

<技術報文>

## 水量制御에 關한 考察

金 治 弘\*

### 1. 概 說

河川水의 制御는 人類가 原始時代로 부터 脱皮하여 그 活動의 範圍가 넓게되게 되며부터 開始되었다고 말 할수 있다 즉 食糧을 生産하기 위해 灌溉用水의 確保와 主로 農耕地를 洪水 氾濫으로부터 지키기 爲한 河水制御이다 이와같은 일은 점점 擴大되고 그 結果로서 必要로 하는 食糧의 確保가 可能하게 될뿐 아니라 다른 일을 하기 爲한 余力이 생겨서 漸漸 文化가 發展하였다고 생각되나 그와 同時에 河水制御를 위한 일도 커져서 設備의 建設이든가 維持管理를 위한 共同作業, 即 社會共同體의 活動이 延生하고 나아가서 生産物의 配分과 設備의 建設 維持管理의 勞力, 及至는 費用의 分擔에 關한 社會的規則이 마련된 것이다 그 以後에도 文化의 向上, 文明의 發展이 이루어짐에 따라 이러한 活動이 擴大되어 가는데 社會的活動이든가 社會的規則은 特히 農耕民族에 있어서는 河川水의 制御問題에 그 端을 發生하였다고 말 할수 있을 것이다

人類活動이 점점 隆盛하는 것과 함께 새로운 生活用水의 確保와 舟運을 爲한 河川水의 制御가 必要하게 되었는데 水力發電의 發明을 契機로 하여 水量制御와 이것에 隨半하는 社會的活動이 一變했다고 해도 좋을 것이다 電力은 近代의 工業을 일으키고 近代工業은 多量의 工業用水를 必要로 하기 때문에 水力發電과 工業用水의 確保를 爲한 水量制御의 일이 大規模로 行해지게 되어왔다 그 結果 以前은 河川水를 制御하므로써 얻어지는 果實이 農業生産物과 健康한 日常生活였던 것이 工業生産物과 日常生活의 便利性이 加重되었다면 거의 問題는 일어나지 않았겠지만 例를 들어 農業用水와 工業用水와 같이 그들에 依해 생기는 果實의 價值比較든가 用水確保를 위한 歷史的 社會的 慣行의 相違등에 依해 各種의 用水確保를 爲한 水量制御段階에 있어 所謂 競合問題가 생겨서 社會共同體에 새로운 調和와 그것을 維持하기 爲한 規則이 必要하게 되어 왔다는 것이다 거기에서 最近에는 石油을 主로한 에너지 消費의 急增에 隨伴하여 自然이

것은 更新作用, 自淨作用을 上廻하여 廢棄物이 河川에 排出되어 河川水의 汚濁이라는 全然 새로운 問題가 發生하고 水量制御는 이 問題에도 対処하지 않으면 안되며 또 人口의 都市集中에 起因한 大規模인 土地開發 즉 丘陵地든가 農耕地의 大規模的인 都市化에 依한 出水形態의 變化도 새로운 水量制御 問題를 일으키고 있다

河川水의 制御問題는 上記와 같은 歷史的 變遷을 지나왔는데 今의 水量制御의 目的은

① 洪水(量的) 및 水質汚濁(質的)의 危險을 防止하기 爲한 水量을 調査하든가 水質을 管理할것

② 生物의 生命維持, 食糧의 生産, 工業의 生産, 休養 등을 爲한 水量과 水質을 確保할것

이고 이들을 最少의 努力과 最少의 費用으로 達成하는 것이라고 말 할수 있다 그러나 ①의 目的은 損失의 除去이고 ②는 利益의 增進이고 兩者의 輕重을 直接比較하는 것은 困難하고 또 ②中에 生命維持는 別途로 하더라도 다른것의 價値의 相互比較도 그다지 簡單하지 않다 基本的으로는 社會共同體의 將來를 내다본 意向에 依해 決定하여야 할 問題이므로 水量制御는 社會共同體의 意向을 反映된 것이어야 한다고 말 할수 있다

그런데 우리들이 利用하고자 하는 물, 그것에 依한 危險을 防止하고자 하고있는 물의 根源은 降水임은 말할 必要가 없다 降水는 河川水, 湖沼水, 地下水가 되어 드디어는 海洋으로 流出되는 것인데 이 물循環의 過程에 있어 洪水에 依한 損害를 주고 또 여러가지의 患災을 주는 것이다 降水는 Stochastic 인 現象이라고 하지만 平均的으로는 地域에 依해 또 季節에 따라 거의 定해져 있으므로 特히 利水觀點 으로부터 본다면 人間活動이 그 範圍내에 멈추고 있는 동안은 무척 自由로운 活動이 行할수 있으므로 이 範圍를 넘어서 活動하고자 하면 水量不足이든가 水質汚濁이 생긴다 이와같은 狀態를 想像하면 이때는 벌써 社會的 要請에 依해 河水를 制御한다는 思考方式이 成立되지 않고 逆으로 물의 存在狀態에 依해 社會가 規制된다

\* 本學會 理事 成均館大 理工大 副教授 技術士

는 思考方式을 取하여야 한다.

