토지이용도가 다른 소유역의 유출특성에 관한 연구

이동기[1], 박재현[2]

1. 서 론

유역의 수문학적 특성은 크게 지형학적 요소와 기상학적 요소로 구분할 수 있다. 이중 유역의 지형학적 특성은 유역의 형상특성, 면적 그리고, 유역의 토지이용 등에 영향을 받게 된다. 특히 소유역의 유출특성을 파악하기 위해서는 정확한 수문학적 분석이 필요하므로 연속적인 유출량 자료를 측정하여야하며, 이들 자료는 토지이용도가 서로 다른 유역의 강우 유출 특성 규명에 활용될 뿐 아니라 수문모형을 수행하는 검증자료로 활용되어진다. 본 연구에서는 산지, 농촌, 도시 등 크게 3가지 유형의 유역을 시험유역으로 설정하고 유량, 수질 자료를 수집하였다.

유역의 정확한 수문학적 분석을 위하여는 측정된 강우 및 유출자료가 있어야만 한다. 이를 위하여 연구기간 중 계속하여 수위 및 유량 측정을 수행하여야 하며, 이 자료를 이용하여 수위-유량관계곡선을 수립하여야 한다. 이 자료를 이용하여 강우에 따르는 유출관계를 구해낼 수 있으며, 이렇게 획득된 자료는 토지이용도가 서로 다른 유역의 강우 유출 특성을 규명하는 기초자료로 이용될 것이다. 또한 수질과 유출량의 자료분석을 통하여 유역의 전반적인 관리 기술을 확보할 수 있을 것이다.

유역의 수문학적 특성을 분석하기 위해서는 각 유역의 형상특성, 강우-유출 특성, 계절별 강우 및 오염원의 배출 특성, 강우사상별 오염원의 배출 특성 등을 분석하여야 한다. 이러한 유역의 특성을 비교 분석하기 위하여 본 연구에서는 서로 다른 특성을 가지는 3개의 유역을 설정하였다. 유역의 가장 중요한 특성인 유출특성을 분석하기 위하여 직접 측정된 자료인 강우-유출량 자료를 이용하였고, 유역의 형상들을 비교분석하였다.

2. 유역결정 및 유역특성

2.1 토지이용도가 다른 유역의 결정

토지이용도가 서로 다른 유역의 유출특성을 비교하기 위하여 3가지의 유역을 설정하였는데, 3가지 유역은 크게 도시 유역(김해시 내외동 해반천유역), 농경지(남원시 운봉읍 람천유역), 산림지역(지리산 만수천유역)으로 설정하였다. 도시유역으로 선정한 김해시 해반천 유역은 최근 김해시 내외동 신도시개발이 진행중인 지역으로 급격한 도시화가 일어나고 있어 도시유역의 특성을 잘 반영할 것으로 판단된다. 농경지 유역으로 선정한 람천 유역은 남원시 운봉읍, 인월면, 아영면 지역에 걸쳐있는 유역으로 아직 활발한 도시화가 이루어지지 않고, 유역의 상당한 지역이 농경지로 이용되고 있어 농촌지역의 유출특성을 잘 반영할 것으로 판단되어 진다. 산림지역 유역으로 선정한 만수천 유역은 지리산 국립공원 뱀사골이 위치한 지역으로 유역의 대부분이 산림으로 우거져 있어 산림지역의 유출특성을 잘 반영할 것으로 판단되어 진다.

