโมเมนต์เกิดขึ้น



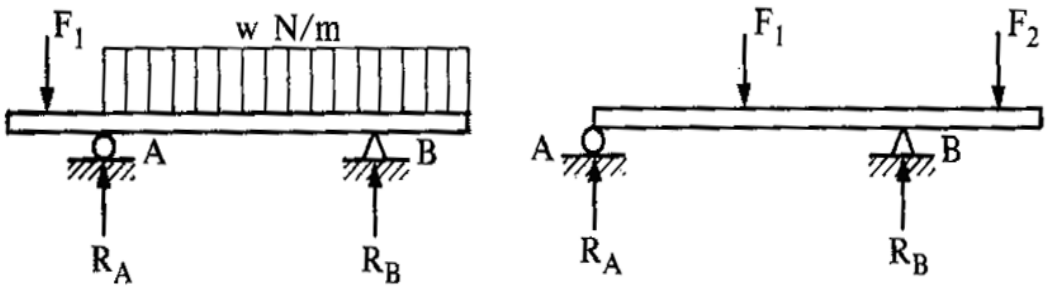
รูปที่ 2.6 คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย

2. คานยื่น (Cantilever Beam) คือคานที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นอิสระ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งมีจุดรองรับแบบฝังแน่นหรือยึดแน่นจนกระทั่งไม่สามารถจะหมุนได้ ซึ่งปลายที่ถูกยึดแน่นจะเกิดทั้งแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ขึ้น



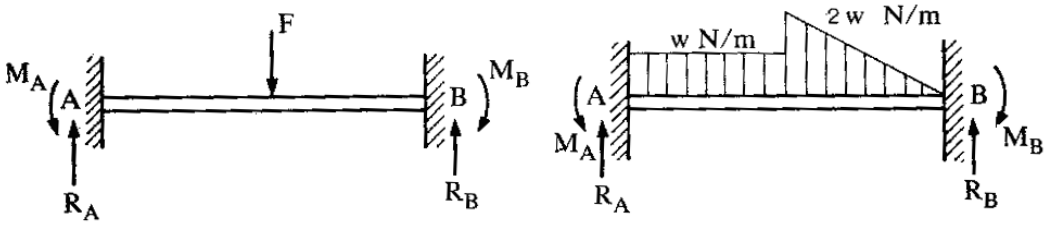
รูปที่ 2.7 คานยื่น

3. คานช่วยเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) คือ คานที่วางอยู่บนจุดรองรับทั้งสองที่คล้ายคานช่วงเดียว แต่จะมีส่วนที่ยื่นออกจากจุดรองรับ โดยจะยื่นออกข้างเดียวหรือทั้งสองข้างก็ได้



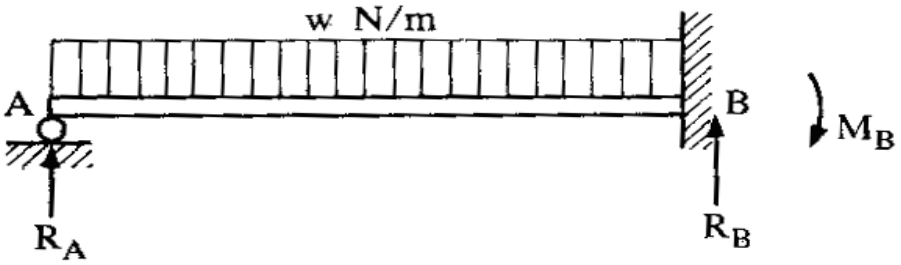
รูปที่ 2.8 คานช่วงปลายยื่น

4. คานยึดแน่น (Fixed-Ended Beam) คือ คานที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดแน่นหรือฝังแน่น ทำให้แต่ละข้างเคลื่อนที่หรือหมุนไปจากสภาพเดิมไม่ได้



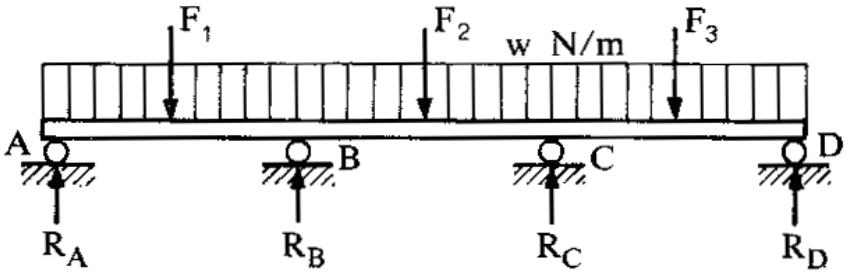
รูปที่ 2.9 คานยึดแน่น

5. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (Propped Beam) คือ คานยื่นที่ปลายอิสระของคานจะมีจุดรองรับอยู่ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 2.10 คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน

6. คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) คือ คานที่มีจุดรองรับมากกว่าสองแห่งขึ้นไปหรือมีช่วงของคานตั้งแต่สองช่วงขึ้นไป

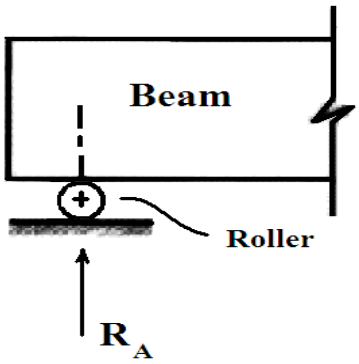


รูปที่ 2.11 คานต่อเนื่อง

2.5 ชนิดของฐานรองรับ (Type of support)

รังศิยากรณ์ (2533) กล่าวว่า ฐานรองรับโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ที่สำคัญ คือ

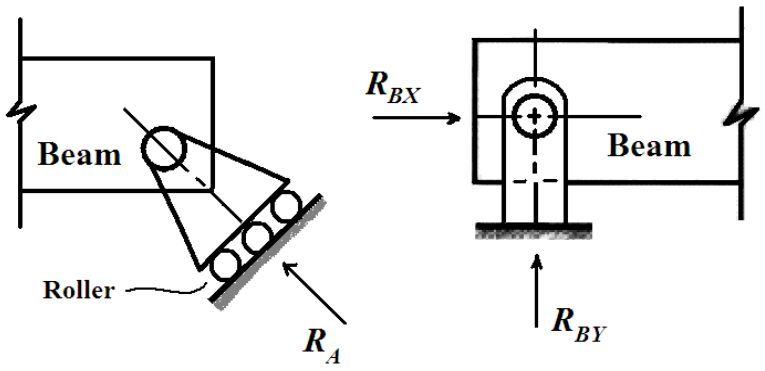
1. แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ หรือแบบล้อเลื่อน (Roller Support) ฐานรองรับแบบนี้ยอมให้มีการหมุนได้ตั้งฉากกับระนาบที่จุดรองรับนั้น (ไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ได้) และยอมให้มีการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับฐานรองแต่ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับฐานรอง ดังนั้นชิ้นส่วนตรงบริเวณจุดรองรับจึงเกิดการเปลี่ยนมุมรอบจุดรองรับ และเคลื่อนที่ในแนวขนานกับเส้นรองรับได้ มีเพียงแรงปฏิกิริยาในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่รองรับ และกระทำผ่านจุดกึ่งกลางของหมุดยึดในแนวเข้าหาหรือออกจากพื้นที่รองรับเท่านั้น



รูปที่ 2.12 Roller Support

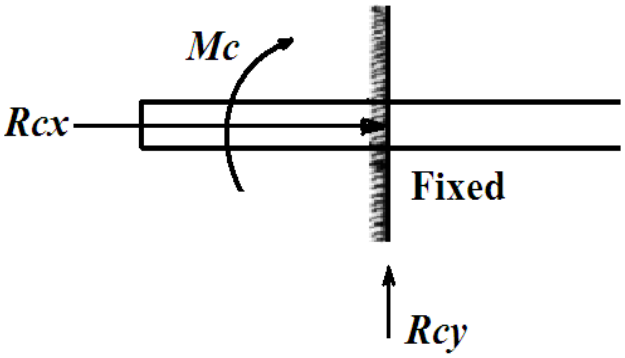
2. แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ หรือแบบบานพับ (Hinge Support or Pinned Support) ฐานรองรับแบบนี้ ยอมให้มีการหมุนได้รอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบที่จุดรองรับนั้น แต่ไม่มีการเคลื่อนที่ใดๆ ไม่ว่าในแนวขนาน หรือตั้งฉากกับฐานรองรับ ดังนั้นชิ้นส่วนตรงบริเวณจุดรองรับจึงเกิดการเปลี่ยนมุมรอบจุดรองรับ แรงปฏิกิริยาของฐานรองรับแบบบานพับจะกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหมุดยึด ขนาดและมุมลาดของแนวแกนยังต้องหาดังรูปที่ 11 ดังนั้นจึงมีค่าไม่ทราบ 2 ค่า คือ ขนาดของแรง $|R|$ และมุมลาด θ_x หรือแรงย่อยในแนวแกน x และแกน y คือ R_x และ R_y โดยที่

$$|R| = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \qquad \text{และ} \qquad \theta_x = \tan^{-1}\frac{R_y}{Rx}$$



รูปที่ 2.13 Hinge Support

3. แบบยึดแน่น (Fixed Support) ฐานรองรับแบบนี้จะยึดแน่นกับฐานรอง โดยไม่ยอมให้มีการหมุนหรือการเคลื่อนที่ใดๆ ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีแรงปฏิกิริยา 3 ค่าที่ยังไม่ทราบ คือ แรงปฏิกิริยา 2 แรง ทำในแนวขนานกับฐานรอง และในแนวตั้งฉากกับฐานรอง และโมเมนต์ต้านทานต่อการหมุนอีก 1 ค่า



รูปที่ 2.14 Fixed Support

2.6 สมการของการสมดุล (Equation of Equilibrium)

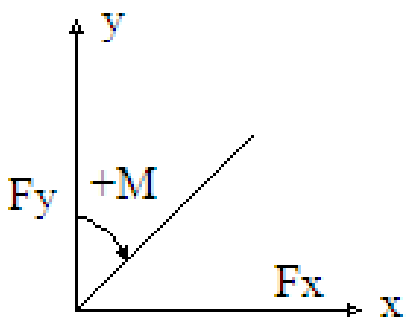
ในสถิตยศาสตร์สำหรับโครงสร้าง เราสมมติว่าระบบแรงกระทำบนโครงสร้างที่แข็งเกร็ง (rigid) แม้ว่าที่จะมีการเสียรูปในโครงสร้างเสมอ ซึ่งทำให้มิติและรูปทรงของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย รวมทั้งทำให้เส้นแนวการกระทำของแรงเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะถูกละทิ้งไปในการวิเคราะห์

เมื่อวัตถุอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ในขณะที่มีแรงกระทำต่อวัตถุนั้น ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะสมดุล (equilibrium) โดยภายใต้สภาวะสมดุลนี้จะเป็นไปตามกฎของสแตติกส์ ซึ่งกล่าวว่า ผลรวมทางพีชคณิตของแรงต่างๆ ในทุกทิศทางมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น สมการของการสมดุลสำหรับโครงสร้าง 2 มิติ (ระนาบ x และระนาบ y) จึงมีสมการ 3 สมการ คือ

1. $\sum F_x = 0$ คือ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวราบเท่ากับศูนย์
2. $\sum F_y = 0$ คือ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวดิ่งเท่ากับศูนย์
3. $\sum M = 0$ คือ ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์รอบจุดใดๆ เท่ากับศูนย์

เมื่อโครงอาคารหรือโครงสร้างอยู่ในสภาวะสมดุล การตัดหรือแยกชิ้นส่วนหนึ่งมาเป็นรูปอิสระ (Free body) ส่วนนั้นๆ จะอยู่ในสภาวะสมดุลทุกประการ คือ แรงภายนอกจะเท่ากับแรงต้านทานภายในของวัสดุ

ในการเขียนสมการสมดุล เรากำหนดทิศทางของแรงและโมเมนต์ (statics sign convention) โดยถือว่าแรงที่กระทำในแนวราบและชี้ไปทางขวามือมีค่าเป็นบวก และโมเมนต์ที่พยายามทำให้เกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก ดังรูป

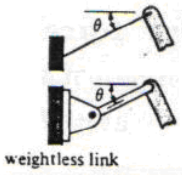
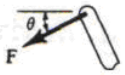
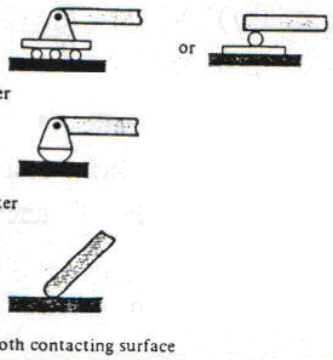


รูปที่ 2.15 แสดงการกำหนดเครื่องหมายบวกของแรงภายนอกในระบบสองมิติ

2.7 แรงปฏิกิริยา (Reaction Force)

รังศิยากรณ์ (2533) กล่าวว่า โครงสร้างต่างๆ จะวางอยู่บนที่รองรับ เพื่อให้มันทรงตัวอยู่ได้อย่างสมดุล แรงซึ่งที่รองรับกระทำต่อโครงสร้าง เรียกว่า “แรงปฏิกิริยา” (Reaction Force) ส่วนแรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของโครงสร้างเอง หรือจากน้ำหนักบรรทุก บนโครงสร้าง เรียกว่า “แรง

กริยา” (Active Force) ทั้งแรงกริยาและแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อโครงสร้างจะถือว่าเป็นแรงภายนอก ค่าของแรงปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ที่คำนวณออกมาจะต้องประกอบด้วยขนาด ทิศทาง และตำแหน่งที่แรงกระทำ แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับแต่ละแบบนั้นนำมาสรุปเอาไว้ในตารางที่ 1

แบบที่รองรับ	แรงปฏิกิริยา	จำนวนแรงปฏิกิริยาที่ไม่รู้ค่า
1. เส้นเชือก (light cable) ท่อนยึดไร้น้ำหนัก (weightless link) 		ตัวไม่รู้ค่าหนึ่งตัวมีแนวแรงในแนวเส้นเชือกหรือท่อนค่อไร้น้ำหนัก
2. แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (แบบล้อเลื่อน) 		ตัวไม่รู้ค่าหนึ่งตัว มีแนวแรงตั้งฉากกับผิวสัมผัส
3. แบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (แบบบานพับ) 		ตัวไม่รู้ค่า 2 ตัวปรากฏอยู่ในสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน
4. แบบยึดแน่น 		ตัวไม่รู้ค่า 3 ตัวประกอบด้วยแรง 2 ตัว และโมเมนต์ 1 ตัว

ตารางที่ 1 แสดงแบบต่างๆ ของที่รองรับ ในระบบพื้นราบสองมิติ

การคำนวณหาแรงปฏิกิริยา

วิชัย (2539) กล่าวว่า การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่เป็นตัวไม่รู้ค่าในโครงสร้างดีเทอมิเนทสามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยสมการของการสมดุลซึ่งกล่าวมาแล้วในข้อ 6 อย่างไรก็ดีวิธีการคำนวณนี้มีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีทางพีชคณิต และวิธีคำนวณโดยการเขียนรูป ซึ่งในข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาโดยวิธีคำนวณทางพีชคณิตเท่านั้น

ขั้นตอนของการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาโดยวิธีทางพีชคณิตมีดังนี้

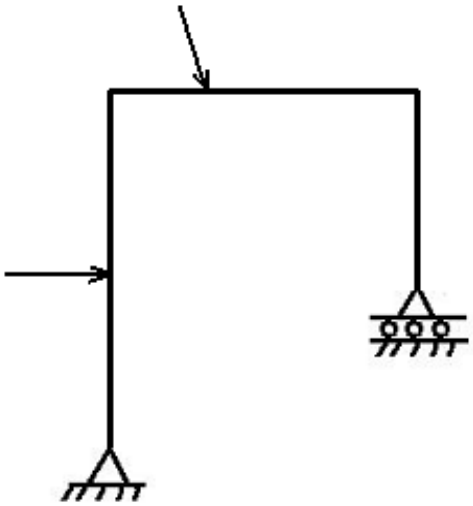
1. พิจารณาโครงสร้างให้ออกก่อนว่าเป็นโครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนทหรืออินดีเทอร์มิเนท
2. สังเกตว่ามีแรงปฏิกิริยาตัวที่ไม่รู้ค่ากี่ตัว โดยพิจารณาที่ฐานรองรับของโครงสร้าง (อาศัยคุณสมบัติของฐานรองรับในข้อที่ 2.5)
3. ตั้งแกนตั้งฉากสองแกน (X - Y) ซึ่งทั่วไปนิยมให้แกน X เป็นแกนนอน และแกน Y เป็นแกนตั้ง
4. แตกแรงต่างๆ ให้อยู่ในแนวแกน X และแกน Y
5. สมมติให้แรงปฏิกิริยาในแนวแกนนอนและแกนตั้ง เป็นไปตามที่คิดว่าควรจะเป็น โดยกำหนดทิศทางลงไป (ขั้นสุดท้ายจะได้คำตอบที่แท้จริงทั้งขนาดและทิศทางที่แท้จริงออกมาเอง)
6. ใช้สมการสมดุลคำนวณหาแรงปฏิกิริยาต่างๆ

$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0$$
$$\sum M = 0$$

2.8 โครงสร้างดีเทอร์มิเนทและโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท

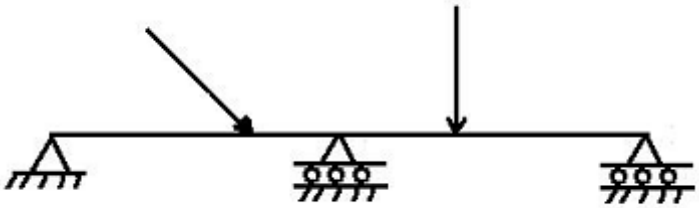
วิชัย (2539) กล่าวว่า โครงสร้างชนิดต่างๆ ที่กล่าวในข้อ 2.3 นั้น เมื่อแยกตามแบบของการวิเคราะห์โครงสร้างแล้วสารถแยกโครงสร้างออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. โครงสร้างดีเทอร์มิเนท (Statically determinate Structure) หมายถึง โครงสร้างที่สามารถวิเคราะห์เพื่อหาแรงปฏิกิริยาทั้งภายนอกและภายในได้ โดยใช้ 3 สมการสมดุล คือ $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ และ $\sum M = 0$ กล่าวคือโครงสร้างดีเทอร์มิเนทจะมีตัวไม่รู้ค่า (Unknown) ไม่เกิน 3 ตัว

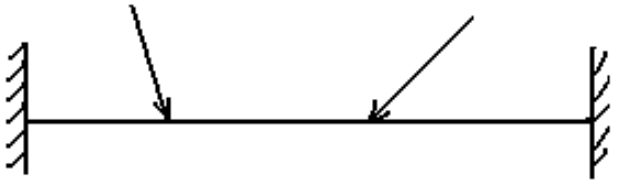


รูปที่ 2.16 โครงสร้างดีเทอร์มิเนท

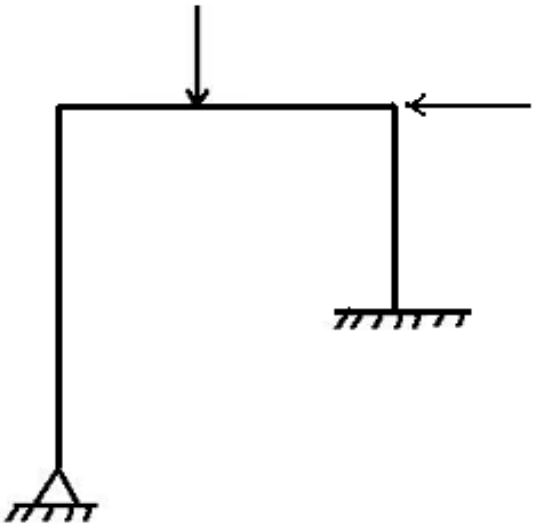
2. โครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท (Statically Indeterminate Structure) หมายถึง โครงสร้างที่ไม่สามารถวิเคราะห์แรงโดยใช้สมการสมดุลทั้ง 3 สมการได้ เพราะว่ามีตัวไม่รู้ค่าเกิน 3 ตัว ต้องใช้วิธีการอื่นมาช่วยวิเคราะห์ตัวไม่รู้ค่าที่เกินมานี้เรียกว่า ดีกรีของอินดีเทอร์มิเนท (degree of indetermi -nacy) ซึ่งอาจจะเป็นฐานรองรับ หรือชิ้นส่วนภายในโครงสร้างก็ได้



ก. ดีกรี 1



ข. ดีกรี 2



ค. ดีกรี 3

รูปที่ 2.17 โครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท

2.9 ชนิดของน้ำหนักบรรทุก (Types of Loadings)

วิชัย (2539) กล่าวว่า โครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการนั้น อย่างน้อยที่สุดจะต้องรับน้ำหนักของตัวเองได้ น้ำหนักต่างๆ กระทำต่ออาคารมี 2 ลักษณะ คือ น้ำหนักแผ่ (Distributed load) น้ำหนักบรรทุกในที่นี้ หมายถึง น้ำหนักที่กระทำอยู่กับที่ (Static load) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead load) และ น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

1. น้ำหนักโครงสร้างหรือน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead load) หมายถึง น้ำหนักของอาคารที่มีตำแหน่งกระทำตายตัวหรืออยู่ถาวรตลอดเวลา ไม่มีการเปลี่ยนขนาดและตำแหน่งของน้ำหนัก ได้แก่ น้ำหนักโครงสร้างเอง เช่น น้ำหนักของพื้น คาน เสา น้ำหนักของวัตถุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่กับที่อย่างถาวร เช่น เครื่องทดสอบวัสดุก่อสร้าง ท่อน้ำประปา ท่อไฟฟ้า อุปกรณ์แสงสว่าง วัสดุปูพื้นผิว เครื่องมุงหลังคา เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งแล้ว เป็นต้น น้ำหนักนี้มีทิศทางในแนวดิ่งเสมอ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งค่าประมาณน้ำหนักวัสดุต่างๆ จะใช้หลักข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นครั้งคราว อาจเปลี่ยนแปลงขนาดและตำแหน่งกระทำได้ แยกออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. น้ำหนักบรรทุกจรแบบไม่เคลื่อนที่ เช่น สินค้าต่างๆ ที่นำมาเก็บไว้ เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ในบ้านหรือที่ทำงาน หนังสือห้องสมุด เป็นต้น

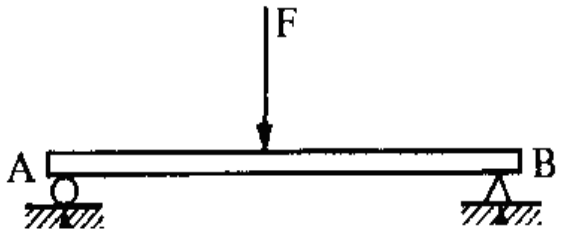
ข. น้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ รถไฟ รถบรรทุก แรงลม เป็นต้น

น้ำหนักบรรทุกจรแบบนี้จะต้องพิจารณาผลของการกระแทก (Impact) ด้วย โดยน้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนที่จะมีอิทธิพลกว่าแบบไม่เคลื่อนที่ ถึงแม้ว่าจะมีขนาดของน้ำหนักเท่ากันก็ตาม เพราะเมื่อเคลื่อนที่จะมีผลของการกระแทก (Impact) รวมอยู่ด้วย ซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญของการออกแบบโครงสร้างที่จะทำให้รับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้

การเลือกค่าน้ำหนักบรรทุก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างนั้น บางครั้งอาจไม่ทราบค่าที่แน่นอนได้ต้องสมมติค่าเอาเอง ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญ และประสบการณ์ อย่างไรก็ดีองค์กรหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบงานในด้านนี้ก็ได้มีข้อกำหนด (code) เกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกไว้ ข้อกำหนดที่นิยมใช้กัน สำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะในบริเวณกรุงเทพมหานคร มักถือเอาหลักบัญญัติของกรุงเทพมหานคร เป็นหลัก

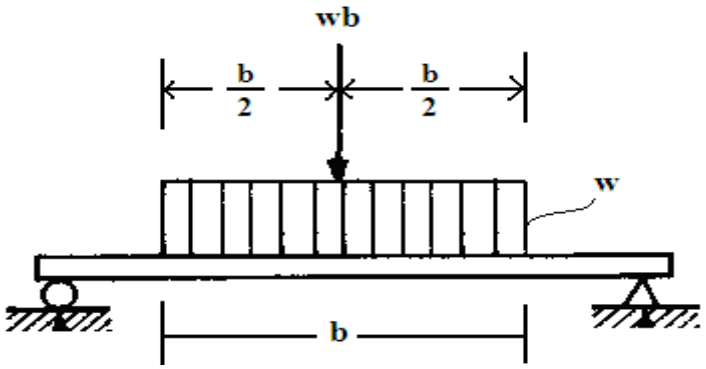
รังศิยากรณ์ (2533) กล่าวว่า น้ำหนักบรรทุกที่กล่าวมาแล้วนั้นจะกระทำบนโครงสร้างในลักษณะต่างๆ กันดังนี้

1. กระทำแบบจุด ซึ่งเราเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกแบบจุด (Concentrated or point load) และมีลักษณะดังรูป



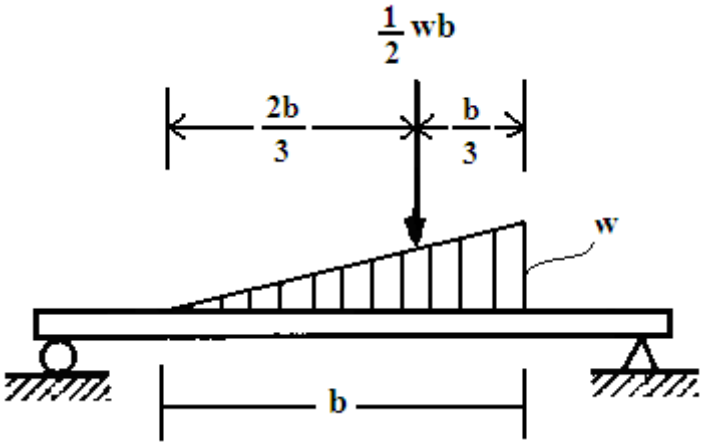
รูปที่ 2.18 Concentrated load

2. กระทำแผ่สม่ำเสมอ ซึ่งเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกแผ่ที่มีค่าคงที่ (Uniformly Distributed load) การบอกค่าความเข้มของแรงจะบอกในหน่วยแรงต่อความยาว เช่น N/m ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาจากน้ำหนักแผ่ที่มีค่าคงที่ เราอาจแทนด้วยแรงลัพธ์ที่ได้จากผลคูณของความเข้มของน้ำหนัก W กับความยาวที่น้ำหนักแผ่กระทำ โดยแนวแรงลัพธ์จะผ่านกึ่งกลางของความยาวที่น้ำหนักแผ่กระทำดังรูป



