



하수관거 통수능 해석을 위한 Huff 모형과 ABM 법의 적용성 분석

Applicability of Huff Model & ABM Method for Discharge Capacity of Sewer Pipe

현인환·전승희·김두일*

Inhwan Hyun·SeungHui Jeon·Dooil Kim*

단국대학교 토목환경공학과

Civil and Environmental Engineering, Dankook University

ABSTRACT

The sewer capacity design have been based on the Huff model or the rational equation in South Korea and often failed to determine optimal capacity, resulting in frequent urban flooding or over-sizing. A time distribution of rainfall (i.e., Huff or ABM method) could be used instead of a rainfall hyetograph obtained from statistical analysis of previous rainfalls. In this study, the Huff method and the ABM method, which predict the time distribution of rain intensity, which are widely used to calculate sewage pipe drainage capacity using the SWMM, were compared with the standard rainfall intensity hyetograph of Seoul. If the rainfall duration was 30 minutes to 180 minutes, the rainfall intensity value calculated by the Huff model tended to be less than the rainfall intensity value of the standard rainfall intensity in the initial 5-10 minutes. As a result, more than 10% to 30% of under-design would be made. In addition, the rainfall intensity value calculated by the Huff model from the section excluding the initial 5-10 minutes of rainfall to the rainfall duration was calculated larger than the value using the standard rainfall intensity equation, which would result in an over-design of 10% to 30%. In the case of a relatively long rainfall duration of 360 minutes (6 hours) to 1,440 minutes (24 hours),

Received 21 June 2022, revised 14 August 2022, accepted 15 August 2022.

*Corresponding author: Dooil Kim (E-mail: dikim21@dankook.ac.kr)

- 현인환 (교수) / Inhwan Hyun (Professor)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 전승희 (석사) / SeungHui Jeon (Master)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 김두일 (교수) / Dooil Kim (Professor)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

pp. 209-218

pp. 219-228

pp. 229-237

pp. 239-248

it showed an lower rainfall intensity of 60 to 90% in the early stages of rainfall, but the problem of under-design had been solved as the rainfall duration time had elapsed. On the other hand, in the alternating block method (ABM) method, it was found that the rainfall intensity at the entire period at each assumed rainfall duration accurately matched the standard rainfall intensity hyetograph of Seoul.

Key words: Huff 모델, 교호블록법, 강우패턴, 강우분포, 표준강우강도곡선

주제어: Huff model, ABM method, Rainfall pattern, Raufall distribution, Standard rainfall intensity graph

1. 서 론

최근 기후변화에 따라 세계적으로 폭우 또는 가뭄 등의 자연재해가 발생하는 가운데 (Kimura et al., 2014; Praskievicz and Chang, 2009), 우리나라에서도 시간당 최대 100 mm 이상의 기록적인 폭우도 과거보다 빈번하게 발생하고 있다. 이에 따라 기존에 상습적으로 침수피해가 발생하던 곳에서는 물론, 서울의 랜드마크인 강남역, 광화문 등 유동인구가 많은 도심 변화가에서도 침수피해가 발생하고 있다. 폭우에 대비한 효과적이고 경제적인 우수의 배제를 위해, 기존 도시의 우수용 하수관거 인프라의 정확한 설계가 절실하다.

우리나라의 하수도설계기준에는 계획강우의 강우강도, 지속시간, 확률년수와 같은 설계인자와 선택방법 등이 자세히 명시하고 있다 (KWWA, 2010). 설계강우를 추정하는 방법으로 우리나라에서 사용되고 있는 방법으로 여러 가지가 있는데, 강우를 간단히 사각형으로 가정하는 합리식(Rational Method)이 많은 자료가 필요하지 않은 단순성 때문에 설계에 많이 이용됐다 (Pilgrim and Cordery, 1993). 그러나 이것은 강우강도를 과다 산정하는 문제가 있어서, 그 대신 합성우량도(Synthetic Hyetograph)를 이용하는 방법이 점차 많은 관심을 받고 있다 (Alfieri et al., 2008).

설계강우의 시간분포 형태를 예측하는 방법으로 여러 가지 식들이 개발되었는데 Mononobe, Huff, ABM (Alternating Block Method, 교호블록법), Keifer and Chu, Pilgrim and Cordery, Yen and Chow 방법 등이 사용되고 있다 (Keifer and Chu, 1957; Pilgrim and Cordery, 1975; Yen and Chow, 1980). 이 중 대표적인 것은 Huff 강우분포와 ABM 강우분포가 있다. 1967년 Huff는 미국 Illinois 주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포특성을 나타내는 무차원 시간분포 곡선을 제시하였다. Huff 강우분포는 지속시

간을 4등분하여 첨두강우량을 분위별로 위치시키는 방법이다 (Huff, 1967; Huff, 1970a; Huff, 1970b). Huff는 강우의 지속시간을 4등분하여 각 구간의 강우량 가운데 제일 큰 값이 속해있는 구간을 택하고, 그 구간에 따라 강우시작부터 1/4구간에서 피크가 발생하면 1분위 호우(First-quartile storm), 2/4구간에서 발생하면 2분위 호우(Second-quartile storm), 3/4구간에서 발생하면 3분위 호우(Third-quartile storm), 강우의 종점에서 발생하면 4분위 호우(Fourth-quartile storm)로 분류하였다.

