

도시유출해석을 위한 시험유역의 시스템 운영 분석

Evaluation of Experimental Basin System for Urban Watershed Runoff Analysis

서규우* · 김동현** · 김대곤***

Seo, Kyu Woo · Kim, Dong Hyun · Kim, Dae Gon

1. 서론

도시가 성장하면서 필연적인 팽창의 문제로 인해 어떤 유역에 개발이 이루어지는 경우 토지이용이 고도화되고 나면, 유수지의 확보, 우배수관거의 재공사, 우수저류시설 확보 등과 같은 치수대책과 도시하천의 건전화방지, 쾌적한 주거환경의 제공 등과 같은 이수대책을 마련하기가 어렵게 된다. 따라서 개발시 해당유역의 종합적인 치수 및 이수대책 수립에 필요한 기본수문자료의 획득은 무엇보다 우선해서 이루어져야 한다. 그러나 우리나라의 도시하천유역의 개발과정은 그렇지 못한 실정이다. 도시유역의 개발사업이 토지의 효율적 이용과 편익에만 급급하여 개발로 인해 변화될 주변환경 및 수문현상에 대해서는 심각한 주의를 기울이지 않아 이에 대한 대책이 미비한 실정이다. 특히 도시하류부의 개발행위로 인한 침수피해가 빈번하게 발생하고 있는 현 시점에서 개발유역의 유출영향분석이 유출모형의 검정 및 적용성 검토 없이 사용되고 있는 문제점을 해결하기 위해 부산지역의 지형특성을 충분히 반영하고 있는 도시유출시험유역을 대상으로 시스템 운영 분석을 통하여 시험유역의 운영을 검토하고, 더불어 도시유역에 적용할 수 있는 대표적인 도시유출 모형인 SWMM 모형에 대한 검정과, 적용성을 검토하고자 한다. 또한 향후 유역내 도시하천인 가야천의 중·하류부에 대한 영향 및 유출분석에 대한 기초자료를 제시하고자 하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

2. 본론

2.1 시험유역의 현황 및 수문자료

2.1.1 도시유출 시험유역의 현황

본 연구의 대상유역은 부산광역시 부산진구 가야동 소재 동의대학교 가야캠퍼스 일원의 도시유출 시험유역이다. 동의대학교 도시유출 시험유역은 2001년에 시작된 FRONTIER 연구사업에서 운영되는 도시유출 시험유역으로도 선정되어 대표적인 도시유출 시험유역으로서 운영되고 있으며 여러 기초자료 및 수문자료를 수집·분석하고 있다. 동의대 가야캠퍼스 전경은 그림 1과 같고, 각 소유역은 A, B, C, D, E의 5개로 구분되어 있다. 유역의 총면적은 54.42ha, 최종유출부의 유출에 기여하는 면적은 49.45ha이다. 유로연장은 880m이며, 표고차는 50m, 투수면적 38.86ha, 불투수면적 10.62ha(21.5%)의 특징을 지니고 있다.



그림 1 동의대학교 도시유출 시험유역(가야캠퍼스) 전경

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·진행 중에 있다. 유역내의 배수체계와 배수관거 및 유역내에 설치된 수문자료수집을 위한 각종 장비의 설치위치에 대한 자료만을 간략히 정리하였다. 기상관측장비(DEMS)와 자동 실시간 수위관측장비(AWS-DEU)는 모두 유역의 최종유출부 부근에 설치되어 있으며, 유역내 배수관거는 모두 시험유역내의 최종유출구로 모여 유출된다. 본 연구에서 검토한 유역내의 배수체계는 그림 2와 같이 구성되어 있다.

