

การศึกษาเชิงคำนวณของผลกระทบของใบพัดแบบฟันเลื่อยต่อการลดระดับเสียงของพัดลมระบายอากาศ

Computational Study of the Effect of Saw-toothed Blade on Noise Level Reduction of Ventilation Fan

เจนวิทย์ คีตสิน อาชญ บัญรัตนสายันห์ และชนินทร์ ตรงจิตภักดี*

ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-8555 ต่อ 1716 โทรสาร 0-2579-8570 *อีเมลล์ chanin.t@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงรูปร่างของใบพัดลมระบายอากาศ เพื่อลดระดับความดังของเสียงรบกวนที่เกิดจากอากาศพลศาสตร์ของใบพัดโดยการใช้รูปร่างใบพัดแบบฟันเลื่อย การศึกษาทำได้โดยการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของใบพัดและความสัมพันธ์ของระดับความดันเสียงกับความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้น โดยอาศัยวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการวิเคราะห์เสียงที่เกิดจากอากาศพลศาสตร์ของใบพัด โดยพัดลมต้นแบบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยใบพัดจำนวน 7 ใบ โดยแต่ละใบมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนความยาวใบพัดต่อความกว้างเฉลี่ยประมาณ 1.2 การปรับปรุงใบพัดต้นแบบทำโดยการปรับปรุงรูปร่างแบบฟันเลื่อยที่ชายหลังใบพัด และทำการศึกษาที่สภาวะของอากาศด้านทางเข้าไหลตามแนวแกนหมุนของใบพัด และมีความเร็วรอบและเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน ผลการทดลองถูกแสดงอยู่ในรูปของค่าแรงขับ แรงบิด ระดับความดันเสียงโดยรวม และการกระจายตัวของค่าการหมุนวนของอากาศ

ผลการศึกษาพบว่า การปรับปรุงรูปร่างชายหลังใบพัดให้เป็นแบบฟันเลื่อย สามารถลดการไหลแบบปั่นป่วนบริเวณด้านหลังชายหลังใบพัด ทำให้ระดับความดันเสียงมีค่าลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบระดับความดันเสียงที่คำนวณได้ของใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ทำการปรับปรุงแล้วพบว่า ที่ตำแหน่งจุดรับเสียงจุดเดียวกัน ระดับความดันเสียงที่เกิดจากใบพัดแบบฟันเลื่อยมีค่าลดลงประมาณ 7% ของเสียงที่เกิดจากใบพัดต้นแบบ ประสิทธิภาพใบพัดที่ติดฟันเลื่อยที่ชายหลังมีค่าเพิ่มขึ้น 2% เมื่อเทียบกับใบพัดต้นแบบ

Abstract

This research work is to reduce aeroacoustic noises emitted from a ventilation fan by the use of saw-toothed blade. The aerodynamic performance and the spectrum of sound pressure level of the fan with and without saw-toothed trailing edge are

numerically investigated using method of computational fluid dynamics and aeroacoustic analysis. A 7-bladed ventilation fan is chosen as a baseline configuration. The blade shape is rectangular with an aspect ratio of 1.2. Calculations have been performed for axial flow at the rotational speed and background conditions. Results presented include thrust force, torque, overall sound pressure level, and decay rate of mean turbulent kinetic energy. Results showed that the saw-toothed blade is effective at reducing the turbulence from the trailing edge. This leads to decrease in the sound pressure level. Compared to the baseline model, the computed results indicated approximate 7% decrease in the sound pressure level for the fan with saw-toothed blades. The fan performance has increased 2% using the saw-toothed trailing edge.

