

군자 시험배수구역 합류식 하수관거시스템의 일일하수량 및 직접유출량 산정

Estimation of Daily Sewage and Direct Runoff for the Combined Sewer System of Gunja Experimental Drainage

김 충 수* / 한 명 선** / 김 형 섭***

Kim, Chung Soo / Han, Myoung Sun / Kim, Hyoung Seop

Abstract

A localized torrential rainfall and flash floods which are more frequently occurred by extraordinary atmospheric phenomena and rising sea surface temperature require more hydrological data collecting and analysis for small watershed. Urban watershed hydrological data monitoring system is needed because of big flood potential damage and lack of urban watershed hydrological data. Therefore, Urban Flood Disaster Management Research Center operates small experimental catchments(Sinnae1, Gunja, and Children's Park) observing and analyzing hydrological data(rainfall, stage, and discharge). In this study, the discharge of combined sewage for Gunja experimental drainage is analyzed with weekly data and day of the week data. Through several analyses in analyzing the urban runoff characteristics and managing the urban sewage system, direct runoff is calibrated and verified by the estimated values of rainfall-runoff model(SWMM).

keywords : urban watershed, Gunja experimental drainage, discharge of combined sewage, direct runoff, SWMM

요 지

기상 이변과 해수 온도 상승으로 인한 국지성 집중 호우 및 돌발홍수, 대형급 태풍 빈발 등에 대비하기 위하여 홍수예보와 방재 대책에 가장 기본이 되는 각 유역 특성별 수문 기초자료의 축적 및 분석이 더욱 필요하게 되었다. 특히 홍수시 큰 피해를 가져오는 도시지역의 수문 모니터링이 부족한 실정을 고려한다면 도시하천별, 소배수구역별 수문 관측 및 제공이 필요하다. “도시홍수재해관리기술연구사업단”에서는 도시하천 유역의 수문현상 규명을 위한 기초 정보 축적을 위해 중랑천 유역에 시험배수구역(신내1 배수구역, 군자 배수구역, 어린이대공원 배수구역)을 운영하여 수문 관측 및 자료 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 실시간으로 관측되고 있는 도시하천 시험배수구역 중 주로 상가지역 및 주택지역으로 구성되어 있는 군자 배수구역에서 합류식 하수관거를 통해 유출되는 유량자료를 주간별, 요

* 교신저자, 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

Corresponding Author, Researcher, Water Resources Research Division, KICT, 2311, Daehwa-Dong, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea
(e-mail: alska710@kict.re.kr)

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

Researcher, Water Resources Research Division, KICT, 2311, Daehwa-Dong, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

*** 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

Senior Researcher, Water Resources Research Division, KICT, 2311, Daehwa-Dong, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

일별로 분석하여 일일하수량과 강우 발생시 직접유출량을 산정하였다. 이를 통해 도시하수 유출의 특성 분석이 가능하며 하수관거 관리 대책 수립에 유용한 자료로 활용될 것으로 판단된다. 또한 산정된 직접유출량은 강우-유출 모형(SWMM) 모의를 통해 모의값과 비교, 분석되었다.

핵심용어 : 도시하천, 군자배수구역, 합류식 하수관거, 일일하수량, 직접유출량, SWMM

1. 서론

수문자료는 시간과 공간에 따른 큰 변동성을 가지고 있어 규명하기 복잡한 수문현상이다. 산악지역이 많은 우리나라의 지형학적 특성과 최근의 호우특성 등으로 인하여 이러한 변동성이 더욱 커지고 있다. 특히, 도시하천은 상대적으로 좁은 하폭과 유역내 거의 대부분이 불투수층으로 이루어져 있으며 짧은 홍수 도달시간 등으로 인해 집중 호우시 돌발홍수가 빈번히 발생하며 홍수피해가 단기간에 대단히 크게 발생하고 있다. 또한, 도시유역 내에는 인구집중 및 산업, 경제 단지 등 사회 기반 시설이 집중되어 있어 홍수피해액이 지속적으로 증대되고 있다. 도시유역의 특징 중 하나가 하수관거 시설이다. 경제 성장, 도시화와 더불어 인구증가에 따라 용수사용량 증가뿐만 아니라 오·폐수와 같은 오염물질의 배출량도 함께 증가하게 되었다. 배출된 오·폐수는 합류식, 분류식 하수관거를 통해 차집되어 하수종말처리시설로 보내져 처리된다. 이때, 배출되는 일일하수량의 경향을 분석함으로써 유출 특성 파악 및 하수관거 설비 관리에 큰 역할을 기대할 수 있을 것이다. 그러나, 도시하천 하수관거 모니터링 시스템은 현장 상황이 열악하며 오수에 포함된 부유물 등으로 인한 관측오차 등으로 인해 시스템 운영에 어려움이 많다. “도시홍수재해관리기술연구사업단”에서는 2005년부터 도시유역 특성별로 3개 시험배수구역을 운영하면서 배수구역 중심에 우량계를 설치하여 강우량을 실시간으로 관측하고 있으며 최종유출구에 우량계와 압력식 수위계를 설치하여 유량을 실시간으로 관측하고 있다(건설교통부/한국건설교통기술평가원, 2005). 도시공원 특성을 지닌 어린이대공원 배수구역, 아파트단지가 주로 구성되어 있는 신내배수구역, 상가지역과 주거지역으로 구성된 군자배수구역을 시험배수구역으로 운영하였다. 시험배수구역 중 합류식 하수관거 시스템인 군자 배수구역의 경우 평·갈수시 유출량 자료를 분석함으로써 일일하수량 분석이 가능하다.

