บทที่ 3
ปรากฏการณ์คาวิเทชันและการเฝ้าตรวจ

3-1 บทนำ

คาวิเทชัน คือปรากฏการณ์ที่ของเหลวเกิดการกลายเป็นไอ และเกิดการควบแน่นอย่างรวดเร็วซึ่งคล้ายกับการเดือด การเดือดของของเหลวโดยทั่วไปจะเกิดโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนความดันไอของของเหลวสูงจนเท่าความดันบรรยากาศจึงเกิดการเดือดขึ้น ส่วนคาวิเทชันเกิดขึ้นเมื่อความดันของของเหลวตกลงจนเท่ากับความดันที่อุณหภูมินั้นๆจึงฟองไอขึ้น กล่าวคือที่ใดก็ตามเมื่อความดันเฉพาะที่(Local Pressure)ตกลงจนต่ำกว่าหรือเท่ากับความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมินั้นและมีจุดก่อกำเนิด (Nuclei) อยู่ในบริเวณนั้นแล้ว ของเหลวจะเกิดการเดือดและมีฟองไอเกิดขึ้น และถ้าความดันเฉพาะที่ยังคงต่ำกว่าหรือเท่ากับความดันไอแล้ว ฟองไอจะโตขึ้นซึ่งอาจจะเรียกว่า ฟองอากาศ(Bubble) ถ้าฟองอากาศโตขึ้นจนเส้นผ่านศูนย์กลางเข้าใกล้เส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤต(Critical Diameter) ฟองอากาศจะขยายตัวอย่างรวดเร็ว และถ้าในบริเวณใกล้เคียงมีความดันมีความดันสูงกว่าความดันไอ ฟองอากาศจะมีสภาวะที่ไม่เสถียรและจะแตกตัวอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นที่มาของเสียง การสั่นสะเทือน และเป็นสาเหตุของการเซาะกร่อนที่ผิวของของแข็งที่อยู่บริเวณนั้นได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน และผลสรุปของการทดลองที่ผ่านมาเพื่อที่จะสามารถจำกัดความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชันไม่ให้ทำความเสียหายกับระบบหรืออันตรายมากเกินไป

3-2 ประเภทของคาวิเทชัน(Type of Cavitation)

ปรากฏการณ์คาวิเทชันแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

3-2-1) คาวิเทชันชนิดก๊าซ (Gaseous Cavitation)

จะเกิดขึ้นเมื่อมีอากาศอิสระแขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือมีการเกิดคาวิเทชันอย่างช้าๆ เพียงพอที่จะให้อากาศที่อยู่ภายในฟองไอเพิ่มขึ้นเนื่องจากการคายก๊าซจากของเหลว คาวิเทชันชนิดนี้การแตกตัวจะช้ากว่าคาวิเทชันชนิดไอ (Vaporous Cavitation) เพราะมีอากาศอิสระอยู่ในของเหลวซึ่งไม่ก่อให้เกิดความรุนแรงและความเสียหายใดๆเกิดขึ้น

3-2-2) คาวิเทชันชนิดไอ (Vaporous Cavitation)

เป็นปรากฏการณ์คาวิเทชันชนิดที่มีอากาศแขวนลอยอยู่ในของเหลวเพียงเล็กน้อย ภายในฟองจะประกอบด้วยไอเกือบทั้งหมด มีอัตราการขยายตัว อัตราการสลายตัว และความดันที่เกิดขึ้น

ค่อนข้างมาก ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรง คาวิเทชันชนิดนี้เป็นชนิดที่พบและศึกษาถึงในงานวิศวกรรม

3-3 <u>ผลจากปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Effect of Cavitation)</u>

ผลจากปรากฏการณ์คาวิเทชันจะให้ประโยชน์บางอย่างเช่นการที่มีความปั่นป่วน (Turbulent) สูงทำให้เพิ่มการผสมผสาน เร่งปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น และสามารถถูกใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิวได้โดยเครื่องมือล้างผิวเชิงอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaning Device) แต่อย่างไรก็ตามผลของคาวิเทชันในระบบของของเหลวนั้นส่วนมากแล้วจะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆขึ้น ซึ่งแบ่งแยกเป็นปัญหาขั้นพื้นฐาน 5 ประเภทคือ

1) เสียงรบกวน (Noise)
2) การสั่นสะเทือน (Vibration)
3) การเซาะกร่อน(Erosion)
4) ความดันแปรปรวน (Pressure Fluctuation)
5) การสูญเสียประสิทธิภาพหรือความสามารถในการไหลของระบบ