2.2 유역별 특성

표 1 유역의 토지 이용도 (단위 ha, (%))

유역명	총면적	주거지	경작지			초지	삼림	도로	하천	수역	기타
			논	밭	과수원						
만수천	10,091 (100)	6 (0.06)	137 (1.36)	17 (0.17)	0.3 (0.003)	0.5 (0.005)	9,670 (95.83)	90 (0.89)	146 (1.45)	0 (0)	34 (0.34)
람천	14,917 (100)	226 (1.52)	2,975 (19.94)	1,163 (7.80)	5 (0.03)	301 (2.02)	9,057 (60.72)	439 (2.94)	216 (1.45)	0 (0)	534 (3.58)
해반천	2,276 (100)	552 (24.25)	97 (4.26)	145 (6.37)	1 (0.04)	0 (0)	1,084 (47.63)	199 (8.74)	28 (1.23)	8 (0.35)	162 (7.12)

1) 인제대학교 토목공학과 석사과정
2) 인제대학교 토목공학과 조교수

각 유역별 토지이용도를 나타낸 것으로 만수천유역은 산림지역이 95%이상을 차지하고, 람천유역은 다른 지역에 비하여 경작지가 많은 부분을 차지하며, 해반천 유역은 주거지, 도로등이 많은 부분을 차지하고 있다.

3. 수위-유량 곡선식의 개발

3.1 수위측정

본 연구에서는 연속적인 하천수위자료를 측정하기 위하여 각 유역에 3개의 수위계를 설치하였다. 본 연구에서 사용한 OTT사의 Orphemedes 제품으로 장치내의 공기압을 수위로 환산해주는 장치이다. 수위계의 원리는 다음과 같다. 우선 수위계 본체에서 소형 air compressor를 이용하여 공기압을 발생시키는데 이 공기를 물속에 설치된 air chamber에 공급하게 된다. air chamber 내에 작용하는 수압과 동일한 공기압이 작용할 때까지 계속하여 장치가 작동하며 수압과 chamber 내의 공기압이 평형이 되면 장치가 정지하게 된다. 이 때 공기압을 측정하고 이를 수위로 환산하면 된다. 수위계의 정밀도는 1cm 이내이며, 장치는 건전지를 이용하는데 한번 교환으로 약 3개월 정도 작동이 가능하다. 장치 내에는 자기 기록계가 설치되어 있어 약 400,000개의 자료의 저장이 가능하다.

수위계를 설치한 지역은 각 유역의 유출지점에 위치하여야 하며, 수위계의 설치가 용이한 지점이어야 한다. 다음 그림 1, 그림 2 는 수위계를 설치한 지역을 보여주고 있다.

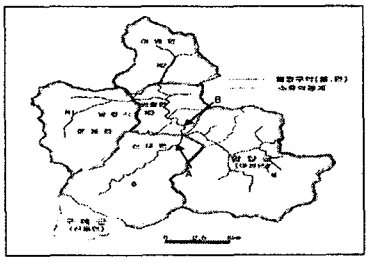

그림 1 람천, 만수천 수위계 위치도

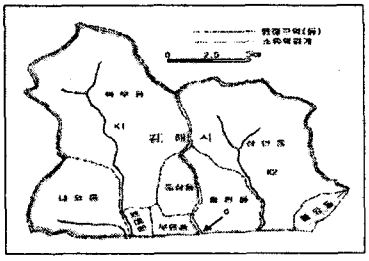

그림 2 해반천 수위계 위치도

3.2 수위유량 곡선식

수위-유량곡선식은 하천 수위를 유량으로 환산해 주는 식으로 수자원관리에 중요한 요소이다. 하천 유량자료는 홍수기 수방대책, 갈수기 수자원관리 등 물문제를 해결하기 위한 기본자료가 된다. 하천 유량은 주로 실시간으로 상시관측되는 수위자료를 수위-유량관계를 이용하여 얻어지고 있으므로, 정확한 수위-유량관계를 구하는 일은 매우 중요하다

수위-유량곡선식은 지수형과 포물선형 두 가지 형태가 사용되고 있으며, 다음 식 (1)과 같은 지수형이 수리학적 원리에 더 적합하므로 많이 사용되고 있다.