2.2 도시유출 수문관측시스템의 현황

2.2.1 DEMS

DEMS(Dongguk Univ. Environment Monitoring Station)는 기상관측장비로서 시험유역내 공과대학 건물옆 실습공장의

* 정희원 · 동의대학교 토목도시공학부 토목공학전공 조교수 · 공학박사 · 051-890-1638 (E-mail:kwseo@dongguk.ac.kr)

** 정희원 · 동의대학교 토목공학과 박사과정 · 051-890-1968(E-mail:artnet@orgio.net)

*** 정희원 · 동의대학교 토목공학과 석사과정 · 051-890-1926(E-mail:kim_dai_gon@hanmail.net)

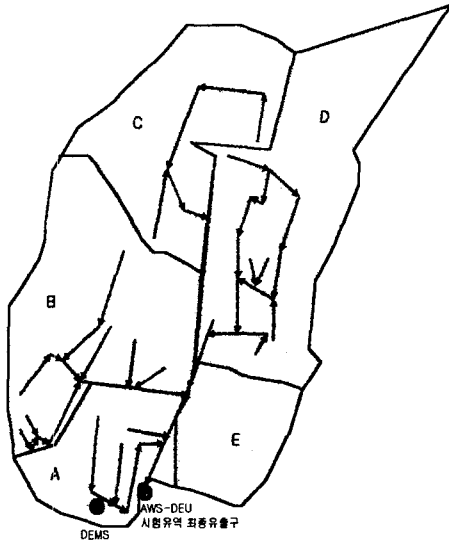


그림 2 시험구역 배수체계도

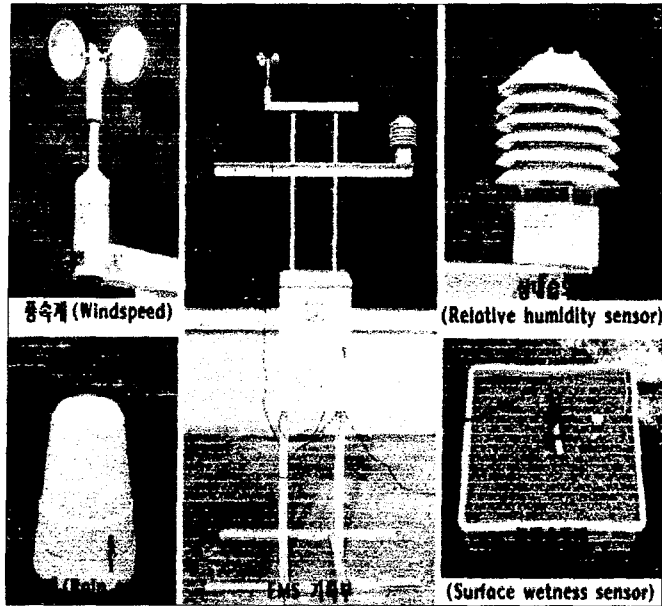


그림 3 DEMS 전경 및 구성

우상에 위치하고 있다. 1998년 4월 설치이후 지속적으로 본 시험구역내에 서의 광범위한 기상 및 환경자료를 실시간으로 관측·기록하고 있으며, 영국 ELE사 제품이다. DEMS는 그림 3에서와 같이 크게 센서부와 기록

부로 구성되어 있으며, 풍속계, 상대습도계, 강우계, 표면습도계의 4개 센서와 데이터기록과 통신을 위한 로거부가 로거함 인 기록부의 모습을 볼 수 있다. 특히 강우자료 수집을 위한 중요장비인 강우계의 경우 티핑버킷(Tipping bucket)형으로서 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 버킷의 전환시간 약 0.2초, 0.2mm단위로 기록되고, 정밀도는 1%로서 25mm/hr, 10%내 외의 오차를 발생한다. DEMS의 구체적인 구성 및 특성은 표 1에 나타내었다.

본 시험구역에서의 DEMS 장비의 강우자료는 5분간격의 자료를 사용하고 있으며, 부산지방기상청의 자기우량기록지 및 공식발표 강우자료와 DEMS와의 신뢰성분석을 통해 자료의 정확성과 우수성을 확인하였으며(서규우, 임재영, 1999), 부산지방의 집중강우시 발생강우의 특성분석을 지속적으로 실시하고 있다.

