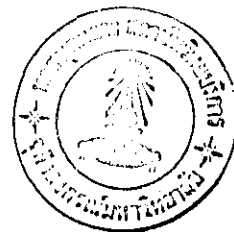


บทที่ 4 ผลการทดลอง



4.1 การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัด

ในการแสดงผลการกระจายของความดันรวมในหน้าตัดใด ๆ และการกระจายความดันรวมบนระนาบที่ขนานกับผนังด้านข้างของท่อตลอดความยาว $60D$ นั้น จะแสดงโดยเส้น contour ของตัวแปรไร้มิติ C_p ซึ่งนิยามโดย

$$C_p = \frac{(P_o - \overline{P}_{o,ref})}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

- โดยที่ P_o คือ ความดันรวมที่วัดได้ภายในหน้าตัดของการไหล
 $\overline{P}_{o,ref}$ คือ ค่าความดันรวมเฉลี่ย ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความดันรวมทั้งหมด 112 จุดที่วัดภายในหน้าตัดที่ $x/D = -2$
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ
 U คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล โดยกำหนดให้มีค่าประมาณเท่ากับค่าความเร็วสม่ำเสมอที่วัดที่หน้าตัด $x/D = -2$

ในการทดลองการไหลในท่อเปล่าและการไหลผ่านแฉกเปเปอร์ ความดันรวมจะมีค่าลดลงตามระยะทางการไหล เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานจากการไหลผ่านแฉกเปเปอร์ และจากแรงเสียดทานที่ผนังท่อ จึงทำให้ความดันรวมมีค่าลดลงตามระยะทางในการไหล ดังนั้น เส้น contour ของค่า C_p ในทุกกรณีทดลอง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.12 (ยกเว้นรูปที่ 4.4 ถึง 4.6) จะมีค่าเป็นลบทั้งหมด และจะมีค่าเป็นลบเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางในการไหล

4.1.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของการไหลในกรณีของการไหลภายในท่อเปล่า โดยแสดงในรูปของ contour ของ C_p ซึ่งนิยามตามที่เขียนไว้ในตอนต้นพบว่า

ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของความเร็วของการไหลของอากาศก่อนที่จะเริ่มมีการพัฒนาต่อไป สำหรับการสร้างเส้น contour จะใช้ค่าระดับความต่างของเส้นเท่ากับ 0.2

ซึ่งมากกว่าค่า uncertainty ของ C_p ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 และกำหนดให้ความดันรวมที่ผนังท่อทั้งสี่ด้านมีค่าเท่ากับค่าความดันสถิตเฉลี่ยที่วัดได้ภายในหน้าตัด ดังนั้นจะพบว่า ความดันรวมที่กระจายอยู่ในหน้าตัดดังกล่าวนี้จะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั่วทั้งหน้าตัดของการไหล ส่วนการที่เส้น contour ที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดทางด้านบนและล่างอยู่ห่างจากผนังมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับด้านข้างทั้งสองด้านนั้นมีสาเหตุมาจาก ในการทดลองจะวัดความดันรวมเฉพาะที่ผนังทางด้านข้างเท่านั้น ดังนั้นจึงขาดข้อมูลของความดันรวมที่ผนังทางด้านบนและล่าง ทำให้ contour ที่ได้เกิดจากการประมาณค่าภายในช่วง (interpolation) จากค่าที่ผนังถึงค่าความดันรวมที่วัดได้ในแถวแรกและแถวสุดท้ายของการวัด จึงทำให้เส้น contour ที่ด้านบนและล่างอยู่ห่างจากผนังเกินความเป็นจริง

ที่ $x/D = 1$ พบว่าบริเวณที่มีความดันสม่ำเสมอ (เส้น contour = 0) จะมีขนาดลดลงโดยที่บริเวณด้านขวาของท่อจะมีขนาดลดลงอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาทางด้านซ้ายมือ ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงถึงความผิดปกติบางประการ กล่าวคือโดยปกติแล้วการพัฒนาของ contour ควรจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันจากผนังทั้งสองด้าน อันเป็นผลมาจากการโตของ boundary layer ดังนั้นการพัฒนาการไหลที่ผิดปกตินี้จะต้องเป็นผลมาจากสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในการไหล ซึ่งก็คือความไม่เรียบที่บริเวณรอยต่อของผนังทางด้านขวามือภายในท่อทดสอบ รอยต่อดังกล่าวอยู่ห่างจากระยะ $x/D = -2$ เล็กน้อย และมีลักษณะอื่นเข้าไปในท่อ ดังนั้นการไหลของอากาศภายในท่อจึงเสมือนเป็นการไหลไปชนกับ forward facing step จึงเป็นผลทำให้เกิดการ separation ขึ้นทางด้านขวามือของท่อ จึงทำให้ contour มีลักษณะบิดเบี้ยวไปตามที่ปรากฏ

ที่ $x/D = 2$ ถึง 10 พบว่า เส้น contour ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงถึง inviscid core ที่ปรากฏในหน้าตัด มีแนวโน้มที่จะมีขนาดลดลงไปตามลำดับ อันเป็นผลจาก boundary layer มีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งที่ $x/D = 12$ จะพบว่าเส้น contour ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์หายไป จึงแสดงว่าที่ตำแหน่ง x/D ประมาณ 10 ถึง 12 เป็นช่วงที่ boundary layer ที่เกิดขึ้นจากผนังทั้งสองด้านของท่อมาบรรจบกัน จึงทำให้บริเวณที่มีเส้น contour ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์หายไปนั่นเอง ซึ่งหมายความว่าตั้งแต่ที่ระยะ $x/D = 12$ เป็นต้นไป การไหลภายในหน้าตัดจะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของความหนืดอันเกิดจากความเสียดทานของผนังท่อ นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่า ที่ $x/D = 12$ ลักษณะของ contour ที่ปรากฏจะมีความสมมาตรในหน้าตัด และการพัฒนาของ contour ในหน้าตัดถัดไปก็จะมีลักษณะของการพัฒนาเป็นไปแบบสมมาตรเช่นกัน โดยที่ $x/D = 12$ ถึง $x/D = 16$ ความดันรวมที่กระจายในหน้าตัดจะมีค่าประมาณเท่ากัน รวมถึงลักษณะการกระจายของความดันรวมก็มีลักษณะเดียวกัน จึงทำให้ลักษณะการกระจายตัวของความดันมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และตั้งแต่ตำแหน่ง $x/D = 20$ เป็นต้นไป จะพบว่า ความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากหน้าตัดหนึ่งสู่อีกหน้าตัดหนึ่ง ซึ่ง

สังเกตได้จาก บริเวณที่มีความดันรวมสูงสุดภายในหน้าตัด ซึ่งอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีขนาดเล็ก และหายไปในที่สุดภายในหน้าตัดถัดๆ ไป

จากลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในแต่ละหน้าตัดดังที่ได้อธิบายในข้างต้น เมื่อนำมาสร้างเป็น contour แสดงการกระจายของความดันรวม (C_p) บนระนาบที่ขนานกับผนังด้านข้าง (ซ้าย-ขวา) ของท่อ ตลอดความยาว 60D ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 อันเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันรวมตลอดความยาวท่อ โดยที่รูปบนและรูปล่าง เป็นการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่ห่างจากผนังท่อด้านซ้ายและขวาด้านละ 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกว่า ระนาบซ้ายและระนาบขวาตามลำดับ ส่วนรูปกลางเป็นการแสดงการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่อยู่ในแนวกึ่งกลางท่อและขนานกับระนาบซ้าย-ขวาดังกล่าว

4.1.2. การไหลของอากาศผ่านแคมเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของการไหลในกรณีของการไหลของอากาศผ่านแคมเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30) โดยแสดงในรูปของ contour ของ C_p ซึ่งนิยามตามที่เขียนไว้ในตอนต้นพบว่า

ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของความเร็วของการไหลของอากาศ ก่อนที่จะไหลผ่านแคมเปอร์ จะพบว่าความดันรวมที่กระจายอยู่ในหน้าตัดนี้จะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั่วทั้งหน้าตัด ดังเช่นที่ $x/D = -2$ ในกรณี D0-0

ที่ $x/D = 1$ ในการพิจารณา contour ที่เกิดขึ้นในหน้าตัดนี้ (หรือแม้กระทั่งหน้าตัดแรก ๆ ที่อยู่ห่างจากแคมเปอร์ไม่มากนัก) จะต้องคำนึงถึงตำแหน่งของการวัดความดันรวมเป็นหลัก ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.6(ก) เพื่อป้องกันมิให้เกิดความเข้าใจผิดอันเนื่องมาจากเส้น contour ที่สร้างขึ้นจากการประมาณค่าภายในช่วงของโปรแกรม ดังนั้นจะพบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแคมเปอร์ การไหลจะแยกออกเป็น 2 ส่วนที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัด จึงทำให้การกระจายความดันรวมที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดมีค่าสูงทั้ง 2 บริเวณ แต่ความดันรวมที่ด้านล่างจะมีค่ามากกว่าที่ด้านบน ซึ่งจะแสดงให้เห็นในรูปของค่า C_p ที่ด้านล่างจะมีค่ามากที่สุดประมาณ -2 ส่วนด้านบนจะมีค่ามากที่สุดประมาณ -4 เท่านั้น สำหรับในบริเวณกึ่งกลางท่อซึ่งเป็นบริเวณที่แคมเปอร์ขวางการไหลของอากาศจะมีค่าความดันรวมต่ำที่สุดซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -8 กระจายอย่างสม่ำเสมอในบริเวณดังกล่าว ซึ่งถ้าพิจารณาระยะทางจากตำแหน่งที่เกิดความดันรวมสูงสุดทั้งทางด้านบนและด้านล่างของท่อจนถึงบริเวณที่มีความดันรวมต่ำสุดภายในหน้าตัด จะพบว่าเกรเดียนต์ของความดันรวมที่เกิดขึ้นทางด้านล่างจะมีค่ามากกว่าทางด้านบน โดยสาเหตุที่เกิดความดันรวมสูงสองบริเวณที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยการไหลผ่าน nozzle และ diffuser ดังแสดงในรูปที่

