

การวิเคราะห์โครงสร้างชั้นวางผักไฮโดรโปนิคส์ที่สร้างจากเหล็กกลม DN15

DN15 Steel Pipe Structural Analysis of Hydroponic Tower

พลเทพ เวงสูงเนิน¹ ธวัชชัย จารุงศรีวิทยา¹ ทยาวิร หนูบุญ¹ ประเมศวร์ สุทธิประภา¹ จาริณี จงป้อมปัด²

Received: June, 2014; Accepted: September, 2014

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์โครงสร้างที่สร้างจากเหล็กกลม DN15 สำหรับการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อหาค่าความเค้นดึงและอัด ค่าการเสียรูปและค่าความปลอดภัยของการออกแบบ โดยการนำเอาระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผล สามารถสรุปได้ว่าถ้าขนาดหน้ากว้างของโครงสร้างเท่ากับ 2 m แล้ว ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าระหว่าง 105.37 ถึง 138.01 MPa แต่ถ้าหน้ากว้างเท่ากับ 3 m แล้ว ความเค้นสูงสุดจะมีค่าระหว่าง 212.09 ถึง 262.90 MPa การเสียรูปที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 13.69 mm จะเกิดขึ้นเมื่อหน้ากว้างของแปลงปลูกเท่ากับ 2 m ส่วนการเสียรูปที่สูงที่สุดเท่ากับ 78.47 mm จะเกิดขึ้นเมื่อหน้ากว้างของแปลงปลูกเท่ากับ 3 m ในการวิเคราะห์ถึงความปลอดภัยจะพบว่าแบบหน้ากว้าง 2 m มีค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.81 ถึง 2.37 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย แต่ถ้าหากหน้ากว้าง 3 m จะมีค่าความปลอดภัยระหว่าง 0.95 ถึง 1.18 ซึ่งค่อนข้างที่จะเสี่ยงต่อการเสียหาย

คำสำคัญ : ผักไฮโดรโปนิคส์; พืชไร้ดิน; โครงสร้าง; ไฟไนต์เอลิเมนต์; การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก

E-mail: ponthep_veng@kkumail.com

Abstract

To analysis of DN15 round steel structure of the growing plants without soil, Hydroponic, investigated for tensile and compression stress, total deformation and safety factor using the Finite Element Method are analyzed and interpreted. The results show, the maximum stress of width structure of 2 m is 105.37 to 138.01 MPa. When width structure of 3 m is simulated, the maximum stress is 212.09 to 262.90 MPa. The lowest deformation is 13.69 mm occurs when the width structure is 2 m. The highest deformation is 78.47 mm occurs when the width structure is 3 m. To analysis of safety factor, the width of 2 m is 1.81 to 2.37 that is safety zone. In the case of width of 3 m, it has safety factor of 0.94 to 1.18 that rather risk of damage.

Keywords: Hydroponic; non-soil vegetable; structure; finite element; structural analysis

บทนำ

การปลูกพืชโดยปราศจากดิน ได้มีการเผยแพร่อย่างเป็นทางการในหนังสือชื่อ *Sylva Sylvarum* ซึ่งเขียนโดย Francis Bacon ในปี ค.ศ. 1627 ซึ่งในปี ค.ศ. 1699 John Woodward ได้ทำการทดสอบกับต้นสเปียร์มินต์ ซึ่งพบว่าให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกโดยใช้ดิน (Hydroponics, 2014; Howard M. Resh, 2002) ดังนั้นจึงเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยอีกหลายๆ อย่างตามมา เช่น ปี 2008 Y. Kitaya, H. Hirai, X. Wei, A. Islam and M. Yamamoto (Y. Kitaya et al., 2008) ได้ทำการทดสอบการปลูกมันหวานในระบบปลูกพืชไร้ดิน ผลการศึกษาคือ มันหวานสามารถปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินได้ หากมีระยะระหว่างสารละลายและรากเพียงพอ ต่อมาในปี 2011 Hamid R. Roosta และ Mohsen Hamidpour (H. R. Roosta and M. Hamidpour, 2011) ได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองการให้ปุ๋ยทางใบของมันหวานที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์และอควาโปนิคส์ และปี 2012 D. S. Domingues, H. W. Takahashi, C. A. Camara and S. L. Nixdorf (D. S. Domingues, 2012) ได้พัฒนาระบบการควบคุมความเป็นกรดด่างและความเข้มข้นของสารละลายในระบบการปลูกผักกาดหอมไร้ดิน ซึ่งผลการทดสอบได้นำไปสู่ผลผลิตที่สูงกว่าแบบปลูกด้วยดิน จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการวิจัยของระบบการปลูกพืชไร้ดินนั้น ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ส่วน

