

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สองแบบจำลอง คือ แบบจำลองการไหลของอากาศ และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาในทางเดินหายใจมนุษย์ โดยมีจุดประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาพฤติกรรมและการเคลื่อนที่และการยึดเกาะของอนุภาคยาในทางเดินหายใจโดยคำนึงถึงการไหลของอากาศที่มีอยู่ภายใน ทั้งนี้ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองส่วน ดังนี้

1.แบบจำลองการไหลสำหรับอากาศในทางเดินหายใจ

ส่วนแรกได้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์ ที่อธิบายการไหลของอากาศในทางเดินหายใจ โดยใช้สมการการไหลต่อเนื่อง และสมการนาเวียร์-สโตกส์ ซึ่งเป็นสมการที่ถูกใช้อธิบายการไหลของอากาศอย่างแพร่หลาย แต่สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะมองการไหลของอากาศว่ามีลักษณะการไหลแบบแกว่งกวัดตามคาบของเวลา และเป็นการไหลที่ไม่คงที่ขึ้นกับเวลา เนื่องจากอากาศในช่องทางเดินหายใจมีทิศการไหล เข้า-ออก ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันภายในถุงลมปอดซึ่งเกิดวนเป็นวัฏจักร และด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนของบริเวณที่ศึกษา ซึ่งคือ ทางเดินหายใจของมนุษย์ เราจึงทำการศึกษานี้ในสองมิติ และจำลองทางเดินหายใจที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นการไหลของอากาศในท่อทางเดินหายใจดังกล่าวจึงถูกมองเป็นการไหลแบบราบเรียบ เมื่อกำหนดสมมติฐานต่างๆจนสามารถสร้างแบบจำลองที่อธิบายการไหลของอากาศได้แล้ว จึงทำการหาผลเฉลยของปัญหาโดยประยุกต์ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากโปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL Multiphysics® 3.5a และได้นำผลเฉลยเชิงตัวเลขมาวิเคราะห์การไหล ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

ก. จากการจำลองการไหลของอากาศที่เวลาต่างๆ และพบว่าการไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของเวลา คือ มีการไหล เข้า-ออก เป็นคาบของเวลา ซึ่งสอดคล้องความเป็นจริงกับการทำงานของระบบทางเดินหายใจ โดยในช่วงสองวินาทีแรก อากาศจะมีทิศไหลจากภายนอกเข้าสู่ร่างกายและเริ่มเปลี่ยนเป็นทิศตรงข้ามเมื่อเข้าสู่วินาทีที่สอง

ข. สำหรับค่าของความเร็วอากาศเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละบริเวณ ณ เวลาต่างกัน พบว่า ค่าความเร็วในตำแหน่งเดียวกันจะมีขนาดและทิศทางการต่างกัน ทั้งนี้ในแต่ละขณะเวลาขนาดของความเร็วจะมีขนาดโตที่สุดบริเวณแนวแกนกลางของทางเดินหายใจ แล้วลดขนาดลงตามสัดส่วนของระยะห่างจากผนัง และมีค่าน้อยมากจนเป็นศูนย์ที่ผนังทางเดินหายใจ ส่วนค่าความดันพบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันอากาศในทางเดินหายใจ มีลักษณะที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศ กล่าวคือ ความดันอากาศมีค่าสูงบริเวณแนวแกนกลางของหลอดลมและมีค่าความดันต่ำที่บริเวณใกล้ขอบโดเมน

ค. เนื่องจากผลการจำลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองการไหลของอากาศนี้มีความถูกต้องและแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าพอใจ และหากแบบจำลองนี้ถูกนำไปพัฒนาเข้ากับโดเมนที่สมจริงมากขึ้น โดยเฉพาะโดเมนสามมิติก็จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของอากาศในทางเดินหายใจ รวมทั้งการศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคด้วย