표 1 DEMS 장비의 구성 및 특성

구분	장치명	측정범위(Range) 및 성능	정밀도(Accuracy) 및 기타
센서부	풍속계(Windspeed)	0~75m/sec	2%
	표면습도계 (Surface wetness sensor)	dry(0.0V)~wet(1.0V)	—
	상대습도계 (Relative humidity sensor)		0~95%범위내에서 2% 작동온도 -30~70℃
	강우계(Rain gauge)	0.2mm/tip	1%
기록부	데이터기록기 (MM90 Logger)	기억용량 : 131,072byte	Analog Channel 4개 Digital Channel 3개
	배터리팩(Battery pack)	12V 충전식 Battery	방수, 밀폐형
	충전기(Battery charger)	110~240V 50/60Hz	3극
	기본틀(Frame)	2m×2m 가로빔 1개	센서 거치용

2.2.2 AWS-DEU

AWS-DEU(Automatic Waterlevel Station - DongEui Univ.)는 자동수위 관측장비로서 시험구역의 최종유출구 직하부에 위치하고 있으며, AWS-DEU의 전경은 그림 4-1과 같으며, (주) DATA-PCS사의제품이다. AWS-DEU는 PCS를 이용하여 실시간 데이터 송·수신기능을 가지고 있고, Internet TCP/IP기능이 추가된 자동수위 수위계이다. 시간과 공간의 제약없이 지속

적인 데이터의 확보가 가능하다는 것이 특징이며, 수위의 측정에는 초음파센서를 이용하고 있다. 실시간 및 지정시간 간격으로 데이터 전송이 가능하며, Socket Program과 PCS-Phone을 통해 장소에 관계없이 현장 장비를 원격조정하고 데이터를 수신할 수 있다. 전원은 현재 외부전원을 사용하고 있으나 유사시 자동으로 자체 배터리로 전환되어 데이터의 안정적인 확보와 사고대응에 유연하다. 그림 4-2는 AWS-DEU Socket Program의 모습이다. AWS-DEU의 구성은 크게 센서부와 로거(Logger)부로 구분되며, 센서부는 초음파센서로, 로거부는 자체 프로세서(Processor : PICBASIC 2H)와 PCS-Modem으로 구성된다. AWS-DEU의 구성 및 특성에 관해서는 표 2에 정리하였다. 그림 4-3은 AWS-DEU의 전경과 센서부, 로거부의 모습이다. 본 연구에서는 1분간격으로 수위를 측정하고 있으며, 집중강우나 강우강도가 높은 강우 발생시 현장에서 직접 수위 및 유속 측정을 통한 자료와 AWS-DEU의 수위값과의 비교를 통해 데이터의 신뢰성을 확보해 나가고 있다.



그림 4-1 AWS-DEU 전경

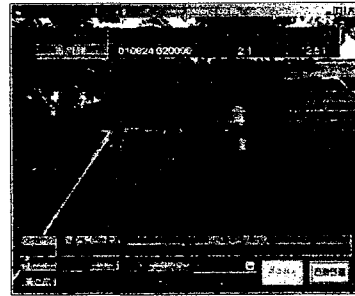


그림 4-2 AWS-DEU Socket Program

표 2 AWS-DEU 장비의 구성 및 특성

Logger부(TCP-RT200)		센서부(SLM-600A)	
Processor	PICBASIC 2H	중량	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℃
전원	11V~13V DC	전원	20V~30V DC

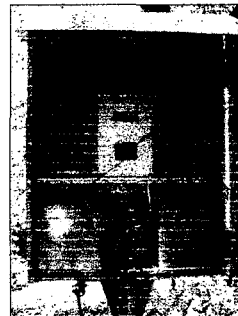
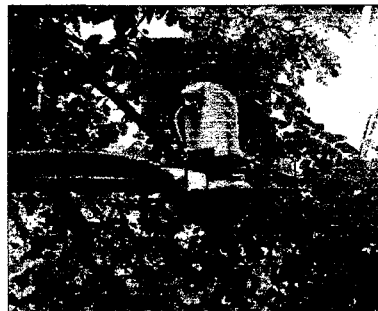


그림 4-3 AWS-DEU 센서부와 로거부

2.3 모형검정을 위한 설측 수문자료의 수집

2.3.1 기초수문자료의 수집

본 연구에서는 모형의 모의를 위해 시험구역의 기초수문자료를 수집하였다. 기초수문자료는 크게 DEMS와 AWS-DEU의 시험구역 강우 및 최종유출구 직하류부의 수위자료, 시험구역에 대한 지형 및 배수관거자료 등으로 구성된다. 또한 강우발생시 각 장비의 신뢰성 검토 및 추가 검증 자료의 확보를 목적으로 하는 실측자료도 포함된다.

