



농지배수 수문설계 기준과 임계지속시간을 고려한 농업 소유역 침수분석

Inundation Analysis of Agricultural Basin Considering Agricultural Drainage Hydrological Plan and Critical Rainfall Duration

김귀훈^a · 전상민^b · 강문성^c · 최진용^{d,†}

Kim, Kwihoon · Jun, Sang-Min · Kang, Moon Seong · Choi, Jin-Yong

ABSTRACT

KDS (Korean Design Standard) for agricultural drainage is a planning standard that helps determine the appropriate capacity and type of drainage facilities. The objective of this study was to analyze the inundation of the agricultural basin considering the current design standard and the critical rainfall duration. This study used the rainfall durations of 1-48 hour, and the time distribution method with the Chicago and the modified Huff model. For the runoff model, the NRCS (Natural Resources Conservation Service) unit hydrograph method was applied, and the inundation depth and duration were analyzed using area-elevation data. From the inundation analysis using the modified Huff method with different rainfall durations, 4 hours showed the largest peak discharge, and 11 hours showed the largest inundation depth. From the comparison analysis with the current method (Chicago method with a duration of 48 hours) and the modified Huff method applying critical rainfall duration, the current method showed less peak discharge and lower inundation depth compared to the modified Huff method. From the simulation of changing values of drainage rate, the duration of 11 hours showed larger inundation depth and duration compared to the duration of 4 hours. Accordingly, the modified Huff method with the critical rainfall duration would likely be a safer design than the current method. Also, a process of choosing a design hydrograph considering the inundation depth and duration is needed to apply the critical rainfall duration. This study is expected to be helpful for the theoretical basis of the agricultural drainage design standards.

Keywords: Agricultural drainage standard; critical rainfall duration; time distribution; inundation analysis; modified Huff model

1. 서론

농지배수 수문설계 기준은 농어촌정비법에 근거하여 농업용배수시설의 사업계획 수립을 위해 필요한 강우량, 홍수량, 배수량 등의 수문설계와 관련된 기술적 사항을 규정하는 데에 목적을 두고 있다. 2018년 국토교통부 건설공사기준 코드체계 전환에 따라 농지배수 계획기준치 및 유출량으로 명명되었으며, 국가건설기준의 KDS 67 45 20으로 제정되어 국가

건설기준센터를 통해 배포되고 있다 (Kang et al., 2021). 코드체계 전환 이전에는 농지개량사업계획설계기준 (배수편)으로 1970년에 제정되었다. 1983년에 농지개량사업계획설계기준 (배수편)이 1차 개정되었으며, 계획강우량의 결정과 관련하여 첨두유출량을 계획의 기본으로 할 경우 단시간 강우강도를 대상으로 하고, 유출량 수문곡선을 계획의 기본으로 하는 경우 적당한 분포를 가진 연속강우를 대상으로 택하였다 (MAFF, 1983). 2001년에는 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (배수편)으로 2차 개정되었으며, 유출량 수문곡선을 계획의 기본으로 하는 경우는 적당한 분포를 가진 2일간의 연속강우를 계획의 대상으로 택하도록 하였다 (MAF, 2001). 이후 건설기술정보시스템 건설공사기준의 2004년 공시된 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (배수편)에서는 20년 빈도의 발생확률을 가지는 강우량을 계획의 기준으로 제시하였으며, 안전성과 공공성을 고려하여 설계자의 재량에 의해 큰 빈도의 강우로 조정할 수 있도록 하였다 (MAF, 2004). 내용 측면에서 가장 최근에 개정된 2012년 설계기준에서는 적당한 분포를 가진 20년 빈도 임의지속 48시간의 연속강우를 계획의 대상으로 하나, 침수에 의한 피해가 큰 원예작물 등 발작물이 집단화된 지역은 필요시 30년 빈도를 채택하도록 제시하였고, 기후변화를 고려하여 전체 강우자료와 최근 30개년 이상 강

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

^b Research Scientist, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences

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

^d Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4583, Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

Received: February 12, 2023

Revised: April 25, 2023

Accepted: May 08, 2023

우자료를 빈도 분석하고 비교하여 큰 값을 채택하도록 하였다 (MFAFF, 2012).