ชนิดและความเข้มของเสียงรบกวนขึ้นกับรูปร่างและขนาดที่พิจารณา ตัวอย่างเช่นคาวิเทชันที่เกิดในวาล์วขนาดเล็กๆจะเกิดเสียงดังคล้ายฟ่อคล้ายเสียงงู (Hissing)หรือเสียงประทุเบาๆ (Light Crackling Sound) ในวาล์วขนาดใหญ่จะเกิดคล้ายเสียงระเบิดไดนาไมต์ (Dynamite) และเสียงที่เกิดขึ้นจะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะการออกแบบ

ตัวอย่างคือการศึกษาของ Tullis,J.P., and Skinner,M.M. [6 หน้า 120-121] พบว่าเสียงที่เกิดจากวาล์วรูปกรวย(Cone Valve) หรือวาล์วปีกผีเสื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว (150 ม.ม.) ซึ่งถูกใช้งาน และมีเสียงรบกวนที่เกิดจากระบบของไหลดังเล็กน้อยก่อนการเกิดคาวิเทชันอยู่บ้างแล้ว ในช่วงแรกคาวิเทชันจะทำให้เกิดเสียงปะทุเบาๆเป็นพักๆ ซึ่งดังกว่าเสียงการปั่นป่วนที่เกิดจากระบบของไหลเพียงเล็กน้อย เมื่อระดับของคาวิเทชันเพิ่มขึ้นโดยมีความถี่และความรุนแรงมากขึ้น จะได้ยินเสียงปรากฏการณ์คาวิเทชันดังกว่าเสียงจากการทำงานของระบบอย่างชัดเจน ถ้าวาล์วถูกใช้งานในระดับที่เหมาะสม จะมีเสียงคล้ายเสียงที่เกิดจากการไหลของก้อนกรวด (Gravel flow) ผ่านระบบท่อ ถ้าระดับของการเกิดคาวิเทชันเพิ่มขึ้น จะเรียกว่าคาวิเทชันระดับรุนแรง(Heavy Cavitation)ทำให้เกิดเสียงดังคำรามอย่างต่อเนื่อง และบางครั้งเกิดเสียงดังคล้ายการระเบิดเล็กๆ เสียงเนื่องจากคาวิเทชันที่รุนแรงในระดับนี้อาจมีความดังของเสียงเกินกว่า 100 dB ถ้าฟังเป็นเวลานานๆอาจเป็นอันตรายต่อผู้ได้ยินได้

คลื่นกระแทก (Shock Wave) ที่เกิดจากการแตกตัวของฟองนั้น ทำให้เกิดความดันแปรปรวน และเป็นสาเหตุของการสั่นสะเทือน ถ้าระดับคาวิเทชันเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นด้วย แม้กระทั่งวาล์วที่ถูกติดตั้งอย่างแน่นหนาก็สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อถูกใช้งานที่คาวิเทชัน

ระดับรุนแรง โดยการสั่นสะเทือนนั้นทำให้สลักเกลียวคลายได้ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความล้า การแตกหัก การหลุดหลวม ซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายของโครงสร้างได้

ถ้าฟองเกิดการแตกตัวตัวใกล้กับพื้นผิวของของแข็ง จะทำให้เกิดการเซาะกร่อนได้ ซึ่งเป็นปัญหาขั้นต้นของคาวิเทชันในวาล์ว ระบบท่อ เครื่องสูบน้ำ หรือกังหันต่างๆ ซึ่งต้องมีการซ่อมแซมหรือปรับเปลี่ยน

ที่คาวิเทชันระดับรุนแรงนั้น จะเกิดฟองไอขนาดใหญ่ที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ของของไหลในระบบ และลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เช่นลดแรงดันของเครื่องสูบลง กำลังของกังหันตกลง การทำงานของวาล์วขาดความแม่นยำ และค่า Discharge Coefficient (C_d)ของอุปกรณ์ลดลง

3-4 <u>จุดกำเนิดของปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Origin of Cavitation)</u>

จะต้องมีปัจจัย 3 อย่างที่จะทำให้เกิดคาวิเทชันขึ้นดังนี้คือ

1) การปรากฏอยู่ของจุดก่อกำเนิดในระบบ

ถ้าดึงเอาอากาศในของเหลวออกมาหมดและภาชนะมีความสะอาด กล่าวคือไม่มีสารเจือปนใดๆหรืออากาศแทรกอยู่ในของเหลว หรือระหว่างพื้นผิวของภาชนะกับของเหลวแล้ว ของเหลวจะรักษาความตึงผิวไว้ได้ จึงไม่สามารถทำให้เกิดฟองไอที่อุณหภูมิปกติได้เมื่อความดันของเหลวตกลงจนถึงความดันไอ แต่ถ้าความดันเฉพาะที่ตกลงเรื่อยๆจนความดันไอของๆเหลวสามารถเอาชนะแรงตึงผิวได้จะสามารถทำให้เกิดฟองไอได้เช่นกัน

