

# 都市化에 따른 水文現象의 變動

高 在 雄\*

## 1. 概 要

都市地域에서는 계속적인 人口集中으로 人間에 의한 都市内 및 週邊의 土地 및 水資源의 開發 利用이 複雜化되고 있으며 이에 따라 自然的인 水文現象에 都市 人間들의 人爲的인 活動에 의한 미치는 影響도 복잡한 樣相을 띠고 있다.

都市化의 初期段階에서는 여기 저기 小規模的인 住宅 建物들이 서기 시작하면서 地表에 덮여 있던 草木들을 制去하게 되어 蒸散量의 減少와 地表流出의 增加를 보 여 주기 시작하게 되고 生活用水를 위한 井戶의 設置 등으로 地下水面의 低下를 가져 온다.

都市化의 中期段階에서는 初期에서의 小規模的인 住宅를 주변으로 大規模的인 住宅造成事業이 개시되어 불토자에 의해 대대적인 土壤의 移動이 일어 나면서 地表土壤의 굴착과 이의 低地帶에의 盛土등을 하게 되어 雨水浸蝕이 加速되고 河川流砂가 급격히 증가하여 이들이 河川에 堆積된다. 이에 따라 洪水流出도 증가 되고 적은 河川들은 流砂에 의해 閉塞된다. 그래서 道路가 舗裝되고 下水道施設이 마련되므로써 雨水의 浸透는 減少되어 洪水流出이 증가된다. 上水道用水의 取水를 하는 河川에서는 取水地點 아래에서는 流出이 低下되고 處理하지 않을 下水들을 河川에 放流하므로써 水質汚染을 일으킨다.

都市化의 最終段階에서는 大單位住宅團地에 더 많은 住宅이 들어 서고 道路公共施設, 商業施設, 工場施設등이 서기 때문에 浸透는 감소되고 流域의 粗度의 減少로 流入時間이 줄어들며 水路網整備에 따라 尖頭洪水量이 증가 되고 基底流量을 감소하게 된다. 水質汚染으로 既存 우물들을 放置하게 되므로써 淺井들을 地下水位의 上昇을 招來하게 만들며 上水源의 水質 위험으로 먼 깨끗한 他水源에 取水源을 찾아 끌어 오다 보면 더 많은 流出量이 都市流域에 모이게 된다. 河川沿岸 土地利用의 증가로 流路가 계속 制限되어 擴幅이

어렵고 洪水水位가 上昇되므로 해서 洪水被害가 증가하게 된다.

都市化에 따른 水文現象의 變動은 流出變化로 귀착되며 이에 따른 問題點으로 우리나라에서 많은 都市河川에서 最近 심각한 洪水被害를 입게 되므로써 關心을 가지고 보기 시작하였다. 都市河川流域의 開發에 따라 생기는 流出變化의 原因을 다음 두가지로 설명할 수 있다. 그 첫째로 流域이 都市化되면 雨水의 浸透域이 감소하며 有効雨量이 增加되어 總流出量의 增加가 현저하게 된다. 둘째로 排水路나 下水道가 整備되어 流域에 내린 비의 大部分이 빨리 流出하게 되며 洪水到達時間이 단축되므로써 尖頭洪水量의 증가를 보여 준다. 尖頭洪水量의 增大에 따라 水害危險度を 높이고 同時에 短時間內에 急激한 水位上昇을 가져온다. 다음 그림-1에 都市化에 따른 流出水文曲線의 變動을 나타내는 代表的인 그림이 나와 있다.

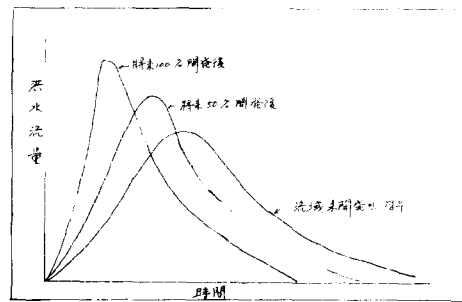


그림-1 開發에 따른 洪水流出의 變化

## 2. 都市水文學研究的 歷史

1889年에 Kuchling이 美土木學會誌에다 "人口集中된 地域에서의 降雨과 下水流量과의 關係(The Relation between the Rainfall and the Discharges of Sewers in Populous Districts)"라는 論文을 發表하여 合理式에 의한 方法을 提示하였으며 그뒤 이

