

電子計算機에 의한 合理的 管網計算法

(全南 Y 市内 配水管網解析의 境遇)

張 學 淳*

1. 序

本抄論은 全南 Y 市 市内配水管網設計를 解析하는데 우리나라에서는 처음으로 電子計算機를 利用해서 Linear Programming(線型計劃理論)法에 依據 計算時間의 短縮은 勿論 正確하고 合理的인 技術의 根據와 經濟的인 管網計算을 行한 課程과 成果에 對해서 記述한 것이다.

管網計算法에는 從來 여러가지가 있으며 1936年 Hardy Cross 法이 發表된 後로는 主로 이 方法을 바탕으로해서 計算時間을 短縮하고 計算을 쉽게 하는 여러가지 方法이 研究되고 使用되어 왔으며(簡易法, 連立方程式法, 平均值法, 數表에 依한 法, 專用計算尺에 依한 法等)近來에와서는 Hardy Cross 法이 갖는 缺點의 하나인 計算의 煩雜을 덜기 爲해서 電子計算機를 利用하기까지 이르렀다.

그러나 이와같은 改良된 여러가지 方法은 아직도 管網에 依한 流量配分機構自體의 理論的 發展에는 寄與하지 못하고 있으며, 또 經濟的 管網의 算出을 爲해서도 疑問이 없지 않다. 따라서 今 般實施한 Y 市内 配水管網計算에 있어서는 從來의 計算方法에서 벗어나 理論的인 根據가 確實하고 經濟的 管徑에 對한 解答을 줄 수 있는 Linear Programming 法을 使用해서 電子計算機로 解析을 하였다.

* 南陽技術開發公社 代表理事·正會員·技術士(建設)

2. Y 市 上水道 概況

Y 市는 總面積 41.84 km² 에 1967年末 現在人口 102,000名을 抱容하고 있다. 本市는 溫和한 氣候와 天然의 良港을 具備하고 있으면서 近來에와서는 精油工場, 火力發電所의 建設을 비롯한 工業團地의 造成은 가까운 將來에 急速한 都市發展을 促求하고 있다. 그러나 上水道施設이 不足하여 現代的인 都市로서의 發展을 阻害하고 있어 上水道設備의 擴張이 가장 큰 當面課題의 하나로 되어 있다. 1968年 現在 市의 水道生産量은 施設容量面에서는 4,500屯/日이나, 水源의 缺乏으로 因하여 平均 3,300屯/日이 生産될 뿐이다. 또 市의 給水現況은 普及率 42%로서 42,900名만이 給水惠澤을 받고 있으나 單位給水量은 1日 77l 에 不過하여 甚한 給水難에 逢着하고 있어, 當 Y 市는 所謂 第三水源池系統 擴張事業을 通해서 工業用 水道로 부터 10,000屯/日을 分岐받아 1969年末까지는 導水管路, 淨水設備, 配水管路工事を 끝낼 計劃下에 工事が 進行中에 있다.

한편 計劃年度 1985年을 目標로하는 市의 上水道將來所要淨水設備容量은 表-1과 같다. 現在 市域內에는 總 24,800m의 送配水管路(75mm~300mm)가 敷設되어 있으며, 容量 840屯과 1,000屯의 配水池가 있으나 前者만이 使用되고 있다.

表-1

Y市 將來 所要淨水 設備容量

年度	計劃人口	給水人口		平均單位 給水量	平均1日 給水量	1日最大 給水量	時間最大 給水量	所要淨水 設備容量
		人口	普及率					
	人	人	%	(LPCD)	(CMD) A	(CMD) A×130%	(CMD) A×160%	(CMD)
1969	122,000	67,100	55.0	110	7,381	9,550	11,810	10,000
1975	144,000	92,160	64.0	146	13,455	17,490	21,530	18,000
1980	165,000	117,980	71.5	180	21,236	27,610	33,980	28,000
1985	185,000	148,000	80.0	220	32,560	40,320	52,100	40,000

資料：Y市 第3水源池系統 上水道基本計劃報告書, 1968.8

3. Linear Programming 法

Linear Programming 法은 一次方程式體系의 모델을 갖는 線型代數學의 一分野로서 1947年 G. B. Dantzig 가 軍事戰略上의 必要에 依해서 그 計算方法을 考案한 以後로 여러 分野에 普及되었다. 이를 形式的으로 定義하면 “一次不等式의 聯立體系를 갖는 non-negative 變數의 一次式 또는 一次函數를 最大 또는 最少로하는 數值解析上의 問題”라고 할수 있다. 이 方法의 解析을 利用하고 있는 몇가지 例를 들면, 標準營養量을 最少費用으로 얻는 食事問題, 生産者가 各 消費地域에 最少의 費用으로 輸送하는 最適方法을 解決하는 問題等이 있으며 計量經濟學에서 Linear Programming 法을 重視하는 理由는 最少의 經費로 最大의 利潤을 追求하는 經營合理化 方案에 가장 經濟學的 意義가 큰 明快한 解決策을 提示해 주기 때문이다.