$$Q = a(h-b)^c \tag{1}$$

여기서 Q(㎥/s)는 유량, h는 수위(m), b는 유량이 '零'인 수위(the gage height of effective zero flow), a와 c는 상수이다. 식(1)의 상수를 구하기 위해 실무에서 사용되는 방법은 주로 곡선식의 양변에 로그를 취하여 선형회귀식을 구성한 후 최소제곱법(OLS, ordinary leasts square)을 적용하는 것이다. 이때 영유량 수위 b를 정확하게 측정하기는 어려우므로 다양한 기법에 의해 b를 결정하게 된다. USGS에서는 유량을 횡축으로 하고 수위를 종축으로 하는 양대수 그래프상에서 수위-유량 관측치의 형태가 직선화 하도록 영유량 수위를 결정하는 방법과 Johnson 방법을 사용하고 있다(Rantz et al., 1982). 한국수자원공사는 수문자료 분석시스템인 HYMOS를 개발하여 b의 값을 추정하고 있으며, 2001년 이길성등은 영유량 수위인 b를 1차원 최적화기법 중 하나인 황금비 분할법(golden section method)을 이용하여 구한 후 비선형최적화 기법을 사용하여 나머지 상수를 결정하였다. 본 연구를 수행하는데 있어서 b 값을 결정하는데는 측정값이 절대 부족하여, 다음식 (2)와 같이 직접 측정한 자료만으로 수위-유량곡선식을 구하였다.

$$Q = a \times h^{c} \tag{2}$$

3.3 각 하천별 수위-유량곡선식 개발

수위-유량곡선식은 하천 수위를 유량으로 환산해 주는 식으로 연속적인 수자원관리를 하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 하천 유량자료는 홍수기 수방대책, 갈수기 수자원관리 등 물문제를 해결하기 위한 기본자료가 된다. 하천 유량은 주로 실시간으로 상시관측되는 수위자료를 수위-유량관계를 이용하여 얻어지고 있으

므로, 정확한 수위-유량관계를 구하는 일은 매우 중요하다.
그림 3, 그림 4, 그림 5에 나타난 수위-유량곡선은 측정한 수위-유량자료를 회귀분석한 것으로 각 유역의 수위-유량관계곡선식은 표 2 에 나타내었다.

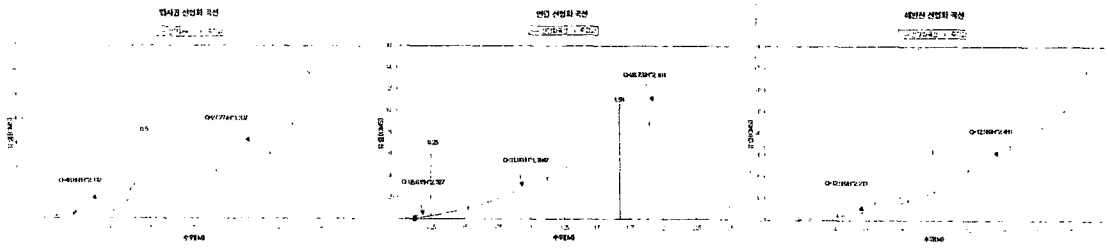

그림 3 만수천유역 수위-유량곡선　　그림 4 람천유역 수위-유량곡선　　그림 5 해반천유역 수위-유량곡선

만수천 유역은 수위가 0.5m일때를 기준으로 두 개의 식으로 구분했다. 수위계 설치지역에서 하류쪽으로 보가 설치되어 있어서 수위측정값이 보의 영향을 받기 때문에 이러한 보의 영향에 의한 오차를 줄여주며 연속적으로 수위-유량자료를 확보하기 위해 0.5m일 때를 기준으로 저수위, 고수위에 관한 수위-유량관계곡선식을 분리하여 작성하였고, 경계지점의 유량은 수위-유량자료의 연속성을 확보하기 위해 연결해 주었다.
람천 유역은 두 개의 구간으로 나누었다. 람천 유역의 수위측정지점 하상단면의 특징은 하도가 두 개로 나누어져 있어서 저수위 일때는 한쪽 하도는 물이 흐르지 않고 고여있는 상태이고, 한쪽으로만 흐른다. 그리고, 고수위 일때는 전체 하도에 흐르기 때문에 이러한 영향에 의한 오차를 줄여주기 위해 3개의 구간으로 나누어서 수위-유량관계곡선식을 구하였다.
해반천 유역은 1m를 기준으로 나누었다. 해반천 유역은 도시하천이고, 하천정비로 인해 복단면이 형성 되어있다. 따라서 저수위 구간을 흐르다가 고수부지 위를 흐를 때의 수위에 따른 통수단면적의 변화량이 불연속점이 발생하게 되며, 이러한 오차를 저감시키기 위해서 고수부지 높이인 1m를 기준으로 수위-유량관계곡선식을 구하였다.