본 연구에서 사용되는 DEMS 강우자료는 5분 간격의 자료를 활용하고 있으며, AWS-DEU를 통한 수위자료는 1분 간격으로 측정이 되고 있으나 강우량 측정간격에 맞추어 수위자료를 가공하여 사용하였다. AWS-DEU의 수위자료는 설치지점인 동의대학교 도시유출시험구역의 최종유출구 직하류부의 횡단면 측정을 통한 자료와 각종 강우사상·양상별로 동일지점에서 측정한 유속자료를 바탕으로 유량을 산정하였다. 그림 5는 횡단면 측량성결과 그림으로 나타냈고, 그림 6은 시험구역의 최종유출구 직하류부의 횡단면 측정 모습이다. 유속자료의 측정은 무강우시의 평시유출은 미소유속계를 사용하였으며, 유출량이 적고 유속이 느린 경우는 포탄형 프로펠러 유속계 및 임

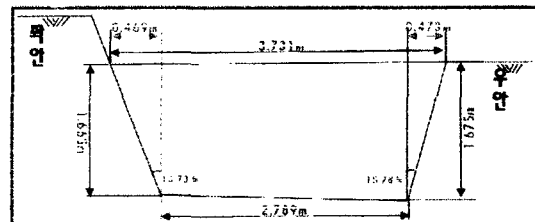


그림 5 시험구역 최종유출부 횡단면 측량성결과

펠러식 유속계 등을 사용하였으나 2m/sec이상의 집중강우시 유출은 유속계의 사용이 곤란하여 부자를 이용한 유속측정 방법을 활용하여 실측유속을 보간하여 사용하였다. 유속측정자료는 AWS-DEU 설치이후 2000년과 2001년 2년간의 자료를 확보하였으며, 이후로도 실측자료를 확보하여 수위자료와의 검토를 통해 검증하고 있다.

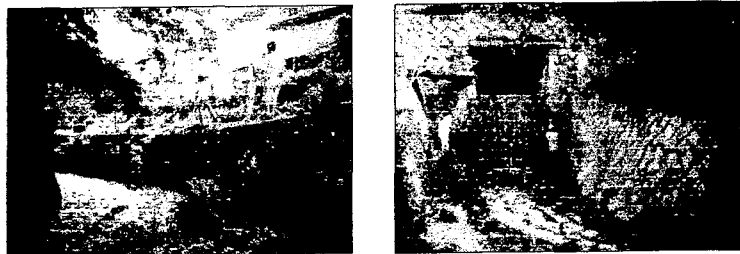


그림 6 시험유역 최종유출구와 직하류부의 단면측정

2.3.2 수위-유량관계 곡선식

유속 측정과 수위자료를 통한 실측유량의 측정자료를 이용한 수위에 따른 유출량의 관계곡선식인 수위-유량 관계곡선식(Rating)의 산정을 위하여 가능한 다양한 수위에 대한 유속측정이 요구되었고, 고품질 Rating의 산정을 위해서는 강우별 수위증감에 대한 연속적 유속측정이 요구된다. 그러나 본 연구에서의 대상 시험유역의 강우-유출 응답이 짧아 수위증감을 고려한 Rating의 산정이 어렵고 자료 요구량이 많게 된다. 따라서 본 연구에서는 수위-유량 관계곡선식에 대하여 수위증감을 고려한 Rating 산정은 이후의 연구과제로 넘겨두고 수위-유량 관계곡선식을 산정하였다. 그림 7은 Rating 산정과정을 나타낸 것이다. 선정된 수위-유량 관계곡선식은 이후 도시유출양상의 특성 파악에 이용될 수 있으며, 도시화에 따른 개발양상의 모의뿐만 아니라 본 연구에서와 같이 도시유출모형의 적용시 검증 및 검증 자료로 활용할 수 있다. 그러나 수위 및 유속·유량자료가 다양하지 못하고 자료가 부족할 경우 수위변화에 따른 유량의 변동사항을 충분히 반영하지 못하는 Rating이 선정될 수도 있어 주의가 요구된다.