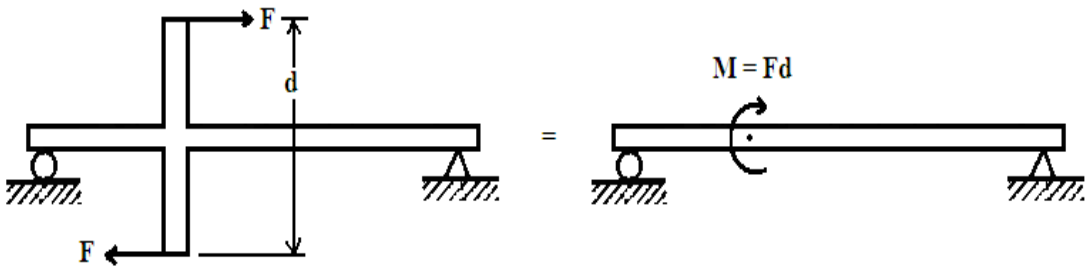
รูปที่ 2.19 Uniformly load

3. กระทำแผ่ที่มีค่าแปรแบบเส้นตรง ซึ่งเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกแผ่ที่มีค่าแปรแบบเส้นตรง (Linearly varying loads) เป็นน้ำหนักแผ่ที่กระทำจะกระจายค่าจากมากไปหาน้อย หรือน้อยไปหามากด้วยอัตราที่แน่นอน เช่น แรงดันจากของเหลวที่กระทำต่อผนังภาชนะในแนวดิ่ง หรือแนวเอียง ในการคำนวณแรงปฏิกิริยาจากน้ำหนักแผ่ที่มีค่าแปรแบบเส้นตรงนี้ อาจแทนด้วยแรงลัพธ์ ซึ่งมีขนาดเท่ากับพื้นที่ของภาพการกระจายของน้ำหนักแผ่ (wb/2) และกระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่การกระจายของน้ำหนักดังกล่าว (ระยะ b/3 วัดจากค่าแรงกระจายสูงสุด) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.20 Linearly varying load

4. กระทำแบบโมเมนต์ ซึ่งเราจะเรียกว่า โมเมนต์กระทำ (Concentrated moment) แรงกระทำแบบนี้เกิดจากแรงแบบจุดสองจุดสองแรงขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงกันข้ามกระทำต่อโครงสร้างที่จุดใดจุดหนึ่ง ดังรูป



รูปที่ 2.21 Concentrated moment

2.10 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด (Shearing Force and Bending Moment)

รังศิยากรณ์ (2533) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างต่างๆ นั้น จำเป็นที่เราจะต้องทราบขนาดของชิ้นส่วนรวมไปถึงการต้านทานต่อการพังทลายของแรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วน ซึ่งพิจารณาจากค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ณ หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวของชิ้นส่วนนั้นๆ ว่า ณ หน้าตัดใดของชิ้นส่วนมีค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุด (Maximum Shear Force and Maximum Bending Moment) และสภาพการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดเป็นไปในลักษณะใด

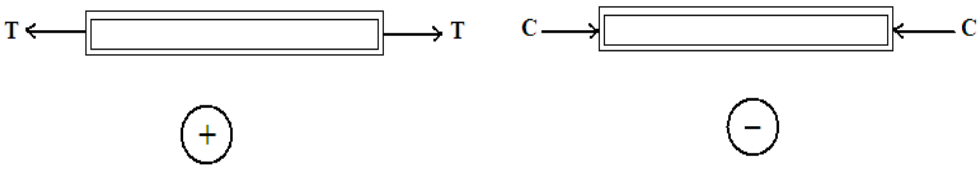
การใช้วิธีการเขียนแผนภาพ (Diagram) ของค่าแรงเฉือน (Shear Force) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ณ หน้าตัดต่างๆ ของชิ้นส่วน สามารถช่วยในการพิจารณาดังกล่าวได้เป็นอย่างมากและเป็นที่นิยมใช้ในการพิจารณา โดยแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงเฉือนกับความยาวของชิ้นส่วน เรียกว่า “แผนภาพแรงเฉือน” (Shear Force Diagram) หรือ SFD ส่วนแผนภาพที่แสดงคามสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์ดัดกับความยาวของชิ้นส่วน เรียกว่า “แผนภาพโมเมนต์ดัด” (Bending Moment Diagram) หรือ BMD

ปกติแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมักจะเกิดขึ้นในชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นส่วน ซึ่งจะพบเห็นได้โดยเฉพาะในโครงสร้างที่เป็นคาน (Beam) ซึ่งลักษณะของคานและจุดรองรับเพื่อการพิจารณาหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด แสดงในรูปที่ 1

ทุก ๆ ภาคตัดของคานที่รับโหลดในแนวขวาง โดยจะมีแรงลัพธ์บนภาคตัดทั้งสองด้านของภาคตัด (ทางด้านซ้ายและขวา) ซึ่งเมื่อคานอยู่ในสภาวะสมดุล แรงทั้งสองข้างต้องมีค่าเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้าม

ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เราต้องการทราบ

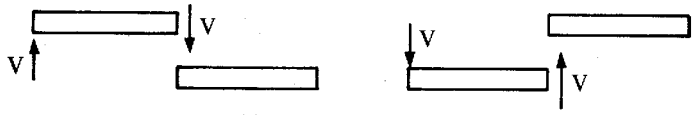
1. แรงตามแนวแกน (Axial Force) หมายถึง แรงที่พยายามส่งผลให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างอัดตัว (Compress) หรือถูกดึงให้อัดออก (Tensile) ตามแนวแกนของชิ้นส่วนนั้น โดยถือว่าแรงดึงให้คิดเครื่องหมายเป็นบวก (+) และแรงอัดให้คิดเครื่องหมายเป็นลบ (-) ดังแสดงรูปที่ 16



ก. แรงดึง (Tensile) ข. แรงอัด (Compression)

รูปที่ 2.22 ลักษณะและเครื่องหมายของแรงตามแนวแกน

2. แรงเฉือน (Shearing Force,(SF)) หมายถึง แรงที่พยายามส่งผลให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างถูกเฉือนให้ขาดออกจากกันในแนวที่แรงกระทำ โดยถือว่าแรงเฉือนที่พยายามเฉือนส่วนของโครงสร้างในลักษณะทำให้ซีกขวามือของชิ้นส่วนเฉือนขาดลงจากซีกซ้ายมือ หรือโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดจากแรงเฉือนนี้เป็นโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา ให้คิดเครื่องหมายเป็น + ในทำนองเดียวกันแรงเฉือนที่พยายามเฉือนส่วนของโครงสร้างในลักษณะทำให้ซีกซ้ายมือของชิ้นส่วนขาดลงจากซีกขวามือ หรือโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดจากแรงเฉือนนี้เป็นโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา ให้คิดเครื่องหมายเป็น – ดังแสดงในรูปที่ 17 ส่วนความหมายของแรงเฉือนบนภาคตัดหนึ่ง ๆ บนคานภายใต้แรง คือ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงในแนวดิ่งบนภาคตัดจากปลายคานด้านใดด้านหนึ่ง การจะเลือกคิดแรงในแนวดิ่งบนภาคตัดจากปลายด้านใดด้านหนึ่งของภาคตัดนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวก แต่ไม่ว่าจะคิดจากด้านใด ค่าที่ได้จะต้องเท่ากัน และสัญนิยมด้านเครื่องหมาย (Sign Convention) ที่เหมือนกัน



ก. ระบบแรงเฉือนที่เป็นบวก ข. ระบบแรงเฉือนที่เป็นลบ

รูปที่ 2.23 ลักษณะของเครื่องหมายของแรงเฉือน

นอกจากแรงเฉือนแล้วทุกๆ ภาคตัดของคานก็จะอยู่ภายใต้การดัด (Bending) ก็คือ โมเมนต์ดัดรวม ซึ่งเป็นผลบวกของโมเมนต์ที่เกิดจากภาระแต่ละภาระ ซึ่งเมื่อคานอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว ผลรวมของโมเมนต์ดัดบนคานทั้งสองด้านของภาคตัดจะต้องมีค่าเท่ากัน

3. โมเมนต์ดัด (Bending Moment, (BM)) บนภาคตัดหนึ่ง ๆ บนคานภายใต้แรง คือ ผลรวมทางพีชคณิตโมเมนต์ของแรงในแนวดิ่งรอบภาคตัดจากปลายคานด้านใดด้านหนึ่ง

ก. โมเมนต์ดัดเป็นบวก ข. โมเมนต์ดัดเป็นลบ

รูปที่ 2.24 ลักษณะและเครื่องหมายของโมเมนต์ดัด

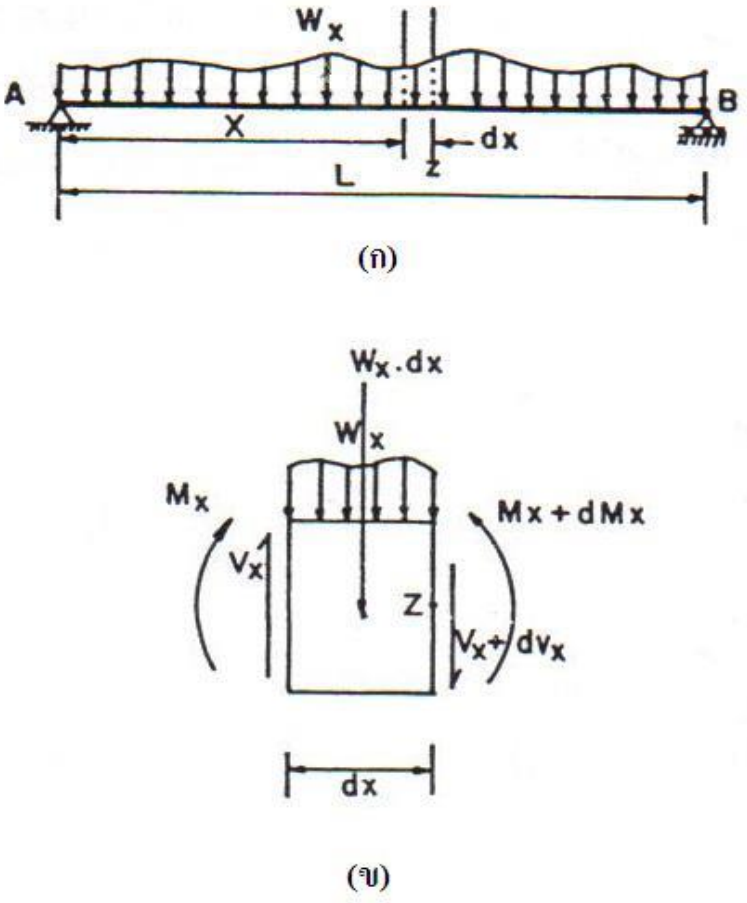
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด

วิชัย (2539) กล่าวว่า ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก แรงเฉือน และโมเมนต์ดัดนั้น สามารถอธิบายความเกี่ยวกันได้เป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

1. อัตราการลดลงของแรงเฉือน บนหน้าตัดใดๆ ที่ระยะ x จากปลายซ้ายของคานเท่ากับหน่วยแรงที่หน้าตัดนั้น กล่าวคือ $\frac{d_v}{d_x} = w_x$

2. อัตราการเพิ่มของโมเมนต์บนหน้าตัดใดๆ ที่ระยะจากปลายข้างซ้ายของคานจะเท่ากับแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น กล่าวคือ $\frac{d_m}{d_x} = v_x$

จากข้อความ 2 ข้อ ที่กล่าวข้างต้นนี้ สามารถพิสูจน์ได้ โดยพิจารณาคาน AB ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกใดๆ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

โดยให้แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดตรงหน้าตัดที่ห่างจากจุด A ไปทางขวามือเป็นระยะทาง X และมีค่า V_x และ M_x ตามลำดับ และพิจารณาเพิ่มระยะทางไปทางขวาของระยะ X อีกเท่ากับ dx ซึ่งจะเป็นผลทำให้มีค่าน้ำหนักแผ่เพิ่มขึ้นอีกในระยะ dx นี้ และมีค่า $V_x + d V_x$ และ $M_x + d M_x$ เพิ่มขึ้นอีกตามลำดับด้วย

พิจารณาจากรูปที่ 2.25 (ข) สามารถนำหลักการสมดุลสมการมาประยุกต์ใช้ได้ ดังนี้

$$\sum F_x = 0 \quad : \quad V_x + W_x d_x = V_x + d V_x$$

หรือ

$$W_x = \frac{dV_x}{d_x} \rightarrow \frac{dV}{dx} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับแรงเฉือน เป็นไปตามข้อ 1 ซึ่ง เขียนให้อยู่ในรูปของได้ดังสมการ (1)

พิจารณารูป 2.25 (ข) ได้ว่า

$$\sum M_z = 0 \ : \ V_x d_x + M_x = M_x + dM_x + w_x(dx)\left(\frac{dx}{2}\right) W_x \left(\frac{d^2x}{2}\right)$$

$$V_x dx = dM_x$$

หรือ

$$V_x = \frac{dM_x}{dx} \rightarrow V = \frac{dM}{dx} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ถ้าดิฟเฟอเรนวิเอททั้งสองข้างจะได้ สมการ (2)

$$\frac{dV}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

แทนค่า $W_x = \frac{dV}{dx}$ จากสมการ (1) ลงในสมการ (3) จะได้ว่า

$$W_x = \frac{d^2M}{dx^2} \rightarrow W = \frac{d^2M}{dx^2}$$

แล้วทำการอินทิเกรตครั้งที่ 1

$$\int Wdx = \frac{dM}{dx} = V \quad \text{.....} (4)$$

ถ้าอินทิเกรตครั้งที่ 2 จะได้

$$\iint Wdx.dx = \int Vdx = M \quad \text{.....} (5)$$

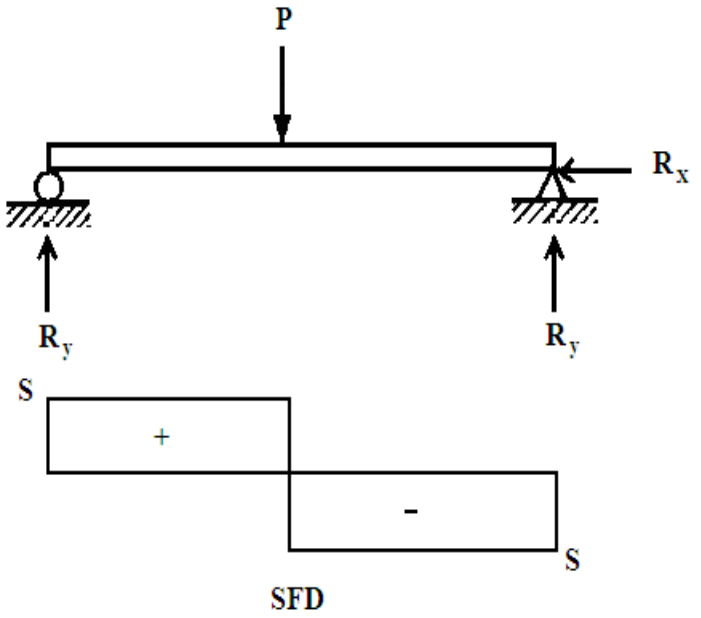
ซึ่งจากสมการที่ (2) ก็จะเป็นผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ตามหัวข้อ 2 ดังกล่าวข้างต้น

จากสมการ (4) หรือสมการ (5) สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ดัดระหว่างหน้าตัดสองแห่ง จะมีค่าเท่ากับ พื้นที่ของภาพแรงเฉือนระหว่างหน้าตัดทั้งสองนั้น ซึ่งตามหลักการนี้ จึงช่วยในการ คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดโดยใช้พื้นที่ของแผนภาพแรงเฉือน

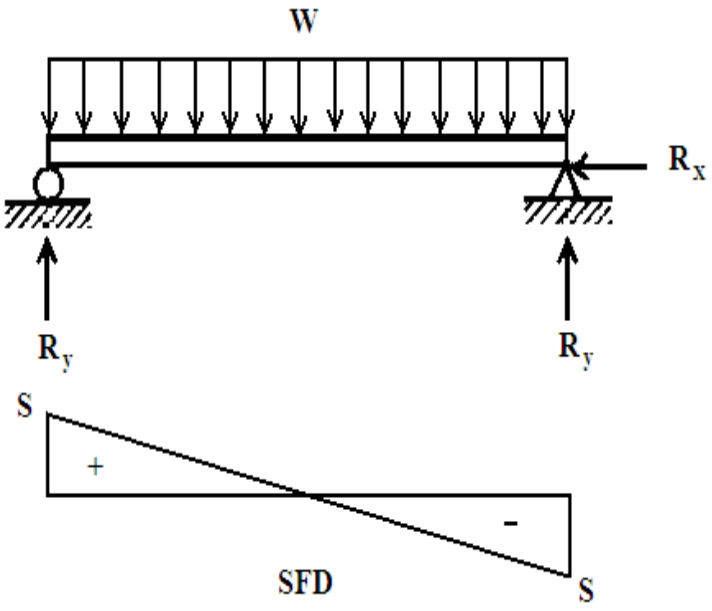
2.12 แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram : SFD)

อุดมวิทย์ (2547) กล่าวว่า การเขียนแผนภาพแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างใดๆ ปกติจะกำหนดให้จุดทางซ้ายมือสุดของชิ้นส่วนเป็นจุดเริ่มต้น โดยมีแนวแกน X ซึ่งเป็นแนวที่ขนานกับแกนสะเทินของชิ้นส่วนเป็นระยะความยาวของชิ้นส่วนของโครงสร้าง พิจารณาค่าของแรงเฉือนที่ระยะ x ใดๆ จะแสดงในแนวแกน Y ซึ่งตั้งได้ฉากกับแนวแกน X ค่าบวกของแรงเฉือนจะเขียนอยู่เหนือแนวแกน X ในทิศทางตรงกันข้าม ค่าลบของแรงเฉือนจะเขียนอยู่ใต้แนวแกน X และบริเวณบนชิ้นส่วนของโครงสร้างใดที่ไม่มีแรงมากระทำ ให้ถือว่าเส้นของแผนภาพอยู่ในแนวราบขนานกับแกน X

แรงที่กระทำเป็นจุด (Point Load) บนชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อเขียนเป็นแผนภาพจะได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ก) และขณะเดียวกันแรงที่กระทำสม่ำเสมอ (Uniform Load) บนชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อเขียนเป็นแผนภาพจะได้เป็นรูปเฉียงเหมือนรูปสามเหลี่ยมเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ข)



ก. แผนภาพของแรงกระทำเป็นจุด



ข. แผนภาพของแรงกระทำสม่ำเสมอ

รูปที่ 2.26 ลักษณะของแผนภาพแรงเฉือน

ลำดับขั้นตอนการเขียนแผนภาพแรงเฉือน

1. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ โดยใช้เงื่อนไขของการสมดุล ได้แก่

$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0$$
$$\sum M = 0$$

2. เริ่มเขียนรูปแรงเฉือนโดยให้จุดซ้ายมือสุดเป็นจุดเริ่มต้น

3. อาศัยแรงที่มากระทำเขียนแผนภาพโดยถือว่าแรงที่กระทำลงบนชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อเขียนแผนภาพก็ให้เขียนในทิศทางลง ในทำนองเดียวกัน แรงที่กระทำดันชิ้นส่วนของโครงสร้างขึ้นซึ่งปกติมักจะเป็นแรงปฏิกิริยา เมื่อเขียนแผนภาพให้เขียนในทิศทางขึ้น

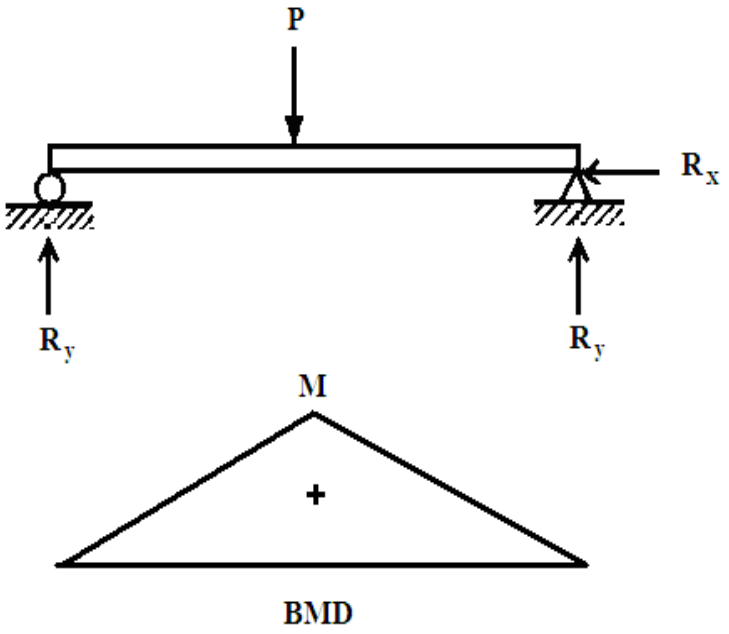
4. การเขียนแผนภาพต้องเขียนต่อเนื่องกันจนจบที่ด้านขวาสุดของชิ้นส่วน

2.13 แผนภาพของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram)

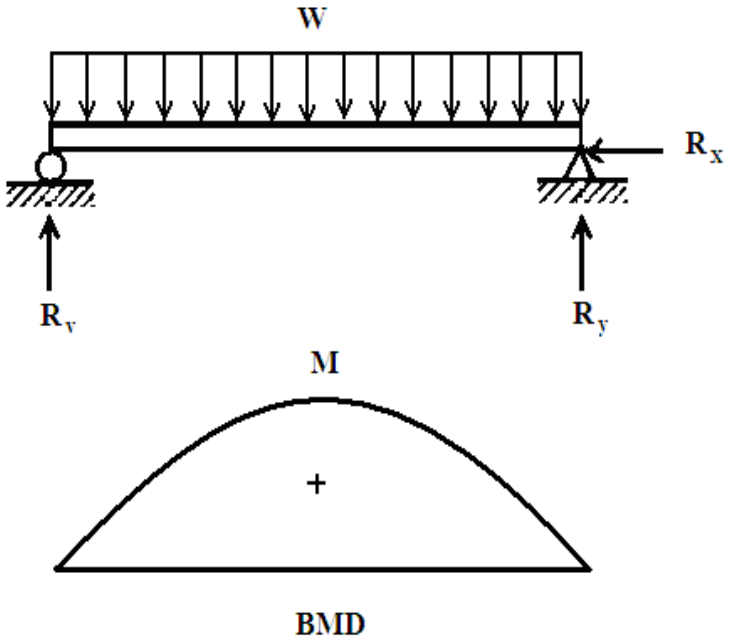
อุดมวิทย์ (2547) กล่าวว่า การเขียนภาพโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วนของโครงสร้าง ปกติจะกำหนดให้จุดทางซ้ายมือสุดของชิ้นส่วนเป็นจุดเริ่มต้น เช่นเดียวกับแผนภาพแรงเฉือน โดยมีแนวแกน x เป็นระยะความยาวของชิ้นส่วนของโครงสร้าง พิจารณาค่าบวกของโมเมนต์จะเหนือแนวแกน x ในทางตรงกันข้าม ค่าลบของโมเมนต์จะเขียนอยู่ใต้แนวแกน y เช่นเดียวกับแผนภาพแรงเฉือน

แรงที่กระทำเป็นจุด (Point Load) บนชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อเขียนแผนภาพของโมเมนต์ จะได้แผนภาพเป็นรูปสามเหลี่ยมเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 26 (ก) และขณะเดียวกันแรงที่กระทำสม่ำเสมอ (Uniform Load) บนชิ้นส่วนของโครงสร้าง เมื่อเขียนเป็นแผนภาพของโมเมนต์จะได้แผนภาพเป็นรูปพาราโบลาเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 26 (ข)

อนึ่งในการเขียนแผนภาพของโมเมนต์ อาจอาศัยแผนภาพแรงเฉือนโดยการหาพื้นที่ของแผนภาพแรงเฉือนในระยะเดียวกัน ในระนาบของแนวแกน x โดยที่ยังคงยึดถือเครื่องหมายของแผนภาพแรงเฉือนที่พิจารณาเป็นสำคัญ



