PCSWMM 모형을 이용한 안양천 유역에서 내수침수의 시간적·공간적 해석

Temporal and Spatial Analysis of Extended Sewer Surcharge on Anyangcheon Watershed Using PCSWMM

이길성*, 김성은**,
Kil Seong Lee, Sung-Eun Kim

요 지

대부분의 도시지역은 불투수면적 비율이 상당히 높은 특징으로 인한 유출용적 및 첨두유출량의 증가와 외수위보다 낮은 지반고의 지형학적 특징으로 인한 내수배제의 불량으로, 저지대의 침수위험도가 상당히 높다. 이러한 이유로, 빈도별 설계홍수량을 산정하여 침수위험지역을 파악하고 관리하는 공간적인 치수관리가 이루어지고 있지만, 효율적인 치수관리를 위해서는 공간적인 측면뿐 아니라, 침수위험지역 내 침수발생의 시간적인 측면도 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 침수위험지역 내 내수침수발생에 대하여 공간적·시간적으로 살펴보고, 내수침수발생 위험지역 및 우선관리지역을 선정하였다. 대상유역으로는 안양천 유역에서 대부분의 침수가 발생하는 서울시에 포함된 안양천 하류유역으로 하였다. 서울시에 포함된 안양천 하류지역에서 내수침수발생의 주원인으로는 외수위보다 낮은 지반고와 배수계통의 통수능력 부족으로 나타나고 있어, 이들 지역의 침수위험지역을 파악하기 위해 하도 및 관거의 유출해석에 우수한 SWMM 모형의 EXTRAN block을 이용하여 모의를 실시하고 맨홀이 월류되는 지역을 내수침수 위험지역으로 선정하였다. 각 빈도별 지속시간별 모의결과, 목감천 하류부의 고척 1동, 신월 1동, 화곡 2동, 도림천과 봉천천, 대방천이 만나는 구로동, 대림 1동, 대방동에서 침수가 발생하기 시작하였다. 이들 지역은 또한 10년에서 30년 빈도별 모의에서도 모두 침수위험이 높은 지역으로 선정되어, 우선관리지역으로 선정하였다. 우선관리지역의 선정은 홍수예·경보 측면에서는 주민의 신속한 대피와 같은 홍수대처능력과 치수관리측면에서는 소요되는 자원의 효율적 배분을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 내수침수, PCSWMM, 안양천, 우선관리지역

1. 서론

대부분의 도시지역은 불투수면적의 비율이 상당히 높은 특징으로 인한 유출용적 및 첨두유량의 증가와 외수위보다 낮은 지반고의 지형학적 특징으로 인한 내수배제의 불량으로, 저지대의 침수위험도가 상당히 높다. 이러한 이유로, 빈도별 설계홍수량을 산정하여 침수위험지역을 파악하고 관리하는 공간적인 치수관리가 이루어지고 있지만, 효율적인 치수관리를 위해서는 공간적인 측면뿐 아니라, 침수위험지역 내 침수발생의 시간적인 측면도 고려하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 도시유역의 하도 및 관거의 유출해석에 우수한 SWMM 모형의 EXTRAN block을 이용하여 서울시에 포함된 안양천의 하류유역에 적용하고, 모형의 입력자료를 정확히 산정하기 위하여 GIS 기법을 이용하였다. 또한, 서울시에 포함된 안양천 하류부의 빗물펌프장을 모두 고려한 모형을 구성하여 빈도별 단기간 및 장기간의 호우에 대한 내수침수 발생의 시간적·공간적 특성을 살펴보고자 한다.

* 정회원・서울대학교 지구환경시스템공학부 정교수・E-mail: kilselee@snu.ac.kr
** 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정・E-mail: eric_since02@hotmail.com

2. SWMM 모형의 구성

2.1 유역의 분할

대상유역은 안양천 유역으로 총면적은 286 km^2이며, 서울시의 면적은 총 유역면적의 30 %인 약 100 km^2이다. 안양천의 내수침수의 발생은 서울시에 포함된 유역에서 거의 모두 발생하고 있어, 서울시에 포함 유역을 Fig.1과 같이 세분하였다. 서울시에 포함된 유역을 128개의 소유역으로 나누었으며, 경기도에 포함된 안양천 유역을 4개로 분할하여 총 132개의 소유역으로 분할하였다. 유역의 분할은 배수구역별 하수관망도에서 나타난 하수의 흐름방향과 1:25,000 수치지형도를 바탕으로 GIS 기법을 이용하여 분할하였다. 분할된 소유역의 토지이용분석을 위하여 이길성 등(2004)의 2000년도 안양천 유역의 Lansat 영상 분석자료를 이용하였으며, 도시화 지역을 불투수지역으로, 그 밖의 지역을 투수지역으로 가정하여 소유역별 불투수면적비를 산정하였다. 소유역 면적의 계산은 해당 유역에 포함된 DEM Grid의 수에 의해 면적을 계산하는 기존의 방법으로부터 유역의 면적을 계산할 경우, Grid의 크기와 소유역의 면적에 따라 면적의 오차가 많이 발생할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 Arc View의 Extention Module인 NWF/DEM Data Editing을 이용하여 선적분된 면적을 산정하였다.

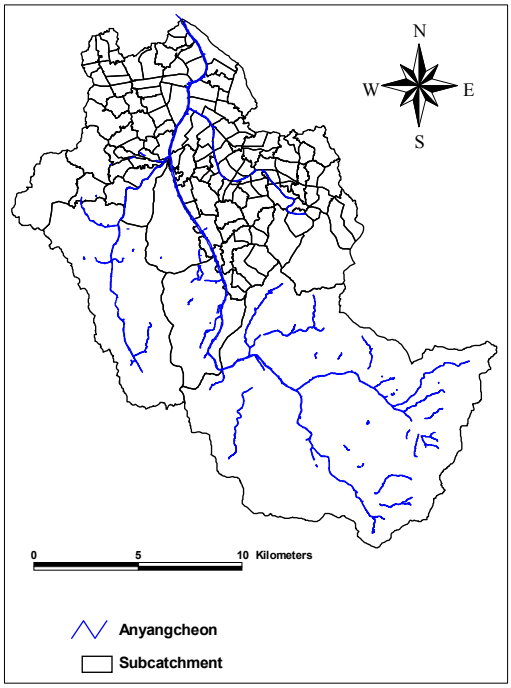


Fig. 1. Subcatchments of Anyangcheon Watershed

2.1 하도 및 하수관망의 구성

SWMM 모형은 링크-절점을 기반으로 배수시스템에 대하여 수문, 수리, 수질분석을 수행한다. 절점(Node)으로 대표되는 맨홀과 유수지, 배수시설물 등 저류요소를 나타내며, 링크(Link)는 수리학적 요소를 표현하는데 쓰이는데 파이프, 수로 등이 대표적이다. 본 연구에서 안양천 유역의 링크 및 절점을 구성하기 위하여, 서울시에 포함된 유역의 각 배수구역별 하수관망 및 주간선망 수치자료와 배수구역별 수리계산서를 이용하여 해당 소유역의 출구점에 위치한 맨홀과 파이프의 속성을 분류하여 구성하였으며, 하천에 위치한 절점은 HEC-RAS의 단면자료가 있는 위치를 설정하여 해당 절점과 링크의 속성을 통해 총 176개의 절점과 175개의 링크로 구성되어있다. 하도 및 하수관망의 절점 및 링크의 구성은 Table 1과 같다.

Table 1. Construction of Node & Link for Anyangcheon Watershed

	Channel		Manhole & Pump station	Total
Node	36		140	176
Link	Anyangcheon	19	Sewer pipe & Box line	Total
	Dolimcheon	12		
	Mokgamcheon & Oryucheon	4	140	175

안양천의 유역은 2005년 신설된 5개소를 포함하여, 총 38개소의 배수펌프장이 운영 중에 있으며, 27개소가 서울시 관내에 포함되어 있다. 빗물펌프장의 영향을 고려한 내수침수 분석에 있어서, 기존자료에 의한 모형의 보정과 앞으로의 내수침수 분석을 위하여 빗물펌프장의 증설 및 신설된 이전과 이후의 모형을 각각 구축하였다. 빗물펌프장의 증설 및 신설 전·후 하도 및 하수관망도 및 모식도는 Fig. 2, Fig. 3과 같다.

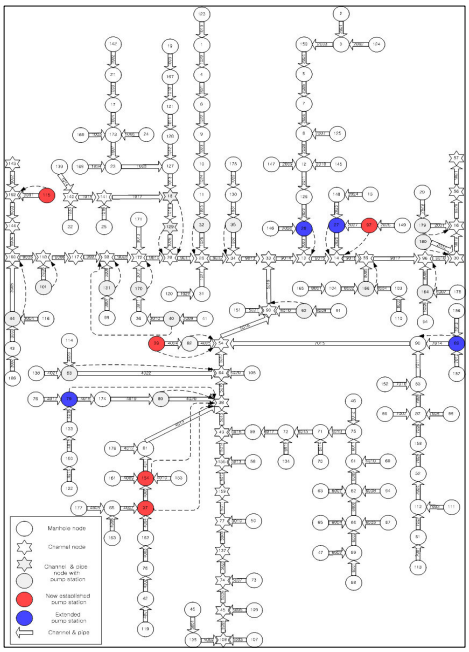


Fig. 2. Schematic of Node & Link of Anyangcheon Watershed

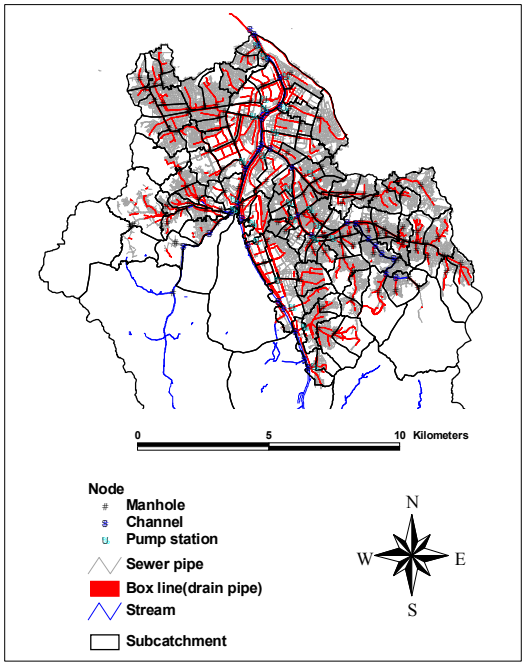
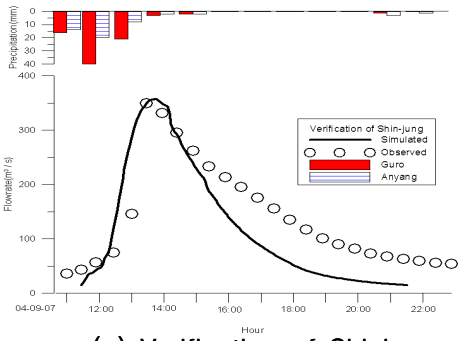


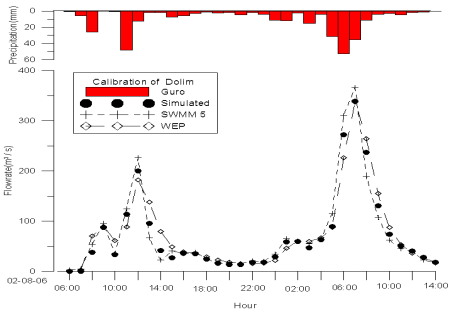
Fig. 3. Node & Link of Anyangcheon Watershed

2.2 모형의 보정 및 검증

매개변수의 보정은 최적화 기법인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)을 기반으로하는 PCSWMM 2005 모형의 부프로그램을 사용하였으며, 유역의 특성이 다른 고척교 상류유역, 도림천 유역, 양천구 유역으로 안양천 유역을 분류하고, 각각 민감도 분석을 실시한 후, 민감한 매개변수에 대하여 보정을 실시하였다. 고척교 상류유역은 신정지점의 유출량 자료를 이용하여 보정 및 검증을 실시하였으며, 도림천 유역의 경우, 안양천 치수대책 보고서(삼안기술공사, 1983)에 수록된 1982년의 자료와 서울대학교에서 직접 유량을 측정한 2004년도 비강우시 유량자료 몇 개가 전부이고, 1982년의 도림교 지점의 유출량 자료는 약 25년 전 자료로써 현재의 유출특성을 반영하기는 어렵다고 판단되어, 본 연구에서는 도림천 유역에 대하여 이정민 등(2004)과 이승종(2005)이 각각 비강우시 유출자료를 통해 보정한 SWMM5 모형과 WEP 모형의 2001년 1월부터 2003년 12월까지 총 4년간의 한시간 단위 연속모의결과를 실측자료로 가정하고 도림교 지점의 유출량과 비교하여 모형의 보정 및 검증을 실시하였다. 양천구 유역의 경우, 양천구 유역에서 안양천으로 유입되는 유출량에 대한 자료가 없어 보정을 할 수 없었기 때문에 제 4회 수공학 워크샵 교재(이종태 등, 1996)의 양천구 유역 내에 있는 신정1 지역에 대해 구축한 SWMM 모형의 매개변수를 원용하였다. Fig. 4는 신정지점 및 도림교 지점의 검증결과이며, (a)의 신정지점의 검증결과에서 오차가 발생하고 있으나, 전체적으로 첨두유출량 및 첨두시간을 양호하게 재현하고 있다.



(a) Verification of Shinjung



(b) Verification of Dolimgyo

Fig. 4. Verification Results

3. 내수침수의 시간적·공간적 발생특성 분석

서울관측소에 대한 서울시립대(2005)의 확률강우량공식과 수원관측소에 대한 삼본엔지니어링(2005)의 확률강우강도식을 통하여 10년, 20년, 30년 빈도별 3시간, 6시간, 12시간의 확률강우량을 산정하고, 한국건설기술연구원(2000)에서 산정한 수원 및 서울관측소에 대한 회기계수를 통하여 각 빈도별 지속시간별 HUFF 4분위의 강우량을 산정하였다. 강우규모에 따른 내수침수의 특성 및 3시간, 6시간, 12시간 지속시간의 단기간, 장기간의 호우에 의한 내수침수 발생의 특성을 살펴보았다. 각 빈도별 지속시간별 모의결과, Table 2, Fig. 5와 같이 월류된 맨홀의 개수는 지속시간이 12시간에서 3시간으로 감소할 수 록 증가하고 있으며, 10년 빈도에서 30년 빈도로 증가할 수 록 그 차이는 더 크게 나타나고 있다. 이는 총강우량의 증가보다는 일정시간에 집중되는 강우강도가 증가될 수 록 내수침수발생 위험지역이 증가하는 것을 나타내고 있다.

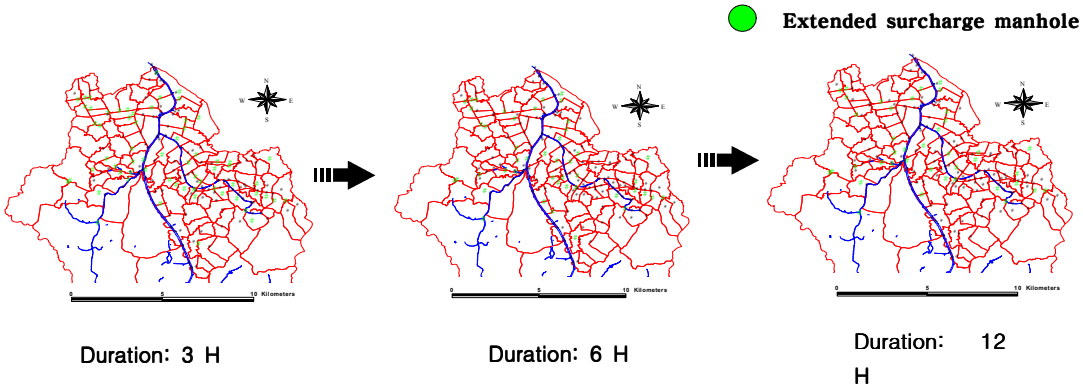


Fig. 5. Extended Surcharge Manhole for Each Duration in 30-year Frequency

Table 2. Number of Frequency-Duration Extended Surcharge Manhole

Frequency	10-year			20-year			30-year		
Duration (hour)	3	6	12	3	6	12	3	6	12
Number of extended surcharge manhole	48	42	34	56	41	38	64	48	41
Maximum precipitation intensity (mm/hr)	102	80	53	119	90	60	127	97	65

단기간의 집중호우에 의한 Extended surcharge manhole의 발생이 많이 나타나고 있어, 단기간의 호우인 3 시간의 지속시간을 갖는 10년, 20년, 30년 빈도별 강우에 대하여 지속시간 180분을 45분씩 4등분하여 시간대별 Extended surcharge manhole의 발생을 살펴보았다. 시간대별 Extended surcharge manhole의 발생을 살펴본 결과는 Fig. 6과 같으며, 가장 빠른 시간대인 0 ~ 45분에서 발생하는 Extended surcharge manhole이 7개가 나타나고 있다.

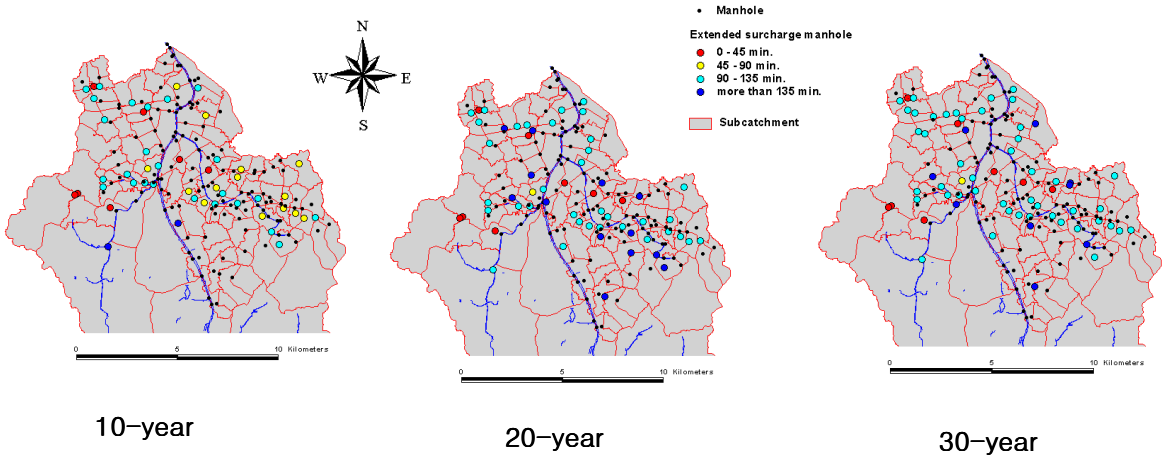


Fig. 6. Extended Surcharge Manhole in Process of Time

앞서, 빈도별 지속시간별 모의에서 모든 빈도와 지속시간에 대하여 발생하는 Extended surcharge manhole이 갖는 소유역을 내수침수 위험지역으로 선정하였으며, 내수침수 위험지역 중 내수침수가 빠르게 발생하는 지역을 우선관리지역으로 선정하였다. 우선관리지역으로 선정된 소유역은 신월 1동, 화곡 2동, 고척 1동, 구로동, 대림 1동, 대방동에 포함되어 있는 지역으로 과거 10년 동안 2번이상의 침수피해를 입은 지역이다. 선정되어진 내수침수 위험지역은 Fig. 7과 같으며, 우선관리지역은 Fig. 8과 같다.

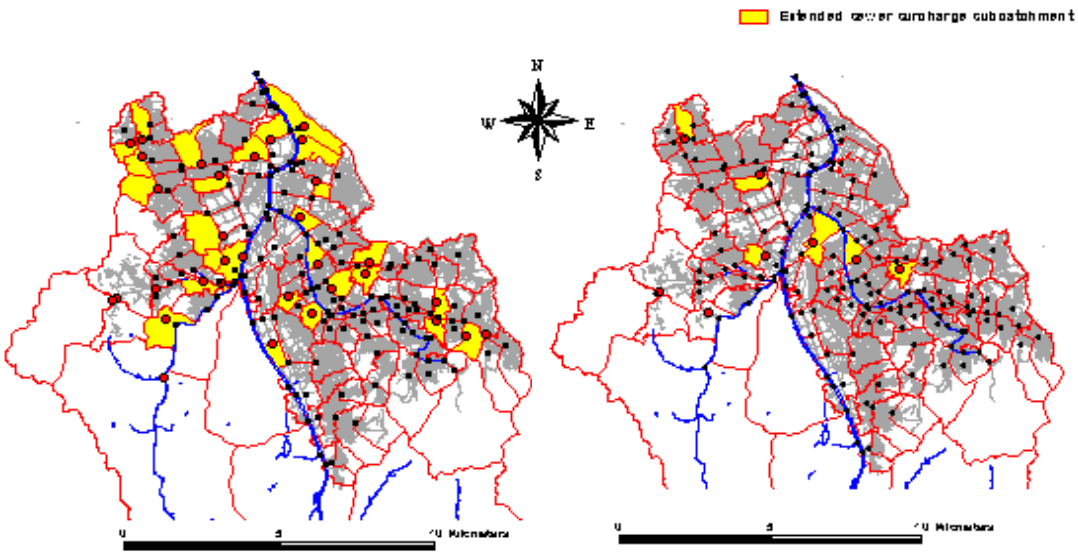


Fig. 7. Flood Risk Subcatchment

Fig. 8. Priority Subcatchment for Flood Risk

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 안양천 유역의 서울시에 포함된 하류유역을 중심으로 내수침수 발생특성을 분석하였다. 본 연구에서 수행한 내용을 크게 3가지로 요약하면 다음과 같다.

1. 서울시에 포함된 안양천 하류유역을 128개의 소유역으로 나누고, 증설 및 신설된 5개의 빗물펌프장을 고려하여 SWMM 모형을 구성하였으며, 유역의 특성에 따라 안양천 유역을 3개의 유역으로 분류하여 매개변수의 보정을 실시함으로써 모형의 재현성을 높이고자 하였다.

2. 빈도별 지속시간별 모의를 실시하여 Extended surcharge manhole의 발생을 살펴본 결과, 총 강우량보다 일정시간에 집중되는 강우강도의 증가에 따라 Extended surcharge manhole의 발생이 증가하는 것으로 나타났다.

3. 내수침수발생의 위험도가 큰 지역을 선정하였으며, 내수침수의 발생시간을 고려하여 우선적으로 관리가 필요한 지역을 선정하였다.

우선관리지역의 선정은 연속적으로 발생 가능한 내수침수 발생에 대한 위험도를 낮추고, 홍수예·경보 측면에서 주민의 신속한 대피와 같은 홍수대처능력과 치수관리측면에서는 소요되는 자원의 효율적 배분을 기대할 수 있게 되었다. 앞으로, 이들 지역에 대한 개선대안의 적용과 대안별 효과분석을 통하여 구체적이고 효과적인 치수관리방안을 모색함으로써 홍수방어능력을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-2)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원과 Brain Korea 21의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원과 자료를 제공해 준 서울특별시 건설기획국에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 삼본엔지니어링 (2005). **용인신봉구역 도시개발사업 재해영향평가서**. 보고서.
2. 삼안기술공사 (1983). **안양천 유역종합 치수대책 보고서**. 건설부.
2. 서울시립대학교 (2005). **대학과 연계한 하천관리 연구용역(2단계 1차)**. 보고서. 서울특별시.
3. 이길성 등 (2004). **안양천 유역의 물순환 건전화 기술적용**. 과학기술부.
4. 이승종 (2005). **WEP 모형을 이용한 도림천 유역의 물순환 모의**. 서울대학교 석사학위논문.
5. 이정민, 이상호, 이길성 (2004). “SWMM을 이용한 도림천 장기유출 연속모의.” **2004년도 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 4074 - 4079.
7. 이종태, 강태호, 김정환 (1996). “도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM 모형.” **제 4 회 수공학웍샵 교재**, 한국수자원학회.
6. 한국건설기술연구원 (2000). **수자원관리기법 개발연구조사 보고서 - 별책 제2권 지역적 설계강우의 시간적 분포.** 건설교통부.