농업생산기반정비사업 계획설계기준 (배수편)에서는 설계 강우의 시간분포에 대한 명확한 지침은 없으나, 실무에서는 Keifer and Chu (1957)가 제안한 Chicago 방법이 사용되고 있었다. 또한, 강우 지속시간에 대한 내용은 여러 차례의 개정을 거치며 구체화되었으나 설계기준에서 명확한 기준이나 사유를 밝히고 있지 않았다. 한편, ME (2019)의 홍수량 산정 표준 지침에서는 강우 시간분포 방법으로 4분위 수정 Huff 모형을 설계의 기본으로 하고, 임계지속시간 개념을 적용하여 수공 구조물의 설계에 적용하도록 제시하였다. ME (2019)가 제시하는 임계지속시간은 최대 침두유출량이나 최대 저류비를 발생시키는 강우 지속시간으로, 홍수량 산정지점에 대하여 유역의 규모에 따라 1시간 단위 또는 10분 단위의 홍수량을 계산하여 임계지속시간을 결정하도록 하고 있다. 임계지속시간을 적용한 연구는 그 이전부터 꾸준히 수행되어왔으며 (Lee et al., 1994; Yoon et al., 1998; Lee et al., 2005; Yoo et al., 2016), 특히 농업 소유역에 적용한 Kang et al. (2013)에서는 임계지속시간을 적용하여 강우 시간분포 모델과 단위도 종류에 따른 침두유출량을 비교 분석하였다. Jun et al. (2022)에서는 IDF 시간분포 (Chicago 시간분포)의 한계점을 분석하며, Huff 계열의 분포 모델과 임계지속시간 적용의 필요성을 제시하였다.

농업생산기반정비사업 계획설계기준 (배수편)의 허용담수 및 침수방지 계획기준에 의하면 벼 단일작 구역에서 허용담수심은 30 cm로 하며 이를 초과할 경우 관수 (통상 70 cm)가 발생하지 않는 범위 내에서 허용침수시간은 24시간으로 하도록 하고 있다 (MFAFF, 2012). 이는 우리나라에서 7-9월에 수해가 많이 발생한다는 것에 주안을 두고 주로 수잉기의 침수 피해를 방지하는 것을 목표로 하기 때문이다. 계획설계기준에서 제시하는 벼의 생육기별 관수일수와 감수율 자료에 의하면 수잉기에는 0.5일 관수시 약 27%의 감수율을 보이는 것으로 나타나 있다. 이에 따라 침수방지 계획에서는 허용담수를 초과할 경우 담수연속시간은 24시간을 한도로 하고, 부득이한 경우를 제외하고 관수를 허용하지 않도록 제시하고 있다. 배수시설은 일반적으로 농업 소유역에서 가장 낮은 곳에 위치하며, 설계의 기준이 되는 최저답고와 관수위를 고려하게 된다. 이때 표고에 따른 단면적을 이용하여 설계 지구의 내용적을 계산하게 되는데 지금까지 논 지대의 홍수에 대한 배수계획에서는 허용담수를 고려하였다.

수리구조물 설계시 담수를 고려하지 않는 경우가 대부분인 일반적인 유역과는 달리 농업 소유역에서는 논에 의한 저류가 발생한다. 저류지 용량을 산정한 연구인 Yoon et al. (2001)

에 의하면 최대 저류비나 최대 침두유출량은 최대 저류량이 발생하기 전에 나타났다. 침두유출량이 최대가 되는 지속시간을 계획의 기본으로 한다면 최대 저류량이 임계지속시간 이후에 발생하여 더 긴 침수시간과 높은 침수심이 발생할 수 있기 때문에 침두유출량이나 저류비를 기준으로 하는 임계지속시간을 농업 소유역에 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 다만 Yoon et al. (2001)의 결과를 살펴보면 펌프를 이용하여 허용방류량을 점차 증가시킨 모의에서 허용방류량이 침두유출량에 가까워질수록 최대 저류량이 발생하는 지속시간이 최대 침두유출량이 발생할 때와 비슷해지기 때문에 설계 과정에서 이 점이 고려될 필요가 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 목적은 농업 소유역을 대상으로 현행 농지배수 설계기준 침수분석 방법과 임계지속시간을 고려한 방법을 이용하여 침두유출량과 침수심 및 침수시간을 비교 분석하고, 배수량에 따른 침수심과 침수시간 변화를 분석하는 것이다. 이때 현행 방법으로는 48시간 지속시간과 Chicago 시간분포 모델을 적용하였고, 임계지속시간의 경우 1-48시간 지속시간과 수정 Huff 모델을 적용한 후 수문곡선을 유도하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지 및 자료구축

본 연구에서는 2012년 이후 실시된 배수개선사업 사업지구 한 곳을 대상지구로 선정하였다. 대상지구는 총 5개의 소유역을 가지고 있으며, 이 중 가장 큰 유역을 모의 대상지구로 선정하였다. 해당 유역은 1,033.5 ha의 면적을 가지고 있으며, 대상지구의 지배 기상관측소는 창원 관측소이다.