표 2 수위-유량관계곡선식

유 역	수 위 (m)	수위(h)-유량(cms))관계곡선식
만수천	H < 0.5	Q = 48.865 × H^2.112
	H > 0.5	Q = 27.277 × H^1.887
람천	H < 0.25	Q = 65.615 × H^2.327
	0.25 < H < 1.58	Q = 31.008 × H^1.784
	H > 1.58	Q = 26.792 × H^2.101
해반천	H < 1	Q = 12.987 × H^2.218
	H > 1	Q = 12.987 × H^2.486

4. 각 유역별 유출자료

4.1 각 유역별 유출특성

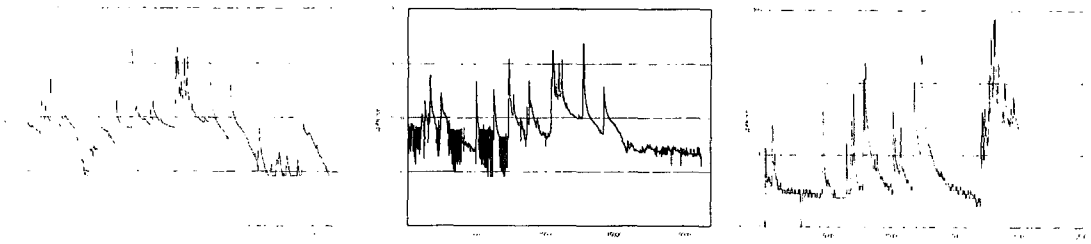

그림 6만수천 유역 유출량 그래프　　그림 7 람천 유역 유출량 그래프　　그림 8 해반천 유역 유출량 그래프

그림 6, 그림 7, 그림 8 은 수위-유량관계곡선식을 사용하여 수위자료를 유량자료로 계산한 것이며

4.2 토지이용도가 다른 유역의 유출특성 비교

각 유역의 유출특성을 비교하기 위하여 총 강우량에 대한 총 유출량, 직접유출량, 기저유출량의 비를 이용하였다. 이 값은 유역의 단위 면적, 단위 강우에 대한 유출량을 의미하기 때문에 각 유역의 유역면적과 강우량이 다르다는 변수를 제거한 자료이다. 물론 수문학적 특성상 선행강우의 영향, 강우사상의 강우강도 등

의 비선형적 요소를 포함하고 있어 이 수치들의 상관관계가 다소 약할 수는 있으나, 이들 자료의 평균값을 이용할 경우 강우량에 대한 유역의 유출 특성을 정성적으로 판단하는데 무리가 없을 것으로 판단된다. 앞서 각 유역별로 제시한 결과를 표로 나타내면 다음 표 3 과 같다. 괄호 안의 값은 총유출량/총강우량에 대한 각 항목의 비를 의미한다. 이 표 자료에 의하면 총유출률(총유출량/총강우량)은 람천, 해반천, 만수천의 순으로 나타났고, 직접유출률(직접유출량/총강우량)의 경우도 같은 순으로 나타났다. 하지만 총유출률에 대한 직접유출률의 관계를 살펴보면 해반천, 람천, 만수천의 순으로 나타났다. 이 것은 유출량중 직접유출에 의한 영향이 크게 나타난다는 의미를 가지고 있다. 이 것은 바꾸어 기저유출의 영향이 작다는 의미이기도 하다. 유출량중 기저유출의 기여도가 가장 큰 유역은 만수천유역으로 같은 순서를 보여주고 있다.

