

บทที่ 6

การวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ในการศึกษาวิจัย เป็นการศึกษาการนำไอน้ำความดันต่ำ (low pressure steam) กลับมาใช้ใหม่โดยการใช้สตีมอีเจคเตอร์เป็นอุปกรณ์เพิ่มความดัน โดยหลักการคือ จะใช้ไอน้ำความดันสูง (high pressure steam) ไหลผ่านนอซเซิลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วสูงขึ้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดมีขนาดเล็กลงและความดันจะมีค่าต่ำลงเพื่อเหนี่ยวนำเอาไอน้ำความดันต่ำให้ผสมเข้าไปด้วยกัน โดยใช้ท่อผสม (mixing tube) เป็นนอซเซิลเพื่อช่วยในการผสมกันของของไหลให้ดีขึ้นกว่าเป็นลักษณะท่อตรงที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจะทำให้ความดันและความเร็วมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเราสามารถทำให้ได้ความดันและความเร็วที่ต้องการนำไปใช้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วน แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดก็มีเงื่อนไขหลายอย่างด้วยเช่นเดียวกัน คือถ้าพื้นที่หน้าตัดไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้เกิดค่าความดันสูญเสีย หรืออัตราการไหลไม่เป็นไปตามที่ออกแบบด้วยเช่นกัน การหาประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยนี้จะถือว่าอุปกรณ์ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (adiabatic) กับสิ่งแวดล้อมระหว่างการผสม

จากการทดลองจะกำหนดตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) เพื่อนำมาแสดงความสามารถและประสิทธิภาพของสตีมอีเจคเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

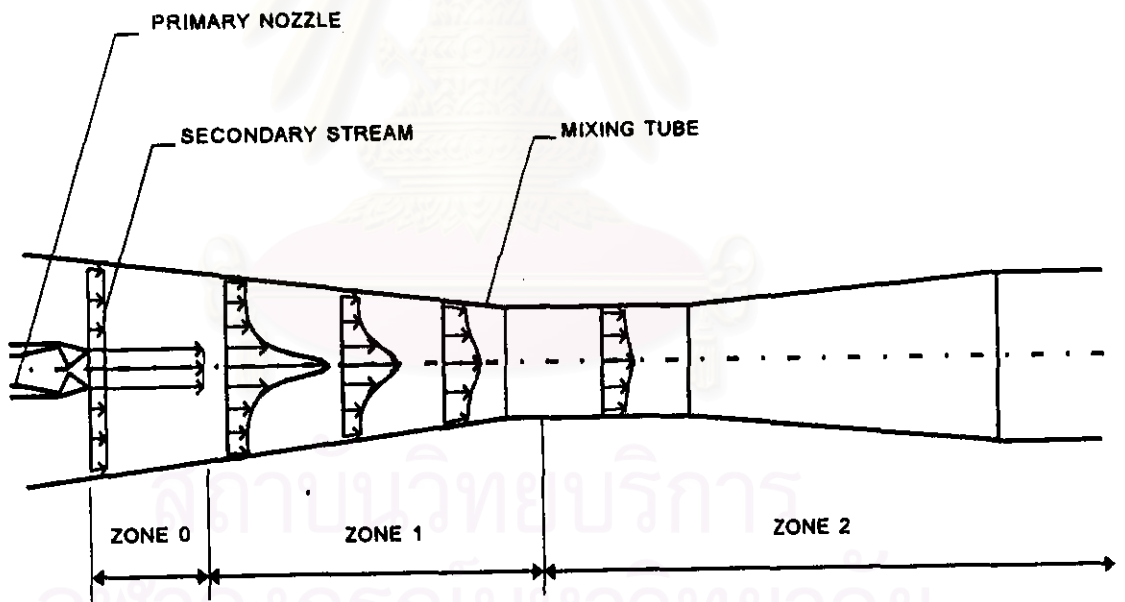
6.1 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการผสมกันของของไหลทั้งสอง ซึ่งการทดลองนี้ตัวแปรของสภาวะที่ใช้ทดสอบมีดังนี้คือ อัตราส่วนการไหลโดยมวล (Entrainment ratio) , E_m อัตราส่วนการอัด (compression ratio) , P_{o1}/P_{o2} ความเร็วของนอซเซิลปฐมภูมิ (primary nozzle) , M_p ระยะห่างระหว่างปลายทางออกของนอซเซิลปฐมภูมิกับคอของช่องผสม (mixing throat) ,

x/d ในการทดลองจะเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของอัตราส่วนอัตราการไหลโดยมวล Em เพื่อเป็นตัวเทียบการเปลี่ยนแปลงกับอีกตัวแปรหนึ่ง และให้ตัวแปรที่เหลือมีค่าคงที่ดังต่อไปนี้

สภาวะทดสอบกำหนดระยะทดสอบ $x/d = 0, 2, 4.5$ และ 9

จากกราฟรูปที่ 5.21-5.24 แสดงอัตราส่วนความดันสูญเสียที่ค่าอัตราส่วนการไหลของมวลที่ค่าต่าง ๆ จะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าของ Em มีค่ามากขึ้นเพื่อพิจารณาถึงลักษณะการไหลของของไหลทั้งภายในช่องการผสมแบบการไหลร่วม (coflow) ที่ปลายทางออกของนอซเซิลปฐมภูมิจะมีความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้การผสมในบริเวณดังกล่าวนี้เป็นไปแบบไม่สมบูรณ์ และเมื่อระยะห่างมากพอควรก็จะเกิดการผสมที่ดีขึ้น ดังนั้นถ้าเราแบ่งขอบเขต ของการผสมออกเป็น 3 ขอบเขต (Hickman et al., 1972) ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงภาพขอบเขตของการผสมของของไหลทั้งสอง

ขอบเขตที่ศูนย์

ความเร็วของเจ็ทจะถูกสมมติว่าเป็นลักษณะเกือบเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ระยะของขอบเขตนี้ จะสั้นมากซึ่งประมาณได้ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของนอซเซิลปฐมภูมิ เรียกขอบเขตนี้

