

การประยุกต์ใช้ Mathematica ช่วยสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการโก่งเดาะ ภายใต้สภาวะรับภาระกดในแนวแกนของทรงกระบอกที่มีลอนในแนวเส้นรอบวง

An application of Mathematica to generating the finite element model of the circumferential corrugated cylinder in cases of buckle due to axial compression

ชัยวัฒน์ คุรภิจวณิชย์^{1*}, ธนาพล สุขชนะ² และ ชัยยนต์ ใจบุญมา³

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

*ติดต่อ: chawat.k@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองของทรงกระบอกที่มีหน้าตัดซับซ้อนด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อนำมาจำลองพฤติกรรมในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเช่น ABAQUS นั้นทำได้ยาก และยิ่งใช้เวลาในการทำซ้ำมากขึ้นถ้าต้องการจำลองพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันกับโครงสร้างหลายแบบที่มีความคล้ายคลึงกันตามสมการพาราเมตริกซ์ ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอวิธีการใช้โปรแกรม Mathematica เพื่อช่วยสร้างแบบจำลองทรงกระบอกที่มีลอนในแนวเส้นรอบวงของทรงกระบอกที่มี จำนวนลอน อัตราส่วนรัศมีต่อความหนา และ อัตราส่วนรัศมีต่อความสูงของลอน เปลี่ยนแปลงไปเพื่อศึกษาการโก่งเดาะภายใต้สภาวะรับภาระกดในแนวแกน ซึ่งโปรแกรมนี้อาจช่วยลดการทำซ้ำในการสร้างแบบจำลอง โปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ตรวจสอบความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎีของทรงกระบอกซึ่งให้ผลได้อย่างแม่นยำ องค์ความรู้ที่ได้จากโปรแกรมนี้นำไปพัฒนาต่อยอดการศึกษาพฤติกรรมทางกลศาสตร์พลศาสตร์ หรืออุณหพลศาสตร์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และลดเวลาการทำซ้ำในการสร้างแบบจำลองได้

คำหลัก: ไฟไนต์เอลิเมนต์; โปรแกรมอัตโนมัติ; สร้างแบบจำลอง; ภาระสมมาตรในแนวแกน; ทรงกระบอก;

Abstract

The finite element (FE) simulations process initiated from the structure's model. On the way to build up the model of the cylinder with a complex cross-section by the computer-aided designs (CAD) was complicated. The labored modeling occurred when the behavior of the structures based on the same parametric equations was required to simulating. Therefore, this article presents the method of using the auxiliary program named as Mathematica to build a linear buckling model of the corrugated cylinder with a circumferential sinusoidal waveform subjected to longitudinal compression with numbers of the thread, radius to thickness ratio and radius to corrugated height ratio were varied. The automatic input generating program can reduce the modeling, simulating and executing which is a duplication process in the finite element. This program was accuracy verified by comparing with the theoretical calculations of cylinders which give accurate results. The knowledge gained from this program can be further developed to study the behavior of mechanics, aerodynamics or thermodynamics with finite elements and reduce the time to reproduce in the modeling process.

Keywords: Finite element; Automatic programming; Model build up; Axisymmetric loading; Cylindrical shell

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้แก้ปัญหาการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการหาค่าตอบจากค่าเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary condition) จากสมการกำกับการณ์เคลื่อนที่ (Governing equation) วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงถูกพัฒนาเชิงพาณิชย์ (Commercial package) ให้สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ ไม่ว่าจะเป็นความซับซ้อนเนื่องจากรูปร่าง ความซับซ้อนของภาระที่กระทำ (Loading) หรือความซับซ้อนของการจำกัดต่างๆ (Constraint) ทำให้ปัญหาทางกลศาสตร์สามารถใช้โปรแกรมคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาผลตอบสนอง (Response) ของแบบจำลองโครงสร้าง (Model) โดยการกำหนดค่าสมบัติวัสดุ เงื่อนไขค่าขอบ และภาระที่กระทำ แต่สำหรับโครงสร้างที่มีความซับซ้อนการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างอาจต้องอาศัยโปรแกรมช่วยเขียนแบบ (Computer aided drawing, CAD) เพื่อสร้างแบบจำลองแล้วจึงนำเข้ามาคำนวณในโปรแกรมอีกทอดหนึ่ง