โครงสร้างของโรงเรือนที่ใช้ปลูกพืชแบบไร้ดินถือเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง หากมีการวางแผนคำนวณและมีการจัดการที่เหมาะสม จะส่งผลให้ผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์มีกำไรเพิ่มขึ้นจากการลดค่าใช้จ่ายทางด้านโครงสร้างได้ เพราะถ้าหากมีการวิเคราะห์ความสามารถในการรับภาระน้ำหนักเบื้องต้นไว้ก่อนแล้ว ก็จะสามารถทราบได้ว่าควรจะปลูกพืชจำนวนเท่าใด หรือควรจะใช้วัสดุทางโครงสร้างขนาดไหนจึงจะทำให้ต้นทุนลดน้อยที่สุด ปัจจุบันโครงสร้างที่ใช้สำหรับปลูกพืชไร้ดินนั้น ยังไม่ได้มีมาตรฐานในการใช้วัสดุบางที่อาจจะใช้โครงสร้างท่อ PVC หรือโครงสร้างเหล็ก เป็นต้น

ในทางวิศวกรรมการวิเคราะห์โครงสร้างที่อยู่หนึ่ง จะนำเอาหลักการทางสถิติศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งหากมองปัญหาในระดับลึกลงไปแล้ว ปัญหาทางวิศวกรรมส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Difference Equation) จึงต้องนำเอาระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Method) มาใช้ร่วมกับการแบ่งส่วน (Discretization) ของปัญหา (Domain) ออกเป็นส่วนย่อยเพื่อแก้ปัญหาแบบประมาณคำตอบ (Approximate Solution) (G. Ramamurty, 2010; C. S. Krishnamoorthy, 1994) หลังจากการแก้สมการแล้ว การนำเอาผลลัพธ์มาวิเคราะห์และแสดงให้เห็นภาพเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่ง จึงได้มีผู้คิดค้นวิธีการที่จะแก้ไขปัญหทางวิศวกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได้ง่ายขึ้นมา เรียกว่าระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างในบทความนี้จะนำเอาระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพจุดที่อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้

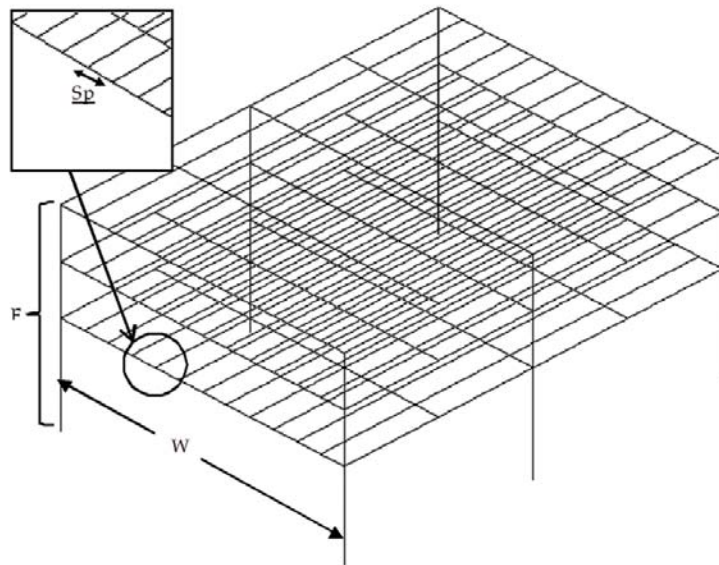
ในการศึกษาโครงสร้างที่ใช้ในการปลูกพืชไร้ดินนั้น อ้างอิงข้อมูลพื้นฐานของการปลูกพืชไร้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT) หรือการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในรางน้ำสารละลายธาตุอาหารที่ไหลผ่านเป็นฟิล์มบางๆ ประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร อย่างช้าและต่อเนื่อง ซึ่งถูกพัฒนาโดย Allen Cooper แห่งสถาบันวิจัยการปลูกพืชในเรือนกระจก (Glasshouse Crops Research Institute; GCRI) ในประเทศอังกฤษ (G. Venter, 2010) ภาวที่กระทำต่อโครงสร้างคำนวณได้จากชนิดของพืชและน้ำหนักของสารละลายที่ใช้ วัสดุที่นำมาใช้ประกอบเป็นโครงสร้างใช้เหล็กท่อกกลม DN15 ในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นเหล็กขนาดพื้นฐานที่มีขายตามท้องตลาดและมีราคาถูก

