

도시유출해석을 위한 도시수문 모니터링 기법 적용

Application of Urban Hydrologic Monitoring System for Urban Runoff Analysis

서 규 우*
Seo, Kyu Woo

Abstract

It reflects well feature of slope that is characteristic of urban river basin of Busan local. In this study, process various hydrological data and basin details data which is collected through basin basis data, hydrological monitoring system(EMS-DEU) and automatic water level equipment(AWS-DEU) for urban flood disaster prevention and use as basin input data of ILLUDAS, SWMM and HEC-HMS in order to examine outflow feature of experiment basin and then use in reservoir design of experiment basin through calibration and verification about HEC-HMS. Inserted design rainfall for 30 years that is design criteria of creek into HEC-HMS and then calculated design floods according to change aspect of the impermeable rate. Capacity of reservoir was determined on the outflow mass curve. Designed detention pond(volume 54,000m³) at last outlet upper stream of experiment basin, after designing reservoir. It could be confirmed that the peak flow was reduced resulting from examining outflow aspect. Designing reservoir must decrease outflow of urban areas.

key words : Hydrological Monitoring System, Urban Flood Disaster Prevention, ILLUDAS, SWMM, HEC-HMS, Detention Pond

요 지

본 연구의 대상유역인 동의대 시험유역은 공간적으로 주위가 산의 능선으로 둘러싸여 유역내의 유출은 거의 대부분 단일 유출구로만 유출이 이루어지며, 부산지방의 도시유역의 특징인 경사지형의 특성을 잘 반영하고 있다. 유역기초자료 및 기상관측장비(EMS)와 자동수위관측장비(AWS)를 통해 수집된 각종 수문자료들과 유역상세자료들을 조사하여 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형, HEC-HMS 모형의 기본입력자료로 사용하여 시험유역 유출특성을 검토하고, HEC-HMS 모형에 대한 검증 및 검증을 통해 시험유역 저류지설계에 사용한다. HEC-HMS 모형에 소하천 설계기준인 30년 설계강우를 설정하고 불투수율의 변화양상에 따라 설계홍수량을 산정하고, 유출누가곡선상에서 저류지의 용량을 결정하였다. 시험유역의 최종 유출부 상류에 54,000m³의 가상 저류지를 설계하였고, 저류지 설계 후 유출양상을 검토해본 결과 유출의 첨두량이 감소함을 확인할 수 있었다. 이는 저류지설계로 도시지역의 유출이 감소됨으로서 도시홍수방재에 있어서 적용성이 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 수문모니터링시스템, 도시홍수방재, ILLUDAS, SWMM, HEC-HMS, 저류지

1. 서 론

우리나라는 매년 되풀이되는 자연재해로 인하여 인명 피해 및 재산피해가 되풀이 되고 있는 실정에서 자연재

해의 발생 잠재력 증가를 억제하고, 국민의 생명과 재산을 재해로부터 안전하게 보호할 수 있는 방재계획이 필요한 실정이므로 시험유역의 운영을 통한 수문자료의 활용방안에 대해서 조사·분석 한다(서규우, 2002).

* 정희원 · 동의대학교 토목도시공학부 토목공학전공 부교수 (e-mail : kwseo@deu.ac.kr)

본 연구에서는 도시유출 시험유역을 대상으로 시험 유역에 대한 자료를 수집하였으며, 그동안 수문관측을 위한 각종 수문관측장비를 설치하여 고품질의 수문자료의 확보와 함께 장비의 점검 및 도시화에 따른 유출 변화의 특성을 연구한다. 본 연구에서는 도시화 및 개발이 진행중이거나 계획중에 있으며 지속적인 모니터링이 가능한 유역에 대한 선행조사를 실시하고 수문관측 모니터링 시스템을 개발 구축하였으며 각종 장비의 비교분석을 통해 장비의 적용성을 검토한다.

도시유출 시험유역으로 선정된 부산광역시 가야동 소재 동의대학교 일원의 유역을 대상으로 유역기초자료 및 기상관측장비(EMS-DEU)와 자동수위관측장비(AWS-DEU)를 통해 수집된 각종 수문 자료들과 유역상세자료들을 가공하여 기본입력자료로 활용하여 ILLUDAS 모형(1993, 수공학익산), SWMM 모형(1996, 수공학익산), HEC-HMS 모형의 검정과 검증을 실시하고, 이를 통한 시험유역의 유출특성을 검토하고, HEC-HMS 모형을 이용하여 도시홍수 유출을 억제할 수 있는 가상저류지를 설계하여 적용성을 검토한다.

