

## บทคัดย่อ

การศึกษาการให้ผลภัยในท่อที่ยืดหยุ่นได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในศาสตร์สาขาอื่น ๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้ผลเรียนโลหิตในร่างกายของมนุษย์ ประภูมิการณ์ของการให้ผลประเภทนี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าการให้ผลภัยในห่อแข็งเกริงเนื่องจาก ของให้ผลมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบมี และในแนวทิศทางการให้ผล ดังนั้นความดันตัดคร่องที่ทำให้เกิดการให้ผลจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของของให้ผล และผนังห่อณ จุดใดจุดหนึ่งก่อนที่จะกระจายการเคลื่อนที่ดังกล่าวลงไปตามทิศทางการให้ผลในลักษณะของคลื่น ซึ่งการศึกษาในเรื่องนี้จะทำให้เรามีความเข้าใจเกี่ยวกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างของให้ผลและผนังห่อที่ดีขึ้น ซึ่งจะสามารถนำเสนอองค์ความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดต่อไปได้ในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข 2 มิติ ของการให้ผลในท่อที่ยืดหยุ่นได้ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการให้ผลแบบพัลส์ภัยในท่อประเภทนี้ โดยในระยะแรกจะมุ่งศึกษาการให้ผลแบบพัลส์ภัยในห่อเกริงก่อน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และเพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐานไว้สำหรับศึกษาภัณฑ์ที่ยืดหยุ่นได้ต่อไป แบบจำลองเชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ริชาร์ดไฟน์ต์วอลลุ่ม และคำนวณหาค่าตอบด้วยวิธีซิมเพลค (SIMPLEC) สามารถความเร็วและความดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองได้ถูกนำไปใช้ในที่ และเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการให้ผล ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นความดันที่ทำให้เกิดการให้ผล โดยอัตราการให้ผลจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการให้ผลของการให้ผลแบบคงตัวที่ความดันขึ้นต่ำกว่า 0.5 บาร์ และมีเฟสของคลื่นความเร็วใกล้เคียงกับเฟสของคลื่นความดัน และเมื่อความถี่ของคลื่นความดันเพิ่มขึ้น อัตราการให้ผลจะลดลง และเฟสของความเร็วจะตามหลังเฟสของความดันมากขึ้นเนื่องจากความเรื้อรังของของให้ผลที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ทัน หากกระตุ้นการให้ผลด้วยความดันที่สูงมาก อัตราการให้ผลจะลดลงจนเป็นศูนย์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการให้ผลแบบคงตัวภัยในท่อที่ยืดหยุ่นได้ทั้งทางด้านแบบจำลองและการทดลอง โดยศึกษาที่ช่วงของ ตัวเลขเรย์โนล์ดตั้งแต่ 800 ถึง 1400 ผลการเสียรูปที่ได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนของผลระหว่างแบบจำลองและการทดลองเพิ่มขึ้นตามความยาวของห่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการไปงดงามและการเสียรูปที่ไม่เป็นรูปปางกลมของห่อในการทดลอง ผลดังกล่าวจะไม่เกิดในแบบจำลองเนื่องจากสมมติฐานกำหนดให้ห่อเกิดการเสียรูปในลักษณะสมมาตรเป็นวงกลม

