

# 기후변화를 설계홍수량 산정에 반영하는 방법의 개선

## Improved Practical Methods for Considering Climate Change in Design Flood Estimation

정종호\* · 김종천\*\*

Jeong, Jongho\*, and Kim, JongChun\*\*

### Abstract

In practice, methods arbitrarily increasing probable design rainfall or return periods have been adopted to derive design flood increases due to climate change. However, the method of arbitrarily increasing probable design rainfall is inadequate because probable rainfall estimated by the common frequency analysis method usually cannot be accepted in trend tests, meaning there is no increasing trend due to climate change. In addition, the method of increasing return periods to increase design flood is problematic. Rising flood damages—an opportunity to recognize climate change—are caused by concentrated flooding due to urbanization rather than increased probable rainfall. Thus, we proposed new methods for considering climate change in design flood estimation, by changing the temporal distribution of design rainfall or adjusting parameters in the rainfall-runoff process. Furthermore, the method of raising the freeboard criteria is proposed as an alternative for considering climate change.

**Key words :** Climate Change, Probable Rainfall, Return Period, Trend, Design Flood

### 요 지

기후변화를 설계홍수량 산정에 고려하기 위하여 확률강우량을 임의로 증가시키거나 설계빈도를 상향하는 방법이 주로 사용되고 있다. 하지만 현재의 강우 분석 방법에서는 산정된 확률강우량의 경향성이 없는 것으로 분석되므로 확률강우량을 임의로 증가시키는 방법은 통계학적으로 적절하지 않다. 또한, 설계홍수량을 증가시키기 위한 목적으로 설계빈도만을 상향하는 방법도 여러가지 문제를 야기하므로 이에 대한 대안이 필요한 상황이다. 기후변화로 인한 이상기후를 인식하게 되는 계기는 도시의 침수피해가 증가하는 현상을 체감하기 때문이며, 이와 같은 침수피해의 증가는 일반적으로 확률강우량이 증가하는 것이 주요 원인이 아니라 도시화로 인한 홍수 집중 및 재산피해액 증가 등에 주로 기인하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 기후변화를 고려하기 위하여 확률강우량을 증가시키는 방법 대신에 홍수량 산정 방법 중에서 설계강우의 시간분포를 조정하거나, 단위도의 매개변수를 조정함으로써 설계홍수량을 증가시키는 현실적인 방안을 제안하였다. 추가로 여유고 기준을 상향하는 방법도 기후변화에 대응하는 하나의 방안으로 제안하였다.

**핵심용어 :** 기후변화, 확률강우량, 설계빈도, 경향성, 설계홍수량

## 1. 서 론

기후변화로 인하여 강우강도가 증가하고 이에 따라 확률강우량 및 홍수량이 증가되는 것으로 일반적으로 인식되고 있다(Lenderink et al., 2007; Thodsen, 2007). 하지만 FARD와

같은 강우빈도해석 프로그램에서 Mann-Kendall 검정(Mann, 1945) 등의 경향성 검정 결과를 살펴보면 대부분 확률강우량의 경향성이 없는 것으로 판정된다(Oh et al., 2009; Kim and Lee, 2015). 따라서 기후변화로 인하여 최근 높은 강우강도의 강우 사상이 빈번하기 때문에 확률강우량이 증가할

\*정회원, 하준이앤씨(주) 대표이사(E-mail: jhwater@hotmail.com)

Member, CEO, Hajon Engineers and Consultants Co., Ltd.

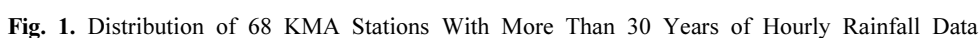
\*\*교신저자, 정회원, 하준이앤씨(주) 기업부설연구소 부소장(Tel: +82-31-450-6396, Fax: +82-31-450-6397, E-mail: arz6oiof@naver.com)

Corresponding Author, Member, Acting Director, Research Center, Hajon Engineers and Consultants Co., Ltd.

두 번째 방법은 설계빈도를 상향함으로써 적용 대상 확률  
강우량을 증가시키는 방법이다. 이 방법은 경제성분석을

본 연구에서는 기후변화를 설계홍수량 산정에 고려하는 기존 방안과 신규 방안의 이론적인 고찰과 홍수량 산정 결과의 비교·검토 등을 통하여 개선 방법을 제시하고자 한다.

## 기후변화를 반영하는 인자들이 설계홍수량 산정에 미치



는 영향을 살펴보기 위해서는 설계홍수량 산정 결과를 비교하여야 하므로 홍수량 산정 조건을 설정하는 것이 필요하다.