(ก) แผนภาพแรงของแรงกระทำเป็นจุด

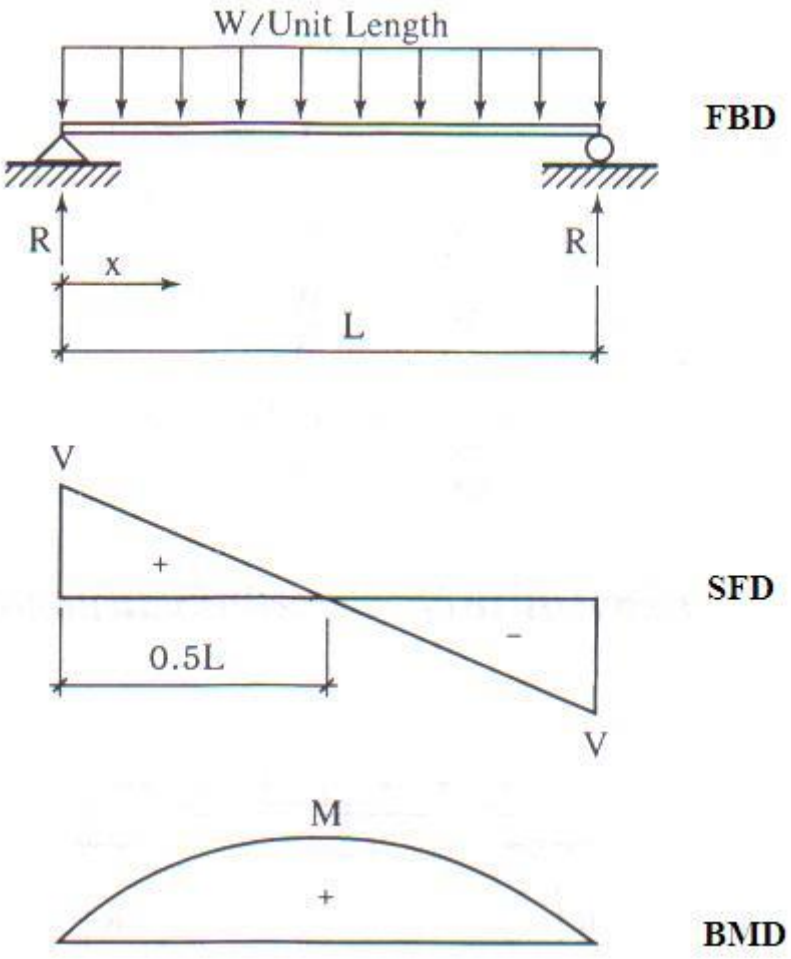


(ข) แผนภาพของแรงกระทำสม่ำเสมอ

รูปที่ 2.27 ลักษณะของแผนภาพของโมเมนต์ดัด

2.14 แผนภาพมาตรฐาน (Standard Diagram)

1. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 2.28 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอตลอดแนวคาน

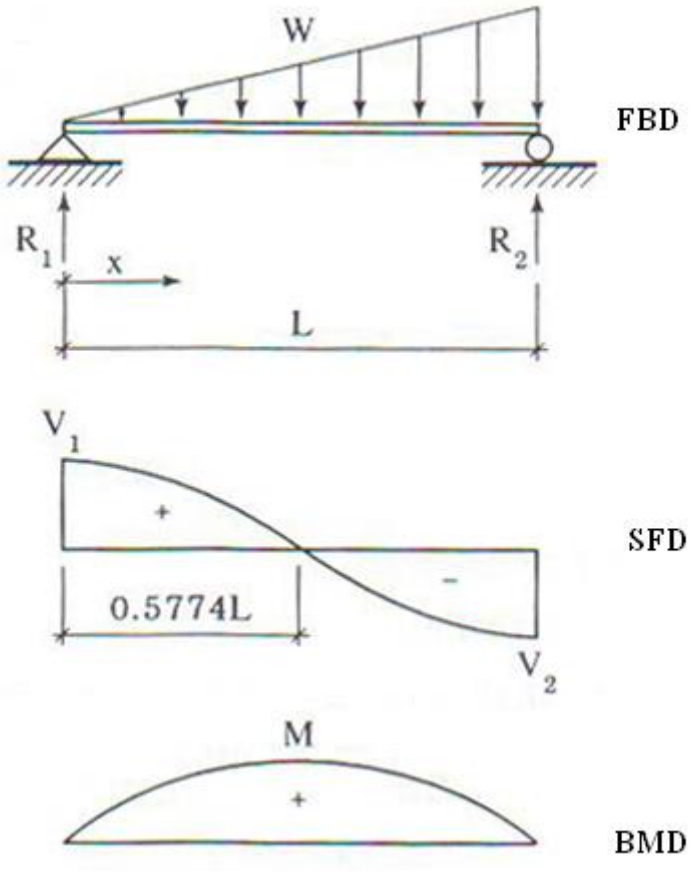
$$R = V = \frac{WL}{2}$$

$$V_x = W(0.5 - x)$$

$$M_{max} = \frac{WL^2}{8}$$

$$M_x = \frac{Wx}{2}(L - x)$$

2. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงปลายคาน



รูปที่ 2.29 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงปลายคาน

$$R_1 = V_1 = \frac{W}{2}$$

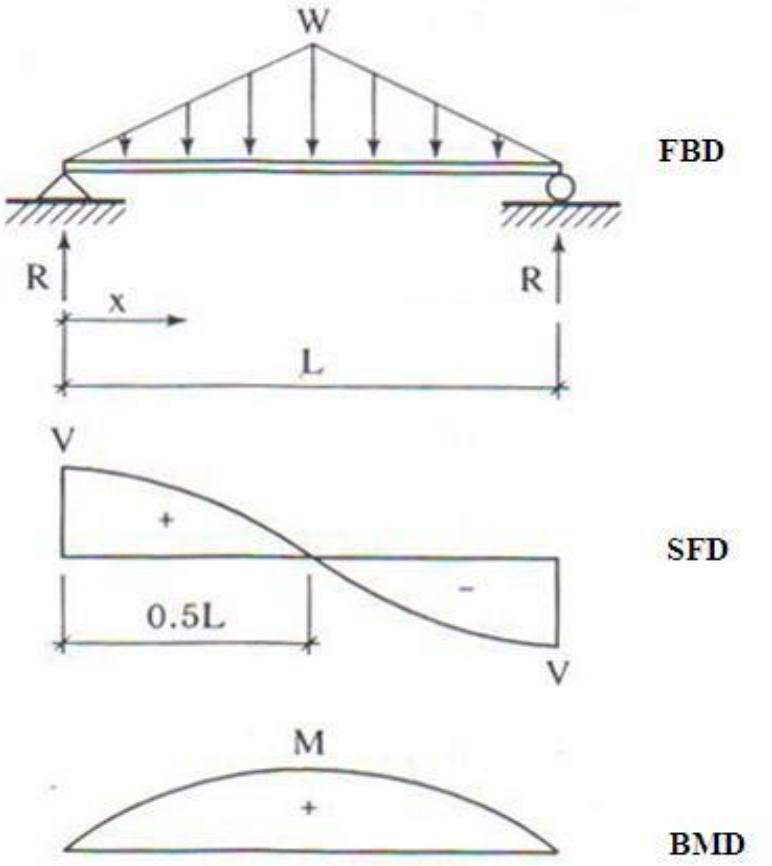
$$R_2 = V_2 = \frac{2W}{3}$$

$$V_x = \frac{W}{3} = \frac{Wx^2}{L^2}$$

$$M_{max} = 0.1283\ WL$$

$$M_x = \frac{Wx}{3L^2}\left(L^2 - x^2\right)$$

3. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงกลางคาน



รูปที่ 2.30 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงกลางคาน

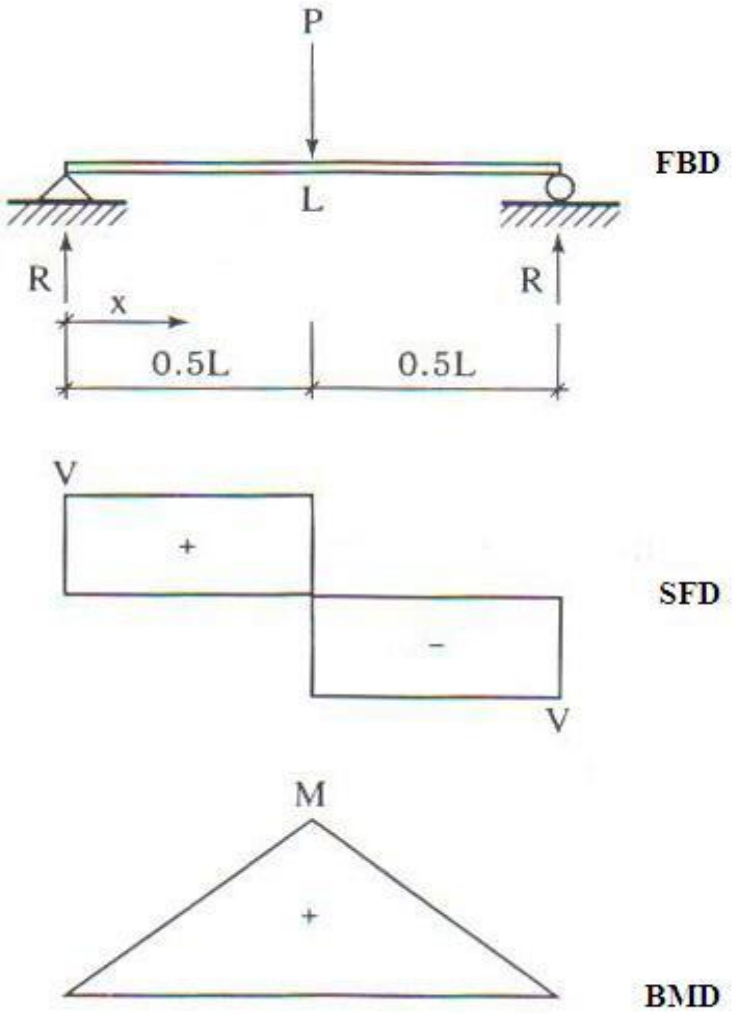
$$R = V = \frac{W}{2}$$

$$V_x = \frac{WL}{2L^2}\left(L^2 - 4x^2\right) \quad , \quad \{x < 0.5L\}$$

$$M_{max} = \frac{WL}{6}$$

$$M_x = W_x\left[\frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3L^2}\right]$$

4. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่จุดกึ่งกลางคาน



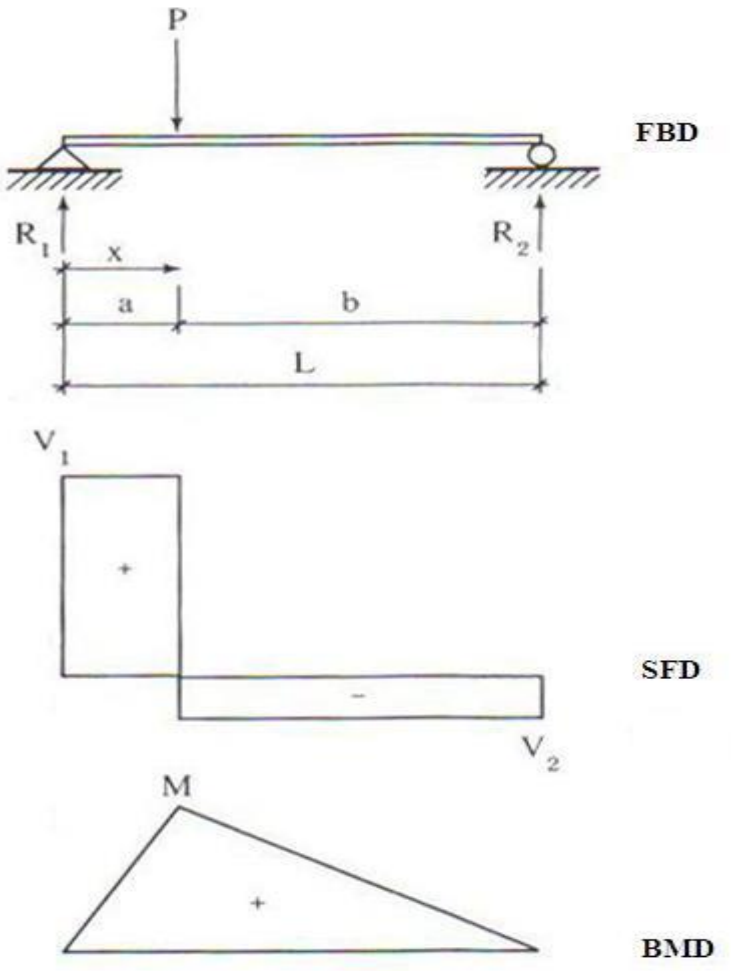
รูปที่ 2.31 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่จุดกึ่งกลางคาน

$$R = V = \frac{P}{2}$$

$$M_{max} = \frac{PL}{4}$$

$$M_x = \frac{P_x}{2} \quad , \quad \{x < 0.5\,L\}$$

5. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน



รูปที่ 2.32 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน

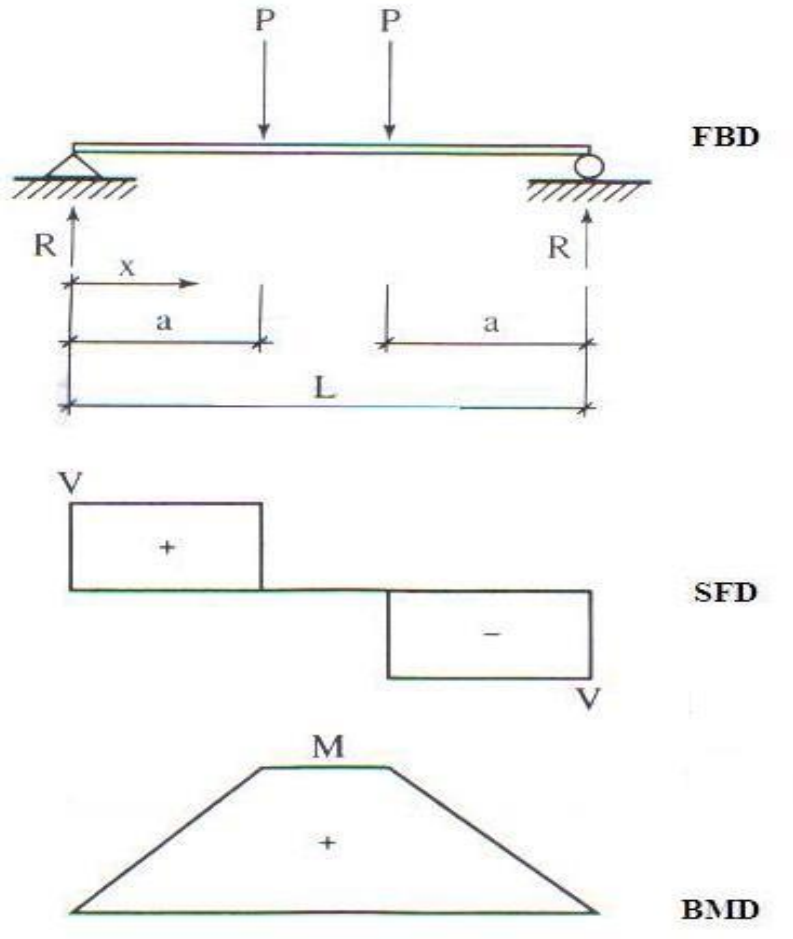
$$R_1 = V_1 = \frac{Pb}{L}$$

$$R_2 = V_2 = \frac{Pa}{L}$$

$$M_{max} = \frac{Pab}{L}$$

$$M_x = \frac{Pbx}{L} \quad , \quad \{ x < a \}$$

6. คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด 2 จุด ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างจากจุดรองรับทั้งสองข้างเท่ากัน



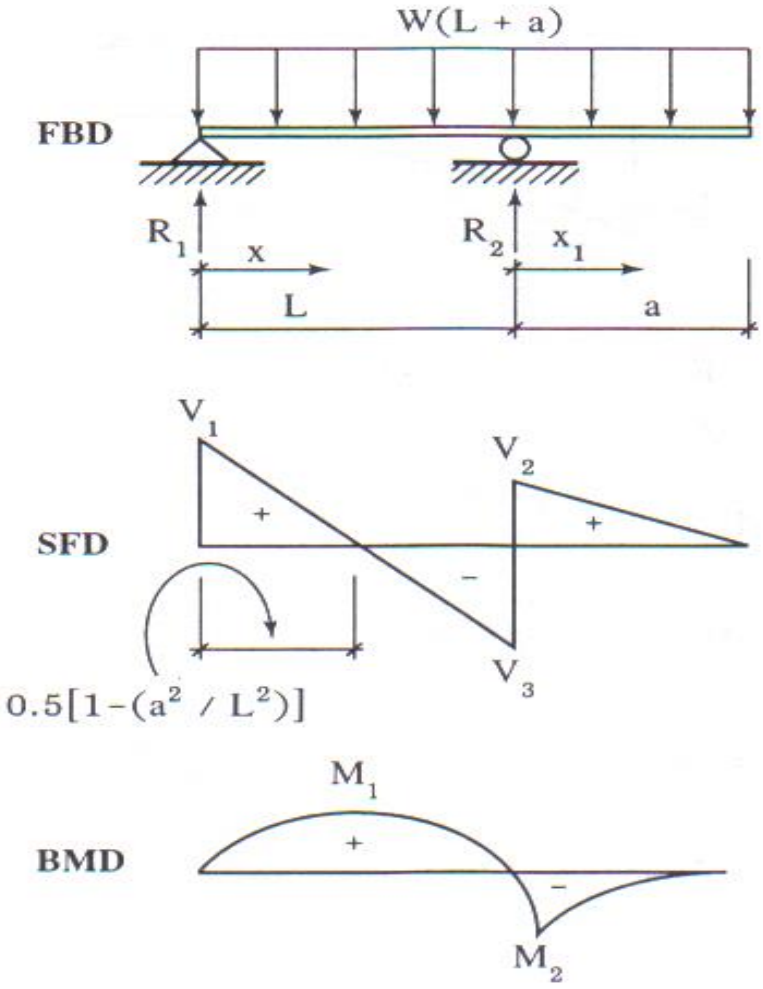
รูปที่ 3.33 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด 2 จุด ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างจากจุดรองรับทั้งสองข้างเท่ากัน

$$R = V = P$$

$$M_{max} = P \cdot a$$

$$M_x = P \cdot x \quad , \quad \{x < a\}$$

7. คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 3.34 คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน

$$R_1 = V_1 = \frac{W}{2L}\left(L^2 - a^2\right)$$

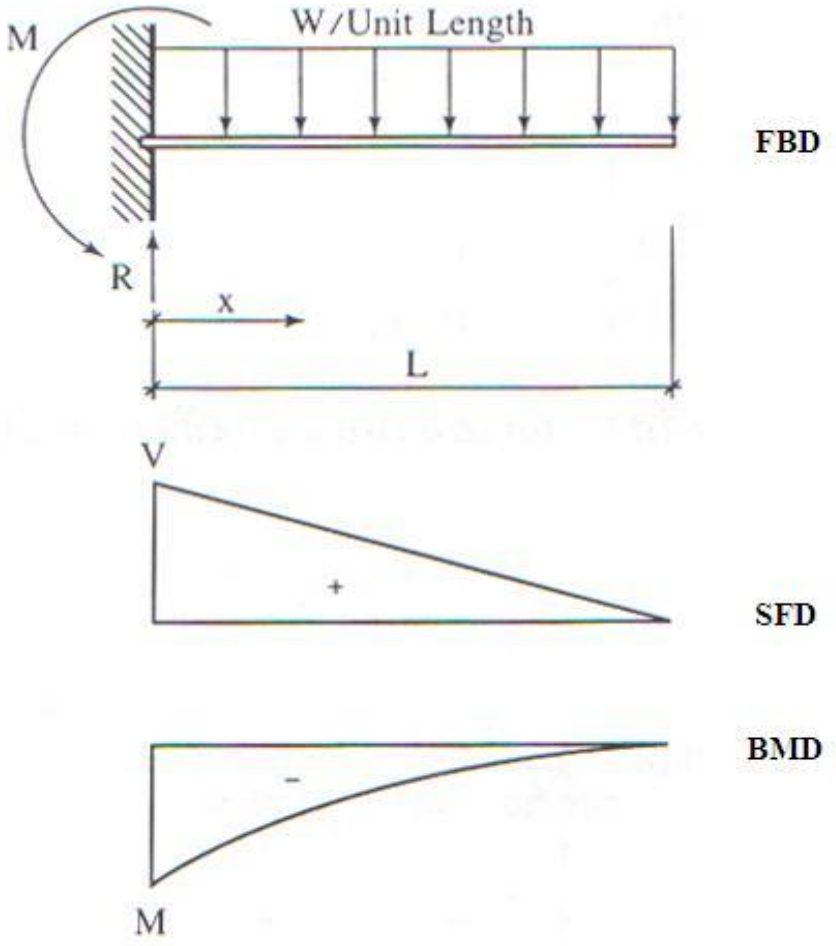
$$R_2 = V_2 + V_3 = \frac{W}{2L}\left(L + a\right)^2$$

$$V_2 = Wa$$

$$V_3 = \frac{W}{2L}\left(L^2 + a^2\right)$$

$$M_1 = \frac{W}{8L^2}\left(L + a\right)^2\left(L - a\right)^2$$

8. คานยื่นรับน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 3.35 คานยื่นรับน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน

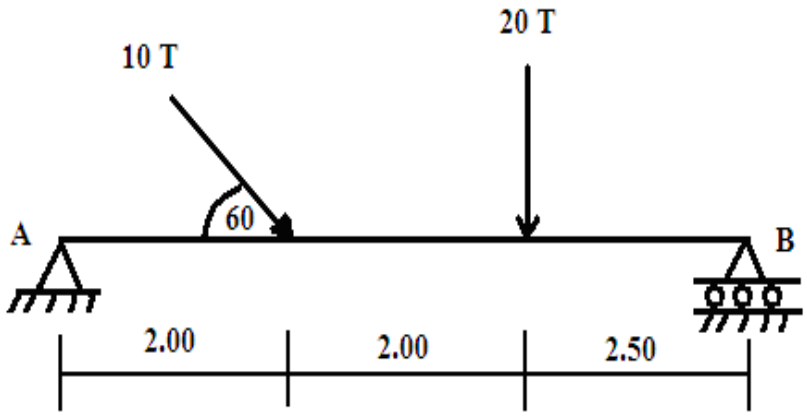
$$R = V = WL$$

$$V_2 = Wx$$

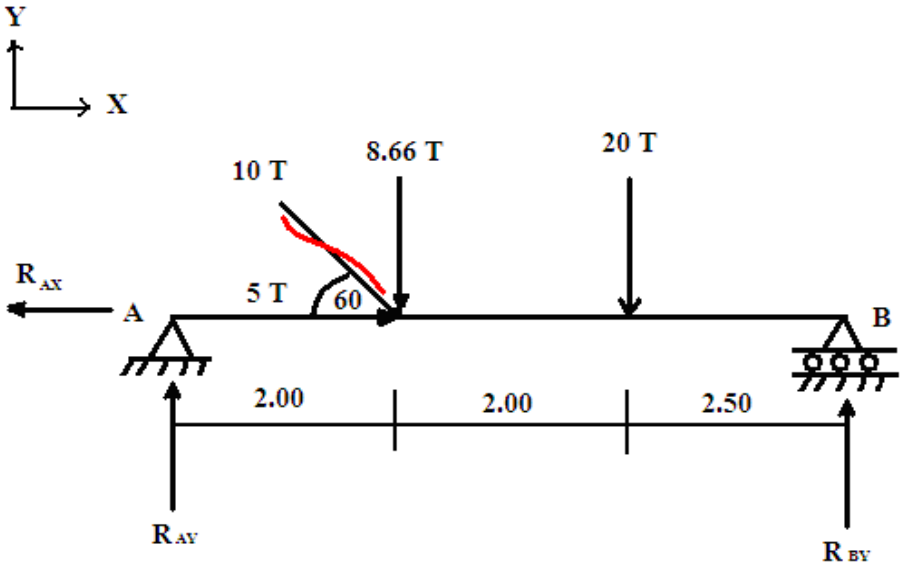
$$M_{max} = \frac{WL^2}{2}$$

$$M_x = \frac{Wx^2}{2}$$

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> จงคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ A และ B ซึ่งรับน้ำหนักดังรูป



วิธีทำ เขียนแผนภาพส่วนอิสระของคานได้ดังนี้



- แรงปฏิกิริยาที่ไม่รู้ค่ามี 3 ตัว คือ R_{AX} , R_{AY} และ R_{BX} ซึ่งเป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนท
- แตกแรง 10 T ให้อยู่ในแนวแกน X และ แนวแกน Y

แรง 10 ตัน ในแนวแกน X $= 10 \cos 60^{o} =$ 50 ตัน →

แรง 10 ตัน ในแนวแกน Y $= 10 \sin 60^{o} =$ 8.66 ตัน ↓

- ใช้สมการของการสมดุล คำนวณหาแรงปฏิกิริยาต่าง ๆ

$\sum F_x = 0$; $R_{AX} - 5 = 0$

$R_{AX} = 5$ ตัน

$\sum M_y = 0$; $8.66\,(2) + 20\,(4) - R_{BX}\,(6.50) = 0$

$R_{BX} = \dfrac{8.66(2) + 20(4)}{6.50} = 14.97$ ตัน

$\sum F_y = 0$; $R_{AY} + 14.97 - 8.66 - 20 = 0$

$R_{AY} = 13.69$ ตัน

ตรวจสอบค่า R_{AY} อีกครั้งโดยการใช้สมการสมดุล $\sum M_B = 0$

$R_{AY}\,(6.5) - 8.66\,(4.5) - 20\,(2.5) = 0$

$R_{AY} = 13.69$ ตัน **o.k.**

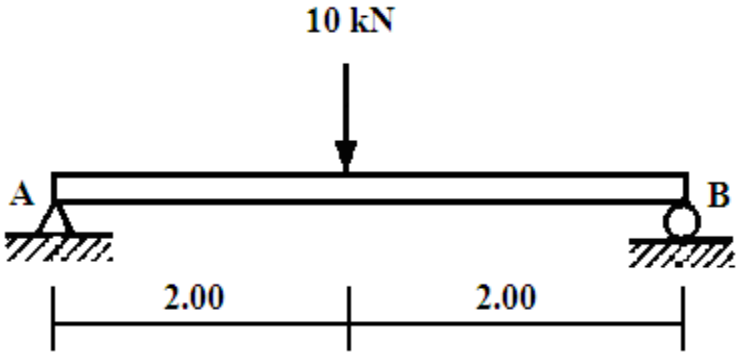
$\therefore$ $R_{AX} = 5$ ตัน ←

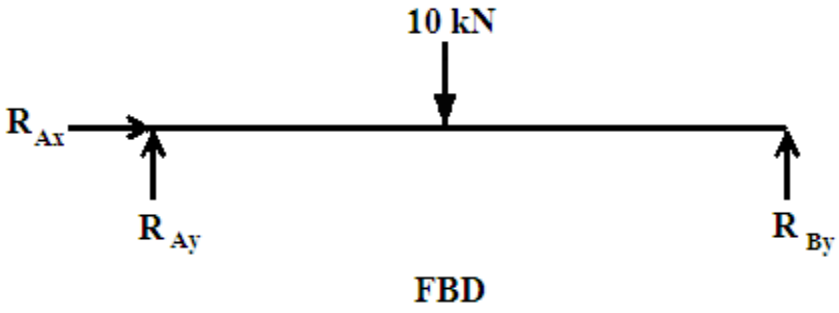
$R_{AY} = 13.69$ ตัน ↑

$R_{BY} = 14.97$ ตัน ↑ **ตอบ**

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> แรงกระทำเป็นจุด ขนาด 10 kN กระทำผ่านจุดกึ่งกลางของคานยาว 4 m. จงเขียนแผนภาพแรงเฉือนของโครงสร้างนี้