การศึกษาการให้ผลแบบพัลส์ภัยในท่อที่ยืดหยุ่นได้ผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลขสองมิติที่พัฒนาขึ้นนั้น กระทำที่อัตราการให้ผล ความถี่ และค่ารังโมดูลัสต่าง ๆ โดยการศึกษาผลกระบวนการตัวแปรเหล่านี้กระทำในช่วงของตัวเลขโนเมอร์สีรี ตั้งแต่ 3.36 ถึง 6.67 และตัวเลขเรย์โนล์ดตั้งแต่ 800 ถึง 1400 ผลจาก การศึกษาพบว่าความยาวของห่อไม่มีผลกระทบต่อการกระจายตัวของความดัน และการกระจายตัวของสนามความเร็วจะเกิดขึ้นทั้งในแนวราบมี และในแนวทิศทางการให้ผลของห่อ โดยจะเกิดการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันและคลื่นความเร็วไปในทิศทางการให้ผล ค่าความแตกต่างระหว่างเฟสของความดันและความเร็วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ของความดัน ที่ค่าความยืดหยุ่นต่ำจะมีผลทำให้ห่อเกิดการขยายตัวมากกว่าที่ค่าความยืดหยุ่นสูง ความเห็นที่เกิดขึ้นกับผนังห่อจะเกิดขึ้นมากเมื่อห่ออยู่ภายใต้ความดันสูงหรือที่ค่า อัตราการให้ผลสูง และในการให้ผลแบบอสซิลطاห่อรีพับลิค์เฟสของความเร็วจะตามหลังเฟสของความดันอยู่ 45 องศา เนื่องจากความเรื้อรังของของให้ผลและที่ความถี่ต่ำนั้นค่าของการเปลี่ยนแปลงของความเร็วตามแนวราบมีจะมี

ค่ามากและค่อยๆลดลง ขนาดของความเร็วสูงสุดที่ลดลงจะแปรผันตามความถี่ของความดัน การศึกษานี้ได้ทำให้เราทราบพฤติกรรมพื้นฐานของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างห่อ กับ ของเหลว ซึ่งจะสามารถนำเอาไปประยุต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ : แบบจำลองเชิงตัวเลข, การไฟลกภายในห่อที่ยึดหยุ่นได้, การไฟลแบบพัลล์

## Abstract

The study of pulsatile flow through a compliant tube has multiple applications especially within human body. This phenomenon is more complex than flow inside a rigid tube. Because of the motion of the tube wall, the fluid radial velocity at the wall is no longer zero. Thus, the driving pressure changes cause local movements of the fluid and tube wall, which then propagate downstream in the form of a wave. This study will provide us a better understanding role of the flow-wall interaction and can be applied with the vascular disease diagnostic in the future.

The objective of this research is to study the behavior of pulsatile flow in a compliant tube using two-dimensional numerical model. The first stage of this study focused on the pulsatile in a rigid tube in order to develop a fundamental understanding before moving on to the pulsatile flow in a compliant tube. The numerical modeling was built by using the finite volume method and solved with SIMPLEC technique. The velocity field and pressure distribution was analyzed and compared with the linear theoretical solution. The numerical result shows that amplitude of flow rate depends on the frequency of applied pressure. For low frequency pressure, the amplitude velocity field is close to steady flow velocity and maximum velocity is almost in-phase with the pressure. As the pressure frequency increases, the maximum velocity magnitude decreases. Also the lag of velocity phase can be observed because of the fluid inertia. If the excited frequency is too high, the fluid is unable to response the change, and the maximum velocity magnitude approaches zero.

The steady flow in a compliant also studied numerically and experimentally. Flow rate was varied based on the Reynolds number from 800 to 4100. The tube deformation of the numerical model matched well with the experimental and the theoretical result. However, difference between the numerical result and the experimental model increases as the length of the tube increased. This difference caused by bulking and non-circular deformation in the experimental model. This effect was not found in the numerical model due to the assumption of circumferential symmetrical flow.

The study of pulsatile flow through a compliant tube was studied through the developed 2-D numerical model at various flow rates, frequencies and young modulus. The parametric study of pulsatile flow were setup by using the Womersley number, which were set from 3.34-6.67, and Reynolds numbers, which were set from 800 to 4100. The solutions of numerical model presented that changing of pressure was non-proportional to the tube's length. The velocity distribution varies in both radial and longitudinal direction and propagates downstream along with the pressure wave with a certain amount of phase lag. The tube's dimension also decreases by increase Reynolds number and wall stress was increase by increase the pressure. The difference between velocity phase and pressure phase increases as the pressure frequency increase. The magnitude of velocity also decreases as the pressure frequency increase. This study will provide us a better understanding role of the flow-wall interaction and can be applied related applications in the future.

Keyword : Numerical Modeling, Compliant Tube, Pulsatile Flow