ขนาดและปริมาณของจุดก่อกำเนิดขึ้นความเป็นมาของน้ำ น้ำโดยปกติจะมีจุดก่อกำเนิดและสารเจือปนอยู่ในปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดคาวิเทชันได้ในขณะที่ความดันเฉพาะที่มีค่าลดลงถึงค่าความดันไอ และการลดปริมาณจุดก่อกำเนิดเป็นวิธีการลดการเกิดคาวิเทชันที่ทำได้เพียงในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

2) ความดันลดลงในของเหลวอย่างน้อยต้องเท่ากับ หรือต่ำกว่าความดันไอ
3) ความดันล้อมรอบ (Ambient Pressure) รอบๆฟองอากาศมากกว่าความดันไอ (Vapor Pressure) เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของมัน

3-5 <u>พารามิเตอร์ของคาวิเทชัน (Cavitation Parameters)</u>

การตรวจสอบระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชันนั้นต้องใช้พารามิเตอร์ไร้มิติ (Dimensionless Similarity Parameter)

สำหรับวาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องมีการสูญเสียความดันจะมีสมการพื้นฐานคือ

$$\sigma = (P_d + P_b + P_{va}) / \Delta P = (P_d - P_{vg}) / \Delta P \quad (3.1)$$

$$K_c = \Delta P / (P_u - P_{vg}) \quad (3.2)$$

σ คือ Cavitation Number พื้นฐาน

P_d คือความดันวัดที่ตำแหน่ง 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์ (ในที่นี้คือจากหลังออริฟิส)แล้วคิดย้อนกลับไปโดยชดเชย Friction loss ที่เกิดขึ้น

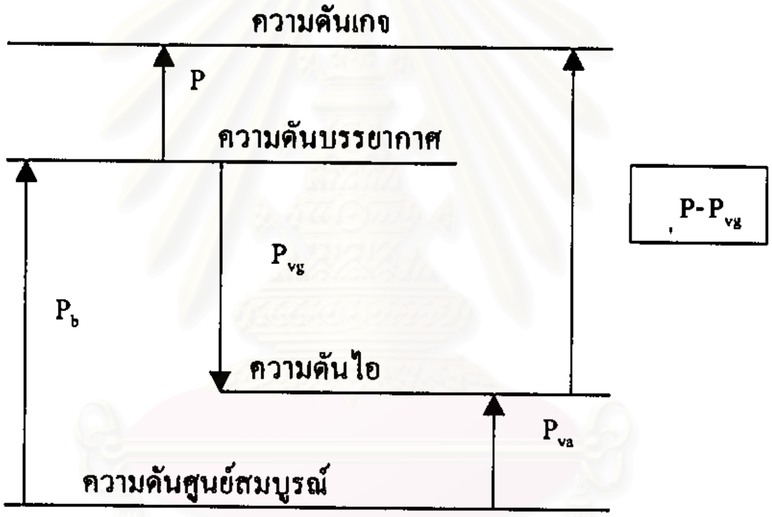
ΔP คือความดันตกคร่อมสุทธิ

P_{vg} คือความดันไอสมบูรณ์

P_u คือความดันก่อนเข้าอุปกรณ์

P_b คือความดันบรรยากาศ

$P_{vg} = (P_{va} - P_b)$



รูปที่ 3-1 นิยามของความดันไอ

การเลือกใช้สมการทั้งสองนั้นไม่เจาะจงแต่จะเลือกใช้ตามความเหมาะสมของระบบ ความสัมพันธ์ของสมการคือ

$$K_c = 1 / (\sigma + 1) \quad (3.3)$$

สำหรับคาวิเทชันที่เกิดขึ้นที่ ๆผิวหยาบหรือใช้อุปกรณ์ที่ไม่สามารถประเมินค่า ΔP ได้ จะมีค่า σ ในรูปแบบอื่นที่ใช้ได้สะดวกกว่าคือ

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho V^2} \quad (3.4)$$

โดย ρ ความหนาแน่นของของเหลว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

V ความเร็วเฉลี่ย

และ $\sigma_2 = (\sigma + 1)K_1$ (3.5)

K_1 = minor loss

σ_2 = Cavitation Number

σ = Cavitation Number พื้นฐาน

3-6 ระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชัน

1) คาวิเทชันเริ่มก่อ (Incipient Cavitation) เป็นปรากฏการณ์คาวิเทชันในระดับเริ่มแรกซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบระบบที่ไม่ต้องการให้มีเสียงหรือการรบกวนต่างๆ