표 3 유역별 강우량에 따른 유출특성

	총유출량/총강우량	직접유출량/총강우량	기저유출량/총강우량
만수천	0.43(1)	0.29(0.67)	0.14(0.33)
람 천	0.49(1)	0.38(0.77)	0.11(0.22)
해반천	0.44(1)	0.36(0.82)	0.08(0.18)

* ( ) : 총유출량/총강우량에 대한 각 항목의 비

람천 유역과 만수천 유역을 비교분석해 보면 람천 유역이 만수천 유역보다 유출량이 많은 것으로 나타났는데, 이는 산지유역인 만수천 유역에서의 저류특성이 람천 유역의 저류특성보다 크게 나타난 결과로 판단되어진다. 또한 총 강우량에 대한 기저유출량의 비는 만수천 유역이 크게 나타나 산지유역이 침투에 의한 기저유출율이 큰 것으로 나타났다.

도시유역인 해반천 유역의 경우 하천을 통하여 발생하는 총 강우량에 대한 총 유출량의 비는 람천보다 오히려 작게 나왔는데, 이 원인은 도시지역의 하수관망에 의한 차집효과인 것으로 판단된다. 하지만, 총 강우량에 대한 기저유출의 비는 다른 유역에 비해 매우 작은 것으로 나타나 도시유역의 경우 유역의 저류효과가 상대적으로 미미한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 토지이용도가 다른 유역의 강우유출 특성에 관하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

5.1 산림지역의 강우 유출 특성

산림지역의 강우유출 특성을 분석하기 위하여 지리산 뱀사골을 포함하고 있는 만수천 유역을 시험유역으로 이용하였다. 만수천 유역의 총 강우량에 대한 총 유출량의 비의 평균 값은 0.43, 총 강우량에 대한 총 직접유출량의 비는 0.29, 총 강우량에 대한 총 기저유출량의 비는 0.14를 보였으며, 이는 농경지 유역인 람천 유역에 비하여 총 유출량의 비가 작으며, 기저유출비가 큰 특성을 보였다.

4.2 농경지의 강우 유출 특성

농경지역의 강우유출 특성을 분석하기 위하여 남원시 인월면, 아영면, 운봉읍에 걸쳐있는 람천 유역을 시험유역으로 이용하였다. 람천 유역의 총 강우량에 대한 총 유출량의 비의 평균 값은 0.49, 총 강우량에 대한 총 직접유출량의 비는 0.38, 총 강우량에 대한 총 기저유출량의 비는 0.11을 보였으며, 이는 산림 유역인 만수천 유역에 비하여 총 유출량의 비가 크며, 기저유출비는 작은 특성을 보였다. 이것은 람천 유역이 만수천에 비하여 저류가 적게 된다는 것을 의미한다.

4.3 도시 지역의 강우 유출 특성

도시지역의 강우유출 특성을 분석하기 위하여 김해시 내외동 신도시를 포함하는 해반천 유역을 시험유역으로 이용하였다. 해반천 유역의 총 강우량에 대한 총 유출량의 비의 평균 값은 0.44, 총 강우량에 대한 총 직접유출량의 비는 0.36, 총 강우량에 대한 총 기저유출량의 비는 0.08을 보였으며, 이는 산림 유역인 만수천 유역에 비하여 총 유출량의 비는 비슷하지만, 기저유출비는 매우 작은 특성을 보였다. 이것은 해반천 유역이 만수천 유역에 에 비하여 저류가 적게 된다는 것을 의미한다.

4. 참고문헌

윤용남, 1999, 공업 수문학, 청문각

이종석, 2001, 하천공학, 새론

김계현, 윤천주, 이상일, 2002, GIS를 이용한 홍수위험지도 관리 시스템 프로트타입 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 35(4) pp.359~366

정종호, 금종호, 윤용남, 2002, 도달시간 산정 방법의 개발, 한국수자원학회, 한국수자원학회 논문집,