

# 혼합분포를 이용한 면적감소계수의 산정

## Estimation of Areal Reduction Factor Using a Mixed Distribution

유철상\* / 김경준\*\*  
Yoo, Chulsang / Kim, Kyoungjun

### Abstract

This study proposes a new methodology to derive the areal reduction factor (ARF) using mixed probability density functions. Estimation of ARFs requires using the simultaneous rainfall data over the basin, which is rarely available in general. The new methodology proposed in this study uses more available daily rainfall data during a given period, so the mixed probability density functions should be introduced to explain both the rainfall intermittency and variability. This study applied the mixed gamma distribution for the derivation of ARFs for the Keum river basin, and found that the new method is easier for application as well as it provides very comparable results.

**Keywords** : mixed gamma distribution, areal reduction factor, Keum River Basin

### 요지

본 연구에서는 혼합 확률밀도함수를 이용한 면적감소계수의 추정법을 제안한다. 기존 면적감소계수의 추정에는 동시간 강우자료가 필요하나 그런 자료를 충분히 구하기는 쉽지 않다. 본 연구에서 제안하는 방법은 보다 가용한 일강우자료를 이용하는 방법으로 강우의 간헐성을 고려하기 위해 연속분포가 아닌 혼합분포를 이용한다. 본 연구에서는 혼합감마분포를 이용하여 금강유역의 면적감소계수를 추정하였으며, 그 결과 보다 쉽게 아울러 기존의 방법에 의한 결과와 잘 대비되는 결과를 얻을 수 있었다.

**핵심용어** : 혼합감마분포, 면적감소계수, 금강유역

### 1. 서론

강우의 일반적인 특성중의 하나는 주어진 면적이 클수록 그 면적평균 강우량이 작아진다는 것이다. 따라서 어떤 지역의 확률강우량은 면적평균강우량을 이용해야 추정하는 것이 당연하다. 그러나 가용한 관측자료는 면적우량의 시계열을 충분히 확보해 주지 못하는 것이 현실이다. 따라서 상대적으로 긴 시계열을 갖는 지점우량을 이용하여 빈도해석을 하고 여기에 일종의 보정계수인 면적감소계수(Areal Reduction

Factor; ARF)를 고려하여 면적평균 확률강우량을 추정하게 된다.

면적감소계수에 대한 연구는 국내, 국외에서 많이 찾아볼 수 있다. 국내에서는 이원환과 이길춘(1987)이 한강유역의 동시강우량 자료를 이용하여 유역 내 유량의 시공간적 상관구조를 파악하기 위해 강우의 재현기간, 지속시간 및 거리를 고려하는 우량거리비의 특성식을 제안한 바 있으며, 김원과 윤강훈(1992)은 면적고정형 방법을 적용하여 면적우량환산계수를 산정한 바 있다. 이원환과 이길춘(1987)의 연구는 허경희와

\* 고려대학교 토목환경공학과 부교수  
Asso. Professor, Dept. Civil and Env. Engr., Korea Univ., 136-701  
(E-mail; envchul@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 토목환경공학과 석사과정  
Graduate Research Assistant, Dept. Civil and Env. Engr., Korea Univ., 136-701

허준행(2001)에 의해 한강유역에 적용되어 지속시간 및 재현기간별 면적유량산계수의 접합곡선식을 산정하는데 이용되기도 하였다. 최근 정중호 등(2001)은 1일 및 2일 강우량을 각각 24시간 및 48시간 강우량으로 변환하기 위한 계수를 제시하였고, 아울러 유역의 동시간 강우 자료를 이용하여 면적감소계수를 산정한 바 있다.

국외의 경우에도 많은 연구가 수행되었는데, Roche(1966), Rodriguez-Iturbe와 Mejia(1974), Omolayo(1993), Sivapalan과 Bloschl(1998), De Michele등(2001)이 대표적이다. Roche(1966)는 집중 호우의 상관구조를 기초로 점 강우와 면적강우에 대한 이론적인 접근방법을 개발하였고, Rodriguez-Iturbe와 Mejia(1974)는 분산함수와 분산 감소계수를 도입함으로써 Roche의 이론을 확장시켰다. Sivapalan과 Bloschl(1998)도 분산감소함수를 이용하여 극한 호우의 면적감소계수를 유도한 바 있다. 그 외에도 De Michele등(2001)은 시공간적인 스케일링(scaling) 특성을 고려하여 극한 호우에 대한 면적감소계수를 통계적으로 유도한 바 있다.

