

〈論 文〉

小規模 團地의 流出模擬와 都市化 效果에 관한 研究

A Study of the Runoff Simulation and
the Urbanization Effect on Small Watersheds

全炳浩 *

Jun, Byong Ho

Abstract

To simulate the mechanism of runoffs on small watersheds, the ILLUDAS and the ILSD models are used in this study. The transferability of these models to Korean watersheds and significant factors that could affect their applicability were examined through the analyzation of the hydrographs generated from runoff simulations. The runoff hydrographs from the watersheds with different urbanization rates are also simulated to investigate the degree of variation of the peak discharges, the runoff rates, the runoff volumes and other hydrological factors related with urban runoff.

要 旨

本 研究에서는 小規模 流域에서의 流出 解析을 위해 既存의 模擬 模型중 ILLUDAS 模型과 ILSD 模型을 선택하였다. 이들 模型을 실제 流域에 적용하여 流出 水文曲線을 模擬하고 그 결과를 분석해 봄으로서 模型의 적용성과 유의 해야할 사항을 검토해 보았다. 또한 都市化가 이루어짐에 따라 尖頭 流量과 流出係數 및 流出容積 등이 增加하는 현상을 알아 보기 위해 都市化 정도에 따른 分析도 실시하였다.

1. 序論

우리나라는 1960 년대 이후 고도의 경제 개발에 따른 工業化를 계기로 市街地의 개발이 촉진되고, 都市近郊의 구릉이나 계곡이 절취되고, 전

답이 매립되어 택지 또는 商工業地域化 해서, 소위 都市化라 일컬어지는 현상이 급진전되었다. 都市化 流域은 농촌 지역이나 임야지역같은 自然 流域과 비교하면, 인구가 보다 많고 주택,

* 陸軍士官學校 土木工學科 副教授

상가 또는 공공시설물이 밀집되어 있으며, 도로는 포장되고 관개시설은 잘 정비되어진다. 한마디로 都市化는 人口의 增加와 不透水表面으로 덮인 지역의 比率이 增加되어지는 현상으로 볼 수 있다. 이와같은 변화는 생활용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시킴과 아울러 기후의 변화, 불투수성 지역의 증대, 표면 조도 계수의 감소, 자연 보유력의 감소등과 같은 水文現象의 變化를 초래한다. 이에따라 同一 降雨의 경우에도 尖頭 流量과 流出 容積이 증가하게 되며, 流出速度가 증가하여 尖頭流量 發生時間이 감소하고, 基底 時間이 감소하는 등 流出 水文 曲線이 현저히 변화하게 된다. 그러므로 都市流域에 대한 水文學의 特性을 구명하기 위해서나 또는 水工構造物의 設計에 있어서 降雨과 流出간의 관계를 수립하는 것은 매우 필요한 작업이며, 그 必要性은 都市化 流域의 증가와 함께 더욱 增加되어진다.

2. 都市 流域의 流出 特性

流域의 都市化가 진행됨에 따라 주택지역이 증가되며, 상.공업지구가 증가하고 도로가 포장되므로 불투수 면적이 크게 증가하게 된다. 또한 水路가 정비되며 管網에 의하여 汚水및 下水가 처리되므로 자연 상태의 流域이었을 때에 비하여 동일 강우의 경우에도 流出係數가 증가하여 尖頭流量과 流出 容積이 증가하게 된다. 이와 함께 流出速度가 증가하여 침투유량 발생 시간이 감소하고, 基底 時間이 감소하는등 유량 수문 곡선이 현저히 변화하게 된다.

都市化가 流出에 미치는 影響은 여러 연구 결과에 제시되어 있는데, Takao Ikuse (1975)⁸⁾ 등이 실시한 연구의 경우 Tama New Town 에 있는 Bessho 流域 (유역면적 1.123Km²) 과 Nagayama 流域 (유역면적 0.0281Km²) 의 경우, 都市화된 Nagayama 流域 (아스팔트 21.8%, 콘크리트지역 13.8%, 잔디 지역 64.4%) 이 都市化가 이루어지지 않은 Bessho 流域 (농장 17.36%, 숲 79.97%, 주택지 3.67%) 에 비하여 流出容積은 강우 100mm 일 경우 약 2배가 되었으며, 遲滯時間은 1/4 정도 줄었고, 尖頭 流量은 약 5배가 된다고 보고하고 있다.

미국 13개 流域에 대한 Rao(1972)⁹⁾ 등의 연구에서는 유역 면적에 대한 都市化가 이루어진 면적의 비율 U 로 나타내고 U 에 1을 더한 값 (1+U) 를 都市化 係數라 정의하여, 이 都市化 係數에 따른 유량 수문 곡선의 변화와 침투 유량의 변화, 침투유량 발생시까지의 시간 변화 등을 조사한 결과 都市化 係수가 1.5 즉, 유역 면적의 50%가 都市化된 境遇, 자연유역에 비해 遲滯時間은 50% 정도 減少되고, 尖頭 流量은 10 ~ 120 % 정도 增加되는 것을 보여주고 있으며, 표 1 에 나타나 있다.

3. 都市化 程度에 따른 流出影響 分析

각 유역에서의 流出量의 算定은 단순 합리식에 의한 방법, RRL기법¹⁰⁾ 등에 의하여 모의될 수 있으나, 우리나라 실정으로는 유출량 측정 자료가 없는 실정이므로 어떤 모델에 의하여 모의된 결과를 확인할 수 있는 방법은 없는 실정이다.