1. คำนำ

พัดลมใช้สร้างกระแสอากาศเพื่อระบายความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ในเครื่องปรับอากาศ ไมโครโปรเซสเซอร์บนแผงวงจรไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งเครื่องจักรขนาดใหญ่ก็มีพัดลมเพื่อใช้ระบายความร้อนของเครื่องจักรด้วยเช่นกัน ที่ผ่านมามีการวิจัยและพัฒนาในการออกแบบพัดลม จะเน้นทางด้าน การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพื่อประหยัดพลังงาน ในขณะที่เดียวกันมักจะมีเสียงรบกวนเกิดขึ้นจากพัดลมขณะที่กำลังหมุน จากความก้าวหน้าในงานวิจัย จึงเกิดความพยายามลดเสียงรบกวนจากพัดลม โดยเริ่มจากการลดการสั่นสะเทือนของใบพัดและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยการออกแบบข้อต่อและปรับปรุงจุดยึดต่างๆ ทำให้เสียงจากพัดลมน้อยลงจากเดิม จึงทำให้เสียงลมที่ผ่านใบพัดมีความสำคัญมากขึ้น โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดเสียง คือลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของใบพัด ดังนั้นจึงเกิดความคิดในการปรับปรุงลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของใบพัด โดยการดัดแปลงรูปร่างของใบพัดที่ใช้กันอยู่ในพัดลมทั่วไป เพื่อลดระดับเสียงที่

เกิดขึ้น อีกทั้งการศึกษาในเรื่องของเสียงที่เกิดขึ้นจากอากาศยานศาสตร์ (Aeroacoustics) ของใบพัดยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของเสียงที่เกิดขึ้นจากอากาศยานศาสตร์ของใบพัด และเพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบรูปร่างใบพัดหรือปีกหมุนในเครื่องจักรกลอื่น เพื่อลดระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น

ระดับเสียงและการวัดค่าเสียงรบกวน

การได้ยินเสียงของมนุษย์เกิดจากคลื่นเสียงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันของของไหล และการตอบสนองของหูมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันจนทำให้ได้ยินเสียง โดยปกติเสียงจะถูกวัดในรูปของระดับความดันเสียง หรือ Sound Pressure Level (SPL) ในหน่วยเดซิเบล [1] ซึ่งสามารถแสดงคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$SPL = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ P_{ref} ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานไว้ที่ 20 สำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศ และ P_{rms} คือรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการเปลี่ยนแปลงความดัน หาได้จากการเปลี่ยนแปลงความดัน ในช่วงเวลาหนึ่งๆตามสมการดังนี้

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T (p(t) - p_0)^2 dt} \quad (2)$$

โดยที่ T คือ คาบเวลา (วินาที)

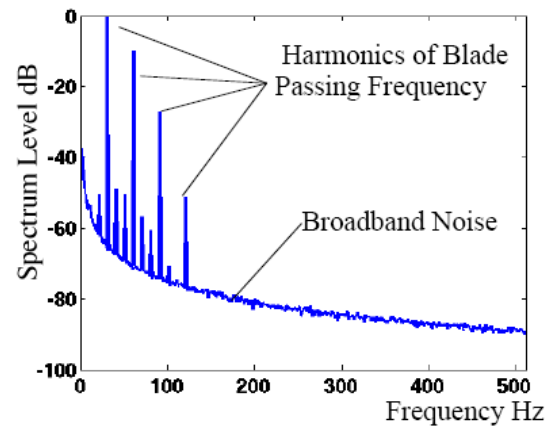
เสียงรบกวนจากใบพัด

การคำนวณเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากใบพัดในกรณีที่ยางที่สุดคือสมมติให้เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ ทำให้ภาระกรรมที่มากกระทำกับใบพัดมีค่าสม่ำเสมอ เพื่อเป็นข้อกำหนดพื้นฐานต่อการทดลอง เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ Harmonic noise และ Broadband noise [2] โดยลักษณะทั่วไปของเสียงทั้ง 2 ประเภทแสดงไว้ในรูปที่ 1 ในรูปแบบของสเปกตรัม

Harmonic noise หรือ Tone noise คือ เสียงที่มีระดับความดันเสียงสูงเกิดขึ้นที่ความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิคที่ห่างกันเป็นช่วงที่เท่ากัน ซึ่งความถี่ของเสียงประเภทนี้จะขึ้นกับการหมุนของใบพัด เสียงประเภทนี้จะเกิดจากการที่ใบพัดหมุนตัดผ่านกระแสอากาศหมุนวน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวใบพัด ซึ่งเสียงประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแบบ Dipole [3] Broadband noise เป็นเสียงที่เกิดขึ้นแบบไม่เจาะจง สามารถเกิดขึ้นได้ที่ทุกความถี่ เสียงประเภทนี้โดยทั่วไปจะเกิดจากอากาศที่ไหลแบบปั่นป่วนที่บริเวณชายหลังของใบพัด เรียกว่า Trailing-edge noise ซึ่งเสียงประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแบบ Quadrupole [3]