그러나, 지금까지의 연구를 살펴보면 대부분의 연구가 동시간 강우자료를 이용한다는 단점을 가지고 있다. 경우에 따라서는 Rodriguez-Iturbe 와 Mejia(1974)의 경우처럼 매우 복잡한 모형이 이용되거나, De Michele 등(2001)의 경우처럼 비선형성이 강조되는 스케일링 특성이 고려되기도 한다. 따라서 충분하고 적절한 자료가 구비되지 않는 한 이러한 방법의 적용은 어렵다. 우리나라의 경우도 마찬가지이다. 자료가 가용하여 지속시간별 동 시간 호우사상을 얻어내어 면적감소계수를 산정할 수 있다고 하더라도 그 과정이 매우 번거로운 뿐만 아니라 추정된 면적감소계수에 대한 불확실성 또한 여전히 의문으로 남는다.

따라서 본 연구에서는 강우의 공간적 특성을 잘 나타낼 수 있는 혼합분포(mixed distribution)를 이용하여 면적감소계수를 추정하는 방법을 제안하고자 한다. 혼합분포는 특히 강우의 간헐성(intermittency)을 표현하는데 유리하며, 특히 대상 면적의 크기에 따른 면적 평균강우의 특성차이를 나타내는데도 유리하다. 본 연구에서는 2변수 혼합감마분포를 금강유역에 적용하여 우기(6-9월)의 면적감소계수를 추정하였다.

## 2. 2변수 혼합감마분포를 이용한 면적감소계수의 산정

### 2.1 2변수 혼합감마분포를 이용한 확률강우량의 산정

#### 2.1.1 혼합분포

혼합분포란 이산분포와 연속분포의 혼합형태를 의미한다. 혼합분포를 이용하여 강수를 특성화한 것은 최근의 일로 Kedem 등(1990)이 강수를 표현하기 위해 혼합분포를 사용할 것을 제안한 것이 최초이다. 이후 Shimizu(1993)가 혼합대수정규분포의 적용에 대해 이론적으로 살펴본 예가 있다. 국내에서는 유철상 등(2002), 유철상과 정광식(2002)이 혼합분포를 이용하여 강우량 추정의 최적화, 빈도해석 등을 수행한 바 있다.

먼저 혼합분포에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다. 어떤 지점에서의 강수를 무작위 변량(random variable)  $X$ 로 놓으면, 무강수 기간에는  $X$ 가 0이 되고 그 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$P(X=0)=1-p \quad (1)$$

여기서  $p$ 는 강수확률을 나타낸다. 그러나 강수조건 하에서(즉, 강수기간동안)  $X$ 는 연속적인 분포를 가지며, 임의의 값  $x$ 보다 작거나 같을 확률은 다음과 같은 누적확률밀도함수  $F(x)$ 를 사용하여 나타낼 수 있다.

$$P(X \leq x | X > 0) = F(x), \quad x > 0 \quad (2)$$

따라서, 무강수 기간과 강수기간을 동시에 고려하는 분포함수는 다음과 같은 혼합분포로 표현된다(Kedem 등, 1990).

$$G(x) = (1-p)H(x) + pF(x) \quad (3)$$

여기서  $G(X)$ 는 무강수를 포함하는  $X$ 의 분포함수이고,  $H(X)$ 는 다음과 같은 계단함수(step function)로 정의된다.

$$\begin{aligned} H(x) &= 0, & \text{if } x = 0 \\ H(x) &= 1, & \text{if } x > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

따라서,  $F(x)$  또는 그에 상응하는 확률밀도함수  $f(x)$ 는 혼합분포의 연속적인 부분으로 강수기간을 표현하며,  $H(x)$ 는 불연속적인 부분으로 무강수 기간을 표현한다. 평균 강수강도  $E[X]$ 는  $G(x)$ 에 대한 기대값이 되며, 강수조건 하에서의 평균 강수강도  $E[X|X > 0]$ 는  $F(x)$ 에 대한 기대값으로 정의된다.