表 1. 流出에 미치는 都市化의 效果

유역	都市化 係數(1+U)	지체 시간 감소	최대 유량 증가
Pleasant Run	1.30	- 35 %	15 ~ 68 %
	1.50	- 49 %	20 ~ 118 %
Ross Ade	1.30	- 35 %	8 ~ 42 %
	1.50	- 49 %	10 ~ 70 %

이런 관점에서 보다 합리적인 연구가 이루어지기 위해서는 우리나라에서도 장기적인 안목으로 都市 水文觀測이 실시되어야 할 것이다. 비록 선택된 유역과 주어진 降雨 資料를 가지고 모의된 유출 결과가 확인 방법은 없다하더라도 이미 이 방면에 대한 外國의 例가 있고 그들 나라에서 개발된 모델을 우리가 사용할 경우 매우 흡족한 결과는 못될지라도 研究 目的과 洪水害 豫防 側面에서는 바람직한 결과를 줄 것으로 기대된다. 이와같은 여건하에서, 본 연구에서는 도시 유출해석에 많이 사용되고 있는 ILLUDAS (The Illinois Urban Drainage Area Simulator)¹¹⁾ 모델과 최소 비용을 고려한 관망 설계를 포함하는 ILSD (Illinois Least-Cost Sewer System Design)¹²⁾ 모델로 流出 水文曲線을 模擬하여 그 결과를 검토하고 각 都市化 程度에 따라 流出係數가 어떻게 변화되는가도 살펴보고자 한다. 본 연구에서 검토되는 유역에 적용될 降雨 強度式은 한국 토지개발공사에서 설계시 사용한

것과 같이 1980년 8월 대한 토목 학회지에 발표된 공식¹³⁾ 사용토록 하였다(표 2). 표 3에서와 같이 서울지역에 일반적으로 적용될 수 있는 학회지 발표 이원환 교수 공식과 서울시에서 제안한 공식 그리고 건설부에서 공시한 공식들 간에도 1시간에 적게는 11%, 크게는 22%까지 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이같은 현상은 바람직하지 못할 뿐만 아니라 실무에 크게 혼란을 초래할 수 있으므로 公信用을 가진 기관에서 각 지역에 適用될 公式을 制定하여 사용하고, 그 공표된 공식을 필요에 따라 繼續 修正 補完하여 나가야 할 것이다.

일반적으로 合理式에는 等分布 降雨를 적용하지만 실제 강우가 그렇게 일정한 강도로 내릴 수는 없는 것이므로 設計 目的을 위해서는 Huff 분포형을 가정하여 지역에 따른 분포값을 선정한다든지, 아주 단순화된 방법으로 三角形 分布 降雨를 가정하는 등의 방법이 보다 합리적이라고 볼 수 있다.” 그리고 실측치가 없는 현실정을 감안하여 등분포 강우와 강우 시작으로부터

表 2. 降雨 強度 公式¹³⁾

단위: mm/hr (강우강도)

재현기간	3년	5년	20년	본 연구
인천지역	343 / - / (t+0.5)	400 / - / (t+0.39)	529 / - / (t+0.15)	계양지구 적용
서울지역	357 / - / (t+0.21)	420 / - / (t+0.19)	569 / - / (t+0.11)	작동지구 적용
전주지역	353 / / t ^{0.58}	416 / / t ^{0.58}	10069 / / t ^{0.58}	동흥지구 적용
충부지방	446 / - / (t-0.38)	520 / - / (t-0.35)	697 / / (t+56)	송의지구 적용

表 3. 降雨 強度 公式 比較表(서울 地域)

단위: mm (총강우량)

구 분		이원환	서울시	건설부			비율 최대/최소
재현기간	지속기간			TALBOT	SHERMAN	ISIG	
5년	30분	37.1	41.3	41.3	38.2	38.4	(1.11)
	60분	52.9	58.7	57.6	55.5	55.7	(1.11)
	120분	75.4	83.3	71.7	80.8	80.2	(1.16)
20년	30분	50.9	58.8	64.0	59.0	59.4	(1.26)
	60분	72.4	83.6	88.6	85.8	85.8	(1.22)
	120분	102.9	118.6	109.8	124.6	123.1	(1.21)

강우 지속기간의 39 % 에 해당하는 시점에서 최대우량이 되는 삼각형 분포를 고려하고자 한다. 또한 流域에서의 流出을 模擬하기 위해서는 무엇보다 먼저 그 流域의 철저한 分析이 先行 되어야 하며 적용모델의 特性을 알고 그에 적합한 자료들을 도출해내야 한다. 이와 같은 견지에서, 그 流域의 분석을 위하여 流域地圖, 等高線圖, 流域 分割 및 흐름도, 土壤型 分布圖, 航空寫眞, 流域內 主要地點의 水平寫眞, 開發計劃 平面圖, 雨水計劃 平面圖 또는 排水 管網 配置圖 등이 세부 流域 구성비율을 포함한 流域特性을 分析하기 위하여 필요하다. 항공사진은 流域을 검토하기 위해서 두장의 항공사진이 필요하다. 아울러 洪水災害 防止를 다루는 문제에서는 流域내의 농경지중 논이나 저수지등은 마치 불침투역처럼 작용할 수 있다는 점을 감안하여 자료 값을 조정하여야 한다.

3.1 模擬 模型의 國內流域 適用

본 연구에서는 4개의 국내유역을 택하여 그 결과들을 위주로 수록하였으며 모형의 세부 사용 절차 및 자세한 流域특성은 보고서⁴⁾에 잘 나타나있다.

