

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ฉ
สัญลักษณ์	๓
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 ที่มาของปัญหา	1
1.3 ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 วัตถุประสงค์	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	5
2.1 สมมุติฐาน	5
2.2 รายละเอียดทั่วไปเกี่ยวกับโครงข้อแข็ง	5
2.2.1 ระบบแกนพิกัด	5
2.2.2 แรงกระทำต่อโครงสร้าง	7
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง	11
2.2.4 เมตริกซ์แปลงค่า	14
2.3 แนวทางการแก้ปัญหาโดยวิธีการพลังงานศักย์	17
2.4 เมตริกซ์สติเฟเนต	18
2.4.1 เมตริกซ์สติเฟเนตของชิ้นส่วนย่อย	18
2.4.2 เมตริกซ์สติเฟเนตของโครงสร้าง	31
2.5 เงื่อนไขขอบเขตและแนวทางแก้ปัญหาโดยใช้ตัวอุปสรรค	31
2.6 การแก้ปัญหาโครงข้อแข็งยึดหยุ่นที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต	34
2.6.1 การปรับปรุงเรขาคณิตของชิ้นส่วนย่อย	36
2.6.2 การคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงรูปทรงโดยธรรมชาติ	44
2.6.3 วิธีการแก้ปัญหาแบบเพิ่มขึ้นและทำซ้ำ	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมและผังขั้นตอนการทำงาน	52
3.1 รายละเอียดทั่วไป	52
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	52
3.3 กระบวนการแก้ปัญหาของการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต	53
3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	56
3.5 รูปแบบสำหรับไฟล์ของมุลนำเข้า	60
3.6 ประสิทธิภาพของโปรแกรม	65
บทที่ 4 การติดตั้งและใช้งานโปรแกรม NGFA	67
4.1 การติดตั้งโปรแกรม NGFA	67
4.2 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	68
4.3 การเริ่มต้นใช้งาน	68
4.4 แถบเมนู	69
4.5 แถบไอคอนเมนู	75
4.6 แถบสถานะภาพ	75
4.7 การสร้างไฟล์นำเข้า	76
4.8 การวิเคราะห์โปรแกรม	98
4.9 การแจ้งเตือนข้อผิดพลาดในไฟล์ข้อมูลนำเข้า	101
4.10 การแสดงภาพโครงสร้าง	102
4.11 การแสดงผลการวิเคราะห์	103
บทที่ 5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม	108
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	134
บรรณานุกรม	135
ภาคผนวก ก ไฟล์ข้อมูลนำเข้าและผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง	136
ภาคผนวก ข รายละเอียดและคำสั่งย่อยในโปรแกรม NGFA	221
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ตัวอย่างเสริม	256
ภาคผนวก ง การประยุกต์โปรแกรมเพื่อใช้วิเคราะห์โครงข้อมุน	268
ประวัติผู้เขียน	273

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแปลงค่าแรงกระทำต่อชิ้นส่วนย่อยให้เป็นแรงกระทำที่ปลายชิ้นส่วนย่อย.....	8
2.2	เงื่อนไขที่ปลายของฟังก์ชันรูปทรง H_i และ H_i'	21
4.1	รายละเอียดของเมนูทั้งหมด	69
4.2	รายละเอียดของเมนู File	70
4.3	รายละเอียดของเมนู Structure	71
4.4	รายละเอียดของเมนู Tool	72
4.5	รายละเอียดของเมนู Load	73
4.6	รายละเอียดของเมนู Run	74
4.7	รายละเอียดของเมนู View	74
4.8	รายละเอียดของไอคอน	75
5.1	เปรียบเทียบข้อมูลแรงกระทำกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลายเสา	109
5.2	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโครงสร้าง จากการวิเคราะห์ 2 แบบ	119
ข-1	Form ในโปรแกรม NGFA	223
ข-2	Module ในโปรแกรม NGFA	224
ข-3	ไฟล์ย่อยที่ถูกสร้างก่อนการวิเคราะห์	252
ข-4	ไฟล์ย่อยที่ถูกสร้างขณะทำการวิเคราะห์	253
ข-5	ไฟล์ย่อยที่ถูกสร้างหลังการวิเคราะห์	255