การลดเสียงของพัดลมสามารถทำได้โดยการปรับปรุงลักษณะทางอากาศยานศาสตร์ของใบพัด เพราะเสียงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศที่มีสาเหตุมาจากทั้งกระแสอากาศหมุนวนที่ปลายใบพัดและการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศที่บริเวณชายหลังของใบพัด ดังนั้นการออกแบบใบพัดที่สามารถลดกระแสอากาศหมุนวนหรือลดการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศจะสามารถลดระดับเสียงลงได้ โดยงานวิจัยนี้จะ

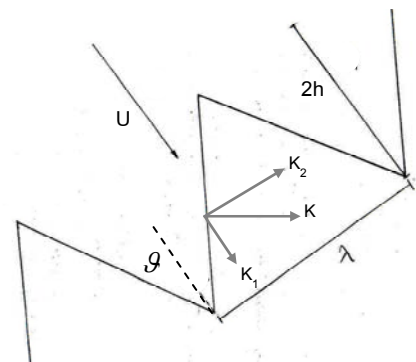
เน้นการลดระดับเสียงโดยวิธีการลดการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศที่บริเวณชายหลังของใบพัดเป็นหลัก



รูปที่ 1 สเปกตรัมระดับความดันเสียงและความถี่เสียงแบบ Harmonic และ Broadband noises [2]

ใบพัดแบบฟันเลื่อย (Saw-toothed Blade)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าได้มีการดัดแปลงชายหลังปีกเป็นแบบฟันเลื่อยที่ใช้กับอากาศยาน [4] โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดเสียงที่เกิดขึ้นจากการไหลแบบปั่นป่วนจากขอบของพื้นผิวหรือ wake และโดยทั่วไปแล้วจะประยุกต์ใช้กับบริเวณปลายท่อเครื่องยนต์เจ็ท การไหลแบบปั่นป่วนที่เกิดขึ้นบริเวณชายหลังปีกจะแพร่กระจายไปในทิศทางตั้งฉากกับขอบของปีก (ทิศทางของเวกเตอร์ K) ดังรูปที่ 2 เมื่อเวกเตอร์ K ทำมุม θ กับกระแสอากาศทำให้สามารถกระจายเวกเตอร์ได้เป็น K_1 และ K_2 โดยเวกเตอร์ K_2 จะผสมได้ดีกับเวกเตอร์ทิศทางตรงข้ามกันจากฟันเลื่อยใกล้เคียง ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะสลายตัวอย่างรวดเร็วเช่นกัน ทำให้สามารถลดการไหลแบบปั่นป่วนได้เมื่อระยะทางไกลออกไป โดยเฉพาะเมื่อมุม θ น้อยกว่า 45 องศา ซึ่งจะทำให้ K_2 มีค่ามากกว่า K_1 ส่งผลให้การลดเสียงมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2 การออกแบบชายหลังปีกแบบฟันเลื่อย

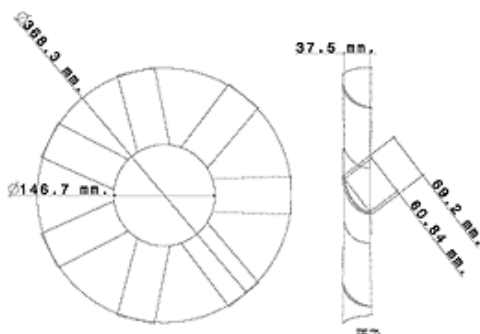
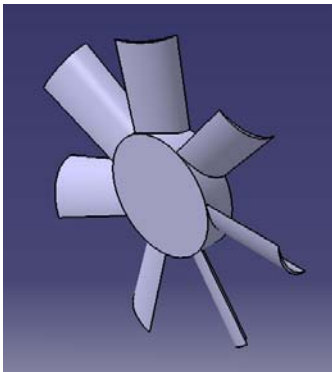
โดยที่ $2h$ คือระยะจากโคนถึงปลายพินเลื้อย, U คือความเร็วของกระแสอากาศ, $\varnothing$ คือครีสมุมแหลมของพินเลื้อย, λ คือระยะห่างระหว่างปลายพินเลื้อย