한편 治水의 觀点부터 보아도 降水의 變動크기의 範圍가 deterministic으로 求해지지 않으므로 洪水에 對한 安全性을 保證하기 爲해서는 社會의 狀態를 어느 程度 規制하는 便이 좋다고 생각된다. 卽 그 地域의 水의 存在狀態가 社會의 여러가지 面에서의 發達을 規制하는 重要한 要素의 하나가 되는 것이다. 앞에서 水量制御가 將來를 바라본 社會共同體의 意向을 反映한 것이어야 된다고 記述하였는데 이 將來를 바라보는 中에 水의 存在狀態가 그 地域社會의 發達을 規制하는 要素가 된다는 것을 強調하고 싶다.

河川水를 制御하는 方法은 다음의 二個로 大別된다.

① 植林, 河川堤防, 放水路의 建設등에 依해서 水의 循環過程을 社會生活에 이용도록 變換한다.

② 頭首工이든가 貯水地의 築造, 地下水涵養등에 依해서 水의 흐름을 時時刻刻으로 人爲의 으로 調節한다. 前者는 水循環의 自然法則을 充分히 理解한 뒤에 計劃하는 것이 特別히 重要하고 한번 它施策을 行하면 그것을 變換하든지 改善하든지 하는 것이 매우 困難하다 는 것을 銘心하여야 한다.

後者에는 頭首工으로 代表되는 것처럼 自然의 流況속 에 必要한 水量만을 取水하는 것으로 부터 大貯水地로 代表되는 것처럼 水를 一時貯溜하고 必要에 따라 貯溜水를 放流하는 것까지 各種의 것이 있다. 이경우에 도 自然의 水循環에 變化를 준다는 點에서는 第1의 制御方式과 같지만 더욱이 效率的으로 貯水하고 效率的으로 利用할수 있겠음 操作할 수 있다는 點이 特色이다.

## 2 人爲的操作을 加하지 않는 水量制御

### 2.1 森林에 依한 水量制御

森林은 木材資源으로서 有用한 것은 勿論이지만 人間의 生活環境을 良好한 狀態로 維持한다는 形容할수 없을 程度의 效用을 갖고 있다. 또한 森林의 生育은 土地 및 水과의 相互關係가 極히 密接하다. 또 森林에는 高度로 人工이 加해지는 것부터 人工이 加해지지 않은것 까지 그 成立過程은 極히 幅이 넓다.

森林地帶는 主要한 水源地이기도 되기 때문에 그 生育을 保證하면서 森林이 갖는 流出制御 機能을 考慮해서 人工을 加할 必要가 있는 셈이다. 一般으로 水源地에서는

가) 森林이 存在하면 蒸發量이 增加하고 流域全體로서의 流出率이 若干 低下하는 傾向에 있다.

나) 森林이 存在하면 土地의 表面附近이 恒常 濕潤을 維持되고 所謂 渴水量이 增加하는 傾向에 있다.

다) 森林이 存在하면 下草등이 枯草등들이 存在하

는 것이 되고 洪水의 流出을 緩和시키는 效果가 있다.

라) 森林이 存在하는 것은 土地表面을 被覆하는 것이 되므로 地面浸蝕을 防止 輕減하고 急激한 土砂流出의 防止에 有効하다 등의 影響이 있다. 世界的으로 보아 年間의 降水量이 約 1200 mm라는 比較의 多雨인 우리나라에 있어서 森林의 存在에 依한 流出率의 若干의 低下라기 보다도 다른 有用성이 極히 크므로 木材資源의 生産이라는 것도 考慮하여 適切히 人工을 加하면서 森林地를 確保하고 流出水가 自動的으로 制御되겠음 努力하는 것이 緊要하다. 이것은 또 大氣의 淨化, 觀光, 休養의 空間의 確保라는 社會的 要請에도 一致하는 것이다.

여기서 問題되는 것은 이와같은 有用한 森林地를 얼만큼 確保하는 것이 좋은가라는 것이다. 人間의 活動이 廣範圍하고 特別히 農業以外的 産業과 居住를 위한 土地利用이 增大하고 있는 今日에 있어서 特別히 重要視 되어왔다. 森林이 갖는 水量制御의 機能만에 着眼하면 適當한 貯水地를 設置해서 流水를 調節하므로써 의 代替도 可能하지만 木材資源과 그의 生態學的 效果등 代替 困難한 것도 있다. 今日 이 問題에 對해서 定量的인 答을 用意하는 것은 極히 困難하므로 万若에 森林面積을 어떻게든 大幅으로 變換할 必要가 있는 경우에는 急激한 變化를 避해 그 影響을 監視하면서 긴 眼目으로 實施해 나가는 것이 良策이라고 생각된다.

### 2.2 築堤 放水路등에 依한 流水制御

우리나라는 農地든가 都市域을 洪水氾濫으로 부터 지키기 爲해 河道에 따라 延延하게 堤防이 築造되고 또 때로는 放水路가 만들어진 다. 이들은 出水時에 多量의 水를 河道內에 가두어 두고 또 價值있는 地區近處에 危險성이 큰 洪水가 浸入하는 것을 防止한다는 意味에서 大端히 有用하다 함은 말할 나위가 없다.

