설계빈도의 지속시간별 강우강도를 고려한 침수피해 특성

Characteristics of Flood Damage Considering Design Frequency of Rainfall Intensity by Duration

송영석* · 이희섭** · 이정민*** · 박무종****

Song, Young-Seok*, Lee, Hee-Sup**, Lee, Jung-Min***, and Park, Moo-Jong****

Abstract

Rainfall events that exceed the design frequency of the latest climate change cause flood damage on hand structures and infrastructure. When describing the magnitude of typhoon or extreme rainfall events, the magnitude of rainfall event is shown through design frequency. However, presenting these short design frequencies is a value that exceeds the design frequency of rivers and drains and can not identify quantitative sizes or risks. In this study, rainfall intensity was calculated by calculating the design frequency of continuous time in Jung-gu, Ulsan, where flood damage occurred during the typhoon Chaba. The Ulsan Rainfall Observatory analyzed the relationship with flood damage by reviewing the difference in rainfall intensity by duration compared with the previously estimated rainfall intensity by design frequency.

Key words : Design Frequency, Duration Time, Rainfall Intensity, Flood Damage, Typhoon Chaba

요 지

최근 기후변화에 따른 강우의 증가는 설계빈도를 초과하는 강우발생으로 수공구조물 및 사회기반시설의 침수피해를 발생시킨다. 강우사상에 대한 규모를 확인하는 방법으로는 설계빈도와 강우강도가 제시되고 있다. 그러나, 이러한 단편적인 설계빈도 및 강우강도의 제시는 하천 및 하수관거 등에서 설계빈도를 초과하는 강우발생시 침수피해에 대한 정량적인 크기를 확인할 수 없다. 설계빈도 및 강우강도의 기준으로 침수피해의 규모나 범위를 단정 짓기에는 복합적인 원인으로 피해의 양상이 발생하기 때문이다. 본 연구에서는 2016년 태풍 차바 내습시 침수피해가 발생한 울산광역시 중구를 대상으로 지속시간별 강우강도와 설계빈도를 산정하였다. 침수피해지역 인근에 위치한 하천 및 우수관거의 설계빈도, 태풍 차바의 설계빈도와 강우강도를 비교하여 침수피해와 지속시간별 강우강도 및 설계빈도의 관계를 분석하였다.

핵심용어 : 설계빈도, 지속시간, 강우강도, 침수피해, 태풍 차바

1. 서 론

우리나라의 침수피해는 대부분 6월부터 ~ 9월까지 여름철 장마시즌에 발생하는 태풍이나 집중호우에 의한 피해가 대부분이나 최근 기후변화의 영향으로 침수피해의 양상이

불규칙적인 패턴을 보이고 있다. 이러한 강우사상의 발생은 수공구조물이나 사회기반시설의 설계기준과 비교하기 위해 시간최대 강우량 또는 일최대 강우량에 대한 설계빈도를 제시하여 강우사상의 규모를 판단한다. 그러나, 이러한 강우사상에 대한 단편적인 강우강도나 설계빈도로는 하천이나

*정회원, 한서대학교 토목공학과 박사후연구원(E-mail: kind711@hanmail.net)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Hanseo University

**정회원, 한서대학교 토목공학과 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Hanseo University

***정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 도시환경연구실 수석연구원

Member, Research Fellow, Urban and Environment Research Department, Land and Housing

****교신저자, 정회원, 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-70-8238-5646, Fax: +82-41-660-1119, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

하수관거 등에서 발생하는 침수피해 특성을 설명하기에는 어려움이 있다.