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1	แกนพิกัดโครงสร้างและแกนพิกัดชิ้นส่วนย่อย 6
2.2	แรงกระทำที่โหนด 7
2.3	แรงกระทำที่ชิ้นส่วนย่อย 7
2.4	แรงกระทำที่ปลายชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดโครงสร้าง f และในระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย f 9
2.5	DOF ในระบบพิกัดย่อย 10
2.6	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโหนด 11
2.7	การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นส่วนย่อย 13
2.8	ความสัมพันธ์ของแกนพิกัดชิ้นส่วนย่อยกับแกนพิกัดโครงสร้าง สำหรับโครงข้อแข็ง 2 มิติ 14
2.9	การกำหนดโหนดอ้างอิงในชิ้นส่วนย่อยของโครงข้อแข็ง 3 มิติ 15
2.10	การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นส่วนย่อย ณ ตำแหน่ง x' ใดๆ 18
2.11	หน้าตัดของชิ้นส่วนย่อย การกระจายความเค้น และความเครียด 19
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x' ในระบบพิกัดย่อย และค่า ξ ในระบบพิกัดธรรมชาติ 20
2.13	ฟังก์ชันรูปทรงเฮอริมิต 21
2.14	การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่จุดใด ๆ บนชิ้นส่วนย่อย 22
2.15	แรงภายในเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นส่วนย่อย 28
2.16	จตุรกรรับแบบสี่ครั้ง และ จตุรกรรับแบบหุ้ม 32
2.17	การเคลื่อนที่ของโหนด A ในสามสถานะ 34
2.18	แกนที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในแต่ละสถานะ 37
2.19	แนวคิดการหมุนแบบไฟไนท์ 38
2.20	การเปลี่ยนแปลงแกนอ้างอิงจากสถานะ C_0 ถึง C_1 39
2.21	การคำนวณหาแกนหลักและแกนรองของชิ้นส่วนย่อย 41
2.22	การเคลื่อนตำแหน่งของรูปทรงแข็งเกร็งและการเปลี่ยนแปลง รูปทรงโดยธรรมชาติ 44
2.23	ทิศทางของเวกเตอร์แกนหน้าตัดในสถานะต่าง ๆ 46
3.1	แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก 56
3.2	แผนผังการทำงานในขั้นตอนการจัดเตรียม ไฟล์ข้อมูลนำเข้า 57

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	แผนผังการทำงานในขั้นตอนการคำนวณ 58
3.4	แผนผังการทำงานในขั้นตอนการแสดงผล 59
3.5	ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้า 60
3.6	วิธีการจัดเก็บเมตริกสตีเฟนส์ด้วยระบบ Half-Bandwidth 65
4.1	หน้าจอไอดีล 68
4.2	หน้าจอหลักของโปรแกรม 69
4.3	เมนู File > Input 70
4.4	เมนู File > Output 70
4.5	เมนู File > Print 70
4.6	เมนู Structure > Supports 72
4.7	เมนู Tool 72
4.8	เมนู Load > Member Load 72
4.9	เมนู Load > Show Detail and Edit Load 73
4.10	เมนู Run 73
4.11	เมนู View 75
4.12	ฟอร์ม Title 76
4.13	ฟอร์ม Main 77
4.14	ฟอร์ม Enter Joint Coordinates 78
4.15	กรอบข้อความเพื่อยืนยันการลบโหนด 79
4.16	ฟอร์ม Enter Member 80
4.17	กรอบข้อความเพื่อยืนยันการลบชิ้นส่วนย่อย 81
4.18	ฟอร์ม Enter Properties 82
4.19	กรอบข้อความเพื่อยืนยันการลบข้อมูลของคุณสมบัติ 83
4.20	ฟอร์ม Fixed But Support 84
4.21	ฟอร์มเลือกโหนดสำหรับจุดรอง 85
4.22	ขั้นตอนการลบข้อมูลจุดรองรับของโหนด 86
4.23	ขั้นตอนการเพิ่มข้อมูลจุดรองรับของโหนด 87
4.24	ฟอร์ม Member Release 89
4.25	ฟอร์ม Select Released Member 89