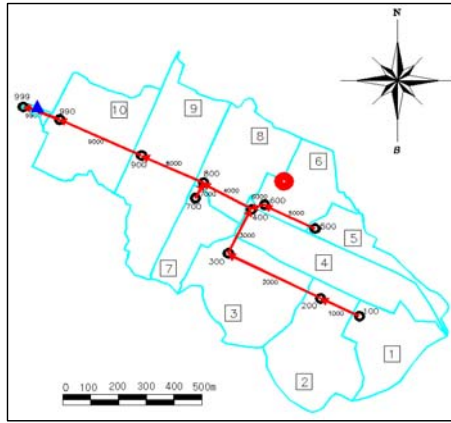
최계윤 등(2003)은 하수관거 내 불명수 산정을 위해 실측된 유량자료를 활용하는 과정에서 유량 측정간격 및 요일별 분석을 통해 불명수 산정에 정확성을 기하고자 하였다. 권현한 등 (2003)은 합류식 배수계통을 갖는

도시하천으로 중랑천의 지류인 우이천에 대해 SWMM 모형을 이용하여 유출량을 모의하였으며, Nix *et al.* (1991)은 SWMM을 이용하여 Otter Creek과 그 지천에 직접 방출하는 도시유출과 가정하수를 결합한 유출 모의를 시도하였다.

김충수 등(2007)은 군자 배수구역 일일하수량을 일부 기간에 대해 수행하여 일일하수량 경향 분석에 집중하였으나, 해당 유역 내 정량적인 일일하수량은 산정하지 못하였다. 본 연구에서는 양호한 유출량 자료를 주간별, 요일별로 분석하여 일일하수량을 정량화하고 이를 통해 직접유출량을 산정하였다. 산정된 직접유출량을 강우-유출 모형(SWMM)으로 모의하여 검증하였다. 군자 배수구역 내 일일하수량을 파악함으로써 유역 내 합류식 관거 시스템 운영 및 관리가 용이할 것이며 직접유출량 산정을 간략화하여 호우에 대한 직접유출량 산정이 짧은 기간에 이루어져 홍수 방재 대책 수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 대상유역 및 자료 특성

군자 배수구역의 면적은 약 96.4 ha이며 중랑천 군자교 좌안에 위치하고 있다. 대부분의 유역이 주택지와 상업지로 구성되어 있으며 유역의 20% 정도는 산지이다. 군자 배수구역의 최종유출구는 군자교 하류에 위치하고 있으며, 수위·유량관측기기가 설치되어 실시간으로 수문 관측 및 자료를 수집하고 있다(Fig. 1 참조). 집수유역의 우수는 관거를 따라 최종유출구인 군자교 하류로 차집되어 중랑하수처리장으로 들어가거나, 유출량이 증가할 경우에는 중랑천으로 유입된다. 또한, 중랑천 수위가 상승하여 유역 내의 우수가 원활하게 배수되지 못할 경우에는 하천수의 역류를 방지하기 위하여 수문으로 차단한다. 행정구역으로는 서울특별시 광진구의 군자동, 능동, 중곡동을 포함하며(Fig. 2 참조), 유역 내에 약 2.12만명이 거주하여, 인구밀도는 약 21,628 인/ km^2 이다. 능동이 전체 유역의 약 60%를 차지하고 있으며, 중곡2동의 인구밀도(43,279 인/ km^2)가 가장 높으며 그 다음으로 중곡1동, 군자동 순으로 분석되었다. 유역의 대부분이 일반주택지 및 상업지로 구성된 군자 배수구역은 주거지 및 상업지가 약 49%, 도로 및 공공시설



(● : Rainfall, ▼ : Discharge)
Fig. 1. Hydrologic Stations



Fig 2. Administrative District



Fig. 3. Land Use

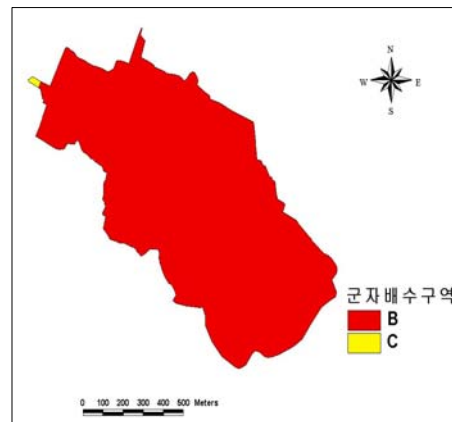


Fig. 4. Soil Type

* 출처 : 건설교통부/한국건설교통기술평가원 (2005)

Table 1. Rainfall Properties

Year		2005	2006	2007	2005 - 2007
Yearly Rainfall (mm)		1,535.0	1,219.5	1,039.0	1,264.5
Rainy Days		94/365	64/241	83/282	241/888
Maximum Intensity (mm)	10 min.	13.5	18.0	14.0	18.0
	30 min.	33.0	34.5	21.0	34.5
	1 hr.	40.5	45.5	25.5	45.5
	2 hr.	65.0	54.5	27.0	65.0
	3 hr.	91.5	63.0	31.5	91.5
	6 hr.	141.0	91.0	53.0	141.0
	12 hr.	202.5	124.5	69.0	202.5
	24 hr.	269.0	128.0	76.0	269.0
48 hr.		310.5	133.0	112.0	310.5

물이 26%로서 전체 유역면적의 약 75%에서 도시화가 진행되었으며(Fig. 3 참조), 유역의 토양형은 유출률이 비교적 낮은 B형이 99%를 차지하고 있다(Fig. 4 참조) (건설교통부/한국건설교통기술평가원, 2005; 김충수 등, 2007).

