

〈論 文〉

## Network 模型에 의한 水資源의 最適配分 Optimal Allocation of Water Resources based on the Network Model

연 규 방\* 심 순 보\*\*  
YEON, Gyu-Bang and SHIM, Soon-Bo

**Abstract** □ The purpose of this paper is to construct a network model for the optimal allocation of limited water resources to the nodal system with given priorities. The solution technique for the model is based on the out-of-kilter algorithm(OKA).

For the verification and application of the theoretical methodology and computer programs, the Geum river system is selected. Using release of Daechong dam and water demand in Geum river basin, optimal allocation of water resources is accomplished for 4 cases(case 1 - case 4) which consider priority numbers in the demand nodes. The results of the application show that the model can reasonably represent the physical system, and water shortage at the demand nodes with high priority numbers is reduced. Its system solution was verified with that by the revised simplex algorithm.

**요 지 :** 本 研究의 目的은 限定된 水資源을 各 用水 需要點 別로 用水供給 優先順位에 따라서 最適配分하기 위한 Network 模型을 構成하는 것이다. 本 模型의 解法은 OKA(Out of Kilter Algorithm)를 使用하였다. 模型에 대한 理論的 方法論과 프로그램을 檢證하고 適用하기 위하여 錦江流域을 選定했다. 大청댐 放流量과 錦江流域의 用水需要量을 使用하여, 各 需要點의 用水供給 優先順位를 1~4個의 境遇로 設定하고 水資源의 最適配分을 施行하였다. 模型을 適用한 結果, 物理的인 시스템을 妥當性 있게 表現할 수 있었고, 높은 優先順位로 調整된 需要點에서는 물 不足量을 줄일 수 있었다. 本 模型의 解法은 Revised Simplex 알고리즘에 의해 檢證하였다.

### 1. 序 論

自然 河道 또는 人工 水路로 이루어진 複雜한 水系에서, 低水 및 渴水時에 限定된 水資源의 供給能力에 비해 需要量이 超過되는 경우에 可用 水資源을 가장 效率的으로 配分하여 시스템의 利益을 最大로 增大시키는 것은 물의 管理 側面에서 매우 重要하다.

특히 向後 高度 福祉社會 具現에 따른 各種 用水 需要의 幾何學的 增加와 地方 自治化에 따른 圈域

間의 심각한 물 配分問題가 擡頭될 때 各 用水 需要點에 구체적으로 물을 供給하기 위한 配分方式으로 단지 上流에서 下流 順으로 配分한다면 水利權의 公正性에 問題가 惹起되며, 또한 一貫性이 缺如된 물 管理로 인하여 곤란한 狀況이 豫期된다.

低水 및 渴水時 各 需要點 別로 필요한 用水를 供給하기 위해서는 流域內 可用水量을 이용하여 各 需要 地點別 用水使用의 重要性을 감안해야 하며, 需要地點의 여러 特性과 相對的 重要도를 나타낼 수 있는 用水供給 優先順位를 設定하여 全 流域을 통하여 一貫된 配分을 실시할 수 있는 水資源 最適

\* 정회원, 충청전문대학 토목과 조교수

\*\* 정회원, 충북대학교, 토목공학과 교수

配分 시스템을開發할 必要性이 있다.

水系的 模型에 있어서 Network 模型은 복잡한 수계 시스템을 Node 와 Link 로서 簡明히 構成하여 限定된 水資源을 全 流域을 통하여 一貫되게 配分할 수 있으며 순수한 模擬模型에서 必須的인 施行錯誤 過程을 避할 수 있다는 것이 特徵이다. Network 模型에 관한 最小費用 흐름 問題의 解法으로 OKA(Out of Kilter Algorithm)을 開發한 이래로 이 技法은 Network 흐름 解析方法으로 利用되었다. Texas Water Development Board (1972)는 Texas Water 시스템의 容量擴張을 計劃하기 위한 복잡한 시스템의 開發對案을 評價하기 위해 Network 흐름 解析을 使用하였다. Sigvaldason(1976)은 Ontario Trench 江 水系內 48個의 多目的 貯水地의 상충하는 目的에 대한 對案政策을 評價하기 위하여 Network 흐름 解析을 利用하였으며, Graham(1986) 등은 Rio Grande 國立公園에서 山林育成事業에 의하여 流出量이 增加됐을시 用水의 配分과 使用을 豫測하기 위한 研究에 Network 흐름 解析을 使用하였다. California 水資源局의 Chung(1987) 등은 模擬模型에 OKA를 結合하여 柔軟性和 計算上에서 큰 效果를 거두었다. 國內에서는 沈(1989) 등이 理論的으로 Network 模型을 研究한 바가 있다.

그러므로, 本 研究에서는 低水 및 渴水時 各 用水 需要點 別로 用水供給 優先順位에 따라서 水資源을 最適配分하기 위한 Network 模型을 構成하고, OKA에 의하여 最適解를 求하는 프로그램을 作成하였다. 그리고 이를 錦江流域에 適用하여 모형의 有用性和 妥當性을 檢討하고 Revised Simplex Algorithm 에 의한 解와 比較하였다.