管網解析에 關한 Linear Programming 法(L.P. 法)을 略述하면, 주어진 모든 條件아래 가장 經濟성을 지닌 管徑을 求하는 問題에 歸着된다. 即 管網의 各 格點에서의 給水需要量에 符合되는 流量을 各 管路에 配定한 다음 各 格點에서의 所要 殘存水頭와 管徑의 上限·下限의 制約條件을 주고 管網의 經濟성을 極大化하는 各 管路의 損失 水頭를 求하면 經濟적이고 技術的으로 合理化된 管徑은 곧 求할 수 있다.

이 L.P. 設計法의 特徵은 流量을 미리 配定하고 그 流量에 맞는 가장 經濟的 管徑分佈를 計

算한다는 것이다. 從來의 方法은 管徑을 미리 假定해 놓고서 流量에 對한 計算을, 그것도 正確을 期할수 없는 一次化된 近似的 William-Hazen 式에 依하여 反復計算하는 것이기 때문에 이와 같이해서 求해진 流量分佈가 經濟성을 나타내지는 保障할 수 없다. 왜냐하면 經濟성은 假定된 管徑에 依한 流量分佈에 關係되는 것이 아니라 管徑分佈에 關係되기 때문이다. 따라서 從來에는 經濟的인 管徑을 求하려면 管徑分佈를 여러 가지로 假定하여 流量分佈를 求하고 經濟성을 比較하여야 했기 때문에 아무리 電子計算機를 使用한다 하더라도 管網의 數가 많을 境遇에는 計算의 煩雜을 避할 수가 없으나 L.P. 設計法에서는 配定한 流量分佈를 實現할 수 있는 가장 經濟的 解答을 단 한번의 計算으로 얻게 된다.

4. 管網의 構成

가. 對象區域

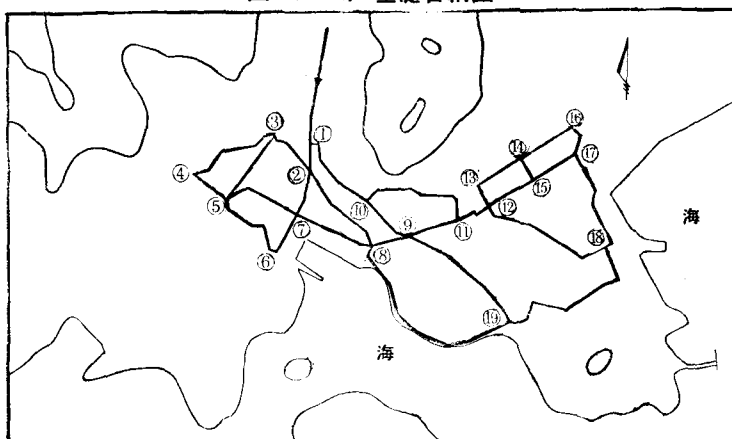
今般 管網計劃을 實施한 對象區域은 市域 41.8 4km² 中에서 最近에 市로 編入된 地域을 除外한 舊市街地로서 面積은 193.15 ha 이다.

이 給水對象區域은 北部가 높고 南部가 바다에 臨해 있어 標高가 낮은 傾斜地形을 이루고 있으며 東北部 境界線에서의 標高는 約 45m 西北部는 約 40m 그리고 中央地帶는 標高 2-10 m 乃至 標高 20~30m 의 平坦한 人口密集 地區이다.

나. 管網의 構成

管網解析의 第一段階作業은 給水對象區域에 對

圖 1. Y市 基礎管網圖



한 基本管網을 構成하는 일이며, 이와같이 해서 組織된 管網은 相互間에 一聯의 水理的關係에 拘束되므로, 이 管網이 所期의 目的을 達成하느냐의 與否는 全管網을 對象으로 하여 水理的 檢討를 行한 結果로서 判斷되어야 한다.