4.4 ทางด้านล่างหรือ nozzle นั้น จะพบว่า การไหลที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นลำเจ็ทเปรียบกับผนังด้านล่าง เรียกว่า wall jet ในลักษณะเดียวกัน การไหลด้านบนซึ่งมีลักษณะเป็นคิฟฟิวเซอร์ที่ไม่สมมาตรนั้น ก็จะเกิดเป็น wall jet เปรียบกับผนังด้านบน ส่วนเหตุผลที่ความดันรวมทางด้านนอซเซิลสูงกว่าทางด้านคิฟฟิวเซอร์นั้น คาดว่ามีเหตุผล 2 ประการคือ ประการที่ 1 จุดกำเนิดของเจ็ททางด้านบนนั้น (ปลายแผ่นแคมเปอร์ด้านบน) อยู่ upstream กว่าจุดกำเนิดของเจ็ททางด้านล่าง (ปลายแผ่นแคมเปอร์ด้านล่าง) ประมาณ $\sqrt{3}D/2$ ทำให้เกิดการสลายตัว (decay) ของความดันรวมก่อนเป็นระยะทางหนึ่ง ประการที่ 2 จากภาพถ่าย smoke-wire visualization ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 จะพบว่า stagnation streamline ที่นำมาสู่ stagnation point บนแผ่นแคมเปอร์จะอยู่สูงกว่าตำแหน่งกึ่งกลางท่อ แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณอากาศไหลผ่านแคมเปอร์ทางด้านนอซเซิลมากกว่าทางด้านคิฟฟิวเซอร์ ด้วยเหตุผลสองประการนี้ จึงทำให้ความดันรวมทางด้านนอซเซิลนั้นสูงกว่าทางด้านคิฟฟิวเซอร์

ที่ $x/D = 2$ จะมีบริเวณที่มีการกระจายของความดันรวมสูงสุดแยกออกเป็น 2 บริเวณที่ด้านบนและด้านล่างของท่อเช่นเดียวกับที่ $x/D = 1$ โดยที่ด้านล่างจะยังคงมีความดันรวมสูงสุดมากกว่าทางด้านบน ซึ่งพิจารณาได้จากค่า C_p สูงสุดที่ด้านล่างจะมีค่าประมาณ -2 ส่วนด้านบนจะมีค่าประมาณ -3 และยังพบว่าขนาดของพื้นที่ซึ่งมีความดันรวมสูงของทั้งด้านบนและด้านล่างจะมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น ทำให้บริเวณซึ่งมีความดันรวมต่ำสุดที่บริเวณตรงกลางมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ ค่าความดันรวมต่ำสุดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับหน้าตัดที่แล้ว ซึ่งพิจารณาได้จาก C_p ต่ำสุดที่ $x/D = 1$ มีค่าประมาณ -8 แต่ที่ $x/D = 2$ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น -7 สาเหตุของการขยายตัวของบริเวณความดันรวมสูงทางด้านบนและล่าง และการเพิ่มขึ้นของความดันรวมบริเวณตรงกลาง สามารถอธิบายได้จาก การดึงเอาอากาศรอบข้างมาผสมของลำเจ็ท (Entrainment and Mixing) ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวของลำเจ็ทและการแผ่ขยายของบริเวณความดันสูง

ที่ $x/D = 3$ พบว่าบริเวณซึ่งมีความดันรวมสูงสุดจะยังคงแยกออกเป็น 2 บริเวณที่ด้านบนและด้านล่างของท่อ โดยที่ค่าความดันรวมสูงสุดที่วัดได้ทั้งทางด้านบนและด้านล่างจะมีค่าเท่ากันคือมีค่า C_p ประมาณ -3.5 แต่สังเกตเห็นว่าที่ด้านล่างจะมีขนาดของพื้นที่ที่มีค่าความดันรวมสูงสุดกว้างกว่าทางด้านบน และจะยังสังเกตเห็นอย่างชัดเจนอีกว่าที่หน้าตัดนี้บริเวณซึ่งมีความดันสูงของทั้งทางด้านบนและด้านล่างจะขยายใหญ่ขึ้นจนถึงประมาณกึ่งกลางท่อ ทำให้บริเวณกึ่งกลางท่อซึ่งเดิมเคยเป็นบริเวณที่มีค่าความดันต่ำสุดในหน้าตัดมีค่าความดันรวมเพิ่มขึ้นอย่างมาก และยังแสดงให้เห็นว่าอากาศซึ่งแยกไหลมาทางด้านบนและด้านล่างของท่อเริ่มที่จะไหลเข้ามาบรรจบกันที่กึ่งกลางท่อ ณ หน้าตัดนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของความดันรวมที่กระจายภายในหน้าตัดเริ่มที่จะมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ผ่าน ๆ มา

ที่ $x/D = 4$ พบว่าลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะแตกต่างจากที่ $x/D = 3$ เป็นอย่างมาก กล่าวคือ ที่หน้าตัดนี้จะมีบริเวณซึ่งมีความดันรวมสูงสุดเพียงแห่งเดียว คือที่บริเวณด้านนอชเชิต (ด้านล่าง) ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -3.6 ส่วนที่บริเวณด้านบนของท่อจะมีการกระจายความดันรวมที่แสดงออกมาในลักษณะที่คล้ายโคม และการกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าที่ $x/D = 3$ โดยสังเกตได้จากค่าความแตกต่างระหว่างความดันรวมสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะมีค่าน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด (ประมาณ 2 เท่า) และจากลักษณะการพัฒนาของความดันรวมที่เกิดขึ้นในหน้าตัดนี้ แสดงได้ว่า การไหลซึ่งแยกตัวออกเป็นลำเจ็ททางด้านบนและด้านล่างหลังแผ่นแคมเปอร์ จะมารวมตัวกันในหน้าตัดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จึงกล่าวได้ว่าที่ $x/D = 4$ เป็นหน้าตัดที่การไหลรวมตัวกันกลายเป็น main flow เพียงชุดเดียวที่กระจายอยู่เต็มทั้งหน้าตัดการไหล

ที่ $x/D = 5$ พบว่าลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้นกว่าที่ $x/D = 4$ ดังจะสังเกตได้จาก ความแตกต่างของความดันรวมสูงสุดและต่ำสุดในหน้าตัดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะยังคงอยู่ก่อนมาบริเวณด้านล่างเช่นเดิม แต่ถ้าพิจารณาการกระจายความดันรวมจาก $x/D = 4$ ถึง $x/D = 5$ จะพบว่าบริเวณด้านล่างซึ่งมีค่าความดันรวมสูงกว่าจะขยายตัวสู่ด้านบนซึ่งมีความดันรวมต่ำกว่า

ที่ $x/D = 6$ พบว่า การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับที่ $x/D = 5$ โดยที่ความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะอยู่ที่บริเวณด้านล่าง ซึ่งมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -3.8 และเมื่อการไหลพัฒนามาถึงที่ $x/D = 7$ จะพบว่าบริเวณซึ่งมีความดันรวมสูงสุด ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -3.8 จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ $x/D = 6$ และหายไปที่ $x/D = 8$

ที่ $x/D = 8$ พบว่าการกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีความสม่ำเสมอเป็นอย่างมาก โดยมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -4 และจะสังเกตได้ว่าลักษณะของเส้น contour ที่ปรากฏจะมีลักษณะที่สมมาตรภายในหน้าตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นทางด้านล่างของท่อภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแผ่นแคมเปอร์ จะแสดงอิทธิพลให้เห็นจนกระทั่งถึงตำแหน่ง $x/D = 7$ และนอกจากนี้พบว่าที่ $x/D = 9$ ถึง 12 การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก และคล้ายคลึงกับที่ $x/D = 8$ แสดงให้เห็นว่า การไหลในช่วง $x/D = 8-12$ กำลังมีการปรับตัวของการไหลที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของการผสมกันของเจ็ทสู่ลักษณะของการไหลภายในท่อ ดังจะเห็นได้จาก การเริ่มพัฒนาสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ตั้งแต่หน้าตัด $x/D = 14$ เป็นต้นไป

ที่ $x/D = 14$ เป็นต้นไปพบว่าค่าความดันรวมที่กระจายในหน้าตัดเริ่มที่จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งและเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสังเกตได้จากเส้น contour ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นภายใน

หน้าตัดจะมีขนาดเล็กลงไปตามลำดับจนกระทั่งหายไป ในขณะที่การไหลพัฒนาเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที

จากลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในแต่ละหน้าตัด เมื่อนำมาสร้างเป็น contour แสดงการกระจายของความดันรวม (C_p) บนระนาบที่ขนานกับผนังด้านข้าง (ซ้าย-ขวา) ของท่อตลอดความยาว 60D ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 อันเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันรวมตลอดความยาวท่อ โดยที่รูปบนและรูปล่าง เป็นการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่ห่างจากผนังท่อด้านซ้ายและขวาด้านละ 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกว่า ระนาบซ้ายและระนาบขวาตามลำดับ ส่วนรูปกลางเป็นการแสดงการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่อยู่ในแนวกึ่งกลางท่อและขนานกับระนาบซ้าย-ขวาเช่นเดียวกับกรณี D0-0 แต่ในการสร้าง contour ในกรณีของ D1-30 นี้ จะแบ่งช่วงความยาวในการแสดงออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่หนึ่ง $x/D = 1$ ถึง 10 (ภาพด้านซ้าย) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและกลไกของการพัฒนาของความดันรวมในช่วงแรกภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ ดังที่ได้อธิบายในข้างต้น ซึ่งจะเห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันรวมเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่สอง ซึ่งอยู่ในช่วง $x/D = 12$ ถึง 60 (ภาพด้านขวา) ความดันรวมของการไหลจะค่อย ๆ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามความยาวท่อ

4.1.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของการไหลในกรณีของการไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45) โดยแสดงในรูปของ contour ของ C_p

ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของความเร็วของการไหลของอากาศก่อนที่จะไหลผ่านแฉกเปอร์ พบว่าความดันรวมที่กระจายอยู่ในหน้าตัดนี้จะมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด

ที่ $x/D = 2$ พบว่าการไหลจะแยกตัวออกเป็นสองส่วน ทางด้านบนและด้านล่างของหน้าตัด ทำให้ความดันรวมที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดมีค่าสูงทั้ง 2 บริเวณ โดยความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่างจะมีค่าเท่ากันคือมีค่า C_p ประมาณ -22 แต่ที่ด้านล่างจะสังเกตเห็นว่าบริเวณที่มีความดันรวมสูงสุดจะแยกเป็น 2 บริเวณทางด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนที่บริเวณกลางท่อซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่หลังแผ่นแฉกเปอร์จะมีค่าความดันรวมต่ำสุด ซึ่งคิดเป็นค่า C_p ประมาณ -30 กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณดังกล่าว

ที่ $x/D = 4$ พบว่าลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะแตกต่างจากที่ $x/D = 2$ เป็นอย่างมาก กล่าวคือจะเหลือบริเวณที่ค่าความดันรวมสูงสุดที่ด้านล่างเท่านั้น ส่วนด้าน