#### 2.1.2 혼합감마분포

감마분포는 지수분포나 대수정규분포와 더불어 강수의 분포를 표현하기 위해 많이 사용되는 분포 중의 하나이다(Wilks, 1998). 본 연구에서는 이들 분포함수 중 보다 유연한 적용성을 갖는 감마분포를 선택하였다. 감

마분포의 누가확률밀도함수  $F(x)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (5)$$

$$= \int_0^x \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}} dx, \quad x, \alpha, \beta > 0$$

여기서  $f(x)$ 는 2변수 감마분포를 따르는 변수  $x$ 의 확률밀도함수이며,  $\Gamma(\beta)$ 는 완전 감마함수이다. 2개의 매개변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 분포함수의 축척(scale) 및 모양(shape)을 결정하게 되며 다음과 같이 최우도법(Maximum Likelihood Method)을 이용하여 추정될 수 있다(Rao 와 Hamed, 2000).

먼저, 매개변수  $\beta$ 는 다음과 같이 추정된다.

$$\beta = \frac{1}{U} [0.5000876 + 0.1648852U - 0.054427U^2] \quad (6)$$

$$0 \leq U \leq 0.5772$$

$$8.898919 + 9.059950U + 0.9775373U^2$$

$$U(17.7928 + 11.968477U + U^2)$$

$$0.5772 \leq U \leq 17.0$$

여기서  $U = \log A - \log G$ 로 정의되며,  $A$ 와  $G$ 는 각각 표본자료계열의 산술평균 및 기하평균을 나타낸다. 아울러,  $\alpha$ 는 기 추정된  $A$ 와  $\beta$ 를 이용하여 다음과 같이 추정된다.

$$\alpha = \frac{A}{\beta} \quad (7)$$

### 2.1.3 확률강수량 산정

연 최대치계열을 이용한 빈도해석에서 비초과확률(누가발생확률)과 재현기간의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (8)$$

여기서,  $T$ 는 재현기간(년)을 의미하며 누가발생확률은 1로 수렴하게 된다. 그러나 혼합분포의 경우에는 비초과확률  $P_{\text{mixed}}(X \leq x)$ 와 재현기간의 관계가 다음과 같이 나타나고,

$$P_{\text{mixed}}(X \leq x) = \left(1 - \frac{1}{T}\right) (1-p) = p - \frac{1}{T} \quad (9)$$

또한, 연속분포에서와 달리 그 누가발생확률도 강수확률  $p$ 로 수렴하게 된다.

유철상 등(2002)은 혼합분포를 이용하여 빈도해석을

하기 위해서 혼합분포에서의 비초과확률을 다음과 같이 강수조건 하에서의 비초과확률로 변환시킬 것을 제안하였다.

$$1 : p = P(X \leq x) : P_{\text{mixed}}(X \leq x) \quad (10)$$

따라서,

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T \cdot p} \quad (11)$$

본 연구에서는 6월부터 9월까지의 우기 일강우자료를 이용하므로 이를 고려하면 비초과확률은 다음과 같이 나타난다. 즉, 매년 1개의 자료를 사용하는 것이 아니라  $n$ 개를 사용하는 경우의 비초과확률은 다음과 같다.

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T \cdot p \cdot n} \quad (12)$$

여기서  $n$ 은 6월부터 9월까지 일강우자료의 개수(122)이다.

## 2.2 면적감소계수의 산정

### 2.2.1 대상면적의 결정

본 연구에서는 하나의 강우관측소가 영향을 미치는 면적을 티센면적으로 가정하였다. 따라서 중첩된 강우자료를 이용하여 결정되는 확률강수량은 각 강우관측소의 티센면적을 합한 면적을 대표하게 된다. 이 때 대상 면적을 더하는 순서는 무작위로 결정된 초기 강우관측소로부터의 거리의 역순으로 결정한다. 아울러 초기 관측소의 선정에 따른 오차를 없애기 위해 총 강우계의 수 만큼에 해당하는 경우를 고려하였다. 본 연구에서는 이러한 경우의 각각을 SET로 표시하였다.