농지배수 계획설계기준에서는 임의지속 48시간의 강우량을 이용하여 설계강우량을 산정하도록 하고 있지만, 수자원 주무부처인 환경부에서는 임계지속시간 개념을 적용하며, 이를 위해 수정 Huff 방법을 강우 시간분포 방법으로 적용하고 있다 (MFAFF, 2012; ME, 2019). 이에 따라 본 연구에서는 지속시간 1-48시간의 확률강우량을 수집하고, 수정 Huff 방법을 적용하여 시간분포 시킨 후, 각 지속시간에서의 홍수량을 산정하여 침두유출량, 침수심 및 침수시간을 분석하였다. 이후 침두유출량 기준의 임계지속시간의 수문곡선과 침수심이 가장 크게 산정된 지속시간의 수문곡선을 선정하여 기존에 사용되던 48시간 확률강우량 및 Chicago 방법을 적용한 결과와 비교하였다. 그리고 수정 Huff 방법의 선정된 두 가지 지속시간으로 모의한 수문곡선에 배수량을 변화시켜 저류량과 침수심을 분석하여 설계배수량을 결정하는 방법의 적용성을 분석하였다.

2. 강우 시간분포

가. Chicago 시간분포

Chicago 방법은 Keifer and Chu (1957)에 의해 제시되었으며, 가장 큰 강우강도에 의해 침투유량이 영향을 받는 유역에 일반적으로 적용되는 것으로 알려져 있다 (Ahmed and Tsanis, 2016). Chicago 방법에서는 확률 강우강도식 (IDF, Intensity Duration Frequency)를 이용하며, 특정 지속기간과 발생확률을 가진 값을 더 작은 시간 간격 강우로 분리한다. 이후 호우 전진계수 r 값에 따라 가장 큰 강우를 배치하고 내림차순으로 전방과 후방 순으로 재배열한다. 이와 비슷한 방법인 교호블록 방법 (ABM, Alternating Block Method)는 호우전진계수 r 을 0.5로 하여 중앙집중형으로 만든 형태이다 (Yoon, 2013). 이때, 호우전진계수 r 값에 따라 대상지구별로 강우 시간분포가 달라질 수 있으며, r 이 0일 경우 최대 강우량이 가장 전방에 배치되고, r 이 1일 경우 최대 강우량이 가장 후방에 오게 배치된다. 예시 그림은 Fig. 1(a)와 같고, 호우전진계수 r 은 대상지구의 설계 내용과 동일한 0.0625로 두었으며, 강우지속기간은 48시간 (2,880분)이었다.

나. 수정 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 (Jun et al., 2022). 국토부의 “확률강우량도 개선 및 보완 연구”에서는 기상청에서 측정하는 관측소 69개의 1-4분위 Huff 분포의 초과확률에 따른 지속기간 백분율을 제시하였다 (MLTMA, 2011). 하지만 Huff 방법의 누가곡선식 유도 시 강우관측소별 집중호우사상이 부족하다는 단점이 있어 환경부에서는 지역 빈도해석 적용을 위해 기상청, 환경부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 관할의 우리나라 강우관측소 615개소를 26개의

군집지역으로 구분하여 수정 Huff 계수를 제시하였다 (ME, 2019). 본 연구에서는 환경부에서 제시한 수정 Huff의 3분위 중 대상지구의 지배관측소가 위치한 22번 지역의 계수를 적용하여 확률강우량의 시간별 강우량을 산정하였다. 예시 그림은 아래의 Fig. 1(b)와 같고, 강우지속기간은 4시간 (240분)이었다.

3. 홍수량 및 침수심 산정

본 연구에서는 한국농어촌공사에서 개발한 RMS (River Modeling System)의 모의 결과와 같도록 프로그래밍하여 모의를 진행하였다. RMS는 농업소유역의 홍수량 분석을 위해 개발되었으며, 농촌유역 치수계획 수립 시 논에서의 유출 특성을 고려하여 배수시설물의 최적규모를 결정하기 위해 활용되고 있는 모델이다 (Jun et al., 2022). 강우 시간분포 모델의 경우 비교를 위하여 기존에 사용되고 있는 Chicago 방법과 환경부에서 제안하는 수정 Huff 방법을 이용하였고, NRCS-CN (Natural Resources Conservation Service-Curve Number) 방법을 통해 유효우량을 산정하였다. 이후 홍수량을 산정하기 위하여 본 연구에서는 NRCS 단위도법을 이용하여 홍수 수문곡선을 유도하였다. 침수분석을 위해서는 대상지구의 표고별 내용적 자료를 이용하였으며, 유량 단위의 수문곡선을 부피 단위로 환산하여 대상지구의 침수심을 산정하였다. 내용적 자료의 표고가 0.1 m 단위로 값을 제공하였기 때문에 지속기간과 시간분포에 따른 차이를 적절히 살펴보기 위해 본 연구에서는 0.01 m 단위로 선형보간하여 침수심을 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우지속기간에 따른 침투유출량과 침수심 분석