군자 시험배수구역 운영 기간의 연평균강우량은 1,264.5 mm이며 연평균하수유량은 0.21 m/s이다. 좀 더 자세한 강우량 현황은 Table 1과 같다.

3. 일일하수량 분석

유량관측기기(Argonaut-SW)와 수위관측기기(압력식 수위계)를 통해 실시간으로 수집되는 유량자료를 이용하여 2005년, 2006년 9월부터 11월까지와 2007년 9월 10분 단위의 유량자료를 주간별, 요일별로 분석하였다. 대상유역에 현재 합류식 관거가 매설되어 있는 상황에서는 일일하수량의 경향 분석을 위해 홍수기의 자료를 사용하는 것보다 평·갈수기 자료 중 양호한 자료를 사용하였다.

3.1 주간별 일일하수량 분석

분석결과, 주간별 일일 하수 경향은 Figs. 5 ~ 6,

Table 2와 같다. 월별로 주간별 그래프를 보면 알 수 있듯이 일일하수량의 사용 경향이 일정한 양상을 보임을 알 수 있다. 일일하수량은 오전 8시 ~ 10시에 가장 큰 유량값을 보이며, 18시 ~ 20시에 큰 유량값을 다시 기록한다. 이는 주로 출퇴근 시간을 전후로 이루어지는 도시지역의 생활용수 사용 경향을 그대로 보이고 있는 것으로 도시지역 일일하수량의 경향을 합류식 관거를 통해 흘러나오는 유량자료의 관측 및 분석으로 직접 확인할 수 있었다.

10분 유량 최대치는 대략 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며 일평균유량은 주간별로 뚜렷한 경향을 보이지는 않는다. 주간별로 2006년 자료가 2005년에 비해 다소 증가하나, 9월의 경우 2007년에 다소 감소하는 것을 알 수 있다.

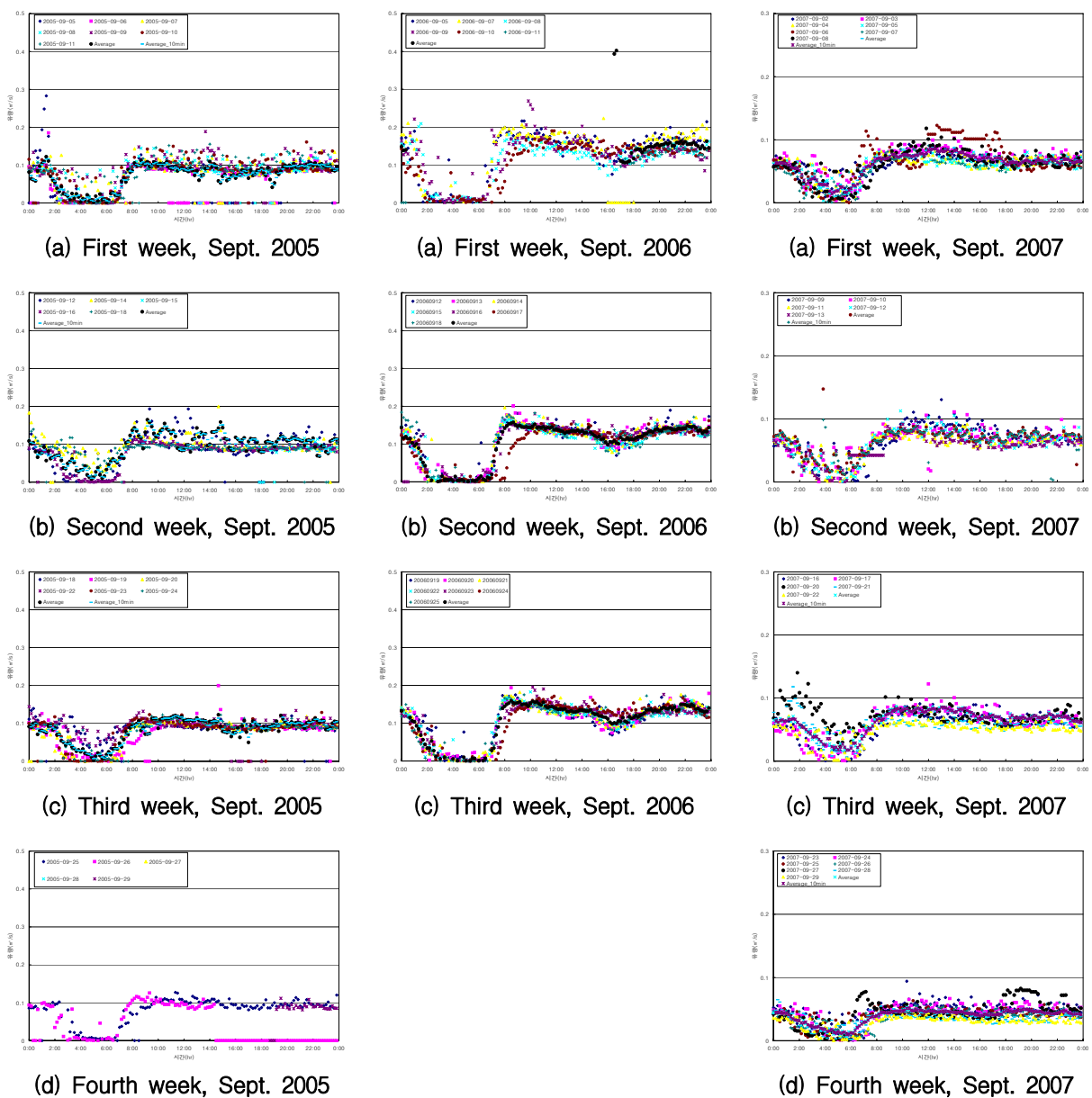


Fig. 5. Weekly Data Analysis with Daily Sewage(Sept.)

