

임의시간 환산계수에 대한 Weiss 모형의 확장 : II. 강우 시간분포의 고려

Theoretical Expansion of Weiss Model on the Conversion Factor of Fixed- to True-Interval Rainfall: II. Consideration on the Time Distribution of Rainfall

유철상*, 전창현**

Yoo, Chulsang, Jun, Chang Hyun

요 지

본 연구에서는 임의시간 환산계수(Conversion Factor, CF)와 관련하여 거의 유일한 이론적 연구인 Weiss 모형을 자세히 검토하고, 그 문제점을 보완한 수정 Weiss 모형을 제안하였다. 특히, 임의시간 환산계수를 이론적인 방법을 통해 산정하는 과정에서 강우 지속기간과 강우 시간분포의 특성을 반영하지 못하는 한계를 극복하는 시도의 하나로써 강우의 시간분포 특성을 고려하여 CF를 결정하였다. 이를 실제 관측 자료에 근거한 국내·외 CF값들과 비교해본 결과, 수정 Weiss 모형을 근거로 산정한 CF값은 강우 시간분포의 특성에 영향을 받으며 그 형태에 따라 다양한 값이 나타남을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 임의시간 환산계수, Weiss 모형, 수정 Weiss 모형, 강우 시간분포

1. 서론

임의시간 환산계수는 국내·외에서 관측된 강우 자료가 고정시간 간격으로 제공되기 때문에 임의시간 연 최대치 강우량 자료의 확보가 어려운 강우 관측의 한계를 보완하기 위한 개념이다. 즉, 임의시간 환산계수는 고정시간 연 최대치 강우자료에 대한 임의시간 연 최대치 강우량의 비율을 정의하는 용어이다(본 연구에서는 임의시간 환산계수를 간단히 Conversion Factor의 첫 글자를 따서 CF로 표현하기로 한다). 이처럼 CF의 정의가 간단함에도 불구하고, 강우 시간분포 특성이나 강우 지속기간 특성이 CF에 어떻게 반영되어 모형화되어야 하는지가 어렵기 때문에 CF에 대한 이론적인 해석은 간단하지 않다. Weiss(1964)는 이러한 CF와 관련하여 거의 유일한 이론적인 모형으로 강우의 자료구조가 동일한 경우, 동일한 CF가 결정되는 구조를 가진 모형을 제시하고 있다. Weiss(1964)는 강우의 특성들을 정량화하기 위해 강우가 주어진 지속기간 동안 동일한 강우강도로 일정하게 유지된다고 가정하고, 무한히 긴 강우 지속기간도 발생 가능한 경우로 가정함으로써 강우의 시공간적인 특성들을 간단하게 정의하였다. 본 연구에서는 이상과 같은 Weiss 모형의 한계를 보다 자세히 검토하고, 보완하여 수정 Weiss 모형을 제시해 보고자 한다. 또한 CF에 영향을 미치는 강우 특성 중 강우의 시간분포특성에 초점을 맞추어 수정 Weiss 모형을 개선하였으며, 그 결과를 국내·외에서 실제 사용되고 있는 CF 값들과 비교함으로써 이론적인 CF의 결과 값이 평가될 수 있도록 하였다.

* 정회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과 정교수 · E-mail : envchul@korea.ac.kr

** 정회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과 석박통합과정 · E-mail : luckys286@naver.com

2. Weiss 모형

Weiss(1964)는 강우의 특성을 고려하지 않고, 제공되는 자료의 형태만을 반영하여 CF가 계산될 수 있도록 하였다. 가장 간단한 경우로서, 시 자료가 주어지는 경우 고정시간 한 시간 강우의 CF를 계산하는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 강우자료는 고정시간으로 제공되므로 임의시간 한 시간으로 정의되는 최대강우의 시점과 고정시간 한 시간의 시점이 일치할 확률은 매우 낮다. 여기서 임의시간 한 시간을 기준으로 고정시간 한 시간의 시점이 일종의 무작위 변수(random variable)로서 균등분포(uniform distribution)를 따른다고 가정하면, 고정시간 한 시간이 최대강우에 중첩되어 가질 수 있는 강우량은 이 확률밀도를 고려한 기댓값과 같게 된다(그림 1).

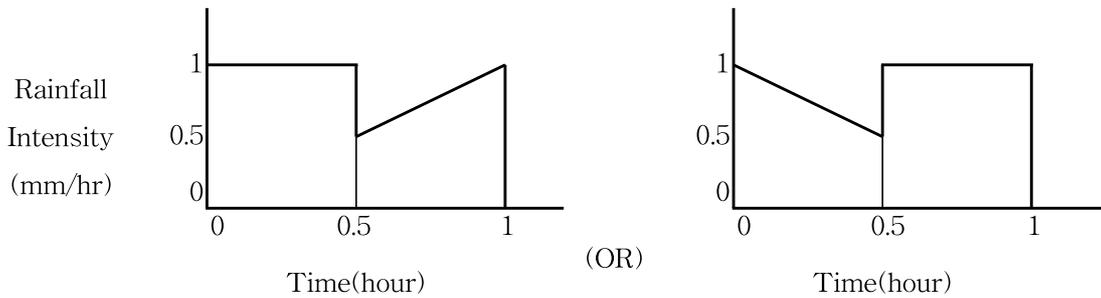


그림 1. 무작위 변수를 따르는 고정시점의 균등분포 개념도(임의시간 한 시간 기준)

$$CF = \frac{R_{true}}{E[R_{fixed}]} = \frac{1}{0.5 + \int_{0.5}^1 x dx} \approx 1.143 \quad (1)$$

즉, 고정시간 한 시간 동안의 강우량에 대한 기댓값을 이용하여 식 (1)과 같은 방법으로 CF를 결정할 수 있다.

3. Weiss 모형의 개선

3.1 강우의 시간분포를 고려하지 않는 경우

Weiss 모형은 임의시간 간격으로 발생한 최대 강우에 고정시간이 중첩되는 확률을 계산하는 과정에서 문제점이 있다. 즉, Weiss(1964)는 고정시간의 시점 x 가 0.5 이하일 경우, 다음 고정시간에 더 많은 강우량이 기록되므로 이 경우에 대한 기댓값을 0.5로 가정하였다. 그러나 실제로 관측되는 강우 자료의 형태를 고려해보면 x 가 0인 경우(즉, 고정시간 시점과 임의시간 시점이 일치), 고정시간 1시간이 확보하는 강우량은 '1'이 되며, x 가 0.5일 때 고정시간 1시간이 확보하는 강우량은 '0.5'로서 최하가 된다. 이후 이 값은 다시 증가하여 x 가 1이 될 때 다시 '1'이 된다(그림 2).

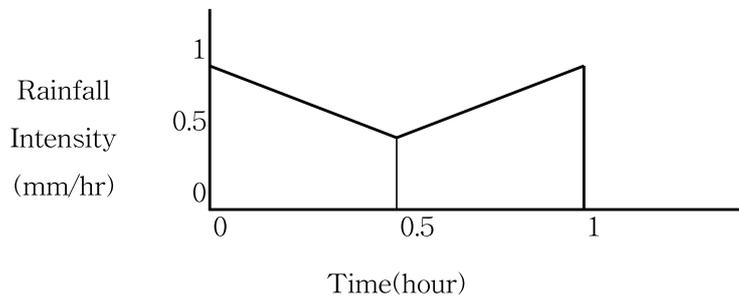


그림 2. 무작위 변수를 따르는 고정시점의 수정된 균등분포 개념도(임의시간 한 시간 기준)

따라서 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 식 (2)와 같이 계산되며, CF는 1.333으로 결정된다.

$$E[R_{fixed}] = \int_0^{0.5} (1-x)dx + \int_{0.5}^1 xdx = 2 \times \int_{0.5}^1 xdx \quad (2)$$

3.2 강우의 시간분포를 고려하는 경우

Weiss 모형과 수정 Weiss 모형(강우의 시간분포를 고려하지 않은 경우)에서의 강우 시간분포는 주어진 강우 지속기간에 대한 균등분포(uniform distribution)로 설명된다. 그러나 실제 강우의 시간분포는 Weiss 모형에서와 같이 일정하지 않으며 각각의 독립 호우사상에 따라 다양한 형태로 나타난다. 따라서 본 연구에서는 개념상으로 비교적 단순하면서도 물리적인 의미를 갖는 Yen과 Chow(1980)의 방법을 근거로 삼각형, 사각형, 오각형의 시간분포 형태를 고려하였다(그림 3).

