



설계강우의 지속시간 및 시간분포에 따른 배수개선 농경지 침수 영향 분석

Effects of Duration and Time Distribution of Probability Rainfall on Paddy Fields Inundation

전상민^a · 김귀훈^b · 이현지^b · 강기호^c · 유승환^d · 최진용^e · 강문성^{f,†}

Jun, Sang-Min · Kim, Kwi-Hoon · Lee, Hyunji · Kang, Ki-Ho · Yoo, Seung-Hwan · Choi, Jin-Yong · Kang, Moon-Seong

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the effect of the duration and time distribution of probability rainfall on farmland inundation for the paddy fields in the drainage improvement project site. In this study, eight drainage improvement project sites were selected for inundation modeling. Hourly rainfall data were collected, and 20- and 30-year frequency probability rainfalls were estimated for 14 different durations. Probability rainfalls were distributed using Intensity-Duration-Frequency (IDF) and Huff time distribution methods. Design floods were calculated for 48 hr and critical duration, and IDF time distribution and Huff time distribution were used for 48 hr duration and critical duration, respectively. Inundation modeling was carried out for each study district using 48 hr and critical duration rainfalls. The result showed that six of the eight districts had a larger flood discharge using the method of applying critical duration and Huff distribution. The results of inundation depth analysis showed similar trends to those of design flood calculations. However, the inundation durations showed different tendencies from the inundation depth. The IDF time distribution is a distribution in which most of the rainfall is concentrated at the beginning of rainfall, and the theoretical background is unclear. It is considered desirable to apply critical duration and Huff time distribution to agricultural production infrastructure design standards in consideration of uniformity with other design standards such as flood calculation standard guidelines.

Keywords: Inundation; rainfall duration; time distribution; drainage improvement project; probability rainfall

1. 서론

기후변화로 인해 집중호우 등의 발생이 증가함에 따라 농경지의 침수피해가 꾸준히 증가하고 있다. 농촌유역의 경우 도시 및 대하천 유역에 비해 상대적으로 침수피해 대책이 미

흡하여 매년 농작물의 침수피해가 크게 발생하고 있다 (Jun et al., 2019; Lee, 2014). 최근 10년간 자연재해에 의한 농경지 피해액은 약 82,3백만원이며, 호우에 의한 농경지 피해액은 약 48,516 백만원으로 침수에 의한 지속적인 피해가 발생하고 있다 (MOIS, 2020).

한국농어촌공사에서는 농경지 침수피해 저감을 위해 배수 개선사업을 수행하고 있다. 배수개선사업은 홍수 발생 시 상습적인 침수피해를 겪고 있는 농경지를 대상으로 배수장, 배수문, 배수로 등 배수시설을 설치하여 농작물의 침수피해를 방지하고, 논에서 원예작물 등 다양한 작물재배 여건을 구축하기 위한 사업이다. 한국농어촌공사에서는 1975년부터 배수 개선사업을 수행하고 있으며, 상습침수피해 농경지 303 천ha 중 2020년까지 194.3 천ha (64.2%)에 대한 사업을 완료하였다.

배수개선사업 시 설계강우량은 농업생산기반시설 설계기준에 따라 20년 빈도 혹은 30년 빈도 임의지속 48시간 확률강우량을 사용하고 있다 (MAFRA, 2018). 농업생산기반시설 설계기준에는 설계강우의 시간분포에 대하여 명확하게 제시하고 있지 않으며, 실무에서는 현재 Intensity-Duration-Frequency (IDF) 곡선을 활용하여 강우의 시간분포를 결정하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 저수지, 하천 등 농경지와 연계된 수공 구조물은 대부분 환경부 (2019)에서 제시하는 Huff 분포를 사

^a Post-doc., Convergence Major in Global Smart Farm, Seoul National University

^b Ph.D. Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

^c Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation Researcher, KRC

^d Associate Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

^e Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Green Bio Science and Technology, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

^f Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4582, Fax: +82-2-873-2087

E-mail: mkskang@snu.ac.kr

Received: November 28, 2021

Revised: January 27, 2022

Accepted: January 27, 2022

용하여 설계강우의 시간분포를 결정하고 있으며, 설계강우의 지속시간은 대상구역에서 최대의 홍수량을 발생시키는 임계 지속시간을 사용하고 있다.

농림축산식품부에서는 기후변화 및 논에서의 타작물 재배(범용화) 등에 따라 변화하는 영농 환경을 반영하기 위해 농업생산기반시설 설계기준을 개정하고 있다. 구역의 홍수량과 침수 모의는 설계강우의 지속시간과 시간분포에 의해 결과값이 크게 달라진다. 따라서, 농업생산기반시설 설계기준의 개정 시 설계강우의 지속시간 및 시간분포에 관한 개정이 필요할 것으로 사료되며, 이를 위해서는 배수개선 사업지구를 대상으로 침수 모델링을 통한 영향 분석이 선행되어야 한다.

