

모포마 분포를 적용한 분단위 강우강도-지속시간-재현기간 관계의 유도

Derivation of Minutely Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships by Applying the Moupfouma Distribution

유철상* / 박창열** / 김경준*** / 전경수****

Yoo, Chulsang / Park, Changyeol / Kim, Kyoungjun / Jun, Kyung Soo

Abstract

This study proposes and evaluates a methodology for deriving the rainfall intensity-duration-frequency relationship for durations less than 10 minutes used for designing drainage systems in small urban catchments and roads. The method proposed in this study is based on the Moupfouma distribution, which has been evaluated by applying it to the rainfall data at the meteorological Seoul station. Summarizing the results is as follows: (1) The frequency analysis results using minutely rainfall data was found not to be corresponded with the extrapolation of that by the Ministry of Construction and Transportation (2000). (2) The annual maxima minutely rainfall data derived by applying the Moupfouma distribution to the accumulated 60-minute data was found to well reproduce the characteristics of those of observed. (3) The rainfall intensity-duration-frequency relationship derived by applying the Moupfouma distribution to the accumulated 60-minute data and hourly data was found insignificant.

keywords : IDF relationship, minutely rainfall data, Moupfouma distribution, road drainage

요 지

본 연구에서는 도로나 도시구역에서와 같은 소유역의 배수시스템에서 적정량의 설계 규모를 결정하기 위해 지속 시간 10분 이하의 강우강도-지속시간-재현기간 관계를 유도할 수 있는 방안을 제시하고 검토하였다. 본 연구에서 제시하는 방법은 모포마 분포에 근거한 것이며, 그 적용성을 서울지점 자료에 대한 적용을 통해 확인하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 1분단위 강우자료를 이용하여 빈도해석을 수행한 결과 기존 건설교통부 (2000)에 의해 제시된 강우강도식은 분단위로 외삽할 수 없음을 확인하였다. (2) 60분 집성자료를 모포마 분포에 적용하여 추정한 지속시간별 분단위 연최대치 강우계열은 관측된 분단위 연최대치 강우계열의 특성을 적절히 설명할 수 있는 것으로 파악되었다. (3) 60분 집성자료와 시단위 강우자료를 이용하여 모포마 분포에 적용한 IDF 관계의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

핵심용어 : IDF 관계, 분단위 강우자료, 모포마 분포, 도로배수

- * 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 (e-mail: envchul@korea.ac.kr)
Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engrg., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea
- ** 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 (e-mail: changyeol@korea.ac.kr)
Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental System Engrg., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea
- *** 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 (e-mail: guitar77@korea.ac.kr)
Doctoral Student, Dept. of Civil & Environmental System Engrg., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea
- **** 성균관대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: ksjun@vrims.skku.ac.kr)
Professor, Dept. of Civil and Envir. Engrg., Sungkyunkwan Univ., Suwon 440-746, Korea

1. 서 론

수문해석 및 수공설계는 대단위 유역에만 한정되지 않는다. 일반적으로 대상면적은 도시유역에 적용될 경우 크게 작아진다. 특수한 경우에 해당하는 도로에서의 배수문제의 경우도 대상면적이 매우 작으며, 빗물이용을 위해 지붕 또는 운동장 등을 집수면으로 활용하는 경우에도 대상면적이 작다. 이렇게 작은 면적의 경우 수공설계에 필요한 유출량은 일반적으로 합리식에 의존한다. 이 경우에도 지속시간이 강우강도를 결정하는 가장 중요한 인자가 되기 때문에 정확한 지속시간의 결정은 매우 중요하다. 사용되는 강우강도는 가용한 강우자료를 이용하여 만든 IDF(rainfall intensity-duration-frequency) 곡선 또는 강우강도식을 가지고 추정한다.

현재 소규모 도시유역, 도로 등과 같은 소유역에서의 배수시설물 설계를 위한 강우강도 결정에는 일반적으로 건설교통부(2000)에 의해 제시된 강우강도식을 이용한다. 그러나 이 강우강도식은 강우의 최소 지속시간이 10분으로 되어 있다. 이는 근본적으로 강우강도식이 10분단위 이하의 강우자료를 이용하여 유도되지 못하였기 때문이며, 아울러 10분 이하의 지속시간에 대한 이 식의 적용성도 아직 확인되지 않고 있기 때문이다. 이런 상황으로 인해 대상 유역에 대해 추정된 지속시간이 10분 이하인 경우에는 강우강도식의 최소 지속시간인 10분으로 적용되는 등의 실무적인 차원의 문제점도 야기하고 있는 실정이다. 따라서 도달시간이 수 분 정도인 도로와 같은 작은 유역의 배수시설물 설계가 상대적으로 과대하게 될 가능성이 크다. 이러한 문제점은 물론 지속시간 10분 이하의 강우 지속시간에 대한 IDF 곡선 또는 분단위 강우강도식의 개발로 해결 가능하다. 그러나 분단위 강우강도식의 개발을 위해서는 1분단위 강우자료가 충분히 확보되어야 하나, 우리나라의 경우 그렇지 못한 것이 현실이다.

일반적으로 장기간의 양질의 강우 관측자료는 지속시간이 상대적으로 긴 시단위 강우자료 또는 일단위 강우자료이다. 우리나라에서의 근대 강우 관측기록도 양질의 시단위 강우자료를 충분히 확보하고 있는 상황이다. 그러나 1분단위 강우자료 확보는 아직 미미하며, 그 질에도 많은 한계가 있는 것이 현실이다. 우리나라의 경우 가용한 1분단위 강우자료는 자기기록지를 1분단위로 독취한 강우자료, 강우강도계 강우자료, AWS 관측소에서 측정되고 있는 강우자료, 광학강우강도계 강우자료 등이 있다(기상연구소, 1998; 한국전자통신연구원, 2001; 기상청, 2004; 2006). 그러나 이들 자료는 관측특성이 상이하고 아울러 관측지점의 수, 공간분포 및 기

록연수 등의 한계로 인해 본 연구에 모두 적용될 수는 없다. 본 연구에서는 이들 자료들에 대한 구체적인 특성들을 파악하고 본 연구에 적절한 자료를 선정하여 이용할 것이다.

1분단위 강우자료가 충분하지 못한 현실에서 1분단위 강우자료의 특성파악을 위한 가능한 방법 중의 하나는 시간단위 등 긴 시간단위의 강우특성을 분단위와 같은 짧은 시간단위의 강우특성으로 경험적으로 연결하는 방법이다. 이러한 연결을 위한 강우의 특성화에는 물론 관측된 1분단위 및 시단위 강우자료가 함께 이용된다. 유도된 경험적 관계는 1분단위 강우자료가 가용하지 않은 지점에 적용되게 된다. 따라서 강우의 특성이 유사한 지역에 한정되게 되고, 다른 유역에 적용하기 위해서는 세심한 주의가 필요하다. 이러한 방법의 예로서 Segal 방법(Segal, 1986), Damosso 방법(Damosso et al., 1981), Morita 방법(Morita, 1978) 등이 있다.

보다 체계적인 방법으로 Karasawa and Matsudo (1991), 기상연구소(1998), Lee et al.(2000) 등을 살펴볼 수 있다. 이들의 연구는 시단위 강우자료의 통계특성을 이용하여 궁극적으로 1분단위 강우자료로서 가능한 최대값을 유도할 수 있는 방법을 제시한다. 이 방법은 또한 1분단위 강우자료의 실측치로부터 자기상관특성을 유도하여 이용하거나(Hosoya, 1988; Karasawa and Matsudo, 1991; 기상연구소, 1998), 시단위 강우자료와 1분단위 강우자료간의 관계를 경험식으로 정량화하여 이용하는 방법(Rice and Holmberg, 1973; Hosoya, 1988; Karasawa and Matsudo, 1991; Lee et al., 2000) 등으로 나눌 수 있다. 우리나라에서도 몇몇 연구사례를 발견할 수 있다. 먼저, 기상연구소(1998)에서는 모포마분포(Moupfouma distribution; Moupfouma, 1985; Hosoya, 1988)를 적용하여 시단위 강우자료와 20분단위 강우자료로부터 1분단위 강우강도 자료의 예측 모형을 개발한 바 있다. 또한, 한국전자통신연구원(2001)에서는 강우강도계로 관측된 1분단위 강우강도 자료를 모포마분포에 적용함으로써 국내 1분단위 강우강도 자료의 특성을 지역적으로 파악한 바 있다.

