

도시내 수문계측망 구축·운영을 위한 시험구역의 선정

이재철*, 한형근**, 권운혁***

1. 서론

도시화가 진행됨에 따라 더러 수리·수문학적 특성이 변화하게 되며, 기존의 자연유역과는 상이한 유출특성을 가지게 된다. 특히, 불투수면적의 증가 및 우배수관거의 설치로 인한 침투홍수량의 증가와 홍수도달시간의 감소는 도시유역의 홍수피해를 가중시키게 된다.

그러나 현실적으로, 이러한 연구목적에 활용할 정확성을 가진 자료가 절대적으로 부족하며, 도시유역의 수문자료 수집을 위한 대표성을 지닌 특성화된 시험구역이 없는 실정이므로 도시에서의 우수유출변화에 따른 특성연구에 기초가 되는 기본적인 수문자료(강우, 수위, 유속, 유량 등) 실측을 위한 시험구역선정 및 수문계측망 구축이 절실히 요구되는 바이다.

이를 위해, 본 연구에서는 도시개발을 위한 예비조사 및 도시개발후의 유출특성을 조사하기 위하여 필요시 되는 수문계측망 구축과 이를 통한 보다 과학적이며 지속적인 실측 수문자료의 수집 및 체계적인 운영관리를 위한 대표적인 도시내 시험유역을 선정하는데 기준이 되는 기법을 제시해 보고자 한다.

우선, 시험구역선정시 유역의 질과 적합성을 결정짓는 대표적인 평가요소로 접근성, 연계성, 유역 특성, 활용성, 제약성, 환경성 등을 설정한 후, 이를 바탕으로한 평가기준 세부항목에 따라 시험구역 적지를 선정하기 위한 합리적이고 객관적인 평가기준을 구체화시켜 보았다. 특히, 시험유역의 평가기준별로 선정의 적합성을 객관적으로 평가할 수 있도록 대표적인 평가요소 중 유역특성(유역면적, 유역경사, 불투수면적비율, 배수시정형태)항목을 중심으로 이 공사의 기개발된 도시지역을 대상으로 기초자료의 분석을 실시하여 평가기준을 설정하여 보았다.

2. 도시내 수문계측망 구축·운영을 위한 시험구역선정

2.1 시험유역의 개념

특별한 목적에 부합하는 지역에 대한 전체적인 수문변화를 비교적 정확하게 예측하고 분석하기 위하여 특정지역내의 수문자료 계측망을 대표적으로 운영함으로써 그 대상지역의 수문학적 특성을 가지고 각각의 목적에 부합하는 기타 지역에 반영할 목적으로 운영·관리하는 대표성을 가진 유역을 의미한다.

2.2 시험유역 선정시 고려사항

가. 입지조건

- 1) 접근 용이성을 우선 고려하여 관련 수문, 수질자료의 계측 및 수집이 용이하고, 대표 유역내에

* 한국토지공사 토지연구원 책임연구원 이재철

** 한국토지공사 토지연구원 주임연구원 한형근

*** 한국토지공사 토지연구원 연구원 권운혁

수문계측망 구축이 가능한 곳.

- 2) 선정 유역내나 인근에 관측소(우량, 수위, 수질 등)가 있어서 기존의 자료로 기초분석에 활용할 수 있는 곳.
- 3) 계측망이 설치된 인근에서 계측된 자료의 전달 및 유지가 편리하고, 계측장비의 유지관리에 안전을 기할 수 있는 곳.

나. 운영 목적에 따른 고려

1) 개발계획지역의 포함

도시화의 진행에 따른 수문과정의 변화를 연구 대상화할 경우.

2) 기 개발지역으로 선정

도시화된 지역에 대한 현재의 수문현상 및 수질 양상을 연구 대상화할 경우.

다. 유역특성

1) 면적(Area)

유출수의 추적과 수질성분의 추적에 영향을 주기 때문에 계측간격의 범위를 정하는 유달시간 범위와 관련해서 유역형상까지도 고려한 대표적인 유역면적을 정한다.