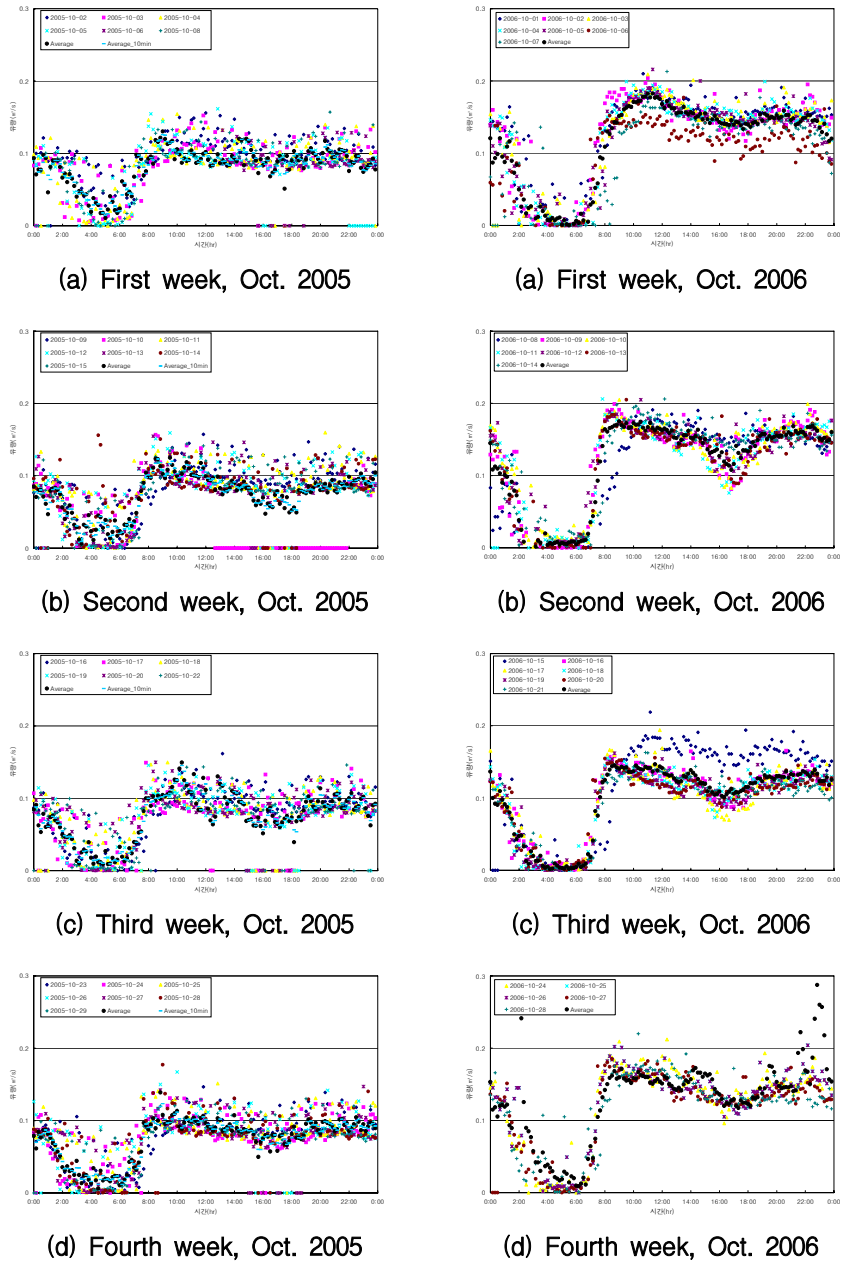


Fig. 6. Weekly Data Analysis with Daily Sewage(Oct.)

Table 2. Daily Average Sewage by Weekly Data Analysis

(Unit : m^3/s)

Year/Month		Week	First week	Second week	Third week	Fourth week	Daily Average Sewage
2005	Sep.		10.435	13.512	11.821	25.293	8.94
2006			11.458	14.538	14.596	—	13.53
2007			8.818	13.032	9.095	—	10.32
2005	Oct.		11.771	10.609	10.726	10.645	8.28
2006			16.349	16.639	14.111	19.545	15.70
2007			—	—	—	—	—
2005	Nov.		10.571	9.823	8.711	9.302	7.28
2006			18.564	22.040	18.456	18.779	19.69
2007			—	—	—	—	—

따라서, 도시개발이 끝난 상태에서 인구 증가 및 기타 산업시설의 증설이 없는 도시 지역인 본 연구 대상 지역의 하수사용량은 크게 증가하지 않은 것으로 판단된다. 2005년 10월과 11월 주간별 그래프의 시계열 양상에서 일평균유량이 다소 편차를 보이는 것은 이상치가 다수 포함된 것으로 판단된다.

도시지역의 일일하수량 경향은 주간별 분석을 통해서 평·갈수시에는 특이한 경향을 파악하기는 어려운 것으로 결론지을 수 있다.