2. 동의대 시험유역 현황

동의대학교 가야캠퍼스 전경은 그림 1과 같고, 유역의 총면적은 54.42ha, 최종유출부의 유출에 기여하는

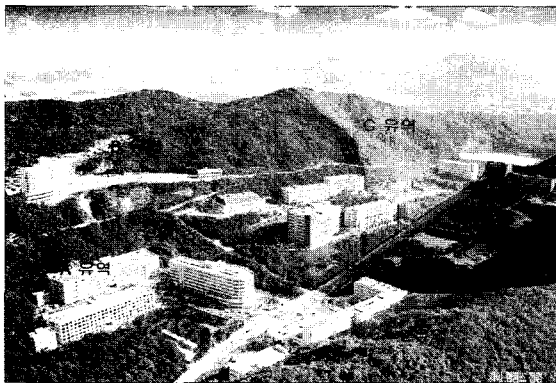


그림 1. 동의대 도시유출 시험유역

면적은 49.45ha이고 유로연장은 880m이며, 표고차는 50m, 투수면적 35.59ha, 불투수면적 13.8ha(28%)의 특징을 지니고 있다. 유역의 지형적인 형상은 주위 산지의 능선으로 둘러싸인 골짜기내에 위치하고 있고, 배수 체계가 도심부에 비하여 상대적으로 간단하게 구성되어 있다. 유역의 개발초기에는 주로 산지지역으로서 절·성토를 통한 유역의 개발이 주로 이루어졌으며, 개발이 진행됨에 따라 점차 불투수면적의 증가와 배수관거의 확장이 이루어지고 있고, 이후에도 지속적인 유역내 개발이 계획·진행될 예정이다.

배수관거 및 유역내에 설치된 수문자료 수집을 위한 각종 장비의 설치위치에 대한 자료만을 간략히 나타내면 그림 2와 같다. 강우관측 장비로 기상관측장비(EMS-DEU)와 수위 관측 장비로 자동 실시간 수위관측장비(AWS-DEU)가 모두 유역의 최종유출부 부근에 설치되어 있으며, E유역을 제외한 유역내 배수관거는 모두 시험유역내의 최종유출구로 모여 유출된다.

3. 수문관측장비의 유지관리

3.1 EMS-DEU(실시간 강우관측장비)

EMS-DEU는 표 1과 그림 3에서 보는 바와 같이 기존의 관측장비와 달리 PCS폰과 인터넷을 이용한 자료의 송수신이 가능하고 실시간으로 모니터할 수 있는 장점이 있는 최신 장비로, 작동원리 및 처리는 태양열 건전지로

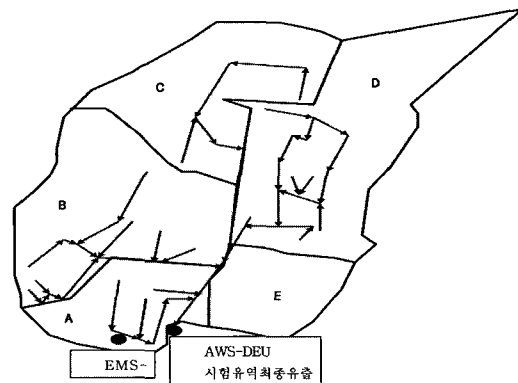


그림 2. 시험유역배수체계도

표 1. EMS-DEU 장비의 구성 및 특성

데이터 로거		강우센서		전원모듈	
Processor	PICBASIC 2C	팁감도	0.5mm rain/ tip	주전원장치	12V 7A 축전지2개
EEPROM	32K	정밀도	±5 % 이하	충전장치	소형태양열전지(10W미만)
Instrument interface	RS232C/ RS485S	타입	전도형 자기 우량계	특별한 전원 장치 교환없이 1개월 운영할 수 있도록 구성되어 있음	
통신방법	무선인터넷/packet/ Circuit통신	크기	기존 일반 수수기 사용		
Realtime Sync	GPS Time 사용	-	-		