วิธีทำ เขียนแผนภาพส่วนอิสระของคานได้ดังนี้





FBD

ผลรวมของแรงในแนวแกน X $\sum F_x = 0$

$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ax} = 0$

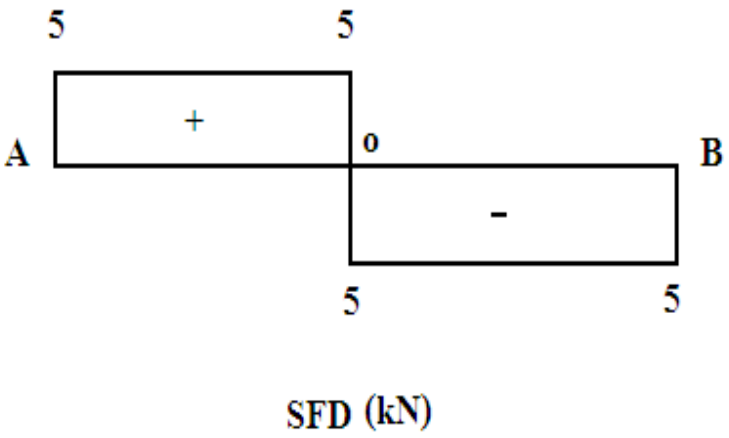
ผลรวมของแรงในแนวแกน Y $\sum F_y = 0$

$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ay} = \frac{R_{Ay}}{2}$

$= \frac{10kN}{2}$

$= 5$ kN ↑

เขียนแผนภาพของแรงเฉือนได้ดังนี้



รูปที่ 2.36 แผนภาพแรงเฉือน

วิธีเขียนแผนภาพ

1. แรงปฏิกิริยา R_{Ay} ที่จุด A มีค่า 5 kN ทิศทางขึ้นบน : ลากเส้นแผนภาพเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งขึ้นไปขนาด + 5 kN

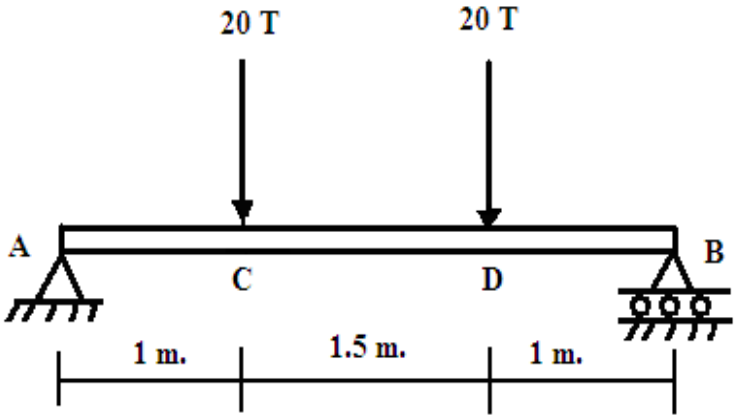
2. จากแนว Ao ไม่มีแรงใดๆ มากระทำ : ลากเส้นแผนภาพจากจุด + 5 kN มาในแนวราบจนถึงระนาบแนวจุด o

3. ที่จุด o มีแรงกระทำ 10 kN ในทิศทางลง : ลากเส้นแผนภาพเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งขนาด – 10 kN ดังนั้นจึงหยุดที่จุด + 5 – 10 = – 5 kN

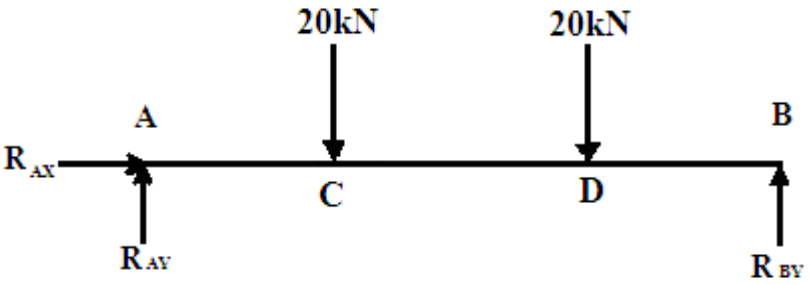
4. จากแนว oB ไม่มีแรงกระทำใดๆ มากระทำ : ลากเส้นแผนภาพจากจุด – 5 kN มาในแนวราบจนถึงระนาบแนวจุด B

5. ที่จุด B มีแรงปฏิกิริยา R_{By} มีค่า 5 kN ทิศทางขึ้นบน : ลาดเส้นแผนภาพเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งขึ้นไป ขนาด + 5 kN หยุดที่จุด – 5 + 5 = 0 จะได้แผนภาพที่ปิดสนิทดังรูปที่ 27

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> จงเขียนแผนภาพและแผนภาพของโมเมนต์ดัด ของโครงสร้างดังรูป



วิธีทำ เขียนแผนภาพส่วนอิสระของคานได้ดังนี้



ผลรวมของแรงในแนวแกน x $\sum F_x = 0$

$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ax} = 0$

ผลรวมของแรงในแนวแกน y $\sum F_y = 0$

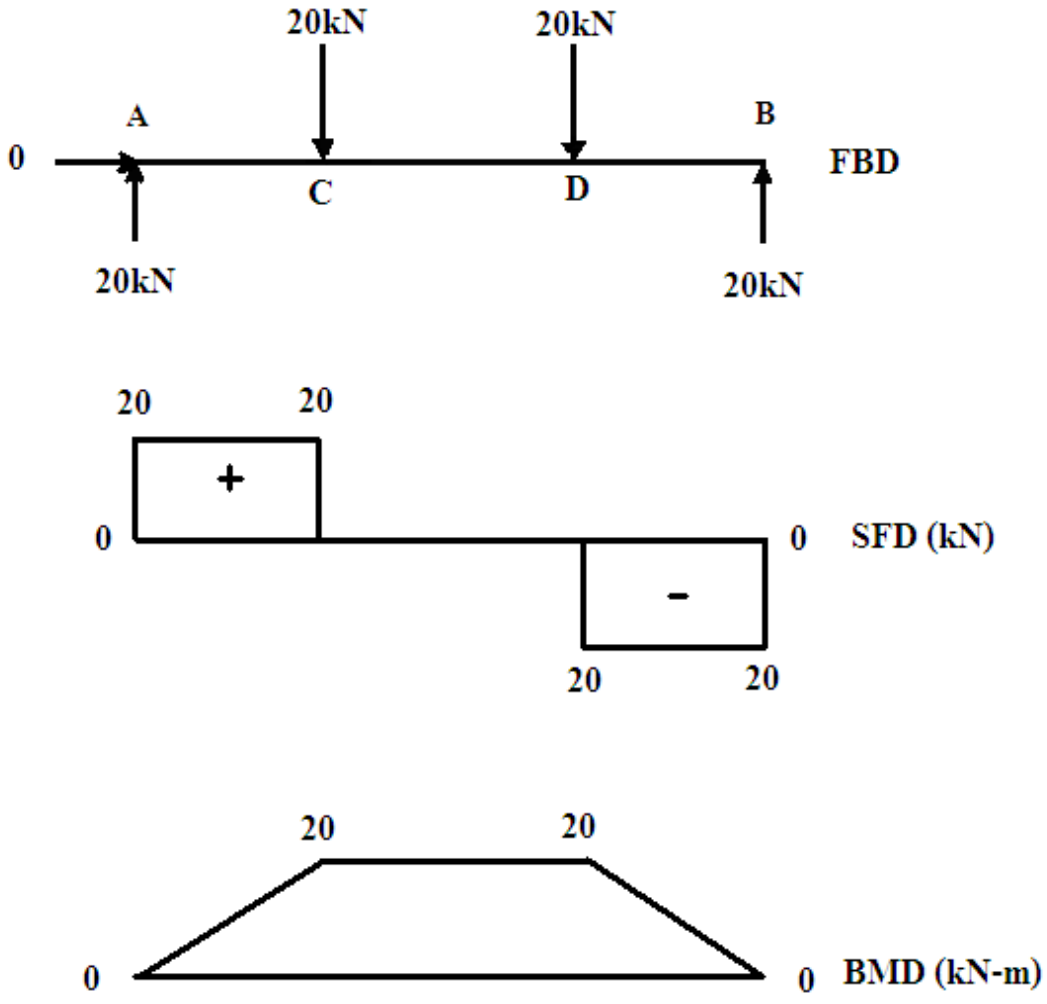
$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ax} = R_{Bx}$

$$= \frac{20kN + 20kN}{2}$$

$R_{Ay} = R_{By}$

$= 20$ kN

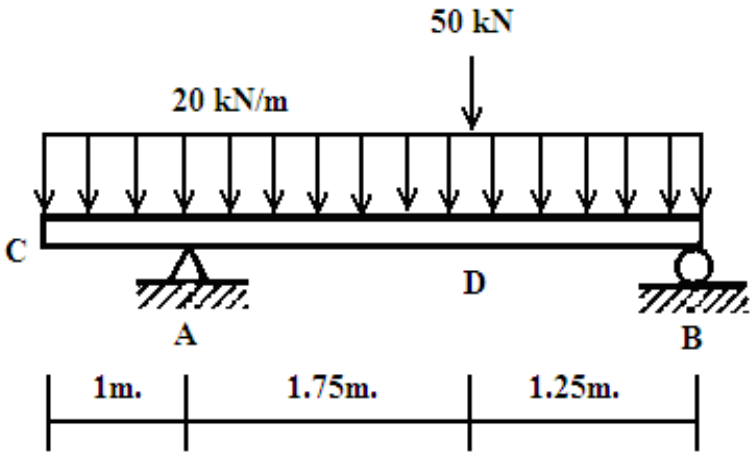
เขียนแผนภาพของแรงเฉือนและแผนภาพของโมเมนต์ดัด ได้ดังนี้



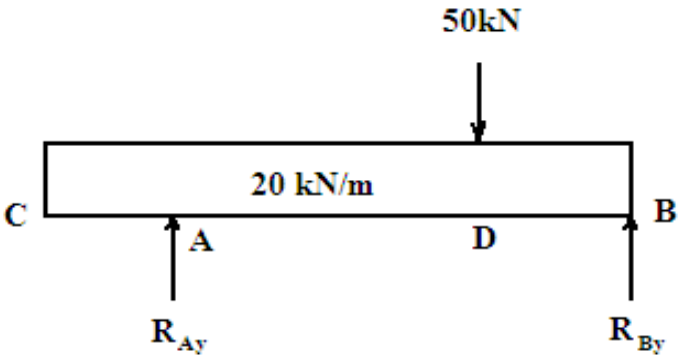
รูปที่ 2.37 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

จุดพิจารณา	**A**	**C**	**D**	**B**
แรงเฉือน (kN)	**+ 20**	**- 20**	**- 20**	**+ 20**
โมเมนต์ดัด (kN)	**0**	**+ 20**	**+ 20**	**0**

ตัวอย่างที่ 4 จงเขียนแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัด ของโครงสร้างดังรูป



วิธีทำ เขียนแผนภาพส่วนอิสระของคานได้ดังนี้



ผลรวมของโมเมนต์รอบจุด B $\sum M_B = 0$

$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ax} = \dfrac{(20kN/m)(4m)(2m)+(50kN)(1.25m)}{3m}$

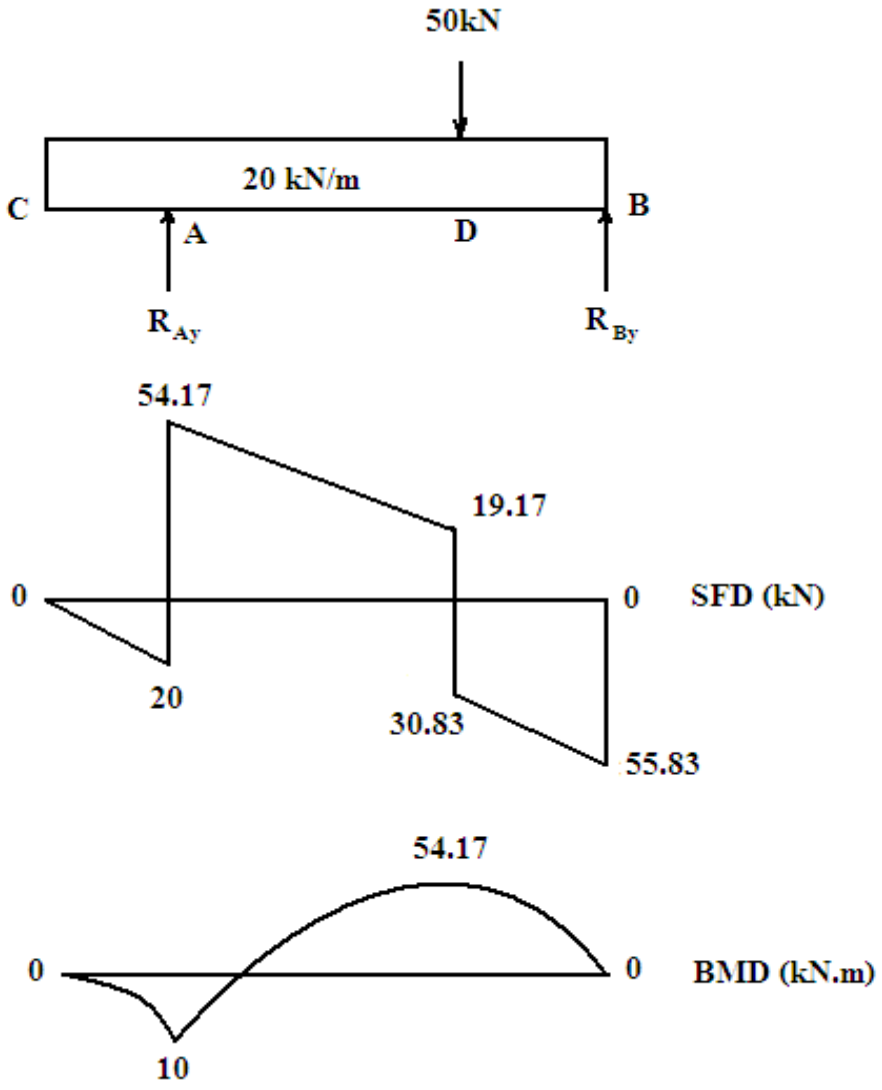
$= 74.17$ kN ↑

ผลรวมของโมเมนต์รอบจุด B $\sum M_B = 0$

$\therefore$ แรงปฏิกิริยา $R_{Ax} = (20kN/m)(4m) + 50kN - 74.17kN$

$= 55.83$ kN $\uparrow$

เขียนแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพของโมเมนต์ดัดได้ดังนี้



จุดพิจารณา	C	A	D	B
แรงเฉือน (kN)	0	+ 74.17	- 50	+ 55.83
โมเมนต์ดัด (kN.m)	0	- 10	+ 54.17	0

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ประกอบการใช้งานของโปรแกรม

1. เครื่องคอมพิวเตอร์

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ Microsoft Word, Edit Plus, Macromedia Dreamweaver 8 และ อื่นๆ

3. หนังสือที่ใช้ในการศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา PHP หนังสือวิธีการเขียน web โดยใช้โปรแกรม Dreamweaver 8 การเขียนโปรแกรม Edit plus และอื่นๆ

4. หนังสือในรายวิชาวิเคราะห์โครงสร้างวิศวกรรม Theory of Structure และกลศาสตร์วิศวกรรม

3.2 วิธีดำเนินการ

1. การศึกษาโปรแกรมการเขียนเว็บไซท์โดยใช้ภาษา PHP

   - ติดตั้งโปรแกรม Edit Plus
   - ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับภาษา PHP ซื้อหนังสือมาอ่าน
   - ข้อคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการในเรื่องของตัวโปรแกรม PHP
   - ขอคำแนะนำจากผู้ที่รู้เรื่องเกี่ยวกับภาษา PHP
   - ค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเว็บไซท์เพิ่มเติม
   - ทดลองเขียนตัวโปรแกรมอย่างง่ายในเบื้องต้น พร้อมตรวจความถูกต้องแก้ไขข้อผิดพลาดของตัวโปรแกรมนั้นๆ

2. การศึกษาเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้าง

   - หาหนังสือด้านการวิเคราะห์โครงสร้างมาอ่าน
   - สอบถามข้อสงสัยกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
   - จับใจความสำคัญของเนื้อเรื่อง

- เน้นหัวข้อที่เกี่ยวกับการหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ดัด และแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัดมาเป็นตัวโปรแกรม

หัวข้อที่ใช้เขียนโปรแกรมมี ดังนี้

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam or Simply Supported Beam)
2. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam or Simply Supported Beam)
3. คานยื่น (Cantilever Beam)
4. คานช่วยเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam)
5. คานยึดแน่น (Fixed-Ended Beam)
6. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (Propped Beam)
7. คานต่อเนื่อง (Continuous Beam)

3. การเขียนโปรแกรม PHP script
4. การทดสอบตัวโปรแกรม
5. การสรุปและเขียนรายงาน

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรม

ทำให้เกิดโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บขึ้น โดยใช้สำหรับคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานในกรณีต่างๆ 26 แบบ ดังที่ปรากฏในเว็บดังนี้

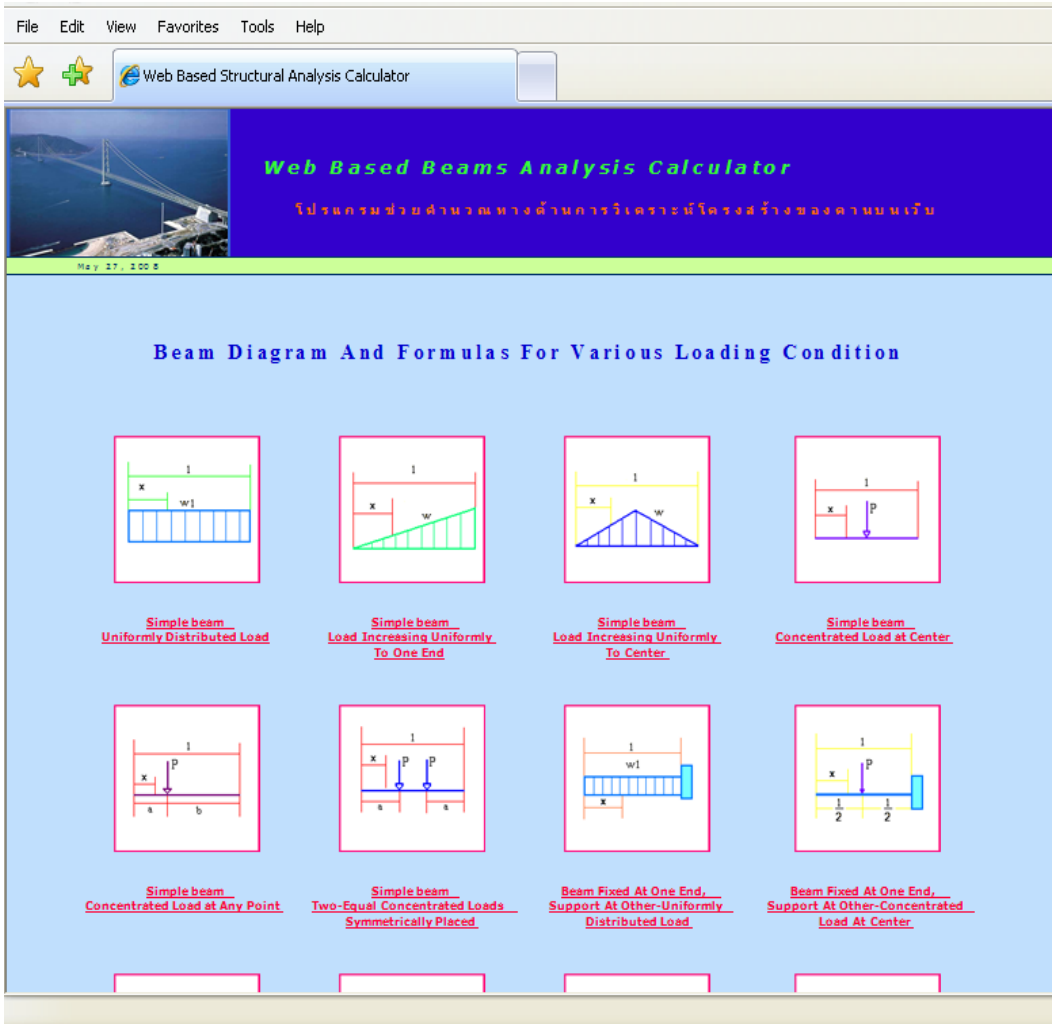
โดยโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ มีหัวข้อดังนี้

1. Simple Beam - Uniformly Distributed Load.
2. Simple Beam - Load Increasing Uniformly To One End.
3. Simple Beam - Load Increasing Uniformly To Center.
4. Simple Beam - Concentrated Load At Center.
5. Simple Beam - Concentrated Load At Any Point.
6. Simple Beam - Two Equal Concentrated Loads Symmetrically Placed.
7. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Uniformly Distributed Load.
8. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load At Center.
9. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load Any Point.
10. Beam Fixed At Both Ends - Uniformly Distributed Loads.
11. Beam Fixed At Both Ends - Concentrated Load At Center.
12. Cantilever Beam - Load Increasing Uniformly To Fixed End.
13. Cantilever Beam - Uniformly Distributed Load.
14. Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Uniformly Distributed Load.
15. Cantilever Beam - Concentrated Load At Any Point.
16. Cantilever Beam - Concentrated Load At Free End.
17. Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Concentrated Load At Guided End.
18. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load.
19. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load On Overhang.
20. Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At End Of Overhang.
21. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load Between Supports.

22. Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At Any Point Between Supports.
23. Continuous Beam - Two Equal Span - Uniform Load On One Span.
24. Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Center Of One Span.
25. Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Any Point.
26. Continuous Beam - Three Equal Spans – End Spans Loaded.

4.2 วิธีการใช้โปรแกรม

1.การเข้าใช้โปรแกรมให้เข้าไปที่ http://pirun.ku.ac.th/~fengvwv/sophitra/ จะปรากฏหน้าเว็บไซต์ดังรูป



รูปที่ 4 แสดงเว็บไซต์ของโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ

2. เลือกชนิดของคานที่ต้องการหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ซึ่งมีหลายกรณีให้เลือก โดยคลิ้กเข้าไปที่ชื่อของรูปแบบคานที่ต้องการคำนวณ ก็จะเข้าสู่โปรแกรมช่วยคำนวณ

3. ดูรูป Diagram ของคาน แล้วเติมข้อมูลต่างๆ ลงในช่องว่างที่ให้ใส่ข้อมูล ซึ่งช่องว่างที่ให้กรอกตัวเลข โดยแต่ระช่องจะมีความหมายดังนี้

- ค่าแรงกระทำ ซึ่งจะมี Uniform load : w มีหน่วยเป็น N/m.
  Point load : P มีหน่วยเป็น N.
  Increasing load : w มีหน่วยเป็น N/m.
- ค่าความยาวคาน Beam long : l มีหน่วยเป็น m.
- ค่าระยะใด ๆ : x มีหน่วยเป็น m. ซึ่งเป็นระยะที่เราต้องการจะหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ซึ่งค่าระยะใดๆ ต้องอยู่ระหว่างความยาวของคาน เพราะถ้าหากใส่ค่าเกินความยาวคาน โปรแกรมจะไม่สามารถคำนวณได้ และจะเตือนให้กรอกค่าใหม่
- ค่าระยะ : a มีหน่วยเป็น m.
- ค่าระยะ : b มีหน่วยเป็น m.
- ระยะใดๆ : x1 มีหน่วยเป็น m. ซึ่งระยะ x1 จะต้องมีค่าไม่เกินระยะ a

4. เมื่อกรอกค่าต่างๆ เสร็จแล้วให้กดปุ่ม Cal เพื่อให้โปรแกรมทำการคำนวณ

5. ถ้าต้องการเปลี่ยนค่าที่กรอกไปแล้วใหม่ ให้กดปุ่ม Reset

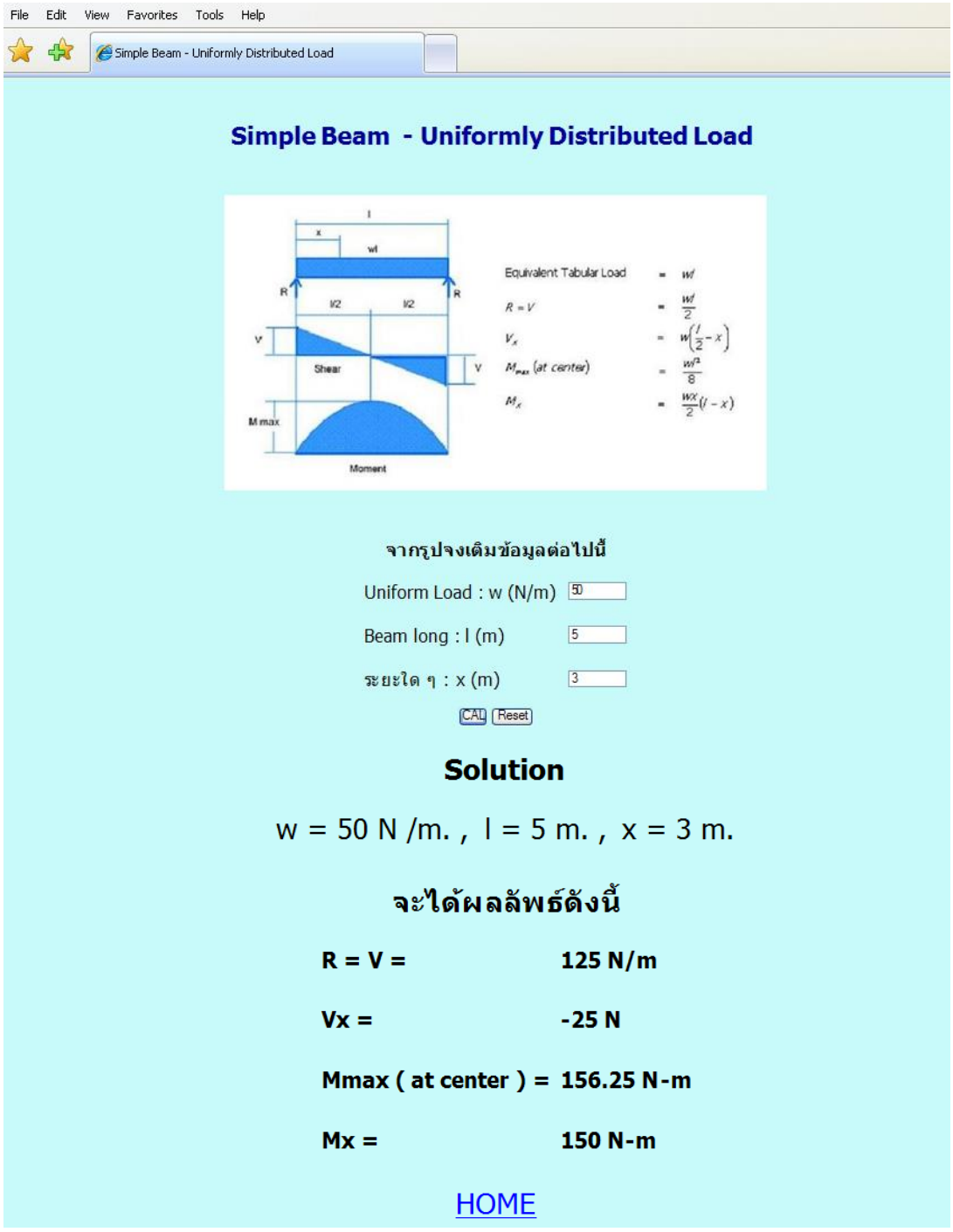
6. เมื่อกดปุ่ม Cal แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ และแสดงผลออกมาดังรูป ให้นำค่าที่ได้มาเทียบกับรูป Diagram ด้านบน ซึ่งแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานจะเป็นดังรูปของโปรแกรม โดยค่าที่โปรแกรมคำนวณได้ มีดังนี้