本 研究의 範圍 및 適用上의 制限點은 다음과 같다. 放流量, 用水 需要의 變動, 또는 貯水地 시스템 構成의 變動 등 모든 入力資料는 確定論的으로 취급하였다. Network 構成시 모든 流入量, 需要量, 損失量은 Node에서만 發生한다고 假定하였다.

## 2. Network에 의한 最適配分 시스템의 構成

### 2.1 水系 시스템의 Network 構成

河川水系의 限定된 水資源 配分問題를 解決하기 위해서는 複雜한 水系 시스템을 시스템 工學的 觀點에서 Network이라는 數學的 構造로 表示할 수 있다. 實際 시스템의 物理的 要素는 두個의 Network 成分 즉, Node와 Link의 結合으로 表示될 수 있다. 여기서 Node는 物理的 시스템에서 貯水地 또는 河川 및 水路의 非貯流 合流點, 各 用水 需要點 등을 나타낸다. Link는 두 Node를 連結하는 것으로서 水路, 送水管路 등을 나타낸다.

水系 시스템을 Network으로 構成함에 있어서, 水系 시스템의 물의 흐름을 容量化한 흐름(capacitated flow)으로 變換시킬 수 있다. 이는 水資源 配分을 위한 시뮬레이션을 遂行하기 위하여 物理的인 시스템을 구성하는 水系內 實際의 Node 와 Link 외에, 假想的인 成分으로서는 放流量과 流入量(release plus inflow), 需要(demand), 溢流(spill) 그리고 質量保存(mass balance)에 관한 Node와 假想的인 Link를 添加하므로써 容量化된 Network 흐름으로서 나타낼 수 있다.

Figure 1은 圖式的으로 간략히 容量化된 Network를 보여주며 實際的 成分인 i, j, k Node와 이들을 연결하는 Link가 있고, 假想的인 成分으로서 D Node가 있고 이를 連結하는 Link가 있다. 특히, 각 Link의 特性을 표시하는 變數로서는 어떤 Link 내의 最小 및 最大로 許容되는 흐름인 下限值( $L_{ij}$ ), 上限值( $U_{ij}$ ) 그리고 用水供給 優先順位 등을 표시하는 흐름에 대한 加重因子( $C_{ij}$ )가 있다. 이와 같은 變數들은 容量化된 Network를 利用하

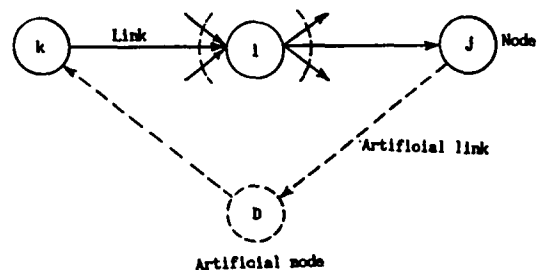


Figure 1. Simple capacitated networkflow configuration

여 문제를 解決하는 데 必要한 것이다.

2.2 目的函數式 및 制約條件式의 構成

Network 概念에 의한 最適配分 시스템은 어떤 制約條件 下에서 하천 Network 내의 總體的인 흐름 費用을 最小化하는 것으로 나타낼 수 있다. 따라서, 수자원의 最適배분을 위한 容量化된 Network 흐름의 目的函數를 式(1)과 같이 構成할 수 있다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} Q_{ij} \quad (1)$$

여기서,  $Q_{ij}$ 는 Node i로 부터 Node j까지의 平均흐름( $m^3/\text{month}$ ,  $m^3/\text{week}$  등),  $C_{ij}$ 는 Node i로 부터 Node j까지의 Link에 있어서 흐름의 單位費用으로 실제로 模型을 運營할 시 優先順位 등을 표시하는 흐름에 대한 加重因子.

$N$ 은 Network 내 Link의 總數.

따라서, 式(1)은 Network 시스템 내에서 각 Node 간의 총 흐름비용을 最小化하는 것으로서 各用水 需要點 別 用水使用의 重要性 및 各流域 圈別 相對의 重要도를 나타낼 수 있는 優先順位를 고려하여 全 流域 시스템에 대한 水資源 最適配分을 위한 시스템 模型이 된다. 여기서, 費用(cost)은 加重因子로서 實際的 費用이나 假想的 費用을 쓸 수 있다.

式(1)을 위한 制約條件은 다음과 같이 構成할 수 있다.

1) 假想的인 Node를 포함한 모든 Node에서 質量的 保存을 나타내는 것으로, Network 내의 흐름 이 連續的으로 循環하고 있음을 뜻한다.

$$\sum_{j=1}^N Q_{ij} - \sum_{k=1}^N Q_{ki} = 0 \quad j=1, \dots, N \quad (2)$$

2) Network의 모든 Link(i, j)를 通過하는 흐름은 最大흐름보다 작거나 같아야 한다.

$$Q_{ij} \leq U_{ij} \quad i, j=1, \dots, N \quad (3)$$

3) Network 내의 모든 Link(i, j)에 있어서 흐름은 最小흐름 보다 크거나 같아야 함을 뜻한다.

$$Q_{ij} \geq L_{ij} \quad i, j=1, \dots, N \quad (4)$$

3. 最適配分 시스템의 解法

容量化된 Network 흐름의 最適配分을 위한 解法으로서 OKA(Out of Kilter Algorithm)를 使用하였다. 이 알고리즘은 循環하는 Network 내에서 雙對理論과 CSC(Complementary Slackness Conditions) 式에 基礎한 特別한 技法으로서, 式(1)~式(4)와 같은 線型的 目的函數와 制約條件式에 대하여 適用할 수 있다.

