ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

หลักเกณฑ์และทฤษฎีทั่วไปในการออกแบบโครงข่ายการประปา

ข้อมูลสำคัญในการออกแบบโครงข่ายการประปาประกอบด้วย ขนาดความกว้างยาวของพื้นที่ที่จะทำการออกแบบ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ถนนสายต่าง ๆ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องการ ความดันหัวน้ำที่ต้องการ ตลอดจนราคาค่าวัสดุในการก่อสร้างระบบประปา เช่น ท่อน้ำ เครื่องสูบน้ำ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวางท่อ การออกแบบโครงข่ายการประปา จุดมุ่งหมายคือ ให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบประปาให้ต่ำที่สุด แต่สามารถให้บริการน้ำอย่างเพียงพอ ทั้งปริมาณและความดันหัวน้ำตลอดพื้นที่บริการ

5.1 หลักเกณฑ์ในการออกแบบโครงข่ายการประปา

วิธีการออกแบบที่จะกล่าวต่อไปนี้จะเป็นการออกแบบโครงข่ายการประปาให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการไหลของน้ำดีที่สุด หมายถึง อัตราการไหลของน้ำ ความดัน และความเร็วในการไหล ต้องการให้ได้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงข่ายการประปาต่ำที่สุด โดยให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ทางชลศาสตร์มากที่สุด

หลักเกณฑ์ในการออกแบบโครงข่ายการประปาต้องดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

5.1.1 ต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับพื้นที่ที่จะทำการออกแบบก่อนว่า มีลักษณะการวางผังเมืองเป็นอย่างไร เช่น ตำแหน่งที่ตั้งอาคารบ้านเรือน สถานที่สำคัญ ๆ ย่านชุมชนต่าง ๆ ตลอดจนถนนสายต่าง ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบ ควรจะเขียนพื้นที่ที่จะทำการออกแบบให้เป็นแบบแปลนแสดงถึงรายละเอียดเหล่านี้ โดยให้มีมาตราส่วนที่พอเหมาะ อย่าให้เล็กเกินไป

5.1.2 คำนวณหาปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งหมดในพื้นที่ที่ออกแบบ โดยคำนวณได้จากจำนวนประชากรของชุมชน ย่านธุรกิจและย่านอุตสาหกรรม ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทั้งหมดในการหาอัตราการใช้น้ำ หรือปริมาณความต้องการน้ำในอนาคตต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำใช้กับจำนวนประชากรของปีต่าง ๆ ในอดีตเป็นหลัก ขนาดของอัตราการใช้น้ำนิยมวัดออกมาในรูปของปริมาณเฉลี่ยเป็นลิตรต่อคนต่อวัน

5.1.3 กำหนดจุดจ่ายน้ำและอัตราการใช้น้ำที่จะจ่ายน้ำให้ในย่านชุมชน ย่านธุรกิจ

อุตสาหกรรม และตลอดจนสถานที่ราชการต่าง ๆ โดยแบ่งพื้นที่ที่ออกแบบออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ เพื่อสะดวกในการรวบรวมปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดในพื้นที่ย่อย ๆ นี้ เมื่อทราบปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดในแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ แล้ว ก็สามารถกำหนดจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ ให้อยู่ในแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบนั้นได้ ซึ่งจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อเขียนเป็นรูปโครงข่ายจะแสดงออกมาเป็นจุดเชื่อม (Node)

5.1.4 กำหนดเส้นทางและระยะการวางท่อไปตามจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ การวางท่อจ่ายน้ำส่วนใหญ่มักจะวางขนานกับถนนหรือทางเท้า การเลือกรูปแบบการวางท่อจะต้องขึ้นอยู่กับรูปแบบของถนน ลักษณะภูมิประเทศ การพัฒนาในพื้นที่ผู้ใช้น้ำและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสูบจ่ายน้ำ

