ค้อนน้ำ Water Hammer

แปลและเรียบเรียงจาก Joe Evans, August and September 2008 issues of Pumps & Systems

ชัชวาลย์ คุณค้ำชู อดีตนายก ACAT 2548-2549

สรภพ คุณค้ำชู วิศวกรคอมพิวเตอร์

ค้อนน้ำ หรือ Water Hammer คือการเพิ่มแรงดันอย่างเฉียบพลัน ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบท่อและเครื่องสูบน้ำทุกประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงในอัตราการไหลอย่างเฉียบพลันและรุนแรง การเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำอย่างกะทันหัน แรงดันกระชากจะทำให้น้ำไหลกระแทกกลับไปกลับมาภายในระบบท่อน้ำจนกระทั่งอ่อนแรงลงโดยระบบ เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นในระบบท่อน้ำปิดโดยเป็นผลมาจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วของของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายเกิดมาจากการเปิด การปิด การเปลี่ยนความเร็วของเครื่องสูบน้ำอย่างกะทันหัน หรือการเปิดหรือปิดวาล์วน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงที่มีการเริ่มต้นหรือหยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ การเปิดปิดวาล์วน้ำ หรือการแยกทางไหลของน้ำ (Water Column Separation) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลันในระบบนี้ ทำให้แรงเฉื่อย (Momentum) ในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงจนทำให้เกิดคลื่นกระแทกที่เคลื่อนที่ไปมาระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองฝั่ง และหากคลื่นกระแทกดังกล่าวมีความรุนแรงมากพอ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพทำให้ท่อน้ำแตกอุปกรณ์ในระบบเกิดความเสียหายได้ นอกจากนั้น ปัญหาค้อนน้ำยังเป็นปัญหาที่ต้องให้ความสำคัญกับระบบที่มีแรงดันต่ำอยู่แล้วอีกด้วย

รูปที่ 1

ค้อนน้ำ เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างของการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นแรงดันแทนเนื่องด้วยของเหลวแทบทุกชนิดจะไม่สามารถหดตัวได้ ทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นมักจะสูงตามไปด้วย

จากรูปที่ 1 โดยเริ่มจากการที่เครื่องสูบน้ำเริ่มทำงานและส่งน้ำเข้าสู่ระบบท่อที่ไม่มีน้ำอยู่ในระบบ โดยวาล์วทั้งสองเปิดอยู่และสามารถปิดได้ทันทีโดยไม่ใช้เวลาในการปิด และระบบท่อทั้งระบบไม่มีความยืดหยุ่น (Fixed) และไม่สามารถขยายขนาดได้ ไม่ว่าจะมีความดันสูงเท่าใดก็ตาม และให้ถือว่ากำแพงน้ำที่เริ่มไหลแต่แรกมีผิวเรียบสนิทและมีขนาดเท่ากับหน้าตัดตามขวางของท่อพอดี เมื่อน้ำไหลถึงวาล์วตัวที่ 2 วาล์วถูกปิดทันที และไม่มีอากาศอยู่หน้าแนวกำแพงน้ำ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ ทั้งที่แนวกำแพงน้ำติดอยู่หน้าวาล์วตัวที่ 2 แล้ว กระแสน้ำก็ยังจะไหลเข้าสู่ท่อต่อไปในช่วงเสี้ยววินาทีถัดไปทั้งๆที่วาล์วถูกปิดลงแล้ว และเมื่อกระแสน้ำในระบบหยุดไหล และวาล์วตัวที่ 1 ถูกปิด น้ำในระบบทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง วาล์วตัวที่ 1 และวาล์วตัวที่ 2

เนื่องจากน้ำเป็นของเหลวที่แทบจะไม่สามารถหดตัวได้ (ยังสามารถหดตัวได้ในปริมาณที่น้อยมาก) ในอุณหภูมิห้อง แรงดัน 1 psiจะลดปริมาตรของน้ำลงได้ 0.0000034%ซึ่งอาจเป็นค่าที่ดูน้อยมาก แต่หากคิดในปริมาตรที่มีขนาดใหญ่พอ จะทำให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนขึ้น ยกตัวอย่างเช่นหากน้ำทะเลไม่สามารถหดตัวได้ ระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นอีกประมาณ 100 ฟุต จากระดับปัจจุบัน ในระบบที่มีแรงดันสูงมาก เช่นที่ 40,000psi อัตราการหดตัวของน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็น 10% นอกจากนั้น น้ำทั่วไปยังมีส่วนผสมของไนโตรเจนและอ็อกซิเจนที่เพิ่มความสามารถในการหดตัวของน้ำยิ่งขึ้นอีก