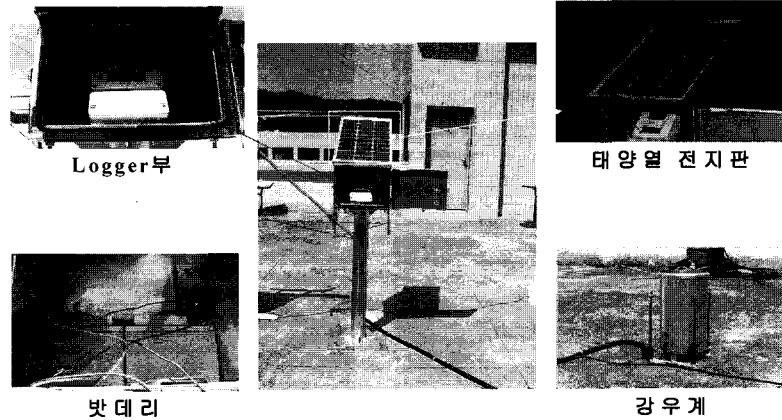


그림 3. EMS-DEU 세부현황

전원을 공급하고, 강우일수의 증가로 인한 전원의 차단을 막기 위해 충전 가능한 밧데리를 설치하였으며, 강우계로 강우를 측정하고 로거부(Logger)로 보낸 자료는 Logger의 memory에 데이터를 저장, 지정된 시간 간격으로 PCS-Modem을 이용하여 Internet으로 자료전송, 설정된 IP로 전송된 데이터를 수신, 저장하게 된다.

3.2 AWS-DEU(실시간 자동수위관측장비)

본 장비는 표 2와 그림 4에서와 같이 PCS폰과 인터넷

넷을 이용하여 실시간으로 수위자료를 모니터링 할 수 있는 최신 장비로, 설정에 따라 실시간 및 지정시간 간격으로 데이터의 전송이 가능하며, AWS-DEU Socket Program을 통해 장소에 관계없이 현장 장비를 원격조정하고 데이터를 수신할 수 있다. 전원은 현재 외부전원을 사용하고 있으나 유사시 정전 등의 사고 발생시 자동으로 자체 배터리로 전환되어 데이터의 안정적인 확보와 사고대응에 유연하다.

표 2. AWS-DEU 장비의 구성 및 특성

Logger부(TCP-RT200)		센서부(SLM-600A)	
Processor	PICBASIC 2H	중 량	1.2kg
Memory	16K(program) /128K(data)	소모전류	0.08A이하
A/D	12bit / 16 channel	측정범위	35~600cm
Sensor	RS232C	출력전류	4~20mA
Interface	RS485	최대 추적속도	5cm/초
자료전송	PCS무선 데이터 통신에 의한 packet/circuit 통신	측정정확도	0.25%이하, 또는 3mm
Realtime Clock	GPS Time/ Sync	디스플레이	3DIGT LCD
사용온도	-10℃~+55℃	사용온도	-20~60℃
전 원	11V~13V DC	전 원	20V~30V DC

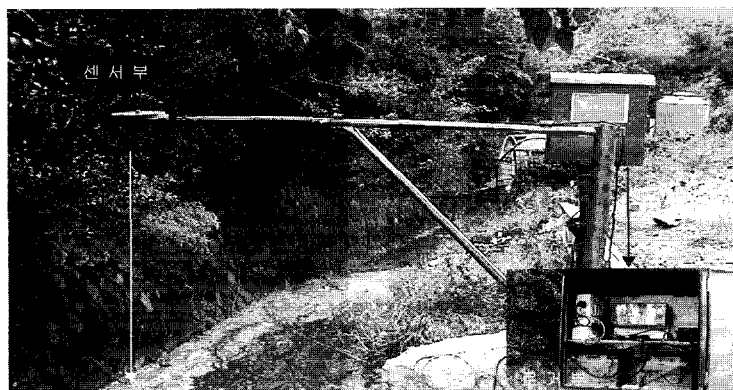


그림 4. AWS-DEU 세부현황

4. 시험구역의 수문관측 자료의 수집

4.1 강우-수위 자료의 수집

시험구역에서의 자료 수집은 그림 5와 같이 2004년 02월부터 2004년 09월까지 8개월간의 기간을 사용하였으며, 강우자료는 현재 동의대 시험구역에 설치되어 있는 EMS-DEU를 이용하여 강우자료를 수집하였다.

수집자료에서 표 3과 그림 6 ~ 8과 같이 세가지 강

우사상을 선정하였다. 최종적으로 도시유출모형을 적용하여 도시화에 따른 유출증가량의 변화를 모의하고 이에 대한 분석을 실시하였다.