설계강우의 경우 전국평균 확률강우량을 산정하기 위하여 기상청 관할 종관기상관측소(ASOS) 중에서 2022년 1월 기준 시강우량 자료가 30개년 이상 보유한 68개소를 선정하였다(Fig. 1). 선정된 68개소 관측소의 관측개시일로부터 2021년 12월까지의 시강우량 자료를 활용하여 관측소별 확률강우량을 산정하였다. 확률분포형은 Gumbel 분포, 확률분포 함수의 매개변수 추정방법은 확률가중모멘트법(PWM)을 적용하였다(MLTMA, 2012). 전국평균 확률강우량은 68개소 관측소가 전반적으로 비교적 균일하게 분포되어 있다고 가정하여 관측소별 확률강우량을 산술평균하여 계산하였다.

설계강우의 시간분포는 Huff (1967) 방법의 3분위를 기본으로 적용하였으며, 전국평균의 시간분포를 산정하기 위하여 관측소별 Huff 분위를 단순히 평균할 경우 시간분포가 평활화될 수 있으므로, 서울관측소의 Huff 분위를 적용하였다(MLTMA, 2011). 기본으로 적용하는 Huff 3분위 이외에 4분위와 교호블록 방법(alternating blocking method)을 추가로 적용하였다.

대상 유역의 유역면적 범위는 도시유역의 침수해석이 주요 관점인 측면에서 최소 유역면적 0.01 km<sup>2</sup>에서 면적확률 강우량 적용의 하한계(25.9 km<sup>2</sup>)를 고려하여 최대 유역면적 25 km<sup>2</sup>로 설정하였다.

홍수량 산정 방법으로 도달시간과 저류상수 2개 매개변수를 갖는 Clark (1945) 단위도법을 채택하였다. 도달시간 산정을 위한 유로연장은 국내 현황자료를 토대로 유도된 경험공식(Jeong, 2005; Eq. (1))으로 계산하였으며, 유속은 2.5 m/s로 적용하였다.

$$L = 1.76 A^{0.546} \quad (1)$$

여기서  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다.

저류상수는 Sabol 공식(Sabol, 1988)에 소유역 매개변수 보정량을 도입하여 수정한 공식(Eq. (2))을 적용하였다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} + t_s \quad (2)$$

여기서  $T_c$ 는 도달시간(hr)  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $t_s$ 는 소유역 매개변수 보정량(hr)이며 실무에서 일반적으로 사용하는 10분을 적용하였다(Kim and Jeong, 2021).

침투량을 고려하기 위한 유효우량 산정 방법으로는 SCS 방법(SCS, 1956)을 적용하였으며 CN 85인 조건을 사용하였다.

강우지속기간의 경우 1시간, 2시간, 3시간 등으로 국한하여 홍수량의 변화를 살펴보기로 하였으므로 별도로 임계지속기간은 고려하지 않았다.

이와 같은 홍수량 산정 조건은 기후변화를 반영하는 인자에 따라서 설계홍수량이 변화하는 비율을 검토하는 수준에는 무난한 것으로 판단된다.

### 3. 기존 방안 검토

#### 3.1 임의로 확률강우량을 일정률 증가시키는 방안

기후변화를 고려하여 확률강우량을 임의로 5~10% 정도 증가시키는 방안이 여기에 해당하며, 대표적인 사례로는 방재성능목표강우량 설정이 있다. 이에 따라 임의로 확률강우량을 일정률 증가시키는 방안의 문제점은 방재성능목표강우량을 예로 검토할 수 있다.

우선 확률강우량을 5, 8, 10% 등 일정 증가율로 강제로 증가시키는 것은 설정된 증가율에 대한 이론적인 근거가 미약하다.

만약 5~10%의 증가율이 특정 목표연도 없이 과거의 추세를 근거로 현재 시점에 일괄 적용하는 개념이라고 한다면 임의의 증가율 개념을 적용하는 대신에 확률강우량 산정 과정에서 확률강우량이 5~10% 정도 증가되도록 기준을 상향하는 것이 더욱 간단한 방법이다. 또는 확률분포형으로 Gumbel 분포에 대신에 확률강우량이 10~15% 정도 크게 산정되는 GEV 분포를 적용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다.