이들의 施設을 制御機能이라는 觀点에서 分析하면 가) 普通인 경우 그 制御는 流水가 갖는 性質에 따라서 自動的으로 行해진다.

나) 施設의 크기에 따라 다르지만 이들의 施設에 依해 制御可能한 入力(洪水)에는 上限이 存在한다 라는 點에 着眼할 必要가 있다.

말 할 必要도 없이 이들의 施設은 堤內地를 洪水의 危險으로부터 지키는 것을 目的으로 하고 있지만 이들의 施設이 갖는 制御能力을 넘는 洪水는 自然의 法則에 따라 堤內地에 自由로 浸入하고 만다. 그 浸入을 막기 爲해 옛부터 被災가 予想되는 地域社會안에 水防團이 組織되고 소위 水防活動이 行해지고 왔다. 自然의 猛威는 計測할 수 없는 것이고 또한 堤防이든가

放水路(水門이 없는것)는 出水狀況에 따라 制御機能을 變化시키는 것이 不可能하므로 그 惹起確率이 적다 하더라도 洪水의 被害를 되도록 輕減시키자면 水防活動을 하여 被害를 最小限으로 멈추게 하는것이 必要한 것이다. 이와같은 活動을 하는것만이 社會共同體와 洪水와의 關係가 維持되고 異常出水時에 있어 被害를 最小限으로 할 수 있는 것이다.

2.3 都市化와 水量制御

所謂 都市化에 依한 새로운 水 問題로서는

- ① 都市化에 依한 都市用水의 增加
- ② 都市化에 依한 出水形態의 變化
- ③ 都市化에 依한 河川水質의 汚濁
- ④ 都市化에 依한 觀點·休養空間의 減少

등을 들수 있으나 ②에 관해서 記述하기로 한다.

이 問題를 생각할때 丘陵地와 低平地로 나누어 생각하는 것이 便利하다.

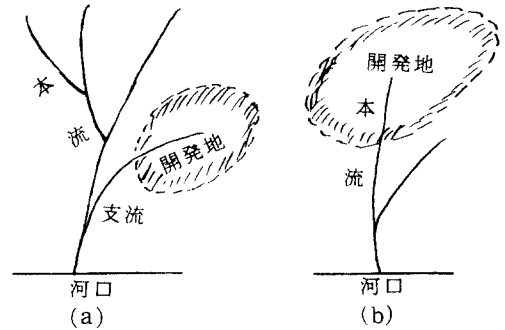
一般으로 丘陵地를 開發하여 都市化하면 從來 그 土地가 갖고있던 保水能力이 顯著하게 減少하는 것과 함께 出水時의 洪水到達時間(嚴密하게는 傳播時間)이 적게된다. 지금 開發前後의 流出係數를 各各  $f_0, f_1$  으로 하고 洪水到達 時間을  $T_0, T_1$  이라 하면 周知와 같이 出水의 尖頭流量  $Q_{p0}, Q_{p1}$  은

$$\text{開發前; } Q_{p0} = \frac{1}{3.6} f_0 \cdot \bar{r}_0 \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{開發後; } Q_{p1} = \frac{1}{3.6} f_1 \cdot \bar{r}_1 \cdot A \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $Q_p$ ;  $m^3/sec$ ,  $A$ ;  $km^2$ ,  $\bar{r}_0, \bar{r}_1$ ; 對象降雨의  $T_0, T_1$  時間內 平均降雨 強度의 最大值로  $mm/hr$ 이다. 簡單히 말해서 (1), (2)式으로 주어지는  $Q_{p0}, Q_{p1}$  의 差만큼 洪水時의 尖頭流量이 增大하고 開發地로 부터 나오는 支流의 洪水負擔을 增大시키는 것이된다. 이 경우 그 支流를 改修하는 것과 함께 나아가서 支流와 이어지는 本流가 河口까지 開發에 依한 流量增加를 負擔할 수 있게끔 改修가 終了되어 있으면 아무런 問題는 안 일어난다. 그러나 普通인 경우에는 支流의 改修가 늦어져 있던지 또 支流가 既成市街地를 흐르고 있어 그 再改修가 大端히 困難해 지던지 하는 狀態에 있게 마련이다. 이러한 경우에는 어떠한 方法을 쓰든지 해서 出水時의 水量을 制御하여 開發에 依한 流量增加를 除去하고 下流의 洪水危險度를 增大하지 않도록 하여야 한다.

本流의 疎通能力에 余力이 있고 또한 圖 2.3 의 (a)에 表示한 것처럼 本流流域內에 있어 開發地가 그 下流部에 位置하고 있을 때에는 가장 安全하고 確實한 對策은 開發地域의 存在를 考慮한 뒤에 通常의 計劃基準에 對應한 尖頭流量을 對象으로 하여 支流의



도 3

河道改修를 行하는 것이다.