ABM 법은 강우지속시간의 중앙에 최대 설계강우량을 배치하고 다음 오른쪽, 다음 왼쪽 순으로 번갈아가며 배치하는 강우분포 모형을 이용하는 것이다 (Chow, 1988). ABM은 Balanced storm hydrograph 방법으로도 알려져 있는데 강우강도-지속시간-재현기간(IDF) 곡선으로부터 설계주상도를 유도하는 방법이다. IDF 곡선으로부터 작성되기 때문에 지속시간이 결정되면 강우강도와 재현기간을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 전체 지속시간이 정해지면 각각의 시간구간을 누가한 누가지속기간별로 동일한 재현기간을 가정하여 만든다.

USEPA의 SWMM (Stormwater & Wastewater Management Model)은 연속강우에 대한 하수관거의 통수능 계산에 다양한 강우강도모형을 활용할 수 있다. 계획강우의 강우지속시간이나 강우 패턴 등의 설계인자와 선택 방법은 모델러가 선택하기 때문에 하수관망의 설계시 선택되는 인자에 따라 설계강우량이 달라질 수 있다 (Hsu et al., 2000). 최근 우리나라에서 하수관거 설계에서 강우분포형과 확률년수로 Huff 모형과 30년 빈도가 많이 사용되고 있다. 그러나, 기존에 설계된 여러 개의 설계사례에서 강우강도식을 통해 유출량을 계산하는 방법을 역으로 분석하여 설계 유출량으로부터 사용된 강우강도식을 추정해 보면, Huff 모델과 30년 빈도 강우강도식을 조합했을 경우,



실제보다 과도한 강우량 예측을 하는 것이 밝혀졌다 (Park et al., 2019).

우수량을 최적으로 반영하여 하수관거를 설계하기 위해 국내 실정에 적합한 방법의 강우량의 시간분포 곡선의 선정이 중요하다. Huff 분포를 이용하는 경우 하수량을 일부 강우지속시간에서 과다 예측해 시설물의 과대설계를 유도한다는 문제점이 있다고 알려져 있지만 (Park et al., 2019), 이를 대체할 ABM 방법이 국내에서 아직 많은 연구가 이루어지지 않아, 하수관거 설계자들의 신뢰를 얻기는 불충분하다. 따라서, 본 연구는 Huff 모형과 ABM 법을 표준강우강도곡선과 비교하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 표준 강우강도

강우강도와 비교하기 위해 계산되는 확률강우강도의 계산을 위해 Eq. 1과 같은 다항식을 이용하였다.

필요한 계수는 Table 1의 값을 이용하였는데, 이것은 국토교통부(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)에서 제시한 값이다.

$$\ln(I) = a + b \ln(t) + c (\ln(t))^2 + d (\ln(t))^3 + e (\ln(t))^4 + f (\ln(t))^5 + g (\ln(t))^6 \quad (1)$$

2.2 Huff Model

본 연구에서는 확률강우강도 값과 비교하기 위해 계산되는 Huff 분포 방법의 강우강도를 다음과 같은 방법으로 계산하였다 (Huff, 1970a; Huff, 1970b; Huff, 1986). 먼저 지역을 선정하여 각 분위별 발생확률 50% 해당 누가우량표를 산정한다. 본 연구에서는 확률강우강도 개선 및 보완 연구(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)에서 제시한 Table 2의 서울의 Huff 시간분포의 초과확률 50% 값을 사용하였다.

작성된 표를 통하여 가로축이 지속시간(%)이고 세로축이 누가강우량(%)인 Huff 시간분포 그래프를 그리면

Table 1. Parameters for the rainfall intensity polynomial

Return years	Parameters						
	a	b	c	d	e	f	g
2	3.793	-0.457	-0.03515	-0.01057	0.00106	0.00022	-0.00001
3	3.965	-0.453	-0.04505	-0.013	0.00221	0.00038	-0.00006
5	4.127	-0.418	-0.05279	-0.01456	0.00308	0.00046	-0.00009
10	4.299	-0.403	-0.05984	-0.01566	0.00377	0.00053	-0.00012
20	4.44	-0.392	-0.6532	-0.01647	0.00437	0.00056	-0.00013
30	4.513	-0.387	-0.06768	-0.01673	0.00458	0.00058	-0.00014
50	4.598	-0.382	-0.07027	-0.01721	0.00485	0.00061	-0.00015
70	4.649	-0.378	-0.07189	-0.01751	0.00506	0.0006	-0.00016
80	4.669	-0.377	-0.0726	-0.01746	0.00511	0.0006	-0.00016
100	4.701	-0.375	-0.07365	-0.01748	0.00219	0.0006	-0.00016
200	4.795	-0.371	-0.07659	-0.01748	0.00549	0.00056	-0.00016
300	4.845	-0.368	-0.07747	-0.01782	0.00558	0.00059	-0.00017
500	4.906	-0.365	-0.07902	-0.01791	0.0006	0.0006	-0.00017

