



โปรแกรมการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสำหรับอาคาร
ชนิดโครงข้อแข็งร่วมกับผนังต้านแรงเฉือน

นายวิกรม พนิชการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-720-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16657 ๑๕๘

A Program for Geometric Nonlinear Analysis of
Frame - Shear Wall Building

Mr. Vicrom Panichacarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1995



หัวข้อวิทยานิพนธ์ ไปรแถมการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสำหรับ
อาคารชนิดโครงข้อแข็งร่วมกับผนังต้านแรงเฉือน
โดย นาย วิกรม พนิชการ
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ กงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุสม)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงฉบับเดียว

วิกรม พนิชการ : โปรแกรมการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสำหรับอาคารชนิดโครงข้อแข็งร่วมกับผนังต้านแรงเฉือน (A PROGRAM FOR GEOMETRIC NONLINEAR ANALYSIS OF FRAME - SHEAR WALL BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ , 395 หน้า. ISBN 974-631-720-2

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยทฤษฎีไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต คำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงตามแนวแกน ในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไป ซึ่งมีความสำคัญในกรณีอาคารสูงที่มีแรงตามแนวแกนในเสามาก เมื่ออาคารเปลี่ยนตำแหน่งไปด้านข้าง แรงตามแนวแกนในเสาจะทำให้เกิดแรงดัดในเสาเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของ P-Δ และหากอาคารมีความขรุขระมากผลของพฤติกรรมไม่เชิงเส้นจะยิ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากความอ่อนของอาคารทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างได้มาก

งานวิจัยนี้พัฒนาโปรแกรมย่อยสำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ปรับปรุงโปรแกรม SUPER - ETABS ให้มีความสามารถวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสำหรับอาคาร ชนิดโครงข้อแข็งร่วมกับผนังต้านแรงเฉือน (shear wall) ในระนาบ 2 มิติ โดยวิธีทำซ้ำแบบแทนค่าโดยตรง (direct substitution method) การสร้างสติฟเนสเมตริกซ์เรขาคณิตของเสาในงานวิจัยนี้ กระทำได้โดยพิจารณาพจน์อันดับสองของความเครียดตามแนวแกนที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างขององค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดสนามการเปลี่ยนตำแหน่งที่ใช้เป็นฟังก์ชันกำลังสามสมบูรณ์ในพิกัดคงที่แบบลากรางจ์ (Lagrange coordinate) เมื่อประยุกต์หลักการค่าเสถียรของพลังงานศักย์รวม จะได้สติฟเนสเมตริกซ์เรขาคณิตขององค์อาคารรับแรงดัดและแรงตามแนวแกน สำหรับสติฟเนสเมตริกซ์ของผนังต้านแรงเฉือนนั้นหาได้จากการแปลงจากพิกัดการเปลี่ยนตำแหน่งของเสาไปสู่พิกัดการเปลี่ยนตำแหน่งของผนัง

จากการนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาวิเคราะห์เสายื่น พบว่าได้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติมากกว่าค่าทางทฤษฎี 0.64 % และจากตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข้อแข็งพอร์ทอล โครงข้อแข็ง 4 ชั้น และโครงข้อแข็งร่วมกับผนังต้านแรงเฉือน 25 ชั้น 3 ช่วงเสา พบว่าที่แรงกระทำภายนอกมีขนาด 2 ใน 3 ของน้ำหนักบรรทุกวิกฤติสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างได้ใกล้เคียงมากกับงานวิจัยอื่นที่เป็นที่ยอมรับ โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยมากประมาณ 4 % เท่านั้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา.....2537.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....

C315431:MAJOR
KEY WORD:

CIVIL ENGINEERING

GEOMETRIC NONLINEARITY / SHEAR WALL

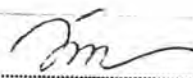
VICROM PANICHACARN : A PROGRAM FOR GEOMETRIC NONLINEAR ANALYSIS OF FRAME-SHEAR WALL BUILDINGS. THESIS ADVISOR : PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. 395 pp. ISBN 974-631-720-2

A geometric nonlinear analysis accounts for the interaction between out-of-plane deformations and axial forces in the deformed configuration. Such an analysis is essential in high-rise buildings with large axial forces in columns. The axial forces produce additional bending moments due to P- Δ effect when the building sways. The effect is more important in the case of a slender building which may deflect a large amount because of its flexibility.