만일, 각 Node의 質量保存方程式(2)에 대한 雙對變數  $W_i$  및  $W_i$  그리고 式(3)에서 上限制約  $Q_{ij} \leq U_{ij}$ 에 대한 雙對變數  $H_{ij}$ , 式(4)에서 下限制約  $Q_{ij} \geq L_{ij}$ 에 대한 雙對變數  $V_{ij}$ 와 관련하여 雙對問題는 式(5)~式(8)과 같이 表示할 수 있다.

$$\text{Max } \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} V_{ij} - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N U_{ij} H_{ij} \right] \quad (5)$$

Subject to

$$W_i - W_i + V_{ij} - H_{ij} \geq C_{ij} \quad (6)$$

$$H_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$$V_{ij} \geq 0 \quad (8)$$

$$W_i : \text{Free}$$

또한, OKA의 最適性에 대한 CSC 式은 다음 式(9) 및 式(10)과 같다.

$$(Q_{ij} - L_{ij}) V_{ij} = 0 \quad i, j=1, 2, \dots, N \quad (9)$$

$$(U_{ij} - Q_{ij}) H_{ij} = 0 \quad i, j=1, 2, \dots, N \quad (10)$$

式(6)으로부터  $V_{ij}$ 와  $H_{ij}$ 를 다음과 같이 假定한다.

$$V_{ii} = \text{Max}\{0, -(W_i - W_i - C_{ii})\} \quad (11)$$

$$H_{ii} = \text{Max}\{0, -(W_i - W_i - C_{ii})\} \quad (12)$$

또한,

$$C_{ii} = W_i - W_i - C_{ii} \quad (13)$$

라 定義하고, 式(11), 式(12)와 CSC 式(9), 式(10)를 고려하면 다음式(14), 式(15), 式(16)과 같은 最適基準을 決定할 수 있다.

$$C_{ii} < 0 \rightarrow V_{ii} > 0 \rightarrow Q_{ii} = L_{ii} \quad (14)$$

$$C_{ii} > 0 \rightarrow H_{ii} > 0 \rightarrow Q_{ii} = U_{ii} \quad (15)$$

$$C_{ii} < 0 \rightarrow H_{ii} = 0 \rightarrow L_{ii} \leq Q_{ii} < U_{ii} \quad (16)$$

式(14), 式(15), 式(16)의 3 條件을 滿足하는

Network 흐름을 좋은상태(in kilter), 만족하지 못하는 흐름은 나쁜상태(out of kilter)라 한다.

結局, OKA 알고리즘은 위의 3 條件이 滿足할 때 까지 原問題(primal phase)에서  $Q_{ii}$ 를, 雙對問題(dual phase)에서  $W_i$ 를 變換시켜 各 Link의 흐름이 좋은상태로 오도록 하는 것이다(Bazara, 1977)

#### 4. 適用 및 考察

##### 4.1 對象流域 및 水資源現況

河川의 低水 및 渴水時 水資源의 最適配分을 위하여 構成한 最適配分 시스템 模型을 實際 水系에 適用하므로서 本 模型의 有用性和 妥當性을 立證하고자 한다.

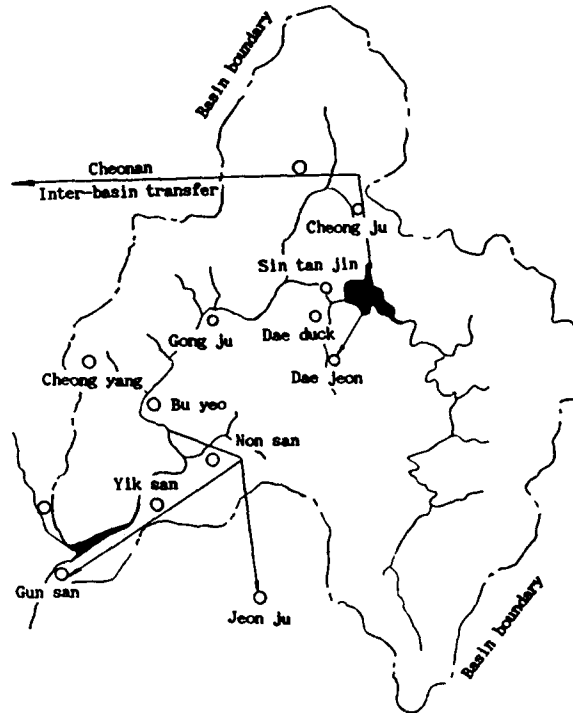


Figure 2. The location map of water demand nodes in the Geum river basin.