Fig. 2는 대상지구에서 지속기간을 1-48시간까지 변화시키

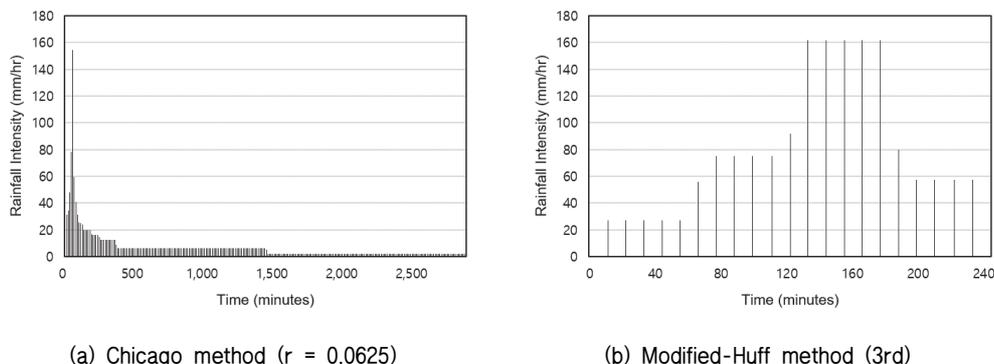


Fig. 1 Time distribution methods used in this study (Chicago, modified-Huff)

며 모의한 침두유출량과 침수심 결과이며, 배수량은 40 CMS (Cubic Meter per Second)로 동일하게 모의하였다. 본 대상지구의 경우 허용침수심이 5.2 m였고, 허용관수심이 5.6 m였으며 Fig. 2(a)의 limit은 허용침수심을 의미한다. 허용침수심은 배수개선 사업 시 경제성 등을 고려하여 결정하는 값으로 본 연구에서는 해당 대상지구의 기준값을 참고하였다. peak는 침두유출량을 의미하며, 각 지속시간에서 모의된 수문곡선에서 가장 큰 유량을 보인 값을 의미한다. depth의 경우 각 모의에서 발생한 최대 침수심을 의미하며, 지속시간 3시간에서 24시간까지의 모의에서 허용침수심을 초과하는 것으로 모의 되었다. 침두유출량의 경우 지속시간 4시간에서 가장 큰 값을 보

였으나, 침수심은 지속시간 10-12시간에서 가장 높은 값을 보였다. 이는 농업 소유역에서 침수를 허용할 경우 최대 침두유출량이 발생하는 경우 지속시간과 최대 침수심이나 최장 침수시간이 발생하는 경우 지속시간이 일치하지 않음을 의미한다. 즉, 침두유출량이 최대가 되는 지속시간이 아닌 다른 지속시간에서 더 큰 침수피해가 발생할 수 있으며, 무침수 배제 구역이 아닌 침수를 허용하는 구역에서는 침두유출량 기준의 지속시간 보다 침수심 혹은 침수시간 기준의 지속시간을 적용하는 것이 더 타당해보인다.

Table 1은 Fig. 2의 그래프 값을 표로 나타내고 있으며, 지속시간에 따른 침수시간과 침두유출량, 침수심, 그리고 침수

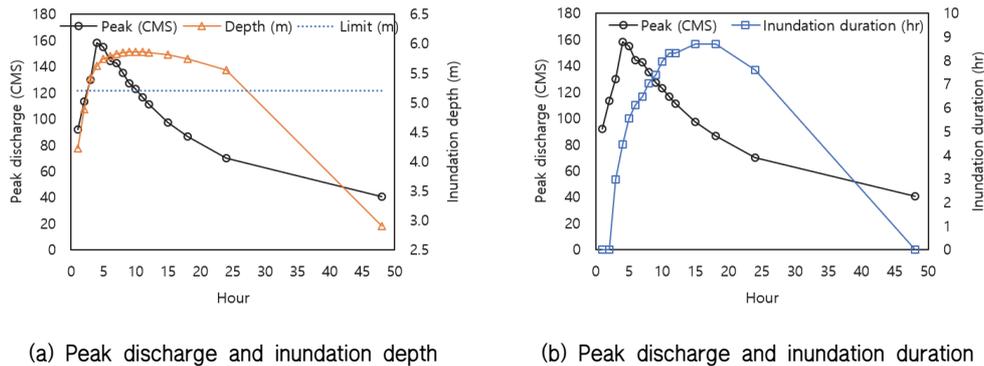


Fig. 2 Simulation results of peak discharge, inundation depth, and inundation duration according to rainfall durations with modified Huff method