กล่าวกันว่า the nozzle potential core region ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วของ potential core ของไอน้ำประทุมยังมีค่าสูงอยู่มาก ดังนั้นทำให้เกิดการผสมกับไอน้ำทุติยภูมิเป็นแบบไม่สมบูรณ์

ขอบเขตที่หนึ่ง The self-preserving jet flow region

ขอบเขตนี้การกระจายตัวของความเร็วเจ็ทเกือบที่จะเป็นรูปร่างคงที่มาก โดยปลายขอบของลำเจ็ทจะแผ่ขยายไปที่ขอบผนังด้านในซึ่งชนกับขอบของ boundary layer และที่อัตราส่วนการไหลของมวล, Em และอัตราส่วนการผสมในช่วง convergence ต่ำ แล้วก็อาจจะทำให้เกิด separation stagnation หรือ recirculation ได้

ขอบเขตที่สอง The developing duct flow zone

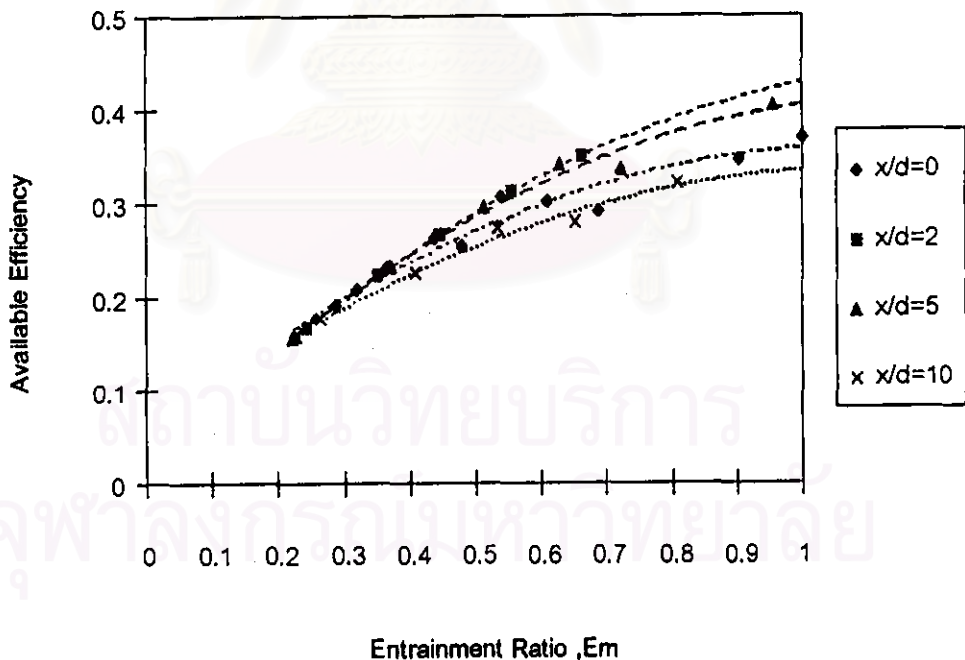
ภายในขอบเขตนี้จะได้ผลกระทบจาก turbulent shearing stress ในทุกๆตำแหน่ง และการกระจายตัวของความเร็วจะเพิ่มขึ้นจนเกือบ uniform flow ที่ทางออก ซึ่งถ้าหากเกิดการผสมผสานกันเร็วเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการ separation และ recirculation

จากกราฟรูปที่ 6.2 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของอีเจคเตอร์ที่ระยะทดสอบต่าง ๆ จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Em มากขึ้น และที่ระยะทดสอบทั้ง 4 ระยะจะให้ผลว่าประสิทธิภาพจะดีที่สุดที่ $M_p = 1.7$ และ 1.9 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.8 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบ available efficiency จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 42 % และความเร็วที่ออกจากนอชเชิลประทุมมีผลต่อการผสมกันของสองสตรีม

เนื่องจากของไหลประทุมจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานความดันมาอยู่ในรูปของพลังงานความเร็ว ซึ่งจะทำให้ความดันสถิตย์ (static pressure) ของตัวมันมีค่าต่ำแปรผกผันกับความเร็ว เมื่อความดันสถิตย์มีค่าต่ำลงจนต่ำกว่าบริเวณรอบๆซึ่งก็คือความดันของของไหลทุติยภูมิแล้วจะทำให้เกิดปรากฏการณ์คลื่นช็อคขึ้นภายในบริเวณของการผสม ผลจากคลื่นช็อคจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันโดยฉับพลันส่งผลทำให้เกิดค่าความสูญเสียขึ้นในระหว่างการผสม ส่วนนี้ดังนั้นประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะมีค่าลดลงและสภาวะที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งส่งผลต่อส่วนอื่น ๆ ด้วย

สภาวะทดสอบกำหนดให้ $M_p = 1.7, 1.9, 2.2$ และ 2.4

จากรูปที่ 5.17 ถึง 5.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายนอชเชิลปฐมภูมิกับ mixing throat ที่ $M_p = 1.9$ ที่ระยะ $x = 13$ mm. จะได้อัตราส่วนความดันสูญเสียต่ำสุด และที่ $x = 0$ จะให้ค่าความดันสูญเสียแปรปรวนมาก เนื่องจากภายในคอก (mixing throat) เกิดปรากฏการณ์ under expansion fan และการผสมกันของของไหลทั้งสองเป็นไปแบบไม่สมบูรณ์ ไม่ยูนิฟอร์ม โดยความเร็วบางส่วนของ potential core ของการไหลปฐมภูมิ (primary flow) ยังไม่หมดไปหลังจากผ่าน mixing throat ทำให้สภาวะที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบ และผลจาก boundary layer ทำให้ effective area สำหรับของไหลทั้งสองลดลง ซึ่งส่งผลอาจจะทำให้เกิดการ choked ของของไหลทุติยภูมิด้วย โดยเมื่อเกิดการ choked แล้วจะทำให้ได้อัตราการไหลของไหลทุติยภูมิสูงสุด และผลจาก expansion fan จะทำให้กระแส (stream) การไหลของของไหลปฐมภูมิกั้นการไหลของของไหลทุติยภูมิไม่สามารถเข้าสู่ mixing throat ได้สะดวก และจากกราฟ 6.2 จะเห็นว่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่าง x มากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของการสูญเสียมีผลมากขึ้นเมื่อระยะ x มากขึ้น ดังรูปที่ 6.3