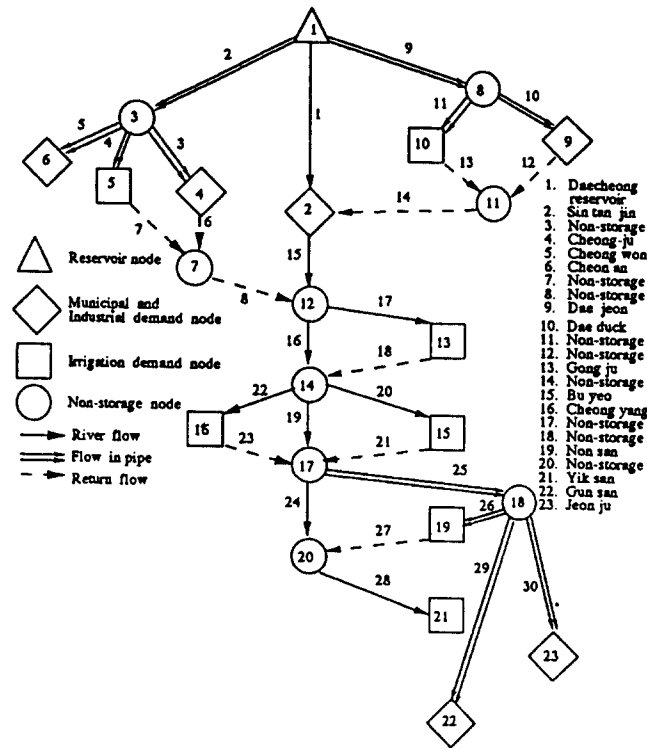


Figure 3. The configuration of the Geum river basin for network system.

本 研究의 適用流域으로는 Figure 2에서 볼 수 있는 바와 같이 大淸댐을 主要 用水 供給源으로 하는 錦江流域圈 中에서 大淸댐으로 부터 用水를 直接 取水하는 淸주시, 大淸직할시와 本流를 따라서 新탄진, 公州, 부여, 淸양, 익산 等の 用水 需要點을 考慮하였다. 또한 用水轉換을 위한 需要點으로 는 大淸 廣域 上水道에 의하여 用水를 공급받는 淸安地域 그리고, 金剛 廣域 上水道에 의하여 用水를 供給받는 均山, 全州 等の 地域을 選定하였다.

適用 對象流域의 全般的인 容수공급 狀況으로, 錦江流域 自體內에서는 大淸댐의 用水供給으로 인하여 2001년 까지는 물 不足이 發生되지 않을 것으로 豫想되나 地理的 與件등으로 수자원 賦存量이 不足하고 開發適地가 부족한 삼고천 및 만경강 流域의 不足한 用水를 金剛 流域에서 確保 供給해야 하므로 이에 따른 물 不足現狀이 豫想되고 있다

(水資源公社, 1989).

이와같은 流域圈 內의 用水供給 現況을 Node-Link 概念을 利用하여 圖式的으로 形象化한 것이 Figure 3으로서 大淸댐으로 부터 各 需要點 까지 非貯流 Node를 포함하여 23個의 Node와 30個의 Link로 構成되어 있다.

#### 4.2 入力資料 및 分析

##### (1) 可用水量 및 用水需要

앞에서 構成된 模型과 OKA를 適用하는데 必要한 資料로서 可用水量은 大淸댐의 放流量 資料(水資源公社, 1992)을 使用하였으며 本 研究에서는 放流量 資料 中 大淸댐을 運營한 以後로 比較的 渇水年에 속하는 1982 년도 放流量을 可用水量으로 適用하였다.

또한, 對象流域에 대한 用水需要는 都市(生活) 및 工業用水, 農業用水에 한하여, 西海岸 開發計劃에 따른 用水 需給方案 調查報告書(水資源公社, 1986; 1989; 1992) 등의 既存의 資料로서 算定하였으며, 本 研究에서 基準 用水需要量으로 2006 年度의 用水 需要量을 사용하였다.

**(2) 回歸水量**

各 用水 別에 따른 回歸率은 既存의 資料(建設部, 1989; 水資源公社, 1988)를 參照하여 다음과 같이 定하였다.

- 1) 生活用水 回歸水量은 생활용수 供給量의 65% 가 河川으로 回歸 된다고 假定하였다(建設部, 1989; 水資源公社, 1988).
- 2) 工業用水 回歸水量은 생활용수 回歸水量 推定值와 同一한 65%를 適用하였다(建設部, 1989; 水資源公社, 1988).
- 3) 農業用水 回歸水量은 농업용수 供給量의 32.5% 가 回歸되는 것으로 假定하여 回歸水量을 計算하였다(水資源公社, 1988).

**(3) 用水供給 優先順位**

Network 시스템 模型을 運營하기 위해서 必要한 各 需要點 別 用水使用의 重要性 및 諸般 特性을 나타내는 用水供給 優先順位(priority number)는 各 用水需要點의 經濟的, 政治的, 社會的인 시스템 分析과 地域住民 및 專門家의 諮問을 考慮하여 決定하여야하나 本 研究에서는 1~4個의 代案을 研究者가 任意로 定한 것이므로, 實際 運用時에는 關係 當局間에 충분히 協議하여 다시 設定해야 하며 Table 1과 같다.