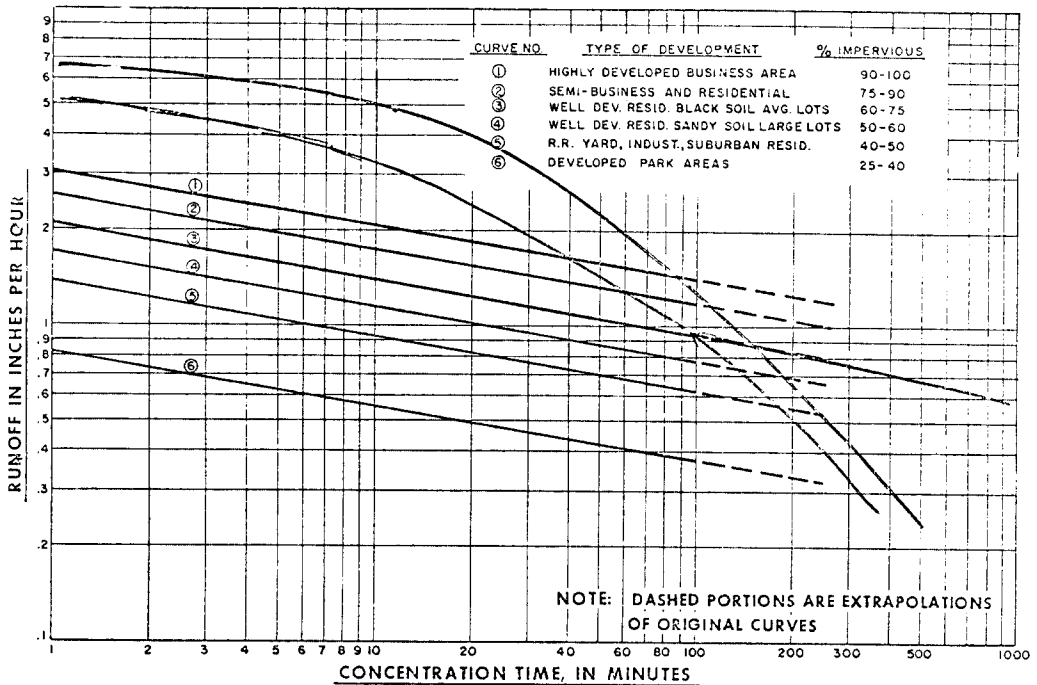


FIGURE 2 TYPICAL RATIONAL METHOD DESIGN CURVES

방법은 약간의開發이 이룩되었으나 그節次에 있어서는 現在까지도 根本的으로 Kuichling 이 발표한 것과 同一한 것을 그대로 쓰고 있다 해도 과언이 아니다. 우리나라에서도 下水管의 設計를 위해서는 合理式은 全世界的으로 널리 채택되어 온 方法으로 1930年代初에 Sherman의 單位流量函法이 나오기 전까지는 별다른 技術的인 進度 없이 그대로 쓰여져 왔다. Sherman의 單位流量函法은 水文學에 있어서 커다란 技術的인 進展을 가져 오게 한 계기가 되었다. 현재 쓰이고 있는 合理式은  $Q = CIA$ 로 표시되며 C는 流出係數, I는 T時間동안의 降雨強度 즉 流出地点으로부터 가장 멀리 떨어진 流域內의 位置에서 流出地点까지 도달하는데 所要되는 時間을 T로 규정하고 있으며 A는 流域面積이다. 오랜동안 流出係數 C와 流域特性과 相關시키는 研究가 계속되었으며 주된 개발의 內容은 合理式에 쓰일 降雨強度-頻度資料의 개발에 노력이 集中되었다. 美國에서는 여러 都市에 대해서 流下時間 T와 C 및 I의 函數關係式을 개발하여 두고 있다. 이러한 형의 例가 그림-2에 나와 있다.