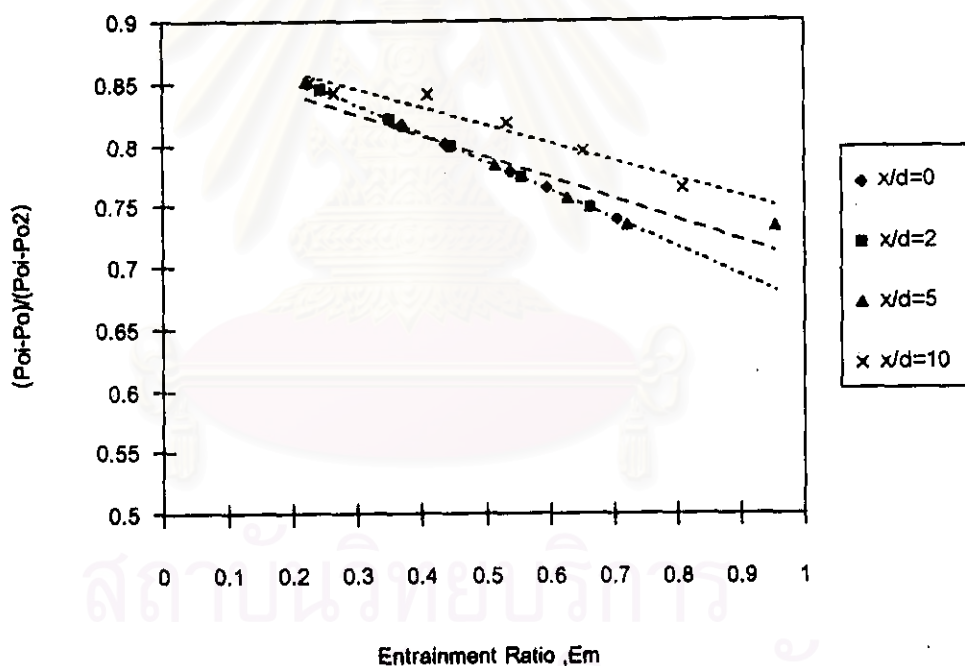


รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของบิเจคเตอร์กับอัตราส่วนอัตราการไหล โดยมวล ที่ระยะอัตราส่วน Primary Nozzle distance $x/d = 0, 2, 5$ และ 10 โดย Mach No. = 2.4 และ $P_{o1}/P_{o2} = 7.1$

Mp. = 1.9 จากรูปที่ 5.7 และ 5.24 แสดงให้เห็นว่าระยะ $x = 55$ จะให้อัตราส่วนการสูญเสียความดันต่ำกว่าระยะที่ใกล้กับ mixing throat และประสิทธิภาพของอีเจกเตอร์ก็มีค่าต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นผลของความเสียหายเนื่องจากระยะผสมจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบด้วย

Mp 2.2 จากรูปที่ 5.25 - 5.28 แสดงให้เห็นว่าที่ระยะไกลจาก mixing throat จะให้ค่าอัตราส่วนความดันสูญเสียมากกว่าที่ใกล้ mixing throat และเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 5.9 ถึง 5.11 จะเห็นว่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงเมื่อ x มากขึ้น

Mp 2.4 จากรูปที่ 5.29 - 5.32 แสดงให้เห็นว่าที่ระยะไกลจาก mixing throat จะให้อัตราส่วนความดันสูญเสียมากกว่า และประสิทธิภาพก็ต่ำกว่าที่ระยะใกล้กับ mixing throat



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันสูญเสียกับอัตราส่วนอัตราการไหลโดยมวล ที่ระยะอัตราส่วน Primary nozzle distance $x/d = 0, 2, 5$ และ 10 mm. โดย Mach No. = 2.4 และ $P_{o1}/P_{o2} = 7.1$

สภาวะทดสอบกำหนดค่า $P_{01}/P_{02} = 7.1, 4.7, 3.6, 3, 2.4$ และ 2

จากรูปที่ 5.1 - 5.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดค่า M_p กับ x/d แล้วพิจารณาอัตราส่วนความดันสูญเสียที่ ค่า P_{01}/P_{02} สูงๆ จะให้การสูญเสียต่ำกว่าที่ P_{01}/P_{02} ที่ค่าต่ำ และให้ประสิทธิภาพสูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากความดันที่ Match สำหรับค่าเลขมัค 1.7 คือ ที่ P_{01}/P_{02} ประมาณ 7.1 ซึ่งที่ค่าอื่นๆ แล้วความดันของสถิตย์ของของไหลทุติยภูมิจะมีค่ามากกว่าของไหลปฐมภูมิอาจจะทำให้เกิดคลื่นช็อคระหว่างการผสมกัน

ส่วนรูปที่ 5.16 $M_p = 2.4$ ประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงที่ระยะทดสอบไกลสุด ส่วนที่ x/d อื่น ๆ จะให้ประสิทธิภาพที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ที่ระยะห่างของหัวนอชเชิลไกลจาก mixing throat มากขึ้นถึงระยะหนึ่งแล้ว ความเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบจะมีผลต่อประสิทธิภาพของอีเจคเตอร์ทำให้มีค่าต่ำลง

สภาวะทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการไหลของมวลและค่า x/d

จากรูปที่ 5.17 - 5.20 แสดงค่าความสูญเสียต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า E_m ที่ค่า M_p 1.7 ค่าความสูญเสียมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างหัวนอชเชิลกับ mixing throat ส่วนกราฟรูปที่ 5.24, 5.28 และ 5.32 ซึ่งมีค่า M_p เป็น 1.9, 2.2 และ 2.4 จะมีแนวโน้มของการสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกที่ระยะทดสอบไกลสุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ที่ระยะไกลสุดผลของ velocity pressure loss จะให้ผลการสูญเสียมากกว่าบริเวณอื่น และเป็นไปได้ว่าจะเกิด คลื่นช็อคภายใน mixing throat ซึ่งส่งผลให้เกิดความดันสูญเสีย และที่ระยะทดสอบไกลสุดเกิดมีค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากระยะทางที่มากขึ้น ก็ทำให้ความสูญเสียความดันสถิตย์เพิ่มขึ้นมากกว่าตำแหน่งที่ใกล้กว่า