농경지의 침수 모델링은 미육군공병단의 Hydrologic Engineer's Center - River Analysis System (HEC-RAS) 및 한국농어촌공사의 GATE2018을 이용한 연구가 수행된 바 있다. HEC-RAS는 주로 하천의 범람에 의한 농경지 침수 모의 연구에 적용되었다 (Jun et al., 2018; Ryu et al., 2017; Kim et al., 2012). GATE2018은 한국농어촌공사에서 배수개선사업 시 수리구조물의 제원을 결정하기 위해 개발한 프로그램으로, 배수지연에 의한 농경지의 침수 모의 연구에 활용되어 왔다. Jun et al. (2020)은 Coupled model intercomparison project phase 5 (CMIP5) 및 CMIP6 General circulation model (GCM) 기반 미래기상자료를 수집하여 무한천 유역을 대상으로 한국농어촌공사의 River modeling system for small agricultural watershed (RMS) 및 GATE2018을 이용해 미래 침수 모의를 수행하고, 모의 결과를 바탕으로 CMIP5와 CMIP6의 적용에 따른 미래 농경지 침수 위험도 변화를 분석하였다. Lee (2019)는 GATE2018을 적용하여 기상청 6시간 단위 예보강우의 시간분포를 고려한 농경지 침수 확률 산정 기법을 개발 및 적용하였으며, Hwang et al. (2012)은 GATE2018의 전신인 GATE2012를 이용하여 설계강우량 산정시 고정시간 및 임의 시간 강우량 선택에 따른 농경지의 배수 영향을 분석한 바 있다. Jeong et al. (2010)은 GATE2018의 전신인 GATE_Pro를

이용하여 간척지 논외의 침수 원인을 분석하고 및 대책을 수립한 바 있다. 기존 연구에서는 기후변화, 강우의 불확실성 등 다양한 조건을 고려한 농경지 침수 모의를 수행하였으나, 설계강우의 지속시간 및 시간분포의 차이에 따른 농경지 침수 모의 결과의 비교 및 분석을 수행한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 배수개선 사업지구를 대상으로 농업생산기반시설 설계기준의 48시간 지속시간 및 IDF곡선을 활용한 시간분포를 적용한 방법과 임계지속시간 및 Huff 시간분포를 적용한 방법에 따른 침수모의를 각각 수행하고, 모의 결과를 비교·분석하여 설계강우의 지속시간 및 시간분포에 따른 배수개선 농경지의 침수 영향을 분석하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구 선정 및 기초자료 구축

가. 대상지구 선정

본 연구에서는 2012년 이후 배수개선사업을 위한 유역 조사가 실시된 8개 배수개선 사업지구를 대상지구로 선정하였다. 8개 대상지구 중 5개는 논 벼 재배지구, 3개 지구는 타작물 재배지구이다. 대상지구는 A-H지구로 명명하였고, 각 지구별 지배관측소, 유역면적 등 기초자료를 구축하였다. 농업생산기반시설 설계기준에서는 논 지구와 타작물 지구의 설계빈도를 각각 20년 및 30년으로 제시하고 있으며, 따라서 본 연구에서는 논 (Paddy) 지구 및 타작물 (Upland) 지구에 20년 및 30년 빈도 확률강우량을 각각 적용하였다. Table 1은 대상지구별 기초자료 구축 결과를 나타내고 있다.

나. 대상지구 특성자료 구축

대상지구별 홍수량 산정 및 침수 모의를 위한 특성자료를 구축하였다. 대상지구별 배수개선사업 계획서를 수집하여 홍수량 산정을 위한 유역별 면적, 토지이용, CN, 경사 등의 자료

Table 1 Characteristics of study districts

Study district	Meteorological station	Crops	Area (ha)	Return period of design rainfall (year)
A	Hapcheon	Paddy rice	353.4	20
B	Booyeo	Paddy rice	620.0	20
C	Booyeo	Upland crops	346.8	30
D	Hapcheon	Upland crops	204.3	30
E	Booan	Paddy rice	271.5	20
F	Gwangju	Upland crops	387.6	30
G	Sokcho	Paddy rice	156.0	20
H	Busan	Paddy rice	701.6	20

를 구축하였다. 침수 모의를 위해 대상지구별 배수문, 배수펌프 등 농업용 수리시설물의 제원 자료를 구축하였다. 또한, 외수위 상승에 의한 배수지연을 고려한 침수 모의를 위해 대상지구별 인접 하천의 계획홍수위 자료를 수집하였다.

2. 기상자료 구축

가. 자료 수집 및 확률강우량 산정

대상지구별 지배관측소의 강우자료를 수집하였다. 관측소별 관측시작 시기부터 2020년까지의 시간별 강우량 자료를 수집하였고, 확률강우량을 각각 산정하였다. 확률강우량은 임계지속시간 산정과 기존 설계기준과의 비교를 위해 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간, 7시간, 8시간, 9시간, 10시간, 11시간, 12시간, 24시간 및 48시간 지속시간에 대하여 산정하였다. 확률강우량 산정 시 확률분포형은 Gumbel 분포형을 사용하였고, 매개변수 추정방법은 모멘트법, 빈도계수 산정은 Gumbel-Chow 방법을 적용하였다.