Table 2. Seoul's Huff rainfall intensity distribution over duration time

Quariile	Duration time percentile										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1st	0.0	14.3	37.3	56.2	67.1	76.8	85.4	91.2	95.0	98.2	100.0
2nd	0.0	4.1	12.3	29.8	52.2	72.2	83.5	90.7	95.2	98.2	100.0
3rd	0.0	2.3	6.8	13.5	22.1	37.8	56.9	79.4	92.3	97.6	100.0
4th	0.0	3.2	7.2	13.3	19.0	27.3	35.6	49.3	69.1	91.2	100.0



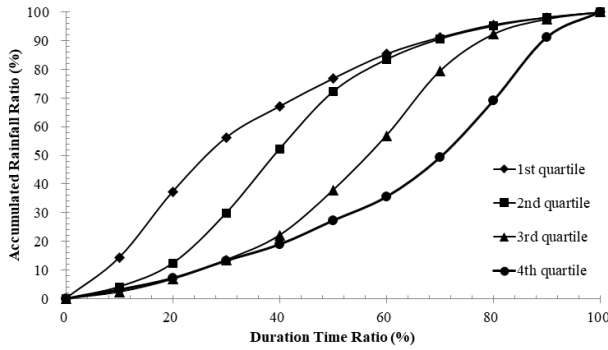


Fig. 1. Huff's accumulated rainfall distribution graph over duration time in Seoul (50% possibility).

Fig. 1과 같은 그래프를 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 Huff의 시간분포형의 일반식을 얻기 위해 6차 다항식 추세선을 구하며 그 일반형을 Eq. 2와 같이 구할 수 있다.

$$Y = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 + C_6x^6 \quad (2)$$

여기서, Y: 누적강우량(%)

C_n : 추세선으로 얻어진 일반식의 계수

x: 지속시간(%)

이렇게 얻어진 일반식을 통하여 표를 통하지 않고도, 임의의 지속시간(%)에서 누적강우량을 구할 수 있다. Eq. 3을 통하여 일반식을 통해 계산된 누적강우량(%)을 누적강우량(mm)로 환산한 다음, Eq. 4를 이용하여 구간별 누적강우량(mm)의 차를 구하고 Eq. 5를 이용하여 구간 강우강도 값을 구하였다.

$$\text{누적강우량}(mm) = \frac{\text{강우강도}(mm/hr)}{\text{누적강우량}(\%)} \times 100(mm) \quad (3)$$

$$\text{구간별강우량}(mm) = \text{누적강우량}_n - \text{누적강우량}_{n-1} \quad (4)$$

$$\text{구간강우량}(mm/hr) = \text{구간강우량}_{mm} \times \frac{60min}{\text{단위시간}(min)} \quad (5)$$

2.3 ABM Model

ABM 방법의 사용절차는 다음과 같다. 첫째, 총강우지속시간을 임의의 시간구간으로 나눈다. 둘째, 설

계재현기간을 선택한 후 강우강도식에 의해 누가 지속시간에 대한 설계강우강도를 계산한다. 셋째, 설계강우강도에 지속시간을 곱하여 지속시간별 누가 설계강우량을 산정한다. 넷째, 누가 설계강우량에서 각 구간의 설계강우량을 산정한다. 다섯째, 지속시간의 중앙에 최대 설계강우량을 배치하고 오른쪽과 왼쪽 순으로 번갈아 배치(Mononobe 중앙집중형과 같은 방법)한다.

3. 결과 및 토론

3.1 강우지속시간의 변화에 따른 강우강도식 및 Huff 분포 결과값의 비교

3.1.1 강우지속시간이 30분일 경우

강우지속시간을 30분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 2에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도 식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과대 추정 또는 과소추정이 나타났다.

강우지속시간을 30분으로 가정할 때, 1분위 0.163%, 2분위 -0.146%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.030%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그러나, 강우지속시간 10분일 때 1분위 26.13%, 2분위 31.60% 3분위 21.00%, 4분위 16.73%로 평균 20%를 웃도는 과대설계가 나타났으며, 지속시간 20분에도 1분위 17.79%, 2분위 17.53%, 3분위 18.44%, 4분위 11.86%로 평균 10% 후반대의 심각한 과다설계가 나타났다. 또한 가정

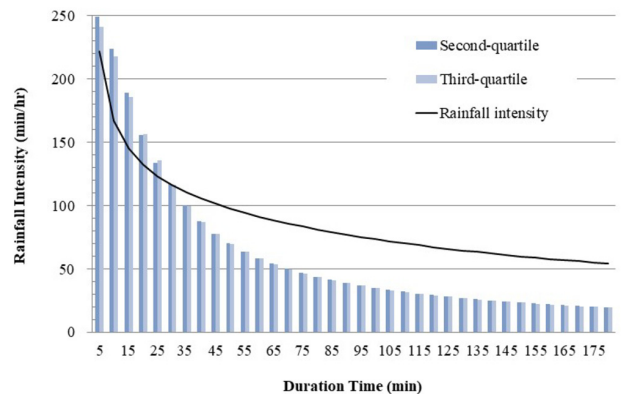


Fig. 2. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 30 minutes).



지속시간 이후로는 Huff 분포의 과소설계구간이 시작되었으며 60분에는 1분위 -36.19%, 2분위 -36.39%, 3분위 -36.32%, 4분위 -36.28%의 과소추정이 이루어졌다. 이러한 결과는 지속시간 120분에서 평균 -56.78%, 지속시간 180분에서 평균 -64.22%, 지속시간 360분에서 평균 -72.45%, 지속시간 1,440분에서 평균 -81.54%의 과소추정으로 시간이 지날수록 오차율이 증가하는 추이를 보였다.

3.1.2 강우지속시간이 60분일 경우

강우지속시간을 60분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 3에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도 식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과대추정 또는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

이전의 해석과 마찬가지로 강우지속시간 60분으로 가정할 때, 1분위 0.163%, 2분위 -0.146%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.030%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그러나, 강우지속시간 초기 5분일 때 평균 -9.820%의 과소설계가, 강우지속시간 10분일 때 1분위 18.49%, 2분위 15.81% 3분위 13.12%, 4분위 17.07%로 평균 16.12%의 과대설계구간이 시작되었고 이후 지속시간 20분에서 1분위 24.98%, 2분위 30.39%, 3분위 29.24%, 4분위 24.63% 평균 27%의 30%에 다다른 심각한 과다설계가 이루어질 것으로 나타났다. 또한 가정지속시간 이후로는 Huff 분포의 과소설계구간이 시작되었으며 120분에는 1분위 -32.04%, 2분위 -32.25%, 3분위 -32.18%, 4분위 -32.14%의 과소추정이 이루어졌다.

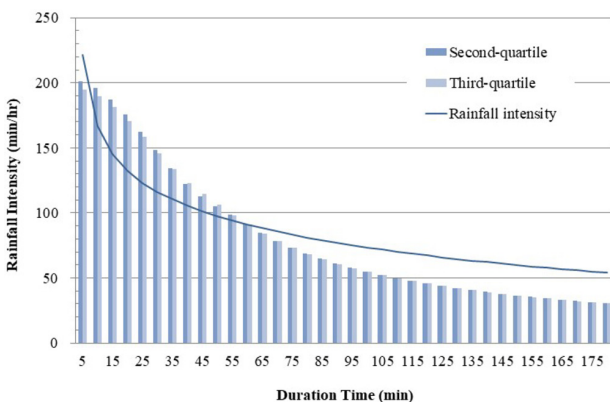


Fig. 3. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 60 minutes).

이러한 결과는 지속시간 180분에서 평균 -43.84%, 지속시간 360분에서 평균 -56.75%, 지속시간 720분에서 평균 -64.84%, 지속시간 1,440분에서 평균 -72.02%의 과소추정으로 앞선 해석과 같이 시간이 지날수록 오차율이 증가하는 추이를 보였다.

3.1.3 강우지속시간이 120분일 경우

강우지속시간을 120분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 4에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과대추정 또는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

이전의 해석과 마찬가지로 강우지속시간 120분으로 가정할 때, 1분위 0.163%, 2분위 -0.468%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.030%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그러나, 가정 강우시간 60분일 때와는 달리 강우지속시간 초기 5분일 때 평균 -32.21%, 이후 강우지속시간 10분에서도 평균 -11.10%의 과소설계가 나타난 후 지속시간 30분, 60분에서 평균 16.61%, 15.69%의 과대설계를 보이고 지속시간이 120분에 가까워짐에 따라 0%으로 수렴했다. 이후 지속시간 180분일 때 1분위 -17.09%, 2분위 -16.83%, 3분위 -17.25%, 4분위 -17.20%의 평균 -17.01%로 과소추정의 구간이 시작되며, 이후 지속시간 360, 720, 1,440분일 때 평균 -36.15%, -48.10%, -57.22%의 과소추정으로 앞선 해석과 같이 시간이 지날수록 오차율이 증가하는 추이를 보였다.

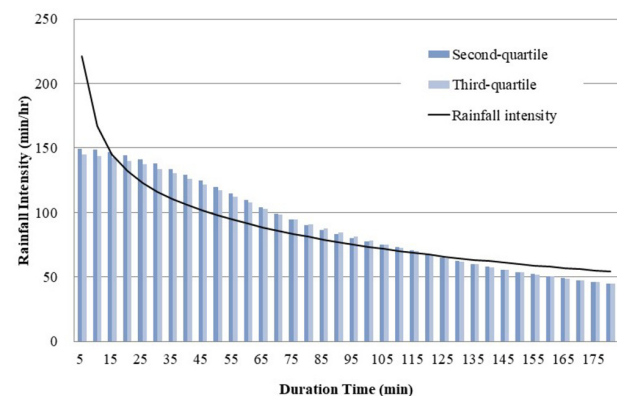


Fig. 4. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 120 minutes).

pp. 209-218

pp. 219-228

pp. 229-237

pp. 239-248

3.1.4 강우지속시간이 180분일 경우

강우지속시간을 180분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 5에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과대 추정 또는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

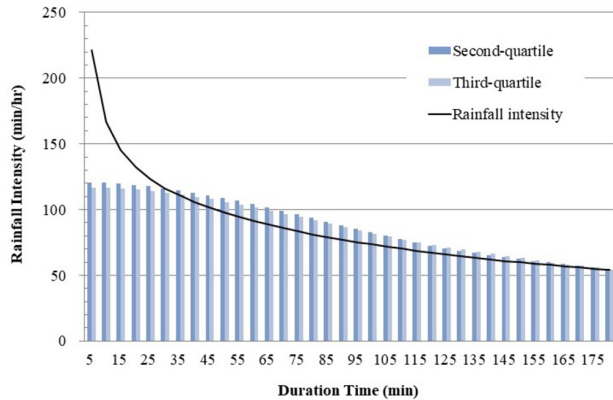


Fig. 5. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 180 minutes).

가정한 강우지속시간 120분일 때와 마찬가지로 강우지속시간 180분일 때는 1분위 0.163%, 2분위 -0.535%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.463%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그러나, 가정 강우지속시간 120분일 때와 같이 강우지속시간 초기 5분일 때 평균 -45.33%, 이후 강우지속시간 10분에서도 평균 -27.56%의 과소설계가 나타난 후 지속시간 30분을 기점으로 60분에서 평균 11.19%, 120분에서 7.410%의 과대설계를 보이고 지속시간이 180분에 가까워짐에 따라 0으로 수렴했다. 이후 다시 Huff 분포가 강우강도 식에 비해 작은 값을 추정하는 구간이 시작되며 지속시간 360분일 때 1분위 -22.86%, 2분위 -22.57%, 3분위 -23.01%, 4분위 -22.63%의 평균 -22.77%, 지속시간이 720, 1,440분일 때 각각 평균 -37.22%, -48.25%의 과소추정으로 앞선 해석과 같이 시간이 지날수록 오차율이 증가하는 추이를 보였다.

3.1.5 강우지속시간이 360분일 경우

강우지속시간을 360분으로 가정하였을 때, 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된

강우강도 값을 Fig. 6에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도 식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과대 추정 또는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

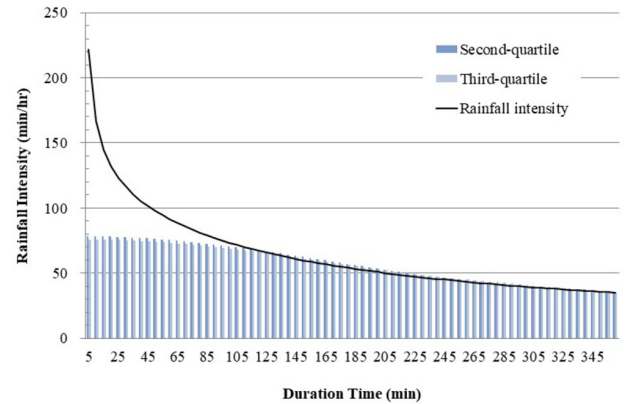


Fig. 6. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 360 minutes).

가정한 강우지속시간 180분일 때와 마찬가지로 강우지속시간 360분일 때는 1분위 0.163%, 2분위 -0.353%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.628%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그러나, 지속시간이 360분(6시간)으로 길어짐에 따라 그래프의 개략적인 형태가 초기 강우일 때 5분에서 1분위 -63.37%, 2분위 -64.64%, 3분위 -65.75%, 4분위 -63.78%로 강우강도 값이 Huff분포에 비해 현저하게 높게 나타나는 과소설계구간의 시작으로, 30분에서 평균 -32.93%, 60분에서 평균 -17.55%, 120분에서 평균 -2.008%의 값을 보이며 지속시간이 가정 강우지속시간인 360분이 가까워짐에 따라 오차율이 0으로 천천히 수렴하는 것으로 나타났다. 그래프가 지속시간 360분에 0으로 수렴하는 동안 180~360분 구간에서 Huff 분포값이 강우강도 값보다 오차율 3% 내외로 큰 값을 추정하는 구간이 나타나는데 이는 오차로 나타내면 1 mm/hr 값을 나타낸다. 360분 이후로는 다시 Huff 분포가 강우강도 식에 비해 작은 값을 추정하는 구간이 시작되며 지속시간 720분일 때 1분위 -18.56%, 2분위 -18.42%, 3분위 -18.74%, 4분위 -18.20%의 평균 -18.45%, 지속시간이 1,440분일 때 평균 -32.81%정도 작은 값을 추정하지만 이는 오차(mm/hr)로 환산해보면 지속시간 720분일 때 -3.995 mm/hr, -4.302 mm/hr 정도로 설계에 크게 작용하는 결정적인 오차의 정도는 아니라고 판단된다.



3.1.6 강우지속시간이 720분일 경우

강우지속시간을 720분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 7에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도 식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전후로는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

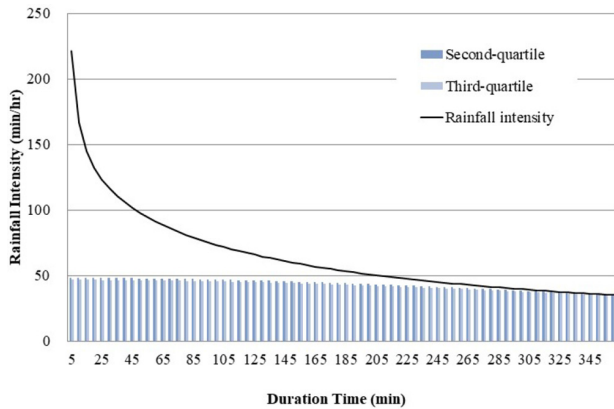


Fig. 7. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 720 minutes).

가정한 강우지속시간 360분일 때와 마찬가지로 강우지속시간 720분일 때는 1분위 0.163%, 2분위 0.148%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.432%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그래프 추이도 지속시간이 360분과 마찬가지로 지속시간이 720분으로 길어짐에 따라 그래프의 개략적인 형태가 초기 강우일 때 5분에서 1분위 -77.45%, 2분위 -78.24%, 3분위 -78.93%, 4분위 -77.70%로 강우강도 값이 Huff 분포에 비해 현저하게 높게 나타나는 과소설계구간의 시작으로, 30분에서 평균 -58.35%, 60분에서 평균 -47.42%, 120분에서 평균 -31.18%, 180분에서 평균 -19.33%, 360분에서 평균 -3.234% 값을 보이며 지속시간이 가정 강우시간인 720분에 가까워짐에 따라 오차율이 0으로 천천히 수렴하는 것으로 나타났다. 720분 이후로는 다시 Huff 분포가 강우강도 식에 비해 작은 값을 추정하는 구간이 시작되며 지속시간 1,440분일 때 평균 -17.43% 정도 작은 값을 추정하지만, 이는 오차 (mm/hr)로 환산해보면 -2.286 mm/hr 정도로 설계에 크게 작용하는 결정적인 오차의 정도는 아니라고 판단된다.

3.1.7 강우지속시간이 1,440분일 경우

강우지속시간을 1,440분으로 가정하였을 때의 강우강도 식으로 계산된 강우강도와 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값을 Fig. 8에 도시하였다. 해석 결과, 강우강도 식을 기준으로 보았을 때, 가정된 강우지속시간 부근에서만 정확한 결과를 예측하고 전, 후로는 과소추정을 보이는 것으로 나타났다.

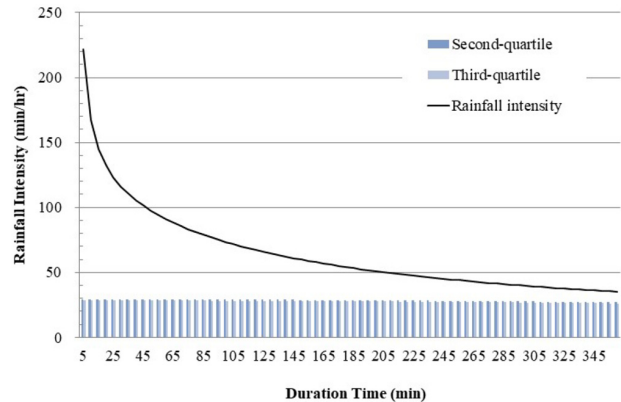


Fig. 8. Huff and Korean standard rainfall intensity distribution over time (Rainfall duration time is 1,440 minutes).

가정한 강우지속시간 720분일 때와 마찬가지로 강우지속시간 1,440분일 때는 1분위 0.163%, 2분위 0.126%, 3분위 -0.037%, 4분위 0.257%로 오차율이 0에 가까운 정확한 값이 나타났다. 그래프 추이도 지속시간이 720분과 마찬가지로 지속시간이 1,440분으로 길어짐에 따라 그래프의 개략적인 형태가 초기 강우일 때 5분에서 1분위 -86.32%, 2분위 -86.80%, 3분위 -87.22%, 4분위 -86.47%로 강우강도 값이 Huff 분포에 비해 현저하게 높게 나타나는 과소설계구간의 시작으로, 30분에서 평균 -74.67%, 60분에서 평균 -67.81%, 120분에서 평균 -56.72%, 180분에서 평균 -47.06%, 360분에서 평균 -24.62%, 720분에서 평균 -4.555%의 값을 보이며 지속시간이 가정 강우시간인 1,440분에 가까워짐에 따라 오차율이 0으로 천천히 수렴하는 것으로 나타났다.