4.2 강우사상 자료의 수집 및 프로그램 모의

본 시험구역에서의 도시유출모형의 적용을 위한 모형의 검증은 김남길(2000)의 논문인 도시유출해석을 위한 시험구역의 개발과 수문시스템 구축에서 1차 검

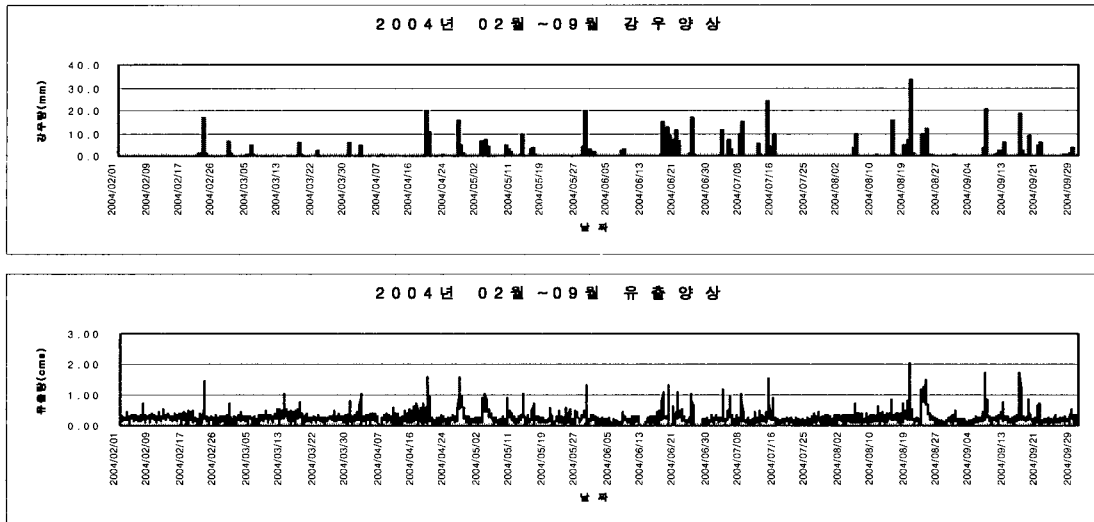


그림 5. 2004년 02월 ~ 09월 강우 · 유출양상

표 3. 특정일 강우사상의 선정

강우사상별	날짜	시간	강우량(mm)
사상1	05월29일	01:25 ~ 05:10	50.5
사상2	08월05일	07:50 ~ 09:20	9.5
사상3	09월16일	03:40 ~ 10:35	38.5

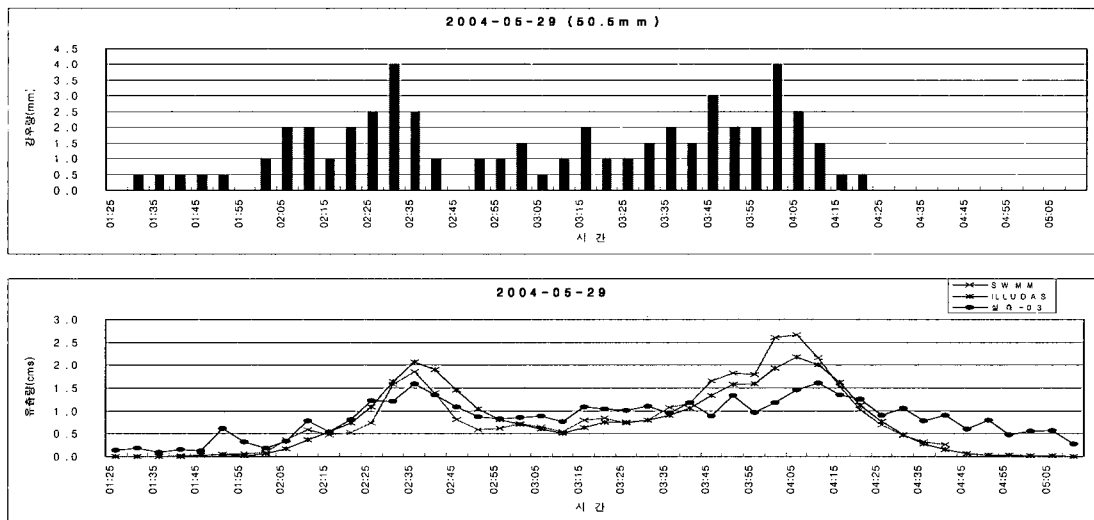


그림 6. 사상1 강우 · 유출양상

정이 이루어졌으며, 김동현(2001)의 논문인 SWMM 모형을 이용한 시험유역의 유출특성 분석에서 2차 검증이 이루어져 적용모형에 대한 검증은 각 매개변수 별로 발표를 하였으며, 이 결과는 서규우(2002)와 나현우(2005)에 의해 적용하였다.