支流의 河道改修가 不可能할때 이던가 圖 2.3 의 (b)에 表示 한것처럼 開發地가 本流의 上流部에 相當한 面積을 占有하고 있고 本流의 再改修에 多大한 費用을 要할때에는 洪水調節地를 設置하여 開發에 依한 惡影響을 除去 할 必要가 있다. 그러기 위해서는 開發前後의 水文曲線을 求하지 않으면 안되는데 對象降雨가 주어진 경우라도 그 算定은 現時點에서는 相當히 複雜하다.

以下參考로 開發에 依한 效果를 比較하는 것을 目的으로 하고 더우기 (1)式, (2)式에 依해 洪水尖頭流量이 주어졌을때의 近似計算方法을 提示하고자 한다.

① 우선 開發前後의 流出係數  $f_0, f_1$  및 洪水到達 時間  $T_0, T_1$  을 從來의 方法에 依해 推定한다.

② 確率降雨曲線을 써서  $T_0, T_1$  에 對한 平均降雨 強度  $\bar{r}_0, \bar{r}_1$  을 求한다.

③ (1)式, (2)式은 流出高를 表示하고  $Q_{p0}, Q_{p1}$  에 對應하여  $q_{p0}, q_{p1}$  이라고 쓰면

$$q_{p0} = f_0 \cdot \bar{r}_0, \quad q_{p1} = f_1 \cdot \bar{r}_1 \dots\dots\dots (3)$$

이 되므로 이것으로 부터  $q_{p0}, q_{p1}$  을 算出한다.

④ 한편 ②에서 쓴 確率降雨曲線과 거의 같은 程度의 크기의 実績 하이에트-그래프를 選定한다. 이 경우의 時間單位는  $T_1$  以下임이 바람직하다.

⑤ 流出過程을 線形貯溜라고 假定하고 降雨損失은 없는 것으로 하고 貯溜高를  $s$ , 貯溜係數로  $k$  로 表示하면 基礎式은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{ds}{dt} = r - q \dots\dots\dots (4)$$

$$s = kq \dots\dots\dots (5)$$

上式을  $\Delta t$  時間마다 計算하는 것으로 하고 時刻  $t_1, t_2$  에 있어서의 物理量을 表示하면 結局 다음식이 얻어진다.

$$q_2 = \mu r_{1-2} + (1 - \mu) q_1 \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $\mu = (\frac{\Delta t}{P}) / (1 + \frac{\Delta t}{2k})$ ,  $r_{1-2} = \frac{1}{2}(r_1 + r_2)$

그래서 流出高의 初期值을 假定하고 (霧으로 해서 좋다) ④에서 設定한 하이에트·그래프를 써서 여러가지  $\mu$ 의 값에 대한 水文曲線을 計算하고  $\mu$ 와 피-크流出高  $q_p$ 와의 關係를 求한다. 이 경우 하이에트·그래프의 時間單位와 위 計算의 時間單位  $\Delta t$ 를 一致시키면 便利하다.

⑥  $\mu \sim q_p$  圖를 써서 ③에서 決定한  $q_{p_0}$ 와  $q_{p_1}$ 으로부터  $\mu_0$ 와  $\mu_1$ 의 값을 求하여 이것을 開發前後의  $\mu$ 의 값으로 한다.

⑦  $\mu_0, \mu_1$ 의 값을 (6)式에 適用하면 開發前後의 水文曲線을 求할 수가 있다.

⑧ 洪水調節地의 效果를 調査하려면 그 位置가 開發地區內의 最下流端에 있으면  $\mu_1$ 에 대한 水文曲線을 調節地로의 入力으로 하고 그 出力을  $\mu_0$ 에 대한 水文曲線과 比較하면 된다.

⑨ 또한 이와같은 調節地에서는 洪水의 到達時間이 짧고 또 管理도 큰 일이므로 有孔形式의 自然調節의 方式을 採用하는 것이 良策이라고 생각된다.

한편 低平地에 있어서는 이와같은 調節地를 設置할 수 없다. 또 그土地가 畚인 경우에는 豪雨時에 그畚에서의 貯蓄效果는 相當히 컸을 것이다. 그런데 低平地를 都市化하면 이와같은 貯溜效果가 없어지고 또한 勾配가 緩慢하므로 流出水의 排水가 더 한층 困難하게 된다. 이 경우의 制御方式으로서 높은 堤防을 築造하고 堤內地의 물을 펌프 排水한다. 또는 地區內의 相當히 넓은 面積을 遊水地로서 計劃적으로 設定하여 貯溜效果를 갖게 한다는 것이 생각 될 것이다. 여기서 遊水地라고 말한것은 常時水面이 있는 池를 또 遊水地라고 한것은 公園이든가 運動場에서 出水時에만 限하여 물이 고이도록 한 場所를 말한다.