บนความดันรวมจะค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยมีลักษณะเป็นแอ่งตรงกลางหน้าตัด ข้อที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งก็คือ บริเวณที่มีความดันรวมสูงด้านข้างทั้งสองบริเวณ (ซ้ายและขวา) จะมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ $x/D = 2$ โดยบริเวณที่มีความดันรวมสูงนี้จะขยายตัวออกมาทางผนังด้านข้าง ก่อให้เกิดเป็นแอ่งของความดันรวมต่ำที่บริเวณตรงกลาง และถ้าเปรียบเทียบกับ D1-30 ที่หน้าตัดเดียวกันก็จะพบว่า contour จะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือ contour ของ D1-30 จะมีลักษณะที่คล้ายโคม แต่ contour ของ D1-45 จะมีลักษณะเป็นแอ่งตรงกลาง

ที่ $x/D = 6$ พบว่า มีการขยายตัวของบริเวณความดันรวมสูงที่มุมด้านข้างทั้งสองได้ขึ้นตามผนังข้างทั้งสองด้านอย่างเห็นได้ชัด ทำให้บริเวณความดันรวมต่ำตรงกลางเป็นแอ่งที่มีความลึกมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน ปรากฏการณ์นี้ เมื่อมองจากซิกท้อด้านใดด้านหนึ่ง (ทางซ้ายหรือขวา) แสดงให้เห็นว่า มีการถ่ายเทอากาศที่มีความดันรวมสูงบริเวณตรงกลางลงสู่ด้านล่าง (ทำให้อากาศที่มีความดันรวมต่ำกว่าทางด้านบนไหลเข้ามาแทนที่ จึงเกิดเป็นแอ่งตรงกลาง) และต่อไปตามขอบผนังด้านล่าง ไหลย้อนกลับขึ้นด้านบนทางผนังข้าง ซึ่งลักษณะการเคลื่อนตัวของอากาศดังกล่าวเป็นลักษณะของ commonflow-down vortex pair ซึ่งจะอภิปรายในบทต่อไป นอกจากนี้แล้วจะพบว่า ความแตกต่างของการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าน้อยลง ซึ่งสังเกตได้จากระดับความแตกต่างความดันรวมสูงสุดและต่ำสุดที่แสดงใน contour มีค่าน้อยลงกว่าที่ $x/D = 4$ และลักษณะของ contour ก็จะแตกต่างจาก D1-30 ที่หน้าตัดเดียวกันอย่างเห็นได้ชัด

ที่ $x/D = 8$ พบว่า มีการรวมตัวกันของบริเวณความดันรวมสูงที่มุมด้านข้างทั้งสอง และมีการกระจายความดันรวมจากบริเวณที่มีความดันสูงทางด้านข้างของหน้าตัดไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่าทางด้านบน และที่บริเวณกึ่งกลางท่อน contour จะมีลักษณะเป็นแอ่ง แต่จะตื้นกว่าแอ่งที่เกิดขึ้นที่ $x/D = 6$ นอกจากนี้ยังพบว่า การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดก็จะมีค่าสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ผ่านมา

ที่ $x/D = 10$ การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้นตลอดทั่วทั้งหน้าตัด โดยมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -21.8 ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับ contour ซึ่งมีค่า -21.8 ที่ $x/D = 8$ และ 10 จะพบว่า มีลักษณะที่แตกต่างกันคือที่ $x/D = 8$ contour จะเป็นแอ่งที่ตรงกลาง แต่ที่ $x/D = 10$ contour จะมีลักษณะคล้ายโคม และจะมีลักษณะการกระจายของความดันรวมที่คล้ายคลึงกับกรณี D1-30 ที่ $x/D = 10$ เช่นกัน และที่ $x/D = 12$ พบว่าลักษณะของการกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าใกล้เคียงกับที่ $x/D = 10$ มาก และถ้าเปรียบเทียบกับกรณี D1-30 พบว่าที่ $x/D = 10$ เป็นต้นไป การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดเริ่มที่จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยสังเกตได้จาก contour ที่เกิดขึ้นของทั้งสองกรณี จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

ที่ $x/D = 14$ พบว่าลักษณะของ contour ที่ปรากฏจะมีความสมมาตรภายในหน้าตัด โดยที่มีค่า C_p สูงสุดประมาณ -21.8 และขนาดของ contour ดังกล่าวจะมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดก่อนหน้านี้ และเมื่อพิจารณาที่หน้าตัดถัด ๆ ไป จะพบว่า contour ที่มีค่าสูงสุดภายในหน้าตัดจะมีขนาดเล็กลง และหายไปในที่สุด ซึ่งจะมีการพัฒนาเป็นไปในลักษณะนี้จนกระทั่งการไหลเข้าสู่ภาวะพัฒนาเต็มที่

จากลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในแต่ละหน้าตัด เมื่อนำมาสร้างเป็น contour แสดงการกระจายของความดันรวม (C_p) บนระนาบที่ขนานกับผนังด้านข้าง (ซ้าย-ขวา) ของท่อ ตลอดความยาว $60D$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 อันเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันรวมตลอดความยาวท่อ โดยที่รูปบนและรูปล่าง เป็นการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่ห่างจากผนังท่อด้านซ้ายและขวาด้านละ 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกว่า ระนาบซ้ายและระนาบขวา ตามลำดับ ส่วนรูปกลางเป็นการแสดงการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่อยู่ในแนวกึ่งกลางท่อและขนานกับระนาบซ้าย-ขวา และในการสร้าง contour ในกรณี D1-45 จะแบ่งช่วงความยาวในการแสดงออกเป็น 2 ช่วงเช่นเดียวกับกรณี D1-30 คือ ช่วงที่หนึ่ง $x/D = 1$ ถึง 10 (ภาพด้านซ้าย) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและกลไกของการพัฒนาของความดันรวมในช่วงแรกภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ซึ่งแตกต่างจากกรณี D1-30 ดังที่ได้อธิบายในข้างต้น และในช่วงที่สอง ซึ่งอยู่ในช่วง $x/D = 12$ ถึง 60 (ภาพด้านขวา) ความดันรวมของการไหลจะค่อย ๆ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามความยาวท่อ เช่นเดียวกับกรณี D1-30

4.1.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของการไหล ในกรณีของการไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45) โดยแสดงในรูป contour ของ C_p

ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของความเร็วของการไหลของอากาศก่อนที่จะไหลผ่านแฉกเปอร์ พบว่าความดันรวมที่กระจายอยู่ในหน้าตัดนี้จะมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด

ที่ $x/D = 1$ พบว่าบริเวณความดันรวมสูงและต่ำแยกกันอย่างชัดเจนตามแนวกึ่งกลางท่อแบ่งออกเป็นด้านบนและล่าง โดยบริเวณความดันรวมต่ำจะอยู่ด้านบน และบริเวณความดันสูงจะอยู่ด้านล่าง ข้อที่น่าสังเกตก็คือ บริเวณความดันรวมสูงด้านล่างยังแบ่งออกเป็น 2 layer คือ ที่ประมาณ 40 มิลลิเมตร จากด้านล่างจะมี layer ของบริเวณความดันรวมสูงยาวตลอดแนวท่อซ้าย-ขวา โดยมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -4 ส่วน layer ที่สอง จะอยู่ด้านล่างมาที่ประมาณ 20 มิลลิเมตร วัดจากด้านล่าง

ซึ่งใน layer นี้จะพบอีกว่า บริเวณความดันรวมสูงจะถูกแบ่งออกเป็นด้านซ้ายและขวาคล้ายกับกรณี D1-45 โดยมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -2 ซึ่งมีค่ามากกว่า layer บน

ที่ $x/D = 2$ พบว่า จะเกิดการรวมตัวกันของ layer ความดันรวมสูงทั้งสอง layer เกิดเป็นแนวของบริเวณความดันรวมสูงแนวเดียวทางด้านล่างของหน้าตัด โดยมีค่า C_p ประมาณ -3 และเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ $x/D = 1$ จะพบว่าความดันสูงสุดในหน้าตัดนี้จะมีค่าน้อยกว่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดที่แล้ว แต่บริเวณซึ่งมีความดันต่ำทางด้านบนของหน้าตัดนี้จะมีค่าความดันรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ $x/D = 1$ โดยค่า C_p ที่มีค่าต่ำสุดทางด้านบนจะมีค่าประมาณ -9

ที่ $x/D = 3$ พบว่าความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดจะอยู่ที่บริเวณด้านล่างของหน้าตัด ส่วนที่บริเวณด้านบนก็ยังคงเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำสุดภายในหน้าตัดและสำหรับความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะมีค่าลดลง แต่บริเวณความดันต่ำสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดที่ผ่านมาซึ่งค่า C_p สูงสุดและต่ำสุดจะมีค่าประมาณ -4 และ -8 ตามลำดับ การลดลงของผลต่างของ C_p สูงสุดและต่ำสุดนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ $x/D = 2$ แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความดันรวมที่สม่ำเสมอมากขึ้น

ที่ $x/D = 4$ พบว่าเริ่มมีการขยายตัวของบริเวณความดันรวมสูงทางด้านล่างแผ่กระจายขึ้นสู่ด้านบน โดยมีค่าผลต่างระหว่างค่า C_p สูงสุดและต่ำสุดลดลง

ที่ $x/D = 5$ พบว่าเกิดการขยายตัวของบริเวณความดันรวมสูงจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ดังเช่นที่ $x/D = 4$ โดยบริเวณความดันรวมต่ำทางด้านบนเริ่มมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ดังจะสังเกตได้จากบริเวณความดันรวมสูงด้านบนของหน้าตัด $x/D = 4$ หายไปจากหน้าตัดนี้

ที่ $x/D = 6$ พบว่าการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าหน้าตัดที่ผ่านมา โดยที่บริเวณด้านล่างเป็นบริเวณซึ่งมีความดันรวมสูงสุด ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -5.2 โดยในส่วนที่มีความดันสูงจะขยายตัวไปยังส่วนที่มีความดันต่ำซึ่งอยู่ทางด้านบนของท่อ โดยลักษณะการขยายตัวของเส้น contour จะมีลักษณะคล้ายกับโคม นอกจากนี้ยังเห็นได้อย่างชัดเจนว่า main flow ที่ไหลอยู่ภายในหน้าตัดนี้ได้กระจายเต็มทั่วทั้งหน้าตัดของการไหลแล้ว

ที่ $x/D = 7$ พบว่าบริเวณด้านล่างของท่อยังคงเป็นบริเวณที่มีความดันรวมสูงสุดภายในหน้าตัดซึ่งมีค่า C_p สูงสุดประมาณ -5.4 ความดันรวมก็ยังคงมีการกระจายจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำทางด้านบนตามทิศทางของเกรเดียนท์ของความดันที่เกิดขึ้น