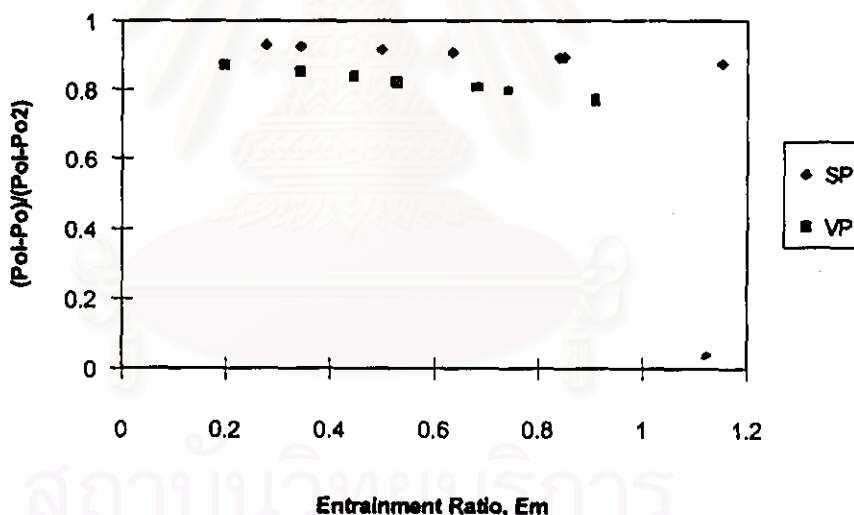
จากรูปที่ 5.17 - 5.20 แสดงค่าประสิทธิภาพของอีเจคเตอร์ ประสิทธิภาพจะมีค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อเปลี่ยนระยะ x/d ส่วนรูปที่ 5.5 - 5.8 แสดงประสิทธิภาพ เมื่อระยะ x/d ที่ 0 และ 3 จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าที่ $x/d = 7$ และ 12 และเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.9 - 5.12 ระยะ x/d ที่ 0, 3 จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าที่ $x/d = 7$ และ 12

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนการขยาย $(P_0 - P_{02})/(P_{01} - P_{02})$ จะเห็นว่ามีค่าที่ค่อนข้างคงที่เมื่อทำการเปลี่ยนค่า E_m ต่างๆ แต่จะให้ผลแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำลงเมื่อค่า E_m สูงขึ้น และที่ค่าอัตราส่วนการอัดต่ำ (P_{01}/P_{02}) จะให้ค่าอัตราส่วนการขยายสูงกว่า โดยที่เลขมัค = 1.7 จะให้ค่า

อัตราส่วนการขยายสูงที่สุด เมื่อพิจารณาถึงระยะห่างของนอซเซิลปฐมภูมิกับ mixing throat แล้วจะเห็นว่าที่ระยะ $x = 29 \text{ mm}$. จะให้อัตราส่วนการขยายสูงที่สุดประมาณ 0.17 ที่ อัตราส่วนการอัดเท่ากับ 2.4

การเปรียบเทียบที่ผสมที่เป็นท่อตรงเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 2 นิ้วกับ Convergence Divergence Nozzle

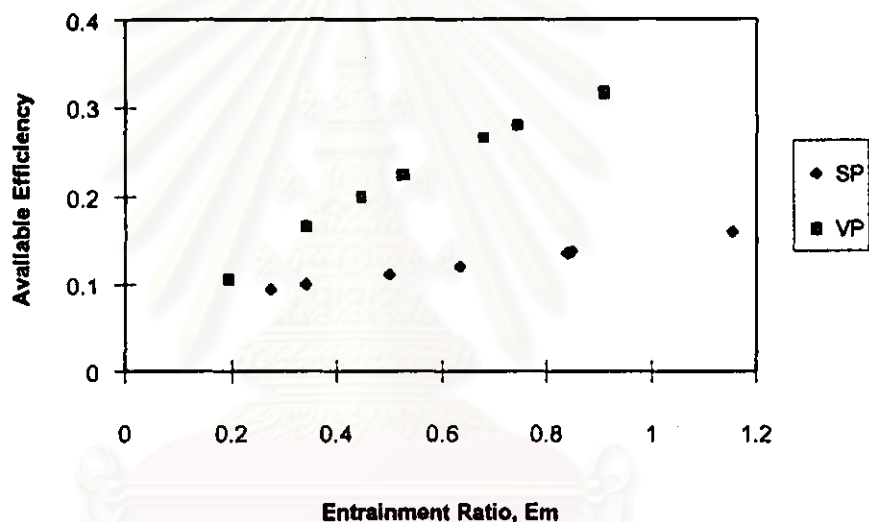
จากรูปที่ 5.34 จะเห็นว่าอัตราส่วนความดันสูญเสียจะมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผสมที่เป็นแบบ convergence-divergence nozzle เพราะเนื่องจากความสามารถในการผสมกันของของไหลเมื่อผ่านท่อตรงจะมีค่าความเสียดทานจากแรงเฉือนที่ layer ต่าง ๆ มากกว่า และอาศัยเฉพาะความเร็วของไอน้ำปฐมภูมิ เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการดูดและการผสม และประสิทธิภาพที่ทดสอบได้ก็มีค่าต่ำกว่ามากด้วย ดังรูปที่ 5.33



รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนความดันสูญเสียของอีเจกเตอร์โดยใช้ท่อผสมเป็นท่อตรง (SP) กับท่อผสมที่เปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดที่อัตราส่วนของอัตราการไหลโดยมวลต่างๆ ที่ระยะห่างจาก mixing throat ของ Primary nozzle $x = 0$ สำหรับท่อผสมแบบเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัด โดย Mach No. 2.4 และ $P_{o1}/P_{o2} = 2.4$ (PR5)