이 優先順位는 1부터 99사이의 整數로 表示하고, 이 값이 작으면 작을수록 다음 式(17)에 의하

여 큰 값의 陰數의 加重值를 갖게되어 높은 優先順位를 가지게 된다.

$$C_{pi} = -(1000 - DEMR_{id} \cdot 10) \tag{17}$$

여기서,  $DEMR_{id}$ 는 用水供給 優先順位를 표시.

**(4) 用水供給 上·下限值**

어떤 基準年度에 대한 各 用水 需要點 別 需要量이 決定되면 Network 흐름 解析의 基本變數인 實際的 Link에 대한 上·下限值를 決定하게 된다. 實際的인 Link에 대한 上限值는 單位期間 동안 該當 Link를 통과하게 되는 最大 通水能으로서, 이는 Table 1의 2006年度의 需要點 別 月別 需要量 中에서 가장 큰 需要量을 선정하고 이를 下流로 부터 累加시킨 流量으로서, 上流로 부터 下流로 用水가 供給될 時 Link의 最大 通水能이 작아 溢流(spill)가 發生하지 않도록 충분한 量으로 算定하였으며, 下限值는 “0”으로 設定하였다.

**4.3 結果分析 및 考察**

**(1) Network 模型에 의한 水資源 配分**

河川의 用水急增 地域에서 限定된 水資源의 供給能力에 비해 需要量이 크게 增加될 때, 各 用水需要에 따라 水資源을 最適配分하기 위하여, 大청댐 放流量 資料 中 比較的 渴水年에 該當하는 1982 年度의 放流量과 向後 물 不足이 豫想되는 2006 年度 用水 需要量을 人力한 資料로 이에 대한 水資源 配分을 Network 模型으로 施行하였다.

1) Table 2는 用水供給 優先順位를 1~4개의 경우(case)로 設定하고 Network 模型으로 水資源

Table 1. Priority number related to the nodes for Network model operation

Node no.	2	4	5	6	9	10	13	15	16	19	21	22	23
Case 1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Case 2	30	26	30	30	26	30	30	30	30	30	30	26	30
Case 3	28	26	30	30	26	30	28	28	30	28	30	26	30
Case 4	28	26	29	30	26	29	28	28	30	28	30	26	30

Table 2. Shortages at the nodes by Network model operation

Unit : MCM

Node No.	2	4	5	6	9	10	13	15	16	19	21	22	23	Sum
Demand	26	117	78	53	314	19	61	49	20	151	111	91	160	1250
Case 1	0	0	0	0	21	5	0	0	5	92	44	25	44	236
Case 2	3	0	18	0	0	5	0	20	6	93	45	0	44	234
Case 3	0	0	53	15	0	8	0	0	8	38	64	0	44	230
Case 4	0	0	39	15	0	8	0	0	13	38	73	0	44	230

Table 3. Monthly shortages by Network model operation

Unit : MCM

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum
Case 1	0	0	0	0	0	57	70	109	0	0	0	0	236
Case 2	0	0	0	0	0	60	69	105	0	0	0	0	234
Case 3	0	0	0	0	0	57	68	105	0	0	0	0	230
Case 4	0	0	0	0	0	57	68	105	0	0	0	0	230