- ค่า R คือค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ซึ่งบางโปรแกรมจะมี R ไม่เท่ากัน จะมี R1, R2 และ R3 ขึ้นอยู่กับลักษณะของคานแต่ละชนิด และจำนวนจุดรองรับของคาน
- ค่า V คือ ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำ ซึ่งจะมี V1, V2 และ V3 ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงกระทำและชนิดของคาน
- ค่า Vx คือ ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ระยะใดๆ(x) ที่ต้องการทราบค่า
- ค่า Mmax คือ ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของคาน
- ค่า M คือ ค่าโมเมนต์ดัดของคานซึ่งอาจมี M1, M2 และ M3 ขึ้นอยู่กับชนิดของคาน และแรงกระทำ
- ค่า Mx คือ ค่าโมเมนต์ดัดของคานที่เกิดขึ้นที่ระยะใดๆ (x) ที่ต้องการทราบค่า

4.3. โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ มีดังนี้

4.3.1. Simple Beam - Uniformly Distributed Load.

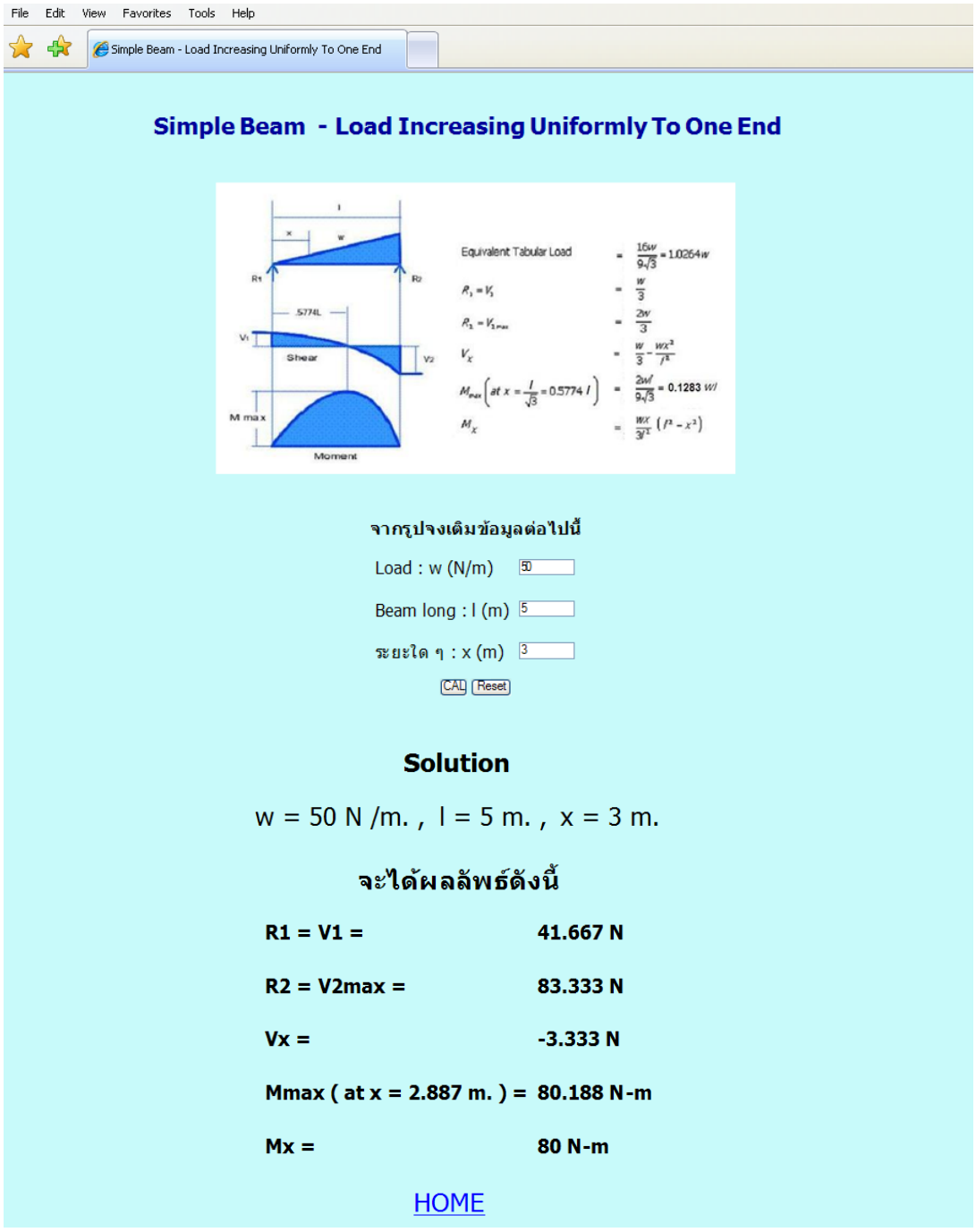
คานช่วงเดียวที่รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Uniformly Distributed Load.

4.3.2 Simple Beam - Load Increasing Uniformly To One End.

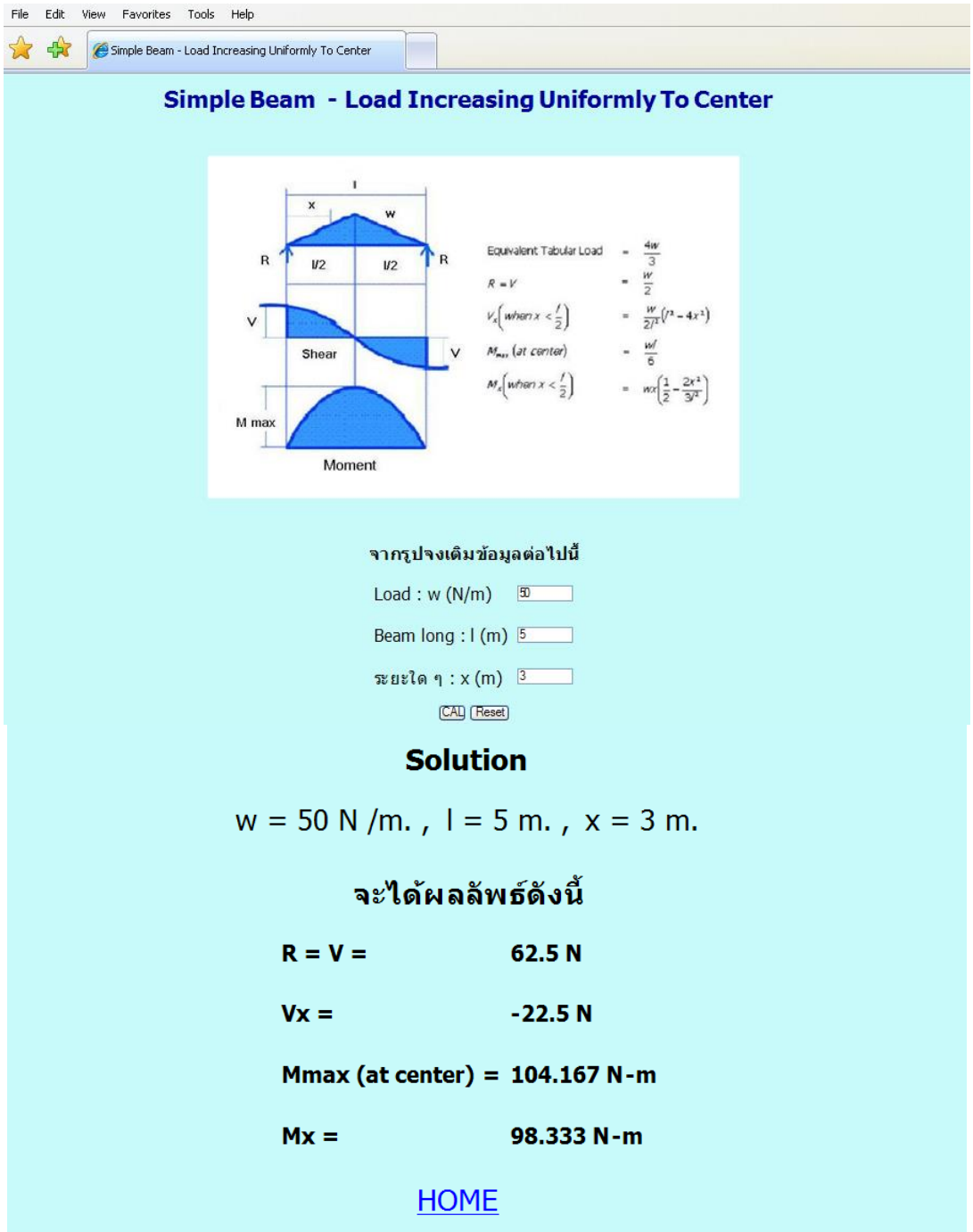
คานช่วงเดียวรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงปลายคาน



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Load Increasing Uniformly To One End.

4.3.3. Simple Beam - Load Increasing Uniformly To Center.

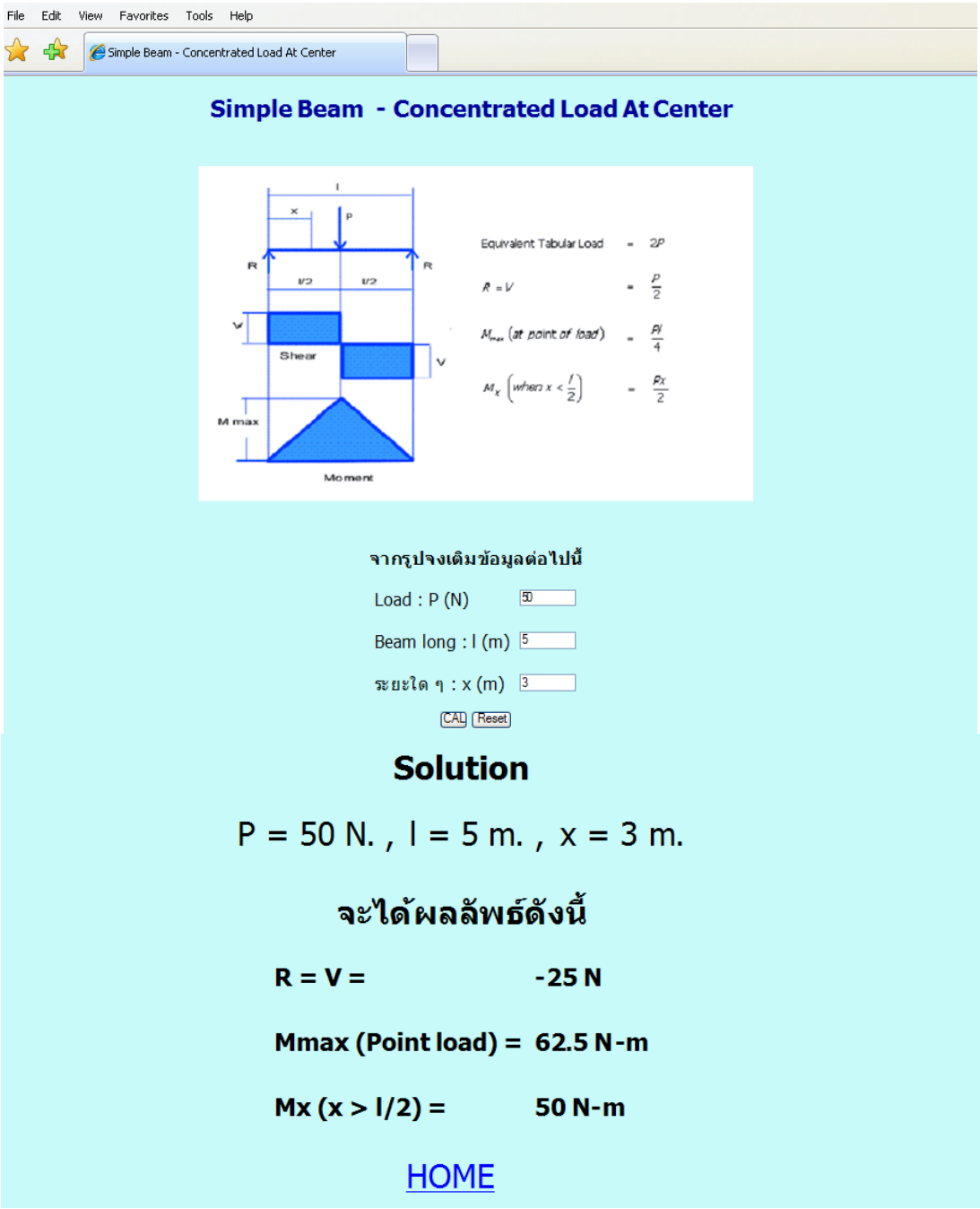
คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงกลางคาน



รูปที่ 4.3 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Load Increasing Uniformly To Center.

4.3.4. Simple Beam - Concentrated Load At Center.

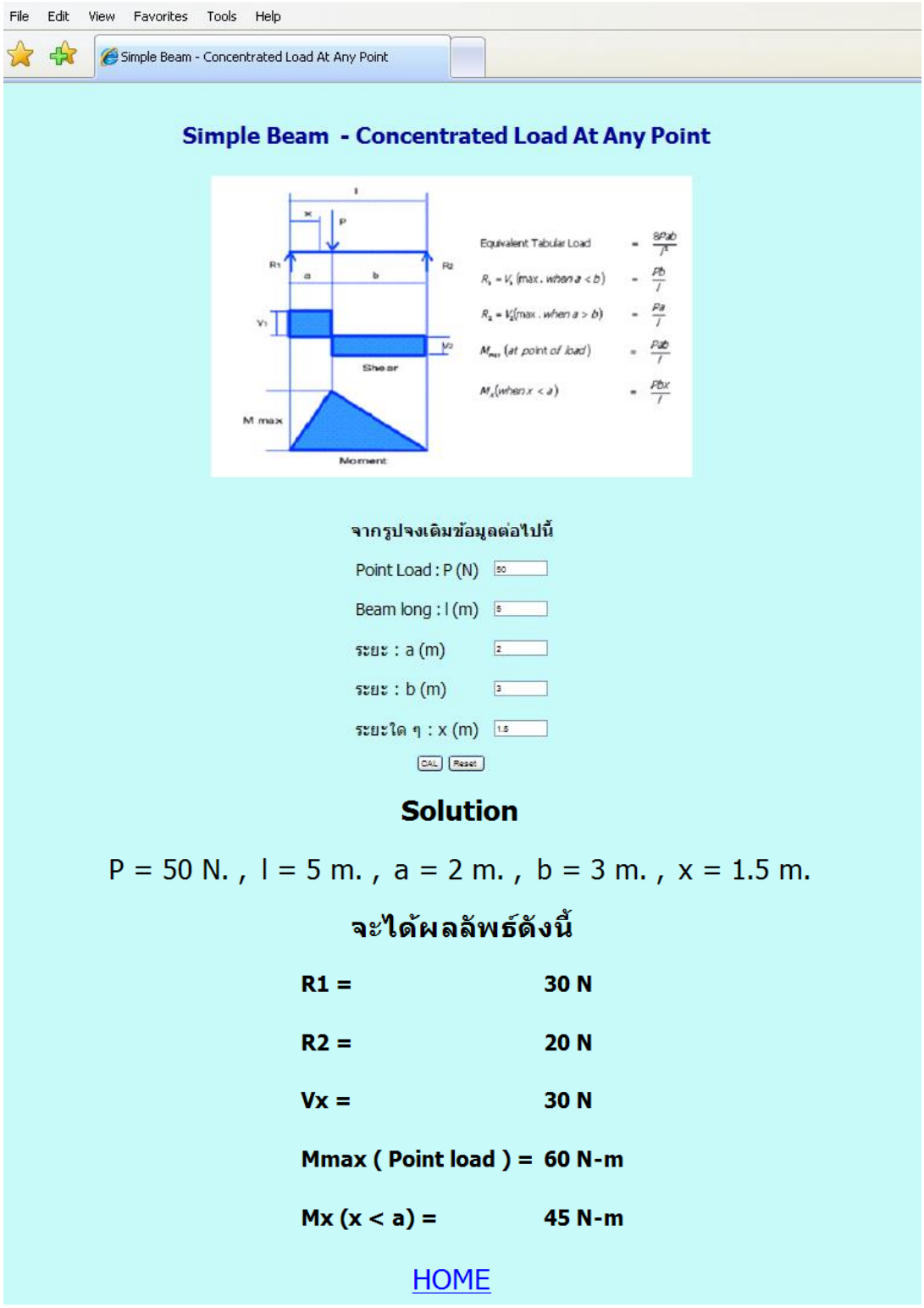
คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่จุดกึ่งกลางคาน



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Concentrated Load At Center.

4.3.5. Simple Beam - Concentrated Load At Any Point.

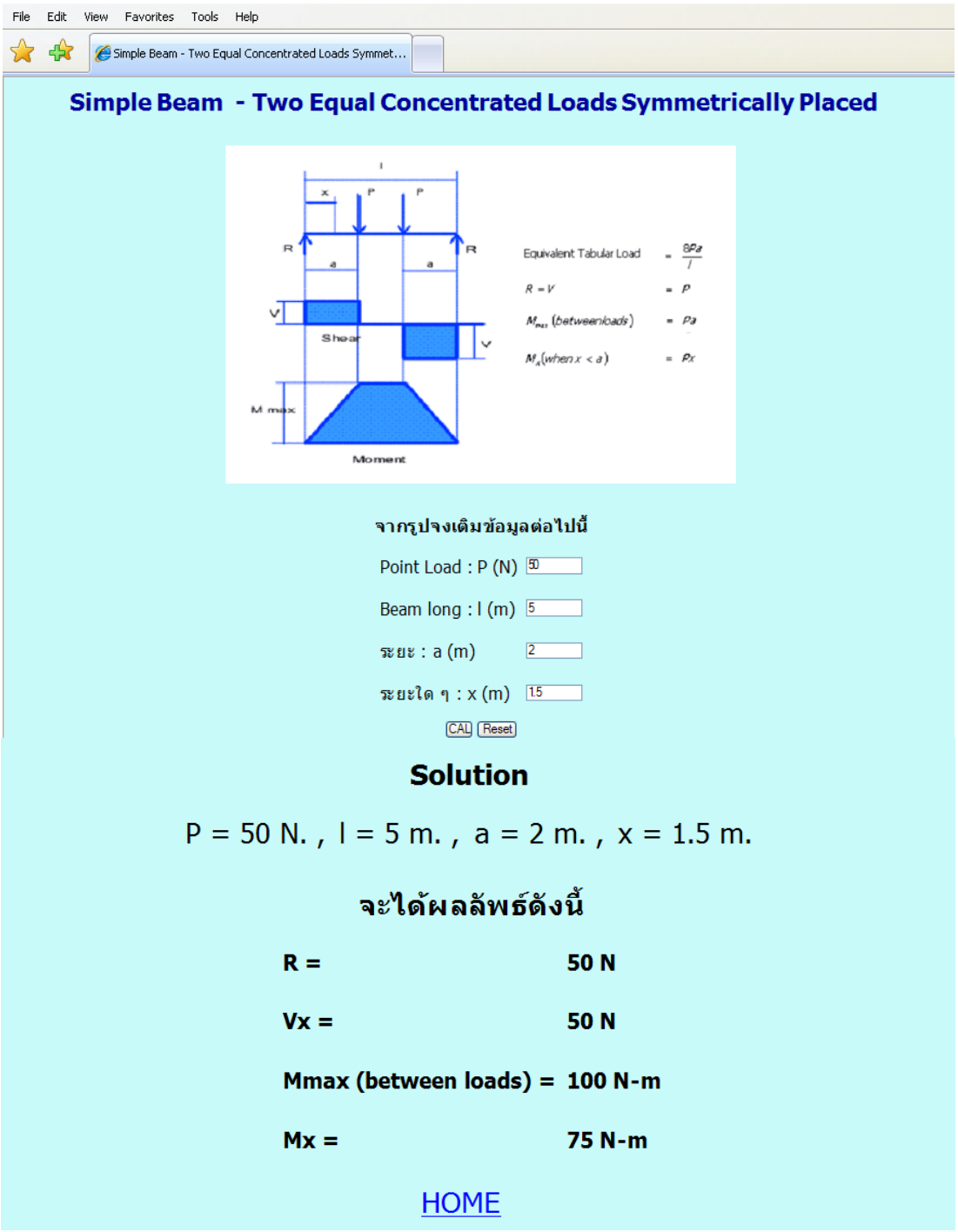
คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน



รูปที่ 4.5 แสดงหน้าคำนวณ Simple Beam - Concentrated Load At Any Point.

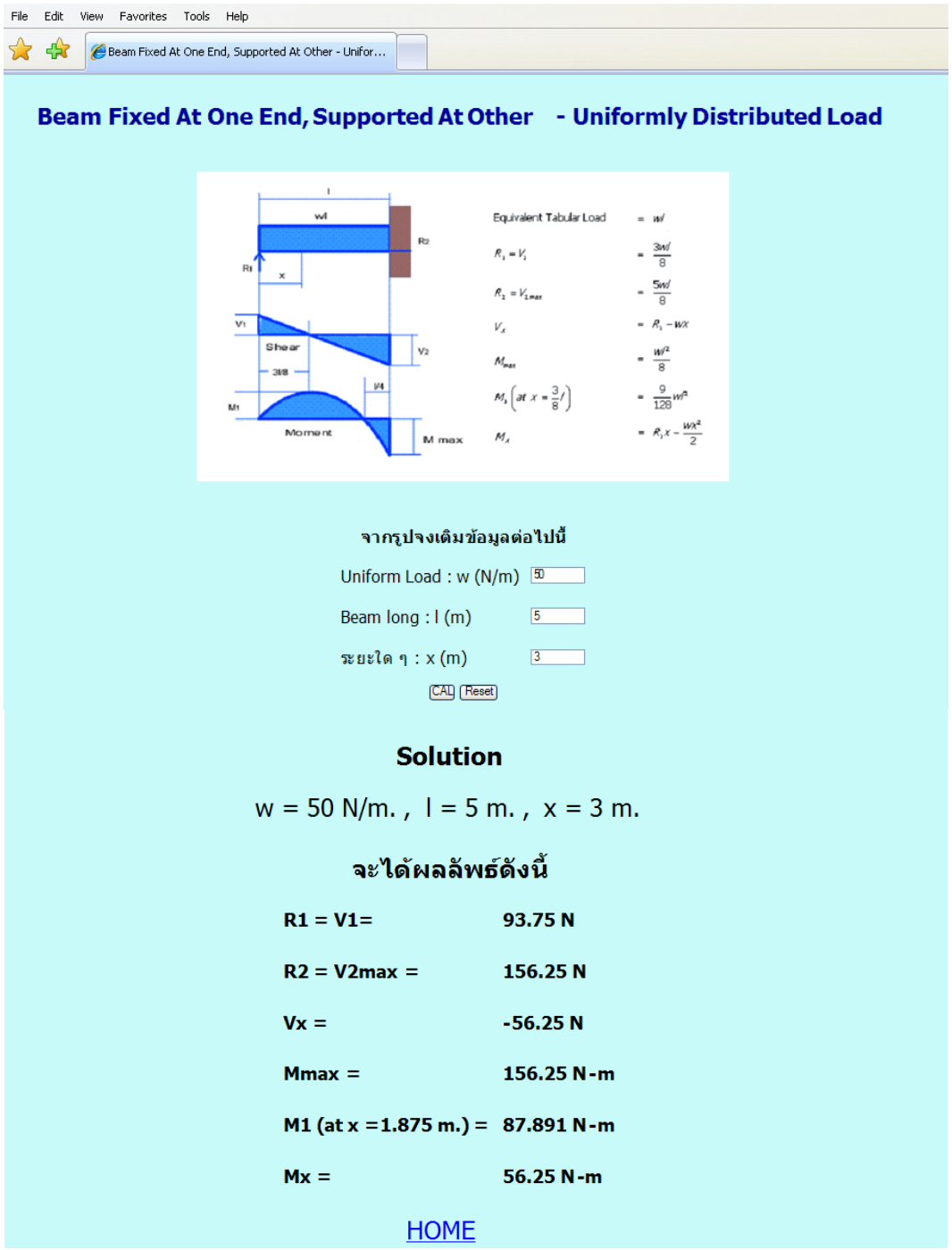
4.3.6. Simple Beam - Two Equal Concentrated Loads Symmetrically Placed.