본 연구에서 동의대학교 도시유출 시험유역을 대상으로 수집한 수문자료를 바탕으로 검토한 회귀식의 형태는 여러 가지가 있었으나 그림에서와 같이 3가지 형태를 나타내었으며, 그 중 시험유역의 유출구 형상에 적합하고 형태적으로 바람직한 2차 다항식을 본 연구의 대상 시험유역인 동의대 도시유출 시험유역의 수위-유량 관계곡선식(Rating)으로 선정하였다. 선정된 Rating은 검토된 회귀식들중 형태적으로 바람직하고 유출구 수로 형상에 적합하다고 판단되는 스를 선정한 것이며, 선정된 수위-유량관계곡선식은 다음과 같다.

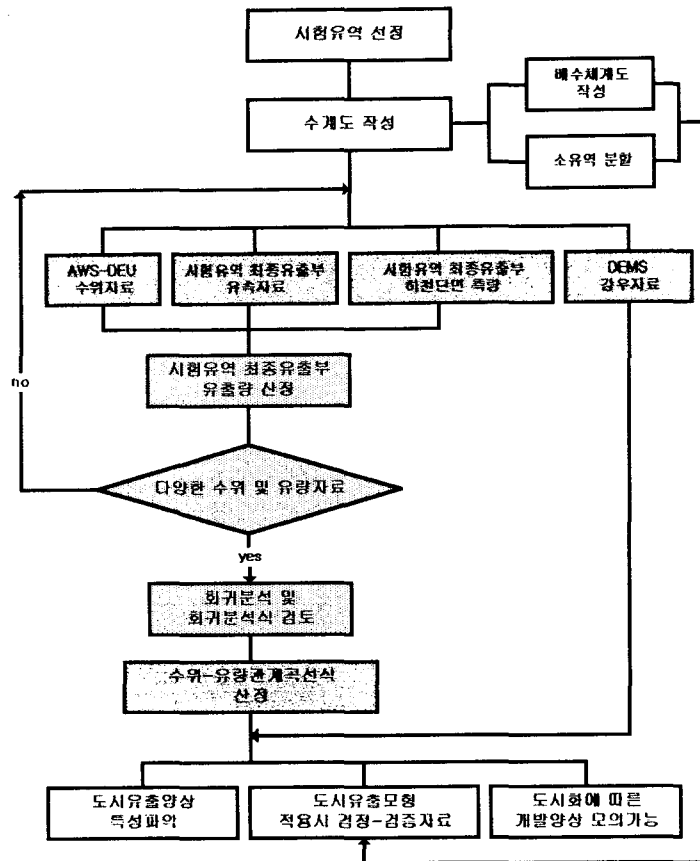


그림 7 수위-유량 관계곡선식(Rating) 산정과정

$$Q = 178.01 h^2 - 5.3182h + 0.0768 \dots\dots\dots \text{시험유역 선정 Rating}$$

Q : 유량(cms), h : 수위(m)

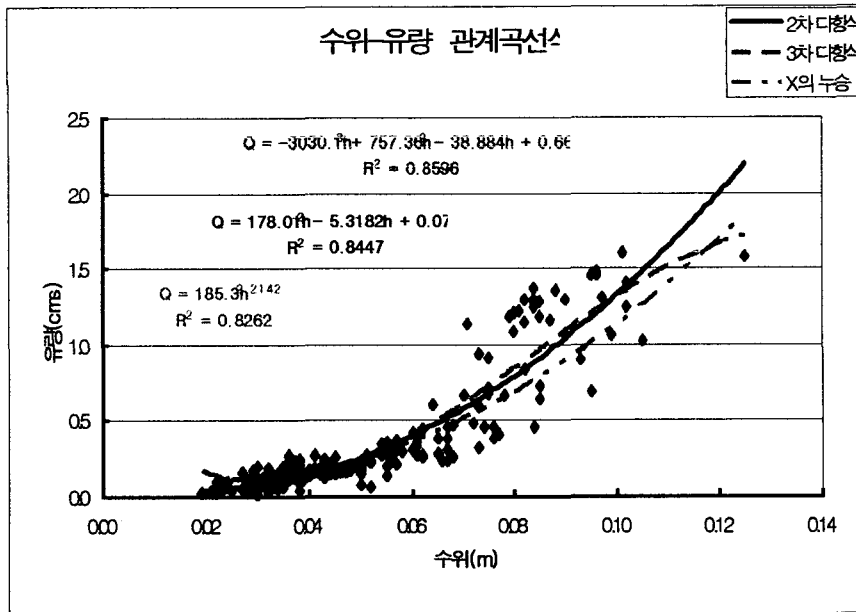


그림 8 수위-유량 관계곡선식(Rating)