국내외의 강우사상에 대한 규모 및 설계빈도에 대한 연구로는 Iwashima and Yamamoto(1993)은 1910년부터 1995년까지 강우사상의 분석으로 설계빈도와 총강우량이 증가하고 있다고 제시하였으며 최근 기후변화와 지구 온난화로 인하여 수문학적 규모의 강우강도와 설계빈도가 증가한다는 분석결과를 제시하였다(Kite, 1993; Boorman and Sefton, 1997; Panagoulia and Dimou, 1997; Gellens and Roulin, 1998; Saelthun et al., 1998; Mirza et al., 1998; Prudhomme et al., 2003; Meehl and Tebaldi, 2004). 국외에서 선행연구된 과거 수문사상의 분석은 기후변화에 따른 설계빈도나 총강우량의 크기가 증가한다고 제시하였을 뿐 설계빈도에 대한 지속시간별 크기와 침수피해의 연구는 수행되지 않았다. Karl and Knight(1998)은 장시간의 강우자료를 분석하여 집중호우의 증가 규명을 최대 일강우량의 합으로 제시하였으며 Osborn et al.(2000)과 Osborn and Hulme(2002)은 극한 강우사상에 대한 수공구조물 및 홍수방어시설에 피해를 발생시키므로 시공간적 특성의 필요성을 제시하였다. 또한, 수공구조물의 규모를 결정하는 홍수방어능력을 평가하는 집중호우의 원인, 강우량의 장기경향분석, Mann-Kendall (MK) 검정 등의 방법을 통해 강우발생의 평가를 연구하였다(Yue and Hashino, 2003; Karl and Knight, 1998; Yue and Hashino, 2003). 기존 연구는 침수피해를 저감하는 수공구조물 및 홍수방어시설의 규모설정을 위한 강우사상을 분석하였을 뿐 설계빈도를 초과하는 강우발생시 시설물의 피해가 발생하는 지속시간별 강우강도의 연구는 수행되지 않았다.

국내의 연구로 Jeong and Lee(1981)과 Han et al.(2006)은 관측최대 강우량, 자료기간 증가, 호우발생 원인 등의 영향을 고려한 확률강우량에 연구를 수행했으며 Ahn et al.(2000)은 강우사상에 따른 확률강우량 산정에 미치는 영향을 제시하였다. Oh and Moon(2008)은 지속시간 1시간과 24시간의 연 최대 시간강우량을 산정하여 연강수량에 대한 변동성과 경향성을 분석하였으며 Oh et al.(2009)과 Kwon et al.(2009)는 지속시간별 최대강우량을 활용한 확률강우량의 산정과 변동특성을 연구하였다. 국내 선행연구는 강우사상과 확률강우량의 영향분석, 지속시간별 연강수량에 대한 변동성 및 경향성 등이 연구되었을 뿐 강우사상에 대한 지속시간별 강우강도와 설계빈도를 고려한 침수피해와의 연계연구는 수행되지 않았다.

본 연구에서는 2016년 10월 5일 발생한 태풍 차바의 영향으로 침수피해가 발생한 울산광역시 중구를 대상으로 하천, 하수관거 등의 설계빈도와 태풍 차바의 지속시간별 강우강도의 특성을 분석하고자 한다. 침수피해 인근에 위치한 하천, 하수관거, 수공구조물, 홍수방어시설 등의 설계빈도에 따른 지속시간별 강우강도는 울산 강우관측소의 강우자료를 활

용하여 태풍 차바와 검토하였다. 설계빈도에 따른 지속시간별 강우강도의 특성을 분석하여 침수피해 발생시 단편적인 설계빈도의 제시보다는 지속시간별 강우강도와 침수피해 현황을 통합적으로 고려한 분석방법을 검토하고자 한다.

2. 태풍 차바의 침수피해 현황

2.1 대상유역

울산광역시 중구는 혁신도시 개발에 따라 인구밀도가 높은 도시지역으로 행정동 13개동, 법정동 18개동으로 구성되어 있으며 면적은 37.0 km²에 해당한다. 울산광역시 중구의 북동쪽에는 황방산, 북서쪽에는 입화산의 산지지역이 위치하고 있으며 남쪽에는 동천과 태화강이 합류하여 북고남저 및 동고서저의 구릉지 형태이다. 하천현황은 국가하천은 태화강 1개소, 지방하천은 유곡천, 척과천, 시례천, 성안천, 동천, 약사천, 태화강의 7개소가 흐르고 있다(Fig. 1).

Fig. 1. Study Area

2.2 침수피해 현황

2016년 10월 5일 태풍 차바 내습으로 울산광역시 중구지역에 침수피해가 발생하였다. 태풍 차바의 중심기압은 955 hPa, 최대 풍속이 시속 144 km, 총 강우량은 266 mm이며 한반도에 상륙한 역대 태풍 중 세 번째로 강력한 태풍이다. 태풍 차바 내습시 울산광역시 중구지역의 다운동, 태화동, 우정동, 학산동, 반구동 및 장현동 일대에서 침수피해가 발생하였으며 한국국토정보공사에서 조사한 울산광역시 중구지역의 침수피해면적은 542,636 m²으로 Table 1과 같다.

Table 1. Flood Damage Area in Jung-gu, Ulsan

Region	Flood Damage Area (m ²)
Jung-gu, Ulsan	542,636

Korea Land and Geospatial Information Corporation (2017) 2016th Comprehensive Report of Inundation Trace.

태풍 차바 내습시 울산광역시 중구에서 발생된 침수피해는 북쪽의 산지지역보다는 남쪽의 평지지역인 태화강 일대와 동천 중하류 부분에서 발생하였다. 침수피해 유형으로는 다운동 일부와 장현동 일원에서는 농경지 및 하천변 저지대 지역에서 침수피해가 발생하였으며 그 외 침수지역에서는 하천 수위상승에 따른 내수배제 불량, 관거용량 초과 및 배수불량으로 침수피해가 발생하였다. 태풍 차바 내습에 따른 울산광역시 중구지역의 침수피해 현황은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2. Flood Damage Caused by Typhoon Chaba

3. 태풍 차바의 강우특성

3.1 지형특성 강우관측소 현황

울산광역시 중구 인근 주변에는 기상청 관할 울산, 두서, 매곡, 정자, 울기, 온산, 사동 관측소, 국토교통부 관할 호계와 척과 관측소가 Fig. 3과 같이 위치하고 있다.

본 연구의 강우관측소는 사업지구와 가장 인접한 울산관측소의 관측 자료를 활용하였으며, 관측소 현황은 Table 2와 같다.

3.2 태풍 차바의 강우사상

태풍 차바는 2016년 10월 5일 발생한 강우사상으로 오전 01시부터 오후 14시까지 13시간동안 총 강우량 266 mm를 기록하였다. 태풍 차바는 2016년 10월 5일 오전 01시부터 강우가 시작되어 11시 10분경 1시간 최대 강우량인 104.2 mm를 기록하였으며 10시부터 12시까지 2시간동안 약 150 mm의 집중호우를 발생하고 오후 2시경까지 강우가 급격히 감소하면서 종료되었다(Fig. 4).

울산관측소의 1953년부터 2016년까지 관측된 1시간 최대 강우량을 검토하였다. 과거에서 현재까지 발생한 1시간 최대 강우량 중 2016년 10월 5일 발생한 태풍 차바가 104.2 mm로 64년 동안 강우관측기록 중 1위에 해당하였다. 2번째로 가장 큰 1시간 최대 강우량은 1993년 8월 21일 발생한

Fig. 3. Rainfall Observatory

Table 2. Status of Rainfall Observatory

Management agency	Observatory	Location				Observation start date	Type of Observation
		Administrative district	Longitude	Latitude	Elevation (EL.m)		
Korea Meteorological Administration	Ulsan	315, Bukjeong-dong, Jung-gu, Ulsan	129-19	35-33	34.7	1931.07.01	Magnetism

Fig. 4. Typhoon Chaba Rainfall Event

76.7 mm으로 약 50년 빈도를 초과하는 강우가 발생하였으며, 태풍 차바는 두 번째로 크게 발생한 1시간 최대 강우량보다도 약 35%가 더 큰 강우량이 발생한 것으로 검토되었다. 그 외에 2위부터 5위까지의 강우관측일은 Fig. 5와 같다.

울산관측소의 관측자료 중 태풍 차바를 제외한 1시간 최대 강우량의 2위 ~ 5위까지는 70 mm 이상이 발생하였으며

2016년 태풍 차바 내습시 발생한 일강우량은 266 mm로 4위에 해당하며 1위 ~ 5위까지는 200 mm 이상의 일강우량이 Table 3과 같이 관측되었다. 과거의 관측된 강우자료를 검토한 결과 울산광역시 중구지역에 발생한 태풍 차바는 1시간 강우량과 총강우량 모두 순위권에 위치하는 강우사상으로 침수피해의 위험성을 확인할 수 있다.

Fig. 5. Hour Maximum Rainfall at Ulsan Rainfall Observatory (1953~2016)

Table 3. Past Rainfall Characteristics of Ulsan Rainfall Observatory

Date	1hr Maximum Rainfall (mm/hr)	Ranking	Date	Daily Rainfall (mm)	Ranking
2016-10-05	104.2	1	1991-08-23	417.8	1
1993-08-21	76.7	2	2005-09-06	327.5	2
1958-09-06	74.0	3	1969-09-15	315.8	3
1985-09-02	73.9	4	2016-10-05	266.0	4
1957-08-03	73.4	5	1984-09-03	233.2	5

4. 설계빈도 및 지속시간에 대한 강우특성

4.1 태풍 차바의 지속시간별 설계빈도

태풍 차바의 내습은 울산광역시 중구지역에 역대 최대 규모의 강우가 발생한 사례로서 지속시간별 강우강도의 크기를 설계빈도로 산정하여 비교하였다. 지속시간별 강우량의 설계빈도 산정은 ‘확률강우량도 개선 및 보완연구 보고서 (MoLIT, 2011)’에서 산정한 Intensity - Duration - Frequency (I-D-F) 곡선을 활용하였으며 태풍 차바의 1시간 최대 강우강도는 104.2 mm/hr로 약 380년 빈도, 2시간과 3시간의 최대 강우강도는 83.3mm/hr과 68.0 mm/hr으로 500년 빈도를 초과하는 강우가 Fig. 6과 같이 발생하였다.

Fig. 6. Intensity-Duration-Frequency Curve at Ulsan Rainfall Observatory

태풍 차바는 2016년 10월 5일 오전 01시부터 오후 14시까지 총 13시간의 강우가 발생한 강우사상으로 대상유역의 유하시간을 고려하여 지속시간 1시간부터 24시간까지의

지속시간별 강우강도의 설계빈도를 Table 4와 같이 산정하였다.

태풍 차바의 지속시간별 최대 설계빈도는 2시간과 3시간에서 500 yr 빈도를 초과하는 강우강도가 발생하였으며 1시간은 386 yr, 4시간은 409 yr으로 국가하천의 설계빈도인 200 yr을 초과하는 강우가 발생하였다. 지속시간 5시간 ~ 8시간은 100 yr 이상, 9시간부터 11시간까지는 50 yr 이상, 12시간부터 15시간까지는 하수관거의 설계기준인 간선 30 yr 빈도를 상회하는 강우량이 발생하였다. 이후 16시간 이후로는 점진적으로 감소하였다.

4.2 태풍 차바와의 설계빈도별 강우강도 특성

태풍 차바로 인한 침수피해는 설계빈도를 초과하는 강우 발생, 하수관거 및 하천의 통수능력부족, 하천 수위상승에 따른 배수불능 등 복합적인 원인으로 인해 발생되었다. 다양한 침수피해 원인 중 대규모의 피해가 발생한 하수관거의 통수능력부족, 하천변 저지대의 침수피해와 수위상승에 따른 배수불능, 인근지역의 하수관거와 하천의 설계빈도에 대하여 관측된 지속시간별 설계빈도 강우량과 비교분석하였다.

태풍 차바 발생시 지속시간별 강우량에 대하여 ‘확률강우량도 개선 및 보완연구 보고서(MoLIT, 2011)’에서 산정한 울산 강우관측소의 지속시간별 강우량의 설계빈도를 검토하였다. 설계빈도의 선정은 주요 침수피해지역 인근에 위치한 시설의 설계빈도로 하수관거 30년 빈도, 유곡천 80년 빈도, 약사천 100년 빈도, 태화강 200년 빈도에 대하여 분석하였다. 태풍 차바와 울산 강우관측소의 30년, 80년, 100년, 200년 빈도에 대한 지속시간별 강우강도의 차이는 Fig. 7과 같다.

Table 4. Characteristics of Duration Rainfall of Typhoon Chaba

Duration (hr)	Maximum Rainfall(mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Design Frequency(yr)	Duration (hr)	Maximum Rainfall(mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Design Frequency(yr)
1 hour	104.2	104.2	386	13 hour	266.0	20.5	41
2 hour	166.6	83.3	500▲	14 hour	266.0	19.0	36
3 hour	203.9	68.0	500▲	15 hour	266.0	17.7	31
4 hour	218.6	54.7	409	16 hour	266.0	16.6	28
5 hour	224.7	44.9	174	17 hour	266.0	15.6	25
6 hour	234.0	39.0	153	18 hour	266.0	14.8	23
7 hour	243.2	34.7	112	19 hour	266.0	14.0	21
8 hour	254.2	31.8	110	20 hour	266.0	13.3	20
9 hour	258.0	28.7	86	21 hour	266.0	12.7	18
10 hour	258.1	25.8	64	22 hour	266.0	12.1	17
11 hour	263.9	24.0	51	23 hour	266.0	11.6	16
12 hour	265.8	22.2	47	24 hour	266.0	11.1	15
Total Rainfall (mm)		266.0		Maximum Rainfall Intensity(mm/hr)		104.2(1hr)

Fig. 7. Design Frequency by Typhoon Chaba of Duration

태풍 차바에 지속시간별 강우강도와 설계빈도 30년, 80년, 100년, 200년의 강우강도를 1시간부터 24시간까지 분석하였다. 지속시간별 태풍 차바의 강우강도와 설계빈도별 강우강도는 태풍 차바가 6시간까지의 강우강도에서는 큰 반면 설계빈도가 클수록 지속시간별 차이가 울산 강우관측소가 큰 것을 Table 5에서 확인할 수 있다. 설계빈도별 지속시간 24시간동안의 강우강도는 30년 빈도는 평균 5.8 mm/hr, 총 139.7 mm, 80년 빈도는 평균 1.4 mm/hr, 총 34.4 mm, 100년 빈도는 평균 0.5 mm/hr, 총 11.0 mm, 200년 빈도는 평균 -2.6 mm/hr, 총 -62.5 mm으로 태풍 차바에 대한 설계빈도별 강우강도의 차이가 분석되었다. 따라서, 본 연구에서는 태풍차바의 24시간 지속시간별 강우강도의 분석 결과 100년 빈도 이하로 설계된 시설에서는 침수피해가 발생가능할 것으로 판단된다.

4.3 고찰

본 연구에서는 2016년 태풍 차바 내습시 울산광역시 중구 지역에서 발생한 침수피해와 지속시간별 강우강도에 대하여 분석하였다. Fig. 2의 침수피해 현황을 보면 태화강을 제외한

하천주변, 저지대 하수관거 월류, 하천 수위상승에 따른 통수능력 부족 등의 원인으로 침수피해가 발생하였다. 또한, Table 4에 태풍 차바의 지속시간별 설계빈도만을 고려한다면 지속시간 2시간과 3시간의 설계빈도는 500년 빈도를 상회하는 강우가 발생하여 울산광역시 하수관거 및 하천 등에서 오전 9시부터 오후 12시 이전에 동시 다발적으로 피해가 발생해야 한다.

금회 연구를 통해 분석한 Table 5의 결과를 보면 설계빈도가 200년인 태화강을 제외한 지역에서 침수피해가 발생했는지 확인할 수 있다. 태풍 차바와 설계빈도별 지속시간의 강우강도 차이를 고려한다면 24시간 기준으로 100년 빈도까지는 평균 및 총 합계의 강우강도가 증가하는 반면, 200년 빈도에서는 감소하는 것으로 분석되었다. 이러한 설계빈도별 울산광역시 중구지역의 침수피해 범위는 인근 하천 및 하수관거 등의 시설과도 확인할 수 있다. 태화동 및 우정동 일원은 80년 빈도의 유곡천, 50년 빈도 우곡천과 30년 빈도의 하수관거가 위치한 지역이며 약사동 일원은 100년 빈도의 약사천과 하수관거 30년 빈도가 위치한 지역이다. Fig. 2의 침수피해 현황을 보면 태화동 및 우정동 일원과 약사동

Table 5. Rainfall Intensity of Typhoon Chaba and Duration by Design Frequency

Time (min)	Chaba ¹⁾	Rainfall Intensity of Duration by Design Frequency (mm/hr)							
		30yr ²⁾	1)-2)	80yr ³⁾	1)-3)	100yr ⁴⁾	1)-4)	200yr ⁵⁾	1)-5)
60	104.2	72.0	32.2	84.4	19.8	87.3	16.9	95.9	8.3
120	83.3	52.6	30.7	61.8	21.5	63.9	19.4	70.3	13.0
180	68.0	43.2	24.7	50.8	17.2	52.5	15.5	57.7	10.2
240	54.7	37.4	17.2	43.9	10.7	45.4	9.2	50.0	4.7
300	44.9	33.9	11.1	39.7	5.2	41.1	3.9	45.2	-0.3
360	39.0	30.3	8.7	35.6	3.4	36.7	2.3	40.5	-1.5
420	34.7	28.3	6.5	33.2	1.6	34.2	0.5	37.7	-3.0
480	31.8	26.2	5.5	30.8	1.0	31.8	0.0	35.0	-3.2
540	28.7	24.2	4.5	28.4	0.3	29.3	-0.6	32.3	-3.6
600	25.8	22.9	2.9	26.9	-1.1	27.8	-2.0	30.6	-4.8
660	24.0	21.6	2.4	25.4	-1.4	26.2	-2.2	28.9	-4.9
720	22.2	20.3	1.8	23.9	-1.8	24.7	-2.5	27.2	-5.1
780	20.5	19.4	1.0	22.9	-2.4	23.6	-3.1	26.0	-5.5
840	19.0	18.5	0.5	21.8	-2.8	22.5	-3.5	24.8	-5.8
900	17.7	17.6	0.1	20.7	-3.0	21.4	-3.7	23.6	-5.9
960	16.6	16.9	-0.3	20.0	-3.3	20.6	-4.0	22.7	-6.1
1020	15.6	16.3	-0.6	19.2	-3.5	19.8	-4.1	21.8	-6.1
1080	14.8	15.6	-0.8	18.4	-3.6	19.0	-4.2	20.9	-6.1
1140	14.0	15.1	-1.1	17.8	-3.8	18.4	-4.4	20.2	-6.2
1200	13.3	14.6	-1.3	17.2	-3.9	17.8	-4.5	19.6	-6.3
1260	12.7	14.1	-1.4	16.6	-4.0	17.2	-4.5	18.9	-6.2
1320	12.1	13.6	-1.5	16.1	-4.0	16.6	-4.5	18.3	-6.2
1380	11.6	13.1	-1.6	15.5	-3.9	16.0	-4.5	17.6	-6.0
1440	11.1	12.6	-1.5	14.9	-3.8	15.4	-4.4	17.0	-5.9
Average		-	5.8	-	1.4	-	0.5	-	-2.6
Sum		-	139.7	-	34.4	-	11.0	-	-62.5

일원의 침수피해 면적이 차이가 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 침수피해 발생에 대한 강우사상의 크기를 제시할 때는 단편적인 설계빈도보다는 강우사상의 지속시간별 설계빈도 강우량의 차이를 비교한다면 보다 정밀한 강우사상의 특성을 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 2016년 10월 5일 발생한 태풍 차바의 영향으로 침수피해가 발생한 울산광역시 중구에 강우특성, 침수피해 현황, 지속시간별 설계빈도에 대하여 검토하였다. 태풍 차바에 따른 침수피해는 울산광역시 중구의 전반적으로 하천 주변, 저지대, 하수관거 월류 등의 복합적인 원인으로

침수피해가 발생하였다. 태풍 차바는 1시간 최대 강우강도가 104.2 mm으로 울산강우관측소의 관측 이래로 가장 큰 1시간 최대 강우강도이며, 2hr ~ 3hr에서는 500년 빈도를 상회하는 강우강도가 발생하였다. 태풍 차바의 지속시간별 설계빈도만을 고려한다면 울산광역시 중구지역의 모든 하천과 시설에서 침수피해가 발생해야 한다.

태풍 차바의 침수피해 인근지역에 위치한 하천 및 하수관거 등의 설계빈도인 30년, 80년, 100년, 200년에 대하여 지속시간별 강우강도의 차이를 분석하였다. 지속시간별 태풍 차바의 강우강도와 설계빈도별 강우강도의 차이는 태풍 차바 6시간까지의 강우강도는 크며, 설계빈도 크기에 따라 지속시간이 길어질수록 설계빈도별 강우강도가 큰 것으로 검토되었다. 1시간부터 24시간까지의 지속시간별

강우강도의 차이에 따라 태풍 차바는 30년부터 100년까지의 설계빈도에서는 침수피해가 발생하는 것으로 분석되었다. 실제 침수피해가 발생한 태화동, 우정동, 약사동, 장현동 등의 하천 및 하수관거의 설계빈도는 100년 빈도 이하로 설계되었으며 침수피해가 발생하지 않은 태화강은 설계빈도가 200년 빈도로 설계되었다. 본 연구에서는 침수피해 발생에 대한 강우사상 크기는 단편적인 설계빈도보다는 지속시간별 강우강도의 강우량 차이와 비교한다면 보다 정밀한 침수피해의 현황을 고려할 수 있는 적합한 방법이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술 개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-03].

References

- Ahn, J.H., Kim, T.W., Yoo, C.S., and Yoon, Y.N. (2000) Analysis of the Changes in Rainfall Quantile According to the Increase of Data Period. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 33, No. 5, pp. 569-580.
- Boorman, D.B., and Sefton, C.E.M. (1997) Recognizing the Uncertainty in the Quantification of the Effect of Climate Change on Hydrological Response. *Climate Change*, Vol. 35, pp. 415-434.
- Gellens, D., and Roulin, E. (1998) Streamflow Response of Belgian Catchment to IPCC Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrology*, Vol. 210, pp. 242-258.
- Han, M.S., Choi, G.W., Chung, Y.J., and Ahn, K.S. (2006) Suggestion of Probable Rainfall Intensity Formula Considering the Pattern Change of Maximum Rainfall at Incheon City. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 39, No. 6, pp. 521-531.
- Iwashima, T., and Yamamoto, R. (1993) A Statistical Analysis of the Extreme Events: Long-term Trend of Heavy Daily Precipitation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Meteorological Society of Japan, Vol. 71, No. 5, pp. 637-640.
- Jeong, M., and Lee, J.K. (1981) Probability Characteristics of Probable Rainfall and Recorded Maximum Rainfall in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 14, No. 3, pp. 47-54.
- Karl, T.R., and Knight, R.W. (1998) Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the USA. *Bulletin of the American Meteorological Society*, AMS, Vol. 79, No. 2, pp. 231-241.
- Kite, G.W. (1993) Application of a Land Class Hydrological Model to Climate Change. *Water Resour. Res.*, Vol. 29, pp. 2377-2384.
- Korea Land and Geospatial Informatix Corporation (2017) *2016th Comprehensive Report of Inundation Trace*.
- Kwon, Y.M., Park, J.W., and Kim, T.W. (2009) Estimation of Design Rainfalls Considering an Increasing Trend in Rainfall Data. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No. 2B, pp. 131-139.
- Meehl, G.A., and Tebaldi, C. (2004) More Intense, More Frequent and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, Vol. 305, pp. 994-997.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011) *Study on the Improvement and Supplement of Probability Rainfall*.
- Mirza, M.Q., Warrick, R.A., Ericksen, N.J., and Kenny, G.J. (1998) Trend and Persistence in Precipitation in the Ganges, Brahmaputra and Meghna River Basins. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 43, No. 6, pp. 845-858.
- Oh, T.S., and Moon, Y.I. (2008) Special Quality Analysis of Extreme Rainfall by Typhoon. *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 28, No. 5B, pp. 459-473.
- Oh, T.S., Kim, E.C., Moon, Y.I., and Ahn, J.H. (2009) Characteristics Analyses of Timely Rainfall Events Above Probability Precipitation on Each Frequency. *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No. 6B, pp. 513-526.
- Osborn, T.J., and Hulme, M. (2002) Evidence for Trends in Heavy Rainfall Events over the UK. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series A*, Vol. 360, pp. 1313-1325.
- Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D., and Basnett, T.A. (2000) Observed Trends in the Daily Intensity of United Kingdom Precipitation. *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 347-364.
- Panagoulia, D., and Dimou, G. (1997) Sensitivity of Flood Events to Global Climate Change. *Journal of hydrology*, Vol. 191, pp. 208-222.
- Paturel, J.E., Ouedraogo, M., Servat, E., Mahe, G., Dezetter, A., and Boyer, J.F. (2003) The Concept of Rainfall and Streamflow Nomals in West and Central Africa in a Context of Climatic Variability. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 48, No. 1, pp. 125-137.
- Sælthun, N.R., Aittoniemi, P., Bergström, S., Einarsson, K.,

Jóhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P.E., Thomsen, T., Vehviläinen, B., and Aamodt, K.O. (1998) Climate Change Impacts on Runoff and Hydropower in the Nordic Countries. *TemaNord*, Vol. 552, p. 170.

Yue, S., and Hashino, M. (2003) Long Term Trends of Annual and Monthly Precipitation in Japan. *Journal of the*

American Water Resources Association, Vol. 39, pp. 587-596.

Received	December 28, 2017
-----------------	-------------------

Revised	December 29, 2017
----------------	-------------------

Accepted	January 4, 2018
-----------------	-----------------