2. วิธีการ

เนื่องจากแหล่งกำเนิดเสียงของพัดลม ส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันเมื่อกระแสอากาศมีการไหลแบบปั่นป่วนที่บริเวณชายหลังใบพัด ดังนั้นเพื่อลดแหล่งกำเนิดเสียงนี้จึงปรับปรุงร่างของใบพัดที่ชายหลังใบพัดด้วยรูปร่างแบบพินเลื้อย เพื่อลดการไหลแบบปั่นป่วนที่เกิดขึ้น

การคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนของภาระกรรมของใบพัดและแหล่งกำเนิดเสียงจะได้จากการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ส่วนคุณลักษณะของเสียงคำนวณได้จากสมการ Ffowcs Williams-Hawkins (FW-H) ซึ่งจะได้ความดันเสียง ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัดเสียง ซึ่งจะอยู่ในฟังก์ชันของเวลา ในการแสดงผลจะนำข้อมูลความดันเสียงที่ขึ้นกับเวลาไปผ่านการทำ Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นฟังก์ชันของความถี่ เพื่อให้ง่ายในการอธิบายและเปรียบเทียบคุณลักษณะของเสียงจากใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ทำการปรับปรุงแล้ว

ในการศึกษาจะใช้พัดลมระบายอากาศแบบ 7 ใบเป็นใบพัดต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3

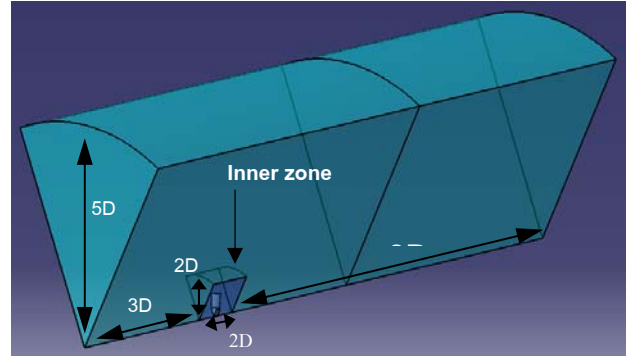


รูปที่ 3 แบบจำลองใบพัดต้นแบบ

เพื่อให้การคำนวณได้ผลที่ถูกต้อง กริดของโดเมนของใบพัดจะต้องละเอียด และเพื่อไม่ให้เกิดการคำนวณใช้เวลานานเกินไป ดังนั้นจึง

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 2 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

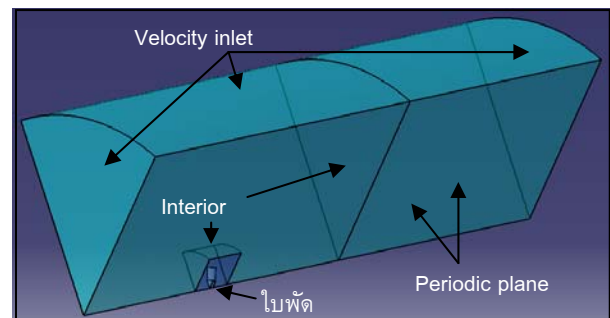
สร้างโดเมนรอบใบพัดเพียงแคใบเดียว เป็นชิ้นสามเหลี่ยมมุมแหลมประมาณ 51.43 องศา (รูปที่ 4) และอาศัยวิธีการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบแบบ rotational periodic ที่ขอบด้านหน้าของชายหน้าปีกของใบพัด และที่ด้านหลังของชายหลังปีกของใบพัด



รูปที่ 4 แบบจำลองใบพัด 1 ใบ และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณ
(D = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด)