ที่ $x/D = 8$ พบว่า contour ของการกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีลักษณะค่อนข้างสมมาตรที่บริเวณกลางท่อ ค่า C_p สูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะมีค่าประมาณ -5.6 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า C_p สูงสุดที่ $x/D = 7$

ที่ $x/D = 9$ พบว่าขนาดของ contour ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่บริเวณกลางท่อ ($C_p = -5.6$) จะมีขนาดเล็กและลักษณะของ contour ที่ปรากฏก็ค่อนข้างที่จะมีความสมมาตรภายในหน้าตัด

ที่ $x/D = 10$ พิจารณาที่เส้น contour ซึ่งมีค่า $C_p = -5.8$ พบว่า เส้นด้านล่างของ contour ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเลื่อนขึ้นสู่ด้านบนของท่อ และความดันรวมภายในหน้าตัดจะค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ

ที่ $x/D = 12$ พบว่าค่าของการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าเท่ากับที่ $x/D = 10$ แต่จะพบว่าที่ด้านล่างของเส้น contour ซึ่งมีค่า $C_p = -5.8$ จะเลื่อนขึ้นสู่ทางด้านบนเพิ่มมากขึ้น โดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อย่างชัดเจนในหน้าตัดที่ $x/D = 14$ และ 16 นอกจากนี้ถ้าพิจารณาในแง่ของค่าความดันรวมที่กระจายในหน้าตัดจะพบว่าที่ $x/D = 10$ ถึง 16 จะมีค่าความดันรวมเท่ากัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงขนาดของ contour ที่มีค่าสูงสุดในหน้าตัดเท่านั้น

ที่ $x/D = 20$ พบว่า ลักษณะของ contour ที่ปรากฏจะมีความสมมาตรอีกครั้งและภายในหน้าตัดจะมีความดันค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยที่ค่า C_p สูงสุดจะมีค่าประมาณ -6 และในหน้าตัดถัดไป การพัฒนาของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะเป็นไปอย่างสมมาตร โดยความดันรวมภายในหน้าตัดจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่การไหลเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่

จากลักษณะของการกระจายของความดันรวมภายในแต่ละหน้าตัด เมื่อนำมาสร้างเป็น contour แสดงการกระจายของความดันรวม (C_p) บนระนาบที่ขนานกับผนังด้านข้าง (ซ้าย-ขวา) ของท่อ ตลอดความยาว $60D$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 อันเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันรวมตลอดความยาวท่อ โดยที่รูปบนและรูปล่าง เป็นการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่ห่างจากผนังท่อด้านซ้ายและขวาด้านละ 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกว่า ระนาบซ้ายและระนาบขวา ตามลำดับ ส่วนรูปกลางเป็นการแสดงการกระจายของความดันรวมบนระนาบที่อยู่ในแนวกึ่งกลางท่อและขนานกับระนาบซ้าย-ขวา และในการสร้าง contour ในกรณี D3-45 จะแบ่งช่วงความยาวในการแสดงออกเป็น 2 ช่วงเช่นเดียวกับกรณี D1-30 และ D1-45 คือ ช่วงที่หนึ่ง $x/D = 1$ ถึง 10 (ภาพด้านซ้าย) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายของความดันรวมจากด้านล่าง(นอซเซิล) ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่ด้านบน(คิฟฟิวเซอร์) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า จนกระทั่งมีการกระจายความดันรวมได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดก่อนที่จะมีการพัฒนาต่อไปในช่วงที่สอง ซึ่งอยู่ในช่วง $x/D = 12$ ถึง 60 (ภาพด้านขวา) ความดันรวมของการไหลจะค่อย ๆ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามความยาวท่อ เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในกรณี D1-30 และ D1-45

4.1.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเพอร์ซนิก 3 แผ่นมุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของการไหลในกรณีของการไหลของอากาศผ่านแฉกเพอร์ซนิก 3 แผ่น 30 องศา (D3-30) โดยแสดงในรูปของ contour ของ C_p (ซึ่งในกรณีนี้จะทำการวัดความดันรวมที่เฉพาะบางหน้าตัดเท่านั้น)

ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของความเร็วของการไหลของอากาศก่อนที่จะไหลผ่านแฉกเพอร์ พบว่าความดันรวมที่กระจายอยู่ในหน้าตัดนี้จะมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด และเมื่ออากาศไหลผ่านแฉกเพอร์ การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัดด้านๆ ก็น่าที่จะมีลักษณะคล้ายกับกรณี D3-45 คือ main flow จะแยกไหลไปตามช่องว่างระหว่างแฉกเพอร์ลงมาอยู่ที่บริเวณด้านล่างของหน้าตัด ดังนั้น main flow ในหน้าตัดแรกๆ จึงยังไม่กระจายเต็มหน้าตัดของการไหล

ที่ $x/D = 5$ พบว่าบริเวณที่มีความดันรวมสูงสุดจะอยู่ทางด้านล่างของท่อ โดยค่า C_p สูงสุดจะมีค่าประมาณ -1.2 ส่วนที่บริเวณด้านบนของท่อจะมีความดันต่ำกว่าทางด้านล่าง และมี main flow เพียงชุดเดียวซึ่งได้กระจายทั่วทั้งหน้าตัดของการไหลแล้ว

ที่ $x/D = 7$ พบว่า ค่าความดันรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะยังคงอยู่ที่บริเวณด้านล่างของท่อ แต่ค่า C_p สูงสุดซึ่งมีค่าประมาณ -1.4 จะมีค่าต่ำกว่าที่หน้าตัด $x/D = 5$ และความดันรวมจะกระจายจากบริเวณที่มีความดันสูง ไปสู่บริเวณที่มีความดันต่ำกว่าทางด้านบนของท่อ

ที่ $x/D = 9$ พบว่าถึงแม้ค่าความดันรวมสูงสุด จะมีค่าเท่ากับที่ $x/D = 7$ แต่บริเวณที่มีความดันรวมสูงสุดในกรณีนี้จะมีขนาดเล็กกว่า โดยยังคงมีการกระจายความดันรวมซึ่งมีค่ามากจากบริเวณด้านล่างของหน้าตัดสู่บริเวณด้านบนซึ่งมีความดันรวมต่ำกว่า

ที่ $x/D = 16$ พบว่าลักษณะของ contour ที่ปรากฏจะมีลักษณะที่ค่อนข้างจะสมมาตรมากกว่าหน้าตัดที่อยู่ใกล้แฉกเพอร์มากกว่า และหลังจากตำแหน่งนี้เป็นต้นไปจะพบว่าการพัฒนาของ contour ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างสมมาตรโดยความดันรวมที่กระจายในการไหลจะมีค่าลดลงไปอย่างต่อเนื่องในขณะที่การไหลพัฒนาเข้าสู่ภาวะพัฒนาเต็มที่

4.2 ความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด

ในการแสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมในหน้าตัดใด ๆ นั้น จะแสดงโดยเส้น contour ของตัวแปรไร้มิติ ϵ_p ซึ่งนิยามโดย

$$\varepsilon_{p_0} = \frac{P_0 - \overline{P_0}}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

โดยที่ P_0 คือ ค่าความดันรวมที่วัดได้ภายในหน้าตัดของการไหล
 $\overline{P_0}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความดันรวมที่หน้าตัดใดๆ
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ
 U คือ ค่าความเร็วสม่ำเสมอที่หน้าตัด $x/D = -2$

ดังนั้น ε_{p_0} จึงเป็นค่าที่แสดงถึงความดันรวมที่แต่ละตำแหน่งที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของความดันรวมที่หน้าตัดนั้นๆ เปรียบเทียบกับค่าความดันไดนามิกของการไหล โดยเส้นที่บ่งชี้ที่แสดงใน contour จะแสดงถึงค่าที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ส่วนเส้นประแสดงถึงค่าลบที่เกิดขึ้น

4.2.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.13 เป็น contour แสดงค่าความแตกต่างความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดกรณี D0-0 โดยจะแสดงในรูปของตัวแปรไร้มิติ ε_{p_0} ซึ่งนิยามดังนี้

ที่ $x/D = -2$ พบว่า ความดันรวมที่กระจายในหน้าตัดมีลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด โดยจะพบว่าค่าความดันรวมและค่าความดันรวมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้ค่า ε_{p_0} มีค่าสูงสุดประมาณศูนย์และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไปที่ $x/D = 1$ ถึง 6 boundary layer ก็จะมีขนาดที่โตมากขึ้น จึงทำให้ที่บริเวณผนังทั้งสี่ด้านมีบริเวณของค่าความดันรวมที่น้อยกว่าความดันรวมเฉลี่ยในหน้าตัดเพิ่มมากขึ้น

ที่ $x/D = 7$ พบว่าบริเวณซึ่งมีความดันรวมสูงจะเกิดขึ้นที่บริเวณก่อนไปทางซ้ายของหน้าตัด ซึ่งเป็นผลมาจาก forward facing step ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.1.1 โดยบริเวณที่มีความดันรวมสูงนี้ ($\varepsilon_{p_0} = 0.2$) จะเริ่มขยายพื้นที่ไปทางด้านขวาของหน้าตัดที่ตั้งแต่ $x/D = 8$ ถึง 12 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าลักษณะของ contour ที่ปรากฏจะเริ่มมีความสมมาตรในหน้าตัดเพิ่มมากขึ้นและที่ $x/D = 14$ เป็นต้นไปจะพบว่า contour ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่เมื่อการไหลเริ่มพัฒนาเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ โดยมีค่า ε_{p_0} สูงสุดประมาณ 0.2

4.2.2. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.14 เป็น contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดกรณี D1-30 โดยแสดงในรูปของ ε_{p_0} พบว่า ที่ $x/D = -2$ เป็นหน้าตัดซึ่งมีการกระจายของ

ความดันรวมอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงทำให้ค่าความดันภายในหน้าตัดไม่แตกต่างกันมากนัก \mathcal{E}_{P_0} จึงมีค่าประมาณศูนย์

ที่ $x/D = 1$ พบว่าที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดซึ่งเป็นบริเวณที่มีความดันสูง จะมีค่าความแตกต่างของความดันรวมมากกว่าค่าเฉลี่ยในหน้าตัดเป็นอย่างมาก โดยที่ด้านบนจะมีค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดประมาณ 4 ส่วนด้านล่างจะมีค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดมากกว่าด้านบน โดยมีค่าประมาณ 6 ส่วนที่บริเวณกลางๆหน้าตัด จะมีความดันรวมต่ำกว่าค่าความดันรวมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัด โดยมีค่า \mathcal{E}_{P_0} ประมาณ -2