본 연구는 관측된 1분단위 강우자료가 시·공간적으로 부족한 현실에서, 가능한 높은 정도의 분단위 IDF 관계식의 개발을 목적으로 한다. 이를 위해서는 상대적으로 품질이 좋고, 아울러 공간적으로 높은 관측밀도를 보이고 있는 시단위 강우자료의 이용이 절대적으로 필요하다. 이러한 목적으로 이용될 수 있는 방안으로는 가용한 1분단위 강우자료를 직접 해석하여 강우강도식을 개발하는 방법, 시단위 강우자료를 1분단위 강우자료로 변환하여 이용하는 방법(Random cascade 모형,

Fractal 모형 등), 시단위 강우자료와 1분단위 강우자료 사이의 관계를 통계적으로 정량화하여 주어진 시단위 강우자료에 대한 1분단위 강우자료의 특성을 추정하여 이용하는 방법(모포마 분포 등) 등이 있다. 본 연구에서는 이들 방법 중 세 번째 방법을 고려하였으며, 모포마 분포를 이용하는 방법을 선택하였다.

본 연구에서 적용하고자 하는 모포마 분포는 수공학 분야에서 적용사례가 없는 것으로 파악된다. 1분단위 강우자료의 모포마 분포에의 적용에 관한 연구는 주로 무선통신 분야에서 이루어지고 있다(Moupfouma, 1982; 1985; Hosoya, 1988; Karasawa et al., 1989; Karasawa and Matsudo, 1991; Moupfouma and Martin, 1995; Ito et al., 1999; Lee et al., 2000; Singh and Hassan, 2004; Ito and Hosoya, 2006; 기상연구소, 1998; 한국전자통신연구원, 2001). 순간적으로 발생하는 큰 강우강도는 고주파 무선통신의 통화 품질에 가장 큰 악영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 따라서 전파통신출력 설계를 위해서는 강우에 의한 전파 감쇠량을 정확히 추정해야 한다(한국전자통신연구원, 1998; 송병현 등, 2001). 이를 위해서는 1분 또는 그 이하로 관측된 강우자료를 이용하여야 하나, 관측자료의 미비로 인하여 부득이 시단위 강우자료를 이용하여 1분단위 강우자료의 특성을 추정하는 방법론의 개발로 이어지게 된 것이다.

모포마 분포를 이용하는 방법은 공간적으로 높은 밀도 및 품질을 확보하고 있는 시단위 강우자료에 모포마 분포를 적용함으로써 지속시간별 연최대치 강우계열을 재구성하는 것으로 설명할 수 있다. 본 연구에서는 모포마 분포를 이용하는 방법의 적용성을 평가하기 위해 먼저, 가용한 1분단위 강우자료를 통해 직접 빈도분석한 후 그 결과가 60분 집성자료에 모포마 분포를 적용하여 재구성된 지속시간별 연최대치 강우계열을 빈도분석한 결과와 비교·평가될 수 있게 하였다. 본 연구의 수행 절차를 요약하면 다음과 같다. (1) 우리나라 1분단위 강우자료 선정. (2) 1분단위 강우자료를 이용한 빈도분석 및 건설교통부(2000)식의 외삽 여부 검토. (3) 60분 집성자료를 모포마 분포에 적용하여 적용성 검토. (4) 시단위 강우자료의 평균, 분산을 이용한 모포마 분포의 적용 및 분석.

2. 모포마 분포

강우강도의 확률분포로 널리 이용되는 것은 지수 분포(exponential distribution), 감마 분포(gamma distribution), 대수정규 분포(log-normal distribution) 등 다양하다. 특히 본 연구에서 적용하고자 하는 모포마 분포는, 시간을 0.01% 이하의 강우강도에서는 대수

정규 분포와, 시간을 0.01% 이상의 강우강도에서는 감마 분포와 잘 일치하는 것으로 알려져 있다(Moupfouma, 1982; 1985; Hosoya, 1988; Karasawa and Matsudo, 1991; 기상연구소, 1998; 한국전자통신연구원, 2001). 모포마 분포의 확률밀도함수(probability density function)와 누적분포함수(cumulative distribution function)는 다음과 같다.

$$f(R) = \frac{r}{R^b} e^{(-uR)} \left(\frac{b}{R} + u \right), (R^* \leq R < \infty) \quad (1)$$

$$F(R) = 1 - \frac{r}{R^b} e^{-uR}, (R^* \leq R < \infty) \quad (2)$$

여기서 R 은 대상기간(본 연구에서는 년 단위가므로 총 기간은 1년) 중 단위시간(본 연구에서는 강우의 지속시간 1분, 2분, 3분, 4분, 5분, 10분, 및 30분을 각각 고려하였음)에 대한 강우강도, $f(R)$ 은 해당 강우강도의 발생 확률, $F(R)$ 은 해당 강우강도에 대한 비초과확률을 나타낸다. 또한 b , u 와 r 은 확률밀도함수의 매개변수, R^* 는 누적분포함수 $F(R)$ 의 정규화계수로 통상 매우 적은 값으로 결정된다. 즉, R^* 는 $F(R) = 0$ 을 만족하는 R 값으로 정의되고, 따라서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$r = R^* e^{(uR^*)} \quad (3)$$

모포마 분포에서는 다른 확률밀도함수에서와는 달리 확률개념을 시간율(time rate)이라는 개념을 도입하여 사용한다. 모포마 분포에서의 시간율 $c(\%)$ 란 대상기간 중 어떤 강우강도의 초과확률을 %로 나타낸 것과 같으며, 따라서 다음과 같이 표현될 수 있다(한국전자통신연구원, 2001).

$$\begin{aligned} c(\%) &= P(R \geq R_c) \times 100 = [1 - F(R_c)] \times 100 \\ &= \frac{r}{R_c^b} e^{-uR_c} \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

위 식에서 강우강도(R_c)는 시간율 $c(\%)$ 에 해당하는 값이다. Hosoya(1988)는 Moupfouma(1982)에 의해 제시된 확률밀도함수(Eq. (1))에서 매개변수 b 를 1로 가정하여도 강우강도의 분포를 잘 표현할 수 있음을 증명하였으며, 이후 모포마 분포라 하면 일반적으로 $b=1$ 인 형태를 의미한다(Hosoya, 1988; Akimoto et al., 2003; Ito and Hosoya, 2006; 기상연구소, 1998; 1999). 따라서 본 연구에서는 Eq. (4)에서 b 를 1로 가정한 형태로 적

용한다.