1932년에 Sherman은 單位流量函理論을 만들어서 일반 河川에서의 流出을 다루는 경우 有効雨量에서 流出水文曲線을 결정하는 가장 代表的인 方法으로 채택 利用하게 되었다. 1930年代의 後期와 40年代 初期

에 걸쳐서 都市流出量 計算에 그때 까지 널리 쓰이던 單純한 合理式 보다 具體的이고 進展된 降雨-流出 分析을 할수 있는 方法 개발이 두세가지 企圖되었다. Horner와 Flynt 1936년에 美土木学会誌에 발표한 “小都市地域에서의 降雨-流出 關係(Relation between Rainfall and Runoff Small Urban Areas)”라는 論文에서 流出資料의 分析에 單位流量函法의 活用을 시도하였으며 1942년에는 Horner와 Jens가 또한 “流出係數를 사용하지 않은 降雨에서 地表流出量의 算定(Surface Runoff Determination from Rainfall without using Coefficients)”을 발표하여 새로운 設計法의 開發을 提示하였다. 하지만 後者의 論文에서는 單位流量函 理論의 活用은 지양하고 地表流出率의 決定에 있어 浸透損失, 물받이貯溜 등에 의한 流出水文曲線의 調整을 결정하는데 보다 깊은 關心을 나타낸 것이다. 1944년에 Hicks는 “都市流出算定法(A Method of Computing Urban Runoff)”에서 1942년 Horner와 Jens가 사용한 方法과 대단히 비슷한 方法으로 解析했다. 여기서도 물받이貯溜, 溝渠貯溜, 地表損失, 浸透損失 등에 대해 많은 研究가 집중되었다. 하지만 資料의 解析에 있어 單位流量函 理論이나 이미 提示된 設計法의 開發에는 별다른 進展을 가져다 주지 못했다. Horner, Flynt, Jens 및 Hic

-ks 등의 設計方法은 本質的으로 아주 複雜하기 때문 에 이들의 設計方法은 實務者들에게 거이 25年間 채택 活用되지 못하고 있었으며 都市流出문제에서는 계속적으로 合理式에 의한 方法만이 設計에 活用되었 i.

1940年代와 1950年代의 初期에는 單位流量函理論 을 使用하는 水文學的인 設計法들이 여러 機關에서 많 이 개발되었다. Snyder의 綜合單位函法은 이 期間에 개발 것으로 널리 活用되기에 이르렀다 하나 都市水文學分野에 있어서는 Tholin과 Keifer가 “都市流出水文學(Hydrology of Urban Runoff)”를 1960년에 美土木學會誌에 발표하기 이전 까지인 1950年代 末期까지 별다른 進展이 없었다. Tholin과 Keifer의 論文에서는 雨水下水渠의 設計에 있어 “Chicago Hydrograph Method”라는 새로운 設計法을 발표하여 복잡한 雨水流出 下水渠 設計法에 새로운 現代的 設計 方法을 適用하기 시작한 실제적인 효시이다.

Chicago Hydrograph Method가 나온 바로 뒤 잇 달아서 존 홉킨스大學의 Geyer의 実績을 들 수 있다. 실제 존 홉킨스大學의 研究事業은 대부분 1950年代 初에서 부터 시작되었으나 研究成果를 設計에 쓸수 있도록 한 出版物들은 1950年代 後期나 1960年代 初 까지 나오지 않았었다. 1962년에는 Eagleson이 單位流量函理論을 都市排水문제에 적용한 論文으로 “都市排水地域에 대한 單位流量函의 特性(Unit Characteristics for Sewered Areas)”를 발표하였다. 이 論文에서 Eagleson은 單位流量函의 尖頭流量과 遲滯時間을 流域特性에다 相關시키는 解析方法을 提示하였다. 1960年代에 들어서면서는 많은 技術者들 사이에서 都市 流出問題에 대한 관심이 증가되었고 이 문제를 定 立시키거나 적절한 設計指針을 개발하기 위한 많은 研究가 시작되었다. 美內務省 地質調査所는 작은 都市地 域에 있는 河川에 水文觀測을 실시하게 되었으며 都市 流出解析에 필요한 資料들을 얻기 위하여 觀測網의 운 용을 실시하였다.