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26	ฟอร์ม Edit Load : Joint Load 91
4.27	ฟอร์ม Select Loaded Joint 92
4.28	ฟอร์ม Edit Load : Uniform Load 92
4.29	ฟอร์ม Select Loaded Member / Uniform Load 93
4.30	ฟอร์ม Edit Load : Concentrated Load 94
4.31	ฟอร์ม Select Loaded Member / Concentrated Load 94
4.32	กรอบข้อความยืนยันการลบข้อมูลแรงของโหนดใด ๆ 95
4.33	กรอบข้อความยืนยันการลบข้อมูลแรงของชิ้นส่วนย่อยใด ๆ 96
4.34	ฟอร์ม Save As 97
4.35	กรอบข้อความแสดงผลการบันทึก 97
4.36	กรอบข้อความยืนยันการบันทึกชื่อซ้ำ 98
4.37	ฟอร์ม Set Graphs Initial Data 98
4.38	ฟอร์ม Running Status 99
4.39	ฟอร์ม Nonlinear Analysis 100
4.40	กรอบข้อความแจ้งเตือนไฟล์นำเข้าไม่สมบูรณ์ 101
4.41	ฟอร์ม Error Data 101
4.42	ฟอร์ม Picture 102
4.43	ฟอร์ม Node Displacements 103
4.44	ฟอร์ม Support Reactions 103
4.45	ฟอร์ม Member End Forces 104
4.46	ฟอร์ม LoadFactor - X Deflection Curve 104
4.47	ฟอร์ม LoadFactor - Y Deflection Curve 105
4.48	ฟอร์ม LoadFactor - Z Deflection Curve 105
4.49	ฟอร์ม LoadFactor - X Rotation Curve 106
4.50	ฟอร์ม LoadFactor - Y Rotation Curve 106
4.51	ฟอร์ม LoadFactor - Z Rotation Curve 107
5.1	โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างที่ 1 108
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P/P_u กับมุมที่ปลาย θ_u ของตัวอย่างที่ 1 109
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P/P_u กับ u_x/L ของตัวอย่างที่ 1 109

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P/P_{cr} กับ u_x/L ของตัวอย่างที่ 1	110
5.5	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของตัวอย่างที่ 1 เนื่องจากแรง P ขนาดต่างๆกัน ซึ่งวิเคราะห์โดยโปรแกรม NGFA และวิเคราะห์โดย Timoshenko	111
5.6	โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างที่ 2	112
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแนวแกน y ที่จุด A ของตัวอย่างที่ 2	113
5.8	โครงสร้างแบบที่แบ่ง 4 ชิ้นส่วนย่อยต่อด้านหลังจากเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำ $P = 80 \text{ Ib}$ ของตัวอย่างที่ 2	114
5.9	โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างที่ 3	115
5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง PL^2/EI กับสัดส่วนระยะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่อความยาว ณ จุดปลายในแนวแกน x และแกน y ของตัวอย่างที่ 3	116
5.11	การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ โครงสร้างตัวอย่างที่ 3 กรณีแบ่งชิ้นส่วนย่อย 10 ชิ้น จากเงื่อนไขแรง $PL^2/EI = 8.0$	116
5.12	โครงสร้างตัวอย่างที่ 4	117
5.13	การแบ่งชิ้นส่วนย่อยและการเชื่อมต่อของโหนดในโครงสร้างตัวอย่างที่ 4	118
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับเปอร์เซ็นต์ผลต่างเมื่อเทียบกับผลจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น ของตัวอย่างที่ 4	119
5.15	โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างที่ 5	120
5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลายเสาในแนวแกน z ของตัวอย่างที่ 5	121
5.16.1	ภาพขยายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับ u_z ของตัวอย่างที่ 5	122
5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลายเสาในแนวแกน x ของตัวอย่างที่ 5	122
5.17.1	ภาพขยายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับ u_x และ u_y ของตัวอย่างที่ 5	123
5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลายเสาในแนวแกน y ของตัวอย่างที่ 5	123
5.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการหมุนที่ปลายเสา รอบแกน y ของตัวอย่างที่ 5	124