2) 토지이용(Land-Use)

도시유역의 유출량 및 유출수의 수질에 다양한 변화를 가져오는 요소로 도시계획에 따른 통상적인 유형(e.g 단독주거용지, 공동주거용지, 상업용지, 기타 시설용지)에 따라 토지이용유형의 수를 제한하지 않는 것이 중요하지만 대표성을 가진 유형이어야 한다.

3) 배수시설의 형태(Drainage Type)

미개발지역의 배수는 자연하천과 유로에 의해 이루어지지만 도시화가 진행됨에 따라 다양한 배수형태를 가지게 되는데, 즉 하수도망이 전 유역에 걸쳐 건설된 경우, 부분적으로 건설된 경우, 그리고 개수로로 이루어진 경우로 나눌 수 있다. 이는 보다 세분하여 합류식과 분류식 하수관거로 나뉘며, 이같은 유역의 배수시설형태는 유출에 상당한 영향을 미치게 된다.

4) 물리적 특성(Physical Catchment Characteristics)

불투수 면적비율, 유역경사, 토양의 특성, 침투능 등을 고려하는데, 지층과 하도간에 지표하 유출 등의 유출량이 가능한 최소로 변화를 일으켜야 하고 그 누수도 없어야 한다.

라. 계측기기 설치의 용이성 및 적합성(Availability and Suitability of Catchment and Gaging/Sampling Sites)

계측기기 설치장소의 용이성 및 적합성은 유역선정에 있어 중요한 고려대상으로 유출율의 변화, 도달시간의 변동 등 수문학적 현상들에 대한 조사와 배수시설에 대한 현장조사 즉, 하수관거시스템, 오염원지점을 조사한다. 또한, 하수거 방류지점과 하천지류 입구지점에 연관된 주요 집수하천에 대해서도 고려한다.

2.3. 평가요소 및 기준

시험유역적지를 선정하는데 중요하게 영향을 미치는 유역의 위치, 유역의 여건 등을 평가항목으로 설정하고, 이를 다시 평가요소로 세분화하고 각 요소에 대한 기준을 설정하여 시험유역을 선정한다. 각 평가요소 및 기준은 [표 1] 에서 보는 바와 같다.

[표 1] 평가요소 및 기준

구분	평가요소	평가기준	평가근거
유역의 위치	접근성	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 유역적으로 접근하는 교통망, 접근소요시간을 기준으로 하여 선정기준 설정. 접근거리 및 소요시간이 짧을수록 양호한 것으로 판단.
	연계성	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 시험유역과 연계가능한 개발계획지역과의 연계성이 높을수록 양호한 것으로 판단.
유역의 여건	유역특성 (대표성)	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 시험유역을 선정하는 대표적인 중요인자로서 유역면적, 배수시설형태, 토지이용, 물리적 특성(유역평균경사, 불투수면적비 등)에 따라 구분하여 선정기준 설정. 대표성을 가진 적당한 유역크기 및 불투수면적비율을 갖고, 배수시설형태가 분류식이며, 적합한 토지이용형태를 포함한 유역을 양호한 것으로 판단.
	활용성	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 활용가능한 기초자료(우배수관망도, 토지이용도, 수리 및 구조계산서)취득이 용이할수록 양호한 것으로 판단.
	제약성	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 계측기기 설치장소내 도시배수시설 등 공공 시설물에 대한 지역 관계기관과의 협의로 규제정도가 적을수록 양호한 것으로 판단.
	환경성	양호 보통 불량	<ul style="list-style-type: none"> 집수하천과 직접적으로 인접한 대상지역의 방류지점과 계측기기의 설치장소를 선정 기준으로 설정. 관측의 용이성과 기기의 안전성을 고려하여 가급적 격심한 교통량을 피하고, 전기·수도·가스 따위의 공공설비에 대한 영향이 적을수록 양호한 것으로 판단.