1965년 Espey가 텍사스 水資源開發局에 提出한 報告書에서는 都市流出문제의 보다 완벽한 실태를 파 악하기 위하여 Texas州 Austin市에 관한 研究成果 와 다른 地域에서의 研究成果를 綜合 검토하여 相關시 키려는 노력을 경주하였다. 英國水路研究所(Road Research Laboratory)에서 실시한 研究成果도 말及 할 필요가 있다. 여기서도 이미 50年代初부터 많은 都市地域에 대하여 水文觀測을 실시하였으며 여기서 나 온 資料들을 具體的으로 分析하여 이 成果를 가지고 道

路研究所水文曲線法이라 불리는 方法을 개발하여 都市 洪水流出設計에 쓰고 있다. 最近에 와서도 많은 大學 과 研究機關에서 새로운 研究들이 進行中에 있으며 이 러한 成果들에 의해서 보다 正確한 解析方法이 提示될 뿐 아니라 과거에 쓰였던 方法을 보다 훨씬 單純하고 適用이 쉬운 새로운 方法이 개발될 것이다.

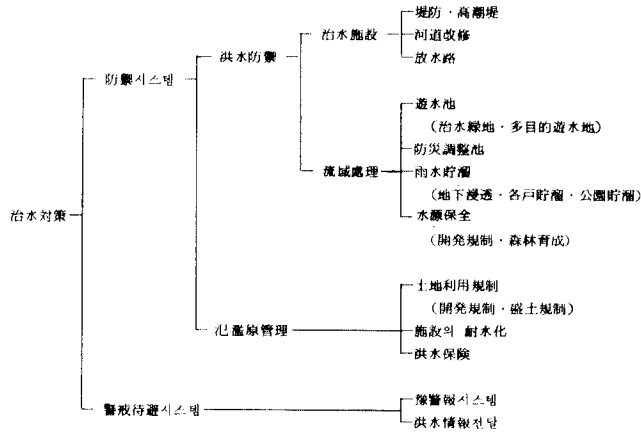
### 3. 都市河川에서의 洪水防禦

都市河川에서의 治水問題에서 抬頭되는 어려운 點들 은 첫째로 土地利用의 高度化로 建物들이 河川沿岸에 인접 密集되어 있어 거이 拓幅등의 沿岸對策이 곤란한 상태에 있다. 이는 拓幅費用이 高價이기 때문에 河川 改修를 지연시키게 한다. 둘째로 上流 流域의 開發로 流出量이 증가하여 雨水의 流出이 急速 尖銳化되어 系 下流河川에서의 負擔이 증대되고 있다. 過去에는 山林이던 上流部가 宅地化되어 開發되면 不透域化하여 有效雨量이 增加하며 道路등의 開發로 側溝 下水道등 의 排水施設이 完備될수록 雨水의 流出이 빨라진다. 이 또한 相對的으로 河川改修를 늦추게 되는 原因이 되는 것이다. 셋째로 河川沿岸地帶에 洪水被害對象物 이 해마다 增加되고 있는 実情이다. 이러한 여러 가지 要因들 때문에 都市河川에서의 洪水被害 輕減對策으로 는 河川改修만에 의존할수 없으며 이러한 對策의 의 다 른 方法의 모색이 불가피하다. 따라서 都市河川에 있 어서는 河川改修事業의 推進과 並行해서 그 河川流域 에 대한 적절한 保水, 遊水機能을 가질수 있도록 流水 의 抑制, 安全한 土地利用의 誘導등으로 종합적인 治 水對策이 추진되어야 한다. 綜合的인 治水對策시스템 을 표시한다면 다음 表-1과 같게 된다.

流域處理(Watershed Treatment) 혹은 流域貯溜 에 의한 治水對策은 우리나라에서 一般化되지 못한 用 語일뿐 아니라 關心을 가지고 推進中인 施策도 아니다. 하지만 都市河川에서는 在來 線的인 시스템에서 流域 處理는 面的인 시스템으로 移行한 洪水對策이라 할수 있으며 꼭 必要한 手段이므로 여기에 개략적인 설명을 해 보기로 한다.