3. 운영분석 비교분석 및 결론

1999년 이후 계획되고 진행되어온 본 시험유역은 국내 소수의 시험유역중 유일한 도시유출 시험유역으로서 프론티어 사업단으로부터 인정받아 지속가능한 수자원개발사업에 참여하고 있다. 운영지속기간중 많은 오류와 시행착오를 겪어오면서 점차로 수집되는 수문자료의 품질이 향상되고 운영시스템이 전반적으로 발전하고 있으며, 운용노하우가 축적되어가고 있다. 이후로도 수문자료의 수집 및 처리기법에서의 발전이 예상되고 있고, 나아가 도시수문학의 발전에도 많은 기여를 할 것으로 기대하고 있다. 현재까지의 시험유역 시스템 운영을 좀 더 상세히 살펴보기 위하여 본 연구에서는 모형울 이용하고자 하였다. 적용된 모형은 SWMM을 중심으로 하였으며, 이미 검토한 바가 있는 ILLUDAS 모형에 대하여서도 함께 검토하여 비교·분석하였다. 본 연구에서는 시험유역 운영 1차년도(2000)의 수문자료를 바탕으로 도시유출시험유역에서 이미 검토된 바 있는 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형의 모의비교를 통해 SWMM 모형의 검정을 실시하였다. 그림 9, 그림 10, 그림 11은 각각 2000년 6월 26일, 8월 4일, 9월 13일의 실측유출량에 대한 ILLUDAS, SWMM 모형의 모의치를 비교한 그림이다. 시험유역 1차년도의 모의비교분석을 통해 본 시험유역에서의 SWMM 모형 검정을 확인하고, 시험유역 2차년도(2001)의 실측수문자료를 바탕으로 SWMM 모형의 적용성을 검토하였다.

도시유출시험유역 2차년도(2001)의 실측자료와 ILLUDAS, SWMM 모형의 모의결과를 살펴보면, 2001년 7월 5일은 그림 12, 7월 11일은 그림 13, 7월 14일은 그림 14, 7월 16일은 그림 15와 같다. 모의결과를 비교분석하여본 결과 본 시험유역에서의 실측유출량을 기준으로 SWMM 모형의 모의값이 ILLUDAS 모형의 모의값에 비해 대체로 침투유출량과 모의 패턴 및 도달시간 모두에서 실측치에 근접하는 모의값을 보이는 것으로 파악되었다.

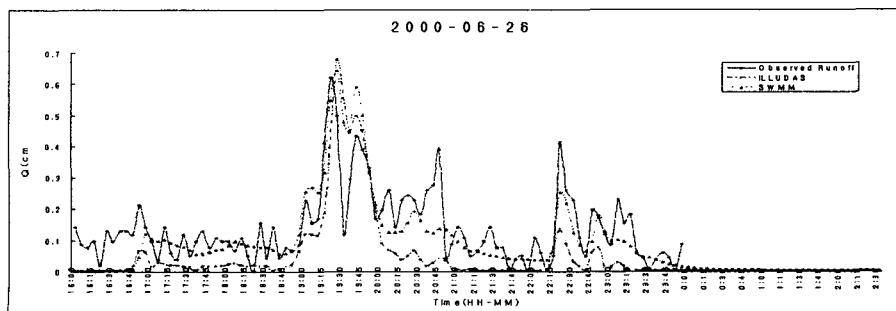


그림 9 1차년도 6월 26일 ILLUDAS, SWMM 모의

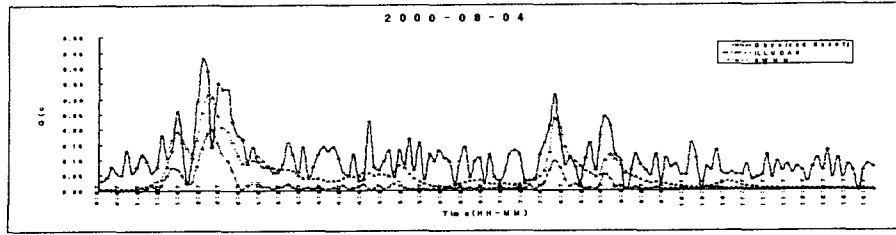


그림 10 1차년도 8월 4일 ILLUDAS, SWMM 모의

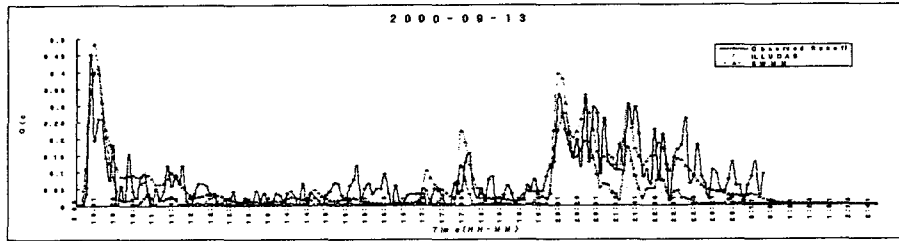


그림 11 1차년도 9월 13일 ILLUDAS, SWMM 모의

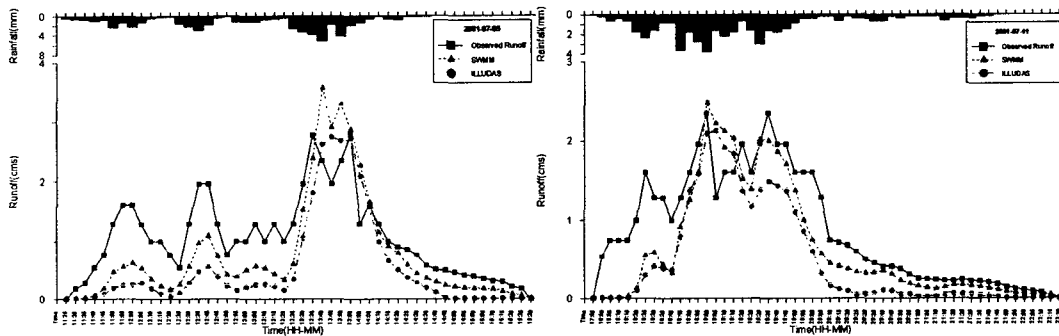


그림 12 2001년 7월 5일 유출 모의

그림 13 2001년 7월 11일 유출 모의

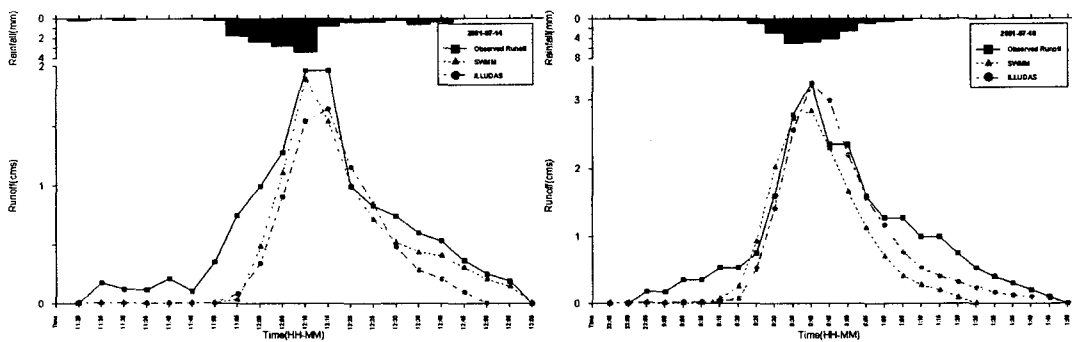


그림 14 2001년 7월 14일 유출 모의

그림 15 2001년 7월 16일 유출 모의

참고문헌

- 서규우, 김동현, 도시유출해석을 위한 시험유역의 개발, 2001 대한토목학회 학술발표논문집, 2001.11.
 서규우, 김동현, 도시유출 증가량 평가를 위한 시험유역의 개발, 2002 대한도시방재학회 학술발표논문집, 2002.3.
 김동현, SWMM 모형을 이용한 시험유역의 유출특성분석, 2002, 동의대학교 대학원 석사학위논문.