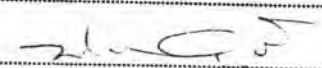
A micro computer program was developed for geometric nonlinear analyses of 2-D frame-shear wall buildings by modifying the structural analysis program SUPER-ETABS to have the iteration capability for geometric nonlinear problems using the direct substitution method. The geometric stiffness matrix of a column was derived by including in the strain-displacement relation the second order nonlinear axial strain term arising from bending deformation. The Lagrangian-fixed coordinate system was used in the formulation using the Principle of a Stationary Value of the Total Potential Energy. The shear wall geometric stiffness matrix was derived from that of the column by transforming from the column displacement coordinate system to the shear wall element coordinate system.

The modified program developed could predict the Euler buckling load of a cantilever column accurately to within 0.64%. Analyses of a portal frame, a 4-story frame and a 25-story, 3-bay frame-shear wall building yielded results in good agreement with those of previous researchers with only approximately 4% difference in lateral displacement at an externally applied load of 67% of the critical value.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2537.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัยด้วยดีมาตลอด ตลอดจนถึงตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และ อาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุขสม ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยส่วนหนึ่ง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพิบูล วัฒนธารงศ์ ผู้พิมพ์ต้นฉบับวิทยานิพนธ์ ตลอดจน คุณปฏิพัทธ์ แจ่มมั่งคั่ง คุณโสภณ สุภการพิทยากุล คุณนรินทร์ เอื้อศิริวรรณ และคุณอุทัยวรรณ มหาอุดมพันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ มารดาและครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประโยชน์ทางการศึกษาอยู่บ้าง ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่บิดาของผู้วิจัยผู้ล่วงลับ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
สารบัญแผนภูมิ	ฑ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
สมมติฐานทางทฤษฎี	4
ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	9
สติฟเนสเมตริกซ์ของเสา	9
สติฟเนสเมตริกซ์สัมพันธ์	15
สติฟเนสเมตริกซ์ของผนังต้านแรงเฉือน	18
วิธีการทำซ้ำและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์.....	25
การพัฒนาโปรแกรม CU-NTABS.....	25
การใช้โปรแกรม CU-NTABS.....	26
การประมวลผล.....	27
การแสดงผลการวิเคราะห์.....	32
บทที่ 5 ตัวอย่างการวิเคราะห์.....	34
ตัวอย่าง 1 : เสายีน.....	35
ตัวอย่าง 2 : โครงข้อแข็งพอร์ทอล.....	37
1. น้ำหนักบรรทุกวิกฤติ.....	38
2. เส้นสัมพันธ์น้ำหนักบรรทุกและการเปลี่ยนตำแหน่ง.....	39
3. แรงภายในองค์อาคาร.....	41
4. แรงดัดที่ฐาน.....	43
5. การวิเคราะห์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	45
ตัวอย่าง 3 : โครงข้อแข็ง 4 ชั้น.....	46
ตัวอย่าง 4 : โครงข้อแข็งประกอบผนังด้านแรงเฉือน 25 ชั้น 3 ช่วงเสา.....	50
1. เส้นสัมพันธ์น้ำหนักบรรทุกและการเปลี่ยนตำแหน่ง.....	52
2. แรงภายในองค์อาคาร.....	54
3. แรงดัดที่ฐาน.....	55
บทที่ 6 สรุป.....	58
รายการอ้างอิง.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก. สถิติฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นและสถิติฟเนสเมตริกซ์เรขาคณิต.....	64
ภาคผนวก ข. รายละเอียดโปรแกรม CU-NTABS.....	67
ภาคผนวก ค. การป้อนข้อมูลสำหรับโปรแกรม CU-NTABS.....	151
ภาคผนวก ง. แฟ้มป้อนข้อมูลและแฟ้มผลการคำนวณ.....	163
ตัวอย่าง 1 กรณีเสา 1 ชิ้นส่วน.....	164
ตัวอย่าง 1 กรณีแบ่งเสาเป็น 2 ชิ้นส่วน.....	170
ตัวอย่าง 1 กรณีแบ่งเสาเป็น 4 ชิ้นส่วน.....	176
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 1000$ หน่วย.....	183
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 2000$ หน่วย.....	189
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 3000$ หน่วย.....	195
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 3500$ หน่วย.....	201
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 4000$ หน่วย.....	207
ตัวอย่าง 2 กรณีแรง $P = 4200$ หน่วย.....	213
ตัวอย่าง 3 กรณีแรง $P = 100,000$ ปอนด์.....	219
ตัวอย่าง 3 กรณีแรง $P = 200,000$ ปอนด์.....	226
ตัวอย่าง 3 กรณีแรง $P = 300,000$ ปอนด์.....	233
ตัวอย่าง 3 กรณีแรง $P = 400,000$ ปอนด์.....	240
ตัวอย่าง 3 กรณีแรง $P = 500,000$ ปอนด์.....	247