2.4. 시험유역의 선정기법

가. 선정단계

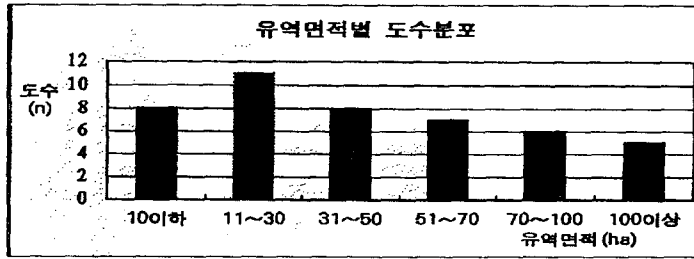
- 1) 1단계 : 유역을 평가할 수 있는 중요한 요소(객관성 고려)들을 설정한다.
 ... 유역크기, 유역경사, 불투수면적비율, 배수시설형태 등
- 2) 2단계 : 각 요소에 대한 평가기준을 결정한다.
- 3) 3단계 : 세분화된 평가기준별로 적합도(Suitability Value: S.V.)를 정한다.
 3 - 적합 2 - 보통 1 - 적합치 못함
- 4) 4단계 : 각 요소들에 대한 상대적 중요도에 따라 가중치를 정한다.
 ... 각 평가기준별 적합도(S.V.)와 요소별 가중치를 곱하여 가중적합도 결정.
- 5) 5단계 : 유역을 평가하고 선정한다.
 ... 선정할 대상유역은 세분화된 범위를 토대로 각 평가요소별로 배점을 산정한 후, 배점을 합한 값이 최고치인 유역을 최종 시험유역으로 선정.

나. 적합성 분석을 위한 평가기준 설정

1) 유역면적(ha)

유역면적은 유역의 수문특성을 결정하는 중요한 요소로 유로연장을 통한 유역폭, 형상계수 등을 구할 수 있으며, 유출수의 추적과 수질성분의 추적에도 영향을 준다. 따라서 유역의 대표적인 크기를 정하는 것이 중요한데, 본 연구에서의 시험유역 평가요소로서 유역면적 선정은 이 공사택지개발 사업지구를 무작위 추출(Random Sampling)하여 해당 지구별 배수구역분할에 따른 1개 배수구가 차지하는 면적을 기준으로 했으며, 이 중 가장 많은 분포를 보이는 유역면적을 대표성으

로 삼았다. 산정결과, 10ha 이하의 유역면적이 비교적 많은 분포를 보였으나 이는 전체 시험유역을 대표하기에는 미흡한 관계로 평가기준 범위에서 제외시켰다.



※[자료] 택지개발사업지구별 수리계산서(한국토지공사)

<그림 1> 유역면적 범위별 도수분포

2) 유역평균경사(%)

유역의 평균경사는 강우의 침투량이나 유출을 결정하는데 영향을 주며, 지표면 및 하수관거에서의 유출속도 즉 강우의 유달시간(Time of concentration; T_c)을 좌우하는 요소 중의 하나이다. 본 연구에서의 유역평균경사 산정은 한 관로별 배수면적 (a_i)에 해당하는 평균경사 (s_i)를 누적하여 전배수면적 (A)에 대하여 평균하여 산출하였으며[식 1], 이를 다시 무작위추출(Random Sampling)한 해당 사업지구별로 평균한 값을 대표성으로 삼았다.

$$S(\%) = \frac{\sum a_i s_i}{A} \dots\dots\dots [식 1]$$

[표 2] 사업지구별 유역평균경사(%)

지구명	수원W 지구	춘천T 지구	청주Y 지구	대구C 지구	거제J 지구	전체 면적 가중평균
유역평균경사 (%)	0.932	0.526	1.238	1.153	0.228	1.022

※[자료] 택지개발사업지구별 수리계산서(한국토지공사)

3) 불투수면적비율(%)

도시화에 따른 수리·수문학적 특성 변화를 가장 잘 나타내는 요소로 불투수면적의 증가는 유출계수의 증가를 의미하며, 유효우량의 증가로 나타나 도시유역의 홍수피해를 가져오는 결과를 초래하게 된다. 본 연구에서의 불투수면적비율 산정 역시 무작위 추출(Random Sampling)한 사업 지구에 대하여 해당 지구별 유출계수 산정을 위한 토지이용별 불투수면적비율 실측치를 근거로 구한 불투수면적을 총면적으로 나눠 전체 불투수면적비율을 산출하였으며, 이를 다시 평균한 값을 대표성으로 삼았다.[표 3]

4) 배수시설형태

도시유역에서의 배수시설형태는 크게 합류식(Combined System)과 분류식(Seperated System)으로 대별되는데, 현재는 관거의 접속이 안전하고, 강우시 비교적 정확한 우수유출량 파악이 가능하며, 방류수면의 수질보전에도 기여하는 보편성을 가진 배수시설형태인 분류식 배제방식을 주로 택하는바 이를 대표성이 있는 것으로 평가하였다.