나. IDF 시간분포

배수개선사업 수행 시 실무에서는 IDF를 활용한 강우의 시간분포 방법(본 연구에서는 IDF 시간분포로 칭함)을 적용하고 있다. Table 2는 IDF 시간분포의 A지구에 대한 적용 예를 나타내고 있다. IDF 시간분포에서는 지속시간별 확률강우량이 해당 시간에 모두 내리는 것으로 가정하고 있다. 예를 들어, Table 1에서 1시간 확률강우량인 78.8 mm의 강우가 강우 시작 후 1시간 동안 발생하고, 1시간에서 2시간 사이에는 2시간 확률강우량인 110.8 mm에서 1시간 확률강우량인 78.8 mm를 뺀 32.0 mm의 강우가 발생하는 것으로 가정하고 있다. 이러한 방법으로 강우의 시간분포를 결정할 경우 Table 2에서 확인할 수 있듯이 강우사상 초반에 강한 강우강도의 비가 내리고, 이후에 지속시간이 길어질수록 강우강도가 약해진다.

다. Huff 시간분포

Huff 시간분포 방법은 Huff (1967)가 미국 Illinois주에 위치한 유역면적 약 1,024 km²까지의 다양한 하천유역에서 발생한 호우에 대해 호우기간 중에 내린 총 우량의 시간분포 양상을 분석하여 강우의 시간분포 모형을 제시한 것이다. 환경부

(2019)에서는 지역빈도해석 적용을 위해 우리나라 강우관측소 615개소를 26개의 군집지역으로 구분하여 수정 Huff 계수를 제시하였다. 본 연구에서는 환경부에서 제시한 수정 Huff의 3분위를 적용하여 확률강우량의 시간별 강우량을 산정하였다.

3. 농경지 침수 분석

가. 홍수량 산정

대상지구의 홍수량 산정에는 한국농어촌공사에서 개발한 RMS를 사용하였다. RMS는 농업소유역의 홍수량 분석을 위해 개발되었으며, 농촌유역 치수계획 수립 시 논에서의 유출 특성을 고려하여 배수시설물의 최적규모를 결정하는데 활용되고 있다. RMS에서 유효우량과 홍수량은 각각 NRCS방법 및 단위도방법을 이용해 계산한다. RMS에서는 홍수량 산정 시 유역을 일반유역과 논유역으로 구분하며, 논 유역은 유역 내의 토지이용이 모두 논으로만 구성되어 있는 경우 적용한다. 일반유역과 논 유역의 홍수량은 각각 NRCS 단위도법과 Clark 단위도법을 사용하여 산정하며, 홍수 추적 방법을 적용하지 않을 경우 홍수 계산 지점에서 각 소유역의 홍수량이 직접 합성된다. 홍수 추적 방법을 적용할 경우 단순지체 및 Muskingum 방법 중에 홍수 추적 방법을 선택할 수 있다 (Jun et al., 2020).

본 연구에서는 대상지구별 20년 및 30년 빈도에 대하여 지속시간별 홍수량을 산정하였다. IDF 시간분포와 Huff 분포로 각각 시간분해된 확률강우량과 대상지구 특성자료를 RMS에 입력하여 홍수량을 산정하였다. IDF 시간분포는 농업생산기반시설 설계기준에 따라 48시간 지속시간 확률강우량에만 적용하였으며, Huff 분포는 모든 지속시간에 적용하여 홍수량의 최댓값이 나타나는 임계지속시간을 산정하였다. 홍수량 산정 결과는 GATE2018의 입력자료로 활용하여 농경지 침수 분석을 수행하였다.

나. 농경지 침수 분석

한국농어촌공사에서 개발한 GATE2018을 적용하여 농경지 침수 분석을 수행하였다. GATE2018은 배수개선사업 계획 지구 내 기존시설물의 능력을 검토하거나 새로운 시설물의

Table 2 Probability rainfall and rainfall intensity using IDF time distribution for A district (20-year return period)

Duration (hr)	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24	48
Probability rainfall (mm)	78.8	110.8	133.0	150.3	176.4	203.2	221.4	234.6	244.4	258.3	288.4
Rainfall intensity using IDF time distribution (mm/hr)	78.8	32.0	22.2	17.3	13.1	8.9	6.1	4.4	3.3	2.3	1.3

규모를 결정하기 위해 개발되었다. 본 연구에서는 RMS를 이용해 산정한 지속시간 및 강우분포에 따른 대상지구의 홍수량을 GATE2018에 입력하여 농경지의 침수심 및 침수시간을 산정하였다.