ที่ $x/D = 2$ พบว่าความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดจะมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยน้อยลง โดยจะสังเกตได้ว่าค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดที่เกิดขึ้นทางด้านบนจะมีค่าลดลงจากหน้าตัดที่แล้วเท่ากับ 2 และสำหรับด้านล่างก็จะมีค่า \mathcal{E}_{P_0} ลดลงเช่นเดียวกันโดยมีค่าลดลงเท่ากับ 3 ในขณะที่บริเวณกลางๆท่อดึงแม้ค่า \mathcal{E}_{P_0} จะมีค่าต่ำสุดประมาณ -2 เท่าเดิม แต่จะสังเกตเห็นว่าบริเวณที่มีความดันต่ำนี้จะมึขนาดที่เล็กลงเมื่อเทียบกับหน้าตัดที่ผ่านมา

ที่ $x/D = 3$ พบว่าที่บริเวณที่มีความดันสูงทั้งด้านบนและด้านล่างจะมีพื้นที่ขยายใหญ่ขึ้น โดยความดันรวมที่เกิดขึ้นในหน้าตัดจะมีค่าเข้าใกล้กับค่าเฉลี่ยของความดันรวมภายในหน้าตัดเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการไหลจะปรับตัวเพื่อทำให้การไหลมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยที่ด้านบนจะมีค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดเหลือเพียง 0.5 ส่วนด้านล่างจะมีค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดประมาณ 1 สำหรับบริเวณตรงกลางหน้าตัดก็จะมีค่าความดันรวมต่ำกว่าค่าความดันเฉลี่ยเหมือนหน้าตัดที่ผ่านมา โดยมีค่า \mathcal{E}_{P_0} ต่ำสุดประมาณ -0.7

ที่ $x/D = 4$ และ 5 ซึ่งเป็นหน้าตัดที่ main flow ไหลมารวมกันเป็นบริเวณเดียวแล้ว พบว่าที่บริเวณด้านล่างจะมีความดันรวมมากกว่าค่าความดันรวมเฉลี่ย โดยมีค่า \mathcal{E}_{P_0} สูงสุดประมาณ 0.2 ส่วนที่บริเวณกลางๆท่อดึงจะมีค่าความดันรวมใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย แต่ทางด้านบนค่าความดันรวมจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของความดันรวมในหน้าตัด แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าความดันรวมที่กระจายในหน้าตัดจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยในหน้าตัดมากกว่าทุกหน้าตัดที่อยู่หลังแผ่นแคมเปอร์ที่ผ่านมาในตอนต้น

ที่ $x/D = 6$ โดยเฉลี่ยแล้วจะพบว่าความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าประมาณเท่ากับค่าเฉลี่ยของความดันรวมที่เกิดขึ้น ยกเว้นที่บริเวณด้านบนซึ่งจะยังเป็นบริเวณที่มีค่าความดันรวมต่ำกว่าค่าความดันเฉลี่ย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อการไหลมีการพัฒนาต่อไป (ที่ $x/D = 7$ ถึง 9) จะพบว่า การกระจายความดันรวมจะเริ่มมีความสม่ำเสมอภายในหน้าตัดมากขึ้น จนกระทั่งที่ $x/D = 10$ พบว่านอกจากภายในหน้าตัดจะมีความดันค่อนข้างสม่ำเสมอเท่ากับค่าความดันเฉลี่ยแล้ว contour ที่เกิด

ขึ้นจะเริ่มมีความสมมาตรภายในหน้าตัดมากขึ้นด้วยเช่นกัน และยังคงพบว่า ที่ $x/D = 10$ ถึง 16 การกระจายตัวของค่าความแตกต่างของความดันรวมจะมีลักษณะที่คงที่

ที่ $x/D = 20$ พบว่าที่บริเวณกลางท่อจะมีค่าความดันรวมสูงกว่าค่าความดันรวมเฉลี่ยอีกครั้ง โดยมีค่า E_{p_0} สูงสุดประมาณ 0.2 จากนั้นเส้น contour ซึ่งมีค่า 0.2 ดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งที่ $x/D = 28$ เป็นต้นไป contour ที่ปรากฏ จะมีขนาดคงที่ตลอดความยาวท่อที่ทำการทดลอง

4.2.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.15 เป็น contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดกรณี D1-45 โดยสภาวะของการไหลที่ $x/D = -2$ มีลักษณะของการกระจายตัวของความดันอย่างสม่ำเสมอ

ที่ $x/D = 2$ พบว่าที่ด้านบนและด้านล่างของหน้าตัด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความดันสูง จะมีความแตกต่างของความดันรวมจากค่าเฉลี่ยทางด้านล่างมากกว่าด้านบน โดยที่ด้านล่างมีค่า E_{p_0} สูงสุดประมาณ 8 ส่วนด้านบนมีค่าประมาณ 6 และที่บริเวณหลังแฉกเปอร์จะมีค่า E_{p_0} ต่ำสุดซึ่งมีค่าประมาณ -2 และเป็นที่น่าสังเกตว่าที่ด้านล่างซึ่งมีค่า $E_{p_0} = 8$ จะแยกออกเป็น 2 ผัง ซึ่งอยู่บริเวณทางด้านซ้ายและขวาของหน้าตัดท่อ

ที่ $x/D = 4$ พบว่าบริเวณที่มีความดันรวมสูง กว่าค่าเฉลี่ยจะเหลืออยู่ที่บริเวณด้านล่างเท่านั้น โดยที่บริเวณด้านล่างทางด้านซ้ายและขวาจะยังคงเป็นบริเวณที่มีค่า E_{p_0} มากที่สุดซึ่งมีค่าประมาณ 2.5 และ 3 ตามลำดับ ส่วนบริเวณด้านบนจะมีค่าความดันรวมต่ำกว่าค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่า E_{p_0} ประมาณ -1 โดย contour จะมีลักษณะเป็นแอ่งตรงกลางเช่นเดียวกับ contour ซึ่งแสดงการกระจายความดันรวมในหัวข้อ 4.1.3

ที่ $x/D = 6$ พบว่าค่าความแตกต่างความดันรวมจากค่าเฉลี่ยจะมีค่าลดลง โดยที่บริเวณซึ่งมีค่าความดันรวมสูงจะมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น แต่ contour ก็ยังมีลักษณะเป็นแอ่งที่บริเวณตรงกลาง และที่บริเวณด้านบนก็ยังคงมีค่าความดันรมน้อยกว่าค่าความดันรวมเฉลี่ยของหน้าตัด จนกระทั่งที่ $x/D = 8$ ค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีค่าลดลง คือมีค่า E_{p_0} สูงสุดประมาณ 0.2 ส่วนด้านบนจะยังคงมีค่าความดันรวมต่ำกว่าค่าเฉลี่ย แต่จะมีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น

ที่ $x/D = 10$ พบว่าภายในหน้าตัดจะมีค่าความดันรวมใกล้เคียงกับค่าความดันรวมเฉลี่ยเกือบทั้งหน้าตัด และที่ $x/D = 12$ บริเวณที่มีค่าความดันรวมเท่ากับค่าเฉลี่ยจะมีการกระจายตัวอย่างสมมาตรครอบคลุมเกือบทั้งหน้าตัด และจะเห็นว่า contour แสดงการกระจายตัวของค่าความแตกต่างความดันรวม ตั้งแต่ $x/D = 12$ ถึง 18 จะมีลักษณะเช่นเดิม

ที่ $x/D = 20$ จะมีบริเวณที่มีค่าความดันรวมสูงกว่าค่าเฉลี่ยเกิดขึ้น โดยมีค่า \mathcal{E}_p สูงสุดประมาณ 0.2 และเส้น contour ดังกล่าวก็จะมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นจนกระทั่งที่ $x/D = 30$ เป็นต้นไป จะสังเกตเห็นว่า ลักษณะการกระจายตัวของค่าความแตกต่างของความดันรวมจากค่าเฉลี่ยจะมีลักษณะเช่นเดิม

4.2.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.16 เป็น contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัด กรณี D3-45 โดยมีสถานะเริ่มต้นของการไหลที่ $x/D = -2$ เป็นแบบความเร็วสม่ำเสมอ

ที่ $x/D = 1$ พบว่า ค่าความแตกต่างความดันรวมจากค่าเฉลี่ย ซึ่งมีค่าสูงจะมีสองบริเวณที่ประมาณครึ่งพื้นที่หน้าตัดทางด้านล่าง โดยมีค่า \mathcal{E}_p สูงสุดประมาณ 4 และ 5 ส่วนบริเวณด้านบนจะมีค่าความดันรวมต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งมีค่า \mathcal{E}_p ต่ำสุดประมาณ -3

ที่ $x/D = 2$ บริเวณที่มีค่าความดันรวมสูงจะรวมกันเป็นบริเวณเดียวซึ่งมีค่า \mathcal{E}_p สูงสุดประมาณ 4 ส่วนที่ด้านบนซึ่งมีความดันรวมน้อยกว่าค่าเฉลี่ย และจะมีค่า \mathcal{E}_p มากขึ้นเมื่อเทียบกับหน้าตัดที่ผ่านมา โดย \mathcal{E}_p ต่ำที่สุดจะมีค่าประมาณ -2 สำหรับตำแหน่งตั้งแต่ $x/D = 3$ เป็นต้นไป จะพบว่าที่ บริเวณด้านล่างซึ่งมีค่า \mathcal{E}_p สูงสุดนั้น จะมีค่าลดลงตามลำดับ และบริเวณด้านบนซึ่งมีค่า \mathcal{E}_p ต่ำที่สุด ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัด จนกระทั่งถึงตำแหน่ง $x/D = 9$ ถึง 20 จึงจะพบว่าความดันรวมภายในหน้าตัดจะมีลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอและมีค่าประมาณเท่ากับค่าความดันรวมเฉลี่ยเกือบทั้งหน้าตัด

ที่ $x/D = 24$ จะพบว่าที่บริเวณกลางท่อจะเริ่มมีความดันรวมมากกว่าค่าเฉลี่ยในหน้าตัด และจะค่อย ๆ ขยายบริเวณกว้างออกไปตามระยะทางการไหลจนกระทั่งที่ $x/D = 28$ เป็นต้นไป จะพบว่าลักษณะของ contour ที่ปรากฏ เริ่มที่จะมีขนาดคงที่ทุกหน้าตัดของการไหล

4.2.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.17 ซึ่งเป็น contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัด กรณี D3-30 โดยมีสถานะเริ่มต้นของการไหลที่ $x/D = -2$ เป็นแบบความเร็วสม่ำเสมอ

ที่ตำแหน่ง $x/D = 5$ จะพบว่าที่ด้านล่างของหน้าตัดจะเป็นบริเวณที่มีความดันรวมสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยมีค่า \mathcal{E}_p สูงสุดประมาณ 0.6 แต่ที่ด้านบนจะมีความดันรวมต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของความดันรวมในหน้าตัดและจะพบว่าถ้าเปรียบเทียบกับ D3-45 ที่เดียวกันนี้ จะพบว่า ถึงแม้ลักษณะของการ