สาเหตุ

เนื่องจากความสามารถในการหดตัวของของเหลว ในที่นี้คือน้ำ ที่ถึงแม้น้อย แต่ก็ยังพอมีอยู่บ้าง ทำให้ผลลัพท์ที่เกิดขึ้นในระบบต่างจากของแข็ง หากวัตถุในระบบเป็นของแข็งที่ไม่สามารถหดตัวได้เลย สิ่งที่จะเกิดขึ้นคือวัตุในระบบทั้งหมดจะหยุดตัว หรือเคลื่อนตัวกลับทั้งชิ้นเพราะแรงสะท้อน แต่เมื่อเป็นน้ำ เมื่อกำแพงน้ำถึงวาล์วที่ปิดอยู่และหยุดตัวลงอย่างกระทันหัน น้ำที่ไหลตามมาในระบบจะยังไหลอยู่ และทำให้น้ำในระบบทั้งหมดเกิดการหดตัวลง ซึ่งจะเกิดพื้นที่ให้น้ำเล็กน้อยไหลเข้ามาเพิ่มในระบบ ทั้งๆที่น้ำในระบบหยุดเคลื่อนตัวแล้ว และเมื่อการไหลในระบบทั้งหมดหยุดตัวลง พลังงานที่ถูกเก็บไว้ในการหดตัวของน้ำ ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดัน

การหดตัวจะเกิดขึ้นเริ่มต้นจากต้นกำแพงน้ำ และเนื่องจากพลังงานที่เปลี่ยนเป็นแรงดันที่เกิดขึ้นในระบบไม่สามารถถ่ายเทผ่านไปทางวาล์วที่ 2 ที่ถูกปิดลงได้ ทำให้พลังงานเคลื่อนไปยังทิศทางที่มีแรงต้านทานน้อยที่สุด ซึ่งในตัวอย่างนี้ คือการไหลย้อนกลับไปยังทิศทางของ วาล์วที่ 1และเมื่อแรงดันเคลื่อนตัวไปถึงวาล์วที่ 1 ก็จะเกิดการสะท้อนกลับและลดแรงลงเรื่อยๆตามพลังงานที่สูญเสียจะการสะท้อนและแรงเสียดทานในระบบจนหยุดลง ซึ่งความเร็วของคลื่นแรงดันและอัตราการลดลงของแรงดันขึ้นอยู่กับวัสดุที่เป็นตัวกลาง ซึ่งในที่นี้คือน้ำที่เป็นตัวกลางในการส่งแรงดันได้อย่างดี

คลื่นแรงดันที่เกิดขึ้นในระบบ มีลักษณะคล้ายคลึงกับคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ในความเร็วใกล้เคียงกัน ระยะเวลาที่คลื่นแรงดันที่เคลื่อนตัวผ่านระยะของท่อทั้งเส้นเท่ากับระยะของท่อหารด้วยความเร็วเสียงในน้ำ (ประมาณ 4,860 ฟุต/วินาที) และในการพิจารณาเรื่อง

ค้อนน้ำ เราจะใช้ระยะเวลาที่คลื่นแรงดันเกิดจากจุดเริ่มต้น วิ่งไปชนกับสิ่งกีดขวาง และสะท้อนกลับมายังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง จะทำให้ได้สูตรการคำนวนเวลาคือ T = 2L/a (โดยที่ L คือความยาวของท่อ และ a คือความเร็วของคลื่นซึ่งในที่นี้คือความเร็วของเสียงในน้ำ) แปลว่าในท่อยาว 1,000 ฟุต คลื่นแรงดันจะเคลื่อนตัวไปกลับได้ในระยะเวลาไม่ถึงครึ่งวินาที

P = aV / 2.31g **สูตรคำนวณที่ 1**

P = แรงดันที่เพิ่มขึ้นจากคลื่นแรงดัน

a = ความเร็วคลื่น (ความเร็วเฟส) (ฟุต/วินาที)