ระเบียบวิธีการศึกษา

ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างที่ทำจากเหล็กท่อกกลม DN15 เพื่อใช้ในการรองรับระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืช โดยนำเอาระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการหาคำตอบ โดยการวิเคราะห์แบบปัญหาสถิต (Static Analysis) ใช้บีมเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่มักจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง สะพาน โช้ เชือก ฯลฯ (C. S. Krishnamoorthy, 1994; C. A. Felippa, 2001; ANSYS Mechanical Application User's Guide, 2011) เนื่องจากใช้ทรัพยากรในการคำนวณต่ำกว่าการวิเคราะห์เป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ (ANSYS Meshing User's Guide, 2011)

ในการศึกษาใช้เหล็กท่อกกลม DN15 $D_o = 21.70 \text{ mm}$ $t = 2.0 \text{ mm}$ มาตรฐานอุตสาหกรรม 107 - 2533 (มอก.107) โดยกำหนดให้ค่า tensile yield strength และ compressive yield strength เท่ากับ 250 MPa และค่า tensile ultimate strength เท่ากับ 460 MPa ตามมาตรฐานของ ASTM A501 - 07 วิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักบรรทุกตามข้อมูลที่วัดมาจากการทดสอบจริง โดยน้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 5 kg/m โครงสร้างที่ใช้ปลูกผักไร้ดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นโต๊ะปลูกแบบ (F) 1, 2 และ 3 ชั้น โดยในแต่ละแบบจะแบ่งออกเป็นการปลูกพืชแบบหน้ากว้าง (W) 2 และ 3 m โดยแบ่งระยะห่างของรางปลูกเป็น (S_p) 0.10 และ 0.15 m โดยทดสอบเพื่อหาค่าความเค้นผสมสูงสุด (Maximum Combine Stress) และค่าการเสียรูปสูงสุด (Maximum Deformation) รูปที่ 1

แสดงให้เห็นแผนผังของแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษา โดยกำหนดแบบจำลองที่ทำการวิเคราะห์ โดยให้หน้ากว้างของโครงสร้าง W เท่ากับ 2 และ 3 m จำนวนชั้นของโครงสร้าง F เท่ากับ 1, 2 และ 3 ชั้น และระยะระหว่างรากปลูก $S_p = 0.10$ และ 0.15 m ตามลำดับ จะได้แบบจำลองจำนวน 12 กรณีดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 เงื่อนไขของแบบจำลองในแต่ละกรณี

แบบจำลองที่	W (m)	F (ชั้น)	Sp (m)
1	2	1	0.10
2	2	2	0.10
3	2	3	0.10
4	2	1	0.15
5	2	2	0.15
6	2	3	0.15
7	3	1	0.10
8	3	2	0.10
9	3	3	0.10
10	3	1	0.15
11	3	2	0.15
12	3	3	0.15

หลังจากกำหนดแรงที่กระทำและคุณสมบัติของวัสดุ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าความเค้นได้ดังสมการที่ (1) ค่าการเสียรูปของโครงสร้างคำนวณได้จากสมการที่ (2) และค่าความปลอดภัยของโครงสร้างคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