จากรูปที่ 5.34 เป็นสภาวะทดสอบที่กำหนดให้ $M_p = 2.4$ เพื่อหาค่าอัตราส่วนความดันสูญเสียที่ค่าอัตราส่วนการไหลของมวลที่ค่าต่างๆ พบว่ากราฟอัตราส่วนความดันสูญเสียมีลักษณะเช่นเดียวกับท่อผสมที่เป็นแบบ convergence-divergence nozzle แต่มีค่าอัตราส่วนความดันสูญเสียที่มากกว่าดังรูปที่ 6.4 สาเหตุเนื่องจากความสามารถในการผสมกันของ

ไหลทั้งสองต้องจะอาศัยเฉพาะความดันและความเร็วที่แตกต่างกันทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างกัน ผลของการสูญเสียที่เกิดจาก shear layer บริเวณต่าง ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของ mixing tube จะช่วยทำให้การผสมเป็นไปได้ดีขึ้นและเร็วขึ้น และจากรูปที่ 6.5 ก็แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของท่อตรงจะต่ำกว่าท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัด จากการทดลองท่อตรงจะให้อัตราส่วนความดันสูญเสียประมาณ 95 % ส่วนท่อที่เปลี่ยนแปลงหน้าตัดจะให้อัตราส่วนความดันสูญเสียประมาณ 90% ที่ระยะทดสอบ $x = 0$ โดยที่อัตราส่วนของอัตราไหลโดยมวลที่ค่ามากท่อตรงจะมีแนวโน้มของประสิทธิภาพต่ำกว่าท่อที่เปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดมาก



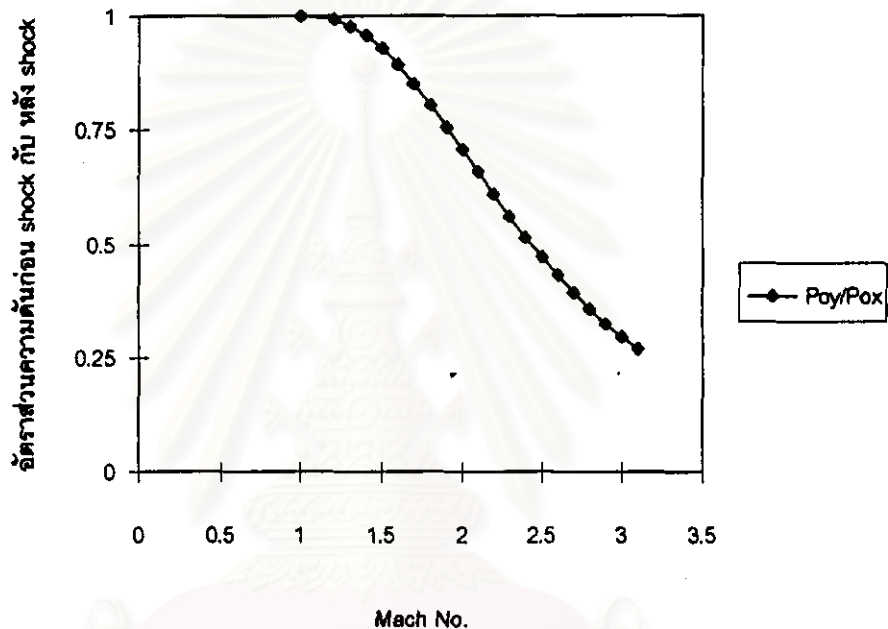
รูปที่ 6.5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอีเจกเตอร์โดยใช้ท่อผสมเป็นท่อตรง (SP) กับท่อผสมที่เปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดที่อัตราส่วนของอัตราไหลโดยมวลต่างๆ ที่ระยะห่างจาก mixing throat ของ Primay nozzle $x = 0$ สำหรับท่อผสมแบบเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัด โดย Mach No. 2.4 และ $P_{o1}/P_{o2} = 2.4$ (PR5)

6.2 การวิเคราะห์ความดันสูญเสีย

การวิเคราะห์ผลกระทบจาก Shock Wave

จากรูปที่ 6.6 จะเห็นว่าถ้าหากภายในท่อเกิดคลื่นช็อคตั้งฉากขึ้นแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความดันขึ้นหลังช็อค โดยยิ่งค่าความเร็วมีค่านับเบอรรมากขึ้นเท่าใดก็จะทำให้ค่า

ความดันหลังช็อคมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ จากการทดสอบมัคนัมเบอร์ 4 ค่า ถ้าสมมติว่าเกิดคลื่นช็อคที่บริเวณปากทางออกของนอชเชิลปฐมภูมิแล้ว จะได้ค่าดังนี้ คือ ที่ $M_p = 1.7, 1.9, 2.2$ และ 2.4 จะได้อัตราส่วนความดันหน้าช็อคและหลังช็อคเป็น $0.86, 0.78, 0.63$ และ 0.52 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองคือที่ค่ามัคนัมเบอร์สูงจะให้ค่าอัตราส่วนการสูญเสียความดันยิ่งมาก



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนความดันที่หน้า shock และ หลัง shock เมื่อเกิดคลื่นช็อคแบบตั้งฉากภายในท่อผสมที่ค่าเลขมัคต่าง ๆ

เนื่องจากลักษณะรูปร่างของนอชเชิลจะเห็นว่ามุมของ convergence divergence มีผลต่อการไหลและการผสมกันของของไหล ถ้ามุม convergence มากเกินไปจะทำให้ระยะของการผสมสั้นเกินไปทำให้ของไหลผสมกันไม่สมบูรณ์

