

산본천 유역의 유출계수 특성

이길춘*, 노재식**, 김경범***

1. 서 론

자연하천유역의 도시화에 따라 도로, 건물, 주차장, 상가 등이 건설되어 도시지역은 자연하천유역과는 상당히 다른 유출특성을 가지게 된다. 도시화의 영향으로는 자체시간의 감소, 유출량의 증가, 기저유출의 변화, 침투 및 증발산량의 감소 등이 있고 그에 따른 홍수피해는 불투수면적의 증가 및 우배수관거의 설치로 인한 첨두홍수량의 증가와 홍수도달시간의 단축 등이 주요 요인이다. 특히 기존 도시주변의 소하천유역에 신도시를 건설할 경우 도로 등의 포장으로 인해 많은 투수면적이 감소되고 하도 복개가 이루어져 그 문제의 심각성은 더욱 커질 것이다.

도시유역 배수관망의 해석 및 설계시 외국의 경우에는 지역특성에 부합되는 강우-유출 관계의 도시유출모형을 사용하고 그에 따른 많은 연구가 수행되고 있으나 국내에서는 기존에 개발된 외국의 유출모형을 그대로 적용하고 있다. 또한 홍수유출에 큰 영향을 미치는 도시화지역의 유역특성인자들에 대한 유출특성 분석이 미비한 상태에서 도시유출 모형을 사용하는 경향이 있다.

본 연구는 도시화지역에서 불투수면적의 증대와 하도정비, 토지이용상태 등의 정도에 따른 홍수유출특성과 수문분석을 실시하여 국내 도시유역에의 적합성 여부 파악과 합리식에 의한 유출량 산정에의 기본자료로 활용토록 함으로써, 도시화지역에서의 우수관거, 하도정비사업의 계획 및 설계에 기여하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 연구방법 및 유역자료

연구방법으로서는 산본 신도시의 설계도면, 1/5000 지형도 그리고 현장답사를 통하여 유출에 영향을 주는 유역면적, 토양상태 등의 유역특성인자와 유역을 분수계와 하수관망의 흐름에 따라 I, II, III, IV의 소유역으로 분할하였다. 분할된 소유역별로 산지, 능, 밭, 공원 등과 같은 투수지역과 공동주택, 단독주택, 도로, 상업지역 등의 불투수지역으로 세분화하여 각각 미국 토목학회의 유출계수를 이용하여 각 소유역별 유출계수와 전 유역의 유출계수를 면적가중유출계수로 환산하여 설계홍수량을 산출하였다.

* 단국대학교 토목환경공학과 교수

** 인덕대학 토목환경과 초빙교수

*** 단국대학교 토목공학과 박사과정

2.1 대상유역의 기본자료

대상유역은 대도시 인근지역의 자연상태지역을 개발하여 도시화한 지역인 안양천 지류의 산본천 유역으로서 아파트단지, 상가, 산림 등이 공존하고 있으며, 전반적으로 급경사 지역이다. 전체 면적은 9.78km^2 이며 하천길이는 3km 정도이고, 유역내 최고표고는 474m, 최저표고는 33m 이지만 표고 100m 이상되는 지역이 전체유역의 40% 정도를 차지하고 있으며, 산지 경사가 30~40%나 되는 급경사 산림지역으로 침·활엽수 혼합림이 주종을 이루고 있다.

유역의 하류지역에 해당하는 구 도시지역은 조밀한 단독주택 중심의 도시이며 우수 및 오수의 합류식 하수관거로 되어 있고 유역경사는 대체로 완만하게 이루어져 있다. 신도시 개발전인 1990년을 기준으로 유역의 이용현황은 전답 19.4%, 주거지역 12%, 임야 66.9%, 도로 및 기타 1.7%이다.

신도시화지역은 최고표고 110m로 대부분이 표고 100m 내외를 이루어 상류쪽 산지와 접하고 있으며, 구 시가지와 접하고 있는 지역의 최저표고는 45m이다. 신도시는 산본천유역의 중류지역에 위치하고 있으며, 면적은 4.189km^2 로 전체유역의 45.6%를 차지하고 있다. 개발지역 중 공원 및 녹지면적은 15.2% 정도이며, 상세한 토지이용현황은 표 1과 그림 1에 나타내었다.