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการหมุนที่ปลายเสา รอบแกน x ของตัวอย่างที่ 5	124
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการหมุนที่ปลายเสา รอบแกน z ของตัวอย่างที่ 5	125
5.22 การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ โครงสร้างตัวอย่างที่ 5 ในระนาบ yz เนื่องจาก แรงกระทำ P เข้าใกล้ 18,463 kg	125
5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับค่าแรงคัต ณ จุด รองรับ รอบแกน $x y z$ ของตัวอย่างที่ 5	126
5.24 โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างที่ 6	127
5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลาย คานในแนวแกน y ของตัวอย่างที่ 6	128
5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลาย คานในแนวแกน x และ z ของตัวอย่างที่ 6	128
5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการหมุนรอบแกน $x y$ และ z ที่ปลายคานของตัวอย่างที่ 6	129
5.28 การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ โครงสร้างตัวอย่างที่ 6 ในระนาบ xy และ xz ณ แรงกระทำ P สุดท้าย	129
5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับค่าแรงคัตที่จุดรองรับรอบแกน z ของตัวอย่างที่ 6	130
5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับค่าแรงคัตที่จุดรองรับรอบแกน x และ y ของตัวอย่างที่ 6	130
5.31 โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยของตัวอย่างที่ 7	132
ค-1 โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในตัวอย่างเสริม	257
ค-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง P กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ตามแนวแกน y ที่จุด B ของตัวอย่างเสริม	258
ค-3 โครงสร้างแบบที่แบ่ง 10 ชิ้นส่วนย่อยต่อด้านหลังจากเสียรูปเนื่องจากแรงกระทำ $P = 70 \text{ lb}$ ของตัวอย่างเสริม	258
ง-1 แรงที่ปลายของชิ้นส่วนย่อยสำหรับ โครงข้อหมุน	270
ง-2 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ โหนดต้นและ โหนดปลายของชิ้นส่วนย่อย	271

สัญลักษณ์

a_i, b_i, c_i, d_i	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ประกอบของฟังก์ชันรูปทรงเฮอรั่มิต
A	คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนย่อย
A, B	เป็นสัญลักษณ์แทน โหนดเริ่มต้นและ โหนดปลายของชิ้นส่วนย่อยใดๆ
C	คือ ค่าอุปสรรคขนาดใหญ่ (Penalty)
C_0, C_1, C_2	คือ สภาวะที่ 0 สภาวะที่ 1 และ สภาวะที่ 2 ของโครงสร้างตามลำดับ
$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$	คือ ดีกรีความอิสระ (Degree of Freedom) ที่ โหนด
E	คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)
f, f'	คือ เวกเตอร์แรงกระทำที่ปลายชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัด โครงสร้างและระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย ตามลำดับ
f''	คือ เวกเตอร์แรงกระทำที่ปลายชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อยที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากสภาวะ C_1 ถึงสภาวะ C_2
f^1, f^2	คือ เวกเตอร์แรงกระทำที่ปลายชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อยในสภาวะ C_1 และสภาวะ C_2 ตามลำดับ
F	คือ เวกเตอร์แรงที่กระทำต่อโครงสร้างในระบบพิกัด โครงสร้าง
F_{j-1}^i	คือ เวกเตอร์แรงภายในที่กระทำต่อโครงสร้างในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำงาน $j-1$
f^1, f^2	คือ เวกเตอร์แรงที่กระทำต่อโครงสร้างในระบบพิกัด โครงสร้างในสภาวะ C_1 และสภาวะ C_2 ตามลำดับ
F_{xa}, F_{ya}, F_{za}	คือ ค่าแรงกระทำที่ โหนด A ในแนวแกนพิกัดย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
F_{xb}, F_{yb}, F_{zb}	คือ ค่าแรงกระทำที่ โหนด B ในแนวแกนพิกัดย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
G	คือ ค่าโมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus)
GSP	คือ ตัวประกอบสติฟเนสทั่วไป (Generalize Stiffness Parameter)
H_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)	คือ ค่าฟังก์ชันรูปทรงเฮอรั่มิตทั้ง 6 แบบ
H_i' ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)	คือ อนุพันธ์ของค่าฟังก์ชันรูปทรงเฮอรั่มิตทั้ง 6 แบบเทียบกับ ξ
I_y, I_z	คือ ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย (Moment of Inertia) ของหน้าตัดรอบแกนพิกัดย่อย y' และ z' ตามลำดับ
J	คือ ค่าคงที่ของการบิด (Torsional Constant) รอบแกนพิกัดย่อย x'