3.2 요일별 일일하수량 분석

요일별 일일하수량의 경향은 Fig. 7, Table 3과 같다. 최대 유량값, 최대 유량값 발생 시간, 시계열 그래프 양상 등이 주간별 결과와 거의 동일한 것으로 분석되었

다. 10분 유량 최대치는 대략 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 일평균 하수량은 요일별로 큰 차이를 보이지 않으나, 일일하수량이 오전 8시 ~ 10시에 가장 큰 유량값을 보이며, 18시 ~ 20시에 큰 유량값을 다시 기록하는 경향이 뚜렷하나 주말의 경우에는 다소 다르게 나타났다. 토요일은 오전 10시 이후로, 일요일은 오전 11시 이후로 큰 유량값이 나타나 평일과 차별된 휴일의 특성을 명확히 보여주고 있으며 특히 일요일은 아침 10시 이후 하수량의 급격한 감소가 나타나지 않아 가정의 휴일 물사용 특성을 잘 보여주고 있다.

따라서, 도시 지역 일일하수량 경향 분석 및 정량화 시 주간별 분석보다는 요일별 분석이 더욱 타당하고, 구체적인 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

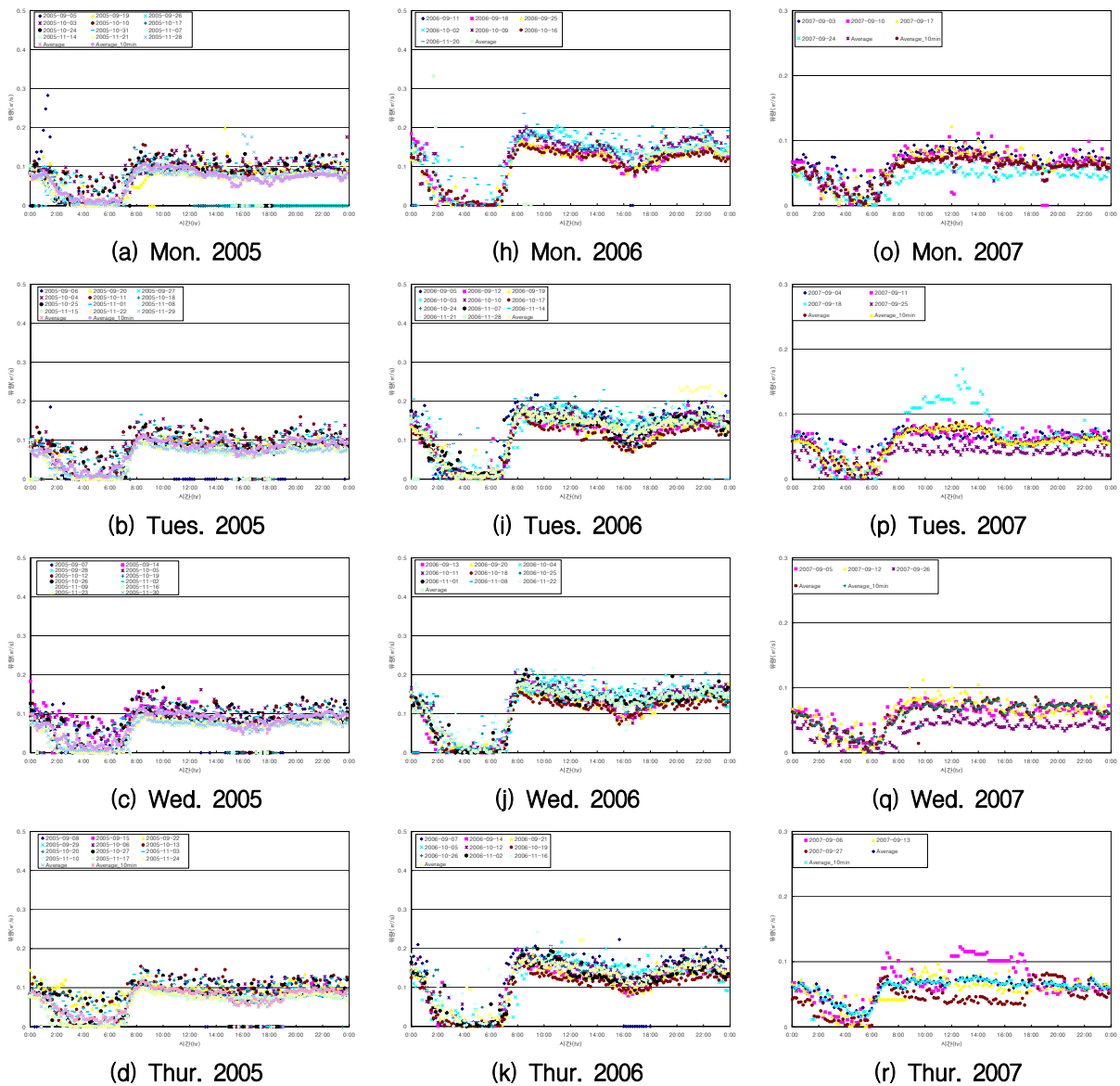


Fig. 7. Day of the Week Data Analysis with Daily Sewage(Continued)