가. 論山 東興 地區⁴⁾

이 유역은 충남 논산군 강경읍 동흥동에 위치한 곳으로 住居地와 農耕地가 주를 이루며 약간의 林野가 있는 지역으로 유역 면적은 0.446 km²(44.6 ha) 이다.

분석결과 流出率(총유출율/총강우량)은 73~ 75 %가 되었으며, 삼각형 분포강우시 尖頭流量은 등분포 강우시 보다 8~11% 더 큰 값을 보였다. 두 모델의 流出係數는 ILSD 모델의 값이 ILLUDAS 모델의 값보다 8~20% 더 큰 값을 나타내고 있다. 이것은 투수지역에서의 흐름길이(유로연장)가 길 경우 Izzard공식¹²⁾을 사용하는 ILLUDAS 모델이 ILSD 모델 보다 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되며, 투수지역이 많은 유역에

ILLUDAS 모델을 적용할 경우 주의가 요망됨을 알 수 있다. 가장 큰 尖頭 流量을 발생시키는 降雨 持續時間에 대한 결과들이 표 4 에 수록되어 있다.

表 4. 尖頭 流量 (論山 東興 地區, 再現期間 5 年)

구 분	등분포 강우		삼각형 분포 강우	
	ILLUDAS	ILSD	ILLUDAS	ILSD
강우 지속 시간	40분	25분	75분	40분
총 우 량 (m ³)	20708	16630	27913	20708
총 유 출 (m ³)	15169	12316	20934	15621
유 출 율 (%)	73.3	74.1	75.0	75.4
침투유량(m ³ /sec)	5.70	6.76	6.34	9.46
유 출 계 수	0.66	0.79	1.02	1.10

나. 仁川 崇義 地區⁴⁾

이 유역은 인천 직할시 남구 송의동에 위치한 곳으로 농경지나 임야가 없는 都市 住宅地域으로 유역 면적 1.2388 km² (123.88 ha) 이다. 분석결과 流出率은 74~79% 로 유역내의 철도역부근, 학교운동장, 군시설물 및 일부 수목지역을 고려할 때 충분히 적절한 값으로 판단된다. 尖頭流量은 ILLUDAS 모델과 ILSD 모델이 비슷한 결과를 보여주고 있다. 이 유역도 삼각형 분포 강우시의 침투유량이 등분포 강우시보다 18% 정도 큰 값으로 나타나고 있어, 降雨 分布型에 대한 研究의 必要性을 입증해 주고 있다. 가장 큰 침투유량을 발생시키는 降雨 持續時間에 대한 결과들이 표 5 에 수록되어 있다.

表 5. 尖頭 流量 (仁川 崇義 地區, 再現期間 5 年)

구 분	등분포 강우		삼각형분포 강우	
	ILLUDAS	ILSD	ILLUDAS	ILSD
강우 지속 시간	15분	15분	20분	20분
총 우 량 (m ³)	33479	33479	33479	37790
총 유 출 (m ³)	26315	24824	26241	28497
유 출 율 (%)	78.60	74.10	78.40	75.40
침투유량(m ³ /sec)	27.41	28.28	31.44	33.38
유 출 계 수	0.74	0.76	1.00	1.06

다. 桂陽 地區 流域⁵⁾

이 유역은 인천시 부평동 계양산 동편 기슭에 위치한 住居地域 이지만 유역외의 林野인 桂陽山으로 부터의 유입을 고려해야하는 지역이다.

表 6. 流域 出口 尖頭流量 (仁川 桂陽地區, 再現期間 5 年)

세부 구역	구분	총유량 (m ³)	총유출 (m ³)	유출율 (%)	침투유량 (CMS)
G-1	등분포강우 (ILLUDAS)	4013	2043	50.9	0.70
	삼각형강우 (ILLUDAS)	5519	2952	56.4	0.90
	삼각형강우 (ILSD)	1616	752	46.5	1.06
G-2	등분포강우 (ILLUDAS)	3380	2127	62.9	1.05
	삼각형강우 (ILLUDAS)	5046	3392	67.2	1.22
	삼각형강우 (ILSD)	1307	707	54.1	1.18
G-3	등분포강우 (ILLUDAS)	724	539	74.5	1.52
	삼각형강우 (ILLUDAS)	1022	805	78.8	1.81
	삼각형강우 (ILSD)	738	552	74.8	1.27

토개공에 의하여 주택지로 개발된 이 지역은 기존의 주택지와 임야 사이의 傾斜面에 開發 되었으므로 배수 계통도 하나로 형성시키지 않고 여러곳에서 기존 주택지의 것에 연결시키는 방법을 사용하여 유역 전체를 일체로 해석하기 보다는 주로 임야로 이루어진 투수유역(G-1 區域), 임야인 투수 유역과 도로 및 단독주택들로 구성된 불투수유역이 함께 있는 유역 (G-2 區域)과 아파트 단지로 이루어진 불투수 유역(G-3 區域)의 3개 유역에 대하여 분석하기로 하였다. 분석결과 流出率은 재현기간에 따라 달라지며 再現期間이 클수록 유출율도 커지는 것을 알 수 있다 (표 6). 透水地域인 G-1 유역의 유출율은 47~66%, 混合地域인 G-2 유역의 유출율은 54~76%, 不透水地域인 G-3 유역의 유출율은 75~81%로 각 지역의 특색을 잘 나타내고 있다.