표 1. 산본 신도시의 토지이용 현황

구 분	면적(km^2)	구성비(%)
주택용지	공동주택	1.680 40.2
	단독주택	0.231 5.5
상업용지	0.228	5.4
공공시설용지	학교	0.324 7.7
	공원·녹지	0.636 15.2
	공설운동장	0.082 1.9
	도로·철도	0.584 13.9
	광장	0.191 4.6
	관공서/기타	0.210 5.6
계	4.166	100.0

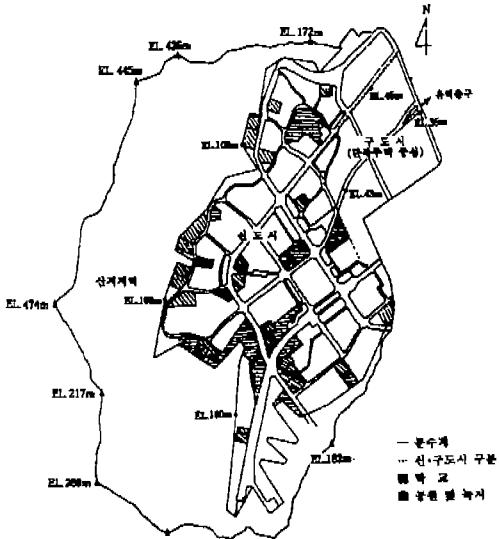


그림 1. 유역 토지이용 현황

2.2 지형자료

지형자료는 대한주택공사의 산본 신도시 건설 설계도면(1/5000, 1/200)과 군포시청의 지형도, 토지이용도, 배수판방도를 이용하여 유역경사, 불투수면적, 유하거리, 유역면적, 관로길이, 관로경사, 관의 형태, 관의 크기 등을 얻었으며, 산지지역의 유향(流向)은 지형도의 등고선으로 작성하였다. 또한 기본설계도와 상이한 시공으로 인한 오차를 줄이기 위해 주요지점에 대한 현장확인으로 수정하였으며, 수로경사 등의 자료도 주요지점을 선정하여 실제 현장을 측정한 후 설계도면과 비교·보완하였다.

소유역별 분할은 수문자료에 바탕을 두어 수위관측 시점을 출구로 하는 분수계로 구획하였다. 유역의 지형인자는 표 2에 나타내었다.

표 2. 유역의 지형인자

유역 번호	유역 면적 (km ²)	불투수 면적(km ²)	투수면적 (km ²)	불투수지역 경사(%)	투수지역 경사(%)	주관로 길이(m)
I	1.1615	0.3737 (32.18%)	0.7878 (67.82%)	2.56	29.80	1013
II	3.1775	0.7800 (24.55%)	2.3975 (75.45%)	3.09	40.70	1586
I, II	4.339	1.1537 (26.59%)	3.1853 (73.41%)	2.11	40.70	2359
III	2.2045	0.5199 (23.59%)	1.6846 (76.42%)	3.48	39.70	1772
II, III	5.382	1.2999 (24.15%)	4.0821 (75.85%)	3.09	40.70	1586
I, II, III	6.5435	1.6736 (25.58%)	4.8699 (74.42%)	2.11	40.70	2359
IV	3.2397	2.3157 (71.48%)	0.9241 (28.52%)	1.85	42.55	2982
전유역	9.7832	3.9893 (40.78%)	5.7940 (59.22%)	1.66	40.70	4059

2.3 수문자료

대상유역인 산본 신도시유역은 신도시 건설 당시 산림지역을 제외한 전유역의 배수망을 모두 정비하였으며 본류 하도의 경우에는 Box형 암거로 정비하였다.

호우시 유출량을 산정하기 위한 수위는 그림 2에서와 같이 제1홍수조절지 월류지점과 제2홍수조절지 유입부 2개 장소에 설치하고 자기수위계로부터 유역내 4개 관측지점에서 획득한 자료이다.

강우자료는 대상유역의 중심에 위치한 군포시청의 Digital 우량계의 자료와 인근지역의 안양, 의왕시청의 우량계와 대상유역으로부터 3km 정도 떨어진 안양과학대학내에 설치한 자기우량계의 자료로서 군포시청의 강우자료를 보완하여 획득한 10분 단위우량이다.

3. 결과의 비교 검토

본 연구에서는 대상유역인 산본천유역의 소유역별 불투수면적과 투수면적의 비율에 따른 유출계수의 산정을 기존 연구결과와 비교하여 적합한 유출계수 산정과 회귀모형식을 얻었다.