반면 5~10%의 증가율을 목표연도 개념을 적용하여 고려하는 것이라면 10년, 30년, 100년 등과 같이 기준기간이 명확하지 않은 문제점이 있다. 또한, 기준기간마다 증가율을 복리 개념으로 적용되는지, 설계 목표연도가 다른 경우에는 어떻게 적용할지 등과 같이 해석상 이견이 발생할 소지가 있다. 무엇보다도 일반적인 기본계획이 10년단위로 재검토된다는 점을 감안한다면 일정 증가율 개념을 적용하는 것 자체가 불필요한 상황이 된다.

방재성능목표강우량의 경우 30년빈도 확률강우량을 5~10% 증가시킨 뒤, 5 mm 단위로 올림 처리하여 고시한 결과가 일반적으로 방재분야에 적용하는 설계빈도 50년빈도를 초과하는 경우가 자주 발생한다. 이는 방재성능목표강우량 산정에는 증가율을 적용한 반면에 일반적인 확률강우량 산정에는 증가율을 고려하지 않기 때문이다. 일정률 증가된 결과를 확률강우량과 직접 비교하는 것은 형평성 측면에서 문제를 야기하게 되며, 만약 확률강우량 산정에도 5~10%씩 증가율을 적용한다면 지금까지 수립된 각종 계획을 전면 재검토하여야 한다(Jeong, 2021).

한편, 확률강우량의 증가율보다 홍수량의 증가율이 크게 나타나는 것은 확률강우량이 증가할수록 침투의 비중이 상대적으로 낮아져서 발생하는 것이며, 확률강우량 증가에 따른 설계홍수량의 증가에 관한 구체적인 수치는 후술되는 확률강우량의 설계빈도를 상향하는 방안에서 참조할 수 있다.

방안 검토 결과에서 임의로 확률강우량을 일정률로 증가시키는 방안은 경우 이론적인 타당성이 확보되지 않으며 확률강우량 산정시 증가율을 고려하는 기준만 고려하면 되기 때문에 이 방안을 기후변화를 고려하는 방안으로 적용하는 것을 지양하여야 한다. 만약 이 방안을 적용하기 위해서는 과거 추세를 고려한 경우라면 확률강우량 산정시 지역별 증가률을 고려하도록 명기하는 방식으로 간단하게 해결하여야 하며, 목표연도를 고려하는 경우라면 증가기간이 명확하게 제시되어야 한다. 또한, 방재성능목표강우량 설정에는 적용하고 확률강우량 산정에는 적용하지 않는 차별 적용은 곤란하므로 모두 동일하게 적용하여야 하는 점 등이 반드시 전제되어야 한다.

### 3.2 설계빈도를 상향하는 방안

설계빈도를 상향함에 따라서 적용 대상 확률강우량이 증가되는 경향을 살펴보고자 재현기간별 전국평균 확률강우량을 산정하여 비교하였다(Table 1).

강우지속기간 1시간의 경우 재현기간 증가에 따른 확률강우량 증가율을 살펴보면, 10년빈도에서 50년빈도 상향시 확률강우량은 약 31% 증가하고, 10년빈도에서 100년빈도로 상향시 확률강우량은 약 44% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 50년빈도에서 100년빈도 상향시 확률강우량은 약 10% 증가하고, 100년빈도에서 200년빈도 상향시 확률강우량은 약 9% 증가하는 것으로 나타났다. 여기서 주목할만한 점은 50년빈도에서 100년빈도로 상향하는 경우나 100년빈도에서 200년빈도로 상향하는 경우에 재현기간은 수치상으로 2배 증가되어 확률강우량도 크게 증가할 것으로 생각할

수 있으나, 실제 확률강우량의 증가율은 약 10% 수준에 불과하다는 것이다.

부가적으로 전국평균 설계빈도 상향에 따른 적용 대상 확률강우량이 증가하여 설계홍수량 증가로 이어지는 효과를 살펴보고자 강우지속기간 1시간, 2시간, 3시간에 대한 재현기간별 첨두홍수량을 산정하였다(Tables 2 to 4). 강우지속기간 1시간을 기준으로 살펴보면, 50년빈도를 100년빈도로 상향할 경우 확률강우량은 약 10% 증가하고, 첨두홍수량은 약 15~16% 증가하게 된다(Table 2). 100년빈도를 200년빈도로 상향할 경우에는 확률강우량은 약 9% 증가하고, 첨두홍수량은 약 13~14% 증가하게 된다. 또한, 동 표를 살펴보면 유역면적이 증가할수록 설계빈도 상향에 따른 첨두홍수량의 증가율이 약간 증가하는 것으로 검토되었으나(Tables 3, 4), 그 차이는 무시할 수준으로 판단된다. 또한, 강우지속기간을 1시간 대신 2시간, 3시간으로 증가시킬 경우 첨두홍수량의 증가율은 각각 약 12~14%, 약 11~13%로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 단위도의 가정중 유효우량에 의한 비례가정만 고려하면 확률강우량의 증가율과 홍수량의 증가율이 동일하여야 하지만 실제 홍수량 산정시에는 총강우량에서 침투량을 감하여 유효우량을 산정하게 되므로 침투특성곡선에 따라서 확률강우량이 증가할수록 침투의 비중이 상대적으로 낮아져서 홍수량의 증가율이 상대적으로 증가하는 경향이 나타내게 되는 것이다.