라. 富川市 鶴洞地區⁵⁾

이 유역은 경기도 부천시 동쪽 경인 고속도로 남단에 위치한 곳으로 住居地域으로 만들기 위한 整地作業과 도로작업 및 배관 공사가 모두 완료되었으며, 面積이 59.1 ha인 유역이다. 주택단지를 위한 유역이 전체의 29%인 17.1 ha이며, 집단생활 영역을 제외한 대부분이 산이고 약간의 논이 남아 있다. 산기슭으로부터 택지로 자유로이 유입되는 유량을 제어하고 산사태 방지를 위해 산기슭과 택지 사이의 경계 부근에는 수로를 만들어 집수정으로 유량을 유도하

도록 되어 있다.

모델 적용 計算結果로 표 7에 유역 출구지점의 尖頭流量을 제시하였다. 여기에 제시된 결과는 ILLUDAS 모델에 등분포 강우와 삼각형분포 강우를, ILSD 모델에는 삼각형 분포 강우를 적용하여 얻어졌다. 유역 전체에 대한 流出係數는 등분포 강우 해석시 0.6 정도였고 삼각형분포 강우해석에서는 1.0 정도로 나타났다. 유출계수는 본래 등분포 강우를 고려하는 합리식 방법에 대한 것이므로 유출계수 0.6은 유역의 60%를 넘는 지역이 삼림지역인 것을 감안할 때 충분히 적절한 값으로 판단된다.

表 7. 流域 出口 尖頭流量 (富川市 鶴洞地區)

구분	등분포강우 (ILLUDAS)		삼각형강우 (ILLUDAS)	
	5	20	5	20
재현기간(년)	5	20	5	20
지속시간(분)	35	35	75	65
총유량(m ³)	21,847	30,036	32,620	41,204
총유출(m ³)	12,371	20,350	20,032	28,968
유출율(%)	0.57	0.68	0.61	0.70
침투유량(CMS)	5.71	9.28	6.90	10.70
유출계수	0.55	0.66	0.96	1.02

3.2 都市化 效果 分析

도시화가 안 된 유역이 점점 都市化되어 갈 경우 流出이 어떻게 변하는가를 分析하기 위하여 ILLUDAS 모델을 만들면서 사용되었던 W-1 流域을 선정하였다. 都市化의 程度는 10%, 30%, 50%, 70% 와 90%로 나누어 생각하였다. W-1 유역의 면적은 16.7 에이커이며 土質은 SCS

토양형중에서 C 형에 속하며 先行 土壤 含水條件(AMC)은 홍수통제 측면에서 유역 출구에서의 유출량을 증가시키는 (침투량을 적게하는) 경우에 해당되는 AMC-III 또는 AMC-IV가 고려될수 있으나 본 연구에서는 AMC-III의 상태를 택하였다. 유역에 적용되는 강우는 서울지방의 강우 강도식을 준용하여 연구하였다. 실제 적용에는 해당 유역의 강우를 적용하는 것이 타당하겠으나 여기에서 취하는 것은 도시화의 정도에 따라 유출율과 유출계수가 어떻게 변화 하는가를 ILLUDAS 모델과 ILSD 모델을 통하여 비교 분석하는데 있으므로 이와 비슷한 서울지역의 유역으로 간주할 수 있을 것이다. 시간에 따른 降雨 分布는 합리식에서 등분포 강우를 고려하게 되므로 우선 등분포강우에 대하여 해석하였고 합리식과 비교 하기 위해 最大流量, 流出率과 流出係數를 계산하였다. 그러나 실제 강우는 강우 지속 기간동안 등분포로 오게되지 않고 강우 지속시간의 대략 20 ~ 45% 되는 곳에서 최대가 되는 것이 보통이다. 그러므로 홍수 조절 목적을 위해서는 강우 분포 특성이 해당 유역 또는 그 지방에 따라 어떻게 변화하는가가 중요한 인

자가 되는 것이다. 현재 이에 대한 연구가 부족하여 본 연구에서는 등 분포 강우와의 비교 목적으로 사용키 위해 강우 지속기간의 1/3인 33% 지점에서 최대 우량이 되는 삼각형 우량 주상도에 의한 결과를 함께 수록하였다. 또한 강우강도는 재현기간에 따라 달라지게 되므로, 再現 期間에 따른 變化도 확인할 수 있도록 재현기간 3년과 20년에 대하여 해석하였다. 이들 결과는 표8 과 표 9 에 수록되어 있으며, 표 10 에는 流域傾斜에 따른 尖頭 流量 變化가, 그리고 표 11 에는 降雨持續時間 에 따른 尖頭流量의 變化가 표시되어 있다. 강우 지속시간을 결정하기 위한 전산 작업은 이미 언급된 바와 같이, 여러가지의 강우지속기간에 의하여 얻어지는 침투유량들 중 최대값이 되는 경우를 택하였다.

結果를 分析해 보면 포장된 지역에서는 ILLUDAS 모델에 의한 침투 유량이 ILSD 모델에 의한 것보다 5~10% 많았고, 비포장지역에서는 도시화가 30%정도일때 ILSD 모델에 의한 침투 유량이 ILLUDAS 모델에 의한 것보다 40% 정도 많았다. ILLUDAS 모델과 ILSD 모델은 본래 도시유역에 사용토록 만들어 졌고, 도시지역은 일반적으로

表 8. 等分布 降雨 解析 (W-1 流域)

1) 再現期間 3 年

도시화 (%)	ILLUDAS					ILSD				
	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수
90	8	86.6	75.8	76	0.88	10	77.7	68.1	78	0.88
70	7	92.4	64.3	65	0.70	9	81.8	62.5	67	0.76
50	6	99.5	49.3	55	0.50	8	86.6	54.0	56	0.62
30	6	99.5	31.8	43	0.32	8	86.6	43.2	46	0.50
10	5	108.7	13.1	29	0.12	12	71.1	33.2	26	0.47