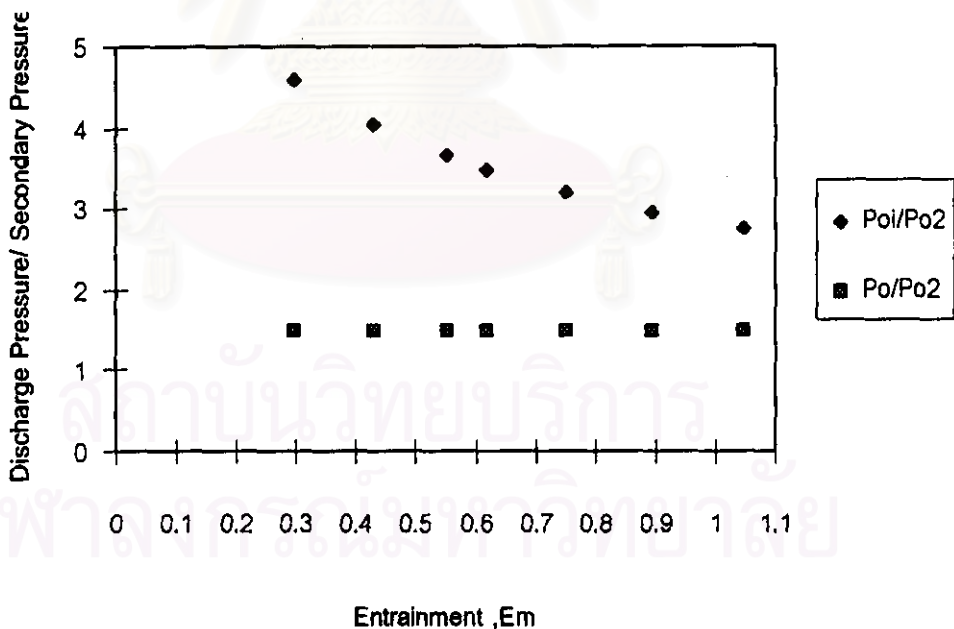
การวิเคราะห์ผลกระทบจาก oblique shock

เมื่อพิจารณาการเกิดช็อคภายในเอจเคเตอร์ จะเห็นว่า เมื่อทดสอบโดยการวางตำแหน่งของนอชเชิลปฐมภูมิไว้ที่ปากของ mixing throat แล้วโอกาสที่จะเกิดช็อคตั้งฉากก็จะมีสูงมาก เนื่องจากลักษณะการไหลของไหลเป็นการไหลผ่านบริเวณส่วนที่มีหน้าตัดคงที่ ดังจะพิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นว่าจะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก และเมื่อปรับการ

ทดสอบโดยการเลื่อนตำแหน่งของนอซเซิลปฐมภูมิให้ห่างจากคอกของช่องผสมมากขึ้น โอกาสของการเกิดช็อคแบบ oblique shock จะมีมากขึ้น เพราะเนื่องจากรูปร่างของช่องผสมส่วนที่ก่อนเข้าอาจจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงหน้าตัดเล็กลง (convergence nozzle) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของของไหล และอีกทั้งถ้าความดันรอบข้างบริเวณปลายทางออกของนอซเซิลปฐมภูมิมีค่าต่ำกว่าความดันของของไหลปฐมภูมิแล้วจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ expansion fan ซึ่งทำให้เกิดการกั้นการไหลของของไหลทุติยภูมิทำให้เข้ามาผสมได้น้อยลง ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 5.21 และซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันรอบข้างมีค่าสูงกว่าความดันของลำเจ็ทแล้วจะทำให้เกิดคลื่นช็อคแบบ oblique shock ขึ้นภายในลำเจ็ท

การเปรียบเทียบความดันที่ทางออกที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี

จากทางทฤษฎีเราสามารถคำนวณหาความดันที่ทางออกของอีเจกเตอร์ได้จากกฎทรงมวล และกฎทรงพลังงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบททฤษฎี ดังนั้นจึงนำเสนอกราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณดังรูปที่ 6.7



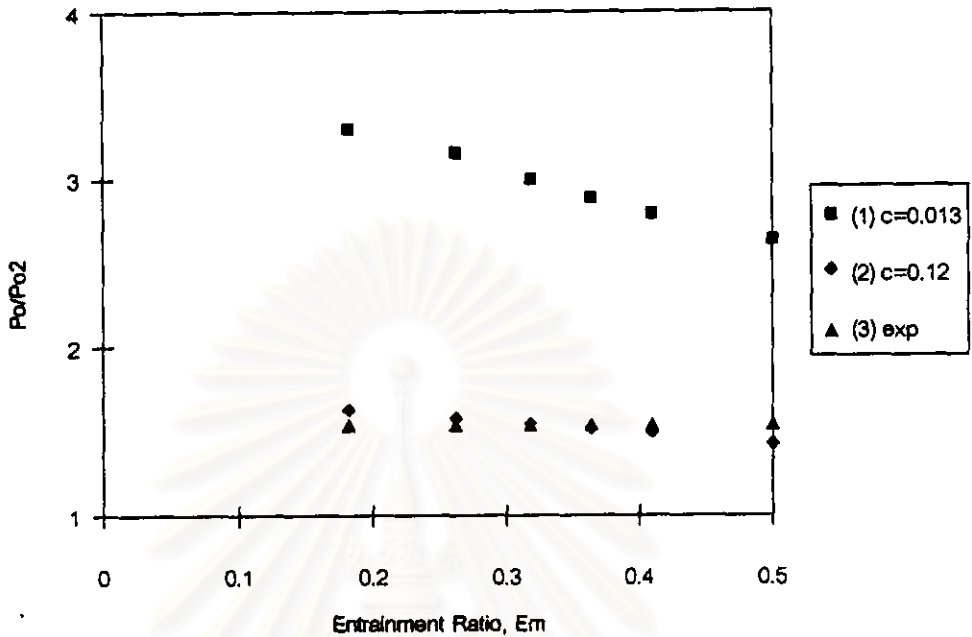
รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันทางออกจากสตีมีอีเจกเตอร์ที่ได้จากการคำนวณทางอุณหพลศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลองโดยเทียบกับค่าความดันทางเข้าของ secondary steam ที่อัตราส่วนการไหลของมวล เมื่อ Mach No. 1.9 และ ระยะ Primary Nozzle $x = 55$ mm.