ขนาดของกริดประมาณได้จากขนาดของการไหลปั่นป่วน (Turbulent Eddies) และมีจำนวนกริด 10-15 กริดต่อความยาวคลื่นเสียงที่สนใจ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความถี่เสียงสูงสุดที่จะทำนายได้ โดยโดเมนส่วนที่อยู่ใกล้ใบพัดจะมีความหนาแน่นของกริดสูงและลดลงเมื่อห่างจากใบพัดออกไป

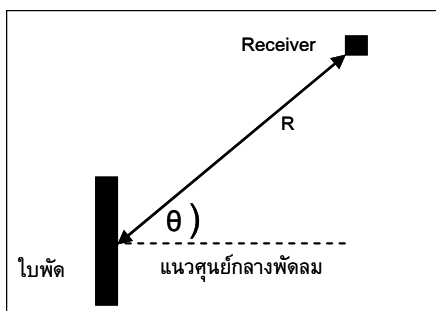
ภายหลังจากการทำการทดสอบความไม่ขึ้นกับกริดของคำตอบ (Grid Independence) แล้ว ได้ขนาดของกริดที่เหมาะสมในการคำนวณ คือ โดเมนมีจำนวนชั้นประกอบทั้งหมดประมาณ 1.6×10^6 ชั้น โดยมีชั้นประกอบบนพื้นผิวใบพัดที่ทำการปรับปรุงแบบพินเลื้อยประมาณ 1.3×10^5 ชั้น และมีจำนวนชั้นประกอบในบริเวณด้านในไกลกับพื้นผิวใบพัดและบริเวณด้านนอกที่ห่างออกไปเป็นจำนวน 0.5×10^6 และ 0.9×10^6 ชั้น ตามลำดับ โดยที่จุดแรกของกริดที่ห่างจากพื้นผิวใบพัดมีค่าเฉลี่ย y^+ น้อยกว่า 5 ในส่วนของการคำนวณพลศาสตร์ของไหล กำหนดให้การคำนวณเป็นแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา และกำหนดชนิดการไหลให้เป็นแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน k-ε และกำหนดขอบเขตของโดเมนดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขอบเขตของโดเมนใบพัดแบบ 3 มิติ

ขนาดของช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมีความเป็นอิสระของคำตอบต่อช่วงเวลา (Time-step Independence) โดยขนาดช่วงเวลาที่ใช้คือ 0.1×10^{-3} วินาที ซึ่งสามารถทำนายความถี่เสียงสูงสุดได้ 5000 เฮิรตซ์ เวลาในการคำนวณเพื่อให้ได้คำตอบใช้เวลามากกว่า 15000 ชั่วโมง จากนั้นจะเริ่มบันทึกแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งต้องใช้เวลามากกว่า 2 รอบการหมุนของใบพัด โดยการหมุนครบ 1 รอบของใบพัดจะใช้เวลาคำนวณ 750 ชั่วโมง

ขั้นตอนการคำนวณความดันเสียง ใช้สมการของ Ffowcs Williams-Hawkings (FW-H) และกำหนดตำแหน่งผู้รับสัญญาณ (Receiver) ที่ระยะห่าง R เท่ากับ 250, 500 และ 1000 มิลลิเมตร และทำมุมกับจากแนวศูนย์กลางพัดลม (θ) เท่ากับ 0, 45 และ 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ใช้กำหนดผู้รับสัญญาณ

ผลการคำนวณที่ได้จะถูกแสดงผลในรูปของสเปกตรัมระหว่างระดับความดันเสียงกับความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้น และค่าระดับความดันเสียงโดยรวม (Overall sound pressure level) พร้อมทั้งเปรียบเทียบแรงขับและแรงบิดที่กระทำต่อใบพัดแต่ละรูปแบบ