방안 검토 결과에서 설계빈도를 상향하는 방안의 경우 경제성분석 토대로 결정하는 것이 원칙인 설계빈도를 기후변화를 반영하기 위한 목적으로 일방 상향하여 확률강우량

**Table 1.** Mean Probable Rainfall (mm) by Rainfall Duration at 68 KMA Stations

Return Period (year)	Rainfall Duration								
	10 min	1 hr	2 hr	3 hr	6 hr	12 hr	24 hr	48 hr	72 hr
10	20.8	61.1	86.3	104.2	142.7	188.5	236.3	282.6	308.3
20	23.4	69.4	98.2	118.9	163.0	216.0	271.7	326.0	355.5
30	24.8	74.2	105.1	127.3	174.8	231.8	292.0	351.0	382.6
50	26.6	80.1	113.7	137.8	189.4	251.5	317.4	382.1	416.6
80	28.3	85.6	121.5	147.5	202.8	269.6	340.7	410.7	447.6
100	29.1	88.2	125.3	152.0	209.2	278.1	351.7	424.2	462.3
200	31.6	96.2	136.8	166.2	228.9	304.7	385.9	466.1	507.9
500	34.8	106.8	152.0	184.8	254.9	339.7	431.0	521.4	568.1
Ratio 50 to 10	1.28	1.31	1.32	1.32	1.33	1.33	1.34	1.35	1.35
Ratio 50 to 30	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09
Ratio 80 to 30	1.14	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17	1.17
Ratio 100 to 10	1.40	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50	1.50
Ratio 100 to 30	1.17	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20	1.20	1.21	1.21
Ratio 100 to 50	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11
Ratio 200 to 100	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10

**Table 2.** Peak Discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) of Small Watershed Depending on the Return Period (60 min of Rainfall Duration)

Return Period (year)	Drainage Area of Small Watershed ( $\text{km}^2$ )							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	25
10	0.17	0.81	1.57	6.71	12.03	39.94	61.74	102.78
20	0.21	0.99	1.92	8.23	14.79	49.21	76.19	127.00
30	0.23	1.10	2.13	9.13	16.42	54.72	84.76	141.39
50	0.26	1.24	2.39	10.26	18.46	61.61	95.48	159.40
80	0.28	1.36	2.63	11.33	20.38	68.12	105.62	176.46
100	0.30	1.42	2.75	11.84	21.30	71.23	110.46	184.62
200	0.34	1.61	3.11	13.41	24.14	80.87	125.54	210.01
Ratio 100 to 50	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16
Ratio 200 to 100	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14

**Table 3.** Peak Discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) of Small Watershed Depending on the Return Period (120 min of Rainfall Duration)

Return Period (year)	Drainage Area of Small Watershed ( $\text{km}^2$ )							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	25
10	0.18	0.88	1.73	7.89	14.71	55.20	91.00	163.61
20	0.22	1.05	2.07	9.45	17.66	66.50	109.75	197.73
30	0.24	1.16	2.27	10.37	19.39	73.12	120.80	217.84
50	0.26	1.28	2.51	11.52	21.55	81.45	134.68	243.14
80	0.29	1.40	2.74	12.56	23.52	89.06	147.36	266.28
100	0.30	1.45	2.85	13.07	24.48	92.78	153.56	277.61
200	0.33	1.62	3.18	14.62	27.40	104.08	172.42	312.12
Ratio 100 to 50	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Ratio 200 to 100	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12

**Table 4.** Peak Discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) of Small Watershed Depending on the Return Period (180 min of Rainfall Duration)