กระจายของความแตกต่างความดันรวมจะคล้ายคลึงกัน แต่จะพบว่า ค่า ϵ_{p_0} สูงสุดในกรณีนี้ จะมีค่าน้อยกว่ากรณี D3-45 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.4

ที่ $x/D = 7$ และ 9 จะพบว่า ความดันรวมซึ่งมีค่าสูงที่บริเวณด้านล่างจะขยายตัวสู่บริเวณด้านบนของหน้าตัดซึ่งมีความดันต่ำกว่า จนกระทั่งภายในหน้าตัดมีการกระจายของความแตกต่างของความดันรวมมีลักษณะค่อนข้างสมมาตรเกิดขึ้นที่ $x/D = 16$ โดยจะมีค่า ϵ_{p_0} สูงสุดประมาณ 0.2 จากนั้น บริเวณที่มีค่าความแตกต่างความดันรวมสูงสุดดังกล่าวก็จะมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นจนกระทั่งมีขนาดคงที่ ซึ่งจะพบว่า ที่ $x/D = 44$ ถึง 60 มีลักษณะการกระจายของความแตกต่างความดันรวมจากค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และมีค่า ϵ_{p_0} สูงสุดประมาณ 0.2

4.3 การกระจายตัวของความดันรวมเฉลี่ย

ในการแสดงค่าการกระจายตัวของความดันรวมเฉลี่ยตามความยาวท่อในหน้าตัดใด ๆ นั้น จะแสดงผลโดย contour ของตัวแปรไร้มิติในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความดันรวมเฉลี่ย (\bar{C}_{p_0}) ซึ่งนิยามโดย

$$\bar{C}_{p_0} = \frac{\bar{P}_o - \bar{P}_{ref}}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

โดยที่ \bar{P}_o	คือ	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความดันรวมภายในหน้าตัด
\bar{P}_{ref}	คือ	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความดันรวมภายในหน้าตัด ที่ $x/D = -2$
U	คือ	ค่าความเร็วสม่ำเสมอของการไหล ซึ่งวัดที่ $x/D = -2$
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ

4.3.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.18 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของค่าความดันรวมเฉลี่ยกรณี D0-0 ในแต่ละหน้าตัด มีการลดลงในลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงตลอดระยะ $x/D = -2$ ถึง $x/D = 60$

4.3.2. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ซันิต 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.18 ในกรณี D1-30 พบว่า ความดันรวมเฉลี่ยที่ระยะ $x/D = -2$ ซึ่งมีค่า \bar{C}_{p_0} เท่ากับศูนย์ จะมีค่าลดลงเหลือประมาณ -6.3 ที่ระยะ $x/D = 1$ แต่ตำแหน่งที่มีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดต่ำสุดที่แท้จริงอาจจะยังไม่ใช่ที่ตำแหน่ง $x/D = 1$ เพราะว่าการทำการทดลองจะวัดความดัน

เพียงทุกระยะ 1D ในช่วงแรกเท่านั้น จึงคาดว่าตำแหน่งที่มีค่าความดันรวมเฉลี่ยต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วง $x/D = 0$ ถึง 2 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความดันรวมเฉลี่ยต่ำสุดที่วัดได้ดังกล่าวจะถือว่าเป็นความดันรวมเฉลี่ยต่ำสุดของการทดลอง

ภายหลังจากที่การไหลพัฒนาสู่ $x/D = 2$ ความดันรวมเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีค่าความดันรวมเฉลี่ยสูงสุดที่ $x/D = 4$ ซึ่งมีค่า $\bar{C}_{p,0}$ ประมาณ -3.9 หลังจากนั้นจะเริ่มมีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทางการไหล โดยมีลักษณะการลดลงเป็นเชิงเส้น คล้ายกับกรณี D0-0 ในขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่

4.3.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.19 พบว่า ความดันรวมเฉลี่ยจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก $x/D = -2$ ซึ่งมีค่า $\bar{C}_{p,0}$ เท่ากับศูนย์ จากนั้นค่าจะลดลงจนเหลือค่าประมาณเท่ากับ -28.6 ที่ระยะ $x/D = 2$ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการทดลอง ซึ่งในกรณี D1-45 นี้จะวัดความดันรวมทุก ๆ 2D ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีอื่น ๆ ที่จะวัดทุก 1D ในช่วง 10D แรก และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไปจะพบว่าที่ระยะหลัง $x/D = 2$ ความดันรวมเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าความดันรวมเฉลี่ยสูงสุดที่ $x/D = 6$ ซึ่งมีค่า $\bar{C}_{p,0}$ ประมาณ -21.7 จากนั้นความดันจะรักษาระดับอยู่ที่ประมาณค่าความดันรวมเฉลี่ยสูงสุดดังกล่าวในช่วงความยาวจาก $x/D = 6$ ถึง $x/D = 10$ หลังจากนั้นจะเริ่มมีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการกระจายตัวของความดันรวมเฉลี่ยในช่วงท้ายนี้จะมีแนวโน้มของการลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น

4.3.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.20 พบว่า ความดันรวมเฉลี่ยจะลดลงอย่างรวดเร็วจากค่า $\bar{C}_{p,0}$ เท่ากับศูนย์ ที่ตำแหน่ง $x/D = -2$ ไปสู่ค่าประมาณ -7.1 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการทดลองที่ตำแหน่ง $x/D = 1$ และเมื่อมีการไหลไปที่ $x/D = 2$ ความดันรวมเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีค่าความดันรวมเฉลี่ยสูงสุดที่ $x/D = 7$ ซึ่งมีค่า $\bar{C}_{p,0}$ ประมาณ -5.7 จากนั้น ความดันจะรักษาระดับอยู่ที่ประมาณค่าความดันรวมเฉลี่ยสูงสุดดังกล่าวในช่วง $x/D = 7$ ถึง 10 ก่อนที่จะเริ่มมีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการลดลงของความดันในช่วงท้ายนี้จะมีแนวโน้มของการลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น

4.3.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ซิก 3 แผ่น มุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.21 พบว่าจากข้อมูลที่ได้ ความดันรวมเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทางในการไหลดังเช่นกรณีทดลองอื่น ๆ

สำหรับรูปที่ 4.22 จะเป็นกราฟที่แสดงถึงการลดลงของความดันรวมเฉลี่ยภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ซิกต่าง ๆ ของทุกกรณีทดลอง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กรณี D1-45 จะมีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ D3-45, D1-30 และ D3-30 ซึ่งมีค่าความดันรวมเฉลี่ยลดลงน้อยที่สุด และจากค่าความแตกต่างของความดันรวมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่ด้านหน้าและด้านหลังแผ่นแฉกเปอร์ซิก จะนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงอีกครั้งในภายหลัง

4.4 ความเบี่ยงเบนของความดันรวม

ในการแสดงค่าความความเบี่ยงเบนของความดันรวมจากค่าความดันรวมเฉลี่ยในหน้าตัดใด ๆ นั้น จะแสดงโดยเส้น contour ของตัวแปรไร้มิติ σ_p ซึ่งนิยามโดย

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{A} \int [p_o - \bar{p}_o]^2 dA}}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

โดยที่	p_o	คือ ค่าความดันรวมที่วัดได้ภายในหน้าตัดของการไหล
	\bar{p}_o	คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความดันรวมที่หน้าตัดใดๆ
	ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ
	U	คือ ค่าความเร็วสม่ำเสมอที่หน้าตัด $x/D = -2$
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล

4.4.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.23 พบว่า ที่ $x/D = -2$ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่มีความเร็วสม่ำเสมอจะมีค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมน้อยที่สุด คือมีค่า σ_p ประมาณ 0.06 แต่ไม่ได้แสดงให้เห็นในกราฟดังกล่าว แต่เมื่อการไหลเริ่มมีการพัฒนาที่ x/D ถัดไป จะพบว่าความสม่ำเสมอของความดันรวมจะมีค่าน้อยลงเนื่องจากการโตของ boundary layer ทำให้ความดันรวมมีค่าความเบี่ยงเบนเพิ่มมากขึ้นตาม

ลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าในช่วง 16D แรกความเบี่ยงเบนของความดันรวมจะมีแนวโน้มของค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และที่ $x/D = 24$ จะมีค่า σ_p ประมาณ 0.2 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด หลังจากนั้นที่ $x/D = 44$ เป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่การไหลเริ่มพัฒนาเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ σ_p จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ มีค่าประมาณ 0.18

4.4.2. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.24 พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ การกระจายของความดันรวมในหน้าตัดด้านหลังแผ่นแฉกเปอร์จะแตกต่างกันมาก ทำให้ที่ $x/D = 1$ เป็นตำแหน่งที่มีค่า σ_p มากที่สุดโดยมีค่าประมาณ 40 จากนั้นที่หน้าตัดถัดไปค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุดที่ $x/D = 8$ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่มีการกระจายของความดันรวมภายในหน้าตัดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ และทำให้ค่าความเบี่ยงเบนความดันรวมมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดอื่น โดยจะมีค่า σ_p ประมาณ 0.06 และที่ระยะหลังจาก $x/D = 8$ ค่า σ_p จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่ $x/D = 36$ เป็นต้นไป การกระจายความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัดจะค่อนข้างคงที่ ทำให้มีค่า σ_p ที่คงที่โดยมีค่าประมาณ 0.18 และมีค่ามากกว่าค่า σ_p ต่ำสุดเท่ากับ 0.12

4.4.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.25 พบว่าที่ $x/D = 1$ จะมีความเบี่ยงเบนของความดันรวมเกิดขึ้นมากที่สุดซึ่งมีค่า σ_p ประมาณ 67 จากนั้นที่หน้าตัดถัดไปค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุดที่ $x/D = 10$ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่มีความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัดน้อย จึงทำให้ค่าความเบี่ยงเบนมีค่าน้อย โดยจะมีค่า σ_p ประมาณ 0.06 ต่อจากนั้น จะพบว่า σ_p จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง จนกระทั่งที่ $x/D = 44$ เป็นต้นไป ซึ่งการกระจายความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัดมีลักษณะค่อนข้างคงที่ และ ค่า σ_p จึงมีค่าค่อนข้างคงที่เช่นกัน คือมีค่าประมาณ 0.17 และมีค่ามากกว่าค่า σ_p ต่ำสุด เท่ากับ 0.11