2) คาวิเทชันวิกฤต (Critical Cavitation)เป็นปรากฏการณ์คาวิเทชันในระดับที่ไม่ลดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ แต่ระบบอาจจะได้รับผลกระทบจากเสียงและการรบกวน

3) ความเสียหายเริ่มก่อ (Incipient Damage)เป็นปรากฏการณ์คาวิเทชันในระดับที่ก่อให้เกิดความเสียหายให้แก่ระบบโดยอ้างอิงจากการที่อลูมิเนียมอย่างอ่อน (Soft Aluminium) ถูกกัดกร่อนไปด้วยอัตรา 1 pit/in^2/min

4) โชกกิ้งคาวิเทชัน (Choking Cavitation) เป็นปรากฏการณ์คาวิเทชันในระดับที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง รวมทั้งมีผลอย่างมากต่ออายุการใช้งานของระบบและอุปกรณ์

3-7 กลไกความเสียหาย (Damage Mechanism)

ถ้าฟองไอเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าของของแข็งก่อนการแตกสลาย แล้วเกิดการแตกสลาย จะเกิดความเสียหายขึ้นจากการเซาะกร่อน ในกรณีศึกษาของ Knapp [5] บ่งชี้ว่าการแตกสลายที่เกิดขึ้นโดยประมาณที่ระยะเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองจากพื้นผิวจะทำให้เกิดการเซาะกร่อน โดยทั่วๆไปฟองจะมีขนาดเล็กมาก จึงกล่าวได้ว่าการแตกสลายที่ใกล้ผิว หรือบนผิวเท่านั้นที่จะทำให้เกิดความเสียหายจากการเซาะกร่อน (Erosion Damage)

ความเสียหายที่มีต่อพื้นผิวของแข็งนั้นมี 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นคลื่นกระแทกความดันสูงที่เกิดขึ้นจากการแตกสลายของฟองมีซึ่งมีค่าสูงมาก คือ มากกว่า 10^6 Psi ซึ่งมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อวัสดุได้ และอีกลักษณะหนึ่งความเสียหายสามารถเกิดจากสิ่งที่เรียกว่าลำน้ำขนาดเล็ก (Micro Jet) เมื่อฟองแตกตัวใกล้ๆกับพื้นผิวแล้ว ความดันที่เกิดขึ้นรอบๆฟองจะไม่สมมาตรเนื่องจากมีพื้นผิวอยู่ใกล้ๆ เมื่อฟองแตกสลายด้านข้างของฟองที่อยู่ใกล้กับผนังจะเคลื่อนตัวออกจากผนังด้วยความเร็วที่สูงกว่า สร้างลำน้ำพุ่งผ่านศูนย์กลางของฟองด้วยความเร็วสูงมากและสร้างหลุม (Pit) ขึ้นที่ตำแหน่งนั้นเมื่อมันเกิดชนผนัง

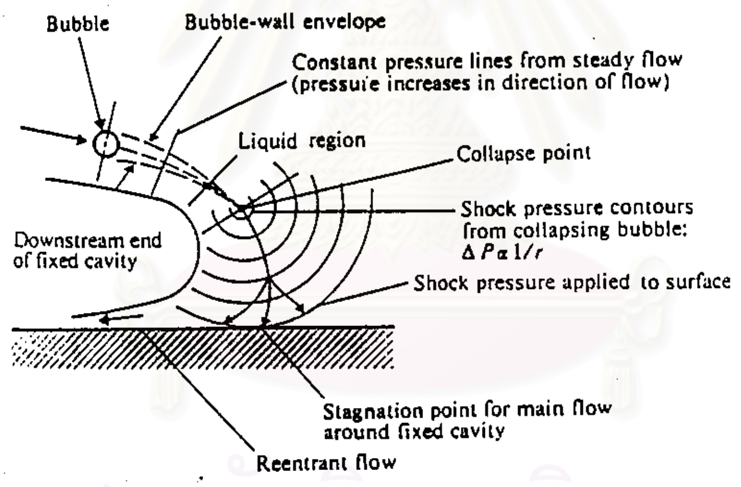
เมื่อระบบถึงจุดที่เกิดความเสียหายจากการเซาะกร่อนแล้ว ความเสียหายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความเร็วของระบบที่เพิ่มขึ้น