그러나 一般의 都市의 配水 系統管網組織은 無數하고 無秩序 하기 때문에, 이들 모든 管網에 對해서 水理的으로 檢討한다는 것은 거의 不可能하다. 따라서 周圍管路에 比해서 比較的 水理的 效果가 적다고 判斷되는 管路는 可及的 無視하고 管網組織을 어느 程度로 簡素化하여 骨組가 될 基本管網을

構成하여야 한다. 이와 같은 觀點에서 今般計劃한 管網은 都市計劃에 依據한 道路를 따라 全給水區域에 可及的 均一하게 配水管網을 組成하여

表—2 格點別分擔給水量

格點	分擔面積	人口密度	人口	給水普及率	給水人口	單位給水量	給水量
	ha	人/ha	人	%	人	LPDC	噸/日
1	8.00	450	3,500	80	2,880	390	1,123
2	6.00	450	2,700	80	2,376	"	926
3	18.20	300	5,460	70	3,822	"	1,490
4	22.70	550	12,485	80	9,985	"	3,890
5	8.75	550	4,812	90	4,330	"	1,688
6	10.25	400	4,100	80	3,280	"	1,279
7	8.00	200	1,600	90	1,440	"	561
8	11.75	400	4,700	90	4,230	"	1,649
9	12.00	200	2,400	80	1,920	"	748
10	7.75	450	3,487	80	2,789	"	1,087
11	10.75	500	5,375	90	4,837	"	1,886
12	6.75	550	3,712	90	3,340	"	1,302
13	3.75	550	2,062	90	1,855	"	723
14	5.25	550	2,887	90	2,598	"	1,013
15	6.25	660	3,437	90	3,093	"	1,206
16	12.50	100	1,250	70	875	"	341
17	5.5	550	3,025	90	2,722	"	1,061
19	16.00	300	4,800	80	3,840	"	1,497
埠頭給水							500
計	193.15		73,462	84	61,385		24,431

需要者들이 必要로 하는 水量을 圓滑히 供給할 수 있도록 하였다.

이와같이 해서 組成된 管網은 圖-1에서 보는 바와 같이 閉回路數 11個, 格點數 19個, 그리고 管路數는 29個이다.

다. 格點分擔給水量

各 格點別 分擔給水量은 各 格點의 分擔面積을 求하고 計劃年度의 人口密度를 假定하여 分擔面積內의 給水人口를 算定한 다음 時間最大單位給水量을 相乘하여 求하였다. 人口密度는 1 ha 當最大 550人 最少 100人의 範圍로 하였고 이 假定은 現人口密度를 參酌하되 將來의 發展을 豫想하여 他都市의 資料를 根據로 해서 定하였다.

時間 最大單位給水量은 目標年度인 1985年度의 計劃單位給水量 244ℓ/日의 160%를 取하여 390ℓ/日로 잡았다. 이와같이 해서 基本配水管網에 流入되는 流量, 다시 말하면 基本配水管網解析에 適用된 總流量은 表-2에서 보는바와 같이 24,431屯/日이다.

한편 格點間의 距離는 實測에 依해서 定하였다.

5. 管網解析

가. 前提條件

管網解析을 爲한 Programming 에 앞서 다음과 같은 몇가지 前提條件을 賦與하였다.

- 1) 管網流入部에서의 有效水頭는 (+)65m로 한다.
 - 2) 對象給水區域의 地形은 大體의으로 區域周圍境界線이 높고 中央部는 이보다 낮기 때문에 各 格點에 對한 所要殘存水頭의 制限代身 境界線을 沿해서 地形이 第一높고 管網流入部에서 遠距離에 있는 3個格點(圖-1에서, 格點 No. 4, No.16, No.18)을 擇해서 管末水頭가 10m(1kg/cm²)보다 적지 않도록 한다.
- 圖 1 參照**
- 3) 上記 3個格點을 除外한 다

큰 格點의 所要殘存水頭는 이보다 크다.

- 4) 管網格點間의 配水管 管徑은 200 mm 以上으로 한다.
- 5) 管徑은 鑄鐵管. 流量係數 C=100으로 한다.
- 6) 口徑別 管의 價格은 時價에 依한다.

나. Programming

1) 使用電子計算機種과의 Programming 의 型態
使用 電子計算機의 機種은 CDC 3,600이며 使用된 L.P. Program 은 ALLEGRO 이다.

2) 使用計算式

于先 各 格點에서의 給水需要量을 滿足하게끔 各 管路의 流量 Q_i를 다음式에 依하여 配定한다.

$$\sum Q_i = 0 \dots\dots\dots(1)$$

다음 各 格點에서의 所要殘存水壓에 對한 制約式을 作成한다. 이것은 (2)式의 形式의 一次 不等式들이 된다.

$$\sum h_i a_{ij} \leq H_j \dots\dots\dots(2)$$

各 管徑의 上限 및 下限은 다음式에 依해서 設定한다.

$$D_i < D_i < \bar{D}_i \dots\dots\dots(3)$$

그리고 William-Hazen 式(4)을 써서 損失水頭 h_i에 對한 制約式으로 變化시킨다.

$$h_i = 10,666 \cdot C^{-1.85} \cdot D_i^{-4.88} \cdot Q_i^{1.85} \cdot L_i \dots\dots(4)$$

$$\bar{h}_i > h_i > \underline{h}_i \dots\dots\dots(5)$$

다음 各 管網에 對한 損失水頭의 h의 方程式(6)을 써서 (2)式, (5)式, (7)式으로부터 管網數 만큼의 h_i를 消去한다.

$$\sum h_i = 0 \dots\dots\dots(6)$$

圖 2. 管網解析結果圖

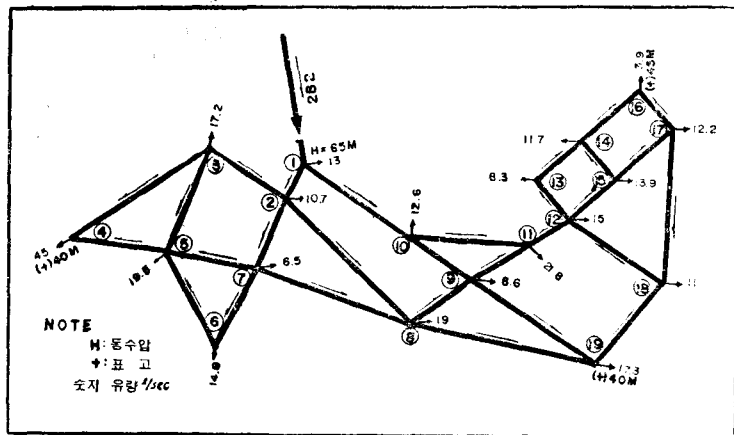


表-3

管網解析成果表

管 路	流 量	延 長	損 失 水 頭	管 徑	修 正 管 徑
	CMS	M	M	M	MM
1-2	0.2300	140	5.418355	0.315	450
2-3	0.0462	270	4.932170	0.199	200
3-4	0.0150	480	1.094432	0.199	200
3-5	0.0140	420	0.842031	0.200	200
5-4	0.0300	220	0.252401	0.299	300
2-7	0.0788	210	3.279598	0.252	250
7-5	0.0300	450	2.494603	0.216	200
6-5	0.0055	390	0.138793	0.199	200
7-6	0.0323	250	2.355630	0.199	200
1-10	0.0510	480	8.308927	0.209	250
2-8	0.0943	520	3.742550	0.317	400
7-8	0.0100	430	0.462952	0.199	200
10-11	0.0200	600	1.255372	0.227	250
10-9	0.0184	300	0.997941	0.199	200
8-9	0.0773	160	0.145963	0.449	450
9-11	0.0748	300	0.257430	0.450	450
8-19	0.0080	1,070	0.762228	0.200	200
9-19	0.0123	700	0.616265	0.225	250
19-18	0.0030	870	0.100990	0.199	200
11-12	0.0730	180	0.184046	0.430	450
12-18	0.0060	700	0.275779	0.202	200
17-18	0.0020	570	0.031261	0.199	200
12-13	0.0119	130	0.193140	0.199	200
12-15	0.0401	260	0.096731	0.421	450
13-14	0.0036	260	0.043553	0.198	200
15-14	0.0100	130	0.139862	0.199	200
15-17	0.0162	260	0.147797	0.273	300
14-16	0.0019	300	0.014963	0.199	200
17-16	0.0020	130	0.007128	0.199	200

그리고 目的函數

$$Z = \sum_j \left(\frac{h_j}{\beta \cdot Q_j^{1.85}} \right) = \text{最大} \dots (7)$$

$$\text{但 } \beta = \frac{1}{9.376 \times 10^{1.7}}$$

의 係數들을 計算한다.

이와같은 計算課程이 끝나면 電子計算機의 L.