3.2 강우지속시간의 변화에 따른 강우강도식 및 ABM 결과 값의 비교

가정한 강우지속시간 부근에서만 정확한 예측을 보이는 Huff 모형으로 설계된 하수관거에, 강우가 초반에

pp. 209-218

pp. 219-228

pp. 229-237

pp. 239-248

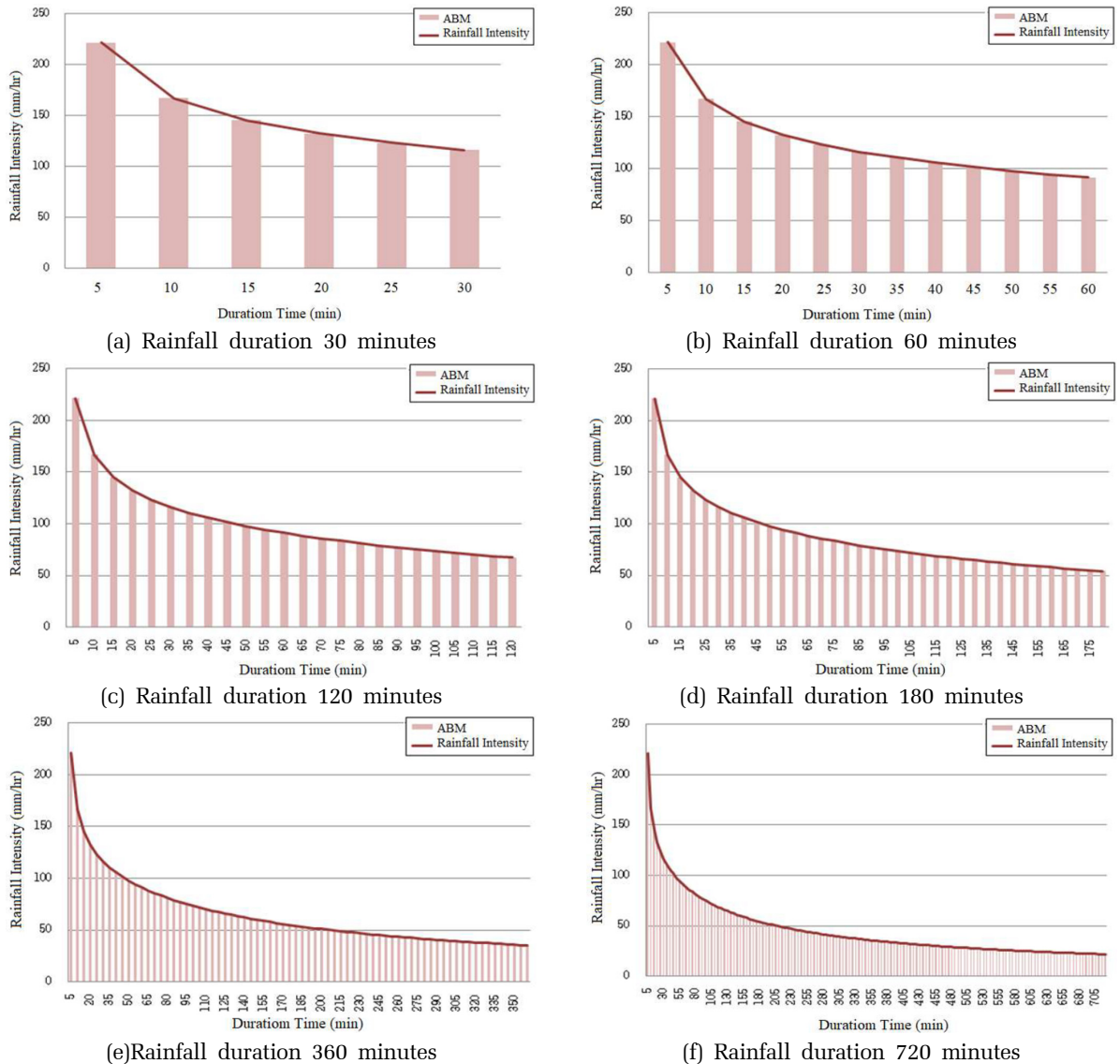


Fig. 9. ABM and Korean standard rainfall intensity distribution over time.

집중되고 강우지속시간이 3시간 미만인 강우가 유입될 때 강우 초기 5~20분 구간에서 과소설계가 되어 우수가 하수관으로 유입되지 못하고 침수가 발생할 수 있다. 그뿐만 아니라, 그 이후 시간이 지속됨에 따라, 강우지속시간으로 가정된 설계시간까지 10% 이상 과대 설계가 되어 효율적이고 경제적인 우수를 배제할 수 없으며 이러한 강우의 지속시간 및 계산과 결과는 모든 관에 같다. 우리나라의 강우는 대부분 지속시간이 3시간 미만으로 나타나지만 (Ryu et al., 2009), 그 지속성을 정확히 예측하기란 어려운 일이다.