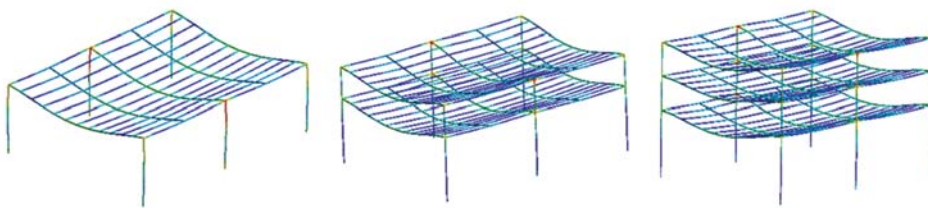
$$\delta = \int_0^L \frac{F(u)du}{A(u)E} \quad (2)$$

$$F.S = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}} \quad (3)$$

โดยที่ σ คือค่าความเค้น A คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงที่กระทำ δ คือระยะยืดตัว E คือค่ายังส์มอดูล $F.S.$ คือค่าความปลอดภัย σ_{yield} คือค่าความเค้นคราก และ σ_{max} คือค่าความเค้นสูงสุด

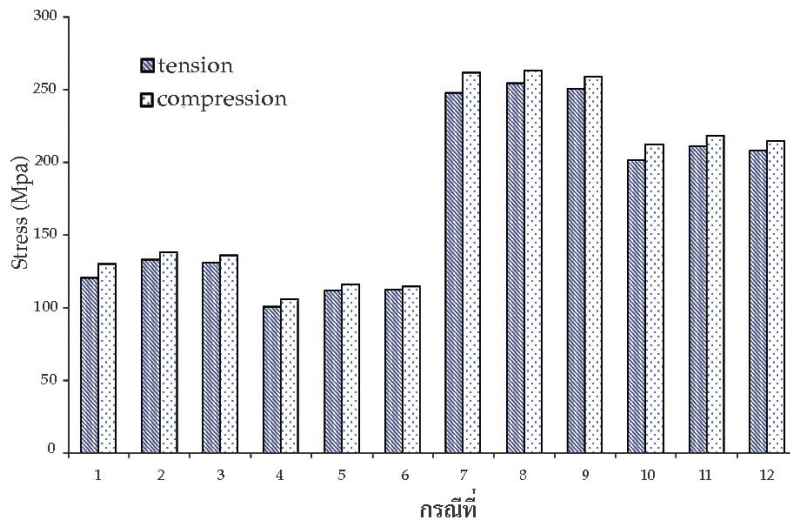
ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ความเสียหายในบทความนี้จะใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณค่าผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นสูงสุดและค่าการเสียรูปสูงสุดของโครงสร้างที่ใช้ปลูกผักไร้ดิน โดยให้รากพืชแขวนในสารละลายธาตุอาหารที่ไหลผ่านเป็นฟิล์มบาง ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างของแบบจำลองในกรณีที่ 10, 11 และ 12 คือหน้ากว้าง 3 m ช่องว่างระหว่างรางที่ใช้ปลูกเท่ากับ 0.15 m และมีจำนวนชั้นที่ใช้ในการปลูกผัก 1, 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ



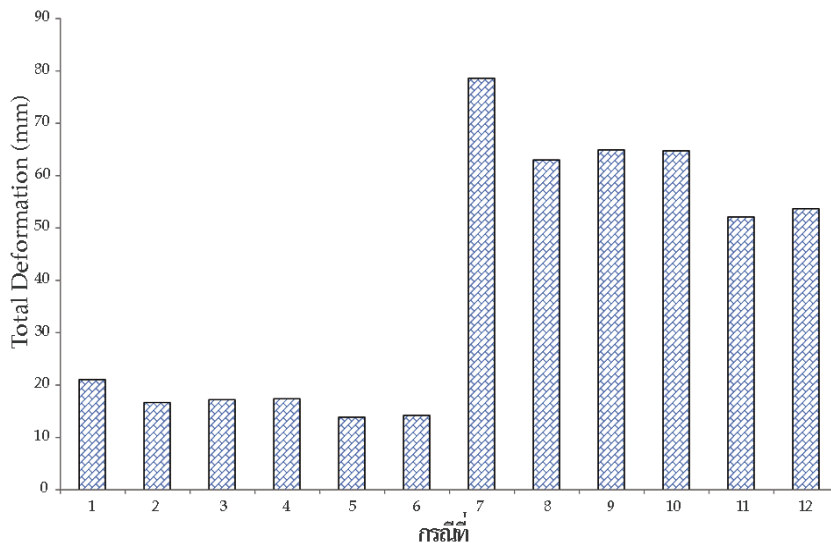
รูปที่ 2 แบบจำลองแสดงความเค้นดึงสูงสุด

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าชั้นปลูกผักมีการโก่งงอส่วนใหญ่เกิดขึ้นตรงกลาง ส่วนค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นบริเวณจุดต่อที่ใช้ในการค้ำยันในแต่ละชั้น เมื่อนำเอาผลของค่าความเค้นดึง และความเค้นอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองทั้ง 12 กรณีมาสร้างเป็นกราฟแล้ว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



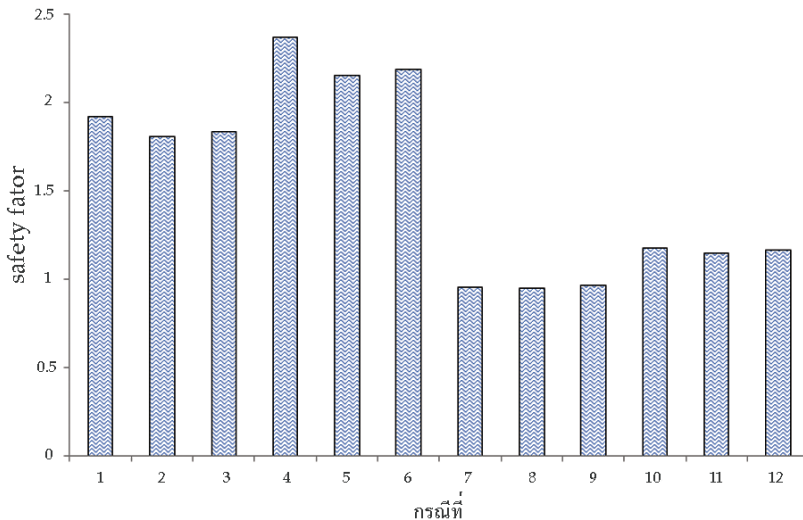
รูปที่ 3 ค่าความเค้นดึงและความเค้นอัดสูงสุด

ค่าความเค้นมีค่าต่ำที่สุดเกิดขึ้นในกรณีที่ 4 ซึ่งเป็นกรณีที่มีหน้ากว้าง 2 m ปลุกผัก จำนวน 1 ชั้น และมีระยะระหว่างรางปลุกเท่ากับ 0.15 m เกิดค่าความเค้นดึงเท่ากับ 100.13 MPa และมีค่าความเค้นอัดเท่ากับ 105.37 MPa ส่วนกรณีที่มีค่าความเค้นสูงที่สุดได้แก่ กรณีที่ 8 มีหน้ากว้างเท่ากับ 3 m ปลุกผักจำนวน 2 ชั้น และมีระยะระหว่างรางปลุกเท่ากับ 0.10 m มีค่าความเค้นดึงเท่ากับ 254.23 MPa และมีค่าความเค้นอัดเท่ากับ 262.90 MPa ผลของการวิเคราะห์ในแต่ละกรณีนำไปสู่การพิจารณาค่าการเสียรูปของโครงสร้างในแต่ละแบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าการเสียรูปสูงสุด

การเสีรูปดั่งแสดงรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีการโค้งตัวน้อยที่สุด ได้แก่ กรณีที่ 5 ซึ่งมีหน้ากว้างเท่ากับ 2 m มีจำนวนชั้นเท่ากับ 2 ชั้น และมีระยะห่างระหว่างรางปลูกเท่ากับ 0.15 m มีค่าการเสีรูปเท่ากับ 13.69 mm ส่วนกรณีที่ทำให้เกิดการเสีรูปสูงที่สุด ได้แก่ กรณีที่ 7 ซึ่งมีหน้ากว้างเท่ากับ 3 m มีจำนวนชั้นเท่ากับ 1 ชั้น และมีระยะห่างระหว่างรางปลูกเท่ากับ 0.10 m มีค่าการเสีรูปเท่ากับ 78.47 mm สุดท้ายเมื่อนำเอาค่าความเค้นดึงและอัดสูงสุดมาคำนวณหาค่าความปลอดภัย (Safety Factor) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 กรณีที่มีค่าความปลอดภัยสูงที่สุด ได้แก่ กรณีที่ 4 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.37 กรณีที่มีค่าความปลอดภัยต่ำที่สุด ได้แก่ กรณีที่ 8 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 0.95