대상유역의 우수관거 조도계수는 흡관 및 콘크리트 Box형으로 정비되어 있으므로 조도계수 $n=0.015$ 를 적용하였으며, 하천개수 이전의 산본천의 조도계수는 $n=0.36 \sim 0.47$ 로 측정 조사되었으므로 본 연구에서의 자연하도 상태에서는 $n=0.04$ 를 선택하였다.

대상유역의 토지이용상태는 불투수면적과 투수면적의 비율이 각각 40.7%와 59.22%를 차지하고 있고 유출계수에 가장 큰 영향을 미치는 인자들로서는 면적, 토지의 피복상태, 경사, 흙의 종류 등을 들 수 있다. 본 연구는 유출계수의 여러 영향인자 중에서 가장 큰 영향을 미치는 인자인 면적과 토지피복상태에 따른 영향을 고려하였다.

3.1 저류영향에 따른 유출계수

투수지역과 불투수지역을 구분함에 있어 논의 유출계수가 0.70~0.80으로서 논의 저류영향을 고려한다면 불투수지역으로 분류함이 타당하고 회귀분석시 투수지역에서 제외시킴으로써 높은 상관도의 모형식을 얻을 수 있다고 판단된다.

따라서 논의 저류영향을 고려하여 불투수지역으로 포함시킨 유역의 현황과 모형식은 표 3과 같으며, 면적가중유출계수와 모형식에서 얻은 유출계수를 이용하여 합리식에 의해 구한 설계홍수량을 비교하여 나타내면 표 4~6과 같다.

본 연구에서 논의 저류영향을 고려하여 논을 불투수지역에 포함시켜 면적가중유출계수와 모형식의 유출계수를 합리식을 이용하여 각 소유역별 투수지역과 불투수지역으로 구분하여 설계홍수량을 구한 결과는 표 4와 같으며, 전체 불투수지역에 대한 결과는 표 5에 나타내었으며, 불투수지역의 결과는 표 6과 같다.

표 4에서와 같이 불투수지역 3.1%~12.6%와 투수지역 10.8%~24.7%의 차이를 보였다. 또한 전체 불투수지역의 설계홍수량을 면적가중유출계수와 모형식에 의해 산정된 유출계수로 비교하여 보면 $64.14\text{m}^3/\text{sec}$ 와 $60.30\text{m}^3/\text{sec}$ 로 6%의 차이를 보이고 있으며, 전체 투수지역은 $36.81\text{m}^3/\text{sec}$ 와 $33.30\text{m}^3/\text{sec}$ 로 9.54%의 차이를 보였다.

따라서 본 연구결과의 토지이용상태에 따른 불투수지역과 투수지역으로의 구분에 의한 유출계수의 결정에서 논의 저류영향을 고려하여 불투수지역에 포함시키는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 3. 논의 저류영향을 고려한 유역현황 및 유출계수

유역	소유역면적 $A(\text{km}^2)$	구 분	면적 $A(\text{km}^2)$	면적가중 유출계수	모형식
I	1.1615	불투수	0.4179	0.754	$C = 0.6952 A^{-0.0279}$
		투수	0.7436	0.296	$C = 0.2403 A^{-0.0641}$
II	3.1775	불투수	0.8738	0.694	$C = 0.6346 A^{-0.0815}$
		투수	2.3038	0.298	$C = 0.2745 A^{-0.0395}$
III	2.2045	불투수	0.5224	0.670	$C = 0.6790 A^{-0.029}$
		투수	1.6821	0.295	$C = 0.2439 A^{-0.0816}$
IV	3.2397	불투수	2.3157	0.697	$C = 0.6664 A^{-0.1077}$
		투수	0.9240	0.272	$C = 0.2024 A^{-0.1371}$

표 4. 소유역별 유출계수 및 설계홍수량의 비교

유역	구분	면적 A(km^2)	강우강도 I(mm/hr)	유출계수 C	설계홍수량 $Q_p(\text{m}^3/\text{sec})$
I	불투수 면적가중	0.4179	80	0.754	7.00
				0.712	6.61
	면적가중 모형식	0.7436	80	0.296	4.89
				0.245	4.05
II	불투수 면적가중	0.8738	80	0.694	13.48
				0.642	12.47
	면적가중 모형식	2.3038	80	0.298	15.26
				0.266	13.62
III	불투수 면적가중	0.5224	80	0.670	7.78
				0.692	8.03
	면적가중 모형식	1.6821	80	0.295	11.03
				0.234	8.75
IV	불투수 면적가중	2.3157	80	0.697	35.87
				0.609	31.34
	면적가중 모형식	0.9240	80	0.272	5.59
				0.205	4.21