ผลอีกอย่างของความเสียหายจากการเซาะกร่อนคือการกัดกร่อน (Corrosion) คาวิเทชันนั้นจะทำให้เกิดการออกซิไดซ์ของวัสดุจากผิว ทำลายผิวโลหะ เป็นการเร่งการเกิดการกัดกร่อน อาจกล่าวได้ว่าการหลุดออกจากผิวของเนื้อโลหะจากปรากฏการณ์คาวิเทชันเป็นผลมาจากการกัดกร่อน จุดนี้เป็นวิธีการตรวจสอบความเสียหายจากคาวิเทชันในการทดลองได้

คาวิเทชันสามารถเร่งความเสียหายจากการกัดเซาะโดยตะกอน (Sediment) ในของเหลว พื้นผิวนั้นจะถูกทำให้อ่อนแอลงโดยคาวิเทชันและจะผุกร่อนได้ง่ายมากขึ้นจากการกระทำโดยการขัดถู (Abrasive Action) ของตะกอน

3-8 <u>สมมุติฐานการเกิดคลื่นกระแทกความดันสูง</u>

ในกรณีศึกษาของ Rayleigh [2 หน้า 138-146] ได้มีการตั้งสมมุติฐานและทำการทดลองดังนี้



รูปที่ 3-2 การแตกตัวตามสมมุติฐานโดย Rayleigh

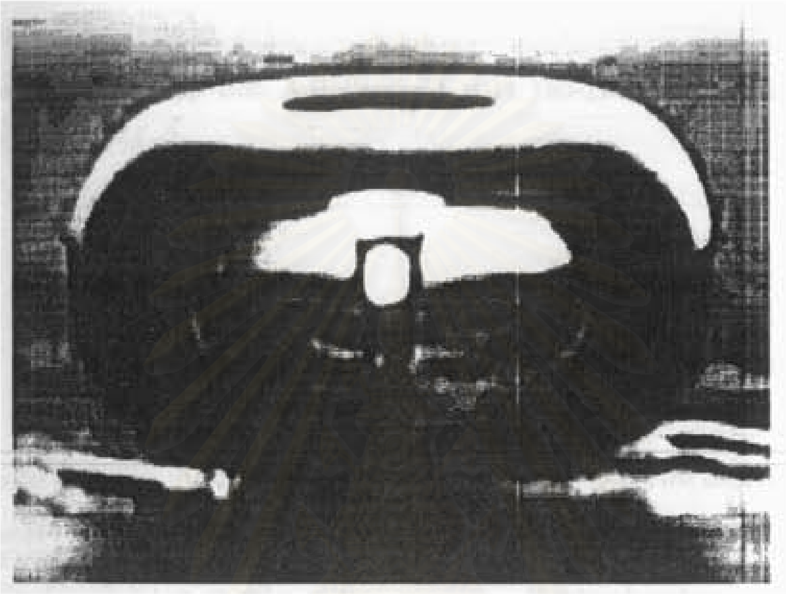
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Rayleigh ศึกษาเกี่ยวกับการแตกตัวของฟองไอเท่านั้นยังไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเสียหายมีลักษณะรูปจำลองดังรูปที่ 3-2 คือ Rayleigh สมมุติให้ฟองไอมีการเติบโตและแตกตัวขึ้นเนื่องจากความดันล้อมรอบโดยการแตกตัวเป็นแบบ Spherical Collapse และใช้หลักของมวลและโมเมนตัมในการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานให้โมเมนตัมคงที่ระหว่างการแตกตัว ซึ่งจากสมมุติฐานกล่าวได้ว่าเมื่อฟองไอเกิดการแตกตัวฟองไอจะมีขนาดเล็กลงส่งผลให้มวลลดลงถ้ามวลเล็กลงมากๆจนมีค่า

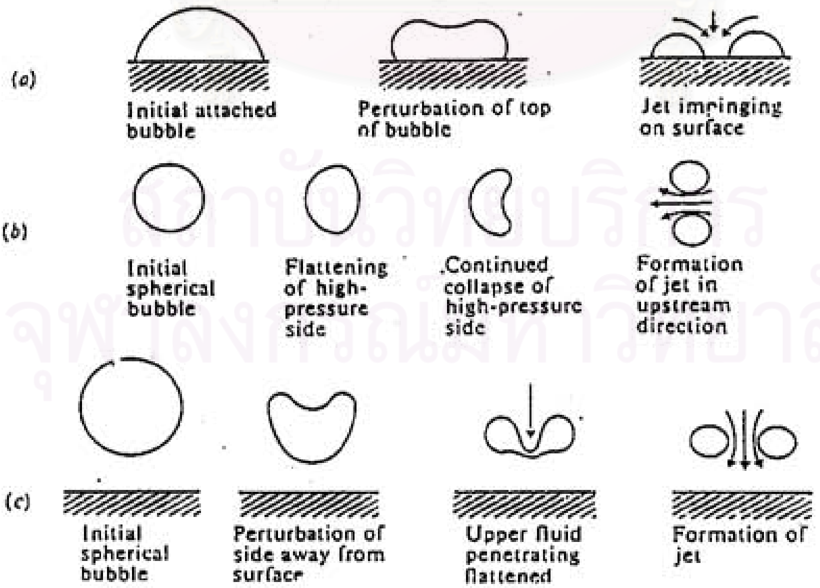
ใกล้ศูนย์ก็จะทำให้ความเร็วของฟองไอเพิ่มขึ้นสูงมากเนื่องจากโมเมนตัมคงที่ และจะสร้างความดัน และความเร็วสูงเกิดขึ้นในเวลาที่รวดเร็วมากในระหว่างการแตกตัว