### 2.2.2 면적평균강수량의 산정

유철상과 정광식(2001)의 연구에 의하면 면적강수량의 산정 시 티센가중평균법과 산술평균법은 유사한 규모의 추정오차를 가짐을 밝힌 바 있다. 따라서 본 연구에서는 면적평균강우는 추정방법으로 산술평균법을 이용하였다.

### 2.2.3 면적감소계수의 산정

어떤 하나의 SET에서 2변수 혼합감마분포를 이용하여 추정한 누가면적별, 재현기간별 확률강수량을  $P_{(S,T,A)}$ 라 하고, 이 SET의 초기 관측소의 점확률강수량을  $P_{(S,T,0)}$ 라 하면, 면적감소계수  $ARF_{(S,T,A)}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ARF_{(S,T,A)} = \frac{P_{(S,T,A)}}{P_{(S,T,0)}} \quad (13)$$

여기서 S는 SET Number, A는 대상면적, 그리고 T는 재현기간을 나타낸다. 각 SET에 대해 추정된 면적감소계수는 재현기간별로 대상면적을 독립변수로 하는 지수형 적합방정식으로 회귀분석하여 정량화 한다(이길준, 1987; 한국건설기술연구원, 1991; 건설교통부, 2001).

$$ARF_{(T,A)} = 1.0 - Me^{-[aA]^b} \quad (14)$$

여기서 M, a, 그리고 b는 매개변수이고, A는 유역면적 ( $km^2$ )이다. 이상과 같은 면적감소계수의 산정방법을 정리하면 그림 1과 같다.

### 3. 적용 사례

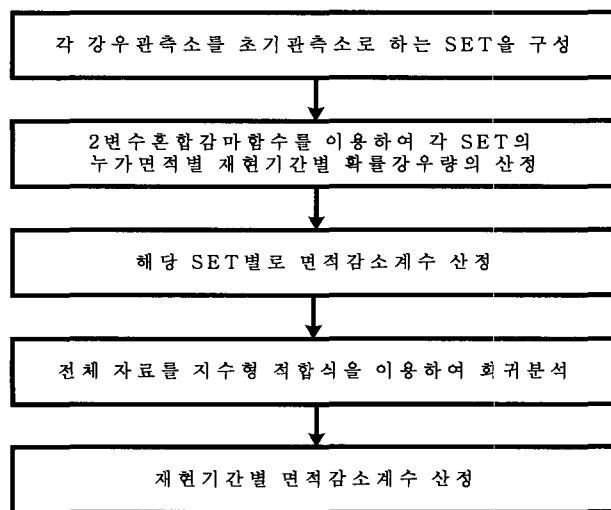


그림 1. 본 연구에 이용된 면적감소계수 산정절차



그림 2. 대상 강우관측소 위치 및 티센망

### 3.1 대상유역

본 연구에서는 금강유역을 대상유역으로 선정하였다. 금강유역은 한반도의 중서부에 위치하며 충청남도, 충청북도의 약 절반과 전라북도의 약 1/4을 점하고 경기도 및 경상북도 일부를 포함하는 유역 면적  $9,886 km^2$ 의 대유역이다. 금강유역은 대략 남한면적의 1/10정도인 남한 제3의 유역이며, 본류의 유로 연장이  $393.9 km$ 에 이른다. 본 연구에서는 금강유역 내의 30년 이상 일강수 기록이 있는 25개 지점(강경, 고산대, 공주, 모서, 무주, 반포, 병천, 부강, 안내, 안성장, 연산, 예산, 옥천, 용담, 임피, 장수, 정산, 정안, 진안, 진천, 청산, 청양, 추풍령, 함열, 홍산)의 우기(6월-9월)자료를 이용하였다. 강우관측소의 위치 및 티센망은 그림 2와 같다.

### 3.2 SET의 구성

먼저 각 관측소를 초기 관측소로 하여 초기관측소간 거리를 내림차순으로 25개의 SET로 구성하였다. 우선 편의상 각 관측소를 표 1과 같은 번호로 나타내었다. 그리고 구성된 SET을 표 1에 부여된 번호를 이용하여 표 2에 나타내었다. 그림 3은 SET 6의 생성과정을 보여준다.

