

에도 水中파이프에 작용한다. 특히 강에서는 조류의 힘은 상당하다.

水中 Pipeline에 설치될 하중을 설계할 때 부분적인 Air Collection으로 인한 浮力과 조류와 파도로 인한 힘의 영향을 계산하지 않으면 안된다.

4-2-3. 鍾의 종류와 碇泊의 方法

PE, PVC, GRP, 파이프가 水中 Pipeline에 사용될 때 浮力과 조류와 파도로 인한 힘이 영향을 끼치기 때문에 바닥에 안정시키기 위한 鍾가 必要하다.

PE 파이프에 사용되는 일반적인 鍾는 콘크리트로 만들어 진다.

각각의 鍾는 두 部分으로 되어있어 2~5m 간격으로 파이프 주위에 볼트로 부착된다.

Pipeline의 연결은 바닥의 앵커와 Pipeline을 로프나 체인을 이용하여 유지된다. 높이와 위치는 로프나 체인을 이용하여 쉽게 조절할 수 있다. 이런 설치는 무거운 앵커나 낚시도구에 의해 쉽게 손상을 입는다.

그러므로 그 지점은 충분히 표시되어야 한다.

또한 Pipeline 지역에서는 닻을 내리거나 고기잡는 일을 금해야 한다.

上水道시스템을 最適化시키기 위한 모델

1. 序論

이 논문은 線形計劃法(LP)에 의해 낮은 費用 시스템을 實現시키기 위한 樹枝狀의 上水道시스템에 대한 數字的인 檢討를 하는 것이다.

여기서의 낮은 費用 즉 경제적이라 함은 펌프 사용에 의해 높여져야 할 水壓 또는 配水塔의 높이를 낮추는 것 또는 管徑을 줄이는 것 등을 일컫는다.

2. 最適化의 方法

最適시스템은 각 節點에서의 水壓이 적어도 最小의 基準價와 같도록 하면서 最小의 費用이 들도록 하는 管徑의 管과 펌프의 크기를 使用해야 할 것이다. 이때 線形計劃法(LP)을 使用하며, 모델은 결정변수(Decision Variable), 제약조건(Constraints)와 목적함수(Objective Function)로 구분될 것이다.

決定函數: ① 管路의 길이 ② 펌프장과 증압 펌프에서의 총 압력 ③ 배수탑의 높이 ④ 각 節點에서의 수압

制約條件: ① 각 節點에서의 水壓이 적어도 規定된 最小의 값과 같아야 한다. ② 모든 결정변수는 음수가 아니다.

目的函數: 시스템의 각 요소들에 대한 費用의 總合

3. 모델의 制約條件

3-1. 管路 方程式(Pipe Equations)

엘리먼트(Element)를 節點사이를 연결하는 관로라 칭할 때 각 엘리먼트에 대해서 최초로 하여야 할 일은 流速이 許容值에 맞도록 규격화되어 있는 管徑를 선택하는 것이다.

이에 맞는 管徑 d_k 가 r 個 있다고 가정한다. ($k = k_1, \dots, k_r$) 물론 엘리먼트로 선택된 管의 총 연장은 이 엘리먼트의 총 길이와 같게 되어야만 한다.

그러나 과거의 논문에 있어서 最適樹枝狀의 配水管網의 엘리먼트는 1개의 管徑 내지는 가능한 한 길이가 다른 연속하는 규격의 管徑으로 성립되어 있는 것이 보통이다.

따라서 i 번째의 엘리먼트에 관한 조건식은

$$\sum_{j=k_1}^{k_{r-1}} (l_i, j, j+1 + l_i, j+1, j) = L_i \dots \dots (1)$$

$r=1$ 일때 방정식 (1)은

$$l_i, j = L_i \dots \dots (2)$$

單位 길이 當의 損失水頭 (PCi, j)는 Manning의 式에 따라

$$PCi, j = Ci Q^{aj} dj^{-\beta j} \dots\dots\dots (3)$$

流量 = Qi, 管徑 = dj 에 의해서 엘리먼트의 總 損失水頭는

$$dhi = \sum_{j=k_1}^{Kr-1} (PCi, j \cdot li, j, j+1 + PCi, j+1 \cdot li, j+1, j) \dots\dots\dots (4)$$

만약 i 번째 엘리먼트가 단지 하나의 管徑으로 구성되어 있다면

$$dhi, j = PCi, j \cdot li j \dots\dots\dots (5)$$

로 된다.