[표 3] 사업지구별 불투수면적 비율(%)

지 구 명	총 면 적 (㎡)	불투수면적 (㎡)	토지이용별 불투수면적 비율(%)								전 체 불투수율 (%)
			단독주택	공동주택	근린생활	상업용지	학 교	공원· 녹지	도 로	기 타 시설용지	
고양 지구	15,735,711	10,913,753	90.1	66.6	95.0	95.0	20.1	25.5	100.0	69.1	69.4
수원W 지구	414,636	287,833	97.3	71.4	95.0	-	12.0	26.1	100.0	59.7	69.4
안천Y 지구	6,117,000	4,480,947	94.8	64.5	95.0	95.0	36.6	28.7	100.0	93.0	73.2
부천J 지구	1,212,822	891,517	99.4	63.9	95.0	95.0	27.1	33.8	100.0	85.2	73.5
춘천T 지구	596,840	442,862	89.0	67.2	95.0	95.0	13.4	10.4	100.0	94.0	74.3
전주S 지구	726,303	542,453	70.0	69.0	70.0	-	39.0	12.9	100.0	88.0	74.6
광주S 지구	328,573	251,529	77.1	69.8	95.0	-	11.8	24.7	100.0	91.3	76.5
대구C 지구	1,789,500	1,495,931	100.0	70.0	95.0	95.0	29.0	46.0	100.0	95.0	83.6
거제J 지구	217,518	187,674	99.9	78.5	95.0	-	-	28.4	100.0	89.0	86.3
김해U 지구	591,470	504,935	97.3	77.8	-	95.0	17.0	19.7	100.0	37.1	85.3
평 균 불 투 수 율											76.6

※[자료] 적정 우수량 산출을 위한 유출계수 산정방법개선(한국토지공사)

[표 4] 외국시험유역의 유역특성

시 험 유 역 명	유역면적(ha)	유역경사(%)	불투수율(%)	비 고
Malvern (BURLINGTON, CANADA)	23.0	1.000	34.0	주거지역
East York (TORONTO, CANADA)	155.0	0.675	49.0	·
Pampano Beach (SOUTH-FLORIDA, U.S.A.)	16.5	0.229	39.0	·
Sample Road (SOUTH-FLORIDA, U.S.A.)	23.6	0.280	36.0	물류지역
Fort Lauderdale (SOUTH-FLORIDA, U.S.A.)	8.30	0.240	97.9	상업지역
Kings Creek (SOUTH-FLORIDA, U.S.A.)	5.95	0.820	70.7	주거지역
Gray Haven (MARYLAND, U.S.A.)	9.40	0.820	52.0	·
Vine Street (MELBOURNE, AUSTRALIA)	70.0	0.530	37.0	주거 및 상업지역
Friedacker (ZURICH, SWITZERLAND)	12.7	2.550	5.30	주거지역
Munkensparken (LINGBY, DENMARK)	6.44	1.180	31.0	·
Livry Gargan (SEINE-SAINT-SENIS, FRANCE)	253.5	1.430	33.0	·
Clifton Grove (NOTTINGHAM, GREATBRITAIN)	10.6	3.250	40.0	·
Miskolc (MISKOLC CITY, HUNGARY)	25.38	2.940	53.0	·
Luzzi (PROVINCE OF COSENCA, ITALY)	1.73	17.84	85.0	·
Vika (OSLO, NORWAY)	10.1	2.640	97.0	상업 및 문화지역
Porsöberg (LULEA, SWEDEN)	13.01	1.700	28.1	주거지역
Klostergården (LUND, SWEDEN)	14.1	0.780	45.0	·
Miljakovac (BELGRADE, YUGOSLAVIA)	25.5	5.370	37.5	·