都市域에서의 流域處理는 大別해서 現地貯溜(on-site detention)와 現地外貯溜(off-site detention) 으로 나눌수 있다. 現地貯溜란 地下貯溜, 浸透性鋪裝 施設, 집우위貯溜, 各戶別貯溜槽, 拓場貯溜, 駐車場貯溜, 公園 및 綠地貯溜, 運動場貯溜, 団地棟間貯溜등이 여기 에 포함된다. 現地外貯溜란 遊水地(治水綠地, 遊水地, 多目的遊水地등) 혹은 防災調整池등을 開發地域의 流

표-1 綜合的 治水对策 시스템



域未段이나 혹은 그보다 下流에 一置한 모양으로 만들어 貯溜하는 것을 말한다. 現地貯溜는 離散的이며 알기 때문에 다른 土地利用이 可能할뿐 아니라 既成市街地에서는 이 方法뿐만이 채택가능하다. 반면 人數가 많아져서 管理上의 問題가 있다. 現地外貯溜는 集約的이기 때문에 管理하기 쉽고 또한 運動場등에도 活用할수 있다. 길게 만들게 되므로 利用하기 不便한傾向이 있으며 制度化가 容易하여 效果가 빨리 나온다.

4. 流域貯溜의 効用

流域貯溜에 따른 効用은 洪水의 低減土壤侵蝕对策, 汚濁流出对策, 地下水涵養, 雨水利用등을 들수 있다. 또한 河川改修에서는 全河川區間에 걸쳐 손 減 必要가 있는데 비해 流域貯溜에서는 그 場所만으로도 가능하다.

洪水에 대한 低減效果는 都市化에 의해 잃게 되는 貯溜量의 回復이라는 뜻이 된다. 防災調整池의 경우 概략 50~100mm (예를 들면 100ha 개발하는 경우 100ha × 50~100mm = 5~10万 ㎥)의 容量으로 20~30年確率의 비를 1年確率以下の 流量으로 떨어뜨릴수 있다. 또한 집웅만을 대상으로 집웅面積當 50mm의 各戶貯溜槽를 가진다면 1km의 流域下流端에서 peak는 10~30% 떨어질수 있다 한다. 이것은 道路나 浸透域에서의 流出은 그대로 나오기 때문에 그토록 效果가 높지 않다. 하지만 団地등의 棟間을 지장이 없는 정도로 낮게 해서(30cm) 貯溜效果를 가지게 하면 30~50%의 低減을 기대 할수 있게 된다. 따라서 적당한 施設의 組合으로 相當한 流出抑制 혹은 地下水涵養등이 可能한 것을 알수 있다. 調整池에서의 土砂流出防止效果도 상당히 기대할수 있다.

雨水의 貯溜手法은 새로운 方法이기는 하나 최대 15

年의 歷史를 가진 것이다. 雨水貯溜를 다른 것과 바꿀수 없는 利點은 開發에 의해 增加한 Peak流量을 開發前의 流量으로 減少시키는 것이다. 이것은 人間의 活動에 의해 變化시킨 量循環을 自然으로 되돌리려는 試圖라고도 할수 있다. 하나 일련 貯溜는 洪水繼續時間을 增大시키게 되기도 한다. 따라서 貯溜施設이 없는 경우의 큰 peak流量과 이것을 가졌을때의 긴洪水繼續時間中 어느쪽이 影響이 적은가를 조사할 必要가 있다. 雨水의 貯溜는 비교적 넓은 面積을 필요로 하기 때문에 집웅, 駐車場등을 利用할수 있으면 貯溜池 크기를 줄일수 있으며 貯溜池를 리크리에이션등 多目的으로 利用할수 있다면 넓은 面積을 차지 하더라도 別문제가 되지 않는다.

流域處理에 대한 經濟的 評價는 貯溜施設이 없는 경우의 洪水防禦費用과 比較하여 정한다. 貯溜施設의 建物에 必要한 費用은 다음과 같다.

- (1) 施設自體의 建設費
- (2) 貯溜施設에의 流入, 排出을 위한 水路, 下水道 등의 建設費
- (3) 貯溜施設을 만들므로써 생기는 周辺地域의 整備費
- (4) 리크리에이션등 多目的利用을 위한 費用
- (5) 維持管理費

貯溜施設의 利點은 上記 2項에서 貯溜施設에서 下流의 水路, 下水道의 규모가 적어도 되며 建設費가 적게 된다. 場所에 따라서는 雨水의 放流水面이 가깝고 下流排水施設의 건설비가 적게 드는 곳에서는 貯溜施設을 두는 쪽이 全体建設費를 크게 만들기도 하나 대부분의 경우 下流排水施設의 건설비가 크므로 貯溜施設을 두는 쪽이 전체 建設비가 적게 들게 된다.