엘리먼트의 下流側 節點에서의 水壓 pfi는 上流側의 節點의 水壓을 pfim 으로 한즉

$$Pfi - Pfim + dhi = Ctim - Cti \dots\dots\dots (6)$$

여기서 Ct 는 地盤高

各 節點에서의 必要 最小限의 水壓을 Pmini 로 한즉

$$Pfi \geq Pmini (Pmini > 0) \dots\dots\dots (7)$$

(4), (5), (7) 에서 엘리먼트에 있어서의 1개의 制約條件이 구해진다.

$$Pfim - \sum_{j=k_1}^{Kr-1} (PCi, j \cdot li, j, j+1 + PCi, j+1 \cdot li, j+1, j) \geq Pmini - Ctim + Cti \dots\dots\dots (8)$$

또 (4)와 (6)에서 또 다른 式이 유도된다.

$$Pfi - Pfim + \sum_{j=k_1}^{kr-1} (PCi, j \cdot li, j, j+1 + PCi, j+1 \cdot li, j+1, j) = Ctim - Cti \dots\dots\dots (9)$$

3-2. 펌프場과 昇壓機 (Pumping Station and Booster Equations)

펌프장과 승압기에는 制約條件이 2 개 있다. 엘리먼트에서의 1 개는 다음과 같다.

$$Si = 1 \dots\dots\dots (11)$$

또 한개는 i 번째 엘리먼트에 의해서 야기되는 全揚程 hi 에 관한 것으로

$$Pfi - pfim - hi = Ctim - Cti \dots\dots\dots (12)$$

여기서 Ctim 은 i 번째 엘리먼트의 右쪽 엘리먼트가 없을 때는 ho 와 같다.

3-3. 配水池 (Reservoirs)

이것에는 운전을 위한 것과 貯留를 위한 것이 있다. 前者는 動水傾斜가 연속이라는 가정하에서 2개의 制約條件이 있다. 하나는 (11)과 같고, 또 하나는 다음과 같다.

$$Pfi - pfim = Ctim - Cti \dots\dots\dots (13)$$

後者は 수요의 변동에 대해서 시스템을 對應시키기 위한 것으로 動水傾斜가 갑자기 떨어지도록 된다. 制約條件 식은 2 개가 있으며 하나는 (11)과 같으며 또 하나는 다음과 같다.

$$Pfi - pfim - hr = Ctim - Cti \dots\dots\dots (14)$$

양쪽의 경우에서 모두 다 下流側의 水壓 Pfi는 貯水池의 높이와 같다.

3-4. 減壓 밸브

式은 2 개가 있으며, 하나는 (11)과 같고, 또 하나는 다음과 같다.

$$Pfi - Pfim + hi = 0 \dots\dots\dots (15)$$

3-5. 處理場 (Treatment Plants)

式이 2 개 있는데 모두 위의 減壓 밸브에서와 같은 式이며 보통의 처리장(開水路 상태로 처리를 하는 것)에서 만약 最適化의 結論에서 正의 壓力을 내게 되면 배치가 적당하지 않은 것으로, 설계자는 시스템의 형태를 바꾸어야 한다.

4. 目的函数 (Objective Function)

最適化 과정의 목적은 위에서 설명된 조건식에 따라서 시스템의 총 비용을 最小化하는 것이다.

管으로 된 엘리먼트에 있어서 口徑, 材質에 따른 비용은 길이와 關係해서 線形이다. 따라서 엘리먼트의 비용은

$$\sum_{j=k_1}^{kr-1} (li, j, j+1 \cdot Pj + li, j+1, j \cdot Pj+1) \dots\dots\dots (16)$$

로 된다.

여기서 P_j 는 단위 길이당의 관경 d_j 의 관의 가격이다.

Hinomoto는 地表水를 처리하는 정수장의 총 비용은 용량이 증가함에 따라 평균비용은 감소한다는 것을 보였다.

이 논문에서는 주요비용 C_i 는 Q_i 를 獨立變數로 해서

$$C_i = a_i Q_i^{b_i} \quad (0 < b_i < 1) \dots\dots\dots(17)$$

로 주어 졌다.

목적함수를 작성하기 위하여 擬變數 S_i 가 도입되어 엘리먼트의 비용은

$$C_i S_i \dots\dots\dots(18)$$

로 표시된다.

(11)에서 주어진 것과 같이 $S_i = 1$ 이다.

펌프장과 승압기도 역시 용량이 증가할수록 비용이 감소한다. 건설 및 운전비용 C_i 는 全揚程 h_i 을 決定變數로 해서

$$C_i = a_i h_i^{b_i} Q_i^{c_i} \quad (b_i > 0, C_i < 1) \dots\dots(19)$$

로 표시되어 C_i 는 엄밀히 말해 오목함수로 가정되며, 따라서 費用함수 C_i 는 h_i 와 非線形관계이다.

배수탑에 대해서도 똑 같은 비용함수가 가정된다.

$$C_i = a_i h_i^{b_i} V_i^{c_i} \dots\dots\dots(20)$$

h_i 는 배수탑의 水頭로서 결정변수이고, V_i 는 貯留容量으로 既知의 값이 된다.

이때의 비용함수는 $0 < b < 1$ 인때 오목함수이고 그렇지 않을 때는 엄밀히 말해 볼록함수이다.

減壓밸브에 대해서 비용함수는 常數로 가정되며, 이것에도 擬變數(Dummy Variable) S_i 를 사용해서 다음과 같이 된다.

$$C_i S_i \quad (S_i = 1) \dots\dots\dots(21)$$

비용이 일정한 배수지는 減壓밸브와 똑 같이 취급된다. 목적은 (1)에서 (15)까지 식으로 표시된 線形인 제약조건에 의해서 非線形인(16), (17), (18), (19), (20), (21)의 합계를 최소화하는 것이다.

目的함수는 각각 1개의 결정변수만을 포함하는

서로 다른 有限 個의 項으로 표시될 수 있기 때문에 전체적인 最適化의 答은 各項과 各項의 合이 볼록함수 일 때만 구해 질 수 있다.

(19)와 (20)식을 사용한다면 이 방법이 적용될 수 없어서 약간의 문제점이 예상된다.

非線形인 目的함수는 非線形인 項의 答이 예상되는 點 근처에서 線形化되어 지는 Salcedo와 Weiss에 의해서 제안된 반복 계산에 의해 또한 答을 구할 수 있다.

5. 엘리먼트의 번호 매기기(Element Numbering)

線形計画法에서는 엘리먼트의 번호를 매기는데 제한이 없지만 1부터 n 까지 연속적으로 배열되도록 번호를 매기는 것은 계산과정을 간단히 하고 또한 합리적이다.

6. 設計 例

위에서 설명된 방법은 포르투갈에서 사용되었다. 예로서는 포르투갈의 중심부(Leiria 마을 부근)에서 총인구 14,500명인 조그마한 마을에 물을 공급하기 위한 시스템이 설계되었다.

이 시스템은 166개의 관, 2개의 펌프장, 1개의 승압기, 4개의 감압밸브, 2개의 배수탑, 8개의 배수지로 구성된 183개의 엘리먼트를 가진다. 다른 배수지로부터 들어오는 물에 대한 정수장은 포함되지 않는다.

각종의 엘리먼트의 비용함수는 설계자에 의해 만들어 졌고 이것 들은 모두 線形이다. 이것의 最適化 과정의 결과는 다음 표-1에서 보여진다.