5.1.5 เมื่อทราบปริมาณความต้องการตามจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ และเส้นทางการวางท่อ ก็กำหนดปริมาณน้ำไหลและทิศทางการไหลของน้ำไปตามเส้นทางเหล่านี้ พร้อมทั้งกำหนดอัตราการใช้น้ำที่จ่ายออกนอกระบบ เพื่อจ่ายให้แก่ผู้ใช้น้ำตามจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ โดยใช้หลักเกณฑ์ของการอนุรักษ์การไหลของน้ำ คือ อัตราการไหลของน้ำเข้าที่จุดหนึ่ง ๆ จะต้องเท่ากับอัตราการไหลของน้ำออกที่จุด ๆ นั้น

5.1.6 กำหนดขนาดท่อน้ำให้กับเส้นทางการวางท่อต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับความเร็วการไหลของน้ำ (V) โดยใช้สูตร $D = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi V}}$ ซึ่งในระบบท่อประปาความเร็วในการไหลของน้ำจะมีค่าระหว่าง 0.5 - 2.0 เมตรต่อวินาที ขนาดของท่อน้ำที่หาได้มาในแต่ละเส้นทางด้วยสูตรนี้จะมีหลายขนาด ซึ่งท่อแต่ละขนาดจะเป็นท่อที่ส่งปริมาณน้ำไปตามจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ มาถึงขั้นตอนนี้จะได้รูปแบบโครงข่ายการไหลของน้ำไปตามจุดจ่ายน้ำต่าง ๆ

5.1.7 ขั้นตอนนี้เป็นการหาขนาดท่อน้ำและความยาวของท่อน้ำรวมทั้งความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำ ให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงข่ายการประปาต่ำที่สุด โดยให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ทางชลศาสตร์ คือ ค่าการสูญเสียความดันหัวน้ำ ซึ่งหลักเกณฑ์นี้จะทำให้ระบบท่อมีประสิทธิภาพในการไหลของน้ำได้ดี การหาขนาดและความยาวของท่อน้ำรวมทั้งความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำ จะใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหา ตัวแปรจะอยู่ในรูปของความยาวของท่อแต่ละขนาด และขนาดของความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำ มีสมการเป้าหมายต้องการหาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงข่ายการประปาให้ต่ำที่สุด

5.2 รูปแบบปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาโครงข่ายการประปา

รูปแบบปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหานี้ ประกอบด้วย สมการเป้าหมาย แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการวางท่อและค่าใช้จ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำ ภายใต้เงื่อนไขขอบข่ายของความเร็วของการไหล ขนาดและความยาวของท่อ และความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำ รูปแบบปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นตรงสร้างได้ดังนี้

5.2.1 สมการเป้าหมาย สมการเป้าหมายต่ำที่สุด คือ

$$\text{Min.}Z = \sum_i \sum_j C_{ij}\, l_{ij} + \sum_K C_K\, P_K \qquad (5.1)$$

โดย C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการวางท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง j ในเส้นท่อ i

l_{ij} = ความยาวของเส้นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง j ในเส้นท่อ i

C_K = ค่าใช้จ่ายของสถานีสูบจ่ายน้ำ สำหรับสถานี K

P_K = ค่าความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่าย K

ในที่นี้ ค่าตัวแปรสำหรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจะมีถึง 1, 2.....j ขนาดส่วนเส้นท่อมีทั้งหมด 1, 2.....i เส้น และสถานีสูบจ่ายน้ำมีทั้งหมด 1, 2....K สถานี

5.2.2 สมการขอบข่าย

(ก) ขอบข่ายความเร็วของการไหลของน้ำ

เงื่อนไขขอบเขตความเร็วการไหลของน้ำเป็นเงื่อนไขที่จำกัดไว้สำหรับการกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่จะใช้ ฉะนั้น เงื่อนไขนี้ถูกใช้ไปก่อนการนำมาพิจารณาในรูปแบบของปัญหา ผลที่ได้ คือ ลดขนาดของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรงลงได้