모포마 분포를 따르는 분단위 강우자료의 평균(m_1)과 분산(σ_1^2)은 매개변수 u 와 r 그리고 R^* 를 이용하여 표현될 수 있다. 이 매개 변수는 일반적으로 강우 시계열자료의 평균값과 분산을 이용하여 추정한다(Hosoya, 1988; 한국전자통신연구원, 2001).

$$m_1 = r[e^{-uR^*} + E_1(uR^*)] \quad (5)$$

$$\sigma_1^2 = r\left(R^* + \frac{2}{u}\right)e^{-uR^*} - m_1^2 \quad (6)$$

여기서 $E_1(uR^*)$ 는 다음과 같은 지수함수(exponential function)의 적분형태로 표현되는 적분계수이다.

$$E_1(x) = \int_1^\infty \frac{e^{-xt}}{t} dt \quad (7)$$

1분단위 강우자료와 시단위 강우자료의 경우, 각각의 평균과 분산은 다음 관계식을 이용하여 쉽게 결정할 수 있다. 이 관계식은 시단위 강우자료에 대한 통계 특성치를 가지고 1분단위 강우자료에 대한 통계 특성치를 유도하는데 이용된다.

$$m_n = n \cdot m_1 \quad (8)$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_1^2 \left[n + 2 \sum_{\tau=1}^{n-1} (n-\tau)\rho(\tau) \right] \quad (9)$$

여기서 n 은 집계시간단위(minute), τ 는 지체시간(lag time)이고, $\rho(\tau)$ 는 τ 분 동안의 1분 우량사이의 자기상관계수이다. Hosoya(1988)에 의해 일본에서 적용되었던 회귀식의 형태는 다음 식에서 β 를 0.5로 적용한 것이다. 본 연구에서는 일본과 국내의 자료 특성을 고려하여 다음 식에서 추세선의 형태를 제약한 경우($\rho_1(t)$, $\beta=0.5$)와 그렇지 않은 경우($\rho_2(t)$)로 구분하여 적용하였다.

$$\rho(t) = \exp(-\alpha \times t^\beta) \quad (10)$$

여기서 α , β 는 자기상관함수의 매개변수이며, 지체시간 1~59분에서의 자기상관계수에 대해 최소자승법을 통해 추정 가능하다.

기상연구소(1998)에서는 또한 모형의 단순화를 위해 ρ_1 (지체시간 1분에서의 자기상관계수)만을 고려하여 시단위 강우자료와 1분단위 강우자료의 분산 사이의 관계를 나타내는 식을 다음과 같이 제안한 바 있다.

$$\sigma_{64}^2 = LC \sigma_1^2 \quad (11)$$

여기서 LC 는 Eq. (9)의 단순화를 위해 Eq. (9)에서 σ_n 의 계수를 $n = 2^1 \sim 2^6$ 분까지 나열하여 ρ_1 에 대해 정리한 것이다.

$$LC = 2^6 [1 + \rho_{32}(\tau=1)][1 + \rho_{16}(\tau=1)] \cdots [1 + \rho_1(\tau=1)] \quad (12)$$

이러한 조건을 만족하기 위해 기상연구소(1998)는 64분의 우량과 60분의 우량이 일치한다고 가정하였으며, 시단위 강우자료의 분산으로부터 1분단위 강우자료의 분산을 추정하기 위해 ρ_1 만을 고려하였다. 기상연구소(1998)에 의한 방법은 계산량을 많이 줄여주지만, 분단위 IDF 관계의 정교한 유도에 있어 적합하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 결과의 신뢰도 확보를 위해 Hosoya(1988)에 의한 자기상관함수를 이용하는 방법을 적용하고자 한다.

위와 같은 과정을 통해 매개변수를 산정한 후 구하고자 하는 시간율에 대한 강우강도는 Eq. (4)에서 역함수를 취해 계산될 수 있다. 본 연구에서는 다음과 같이 Lambert's W 함수를 사용하였다.

$$R_c = \frac{W\left(\frac{r_c \times u_c}{c}\right)}{u_c} \quad (13)$$

여기서 r_c , u_c 는 추정된 매개변수이고, 시간율 $c\%$ 는 구하고자 하는 강우강도(R_c)에 대한 시간율을 나타낸다. 즉, 1분단위 강우자료의 경우, $\{1\text{분}/(365\text{일} \times 24\text{시간} \times 60\text{분})\} \times 100 = 0.00019\%$ 가 된다.

3. 대상 자료

3.1 1분단위 강우자료

3.1.1 1분단위 강우자료 현황 및 대상 자료 선정

우리나라에서 가용한 1분단위 강우자료는 자기기록지 1분단위로 독취한 강우자료(Minutely data using the Magnetic Recording; MMR), 강우강도계 강우자료(Minute Rainfall Intensity; MRI), AWS(Automatic Weather System; AWS) 관측소에서 측정되고 있는 강우자료, 광학강우강도계 강우자료(Optic Rain Gauge; ORG) 등으로 나눌 수 있다(기상연구소, 1998; 한국전자통신연구원, 2001; 기상청, 2004; 2006).

자기기록지를 1분단위로 독취한 자료는 기상청에서

이미지 인식 처리 프로그램을 통하여 자기기록지를 1분 단위로 수치화한 것이다(기상청, 2004; 2006). 전산화된 자료의 측정 해상도는 분당 0.1 mm이며 이를 강우강도로 환산하면 6 mm/hr가 된다. 다른 자료에 비해 상대적으로 정교한 측정 단위는 아니지만 관측 지점이 전국에 걸쳐 분포되어 있는 점과 기상청의 자기기록지를 수치화하여 시단위 강우자료와 동일한 지점의 자료라는 점이 장점이다. 가용한 자료를 보유한 지점은 자료의 보유연한, 시단위 강우자료의 존재 유무, 현재 운영 여부를 고려했을 때 75개 지점인 것으로 파악된다.

강우강도계 강우자료는 1분단위로 강우강도를 측정하는 장치로 분당 0~100 mm/hr의 측정범위를 가지고 있다. 기상연구소(1998)에서는 강우강도계로 기록된 자기기록지를 스캔하여 이미지파일을 만들고 이미지 인식 처리 프로그램을 개발하여 아날로그 자료를 디지털화하는 작업을 수행하였다(한국전자통신연구원, 2001). 현재까지 전국의 26개 강우강도 측정지점 중 12개 지점의 자료에 대하여 전산화 작업을 완료한 상태로 파악된다.

AWS(Automatic Weather System) 강우자료는 전도형 자기우량계(tipping bucket type rain gauge)를 사용하여 측정된 자료이다. 현재 AWS 관측소는 전국에 걸쳐 약 460개 개소로 분포되어 있다. AWS 자료의 경우는 자료의 관측기간이 짧으며, 총 관측기간 중 부분적으로만 관측되어 있고, 분당 0.5 mm 이하가 되는 강우는 감지하지 못한다는 단점을 가지고 있다(기상연구소, 1998; 한국전자통신연구원, 2001).

광학강우강도계 강우자료는 마주 보고 있는 두 개의 렌즈 중 하나에 설치된 적외광 방출기(infrared light emitting diode)를 광원으로 사용하여 지속적으로 방출되는 적외광선을 통과하면서 빔방울이 떨어질 때 강우의 특징적인 떨림 정도를 탐지하여 강우량을 측정하는 것이다. 이것은 5초 간격의 초단시간 강우강도를 관측할 수 있으며, 측정 범위는 분당 0.1~500 mm/hr를 가진다. 그러나 설치된 지점이 매우 적고 관측기간도 짧기 때문에 ORG 자료는 우리나라 전역의 강우강도에 대한 충분한 정보를 제공하지 못하는 것으로 알려져 있다(기상연구소, 1999; 한국전자통신연구원, 2001).

이와 같이 우리나라의 1분단위 강우자료는 MMR, MRI, AWS, ORG 자료로 구분된다. Table 1은 대상 자료의 특성을 나타낸 것이다. 자료의 측정 해상도는 ORG>MRI>MMR>AWS 순으로 나타나며, 관측자료의 최대 보유연한은 MMR>MRI 순으로 나타난다. ORG 자료는 측정 해상도가 매우 높지만 국내 몇몇 대학에서만 관측되고 있고, 최대 보유연한도 수 년에 지나지 않는 것으로 파악된다(한국전자통신연구원, 2001). 우리나라

전역에 걸친 관측소의 수는 AWS>MMR>MRI 순으로 나타나고 있다. 특히 AWS 자료의 경우는 지점수가 아주 많기는 하나, 결측된 구간이 많아 연속된 측정이 되지 못하는 단점도 함께 가지고 있다. 따라서 이 자료를 이용하기 위해서는 방대한 자료의 사전 처리가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 모포마 분포의 적용을 통해 지속 시간 10분 이하의 IDF 관계를 유도하는 것이므로 시·공간적으로 충분하고 신뢰도를 확보할 수 있는 1분단위 강우자료를 획득하여야 한다. 따라서 상대적으로 높은 정도와 많은 관측 지점을 확보하고 있는 MMR 자료와 MRI 자료를 선정하여 검토하고자 한다. 또한 대상 지점으로는 우리나라에서 가장 장기간의 관측연한을 보유한 서울지점을 선정하였다.

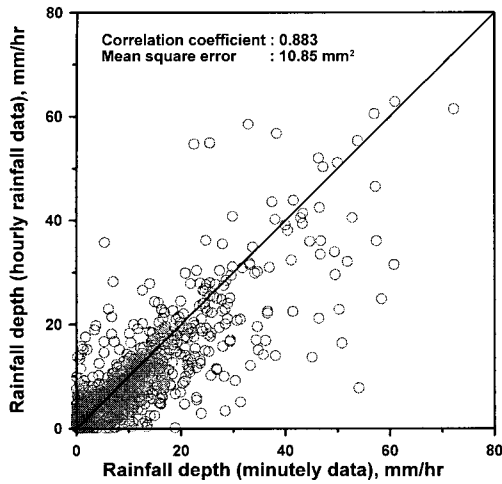
Table 1. The Characteristics for Types of Data

Characteristics	Types of data			
	MMR	MRI	AWS	ORG
Resolution of data (mm/min)	0.1	0.017	0.5	0.017
Observation interval (second)	60	60	60	5
Data length (year)	69	15	-	-
Number of stations	75	14	460	-
Continuity of observation	○	○	×	×

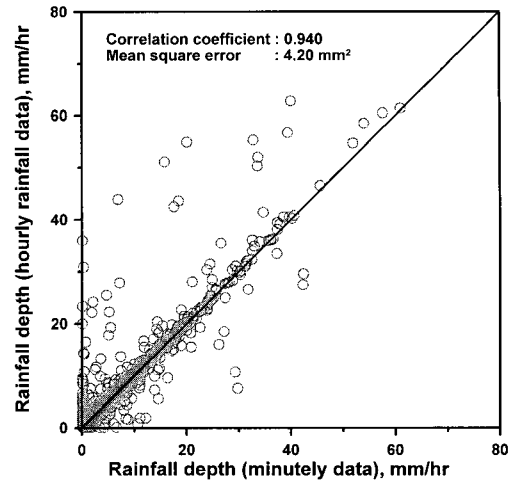
3.1.2 1분단위 강우자료와 시단위 강우자료간의 특성 변화

우리나라의 1분단위 강우자료의 특성은 몇몇 연구에서 검토된 바 있다. 먼저, MRI 자료의 경우는 기상연구소(1998; 1999), 한국전자통신연구원(2001), 송병현(2001) 등에서 검토된 바 있고, MMR 자료의 경우는 기상청(2004)에 의해 검토된 바 있다. 이들의 검토 방법은 1분단위 강우자료를 60분 집성한 자료와 시단위 강우자료를 비교하는 것이다. 특히 MRI 자료의 경우는 우리나라의 1분단위 강우자료의 공간적인 특성을 파악하기 위한 목적으로 지역별로 검토되기도 하였다.

Fig. 1은 서울 지점의 시단위 강우자료와 1분단위 강우자료를 60분 집성한 자료와의 산포도를 나타낸다. Fig. 1은 자료기간을 일치시키기 위해 최소 자료기간으로 구성되어 있는 MRI 자료(1987년~1999년)를 기준으로 하였으며, 두 자료 중 하나의 강우량이 '0'으로 나타나는 경우는 제외한 것에 해당한다. MRI 자료의 경우 상관계수는 0.883, 평균제곱오차는 10.85 mm로 나타났으며, MMR 자료의 경우 상관계수는 0.940, 평균제곱오차는 4.20 mm로 나타났다. 이런 결과는 기상청(2004)에서



(a) MRI data



(b) MMR data

Fig. 1. Scatter Plot of Two Hourly Data Sets Derived from Minutely Measurements and Hourly Measurements at the Seoul Meteorological Station

조사한 MMR 자료의 상관계수인 0.96과 유사하다. 다소 차이가 발생하는 원인은 대상기간의 차이로 인한 것으로 파악된다. Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 MRI 자료의 경우 상대적으로 자료의 분포가 넓은 영역에 퍼져 있으므로 큰 평균제곱오차를 갖는다. 이에 반해 MMR 자료는 상대적으로 좁은 영역에 분포되어 있으므로 MRI 자료의 경우보다 더 높은 상관관계를 보이고 있다.

본 연구에서는 이러한 특성 이외에 기록연수가 긴 관측 자료를 보유한 지점의 수, MRI 자료의 경우 순간 강우강도가 100 mm/hr 이상일 때 감지할 수 없다는 점 등을 고려하여 MMR 자료를 위주로 분석하기로 하였다. 그러나 1분단위 강우자료의 신뢰도를 감안하여 MRI 자료와 MMR 자료에 대한 추가적인 비교·평가를 병행하였다. 먼저, Fig. 2는 MRI 자료와 MMR 자료의 지속시간별 연최대치 강우계열과 시간 단위 강우자료의 연최대치 강우계열의 변화를 비교한 것이다. 대상 기간은 MRI 자료의 보유기간인 13년으로 하였으며, 지속시간은 60분, 360분, 720분, 1440분으로 선정하였다. Fig. 2에서도 Fig. 1에서 볼 수 있었던 것과 같이 두 자료 사이의 불확실성의 차이를 살펴볼 수 있다. 기본적으로 MRI 자료는 MMR 자료에 비해 시간 단위 강우자료의 연최대치 강우계열과 1분단위 강우 자료를 이용하여 구한 동일 자료와의 사이에 편차가 크게 발생하고 있음을 나타낸다. 이에 반해 MMR 자료는 모든 지속시간에서 두 자료 사이의 일치성이 매우 우수한 것으로 파악되었다.

3.2 1분단위 강우자료를 이용한 IDF 관계 유도

3.1절에서 살펴보았듯이 가용한 1분단위 강우자료 중 빈도해석에 적용 가능한 1분단위 강우자료는 MMR 자료인 것으로 판단된다. MRI 자료의 경우는 그 신뢰도에 있어 MMR 자료보다 떨어지고, 아울러 측정할 수 있는 강우강도의 한계로 인해 지속시간 1분에서 대부분의 연최대치 강우계열은 100 mm/hr 로 나타나게 된다. 이에 본 연구에서는 MMR 자료를 이용하여 IDF 관계를 유도하였다. 이때 빈도해석은 건설교통부(2000)에서 제시된 빈도해석 절차를 따라 수행하였으며, 매개변수 추정 방법은 확률가중모멘트법, 최적 확률분포형은 Gumbel 분포로 동일하게 채택하였다. 아울러 건설교통부(2000)에 의해 제시된 IDF 관계를 지속시간 10분 이하로 외삽하여 비교함으로써 이 식을 적용하는 경우 발생할 수 있는 문제점이 파악될 수 있도록 하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 건설교통부(2000)에 의해 제시된 강우강도식과 1분단위 강우자료를 이용하여 유도한 IDF 곡선은 특히 지속시간 10분 이하에서 크게 차이가 난다. 따라서 건설교통부(2000)에서 제시한 식은 10분 이하의 지속시간에 해당하는 강우강도를 추정하는데 사용될 수 없다. 이러한 차이의 원인은 강우강도식을 유도하는데 사용한 자료의 차이일 수도 있지만, 10분 이상의 지속시간에 대해서는 유사한 특성을 보이는 것으로 볼 때 1분단위 강우자료의 특성이 반영 되지 않은 결과로 판단할 수밖에 없다. 따라서 건설교통부(2000)에서 제시된 식은 지속시간 10분까지 유효한 것