3-9 <u>ความเสียหายเนื่องจาก Micro Jet</u>

ในกรณีศึกษาของ Hammit,F.G และ Timm,E.E. [2 หน้า 221-232] ได้กล่าวถึงการศึกษาเรื่องของลำน้ำขนาดเล็ก (Micro Jet) รวมทั้งรูปถ่ายและแบบจำลองไว้ดังนี้



รูปที่ 3-3 รูปถ่ายลำน้ำขนาดเล็ก

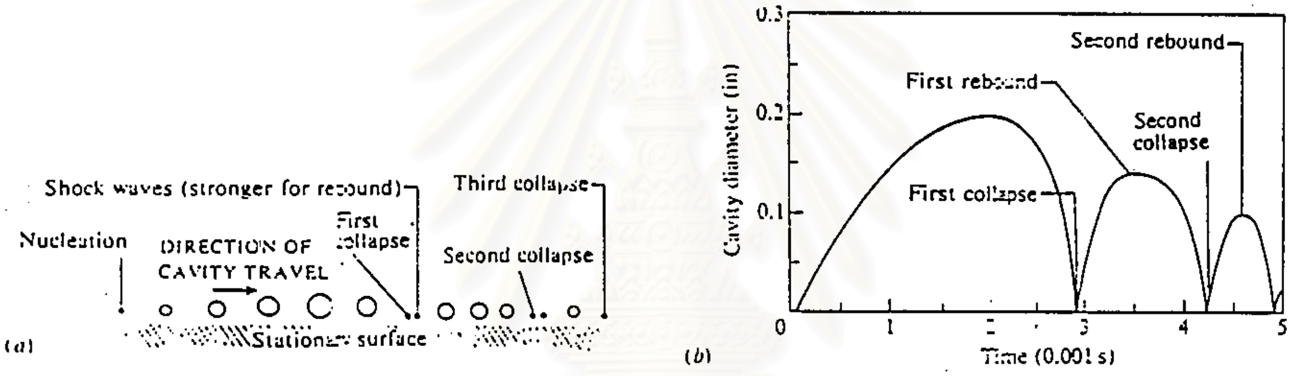


รูปที่ 3-4 แบบจำลองการเกิดลำน้ำขนาดเล็ก (Micro Jet) ที่ศึกษาโดย Kling Timm and Hammitt

สามารถอธิบายการเกิดลำน้ำขนาดเล็ก (Micro Jet) ได้ว่าเมื่อฟองไออยู่ใกล้ผนังไม่ว่าจะเป็นผนังแข็งเกร็งหรือผนังฟองไอข้างเคียงก็ตาม จะมีความแตกต่างกันของความดันของฟองไอด้านที่อยู่ชิดผนังกับด้านที่ไม่ชิดผนัง ส่งผลทำให้ฟองไอเกิดการไม่สมมาตรจึงสร้างลำน้ำขนาดเล็ก(Micro Jet) พุ่งผ่านศูนย์กลางของการแตกตัว และถ้าลำน้ำขนาดเล็ก (Micro Jet) ไปกระทบผนังทำให้เกิดความเสียหายขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3-4

3-10 <u>การ Rebounds ตัวของฟองไอ</u>

ในกรณีศึกษาของ Knapp และ A.Hollander[2 หน้า 180-214] ได้กล่าวถึงการศึกษาเรื่อง Rebounds รวมทั้งจำลองไว้ดังนี้



รูปที่ 3-5 แสดงการ Rebounds ของฟองไอ

การ Rebounds คือการที่ฟองไอขนาดเล็กที่เกิดจากการแตกตัวของฟองไอปกติเติบโตขึ้นแล้วทำการแตกตัวขึ้นอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 3-5 ซึ่งผลจากการ Rebounds จะทำให้เกิดคลื่นกระแทกและอาจจะมีความรุนแรงเพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้การ Rebounds จะสามารถเกิดซ้ำได้หลายครั้ง