4.4.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.26 พบว่าที่ $x/D = 1$ จะมีความเบี่ยงเบนของความดันรวมเกิดขึ้นมากที่สุด มีค่าประมาณ 48 จากนั้นที่หน้าตัดถัดไปค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุดที่ $x/D = 10$ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่มีความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัดน้อย จึงทำให้ค่าความเบี่ยงเบนความดันมีค่าน้อย โดยจะมีค่า σ_p ประมาณ 0.06 ต่อจากนั้น จะพบว่า σ_p จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง จนกระทั่งที่ $x/D = 36$ เป็นต้นไป การกระจายของค่าความแตกต่างของความดัน

รวมภายในหน้าตัดมีลักษณะค่อนข้างคงที่ และทำให้ค่า σ_p มีค่าค่อนข้างคงที่เช่นกัน คือมีค่าประมาณ 0.17 และมีค่ามากกว่าค่า σ_p ต่ำสุดเท่ากับ 0.11

4.4.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.27 พบว่า จากข้อมูลที่มี คือที่ $x/D = 5$ จะมีค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมเกิดขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.8 และที่หน้าตัดถัดไปค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมจะมีค่าลดลง และที่ $x/D = 44$ เป็นต้นไป σ_p จะมีค่าค่อนข้างคงที่ คือมีค่าประมาณ 0.18

อย่างไรก็ดีสำหรับในกรณีนี้ ถึงแม้จะมีข้อมูลเฉพาะในบางหน้าตัด แต่แนวโน้มของข้อมูลที่ปรากฏก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทดลองในกรณีอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ดังนั้น ถ้านำข้อมูลของความเบี่ยงเบนของความดันรวมมาแสดงเปรียบเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 4.28 จะสังเกตเห็นว่าที่ $x/D = 40$ เป็นต้นไป ค่า σ_p ของทุกกรณีทดลองจะมีค่าคงที่ที่ประมาณ 0.17-0.18 และจะมีค่าความแตกต่างจากค่า σ_p ต่ำที่สุดของแต่ละกรณี ใกล้เคียงกันคือมีค่าประมาณ 0.11-0.12

4.5 การกระจายตัวของความดันสถิต

ในการแสดงค่าการกระจายตัวของความดันสถิตเฉลี่ยตามความยาวท่อในหน้าตัดใด ๆ นั้น จะแสดงผลโดย contour ของตัวแปรไร้มิติในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความดันสถิต (C_p) ซึ่งนิยามโดย

$$C_p = \frac{\bar{P} - \bar{P}_{ref}}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

- | | | |
|------------------|-----|---|
| โดยที่ \bar{P} | คือ | ค่าเฉลี่ยของความดันสถิตที่หน้าตัดหนึ่ง ๆ ซึ่งวัดจากการที่ต่อ pressure tap เข้ากับรูเจาะที่ทางด้านข้างของท่อทั้ง 14 รู ต่อเข้ากับ header เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น |
| \bar{P}_{ref} | คือ | ค่าเฉลี่ยของความดันสถิตที่ $x/D = -2$ ของกรณีทดลองหนึ่ง ๆ ซึ่งมีวิธีการวัดเช่นเดียวกับ \bar{P} |
| U | คือ | ค่าความเร็วสม่ำเสมอของการไหล ซึ่งวัดที่ $x/D = -2$ |
| ρ | คือ | ความหนาแน่นของอากาศ |

4.5.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.29 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของค่าความดันสถิตในกรณี D0-0 จะมีการตกลงในลักษณะก่อนข้างเป็นเส้นตรงตลอดระยะ $x/D = -2$ ถึง $x/D = 60$ โดยในการคำนวณค่า C_p มีค่า uncertainty ประมาณ 0.05

4.5.2. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.29 ในกรณี D1-30 พบว่า ความดันสถิตที่ระยะ $x/D = -2$ ซึ่งมีค่า C_p เท่ากับศูนย์ จะมีการตกลงเหลือประมาณ -7 ที่ระยะ $x/D = 1$ แต่ตำแหน่งที่มีค่าความดันสถิตลดต่ำสุดที่แท้จริงอาจจะยังไม่ใช่ที่ตำแหน่ง $x/D = 1$ เพราะว่าการทำการทดลองจะวัดความดันลดเพียงทุกระยะ 1D ในช่วงแรกเท่านั้น จึงคาดว่าตำแหน่งที่มีค่าความดันลดต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วง $x/D = 0$ ถึง 2 แต่อย่างไรก็ตามค่าความดันลดต่ำสุดที่วัดได้ดังกล่าวจะถือว่าเป็นความดันต่ำสุดของการทดลอง

ภายหลังจากที่การไหลพัฒนาสู่ $x/D = 2$ ความดันสถิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีค่าความดันสถิตสูงสุดที่ $x/D = 4$ ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -4 หลังจากนั้นความดันจะรักษาระดับอยู่ที่ค่าประมาณเท่ากับค่าความดันสถิตสูงสุดดังกล่าว ในช่วงความยาวจาก $x/D = 5$ ถึงระยะ $x/D = 10$ หลังจากนั้นจะเริ่มมีค่าความดันสถิตตกลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทางการไหล โดยมีลักษณะการตกลงเป็นเชิงเส้นคล้ายกับกรณี D0-0 ในขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สถานะพัฒนาเต็มที่

4.5.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.30 พบว่า ความดันสถิตจะตกลงอย่างรวดเร็วจาก $x/D = -2$ ซึ่งมีค่า C_p เท่ากับศูนย์ จากนั้นค่าจะลดลงจนเหลือค่าประมาณเท่ากับ -26 ที่ระยะ $x/D = 2$ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการทดลอง ซึ่งในกรณี D1-45 นี้จะวัดความดันลดทุก ๆ 2D ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีอื่น ๆ ที่จะวัดทุก 1D ในช่วง 10D แรก และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไปจะพบว่าที่ระยะหลัง $x/D = 2$ ความดันสถิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าความดันสถิตสูงสุดที่ $x/D = 6$ ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -21.7 จากนั้นความดันจะรักษาระดับอยู่ที่ประมาณค่าความดันสถิตสูงสุดดังกล่าว ในช่วงความยาวจาก $x/D = 6$ ถึง $x/D = 10$ หลังจากนั้นจะเริ่มมีค่าความดันสถิตตกลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สถานะพัฒนาเต็มที่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการกระจายตัวของความดันสถิตในช่วงท้ายนี้จะมีแนวโน้มของการตกลงอย่างเป็นเชิงเส้น

4.5.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.31 พบว่า ความดันสถิตจะลดลงอย่างรวดเร็วจากค่า C_p เท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่ง $x/D = -2$ ไปสู่ค่าประมาณ -8.8 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการทดลองที่ตำแหน่ง $x/D = 1$ และเมื่อมีการไหลไปที่ $x/D = 2$ ความดันสถิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีค่าความดันสถิตสูงสุดที่ $x/D = 6$ ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -5.8 จากนั้น ความดันจะรักษาระดับอยู่ที่ประมาณค่าความดันสถิตสูงสุดดังกล่าวในช่วง $x/D = 7$ ถึง 10 ก่อนที่จะเริ่มมีค่าความดันสถิตลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการลดลงของความดันในช่วงท้ายนี้จะมีแนวโน้มของการลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น

4.5.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.32 พบว่า ความดันสถิตจะลดลงอย่างรวดเร็วจากค่า C_p เท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่ง $x/D = -2$ ไปสู่ค่าประมาณ -2.4 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของกรณีนี้ที่ตำแหน่ง $x/D = 1$ และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไปที่ $x/D = 2$ จะพบว่าความดันสถิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีค่าความดันสถิตสูงสุดที่ $x/D = 4$ ซึ่งมีค่า C_p ประมาณ -1.8 หลังจากนั้นความดันสถิตจะมีค่าประมาณเท่ากับค่าความดันสถิตสูงสุดดังกล่าวในช่วงระยะจาก $x/D = 5$ ถึง $x/D = 8$ ก่อนที่จะเริ่มมีค่าความดันสถิตลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งในขณะที่การไหลพัฒนาต่อไปตามความยาวท่อสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ และจะมีแนวโน้มที่ค่าความดันสถิตนี้ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นในช่วงท้ายคล้ายกันกับกรณีอื่น ๆ

จากกรณีการไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 และ 3 แผ่นซึ่งทำมุม 30 และ 45 องศาจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของความดันสถิตในกรณีทดลองต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งสามารถกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันสถิตที่เกิดขึ้นนี้ โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 3 ช่วงได้ว่า ในช่วงแรก ความดันสถิตจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณหลังแฉกเปอร์ในช่วง $3D$ แรก จากนั้นในช่วงที่ 2 ความดันสถิตจะฟื้นตัวขึ้น (recovery) จนกระทั่งมีค่าสูงสุดภายในระยะทาง $x/D = 6$ และจะยังคงรักษาระดับของความดันสถิตให้อยู่ประมาณที่ค่าสูงสุดระยะหนึ่ง โดยในการทดลองจะสิ้นสุดลงที่ระยะประมาณ $x/D = 10$ และในช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงที่การไหลจะเริ่มพัฒนาเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ ค่าความดันสถิตจะลดลงตามระยะทางในการไหล

ถ้าพิจารณาถึงค่าการฟื้นตัวของความดันสถิต ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ากรณี D1-45 จะมีการฟื้นตัวของความดันสถิตมากที่สุดรองลงมาคือ D1-30 และ D3-45 ซึ่งจะมีค่าประมาณเท่ากัน ส่วน D3-30 จะมีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าเปรียบเทียบตำแหน่งที่เกิดการฟื้นตัวสูงสุดของความดัน

สถิติจะพบว่า แคมเปอร์ซึ่งมีมุม 30 องศา จะมีการฟื้นตัวของความดันสถิตจนถึงค่าสูงสุดเร็วกว่า แคมเปอร์ซึ่งมีมุม 45 องศา กล่าวคือ ทั้ง D1-30 และ D3-30 จะมีการฟื้นตัวของความดันสถิตจนถึงค่าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วง $x/D = 2$ ถึง $x/D = 4$ ส่วน D1-45 และ D3-45 จะเกิดขึ้นตั้งแต่ $x/D = 2$ ถึง $x/D = 6$

นอกจากนี้ สำหรับค่า C_p ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดและสูงที่สุด ระยะทางที่ในการฟื้นตัวของความดัน และค่าความดันฟื้นตัวสูงสุดของการไหลของอากาศผ่านแคมเปอร์ชนิดต่าง ๆ ในการทดลองนี้จะสรุปรวบรวมไว้ในตารางที่ 4.1

พิจารณารูปที่ 4.33 ซึ่งแสดงถึงค่าความดันสถิตที่เกิดขึ้นตามความยาวท่อของทุกกรณีทดลอง จะพบว่าในบริเวณที่การลดลงของความดันเป็นแบบเชิงเส้น ถ้านำค่าความดันสถิตในช่วง $x/D = 40$ ถึง 60 ซึ่งเป็นช่วงที่การไหลเริ่มเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ นำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อจะได้ว่า สำหรับในทุกกรณีทดลอง ซึ่งกระทำที่ Re ประมาณ 72,000 จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานประมาณ 0.017 ซึ่งถ้าใช้ Blasius correlation (สมการ (2.14)) คำนวณจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานประมาณ 0.019 ดังนั้นจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลองและ Blasius correlation จะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.6 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่เกิดจากแคมเปอร์ ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียพลังงานของการไหล จะคำนวณโดยใช้สมการ (2.12) ซึ่งเป็นการคำนวณการสูญเสียของความดันรวมโดยประมาณที่เกิดขึ้นระหว่าง $x/D = -2$ กับตำแหน่งที่เกิดการฟื้นตัวของความดันสถิตสูงสุด ภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแคมเปอร์ จะพบว่า D1-45 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมากที่สุด รองลงมาคือ D3-45, D1-30 และ D3-30 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในแต่ละกรณีทดลองที่ได้จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียซึ่งอ้างอิงมาจาก SMACNA (1990) พบว่า กรณี D1-30 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่สำหรับ D3-30 ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าของ SMACNA เพราะว่า ลักษณะของแผ่นแคมเปอร์ที่ SMACNA ใช้ในการทดสอบมีลักษณะแตกต่างจากแผ่นแคมเปอร์ที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือที่ปลายขอบของแคมเปอร์ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นหยักคล้ายตะขอ และมีกรอบโลหะขนาด 6 มิลลิเมตรที่ด้านข้าง จึงเป็นส่วนที่ทำให้มีการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับกรณีมุม 45 องศาถึงแม้จะไม่มีผลการทดสอบของ SMACNA ที่มุมดังกล่าว แต่จะพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การ

สูญเสียที่ได้จากการทดลองของแคมเปอร์ทั้งชนิด 1 และ 3 แผ่น จะมีค่าอยู่ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของ SMACNA ซึ่งทดสอบที่มุม 40 และ 50 องศา

4.7 ความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ

เมื่อการไหลอยู่ในสภาวะพัฒนาเต็มที่ รูปร่างและความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดใดๆ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อก็สามารถนำมาเป็นตัวแสดงถึงแนวโน้มของการพัฒนาการไหลเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่

พิจารณารูปที่ 4.34 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการพัฒนาของความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อกรณี D0-0 พบว่า การพัฒนาของความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อซึ่งมีสภาวะเริ่มต้นของการไหลเป็นแบบความเร็วสม่ำเสมอ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งที่ x/D ประมาณ 40 ค่าดังกล่าวก็เริ่มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงโดยมีแนวโน้มที่จะเป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเริ่มเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ของการไหล

ในทำนองเดียวกัน ถ้าพิจารณารูปที่ 4.35 ถึง 4.38 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงการพัฒนาของความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ ของกรณี D1-30, D1-45, D3-45 และ D3-30 ตามลำดับ จะพบว่าการพัฒนาความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อของแต่ละกรณีดังกล่าวจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับกรณี D0-0 กล่าวคือ ภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแคมเปอร์ ความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อจะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความยาวท่อระยะหนึ่ง จากนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าความเร็วดังกล่าวก็จะมีค่าลดลงตามลำดับ และมีแนวโน้มที่จะเป็นค่าคงที่ ในช่วงปลายท่อเช่นเดียวกับของกรณี D0-0 ยกเว้นในกรณี D1-45 ที่จะยังคงมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป

จากรูปที่ 4.35 จะพบว่า ความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อของ D1-30 เริ่มที่จะมีค่าคงที่ ที่ x/D ประมาณ 40 เป็นต้นไป ส่วนในรูปที่ 4.36 พบว่า ความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อของ D1-45 จะยังคงมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปโดยยังไม่แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่จะเป็นค่าคงที่เช่นเดียวกับที่ปรากฏในกรณีทดลองอื่น ๆ ตลอดความยาว $x/D = 60$ ที่ทำการทดลอง และในรูปที่ 4.37 และ 4.38 พบว่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อของ D3-45 และ D3-30 มีแนวโน้มที่จะเป็นค่าคงที่ ที่ x/D ประมาณ 44 และ 40 เป็นต้นไป ตามลำดับ

ดังนั้นจากลักษณะการพัฒนาของความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อจะแสดงให้เห็นว่า ในขณะที่การไหลอยู่ในช่วงกำลังพัฒนาในระยะแรกนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อการไหลเริ่มเข้าสู่สภาวะพัฒนาเต็มที่ ความเร็วจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปที่ละน้อย อย่างช้า ๆ จนกระทั่งเป็นค่าคงที่ ที่สภาวะพัฒนาเต็มที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ในช่วงกำลังพัฒนาจะมีอัตรา

การเปลี่ยนแปลงของความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อมากกว่าขณะที่การไหลเริ่มเข้าสู่ภาวะพัฒนาเต็มที่นั่นเอง

4.8 ความเบี่ยงเบนของความเร็ว

ในการแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วจากค่าความเร็วเฉลี่ยที่แต่ละหน้าตัดของการไหลตามความยาวท่อ จะแสดงโดยเส้น contour ของตัวแปรไร้มิติ σ_v ซึ่งนิยามโดย

$$\sigma_v = \frac{\sqrt{\frac{1}{A} \int_A (V-U)^2 dA}}{U}$$

- โดยที่ V คือ ความเร็วที่กระจายอยู่ในหน้าตัดของการไหล
 U คือ ความเร็วสม่ำเสมอที่วัดที่หน้าตัด $x/D = -2$
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล

4.8.1. การไหลของอากาศภายในท่อเปล่า (D0-0)

พิจารณารูปที่ 4.39 ในกรณี D0-0 นี้จะพบว่าที่ $x/D = -2$ ซึ่งเป็นหน้าตัดที่มีความเร็วสม่ำเสมอ (แต่ไม่ได้นำมาแสดงในกราฟ) จะมีค่าความเบี่ยงเบนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับหน้าตัดอื่นซึ่งมีค่า σ_v ประมาณ 0.08 เมื่อการไหลเริ่มมีการพัฒนาที่ x/D ถัดไป จะพบว่าค่าความเบี่ยงเบนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการกระจายของความเร็วภายในหน้าตัดแตกต่างกันมากขึ้น จากกราฟดังกล่าวจะพบว่าค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งที่ $x/D = 24$ จะมีค่า σ_v มากที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.14 หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง และคงที่ที่ 0.13 ที่ตำแหน่ง x/D ประมาณ 44 เป็นต้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการพัฒนาเข้าสู่ภาวะพัฒนาเต็มที่

4.8.2. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 องศา (D1-30)

พิจารณารูปที่ 4.40 เป็นกราฟที่แสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่แต่ละหน้าตัดของการไหลซึ่งแสดงในรูปของตัวแปรไร้มิติ σ_v พบว่า ภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ จะทำให้มีการกระจายของความเร็วภายในหน้าตัดซึ่งอยู่ใกล้กับด้านหลังของแผ่นแฉกเปอร์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมาก จึงทำให้ที่ $x/D = 1$ น่าที่จะเป็นตำแหน่งที่มีค่า σ_v มากที่สุด แต่ในการทดลองเนื่องจากไม่สามารถวัดความเร็วที่ตำแหน่งดังกล่าวได้โดยตรง จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าความเร็วที่หน้า

ตัดนั้นได้ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่แสดงคงกราฟ จะพบว่าที่ $x/D = 3$ จะมีค่า σ_v สูงที่สุดประมาณ 0.3 และเมื่อการไหลมีการพัฒนาต่อไป จะพบว่าค่าความเบี่ยงเบนจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าต่ำที่สุดที่ x/D ประมาณ 7 ซึ่งมีค่า σ_v ประมาณ 0.07 จากนั้นก็จะมีค่าความเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่ $x/D = 36$ เป็นต้นไป σ_v จะมีค่าค่อนข้างคงที่ คือมีค่าประมาณ 0.13 ซึ่งจะมีค่ามากกว่า σ_v ต่ำสุดเท่ากับ 0.06

4.8.3. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 45 องศา (D1-45)

พิจารณารูปที่ 4.41 พบว่า ภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ ตามกราฟที่แสดง จะพบว่าที่ $x/D = 6$ จะมีค่า σ_v สูงสุดประมาณ 0.21 และที่ $x/D = 10$ จะมีค่า σ_v ต่ำสุด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.09 และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไป พบว่า σ_v จะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ $x/D = 44$ เป็นต้นไป σ_v จะมีค่าค่อนข้างคงที่คือมีค่าประมาณ 0.13 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าค่า σ_v ต่ำสุดเท่ากับ 0.08

4.8.4. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45)

พิจารณารูปที่ 4.42 พบว่า ภายหลังจากที่อากาศไหลผ่านแฉกเปอร์ ตามกราฟที่แสดงพบว่าที่ $x/D = 5$ จะมีค่า σ_v สูงที่สุดประมาณ 0.44 และที่ $x/D = 10$ จะมีค่า σ_v ต่ำสุด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.07 และเมื่อการไหลพัฒนาต่อไป พบว่า σ_v จะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ $x/D = 36$ เป็นต้นไป σ_v จะมีค่าค่อนข้างคงที่คือมีค่าประมาณ 0.12 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าค่า σ_v ต่ำสุดเท่ากับ 0.05

4.8.5. การไหลของอากาศผ่านแฉกเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 30 องศา (D3-30)

พิจารณารูปที่ 4.43 เป็นกราฟที่แสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่แต่ละหน้าตัดของการไหล ซึ่งแสดงในรูปของตัวแปรไร้มิติ σ_v พบว่า จากข้อมูลที่มี ที่ $x/D = 5$ จะมีค่าความเบี่ยงเบนมากที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.25 และที่หน้าตัดถัดไป ค่าความเบี่ยงเบนจะมีค่าลดลง และที่ $x/D = 44$ เป็นต้นไป σ_v จะมีค่าค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 0.13

อย่างไรก็ดีสำหรับในกรณีนี้ ถึงแม้จะมีข้อมูลเฉพาะในบางหน้าตัด แต่แนวโน้มของข้อมูลที่ปรากฏ ก็มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทดลองในกรณีอื่นๆ ดังที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น ดังนั้นถ้า นำข้อมูลของความเบี่ยงเบนของความเร็วมาแสดงเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.44 จะสังเกตเห็นพบว่า ที่ $x/D = 40$ เป็นต้นไป ค่า σ_v ของทุกกรณีทดลองจะมีค่าประมาณ 0.13 ซึ่งเป็นช่วงปลายท่อที่การไหลเริ่มเข้าสู่ภาวะพัฒนาเต็มที่