

## บทคัดย่อ

การศึกษาการไหลภายในท่อที่ยืดหยุ่นได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในศาสตร์สาขาอื่น ๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การไหลเวียนโลหิตในร่างกายของมนุษย์ ประสิทธิภาพของการไหลประเภทนี้มีความซับซ้อนมากกว่าการไหลภายในท่อแข็งเกร็งเนื่องจาก ของไหลมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวรัศมี และในแนวทิศทางการไหล ดังนั้นความดันตกคร่อมที่ทำให้เกิดการไหลจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของของไหล และผนังท่อ ณ จุดใดจุดหนึ่งก่อนที่จะกระจายการเคลื่อนที่ดังกล่าวลงไปตามทิศทางการไหลในลักษณะของคลื่น ซึ่งการศึกษาในเรื่องนี้จะทำให้เรามีความเข้าใจเกี่ยวกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างของไหลและผนังท่อที่ดีขึ้น ซึ่งจะสามารถนำเอาองค์ความรู้ที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดต่อไปได้ในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข 2 มิติ ของการไหลในท่อที่ยืดหยุ่นได้ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการไหลแบบพัลส์ภายในท่อประเภทนี้ โดยในระยะแรกจะมุ่งศึกษาการไหลแบบพัลส์ภายในท่อเกร็งก่อน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และเพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐานไว้สำหรับศึกษากับกรณีท่อที่ยืดหยุ่นได้ต่อไป แบบจำลองเชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่ม และคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีซิมเพลก (SIMPLEC) สหามความเร็วและความดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองได้ถูกนำไปวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการไหล ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นความดันที่ทำให้เกิดการไหล โดยอัตราการไหลจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลของการไหลแบบคงตัวที่ความดันขั้วเท่ากัน และมีเฟสของคลื่นความเร็วใกล้เคียงกับเฟสของคลื่นความดัน และเมื่อความถี่ของคลื่นความดันเพิ่มขึ้น อัตราการไหลจะลดลง และเฟสของความเร็วจะตามหลังเฟสของความดันมากขึ้นเนื่องจากความเฉื่อยของของไหลที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ทัน หากกระตุ้นการไหลด้วยความดันที่สูงมาก อัตราการไหลจะลดลงจนเป็นศูนย์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการไหลแบบคงตัวภายในท่อที่ยืดหยุ่นได้ทั้งทางด้านแบบจำลองและการทดลอง โดยศึกษาที่ช่วงของ ตัวเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 800 ถึง 1400 ผลการเสียรูปที่ได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนของผลระหว่างแบบจำลองและการทดลองเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการโก่งตัวและการเสียรูปที่ไม่เป็นรูปวงกลมของท่อในการทดลอง ผลดังกล่าวนี้จะไม่เกิดในแบบจำลองเนื่องจากสมมติฐานกำหนดให้ท่อเกิดการเสียรูปในลักษณะสมมาตรเป็นวงกลม

การศึกษาการไหลแบบพัลส์ภายในท่อที่ยืดหยุ่นได้ผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลขสองมิติที่พัฒนาขึ้นนั้นกระทำที่อัตราการไหล ความถี่ และค่ายังโมดูลัสต่าง ๆ โดยการศึกษาผลกระทบของตัวแปรเหล่านี้กระทำในช่วงของตัวเลขไวเมอร์สลีย์ ตั้งแต่ 3.36 ถึง 6.67 และตัวเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 800 ถึง 1400 ผลจากการศึกษาพบว่าความยาวของท่อไม่มีผลกระทบต่อการกระจายตัวของความดัน และการกระจายตัวของสนามความเร็วจะเกิดขึ้นทั้งในแนวรัศมี และในแนวทิศทางการไหลของท่อ โดยจะเกิดการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันและคลื่นความเร็วไปในทิศทางการไหล ค่าความแตกต่างระหว่างเฟสของความดันและความเร็วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ของความดัน ที่ค่าความยืดหยุ่นต่ำๆจะมีผลทำให้ท่อเกิดการขยายตัวมากกว่าที่ค่าความยืดหยุ่นสูงๆ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับผนังท่อจะเกิดขึ้นมากเมื่อท่ออยู่ภายใต้ความดันสูงหรือที่ค่า อัตราการไหลสูง และในการไหลแบบออสซิลลาทอรีพบว่าเฟสของความเร็วจะตามหลังเฟสของความดันอยู่ 45 องศา เนื่องจากความเฉื่อยของของไหลและที่ความถี่ต่ำๆนั้นค่าของการเปลี่ยนแปลงของความเร็วตามแนวรัศมีจะมี

ค่ามากและค่อยๆลดลง ขนาดของความเร็วสูงสุดที่ลดลงจะแปรผันตามความถี่ของความดัน การศึกษานี้ได้ทำให้เราทราบพฤติกรรมพื้นฐานของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างท่อกับของไหล ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ : แบบจำลองเชิงตัวเลข, การไหลภายในท่อที่ยืดหยุ่นได้, การไหลแบบพัลส์

## **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