### 3.3 각 SET의 누가면적별, 재현기간별 확률 강수량의 산정

2변수혼합감마함수를 이용하여 각 SET에 대한 누가면적별, 빈도별 확률강우량을 추정하였다. 점강우량에 대한 2변수 감마분포의 매개변수  $\alpha$ (축척변수)와  $\beta$ (모양변수)는 표 3과 같다. 아울러 이렇게 추정된 매개변수를 이용하여 구한 확률밀도함수들 중에서 반포와 용담 관측소의 결과를 그림으로 나타내면 각각 그림 4 및 5와 같다.

또한 위의 관측소들을 초기관측소로 하는 SET의 누가면적별 면적평균강우량계열에 대한 혼합감마분포의 매개변수변화는 그림 6 및 7과 같다.

표 1. 관측소 번호

관측소 번호	강경	고산대	공주	모서	무주	반포	병천	부강	안내	안성장	연산	예산	옥천
번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
관측소 번호	용담	입피	장수	정산	정안	진안	진천	청산	청양	추풍령	함열	홍산	
번호	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	

표 2. 금강유역 25개 관측소를 이용한 SET의 구성

SET No.	관측소	면적 누가 순서																							
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th	20th	21th	22th	23th	24th
1	강경	24	11	25	15	2	17	6	3	22	18	8	14	13	19	5	12	10	7	16	21	9	4	20	23
2	고산대	24	11	1	19	14	15	5	10	6	16	25	13	17	3	8	22	21	18	23	9	4	12	7	20
3	공주	6	18	17	8	11	22	1	7	12	25	24	13	9	2	20	15	21	14	5	4	19	10	23	16
4	모서	23	21	13	9	5	8	14	10	6	11	20	7	3	19	2	18	16	1	17	24	22	15	25	12
5	무주	14	10	19	13	23	21	2	16	4	11	6	9	1	8	24	3	15	17	18	25	7	22	20	12
6	반포	3	8	11	18	17	13	1	22	7	9	24	2	25	21	12	20	14	5	15	4	10	19	23	16
7	병천	20	18	8	3	9	6	12	17	22	13	11	21	1	4	25	24	2	23	5	14	15	10	19	16
8	부강	6	3	18	9	7	13	11	20	17	21	22	1	12	4	24	2	5	25	14	23	15	10	19	16
9	안내	8	21	13	4	20	7	6	23	18	3	11	5	17	14	1	2	10	22	12	24	19	25	15	16
10	안성장	14	5	19	16	2	13	23	21	11	4	24	1	6	15	9	8	3	17	25	18	22	7	20	12
11	연산	1	6	2	24	3	17	13	8	25	15	14	22	18	5	19	21	10	9	7	12	16	4	23	20
12	예산	22	18	17	3	7	6	25	8	1	20	11	24	15	9	13	2	21	14	5	4	19	23	10	16
13	옥천	21	9	5	8	4	6	11	23	14	3	10	2	18	1	7	19	17	24	20	16	22	25	15	12
14	용담	5	10	19	2	16	13	11	21	23	1	24	6	4	15	8	3	9	17	25	18	22	7	20	12
15	입피	24	1	25	2	11	17	22	3	19	6	14	16	18	5	10	13	8	12	21	7	9	23	4	20
16	장수	19	10	14	5	2	11	24	15	13	1	23	21	4	6	25	3	8	17	9	22	18	7	12	20
17	정산	22	3	6	25	18	1	11	12	24	8	15	7	2	13	9	20	14	21	5	19	10	4	23	16
18	정안	3	7	8	6	17	12	22	20	11	9	1	25	13	24	21	2	15	4	5	14	23	19	10	16
19	진안	16	14	10	2	5	11	24	1	15	13	23	21	6	4	25	3	17	8	9	22	18	7	12	20
20	진천	7	8	9	18	3	6	12	13	21	17	4	22	11	23	1	25	5	24	2	14	15	10	19	16
21	청산	4	13	23	9	5	8	14	6	11	10	3	7	20	2	18	19	1	17	24	16	22	25	15	12
22	청양	17	25	12	3	18	1	6	24	11	15	8	7	2	13	20	9	14	21	5	19	10	4	16	23
23	추풍령	4	21	13	5	9	10	14	8	19	6	11	2	16	3	20	7	1	18	24	17	15	22	25	12
24	함열	1	15	25	2	11	17	22	6	3	19	14	18	8	13	5	10	12	16	21	7	9	4	23	20
25	홍산	1	24	22	15	17	11	3	6	2	12	18	8	13	14	7	19	5	9	10	16	21	20	4	23