คานช่วงเดียวรับน้ำหนักกระทำเป็นจุด 2 จุด ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างจากจุดรองรับทั้งสองข้างเท่ากัน



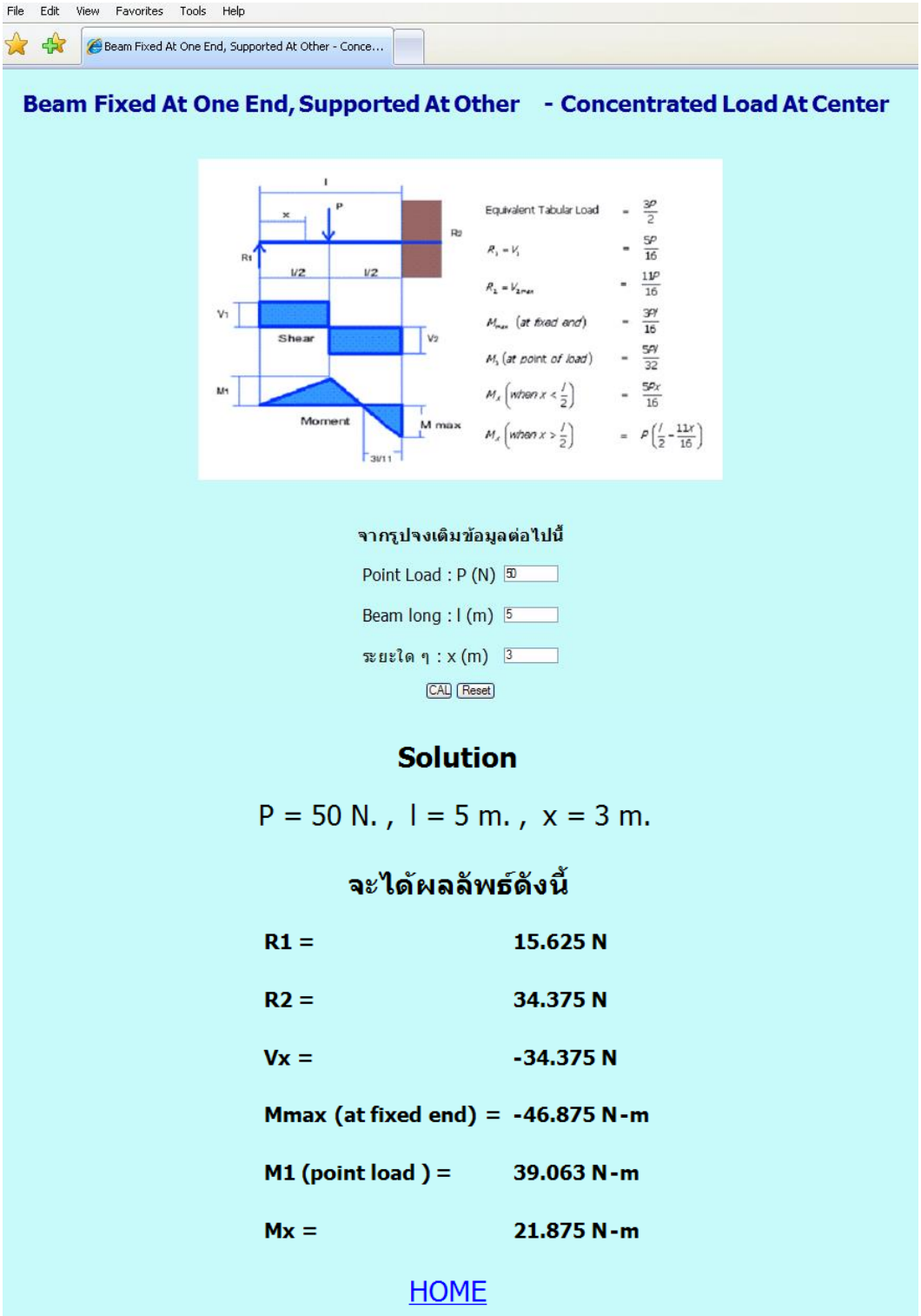
รูปที่ 4.6 แสดงหน้า Simple Beam - Two Equal Concentrated Loads Symmetrically Placed.

4.3.7. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Uniformly Distributed Load.
คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุนมีแรงกระทำสม่ำเสมอตลอดคาน



รูปที่ 4.7 แสดงหน้า Beam Fixed At One End, Supported At Other - Uniformly Distributed Load.

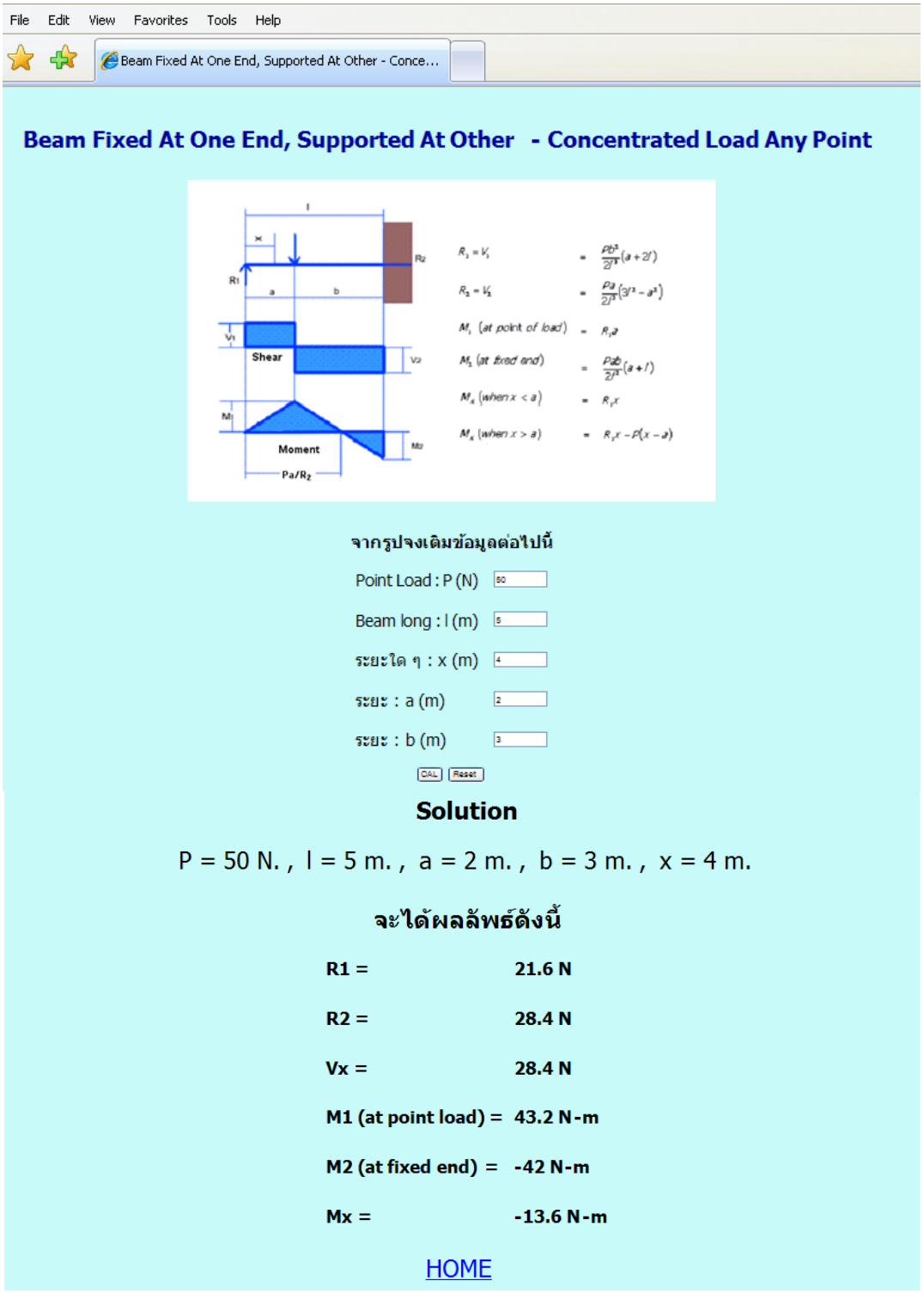
4.3.8. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load At Center.
คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุนมีแรงกระทำเป็นจุดที่จุดกึ่งกลางคาน



รูปที่ 4.8 แสดงหน้า Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load At Center.

4.3.9. Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load Any Point.

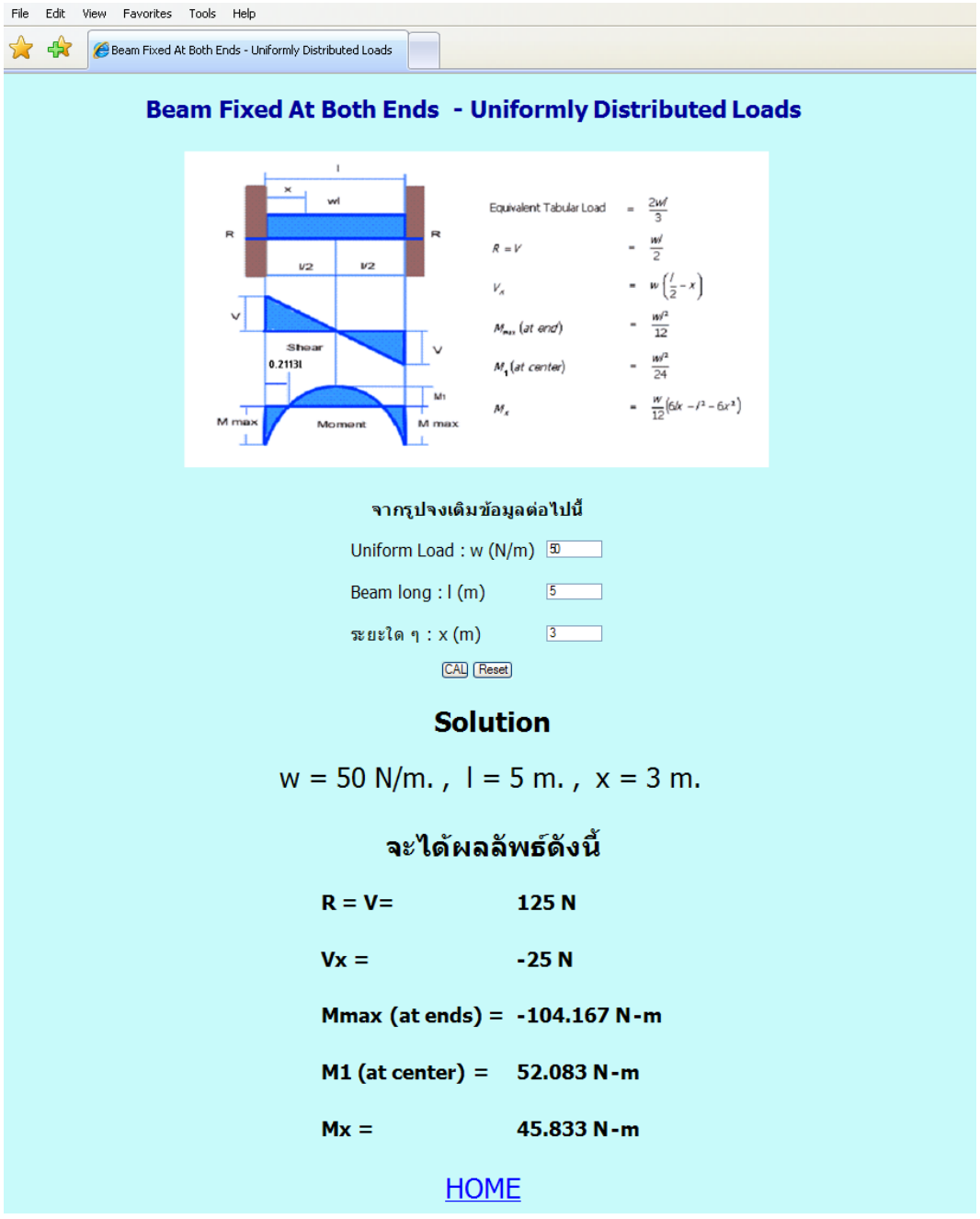
คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุนมีแรงกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน



รูปที่ 4.9 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Supported At Other - Concentrated Load Any Point.

4.3.10. Beam Fixed At Both Ends - Uniformly Distributed Loads.

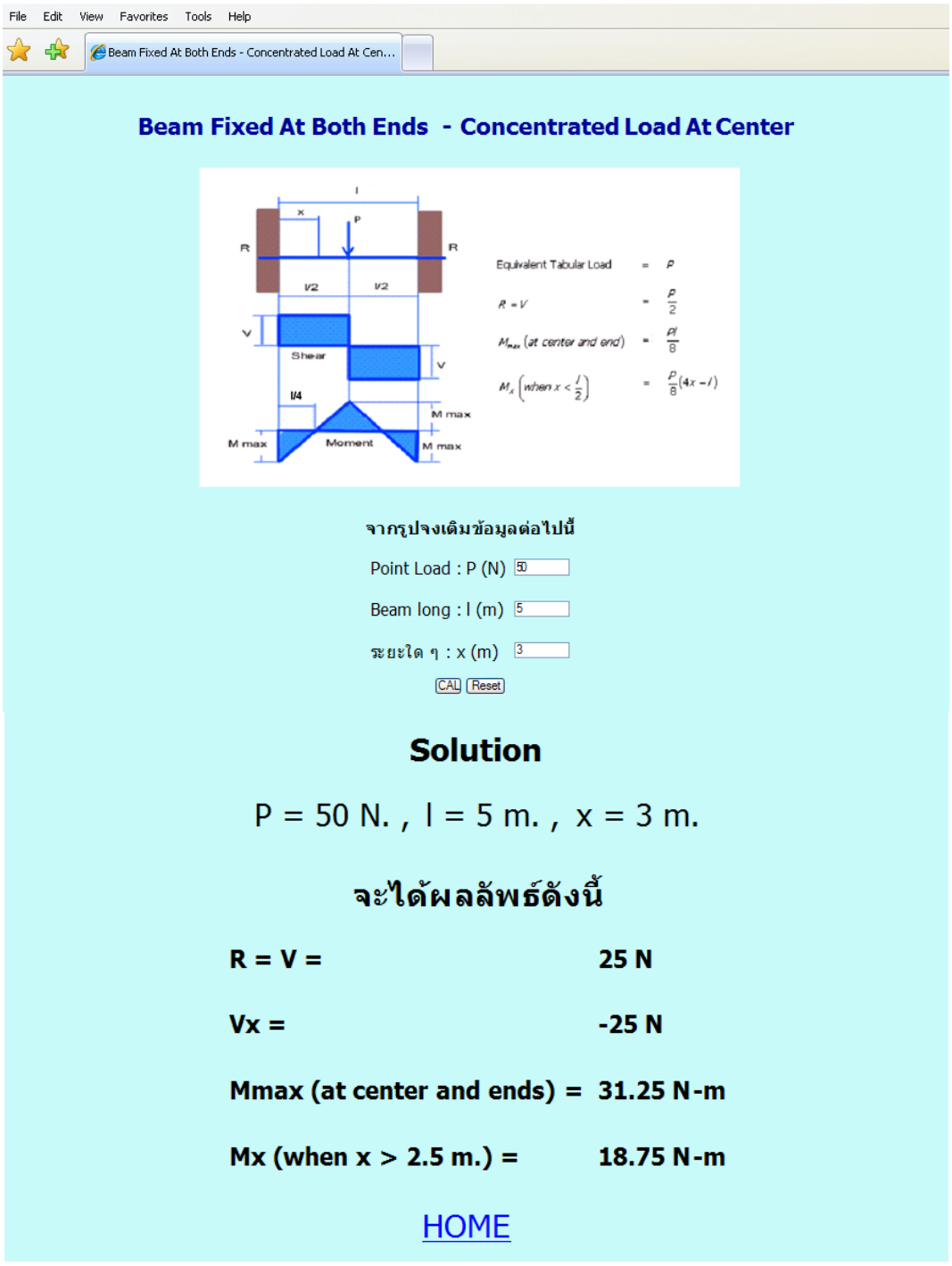
คานแบบปลายทั้งสองข้างยึดแน่นมีแรงกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 4.10 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At Both Ends - Uniformly Distributed Loads.

4.3.11. Beam Fixed At Both Ends - Concentrated Load At Center.

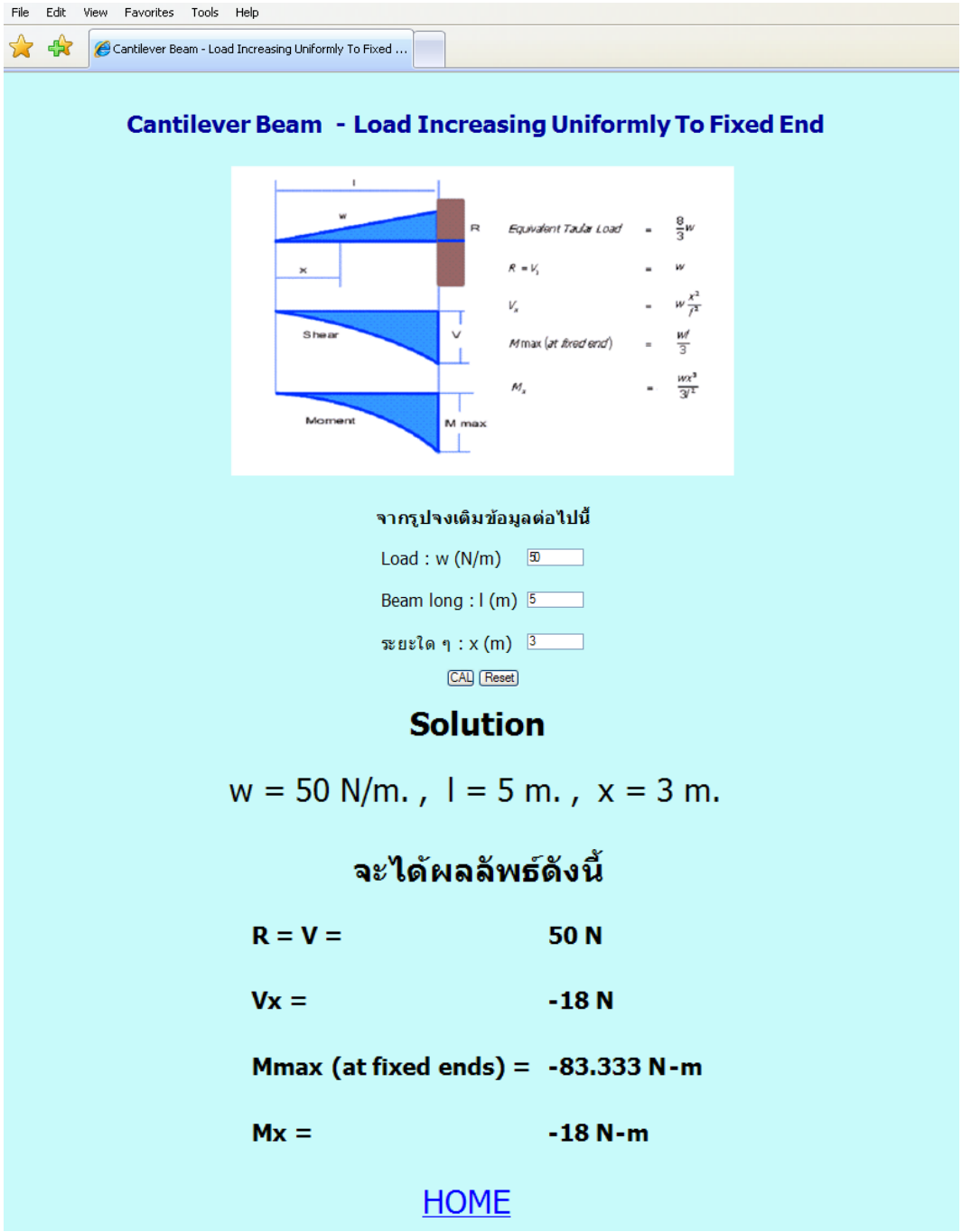
คานแบบปลายทั้งสองข้างยึดแน่นมีแรงกระทำเป็นจุดตรงกลางคาน



รูปที่ 4.11 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At Both Ends - Concentrated Load At Center.

4.3.12. Cantilever Beam - Load Increasing Uniformly To Fixed End.

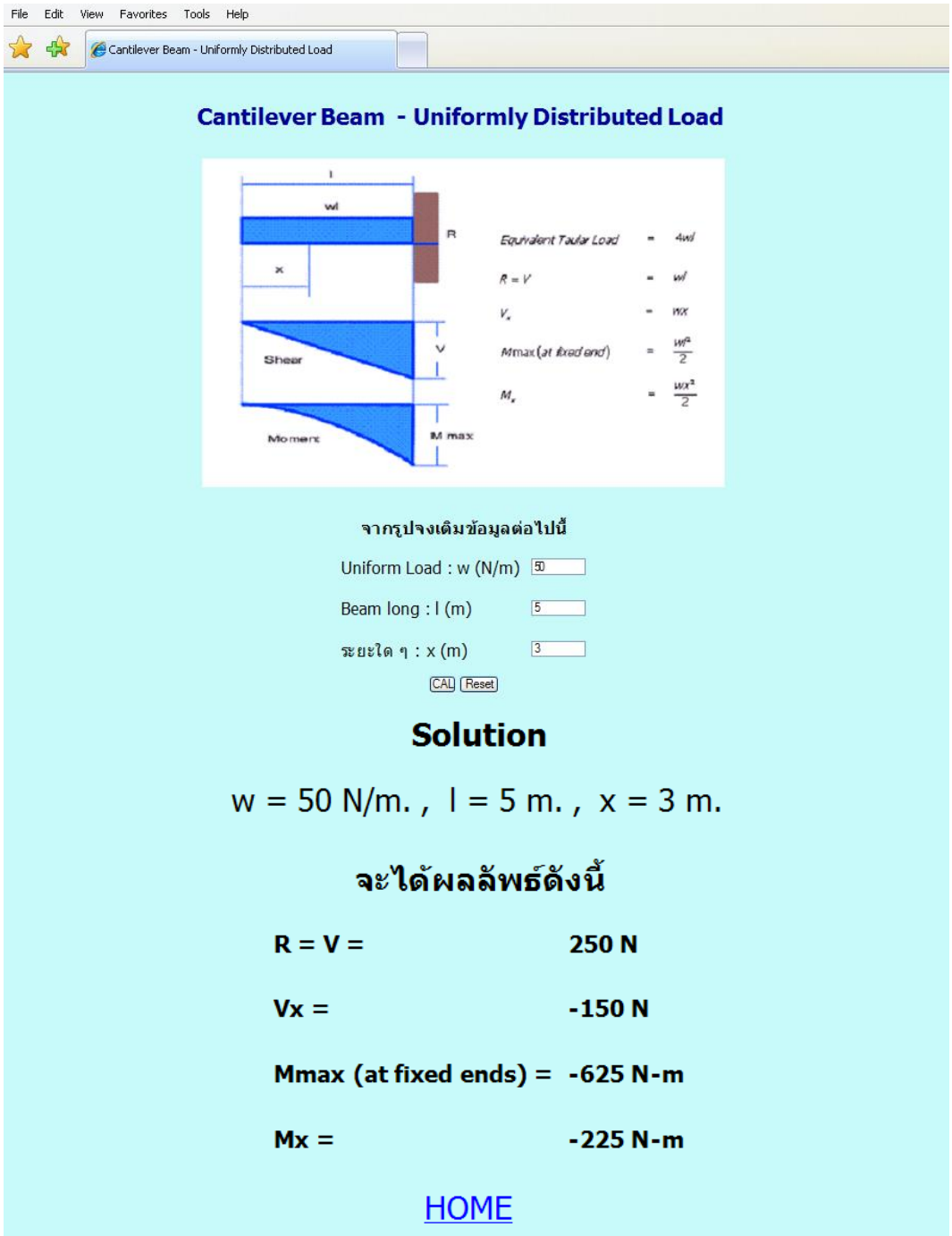
คานยื่นรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอจนถึงจุดยึดแน่น



รูปที่ 4.12 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Load Increasing Uniformly To Fixed End.

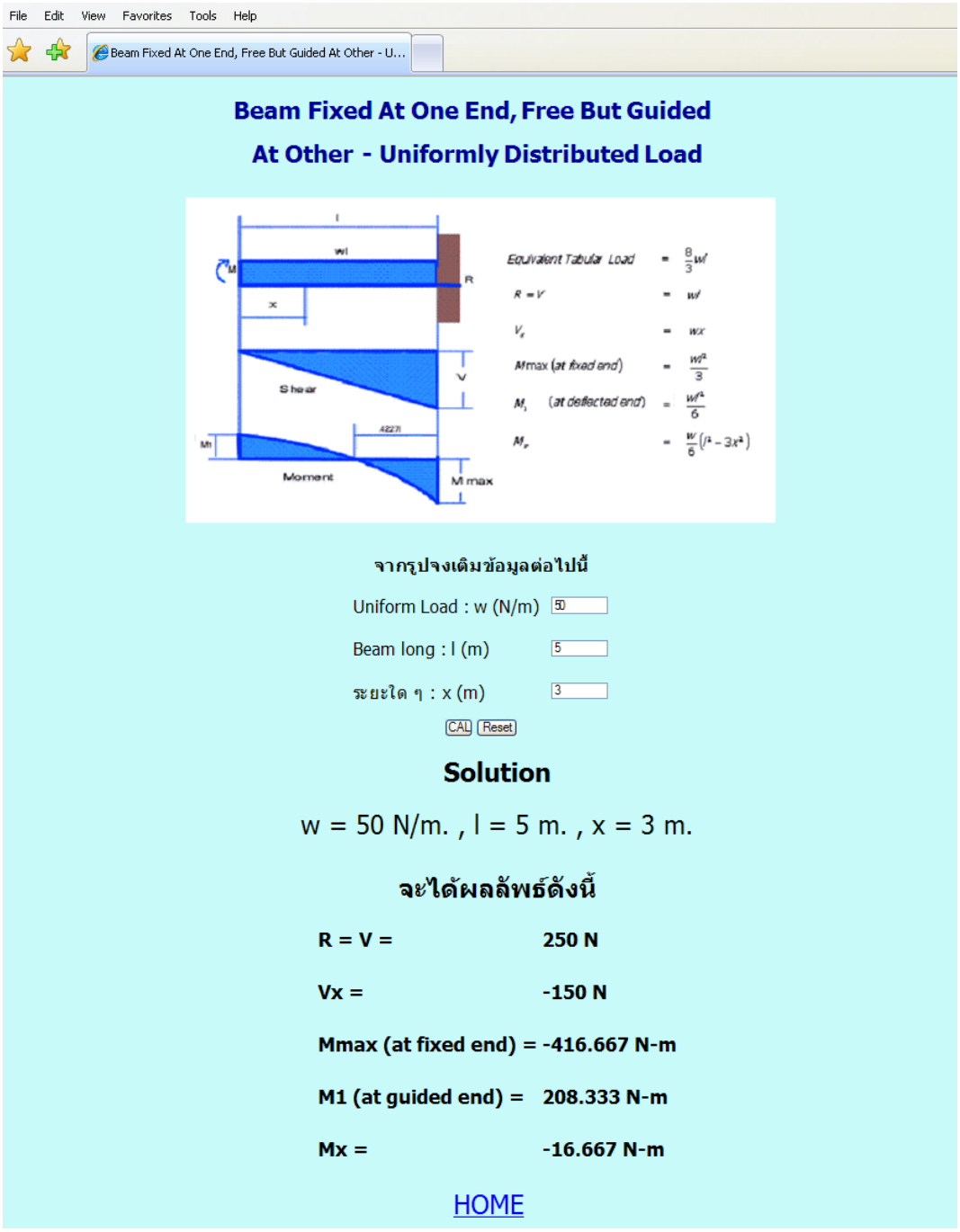
4.3.13. Cantilever Beam - Uniformly Distributed Load.