2) 再現期間 20 年

도시화 (%)	ILLUDAS					ILSD				
	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수
90	8	148.8	132.8	82	0.89	10	133.6	119.2	83	0.89
70	7	158.8	112.6	73	0.71	9	140.6	113.8	74	0.81
50	6	171.1	87.6	65	0.52	8	148.8	103.3	65	0.69
30	6	171.1	56.7	54	0.33	8	148.8	87.7	57	0.59
10	5	186.7	24.8	42	0.13	12	122.2	69.4	49	0.57

表 9. 三角形 分布 降雨 解析 (W-1 流域)

1) 再現期間 3 年

도시화 (%)	ILLUDAS					ILSD				
	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수
90	15	63.7	87.1	80	1.37	17	59.9	78.8	80	1.32
70	11	74.1	74.0	68	1.00	16	61.8	73.4	70	1.19
50	9	81.8	57.3	57	0.70	15	63.7	64.1	59	1.01
30	10	77.7	36.8	45	0.47	15	63.7	52.3	49	0.82
10	9	81.8	15.3	32	0.19	20	55.3	40.3	38	0.73

2) 再現期間 20 年

도시화 (%)	ILLUDAS					ILSD				
	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수	강우 (분)	iA (fps)	Qp (fps)	유출율 (%)	유출 계수
90	15	109.6	149.8	84	1.37	17	103.1	136.0	84	1.32
70	11	127.5	131.1	75	1.03	16	106.1	130.4	76	1.23
50	9	140.6	101.0	66	0.72	15	109.6	119.6	67	1.09
30	10	133.6	65.9	55	0.49	15	109.6	103.6	59	0.95
10	9	140.6	28.6	44	0.20	20	95.2	85.4	50	0.90

表 10. 流域 傾斜에 따른 尖頭流量 變化 (W-1 流域, 再現期間 3 年)

도시화 (%)	등분포 강우		삼각형분포 강우	
	기본경사	경사증가(2배)	기본경사	경사증가(2배)
	ILLUDAS/ILSD	ILLUDAS/ILSD	ILLUDAS/ILSD	ILLUDAS/ILSD
90	75.8 / 68.1	81.5 / 72.8	87.1 / 78.8	93.7 / 84.7
70	64.3 / 62.5	70.0 / 67.0	74.0 / 73.4	80.8 / 78.2
50	49.3 / 54.0	53.0 / 58.4	57.3 / 64.1	61.5 / 68.6
30	31.8 / 43.1	34.8 / 46.7	36.8 / 52.3	40.3 / 56.2
10	13.1 / 33.2	13.8 / 35.4	15.3 / 40.3	16.3 / 43.3

表 11. 降雨 持續時間에 따른 尖頭流量 變化 (W-1 流域)

1) ILLUDAS, 等分布 降雨 (再現期間 3 年, 都市化 90%)

강우지속(분)	5	6	7	8	9	10	15	20	50
Qp(fps)	57.7	64.7	71.2	75.8	73.2	69.3	56.9	49.4	31.4
Qp/Qpmax	0.76	0.85	0.94	1.00	0.96	0.91	0.75	0.65	0.41
유출계수	0.53	0.65	0.77	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89

2) ILSD, 等分布 降雨 (再現期間 3 年, 都市化 90%)

강우지속(분)	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Qp(fps)	57.1	62.0	66.5	68.1	66.2	63.4	61.0	58.8	56.9
Qp/Qpmax	0.84	0.91	0.98	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.84
유출계수	0.62	0.72	0.81	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89

3) ILLUDAS, 三角形 分布 降雨 (再現期間 3 年, 都市化 90%)

강우지속(분)	11	12	13	14	15	16	17	70	100
Qp(fps)	86.2	86.4	86.8	87.0	87.1	86.5	84.5	50.6	43.1
Qp/Qpmax	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.58	0.49

4) ILSD, 三角形 分布 降雨 (再現期間 3年, 都市化 90%)

강우지속(분)	13	14	15	16	17	18	19	20	25
Qp(fps)	77.0	78.0	78.1	78.7	78.8	78.2	77.2	76.9	73.3
Qp/Qpmax	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	0.98	0.98	0.93

주택주변의 녹지나 운동장, 공원 용지등의 투수 지역을 고려하여 都市化를 60~80% 로 본다면 두 모델의 차이는 별로 없음을 알수 있다. 유역 경사의 변화에 따른 효과를 검토하기 위하여 기존의 W-1 유역의 침투유량과, 流域 平均 傾斜를 두배로 增加시켜 얻어진 결과를 비교한 결과 경사가 두배일 때의 침투유량이 기존의 경우보다 5~12% 정도 많게 나타났다. 또한 삼각형분포의 강우에 의한 침투 유량이 등분포 강우때보다 40~60% 많았다. 그러므로 降雨의 形態가 어떤 분포를 이루는가에 대한 研究의 必要性이 絶실하다.

4. 檢討 結果

어느 유역에 대한 水文學的 特性을 구명하기 위해서나 또는 水工構造物의 設計에 있어서 降雨와 流出間의 關係를 수립하는 것은 매우 필요한 작업이며, 그 필요성은 都市化 流域의 증가와 함께 더욱 증가되어 진다.