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตัวอย่าง 4 กรณี $\alpha = 0.5$	254
ตัวอย่าง 4 กรณี $\alpha = 1.0$	278
ตัวอย่าง 4 กรณี $\alpha = 1.5$	302
ตัวอย่าง 4 กรณี $\alpha = 2.0$	325
ตัวอย่าง 4 กรณี $\alpha = 2.5$	349
ภาคผนวก จ. ตรวจสอบสมมติฐานของโครงข้อแข็งพอร์ทอล.....	373
ภาคผนวก ฉ. รายละเอียดโปรแกรมคำนวณไม่เชิงเส้นแบบนิวตัน-ราฟสัน.....	376
เพิ่มป้อนข้อมูลและเพิ่มแสดงผลการคำนวณ	
กรณีแรง P เท่ากับ 1000 หน่วย.....	383
กรณีแรง P เท่ากับ 2000 หน่วย.....	386
กรณีแรง P เท่ากับ 3000 หน่วย.....	389
กรณีแรง P เท่ากับ 4000 หน่วย.....	392
ประวัติผู้เขียน.....	395

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
5.1	น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของเสาเอ็น	36
5.2	การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่มุมบนขวาของโครงข้อแข็งพอร์ทอล	39
5.3	แรงภายในที่คำนวณได้จากโปรแกรมทั้งสาม	41
5.4	แรงดัดที่ปลายล่างของเสาดันขวาชั้นส่วนล่าง	44
5.5	การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่มุมบนขวาของโครงข้อแข็งพอร์ทอล	45
5.6	การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่มุมบนขวาของโครงข้อแข็ง 4 ชั้น	47
5.7	แรงภายในของเสาดันซ้ายชั้นหนึ่งและชั้นสี่	49
5.8	คุณสมบัติของชั้นส่วน	50
5.9	ตำแหน่งและขนาดแรงกระทำด้านข้าง	52
5.10	การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างของชั้น 25	53
5.11	แรงภายในที่คำนวณได้จากโปรแกรมทั้งสอง	55
5.12	แรงดัดที่ปลายล่างของเสาแนว 4 ชั้นล่าง	56