V = ความเร็วของน้ำในระบบ (ฟุต/วินาที)

g = ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงที่ 32 (ฟุต/วินาที2)

2.31 = ค่าคงที่เปลี่ยน foot of head เป็น psi

แรงดันที่เกิดจากคลื่นในระบบ แปลผันตรงกับทั้งความเร็วคลื่น และความเร็วของน้ำในระบบ ถึงแม้สูตรคำนวณที่ 1 จะไม่ได้พิจารณาผลจากขนาดของท่อ ทั้งความยาว พื้นที่หน้าตัด และความยืดหยุ่น แต่สูตรคำนวณพอที่จะใช้ให้เห็นถึงแรงดันที่จะเพิ่มขึ้นในระบบที่เกิดจากค้อนน้ำได้

รูปที่ 2

ในระบบท่อที่มีอัตราน้ำไหล 5 ฟุต/วินาที จะเกิดแรงดันที่เพิ่มขึ้นประมาณ 328 psi และเมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 10 ฟุต/วินาทีจะเกิดแรงดันเพิ่มขึ้นเป็น 657 psi ซึ่งแปลว่า หากระบบไม่ได้รับการออกแบบให้รับแรงดันที่เพิ่มขึ้นได้ ก็จะเกิดการเสียหายทางกายภาพกับระบบขึ้นแน่นอน

การเปิดปิดวาล์ว

ปัจจัยหลักข้อหนึ่งที่ทำให้เกิดค้อนน้ำคือการปิดวาล์วอย่างกระทันหัน โดย รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงท่อประธานที่มีท่อย่อยแยกออกด้วยข้อต่อตัวที และที่ปลายท่อย่อยมีวาล์วติดตั้งอยู่ ลูกศรปลายเดียวแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของน้ำ และลูกศรสองปลายแสดงความยาวของท่อย่อย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 1 วาล์วที่ปลายท่อเทียบได้กับวาล์วตัวที่ 2 ที่เป็นอุปสรรคขวางทางน้ำ แต่ในครั้งนี้ จะมีข้อต่อตัวทีเป็นอุปสรรคของแรงสะท้อนแทนวาล์วที่ 1

เมื่อมีกระแสน้ำไหลเข้าสู่ท่อย่อย และมีการปิดวาล์วอย่างกระทันหันจนเกิดคลื่นกระแทก ผลที่เกิดขึ้นจะคล้ายคลึงกับตัวอย่างแรก แต่ในครั้งนี้จะมีความแตกต่างคือ แรงดันในระบบจะลดลงเนื่องจากบริเวณข้อต่อที เชื่อมต่อกับท่อประธาน ที่สามารถช่วยรับแรงสะท้อนได้ทั้งสองทิศ อย่างไรก็ตาม แรงดันที่เกิดขึ้นในระบบจะยังมีผลกระทบต่อวาล์วน้ำอย่างเห็นได้ชัด

P = 0.07 (VL / t) **สูตรคำนวณที่ 2**

P = แรงดันที่เพิ่มขึ้นจากคลื่นแรงดัน

V = ความเร็วของน้ำในระบบ (ฟุต/วินาที)

L = ความยาวท่อระหว่างอุปสรรคสองฝั่ง (ฟุต)

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์ว (วินาที)

0.07 = ค่าคงที่เปลี่ยนหน่วย

ในตัวอย่างการคำนวณนี้ เราสามารถควบคุมตัวแปรเพิ่มเติมได้อีกส่วนหนึ่ง คือระยะเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์ว ซึ่งในตัวอย่างแรกเราได้ถือว่าระยะเวลา

การปิดวาล์วเร็วมากจนไม่มีค่าคำนวณ ดังนั้นในตัวอย่างการคำนวณนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลอย่างชัดเจนต่อการก่อตัวของค้อนน้ำในระบบ ปัจจัยอีกสองอย่างซึ่งก็คือความเร็วของน้ำและความยาวของท่อก็มีส่วนสำคัญต่อผลการคำนวณเช่นกันตามที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามค่าในสูตรคำนวณที่ 2 แรงดันที่เพิ่มขึ้นในระบบจะแปรผันตรงกับความเร็วของน้ำ ความยาวของท่อ และแปรผกผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์ว กล่าวคือ ยิ่งค่าความเร็วของน้ำและความยาวของท่อสูง แรงดันที่เป็นผลจากค้อนน้ำจะสูงตามไปด้วย แต่หากระยะเวลาในการปิดวาล์วสูงแรงดันจะลดลงแทน