본 논문에서는 2004년의 수문관측자료를 활용하여

특정강우사상에 대한 사상별로 나누어 강우사상과 유출사상을 모의하였다(서규우, 2004).

유출양상을 분석하여 강우사상별 도시유출모형별로 총유출량(cms), 첨두유량(cms), 도달시간(min)을 구하여 표 4에 나타내었다(서규우, 2004).

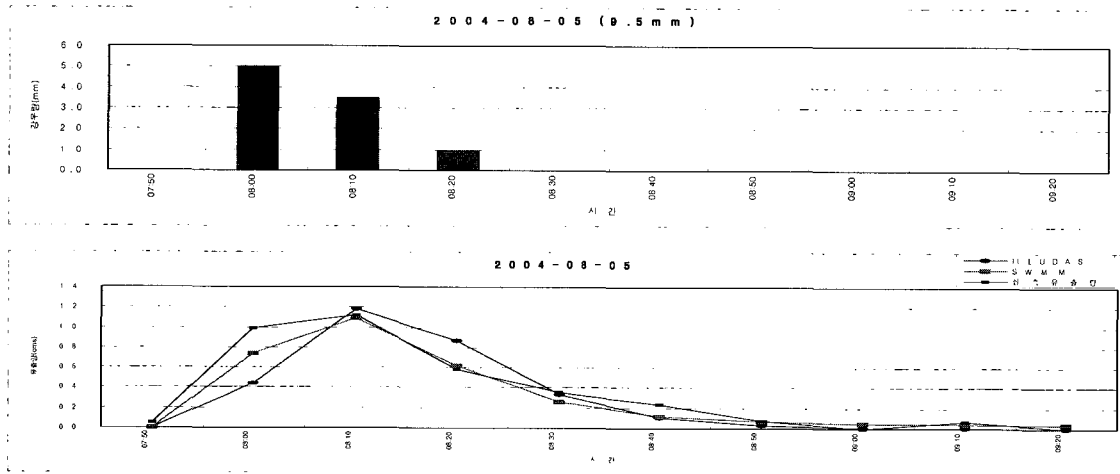


그림 7. 사상2 강우·유출양상

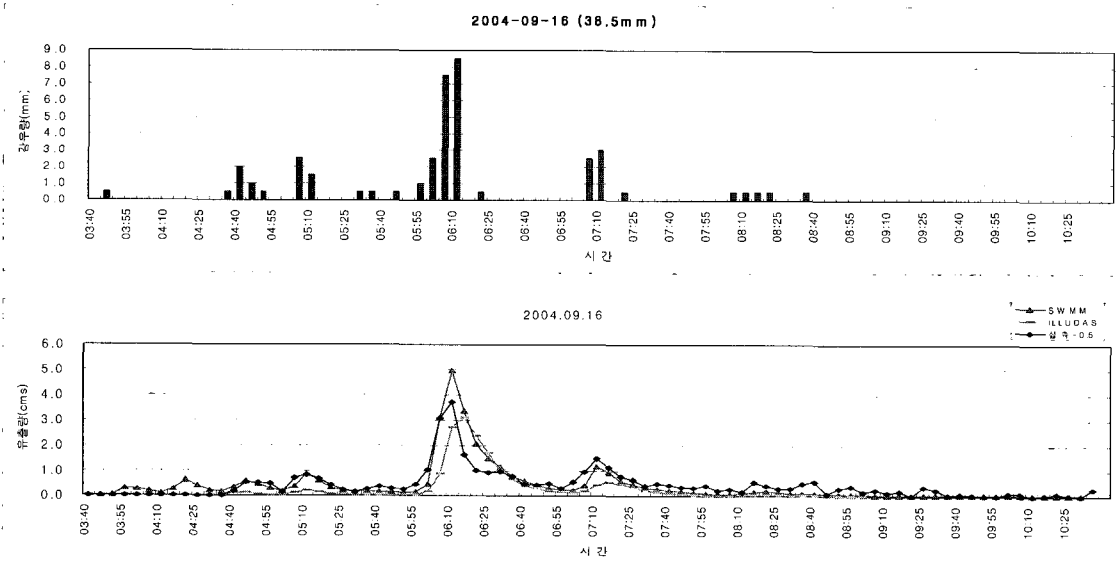


그림 8. 사상3 강우·유출양상

표 4. 사상별 총유출량(m³), 첨두유량(cms), 도달시간(min)