GATE2018에서 침수분석은 유역내 홍수량의 저류현상을 분석하는 것으로 물수지 방정식을 이용해 계산이 이루어진다. 물수지 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} - \frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) \times \Delta t = \Delta S \quad (1)$$

여기서, I_{t-1} 은 전시간의 순간유입량 (m^3/s), I_t 는 다음시간의 순간유입량 (m^3/s), O_{t-1} 은 전시간의 순간유출량 (m^3/s), O_t 는 다음시간의 순간유출량 (m^3/s), ΔS 는 Δt 시간의 저류량 (m^3), Δt 는 시간간격 (sec, hr)를 나타낸다. GATE2018에서는 농업용 배수 구조물별 수위에 따른 배수량 계산이 가능하다. 구조물은 인양비, 자동비, 압거 (Box), 잠관 (원형), 물넘이, 압거 (원형), 펌프게이트 및 토공 (제형) 등을 입력할 수 있다. 사용자는 배수구조물 입력 창에서 구조물을 선택하고 필요한 제원을 각각 입력할 수 있다. GATE2018에는 구조물별 수위에 따른 배수량 함수가 내재되어 있어 시간별 내/외수위 변화에 따른 배수량을 계산할 수 있다 (Jun et al., 2020).

III. 결과 및 고찰

1. 확률강우량 산정 결과

본 연구 대상지구의 6개 지배관측소 (합천, 부여, 부안, 광주, 속초, 부산)에 대한 20년 및 30년 빈도 확률강우량을 산정하였다. Table 3은 대상지구별 48시간 확률강우량 산정 결과를 나타내고 있다. 20년 빈도 확률강우량은 293.1 mm에서

396.6 mm의 범위를 보였으며, 30년 빈도 확률강우량은 314.7 mm에서 430.1 mm의 범위를 가졌다. 확률강우량의 최댓값과 최솟값은 20년 빈도와 30년 빈도 모두 부산관측소와 광주관측소에서 각각 기록했다.

2. 농경지 침수 분석 결과

가. 홍수량 산정 결과

본 연구의 8개 대상지구별 20년 및 30년 빈도 설계홍수량을 산정하였다. Table 4는 48시간 지속시간에 대하여 대상지구별 20년 및 30년 빈도 설계홍수량 산정 결과를 나타내고 있다. 48시간 지속시간을 기준으로 IDF 시간분포에 의한 설계홍수량이 Huff 시간분포에 의한 설계홍수량에 비해 약 1.4배에서 4.4배까지 크게 산정되는 것으로 분석되었다. 이는 Fig. 2 및 Fig. 3의 (a)와 같이 IDF 시간분포의 경우 강우초반에 대부분의 강우량이 집중되어 48시간 지속시간 확률강우량에 Huff 시간분포를 적용한 경우에 비해 홍수량이 크게 산정되는 것으로 나타났다.

배수개선사업지구의 임계지속시간 및 Huff 시간분포 적용에 따른 설계홍수량을 산정하였다. 논 지구는 20년 빈도, 타작물 지구는 30년 빈도 설계홍수량을 각각 산정하였다. Huff 시간분포는 3분위를 적용하였다. Table 5는 설계홍수량 및 임계지속시간 산정 결과를 나타내고 있다. A, C 지구의 임계지속시간은 5시간으로 산정되었으며, 나머지 지구의 임계지속시간은 4시간으로 나타났다.

배수개선사업 수행 시 실무에서 적용하고 있는 48시간 지속시간 확률강우량에 IDF 시간분포를 적용한 방법과 환경부 홍수량 산정 표준지침에서 제시하는 임계지속시간 확률강우량에 수정 Huff 시간분포 3분위를 적용한 방법에 따른 설계홍수량을 비교 및 분석하였다. Fig. 1은 48시간 지속시간-IDF 시간분포 및 임계지속시간-Huff 시간분포 적용에 따른 설계

Table 3 Probability rainfalls in the study districts of 20- and 30-year frequency (48 hr duration)

Study district	Meteorological station	Crops	20-year frequency (mm)	30-year frequency (mm)
A	Hapcheon	Paddy rice	332.8	358.4
B	Booyeo	Paddy rice	293.1	314.7
C	Booyeo	Upland crops	293.1	314.7
D	Hapcheon	Upland crops	332.8	358.4
E	Booan	Paddy rice	315.9	340.5
F	Gwangju	Upland crops	292.9	314.1
G	Sokcho	Paddy rice	373.7	402.2
H	Busan	Paddy rice	396.6	430.1

Table 4 Design floods in the study districts of 20- and 30- year frequency

Time distribution		IDF time distribution		Huff time distribution	
Duration		48 hr			
Frequency		20-year	30-year	20-year	30-year
District	A	67.2	74.3	17.9	19.6
	B	85.2	93.7	21.3	23.0
	C	29.7	32.5	11.1	12.0
	D	44.7	49.3	10.3	11.3
	E	28.5	31.8	10.6	11.5
	F	44.2	49.3	14.8	16.1
	G	9.7	10.8	7.0	7.7
	H	121.2	135.9	33.4	36.8