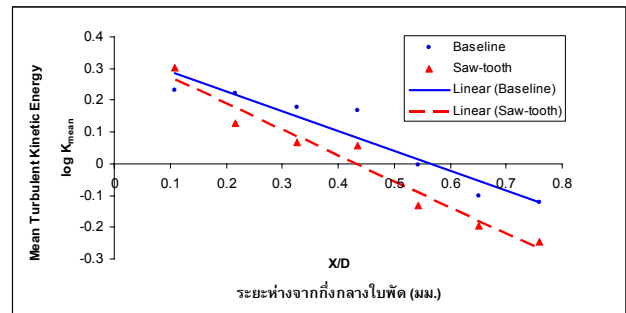
3. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของเสียงที่เกิดจากใบพัดแต่ละรูปแบบ และอีกส่วนเป็นผลการศึกษาการกระรบกวนทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นบนใบพัดแต่ละรูปแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบพัดที่เปลี่ยนแปลงไป

3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของเสียงจากใบพัดแต่ละรูปแบบ

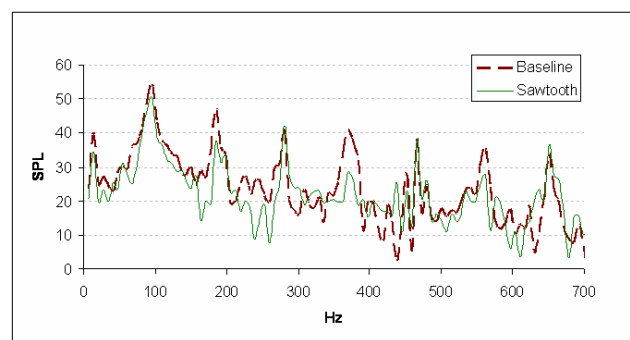
จากการศึกษาพบว่าลักษณะของเสียงที่ปล่อยออกจากใบพัดในแต่ละทิศทาง จะมีระดับความดันเสียงและรูปแบบความถี่ที่แตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่อยู่ตามแนวแกนหมุนของใบพัดจะมีระดับความดันเสียงต่ำและมีรูปแบบความถี่แบบสุ่ม ส่วนตำแหน่งที่อยู่ตามแนวรัศมีของใบพัดจะมีระดับความดันเสียงสูงกว่า และรูปแบบความถี่เสียงเป็นฮาร์โมนิกกัน ส่วนตำแหน่งระหว่างแนวแกนหมุนใบพัดและแนวรัศมีใบพัด ($\theta=45^\circ$) จะพบรูปแบบความถี่ทั้งแบบสุ่มและแบบที่เป็นฮาร์โมนิกกัน ดังนั้นจึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อใช้เปรียบเทียบระดับความดันเสียงจากการปรับปรุงรูปร่างใบพัด

เมื่อทำการเปรียบเทียบการไหลแบบปั่นป่วนจากชายหลังใบพัดต้นแบบกับใบพัดที่ติดฟันเลื่อยพบว่า รูปแบบฟันเลื่อยสามารถลดการไหลแบบปั่นป่วนด้านหลังใบพัดได้ จากรูปที่ 7 พบว่าที่ระยะห่างจากหลังใบพัด 40 มิลลิเมตร ($X/D = 0.11$) ใบพัดที่ติดฟันเลื่อยจะมีค่า Turbulent kinetic energy (k) สูงกว่า เพราะรูปร่างฟันเลื่อยจะเพิ่มการผสมกัน ทำให้การไหลหลังจากจุดนี้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น จึงทำให้การไหลแบบปั่นป่วนที่ระยะตั้งแต่ 60 มิลลิเมตร ($X/D = 0.17$) ของใบพัดที่ติดฟันเลื่อยลดลง



รูปที่ 7 ค่า Mean Turbulent Kinetic Energy ของใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ติดฟันเลื่อย ห่างจากกึ่งกลางใบพัดไปทางด้านหลังใบพัดที่ระยะทาง X/D ต่างๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับความดันเสียงระหว่างใบพัดต้นแบบกับใบพัดที่ติดฟันเลื่อยที่ระยะห่างจากศูนย์กลางใบพัด 250 มิลลิเมตร และทำมุมกับแนวศูนย์กลาง 45 องศา ($R=250$ มิลลิเมตร, $\theta=45$ องศา) พบว่ารูปแบบฟันเลื่อยสามารถลดระดับความดันเสียงที่รูปแบบความถี่แบบสุ่มได้ ดังรูปที่ 8 โดยที่ค่าระดับความดันเสียงโดยรวมของใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ติดฟันเลื่อย มีค่าเท่ากับ 57.43 dB และ 53.90 dB ตามลำดับ