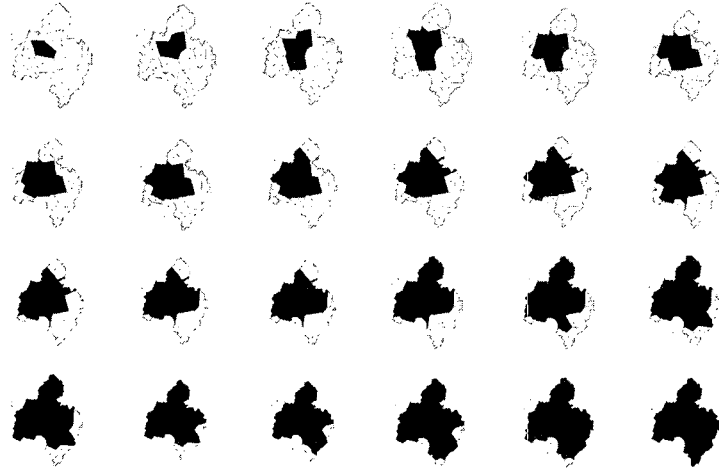


그림 3. SET 6의 누기면적 변화

표 3. 점강우(초기관측소)에 대한 2변수혼합분포함수의 관측소별 매개변수

관측소명	$\alpha$	$\beta$	관측소명	$\alpha$	$\beta$
강 경	44.4040	0.4864	용 담	27.5621	0.3599
고산대	38.4115	0.4279	임 피	26.6315	0.3608
공 주	34.4674	0.4264	장 수	26.5736	0.3558
모 서	32.9817	0.4075	정 산	26.5810	0.3514
무 주	31.9213	0.3976	정 안	26.2094	0.3473
반 포	30.8172	0.4069	진 안	25.7646	0.3472
병 천	30.0524	0.4013	진 천	25.7359	0.3433
부 강	28.3558	0.4031	청 산	25.7133	0.3401
안 내	27.5211	0.4007	청 양	25.1619	0.3412
안성장	27.5627	0.3905	추풍령	25.0375	0.3351
연 산	27.5586	0.3830	함 열	24.6760	0.3357
예 산	27.4024	0.3776	홍 산	24.5148	0.3357
옥 천	27.0066	0.3710			

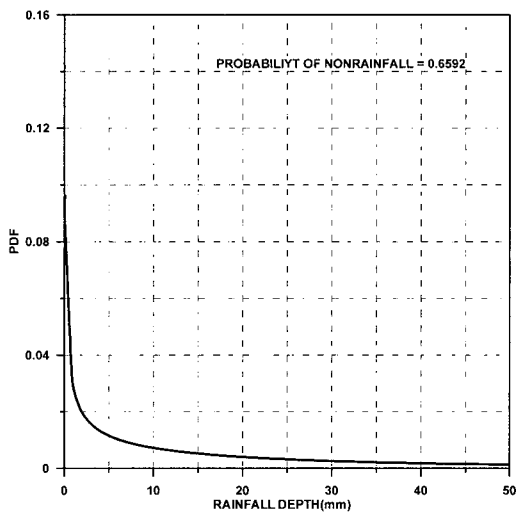


그림 4. 반포 지점의 확률밀도함수  
(SET 6의 초기관측소)

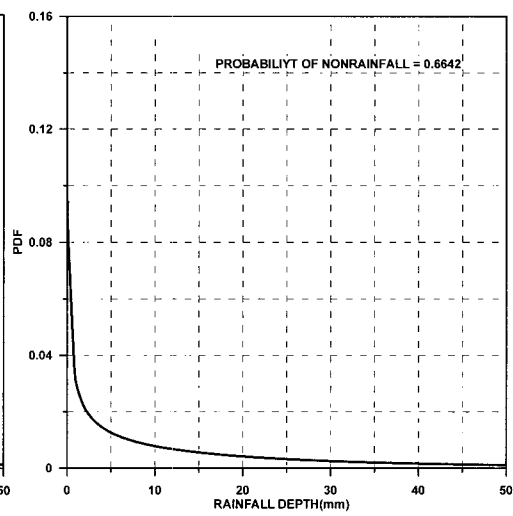


그림 5. 용담 지점의 확률밀도함수  
(SET 14의 초기관측소)