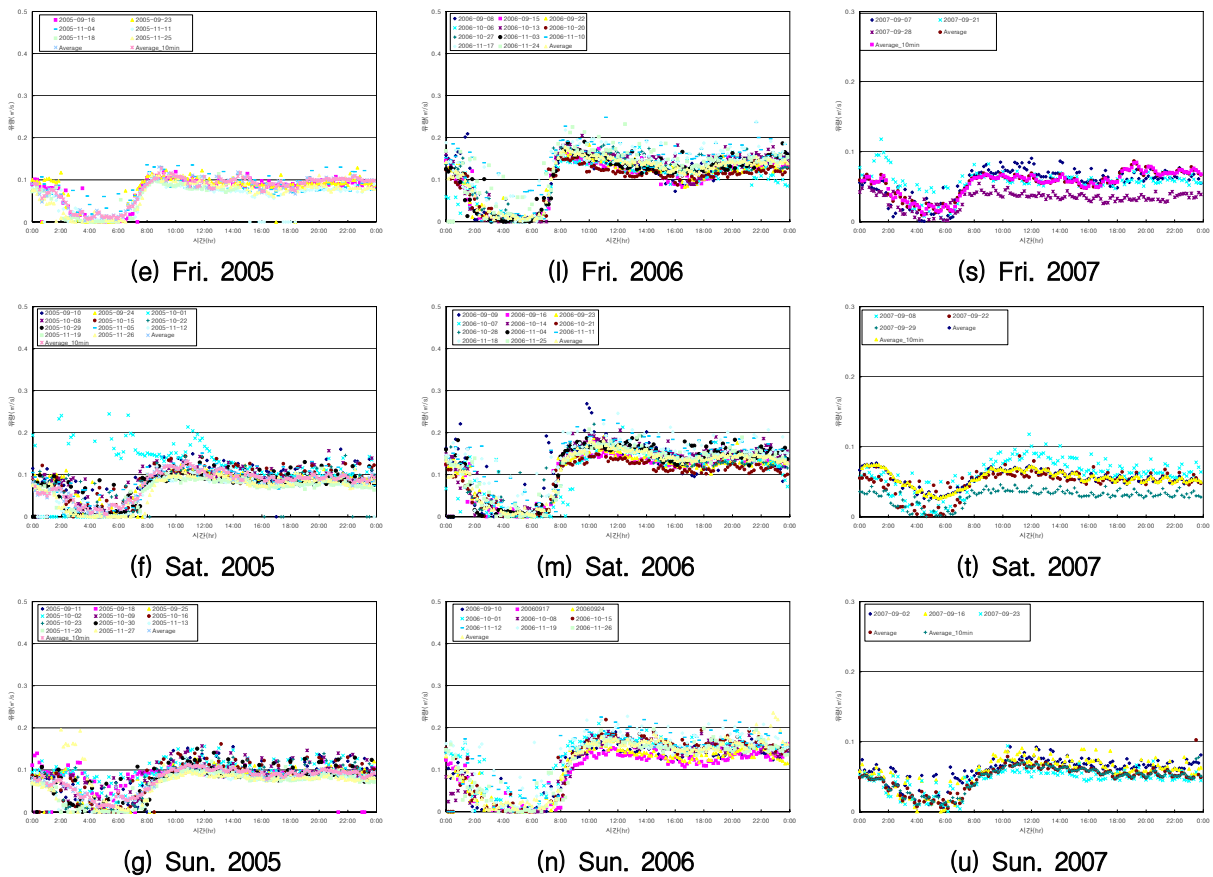


Fig. 7. Day of the Week Data Analysis with Daily Sewage

Table 3. Daily Average Sewage by Day of the Week Data Analysis

(Unit : m^3/s)

Day of the week		Mon.	Tues.	Wed.	Thur.	Fri.	Sat.	Sun.	Daily Average Sewage
Daily Average Sewage	2005	9.471	10.569	10.538	10.246	11.234	11.404	11.284	10.68
	2006	7.123	17.940	16.751	17.360	15.836	16.306	17.098	15.49
	2007	7.848	8.044	8.161	15.219	7.927	7.900	6.940	8.86

4. 직접유출량 산정

주간별, 요일별 일일평균하수량 분석자료를 이용하여 Table 4와 같이 4개 호우사상에 의한 유출량에서 일일 하수량을 제외한 직접유출량을 산정하였다. 각 호우사상의 해당 주간 및 요일에 대한 일일평균하수량을 적용하였다. 적용 결과는 다음 Fig. 8과 같다.

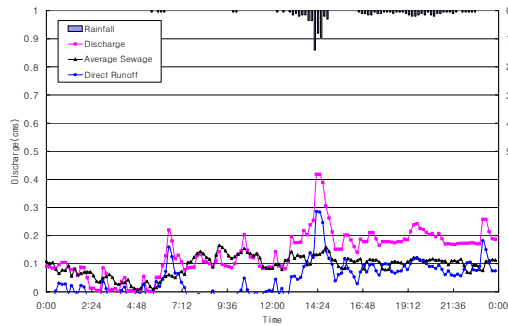
적용 결과를 검증하기 위하여 EPA에서 개발한 도시유역 모형인 SWMM을 적용하였다. SWMM은 도시유역의 강우에 의한 홍수량을 산정하기 위하여 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy사가 개발해낸 모형으로서, Florida 대학 및 WRE(Water Resources Engineers)의 공동연구에 의하여 도시유역 하수시스템의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 구성되었다(Huber and Dickinson, 1988). SWMM 모형은 도시유역내에서

강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질에 대한 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다(김충수, 2002).

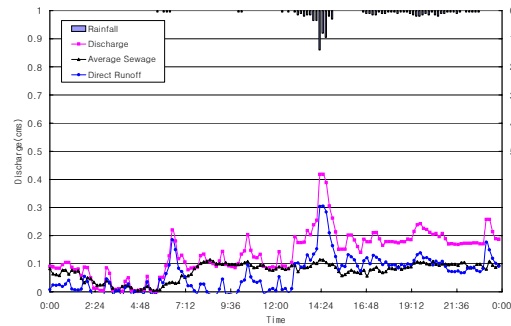
도시유역내 하수관거를 결합한 유출 모의에서 가장 민감한 매개변수 인자들을 비교한 결과, 하도 및 관망의 Manning 계수 영향이 가장 크며, 불투수·투수 유역의 Manning 계수와 불투수·투수 유역의 표면저류도 민감한 인자라는 것을 알 수 있었다(김충수, 2002). 이상의 5개 매개변수를 중심으로 2005년 9월 13일과 2006년 7월 28일에 발생한 호우사상에 대해 시행착오법으로 매개변수를 추정하기 위해 Fig. 9(Fig. 1 참조)와 같이 모형을 구축하였다. 분석결과, 주간별 분석결과와 요일별 분석에 의한 일일평균하수량 및 직접유출량 산정이 거의 유사한 결과를 보였다(Fig. 10, Table 5 참조).

Table 4. Rainfall Events for Estimation of the Direct Runoff

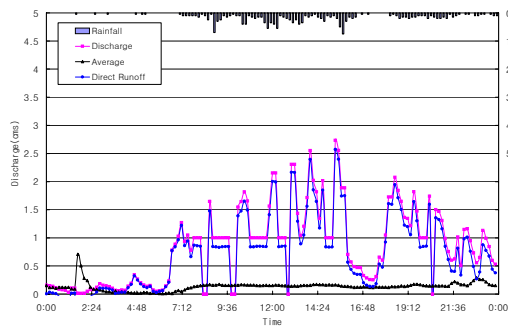
Day. Month. Year	13. Sept. 2005	27. Jul. 2006	28. Jul. 2006	22. Oct. 2006
Rainfall(mm)	39.5	166.0	89.5	15.5
Discharge(m^3/s)	19.76	120.83	71.39	20.42



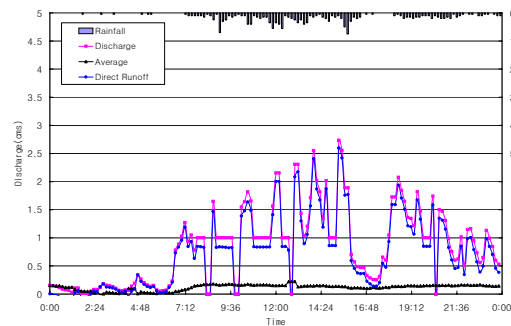
(a) 13 Sept. 2005(weekly)



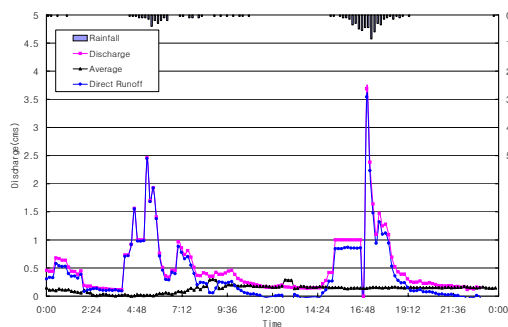
(e) 13 Sept. 2005(Day of the week)



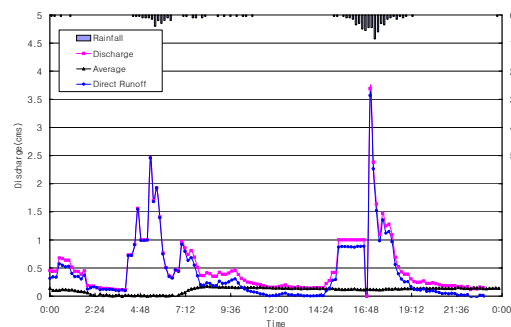
(b) 27 Jul. 2006(weekly)



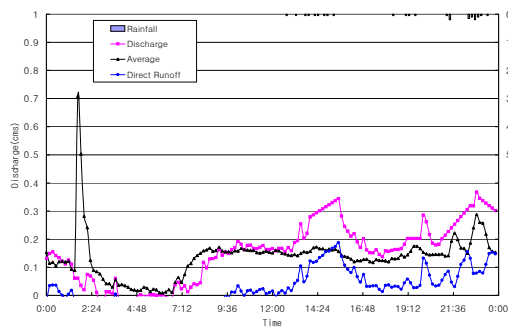
(f) 27 Jul. 2006(Day of the week)



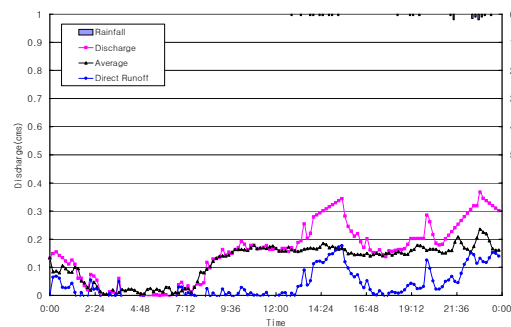
(c) 28 Jul. 2006(weekly)



(g) 28 Jul. 2006(Day of the week)



(d) 22 Oct. 2006(weekly)



(h) 22 Oct. 2006(Day of the week)

Fig. 8. Day of the Week Data Analysis with Daily Sewage

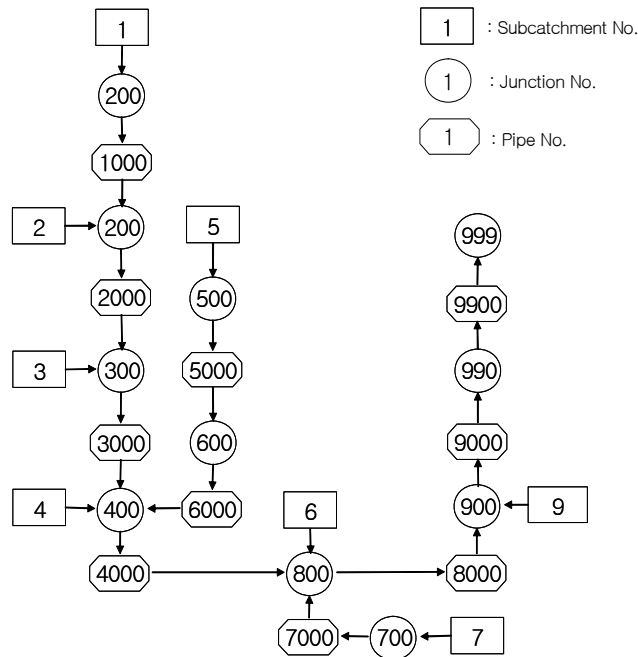
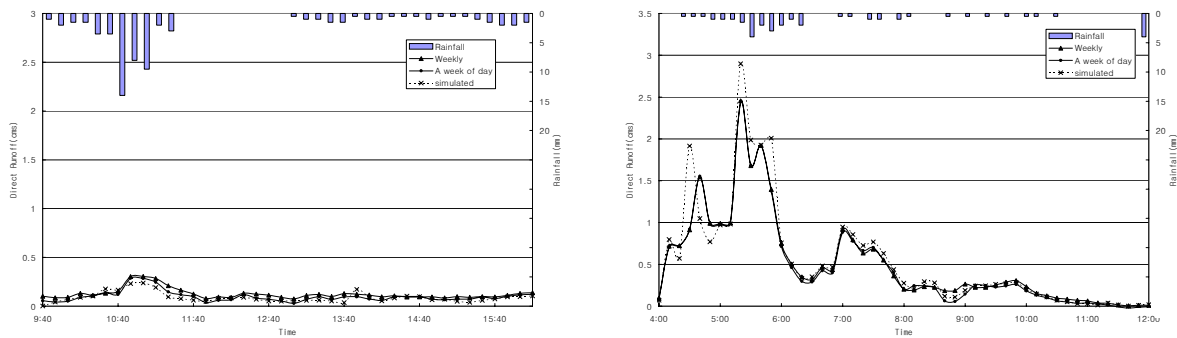


Fig. 9. Schematic Diagram of Pipe Network



(a) 13 Sept. 2005

(b) 28 Jul. 2006

Fig. 10. Calibration and Verification of Direct Runoff with SWMM

Table 5. Rainfall Events for the Direct Runoff Estimation

	Direct Runoff(m^3/s)		
	Weekly	Day of the week	SWMM
13 Sept. 2005	5.038	3.962	3.559
28 Jul. 2006	26.950	25.949	26.761

2005년 9월 13일 호우의 경우, 요일별 분석이 주간별 분석에 비해 다소 차이를 보이고 있으며, 실측유량 자체가 초음파 유속계의 특징인 진동하는 경향을 보여 모의와 다소 편차를 나타냈다. 2006년 7월 28일 호우에 대한 모의 결과값은 주간별, 요일별 분석 모두 아주 양호한 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

상가 및 주거지역으로 구성된 군자 시험배수구역의

일일하수량 자료를 주간별, 요일별로 분석하였다. 분석 결과, 기본적으로 무강우시 일정한 경향과 일평균유량 값을 보임을 알 수 있었고 시간대별, 요일별로 물사용 특성을 잘 보여주고 있었다. 이러한 분석 결과를 이용하여 4개의 호우사상에 대응한 유출수문곡선에서 일일 평균하수량을 제외하여 직접유출량을 산정하였다. 이때 해당일의 월별 주간과 요일에 맞는 일일평균하수량을 사용하였다. 산정된 결과의 검증에 위해 도시구역 강우-유출 모형인 SWMM을 사용하여 기 산정된 직접유출

량과 비교, 분석하였으나, 보다 신뢰성 있는 SWMM 모형의 검증 및 검증을 위해서는 앞으로도 지속적인 자료 수집 및 분석이 필요하다고 판단된다.

이러한 결과를 통해 도시유역인 군자 배수구역의 주간별, 요일별 일일평균하수량을 정량화 할 수 있었으며 일별, 시간별 물사용 경향 파악이 가능하고, 하수관거 정비 및 수공구조물 설계에 유익한 기초 자료로 활용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설핵심기술연구개발사업에(05 산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

건설교통부/한국건설교통기술평가원 (2005). **도시홍수 재해관리기술 연구보고서**, 별책 제1권.
권현한, 김종석, 오태석, 문영일 (2003). “합류식 배수계통을 갖는 도시하천의 유출분석.” **한국수자원학회**

2003년 학술발표회논문집(2), 한국수자원학회, pp. 667-670.

김충수 (2002). 도시유출 모의모형의 매개변수 추정. 석사학위논문, 서울대학교.

김충수, 김형섭, 이종태, 허성철 (2007). “도시하천 소배수구역의 일일하수량 경향 분석 - 군자배수구역을 중심으로.” **한국수자원학회 2007년 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1418-1422.

최계윤, 전영호, 장연규 (2003). “하수관거내 실측유량 해석을 위한 민감도분석에 관한 연구.” **한국수자원학회 2003년 학술발표회논문집(1)**, 한국수자원학회, pp. 517-520, 2003.

Huber, W. C., and Dickinson, R. E. (1988). *Stormwater management model, Version 4: User's manual Ver. 2.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Computer Program 723-S8-L7520.

Nix, S. J., Moffa, P. E., and Davis, D. P. (1991). “The practice of combined sewer system modeling.” *Water Resources Bull.*, Vol. 27, No. 2, pp. 1-12.

(논문번호:07-130/접수:2007.11.20/심사완료:2009.02.02)