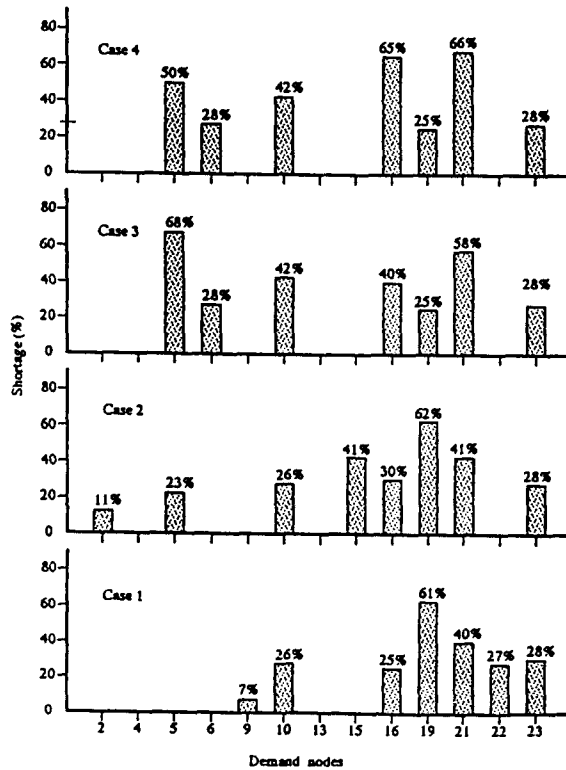


Figure 4. Shortage ratio(%) at the node by network model operation

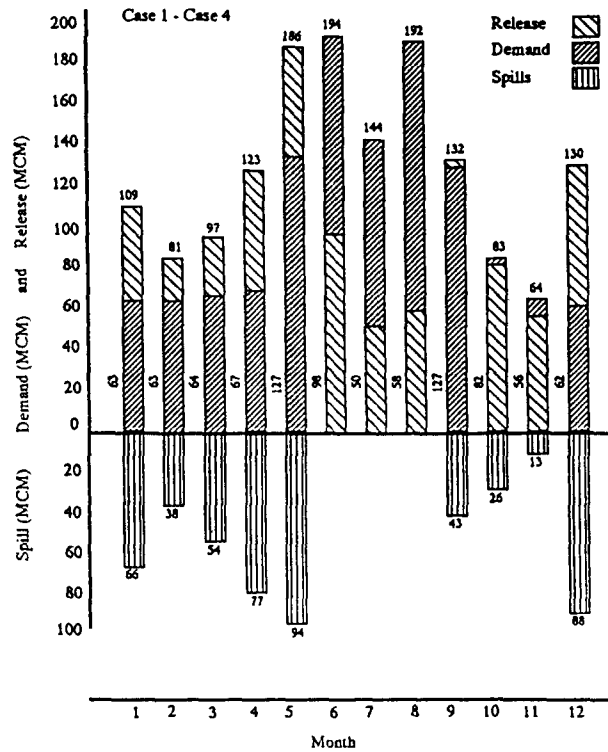


Figure 5. Monthly spill by Network model operation

配分을 施行했을시 各 需要點의 用水 需要量에 대한 물 不足狀態를 表示한 것이다. Case 1은 各 需要點의 用水供給 優先順位를 均等한 狀態로 設定하고 配分狀況을 分析하기 위해 各 需要點의 用水供給 優先順位를 모두 “30”으로 假定하고 運營한 結果로서 年間 總 用水 需要量 1250 MCM 중의 19% 인 236 MCM의 물 不足량을 Node No. 9 (대전), No. 10(대덕), No. 16(청양), No. 19 (논산), No. 21(익산), No. 22(군산) 및 No. 23 (전주) 등 7個 地點에서 各계됨을 볼 수가 있다.

Figure 4도 1~4개의 경우에 대하여 各 需要點 別 물 不足率(%)을 圖示한 것으로, 여기서 不足率(%)은 各 수요점 別 需要量에 대한 供給 不足량의 百分率을 나타내며 Node No. 9, No. 10, No. 16, No. 19, No. 21, No. 22 및 No. 23 등 7個 地點에서 各 수요점 別 수요량 중 7%, 26%, 25%, 61%, 40%, 27%, 28%의 用水가 부족한

것을 알 수가 있다.

이와같은 물 不足狀態를 月別로 살펴보면 Table 3과 같으며 6, 7, 8월에 236 MCM의 물 不足량이 發生하는 것을 볼 수가 있다.

Figure 5는 月別로 發生되는 시스템 損失量을 나타낸 것으로 溢流 link에 있어서의 흐름을 의미하고 전 Network 시스템 내의 Link가 최대흐름 狀態에 있을 때 發生하는 것으로서, Case 1일 때에는 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 및 12월에 각각 66, 38, 54, 77, 94, 43, 26, 13, 및 88 MCM의 損失量이 發生하였다. 이와 같은 現狀은 放流量이 需要量을 超過했을때 發生한 것으로 各 用水 需要點에서 使用하지 못하고 消失되는 流量이다.

2) 模型의 2次 運營(Case 2)에서는 流域內 用水 需要點 中 Node No. 4(청주), No. 9(대전) 및 No. 22(군산) 등의 大都市는 他 需要點 보다 優先的으로 용수를 供給해야 할 優先地域으로 分類



하고, 이들의 用水供給 優先順位를 Table 2의 Case 2와 같이 “26”으로 設定하였다.

그 結果 Table 2와 Figure 4의 Case 2에서 볼 수 있는 바와 같이 優先順位의 調整에 의하여 청주, 대전 및 군산 需要點에서는 물 不足量을 없앨 수 있었으나 Case 1에서는 물 不足이 發生하지 않았던 신탄진, 부여 수요점에서 물 不足現狀이 생겼고, 전반적으로 물 부족 現狀이 無作爲한 狀態이며, 물 不足量은 初期施行보다 2 MCM이 減少했다.

Table 3의 Case 2에서 볼 수 있는 月別 물 不足量도 이와 같은 이유로 2 MCM의 물 不足量이 減少하였다. Figure 5에 있는 시스템 損失量은 年間 499 MCM으로서 4개의 運營 模型에서 모두 同一하였다.

3) 第3次 運營(Case 3)은 2次 運營한 結果를 上臺로하여 優先順位를 調整하였다. 流域內 需要點中에서 Node No. 2(신탄진), No. 13(공주), No. 15(부여), No. 19(논산)번 등은 生活 및 工業用水, 農業用水 需要地域으로서 大都市 用水 需要點 다음 優先的으로 용수를 供給해야 할 需要點으로 判斷하여 Table 1의 Case 3과 같이 優先順位를 “28”로 設定하였다.

이 結果 Table 2와 Figure 4의 Case 3에서 볼 수 있는 바와 같이 優先順位를 높게한 청주, 대전, 군산, 신탄진, 공주, 부여 및 논산 등에서는 물 부족이 거의 發生하지 않거나 또는 不足量이 극히 적게 되었고 청원, 천안, 대덕 및 익산의 물 不足량이 늘게 되었다.