P. Program 을 利用하여 (2)式, (5)式, (7)式을 滿足하는 h_i 를 求하고 또 (6)式을 써서 前記 消去된 h_i 들을 計算한다. 그리고 (4)式을 써서 h_i 로 부터 管徑 D_i 를 求한다.

여기서 目的函數 (7)式의 極大化가 管網의 經濟性和 關聯된다는 것은 (4)式, (7)式의 結合으

로서 얻어지는

$$Z = \sum_i L_i \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \cdot \left(\frac{1}{D_i} \right)^{4.87} = \text{最大} \cdot (8)$$

(8)식을 보면 곧 알 수 있다. 즉 Z의 最大化는 모든 管徑 D_i 가 制約式 (2)式, (5)式, (6)식을 滿足하는 範圍內에서 最少의 값을 갖게 하기 때문이다.

다. 成 果

以上 記述한 Programming에 依해서 18個의 方程式과 61個의 不等式을 電子計算機에 依據 解析한 結果는 表-3과 같다.

이 計算을 行함에 있어 電子計算機는 無慮 72, 304 個의 計算值를 記憶하는 엄청난 作業을 단 45秒에 完了하였다.

6. 結 論

以上 Linear programming 法을 使用해서 電子計算機에 依한 管網解析을 Y市의 境遇에 實施한 例에 對해서 說明하였으나, 이 方法은 前述한바 와도 같이 計算上의 테크닉과 아울러 주어진 條件下에서 가장 經濟的인 管徑을 求하는데 意義가 있고 앞으로는 널리 普及되리라 믿는다. 다만 이 方法에 依한 解析이 外國에서도 最近에 이루어졌고 우리나라에서는 처음 適用된 것인만큼 實地運用에 있어서의 改善할 點이 있을지도 모르겠다.

今般 實施한 解析課程에 있어서도 다음과 같은 點等은 앞으로 이 方法을 다른 問題解析에 適用할 境遇는 正하였으면 한다.

가. 管網의 各 格點間 管路의 口徑을 200mm 以上으로 制限하였으나 이와같은 前提條件은 不必要함을 알았다.

即 基礎 配水管網이라는 特性上 最少口徑이 200mm는 되어야하지 않나해서 이와같은 制限을 두었으나 이는 經濟性을 考慮하면 $0 < D \leq \infty$ 로 代替하는것이 妥當하다.

나. 給水對象區域이 그리 넓지않고 區域의 地形은 周圍境界線이 높고 中央地帶가 낮아서 (2)式의 條件을 標高가 높고 流入部에서 第一遠距離에 있는 3個格點에 限해서 制限을 두었으나 앞으로는 管網의 모든 格點에 對해서

그와 같은 制限을 줄 必要가 있음을 알았다. 即 各格點의 殘存所要水頭에 對한 制限을 주어야 한다.

끝으로 今般 L.P.設計法에 依한 管網解析을 實施하는데 있어 財團法人 韓國科學技術研究所 電子計算室長 成琦秀博士의 많은 指導를 받았다.

參考文獻

1. 配水管網의 電子計算機에 依한 計算實例 : 中川 勝, 河井秀人外 3人 日本水道協會誌 No. 392(1967. 5)
2. 電子計算機의 利用에서 본 管網設計에 關한 二三의 考察 保野健治郎 日本水道協會誌 No. 402(1968. 3)
3. 合理的 管網設計法에 關한 二三의 方法 保野健治郎 日本水道協會誌 No. 405(1968)
4. Linear Programming G. HADLEY ADDISON-WESLEY PUBL. CO. 1967
5. 麗水市 第3水源池系統 上水道基本計劃報告書 1968

<35 page에서 繼續>

Reading과의 差가 今月의 最大需用電力을 表示하게 된다.

이러한 計器를 使用하므로써 需用家는 언제던지 最大需用電力의 指示를 읽을수가 있으므로 만약에 電力料金計算에 錯誤가 있을 境遇에는 需用家는 計器의 指示를 證據로 하여 그訂正을 要求할 수가 있다. 普通의 指示型最大需用電力計에서는 最大需用電力에 疑問이 있어도 最大需用指針을 零으로 復歸시켜버린 後에는 調査를 할 수 없으며 또한 需用者와 檢針者가 立會하여 最大需用電力을 檢針하여도 後에 問題가 생겼을 境遇에 困境에 빠지게 된다. 이러한 것들에서 오는 要求가 累算型으로 實用化되어 우리 나라에서도 採用되고 있다.