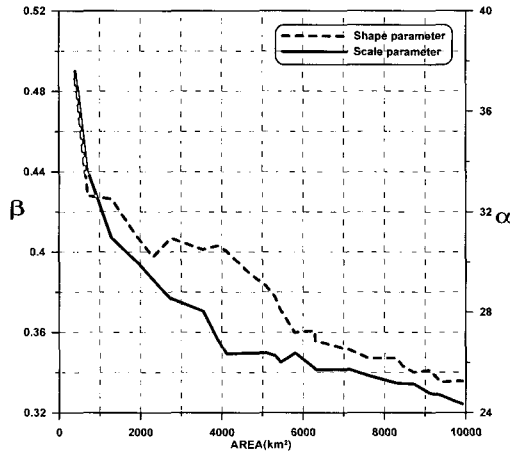


그림 6. 누가면적별 매개변수의 변화(SET 6)

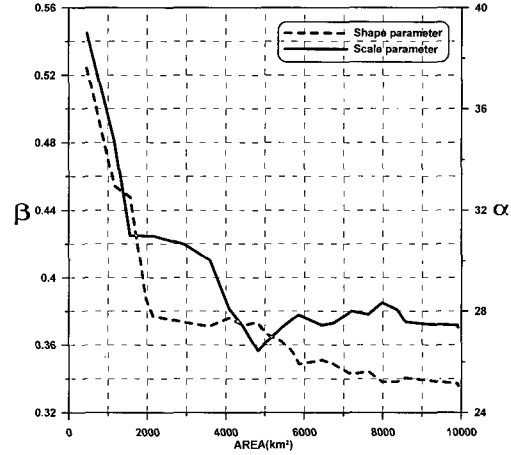


그림 7. 누가면적별 매개변수의 변화(SET 14)

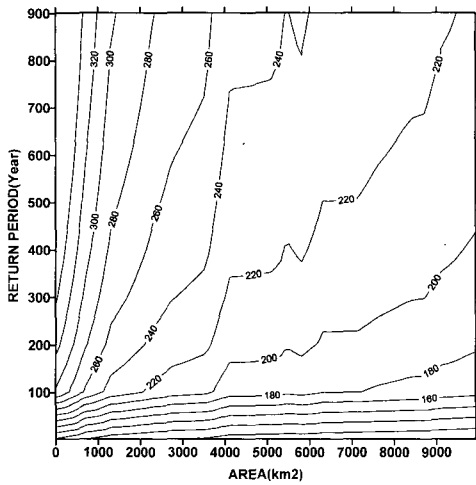


그림 8. 재현기간, 누가면적별 확률강우량 (SET 6, mm)

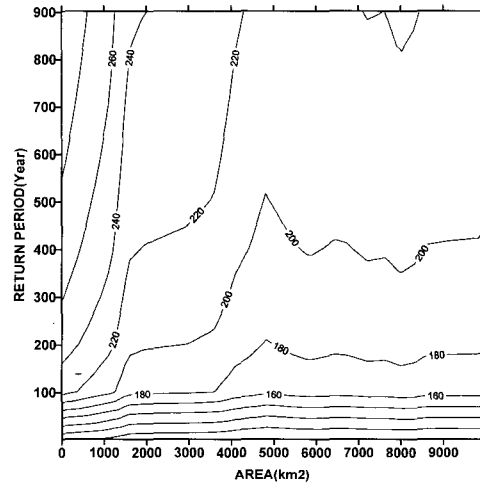


그림 9. 재현기간, 누가면적별 확률강우량 (SET 14, mm)

추정된 매개변수를 이용하여 확률강우량을 구하는 과정에는 IMSL Subroutine인 GAMIN을 이용하였다. 주어진 비조과확률  $P$ ,  $\alpha$ (축척변수)와  $\beta$ (모양변수)에 대해 확률강우량은 다음과 같이 구해진다.

$$x_T = \alpha \times \text{GAMIN}(P, \beta) \quad (15)$$

따라서 위 식을 이용하여 각각의 누가면적에 대한 확률강우량을 구할 수 있다. SET 6와 SET 14에 대한 재현기간, 누가면적별 확률강우량의 분포는 그림 8 및 9와 같다.