표 5. 불투수지역 전체에 대한 유출계수 및 설계홍수량의 비교

구분	면적 A(km^2)	강우강도 I(mm/hr)	유출계수 C	설계홍수량 $Q_p(\text{m}^3/\text{sec})$
불투수지역 전체	면적가중	4.1298	80	0.699
	모형식			64.15
				60.30

표 6. 투수지역 전체에 대한 유출계수 및 설계홍수량의 비교

구분	면적 A(km^2)	강우강도 I(mm/hr)	유출계수 C	설계홍수량 $Q_p(\text{m}^3/\text{sec})$
투수지역 전체	면적가중	5.6536	80	0.293
	모형식			36.81
				33.30

4. 결 론

본 연구는 도시화 지역인 안양천 상류의 산분천 유역을 대상으로 토지이용상태에 따른 유출계수와 토지피복 면적간의 회귀분석으로 상관모형식 및 모형도를 개발하고 합리식의 의해 설계홍수량을 산정한 내용으로서 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 토지이용상태의 함수로 주어지는 유출계수는 유출에 크게 반영되므로 상이한 토지이용의 피복상태로 구성되는 복합토지이용 상태의 유역에서는 토지피복면적을 가중인자로 한 면적가중유출계수를 사용하여야 함이 타당할 것으로 판단된다.

(2) 종전의 유출계수 선정시 미국토목학회에서 투수지역으로 분류한 논의 유출계수(0.70~0.80)는 불투수지역 유출계수값의 범위에 해당되어 모형식의 적용결과에서 큰 편차를 보였으므로, 투수

지역만을 고려한 모형식을 사용함에 있어서는 토지이용상태에 따른 유출계수값의 편차를 고려하여 신중하게 비교 검토할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

(3) 저류영향을 고려한 설계홍수량을 추정한 결과, 각 소유역에서 불투수지역은 3.1%~12.6%, 투수지역은 10.8%~24.7%의 범위내에 포함되어 비교적 양호하였고, 모형식에서 불투수지역은 각각 $54.15\text{m}^3/\text{sec}$, $60.30\text{m}^3/\text{sec}$ 로 6.0%, 투수지역은 각각 $36.81\text{m}^3/\text{sec}$, $33.30\text{m}^3/\text{sec}$ 로 9.54%의 차이를 보여 논을 투수지역으로 간주했을 경우의 33.2%와는 큰 편차를 나타내고 있음을 확인하였다. 따라서 토지이용상태에 따른 불투수지역과 투수지역으로의 구분에 의한 유출계수의 결정에서 논의 저류영향을 고려하여 불투수지역으로 포함시키는 것이 타당할 것으로 사료된다.

5. 참고 문헌

- 1) 국립방재연구소 (1998), 「방재 조절지의 설계 지침 개발(I)」, 194-235.
- 2) 김원철 (1996), 「도시유출 특성에 관한 비교 연구」, 단국대학교 대학원 석사학위논문.
- 3) 건설부 (1982), 「안양천유역 종합치수대책 보고서」.
- 4) 노재식 (1993), 「하천홍수량의 지역빈도해석」, 단국대학교 대학원 박사학위논문.
- 5) 대한주택공사 (1990), 「산본지구 대지조성사업 실시설계 보고서」.
- 6) 대한주택공사 (1994), 「택지개발지구의 수리해석 기법 연구」, 12-14, 82-92.
- 7) 대한주택공사 (1998), 「택지개발에 따른 홍수유출량의 변화 연구」, 42-50.
- 8) 원석연, 윤용남(1993), 「도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시유출모형 연구」, 대한토목학회지 13 (5), 135-146.
- 9) 윤태훈 (1993), 「합리식과 우수관거」, 한국수문학회 제1회 수공학 워샵, 1-41.
- 10) 한국토지개발공사 (1989), 「도시소규모 단지의 강우-유출량 산정기법에 관한 연구」, 22-88.
- 11) 한국희 (1997), 「도시화 유역의 홍수유출 해석」, 단국대학교 대학원 박사학위논문.