(ข) ขอบข่ายความดันหัวน้ำที่จุดจ่ายน้ำออกนอกระบบท่อเพียงอย่างเดียว

ค่าความดันหัวน้ำที่จุดเหล่านี้ คิดได้จากความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำลบด้วยค่าการสูญเสียความดันหัวน้ำที่เสียไประหว่างเส้นทางจากสถานีสูบจ่ายน้ำถึงจุดจ่ายน้ำนี้ ซึ่งผลรวมของการสูญเสียความดันหัวน้ำระหว่างสถานีสูบจ่ายน้ำนี้ ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าการสูญเสียความดันหัวน้ำมากที่สุดที่ยอมได้ โดยที่จุดจ่ายน้ำเหล่านี้จะต้องมีค่าความดันหัวน้ำ

มากกว่าหรือเท่ากับความดันหัวน้ำต่ำสุด (Pmin) ที่กำหนดให้

$$\sum_{i \epsilon I_t} \sum_{j \epsilon I_i} (S_{ij} \cdot l_{ij}) - \sum_{K \epsilon k_t} P_K \leq - Pmin \qquad (5.2)$$

โดยที่ I_t = ชุดของเส้นท่อที่วางต่อกันจากสถานีสูบจ่ายไปยังจุดจ่ายน้ำ t

I_i = ชุดของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เลือกในเส้นท่อ i

S_{ij} = ค่าความฝืดในท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง j ในเส้นท่อ i

k_t = จำนวนสถานีสูบจ่ายน้ำถึงจุดจ่ายน้ำ t

Pmin = ค่าความดันหัวน้ำต่ำสุดที่ยอมได้

การคำนวณค่าความฝืดของท่อ (S_{ij}) คำนวณได้จากสูตรของ Hazen-Williams ซึ่งสูตรนี้นิยมใช้กันมาก คือ

$$S = \frac{10.7 . Q^{1.852}}{C^{1.852} . D^{4.87}}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำภายในท่อ, เป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

C = สัมประสิทธิ์ของท่อน้ำ (Hazen-Williams Coefficient) = 130

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำ เป็นเมตร

S = ค่าความฝืดของท่อน้ำมีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

(ค) ขอบข่ายการสูญเสียความดันหัวน้ำรอบเส้นท่อที่มีการวางท่อแบบวงรอบ

ค่าความดันหัวน้ำที่จุดจ่ายน้ำใด ๆ จะมีค่าเท่ากับความดันหัวน้ำที่จุดส่งน้ำลบด้วยค่าการสูญเสียความดันหัวน้ำระหว่างทาง เมื่อคิดเป็นผลรวมการสูญเสียความดันหัวน้ำรอบเส้นท่อที่มีการวางท่อแบบวงรอบ จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\sum_{i \epsilon I_r} \sum_{j \epsilon I_i} (S_{ij} \cdot l_{ij}) = 0 \qquad (5.3)$$

โดยที่ I_r = ชุดของเส้นท่อที่วางต่อกันเป็นวงรอบ r

(ง) ขอบข่ายความยาวของท่อขนาดต่าง ๆ

สำหรับเส้นท่อที่วางแต่ละเส้น ผลรวมของความยาวของท่อขนาดต่าง ๆ

ในเส้นท่อเส้นหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับความยาวของเส้นท่อเส้นนั้น

$$\sum_{j} l_{ij} = L_i$$

โดย L_i = ความยาวของเส้นท่อ i

(จ) ขอบข่ายความดันหัวน้ำ ณ.สถานีสูบจ่ายน้ำ

โดยปกติ ค่าความดันหัวน้ำที่สถานีสูบจ่ายน้ำจะมีค่าอยู่ระหว่าง ค่าความดันหัวน้ำระดับต่ำสุดที่ยอมได้ถึงค่าความดันหัวน้ำระดับสูงที่ยอมได้ ณ.สถานีสูบจ่ายน้ำนั้น

$$P_K \leqslant P_H$$

$$P_K \geqslant P_L$$

โดย P_H = ค่าความดันหัวน้ำระดับสูง ณ.สถานีสูบจ่ายน้ำ

P_L = ค่าความดันหัวน้ำระดับต่ำ ณ.สถานีสูบจ่ายน้ำ

(ฉ) ค่าตัวแปรทุกตัวต้องมีค่าเป็นบวกทั้งหมด

$$l_{ij} \geqslant 0$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย