韓國水資源學會論文集
第47卷 第9號·2014年 9月
pp. 777~787

J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION
Vol. 47, No. 9:777-787, September 2014
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.9.777
pISSN 1226-6280 • eISSN 2287-6138

첨두강우강도를 고려한 우수관로 및 빗물펌프장의 설계용량 검토

Study on Design Capacity of Stormwater Pipe and Pumping Station considering Peak Rainfall Intensity

정 건 희* / 심 규 범** / 김 응 석***

Chung, Gunhui / Sim, Kyu Bum / Kim, Eung Seok

Abstract

Stormwater pipe systems are most commonly used to discharge rainwater from the urban catchment covered by the impervious area. To design stormwater pipe and rainwater pumping station, frequency analysis is implemented using historical rainfall and the design rainfall is timely distributed using theoretical shape such as Huff distribution. This method cannot consider the rainfall intensity variation caused by climate change which is type of uncertainty. Therefore, in this study, runoff from Gasan1 stormwater pumping stations catchment is calculated using design rainfall distributed by the 2nd quartile distribution method and the historical rainfall events. From the analysis, the nodal flooding in the urban catchment is likely caused by the high peak rainfall event rather than the large amount of rainfall. The linear regression analysis is implemented. As a result, when several storms have the same amount of rainfall, the nodal flooding in the stormwater pipe systems could be caused by the high peak of storm events. Since as the storm duration become short, the peak rainfall become high, the nodal flooding likely become severe with the short storm duration. The uncertainty in the peak data of design rainfall is analyzed and this uncertainty has to be consider in the stormwater pipe design process.

keywords : design rainfall, peak rainfall intensity, stormwater pipe systems, design capacity of stormwater pumping station, uncertainty

요 지

불투수지역이 대부분인 도시유역의 경우, 우수관을 통한 우수의 배제가 유출시스템의 대부분을 차지한다. 도시지역의 우수관로 및 빗물펌프장의 용량을 설계하기 위해서는 일반적으로 강우빈도해석을 통해 계산된 빈도별 강우를 Huff시간분포 등을 사용하여 일괄적으로 시간 분포시켜 유출을 계산한다. 그러나 이러한 설계는 기후변화 등으로 인해 게릴라성 호우 등이 빈번히 발생하고, 평균적인 강우강도가 증가하고 있는 현실의 불확실성을 제대로 반영하지 못한다. 그러므로 본 연구에서는 설계강우사상의 첨두강우강도가 가지는 불확실성을 분석하기 위해, 설계강우사상을 시간 분포시키는 대표적인 방법이며, 실제 본 연구의 적용지역인 가산1빗물펌프장의 설계에 사용된 Huff 2분위 방법과 과거 발생한 실제 강우사상들을 이용한 유출해석을 실시하였다. 그 결과, 유역 내 지체효과가 거의 없는 도시지역의 경우에는 총강우량보다는 첨두강우강도에 의해 유역 내 홍수가 유발된다는 것을 확인하였고, 이를 입증하기 위해 회귀분석을 수행하였다. 즉, 총강우량이 같다고 하더라도, 첨두강우강도에 따라 상류 우수관의 범람이 야기될 수 있으며, 이러한 현상은 같은 빈도의 설계강우량이라고 해도 지속시간이 짧은 경우에 더 큰 첨두강우강도를 가지므로 더욱 두드러졌다. 이것을 본 연구에서는 설계강우사상를 시간분포시킴에 의해 야기되는 첨두강우강도의 불확실성이라고 정의하고, 이에 대한 정량화 및 고려가 도시지역의 유출시스템 설계 시 고려되어야 함을 제안하였다.

핵심용어 : 설계강우사상, 첨두강우강도, 우수관로용량, 빗물펌프장 설계용량, 불확실성

* 호서대학교 토목공학과 조교수 (e-mail: gunhui@hoseo.edu)
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hoseo University.
** 선문대학교 토목공학과 박사과정 (e-mail: telstar07@sunmoon.ac.kr)
Ph.D., Candidate, Department of Civil Engineering, Sunmoon University.
*** 교신저자, 선문대학교 토목공학과 부교수 (e-mail: hydrokes@sunmoon.ac.kr, Tel: 82-41-530-2325)
Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sunmoon University.

1. 서 론

도시유역에서의 홍수방어와 우수배제를 위해 유수지와 빗물펌프장을 설치하는 것은 매우 일반적인 방법이다. 이때, 구조물의 크기 결정에 사용되는 가장 일반적인 방법은 과거 강우를 빈도해석하여 계산된 목표 강우량을 Huff 분포와 같은 이론적인 시간분포에 맞추어 분포시켜 강우사상을 합성해내는 것이다. 이렇게 합성된 강우사상을 사용하여 초과 강우량을 배제하기 위한 유역 내 우수관의 크기나 빗물펌프장의 펌프용량, 저류지의 크기가 결정된다. 그러나 최근 기후변화 등의 외부 요인으로 인해 게릴라성 호우가 빈번해지는 등 강우패턴이 변화하는 경향을 보이고 있다. 이는 총강우량이 같아도 강우의 지속시간이 짧아지고, 첨두강우강도가 증가한다는 것을 의미한다. 이렇게 첨두강우강도의 증가 현상은 유역의 통수능이 우수관거의 통수능에 크게 의지하고, 유역 내 저류효과가 매우 작은 도시유역에서는 큰 위험을 초래하여, 홍수로 인한 재산이나 인명피해를 야기할 수 있다. 그러므로 도시유역의 홍수방어를 위한 구조물을 설계할 때는 첨두강우강도에 대한 고려가 매우 중요함을 알 수 있다. 그러나 미래에 발생할 시간당 강우량만큼이나 첨두강우강도 역시 예측이 매우 불가능하며, 이를 고려하기 위해 불확실성이라는 개념을 사용해야 한다.

불확실성을 고려한 도시유역의 유출해석에 관련된 연구들은 대부분 과거강우사상을 기반으로 미래 강우를 예측하고, 예측 시 발생하는 불확실성들을 분석하고 정량화하는 방향으로 이루어지고 있었다. 예를 들어, Jeong and Kim (2002)은 과거 강우자료를 현 상태의 유역에 적용하여 확률론적 예측기법인 앙상블 예측을 이용한 충주댐의 월 유입량에 대한 확률론적 예측방안을 제시하였고, Park (2009)은 홍수유출모형에 있어 공간적 변화특성과 평균 강우량의 공간분포를 반영할 수 있는 분포형 모델을 대상으로 앙상블 칼만필터 이론을 적용하였다. 또한, 비선형시스템에서 오차를 포함한 반응을 실시간으로 처리하여 불확실성을 정량적으로 감소시켜 선형시스템에서의 칼만필터 이론보다 더 정밀한 홍수유출을 예측하는 연구를 수행하였다.

도시지역의 우수관망이나 빗물펌프장을 대상으로 한 연구들 중 불확실성을 고려한 연구들은 크게 강우량 등 입력 자료에 의한 불확실성과 시설의 설계에 사용되는 매개변수의 불확실성을 고려한 연구로 나눌 수 있다. Joo and Park (2013)은 도시유역 내의 강우-유출모형으로 많이 사용되는 SWMM 모형 입력변수들의 관측의 한계, 모형상의 오류 등으로 야기되는 불확실성 정도를 정량화하여 유출량 산정결과에 반영하였다. Kim et al. (1995)은 우수관거 설계 시 설계변수들이 불확실성의 요소들을 포함하고 있어, 우수관거의 설계변수에 영향을 미치는 모든 성분들의 불확실성을 파악하여 설계재현기간 별로 위험도에 따른 적정 위험도-안전율 곡선을 유도하여 제시하였다. 또한 우수관거나 빗물펌프장의 운영에 미치는 불확실성을 통제하기 위해 Lee (2007)는 도시 내배수시스템의 유수지 수위를 고려하여 강우-유출 모형을 실시간으로 모의하고 이를 바탕으로 내배수시스템을 실시간으로 운영하는데 필요한 정량적인 자료를 제공하였다. 또한, 강우-수위-유출의 관계를 실시간으로 모의하여 시스템의 운영에 필요한 자료를 정확히 정량화하여 보다 합리적인 내배수시스템 및 빗물펌프장의 운영 모형을 구축하였다. Choi (2007)는 내배수체계 개선에 따른 효과적인 배수운영 및 유수지 수위 저감을 위해 퍼지제어기법을 펌프운영 방식에 적용하여 적정 운영방안을 도출하였다. Joo et al. (2010)은 Jun et al. (2007)이 개발한 도시 내배수시스템의 실시간 운영 모형과 Lee et al. (2007)이 제시한 실시간 도시 내배수시스템에 적용 가능한 다양한 펌프운영규칙을 이용하여 실제 빗물펌프장에 적용 후 효과를 확인하고 운영시스템 개선 및 적용과 경제적 효과를 분석하였다. 그러나 어떤 연구도 도시유역의 특성을 고려하여 유출해석을 실시하거나 내수침수가 발생하는 원인을 정확히 지적하지 않았다.

그러므로 본 연구에서는 설계강우사상과 과거 발생한 강우사상들을 비교하고, 유역 내 내수침수가 발생한 원인을 살펴본 후, 설계용량과 과거 강우사상들에 의한 유출결과를 비교·검토한 후, 보다 합리적인 우수관망 설계나 도시홍수저감계획이 필요함을 지적하였다. 또한 이를 위해 첨두강우강도 발생의 불확실성을 정의하고, 이에 대한 정량화 및 연구가 필요함을 제안하였다.

2. 대상유역 및 자료수집

2.1 대상유역현황

본 연구의 대상지역인 가산1 빗물펌프장 유역은 서울시 금천구 가산동에 위치하고 있으며 0.48km^{2}의 유역면적을 차지하고 있다. 또한, 전체유역면적 중 공업지역이 73%로 대부분을 차지하고 있고, 기타 상업지역 등이 27%를 차지하는 대표적인 공업지역이다. 가산1 빗물펌프장 유역도를 Fig. 1(a)와 같이 나타내었다. 가산1 빗물펌프장은 초기 건설 당시 Table 1에 나타난 것과 같이 10년 빈도로 건설되어 총 3대의 펌프를 보유하고 있었다. 그러나 서

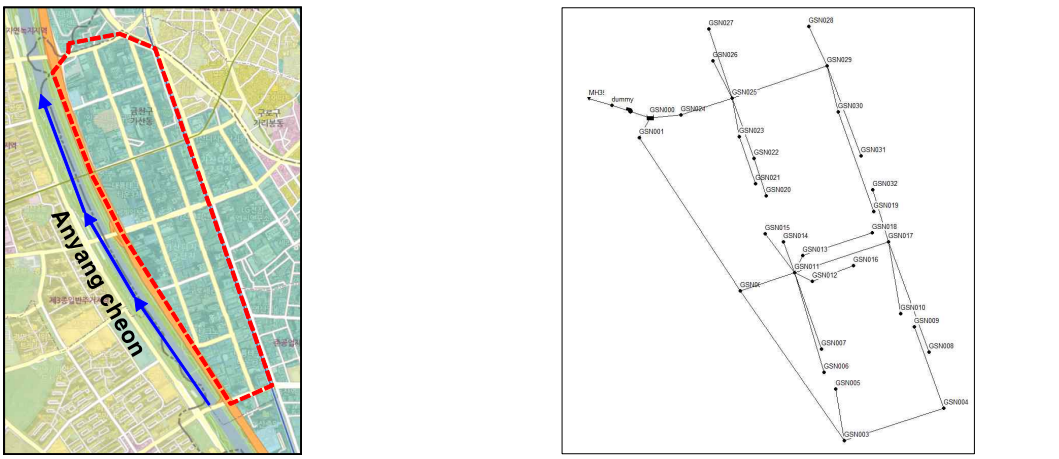
울시 치수정책 강화와 상위계획인 「기상이변을 대비한 수방시설능력향상[펌프장분야] 타당성조사(2007.11, 서울특별시)」에 의해 30년 빈도로 상향하여 펌프장이 증설되어 현재는 총 5대의 펌프가 운영 중이다(Seoul, 2007). 그러나 Table 1에서 알 수 있는 것과 같이, 유수지와 상류 우수관로의 크기는 초기 건설 당시 10년 빈도 그대로 유지되고 있어 상류 우수관로의 통수능이 부족할 것으로 예상되는 지역이다. 본 연구에서는 가산1 빗물펌프장을 대상으로 SWMM모형을 이용하여 유출해석을 수행하였다. 가산1 빗물펌프장 SWMM 모형 관망도는 Fig. 1(b)와 같으며, 총 절점 개수는 유출구를 포함하여 34개, 관로는 33개로 이루어져 있다.

2.2 SWMM모형 매개변수 보정

본 연구에서는 구축된 SWMM모형에 입력되는 매개변수 보정은 2009년 4개의 강우사상(Table 2)과 실제 토출량, 유수지 수위 자료를 이용하여 수행되었다. 보정된 매개변수는 유역폭, 유역의 불투수면적비, 관로의 조도계수 등이며, 그 결과는 Table 3과 같다.

2.3 대표강우사상 선정

본 연구에서는 서울시 기상청 1961년부터 2012년의 52개년 1시간단위 강우자료를 사용하였다. 장기간의 강우자료는 불규칙한 분포로 이루어져 있어 단일 강우사상을 분리할 수 있는 강우 간 시간(Inter Event Time Definition,



(a) Location of Study Catchment (b) Stormwater Pipe Network of Study Catchment

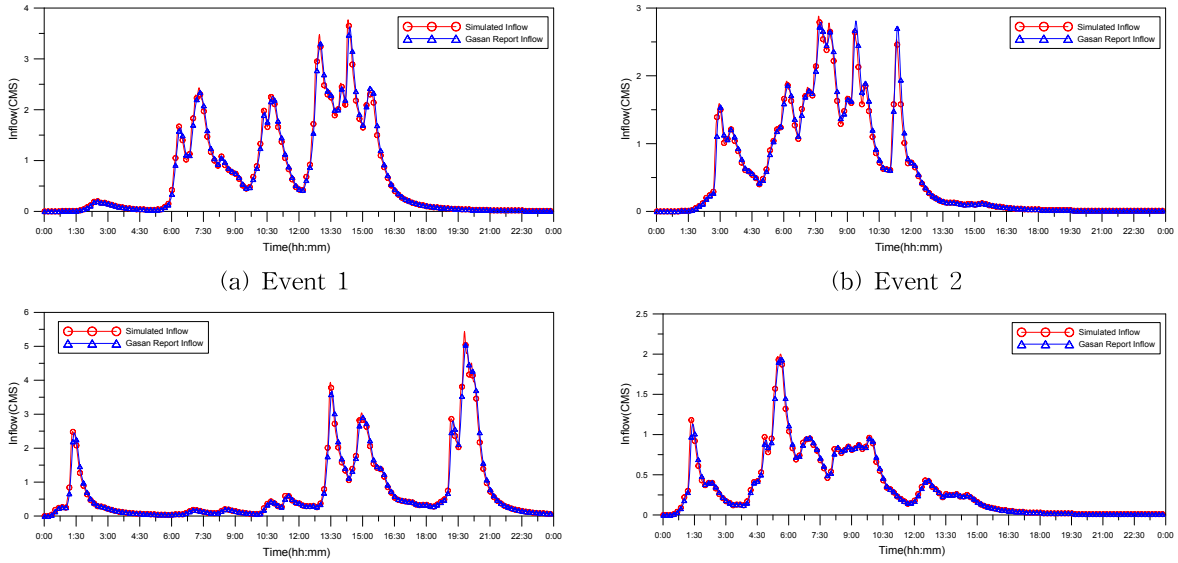
Fig. 1. Location and Stormwater Pipe Network of Study Catchment

Table 1. Gasan1 Stormwater Pumping Station

Design Frequency	Pump Capacity	Retarding Basin Volume (m^3)	Stormwater Pipe Design Frequency
10 yr	250 Hp×3 (300 m^3/min)	9,000	10 yr Frequency
30 yr	250 Hp×3 (300 m^3/min) 430 Hp×2 (640 m^3/min)		

Table 2. Rainfall Events used for Parameter Calibration

Event No	Rainfall Period	Duration	Total Rainfall (mm)	Peak Rainfall Intensity (mm/hr)	Average Rainfall Intensity (mm/hr)
1	2009.07.09 00:21~07.09 15:47	15 hr 26 min	153.5	28.5	6.4
2	2009.07.12 00:43~07.12 14:55	14 hr 12 min	129.0	26.0	5.4
3	2009.07.14 00:03~07.14 20:16	20 hr 13 min	159.0	41.5	6.6
4	2009.08.12 00:02~08.12 14:19	14 hr 17 min	75.0	18.0	3.1



(a) Event 1 (b) Event 2

(c) Event 3 (d) Event 4

Fig. 2. Comparison of Observed and Simulated Runoff after Calibration

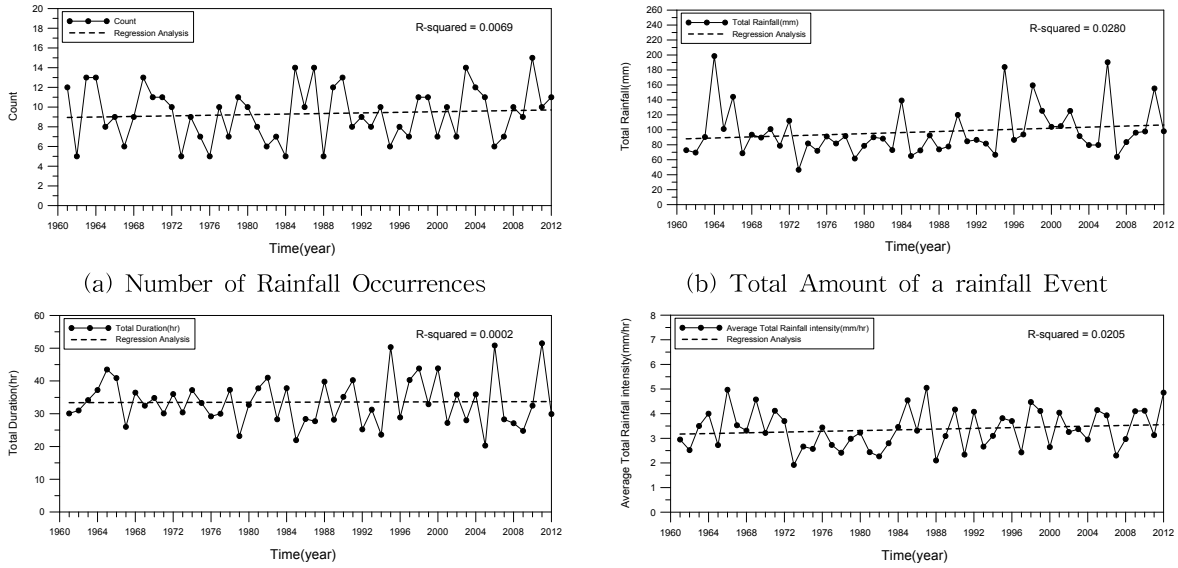
Table 3. RMSE of Observed and Simulated Runoff after Calibration

Event. No	Parameters					RMSE
	Basin Width(m)	Percentage of Impervious Area(%)	Roughness of Impervious Area	Roughness of Pervious Area	Manning N	
1	545.625	80	0.015	0.030	0.017	0.090
2						0.082
3						0.136
4						0.040

IETD)결정이 필요하다. IETD개념은 장기간의 강우 기록에서 각각의 강우사상을 분리하기 위한 무강우기간을 이용하며, 본 연구에서는 기존의 서울시 1시간단위 강우자료 이용하여 IETD를 분석한 Gwon (2003)문헌을 바탕으로 IETD를 10시간으로 결정하였다. 본 연구에서는 과거 강우사상 중 도시유역에 홍수를 유발하거나 빗물펌프장이 운영되어 홍수가 예방된 경우를 찾아 분석하는 것이 목적이므로, 기상청 호우 주의보 및 경보 발령 강우량의 40%에 해당하는 총강우량 40 mm 이상인 강우사상 총 103개를 대상으로 과거강우사상의 특성변화를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 선형회귀식의 R^2가 0.028과 0.021로 작은 편이기는 하지만, 강우사상별 총강우량과 평균강우강도는 연도가 증가함에 따라 증가하는 추세를 보였으며, 평균 지속시간과 평균강우강도는 R^2값이 0.0002와 0.0069로 매우 작아 큰 변화가 없었다. 총 103개의 강우사상 중 본 연구에 적용하기 위해 선정된 대표 강우사상 5개는 Table 4와 같다.

2.4 빗물펌프장 설계강우사상

본 연구의 대상지역인 가산1 빗물펌프장은 앞에서 설명한 바와 같이 기존에 10년 빈도(펌프 3대)로 설계되어 운영되어 오다가, 방류하천인 안양천의 수위조건, 수해에 따른 민생의 안정 등을 고려하고 서울시 치수정책의 기본방향과 상위계획인 「기상이변을 대비한 수방시설능력향상[펌프장분야] 타당성조사(2007.11, 서울특별시)」에 의해 30년 빈도로 상향하여 펌프장이 증설되었으나(펌프 5대) 상류 우수관거는 그대로 10년 빈도로 남아있는 상태이다. 30년 빈도로 증설 시 사용된 빗물펌프장 유역의 지속시간별 확률강우량은 Table 5와 같으며, 설계 시 Huff 시간분포를 적용하여 Huff 2분위를 가장 적합한 분포형으로 선정하여 적용하였다. 그러므로 설계빈도에 따른 지속시간을 결정(60분, 360분, 720분, 1440분)한 후, Huff 2분위를



(a) Number of Rainfall Occurrences

(b) Total Amount of a rainfall Event

(c) Total Duration of Rainfall Events

(d) Average intensity of Rainfall Events

Fig. 3. Characteristics Change of Rainfall Events

Table 4. Representative Rainfall Events

Event. No	Rainfall Period	Total Rinfall (mm)	Duration (hr)	Average Rainfall Intensity (mm/hr)
1	1966.07.14 00:00~1966.07.15 22:00	223.1	23	9.7
2	1987.07.26 19:00~1987.07.27 12:00	283.5	18	15.75
3	2001.07.14 15:00~2001.07.15 16:00	307.1	26	11
4	2002.08.06 20:00~2002.08.07 14:00	201.1	19	10.6
5	2010.09.21 10:00~2010.09.21 22:00	258.5	13	19.8

Table 5. Stormwater Pump Station Design Rainfall (mm)

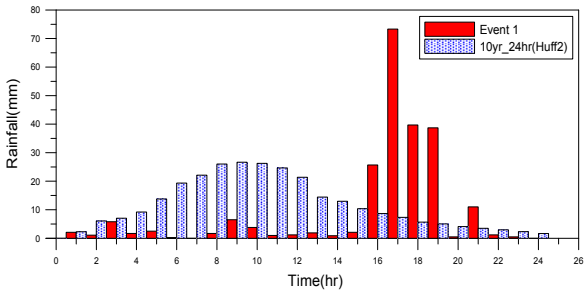
Duration	Design Frequency		
	10 yr	20 yr	30 yr
10 min	25.2	28.3	30.1
60 min (1 hr)	77.1	88.0	94.3
120 min (2 hr)	110.9	126.2	135.0
180 min (3 hr)	138.0	157.9	169.4
360 min (6 hr)	177.3	202.5	217.1
720 min (12 hr)	219.6	250.7	268.6
1080 min (18 hr)	253.8	292.7	315.1
1440 min (24 hr)	283.9	330.1	356.6

이용하여 시간 분포시킨 강우사상을 이용하여 유출분석을 수행하였다. Huff 2분위의 경우 국토부의 “한국확률강우량정보(www.k-idf.re.kr)”를 통해 새롭게 제시된 Huff 계수를 이용하였다.

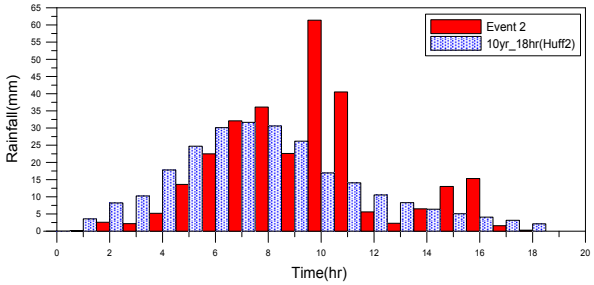
앞서 선정된 대표강우사상과 설계강우사상 중 지속시간과 첨두강우강도가 비슷한 사상을 함께 Table 6과 Fig. 4에 나타내었다. Table 6에서 알 수 있는 것과 같이, 대표강우사상 1은 10년 빈도 24시간 설계강우사상과 비슷한

Table 6. Comparison of Storm Characteristics in Representative and Design Rainfall

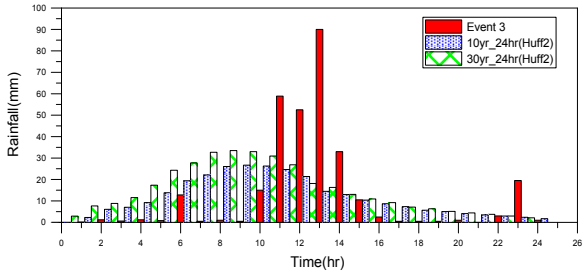
Even. No	Total Rainfall (mm)	Duration (hr)	10 year Frequency Design Rainfall		30 year Frequency Design Rainfall	
			Duration	Total Rainfall (mm)	Duration	Total Rainfall (mm)
1	223.1	23	24hr	283.9		
2	283.5	18	18hr	253.8		
3	307.1	26	24hr	283.9	24hr	356.6
4	201.1	19	18hr	253.8		
5	258.5	13	12hr	219.6		



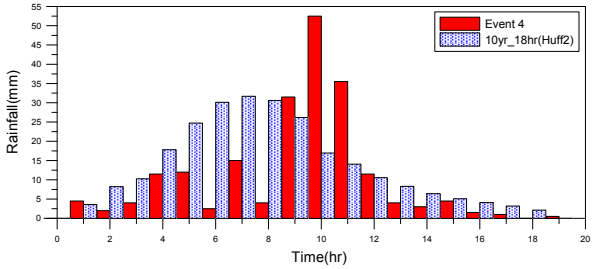
(a) Events 1 & 10 Years Frequency 24 Hours rainfall



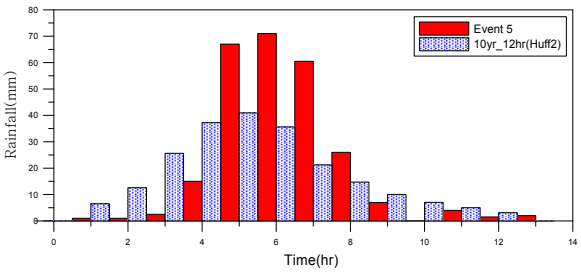
(b) Events 2 & 10 Years Frequency 18 Hours rainfall



(c) Events 3 & 10 and 30 Years Frequency 24 Hours rainfall



(d) Events 4 & 10 Years Frequency 18 Hours rainfall



(e) Events 4 & 10 Years Frequency 18 Hours rainfall

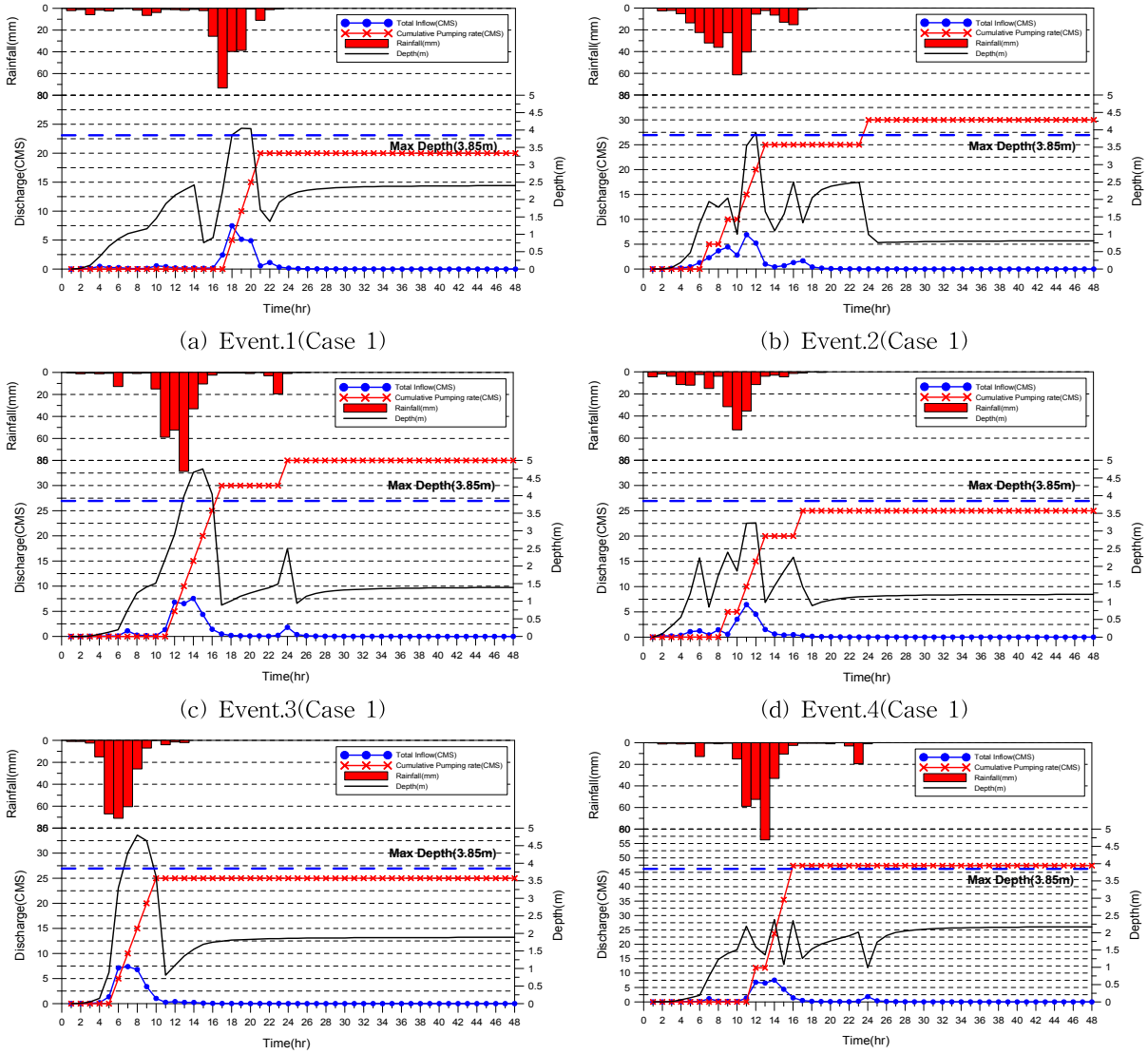
Fig. 4. Comparison of Representative and Design Rainfall

총 강우량과 지속시간을 가지고 있다. 정량적인 값은 비슷하지만, Fig. 6에서 보이는 것과 같이 모든 강우사상에서 실제 대표강우사상이 Huff 2분위로 분포된 설계강우사상보다 큰 첨두강우강도를 가지고 있었다. 그러므로 실제 발생하는 강우사상과 설계강우사상 사이에 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

3. 적용 및 결과

3.1 과거 대표강우사상을 이용한 유출해석

본 연구에서는 선정된 대표강우사상 5개를 이용하여 가산 1빗물펌프장 유역의 강우-유출 분석을 수행하였다. 펌프의 가동수위는 2.5 m, 정지수위는 0.75 m로 지정하였으며, 모의 순서는 다음과 같다.

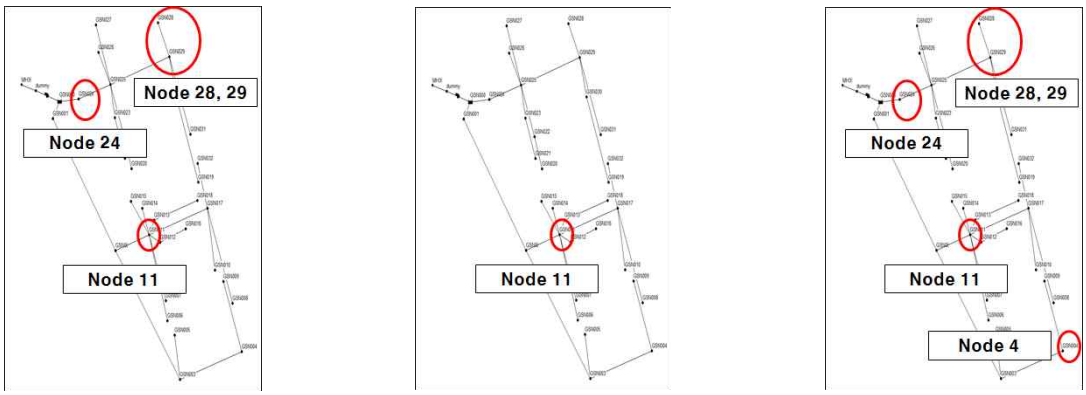


(a) Event.1(Case 1) (b) Event.2(Case 1)

(c) Event.3(Case 1) (d) Event.4(Case 1)

(e) Event.5(Case 1) (f) Event.3(Case 2)

Fig. 5. Rainfall Hyetograph, Retarding Basin Inflow Curve and Pumping Discharge using Historical Rainfall Events



(a) Events 1, 2, 5 (Case 1) (b) Events 4 (Case 1) (c) Events 3 (Case 1 and 2)

Fig. 6. Flooding Nodes in Upstream Stormwater Pipe Network

Case 1) 대표강우사상 5개+10년 용량의 빈도 빗물펌프장을 포함한 우수관망

Case 2) 홍수가 극심한 대표강우사상 3번+30년 빈도로 증설된 빗물펌프장을 포함한 우수관망

위와 같은 순서로 상류 절점에 통수능 부족으로 인한 홍수와 유수지 범람이 발생하는지를 검토 하였다. 우선 Case 1의 결과를 Fig. 5(a)~(e)와 같이, 강우사상 별 유수지의 수위와 유수지로 유입량, 펌프토출량을 계산하여 도시하였다. Fig. 5에서 보이는 같이, 강우사상 1, 3, 5에서 유수지의 범람이 발생하는 것을 알 수 있었다. 특히, 강우사상 3에서는 펌프토출량도 다른 강우사상에 비해 많음에도 불구하고, 유수지의 범람이 발생하였다. 이때, 상류 절점의 홍수발생여부는 Fig. 6과 같다. 유수지의 수위가 가장 낮았던 강우사상 4는 절점 11에서만 홍수가 발생하였으며, 강우사상 1, 2, 5는 총 4개의 절점에서 홍수가 발생하였다. 마지막으로 유수지의 수위가 가장 높고, 펌프토출량도 많았던 강우사상 3은 총 5개의 상류절점에서 홍수가 발생하였다.

두 번째로 Case 2는 Case 1에서 절점홍수량이 많이 발생하고, 유수지도 범람했던 강우사상 3을 대상으로 설계빈도 30년으로 증설된 빗물펌프장의 펌프용량을 이용하여 모의하였다. Case 1과 Case 2를 구분하여 모의한 이유는, 빗물펌프장의 펌프용량은 30년 빈도의 강우량에 맞추어 증설이 되었지만, 상류관로는 여전히 10년 빈도로 설계된 채로 운영되고 있기 때문이다. Case 2결과, Fig. 5(f)에서 보이는 것과 같이, 유수지의 수위는 Fig. 5(c)에 비해 현저히 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 그러나 Fig. 6(c)에서 알 수 있는 것과 같이, 상류 절점에서 발생하는 홍수는 그대로 남아 있었다. 즉, 펌프용량만 증설되었기 때문에 상류 우수관로에 의한 효과적인 우수배제가 이루어지지 않은 것을 알 수 있었다.

Case 1과 Case 2에서 발생한 절점홍수량의 총합은 Table 6과 같다. 우수관로는 증설이 되지 않았으므로, 강우사상 3에서 발생한 절점 홍수량은 Case 1과 Case 2가 동일했다. 분석 결과, 절점의 홍수량은 우수관로의 통수능에 기인하므로 각 강우사상에서 절점홍수를 야기하는 첨두강우강도를 Table 7에 기록하였다.

3.2 설계강우사상을 이용한 유출해석

설계강우량을 초과하는 경우나, 첨두강우강도가 설계강우사상의 첨두강우강도보다 큰 경우에 상류 절점에 홍수가 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 실제로 분포된 설계강우사상이 발생하였을 때는 우수관망의 통수능이 어떤지를 다음과 같이 검토하였다.

Case 3) 설계강우사상 + 10년 빈도 용량의 빗물펌프장을 포함한 우수관망

Case 4) 설계강우사상 + 30년 빈도로 증설된 빗물펌프장을 포함한 우수관망

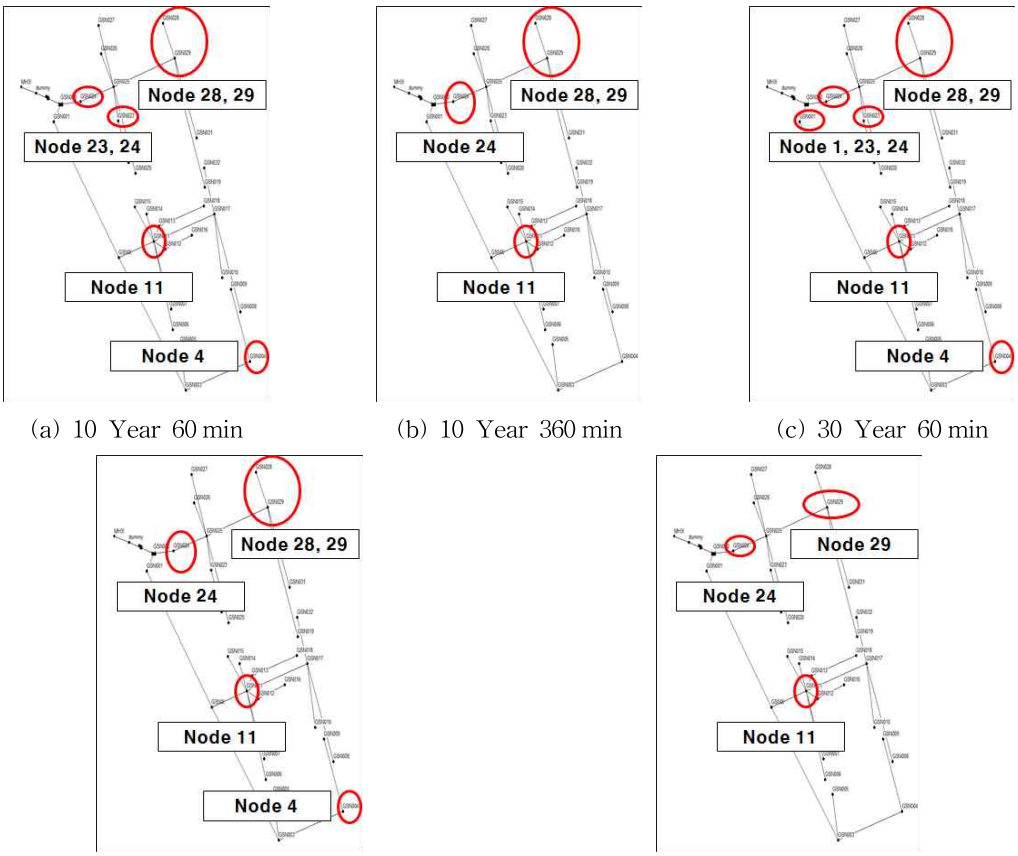
설계강우사상은 10년 빈도, 30년 빈도 60분, 360분(6시간), 720분(12시간), 1440분(24시간)을 적용하였다. Table 8의 결과에서 알 수 있듯이 지속시간이 길어질수록 첨두강우강도가 낮아지므로, 절점홍수가 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 지속시간 60분이나 360분과 같이 지속시간이 짧은 설계강우사상이 발생할 때는 상류 절점에 홍수가 다수 발생하였다(Table 8). 홍수가 발생하는 절점의 위치도는 Fig. 7과 같다. 즉, 우수관망은 설계강우사상도 지속시간을 짧게 잡아 첨두강우강도가 커지면, 원활히 소통시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 이때 유수지와 펌프의 운전은 Fig. 8과 같이 매우 안정적으로 여유 있게 운전되고 있었다. 그러므로 상류 절점의 홍수는 전적으로 관로의