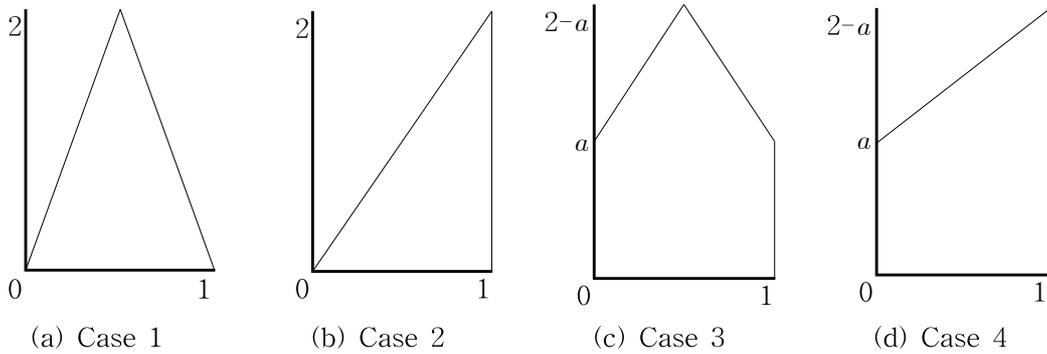


그림 3. 본 연구에서 고려한 기하학적 형태의 강우 시간분포

이는 가상의 시간분포로서 Weiss 모형에서와 달리 강우의 시간분포를 기하학적인 형태로 단순화하여 표현한 것을 의미한다. 전 절에서 제안한 수정 Weiss 모형을 근거로 본 연구에서는 그림 3에 제시된 기하학적 형태의 시간분포를 고려하여 각각의 경우에 대한 CF를 추정해보았다.

(1) Case 1

Case 1의 경우, 고정시간 0-0.5시간의 구간을 고려함으로써 수정 Weiss 모형을 구성할 수 있다. 즉, 0-0.5시간의 구간을 고려해보면, x 가 원점에서 우측으로 이동함에 따라 넓게 되는 면적이 $2x^2$ 이므로 x 가 0이라면, 고정시간 1시간이 확보하는 강우량은 '1'이 된다. 이 값은 x 가 0.5일 때 0.5로 최하가 되고, 이후 이 값은 다시 증가하여 x 가 1이 될 때 다시 '1'이 된다. 따라서 Case 1의 경우, 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 다음과 같이 계산되며, CF는 1.2로 결정된다.

$$E[R_{fixed}] = 2 \times (0.5 - \int_0^{0.5} 2x^2 dx) \quad (3)$$

$$CF = \frac{R_{true}}{E[R_{fixed}]} = \frac{1}{1 - 2 \int_0^{0.5} 2x^2 dx} \approx 1.2 \quad (4)$$

(2) Case 2

Case 2의 경우, x 가 원점에서 우측으로 이동함에 따라 넓게 되는 면적이 x^2 이므로 x 가 0이면, 고정시간 1시간이 확보하는 강우량은 '1'이 된다. 이 값은 x 가 $1/\sqrt{2}$ 일 때 고정시간 1시간이 확보하는 강우량의 값이 0.5로 최하가 된다는 특징이 있다. 이후 이 값은 다시 증가하여 x 가 1이 될 때 다시 '1'이 된다. 따라서 Case 2의 경우, 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 다음과 같이 계산되며, CF는 1.243으로 결정된다.

$$E[R_{fixed}] = \int_0^{1/\sqrt{2}} (1-x^2)dx + \int_{1/\sqrt{2}}^1 x^2 dx \quad (5)$$

$$CF = \frac{R_{true}}{E[R_{fixed}]} \approx 1.243 \quad (6)$$

(3) Case 3

Case 3의 경우, 0-0.5시간에 해당하는 구간을 고려해보면, x 가 원점에서 우측으로 이동함에 따라 잃게 되는 면적이 $((2-2a)x+a)x$ 이므로 x 가 0이라면, 고정시간 1시간이 확보하는 경우량은 '1'이 된다. 고정시간 1시간이 확보하는 경우량은 $0 < a < 1$ 범위에서 계산가능하며, 이 값은 x 가 0.5일 때 0.5로 최하가 된다. 이후 이 값은 다시 증가하여 x 가 1이 될 때 다시 '1'이 된다. 따라서 Case 3의 경우, 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 다음과 같다.

$$E[R_{fixed}] = 2 \times \int_0^{0.5} (1 - ((2-2a)x+a)x) dx \quad (7)$$

만약 a 의 값을 0.25, 0.5, 0.75로 가정하면 각각의 경우에 대한 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 0.824, 0.792, 0.771로 계산된다. 따라서 Case 3의 경우, CF는 앞선 경우들에서와 마찬가지로 산출된 기댓값의 역수를 취함으로써 결정되며, 그 결과는 각각 1.231, 1.263, 1.297로 나타난다.