### 3. 貯水池의 治水操作

貯水池의 治水操作은 下流部에 있어 洪水의 危險度를 輕減시키는데 있다. 그러나 貯水池의 洪水調節容量 및 下流部河道의 洪水疎通能力에 一定한 限界가 있다. 따라서 어떠한 出水에 대해서도 恒常 被害를 일으키지 않는 調節이 可能하게 할 수는 없다. 今일에 와서 더우기 問題를 複雜하게 하고 있는 要因의 하나로 下流部河道의 疎通能力 換言하면 無被害流量이 河道를 溢하여 相當히 相異하고 있는것을 들 수가 있다. 즉 出水의 規模가 크지 않을때에는 적은 疎通能力의 河道區域을 對象으로 하여 調節을 行할수 있어 河道의 全區間에 걸쳐 安全을 確保하는 것이 可能하지만 出水의 規模가 큰 경우에는 적은 疎通能力의 河道區域을 對象으로 하여 調節操作을 하고자 하면 調節操作途中에서 貯水池가 滿水가 되어 그後의 調節이 不可能

하게 되어버려 河道의 全區間에 걸쳐 洪水의 危險에 直面하게 된다. 그러므로 적은 疎通能力 밖에 없는 河道區域에서의 被害를 覺悟하면서 큰 疎通能力의 河道區域을 對象으로 하여 調節操作을 생각 안 할수가 없는 경우도 생길것이다.

#### 3.1 治水操作의 目標

上述한 것처럼 貯水池의 治水操作을 行할 경우에는 複雜한 下流部의 河道區間의 狀況을 充分히 把握한 後에 操作方針을 定하지 않으면 안된다는 것을 쉽게 理解할 수 있을 것이나 實際問題로서 具體적으로 또한 實現可能한 操作目標을 設定한다는 것은 大端히 어려운 것이다.

지금 洪水調節用 貯水池가 있고 그 下流部에 數個所의 防災對象 區域이 있는 것으로 하고 또한 各防災對象地區에 있어서는 各各의 重要度에 따른 洪水流下能力  $Q_{di}$ 를 갖게끔 河道가 改修되어 있다고 하자.

그리고 洪水가 發生하여 貯水池에서 調節했기 때문에 各河道區間에서  $Q_{pi}$ 의 洪水流量이 된다는 것이 予想되는 경우를 생각해 보자. 一般으로 河道區間의 洪水에 대한 安全度는 疎通能力  $Q_d$ 에 대한 洪水피-크流量  $Q_p$ 의 비로서 評價된다고 생각하는 것이 常識이다. 따라서 洪水調節의 效果는  $Q_{pi}/Q_{di}$ 의 값으로 評價할 수 있게 되므로 洪水調節의 目標의 하나는

① 各河道區間에서  $Q_{pi}/Q_{di}$ 의 값이 되도록 같도록 한다는 것이 되게된다. 한편 洪水調節을 하는 것이므로 無調節時에 流下하는 洪水피-크  $Q_{ni}$ 와 比較해서 流量의 增大를 招來하는 것도 재미없는것으로

② 各河道區間에서  $Q_{pi} \leq Q_{ni}$ 가 되게한다.

라는것이 또 하나의 目標가 된다.

以上은 主로 洪水調節貯水池를 對象으로 한 경우이지만 社会的 合意만 얻어진다면 利水를 目的으로 한 貯水池에 있어서도 洪水調節을 行하는 것은 有効하다. 利水를 目的으로한 貯水池이므로 洪水調節池와 같이 그 容量을 恒常 비어두었다가 出水를 기다리는 것을 할 수가 없다. 그래서 出水直前に 비어있는 容量, 또는 出水予測에 依해 所謂 予備放流를 하므로써 비어둔 容量을 利用해서 調節을 하게된다. 이 경우에도 調節의 目標은 上述의 洪水調節用 貯水池인 경우와 마찬가지로 是를 勿論이나 一水系에 여러가지 目的으로 多數의 貯水池가 築造되어있는 現狀에서 볼 때 個個의 貯水池에서 單獨으로 洪水調節을 行하는 것보다 이들을 統合하여 綜合적으로 操作하는 方法이 效果적이다. 즉 利水問題와 마찬가지로 治水操作에 있어서도 社会 共同體의 合意下에 統括管理를 行하는 것이 必要하고 效果的이 되는 것이다.

3.2 貯水池의 操作法

貯水池에서 洪水를 調節한다는 것은 貯水池에 流入하는 洪水의 一部를 貯溜하면서 放流하는 洪水水文曲線을 所定の 形으로 바꾸는 것이다 이경우에 貯水池容量에는 限界가 있으므로 放流洪水의 水文曲線을 어떤 形으로도 變更할 수 있다는 것은 아니다 또 流入하는 洪水의 水文曲線도 出水마다 달라진다 따라서 流入洪水의 水文曲線도 存在하는 貯水池의 容量은 바꿀 수 없으므로 下流에서의 洪水危險度を 可及的 적게 한다는 것이 貯水池 操作의 要訣이 된다

가) 固定的 操作

貯水池의 容量이 固定되어 있으므로 效果的인 洪水調節操作을 行할라면 洪水水文曲線을 予知하는 것이 前提條件이 된다 그러나 周知하는 것같이 이 分野에 있어서 高精度의 予知는 豪雨予測과 直接 關聯하여 相當히 어려운 問題가 있다 이와같은 條件을 생각하면 어떠한 形의 出水에 對해서도 어느 程度의 洪水調節效果가 期待 할 수 있는 固定的인 操作方法도 有效하다 그 가장 普及되어 있는 것이 一定率·一定量 調節方式 일 것이다