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ผล $P-\Delta$ ในอาคารโครงข้อแข็ง	2
1.2 รูปแปลนแสดงปล่องลิฟท์ในอาคาร	3
3.1 องค์อาคารคุณสมบัติสมาชิกเสมอตลอดความยาว บนฐานรองรับแบบหมุดทั้ง 2 ข้าง	9
3.2 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตขององค์อาคารอนุพันธ์	10
3.3 องค์อาคารรับแรงดัดและแรงตามแนวแกน	11
3.4 เสาและการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายที่ใช้ในการวิจัยนี้	18
3.5 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเปลี่ยนตำแหน่ง ที่ปลายของผนังต้านแรงเฉือน	19
3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่งของ โครงสร้างวิธีวิเคราะห์แบบแทนค่าโดยตรง	22
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่งของ โครงสร้างวิธีวิเคราะห์แรงนิวตัน-ราฟสัน	23
4.1 ทิศทางบวกของแรงภายในองค์อาคาร	33
5.1 เสายื่น	35
5.2 โครงข้อแข็งพอร์ทอล	38
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนตำแหน่ง	40
5.4 ทิศทางบวกของแรงภายในเสา	42
5.5 แผนภาพแรงเฉือน	42
5.6 แผนภาพแรงดัด	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P และผลต่างของแรงดัด.....	44
5.8 โครงข้อแข็ง 4 ชั้น.....	46
5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนตำแหน่ง.....	48
5.10 โครงข้อแข็งประกอบผนังต้านแรงเฉือน 25 ชั้น 3 ช่วงเสา.....	51
5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง α และการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้าง...	53
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง α และผลต่างของแรงดัด.....	56
ค.1 ทิศทางบวกของแรงกระทำด้านข้าง.....	153
ค.2 สติฟเนสแพคเตอร์ของคาน.....	156
ค.3 แรงแยัดแน่นปลายที่คาน.....	157
ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดโครงสร้างและพิกัดโครงข้อแข็ง.....	161
จ.1 สมดุลย์ของแรงที่กระทำกับโครงข้อแข็งพอร์ทอล.....	373

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป.....	29

คำอธิบายสัญลักษณ์

- [a] = เมตริกซ์แปลง (Transformation Matrix) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายจากองค์อาคารรับแรงตัดไปเสา
- [a_{CP}] = เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายจากเสาไปผนังด้านแรงเฉือน
- A = พื้นที่หน้าตัด
- [B̄] = ความสัมพันธ์ระหว่าง de และ dq
- [B₀] = ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง de และ dq
- [B_L] = ความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นระหว่าง de และ dq
- dx = ความยาวอนุพันธ์ (Differential Length)
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)
- e = ความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)
- e₀ = ความเครียดตามแนวแกนอันเนื่องมาจากแรงตัด
- e_m = ความเครียดตามแนวแกน (Axial Membrane Strain) อันเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้าง
- {f} = แรงกระทำภายนอก
- G = โมดูลัสเฉือน (Shear Modulus)
- I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (Moment of Inertia)
- [K₀^{ab}] = สติเฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นขององค์อาคารรับแรงตัดและแรงตามแนวแกน
- [K_G^{ab}] = สติเฟเนสเมตริกซ์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตขององค์อาคารรับแรงตัดและแรงตามแนวแกน
- [K₀^c] = สติเฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นของเสา
- [K_G^c] = สติเฟเนสเมตริกซ์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของเสา
- [K₀^P] = สติเฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นของผนังด้านแรงเฉือน
- [K_G^P] = สติเฟเนสเมตริกซ์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของผนังรับแรงเฉือน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

- $[K_s]$ = สติฟเนสซีแคนต์ (Secant Stiffness)
 $[K_t]$ = สติฟเนสส์สัมผัส (Tangent Stiffness)
 $[N]$ = ฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function)
 $[N, x]$ = อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Derivative) ของ N เทียบกับ x
 $[N, xx]$ = อนุพันธ์อันดับสอง (Second Derivative) ของ N เทียบกับ x
 P = แรงตามแนวแกน (Axial Force)
 $\{P\}$ = แรงกระทำกับโครงสร้างในพิกัดโกลบอล
 (Structural Force Matrix)
 $\{q\}$ = การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายองค์อาคารรับแรงดัด
 $\{r\}$ = การเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายองค์อาคารรับแรงดัดและแรงตามแนวแกน
 u = การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวแกน (Axial Displacement)
 u, x = อนุพันธ์อันดับหนึ่งของ u เทียบกับ x
 $\{U\}$ = การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างในพิกัดโกลบอล (Structural
 Displacement Matrix)
 v = การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้าง (Lateral Displacement)
 v, x = อนุพันธ์อันดับหนึ่งของ v เทียบกับ x
 v, xx = อนุพันธ์อันดับสอง (Second Derivative) ของ v
 σ = ความเค้นตามแนวแกน (Axial Stress)
 θ = มุมหมุนที่ปลายองค์อาคารรับแรงดัด
 Ψ = ผลรวมของแรงภายในและแรงกระทำภายนอก