(4) Case 4

Case 4의 경우, x 가 원점에서 우측으로 이동함에 따라 잃게 되는 면적이 $((1-a)x+a)x$ 이므로 x 가 0이라면, 고정시간 1시간이 확보하는 경우량은 '1'이 된다. 이는 $0 < a < 1$ 범위에 대한 각각의 기댓값으로부터 계산될 수 있으며, 이 값은 x 가 $(-a + \sqrt{a^2 - 2a + 2}) / (2-2a)$ 일 때 0.5로 최하가 된다. 이후 이 값은 다시 증가하여 x 가 1이 될 때 다시 '1'이 된다. 따라서 Case 4의 경우, 고정시간 1시간 동안의 기댓값은 다음과 같다.

$$E[R_{fixed}] = \int_0^{\frac{(-a + \sqrt{a^2 - 2a + 2})}{(2-2a)}} (1 - (1-a)x^2 - ax) dx \quad (8)$$

$$+ \int_{\frac{(-a + \sqrt{a^2 - 2a + 2})}{(2-2a)}}^1 ((1-a)x^2 + ax) dx$$

a 의 값을 0.25, 0.5, 0.75로 가정하고 고정시간 1시간 동안의 기댓값을 산정하면, 그 결과는 각각 0.782, 0.765, 0.754의 값으로 계산된다. 따라서 Case 4의 경우, 결정된 CF는 각각 1.278, 1.307, 1.326으로 나타난다.

4. 국내·외 임의시간 환산계수와의 비교

CF와 관련된 대부분의 연구들은 실제로 관측한 연 최대치 고정시간(1시간, 1일) 및 임의시간(60분, 1440분) 강우자료의 비교를 통해 수행되었다. 유철상과 전창현(2010)은 국내·외 임의시간 환산계수들을 정리하고, 그 결과들을 비교 검토하였다(표 1). 이와 관련하여 본 연구에서 고려한 강우 시간분포를 반영한 경우의 수정 Weiss 모형은 국내·외에서 추정된 실제 CF와 유사한 결과를 제시하고 있다. 이러한 결과는 강우 시간분포의 특성이 CF에 미치는 영향을 검토한 것에 불과하지만 만일 비교하는 두 지점의 강우 시간분포가 동일하다면 CF의 추정치가 같게 산정될 수 있다는 점에 대한 이론적인 근거를 제시한다.

표 1. 고정시간의 길이에 따른 국내·외 CF의 비교(유철상과 전창현, 2010)

국가	CF (1hour-60min)	CF (1day-1440min)
한국	1.129	1.161
미국	1.13	1.13
영국	1.167	1.167
호주	1.15	1.15
뉴질랜드	1.137	1.137

5. 결론

본 연구에서는 임의시간 환산계수(CF)와 관련하여 거의 유일한 이론적 연구인 Weiss 모형을 자세히 검토하고, 그 문제점을 보완한 수정 Weiss 모형을 제안하였다. 특히, 다양한 강우 시간분포 특성을 고려하여 CF를 결정하고, 이를 실제 관측 자료에 근거한 국내·외 CF 값들과 비교하였다. 그 결과 수정 Weiss 모형을 근거로 산정한 CF값은 강우 시간분포의 형태에 따라 다양한 값으로 나타났으며, 이러한 결과는 강우의 시간분포 특성이 CF에 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다. 즉, 국가적으로 또는 지역적으로 다를 수 있는 CF의 특성은 강우의 시간분포 형태와 관련이 있으며, 고정시간 1시간 강우 자료의 CF와 고정시간 1일 강우 자료의 CF가 같을 수 있는지와 관련한 문제도 역시 강우의 시간분포 특성과 동일한 차원의 문제임을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. KRF-2008-313-D01083).

참고 문헌

1. 유철상, 전창현(2010) 임의시간 환산계수에 대한 소고. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제43권, 제9호, pp. 123-129.
2. Weiss L.L. (1964) Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. *Journal of Hydraulic Engineering*, Div. Proc. ASCE Vol. 90(HY1), pp. 77-82.
3. Yen, B.C. and Chow, V.T. (1980). Design hyetographs for small drainage structures. *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 106, No. HY6, pp. 1055-1076.