Table 5 Design floods in the study districts by rainfall duration using Huff time distribution

(m³/s)

District	A	B	C	D	E	F	G	H	
Frequency	20-year	20-year	30-year	30-year	20-year	30-year	20-year	20-year	
Duration (hr)	1	37.0	66.1	25.3	27.2	21.2	42.3	11.1	113.2
	2	55.5	88.7	35.1	39.3	33.7	58.1	18.3	144.9
	3	46.6	80.4	31.7	30.4	30.4	48.6	18.3	137.4
	4	57.9	97.6	39.7	40.4	39.3	63.1	23.3	160.4
	5	58.1	85.5	40.0	38.1	38.9	58.4	21.8	141.7
	6	51.7	79.5	38.0	32.9	34.3	53.7	21.1	133.6
	7	52.5	78.3	37.0	34.3	35.6	55.3	21.3	128.3
	8	50.7	70.7	37.1	32.1	34.5	51.9	19.6	115.3
	9	46.1	67.6	35.2	29.4	31.3	49.0	19.3	111.4
	10	45.8	65.1	33.9	29.1	31.0	47.8	18.4	105.7
	11	43.8	59.5	32.9	27.4	29.4	44.4	17.0	98.0
	12	40.5	58.3	31.3	25.9	27.1	42.6	16.6	94.6
	24	28.7	36.1	20.2	18.0	17.4	27.5	11.6	58.4
	48	17.9	21.3	12.0	11.3	10.6	16.1	7.0	33.4

홍수량 산정 결과를 나타내고 있다. 설계홍수량 산정 결과 A 및 D 지구를 제외한 모든 지구에서 임계지속시간-Huff 시간 분포를 적용한 설계홍수량이 48시간 지속시간-IDF 시간분포를 적용한 설계홍수량에 비해 큰 것으로 분석되었다. 대부분의 지구에서 임계지속시간을 적용한 경우 홍수량이 큰 것으로 나타났으며, A 및 D 지구의 경우 지배관측소인 합천관측소의 IDF 시간분포가 타 관측소에 비해 강우초반 비교적 많은 강우량이 집중되어 홍수량이 크게 산정되는 것으로 분석되었다.

Fig. 2와 Fig. 3은 각각 A지구와 F지구의 홍수수문곡선을 나타내고 있으며, 각 그림의 (a)와 (b)는 각각 48시간 지속시간-IDF 시간분포를 적용한 결과와 임계지속시간-Huff 시간분포를 적용한 결과를 나타내고 있다. Fig. 2와 Fig. 3의 (a)에서 확인할 수 있듯이, IDF 시간분포의 경우 강우초반에 대부분의

강우량이 집중되는 경향을 나타낸다. 배수개선사업 수행 시 장기간 강우에 의한 침수 영향을 반영하고자 48시간 임의지속시간 확률강우량을 설계수문량으로 선정하고 있지만, IDF 시간분포를 사용할 경우 초기 6시간 이내의 강수량만 홍수 및 침수에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. IDF 시간분포의 경우 교호블록방법 (Alternating Block Method, ABM) 또는 Mononobe 방법과 유사하긴 하지만, 정확한 이론적 배경과 배수개선사업을 제외한 적용 사례를 찾아보기 힘든 한계점이 있다. 또한, 농촌유역 농경지 침수에 영향을 미치는 농업용저수지 및 하천의 경우 설계기준에 따라 임계지속시간과 Huff 시간분포를 적용하여 설계수문량을 산정하고 있기 때문에, 향후 추가 분석을 통해 합리적인 농업생산기반시설 설계기준의 설계강우량 산정 방법이 제시되어야 할 것이다.