Table 1 Modeling results depending on different rainfall durations

Time distribution	Duration (hr)	Probability rainfall (mm)	Inundation duration (hr)	Peak discharge (CMS)	Inundation depth (m)	Inundation area (ha)
Modified Huff	1	78.6	0	92.0	4.22	17.4
	2	114.6	0.00	113.1	4.88	26.2
	3	139.1	2.96	129.6	5.42	57.3
	4	160.5	4.44	158.2	5.62	81.1
	5	175.6	5.55	154.7	5.74	99.7
	6	188.6	6.10	144.2	5.79	108.5
	7	199.7	6.47	142.3	5.82	113.5
	8	209.8	7.03	135.1	5.84	116.7
	9	220.6	7.40	127.2	5.86	120.0
	10	227.8	7.96	122.6	5.86	120.0
	11	233.6	8.32	116.6	5.86	120.0
	12	240.6	8.32	110.8	5.85	118.3
	15	261.1	8.70	96.9	5.81	111.9
	18	277.2	8.70	86.4	5.74	99.7
	24	307.1	7.58	70.0	5.55	72.3
48	362.5	0.00	40.7	2.90	3.1	
Chicago	48	362.5	10.36	116.6	5.62	81.1

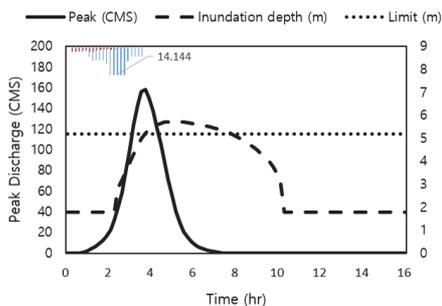
면적의 모의 결과를 나타낸다. 침투유출량은 지속기간 4시간에서 158.2 CMS로 가장 크게 계산되었고, 침수시간은 지속기간 15시간에서 8.7시간으로 가장 길게 계산되었다. 침수심은 지속기간 10-12시간에서 5.86 m로 가장 높게 계산되었으며, 이때 침수면적은 120.0 ha로 가장 넓은 것으로 모의 되었다.

Fig. 3(a)와 (b)는 수정 Huff 방법을 이용하여 모의한 수문곡선과 침수심 결과이고, Fig. 3(c)는 기존의 방법인 48시간 지속기간의 Chicago 방법으로 모의한 결과를 나타내며, 대상지구의 배수량은 40 CMS로 고정하여 모의하였다. 이때 대상지구의 수문 모델 분석 단위는 0.185시간으로 계산되었다. Fig. 3(d)는 세 가지 방법의 수문곡선과 유출량의 누적값을 나타내고 있다. 유출 모형에서의 유출의 총량은 유효우량에 비례하기 때문에 각 모의에서의 누적 유출량의 증가는 4, 11, 48시간 확률강우량의 유효우량과 비례하는 값을 보였다. Fig. 3(a)에서는 침투유출량이 가장 크게 산정된 4시간 지속기간 강우의 모의결과를 나타내고 있으며, 단위시간 동안 가장 큰 강우량은 14.1 mm로 계산되었고, 강우강도는 76.2 mm였다. Fig. 3(b)에서는 침수심이 가장 높게 산정된 11시간 지속기간 강우의 모의결과를 나타내고 있으며, 단위시간 동안 가장 큰 강우량은

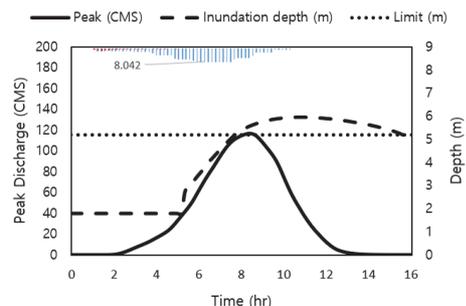
은 8.0 mm로 계산되었고, 강우강도는 43.2 mm였다. Fig. 3(c)에서는 기존 48시간 지속기간 및 Chicago 방법을 통한 모의결과를 나타내고 있으며 단위시간 동안 가장 큰 강우량은 29.6 mm로 계산되었고, 강우강도는 160.0 mm였다.

Fig. 3(a)에서는 강우사상 발생 3.7시간 후 158.2 CMS의 침투유출량이 발생하는 것으로 모의 되었다. 또한, 강우사상 발생 5.2시간 후 5.73 m의 최대 침수가 발생하여 허용침수심인 5.2 m를 0.53 m 초과했으며, 4.3시간 동안 침수가 발생하는 것으로 모의 되었다. Fig. 3(b)에서는 강우사상 발생 8.3시간 후 116.6 CMS의 침투유출량이 발생하는 것으로 모의 되었다. 또한, 강우사상 발생 10.7시간 후 5.96 m의 최대 침수가 발생하여 허용침수심을 0.76 m 초과하였으며, 8.0시간 동안 침수가 발생하는 것으로 모의 되었다. Fig. 3(c)에서는 강우사상 발생 1.8시간 후 136.7 CMS의 침투유출량이 발생하는 것으로 모의되었다. 또한, 강우사상 발생 5.9시간 후 5.62 m의 최대 침수가 발생하였으며, 10.4시간 동안 침수가 발생하는 것으로 모의 되었다.

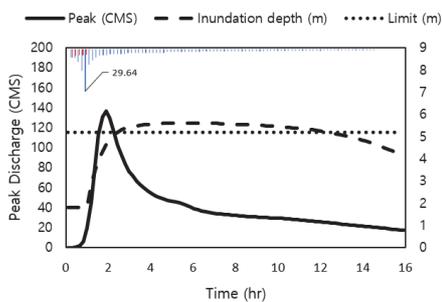
Chicago 방법의 경우 호우전진계수 r에 따라 대부분의 유효강우가 특정 기간에 배치됨에도 불구하고 116.6 CMS의 침



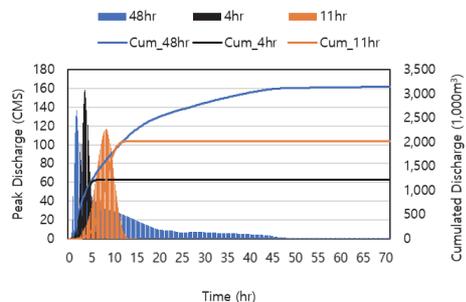
(a) 4-hour rainfall with modified Huff when peak is the highest



(b) 11-hour rainfall with modified Huff when inundation depth is the highest



(c) 48-hour rainfall with Chicago method



(d) Comparison of peak discharge and cumulated discharge of three results

Fig. 3 Modeling results of hydrograph and inundation depth for different rainfall durations (Pump = 40 CMS)

두유출량이 발생하여 지속기간 4시간 수정 Huff 방법의 158.2 CMS보다 적은 것으로 모의 되었다. 또한, 침수시간은 10.36 시간으로 지속기간 11시간의 수정 Huff 방법에서보다 길지만, 최대 침수심은 5.62 m로 5.86 m보다 더 낮고 침수피해 면적은 81.1 ha로 120.0 ha에 비해 적은 것으로 모의 되었다. Chicago 방법에서 침수시간이 길게 모의 된 것은 경우가 48시간 동안 지속해서 분포되어 있기 때문으로, 필요한 배수량이 수정 Huff 방법에서보다 더 적게 산정될 것으로 예상된다. 이에 따라 수정 Huff 방법을 적용할 경우 48시간 지속기간 확률강우량과 Chicago 방법을 적용한 경우에 비해 안전한 설계가 가능할 것으로 판단된다.

2. 배수량 변화에 따른 침두유출량과 저류량 분석

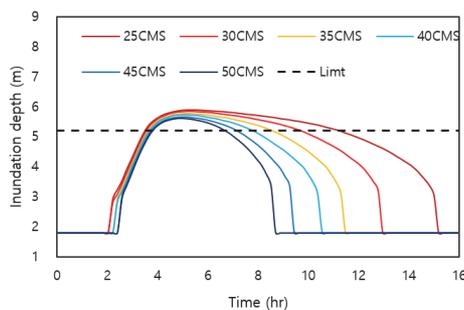
Table 2는 배수량을 25-50 CMS로 5 CMS 단위로 변화시키며 수정 Huff 방법과 1-48시간의 지속기간을 이용하여 분석한 결과를 나타내며, 각 배수량에서 침두유출량이 최대인 지속기간 (Case 1)과 침수심이 최대인 지속기간 (Case 2)로 나누어 보여준다. 배수량이 25 CMS일 때 Case 1에서는 지속기간 4시

간에서 158.2 CMS의 침두유출량과 5.89 m의 최대 침수심을 보였으나, Case 2에서는 지속기간 15시간에서 96.9 CMS의 침두유출량과 6.20 m의 최대 침수심을 보였다. Case 1에서 침두유출량이 61.2 CMS 컷지만 오히려 침수심은 0.31 m 더 낮게 산정된 것이다. 배수량이 커질수록 Case 1과 Case 2의 침두유출량, 침수심, 침수시간뿐 아니라 지속기간도 비슷해지는 것을 확인할 수 있었다. 무침수배제를 위해 침두유출량을 설계 배수량으로 선정한다면 Case 1과 Case 2가 같아지지만, 침수를 허용하는 설계에서는 Case 1의 침수심과 침수시간이 과소하게 모의 될 가능성이 있다.