3-11 <u>ผลกระทบที่ส่งผลสำคัญต่อ Jet Impact Damage</u>

3-11-1) <u>ผลกระทบเนื่องจากความเร็วและความดันของการไหล</u>

ในอุปกรณ์ต่างๆเช่น อุปกรณ์ Jet Impact (ใช้ศึกษาปรากฏการณ์คาวิเทชัน) Rotating Discs อุโมงค์ที่ใช้แยกการไหล หรือจากอุปกรณ์การทดลองของ Knapp จะสังเกตพบว่าอัตราความเสียหายจากปรากฏการณ์คาวิเทชันมีความสัมพันธ์กับความเร็ว โดย Knapp [11] พบว่าอัตราความเสีย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาย แปรผันตามความเร็วยกกำลังหก . การทดลองต่อมาในภายหลัง [12,13,14] พบว่าคำอธิบายเบื้องต้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการอาทิเช่นการสะสมของความเสียหายเป็นต้น นอกจากนี้อัตราความเสียหายจะเกี่ยวพันถึงความเร็วและความดันในบริเวณที่เกิดการแตกตัวซึ่งจะขึ้นกับรูปแบบของการไหล ในทางทฤษฎีของการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชันเห็นได้ชัดว่าความดันเป็นตัวแปรอันดับแรกที่เกี่ยวพันถึงการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน ถ้าความดันในบริเวณที่เกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องมาจากความเร็วแล้วความรุนแรงของการแตกตัวเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นอัตราความเสียหายจึงมีความไว (sensitive) กับความเร็วเป็นอย่างมาก ในทางกลับกันถ้าความดันในบริเวณที่เกิดการแตกตัวไม่มีผลกระทบเนื่องจากความเร็วดังเช่นในเวนทูรี่ อัตราความเสียหายก็จะไม่เพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงเนื่องจากความเร็วด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามในมุมมองของการออกแบบระบบจะต้องพิจารณาว่าอัตราความเสียหายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความเร็วและหากความเร็วเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจจะเปลี่ยนจากระบบที่ไม่เกิดความเสียหายเป็นระบบที่เกิดความเสียหายได้

3-11-2) <u>ผลกระทบเนื่องจาก Cavitation Number</u>

จากการศึกษาผลกระทบเนื่องจาก Cavitation Number ($\sigma_2=2(p_u-p_v)/\rho V^2$) [2 หน้า 250-251] พบว่าเมื่อ Cavitation Number เพิ่มขึ้น(กำหนดให้ความเร็วคงที่) จำนวนและขนาดของฟองไอจะลดลง แต่ความดันที่แตกต่างระหว่างการแตกตัวเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ความรุนแรงในการแตกตัวเพิ่มขึ้นด้วย(ฟองไอขนาดเดียวกัน) แม้ว่าจำนวนฟองไอมีปริมาณลดลง และสามารถสรุปได้ว่าเมื่อ Cavitation Number เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความดัน(ความเร็วคงที่)จะทำให้อัตราความเสียหายลดลงเนื่องจากจำนวนและขนาดของฟองไอลดลง

ถ้า Cavitation Number เพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดความเร็วโดยให้ความดันคงที่ ผลกระทบจาก Cavitation Number ก็จะเหมือนกับผลกระทบเนื่องจากความเร็วและความดันดังกล่าวไปแล้ว คือความเสียหายจะลดลง