이들 관계 수립에는 표 12 에서 보는 바와 같이 몇가지 형태의 경우를 고려할 수 있으나, 이중 도시화 유역에서 홍수 통제 문제를 다루기 위해

보편적으로 사용되어지는 것은 都市化 形象과 降雨 形態가 주어졌을 경우, 該當 流域에서 발생되는 流出量을 決定하는 것이다. 그러나 유역에 적용할 모델을 만들거나 기존의 모델을 사용하고자 할 때, 그 모델의 타당성 여부를 판별하기 위하여는 강우 입력과 유출 출력이 측정된 지역에 대하여 그 모델을 적용하여 妥當性을 檢討하고, 필요시 모델을 修正 補完하는 것이 絶차이다. 불행하게도 우리나라 도시지역에는 이들 입출력 자료가 없어, 본 연구에서는 외국에서 만들어지고, 타당성이 검토된 모델을 그대로 사용하고 강우 입력도 이에 따라 설계 강우로 사용될 수 있는 等分布 降雨와 三角形分布 降雨만을 고려 하였다.

실제로 설계에 적용시키기 위한 設計 降雨 形態는, 단순 형태를 고려한다 하더라도 앞에서 검토된 등분포, 삼각형 분포에 추가하여 사다리꼴형, Huff형 등이 고려될 수 있을 것이다.⁶⁾ 또한 이 강우 형태를 어떻게 보는가에 따라 침투 유량에 변화를 가져오므로 이의 연구가 필요하게 된다.

앞에서 5 개의 유역에 두개의 모델을 적용하여 도시화의 효과에 따른 영향을 분석하였으며 이

表 12. 降雨 - 流出 關係 解析 類型 14)

Mode	Input	Transformation		Output
		parameters	coefficient values	
Prediction	known	known	known	?
Calibration	known	known	?	known
Verification	known	known	known	?(=known?)
Detection	?	known	known	known
Parameter identification	known	?	known(?)	known
Sensitivitiy	known	known	known	?

를 통해 얻어진 結果를 綜合하면 다음과 같다.⁹⁾

가. 降雨 強度式의 統一

유역이 결정되면 그 유역에 적용할 降雨 強度式 (또는 I-D-F 곡선)이 필요하게 되는데 서울시 또는 각 지방과 건설부에서 발표한 값이 틀리므로, 전국을 통하여 각 지방에 통일된 값이 제시되어야 한다. 자료가 부족하거나 연구가 미흡할 지라도 현재로서 최선의 값을 정하여 사용하고 점차로 공식들을 수정해 나가야 할 것이다. 최근 建設部에서 發行한 水資源 管理技法 開發 研究 調查 報告書를^{1,2)} 이용하여 각 지역에 대한 確率 降雨量을 구할 수 있으므로 앞으로는 어느 부서나 어느 업체 또는 어느 연구기관할것 없이 이들 자료를 공식적으로 이용해 나가게 될 것을 기대한다.

나. 適正 流出 係數 使用

표면유출에 대한 流出係數는 ASCE에서 발표된 값이^{4,5)} 널리 사용되고 있으므로 현재로서는 이들 값을 사용하는 것이 가장 타당하다고 생각되며, 넓은 유역에는 주어진 流出係數 範圍중에서 낮은 값을 사용하고 가파른 유역에서는 높은 값을 사용하여야 할 것이다. 주어진 再現期間의 效果도 고려하여 재현기간이 클 경우 주어진 범위중에서 높은 값을 사용하도록 한다.

다. 降雨 分布型 研究의 必要性

앞의 적용 분석에서 단순히 등분포 강우와 삼각형 분포 강우를 비교해 본 결과 그 차이가 크다는 것을 확인하였다. 그러므로 우리나라에서는 降雨가 어떤 分布로 내리는 가에 대한 研究와 이의 適用이 要望된다.

라. 都市 水文量 測定 實施

도시 수문량의 측정 결과가 없어, 연구된 결과와 실측값을 비교 검토하면서 그 질을 높이고 도시 수문 문제를 해결하여야 하는 데 현재는

큰 어려움이 있다. 많은 수문량 모의 모델들이 외국에서 개발 사용되고 있으나, 우리가 이들 모델을 그대로 사용할 때라도 프로그램 내의 각종 계수 사용은 그 지역에 보다 타당한 값으로 수정 보완하여 우리의 것으로 하여야 할 것이다. 그러므로 都市 水文量은 繼續的으로 測定되어야 한다. 이것은 어느 개인에 의하여 이루어질 수 있는 것이 아니므로 國家的인 事業으로 이루어져야 한다.

마. 設計에 따른 施工 實施

유역에서의 유출량을 계산하여 관로의 직경과 경사를 제시하고 배관하는 과정에서 안전율을 고려하여 계산하게 되므로 특별한 경우가 아니면 고려된 재현 기간내의 강우에 대하여는 유역 상황이 변동되지 않는 한 별로 문제가 되지 않는다. 또한 새로 개발되어 도시화 되는 상류지역의 배수에 의해 하류지역에 물 문제를 야기하게 될 때에는 하류지역의 주관로에 직접 연결시키지 않고 통상 별도의 관로를 이용하여 배수 체계를 이루도록 설계되는 것이 보통이다. 그러나 施工過程에서 관의 埋設傾斜를 임의로 조정한다든가, 비록 일어나서는 안되는 일이지만 별도 배수체계의 設計指示를 무시하고 하류지역의 관에 직접 연결시키는 일 등이 발생되어서는 안될 것이며 이런 과오는 필연적으로 그 지역에 물 문제를 야기시킬수 있다. 그러므로 시공은 설계에 따라 이루어져야 하지만 불가피할 때는 그에 따라 야기될 수도 있는 問題點을 檢討하고 設計 圖面에도 修正이 가해져서 차후 연구에 도움이 되도록 하여야 할 것이다.