사상별	총유출량(m ³)			첨두유량(cms)			도달시간(min)		
	실측유출량	ILLUDAS	SWMM	실측유출량	ILLUDAS	SWMM	실측유출량	ILLUDAS	SWMM
사상1	11462.7	10141.5	10202.1	1.609	2.17	2.657	170	165	175
사상2	2085.6	1783.2	1813.8	1.123	1.183	1.091	30	30	30
사상3	10806	5346.6	10181.4	3.722	3.111	4.968	155	160	155

5. 저류지 설계

5.1 저류지 설계절차

본 연구 시험유역의 도시유출 특성을 파악하여 저류지 설계에 필요한 HEC-HMS 모형을 선정하여 가상저류지 설계를 하였으며, 저류지 설계절차를 그림 9에 나타내었다(심재현, 2003).

5.2 설계홍수량산정

표 5는 확률분포형 중에서 빈도해석을 통해 Gumbel (GUM) 분포에 의한 확률강우량을 산정하여 나타내었다(서규우, 2005). 그리고 표 6은 확률강우량을 HEC-HMS 모형(U.S. Army, 2000)을 적용한 빈도별 총유출량 결과이고 불투수율의 변화에 따라 나타내었고, 불투수율 변화에 따른 유출량의 증감을 나타내었다.

5.3 시험유역의 가상저류지

시험유역에서의 저류지설계를 위해 그림 10과 같이 본 시험유역의 가상저류지 설치위치 및 크기를 설정하였으며, 시험유역 최종유출부의 상류측에 54,000m³의 가상 지하저류지를 만든 모습이다(나현우, 2005).

현장적용에서 강우가 최고치를 나타내는 곳까지의 유출을 저류한다고 보면 30년 빈도의 저류지 조성 후

유출의 양상은 그림 11과 같이 나타난다. 최고 유출점 두를 나타내는 곡선은 30년 빈도 불투수율 28%일때 곡선이고, 사례 1은 강우의 처음부터 강우의 피크치인 12:00경까지 유출을 모두 저류한다고 가정한 결과이다. 또 사례 2는 유출의 일정부분을 유출초기부터 계속 저류한다고 가정하여 나타낸 결과이다.

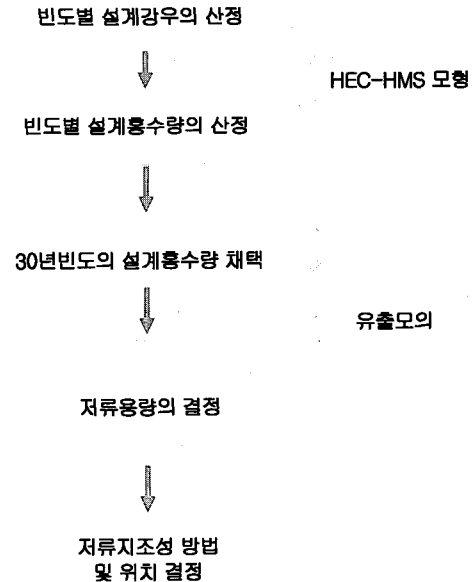


그림 9. 저류지 설계절차

표 5. Gumbel(GUM) 분포에 의한 확률강우량산정(mm)

	10년	20년	30년	50년	70년	80년	100년
1시간	65.8	75.3	80.7	87.5	92.0	93.7	96.7
2시간	94.9	108.3	116.0	125.7	132.0	134.5	138.7
3시간	117.2	133.6	143.0	154.8	162.5	165.6	170.7
6시간	164.4	187.4	200.5	217.0	227.8	232.1	239.3
12시간	220.0	253.1	272.2	296	311.6	317.8	328.1
24시간	270.1	312	336.1	366.2	386.0	393.8	406.9