3-11-3) <u>ผลกระทบเนื่องจากก๊าซที่ผสมอยู่ในของเหลว</u>

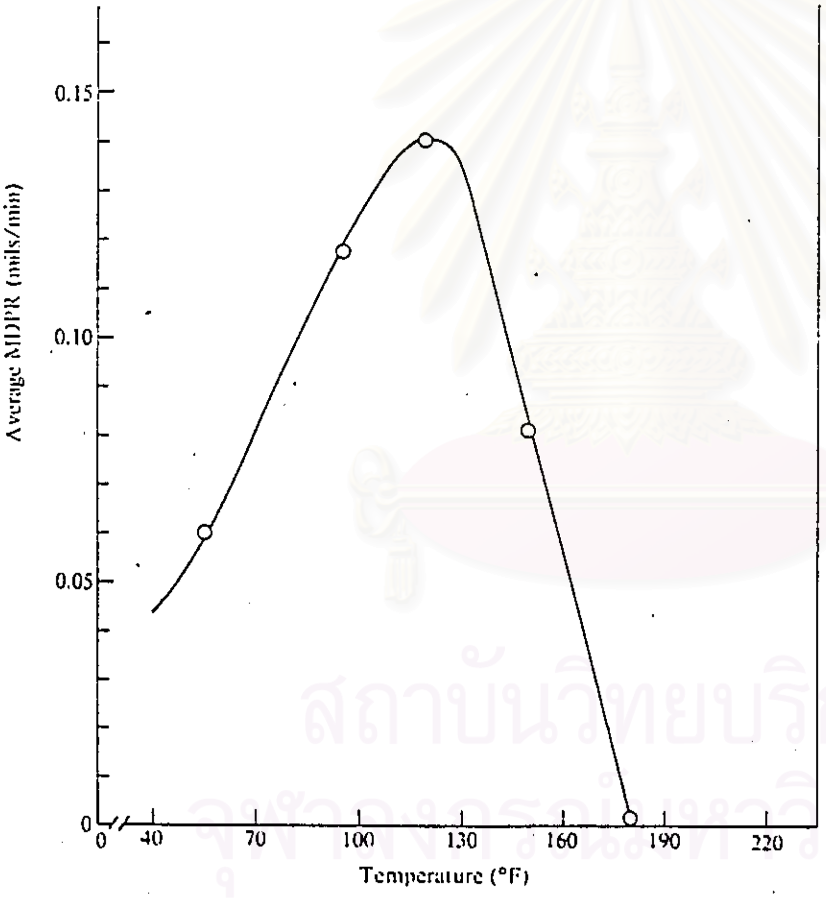
เมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในของเหลวจะทำให้มีจำนวนจุดกำเนิดของฟองไอเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีจำนวนฟองไอเพิ่มขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิ,ความดัน และความเร็วของของเหลวเท่ากัน(หรือกล่าวได้ว่ามี Cavitation Number เท่ากัน) ซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราความเสียหายเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อของเหลวมีไอก๊าซผสมอยู่ในของเหลวมากขึ้นทำให้ขอบเขตการแตกตัวของฟองไอลดลงเนื่องจากถูกควบคุมด้วยก๊าซที่ผสมในของเหลว จะทำให้คลื่นแรงดันของของเหลวมีขนาดลดลง ส่งผลให้อัตราความเสียหายจะลดลง

การเปรียบเทียบกลไกความเสียหายกับผลกระทบเนื่องจากก๊าซที่ผสมในของเหลวยังไม่สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนนักและยังเป็นผลกระทบที่ไม่สำคัญต่อกลไกความเสียหายด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของเหตุผลที่กล่าวข้างต้นไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามมีผลการทดลอง [15] ที่บ่งบอกว่าเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในของเหลวจะทำให้อัตราความเสียหายลดลง

3-11-4) <u>ผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิของของเหลวเมื่อมี Cavitation Number คงที่</u>

เมื่อของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้นขณะที่ Cavitation Number คงที่ ความหนาแน่นของไอในฟองไอเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การแตกตัวของฟองไอเนื่องจากความดันฟื้นตัวยากขึ้นและการเติบโตของฟองไอจะถูกควบคุมด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้อัตราความเสียหายมีปริมาณลดลง

มีการทดลองต่างๆ [2 หน้า 250-253] ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิของของเหลวต่ออัตราความเสียหาย การศึกษาเหล่านั้นพบว่าเมื่อของเหลวมีอุณหภูมิใกล้กับจุดเดือดหรือจุดเยือกแข็งอัตราความเสียหายเนื่องจากปรากฏการณ์คาวิเทชันจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากความดันของของเหลวไม่พอเพียงที่จะทำให้ฟองไอเกิดการแตกตัวดังผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 3-6



Average MDPR = Mean Depth per Rate (อัตราความลึกของหลุมความเสียหายต่อนาที)

รูปที่ 3-6 ผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิต่ออัตราความเสียหายที่เกิดจากปรากฏการณ์คาวิเทชันของสแตนเลส 304 University of Michigan tests, Garcia [16]

หมายเหตุ Average MDPR หมายถึงอัตราความลึกเฉลี่ยของหลุมความเสียหายจากปรากฏการณ์คาวิเทชันต่อนาที

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3-11-5) ผลกระทบเนื่องจากวัสดุพื้นผิว

กลไกความเสียหายที่เกิดในพื้นผิวแข็งเกร็งมักพบว่าวัสดุที่มีความแข็งและความแข็งแรงสูงกว่าจะเกิดอัตราความเสียหายน้อยกว่า ในความเป็นจริงแล้วความกลไกความเสียหายที่เกิดกับผิววัสดุต่างๆมีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลายชนิดที่ซับซ้อนมากและมักจะสามารถหาอัตราความเสียหายที่เกิดกับผิววัสดุได้จากการทดลองซ้ำหลายๆครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย