

論 文

Primal法을 이용한 壓力配分の 最適化에 관한 研究

正會員 李 福 閔*

A Study on Optimization of Distribution of Flow and Pressure using Primal Method

Pok Yun YI*, Regular Member

要 約 本 論文에서는 Network flow理論의 한 方法으로 Primal法을 利用하여 流量, 壓力配分の 最適化를 提案하였다. 이 配分制御의 目的은 正常壓力과 最小費用流이며 流量과 壓力問題의 解法은 Primal法을 使用하여 求했다.

ABSTRACT This paper presents an optimization of distribution for flow & pressure using Primal method derived from network flow theory. The object of the distribution control in this study is press regulation and minimum cost flow. The flow and pressure equations are solved using Primal method.

1. 序 論

回路網을 設計할때 最適化를 어떻게 하느냐 하는 問題가 重要視된다. 本 論文에서는 最適化 理論中에서 回路網의 最適化는 Simplex法을 利用하였고, Primal法을 利用하여 流量, 壓力配分을 提案하였다.

上水道의 供給系統은 淨水場, 配水地 等の 配水基地와 配水管網에 따라 構成된다¹⁾. 淨水處理된 물은 管路網을 經由하여 需要家에 配水되기 위한 安定한 물의 供給에는 管路網內의 水壓의 適正化와 各 施設이 有機的으로 連結되는 配水幹線網을 構成해야 하며 大規模의 複雜한 Network

System²⁾이 되며 各 所에 散在하는 多數의 情報을 正確하게 收集하고 迅速하게 傳達하는 設備과 그 情報을 基本으로 合理的인 對應策을 算出하는 技術이 充足되어 진다면 물의 公平한 配分과 安定給水를 確保할 수 있을 것이다.

本 論文은 大規模 送配水系統의 最適運用法에 관한 研究이며 特히 上水道 運用에 中心이 되는 配水計劃에 適用하여 送配水幹線網을 모델화³⁾해서 물의 最適 配分法에 관해 研究했다. 配水地에 따라 末端側으로 가는 配水管網에 대해서 그 流量과 壓力을 計算하는 方法으로 管網計算法이 있으며 지금 對象으로 한 淨水場, 給水所, 配水地, Pump, Valve 등을 包含한 大規模 配水幹線網에 管網計算法을 適用하는 것은 配水地 水位의 時間變化를 最適計算할 수 있게 하는 것 및 Pump, Valve에 依한 壓力Gap을 未知數로 하여 求하는 어려움이 있다. 한편 水量만의 簡略한 配分計算

* 仁川大學電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Incheon College, Incheon,
160 Korea.
論文番號: 85-08 (接受: 1984. 9. 29)

法은 壓力의 制限을 考慮해야 한다. 이 어려움을 解決하기 위하여 配水地와 分岐點을 연결한 管路의 兩端에 Pump와 Valve 等の 壓力增減壓機器에 의해 發生되는 壓力Gap을 導入하고 한편 配水地와 分岐點 相互關係에만 注目해서 壓力의 平衡關係를 나타내므로 물의 配分問題를 數理計劃法의 最適問題⁽⁴⁾에 歸着하며 流量과 壓力을 同時에 計算하는 流量壓力 同時配分 方式을 提案한다. 이 方式의 要點은 管路流量과 에너지 損(損失水頭) 사이에 成立하는 非線形 關係를 線形으로 近似化함에 따라 線形計劃法을 사용하고 있다. 그러므로 아주 大規模의 模型을 容易하게 解析하는 것이 可能하며 實用的인 方法이다. 따라서 本方式에 있어서는 管網計算法이 가지고 있는 流量과 壓力間에 成立하는 非線形關係를 嚴密히 滿足하는 特徵은 없으나 大規模 配水幹線網內의 流量과 壓力을 주어진 目的에 따라 最適한 決定을 하여 實用的인 近似 解를 求할 수 있게 하는 것이다.

2. 定式化

2.1. 配水系統의 模型化

配水管網에 의한 定常流는 Node 壓力과 管路 流量에 관한 連立方程式으로 된다. 流入 Node(配水基地)의 集合을 N_{in} , 그 以外의 Node의 集合을 N , Valve가 設置된 管路의 集合을 B_v , 그 以外의 管路의 集合을 B 로 한다. Node i 의 壓力을 P_i , 管路 j 의 流量을 x_j 로 하면 Node에 의한 流量收支條件⁽⁵⁾ 및 Node 間의 壓力平衡條件에서 아래의 式이 誘導된다.

$$\sum_{j \in A^+(i)} x_j - \sum_{j \in A^-(i)} x_j = \begin{cases} -W_i & (i \in N_{in}) \\ y_i & (i \in N) \end{cases} \quad (1)$$

$$P_s(j) - P_e(j) = \begin{cases} (R_j |x_j|^\alpha + V_{kj} |x_j|^\beta) sgn(x_j) & (j \in B_v) \\ R_j |x_j|^\alpha sgn(x_j) & (j \in B) \end{cases} \quad (2)$$

여기서 W_i 는 流入 Node i 에 의한 流入量, y_i 는 流入 Node 以外 Node에 의한 流出量이다. 管路에는 편의상 方向을 表示하면 $A^+(i)$ 는 Node i 를 始點인 管路의 集合, $A^-(i)$ 는 Node i 를 終

點으로 하는 管路의 集合, $S(j)$ 는 管路 j 의 始點, $e(j)$ 는 管路 j 를 終點으로 表示한다. 式(2)의 右邊은 管路나 Valve에 따른 壓力損失이 있으며 $Sgn(x_j)$ 는 x_j 의 符號를 表示한다. 管路의 抵抗 R_j , Valve의 抵抗 V_{kj} , 및 式(2)의 指數 α , β 는 實驗式에 따라 아래와 같이 된다.

$$R_j = 10.666 C_j^{-1.85} D_j^{-4.87} L_j \quad (3)$$

$$V_{kj} = 0.08271 D_j^{-4} \quad (4)$$

$$\alpha = 1.85, \beta = 2.0 \quad (5)$$

여기서 C_j 는 流速係數, D_j 는 管路徑(m), L_j 는 管路長(m), V_{kj} 는 Valve의 損失係數(全開일때 0, 全閉일때 ∞ 의 值를 取한다) 流量의 單位는 m^3/S , 壓力의 單位는 mAq 이다. 壓力分布를 適正化하기 위하여 다음과 같은 目的函數를 導入한다.

$$J = \sum_{i \in N} r_i (P_i - P_i^*)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

여기서 P_i^* 는 Node i 의 壓力 目標值이며 漏水量削減으로 인한 高壓防止 및 需要家 쪽으로 供給에 必要한 壓力確保의 二面으로 定한다. r_i 는 Node마다 중요한 係數이다. 壓力分布를 適正化하는 問題는 $y_i (i \in N)$, $P_i (i \in N_{in})$, $R_j (j \in B_v \cup B)$ 로 주어졌을 때 式(1), (2)의 制約下에서 式(6)의 J 를 最小化하는 것과 같이 $V_{kj} (j \in B_v)$, $P_i (i \in N)$, $x_j (j \in B_v \cup B)$, $W_i (i \in N_{in})$ 을 구하는 問題로 定式化된다. 역시 $V_{kj} (j \in B_v)$ 를 既知數로 하여 式(1), (2)를 連立하여 代數方程式을 풀면 $r_i (i \in N)$, $x_i (j \in B_v \cup B)$, $W_i (i \in N_{in})$ 를 구할 수 있다.

配水管網은 中小都市 水道의 경우에도 數百 Node를 가지며 上記의 最適化問題에 있어서 變數의 數는 普通 1,000을 넘는다. 또 式(2)의 制約條件은 流量 x_j 의 非線形式으로 된다.

이 大規模性, 非線形性 때문에 最適化 方法을 항상 適用하는 것만으로는 時間內에 解를 求하는 것은 困難한 것으로 豫想되며 對象의 性質에 適合한 計算方式의 開發이 必要하게 된다.

2.2 Network flow에 관한 Energy의 最小原理

配水管網에 물의 흐름에 있어서도 Network

flow에 관한 Energy 最小原理⁽⁵⁾가 成立한다. 本論文에서는 이 原理에 着案하여 配水管網의 定常流解析을 보다 빠르게 하는 方法을 提案했다. 이 節에서 이것에 關於 簡單히 언급해둔다.

式(1), (2)에서 記述한 配水管網의 定常流는 Energy 最小原理를 利用하면 式(1)의 制約下에서 다음 式을 最小化하는 흐름으로 記述한다.

$$E = \sum_{j \in BV} \int (R_j |x_j|^a + V_{kj} |x_j|^a) \operatorname{sgn}(x_j) dx_j + \sum_{j \in B} \int R_j |x_j|^a \operatorname{sgn}(x_j) dx_j - \sum_{i \in In} W_i P_i \quad (7)$$

여기서 E 는 管網內에서 消費되는 Energy 式(1)은 Network의 flow balance 式에서 E 를 流量의 費用으로 간주하면 定常流는 Network의 最小費用流가 된다. 이것은 最小費用流問題의 解法을 利用하며 定常流解析을 하는 것이 可能하다는 것을 示唆한다.

3. 壓力最適化 計算方法

3.1 最適計算의 構造

壓力分布를 最適化하는 問題는 式(1), (2), (6)을 制約條件으로 한 最適化 問題로 取扱하기 때문에 全變數에 關於 同時에 最適化를 시도했으며, 計算量이 많아지게 되었다. 여기에 變數를 制御變數 V_{kj} 와 被制御變數 P_i , x_j 로 分離하며 制御變數空間에 의한 最適計算을 하는 方法을 取한다. 最適計算方法으로는 共軛勾配法, 最急降下法, 直接探索法등이 있으며 이들은 各各 아래와 같은 特徵을 갖는다.

共軛勾配法은 勾配計算에 解析의인 式이 利用되며 또한 最適方向에 대한 高精度의 한 方向探索이 可能的한 경우는 가장 效率 좋은 方法이라고 불리워진다. 最急降下法⁽⁶⁾은 한 方向探索의 精度가 나쁜 경우에 있어서 共軛勾配法보다도 우수한 收斂性을 나타낸다.

直接探索法⁽⁶⁾ 中에 가장 效率이 좋은 Simplex 法은 勾配計算 및 한 方向探索이 必要치 않는 點에서 우수하다. 最適點의 근처에서 收斂性이 나쁘나 嚴密한 最適解가 얻어지기 어렵다. 本問題에서는 勾配計算을 하기위한 解析의인 式을 誘導하는 것이 可能하다. 따라서 이것을 利用하는 경우 Node 數와 管路數의 合과 같은 次元의 行列

逆行列計算이 必要하다. 數百 Node의 配水管網에는 이 行列의 次元은 1,000을 초과하므로 計算量에서 豫測한 解析의인 式을 利用하는 것이 유리하며 數值微分에 依存하지 않을 수 없다. 이와 같은 경우 共軛勾配法은 效率이 현저히 低下하므로 最急降下法과 Simplex法을 比較한다. 最適化計算의 가장 重要한 點은 目的函數值計算(數值微分하기 위한 計算을 包含)을 구하기 위한 定常流解析分이다. 簡單한 例題에서 兩者의 目的函數值計算 回數를 比較하면 最急降下法이 Simplex 法의 2倍 程度 要한다. 단, 最急降下法の 勾配計算에는 前進差分을, 一方向探索에는 二次補間式을 使用한다. 以上の 考察에 따라 最適計算方法으로 Simplex 法을 選擇한다. 지금까지 叙述한 바와같이 Simplex 法에는 完全한 最適解를 얻기 어려운 點이 缺點이다. 그러나 壓力分布에 關於 嚴格한 最適化라는 것이 絶실히 要求되며 準最適에도 充分히 使用되므로 이 缺點은 實際上 問題가 되지 않는다.

最適計算過程에서 制御變數를 改良하기 위해 目的函數를 計算할 必要가 있다. 그러므로 管網上의 壓力分布를 알 必要가 있으며 壓力分布는 改良된 制御變數에서 定常流를 求하므로 얻어진다. (2-2)節에서 叙述한 것과 같이 定常流는 式(6)을 費用에 關於 最小費用流가 되게하며 이미 提案한 定常流 解析法은 Primal-dual 法을 利用한 이 最小費用流 問題를 푸는 方法이 되었다. 이 方法은 定常流解를 求하는 것을 1회만을 行하는 경우는 數百Node의 配水管網에 대해서도 充分히 迅速한 方法이라고 할 수 있다. 그러나 本論文에서 取扱하는 問題에는 最適計算過程에서 定常流解를 求하는 것이 數10~數100 回發生한다. 그러므로 制御變數를 變化시킨 때의 定常法을 보다 迅速히 求하는 方法이 必要하게 된다. 制御變數를 改良할 때의 흐름은 물은 式(1)의 流量의 收支條件을 滿足한다. 式(7)의 值가 變化하기 위한 費用의 最小性을 滿足하지 않는다. 이 境遇는 管路上의 Negative Cycle 이라 부른다. 一巡할 때에 費用의 總合이 負로되는 閉路가 發生한다. Primal 法은 Negative Cycle을 探索하며 Cycle에 따라 流量을 修正하는 것이므로 最小費用의 流量을 求하는 方法이 된다. 이 方法을 使用하면 먼저 流量을 部分的으로 修正

할 뿐이므로 새로운 最小費用流를 求하기 爲해 制御變數 改良後 定常流解를 求하는 것을 高速化 할 수 있다. 最適化計算 構造가 그림 1에 표시되 어 있으며 設定된 Valve의 初期狀態에 對한 流量 壓力分布는 앞서에서 流量이 없으므로 Primal 法에 따라 求할 수 없다.

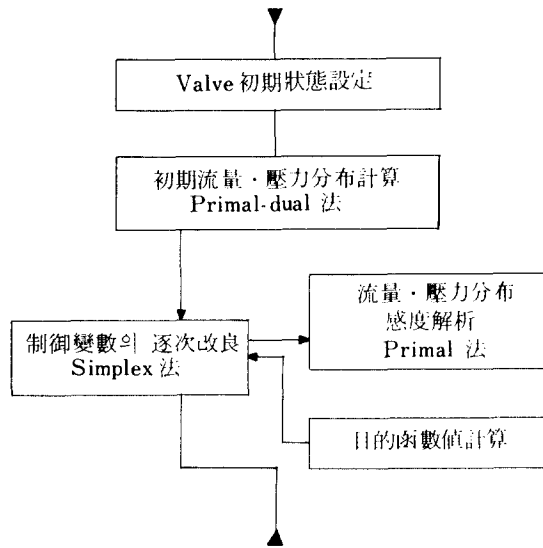


그림 1 最適計算의 構造
Structure of optimization calculation.

그러므로 流量이 必要로 하지않는 Primal-dual⁽⁷⁾法에 의한 方法으로 求한다. Simplex 法에 의한 最適計算過程에는 항상 流量이 있어야 하므로 Primal 法에 의한 方法보다 流量 壓力分布를 計算하여 目的函數를 求한다.

3.2 Simplex 法에 의한 最適計算

본 논문에서의 制御變數로는 Valve의 損失係數를 採擇한다. 式(4)에서 明白한 것과 같이 損失係數 V_{kl} 와 抵抗 V_{kl} 間에는 本質적으로 差異가 나며 또한 Valve의 開度를 나타낸다. 그 意味로는 어느 것을 利用해도 좋으나 金 Valve에 對해 共通의 上限值가 設定되며 取扱이 容易하므로 損失係數를 選擇할 수가 있다.

制御變數를 Vector로 表示하면, $\bar{V} = (v_1, v_2, \dots, v_r)^T$ 로 表示된다. 여기서 r 는 Valve의 數이다. 初期의 制御變數 $\bar{V}^0 = (v_1^0, v_2^0, \dots, v_r^0)^T$ 를 設定하면 초기의 Simplex의 단점을 아래와같

이 定할 수 있다.

$$\bar{V}^i = \begin{pmatrix} v_1^0 \\ \vdots \\ v_i^0 + \delta v \\ \vdots \\ v_r^0 \end{pmatrix} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, r) \quad (8)$$

r 次元의 制御變數 空間에 \bar{V}^0 와 合한 $(r+1)$ 個의 點이 設定된다. 이들 $(r+1)$ 個의 點中에 式(6)의 目的函數를 最小로 하는 點을 \bar{V}^L , 最大로 하는 點을 \bar{V}^H 로 表示하며 各各의 最良點, 最惡點이라 부르기로 한다. 制御變數의 改良은 基本的으로는 Simplex의 重心에 對한 最惡點의 反射點을 求하고, 그 最惡點을 交替하므로 行할 수 있다.

最惡點을 除去한 Simplex의 重心 V^C 를

$$V^C = \frac{1}{r} \left(\sum_{i=0}^r V^i - V^H \right) \quad (9)$$

最惡點 重心에 對한 反射點 V^R 은

$$V^R = 2V^C - V^H \quad (10)$$

이다.

이것은 最惡點의 反射側의 點이며 가장 좋은 方向을 改良點이라한다. 또한 目的函數值 $J(V^R)$ 에 對한 反射點 方向으로 擴大操作 또는 縮小操作을 한 후에 最惡點과 代替를 한다. 擴大操作, 縮小操作을 行하여도 改良이 되지 않을 때 Simplex가 限界를 넘게 考慮했으므로 最良點의 周圍에서 Simplex 全體를 縮小하면

$$V^i = \frac{1}{2} \cdot (V^L + V^i) \quad (i = 1, \dots, r) \quad (11)$$

이와같은 改良點과 最惡點의 交替作業을 最適에 收斂할 때까지 繼續한다. 收檢判定은 아래의 式으로 行하면,

$$\sum_i [J(V^i) - J(V^L)]^2 < \epsilon_1 \quad (12)$$

여기서 ϵ_1 은 外部에서 設定된 收檢判定基準, Valve의 損失係數는 0(全開)에서 無限大(全閉)까지의 值를 取한다. 따라서 現實적으로 使用할 수 있는 範圍에는 上限이 있으므로 $0 \leq V \leq \bar{V}$ 의 制限을 設定한다. Simplex法⁽⁷⁾의 計算過程에서 制御變數의 어떤 要素(어떤 Valve)가 上記의 制

限外의 値를 取한 경우는 強制的으로 上限値까지는 下限値를 割當해야 한다.

3.3 Primal 法에 의한 流量, 壓力分布의 解析.

制御變數를 改良할 때에 發生하는 配水管網上의 Negative Cycle을 探索하고 Cycle에 따른 流量을 修正하여 새로운 流量, 壓力分布를 求한다. Negative Cycle의 探索에는 나무(Tree)의 概念을 手段으로 利用한 效率이 좋은 方法에 Bennington氏의 方法을 管網用에 簡易化하여 使用한다. 假想的인 流入點에 어떤 Node 및 Node와 流入 Node $i \in N_{in}$ 을 結合한 枝를 다시 設定하고 이들의 枝의 集合을 B_{in} 로 한다. 流入量은 이들 枝의 流量에 對應한다. 또한 變更前의 制御變數를 \tilde{V} , 變更量을 σV , 修正前의 流量을 \tilde{x} 으로 한다. 아래에서 Primal 法의 順序에 따른 具體的인 適用法에 關係 記述한다.

(1) 나무의 構成

Source를 基本으로 하고 管網上의 나무에 方向을 붙인다.

(2) 費用의 決定

가지 j 의 正方向의 單位流量에 맞는 費用 C_j^+ 는 式(7)에서 管路가지, Valve가지 流入가지에 關係 各各 아래와 같이 된다.

$$C_j^+(\tilde{x}_j) = R_j |\tilde{x}_j|^{\alpha} S_{gn}(\tilde{x}_j) \quad (j \in B) \quad (13)$$

$$C_j^+(\tilde{x}_j) = [R_j |\tilde{x}_j|^{\alpha} + b_j (\tilde{v}_{k_j} + \sigma v_{k_j}) |\tilde{x}_j|^{\beta}] S_{gn}(\tilde{x}_j) \quad (j \in B_v) \quad (14)$$

$$C_j^+(\tilde{x}_j) = -Pe(j) \quad (j \in B_{in}) \quad (15)$$

여기서 $b_j = 0.08271 D_j^{-4}$ 이다. 式(15)의 $Pe(j)$ 는 流入 Node의 壓力이다. 負方向의 單位流量에 맞는 費用 C_j^- 는 아래 식으로 表示된다.

$$C_j^-(\tilde{x}_j) = -C_j^+(\tilde{x}_j) \quad (j \in B \cup B_v \cup B_{in}) \quad (16)$$

(3) Negative Cycle의 探索⁽⁷⁾

補木에 屬한 첫번째 가지 j 를 나무에 追加하므로 첫번째 閉路가 얻어진다. 이 閉路가 Negative Cycle의 유무는 아래式으로 判定한다.

$$\pi_s(j) - \pi_e(j) + C_j^+ < -\varepsilon_2 \quad (17)$$

$$\pi_e(j) - \pi_s(j) + C_j^- < -\varepsilon_2 \quad (18)$$

式(17), (18)은 一般的으로 각각의 가지 j 의 方向 및 가지 j 와 逆方向의 Negative Cycle의 存在하기 위한 必要條件이 된다.

全體가지에 대하여 式(17) 또는 式(18)이 成立한다면 Negative Cycle이 存在하며 Primal 法의 計算은 終了된다.

(4) 修正流量의 計算

費用이 流量의 線形函數인 경우, 즉 單位流量에 맞는 費用이 一定値를 取하는 경우는 Negative Cycle에 따른 流量을 容量限度까지 增加시켜야 한다. 따라서 單位流量에 適合한 費用이 一定値가 되지 않으면 안되므로 아래와 같은 補助問題를 풀 必要가 있다.

Negative Cycle에 方向을 붙이면 順方向을 包含하는 가지의 集合을 L^+ , 逆方向을 包含하는 가지의 集合을 L^- , 順方向을 正으로 取할 때의 修正流量을 δ_x 로 하면,

$$\sum_{j \in L^+} C_j^+(x_j + \delta_x) + \sum_{j \in L^-} C_j^-(x_j - \delta_x) = 0 \quad (19)$$

式(19)을 δ_x 에 關係 풀기 위해 Newton 法則을 適用한다. 式(16)을 사용하면 아래의 反復式이 얻어진다.

$$\delta_x^{(k)} = - \frac{\sum_{j \in L^+} C_j^+(\tilde{x}_j^{(k)}) - \sum_{j \in L^-} C_j^-(\tilde{x}_j^{(k)})}{\sum_{j \in L^+ \cup L^-} \frac{\partial C_j^+}{\partial x_j}(\tilde{x}_j^{(k)})} \quad (20)$$

$$\tilde{x}_j^{(k+1)} = \begin{cases} \tilde{x}_j^{(k)} + \delta_x^{(k)} & (j \in L^+) \\ \tilde{x}_j^{(k)} - \delta_x^{(k)} & (j \in L^-) \end{cases} \quad (21)$$

$\frac{\partial C_j^+}{\partial x_j}$ 는 式(13)~(15)로부터 아래와 같이 定義할 수 있다.

$$\frac{\partial C_j^+}{\partial x_j}(\tilde{x}_j) = \begin{cases} \alpha R_j |\tilde{x}_j|^{\alpha-1} & (j \in B) \\ \alpha R_j |\tilde{x}_j|^{\alpha-1} + \beta b_j (\tilde{v}_{k_j} + \delta v_{k_j}) |\tilde{x}_j|^{\beta-1} & (j \in B_v) \\ 0 & (j \in B_{in}) \end{cases} \quad (22)$$

式(20)~(22)에 따라 δ_x 를 求하고 Negative cycle를 包含하는 各 가지의 流量을 修正한다.

(5) 費用의 變更

修正流量을 式(13)~(16)에 代入하므로 Negative Cycle을 包含한 가지의 費用을 變更한다.

4. Simulation

日間 配水量 37萬 m^3 인 I市의 上水道 配水系를 對象으로 Simulation을 實施했다. 配水基地는 Pump壓送系의 9個가 있다. 配水制御用 Valve는 4個, Node는 144이며 壓力變數는 140, 流量變數는 197이다.

管網上的 需要分布는 한 사람의 물 使用量 및 人口分布에서 管出했다. Simulation에는 總需要量(全体 Node의 需要量의 合)을 年間最大(11,000 m^3/h)와 年間最小(3,000 m^3/h) 간에 10段階로 나누어 考察했으며, 各 Node의 需要量의 總需要量에 對한 比率는 變化하지 않는 것으로 假定한다. 目的函數式(6)에 의한 目標壓力 P_i^* 荷重係數 r_i 는 다음과 같이 決定한다. 各 Node의 壓力은 設置地盤에서 殘存值(殘存水頭)가 30mAq의 近似值를 取하는 것이 要望되므로 各各의 基盤標高에 g_i 에 30mAq을 合한 值 $P_i^* = g_i + 30$ ($i \in N$)을 目標值로 한다. 또한 荷重係數는 全 Node를 同一하게 取扱하는 意味에서 $r_i = 1$ ($i \in N$)로 한다. 制御變數에 있어서 Valve의 損失係數로는 上限을 2,500(3%開度), 下限을 0(全開)로 한다.

最後의 Simplex 法의 收斂判定基準 ϵ_1 은 1,000,000, Negative Cycle의 判定基準 ϵ_2 는 1 mAq로 取한다.

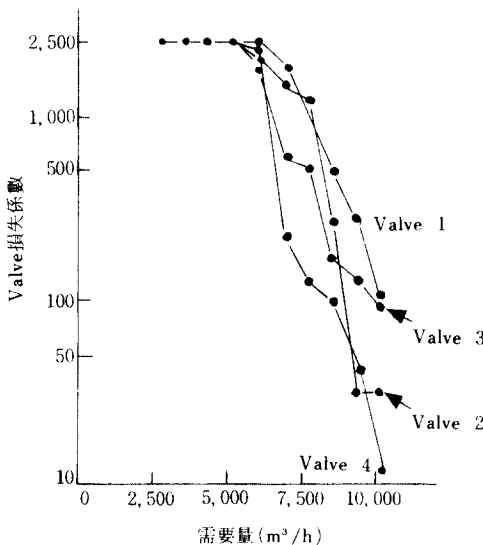


그림 2 需要레벨에 따른 最適制御點
Optimum control point according to demand level.

上述한 10段階로 Simulation한 結果로 最適인 Valve 損失係數를 그림 2에 표시되어 있으며, 一般의 傾向으로 需要量이 增大하면 最適損失係數는 減小하는 經驗과 一致하고 있다.

또한 壓力適正化의 效果를 檢討하면 壓力에서 地盤標高를 빼어 얻은 殘存水頭 30mAq에 近似하게 되는 것이 要望되여지므로 全 Node에 關係 殘存水頭의 平均을 求한 것이 그림 3과 같다.

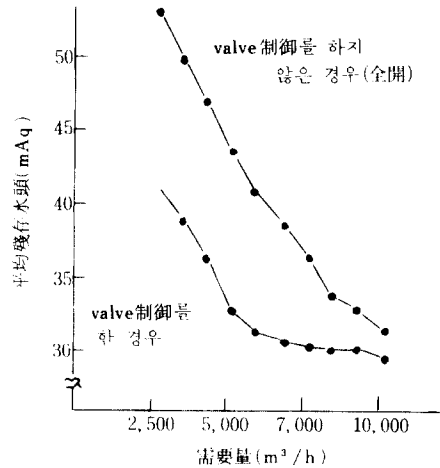


그림 3 供給壓力에 대한 比較
Comparison about service pressure.

서로 比較키 위하여 Valve無制御 경우의 平均 殘存水頭를 合하여 表示했으며 여기서 無制御되는 것은 需要 Level에 對應하는 Valve 制御를 行하지 않을 경우이다. 그림 3에서는 需要最大時에 必要壓 30mAq을 確保하기 위해 全 Valve를

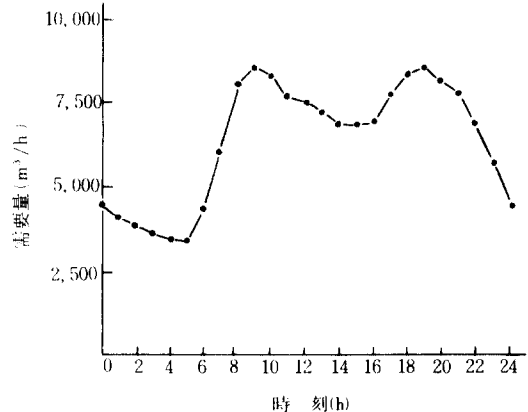


그림 4 時間에 따른 需要量
Demand volume according to time.

全開(損失係數 0)로 取한다.

한편 總需要量의 1日 동안에 있어서 時間的變化的는 그림 4와 같이 된다. (某年 7月의 例).

그림 3과 그림 4에서 Valve를 制御한 경우와 하지 않는 경우에 대한 平均殘存水頭의 時間的變化가 얻어진다. 計算時間에 關係 檢討해 보면 初期 Simplex에 큰 δ_v 는 Simplex法の 收檢性 및 計算時間에 큰 影響을 미친다. 그림 5에서 需要量이 5,240m³/h의 경우를 例로 들면 δ_v 值를 變化시킨 때의 Simplex法の 收檢狀態를 圖示한다.

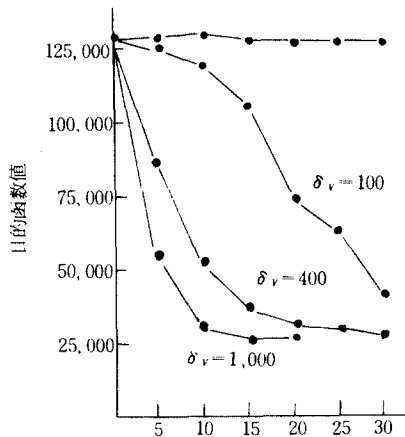


그림 5 δ_v 와 單體法の 收檢性과의 關係
Relation between δ_v and convergence of simplex method.

初期 Simplex가 조금 한계를 넘는 경우($\delta_v = 50$), 目的函数는 거의 改善되지 않음을 알 수가 있다. 이것은 制御變數의 變化幅이 약간 한계를 넘었기 때문에 目的函数의 變化量이 誤差內에 들었으므로 원하는 改善方向의 決定이 困難하게 된다. 그림 5에서는 收檢을 신속히 하기 위해서는 δ_v 의 큰 值를 設定하면 양호한 結果를 얻을 수 있으나 計算時間을 考慮하면 相異한 結論을 얻게 된다.

5. 結 論

本 研究에서는 上水道 Network의 流量·壓力配分の 最適化를 위하여 Network flow 理論을 利用한 Valve 制御量을 算出했으며, 最小費用流問題의 解法으로 Primal法을 利用하여 感度解析의 壓力分布를 求하는 方法을 提案했다.

이것을 Simplex法에 의한 最適計算에 組合하므로 最適化 計算의 高速化를 企圖했다. 그림 2에서 Simulation한 結果로 最適인 Valve 損失係數는 一般의인 傾向으로 需要量이 增加하면 減少하는 經驗과 一致하고 있는 것을 確認하였다. 本 研究에서는 配水系統設備計劃에 利用, 또는 需要推定方式과 組合된 配水系統制御에 適用하는 등, 몇가지 應用法이 考慮되어졌다. 그러나 보다 合理的이고 最適化 計算의 高速化가 流量과 壓力配분에 適用되기 위하여 앞으로 계속 研究 되어야 할 것으로 思料되어진다.

参 考 文 献

- (1) E. Alperovits, "Design of optimal water distribution systems," Water Resources Research, vol. 13, no. 6, pp. 885-900, 1977.
- (2) M. Collins, et. al., "Solving the pipe network analysis problem using optimization techniques," Management Science vol. 24, no. 7, pp. 747-760, 1978.
- (3) T. A. Marlow, et. al., "Proc ASCE 92, HY 4, p. 43, 1966.
- (4) 佐藤, "等壓配水制御에 관한 研究," 水協誌, no. 446, p. 7, 1971.
- (5) 高桑, "配水 Network의 解析과 그 應用," 電學誌, no. 96, p. 527, 1976.
- (6) 富山, 他, "上水道 Network에 의한 流量, 壓力配分の 最適化" 電學誌C, no. 98, p. 289, 1978.
- (7) 宮岡·松本, "最小費用流計算에 의한 管路網解析法," 電學誌C, no. 101, p. 261, 1981.



李 福 閔 (Pok Yun Yi) 正會員
1944年 9月 22日 生
1966年 3月 ~ 1970年 2月 : 嶺南大學校
工科大學電氣工學科 卒業
1974年 3月 ~ 1976年 2月 : 嶺南大學校
大學院電氣工學科
(制御專攻)
1979年 9月 ~ 1982年 8月 : 嶺南大學校大學院電氣工學科博士課程 制御 및 系統工學修了
1974年 5月 ~ 1979年 5月 : 美陸軍戰略通信司令部 大邱DCS通信專門官 勤務
1979年 3月 ~ 1981年 2月 : 嶺南工業專門大學 電氣科 勤務
1981年 3月 ~ 現在 : 仁川大學工學部電子工學科 助教授

• 부록 : Computer Simulation

```

1LIST
10 RI = 1
13 PRINT : PRINT
15 PRINT TAB( 15)"VALVE 1"
16 PRINT
20 PRINT "GR"; TAB( 10);"PRES"; TAB(
  17);"JUN"; TAB( 28)"VKJ"; TAB(
  33);"FLOW"
30 FOR I = 1 TO 4
35 READ GI,PI,D,F
40 PL = GI + 30
50 J = RI * (PI - PL) ^ 2
60 V = 0.08271 * D ^ - 4
70 PRINT I; TAB( 3);GI; TAB( 8);
  PI; TAB( 14);J; TAB( 25);V; TAB(
  36);F
80 DATA 52,8.2,.075841079,2500
81 DATA 8.2,3.64,.075841079,500
  0
82 DATA 8 ,3.26,.0861721027,75
  00
83 DATA 8,2.89,0.153238076,1000
  0
90 NEXT I
100 PRINT
115 PRINT TAB( 15)"VALVE 2"
116 PRINT
120 PRINT "GR"; TAB( 10);"PRES";
  TAB( 17);"JUN"; TAB( 28)"VK
  J"; TAB( 33);"FLOW"
130 FOR I = 1 TO 4
135 READ GI,PI,D,F
140 PL = GI + 30
150 J = RI * (PI - PL) ^ 2
160 V = 0.08271 * D ^ - 4
170 PRINT I; TAB( 3);GI; TAB( 10
  );PI; TAB( 17);J; TAB( 28);V
  ; TAB( 34);F
180 DATA 8.4,2.6 ,.075841079 ,2
  500
181 DATA 15 ,1.92,.075841079 ,5
  000
182 DATA 15 ,1.89,.142604098 ,7
  500
183 DATA 9,2.45,0.220481672,100
  00
190 NEXT I
200 PRINT
215 PRINT TAB( 15)"VALVE 3"
216 PRINT
220 PRINT "GR"; TAB( 10);"PRES";
  TAB( 17);"JUN"; TAB( 28)"VK
  J"; TAB( 33);"FLOW"
230 FOR I = 1 TO 4
235 READ GI,PI,D,F
240 PL = GI + 30
250 J = RI * (PI - PL) ^ 2
260 V = 0.08271 * D ^ - 4
270 PRINT I; TAB( 3);GI; TAB( 10
  );PI; TAB( 17);J; TAB( 28);V
  ; TAB( 34);F
280 DATA 8.3,2.6 ,.075841079 ,2
  500
281 DATA 7.2,3.14,.075841079 ,5
  000
282 DATA 7.2,3.26,0.1088355683,
  7500

```

```

283 DATA 7.2,3.59,.169585808 ,1
  0000
290 NEXT I
300 PRINT
315 PRINT TAB( 15)"VALVE 4"
316 PRINT
320 PRINT "GR"; TAB( 10);"PRES";
  TAB( 17);"JUN"; TAB( 28)"VK
  J"; TAB( 33);"FLOW"
330 FOR I = 1 TO 4
335 READ GI,PI,D,F
340 PL = GI + 30
350 J = RI * (PI - PL) ^ 2
360 V = 0.08271 * D ^ - 4
370 PRINT I; TAB( 3);GI; TAB( 10
  );PI; TAB( 17);J; TAB( 28);V
  ; TAB( 34);F
380 DATA 7.8,3.1 ,.075841079 ,2
  500
381 DATA 7.8,3 ,.075841079 ,5
  000
382 DATA 8.3,2.77,0.174112079,7
  500
383 DATA 8.8,2.61,0.35863032,10
  000
390 NEXT I
400 PRINT

```

IRUN

VALVE 1

GR	PRES	JUN	VKJ	FLOW
1 52	8.2	5446.44	2500	2500
2 8.2	3.64	1194.3936	2500	5000
3 8	3.26	1206.8676	1500	7500
4 8	2.89	1232.7121	149.999999	10000

VALVE 2

GR	PRES	JUN	VKJ	FLOW
1 8.4	2.6	1281.64	2500	2500
2 15	1.92	1855.8864	2500	5000
3 15	1.89	1858.4721	200	7500
4 9	2.45	1335.9025	35	10000

VALVE 3

GR	PRES	JUN	VKJ	FLOW
1 8.3	2.6	1274.49	2500	2500
2 7.2	3.14	1160.0836	2500	5000
3 7.2	3.26	1151.9236	589.487537500	
4 7.2	3.59	1129.6321	100	10000

VALVE 4

GR	PRES	JUN	VKJ	FLOW
1 7.8	3.1	1204.09	2500	2500
2 7.8	3	1211.04	2500	5000
3 8.3	2.77	1262.3809	89.99998047500	
4 8.8	2.61	1309.7161	5.0000000110000	

ISAVE ELL