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าคงที่ซึ่งอาจจะเป็นเพราะเครื่องมือวัดค่าความละเอียด (resolution) ไม่เพียงพอต่อการแสดงผลที่ค่าความดันแตกต่างกันไม่มีมากนัก สำหรับเกจความดันที่ใช้อ่านค่าความดันทางออกของอีเจกเตอร์มีค่า resolution 0.1 บาร์ทำให้ถ้าค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.1 บาร์แล้วการอ่านค่าความดันจะไม่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณจะเห็นว่าค่าความดันที่ทางออกจะมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆเมื่ออัตราส่วนการไหลอัตราส่วนโดยมวล (Entrainment Ratio, E_m) มีค่ามากขึ้น ซึ่งหมายความว่าอัตราส่วนความดันที่สามารถอัดได้แปรผกผันกับอัตราส่วนการไหลของมวล และจากกราฟจะได้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า P/P_{02} ที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง 22.6% เนื่องจากการคำนวณทางอุณหพลศาสตร์จะไม่คำนึงถึงค่าการสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ แต่ในระบบจริงจะมีการสูญเสียจากหลายปัจจัยซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากสาเหตุดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

6.3 การวิเคราะห์โดยแบบจำลองการสูญเสียของระบบ (Model loss for System)

ตามแนวทางการวิเคราะห์การสูญเสียความดันในหัวข้อ 3.4 ทำให้สามารถคำนวณการสูญเสียในสตีมีอีเจกเตอร์ได้ ผลการคำนวณพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 6.8 โดยกราฟเส้นที่ 1 ใช้ค่า $c_\tau = 0.013$ ซึ่งเป็นของ Wymananski and Fielder (1970) จากกราฟรูปที่ 6.8 จะเห็นได้ว่าค่า P/P_{02} เมื่อ $c_\tau = 0.013$ มีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองของงานวิจัยนี้มาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของเงื่อนไขในการทดลองของ Wymananski and Fielder กับงานวิจัยนี้ กล่าวคือ ในงานวิจัยนี้การไหลจะเป็นแบบการไหลอัดตัวได้ (compressible flow) และ มีการเปลี่ยนแปลงของความดัน (pressure gradient) ภายใน shear layer แต่ค่า c_τ ของ Wymananski and Fielder หามาได้จากผลการทดลองของการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible flow) และไม่มี การเปลี่ยนแปลงของความดัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับแก้ค่า c_τ ใหม่ โดยทำการ fit curve กับผลการทดลองโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square) กับกราฟ P/P_{02} ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะทำให้การปรับแก้เฉพาะส่วนที่เป็นแบบจำลองของ shear layer เท่านั้น และยังคงแบบจำลองในส่วนของการ mixing throat และ ดิฟฟิวเซอร์เป็นแบบเดิม ซึ่งผลจากการ fit curve พบว่า c_τ ควรจะมีค่าเท่ากับ 0.12 ซึ่งแสดงผลการคำนวณในกราฟเส้นที่ 2 ในรูปที่ 6.8 และพบว่าจะได้ค่าความผิดพลาดเมื่อเทียบกับผลการทดลองมีค่า 40 % และ 2.7 % สำหรับ $c_\tau = 0.013$ และ 0.12 ตามลำดับ

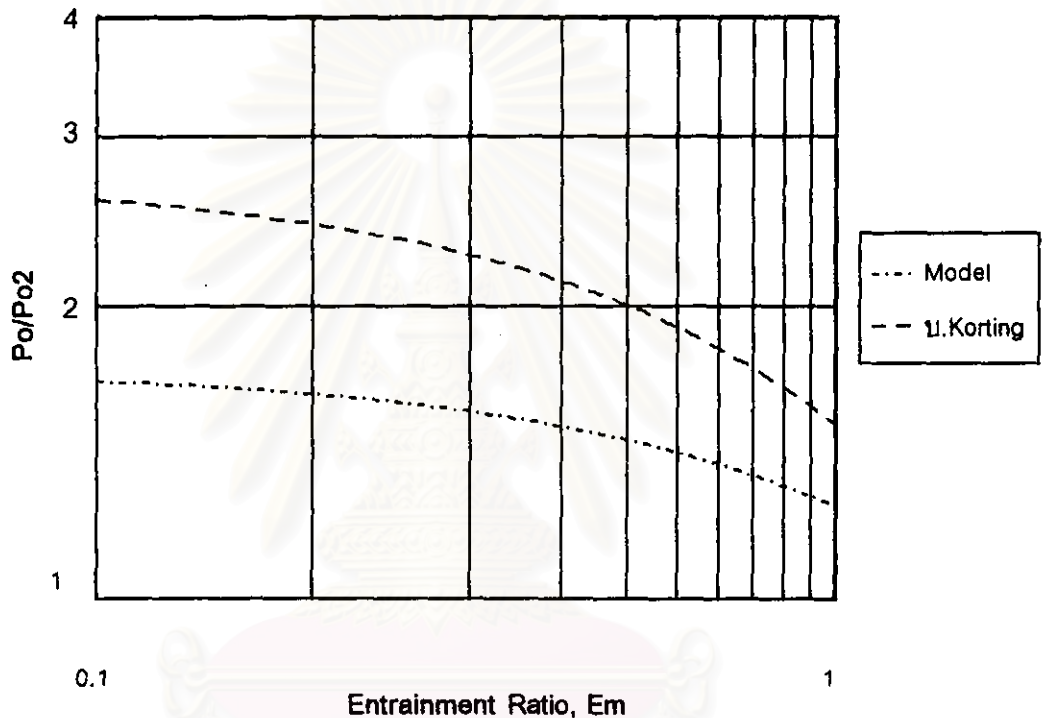


รูปที่ 6.8 กราฟเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความดันที่ทางออกต่อความดันที่ทางเข้าของไอน้ำ
 ทฤษฎีของสติมิอ์เจคเตอร์โดยใช้แบบจำลองการสูญเสียที่ c_T มีค่า 0.013
 (Wysananski and Fielder, 1970) กับ 0.12 (ได้จากการ fit curve กับผลการทดลอง)
 ที่ $M_p = 1.7$, $x/d = 3$ และ PR2