바. 管路 및 맨홀의 적절한 補修維持

비록 배수 계통이 제대로 설계되고 시공되었다 하더라도 이들 계통에 堆沙가 이루어져 제기능을 발휘할 수 없다면 이것은 필연적으로 유역 물 문제를 수반하게 된다. 실제로 물 문제가 발생한 유역에서는 관로 단면의 절반 이상이 흙,

자갈, 모래등의 오물로 꼭 채워져 통수기능을 제대로 못한 경우가 많다.

사. 問題點 記錄 維持 및 情報交換

일반적으로 流域 물 問題를 연구 검토하는 사람과, 물 문제가 실제지역에서 얼마나 어떻게 심각하게 발생하였는가를 알고 있는 사람이 다른 경우가 많고, 어느 유역이나 장소에서 물 문제가 발생하면 그에 따른 책임추궁 등의 부수적인 문제들 때문에 그 문제를 쉬쉬해 버리고 없었던 것으로 하는 등의 불합리성 때문에 차후 설계나 시공에서 (같은 사람이 과업을 수행하는 경우가 아니므로) 그와 똑같은 문제를 재발 시킬 수 있게 된다. 심지어는 어느 도시의 일부 지역에서는 매설된 관로가 역경사로 매설되어 물 문제가 일어났어도 그 지역의 배관도는 찾아 보기 힘들고 있다하여도 實際 施工된대로 記錄을 추가한 것이 아닌 공사계획도면 정도여서 같은 실수를 방지하는데 전혀 도움을 주지 못하고 있다. 그러므로 현장에서나 또는 설계과정에서나 어느 경우라도 잘못된 것이 발견되면 그 원인과 해결 방안을 精密 記錄 維持하고 相互情報交換에 의해 같은 오류가 발생하지 않도록 최선을 다하여야 할 것이다.

아. 繼續的인 研究 必要

앞의 적용 모델에서 유역을 검토 분석하기 위해 사용된 자료처럼, 該當流域의 分析을 위해서는 圖上研究로서 지도, 항공사진, 개략도양도 등을 사용하여, 보다 실제와 가까운 분석이 되도록 하고, 현지 연구로서 現場을 踏査하는 등으로 현재의 상황을 파악하여야 한다. 이와같이 얻어진 자료를 사용하여 적합한 방법과 모델로 홍수량을 산정하여야 할 것이다. 그러나 어떤 방법이나 모델이 선택 사용될 때에 이의 정확한 사용을 위해서는 많은 여러가지 경우에 적용해보고 분석해 본 經驗의 축적이 必要한 것이므로 임시 방편적으로 그때 그때에 필요시만 모델을

사용하는 것은 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 이런 견지에서 비록 훌륭한 모델이라도 그 모델이 자기 것이 될 수 있도록 계속적인 연구가 요망된다.

유역의 평균강우를 구하는 방법으로 등우선법이 가장 정확하게 제반조건을 고려할 수 있는 것은 사실이다. 그러나 이 방법은 이용자의 수준에 따라 Thiessen법이나 기타 다른 방법보다도 나쁜 결과를 이끌어 낼 수 있다는 점에 유의되어야 한다. 이것은 마치 연구유역의 충분한 검토나 연구없이, 그리고 使用方法이나 모델의 充分한 理解없이 그 모델이나 방법을 사용하는 것이 나쁜 결과를 줄 수 있다는 것과 비견될 수 있다. 그러므로 단순 합리식 방법이나 RRL 기법에 의한 결과가 간단하면서도 좋은 결과를 줄 수 있으나, 充分한 知識과 現地 適應力을 必要로 하며, 이런 지식은 기개발된 모델들의 유역 적용과 분석을 많이 실시해 봄으로서 터득될 수 있는 것이다. 아울러 계속적인 연구로 우리나라 고유의 모델을 개발하여야 하며, 使用되는 各種 係數들도 繼續 補完시켜 좋은 모델을 가질 수 있도록 하여야 할 것이다.

5. 結 論

都市化에 따른 流出에 미치는 變化들은 도시 지역에서의 홍수재해라는 측면에서 그 양의 변화를 검토해 보는 것이 필요하며 과연 해당유역이 책정된 재현기간에 해당되는 강우에 의하여 어떤 영향을 받을 수 있는가를 판단하고 이에 대한 대책이 필요하게 된다. 불행하게도 현재 우리나라에는 都市水文量의 測定結果가 없고 자체 개발된 유출 모형도 없는 실정이다. 이런 견지에서 본 연구에서는 외국에서 개발되고 그 타당성이 검토된 모델을 이용하여 임의 선택된 5개의 유역에 적용하였다. 그리하여 비록 제한된 몇가지 예시에 불과하였으나 都市化 程度에 따른 流出 水文量의 變化 程度를 檢討하고 해당

모델의 適用 可能性을 打診해 보았다. 본 연구에서 검토된 유역에 대한 결과들은 도시 유역 유출량 결정을 위해 사용하는데 무리가 없는 것으로 판단되었다. 그러나 도시화 유역에 이들 모델을 적용하는 데에는 모델 자체가 가지는 特性을 充分히 考慮하여야 한다. 예를 들면 해당 유역을 몇 개의 소구역으로 나누고 투수지역과 불투수지역을 분할할 경우와 각 소구역의 유로 연장 및 표면 평균경사들을 택할 때에 충분한 경험을 가지고 이루어져야 한다는 것이다. 이를 위하여는 해당유역의 지도, 항공사진, 수평사진, 개략 토양도, 관로 매설 현황등을 면밀하게 검토하고 현지를 직접 답사하여 유역을 분할하고 흐름의 방향을 포함한 제반 입력자료를 선정하여야 할 것이다.⁹⁾