Table 7. Nodal Flooding Result using Representative Rainfall Events

Division \ Event No	Event.1	Event.2	Event.3	Event.4	Event.5
Nodal Flooding (10^3 m^3)	4.818	2.632	15.435	0.506	13.236
Peak Rainfall Intensity (mm/hr)	73.3	61.4	90	52.5	71

Table 8. Flooding Nodes using Design Rainfall

Frequency	Duration(min)			
	60	360	720	1440
10 yr	24, 23, 11, 28, 29, 4	24, 11, 28, 29	No	No
30 yr	1, 24, 23, 11, 28, 29, 4	24, 11, 28, 29, 4	24, 11, 29	No



(a) 10 Year 60 min (b) 10 Year 360 min (c) 30 Year 60 min

(d) 30 Year 360 min (e) 30 Year 720 min

Fig. 7. Flooding Nodes using Design Rainfall

통수능 부족에 기인하는 것을 알 수 있다.

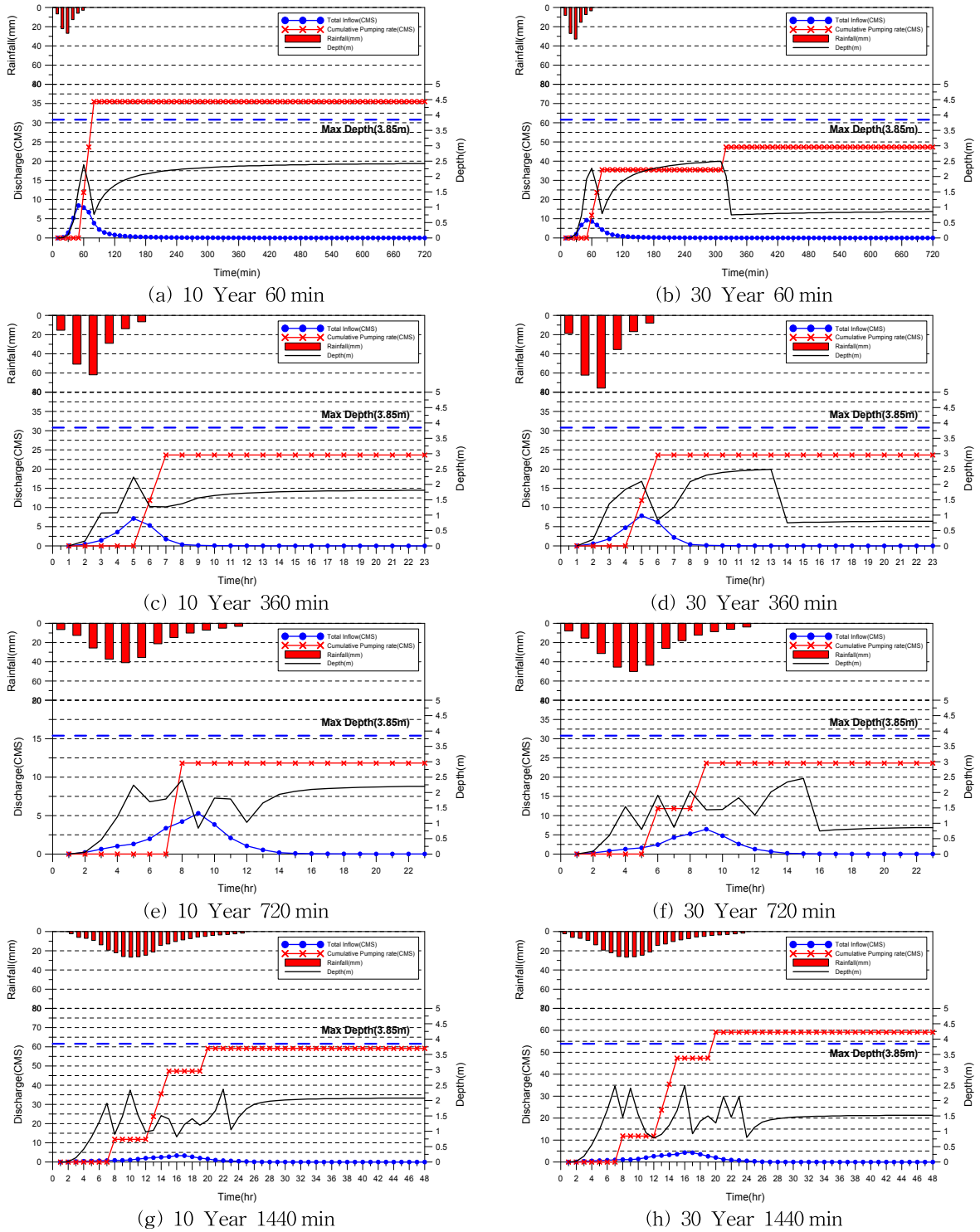
그러므로 설계강우량을 시간 분포시켜 우수관의 크기를 결정하는 것 보다는 도시유역에서 배제가 가능하도록 할 첨두강우강도를 결정한 후에 이에 따른 우수관의 크기를 설계하는 것이 보다 바람직할 수도 있다는 가정을 세우고, 첨두강우강도에 따른 절점의 홍수량을 그래프로 그려본 결과 Fig. 9와 같은 선형회귀식을 구할 수 있었다. 자료의 수가 많지는 않지만, 선형회귀식을 구한 결과, 절점의 홍수량(m^3)과 첨두강우강도 사이에 R^2값이 0.78로 상당히 높은 상관성을 보이는 회귀식을 구할 수 있었다.