รูปที่ 5 ค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี

สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กกลม DN15 $D_o = 21.70$ mm $t = 2.0$ mm ที่ใช้ในการปลูกพืชไร้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT) เพื่อหาค่าความเค้นดึงและอัดค่าการเสีรูปและค่าความปลอดภัยของการออกแบบ โดยการนำเอาระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผลสามารถสรุปได้ว่า ถ้าขนาดหน้ากว้างของโครงสร้างเท่ากับ 2 m แล้วโครงสร้างจะสามารถรับน้ำหนักของพืชไร้ดินได้ โดยสามารถแบ่งระยะห่างระหว่างรางปลูกให้อยู่ระหว่าง 0.10 ถึง 0.15 m ได้ ซึ่งจะมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.81 และมีค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 138.21 MPa แต่ถ้าหน้ากว้างของแปลงเท่ากับ 3 m แล้วจะทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากค่าความเค้นที่เกินจุดคราก

การเสีรูปที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 13.69 mm จะเกิดขึ้นเมื่อหน้ากว้างของแปลงปลูกเท่ากับ 2 m ส่วนการเสีรูปที่สูงที่สุดเท่ากับ 78.47 mm จะเกิดขึ้นเมื่อหน้ากว้างของแปลงปลูกเท่ากับ 3 m เมื่อวิเคราะห์ถึงความปลอดภัย จะพบว่าแบบหน้ากว้าง 2 m มีค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.81 - 2.37 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย ส่วนหน้ากว้าง 3 m จะมีค่าความปลอดภัยระหว่าง 0.95 ถึง 1.18 ซึ่งค่อนข้างที่จะเสี่ยงต่อการเสียหาย ดังนั้นจากการวิเคราะห์เบื้องต้นทั้ง 12 กรณี จึงควรที่จะเลือกหน้ากว้าง 2 m แต่ถ้าหากจะเพิ่มระยะของหน้ากว้างก็ควรที่จะวิเคราะห์หาจุดค้ำยันระหว่างโครงสร้าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่สนับสนุนเครื่องจักร เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งงบประมาณสนับสนุนงานวิจัย และหน่วยวิจัย ด้านการออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

บรรณานุกรม

- ANSYS Mechanical Application User's Guide. 14.0 ed., Canonsburg: ANSYS, Inc., 2011.
- ANSYS Meshing User's Guide. Southpointe: ANSYS, Inc., 2011.
- C. A. Felippa. (2001). Introduction to Finite Element Methods. Colorado: the Aerospace Engineering Sciences Department of the University of Colorado at Boulder
- C. S. Krishnamoorthy. (1994). Finite Element Analysis: Theory and Programming. 2nd ed., New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- D. S. Domingues, H. W. Takahashi, C. A. Camara and S. L. Nixdorf. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 84. pp. 53-61
- G. Ramamurty. (2010). Applied Finite Element Analysis. New Delhi: I. K. International Pvt Ltd, 2010.
- G. Venter. (2010). Successful Hydroponics. Xlibris Corporation
- H. M. Resh. (2002). Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. 6th ed., New Jersey : Newconcept Press, Inc.
- H. R. Roosta and M. Hamidpour. (2011). Effects of foliar application of some macro - and micro - nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. Scientia Horticulturae. Vol. 129. No. 3. pp. 396-402
- Hydroponics. (7 July 2014.) Available: (<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroponics>)
- Y. Kitaya, H. Hirai, X. Wei, A. Islam and M. Yamamoto. (2008). Growth of sweetpotato cultured in the newly designed hydroponic system for space farming. Advances in Space Research. Vol. 41. No. 5. pp. 730-735