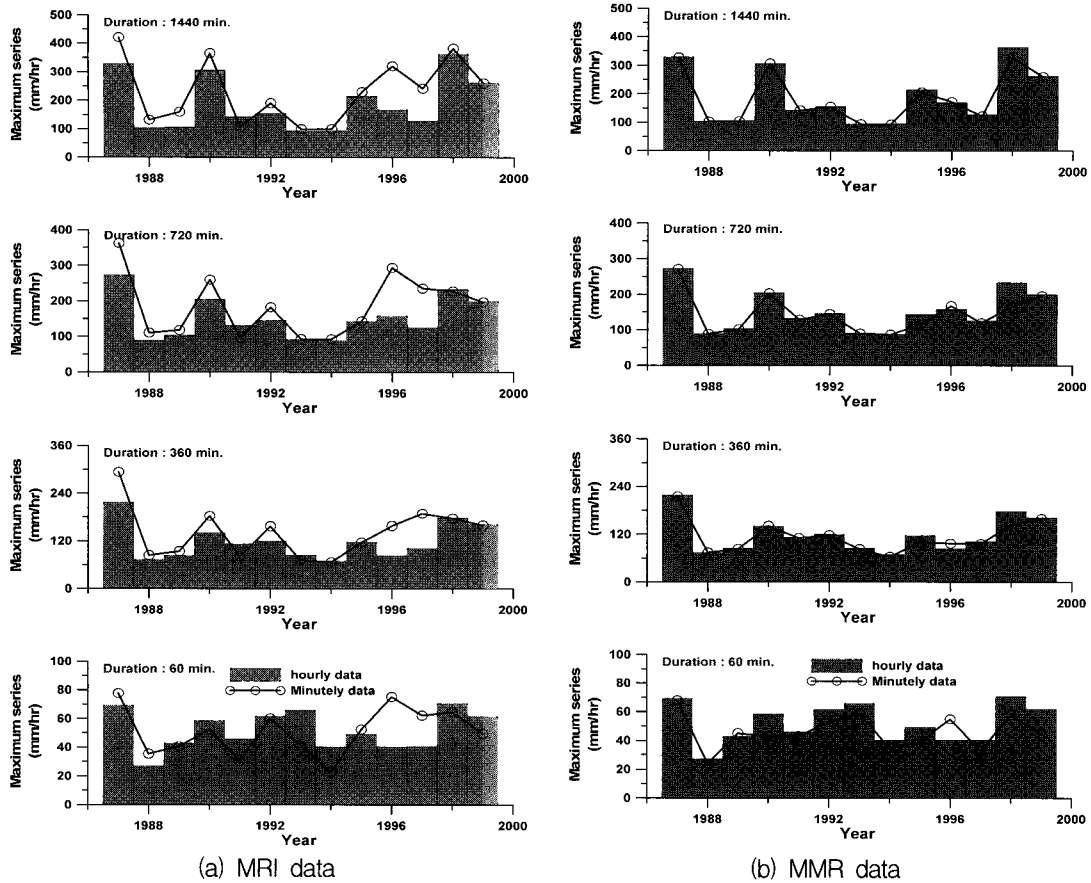


Fig. 2. Comparison of Annual Maxima Series of the Minutely Rainfall Data and the Hourly Rainfall Data for Several Durations

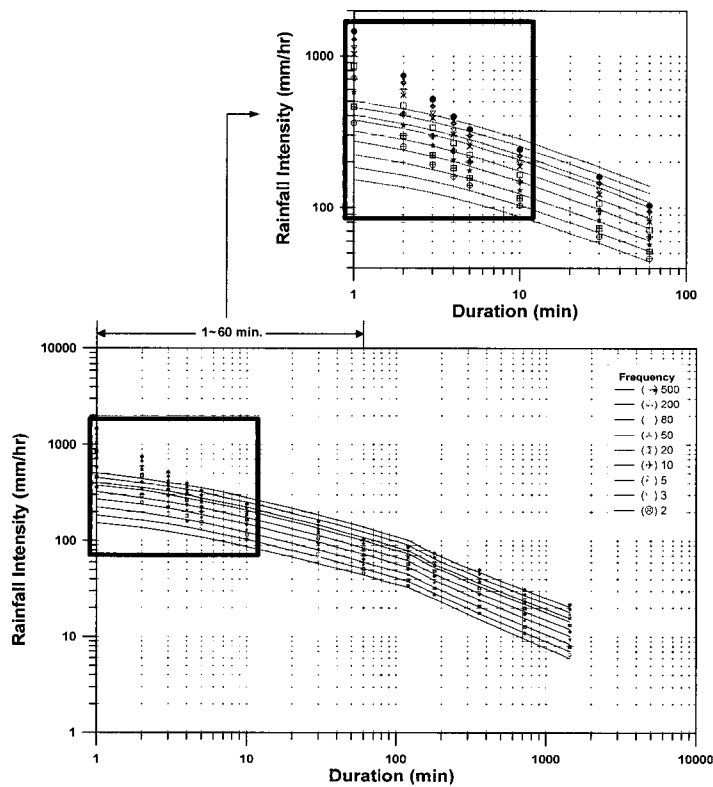


Fig. 3. Comparison of the Rainfall Intensity–Duration–Frequency Relationships Derived by Using the MMR Data with that from the Ministry of Construction and Transportation (2000)

이며 10분 이하에서는 추가 검토가 수행되어야 한다.

4. 모포마 분포에의 적용

4.1 1분단위 강우자료의 분포

Hosoya(1988)와 기상연구소(1998)에 의한 방법론은 모포마 분포의 적용에 있어 자기상관함수의 추정을 중요한 과정으로 하고 있다. Fig. 4는 MMR 자료에 대해 Eq. (10)로 적합시켜 자기상관함수 $\rho_1(t)$ 을 추정한 것이다. 참고로 이 식은 Hosoya(1988)가 일본 전지역의 1분단위 강우자료에 적용하여 추천된 적합식이다. 본 연구에서 추가로 유도한 $\rho_2(t)$ 의 경우는 추세선의 형태를 제약하지 않고 주어진 1분단위 강우자료에 대해 최적의 식을 추정한 것이다. 두 식을 비교하면 추세선의 형태를 제약하지 않은 $\rho_2(t)$ 의 경우가 $\rho_1(t)$ 의 경우보다 관측자료를 보다 잘 재현하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 차이가 궁극적으로 분단위 IDF의 추정에 어떤 영향을 미치게 되는지는 다음 장에서 분석될 것이다. 추가로, Fig. 4에서 최대 관측기간을 16년으로 정한 것은 서울 지점의 MMR 자료 중에서 자기상관계수를 크게 왜곡시키는 해를 제외하였기 때문이다.

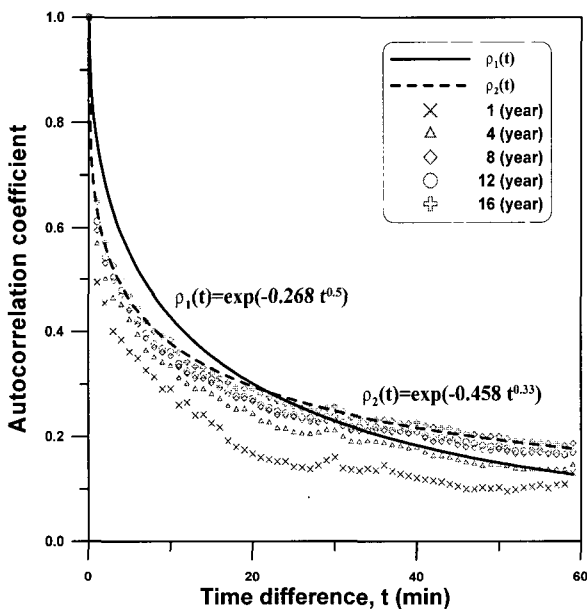


Fig. 4. Variation of the Autocorrelation Coefficient for the Minutely Rainfall Data with Respect to Various Observation Periods (MMR data)

자기상관함수는 자료의 연한이 길어질수록 특정 곡선에 수렴하게 되는데 우리나라의 1분단위 강우자료에서도 그러한 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 추정된 자기상관함수를 Eq. (9)에 대입함으로써

서 지속시간 1분, 2분, 3분, 5분, 10분, 30분, 60분에 대한 분산을 추정할 수 있다. 이때 재추정된 60분에 대한 분산은 시간위 강우자료의 분산과 동일하게 된다.