分析 結果를 要約하면 재현기간 20년이면서 도시화가 30% 정도 이루어졌을 때 유출계수는 0.45 정도이고, 도시화가 50% 일 경우 유출계수는 0.6 정도 였으며, 도시화가 90% 정도일 때 유출계수는 0.9 정도의 값을 보여 주고 있다. 같은 상태에서 도시화가 70% 일때의 첨두유량은 도시화가 30% 일때의 첨두유량 보다 25~100% 더 큰 값을 보여주고 있다. 또한 再現期間이 증가함에 따라 모든 도시화 정도에서 유출계수는 약간씩 증가하는 경향을 보인다. 流域 平均傾斜가 2배 증가하였을 때의 첨두유량은 본래 경사일 때 보다 5~7% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 尖頭流量이나 尖頭流量 發生時間은 降雨 分布形態에 따라 크게 影響받는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 합리식의 기본인 등분포 강우 해석에 추가하여 일반적으로 많이 고려되는 三角形分布 降雨를 比較分析하여 수록하였으며 삼각형분포 강우시의 유출계수는 등분포 강우시보다 40~50% 증가한 것으로 나타났다. 이런 관점에서 우리는 먼저 각 지역에 적용해야 할 降雨強度式을 決定하는 것이 필요하며, 각 지역의 강우 분포형이 결정되어 있지 않은 우리나라 실정에서는 강우 분포형 결정에 대한 보다

많은 연구가 절실히 요구되는 바이다. 또한 우리 고유의 모델 開發과 이 모델의 妥當性 檢討 및 적절한 재해 방지연구를 위해 도시 水文量의 繼續的인 測定이 要望된다. 현재 우리 나라에는 도시 수문량에 대한 조사가 전무한 실정이므로 이에 대한 국가의 적극적인 뒷받침이 요망된다. 아울러 洪水量 算定과 災害 豫防을 위한 研究는 단지 그때 그때의 임시방편으로서가 아닌 계속적인 연구와 이를 통한 경험축적이 요망된다. 이와같은 기본적인 사항들이 어느정도 이루어지면 이들 자료를 이용하여 기존의 도시유역 전반에 걸친 流域別 檢討를 통해 災害防止에 대한 妥當性 檢討 및 對應對策이 樹立될 수 있을 것이며, 새로이 개발되거나 재개발되는 도시유역에 대하여는 都市 流出現況을 豫見하여 재해방지를 위해 취하여야 할 조치들이 都市計劃上에 反映되도록 하여야 할 것이다.

感謝의 글

本 研究는 韓國科學財團 目的基礎研究인 '都市 流域의 洪水 流出 排除를 위한 雨水管渠設計와 흐름 解析에 관한 研究의 一部로 이루어졌다. 研究를 支援해 주신 韓國科學在團에 感謝 드립니다.

參 考 文 獻

1. 建設部 (1988) "水資源 管理技法 開發研究 調査報告書 - 第 2卷, 韓國 確率 降雨量圖의 作成"
2. 建設部 (1988) "水資源 管理技法 開發研究 調査報告書 - 第 2卷 別冊 附錄, 韓國 確率 降雨量圖"
3. 李元煥 (1980) "都市河川 및 下水導 改修 計劃上의 計劃降雨量 設定에 관한 推計學的 解析", 大韓 土木學會誌, 第 28卷 4號, PP.81-94
4. 全炳浩 (1988) "都市開發에 따른 水害 加重影響分析 및 對策研究", 韓國 建設技術 研究院
5. 全炳浩 (1989) "都市 流出分析 및 模型化 研究", 韓國 建設技術 研究院

6. 全炳浩 (1990) "小河川 流域斗 尖頭洪水量 算定技法", 國際水文開發 (IHP) 研究報告, 建設部
7. Akan, A. O., and Yen, B. C. (1984) "Effect of Time Distribution of Rainfall on Overland Runoff", Analysis and Design of Stormwater Systems, Proc. of the Third IAHR/IAWPRC Conference on Urban Storm Drainage, PP.193-202, Goteborg, Sweden
8. Ikuse, T., Mimura, A., Takeuchi, S., and Matsushita, J. (1975) "Effects of Urbanization on Runoff Characteristics", IAHS-AISH Publication No.117, International Hydrologic Symposium in Tokyo, PP.377-385
9. Rao, R. A., Delleur, J. W., and Sarma, P. B. S. (1972) "Conceptual Hydrologic Models for Urbanizing Basins", Journal of Hydraulics Division, HY7, ASCE, PP.1205-1220
10. Stall, J. B., and Terstriep, A. L. (1972) "Storm Sewer Design - An Evaluation of the RRL Method", EPA-R2-72-068,
11. Terstriep, A. L., and Stall, J. B. (1974) "The Illinois Urban Drainage Area Simulation, ILLUDAS", Illinois State Water Survey, Campaign, Illinois
12. Yen, B. C. edited (1978) "Storm Sewer System Design", Workshop Notes, University of Illinois
13. Yen, B. C., Cheng, S. T., Jun, B. H., Voorhees, M. L., Wenzel, Jr., H. G., and Mays, L. W. (1984) "Illinois Least-Cost Sewer System Design Model : ILSD - 1&2 User's Guide", Research Report 188, University of Illinois
14. Yen, B. C. (1986) "Rainfall-runoff Process on Urban Catchments and Its Modeling", Proceedings, Urban Drainage Modeling, Dubronik, Yugoslavia Pergamon Press, PP.3-26