คานยื่นรับน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



รูปที่ 4.13 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Uniformly Distributed Load.

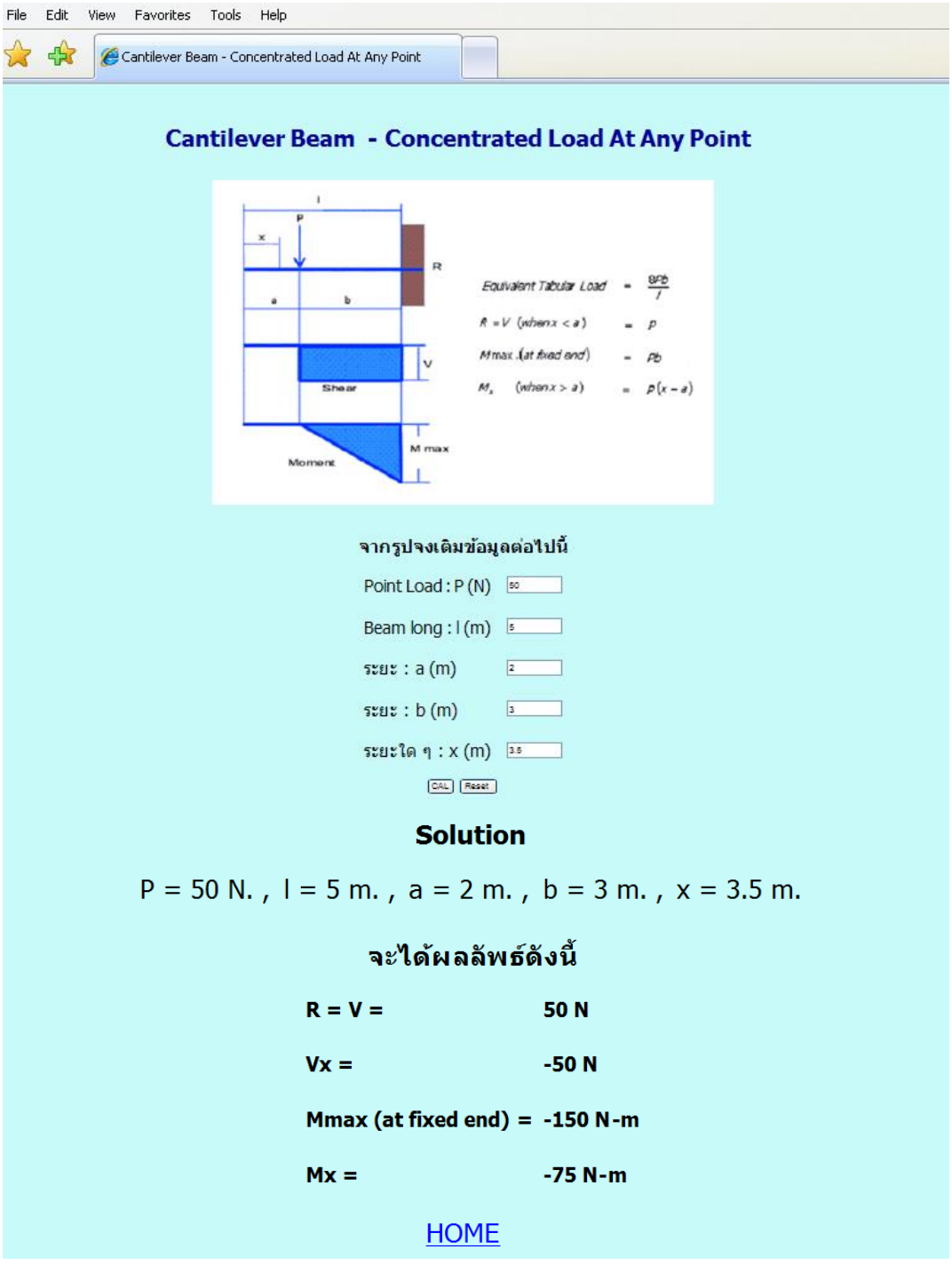
4.3.14. Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Uniformly Distributed Load. คานยึดแน่นข้างหนึ่งและเป็นอิสระข้างหนึ่งมีแรงกระทำสม่ำเสมอตลอดคาน



รูปที่ 4.14 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Uniformly Distributed Load.

4.3.15. Cantilever Beam - Concentrated Load At Any Point.

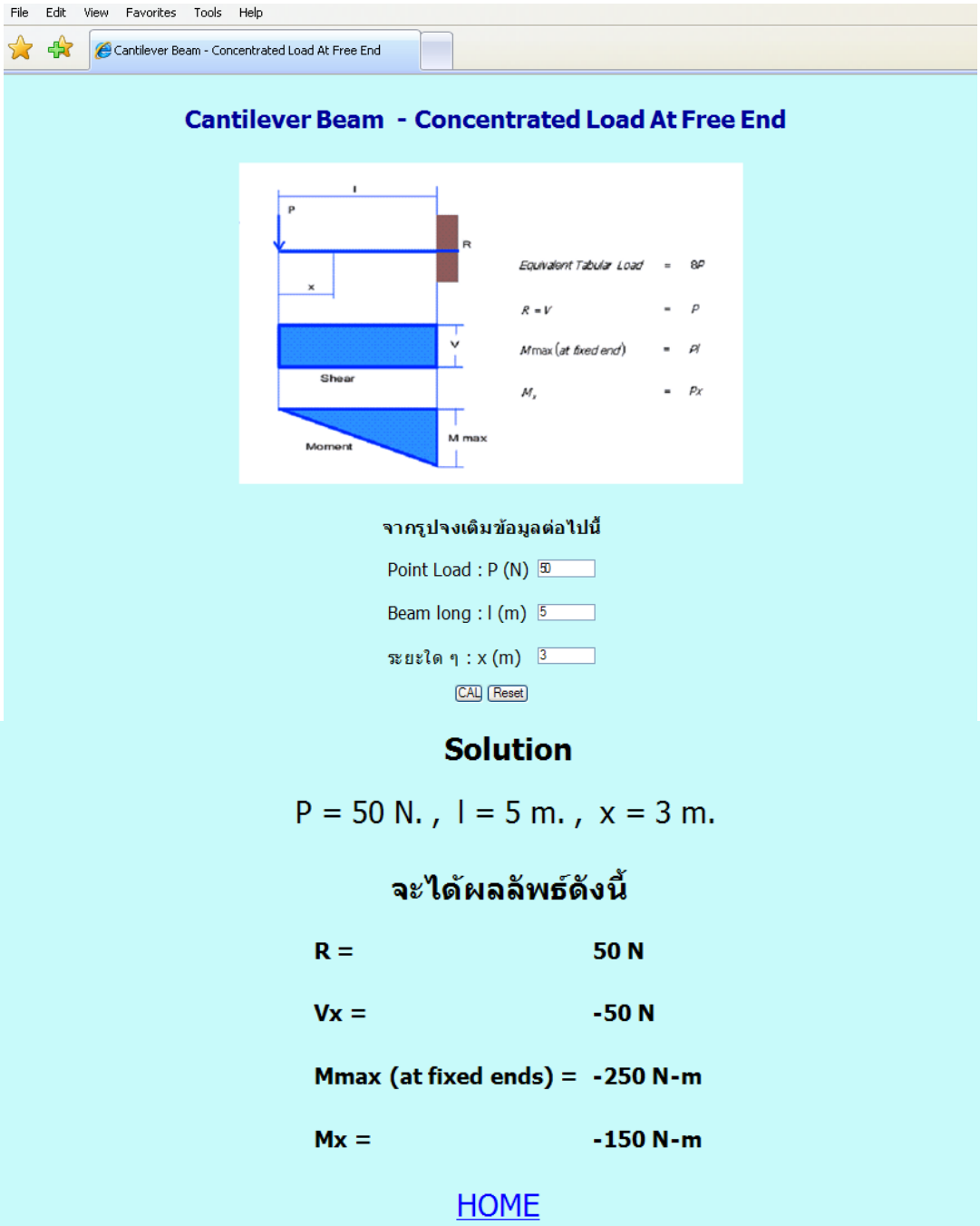
คานยื่นที่มีแรงกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคาน



รูปที่ 4.15 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Concentrated Load At Any Point.

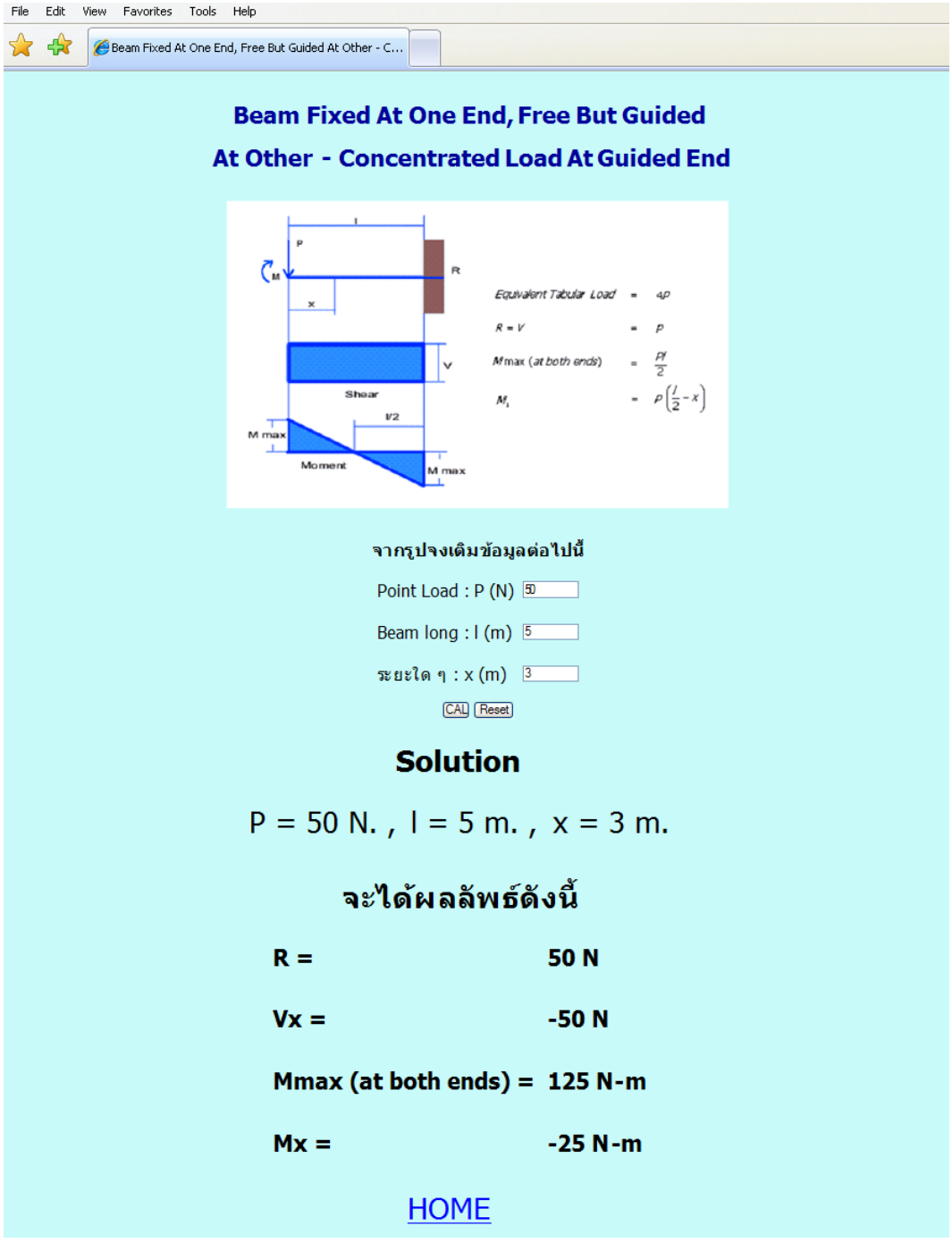
4.3.16. Cantilever Beam - Concentrated Load At Free End.

คานยื่นมีแรงกระทำเป็นจุดที่ปลายคานอิสระ



รูปที่ 4.16 แสดงหน้าคำนวณ Cantilever Beam - Concentrated Load At Free End.

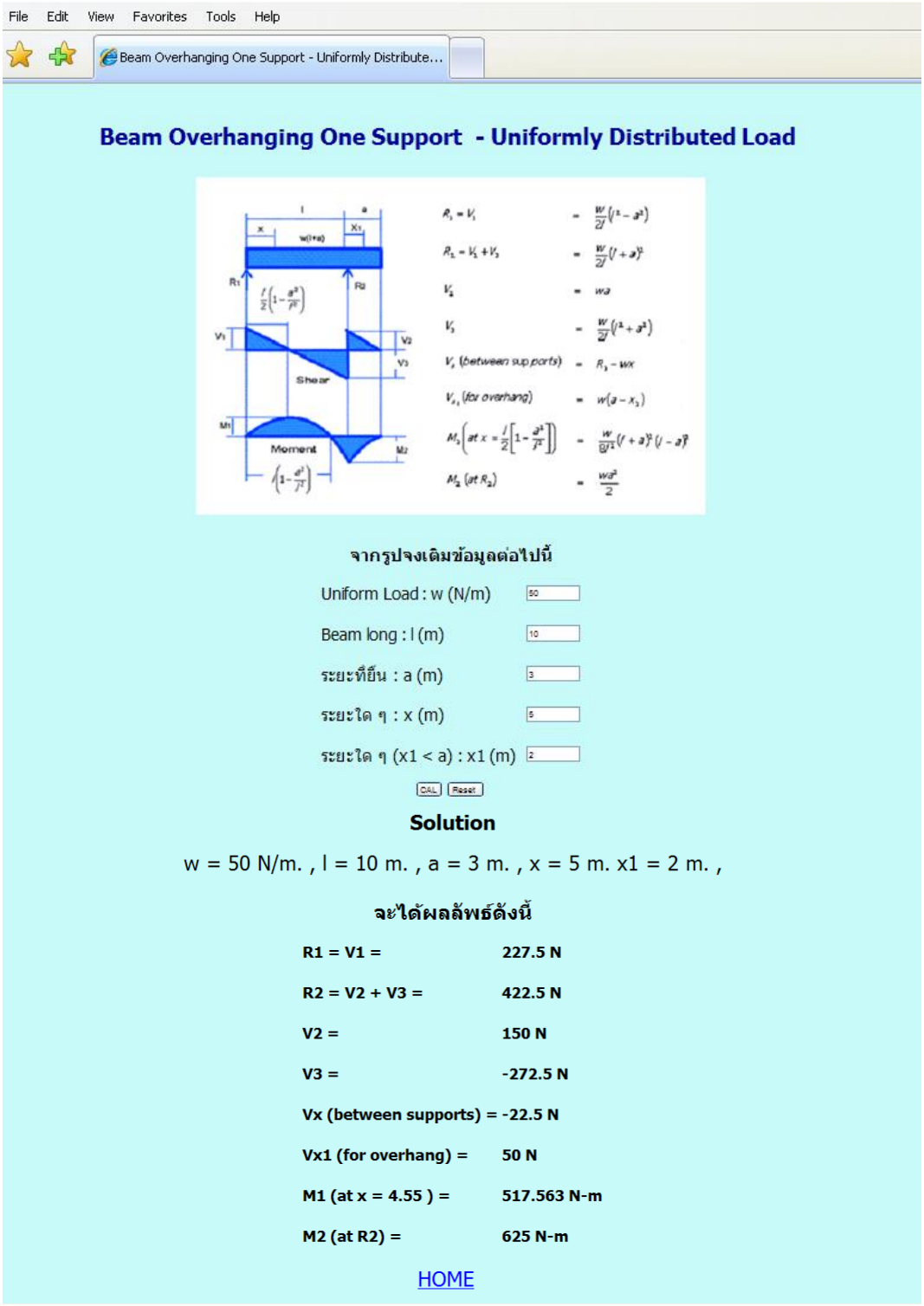
4.3.17. Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Concentrated Load At Guided คานยึดแน่นข้างหนึ่งอีกข้างหนึ่งอิสระมีแรงกระทำเป็นจุดที่ปลายคานอิสระ



รูปที่ 4.17 แสดงหน้าคำนวณ Beam Fixed At One End, Free But Guided At Other - Concentrated Load At Guided End.

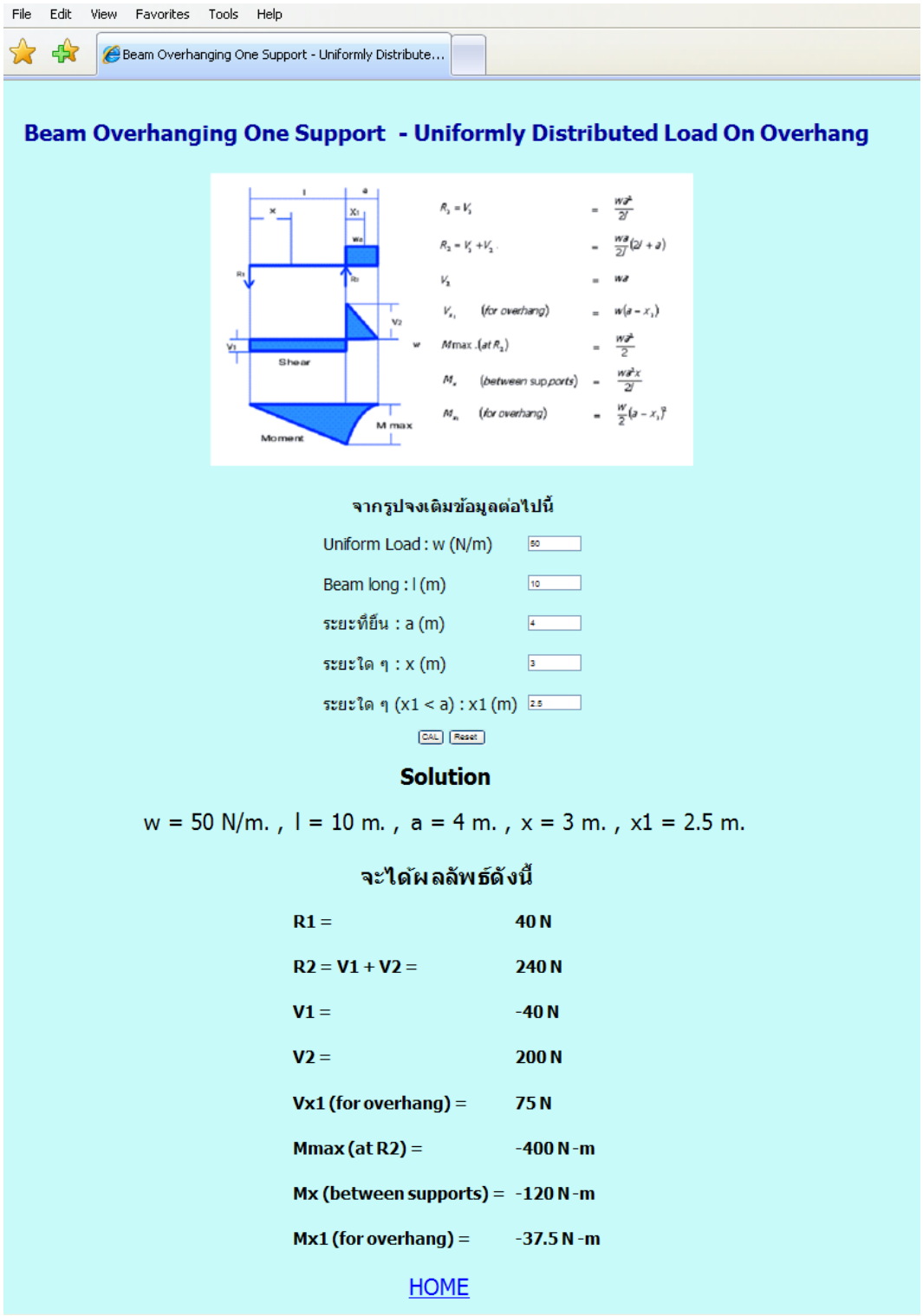
4.3.18. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load.

คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอตลอดแนวคาน



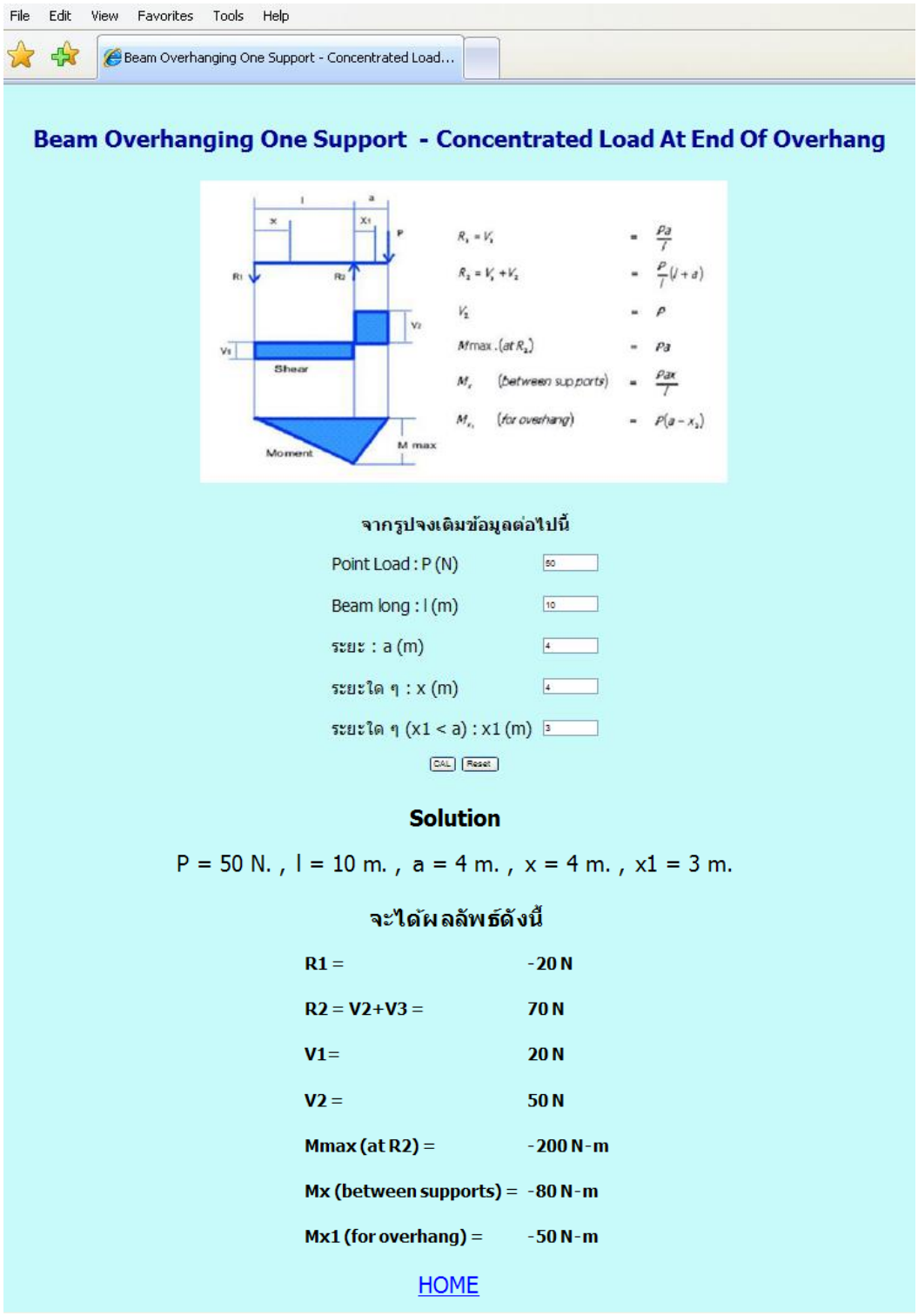
รูปที่ 4.18 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load.