4) 4次 施行(Case 4)에서는 물 不足이 많이 發生하는 需要點 中에서 Node No. 5(청원), No. 10(대덕)번인 수요점의 優先順位를 Table 1의 Case 4와 같이 “29”로 設定하여 模型을 運營했으나 Table 2와 Figure 4의 Case 4에서와 같이 청원 需要點의 물 不足量이 53 MCM에서 39 MCM으로 14 MCM 만큼 減少된 정도이고 대덕 需要點에서는 물 不足現狀이 改善되지 못했다. 이는 他 需要點에 비해 낮게 優先順位가 設定되었기 때문에 配分에 影響을 끼치지 못한 것이다.

이상은 低水 및 渴水時 限定된 수자원을 4次에 걸쳐 主要 需要點 別 用水供給 優先順位 調整에 따

라 變化하는 狀況을 重點的으로 分析한 것으로 물 供給의 優先順位를 Case 2, 3, 4와 같이 調整하였을 경우에는 年間 물 不足量은 初期 施行時 236 MCM 에서 4次 施行時에 230 MCM으로 6 MCM이 減少되어 用水配分이 改善되었음을 보여 준다. 이와 같이 一定한 可用水量에 의하여 물 不足량이 경우에 따라 減少되는 것은 供給系統에서 發生되는 回歸水量의 增減에 關係된다.

以上과 같이 制限된 放流量을 각 용수 수요점에 配分하는 경우에 물 不足現狀을 根本的으로 解決할 수는 없으나 供給 優先順位의 調整에 따른 배분의 敏感度를 살펴볼 수 있음으로서, 低水 및 渴水時 限定된 수자원을 각 需要點의 供給 優先順位에 따라 最適配分할 수가 있었다.

5) Table 4는 Revised Simplex 알고리즘에 의한 수자원 배분의 最適解와 比較하기 위한 것으로 Network 模型을 運營시 물 부족이 가장 많이 發生하는 8 월에 대하여 1~4 境遇에 대하여 각 수요점 別로 發生하는 물 不足量을 圖表化한 것이다.

### (2) Revised Simplex 알고리즘에 의한 水資源 配分과 比較考察

Network 模型의 適用 結果를 檢證하기 위한 것으로 Revised Simplex 알고리즘에 의한 最適配分解를 구하였다. Revised Simplex 알고리즘의 適用時 Network 模型의 適用과 同一한 條件을 주기 위하여 Network 模型의 適用 對象流域과 同一한 금강 流域의 水系 시스템인 Figure 3을 사용하였고, 또한 目的函數式과 制約條件式도 Network 模型에서와 同一한 計數값을 사용하였다. 그리고 可用水量과 用水需要量은 比較를 위하여 各各 8月の 量을 使用하였다. 以上의 諸 資料를 利用하여 수자원 配分을 위한 Revised Simplex 알고리즘의 目的 函數植과 制約條件式을 構成하였다.

Table 5는 Revised Simplex 알고리즘을 利用하는 LINDO system(1992)에 의하여 4가지 경우에 대하여 각 용수 수요점 別로 배분된 물 不足量을 구한 것으로, Network 模型에 의한 最適解인 Table 4와 比較해 볼 수 있다.

Table 4, 5에서 볼 수 있듯이 兩 알고리즘에 의한 供給 優先順位 調整에 의한 各 需要點으로의 물 不足量은 1 MCM 差異를 除外하고는 모두 一致하는

데, Node No. 19(논산), No. 23(익산) 地點의 물 不足量 差異 1 MCM 도 兩 알고리즘의 프로그램 作成에 따른 計算 誤差로 볼 수 있으므로 兩 알고리즘의 適用 結果는 一致하는 것으로 判斷하여, 수자원 配分時 Network 모형의 適用 妥當性を 檢證하였다. 兩 알고리즘을 適用時 次元이 크지 않았기 때문에 兩者間의 確實한 計算上의 效率性 等を

比較하기 곤란하지만 Network 흐름 解析時 OKA 는 Revised Simplex 알고리즘에서 제기되는 문제점인 初期值(phase I), 逆行列 計算이 필요하지 않음으로서 記憶容量 制約 等を 減少시키어 시스템의 次元이 클 때 計算上 및 시스템 運營上의 效率性을 期待할 수 있을 것이다.