강우지속시간을 30분, 60분, 120분, 180분, 360분, 720

분으로 가정하였을 때, 강우강도 식과 ABM(Alternating Block Method)법으로 계산된 유출량의 강우강도 환산값을 Fig. 9에 도시하였을 때, ABM법을 이용한 유출량은 모든 시간에서 강우강도식과 일치하는 결과를 나타내었다. 이것은 ABM법의 모형이 강우강도 식을 기본으로 그 분포만 중앙집중형으로 배열한 것이기 때문이다. 또한 ABM법을 이용한 합리식 방법에서는 강우지속시간을 해당 지점의 유달시간으로 설정하고 있으므로 어떠한 강우 패턴에도 대응할 수 있는 최대 유출량을 산정하는 데 효과적이다 (Park et al., 2019).

강우지속시간이 3시간 미만으로 비교적 짧은 우리



나라 하수관망의 설계 시 ABM법을 이용한 합리식이 적당하다고 판단된다. Huff 모형을 사용했을 때 지속 시간이 길어질수록 오차의 절댓값이 감소하는 경향을 보이므로 짧은 시간에 강우가 관거 내로 유입되는 하수관거의 설계보다는 지속시간을 12시간부터 24시간 까지 검토하는 하천의 설계에서 적합하다고 생각된다.

4. 결 론

기후변화에 따라 강우강도가 증가하여 호우에 따른 피해가 증가하고 있다. 강우강도를 적절하게 계산하는 것은 하수관 관련 시설의 과다 혹은 과소설계를 방지하기 위해 중요하다. 이 연구에서는 SWMM 등에서 하수관거 통수능 계산에 많이 활용하는, 강우강도의 시간분포를 예측하는 Huff 법과 ABM 법에 의해 구한 강우강도와 표준강우강도를 비교하였다. 강우지속시간이 30~180분일 때, 강우 초기 5~10분 구간에서 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값이 표준강우강도로 계산된 강우강도 값보다 적게 계산되는 경향을 보였다. 이로 인해 10~30% 이상의 과소설계가 이루어질 것으로 판단된다. 또한 강우 초기 5~10분을 제외한 구간부터 가정 강우지속시간까지 Huff 모형으로 계산된 강우강도 값이 표준강우강도 식을 사용한 값보다 크게 계산되며 이로 인해 10~30% 이상의 과대 설계가 이루어질 수 있다고 우려된다. 강우지속시간이 비교적 긴 360분(6시간)~1,440분(24시간)인 경우, 강우 초기에서 60~90%에 이르는 과소 강우강도를 보이지만, 강우지속시간이 경과함에 따라 과소설계 문제가 해소되었다. 이에 반해 ABM(Alternating Block Method)법은 가정된 각각의 강우지속시간에서의 전구간에서 계산된 유출량의 강우강도환산값이 표준강우강도와 정확하게 일치하는 것으로 나타났다.

References

Alfieri, L., Laio, F. and Claps, P. (2008). A simulation experiment for optimal design hyetograph selection, *Hydrol. Process*,

22, 813-820.
 Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988). *Design storms (Chapter 14)*, McGraw-Hill, New York.
 Kimura, N., Tai, A., Chiang, S., Wei, H. P., Su, Y.F., Cheng, C.T. and Kitoh, A. (2014). Hydrological flood simulation using a design hyetograph created from extreme weather data of a high-resolution atmospheric general circulation model, *Water*, 6, 345-366.
 KWWA. (2010). *Design guidance manual for waterworks*, Seoul.
 Huff, F.A. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, *Water Resour. Res.*, 3(4), 1007-1019.
 Huff, F.A. (1970a). Spatial Distribution of Rainfall Rates, *Water Resour. Res.*, 6(1), 254-260.
 Huff, F.A. (1970b). Time Distribution Characteristic of Rainfall Rates, *Water Resour. Res.*, 6(2), 447-454.
 Huff, F.A. (1986). Urban hydrology review, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 67(6), 703-712.
 Hsu, M.H., Chen, S.H. and Chang, T.J. (2000). Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, *J. Hydrol.*, 234, 21-37.
 Keifer, C.J and Chu, H.H. (1957). Synthetic storm pattern for drainage design, *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 83, 1-25.
 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2011). *Improvement and Supplement of Probability Rainfall in South Korea*, Seoul.
 Park, J.P., Kang, T.U. and Lee, S.H. (2019). A temporal distribution method of probable rainfall for planning a storm sewer Network in an urban area, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 19(1), 85-94.
 Pilgrim, D.H. and Cordery, I. (1975). Rainfall temporal patterns for design floods, *J. Hydraul. Eng.*, 101, 81-95.
 Pilgrim, D.H. and Cordery, I. (1993). *Flood runoff. In Handbook of Hydrology*, 9 McGraw-Hill, New York.
 Praskievicz, S. and Chang, H. (2009). A review of hydrological modeling of basin-scale climate change and urban development impacts, *Prog. Phys. Geogr.*, 33, 650-671.
 Ryu, J.N., Oh, J.I. and Oh, S.H. (2009). Sewerage rehabilitation strategy based on sewer capacity evaluation, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 23(1), 47-55.
 Yen, B.C. and Chow, V.T. (1980). Design Hyetographs for Small Drainage Structures, *J. Hydraul. Eng.*, 106, 1055-1076.