รูปที่ 8 ระดับความดันเสียงจากใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ติดฟันเลื่อย (คิดผลจากใบพัด 1 ใบ) ณ ตำแหน่ง $R=250$ มิลลิเมตร ($R/D = 0.7$) และ $\theta=45$ องศา

นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ใบพัดจะพบรูปแบบความถี่เสียงแบบสุ่มที่มีระดับความดันเสียงสูงและต่อเนื่อง แต่เมื่อเลื่อนจุดสังเกตไกลออกไป พบว่ารูปแบบความถี่เสียงจะเป็นแบบฮาร์โมนิก

โมนิคมากขึ้นและมีระดับความดันเสียงของรูปแบบความถี่เสียงแบบสุ่มต่ำลง นั่นคือที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับ Broadband noise จะส่งผลกระทบต่อค่าระดับความดันเสียงโดยรวม แต่ตำแหน่งที่ไกลออกไป Tone noise จะส่งผลกระทบต่อค่าระดับความดันเสียงโดยรวมมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าระดับความดันเสียงแต่ละประเภทของใบพัดทั้งสองรูปแบบ (คิดผลจากใบพัด 1 ใบ ณ ตำแหน่ง R=250 มิลลิเมตร

รูปแบบใบพัด	Overall Sound Pressure Level at 250 mm. (dB.)		
	Broadband Noise	Tone Noise	OSPL
ใบพัดต้นแบบ	13.98	50.30	57.43
ใบพัดที่ตัดฟันเลื่อย	6.60	52.65	53.90

ตารางที่ 2 ค่าระดับความดันเสียงแต่ละประเภทของใบพัดทั้งสองรูปแบบ (คิดผลจากใบพัด 1 ใบ) ณ ตำแหน่ง R=1000 มิลลิเมตร

รูปแบบใบพัด	Overall Sound Pressure Level at 1000 mm. (dB.)		
	Broadband Noise	Tone Noise	OSPL
ใบพัดต้นแบบ	6.41	27.14	30.65
ใบพัดที่ตัดฟันเลื่อย	1.89	33.20	34.16

ตารางที่ 3 ค่าระดับความดันเสียงโดยรวมจากใบพัดแต่ละรูปแบบ (คิดผลจากใบพัด 1 ใบ)

รูปแบบใบพัด	Overall Sound Pressure Level (dB.)		
	R=250mm	R=500mm	R=1000mm
ใบพัดต้นแบบ	57.43	40.86	30.65
ใบพัดที่มี sawtooth ที่ชายหลัง	53.90	40.57	34.16

จากตารางที่ 3 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อตำแหน่งที่วัดเสียงห่างจากใบพัดออกไปมากขึ้น ค่าระดับความดันเสียงโดยรวมที่ได้จากใบพัดทั้งสองแบบจะมีค่าลดลง โดยที่ระยะทางไกลใบพัด ณ ตำแหน่ง R=250 มิลลิเมตร ใบพัดแบบฟันเลื่อยจะมีค่าระดับความดันเสียงโดยรวมต่ำกว่าใบพัดต้นแบบ จากการลด Broadband noise ในขณะที่ตำแหน่งที่ห่างจากใบพัดออกไป R=1000 มิลลิเมตร ค่าระดับความดันเสียงโดยรวมของใบพัดแบบฟันเลื่อยจะมีค่ามากกว่าใบพัดแบบต้นแบบ เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ Tone noise