Return Period (year)	Drainage Area of Small Watershed ( $\text{km}^2$ )							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	25
10	0.17	0.83	1.63	7.71	14.70	59.41	101.87	193.59
20	0.20	0.98	1.94	9.16	17.49	70.96	121.90	232.18
30	0.22	1.07	2.11	9.99	19.10	77.60	133.45	254.45
50	0.24	1.18	2.33	11.03	21.10	85.95	147.94	282.47
80	0.26	1.28	2.53	11.99	22.95	93.68	161.38	308.47
100	0.27	1.33	2.63	12.44	23.81	97.26	167.62	320.57
200	0.30	1.47	2.92	13.84	26.52	108.60	187.40	358.90
Ratio 100 to 50	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
Ratio 200 to 100	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12

을 증가시키는 방식은 설계빈도 결정의 기본 개념에 위배되며 기후변화 반영의 근본 취지에도 위배되는 방법이며 또한, 홍수량을 증가시키고자 설계빈도를 상향하는 경우에서 해당 설계빈도의 강우가 내리지 않은 경우에도 해당 설계빈도

의 홍수가 발생하는 경우가 빈발하고 있는 실정을 감안하여 기후변화를 고려하는 방법으로 이 방안을 적용하는 것은 지양하여야 한다.

설계빈도 상향을 통하여 홍수량의 증가량이 상대적으로

낮은 상황에서 설계빈도를 올리지 않더라도 홍수량 산정 방법 조정을 통하여도 홍수량을 증가시키는 것이 충분히 가능하므로 도시화 등을 감안한 홍수량 산정 방법의 조정으로 대체하는 것이 실무적으로 합리적인 방안이 된다.

## 4. 신규 방안 제안

### 4.1 설계강우의 시간분포를 조정하는 방안

설계강우의 시간분포 방법으로 현재 실제 강우분포를 제대로 반영하지는 못하는 상황이어서 Huff 방법의 3분위가 주로 채택되고 있으며 다음으로는 교호블록 방법(alternating blocking method)이 검토되고 있다.

주로 채택되는 Huff 방법의 경우 분위가 동일하다면 전체 강우지속기간에 대하여 하나의 무차원 누가곡선을 적용하게 되므로 강우지속기간의 길이에 따른 차이가 전혀 고려되지 못하는 문제점과 평활화된 무차원 누가곡선은 단기간의 첨두강우량을 실제 확률강우량처럼 높게 표현할 수 없는 문제점이 있다. 또한, 실무 적용 측면에서는 현재 3분위를 채택하는 것으로 통합되어 있으나 분위 결정이 다소 임의적인 측면이 있으며 분위가 1분위에서 4분위로 첨두강우가 뒤에 위치할수록 첨두강우시 침투의 영향이 낮아져서 홍수량이 증가되게 되며 증가되는 정도가 상당히 크게 나타난다.

이에 따라 Huff 방법의 경우 현재 3분위에서 4분위로 분위기를 변경하는 것은 일종의 기준 선택의 문제이기 때문에 가능하므로 설계강우의 시간분포를 Huff 방법의 3분위에서 4분위로 변경하는 조정을 하나의 방안으로 설정할 수 있다.

Huff 방법 다음으로 검토되고 있는 교호블록 방법은 지속 기간-누가강우량 관계곡선으로부터 구간별 강우량을 산정하여 중앙집중형으로 재배치하는 형태이다. 교호블록 방법은 Huff 방법의 문제점인 분포에 의한 단기간의 첨두강우량이 실제 확률강우량보다 작게 나타나는 부분은 완전히 보완되는 반면 전체 지속기간이 정해지면 누가지속기간별로 모두 동일한 재현기간이 되는 구조이기 때문에 실제 호우사상에 비해 첨두부의 비율이 커지는 문제점을 지니고 있다. 하지만 이 또한 기준 선택의 문제이므로 현재 주로 채택되고

있는 Huff 방법의 3분위에서 교호블록 방법으로 변경하는 조정을 하나의 방안으로 설정할 수 있다.

설계강우 시간분포를 Huff 방법 3분위에서 4분위로 조정하는 방안과 Huff 방법 3분위를 교호블록 방법으로 변경하는 방안에 대하여 첨두홍수량을 검토하였다(Table 5). 강우지속기간 1시간, 50년빈도의 경우 Huff 방법의 3분위를 4분위로 조정하게 되면 도시배수분구내 소유역 규모인 유역면적 0.5 km<sup>2</sup> 이하에서는 첨두홍수량이 약 7~9% 증가하는 것으로 나타났으며, 평균 증가율은 약 6~9% 정도이다. 한편, 유역면적이 증가할수록 Huff 방법의 분위기를 변경한 첨두홍수량 증가 효과는 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다.