เพื่อยืนยันผลความถูกต้องของแบบจำลองนี้ จึงได้ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่า P_0/P_{02} จากแบบจำลองกับข้อมูลของบริษัท Korting ซึ่งเป็นผู้ผลิตอ็เจคเตอร์ ที่สภาวะ $P_{01}/P_{02} = 4.7$, Mach No. = 1.7 $x/d = 3$ (ในที่นี้สมมติให้อ็เจคเตอร์ของบริษัททำงานที่สภาวะ matched pressure และระยะ $x/d = 3$) ดังรูปที่ 6.9 จากสมการแบบจำลองการสูญเสียใช้ $c_T = 0.12$ จะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟมีลักษณะเช่นเดียวกัน ดังนั้นพื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้ น่าจะมีความถูกต้อง อย่างไรก็ตามการที่ค่าสมบรูณ์ต่างกันน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ค่า c_T นั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน (pressure gradient) ที่แตกต่างกันเพราะลักษณะขนาดรูปร่างที่แตกต่างกัน โดย c_T เขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงของความดันได้เป็น

$$c_T = f(\nabla P)$$

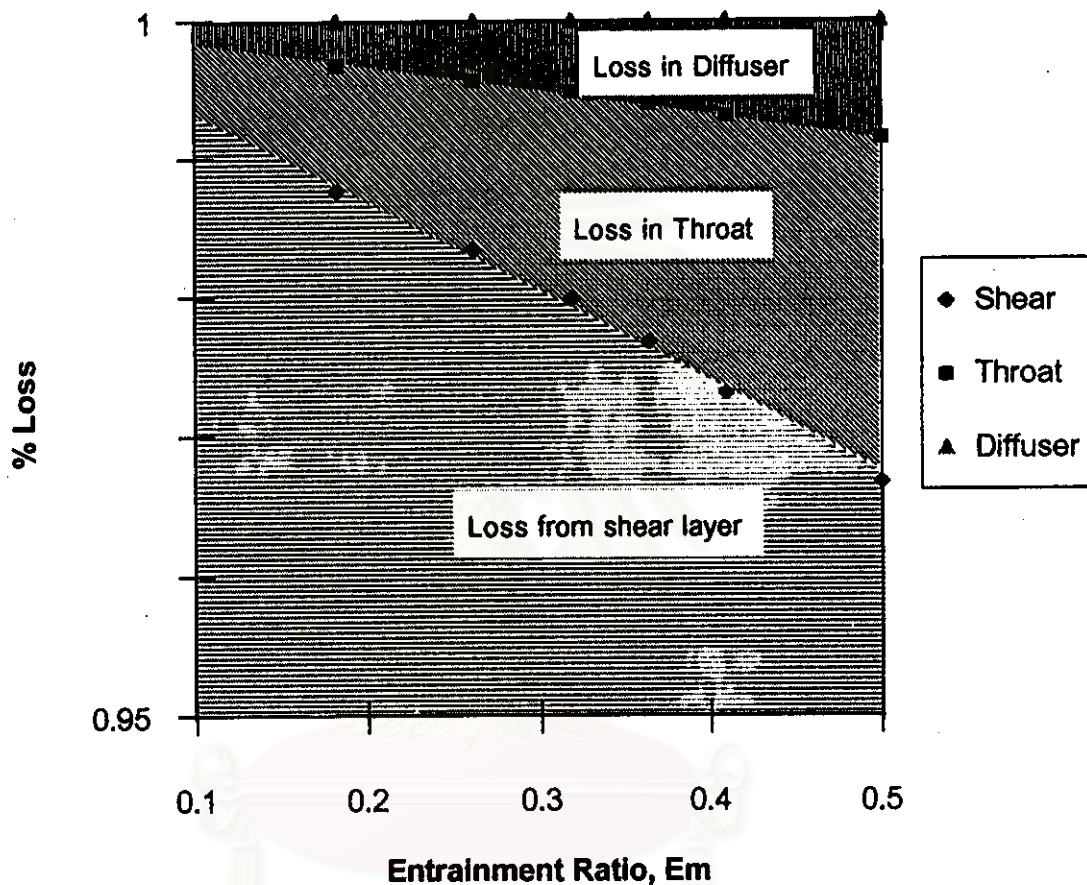
และผลของ x/d ที่สมมติขึ้นให้มีค่าเท่ากับ 3 โดยผลของระยะ x/d ซึ่งเป็นค่าคงที่ทำให้แตกต่างเฉพาะผลคูณของค่าสัมบูรณ์กับค่าคงที่ แต่แนวโน้มของกราฟจะยังคงเป็นลักษณะเช่นเดิม ดังนั้นทำให้เชื่อมั่นว่าถ้าหากสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของ shear layer ในรูปของฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงความดัน (pressure gradient) แล้ว ก็จะทำให้ได้ผลการทำนายที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.9 กราฟเปรียบเทียบค่า P_0/P_{02} ระหว่างค่าที่หาได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากบริษัท Korting

เมื่อพิจารณากราฟเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียในแต่ละส่วน ดังรูปที่ 6.10 จะพบว่าความดันสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงของ shear layer โดยเมื่อ E_m มากขึ้นเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียจะมีค่าลดลง แต่ในกรณีของ mixing throat และ ดิฟฟิวเซอร์ มีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียมากขึ้นเมื่อ ซึ่งอธิบายทางกายภาพได้ว่า เมื่อ E_m มีค่ามากขึ้นแสดงว่าค่า m_2 มีค่ามากขึ้นด้วย (เมื่อเปรียบเทียบกับ m_1) โดยพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นมีค่าคงที่แสดงว่าความเร็วของของไหลมีค่ามากขึ้น ในส่วนของ shear layer ความสูญเสียเกิดจากความเร็วที่แตกต่างกันของไอน้ำแรงดันสูงกับไอน้ำแรงดันต่ำ ดังนั้นถ้าหากความเร็วของไหลทั้งสองแตก

ต่างกันน้อยลงก็จะทำให้เกิดการสูญเสียลดลง ส่วนในกรณีของการสูญเสียที่เกิดที่คอ (mixing throat) และดิฟฟูเซอร์จะเกิดจากความเสียดทาน โดยความเสียดทานจะแปรตามความเร็วยกกำลังสอง ดังนั้นไอน้ำที่ผสมกันที่ค่า Em สูงๆ จะได้ความเร็วของไอน้ำที่ผสมมีค่ามากทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานมาก เป็นดังที่เกิดขึ้นในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของ steam ejector