

水路設計의 最適化 技法

辛 逸 善* · 崔 宇 炫**

1. 序 論

지금까지 水路의 路線選定은 科學的이나 數學的인 技法을 適用해서 決定하기 보다는 地形與件에 따라 直接 判斷하고 最少費用으로 送水하는 方法은 最短거리로 路線을 選定해야 한다는 前提下에 決定되었다.

좀더 經濟的인 用水供給을 위해 1960年代부터 數學的 最適化 技法(Mathematical Optimization Techniques)에 의한 設計方法이 試圖되었으며 水路組織을 計劃할 때에 다음과 같은 事項을 考慮하여 樹立 해야 한다.

- 給水面積
- 必要 用水量
- 用水源 位置 및 可用水量
- 用水供給 方法
- 各 案에 대한 經濟性 分析

本 解析에서는 上記 事項중에서 뒤에 있는 두개항에 대해 주로 다루었으며 1969年 Buras 와 Schweig가 發表한 路線選定 및 用水供給 方法에 대한 公式을 擴大適用하였다.

이는 水路組織의 適正 支線數는 어떤 判斷으로 決定하는 것이 아니고 最適化시켜야 할 하나의 變數로 取扱해야 함을 前提하고 있다.

2. 解析方法

用水供給問題의 解析은 連續的인 多段階의

解析過程이 必要하며 이를 위해 Dynamic Programming技法이 導入되었다.

Dynamic Programming技法은 用水源問題 解析을 위한 數學的 最適化技法으로서 路線에 대한 代案들을 評價하기 위해 目的函數(Objective Function)를 使用하였으며 關聯因子들을 구체화시키기 위해 몇가지의 制約條件들을 數式化하였다.

用水供給問題를 適切하게 解決하기 위하여는 制約條件들을 充足시킬수 있는 여러 代案들의 目的函數값들을 檢討해야 한다(本 解析에서 制約條件들은 各 節點에서 질량보존법칙으로 構成되어 있다).

目的函數가 決定되고 制約條件들이 把握되면 Dynamic Programming技法을 적용하여 諸 用水供給問題를 一括 處理하게 된다.

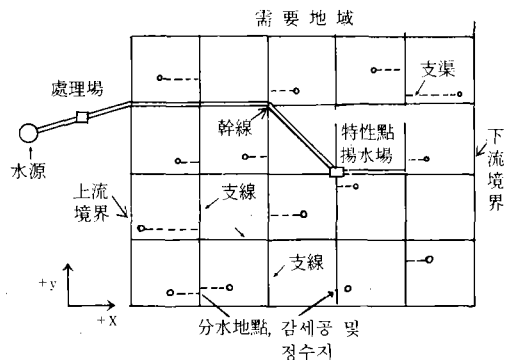


그림. 1. 給水組織의 要素.

* 農業振興公社 農業土木試驗研究所

** 農業振興公社 새萬金事業處

그림.1에 表示된 바와 같이 用水供給網은 幹線, 支線, 分水地點(Delivery Point), 特性點(Characteristic Point) 揚水場, 靜水池(Stilling Basin), 用水源(Source) 및 處理場(Treatment plant)으로 構成되어 있다.

分水地點(Delivery Point)은 물을 使用하는 位置이다.

分水地點으로부터 自然給水가 되도록 支渠가 設置되었다고 假定하며 支渠費用은 水路 總費用에 包含되어 있다. 다음 章에서 展開될 구체적인 解析 알고리즘(Solution Algorithm)은 附錄II에 要約되어 있다.

3. 支線設計

일단 물需要地域이 決定되면 이 地域에 대한 格子網을 構成한다. 格子網은 서로 直交하는 두 直線群으로 되어 있고 X方向 直線은 等高線(Tophographic Contour Line)과 平行하게 Y方向 直線은 等高線과 直交하게 그린다.

格子網은 空間的인 區分을 나타내며 格子網의 크기를 적게 하면 計算時間은 많이 걸리지만 보다 正確한 結果를 얻을 수 있다.