설계강우 시간분포를 Huff 방법 3분위에서 교호블록 방법으로 변경하는 경우 유역면적 0.5 km<sup>2</sup> 이하에서는 첨두홍수량이 약 6~9% 증가하는 것으로 나타났으며, 유역면적이 증가할수록 증가율도 함께 증가하는 것으로 검토되었다(Table 5). 특히, 0.5 km<sup>2</sup> 이상의 유역면적에서 Huff 방법 3분위에서 4분위로 변경하는 것보다 교호블록 방법으로 변경하는 경우의 첨두홍수량 증가율이 더 큰 것은 첨두강우의 발생시간이 뒤로 이동하여 침투의 영향이 줄어드는 효과보다 교호블록 방법의 첨두강우가 증가된 효과가 더 크기 때문으로 검토되었다.

Huff 방법의 분위 변경시 약 6~9% 첨두홍수량 증가, 교호블록 방법으로 변경시 약 6~33% 첨두홍수량이 증가하는 결과로부터 상당한 증가가 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 방안의 채택은 기준 선택의 문제이기 때문에 기후변화를 고려하기 위하여 설계강우의 시간분포 방법을 바꾸고자 한다면 충분히 가능한 방법이 된다.

한편, 설계강우의 시간분포를 교호블록 방법을 적용하는 것으로 기준을 변경한다면 소규모 유역의 경우 번거롭게 임계지속기간의 개념을 고려하지 않아도 되는 추가 장점도 있다.

### 4.2 홍수량 산정 방법의 매개변수를 조정하는 방안

홍수량 산정 방법으로 주로 채택되는 Clark 단위도법의 경우 도달시간과 저류상수를 매개변수로 하는 2 매개변수

**Table 5.** Peak Discharge (m<sup>3</sup>/s) of Small Watershed Depending on the Temporal Distribution of Rainfall (50 Year of Return Period and 60 min of Rainfall Duration)

Temporal Distribution	Drainage Area of Small Watershed (km <sup>2</sup> )							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	25
Huff 2nd Quarter	0.22	1.06	2.05	8.95	16.24	56.69	90.70	156.06
Huff 3rd Quarter	0.26	1.24	2.39	10.26	18.46	61.61	95.48	159.40
Huff 4th Quarter	0.28	1.34	2.58	11.00	19.60	62.85	96.13	159.25
Alternating Block Method	0.27	1.31	2.55	11.19	20.55	76.14	123.00	212.71
Ratio 2nd to 3rd	1.16	1.17	1.16	1.15	1.14	1.09	1.05	1.02
Ratio 3rd to 4th	1.09	1.08	1.08	1.07	1.06	1.02	1.01	1.00
Ratio 3rd to AB Method	1.06	1.06	1.07	1.09	1.11	1.24	1.29	1.33

방법이다. 이와 같은 매개변수 중에서 도달시간은 유역의 최원점에서 유역의 출구점까지 유수가 유하하는 시간으로 계산되는 물리변수이므로 가급적 조정하지 않아야 하는 매개변수인 반면 저류상수의 경우에는 현재 주로 Sabol 공식과 같은 외국의 경험공식에 의존하여 산정하고 있는 매개변수이다.

기후변화를 설계홍수량 산정에 반영하고자 통계학적으로 증가하지 않는 확률강우량을 임의의 증가율을 적용하여 강제로 증가시키는 방법보다는 도시화 등에 의하여 유역반응시간이 짧아지는 현상을 반영하여 홍수량 산정 방법의 매개변수를 조정하는 것이 더 합리적이다.

Clark 단위도법에서 유역반응시간이 짧아지는 현상을 반영하여 조정할 수 있는 매개변수로 저류상수가 있으며, 현재 저류상수의 산정 방법은 외국에서 개발된 경험공식인 Sabol 공식을 수정하여 사용하여 왔기 때문에 조정에 대한 특별한 제약은 없는 상황이다. 이에 따라 Sabol 공식에 소유역 매개변수 보정량이 도입된 수정된 Sabol 공식에서 조정계수  $\beta$ 를 곱하는 형태의 재수정된 Sabol 공식을 적용하였다(Eq. (3)).

$$K' = \beta \times \left( \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} + t_s \right) \quad (3)$$

여기서  $\beta$ 는 기후변화를 고려하기 위한 저류상수 조정계수이다.

저류상수 조정계수를 0.9 적용한 경우 첨두홍수량이 약 4~7% 증가하고, 조정계수를 0.8 적용한 경우 첨두홍수량은 약 8~14% 증가하는 것으로 나타났다(Table 6). 또한, 유역면적이 증가할수록 조정계수에 의한 첨두홍수량 증가율이 함께 증가하는 것으로 검토되었다.

재수정된 Sabol 공식에 조정계수를 적용하면 첨두홍수량이 상당 부분 증가됨을 알 수 있으며, 이와 같은 방안의 채택 여부는 기준 선택의 문제이기 때문에 기후변화를 고려하기 위한 저류상수 조정 방안은 적용가능성이 충분하다고 할 수 있다.

### 4.3 기타 방안

기후변화에 대응함에 있어서 지금까지와 같이 궁극적으로 설계홍수량을 증가시키는 방안 이외의 방법을 기타 방안으로 구분하면 여유고 기준을 상향하는 방안 등이 있다.

여유고 기준을 상향하는 방안을 적용하면 기후변화로 예측하기 어려운 부분을 여유고를 충분히 고려함으로써 치수안전을 확보할 수 있게되며 또한, 유지관리 측면에서 발생하는 상황을 고려할 수 있게 된다.

하천설계기준에서는 계획홍수량 200 m<sup>3</sup>/s 미만에서는 여유고 기준 0.6 m, 200 m<sup>3</sup>/s 이상 500 m<sup>3</sup>/s 미만은 0.8 m 등과 같이 계획홍수량 규모에 따른 여유고 기준을 적용하고 있다(KWRA, 2019). 예를 들어 계획홍수량 40 m<sup>3</sup>/s를 평균유속 2.5 m/s로 바닥폭 6 m, 제방경사 1:2인 사다리꼴 단면에 대하여 소통시키기 위한 높이는 2.0 m에 여유고 0.6 m를 고려하는 경우에는 최대 통수단면적이 22.36 m<sup>2</sup>이며 여기에 여유고를 기존 0.6 m에서 0.8 m로 상향시키킬 경우 최대 통수단면적이 24.64 m<sup>2</sup>으로 약 10% 증가하는 효과가 발생된다.

우수관저 설계에서 사각형 단면의 경우 여유고 개념으로 최대수심의 90%를 통수단면으로 간주하여 10%의 여유를 확보하도록 되어있다(Jeong and Yoon, 2003). 하지만 토사퇴적이 많이 예상되는 구간인 경우에는 10% 여유만을 일괄적으로 적용할 것이 아니라 20~30%를 적용하는 방안도 강구할 수 있어야 현실적인 유지관리까지 감안한 설계가 되는 것이다.

이와 같이 여유고를 증가시키는 방안도 기후변화 대응에 적용할 수 있는 하나의 대안으로 충분한 의미를 가지는 방안이다.

## 5. 요약 및 결론

현재 대부분의 치수 및 방재 관련 보고서의 서두에는 기후변화 또는 이상기후에 대응하는 것을 대책 수립의 목적 중의 하나로 기술하고 있다. 그러나 정작 보고서 본문에는 이에 대한 내용은 전무하고 단지 현재 여건에 대한 대책 수립만 있는 실정이다. 따라서 기후변화 또는 이상기후에 대응 방안이 없는 경우에는 이와 같은 내용을 서두에 기술하

**Table 6.** Peak Discharge (m<sup>3</sup>/s) of Small Watershed Depending on the Adjustment Factor in Storage Coefficient (50 Year of Return Period and 60 min of Rainfall Duration)

$\beta$	Drainage Area of Small Watershed (km <sup>2</sup> )							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	25
1.00	0.26	1.24	2.39	10.26	18.46	61.61	95.48	159.40
0.90	0.27	1.29	2.49	10.81	19.50	65.60	101.90	170.14
0.80	0.28	1.35	2.61	11.41	20.67	70.19	109.10	182.50
0.70	0.29	1.40	2.74	12.09	21.97	75.31	117.51	196.71
Ratio 1.0 to 0.9	1.04	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07
Ratio 1.0 to 0.8	1.08	1.09	1.09	1.11	1.12	1.14	1.14	1.14
Ratio 1.0 to 0.7	1.13	1.14	1.15	1.18	1.19	1.22	1.23	1.23

는 것 자체부터 지양되어야 한다. 또한, 기후변화로 인하여 강우강도의 증가 및 홍수량이 증가되는 경향을 나타내리라는 것이 전문가들에게도 일반적인 상식으로 통용되고 있는 잘못된 인식이 우선적으로 개선되어야 한다.