若干 融通性 있는 것으로서는 所謂 類型方式 이라고 불리우는 것이 있다 이것은 豪雨내리는 것이 氣象配置와 關係가 있고 氣象原因과 周邊의 狀況에 依해 分類할 수 있다는 事實에 根拠를 두고 있다 即 豪雨내리는 型을 分類整理하고 미리 各分野別에 가장 效果的인 調節方法을 檢討해 두고 出水時에 그것이 어느 分類에 屬하는가를 究明하고나서 定해진 調節方法에 따라 操作 한다는 것이다 그리고 이 경우의 調節方法의 決定에는 다음의 DP (Dynamic Programming)에 依한 方法을 쓰는 것이 有效하다

나) DP에 依한 調節方法의 決定

우선 一水系에 N個의 洪水調節用的 貯水池와 M個의 防災對象 區間 即 評價地點이 있는 경우를 생각하자. 各 貯水池에 共通된 有限의 制御期間을 생각하고 그것을 T個로 等分하여 처음부터 1, 2, …… t …… T 라고 番號를 부친다 다음에 任意의 期間 t 에 있어 k 번째의 貯水池의 流入量, 放流量을 各各  $I_k(t)$ ,  $O_k(t)$ 로 하고 期間 t 의 期初의 貯水量을  $S_k(t)$ 라고 하면 運統의 條件으로부터 다음의 關係가 成立한다

$$S_k(t+1) = S_k(t) + I_k(t) - O_k(t), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (2.1)$$

또 膜부터의 放流量은 貯水位에 關係하므로 放流量에는 그때의 貯水狀態에 依해 決定되는 上限이 있고 形式的으로 다음과 같이 쓸 수가 있을 것이다

$$O_k(t+1) \leq g_k \{ S_k(t) + I_k(t) \} \dots\dots (2.2)$$

여기서  $g_k$ 는 k番째의 膜 特有한 貯水量의 함수이다 또한 調節操作의 終了時의 貯水量  $S(T+1)$ 을

$$S_k(T+1) = C_k \dots\dots\dots (2.3)$$

로 해둔다

그런데  $D_i$ 를 評價地點  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )에 附하는 評價函數라고 하면 이것은 期間 t 의 調節結果地點  $i$ 를 通過하는 放流量  $Q_i(t)$  (期間 t 에 있어서 通過하는 것이 아님)에 依해 일어난 損失을 表示하는 指標이므로 目的函數 J는 다음과 같이 假定해도 좋을 것이다

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m D_i \{ Q_i(t) \} \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서  $Q_i(t)$ 는 各膜부터의 放流量과 殘流域부터의 流出量과의 函數로서 주어지는데 洪水의 合流를 綜形이라고 假定하면 다음과 같이 表現할 수 있다

$$Q_i(t) = \sum_{(k)i} O_k(t) + \sum_{(j)i} q_j(t) \quad (2.5)$$

上式에 있어서 右邊第1項은 期間 t 에 있어서 膜 k 부터의 放流量  $O_k(t)$ 中 途中 다른 貯水池를 通過하지 않고 評價地點  $i$ 에 到達하는 것이 總合을, 第2項은 支統流入量  $q_j(t)$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ )中, 途中貯水池를 通過하지 않고 評價地點  $i$ 에 到達하는 것의 總合을 表示한다 이경우 이들의 流量이 同時에 評價地點  $i$ 에 到達 하졌끔 最下流의 評價地點을 基準으로하여 洪水의 傳播時間을 考慮하여 各流入水文曲線을 平行移動시켜서 共通의 制御時間 座標 t ( $t = 1, 2, \dots, T$ )를 주어지고 있는것은 勿論이다

지금 任意의 期間 t 로부터 最終期間下 까지의 最通放流量系列  $\{ O_k(t) \}$  ( $t = t, t+1, \dots, T; k = 1, 2, \dots, N$ )에 依한 目的函數 J의 最小值를, 이것은 期間 t 의 期初에 있어 各貯水池의 貯水量  $S_k(t)$ 의 函數인데  $f_t(S_1, S_2, \dots, S_N)$ 라고 하면 Bellman의 最適性의 原理로 부터 다음의 函數方程式이 成立한다

$$f_t(S_1, S_2, \dots, S_N) = \min_{0 \leq S_k \leq V_k} \left[ \sum_{i=1}^m D_i \{ Q_i(t) \} + f_{t+1}(S_1, S_2, \dots, S_N) \right], \quad k = 1, 2, \dots, N \dots\dots\dots (2.6)$$

더욱이 上式中  $Q_i(t)$ 는 (2.5)式으로 表示되는 것이고,  $f_{t+1}$ 는 期間 t + 1 의 期初에 있어 各貯水池의 貯水量  $S_k(t+1)$ 의 函數이므로 (2.1)式을 考慮해서 더 詳細히 쓰면 다음과 같이 된다

$$f_t(S_1, S_2, \dots, S_N) = \min_{0 \leq S_k \leq V_k} \left[ \sum_{i=1}^m D_i \{ \sum_{(k)i} O_k(t) \} + \dots \right]$$

$$\sum_{(j)i} q_i(t) + t+1 \{ S_1(t) + I_1(t) - O_1(t), S_2(t) + I_2(t) - O_2(t), \dots, S_N(t) + I_N(t) - O_N(t) \} \dots \dots \dots (2.7)$$