모포마 분포의 매개변수인 u , r 은 지속시간별 평균, 분산을 Eqs. (3), (5), (6)에 적용하여 추정한다. Table 2는 Eq. (10)에 의해 결정된 자기상관함수($\rho_1(t)$)를 반영하여 추정한 매개변수를 정리한 것이다.

모포마 분포는 매개변수 u 와 r 에 따라 분포형을 표현하게 된다. 매개변수 r 값은 평균값에 의해 결정되고, u 값은 분산에 반비례하는 것으로 알려져 있다(기상연구소, 1998). Fig. 5와 Table 2를 비교했을 때 분산이 크면 u 값이 작아지고, 시간울에 따른 강우강도의 값이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 r 값이 커지면 강우강도는 증가하지만, 그 증가폭은 u 값에 따른 강우강도의 변화량에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 Table 2의 매개변수를 적용한 모포마 분포와 1분단위 강우자료(MMR 자료, MRI 자료)의 분포를 비교한 것이다. Fig. 5에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 모포마 분포는 1분단위 강우자료의 분포를 적절하게 표현할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 강우강도계 자료(MRI 자료)와 비교하는 경우에도, 특히 관측한계(100 mm/hr 이상 측정 불가능)까지의 분포를 잘 재현할 수 있음을 확인할 수 있다.

4.2 지속시간별 연최대치 강우계열 추정

모포마 분포의 적용성을 검토하기 위해서는 1분단위 강우자료를 60분으로 집성하여 그 통계 특성치를 모포마 분포에 다시 적용하여야 한다. 이를 통해 산정된 연최대치 강우계열은 실제 관측치에 대한 연최대치 강우계열을 적절히 설명할 수 있는지에 대한 검토가 필요하다. Fig. 6은 60분 집성자료(MMR 자료)의 통계 특성치를 모포마 분포에 적용한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 모포마 분포는 실측된 1분단위 강우자료(MMR 자료)의 지속시간별 연최대치 강우계열을 적절히 설명할 수 있는 것으로 파악된다. 그러나 경우에 따라 과도하게 큰 값들이 발견되기도 하는데(Fig. 6(a)와 같이), 이러한 부분에 대한 정량적 판단은 쉽지 않다. 관측된 1분단위 강우자료의 신뢰도 문제일 수도 있으며, 또는 상관함수로 정량화된 1분단위 강우자료의 특성에 대한 불확실성이 원인일 수도 있다. 이에 대한 해답은 추후의 연구로 미룬다.

Fig. 6에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 전체적으로 보면 모포마 분포의 적용성은 뛰어난 것으로 판단된다. 따라서 1분단위 강우자료가 매우 제한적이며, 아울러

Table 2. Parameters for the Moupfouma Distribution($\rho_1(t)$)

Year	Statistics (1hour)		Duration(min) Parameter	1	2	3	4	5	10	30	60
	mean	variance	r								
1969	0.1351	2.5164	0.018	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007	0.008	0.011	0.015
1984	0.1356	1.9936	0.018	0.007	0.008	0.008	0.008	0.009	0.011	0.014	0.019
1985	0.1116	1.6842	0.015	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.010	0.013	0.018
1986	0.1234	1.5994	0.017	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.012	0.016	0.021
1987	0.1754	3.0678	0.024	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.009	0.012	0.015
1988	0.0739	0.5527	0.010	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.020	0.027	0.036
1989	0.1225	1.4571	0.017	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011	0.013	0.018	0.023
1991	0.1023	1.2491	0.014	0.008	0.009	0.010	0.010	0.011	0.012	0.017	0.022
1992	0.1225	1.9239	0.017	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.010	0.013	0.018
1993	0.1086	1.2643	0.015	0.009	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013	0.018	0.024
1994	0.0624	0.5875	0.008	0.010	0.011	0.012	0.013	0.013	0.015	0.021	0.027
1995	0.1664	2.3292	0.023	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.015	0.020
1996	0.1117	1.4807	0.015	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.015	0.020
1997	0.0770	0.8536	0.010	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011	0.013	0.018	0.023
1998	0.2085	3.8001	0.029	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.012	0.015
1999	0.1653	2.3992	0.023	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.011	0.014	0.019

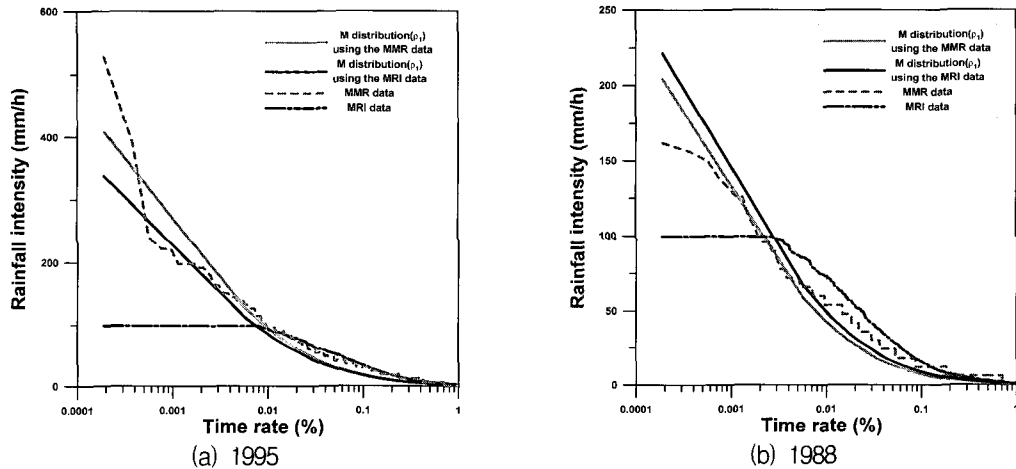


Fig. 5. Comparison for Approximation of Minutely Rainfall Distribution by the Moupfouma Distribution

그 신뢰도를 장담할 수 없는 국내 현실을 고려할 때, 모포마 분포는 양질의 시단위 강우자료로 부터 1분단위 강우자료의 연최대치 강우계열에 대한 추정을 가능하게 해주는 유효한 방법으로 판단된다.

또한 Fig. 6(b)는 2분 집성자료의 시점의 차이(지속시간 2분이므로 t 또는 $t+1$)를 고려하기 위한 것이다. 시점에 따른 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 보인다. 1분단위 강우자료는 엄밀하게 고정시간의 자료일 수밖에 없다. 따라서 모포마 분포에 적용하기 위해서는 시단위 강우자료의 통계 특성을 고정시간에서 임의시간으로의 변환계수를 고려해 주어야 한다. 근본적으로 모포마 분포가 연속된 자료에 대한 시간율을 표현하는 것이 아님으로, 다양한 지속시간에 대한 결과를 얻기 위해서는 Eqs. (8), (9)를 이용하여 지속시간별로 특성을 산정하여 모포마 분포에 반복 적용하여야 한다.