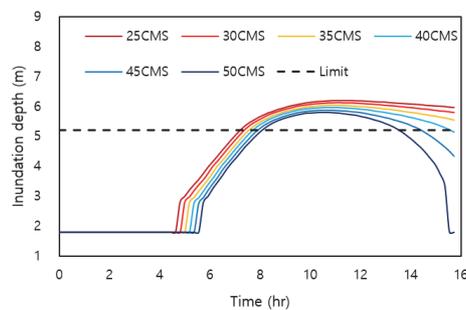
Fig. 4는 두 가지 지속기간에서 배수량 조건을 달리하여 모의한 침수심을 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 4시간 지속기간 강우로 모의한 침수심, (b)는 11시간 지속기간 강우로 모의한 침수심을 나타낸다. Fig. 4(a)와 (b)를 살펴보면, 동일한 배수량을 배제해주더라도 최대 침두유출량을 보인 4시간 강우에서 더 짧은 침수시간과 침수심을 보이고 있어 4시간 강우에서 더 작은 침수 피해가 발생하는 것으로 모의 되었다. 이처럼 최대 침수심이나 저류시간이 발생하는 강우 지속기간이 아닌

Table 2 Variation of peak discharge and inundation depth depending on the drainage rate

Drainage rate (CMS)	Peak discharge (Max) Case 1				Inundation depth (Max) Case 2			
	Rainfall duration (hr)	Peak discharge (CMS)	Inundation depth (m)	Inundation duration (hr)	Rainfall duration (hr)	Peak discharge (CMS)	Inundation depth (m)	Inundation duration (hr)
25	4	158.2	5.89	7.7	15	96.9	6.20	16.1
30			5.84	6.1	12	110.8	6.12	11.8
35			5.79	5.0	11	116.6	6.04	9.4
40			5.73	4.3	11	116.6	5.96	8.0
45			5.67	3.3	9	127.2	5.89	6.1
50			5.61	3.0	9	127.2	5.82	5.2



(a) Water level results (4 hours)



(c) Water level results (11 hours)

Fig. 4 Comparison simulations of inundation depth depending on the different drainage rate and rainfall duration

최대 침투유출량이 발생하는 강우 지속기간으로 농업 소유역의 배수시설을 설계할 경우 상대적으로 과소한 설계가 될 가능성이 있다. 이에 따라 임계지속기간을 적용하여 설계기준의 침투분석을 수행할 경우 수문곡선과 배수량을 연계하여 모의하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 2012년 이후 실시된 배수개선사업 사업지구 한 곳을 대상지구로 선정하였으며, 대상지구의 유역면적은 1,033.5 ha, 대상지구의 지배 기상관측소는 창원 관측소였다. 모의를 위해 지속기간 1-48시간의 확률강우량을 수집하고, 수정 Huff와 Chicago 방법을 적용하여 시간분포 시킨 후, 각 지속기간에서의 유출량을 산정하여 침수심 및 침수시간을 분석하였다. 본 연구에서는 먼저 수정 Huff 모델을 적용하여 침투유출량 기준의 임계지속기간과 침수심 및 침수시간이 최대가 되는 지속기간의 결과를 비교하였고, 이어서 현행 설계기준 방법과 임계지속기간을 적용한 결과를 비교 분석하였다. 그리고 앞에서 모의한 두 가지 지속기간의 수문곡선에 배수량을 변화시켜 침투유출량, 침수심, 그리고 침수시간을 비교하여 설계배수량을 결정하는 방법의 적용성을 분석하였다.

수정 Huff 방법과 임계지속기간을 적용하였을 경우 지속기간 4시간에서 가장 큰 침투유출량 값을 보였으나, 침수심은 지속기간 10-12시간에서 가장 큰 값을 보였다. 이는 농업 소유역에서 침수를 허용할 경우 최대 침투유출량이 발생하는 강우 지속기간과 허용침수심 기준의 최대 침수심이나 최장 침수시간이 발생하는 강우 지속기간이 일치하지 않음을 의미한다. 즉, 침투유출량이 최대가 되는 지속기간이 아닌 다른 지속기간에서 더 큰 침수피해가 발생할 수 있으며, 무침수 배제 구역이 아닌 침수를 허용하는 유역에서는 침투유출량 기준의 임계지속기간 개념을 적용했을 때 안정성이 더 낮은 설계가 될 수 있다.

지속기간 48시간 확률강우량과 Chicago 방법을 적용했을 경우 지속기간 4시간의 수정 Huff 방법에서보다 침투유출량이 더 낮은 것으로 모의 되었으며, 지속기간 11시간의 수정 Huff 방법에서보다 침수시간은 길지만, 최대 침수심은 더 낮고 침수피해 면적은 더 적은 것으로 모의 되었다. 침수시간이 더 길었던 것은 강우가 48시간 동안 분포되어 있기 때문으로, 필요한 설계배수량이 수정 Huff 방법에서보다 더 적게 산정될 것으로 보인다. 이에 따라 수정 Huff 방법을 적용할 경우 48시간 지속기간 확률강우량과 Chicago 방법을 적용한 경우에 비해 안전한 설계가 가능할 것으로 판단된다.