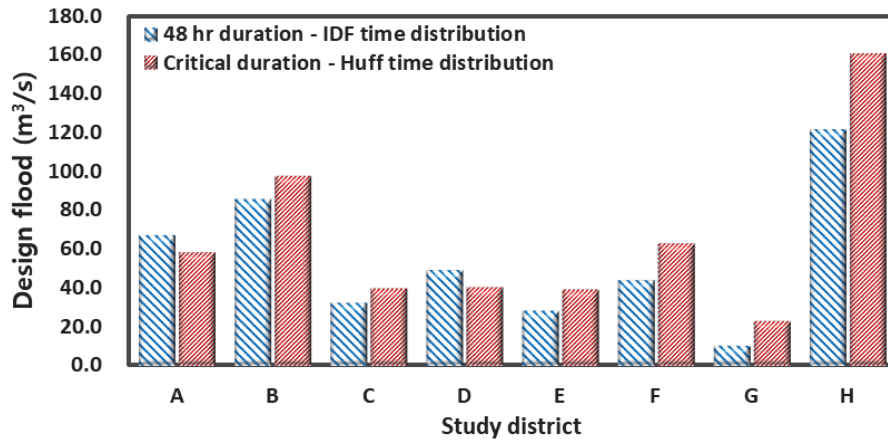
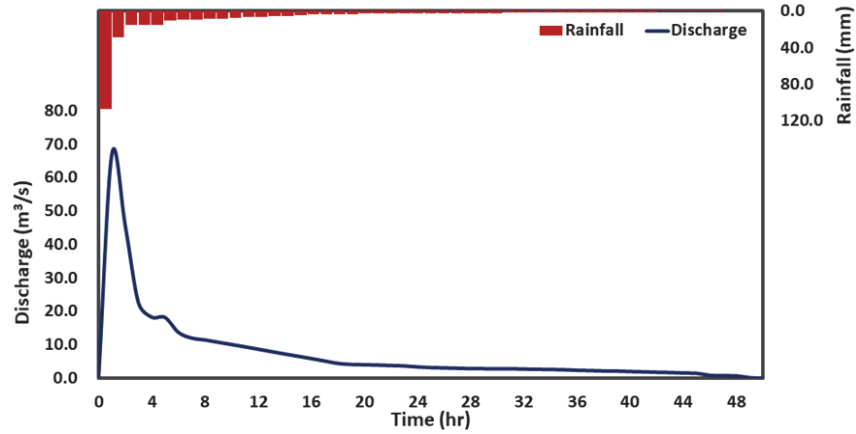
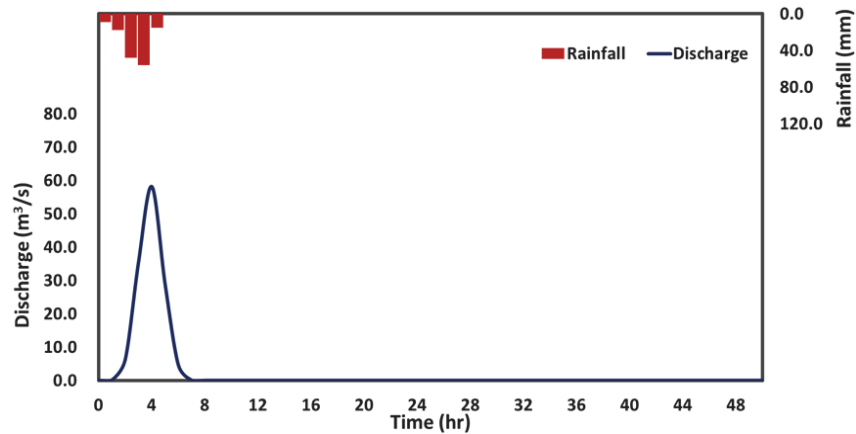


Fig. 1 Design floods of study districts by rainfall duration and time distribution

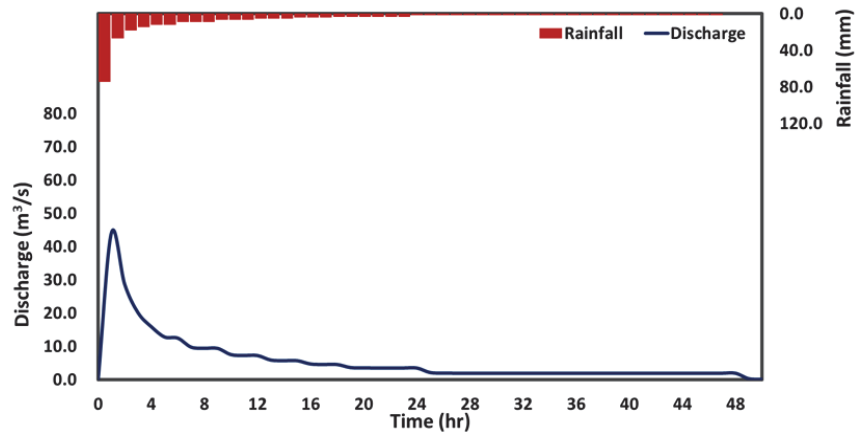


(a) IDF time distribution (48-hr rainfall duration)

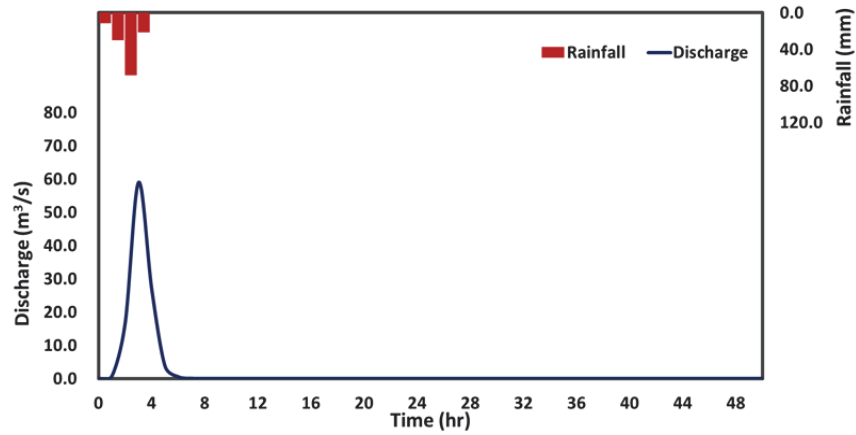


(b) Huff time distribution (5-hr rainfall duration)