3.1 ผลการศึกษาแรงขับและแรงบิดของใบพัดแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงขับและแรงบิดที่ได้จากใบพัดแต่ละรูปแบบ จากการศึกษาพบว่าเมื่อใบพัดต้นแบบหมุนด้วยความเร็ว 800 รอบต่อนาที จะใช้แรงบิดในการหมุนขนาด 0.51 นิวตัน-เมตร และสร้างแรงขับขนาด 2.58 นิวตัน และเมื่อทำการตัดฟันเลื่อยที่ชายหลังใบพัดจะสามารถลดแรงบิดที่ใช้ในการหมุนลงได้ร้อยละ 16.05 ของใบพัดต้นแบบ เนื่องจากรูปร่างฟันเลื่อยจะเพิ่มการผสมกัน ทำให้เกิดความเร็วยุทธ์ที่ชายหลังใบพัด ใบพัดตัดไปจึงตัดผ่านบริเวณที่มีความดันต่ำแรงบิดจึงลดลง และใบพัดที่ตัดฟันเลื่อยจะสร้างแรงขับลดลงร้อยละ

14.45 ของใบพัดต้นแบบ จากการเพิ่มการผสมกันที่ด้านเป่าของใบพัดซึ่งทำให้เกิดความดันต่ำที่ด้านเป่าของใบพัด แรงขับจึงลดลง

ตารางที่ 4 แรงขับและแรงบิดของใบพัดแต่ละรูปแบบ (เมื่อคิดผลจากใบพัดทั้งหมด 7 ใบ)

รูปแบบใบพัด	แรงขับ (N)	แรงบิด (N.m)	ประสิทธิภาพ แรงขับ/แรงบิด (m ⁻¹)	ประสิทธิภาพ %ความแตกต่าง
ใบพัดต้นแบบ	2.5838	0.5108	5.0583	0.00
ใบพัดที่ตัดฟันเลื่อยที่ชายหลัง	2.2104	0.4288	5.1545	1.90

4. สรุป

ใบพัดที่ตัดฟันเลื่อยจะสามารถลด Broadband noise ได้ แต่จะเพิ่ม Tone noise จากกระแสหมุนวนของฟันเลื่อยแต่ละซี่ เสียงที่ออกจากใบพัดจะมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง โดยตำแหน่งที่อยู่ตามแนวการหมุนของใบพัดจะมีลักษณะเป็น Broadband noise มาก ส่วนตำแหน่งที่ทำมุม 45 องศากับแนวการหมุนใบพัด จะพบทั้งเสียงแบบ Tone noise และ Broadband noise และเมื่อเลื่อนตำแหน่งจุดรับเสียงไกลออกไป จะพบเสียงส่วนใหญ่เป็นแบบ Tone noise นั่นคือระยะห่างยิ่งมาก Tone noise จะยิ่งสำคัญต่อค่าระดับความดันเสียงโดยรวม แต่ที่ระยะห่างน้อยๆ Broadband noise จะสำคัญต่อค่าระดับความดันเสียงโดยรวมเพราะที่ระยะห่างน้อยๆ Broadband noise จะมีระดับความดันเสียงสูงและมีความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าใบพัดที่ตัดฟันเลื่อย ซึ่งสามารถลด Broadband noise ได้ จะสามารถลดระดับเสียงรบกวนบริเวณที่อยู่ใกล้ใบพัดลงได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพัดลมจากอัตราส่วนแรงขับต่อแรงบิดของใบพัดที่ตัดฟันเลื่อยจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2% เมื่อเทียบกับใบพัดต้นแบบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการให้ทุนสนับสนุนโครงการงานอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนงบประมาณเพื่อใช้ในการดำเนินโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงได้

เอกสารอ้างอิง

- Glegg, S., 2005. The fundamentals of Aero and Hydroacoustics, (AOE5984) Special Study Classnotes, Collaboration Course between Florida Atlantic University and Virginia Polytechnic Institute and State University, Ocean Engineering Department, Florida Atlantic University.
- Hubbard, H. H., "Aeroacoustics of Flight Vehicles: Theory and Practice Volume 1: Noise Sources" NASA Reference Publication, 1258, Vol.1, WRDC Technical Report 90-3052, 1991, pp. 1-64.
- Goldstein, M. E., 1976. Aeroacoustics. McGraw-Hill.
- Howe, M. S., 1991. Noise produced by a sawtooth trailing edge. Acoustical Society of America, Vol. 90, pp. 483-487.