ตารางที่ 1

P = 0.07 (5x100) / 1 = **35**	P = 0.07 (5x100) / 2 = **17.5**
P = 0.07 (10x100) / 1 = **70**	P = 0.07 (10x100) / 2 = **35**
P = 0.07 (5x1000) / 1 = **350**	P = 0.07 (5x1000) / 2 = **175**
P = 0.07 (10x1000) / 1 = **700**	P = 0.07 (10x1000) / 2 = **350**

โดยตารางที่ 1 แสดงให้เห็นผลของการคำนวณตามสูตรคำนวณนี้โดยมีปัจจัยตัวแปรความเร็วของน้ำ ความยาวท่อ และระยะเวลาในการปิดวาล์วแตกต่างกันไป โดยให้ตัวแปร V (ความเร็วของน้ำในระบบ) มีค่าอยู่ที่ 5 และ 10 ฟุต/วินาที ค่า L(ความยาวท่อระหว่างอุปสรรคสองฝั่ง) มีค่าอยู่ที่ 100 และ 1,000 ฟุต และ t(ระยะเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์ว) อยู่ที่ 1 และ 2 วินาที โดยในตาราง จะควบคุมตัวแปรทีละสองตัวในแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบ

จากตารางแนวตั้งทั้งสองแถว แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากความเร็วของน้ำและความยาวของท่อที่ทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นเมื่อทั้งสองค่าเพิ่มขึ้น แต่ในตารางแนวตั้งแถวขวาแสดงให้เห็นถึงการแปรผกผันของแรงดันที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการปิดวาล์ว ทำให้แรงดันต่ำกว่าตารางแนวตั้งแถวซ้ายครึ่งหนึ่งเนื่องจากระยะเวลาในการปิดวาล์วเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว ซึ่งในการใช้งานจริง ความยาวของท่อมักจะเป็นค่าที่เราไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการทำงานของระบบแรกเริ่ม แต่เราสามารถเปลี่ยนตัวแปรอีกสองตัวได้และจะเป็นการช่วยลดผลกระทบจากการเกิดค้อนน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และความยืดหยุ่นของวัสดุ ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแรงดันในระบบเช่นกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใหญ่ขึ้น และวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง จะช่วยรองรับแรงกระแทกและช่วยทำให้เกิดแรงดันในระบบน้อยลงได้ ผู้ผลิตท่อหลายเจ้าได้เริ่มทำแผนภูมิโค้ง (Curve) ที่แสดงให้เห็นถึงค่าความแรงของค้อนน้ำที่สามารถเกิดขึ้นได้ในท่อแต่ละขนาดและวัสดุ

ในกรณีที่วาล์วถูกปิดอยู่ และถูกเปิดอย่างกระทันหัน ผลที่จะเกิดขึ้นก็ใกล้เคียงกับการปิดวาล์วอย่างกระทันหันเช่นกัน เมื่อวาล์วถูกเปิด แรงดันในท่อย่อยจะตกลงอย่างรวดเร็วทำให้น้ำจากท่อประธานไหลเข้ามาเติมในอัตราเร่งที่สูงกว่าการไหลตามปกติ ซึ่งแรงเสียดทานและปัจจัยชะลอน้ำอื่นๆ อาจทำให้กำแพงน้ำที่ไหลเข้ามาก่อนในช่วงแรก ทำตัวเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำที่เหลือเหมือนกับวาล์ว และก่อให้เกิดค้อนน้ำขึ้นได้ โดยปกติ ผลกระทบจากการเปิดวาล์วมักจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการปิดวาล์ว (ซึ่งมักจะถูกเรียกว่า Surge) อย่างไรก็ตาม ในบางกรณี ผลกระทบดังกล่าวก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายในระบบได้

การเปิด/ปิดเครื่องสูบน้ำ

ผลจากค้อนน้ำจะเห็นได้ชัดเจนกว่าในระบบที่มีแรงดันต่ำตามปกติ แรงดันที่เพิ่มขึ้นจากคลื่นกระแทกที่แปรผันตรงกับความยาวท่อและความเร็วของ