Fig. 2 Flood hydrograph for district A (20-year frequency)



(a) IDF time distribution (48-hr rainfall duration)



(b) Huff time distribution (4-hr rainfall duration)

Fig. 3 Flood hydrograph for district F (30-year frequency)

Table 6 Inundation analysis results in the study districts of 20- and 30- year frequency design flood

Time distribution		IDF time distribution			Huff time distribution		
Rainfall duration		48 hr			Critical duration		
District	Frequency	Design flood (m ³ /s)	Inundation depth (cm)	Inundation duration (hr)	Design flood (m ³ /s)	Inundation depth (cm)	Inundation duration (hr)
A	20-year	67.2	63.0	14	58.1	28.0	0
B	20-year	85.2	0.0	0	97.6	0.0	0
C	30-year	32.5	0.0	0	40.0	0.0	0
D	30-year	49.3	85.0	5	40.4	73.0	13
E	20-year	28.5	59.0	10	39.3	62.0	5
F	20-year	44.2	31.0	1	63.1	44.0	2
G	30-year	10.8	41.0	4	23.3	54.0	4
H	20-year	121.2	34.0	7	160.4	38.0	4

나. 침수 분석 결과

대상지구별 홍수량 산정 결과를 GATE2018에 입력하여 침수 분석을 수행하였다. Table 6은 대상지구별 침수심 및 침수 시간 산정 결과를 나타내고 있으며, 침수시간은 농경지의 수심이 30 cm 이상으로 유지되는 시간을 나타낸다. 침수 분석 결과, 홍수량 분석 결과와 마찬가지로 A, D지구에서는 48시간 지속시간-IDF 시간분포를 적용한 경우 침수심이 큰 것으로 나타났고, E, F, G, H 지구에서는 임계지속시간-Huff 시간분포를 적용한 경우 침수심이 큰 값을 기록했다.

A지구는 48시간 지속시간-IDF 시간분포에 의한 침수심 및 침수시간이 임계지속시간-Huff 시간분포를 적용한 경우에 비해 큰 값을 나타냈다. B지구 및 C지구는 침수가 발생하지 않았으며, D지구의 경우 침수심과 침수시간이 IDF 시간분포와 Huff 시간분포 방법에 따라 각각 큰 값을 가지는 것으로 분석되었다. E, F, G, H지구에서는 임계지속시간-Huff 시간분포에 따른 침수심이 48시간 지속시간-IDF 시간분포에 따른 침수심에 비해 큰 값을 가지는 것으로 분석되었으나, 침수시간의 경우 대상지구별로 상이한 결과를 나타냈다.

본 연구의 8개 대상지구에 대한 분석 결과 침수심의 경우 대상지구의 침두유량 크기와 유사한 경향을 보였으나, 침수시간은 상이한 결과를 나타냈다. 농경지의 침수는 침두유량과 함께 홍수 총량(수문곡선의 넓이)의 영향을 받으며, 외수위(하천수위) 및 배수시설의 용량 등 다양한 농촌유역의 수문 요소들에 의해 결정된다. 따라서 침수시간은 대상지구별 유역특성에 따라 상이한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 강우 지속시간 및 시간분포에 따른 침수 특성을 정형화 하기 위해서는 향후 추가적인 대상지구에 대한 분석이 수행될 필요가 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

농업생산기반시설의 설계기준에서는 농지배수 설계기준으로 48시간 확률강우량을 사용하도록 제시하고 있으나, 설계강우의 시간분포 방법은 명확하게 제시하지 않고 있다. 배수개선사업 수행 시 실무에서는 대부분 IDF곡선을 활용한 시간분포 방법을 적용하고 있으나, 환경부 홍수량 산정 표준지침 등 대부분의 설계지침에는 Huff 분포를 사용하도록 제안하고 있다. 현재 농림축산식품부에서는 농업생산기반시설 설계기준을 개정하고 있으며, 설계강우의 지속시간 및 시간분포의 차이에 따른 농경지 침수 모의 결과의 비교 및 분석을 통해 농업생산기반시설 설계기준 개정을 위한 근거 자료를 구축할 필요가 있다.

본 연구에서는 8개 논 및 타작물 배수개선 사업지구를 대상으로 농업생산기반시설 설계기준의 48시간 지속시간-IDF 시간분포와 임계지속시간-Huff 시간분포를 적용한 침수 모의를 각각 수행하고, 침수 모의 결과를 비교·분석하여 설계강우의 지속시간 및 시간분포에 따른 배수개선 농경지의 침수 영향을 분석하였다. 이에 20년 및 30년 빈도 확률강우량을 산정하였으며, 논 지구와 타작물 지구에 20년 및 30년 빈도 48시간 확률강우량과 IDF 시간분포 및 Huff 시간분포를 각각 적용하여 설계홍수량을 산정하고 비교하였다. 또한, 8개 대상지구에 대하여 두 가지 방법에 의해 산정된 설계홍수량에 의한 침수 모의를 수행하고 농경지의 침수 영향을 분석하였다.

동일한 48시간 지속시간에 대한 설계홍수량은 IDF 시간분포를 적용한 경우 강우초반 집중된 강우량에 의해 Huff 분포를 적용한 경우에 비해 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 임계지속시간-Huff 시간분포 방법에 의한 설계홍수량이 48시간 지속시간-IDF 시간분포 방법에 의한 설계홍수량에 비해 8개 지구 중 6개 지구에서 큰 값을 가지는 것으로 분석되었다. 침수분석 결과, 침수심의 경우 대상지구 침두유량의 크기와 유사한 경향을 보였으나, 침수시간은 상이한 결과를 나타냈다.

IDF 시간분포는 강우 초반에 대부분의 강우량이 집중되는 분포로, IDF 시간분포를 적용할 경우 배수개선사업 설계강우량의 48시간 지속시간 중 초기 약 6시간 이내의 강수량만 홍수 및 침수에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 따라서, IDF 강우분포를 사용할 경우 48시간 지속시간의 설계강우량을 사용하는 의미가 퇴색되는 것으로 판단된다. 따라서, IDF 시간분포는 이론적 배경이 모호한 한계점을 가지며, 홍수량 산정 표준지침 등 타 설계기준에서도 대부분 Huff 시간분포와 임계지속시간 개념을 추천하고 있으므로 향후 추가 분석을 통해 합리적인 농업생산기반시설 설계기준의 설계강우량 산정 방법이 제시되어야 할 것이다.

본 연구의 결과는 향후 농업생산기반시설 설계기준의 농지배수 계획수문량 개정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 설계강우의 지속시간 및 시간분포에 따른 농경지 침수 특성을 정형화하기 위해서는 추가적인 대상지구에 대한 분석이 수행될 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 지원을 받아 수행되었음 (과제명: 기후변화, 영농체계전환 대응 배수개선 설계기준 연구).

REFERENCES

1. Huff, F. A., 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research* 3(4): 100-1019. doi:10.1029/WR003i004p01007.
2. Hwang, D. J., B. G. Kim, and J. K. Shim, 2012. Affecting discharge of flood water in paddy field from selecting rainfall with fixed and unfixed duration. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 19(1): 64-76 (in Korean).
3. Jeong, J. H., K. S. Yoon, S. M. Choi, S. G. Yoon, Y. B. Go, and Y. T. Kim, 2010. Investigation and complementary measures establishment for flood on tidal reclaimed paddy fields. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 17(2): 105-114 (in Korean).
4. Jun, S. M., H. J. Lee, S. H. Hwang, J. H. Song, S. K. Choi, and M. S. Kang, 2019. General inundation modeling of paddy field districts considering drainage delay. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(4): 87-96 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2019.61.4.87.
5. Jun, S. M., J. H. Song, S. K. Choi, K. D. Lee, and M. S. Kang, 2018. Combined 1D/2D inundation simulation of riverside farmland using HEC-RAS. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(5): 135-147 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.5.135.
6. Jun, S.-M., S. Hwang, J. Kim, J. Kwak, K. Kim, H. Lee, S. H. Kim, J. Cho, J.-N. Lee, and M. S. Kang, 2020. Future inundation risk evaluation of farmland in the Moohan stream watershed based on CMIP5 and CMIP6 GCMs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(6): 131-142 (in Korean). doi: 10.5389/KSAE.2020.62.6.131.
7. Kim, H. K, M. S. Kang, I. Song, S. H. Hwang, J. Park, J. H. Song, and J. H. Kim, 2012. Flood inundation analysis in a low-lying rural area using HEC-HMS and HEC-RAS. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 1-6 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2012.54.2.001.
8. Lee, 2014. Development of integrated management system for agricultural infrastructure - focused on reservoir embankment -. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
9. Lee, H. J., 2019. Estimation of farmland inundation probability based on temporal distribution of forecasted-rainfall. Ms. diss. Seoul National University (in Korean).
10. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2018. Design standard for infrastructure of agricultural production. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
11. Ministry of Environment, 2019. Standard guidelines for calculating flood volume. Ministry of Environment.
12. Ministry of the Interior and Safety, 2020. Disaster yearbook 2019. Ministry of the Interior and Safety.
13. Ryu, J. H., M. S. Kang, S. M. Jun, J. Park, and K. D. Lee, 2017. Future inundation characteristics analysis for the Cheongmi stream watershed considering non-stationarity of precipitation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 59(1): 81-96 (in Korean). doi:10.5389/KSAE. 2017.59.1.081.