※[자료] UDM(Urban Drainage Management) INTERNATIONAL DATA BASE

다. 가중치 설정

- 1) 평가요소별 가중치 부가방식은 지속적인 실측자료의 수집 및 분석을 고려하여 차등적으로 적용하는데, 접근성과 유역특성에 높은 가중치를 부여하고 나머지 환경성을 비롯해 연계성, 활용성, 제약성에 상대적으로 낮은 가중치를 적용한다.
- 2) 가중치 부여기준은 수문관측망 구축 및 운용·유지관리 측면을 포함해 본 연구 전반에 걸쳐 관련성이 높은 평가요소 순으로 최고 10점에서 8, 7, 5, 4, 3점 순으로 부여한다.
- 3) 3등급으로 구분된 평가기준별 적합도는 다음과 같이 비중을 적용하여 기준간에 차별성을 부여한다. 즉, 적합은 3점, 보통은 2점, 적합치 못함은 1점씩 각각 비중을 부여하여 평가기준에 대한 점수를 산정한다. 단, 평가기준이 2등급으로 구분된 경우는 적합 3점, 보통 2점 적합치 못함 1점 중 해당하는 적합도를 적용하여 산정한다

2.5 시험유역선정을 위한 평가기준 및 적합성 설정[표 4]

[표 4] 평가요소별 평가기준 및 적합성 설정

요 소		평가기준	적합도	가중치	가중 적합도
접 근 성		30분 이하	3	8	24
		30~60분	2		16
		60분 이상	1		8
연 계 성		양 호	3	5	15
		보 통	2		10
		불 량	1		5
유역 특 성	유역면적 (ha)	11~30	3	10	30
		31~50	2		20
		51~70	1		10
	유역경사 (%)	0.5 이하	1		10
		0.5~1.5	3		30
		1.5 이상	1		10
	불투수면적 비율(%)	60~70	2		20
		71~80	3		30
		81~90	1		10
	배수시설 형 태	합류식	2		20
		분류식	3		30
	활 용 성		양 호		3
보 통			2	8	
불 량			1	4	
제 약 성		양 호	3	3	9
		보 통	2		6
		불 량	1		3
환 경 성		양 호	3	7	21
		보 통	2		14
		불 량	1		7

3. 결 론

지금까지의 몇몇 기관에서 계측·수집한 수문자료를 이용하여 해당 연구목적에 맞는 자료로 활용하기에는 자료의 전문성이나 정확도면에서 상당히 미흡한 점을 지니고 있다. 특히, 도시유역을 대상으

로한 수문계측자료는 거의 전무한 실정이며, 앞에서 살펴본 미국, 캐나다, 영국 등 외국의 도시시험유역 사례에 비추어볼 때, 체계적으로 수문자료를 수집하고 분석할 수 있는 도시지역에서의 시험유역운영 및 관리는 현실적으로 매우 중요한 현안임에 틀림없다.

따라서, 본 연구에서의 수문자료 수집 및 체계적인 운영관리를 위한 대표적인 도시유역을 선정하는데 기준이 되는 평가방법을 제시해본 것은 큰 의의가 있으며, 향후 지속적으로 객관적인 평가요소별 평가기준을 수정·보완해 나가야 하겠다. 한편, 본 연구에서의 평가기준에 의해 선정된 시험유역은 도시 수문자료의 체계별 운영관리 및 관련자료의 지속적인 축적을 가능케 하며, 앞으로 단지개발에 따른 우수유출의 변화해석 및 단지내 우배수 관거의 정확한 흐름 분석, 그리고 개발유역내 물수지 분석을 통한 유출 억제대책을 강구하는데 중요한 역할을 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 농어촌진흥공사, “수문조사실무편람”, 1994. 6
2. 한국건설기술연구원, “유출시험유역의 설계”, 1990
3. 한국토지공사, “도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구”, 1989
4. 한국토지공사, “도시유출해석시 유출계수산정에 관한 연구”, 제11회 사내기술연구논문집, 1994. 12
5. 한국토지공사, “토지개발사업총람”, 1990~1995
6. Alley. W. M, “Guide for Collection, Analysis, and Use of Urban Stormwater Data 1976
7. Č. MAKSIMOVIĆ, M. RADOJKOVIĆ, “URBAN DRAINAGE CATCHMENTS”,
A. Wheaton Co. Ltd., 1986