4. 결 론

서울시와 같은 도시화가 상당히 진행된 도시유역의 경우에는 우수관을 통한 유역 내 우수배제가 필수적이다. 또한 유수지나 빗물펌프장 등을 이용해 첨두유출을 감소시키거나 유역 내 내수침수를 저감하기도 한다. 이런 도시유역 내 우수관의 통수능이 부족한 경우에는 빗물이 제때에 원활히 배제되지 못하고 유역 내 홍수를 유발한다. 그러므로 우수관 및 빗물펌프장의 설계는 매우 중요하다. 현재 우수관을 설계하는 방법은 과거강우사상을 빈도 분석하여 계산된 빈도별 지속시간별 홍수량을 Huff 분포와 같은 방법으로 시간분포시켜 단순히 유출량을 계산하여 우수관의 크기를 계산하고 있다. 그러나 유역 내 저류효과가 크지 않은 도시지역의 경우에는 이러한 계산방법이 충분하지 않을 수 있다.

본 연구에서는 불투수지역이 많은 도시유역의 우수관 및 홍수방어를 위해 건설되는 빗물펌프장의 설계에 사용되는 설계강우사상의 첨두강우강도가 가지는 영향을 분석하기 위해, 설계강우량을 시간 분포시키는 대표적인 방법이며, 실제 본 연구의 적용지역인 가산1빗물펌프장의 설계에 사용된 Huff 2분위 방법과 과거 발생한 강우사상들을 이용한 유출해석을 실시하였다.

과거강우사상들을 이용하여 대상유역의 유출을 분석한 결과, 많은 사상들에서 관거의 통수능 부족이나 펌프설계용량 부족으로 인한 유역 내 홍수가 발생하였다. 특히 도시유역은 도달시간이 짧고 유역의 저류효과가 적으며, 우수관로를 이용하여 대부분의 우수를 배제하기 때문에, 총



(a) 10 Year 60 min (b) 30 Year 60 min

(c) 10 Year 360 min (d) 30 Year 360 min

(e) 10 Year 720 min (f) 30 Year 720 min

(g) 10 Year 1440 min (h) 30 Year 1440 min

Fig. 8. Hyetograph, Retarding Basin Inflow Curve and Pumping Discharge using Design Rainfall

강우량보다 첨두강우강도의 영향이 큰 것으로 분석되었다.

첨두강우강도의 영향을 분석하기 위해 총강우량이 비슷한 과거 대표강우사상과 설계강우사상을 이용하여 도시유역 내 우수관의 통수능 부족으로 인한 홍수유발을 비교하고, 첨두강우강도와의 관계를 분석하였다. 그 결과, 유역 내 지체 및 저류효과가 거의 없는 도시지역의 경우에는 총강우량보다는 첨두강우강도에 의해 홍수가 유발된다는 것을 확인하였고, 이를 입증하기 위해 회귀분석을

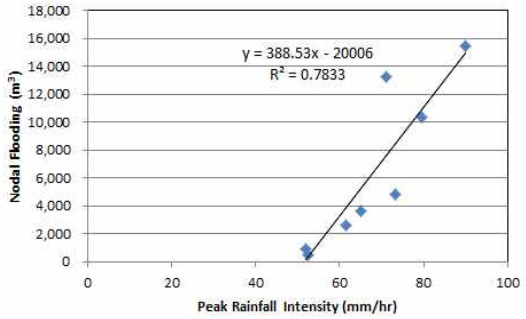


Fig. 9. Relationship Between Nodal Flooding and Peak Rainfall Intensity

수행하였다. 즉, 총강우량이 같다고 하더라도, 첨두강우강도에 따라 상류 우수관의 범람이 야기될 수 있었다. 이것을 본 연구에서는 설계강우사상의 시간분포방법에 따른 첨두강우강도의 불확실성이라고 정의하고, 이에 대한 정량화 및 설계 시 고려가 필요하다는 결론을 내렸다. 또한 본 연구의 적용지역과 같이 빗물펌프장의 설계용량을 증설한 경우라고 하더라도 상류 우수관도 동시에 증설하지 않는다면, 그 효과가 매우 미비한 것으로 판단되었다. 그러므로 향후 서울시와 같이 불투수면적이 대부분인 도시유역의 경우에는 우수관 및 빗물펌프장의 설계에 빈도해석을 통한 총강우량이 아니라 목표 첨두강우강도가 고려되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Choi, W.J. (2007). An Improvement Method of Drainage System and Pumping Operation for Flood Mitigation in the Low-level Inland Area, Kookmin University, Department of Civil and Environmental Engineering, doctorate thesis.

Gwon, J.H. (2003). Rainfall Analysis to Estimate the Amount of Non-point Sourse Pollution, Korea University School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Master's thesis.

Jun, H.D., Lee, Y.J., Lee, J.H., and Kim, J.H. (2007). "Research paper : Development of a Real Time Control Model for Urban Drainage Systems." *Korean Society on Water Environment*, Vol. 23, No. 5, pp. 748-755.

Jeong, D.I., and Kim, Y.O. (2002). "Forecasting Monthly Inflow to Chungju Dam using Ensemble Streamflow Prediction." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 22, No. 3-B, pp. 321-331.

Joo, J.G., and Park, S.A. (2013). "Uncertainty Analysis of SWMM Input Parameters" *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 2013, No. 11, pp. 517-522.

Joo, J.G., Yoo, D.G., Yang, J.M., Jung, D.H., and Kim, J.H. (2010). "Improvement and Application of Pump Station Operating System and Economic Analysis of the Application." *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 3, pp. 155-165.

Kim, M.M., Chao, W.C., and Heo, J.H. (1995). "Analyses of Uncertainty and Risk-Safety Factor Curve of Storm Sewer Systems." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 15, No. 5, pp. 1323-1332.

Lee, J.H., Lee, Y.J., Jun, H.D., and Kim, J.H. (2007). "Development of a Pump Operation Rule in a Drainage Pump Station using a Real Time Control Model for Urban Drainage System." *Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 11, pp. 877-886.

Lee, Y.J. (2007). Development of a Real Time Control Model for Urban Drainage Systems Considering Backwater Effect, Korea University School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Master's thesis.

Park, H.G. (2009). Flood Forecasting by using Distributed Models; The Applications of Ensemble Kalman Filter, Yeungnam University, Department of Civil Engineering, Master's thesis.

Seoul (2010). Improvement Project of Rainwater Pump station Operating System.

Seoul (2007). The Feasibility Study of Flood Control Facility Capability Improvement Against to Weather Accident.

논문번호: 14-037	접수: 2014.05.02
수정일자: 2014.08.07/08.20	심사완료: 2014.08.20