4.3.19. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load On Overhang.
คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอที่คานยื่น



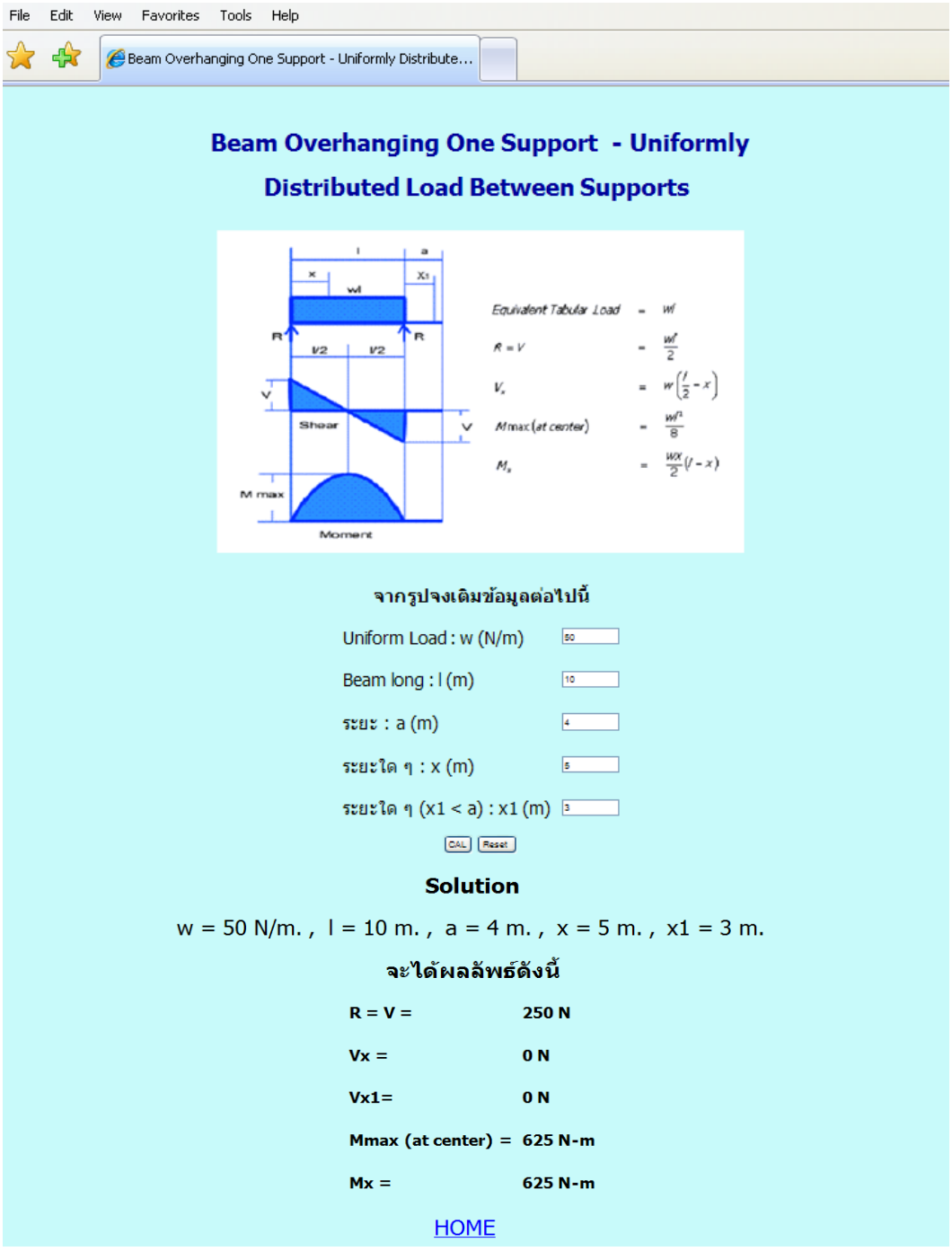
รูปที่ 4.19 แสดงหน้า Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load On Overhang.

4.3.20. Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At End Of Overhang.
คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ปลายคานยื่น



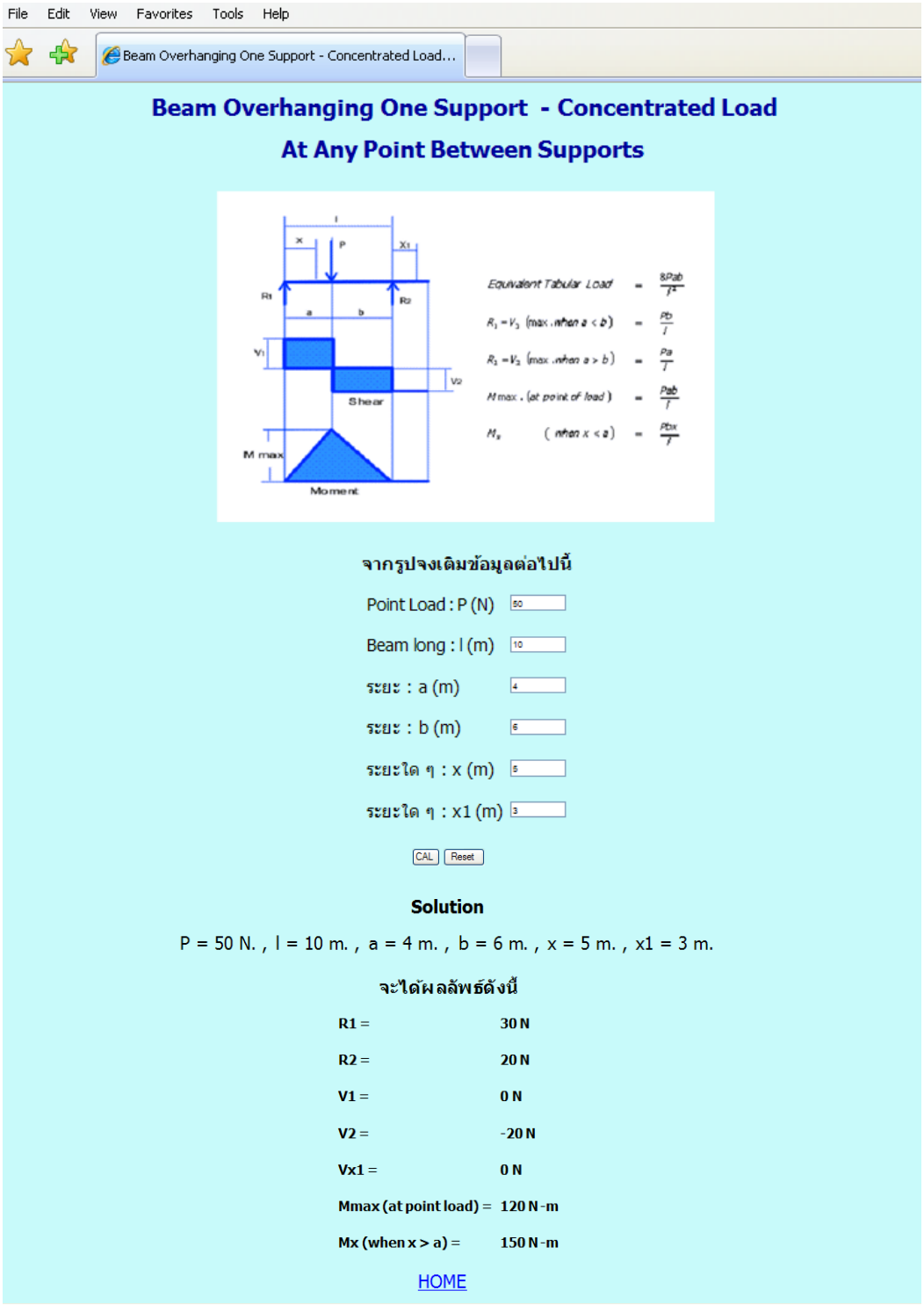
รูปที่ 4.20 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At End Of Overhang.

4.3.21. Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load Between Supports.
คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักกระทำสม่ำเสมอระหว่างจุดรองรับ



รูปที่ 4.21 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Uniformly Distributed Load Between Supports.

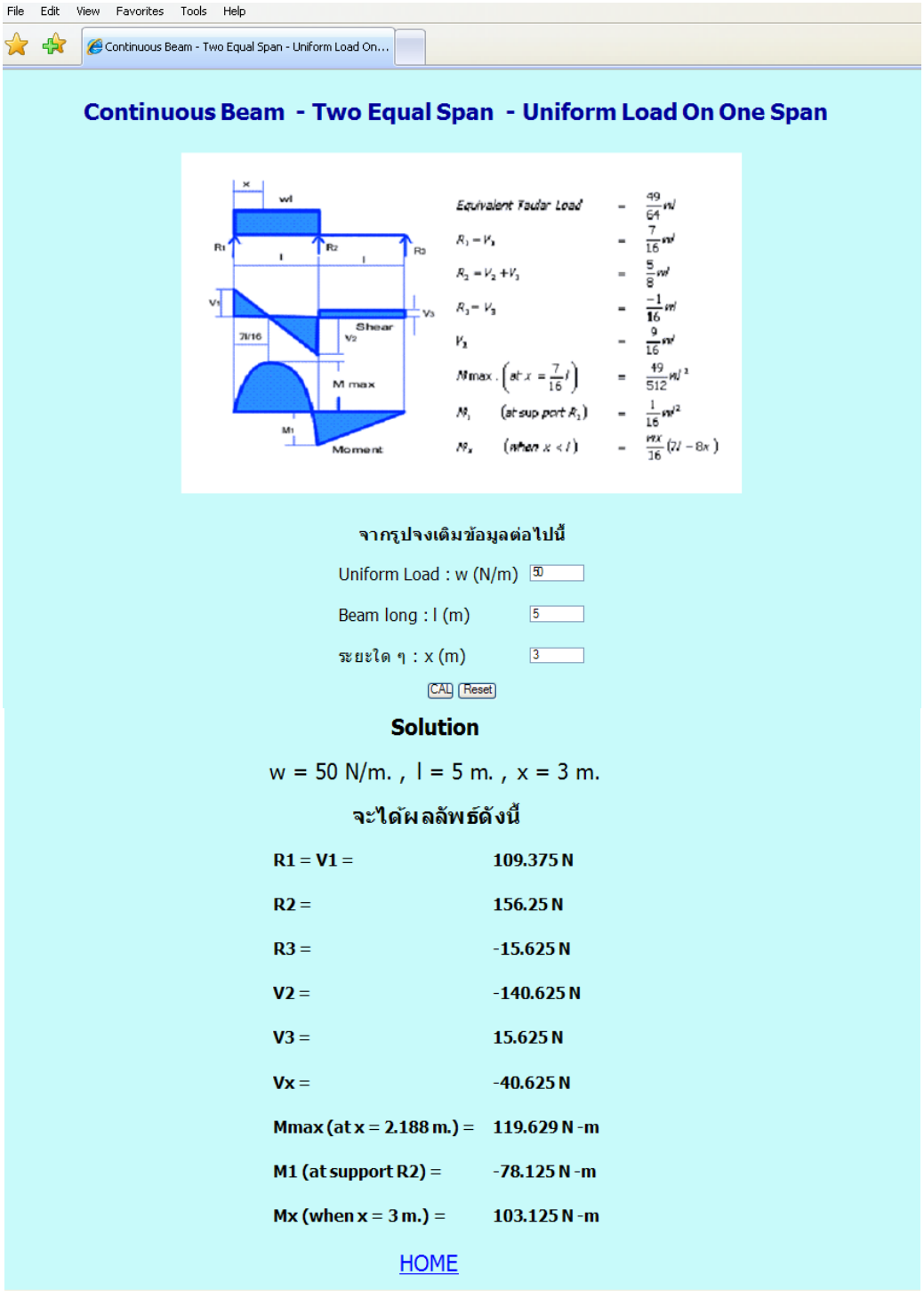
4.3.22. Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At Any Point Between Supports. คานช่วงเดียว ปลายคานยื่นหนึ่งข้าง มีน้ำหนักเป็นจุด ณ จุดใดๆ ระหว่างจุดรองรับ



รูปที่ 4.22 แสดงหน้าคำนวณ Beam Overhanging One Support - Concentrated Load At Any Point Between Supports.

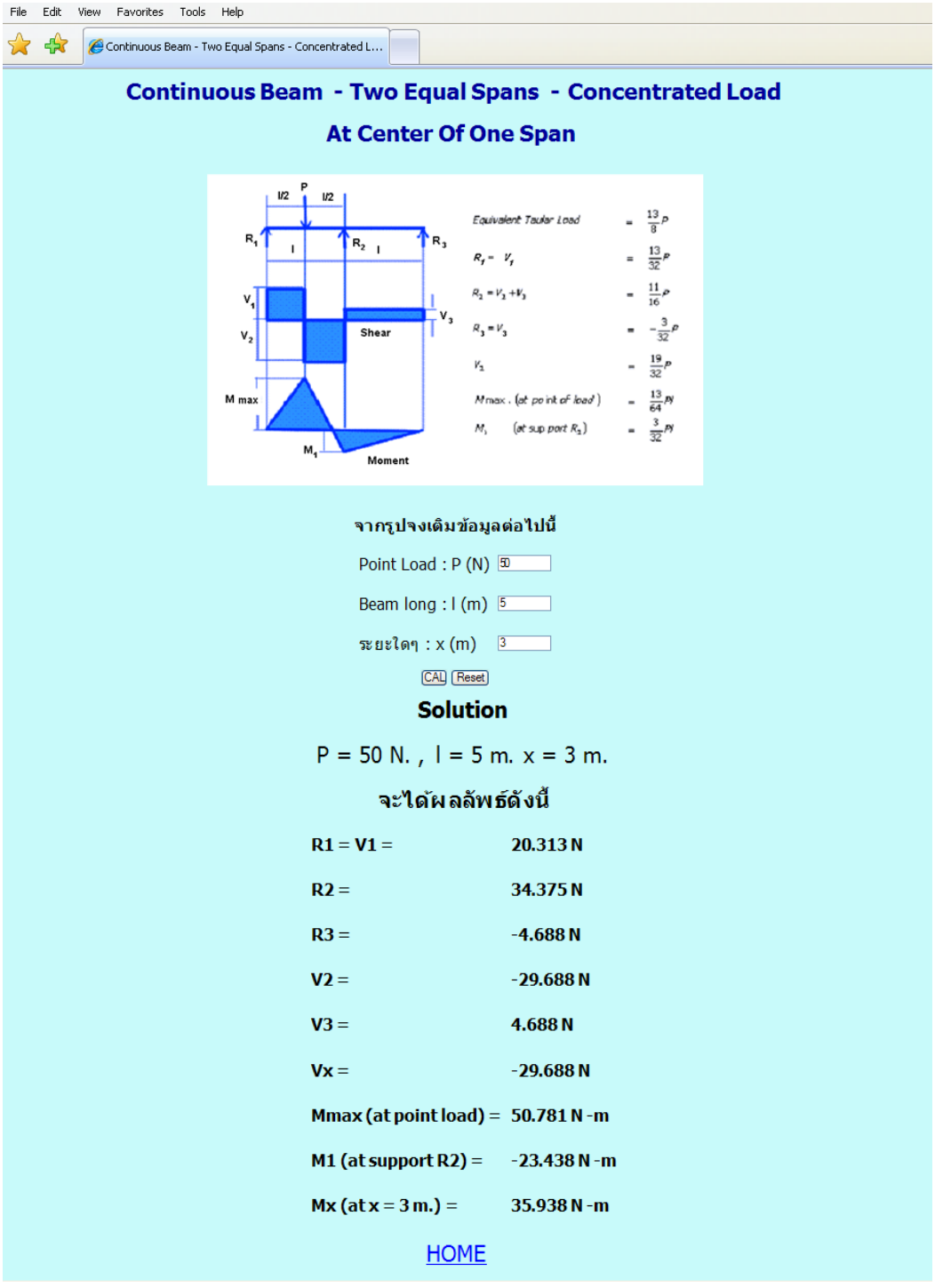
4.3.23. Continuous Beam - Two Equal Span - Uniform Load On One Span.

คานต่อเนื่องที่มีคานสองช่วงเท่ากัน มีแรงกระทำสม่ำเสมอตลอดคานช่วงแรก



รูปที่ 4.23 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Span - Uniform Load On One Span.

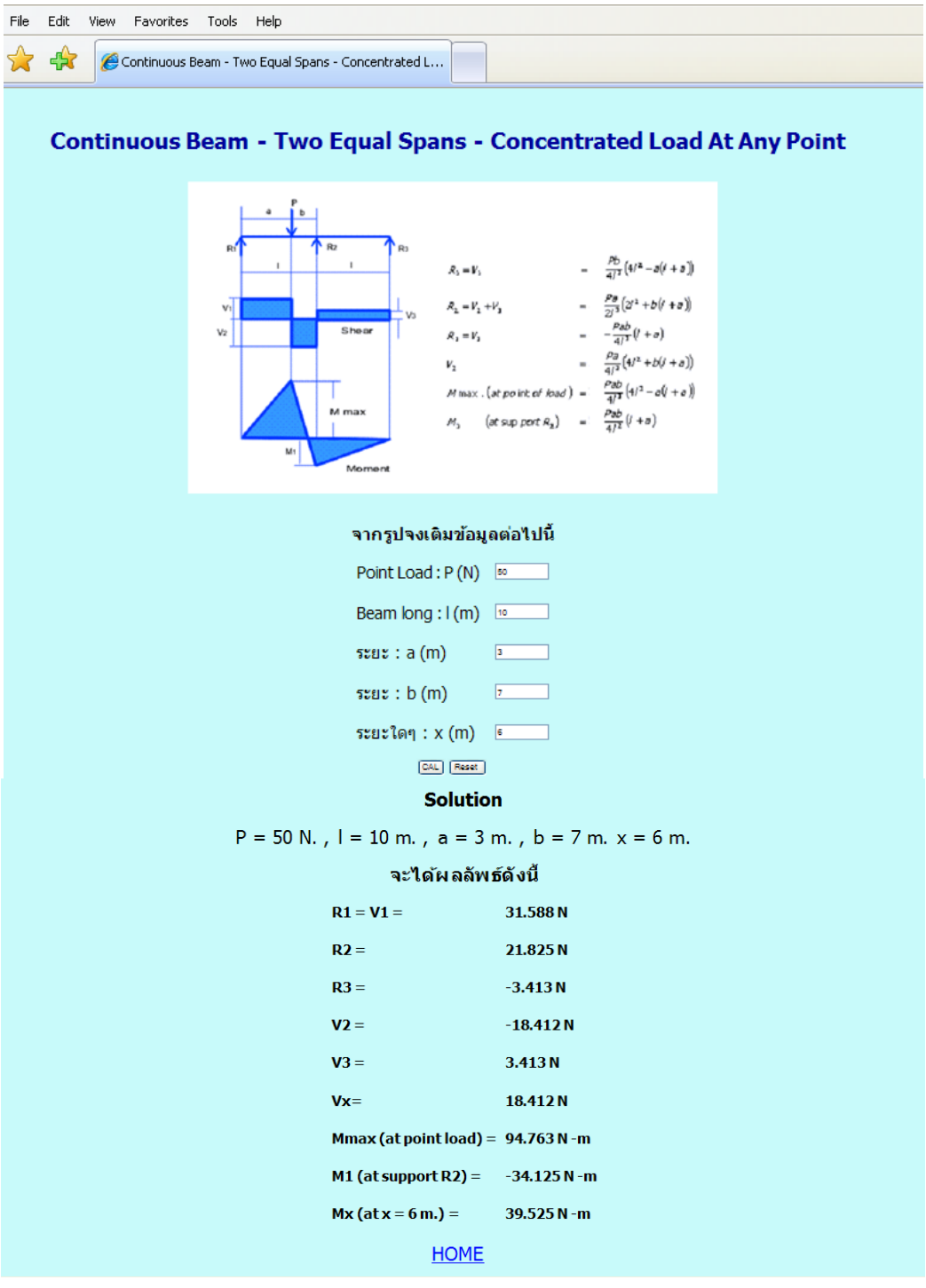
4.3.24. Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Center Of One Span.
คานต่อเนื่องที่มีคานสองช่วงเท่ากัน มีแรงกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางคานช่วงแรก



รูปที่ 4.24 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Center Of One Span.

4.3.25. Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Any Point.

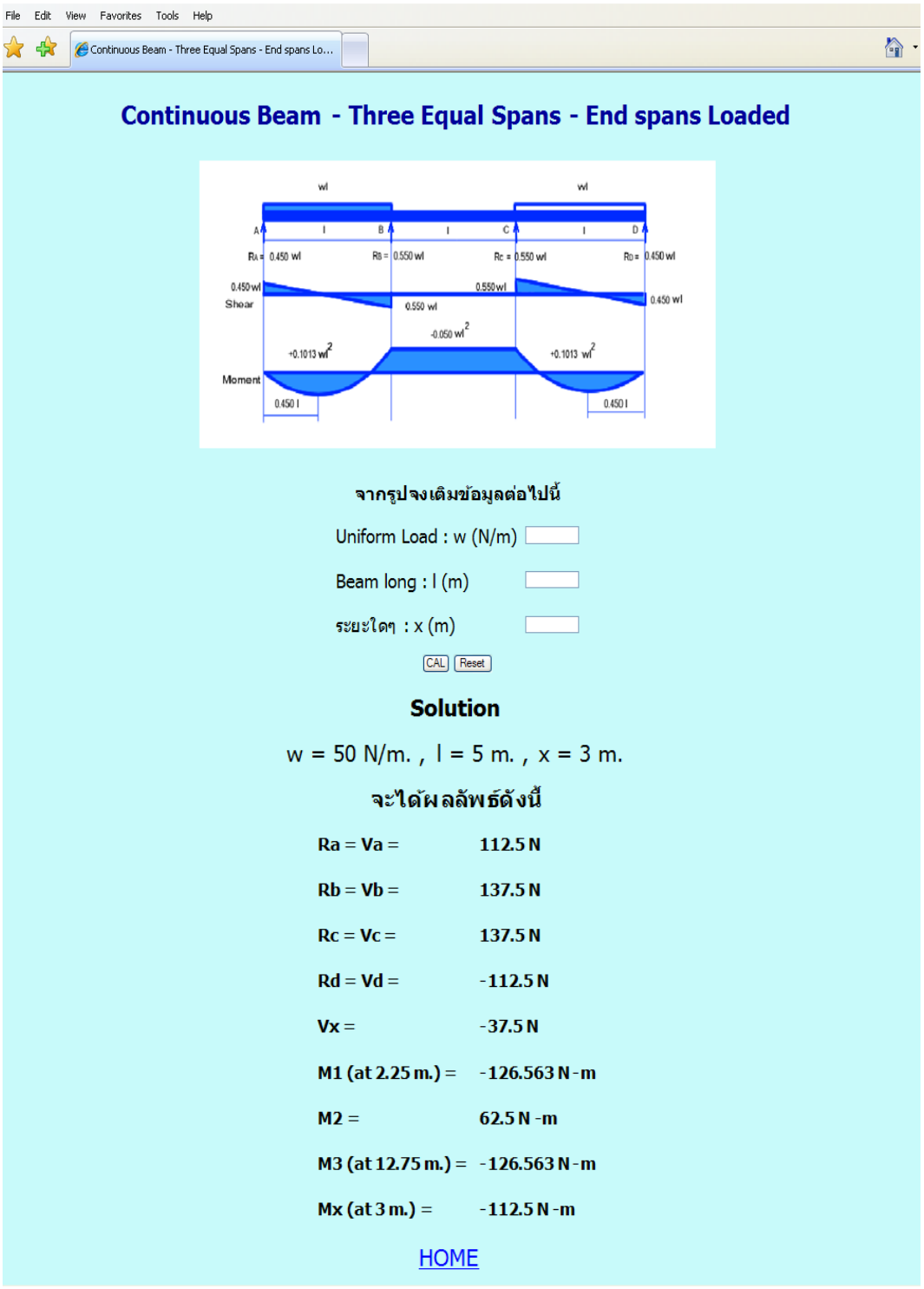
คานต่อเนื่องที่มีคานสองช่วงเท่ากัน มีแรงกระทำเป็นจุด ณ จุดใดๆ บนคานช่วงแรก



รูปที่ 4.25 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Two Equal Spans - Concentrated Load At Any Point.

4.3.26. Continuous Beam - Three Equal Spans – End Spans Loaded.

คานต่อเนื่องมีคานสามช่วง มีแรงกระทำสม่ำเสมอที่สองช่วงปลายคาน



รูปที่ 4.26 แสดงหน้าคำนวณ Continuous Beam - Three Equal Spans – End Spans Loaded.

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บ เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรม Macromedia Dreamweaver 8 และ โปรแกรม Edit Plus ซึ่งการจะใช้งานโปรแกรมช่วยคำนวณนี้ ต้องใช้ผ่านทาง Internet เพื่อเข้าสู่หน้าเว็บไซท์ของตัวโปรแกรม โดยผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานในกรณีต่างๆ

โดยการเขียนโปรแกรมบนเว็บเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด และโมเมนต์ดัดสูงสุดของคาน จาก Beam diagrams and formulas for various static loading load conditions ของคานชนิดต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็นคานแบบต่างๆ ทั้งหมด 26 แบบ ดังนี้

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (Simple Beam) มี 6 แบบ
2. คานยื่น (Cantilever Beam) มี 4 แบบ
3. คานช่วยเดียวปลายยื่น (Overhanging Beam) มี 5 แบบ
4. คานยึดแน่น (Fixed-Ended Beam) มี 4 แบบ
5. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (Propped Beam) มี 3 แบบ
6. คานต่อเนื่อง (Continuous Beam) มี 4 แบบ

โดยโปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บนี้ สามารถใช้งานได้ง่าย ไม่มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ช่วยให้การคำนวณหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานที่มีความซับซ้อนทำได้ง่ายขึ้น และยังให้ความรู้ทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคาน แก่ผู้ที่สนใจและกำลังศึกษา

ข้อจำกัดของโปรแกรม

- โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานบนเว็บนี้ สามารถใช้ได้เฉพาะทางอินเตอร์เน็ตเท่านั้น
- ผู้ที่จะใช้โปรแกรมนี้ควรจะมีความทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานด้วย เพราะทำให้เข้าใจโปรแกรมได้ง่ายขึ้น
- โปรแกรมช่วยคำนวณทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของคานนี้ เลือกเนื้อหามาเขียนเฉพาะบางกรณีเท่านั้น ไม่ได้นำมาเขียนโปรแกรมทั้งหมดทุกกรณี

เอกสารอ้างอิง

วิชัย กิจวัทรวรเวทย์ , ทฤษฎีโครงสร้าง , ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม มิถุนายน 2539

รังศิยากรณ์ กำประสิทธิ์ , ทฤษฎีโครงสร้าง , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สิงหาคม 2533

วินิจ ช่อวิเชียร , ทฤษฎีโครงสร้าง , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย มิถุนายน 2521

อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์ , กลศาสตร์วิศวกรรม ,พิมพ์ครั้งที่ 3 , กรุงเทพ : สกายบุ๊กส์ , 2547

ภาคผนวก