4.3 60분 집성자료를 이용한 지속시간 10분 이하의 IDF 관계 유도

본 절에서는 3.1절 및 4.2절의 결과를 바탕으로 60분 집성자료의 평균, 분산을 이용하여 모포마 분포에 적용함으로써 1분단위 강우강도의 연최대치 강우계열을 구성하고, 이를 분석하여 지속시간 10분 이하의 IDF 관계를 유도하였다.

Fig. 7은 1분단위 강우자료를 빈도해석 한 결과와 60분 집성자료를 모포마 분포에 적용하여 유도된 IDF 관계를 비교한 것이다. 본 연구의 결과는 비록 서울지역에 한정되기는 하지만, Fig. 7에서 볼 수 있듯이 $\rho_1(t)$ 과 $\rho_2(t)$ 에 따른 결과의 차이는 아주 미미한 것으로 나타났다. 그러나 비록 그 차이가 미미하더라도 $\rho_2(t)$ 를 적용한 경우에 보다 좋은 경향성을 나타내는 것으로 판

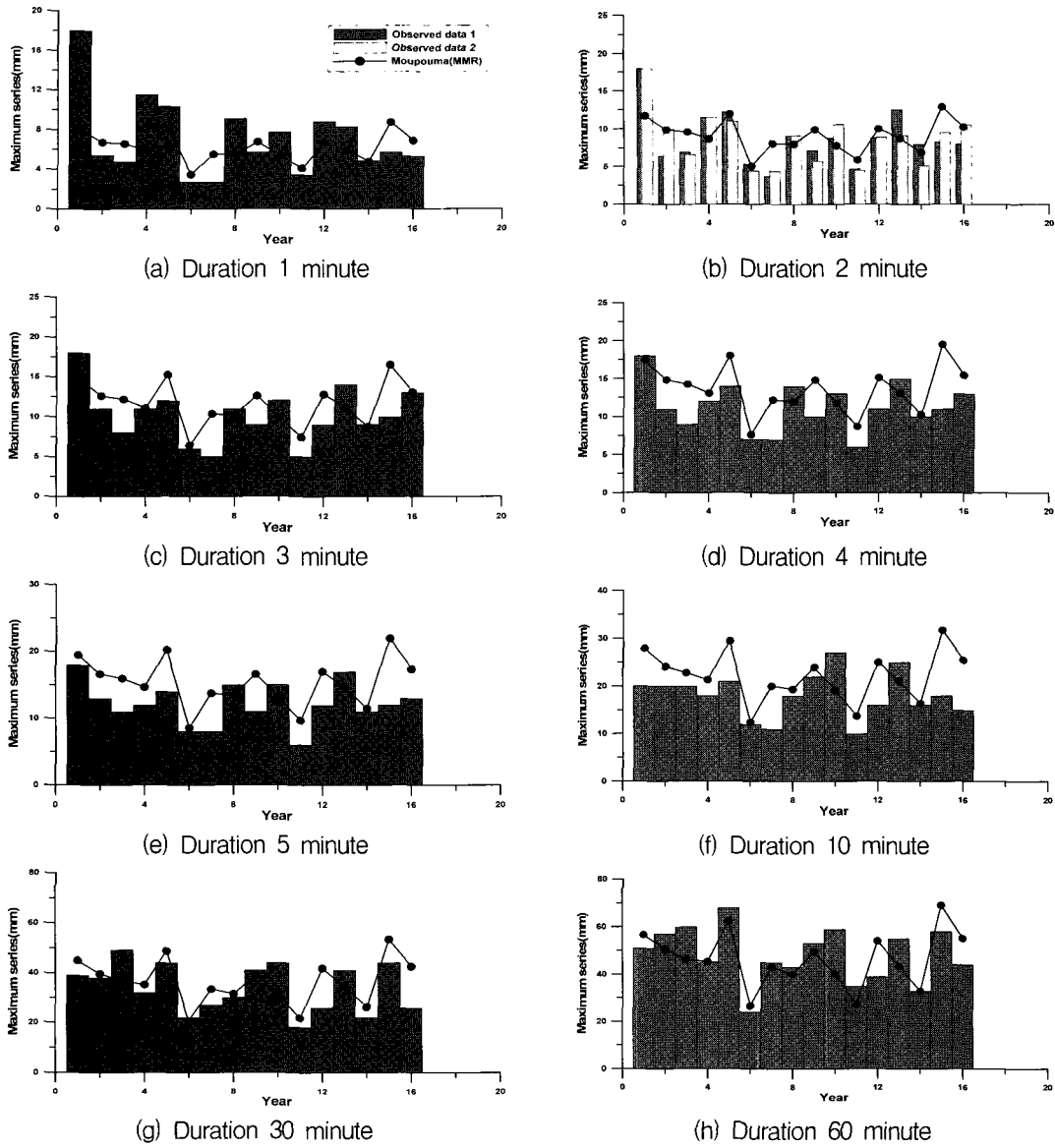


Fig. 6. Comparison of Annual Maximum Series of the Minutely Rainfall Data and the Minutely Rainfall Data Derived by Applying the Moupfouma Distribution Using the Accumulated 60-minute Data for Several Durations at Seoul Station

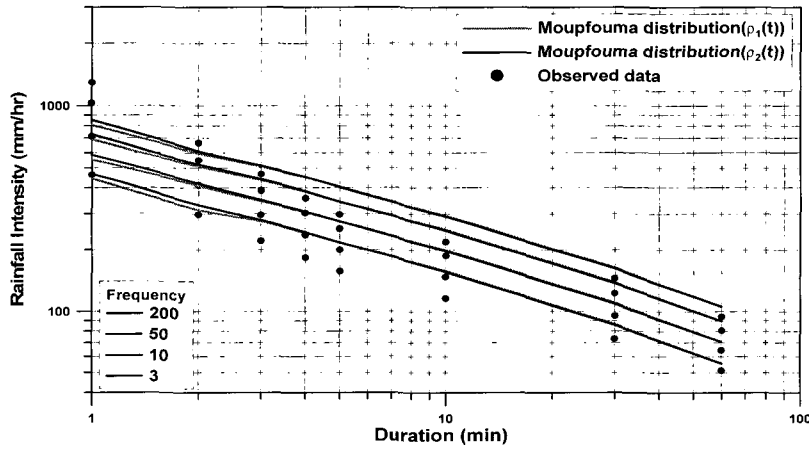


Fig. 7. Comparison of the Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships for Types of the Autocorrelation Function

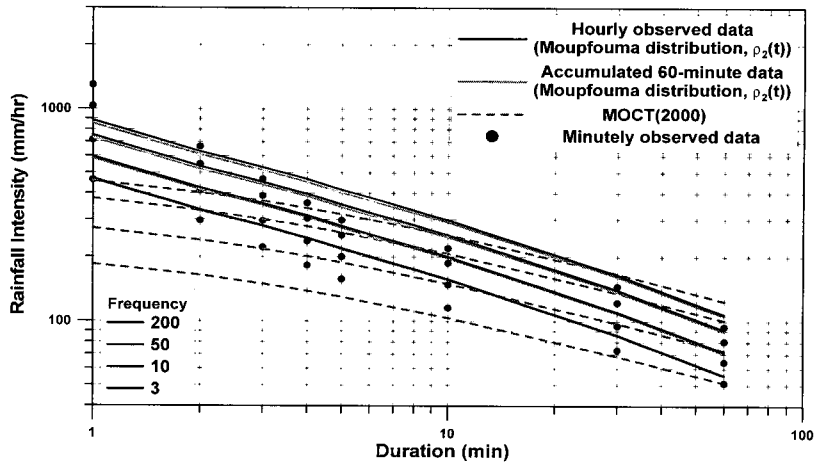


Fig. 8. Comparison of the Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships Derived by Using the Hourly Observed Data with the Accumulated 60-minute Data

악되었다. 따라서 다음 절의 시단위 강우자료를 이용한 10분 이하 IDF 관계의 유도에서도 $\rho_2(t)$ 를 적용하였다.