กระแสน้ำ เกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระต่อความดันปกติของระบบ เพราะฉะนั้นแรงดันที่เพิ่มขึ้นในระบบจากคลื่นกระแทกที่เกิดจากท่อยาว 1,000 ฟุต ที่กระแสไหลที่ 5 ฟุต/วินาที จะมีค่าเท่ากันไม่ว่าระบบจะทำงานปกติอยู่ที่ 50 psi หรือ 200 psi ความแตกต่างคืออัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันในระบบเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันปกติจะแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างระบบแรงดันต่ำและระบบแรงดันสูง ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้มากกว่าในระบบที่มีแรงดันต่ำอยู่แต่เดิม

ในระบบขนาดใหญ่ทั่วไป ขั้นตอนปกติในการเริ่มทำงานของเครื่องสูบน้ำจะเริ่มด้วยการปิดวาล์วฝั่งจ่ายก่อน เพื่อรอให้เครื่องสูบน้ำทำงานเต็มรอบก่อน จึงทำการเปิดวาล์วฝั่งจ่ายอย่างช้าๆ ทำให้อัตราการไหลของกระแสน้ำในระบบสูงขึ้นตามลำดับจนถึงค่าสูงสุดของระบบ และจะย้อนกลับขั้นตอนดังกล่าวในกรณีที่ต้องการปิดเครื่องสูบน้ำ เพราะการเปิดและปิดเครื่องสูบน้ำด้วยวาล์วที่ถูกเปิดและปิดอย่างช้าๆ จะลดการเกิดค้อนน้ำได้

วาล์วฝั่งจ่ายน้ำอาจจะถูกควบคุมด้วยมือ หรือมีระบบอัตโนมัติเข้าช่วยควบคุมได้ แต่การควบคุมด้วยมือจะมีข้อเสียในกรณีที่เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าซึ่งทำให้มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำหยุดทำงานอย่างรวดเร็วและทำให้อัตราการไหลในระบบลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ในระบบอาจทำให้เกิดค้อนน้ำในระบบท่อฝั่งจ่ายน้ำได้ เมื่อน้ำที่ไหลย้อนกลับหมุนใบพัดของระบบเครื่องสูบน้ำในด้านตรงข้ามจนถึงความเร็วสูงสุดที่หมุนได้ ก็จะไม่มีส่วนที่สามารถรับแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นในระบบได้ และเกิดแรงดันเพิ่มขึ้นที่เหลือในระบบในที่สุด

ในการใช้งานเครื่องสูบน้ำเพื่อรักษาแรงดันในระบบ จะมีการใช้เช็ควาล์วแบบสปริง (Spring-loaded) ในฝั่งจ่ายน้ำ ซึ่งในช่วงที่เครื่องสูบน้ำไม่ได้ทำงาน วาล์วจะปิดอยู่ และเมื่อเครื่องสูบน้ำเริ่มทำงาน วาล์วก็จะไม่เปิดจนกว่าแรงดันของน้ำจากฝั่งเครื่องสูบน้ำมีค่าสูงกว่าน้ำที่อยู่ฝั่งตรงข้ามของวาล์ว ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถช่วยให้แรงดันในระบบน้ำไม่ลดลงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม และควบคุมการเพิ่มของอัตราการไหลของกระแสน้ำให้ไม่เพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน จะลดหรือป้องกันการเกิดขึ้นของค้อนน้ำได้

ในกรณีที่ปั๊มหยุดทำงานกระทันหันเนื่องจากเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ การมีวาล์วแบบสปริงที่ปิดตัวเองได้อย่างรวดเร็วจะเป็นการช่วยลดการเกิดค้อนน้ำแทนที่จะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดค้อนน้ำได้ โดยยกตัวอย่างจากระบบดังกล่าว ที่วาล์วแบบมีสปริงจะช่วยป้องกันการไหลกลับของคลื่นน้ำ แต่ถึงแม้ทิศทางการไหลจะเปลี่ยนกระทันหัน ระบบจะสามารถรักษาแรงดันในระบบฝั่งจ่ายน้ำได้เท่าเทียมกันทั้งระบบ ซึ่งจะแตกต่างกับการใช้เช็ควาล์วแบบปกติ ที่กระแสน้ำที่ไหลกลับจะทำให้วาล์วปิดกระแทกอย่างรุนแรง และทำให้เกิดคลื่นกระแทกในระบบต่อไปได้