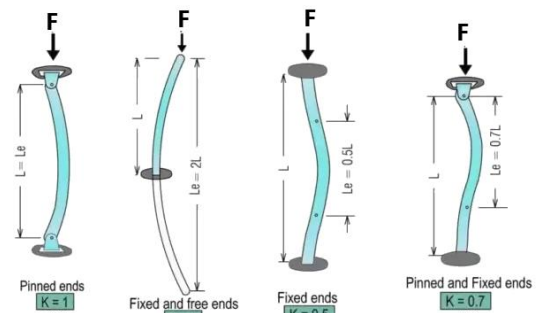
ในอีกนัยหนึ่งโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้ทดแทนการทดสอบชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) ก่อนการผลิตจริงเนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะการทดสอบได้ตามการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบ ซึ่งในงานทางวิศวกรรม การทดสอบชิ้นงานต้นแบบอาจจำเป็นต้องทดสอบชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายกันที่มีความแตกต่างกันตามลักษณะพิเศษ (Parameter) จำนวนหลายรูปแบบเพื่อหาผลตอบสนองต่อภาระที่กระทำ หรือการหาขีดจำกัดภายใต้ภาระที่กระทำ ทำให้ต้องสร้างแบบจำลองและทำการกำหนดค่าสภาวะต่างๆในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งเป็นการทำซ้ำกันและใช้เวลามาก แต่สำหรับโปรแกรมคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเช่น ABAQUS นั้นมีโมดูลย่อยเพื่อสั่งการการคำนวณต่างๆ โดยใช้การเขียนโปรแกรมคำนวณด้วยภาษาไพธอน (Python) คลุมอีกชั้นหนึ่งเพื่อสร้างไฟล์อินพุต (Input file) ซึ่งเป็นที่เก็บข้อมูลตั้งต้นสำหรับการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ทั้งนี้ภาษาไพธอนเป็นภาษาขั้นสูงทางคอมพิวเตอร์การเขียนโปรแกรมไพธอนเพื่อสร้างแบบจำลองที่มีรูปร่างจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนจึงอาจไม่เหมาะสม ทำให้การใช้โปรแกรมที่

ออกแบบสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่าง Mathematica มาสร้างไฟล์ตั้งต้นการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Input file) เป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้ภาษาไพธอน

ในงานวิจัยนี้จึงยกตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ Mathematica ในการสร้างไฟล์ตั้งต้นการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาขีดจำกัดการรับภาระในแนวแกนก่อนการโก่งเดาะของโครงสร้างพื้นผิวลูกฟูกทรงกระบอก [2-3] (Corrugated cylinder) ภายใต้สภาวะปลายข้างหนึ่งยึดติด (Fixed end) และอีกข้างหนึ่งปล่อยอิสระ โดยมีหน้าตัดเป็นลอนลูกคลื่นไซน์ (Sinusoidal wave form) ที่มีจำนวนลอนจาก 1 เป็น 3, 5 และ 7 ลอน โดยมีอัตราส่วนรัศมีต่อความหนาเป็น 20, 40, 60, 80 และ 100 เท่า อัตราส่วนรัศมีต่อความสูงของลอน เปลี่ยนแปลงระหว่าง 20, 40 และ 100 เท่า และอัตราส่วนความยาวต่อรัศมีเป็น 10, 50, 100 และ 500 เท่า ซึ่งโปรแกรมที่นำเสนอนี้สามารถสร้างไฟล์ตั้งต้นที่มีตัวแปรควบคุมทั้ง 4 รูปแบบรวม 240 แบบจำลองในการประมวลผลเพียงครั้งเดียว

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาที่เลือกศึกษาในงานวิจัยนี้คือปัญหาการโก่งเดาะของเสาเมื่อภาระกดที่ปลายของเสา (F) ถึงภาระกดวิกฤต (F_{cr}) จะทำให้เสาไม่สามารถรับภาระกดเพิ่มได้อีกและเกิดความเสียหายขึ้น ความเสียหายรูปแบบนี้เรียกว่า ความเสียหายแบบโก่งเดาะ (Global buckling) ซึ่งสามารถหาค่าภาระกดวิกฤตได้จากสมการที่ (1) ตามทฤษฎีของออยเลอร์ (Euler's buckling beam) ซึ่งสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ และค่าความยาวประสิทธิผล ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการยึดที่ปลายทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 1

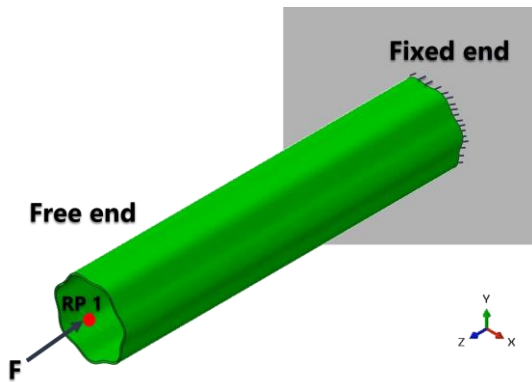


รูปที่ 1 ค่าความยาวประสิทธิผลของการโก่งเดาะ [1]

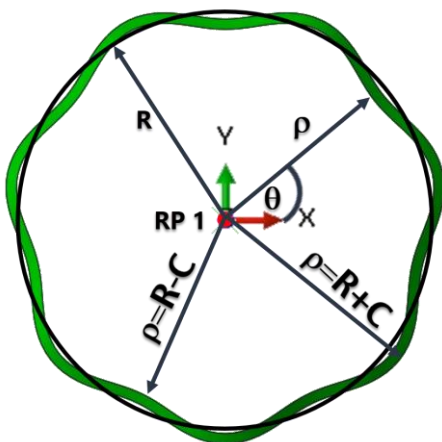
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

$$\rho = R + C \sin(\alpha\theta) \quad (2)$$

ในการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาการโก่งเดาะของเสาความยาว (L) มีการยึดติด (Fixed end) ที่ปลายข้างหนึ่งและแบบอิสระ (Free end) ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ดังรูปที่ 2 โดยมีภาระกด (F) กระทำกับเสาที่ปลายอิสระผ่านจุดอ้างอิง ($RP1$) หน้าตัดของเสาในรูปที่ 3 มีลักษณะพื้นฐานจากทรงกระบอกรัศมีอ้างอิง R ที่ผสมด้วยลูกคลื่นไซน์แอมพลิจูด C ตามแนวเส้นรอบวงเพื่อเพิ่มความเป็นลอนให้กับหน้าตัดจำนวน α ลูกคลื่น ทำให้ที่ตำแหน่งองศา θ ใดๆ มีรัศมีเท่ากับ ρ ดังสมการที่ (2)

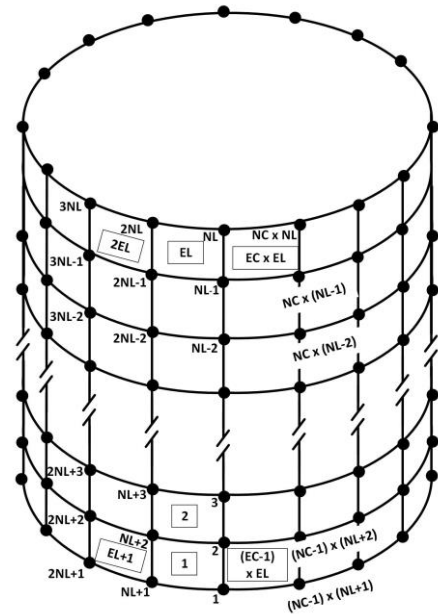


รูปที่ 2 การจำลองการโก่งเดาะของเสาทรงกระบอก [4] พื้นผิวลูกฟูกโดยปลายข้างหนึ่งยึดติด โดยให้ภาระกด (F) ที่ปลายอิสระผ่านจุดอ้างอิง ($RP1$)

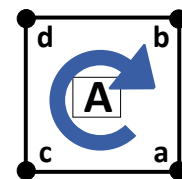


รูปที่ 3 ภาพแสดงหน้าตัดของทรงกระบอกพื้นผิวลูกฟูกจำนวน 7 ลอนที่มีรัศมี (ρ) ขึ้นกับตำแหน่ง (θ) รัศมีอ้างอิง (R) และความสูงของลอน (C)

ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นการแบ่งปัญหาออกเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) ดังรูปที่ 4 ซึ่งในแต่ละเอลิเมนต์จะมีจุดหรือโหนด (Node) ซึ่งเป็นที่เก็บข้อมูลจำเป็นในการคำนวณทั้งสมบัติวัสดุ ตำแหน่ง และค่าขอบ ซึ่งในรูปที่ 4 แสดงถึงการแบ่งเอลิเมนต์ของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยในแต่ละเอลิเมนต์จะมี 4 โหนดซึ่งมีการลำดับตำแหน่งของโหนดไว้ ดังรูปที่ 5 เรียกเอลิเมนต์ลักษณะนี้ว่า S4R ซึ่งเป็นที่นิยมในการแก้ปัญหาแบบเปลือก (Shell) โดยที่แต่ละโหนดจะสามารถเคลื่อนที่ได้ 6 รูปแบบ หรือมี 6 องศาอิสระ [7] (Degree of freedom) คือ การเคลื่อนที่เชิงเส้นในปริภูมิ 3 มิติ (U_1, U_2 และ U_3) และการเคลื่อนที่แบบหมุนในปริภูมิ 3 มิติ (UR_1, UR_2 และ UR_3) ตามลำดับ



รูปที่ 4 การลำดับเลข (Numbering) ของโหนด (Node) และเอลิเมนต์ (Element) ตามพิกัดทรงกระบอก [11]



รูปที่ 5 การลำดับของโหนด (Node) ในเอลิเมนต์ (Element) ใดๆ

3. การสร้างโปรแกรม

สำหรับการสร้างโปรแกรมไฟล์อินพุตนั้นจำเป็นต้องเข้าใจโครงสร้างของไฟล์อินพุตที่ใช้ในการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS [8] ก่อนซึ่งมีส่วนสำคัญ 5 ส่วนคือส่วนโครงสร้าง (Part) ส่วนประกอบ (Assembly) ส่วนวัสดุ (Material) ส่วนเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary condition) และส่วนแสดงผล (Output) ซึ่งข้อมูลทั้ง 5 ส่วนนี้จะถูกเขียนต่อเนื่องกันลงในตำแหน่งที่ลูกศรชี้ในรูปที่ 6 และบันทึกเป็นไฟล์ข้อความที่มีนามสกุลไฟล์เป็น ".inp" ด้วยโปรแกรม Mathematica [9] โดยใช้คำสั่งพื้นฐานในการทำซ้ำคือ "Do" และคำสั่งแปลงเป็นข้อความ "ToString[...]" ดังรูปที่ 6 ซึ่งกำหนดชื่อไฟล์ตามพารามิเตอร์ของทรงกระบอกลูกฟูกและวันเวลาที่สร้างไฟล์ขึ้นเพื่อให้ชื่อไฟล์ไม่ซ้ำกัน

ในส่วนของโครงสร้าง (Part) ดังรูปที่ 7 จะบรรจุด้วยข้อมูลสำคัญของเอลิเมนต์และโหนดที่ใช้ในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ตามทฤษฎีในรูปที่ 4-5 โดยคำนวณตำแหน่งของโหนดและเอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Mathematica ตามคำสั่งในรูปที่ 8

```

TodayDirectory = "HELFCNODE";
SetDirectory[HomeDirectory <> "\\Documents"];
CreateDirectory[TodayDirectory];
MainDirectory = ToString[HomeDirectory] <> "\\Documents\\" <> ToString[TodayDirectory];
SetDirectory[MainDirectory];

Do[Do[Do[SetDirectory[MainDirectory],
PDayTime = DateString[{"-", "Day", "MonthNameShort", "YearShort", "-", "Hour24", "Minute"}],
Edition = ToString[APR17],
Para2 = {R0 -> RLOOP, CO -> CLOOP, RLOOP, Nthread -> THLOOP, NLength -> LLOOP, u -> 90,
H -> 2, YModulus -> 200, Poisson -> 30},
PartName = "R" <> ToString[R0 /. Para2] <> "-" <> ToString[CO /. Para2] <> "-" <> ToString[NC] <>
ToString[NLength /. Para2] <> "-" <> ToString[Nthread /. Para2],
SaveName = ToString[PartName] <> PDayTime,
CreateDirectory[SaveName],
SetDirectory[SaveName],

    "To Be Discuss Later",

Export[SaveName <> ".inp", Table[INPL[i], {i, 1, Lastline}], "TABLE"
], {LLOOP, {10, 50, 100, 500}}, {RLOOP, {40, 80, 120, 160, 200}}, {CLOOP, {5, 5, 1}},
{THLOOP, {1, 3, 5, 7}}]

```

รูปที่ 6 คำสั่งการสร้างไฟล์อินพุตด้วย Mathematica

```

**Heading
**Job name: [[Job Name]] Model name: Model-1
**Preprint,echo=YES,model=NO,history=NO,contact=NO
**PARTS
**
**Part_name=[[Part Name]]
**Node
[[Node ID]], [[X-Position]], [[Y-Position]], [[Z-Position]]
**Element,type=[[Element Type]]
[[Element ID]], [[Node-c]], [[Node-d]], [[Node-b]], [[Node-a]]
**Nset,nset=Set-1,generate
1, [[Total number of nodes]], 1
**Elset,elset=Set-1,generate
1, [[Total number of elements]], 1
**Section:Section-1
**Shell Section,elset=Set-1,material=Steel
[[Shell's thickness]],5
**End Part
**

```

รูปที่ 7 ส่วนโครงสร้างของไฟล์อินพุตที่ใช้ใน ABAQUS

```

CO
R = R0 + (Sin[Nthread (theta)]),
100
X = R Cos[theta], Y = R Sin[theta], Z = phi,
zmin = 0, zmax = Z /. phi -> (NLength * R0) /. Para2,
NC = 4 * 3 * p /. Para2,
FNL = Ceiling[ (zmax + NC) / (2 * pi * R0) /. Para2 ],
NL = (FNL) + 1,
EL = NL - 1,
EC = NC,
NTH[u_, v_] := (u - 1) + 2 * pi / (NL - 1) /; u <= NC && v <= NL,
Np[u_, v_] := (v - 1) * zmax / (NL - 1) /; u <= NC && v <= NL,
NP = {theta -> NTH[u, v], phi -> Np[u, v]},
Do[{NX[u, v], NY[u, v], NZ[u, v], NR[u, v]} =
{ X / 1000 /. Para2 /. NP, Y / 1000 /. Para2 /. NP, Z / 1000 /. Para2 /. NP, R / 1000 /. Para2 /. NP },
{u, 1, NC}, {v, 1, NL}],
Node[u_, v_] := NID[(u - 1) * NL + v] /; u <= NC && v <= NL,
Elem[p_, q_] := EID[(p - 1) * EL + q] /; p <= EC && q <= EL,
N1E[p_, q_] := NID[(p - 1) * EL + q + (p - 1)] /; p <= EC && q <= EL,
N2E[p_, q_] := NID[(p - 1) * EL + q + p] /; p <= EC && q <= EL,
N3E[p_, q_] := NID[(p * EL) + q + p + 1] /; p <= EC && q <= EL,
N4E[p_, q_] := NID[(p * EL) + q + p] /; p <= EC && q <= EL,
N3E[EC, q_] := NID[q + 1] /; q <= EL,
N4E[EC, q_] := NID[q] /; q <= EL

```

(ก)

```

Do[
CA[u, v] = {ToString[Node[u, v][[1]]] <> "-", " <> ToString[N[NX[u, v]]] <> "-", " <>
ToString[N[NY[u, v]]] <> "-", " <> ToString[N[NZ[u, v]]] <> "-", {u, 1, NC}, {v, 1, NL}},
Do[LineNID[(u - 1) * NL + v] = CA[u, v], {u, 1, NC}, {v, 1, NL}]

```

(ข)

รูปที่ 8 ก) คำสั่งที่ใช้คำนวณตำแหน่งโหนดและเอลิเมนต์ในโปรแกรม Mathematica [10] และ ข) การแปลงผลการคำนวณเป็นบรรทัดข้อความ ในรูปที่ 7

```

**
** ASSEMBLY
**
**Assembly, name=[[Assembly's name]]
**
**Instance, name=[[Instance's name]], part=[[Part's name]]
**End Instance
**
**Node
1, 0, 0, [[zmax]]
**Nset, nset=RP-TOP
1,
**Nset, nset=Set-TOP, instance=[[Instance's name]]
[[Node ID for Boundary Set-TOP]]
**Nset, nset=Set-BOT, instance=[[Instance's name]]
[[Node ID for Boundary Set-BOT]]
**Nset, nset="_T-Datum csys-2", internal
RP-TOP,
**Transform, nset="_T-Datum csys-2", type=C
0., 0., 0., 0., 0., 1.
**Orientation, name="Datum csys-2", system=CYLINDRICAL
0., 0., 0., 0., 0., 1.
1, 0.
** Constraint: Constraint-1
**Rigid Body, ref node=RP-TOP, pin nset=Set-TOP
**End Assembly

```

รูปที่ 9 ส่วนประกอบของไฟล์อินพุตที่ใช้ใน ABAQUS

ทั้งนี้จากปัญหาตัวอย่างที่แสดงในการศึกษานี้ไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนข้อมูลไฟล์อินพุตในส่วนวัสดุ ส่วนเงื่อนไขค่าขอบและส่วนแสดงผลทำให้ข้อความในอินพุตไฟล์เหมือนกันในรูปที่ 9-11


```
**
** MATERIALS
**
**Material, name=Steel
**Elastic {{Linearly elastic material}}
200e+9, 0.3
**
** STEP: Step-1
**
**Step, name=Step-1, nlgeom=NO, perturbation
**Buckle
3, 12, 500
**
**BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
**Boundary, op=NEW, load case=1
Set-BOT, 1, 1
Set-BOT, 2, 2
Set-BOT, 3, 3
Set-BOT, 4, 4
Set-BOT, 5, 5
Set-BOT, 6, 6
**Boundary, op=NEW, load case=2
Set-BOT, 1, 1
Set-BOT, 2, 2
Set-BOT, 3, 3
Set-BOT, 4, 4
Set-BOT, 5, 5
Set-BOT, 6, 6
**
** LOADS
**
** Name: Load-1 Type: Concentrated force
**Cload
RP-TOP, 3, -1.
**
```

3

รูปที่ 10 ส่วนวัสดุ และส่วนเงื่อนไขค่าขอบของไฟล์อินพุต
ที่ใช้ใน ABAQUS

```
**OUTPUT REQUESTS
**
**Restart,write,frequency=0
**
**FIELD OUTPUT:F-Output-1
**
**Output, field
**Node Output
CF, RF, U
**Element Output, directions=YES
E, LE, PE, PEEQ, PEMAG, S
**Contact Output
CDISP, CSTRESS
**
**HISTORY OUTPUT:H-Output-1
**
**Output,history,variable=PRESELECT
**End Step
```

รูปที่ 11 ส่วนแสดงผลของไฟล์อินพุตที่ใช้ใน ABAQUS

แต่เนื่องจากผลการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย ABAQUS จะถูกบันทึกลงบนไฟล์ “.odb” ทำให้การร้องขอข้อมูลจาก ABAQUS ต้องพึ่งภาษา Python เพื่อสื่อสารกันโดยใช้พื้นฐานการเขียนเพียงเล็กน้อยตามสคริปต์ (Script) ดังรูปที่ 12 ซึ่งไฟล์สคริปต์จะถูกสร้างด้วย Mathematica ไปพร้อมกันกับไฟล์อินพุต และบันทึกเป็นไฟล์ข้อความที่มีนามสกุล “.py”

การที่จะให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลจากไฟล์อินพุต และไฟล์สคริปต์ที่สร้างข้างต้นด้วยโปรแกรม ABAQUS จำเป็นต้องใช้ พร้อมทั้งคำสั่ง (Command prompt) ที่เขียนเป็นไฟล์แบตช์ (Batch) ที่ถูกบันทึกเป็นไฟล์ “.bat” เพื่อสั่งการคอมพิวเตอร์ แบตช์ที่จะใช้จะมี 2 ไฟล์คือแบตช์สำหรับคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์ และแบตช์สำหรับการเก็บผลการคำนวณในรูปแบบที่ 13 ก) และ ข) ตามลำดับ

```
from odbAccess import *
path='[[Directory of odb file]]'
odbfile='[[name of odb file]].odb'
odb=openOdb('%s/%s'%(path,odbfile))
a1=openOdb('[[name of odb file]].odb')
Va1=a1.steps['Step-1'].frames[1].description
Va2=a1.steps['Step-1'].frames[2].description
Va3=a1.steps['Step-1'].frames[3].description
odb.close()
table = [[Va1],[Va2],[Va3]]
import csv
# write it
with open('EigenValue.txt', 'w') as csvfile:
    writer = csv.writer(csvfile)
    [writer.writerow(r) for r in table]
```

Export
script

รูปที่ 12 สคริปต์คำสั่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจาก ABAQUS

```
cd [[Directory of input file]]
abaqus job=[[job's name]] cpus=[[Number of cores]] interactive
```

Batch

(ก)

```
cd [[Directory of input file]]
abaqus cae noGUI=[[Name of export script]].py
```

Batch

(ข)

รูปที่ 13 พร้อมทั้งคำสั่งในแบตช์ ก)คำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์ ข)เก็บผลการคำนวณ

```
A[d] = Import["EigenValue.txt", "Table"];
MainDirectory1 = $HomeDirectory <> "\\Documents";
MainDirectory2 = "HELICNODE-APR19-3";
MainDirectory = MainDirectory1 <> "\\ <> MainDirectory2;
SetDirectory[MainDirectory];
TolFlood = Dimensions[FileNames[]][[1]]
Do[Flood[i] = FileNames[][[i]], {i, 1, TolFlood}]
Do[{M[d] = Import[MainDirectory <> "\\ <> Flood[d] <> "EigenValue.txt", "Table"],
M1[d] = M[d][[1, 5]], M2[d] = M[d][[2, 5]], M3[d] = M[d][[3, 5]]}, {d, 1, TolFlood}]
Export["AllEigen.xls", Table[{Flood[i], M1[i], M2[i], M3[i]}, {i, 1, TolFlood}]]
```

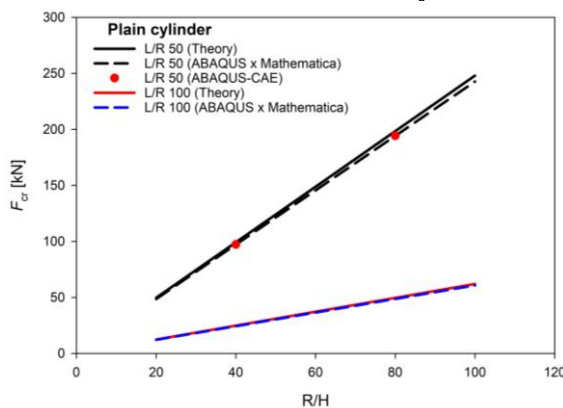
รูปที่ 14 ส่วนแสดงผลของไฟล์อินพุตที่ใช้ใน ABAQUS

จากผลไฟไนต์ที่เก็บข้อมูลจากไฟล์สคริปต์จะถูกจัดเก็บแยกแต่ละการคำนวณไว้ในโฟลเดอร์ (Folder) ในการสรุปผลข้อมูลทั้งหมดจึงต้องใช้คำสั่งโปรแกรม Mathematica เพื่อประมวลผลการคำนวณ ดังรูปที่ 14 ซึ่งเป็นอันเสร็จสิ้นการคำนวณไฟไนต์ของชุดแบบจำลองนี้ สำหรับไฟล์ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้อัพโหลดเพื่อให้ผู้สนใจได้นำไปศึกษาและพัฒนาต่อไป