4.4 시단위 강우자료를 이용한 지속시간 10분 이하의 IDF 관계 유도

시단위 강우자료를 모포마 분포에 적용한 경우의 적용성은 시단위 강우자료를 이용하는 경우의 결과와 4.3 절의 결과를 비교하여 파악할 수 있다. 즉, 시단위 강우자료의 평균, 분산을 이용하여 모포마 분포에 적용함으로써 1분단위 강우강도의 연최대치 강우계열을 구성하고, 이를 빈도해석하여 지속시간 10분 이하의 IDF 관계를 유도하였다. 아울러 건설교통부(2000)에 의해 제시된 강우강도식과 1분단위 강우자료를 직접 빈도해석 한 경우도 함께 비교될 수 있도록 그림에 추가하였다(Fig. 8).

Fig. 8에서는 먼저, 시단위 강우자료를 사용한 경우와 60분 집성자료를 사용한 경우의 차이가 매우 미미함을 보여준다. 특히, 60분 집성자료의 기간이 16년인데 반해 시단위 강우자료의 경우에는 39년(1961년~1999년)임에도 불구하고 매우 유사한 결과가 유도되었다. 비록 두 경우에 대한 결과의 차이가 재현기간이 커질수록 크게 나타나기는 하나 그 차이가 0.00%~3.73%로 매우 작은 것으로 확인되었다. 즉, 시단위 강우자료를 이용한 1분단위 강우자료의 IDF 관계 유도에 신뢰도가 있음을 나타내는 결과로 이해할 수 있다. 이에 반해 건설교통부(2000)에 의해 제시된 강우강도식은 1분단위 강우자료를 직접 이용한 경우나 또는 1시간 자료에 모포마 분포를 적용한 결과에 비해 대체로 크게 과소 추정되는 결과를 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 도로나 도시유역에서와 같은 소유역

의 배수시스템에서 적정량의 설계 규모를 결정하기 위해 지속시간 10분 이하의 강우강도-지속시간-재현기간 관계를 유도할 수 있는 방안을 제시하고 검토하였다. 본 연구에서 제시하는 방법은 모포마 분포에 근거한 것이며, 그 적용성을 서울지점 자료에 대한 적용을 통해 확인하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 1분단위 강우자료(MMR 자료)를 이용하여 빈도해석을 수행한 결과 기존 건설교통부(2000)에 의해 제시된 강우강도식은 분단위로 외삽할 수 없음을 확인하였다.
- 2) 60분 집성자료를 모포마 분포에 적용하여 추정된 지속시간별 분단위 연최대치 강우계열은 관측된 분단위 연최대치 강우계열의 특성을 적절히 설명할 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서 모포마 분포를 이용하는 경우 시단위 강우자료를 이용하여 1분단위 강우자료의 특성 재현이 가능한 것으로 판단된다.
- 3) 60분 집성자료와 시단위 강우자료를 이용하여 모포마 분포에 각각 적용하여 IDF 관계를 유도한 경우 그 차이는 매우 미미한 것으로 나타났다. 아울러 사용된 자기상관함수에 따른 차이도 미미한 것으로 확인되었다. 따라서 모포마 분포는 시단위 강우자료로 부터 60분 이하의 지속시간에 대한 연최대치 강우계열을 적절히 재현할 수 있는 방법인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000). **한국 확률강우량도 작성**. 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제1권, 한국건설기술연구원, p. 292.
- 기상연구소 (1998). **목표 시간율에 따른 국내 지역별 강우강도 분포 예측 모델 연구**. 정보통신 연구개발사업 위탁 연구 보고서, p. 81.
- 기상연구소 (1999). **전국 지역별 분 강우강도 DB 구축에 관한 연구**. 정보통신 연구개발사업 위탁 연구 보고서, p. 70.
- 기상청 (2004). **기후자료보존시스템 구축 2차년도 사업 완료보고서: 활용방안 조사서**. 기상청, p. 47.
- 기상청 (2006). **2005 기후자료보존 현대화 기술노트: 역사기후자료 DB 구축사업**. 기상청, p. 356.
- 송병현, 김미자, 서애숙 (2001). "남한 지역에서 1분 강우 관측 자료 연구." **한국기상학회지**, 제37권, 제1호, pp. 39-52.
- 한국전자통신연구원 (1998). **위성통신 강우환경 분석 기술연구**. 한국전자통신연구원 연차보고서, p. 122.
- 한국전자통신연구원 (2001). **전국 지역별 분 강우강도 DB 구축 연구**. p. 84.
- Akimoto, M., Harada, K., Watanabe, K., and Ichikawa, H. (2003). "Long-term changes of rainfall tendency and methods of estimation for the one-minute rain rate distribution in Japan." *Transactions of IEICE*, Vol. J86-B, pp. 2166-2173.
- Damosso, E., Renzism, G.M., Lingua, B., and Ossola, P. (1981). "Influence of the integration time and the height of rain-gage climatological data." *CSELT Technical Reports*, Vol. 8, pp. 299-302.
- Hosoya, Y. (1988). "An estimation method for one-minute-rain distributions at various locations in Japan." *Annual of Telecommunity*, Vol. J71-B, No. 2, pp. 256-262.
- Ito, C., Hosoya, Y., and Kashiwa T. (1999). "A proposed prediction method for the worldwide one-minute rain rate distributions." *Transactions of IEICE*, Vol. J82-B, No. 7, pp. 1440-1445.
- Ito, C., and Hosoya, Y. (2006). "Proposal of a global conversion method for different integral time rain rate by using M distribution and regional climatic parameters." *Electronics and Communications in Japan, Part 1*, Vol. 89, No. 4, pp. 948-955.
- Karasawa, Y.T., Matudo, T., and Shiokawa, T. (1989). "Statistics of one-minute rain rate distributions in Japan based on AMeDAS one-hour rain rate data." *IEICE International Symposium Antennas and Propagation ISAP 1989*, Vol. ID2-1, Tokyo, Japan.
- Karasawa, Y.T., and Matudo, T. (1991). "One-minute rain rate distributions in Japan derived from AMeDAS one-hour rain rate data." *IEEE Transactions on Geoscience*, Vol. 29, No. 6, pp. 890-898.
- Lee, J.H., Kim, Y.S., Kim, J.H., and Choi, Y.S. (2000). "Empirical conversion process of rain rate distribution for various integration time." *Microwave Conference, 2000 Asia-Pacific*, pp. 1593-1597.
- Morita, K. (1978). "A method for estimating all-season and heavy-rain-season rain rate distributions." *ECL Technical Journal*, Vol. 27, pp. 2249-2266.
- Moupfouma, P. (1982). "Rainfall rate statistics distribution and induced attenuation in equatorial and tropical climates." *Annual of Telecommunity*, Vol. 37, pp. 123-128.
- Moupfouma, P. (1985). "Model of rainfall-rate distribution for radio system design." *IEE Proceedings*, Vol. 132, No. 1, pp. 39-43.
- Moupfouma, P., and Martin, L. (1995). "Modeling of rainfall rate cumulative distribution for the design of satellite and terrestrial communication systems." *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 13, pp. 105-115.
- Rice, P.L., and Holmberg, N.R. (1973). "Cumulative time statistics of surface-point rainfall rates." *IEEE Transactions on Communications COM-21*, Vol. 10, pp. 1131-1136.
- Segal, B. (1986). "The influence of raingage integration time on measured rainfall-intensity distribution functions." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 662-671.
- Singh, M.S.J., and Hassan, S.I.S. (2004). "Comparison of 1-minute rainfall rate distributions for tropical and equatorial climates." *Space Communications*, Vol. 19, No. 3-4, pp. 193-198.

(논문번호:07-46/접수:2007.05.14/심사완료:2007.07.30)