2.แบบจำลองการเคลื่อนที่สำหรับอนุภาคในทางเดินหายใจ

ส่วนที่สองเป็นการนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับอธิบายพฤติกรรมการเคลื่อนที่สำหรับอนุภาคในทางเดินหายใจ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ และวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับการพ่นยาในแต่ละครั้ง โดยมองว่าอนุภาคเหล่านั้น เกิดจากการฉีดพ่นยาทางช่องปาก และไม่เกิดการชนซึ่งกันและกันระหว่างอนุภาคเข้าไปในทางเดินหายใจ ภายใต้สมมติฐานว่าสภาวะการไหลของอากาศที่มีอยู่ในทางเดินหายใจมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยมีตัวแปรสำคัญที่ถูกนำมาพิจารณา คือ ความเร็วเริ่มต้นของอนุภาคและความเร็วของอากาศในทางเดินหายใจ แบบจำลองถูกสร้างขึ้นตามสมมติฐานและข้อกำหนดข้างต้น โดยอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ประยุกต์เข้าด้วยกัน ทั้งเรื่องแรงที่กระทำต่อวัตถุ ในการหาผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อนำมาวิเคราะห์การเคลื่อนที่และตำแหน่งการยึดเกาะของอนุภาคนั้น จะต้องใช้ค่าความเร็วอากาศที่ได้แก้ปัญหาแบบจำลองการไหลของอากาศ ซึ่งผลเฉลยของค่าความเร็วอากาศนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อหาความเร็วของอนุภาคและในที่สุดจะได้ตำแหน่งของอนุภาค เพื่อไปจำลองการเคลื่อนที่และวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคต่อไป สำหรับวิธีการหาผลเฉลย

ของแบบจำลองการเคลื่อนที่สำหรับอนุภาคนั้นจะใช้วิธีของออยเลอร์ คือ $\mathbf{v}_n = \mathbf{v}_{n-1} + \Delta t \cdot \frac{d\mathbf{v}_{n-1}}{dt}$

และ $\mathbf{x}_n^p = \mathbf{x}_{n-1}^p + \Delta t \cdot \frac{d\mathbf{x}_{n-1}^p}{dt}$ โดยจะทำการเขียนโปรแกรมบน MATLAB 7.9 เพื่อหาผลเฉลยเชิง

ตัวเลขทั้งความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคที่เวลาต่างๆ และนำผลเฉลยดังกล่าวมาจำลองวิถีการเคลื่อนที่ และวิเคราะห์การกระจายตัวของการยืดเกาะของอนุภาคยาในทางเดินหายใจ นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์หัตถ์แปรหรือพารามิเตอร์ ที่ส่งผลต่อแบบจำลองที่นำเสนอ โดยแบ่งพิจารณาดังนี้

ก. พิจารณาผลของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กมากซึ่งมีมวลน้อยมากๆ โดยพบว่าอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงไม่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการยืดเกาะของอนุภาคที่มีขนาดเล็กในทางเดินหายใจ ที่มีลักษณะเป็นสนามการไหลของอากาศซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง

ข. พิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของอนุภาคยาหรือการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ในที่นี้ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์สามตัว คือ ขนาดของความเร็วเริ่มต้น V_0 มุมสูงสุดของการกระจายตัวของอนุภาคยาเมื่อถูกฉีดพ่น $\theta_{\max}$ และความหนาแน่นของอนุภาคยา ρ_p ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ทั้งสามค่าส่งผลต่อวิถีการเคลื่อนที่และการยืดเกาะของอนุภาค ดังนั้นจะหาค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งเป็นหลักไม่ได้และต้องทำการศึกษาควบคู่กันไป โดยต้องกำหนดค่าให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกัน เพราะอาจจะทำให้เกิดการจำลองผิดพลาดกันไป นอกจากนี้ ผลการจำลองที่ได้ก็สอดคล้องกับผลของงานวิจัยชิ้นอื่นๆ ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองที่นำเสนออีกทางหนึ่ง

ค. งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อวิถีการเคลื่อนที่การกระจายตัวของการยืดเกาะ และตำแหน่งการยืดเกาะบนผนังทางเดินหายใจ ทำให้สามารถนำข้อมูลและความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาให้ดียิ่งขึ้นได้ นอกจากนี้หากมีการพัฒนาแบบจำลอง โดยการศึกษาเกี่ยวกับโดเมนที่สมจริงมากขึ้นโดยเฉพาะการศึกษาปัญหาในโดเมนสามมิติ หรือกำหนดคุณสมบัติและลดข้อจำกัดต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น เช่น การพิจารณาว่าอนุภาคยาที่ถูกฉีดพ่นออกมาจะมีการเคลื่อนที่ชนกันเองเป็นต้น ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวงจรพฤติกรรมของอนุภาคยาในทางเดินหายใจมากขึ้น