표 6. 빈도별 총유출량(m³) 비교

		10년	20년	30년	50년	70년	80년	100년
(불투수율 0%)		109863.1	130135.1	141834.7	156478.6	166126.5	169931.4	176320.8
(불투수율 28%)		113612.4	133946.8	145675.8	160353	170017.8	173831.7	180233.7
(불투수율 50%)		118271.7	138684.4	150452.7	165167.1	174855.0	178672.8	185094.9
유출량 증감	(28%-0%)	3749.3	3811.7	3841.1	3874.4	3891.3	3900.3	3912.9
	(50%-0%)	8408.6	8549.3	8618.0	8688.5	8728.5	8741.4	8774.1
	(50%-28%)	4659.2	4737.6	4776.9	4814.1	4837.2	4841.1	4861.2

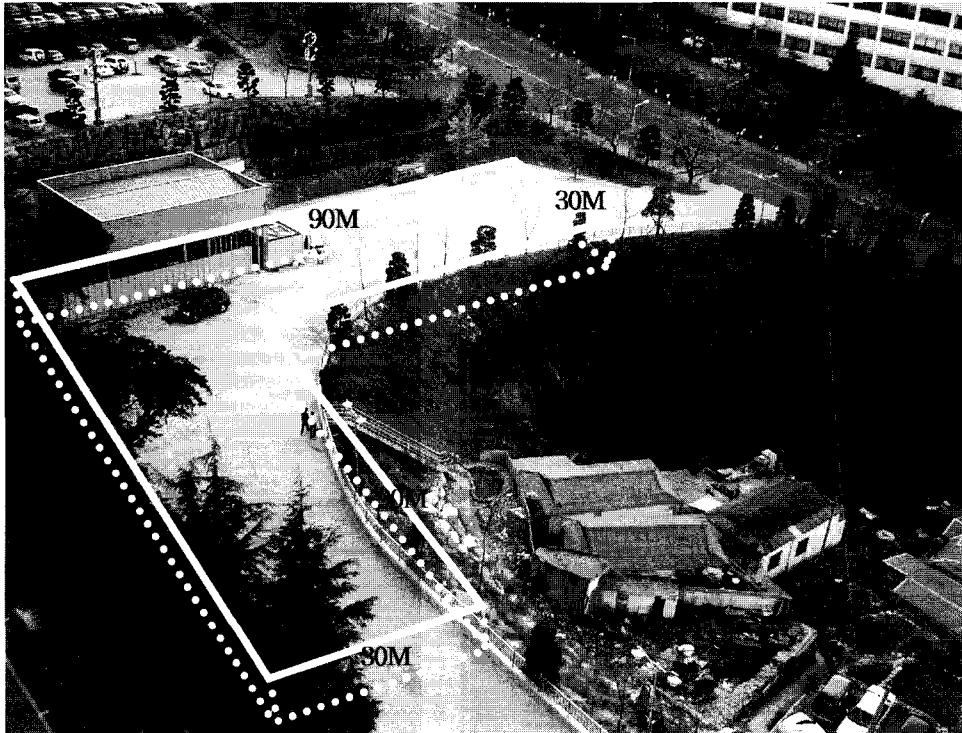


그림 10. 가상 저류지 조성위치 및 크기(㎡)