- k, k' คือ เมตริกซ์สตีเฟเนสของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัด โครงสร้างและระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย ตามลำดับ
- k_c' คือ เมตริกซ์สตีเฟเนสยืดหยุ่นของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดพิกัดชิ้นส่วนย่อย
- k_s' คือ เมตริกซ์สตีเฟเนสเรขาคณิตของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดพิกัดชิ้นส่วนย่อย
- K คือ เมตริกซ์สตีเฟเนสของ โครงสร้างในระบบพิกัด โครงสร้าง
- K_{j-1}^i คือ เมตริกซ์สตีเฟเนสของ โครงสร้างในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ $j-1$
- l, m คือ โขชายน์ทิศทางซึ่งประกอบในเมตริกซ์แปลงค่าสำหรับ โครงข้อแข็ง 2 มิติ
- $l_1, m_1, n_1; l_2, m_2, n_2; l_3, m_3, n_3$ คือ โขชายน์ทิศทางของแกน x', y' และ z' ตามลำดับ ซึ่งประกอบในเมตริกซ์แปลงค่าสำหรับ โครงข้อแข็ง 3 มิติ
- l_c คือ ความยาวของชิ้นส่วนย่อย
- l_c^1, l_c^2 คือ ความยาวของชิ้นส่วนย่อยในสภาวะ C_1 และสภาวะ C_2 ตามลำดับ
- L คือ เมตริกซ์แปลงค่า (Transformation Matrix) ของชิ้นส่วนย่อย
- ${}^k L (k = 0, 1, 2)$ คือ เมตริกซ์แปลงค่าของชิ้นส่วนย่อย ในสภาวะ C_k
- M คือ ค่าแรงคัต
- $M_{x_a}, M_{y_a}, M_{z_a}$ คือ ค่าแรงคัตที่ โหนด A ในแนวแกนพิกัดย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
- $M_{x_b}, M_{y_b}, M_{z_b}$ คือ ค่าแรงคัตที่ โหนด B ในแนวแกนพิกัดย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
- \bar{n}_a, \bar{n}_b คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์การหมุน $\Delta \bar{\theta}_a$ ที่ โหนด A และ โหนด B ตามลำดับ
- ${}_1 \bar{n}_a$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์การหมุน $\Delta \bar{\theta}_a$ ที่ โหนด A เทียบกับแกนหน้าตัด ${}_0 \bar{p}_a'$
- n_1, n_2, n_3 คือ องค์ประกอบทั้ง 3 ของ ${}_1 \bar{n}_a$
- ${}^k \bar{p}_a' (k = 0, 1, 2)$ คือ เวกเตอร์แกนหน้าตัดของ โหนด A ในสภาวะ C_k
- ${}_0^k \bar{p}_a' (k = 1, 2)$ คือ เวกเตอร์แกนหน้าตัดของ โหนด A ในสภาวะ C_k อ้างอิงจากสภาวะ C_0
- ${}_1^2 \bar{p}_a'$ คือ เวกเตอร์แกนหน้าตัดของ โหนด A ในสภาวะ C_2 อ้างอิงจากสภาวะ C_1
- P_j^i คือ เวกเตอร์แรงภายนอกที่กระทำต่อ โครงสร้างในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ j
- \bar{P} คือ เวกเตอร์แรงอ้างอิง

ΔP_j^i	คือ เวกเตอร์แรงภายนอกที่กระทำต่อ โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ j
${}^k \bar{u}_a^i$ ($k = 0, 1, 2$)	คือ เวกเตอร์แกนอ้างอิงของ โหนด A ในสถานะ C_k
R	คือ เวกเตอร์แรงปฏิกิริยาของ โครงสร้าง
R_{j-1}^i	คือ เวกเตอร์แรงที่ไม่สมดุล (Unbalance Forces) ในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ $j-1$
'S	คือ ระบุว่าที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์แกนชิ้นส่วนย่อย 'x'
u, u'	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัด โครงสร้าง และระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย ตามลำดับ
u_r'	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง โดยรูปทรงไม่เปลี่ยนแปลง (Rigid Body Displacements) ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย
u_n'	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงรูปทรงโดยธรรมชาติ (Natural Deformations) ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดชิ้นส่วนย่อย
$\Delta \bar{u}_a$	คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแนวแกนพิกัดชิ้นส่วนย่อย ของ โหนด A
U	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ โครงสร้างในระบบพิกัด โครงสร้าง
U	คือ งานภายในของ โครงสร้าง (Internal Work)
U_c	คือ งานภายในของชิ้นส่วนย่อย
U_b	คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวคอร์ดของชิ้นส่วนย่อยจากสถานะ C_1 และสถานะ C_2 ตามลำดับ
U_j^i	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ โครงสร้างในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ j
ΔU_j^i	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นของ โครงสร้างในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ j
$\Delta \bar{U}_j$	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นของ โครงสร้างในระดับชั้นการทำซ้ำ j เนื่องจากแรงอ้างอิง \bar{P}
$\Delta \tilde{U}_j$	คือ เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นของ โครงสร้างในระดับชั้นการทำซ้ำ j เนื่องจากแรงที่ไม่สมดุล R_{j-1}^i
v'	คือ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นส่วนย่อย

V	คือ แรงเฉือน
V_x, V_y, V_z	คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของแกนขึ้นส่วนย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
W	คือ งานภายนอกของโครงสร้าง (External Work)
W_G, W_L	คือ แรงกระจายสม่ำเสมอในระบบพิกัดโครงสร้าง และ ระบบพิกัดขึ้นส่วนย่อยตามลำดับ
x, y, z	คือ แกนในระบบพิกัดโครงสร้าง
x', y', z'	คือ แกนในระบบพิกัดขึ้นส่วนย่อย
x', y'	คือ ระยะตามแนวแกนพิกัดขึ้นส่วนย่อย x', y'
${}^k \bar{x}', {}^k \bar{y}', {}^k \bar{z}'$	คือ เวกเตอร์แกนขึ้นส่วนย่อยใดๆ ในสถานะ C_k ($k = 0, 1, 2$)
$({}^k x_a, {}^k y_a, {}^k z_a)$	คือ ค่าพิกัดแกน x, y และ z ของ โหนด A ในสถานะ C_k ($k = 0, 1, 2$)
$({}^k x_b, {}^k y_b, {}^k z_b)$	คือ ค่าพิกัดแกน x, y และ z ของ โหนด B ในสถานะ C_k ($k = 0, 1, 2$)
${}^k \alpha_a, {}^k \beta_a, {}^k \gamma_a$	คือ สัญลักษณ์แทนแกนหน้าตัดที่ โหนด A ในสถานะ C_k ($k = 0, 1, 2$) โดยมีทิศทางอ้างอิงกับแกนพิกัดขึ้นส่วนย่อย x', y' และ z' ตามลำดับ
ϵ	คือ ค่าความเครียด (Normal Strain)
$\Delta \bar{\theta}_a$	คือ การเปลี่ยนแปลงการหมุนรอบแกนขึ้นส่วนย่อยของ โหนด A
λ	คือ เมตริกซ์โคซายน์ซึ่งประกอบเป็นเมตริกซ์แปลงค่า L
λ_j^i	คือ ค่าองค์ประกอบการเพิ่มของแรง (Load Factor) ในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้น i และระดับชั้นการทำซ้ำ j
ξ	คือ ค่าของการวัดระยะในระบบพิกัดธรรมชาติ (Natural Coordinate System)
${}^k \xi_a, {}^k \eta_a, {}^k \zeta_a$	คือ สัญลักษณ์แทนแกนอ้างอิงที่ โหนด A ในสถานะ C_k ($k = 0, 1, 2$) โดยมีทิศทางอ้างอิงกับแกนพิกัดโครงสร้าง x, y และ z ตามลำดับ
σ	คือ ค่าความเค้น (Normal Stress)
ϕ_a	คือ ขนาดของการเปลี่ยนแปลงการหมุนรอบแกนขึ้นส่วนย่อยของ โหนด A $\Delta \bar{\theta}_a$
Π	คือ พลังงานศักย์รวม (Total Potential Energy) ของโครงสร้าง