問題解析의 첫단계로서 完만하게 變하는 地形으로 假定하고 물需要地域과 格子網을 表示하면 그림.2와 같다. 이 平面圖에서 區域(District)이란 두개의 인접된 直線사이의 面積을 뜻한다. 物要素量 D_i 는 i 區域에 必要한 물需要量(그 區域內的 모든 물需要量의 合計)이며 i 를

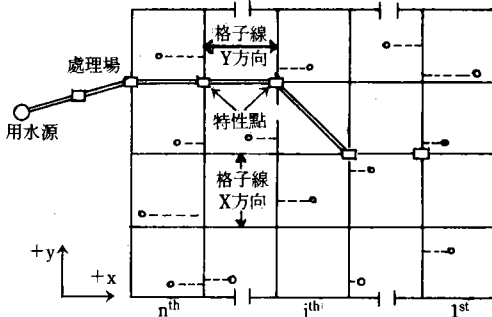


그림.2. 需要地域의 格子網.

1, 2, …… n 까지로 하는 D_i 값을 支線들의 最適位置를 定하는데 利用된다.

Buras와 Schweig(1969)에 依하면 單一 水路로 導水하는 것이 두개 以上の 水路로 導水하는 것보다 經濟的이다. 이러한 發想에서 각기 다른 물使用者에게 用水를 配分해야하는 始發點(starting point)을 찾을수 있다. 用水路의 最適路線은 連結水路(Connection Canals)의 길이를 最少化시키는 路線이다.

各 區域의 D_i 값($i=1, 2, \dots, n$)은 假想빔(Ideal Beam)上에 原點으로부터 d_i ($i=1, 2, \dots, n$)만큼 떨어진 位置에서 作用하는 獨立荷重들을 나타내며 빔의 길이는 X軸에 있는 需要地域 길이와 같게 하고 支線들은 빔의 反力으로 表示한다(그림.3 參照)

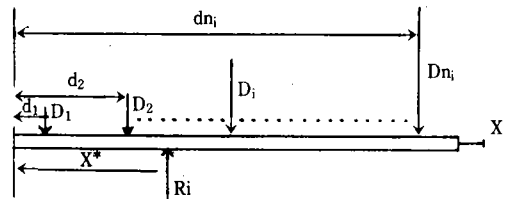


그림.3. 需要荷重 및 支線位置

區域을 대략 비슷한 需要를 가진 L 個의 작은 群(Subgroups)으로 分割하면 支線의 容量은 해당 區域內的 작은 群의 總需要量과 같다.

$$R_i = \sum_{i=1}^n D_i \dots\dots\dots (1)$$

여기서 R_i 는 $i=n$ 번째 支線의 荷重數 X軸위의 支線 位置를 決定하기 위하여 다음과 같은 數學的 最適化公式을 만들수 있다.

$$\min(|X-d_1| D_1 + |X-d_2| D_2 + \dots\dots\dots |X-d_n| D_n) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $d_1 \leq X \leq d_n$
 $|X-d_i|$ 는 $(X-d_i)$ 의 絶對值
 이 問題를 풀음으로서 X軸위의 支線이 最適位置 X^* 을 求할 수 있다.

4. 最適路線 選定을 爲한 數學的 解析

이 章에서 考慮할 事項은 用水를 幹線, 支線 및 支渠를 통해 使用者에게 最少費用으로 供給할 수 있는 路線을 選定하는 것이다.

幹線은 開水路로, 支線은 管水路와 開水路의 混合으로 假定하며 開水路는 幹線보다 낮은 地域에 管水路는 幹線보다 높은 地域에 用水를 供給한다(그림.2 參照)

揚水場은 支線이 分岐하는 幹線區間(Reach) 末端部에 位置해야 한다. 幹線에서 使用者까지의 送水費用은 開水路式 및 壓力式 送水費用의 總計이며 解析에 다음 因子들이 使用되었다.

가. 特性點(CHP)

支線과 水平格子線과의 交點이 特性點이며 幹線은 이 點들을 連結시킨다고 假定한다.

이 點들의 수와 位置는 格子網의 크기에 의 해 左右되며 特性點의 位置는 벡터(Vector)에 의 해 정해진다.

$$CHP(i, l) = [X(i, l), Y(i, l), Z(i, l)] \dots (3)$$

여기서 i 는 1에서부터 지선 l 상의 水平 格子線數만큼 變하며 l 은 1부터 需要面積內의 支線數만큼 變化한다. Backward Dynamic Programming方式에 따라 支線1은 需要面積內의 最下流支線이고 格子線은 $i=1$ 이 標高가 가장 높은 格子線을 표시하도록 번호를 부여한다.