확률강우량을 증가시키는 기존 방안의 경우 통계학적으로 확률강우량이 증가하지 않는 상황에서 기후변화를 확률강우량에 반영하고자 강제로 확률강우량을 증가시키기보다는 차라리 확률강우량 산정 과정에서 기후변화에 대한 안전측면에서 확률강우량의 일정을 증가를 고려하는 기준을 제시하거나 최적 확률분포형을 확률강우량이 커지는 GEV 분포로 바꾸는 방안 등이 타당하다. 또한, 이와 같은 기준을 모든 확률강우량 산정에 동일하게 적용하면 해결되는 문제를 지금처럼 장황스럽게 접근하고 있는 이 기존 방안은 지양되어야 한다.

설계빈도를 상향하는 기존 방안의 경우 설계빈도 상향에 따른 확률강우량과 홍수량의 증가율이 크지 않고, 기후변화를 설계빈도 상향으로 대응하는 것도 개념적으로도 맞지 않는 방법이다. 또한, 이처럼 설계빈도만 지속해서 상향시킨 결과 때문에 설계빈도를 하회하는 빈도의 강우에서도 침수가 빈번한 문제가 발생하기 때문에 이 기존 방안도 지양되어야 한다.

기후변화로 인한 이상기후를 직접적으로 인식하게 되는 계기는 대부분 도시의 침수피해가 증가하는 현상을 체감하기 때문이다. 이와 같은 침수피해의 증가는 확률강우량이 증가하는 것이 주요 원인이 아니라 주로 도시화로 인한 홍수의 집중 및 자산의 집중으로 인한 재산피해액 증가 등에 의한 것이다.

따라서 통계학적으로 증가하지 않는 확률강우량을 강제로 증가시키는 방법보다는 도시화 등을 고려하여 홍수량 산정 방법 중에서 설계강우의 시간분포를 조정하거나, 저류상수와 같은 단위도의 매개변수를 조정함으로써 설계홍수량을 증대시키는 것을 보다 현실적인 방안으로 우선적으로 제안하며, 추가로 여유고 기준을 상향하는 것도 기후변화에 대응하는 하나의 방안으로 제안하고자 한다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리 사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2019002950002).

## References

Clark, C.O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 110, pp. 1419-1446.

Huff, F.A. (1967). Time distribution of rainfall in heavy

storms. *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.

Jeong, J. (2005). *A development of practical method for flood estimation*. Ph.D. dissertation, Korea University Press (in Korean).

Jeong, J. (2021). A practical consideration of disaster prevention performance rainfall. *The Magazine of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 6, pp. 26-30 (in Korean).

Jeong, J., and Yoon, Y. (2003). *Water resources engineering design practice*. Goomi Publishing Co. (in Korean).

Kim, B., and Ha, S. (2013). The impact assessment of climate change on design flood in mihochen basin based on the representative concentration pathway climate change scenario. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 105-114 (in Korean).

Kim, J., and Jeong, J. (2021). Parameter adjustment to prevent the overestimation of peak discharge in a small watershed. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 6, pp. 285-291 (in Korean).

Kim, S., and Lee, Y. (2015). Flood frequency analysis considering probability distribution and return period under non-stationary condition. *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 7, pp. 567-579 (in Korean).

Korea Water Resources Association (KWRA). (2019). *River design guideline and commentary* (in Korean).

Lenderink, G., Buishand, A., and Deursen, W. (2007). Estimates of future discharge of the river Rhine using two scenario methodologies: Direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 3, pp. 1145-1159.

Mann, H.B. (1945). Nonparametric test against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, Vol. 13, No. 3, pp. 245-259.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2011). *Improvement and supplement of probability rainfall in South Korea*. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2012). *Design flood estimation guide* (in Korean).

Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Establishment of disaster prevention performance targets by region considering climate change effects* (in Korean).

Oh, T., Kim, M., Moon, Y., and Ahn, J. (2009). An analysis of the characteristics in design rainfall according to the data periods. *Journal of the Korean Society of*



*Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 4, pp. 115-127 (in Korean).

Sabol, G.V. (1988). Clark unit hydrograph and R-parameter estimation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No. 1, pp. 103-111.

Soil Conservation Service (SCS). (1956). *Hydrology*. National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10, U.S.D.A., Washington.

Thodsen, H. (2007). The influence of climate change on

stream flow in Danish rivers. *Journal of Hydrology*, Vol. 333, No. 2-4, pp. 226-238.

---

<b>Received</b>	November 16, 2022
<b>Revised</b>	November 16, 2022
<b>Accepted</b>	November 25, 2022