현행 농지배수 설계기준에서는 설계기준치를 바탕으로 수

문곡선을 먼저 유도한 후 배수량을 달리하며 경제적으로 적절한 허용침수심을 결정하였다. 이에 따라 본 연구에서는 수정 Huff 모델과 임계지속기간을 적용하였을 때, 침투유출량을 계획의 기본으로 한 경우 (Case 1)과 침수심을 계획의 기본으로 한 경우 (Case 2)로 나누어 분석하였다. 배수량이 작을수록 Case 1과 Case 2의 지속기간, 침수심, 침수시간의 차이가 컸으며, Case 2에서 더 큰 침수피해가 예상되었고, 배수량이 점점 커질수록 Case 2의 값이 Case 1과 비슷해졌다. Case 1과 2를 통해 최대 침수심이나 침수시간이 발생하는 강우 지속기간이 아닌 최대 침투유출량이 발생하는 강우 지속기간으로 농업 소유역의 배수시설을 설계할 경우 상대적으로 과소한 설계가 될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 농업 소유역에서는 임계지속기간을 적용한다면 침수를 허용하는 특성으로 인해 배수량 값을 고려하여 수문곡선을 선택하는 과정이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 현행 농지배수 설계기준 방법과 임계지속기간을 고려하여 농업 소유역에서 침투유출량과 침수심 및 침수시간을 모의하였다. 본 연구에서는 하나의 대상지구에서 수행된 모의 내용을 바탕으로 진행되었기 때문에 대상지구의 특성에 따라 영향의 정도가 상이할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 후속연구를 통해 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구의 결과는 농업생산기반시설의 역할과 기능을 고려한 농지배수 설계기준을 수립하는 데에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

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

REFERENCES

1. Ahmed, Sadik, and Ioannis Tsanis, 2016. Hydrologic and hydraulic impact of climate change on Lake Ontario tributary. *American Journal of Water Resources* 4(1): 1-15. doi: 10.12691/ajwr-4-1-1.
2. Huff, F. A., 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research* 3(4): 1007-1019.
3. Jun, S., K. Kim, H. Lee, K. Kang, S. Yoo, J. Choi, and M. Kang, 2022. Effects of duration and time distribution of probability rainfall on paddy fields inundation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 64(2): 47-55.

- doi: 10.5389/KSAE.2022.64.2.047. (in Korean).
4. Kang, M., H. Kim, S. Hwang, S. Hwang, and C. Park, 2021. A study on the revision for the agricultural drainage hydrological plan in the Korean Design Standard. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference 2021*: 302. (in Korean).
 5. Kang, M. S., J. H. Goo, I. Song, J. A. Chun, Y. G. Her, S. W. Hwang, and S. W. Park, 2013. Estimating design floods based on the critical storm duration for small watersheds. *Journal of Hydro-environment Research* 7: 209-218. doi: 10.1016.jher.2013.01.003.
 6. Keifer, Clint J., and Henry Hsien Chu, 1957. Synthetic storm pattern for drainage design. *ASCE Journal of the Hydraulics Division* 83(4): 1332.1-1332.25. doi: 10.1061/JYCEAJ.0000 104.
 7. Lee, J. S., and C. D. Shin, 2005. A study on the variation of the critical duration according to hydrologic characteristics in urban area. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 5(3): 29-40. (in Korean).
 8. Lee, J. T., S. E. Yoon, J. J. Lee, and Y. N. Yoon, 1994. Design of detention pond and critical duration of design rainfall in Seoul. *Korean Journal of Hydrosociences* 5: 33-43.
 9. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry), 2001. Design standard for infrastructure of agricultural production. Ministry of Agriculture and Forestry. (in Korean).
 10. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry), 2004. Design standard for infrastructure of agricultural production. Ministry of Agriculture and Forestry. (in Korean).
 11. MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries), 1983. Design standard for infrastructure of agricultural production. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. (in Korean).
 12. ME (Ministry of Environment), 2019. Standart guideline for flood estimation. (in Korean).
 13. MFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), 2012. Design standard for infrastructure of agricultural production. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. (in Korean).
 14. MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2011. Study on improvement and supplement of probability rainfall. (in Korean).
 15. Yoo, C., C. Park, and C. Jun, 2016. Evaluation of the concept of critical rainfall duration by bivariate frequency analysis of annual maximum independent rainfall event series in Seoul, Korea. *Journal of Hydrologic Engineering* 21(1): 05015016. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001259.
 16. Yoon, Y. J., and J. C. Lee, 2001. Estimation of the stormwater impoundments volume dependent on the durations of design rainfall. *Journal of Korea Water Resources Association* 3(5): 415-426. (in Korean).
 17. Yoon, Y. J., S. W. Joung, B. H. Jun, and J. H. Kim, 1998. A study on the effects of the type of rainfall districution upon the variation of the critical storm duration: Sanbon watershed. *Journal of Korea Water Resources Association* 31(4): 375-384. (in Korean).
 18. Yoon, Y. N., 2013. *Hydrology*. Paju: Cheong-moon-gak. (in Korean).