나. 分水地點(Delivery Point)

分水地點(DP)은 支線上에 位置하는 支渠 始點을 말하며 Vector로 定해진다.

$$DP(k, l) = [X(k, l), Y(k, l), Z(k, l)] \dots (4)$$

여기서 K 값은 1부터 支線 l 상의 分水地點數만큼 變하며 支線에서 標高가 높아질수록 增加한다.

다. 特性費用(Characteristic Cost)

이는 支線 l 상의 어떤 特性點 i 로부터 同一 支線上의 각각의 分水地點 K 까지 送水하는 費用

을 말하며 $g(CHP(i, l))$ 로 表示한다.

라. 連結水路 費用(Linking Aqueduct cost)

이는 特性點 (i, l) 과 特性點 $(j, l+1)$ 을 連結시키는 幹線水路費用이며 j 는 特性點 (i, l) 과 連結될 수 있는 支線 $l+1$ 의 j 번째의 特性點을 말하며 j 값은 i 로부터 간선에서 許容될 수 있는 最大動水傾斜에 依해 定해지는 點들의 數만큼 變한다(幹線을 開水路式에 依해 通水되는 것으로 假定함)

水路費用을 算定하기 爲해 于先 設計用水量을 決定해야 하며 이를 爲해 質量保存法則(Mass Conservation Law)을 幹線의 各 節點(Node)에 適用한다. 各 支線의 設計通數量은 前章에서 說明한 바와같이 總需要量을 大略 비슷한 L 개의 個別需要量(Subdemand)으로 나누고 支線이 各 個別需要量을 감당하도록 決定한다.

質量保存法則을 나타내는 一般的인 公式은 다음 變數들을 包含하고 있다.

- 1) S_i = 幹線 i 區間 末端의 流量
- 2) Δq_i = i 區間에서의 總損失
- 3) q_i = i 區間の 末端에 位置한 支線 i 의 流量

여기서 區間(Reach)은 어느 支線과 다음 支線사이의 部分을 말하며 區間番號는 最下流에 있는 區間부터 上流쪽으로 부여한다.

첫번째 구간(區間1) 下流端의 連續方程式은 式(5)와 같이 記述할 수 있다.

$$S_i = q_i \dots \dots \dots (5)$$

첫번째 구간을 제외한 임의 區間에 대한 一般式은 다음과 같다.

$$S_{i+1} = S_i + \Delta q_i + q_{i+1}, \\ i = 1, 2, 3, \dots, N-1 \dots \dots \dots (6)$$

여기서 N ; 幹線을 分轄한 區間數
式(6)에서 求한 流量에 依해서 幹線內의 各 區間の 水理的 特性 및 水路形態를 決定한다. 連結水路 費用은 計劃中인 各 特性點간의 거리와 해당 區間の 幹線容量의 함수로 나타낼 수 있

으며 數學的 形態로는

$C(\| \text{CHP}(j, l+1) - \text{CHP}(i, l) \| S_i)$ 로 表示된다.

여기서 $\| \cdot \|$ 는 두 點사이의 距離를 말한다.

마. 最少費用函數(F)

이 函數는 支線상의 特性點(i, l)로부터 支線 l 下流에 있는 모든 分水地點까지 送水에 드는 最少費用을 말하며 F(i, l)로 表示된다.

支線1에서는 式(7)과 같이 表示할 수 있으며

$$F(i, 1) = \min g[\text{CHP}(i, 1)] = g[\text{CHP}(i, 1)] \dots\dots\dots (7)$$

여기서 $g[\text{CHP}(i, 1)]$; 特性點(i, 1)로부터 支線1의 모든 使用者에게 送水하는 費用

입의 區間에 대한 一般의인 關係式은 式(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(j, l+1) = \min \{ g[\text{CHP}(j, l+1)] + C(\| \text{CHP}(j, l+1) - \text{CHP}(i, l) \| S_{i+1}) + F(i, l) \}; i = (j, j+1, \dots\dots j+ND_{i,j}); j = (1, 2, 3, \dots\dots N\text{CHP}_{l+1}); l = (1, 2, 3, \dots\dots L) \dots\dots\dots (8)$$

여기서 $N\text{CHP}_{l+1}$; 支線 l+1의 CHP數
 $ND_{i,j}$; 支線 l+1의 原點이 j일때 支線 l의 Feasible CHP數

最適化 過程(Optimization Procedure)은 水理的인 觀點에서 타당성 있는 모든 給水地域(Feasible Region)에 대해 施行되며 給水地域은 다음 章에서 說明되는 方法에 依해 決定할 수 있다.

上記 方程式을 풀면(j, l+1)地點까지의 最少費用函數 F(j, l+1)의 最適值뿐만 아니라 最適路線이 通過할 地點 i도 求할 수 있다.

Dynamic Programming 問題를 푸는 方法은 아래와 같다.

1) 支線1의 最上端 特性點으로부터 始作하여 方程式(7)을 利用해 水路 始點부터 支線까지 또한 支線에서 使用者까지 送水하는 最少費用을 求한다.

2) 方程式 (8)을 利用하여 支線 l+1과 支線 l을 連結하는 路線의 代案들에 對한 最少費用含數를 求한다. 이는 支線 l+1의 모든 特性點들에 對하여 可能한 모든 給水地域들에 對한 特性費用(Characteristic cost)과 連結水路費用(Linking Cost)을 求할 수 있기 때문이다.

方程式(6)은 支線l과 l+1사이 區間의 設計用 水量 決定에 利用되며 方程式(8)은 水路의 最上流에 있는 區間(Reach)이 計算될때까지 모든 支線들에 對한 最少費用函數를 求하는데 使用된다.

水路의 總費用을 推定하는데는 水源에서부터 水路 始點까지의 導水費用도 포함되어야 하는데 경우에 따라서 水源이 需要地域에서 너무 멀리 떨어져 있을 경우에는 水源으로부터 需要地域까지의 導水費用은 上流 첫번째 支線에 있는 特性點位置에 따라 크게 左右되지 않으며 이런 경우에는 추가도수비용은 最適化過程에서 無視할 수도 있다.

5. 給水地域 (Feasible Region)의 決定

路線選定에 있어서 給水地域이란 인접된 두 支線사이에서 設置可能한 모든 路線에 依해 定해지는 地域을 말하며 地域境界는 두 支線과 幹線의 最大 및 最小 水路傾斜에 依해 決定된다. 給水地域을 決定하는데는 다음 因子들이 必要하다.

가. 地形傾斜度(θ)

需要地域의 傾斜度는 均一하다고 假定한다

나. 最小水路傾斜(α)

最小水路傾斜는 침전을 考慮해서 決定되며 本文에서 展開될 數學的 方法에서는 計算 目的上 最小水路바닥 傾斜는 0인것으로 假定한다.

다. 最大水路傾斜(β)

最大傾斜는 침식을 考慮해서 決定되는데 幹線水路는 라이닝된 것으로 가정하며 最大 바닥 傾斜는 라이닝種類에 依해 左右된다.

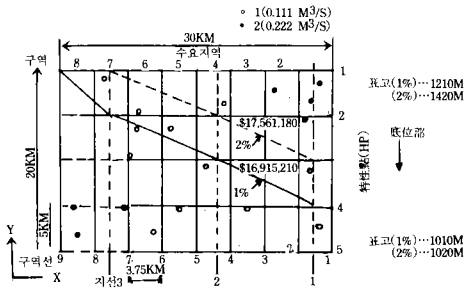


그림. 7. 最適支線位置 및 水路 設計圖(Case 3).

세가지 경우 모두 총수요량은 3m³/sec로 가정했다.

사용자들의 地形的인 位置나 물需要量은 表-1 및 表-2에 나타나 있으며 表-1은 地形이 1%의

均一한 傾斜도를 갖는 경우이며 表-2는 2%의 均一한 傾斜인 경우이고 費用分析은 부록I에 收錄되어 있다. 最少費用이 드는 水路가 通過해야 하는 特性點들은 다음 節次에 依해 決定된다.

表-3~表-5에는 Case1의 地形傾斜度 1%인 경우에 대한 最少水路費用이 計算되어 있다.

Dynamic Programming 順序 개념에 따른 마지막 幹線區間(給水地域3) 上下流의 特性點은 表-5에서 最少費用(\$16,625,280)을 나타내는 점들(1, 2)이 된다.

마지막 支線의 下流 特性點(CHP)은 다음 支線의 上流 特性點이 되며 下流에 있는 모든 幹線區間(section)들의 始發點이 된다.

이러한 모든 잔여 區間들(2-2, 3-2, 4-2, 5

表-1. 使用者 座標 및 需要量(地形傾斜度 1%).

區域番號 (1)	使用者番號 (2)	X-座標 (m) (3)	Y-座標 (m) (4)	Z-座標 (m) (5)	需要 1 (m ³ s) (6)	需要 2 (m ³ s) (7)	需要 3 (m ³ s) (8)	
1	1	39,160	2,794	1,027.94	0.15	0.111	0.222	
	2	37,680	9,059	1,090.59	0.15	0.111	0.111	
	3	26,960	14,640	1,146.64	0.15	0.222	0.111	
	4	37,640	16,766	1,167.66	0.15	0.222	0.111	
	5	38,720	18,543	1,185.43	0.15	0.222	0.111	
2	1	33,500	17,661	1,176.61	0.15	0.222	0.111	
	3	1	31,080	4,851	1,048.51	0.15	0.111	0.222
		2	27,200	13,755	1,137.55	0.15	0.111	0.111
4	1	26,240	9,282	1,092.82	0.15	0.111	0.111	
	2	28,160	16,137	1,163.17	0.15	0.111	0.111	
	3	23,160	4,763	1,047.63	0.15	0.111	0.222	
5	2	22,080	13,650	1,136.50	0.15	0.111	0.111	
	6	1	20,560	2,125	1,021.25	0.15	0.111	0.222
		2	17,680	10,542	1,105.42	0.15	0.111	0.111
7	3	18,560	13,419	1,134.19	0.15	0.111	0.111	
	4	18,760	15,267	1,152.67	0.15	0.111	0.111	
	1	17,000	4,767	1,047.67	0.15	0.222	0.222	
	2	15,120	19,068	1,190.68	0.15	0.111	0.111	
8	1	11,840	1,922	1,019.22	0.15	0.222	0.222	
	2	11,160	4,863	1,048.63	0.15	0.222	0.222	

表-2. 使用者 座標 및 需要量(地形傾斜度 2%).

區域 番 號 (1)	使用者 番 號 (2)	X-座標 (m) (3)	Y-座標 (m) (4)	Z-座標 (m) (5)	需要 1 (m ³ s) (6)	需要 2 (m ³ s) (7)	需要 3 (m ³ s) (8)
1	1	39,160	2,794	1,055.88	0.15	0.111	0.222
	2	37,680	9,059	1,181.18	0.15	0.111	0.111
	3	36,960	14,640	1,293.28	0.15	0.222	0.111
	4	37,940	16,766	1,335.32	0.15	0.222	0.111
	5	38,720	18,543	1,370.86	0.15	0.222	0.111
2	1	33,500	17,661	1,353.20	0.15	0.222	0.111
3	1	31,080	4,851	1,097.02	0.15	0.111	0.222
4	1	26,240	9,282	1,185.64	0.15	0.111	0.111
	2	27,200	13,755	1,275.10	0.15	0.111	0.111
	3	28,160	16,317	1,326.34	0.15	0.111	0.111
5	1	23,160	4,763	1,095.26	0.15	0.111	0.222
	2	22,080	13,650	1,271.00	0.15	0.111	0.111
6	1	20,560	2,125	1,042.50	0.15	0.111	0.222
	2	17,680	10,542	1,210.84	0.15	0.111	0.111
	3	18,560	13,419	1,268.38	0.15	0.111	0.111
	4	18,760	15,267	1,305.34	0.15	0.111	0.111
7	1	17,000	4,767	1,095.34	0.15	0.222	0.222
	2	15,120	19,068	1,381.36	0.15	0.111	0.111
8	1	11,840	1,922	1,038.44	0.15	0.222	0.222
	2	11,160	4,863	1,097.26	0.15	0.222	0.222

表-3. 事例分析 1(給水地域1).

支線1의 特性點 (1)	支線2의 特性點 (2)	最小費用(\$) (3)
1	1	9,348,336
2	2	8,674,770
2	1	7,927,429
3	3	9,027,728
3	2	7,732,735
3	1	8,469,344
4	4	9,915,856
4	3	8,337,138*
4	2	8,526,094
4	1	9,478,374
5	5	11,901,690

支線1의 特性點	支線2의 特性點	最小費用(\$)
5	4	9,903,930
5	3	9,809,162
5	2	10,213,790
5	1	11,264,430

* 채택치

註：地形傾斜度 1%

-2)中에서 費用이 最少인 區間이 있을 것이며 이는 表-4에서 給水地域2에 있는 區間3-2(\$14,982,880)임을 알수 있으며 이로부터 最少費用이 드는 또 한쌍의 特性點들을 求할수 있다.

이러한 計算過程은 모든 支線의 分析에 適用

表-4. 事例分析1 (給水地域2).

支線2의 特性點 (1)	支線3의 特性點 (2)	最小費用(\$) (3)
1	1	16,438,200
2	2	15,752,500
2	1	14,869,490
3	3	16,615,510
3	2	14,982,880*
3	1	15,843,380
4	4	18,501,290
4	3	16,808,290
4	2	16,924,170
4	1	18,031,230
5	5	22,166,590
5	4	19,125,030
5	3	19,180,540
5	2	19,537,980
5	1	20,751,290

* 채택치

註; 地形傾斜度 1%

表-5. 事例分析1(給水地域3).

需要地域上流경 계에 있는 特性點 (1)	支線3의 特性點 (2)	最小費用(\$) (3)
1	2	16,625,280**
2	3	17,378,450
3	4	19,011,080
4	4	20,896,860
5	5	24,562,160

* 채택치

註; 地形傾斜度 1%

되었으며 表3~表5와 같은 表들이 다른 경우들
에 대해서도 作成되었다.

7. 事 例

가. Case1 : 需要가 均일한 경우
모든 使用者의 水需要는 0.15m³/sec이며 需要

범주1(Demand Category 1)에 속한다고 가정하
고 地形傾斜와 最適支線數에 대하여 시뮬레이
션(Simulation)을 하였으며 水路의 最適路線은
그림.5에 表示되어 있다.

나. Case2 ; 底位部の 需要가 많은 경우
高位部の 水需要(Demand Category 1)는 0.111
m³/sec底位部の 水需要(Demand Category 2)는
0.222m³/sec로 가정하고 地形傾斜와 最適支線數
에 對하여 시뮬레이션하였으며 最適路線은 그
림.6에 表示되어 있다.

다. Case 3 ; 右上端 및 左下端의 水 需要가
많은 경우

右上端 및 左下端地域의 水需要(Demand
Category 2)는 0.222m³/sec, 여타 地域의 需要
(Demand Category 1)는 0.111m³/sec로 假定하
고 地形傾斜와 最適 支線數에 對하여 Simula
tion하였으며, 最適路線은 그림.7에 表示되어
있다.

그림.8에는 Case2에 대하여 支線數와 費用의
函數關係가 그래프로 表示되어 있으며 이 경우
支線數가 4個인 경우가 費用이 最少가 됨을 알
수 있다.

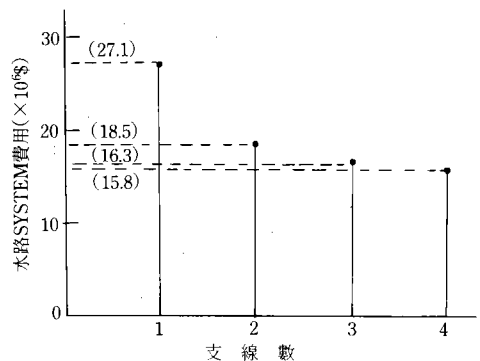


그림.8. 支線數와 費用의 函數關係.

8. 考 察

그림.5~그림.7에 例示된 設計事例들을 보면
急傾斜地域에서는 환경사 地域보다 수로가 高

地帶를 통과하며 모든 경우에 있어 높은 揚水費用때문에 大部分의 水路區間들이 높은 地域에 位置함을 알 수 있다. Case1과 Case3의 경우에 最適 支線數는 同一하지만 支線位置는 需要의 地域적인 分布에 따라 變함을 알 수 있으며 (그림.5와 그림.7 比較) 이는 本文에서 提示된 것과 같은 支線位置 最適化 알고리즘(Algorithm)의 必要性을 강조하고 있다.

數學的 最適化 알고리즘에 依해 求해진 값들은 다른 代案들에 의해 求해진 費用들과 比較함으로써 評價될 수 있다.

예를 들어 만일 幹線이 항상 需要地域의 上 端部境界를 지나고 同一한 수의 支線으로 設計되었다면 Case1의 1% 傾斜度일 경우는 總費用은 \$17,265,050이고 Case3의 1% 傾斜度일 경우는 \$17,306,530이 되는데, 數學的 最適化기법을 利用하면 Case1의 1% 傾斜도인 경우 \$639,770, Case3의 1% 傾斜도인 경우 \$391,320의 費用을 절감시킬 수 있다.

9. 銳敏度 分析

Case1(균일한 需要의 경우)의 假定條件에서 傾斜度 1, 2, 3%에 대하여 地形圖(等高線間隔)에 대한 目的函數의 銳敏度를 檢討한 結果 急傾斜인 경우 目的函數의 銳敏도가 큼을 알 수 있다. 예를 들어 3%의 傾斜度에서 等高線 間隔 150m의 地形圖를 使用한 경우와 50m간격의 地形圖를 使用한 경우 費用差異가 \$3,870,000(總費用의 20%以上)이나 되었다.

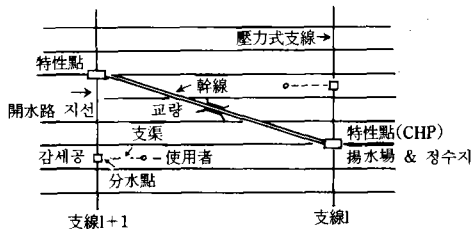


그림. 9. 두 支線사이의 幹線區間(SECTION).

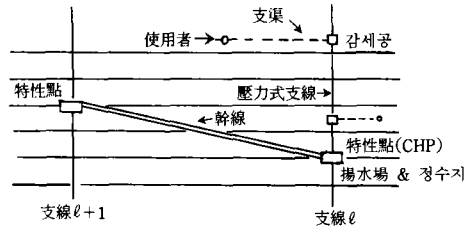


그림. 10. 高地帶의 使用者에게 給水할 管水路組織.

需要가 均一하고 地形 傾斜도가 1~8%범위의 既 設計된 路線들을 檢討한 結果 3%보다 急한 地形에서는 開水路式 水路를 選擇할 수 있는 與件이면 可能한 揚水場 設計를 회피하는 관습이 있음을 알 수 있었다. 하지만 急傾斜 地域일지라도 Dynamic Program方法을 使用함으로써, 適切한 支線位置, 特定 需要分布에 대한 開水路와 揚水 水路의 適切한 組合等을 檢討 決定할 수 있어 費用을 節減할 수 있는 것으로 나타났다.

10. 結 論

均一한 傾斜를 가진 地形에서 水路組織設計를 위한 새로운 技法이 試圖되었으며 이 方法은 費用이 最少가 되는 設計를 하기 위해서는 用水量보다도 水路組織을 構成하는 因子들의 位置를 最適化 시켜야 한다는 前提下에 이루어진 것이다.

最適 支線數를 決定하기 위하여 用水使用者들의 地理적인 分布狀態를 고려하여 需要函數를 樹立하였으며 各 支線數들에 對하여 費用이 最少가 되는 水路組織 設計를 遂行한바 最適案은 全體的으로 費用이 最少가 되는 支線數를 가진 案으로 判明되었다.

몇가지 假定에 대한 Simulation study는 例題에 說明되어 있으며 이에서 導出된 原則적인 結論은 다음과 같다.

가. 數學的 最適化 技法(Mathematical Optimization Techniques)은 設計者들이 가장 저렴한

水路設計를 하기 위하여 路線, 支線數 및 位置를 決定하는데 도움을 줄 수 있다.

나. 數學的 最適化 技法을 利用함으로써 水路費用을 현저하게 節減시킬 수 있다.

다. 最少費用이 드는 水路組織 設計는 需要的 空間的인 分布에 依해 左右된다.

이와 관련하여 將次 補完하여야 할 事項은 一般的인 地形이나 支線들의 容量이 各기 다른 경우에도 利用할 수 있으며 固定된 物需要대신 장래 物需要目標量에도 적용할 수 있도록 本文에 提示된 公式을 一般化(Generalization)시키는 일이다.

附 錄

I. 費用分析

水路組織 設計에 適用된 費用은 몇가지 構成 要素들(開水路조직, 揚水組織, 用地買收等)의 函數이다. 支線과 支渠가 있는 幹線에 對한 費用分析은 그림.9에 表示된 構成圖(Schematic)에 根據하여 遂行되었다.

耐用年限(30年) 동안의 維持管理및 補修費用(OMR)은 다음 方程式을 利用하여 現在費用으로 換算되었다.

$$P_v = C_i \frac{(1+r)^{N_y} - 1}{r(1+r)^{N_y}} \dots\dots\dots (9)$$

여기서 P_v ; 費用의 現在값

C_i ; 年間 平均費用

r ; 利率

N_y ; 30年

1. 開水路의 費用分析

開水路의 費用은 Buras & Schweig(1969)方法에 依해서 分析했으며 細部的인 分布 內容은 Buras & Schweig(1969)의 "Dynamic Programming을 이용한 最適수로설계나 Galarraga(1987)의 "최소비용의 수로조직설계"를 參照하기

바란다. 靜水池(Stilling Basin), 감세공, 굴착량, 土量移動 및 콘크리트 Lining 費用은 美國 開拓局(USBR)에 依해 刊行된 Design of Small Dam(1977)을 根據해서 算出했다.

2. 管水路 容量 및 費用分析

細部的인 分析內容은 Galarraga(1987)에 收錄되어 있으며 壓力式 System의 構成形態는 그림10에 表示되어 있다. 重要 事項은 揚水場으로부터 幹線보다 높은 地域에 있는 給水 施設物들까지 送水할 管水路의 適正 口徑을 決定하는 일이다.

물使用者들의 地理的인 位置를 감안하여 다른 靜水池및 감세공의 標高 및 水頭를 決定한다. 容量 및 管水路의 材料를 알 수 있으므로 Hazen-Williams公式을 利用해서 適正 口徑을 決定하며 口徑이 決定되면 Darcy-Weisbach公式을 利用해서 水頭損失을 算定한다.

揚水費用 算出公式(Hall and Hammond 1965)은

$$C_p = q(V_1 + V_2)(h_f + h_g) + F \dots\dots\dots (10)$$

但 F ; 揚水場 固定費用

q ; 水路 單位幅當 單位容量(ft³/sec)

h_g ; 地形的 標高差

h_f ; 마찰水頭損失

V_1 ; 水頭 1ft 當 ft³/sec當 에너지費用

V_2 ; 水頭 1ft 當 ft³/sec當 揚水費用

3. 單 價

組織의 各種 要素들에 대한 單價는 美工兵團 資料를 利用하였으며 이 資料는 1986年 9月 4日자로 소급된 Milan Stage III D Project 에서 나온 資料들이다.

II. Solution Algorithm

1. 單一 支線(N=1)부터 始作
2. 支線들의 最適位置 決定
3. 質量保存法則을 利用한 需要地域의 水路容量 決定

4. 水路容量 및 Dynamic Programming을 利用한 最適路線 選定
5. 네번째 단계에서 구한 最少費用을 $FC(N)$ (最少費用函數)에 入力시킴
6. 支線數를 $N+1$ 로 增加
7. 만일 새로운 支線數의 容量이 地域의 最大 需要보다 적으면 8번째 단계로 進行하고 그렇지 않으면 2번째 단계로 進行함
8. $FCN(N)$ 을 最少化시키는 N^* 값 결정
9. 最適化過程 終結

III. 符號 解說

- $C()$; 인접지선들의 CHP들을 연결시키는 幹線구간의 費用.
- $CHP(i, l)$; l 번째 支線의 i 번째 水平 格子線에 位置한 CHP의 座標 Vector.
- $D(X_i)$; 水平座標 X_i 에 依해 定해지는 區域 i 의 必要 用水量.
- $DP(k, l)$; 支線 l 의 K 번째 分水地點 (DeliveryPoint)의 座標 Vector.
- d_i ; 가상범(Ideal Beam)상의 거리.
- $F(i, l)$; 支線 l 의 CHP_i 로부터 支線 l 下流에

- 있는 모든 分水地點(DP)까지 送水하는 最少費用 函數.
- $g(CHP(i, l))$; 支線 l 의 CHP_i 로부터 동일 支線 上的 모든 分水地點들까지 送水하는 最少費用 函數.
- L ; 總 支線數
- min ; 最少化 函數
- N ; 支線들에 依해 分割되는 幹線의 總 區間數.
- $NCHP_l$; 支線 l 의 CHP數
- ND_j ; 支線 l 上的 原點이 j 일때 支線 l 에 있는 Feasible CHP數
- q_i ; 幹線 區間 i 의 末端에 位置한 支線 i 의 容量
- R_i ; i 번째 支線의 容量
- S_i ; 支線 區間 i 末端에서의 用水量
- TCL ; 地形等高線
- $X(i, l)$; 座標 Vector $CHP(i, l)$ 인 CHP의 水平 座標
- $Y(i, l)$; 座標 Vector $CHP(i, l)$ 인 CHP의 垂直 座標
- $Z(i, l)$; 座標 Vector $CHP(i, l)$ 인 CHP의 標高
- Δq_i ; 區間 i 의 總 損失