<https://github.com/khuchaiwat/abaqusXmathematica>

4. ผลการทดลอง

จากการคำนวณหาค่าแรงกดวิกฤตก่อนเกิดการโก่งเดาะของเสาทรงกระบอกลูกฟูกลูกคลื่นไซน์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS เพื่อหาค่าเจาะจง (Eigen value) ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมสร้างไฟล์อินพุตโดยใช้แบบจำลองของทรงกระบอกเกลี้ยง (Plain cylinder) หาค่าแรงกดวิกฤตเทียบกับทฤษฎีการโก่งเดาะของออยเลอร์ในสมการที่ (1) ได้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงและเชื่อถือได้ดังรูปที่ 15 โดยที่ค่าเจาะจงทั้ง 3 รูปแบบ (Mode) สามารถเก็บผลการคำนวณด้วยสคริปต์ไฟล์ที่สร้างขึ้นได้ดังรูปที่ 16ก) ซึ่งผลการเก็บค่าข้างต้นจะถูกจัดเก็บแยกไฟล์เตอร์ตามไฟล์อินพุต เมื่อประมวลผลการคำนวณทั้งหมดด้วยชุดคำสั่งในโปรแกรม Mathematica ในรูปที่ 14 จะได้ตารางผลการคำนวณทั้ง 240 กรณีที่ทำการศึกษาไว้ดังรูปที่ 16ข)



รูปที่ 15 ผลการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าแรงกดวิกฤตของทรงกระบอกเปรียบเทียบกับทฤษฎี

Mode	1: EigenValue = 1.22407E+06	EigenValue.txt
Mode	2: EigenValue = 1.22407E+06	
Mode	3: EigenValue = 1.24443E+06	

(ก)

	A	B	E	F	G	H	I	J
1	R	C	L/R	TH	M1	M2	M3	
2	120	120	100	1	36463	36466	327025	
3	120	120	100	3	37130	37130	332982	
4	120	120	100	5	37108	37108	332786	
5	120	120	100	7	37188	37188	37188	
6	120	120	10	1	3075880	311663		AllEigen.xls
7	120	120	10	3	2953140	295578		

(ข)

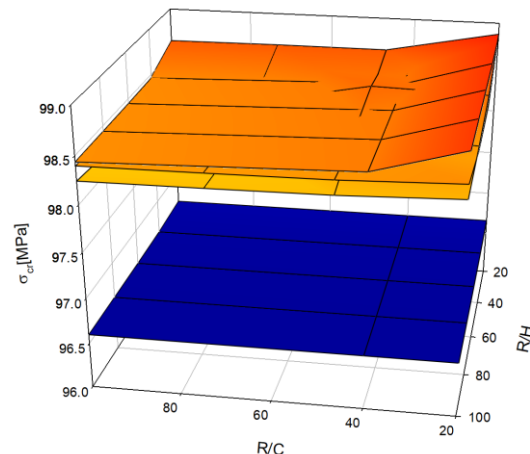
รูปที่ 16 ก) ข้อมูลการคำนวณที่บันทึกจากไฟล์สคริปต์ และ ข) ข้อมูลที่ประมวลผลทุกกรณีจากคำสั่งรูปที่ 14

จากค่าแรงกดวิกฤตที่คำนวณได้ถูกแปลงเป็นค่าความเค้นวิกฤตเพื่อให้ผลการคำนวณของทรงกระบอกที่มี

ตัวแปลตั้งต้นต่างกันสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าความเค้นและแรงกดตั้งสมการที่ (3) และหาค่าความยาวเส้นรอบวงของหน้าตัดทรงกระบอกที่มีลอน [6] โดยใช้ความสัมพันธ์สมการที่ (4) เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรัศมีต่อความสูงของลอน และ อัตราส่วนรัศมีต่อความหนาของทรงกระบอกของ ทรงกระบอกที่มีอัตราส่วนความยาวต่อรัศมีเท่ากับ 50 จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 17 ซึ่งจะแสดงถึงผลการเพิ่มของค่าความเค้นกดวิกฤตเมื่อจำนวนลอนของทรงกระบอกที่มากขึ้นจาก 3 เป็น 5 และ 7 ลอนตามลำดับ

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{2\pi R^* H} \quad (3)$$

$$2\pi R^* = \int_0^{2\pi} \sqrt{1 + \left(\frac{d\rho}{\rho d\theta}\right)^2} d\theta \quad (4)$$



รูปที่ 17 ค่าความเค้นกดวิกฤตของทรงกระบอกเกลี้ยงเปรียบเทียบกับทรงกระบอกลูกฟูกที่มี 3, 5 และ 7 ลอน

จากการคำนวณด้วยโปรแกรมสร้างไฟล์อินพุตนี้ยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุงเพื่อให้การคำนวณได้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำคือความละเอียดของเอลิเมนต์เนื่องมาจากงานวิจัยนี้ได้เลือกให้จำนวนโหนดในแนวเส้นรอบวงสัมพันธ์กับจำนวนลอนของลูกฟูกทำให้การคำนวณของแบบจำลองที่มีลอน 1 และ 3 เกิดความคลาดเคลื่อนจำเป็นต้องแก้ไขแพ็คเกจ NC และ FNL ในรูปที่ 8ก) ให้มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อให้ผลการคำนวณมีความแม่นยำขึ้น

การประมวลผลการทดลองด้วยการคำนวณค่าโดยใช้สมการที่ 4 จำเป็นต้องใช้โปรแกรมการคำนวณขั้นสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตั้งศักยภาพของโปรแกรมคำนวณอย่าง Mathematica ทั้งในช่วงก่อนการคำนวณโดยการเขียนไฟล์อินพุตป้อนให้กับโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และภายหลังการคำนวณโดยการประมวลผลรวมและแปรผลการคำนวณด้วยสมการคณิตศาสตร์ ทำให้สามารถลดขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและกำหนดเงื่อนไขค่าขอบ จึงเป็นการประหยัดเวลาในการศึกษาพฤติกรรมทางกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหลายแบบได้ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมการสร้างไฟล์อินพุต และประมวลผลของการคำนวณด้วย

5.สรุปผลการทดลอง

การใช้ Mathematica ในการเขียนโปรแกรมสำหรับสร้างไฟล์อินพุตการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย ABAQUS ของกรณีศึกษาการโก่งเดาะของเสาทรงกระบอกที่มีลอนลูกฟูกถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยที่โปรแกรมสามารถลดระยะเวลาในการสร้างแบบจำลองสามมิติและกำหนดเงื่อนไขการคำนวณการโก่งเดาะได้อีก ทั้งยังสามารถช่วยรวบรวมผลการคำนวณและแปลผลการคำนวณตามที่กำหนดให้ ทั้งนี้จากการศึกษาปัญหาตัวอย่างการโก่งเดาะในเสาทรงกระบอกที่มีจำนวนลอนลูกฟูกน้อยมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความละเอียดของเอลิเมนต์ที่สามารถปรับปรุงโดยการกำหนดแพคเตอร์ความละเอียดของโหนดในโปรแกรมสร้างไฟล์อินพุตได้ ทำให้พบข้อผิดพลาดของโปรแกรมซึ่งควรพัฒนาต่อเพื่อให้สามารถคำนวณความละเอียดของเอลิเมนต์ก่อนนำไฟล์คำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ อย่างไรก็ตามโปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยในการวิจัยปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ในอนาคต และช่วยลดขั้นตอนการวิจัยได้เป็นอย่างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวัสดุและโครงสร้างขั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในความอนุเคราะห์ใช้งานโปรแกรม ABAQUS

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sthapati Designers & Consultants Pvt. Ltd. What is Effective Length of Column?, URL: <https://gharpedia.com/effective-length-column>, access on 21/03/2019.
- [1] Peng, L. X., K. M. Liew and S. Kitipornchai (2007). "Analysis of stiffened

corrugated plates based on the FSDT via the mesh-free method." *International Journal of Mechanical Sciences* 49(3): 364-378.

- [2] Hajko, P., J. Tejchman and M. Wójcik (2018). "Investigations of local/global buckling of cylindrical metal silos with corrugated sheets and open-sectional column profiles." *Thin-Walled Structures* 123: 341-350.

- [3] Yang, J.-S., J. Xiong, L. Ma, L.-N. Feng, S.-Y. Wang and L.-Z. Wu (2015). "Modal response of all-composite corrugated sandwich cylindrical shells." *Composites Science and Technology* 115(Supplement C): 9-20.

- [4] Yang, L., Z. He and W. Jiang (2012). "Nonlinear deformation of a longitudinally corrugated shell structure with uniform load." *Acta Astronautica* 80(Supplement C): 8-23.

- [5] Semenyuk, N. P., N. B. Zhukova and V. V. Ostapchuk (2007). "Stability of corrugated composite noncircular cylindrical shells under external pressure." *International Applied Mechanics* 43(12): 1380-1389.

- [6] Kollár, L. P. and G. S. Springer (2003). *Mechanics of composite structures*, Cambridge university press.

- [7] Reddy, J. N. (1993). "An introduction to the finite element method." New York.

- [8] Hibbitt, H., B. Karlsson and P. Sorensen (2016). "Abaqus analysis user's manual version 2016." Dassault Systèmes Simulia Corp, Providence.

- [9] Abell, M. L. and J. P. Braselton (2017). *Mathematica by example*, Academic Press.

- [10] Wolfram, S. (1992). *Mathematica®: reference guide*;[for Mathematica Version 2], Addison-Wesley.

- [11] Logan, D. L. (2011). *A first course in the finite element method*, Cengage Learning.