여기서  $V_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) 은  $k$  번째의貯水池의 有効貯水量이다. 이 漸化式을 푸는 方法으로서 最終의 制御段階의 決定  $O_k(T)$  에 依한 目的函数  $f_T$  ( $S_1, S_2, \dots, S_N$ ) 이 必要한데 그것은 (2.3) 式의 條件을 考慮하고 다음式으로 주어진다

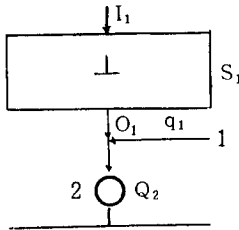
$$f_T(S_1, S_2, \dots, S_N) = \sum_{i+1}^m D_i \{ \sum_{(k)i} (S_k(T) + I_k(T) - C_k) + \sum_{(j)i} q_i(T) \} \dots (2.8)$$

1) 单独貯水池인 경우의 例

圖 3.2.1 과 같이 水系內에 하나의 基水調節池와 하나의 防災對象區間(評價地点)이 있고 그리고 殘流域으로 부터의 流入洪水를 考慮하는 경우를 생각해보자 (2.7), (2.8) 式 부터

$$f_0(S_1) = \min_{0 < S_1 \leq V_1} [D_2 \{ O_1(t) + q_1(t) \} + f_t + 1 \{ S_1(t) + I_1(t) - O_1(t) \}] \dots \dots \dots (2.9)$$

$$f_T(S_1) = D_2 \{ S_1(T) + I_1(T) - C_k + q_1(T) \} \dots (2.10)$$



도 3.2.1 洪水調節池 하나인 경우

다음의 洪水에 依한 損害를 表示하는 指標인 函数  $D_2$  를 어떠한 形으로 表示하는가가 問題가 되는데 流量이 增加하면 加速的으로 洪水의 危險이 增大한다는 常識的 事實을 考慮하여

$$D_2(Q_2) = Q_2^2 / 100 \dots \dots \dots (2.11)$$

表-1 独貯水池인 경우의 計算結果

期 間	t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
流 入 量	$I_1(t)$	2	4	6	8	12	16	18	14	10	8	6	6	4	4	
支流流入量	$q_1(t)$	2	2	4	8	12	16	16	14	12	10	8	6	6	4	
初 期 貯 水 量 $S_1(t)$	0	$O_1(t)$	2	4	6	8	5	0	0	2	5	7	6	6	4	4
		$Q_2(t)$	4	6	10	16	17	16	16	16	17	17	14	12	10	8
	20	$O_1(t)$	11	11	10	8	5	0	0	2	5	7	6	6	4	4
		$Q_2(t)$	13	13	14	16	17	16	16	16	17	17	14	12	10	8
	59	$O_1(t)$	17	17	15	11	8	4	4	6	8	8	6	6	4	4
		$Q_2(t)$	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	18	14	12	10

라는 凸函数을 假定하고  $V_1 = 59$   $T = 14$  로 하고 制御終期에 貯水池를 滿水狀態로 한다고 하여  $C_1 = 59$  라는 條件下에 表-1에 表示하는  $I_1(t)$ ,  $q_1(t)$  인 때의 最適放流量系列을 求한 結果가 同表에 表示되어 있다. 但 이 計算에 있어서는 (2.2) 式에서 表示한 項의 放流能力에 對한 制御條件은 考慮되어 있지 않다. 計算結果는 貯水池의 初期貯水量에 依해 달라지지만 어느 경우에도 評價地点 2를 通過하는 流量系列  $\{Q_2(t)\}$  을 可能한 限 平滑化하는 것이 最適임을 表示하고 있다

表-2 並列貯水池인 경우의 計算結果

期 間	t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$S_1(t)$ $S_2(t)$	$I_1(t)$	1	2	3	5	8	4	3	2	1	0	
	$I_2(t)$	0	1	2	3	5	8	4	3	2	1	
0	0	$O_1(t)$	1	2	1	0	0	1	2	2	1	0
	$O_2(t)$	0	1	2	2	2	1	0	0	1	1	
	$Q_3(t)$	1	3	3	2	2	2	2	2	2	1	
0	19	$O_1(t)$	0	0	0	0	0	4	3	2	1	0
	$O_2(t)$	5	5	4	4	4	0	1	3	2	1	
	$Q_3(t)$	5	5	4	4	4	4	4	5	3	1	
19	19	$O_1(t)$	1	2	3	6	7	4	3	2	1	0
	$O_2(t)$	6	5	4	1	0	3	4	3	2	1	
	$Q_3(t)$	7	7	7	7	7	7	7	7	5	3	1