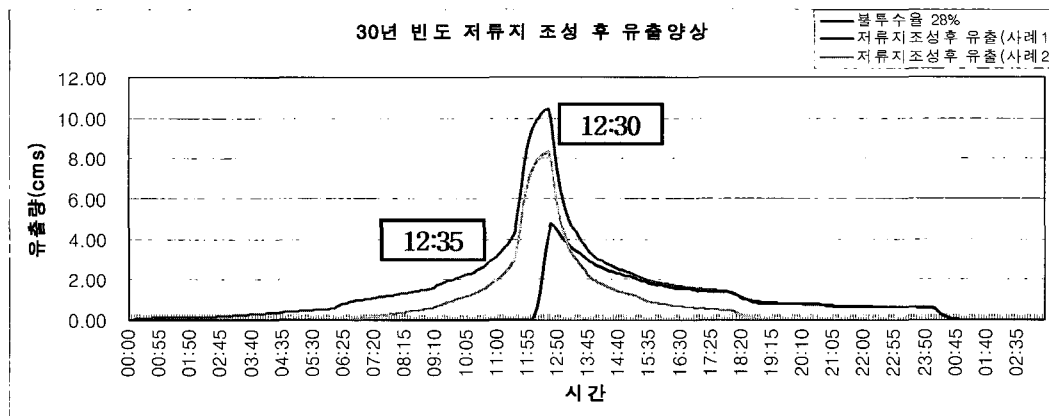


그림 11. 30년 빈도 저류지 조성 후 유출양상 비교

표 7과 같이 저류지 조성 후 30년 빈도 총유출량은 145675.8㎡에서 사례 1의 경우 65162.4㎡로, 사례 2의 경우 87781.2㎡로 떨어졌다. 첨두유량은 10.463cms에서 사례 1의 경우 4.784cms로, 사례 2의 경우 8.359cms로 떨어졌다. 도달시간은 30년 빈도와 사례 2가 750분

으로 같게 나왔고, 사례 1의 경우 755분으로 5분 늦어짐을 알 수 있다. 이는 저류지 조성 후 총유출량과 첨두유량이 감소함을 나타내며 유출억제에 효과가 있음을 보여주는 것이다.

표 7. 사례별 가상저류지 유출억제 효과 비교

구분	총유출량(㎡)	총유출량비(%)	첨두유량(cms)	첨두유량비(%)	도달시간(min)	도달시간비(%)
30년빈도	145675.8	100.0	10.463	100.0	750	100.0
사례 1	65162.4	44.7	4.784	45.7	755	100.6
사례 2	87781.2	60.2	8.359	79.9	750	100.0

6. 결 론

본 연구결과는 도시지역의 개발에 따른 수문변화 현상을 실측자료를 바탕으로 모니터링 할 수 있게 되어 향후 개발에 따른 유출증가량의 지역내 저류 및 지체효과를 검증할 수 있는 시스템으로 활용가능하다.

본 연구에서 부산광역시 가야동 동의대 시험유역의 수문관측장비(AWS-DEU, EMS-DEU)를 활용하여 획득한 수문자료를 이용하여 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수문모니터링시스템을 활용하여 실측자료에 의한 도시유출변화양상을 파악하였다.
- 2) 실측치의 검정과 검증을 통해 ILLUDAS, SWMM, HEC-HMS 도시유출 모형의 적용성을 확인하였으며 시험유역의 수문특성을 파악하였다.
- 3) 시험유역 하류부에 가상저류지를 설계하여 HEC-HMS 모형을 통해 유출억제효과를 제시하였다.

향후 연구 과제로는 본시험유역의 하류부인 동천 모니터링과 부산진구일대로의 유역의 확장 및 유출의 양상 검토가 필요하고 각각의 소유역에 적합한 저류시스템과 기술의 개발에 관한 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심 기술연구 개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수 재해관리 기술연구사업단의 연구성과입니다. 본 연구는 2004년 동의대학교 교내연구비의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김남길 (2000). "도시유출해석을 위한 시험유역의 개발과 수문시스템 구축", 동의대학교 대학원 석사 학위논문.
- 김동현 (2001). "SWMM 모형을 이용한 시험유역의 유출특성 분석", 동의대학교 대학원 석사 학위논문.
- 나현우 (2005). "도시홍수방재를 위한 시험유역의 수문모니터링시스템 적용", 동의대학교 대학원 석사 학위논문.
- 서규우 (2002). "도시호우 방재대책", 2002년 방재연구, 제4권 제2호, 국립방재연구소, pp. 25~42.
- 서규우 (2002). "수리 및 수문실험", 구미서관.
- 서규우 (2004). "수리수문해석", 구미서관.
- 서규우 (2004). "방재기본대책", 원문출판사.
- 서규우 (2005). "하천공학원론", 구미서관.
- 심재현, 안재찬 (2003) "우수유출저감시설에 대하여", 방재정보지, 제 14호, 한국방재협회, pp 115~121.
- 한국수자원학회 (1993). 1. 합리식과 우수관거, 2. ILLUDAS모형, 제1회 수공학학술회.
- 한국수자원학회 (1996). 도시유역의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형, 제4회 수공학학술회.
- Hydrology Engineering Center Hydrologic Modeling System(HEC-HMS) (2000). *Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

◎ 논문접수일 : 2005년 03월 31일

◎ 심사의뢰일 : 2005년 04월 12일

◎ 심사완료일 : 2005년 06월 27일