Table 4. Shortages at the nodes by OKA operation in August

Unit : MCM

Node No.	2	4	5	6	9	10	13	15	16	19	21	22	23	Sum
Demand	3	11	21	5	31	3	14	11	5	34	29	9	16	192
Case 1	0	0	0	0	13	3	0	0	5	34	29	9	16	109
Case 2	3	0	10	0	0	3	0	5	5	34	29	0	16	105
Case 3	0	0	21	5	0	3	0	0	5	26	29	0	16	105
Case 4	0	0	21	5	0	3	0	0	5	26	29	0	16	105

Table 5. Shortages at the nodes by revised simplex algorithm in August

Unit : MCM

Node No.	2	4	5	6	9	10	13	15	16	19	21	22	23	Sum
Demand	3	11	21	5	31	3	14	11	5	34	29	9	16	192
Case 1	0	0	0	0	13	3	0	0	5	34	29	9	15	108
Case 2	3	0	10	0	0	3	0	5	5	34	29	0	15	104
Case 3	0	0	21	5	0	3	0	0	5	25	29	0	16	104
Case 4	0	0	21	5	0	3	0	0	5	25	29	0	16	104

### 5. 結 論

本 研究에서는 低水 및 渴水時 限定된 水資源을 各 用水 需要點 別로 優先順位에 따라서 最適配分 하기 위한 Network 模型을 構成하고, OKA에 의 하여 最適解를 求하는 프로그램을 作成하였다. 그리고 이를 錦江流域에 適用하여 模型의 有用성과 妥當性を 檢證하였다. 이에 따른 研究內容과 實際 適用結果를 要約하면 다음과 같다.

水資源 配分을 위한 시뮬레이션을 遂行하기 위하여 物理的인 시스템을 구성하는 水系內 實際의 Node와 Link외에 數個의 假想的인 Node와 Link를 添加하므로써 容量化된 Network 模型을 構成 하였다.

模型의 適用을 위하여 大淸댐을 運營한 以後로 渴水年에 속하는 1982年度의 大淸댐 放流量을 可用水量으로 하여, 向後 물 不足이 豫想되는 金江流域圈內의 各 地點 別 需要量에 대하여 4가지 境遇의 用水供給 優先順位를 考慮하여 最適配分을 施行하였다. 그 結果, 年間 물 不足量은 初期施行時 236MCM에서 4次 施行時에 230MCM으로 6 MCM 減少되어 用水配分이 改善되었다. 制限된 放流量을 各 用水 需要點에 配分하는 境遇에 물 不足 現狀을 根本的으로 解決할 수는 없었으나 供給 優先順位에 따른 配分の 敏感度를 살펴볼 수 있으므로, 限定된 水資源을 各 需要點의 供給 優先順位에 따라 最適配分할 수가 있었다. Network 模型의 適用結果를 檢證하기 위하여 Revised Simplex 알고리즘에 의한 最適解와 比較하였다. 兩 알고리즘

에 의하여 求해진 最適解는 一致하여, Network 모형의 해법으로써 OKA의 適用 妥當性을 檢證하였다. 특히, Network 흐름 解析時 OKA는 Revised Simplex 알고리즘에서 제기되는 문제점인 初期值(phase I), 逆行列 計算이 필요하지 않음으로서 記憶容量 制約 등을 減少시키어 시스템의 次元이 클 때 計算上 및 시스템 運營上의 效率性을 期待할 수 있을 것이다.

따라서, 本 模型을 利用하여 水系模型에 관련된 複雜한 시스템을 Network로서 簡明히 表示할 수 있고, 向後 복잡한 물 配分問題를 水系의 全體의 狀況을 考慮하여 體系 一貫되게 配分할 수 있을 것이다.

#### 參 考 文 獻

1. 建設部(1989) 1989年度 水資源 管理技法 開發 研究調查 報告書 제2권 流域 물 管理 시스템, 建設部.
2. 水資源公社(1992) 錦江流域 大清댐 및 河口둑의 效率的 管理方案(利水管理), 水資源公社.
3. 水資源公社(1992) 大清댐 水文觀測 資料, 水資源公社.
4. 水資源公社(1989) 西海岸 開發計劃에 따른 用水需給 方案調查報告書, 水資源公社.
5. 水資源公社(1988) 河川流域 물 收支 시뮬레이션 모델 研究報告書, 水資源公社.
6. 水資源公社(1986) 全國 水資源 利用現況 및 需要 展望 調查報告書, 水資源公社.
7. 水資源公社(1986) 大清댐 貯水池 運營方案 研究報告書, 水資源公社.
8. 沈淳輔, 延圭邦(1989) 水資源 最適配分을 위한 Network flow 模型, 第31회 水工學 研究 發表會 論文集, 韓國水文學會, pp. 63-70.
9. Bazara, M. S., and J. J. Jarvis(1977) Linear Programming and Network Flow, John Willy and Sons, New York, pp. 441-473.
10. Chung, F. I., M. C. Archer, and J. J. DeVries (1989) Network flow algorithm applied to California aqueduct simulation, J. Water Resour. Plng. and Mgmt., ASCE, 115(2), pp.131-147.
11. Graham, L. P., J. W. Labadie, I. P. G. Hutchison and K. A. Ferguson(1986) Allocation of augmented water supply under a priority water rightsystem, W. R. R., 22(7), PP. 1083-1094.
12. LINDO System(1992) IBM PC for the Interactive and Discrete Optimizer, Microsoft Coporation.
13. Sigvaldason, O. T.(1976) A Simulation model for operating a multipurpose multi-reservoir system, W. R. R., 12(2), PP. 263-2780.
14. Texas Water Development Board(1972) Economic Optimization and Simulation Techniques for Management of Regional Water Resources Systems, Texas Water Development Board, Austin, Texas.