ปัจจุบัน ระบบชุดขับแบบปรับความถี่ได้ (Variable Frequency Drive VFD) ถูกใช้ในระบบเครื่องสูบน้ำหลายรูปแบบ เพื่อเป็นการลดอัตราการเกิดค้อนน้ำในช่วงเวลาเริ่มต้นและปิดตัวของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งวิธีดังกล่าวมักถูกเรียกว่า Soft Start และ Soft Stop โดยใช้วิธีการเพิ่มอัตราความเร็วของมอร์เตอร์ในช่วงหลายวินาที เพื่อช่วยให้ความเร็วในการไหลของกระแสน้ำ ปรับตัวขึ้นลงอย่างช้ากว่าระบบที่ทำงานปกติ

จากตัวอย่างที่กล่าวมาทั้งหมด เป็นตัวอย่างที่เกิดขึ้นในเฟสเดียว กล่าวคือ ในระบบตัวอย่างที่ผ่านมาน้ำอยู่ในสถานะของเหลวตลอดเวลา ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของระบบไฮดรอลิกอย่างไรก็ตาม ซึ่งการเกิดขึ้นของคลื่นกระแทกในระบบเฟสเดียวจะ

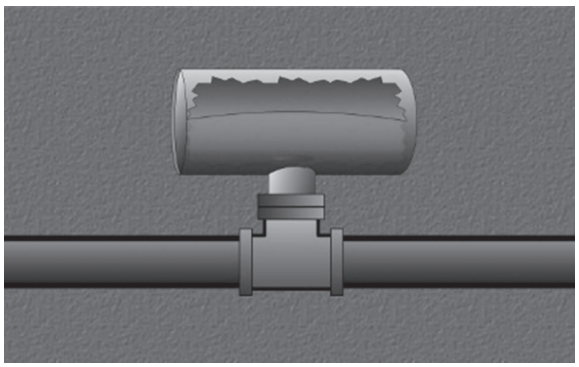
เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของการไหล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์เกิดขึ้น

ในกรณีของค้อนน้ำที่เกิดขึ้นจากการแยกตัวของน้ำ (Water Column Separation) และการรวมตัว (Closure)เป็นขั้นตอนแบบสองเฟส ซึ่งในขั้นตอนแบบสองเฟส น้ำจะมีสถานะเป็นทั้งของเหลวและไอน้ำในระบบปิดเดียวกัน ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันในระบบลดลงถึงจุดที่ทำให้น้ำเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอน้ำได้ เมื่อแรงดันในระบบลดลงน้ำในระบบอาจเกิดการแยกตัวในหลายจุดเป็นกำแพงน้ำและพื้นที่เปล่าจะถูกแทนที่ด้วยไอน้ำ และเมื่อแรงดันสูงขึ้นกลับมา ทำให้กำแพงน้ำที่แยกกันกลับมารวมตัวกัน และทำให้เกิดคลื่นแรงดันสูงในระบบขึ้น ซึ่งปัญหาในจังหวะของการแยกตัวของน้ำ (Separation) อย่างเดียว มักจะก่อให้เกิดปัญหากับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ และมีความหนาของท่อไม่มาก ทำให้เกิดการยุบตัวของท่อได้ แต่ปัญหาค้อนน้ำมักจะเกิดในช่วงการรวมตัว (Closure) ของน้ำมากกว่า

ปัญหาการแยกตัวของน้ำอาจจะเกิดในกรณีที่เครื่องสูบน้ำหยุดทำงาน และน้ำบางส่วนใหญ่ย้อนกลับ หรืออาจจะเกิดในระบบท่อคอนเดนเสท (Condensate Line) ที่อุณหภูมิที่สูงอาจเป็นสาเหตุแทนการลดลงของแรงดันได้ ทั้งสองกรณีสามารถทำให้เกิดความเสียหายในระบบอย่างรุนแรงได้ แต่ในระบบท่อคอนเดนเสท ปัญหามักจะรุนแรงกว่าปกติ เนื่องจากแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะเกิดทั้งสองทิศทาง และเมื่อแรงกระแทกพบกับอุปสรรค และสะท้อนกลับมาชนกัน แรงดันที่เกิดขึ้นจะสูงขึ้นไปอีก ซึ่งเป็นตัวอย่างของความรุนแรงของค้อนน้ำที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำ

การป้องกันการเกิดค้อนน้ำ

วิธีป้องกันค้อนน้ำไม่ให้เกิดขึ้นจนทำความเสียหายให้แก่ระบบท่อทำได้โดยการลดความดันที่เกิดขึ้นให้เหลืออยู่ในระดับที่ยอมได้ สามารถทำได้โดย



1. Valve closing time เพิ่มเวลาในการปิดประตูน้ำ หรือเปลี่ยนแปลงความเร็วโดยใช้เวลาให้มากกว่าเวลาวิกฤติ

2. Flow Direction Bypass การแบ่งให้น้ำไหลแยกออกจากท่อบ้างในขณะที่เกิดความดันมาก ๆ

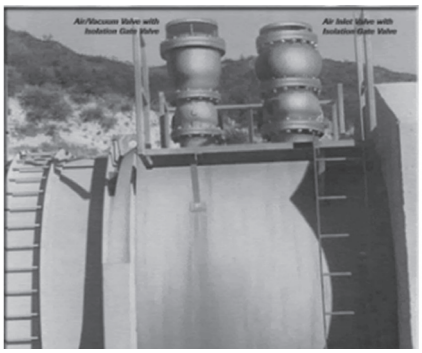
3. ใช้อุปกรณ์ทางกลช่วย

อุปกรณ์ทางกลช่วยป้องกันค้อนน้ำ

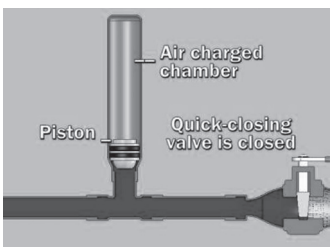
การป้องกันค้อนน้ำโดยใช้อุปกรณ์ทางกล ได้แก่ Pressure Rellef valve , Air Inlet-Relief Valve , Air Chamber , Surge Suppressor และ Surge Tank

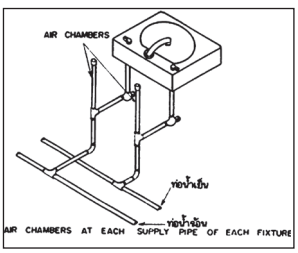
1. Pressure Relief Valve เมื่อความดันในท่อสูงกว่าที่กำหนดไว้ valve ก็จะเปิดกว้างออกและระบายน้ำทิ้งเพื่อลดความดันลง PRV เหมาะสำหรับท่อที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก

2. Air Inlet Relief Valve ใช้สำหรับระบายอากาศออกจากท่อโดยการติดตั้งไว้หลังท่อในบริเวณที่อยู่สูงสุดของระบบท่ออากาศที่ติดมากับน้ำก็จะไหลเข้าไปในอุปกรณ์นี้วาล์วเปิดและอากาศก็จะถูกระบายออกไป เพราะว่าถ้าความเร็วของการไหลไม่มากพอ อากาศในท่อจะกลายเป็นอุปสรรคกีดขวางการไหล โดยทำให้การไหลในช่วงดังกล่าว การไหลไม่เต็มท่อ



3. Air Chamber เป็นถังบรรจุอากาศต่อเข้ากับหลังท่อ อากาศในถังจะยืดหดตัวได้ดีกว่าน้ำ ทำหน้าที่ผ่อนคลายความรุนแรงลง เมื่อมีความดันเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน





4. Surge Suppressor คล้ายกับ Air chamber แต่แทนที่จะใช้อากาศเป็นตัวลดแรงดันเปลี่ยนไปใช้สปริงแทน เหมาะที่ใช้กับท่อน้ำขนาดเล็กในบ้าน

5. Surge Tank ถังช่วยลดความดันที่เพิ่มขึ้นจากค้อนน้ำในระบบขนาดใหญ่ ซึ่งมีทั้งประเภทเปิดและแบบปิด ความรุนแรงของความดันจะถูกควบคุมโดยการไหลของน้ำเข้าไปในถังและการยืดหดตัวของอากาศในถัง

ถังช่วยลดความดันแบบเปิดนั้นที่ตั้งถังจะต้องสูงมากพอที่จะไม่ให้น้ำไหลล้นออกมาได้

ถังช่วยลดความดันแบบปิด ถังทำงานคล้ายกับ Air chamber