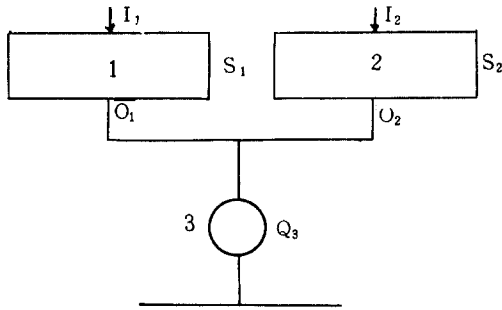
2) 並列貯水池인 경우의 例

圖 3.2.2 인 경우를 생각하면 (2.7) (2.8) 式에 依해

$$f_t(S_1, S_2) = \min_{\substack{0 \leq S_1 \leq V_1 \\ 0 \leq S_2 \leq V_2}} [D_3 \{ O_1(t) + O_2(t) \} + f_t + 1 \{ S_1(t) + I_1(t) - O_1(t), S_2(t) + I_2(t) - O_2(t) \}] \dots \dots \dots (2.12)$$

$$f_T(S_1, S_2) = D_3 \{ S_1(T) + I_1(T) - C_1 + S_2(T) + I_2(T) - C_2 \} \dots \dots \dots (2.13)$$

計算條件으로서  $V_1 = V_2 = C_1 = C_2 = 19$ ,  $T = 10$ ,  $D_3(Q) = Q^2 / 100$  으로 하고  $\{I_1(t)\}$ ,  $\{I_2(t)\}$  을 表 2와 같이 주어졌을 때의 結果가 同表에 나타나있다. 表-2에서 아는것과 같이  $\{Q_3(t)\}$  을 可能한 限



도 3.2.2 洪水調節池並立인 경우의 例

平滑히 할때 最適의 調節方式이라고 말 할 수 있다. 但 이例의 경우에는

$S_1(t) + S_2(t) = s(t), O_1(t) + O_2(t) = O(t), V_1 + V_2 = V_1, I_1(t) + I_2(t) = I(t)$  라고 노면 一次元問題로 置換할 수 있으므로 表-2에 表示한 解는 最適解의 하나에 지나지 않는다. 此外에도  $O_1(t)$ 와  $O_2(t)$ 의 여러가지 組合의 最適解가 存在한다.

3) DP 應用에 있어서의 問題點

以上の 計算例에서 아는바와 같이 洪水調節問題에 있어서 DP의 手法는 大端히 有力한 武器로서 利用可能하여 事前預防 對策에 큰 도움을 주지만 다음과 같은 問題가 있다는 것을 注意하지 않으면 않된다.

(가)  $\{I_k(t)\}$  든가  $\{q_j(t)\}$ 가 充分한 精度로 予知되면 좋지만 그精度가 나쁠때에는 最終期의 條件即  $C_k$ 의 값을  $V_k$ 에 같게 하는것은 危險하다. 그러므로 予測精度에 따라  $V_k$ 보다 적게 設定하는 것이 必要하다.

(나) 評價函數  $D_i$ 는 上記의 例에서는 凸函數로서 通過流量의 自身에 比例한다고 했지만 評價地點이 2個以上 있고 8.3에서 記述한 것과 같은 條件을 考慮하여야 할 때에는 相異한 評價函數를 附與할 必要가

있다

(다) 貯水池와 評價地點이 많을때에는 次元이 커져서 計算時間이 急增하여 事實上 不可能하게 된다. 이런 경우에는 次元의 削減을 어떤 方法을 講究하여야 한다.

4. 結 論

以上の 水量制御와 貯水池操作에 對한 最近의 技法을 洋論하였으나 科學文明의 發展과 더불어 予報技術도 發展途上에 있고 우리나라에도 漢江洪水統制所와 같은 予報組織의 系統化가 되어 있으므로 앞으로는 四大江에 全部 이러한 施設을 갖추어야 함은 勿論, 國立 觀象臺의 天氣圖에 對하여도 銳意 注目을 하여 이를 바로 風水害防止에 最善을 다 하여 活用할 때가 왔다 고 본다.

우리나라의 水資源總量 1,140 億  $m^3$ 中 蒸發浸透되는 損失量이 477.1 億  $m^3$ 이고 流出量은 662.3 億  $m^3$  인데 그것도 洪水時에 61.2%에 該當하는 405.2 億  $m^3$ 가 流出되고 平常時 流出은 257.1 億  $m^3$ 으로서 全體의 22.5%인 形使을 볼때 利水를 爲한 水資源의 確保와 洪水時의 無爲放流量을 되도록 年平均等化 하기 爲해서는 上流部에 開發可能한 多目的댐 建設地點의 築造促進, 河道整備事業을 年次的으로 進行하여야 함은 勿論 都市化現象, 工業團地로 부터의 廢水에 依한 水質汚染問題도 年이 갈 수록 深刻한 問題로 擡頭되고 있다.

이러한 觀點에서 볼때 從來는 社會의 여러가지 要求에 依從 河水를 制御調節하고 그로부터 利益을 얻고 또 水害든가 水質汚濁의 被害輕減에 對하여 말로만 걱정 할것이 아니라 現時點에서 予算이 許容하는 範圍內에서 年次的인 事業展開가 要望된다. 반드시 將來에는 河川의 流況과 水質이 社會를 規制하게 될때가 올것이라고 予見된다.