### 3.4 면적감소계수의 산정

각 SET에서 구한 누가면적별 확률강우량과 초기관측소의 지점확률강우량의 비를 구하여 금강 유역에서 가능한 모든 SET에 대하여 재현기간(T) 50년과 100년에 대하여 추정된 면적감소계수는 그림 10 및 11과 같

다. 이 그림에서의 실선은 식 14로 결합된 식을 나타내며, 각각의 추정된 매개변수는 표 4와 같다. 아울러, 이러한 방법으로 산정된 면적감소계수를 이용하여 재현기간-유역면적-면적감소계수와의 관계를 나타내면 그림 12와 같다.

## 4. 기존 연구와의 비교

기존 연구와의 비교에 앞서, 연속분포를 사용한 경우와 혼합분포를 사용한 경우에 대한 비교를 수행하였다(그림 13). 연속분포를 사용하였을 경우의 면적감소계수를 살펴보면, 우선 그 값들이 기존의 연구결과에 비해 매우 작게 나타남을 확인할 수 있다. 이것은 연속분포로 유도된 확률밀도함수의 꼬리(tail)부분의 차이로 인하여 재현기간이 큰 경우 확률 강우량이 과다 추정되었기 때문이다. 아울러, 표 5에서도 살펴볼 수 있듯이 지수형 결합

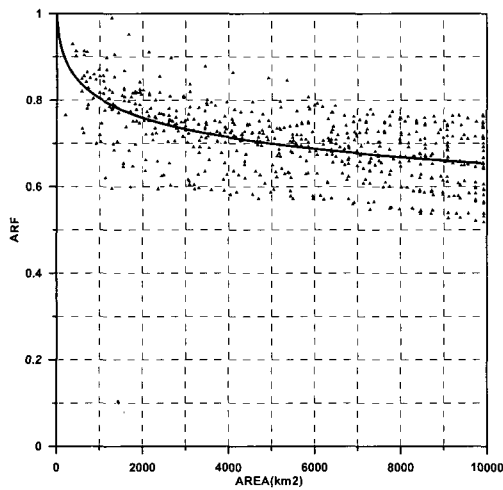


그림 10. ARF의 분포와 회귀식(T=50년)

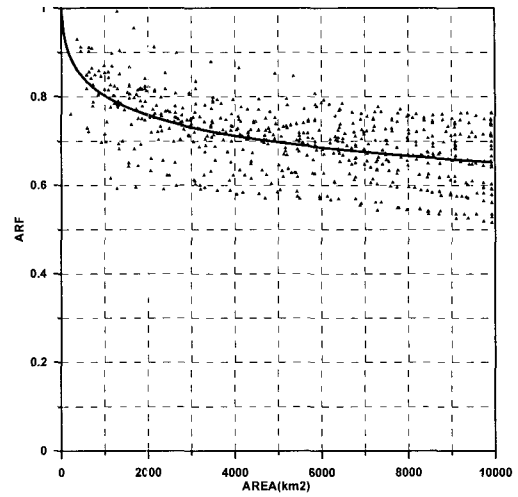


그림 11. ARF의 분포와 회귀식(T=100년)

표 4. 재현기간별로 추정된 회귀식의 계수

$$ARF = 1.0 - M \exp^{-[aA]^b}$$

재현기간(년)	M	a	b	R-squared
2	0.7378	0.1351	0.2375	0.5815
5	0.7411	0.1355	0.2412	0.5752
10	0.7437	0.1359	0.2428	0.5703
50	0.7488	0.1366	0.2444	0.5600
100	0.7506	0.1370	0.2447	0.5562
200	0.7522	0.1373	0.2448	0.5526
500	0.7539	0.1377	0.2449	0.5484
1000	0.7530	0.1377	0.2454	0.5453

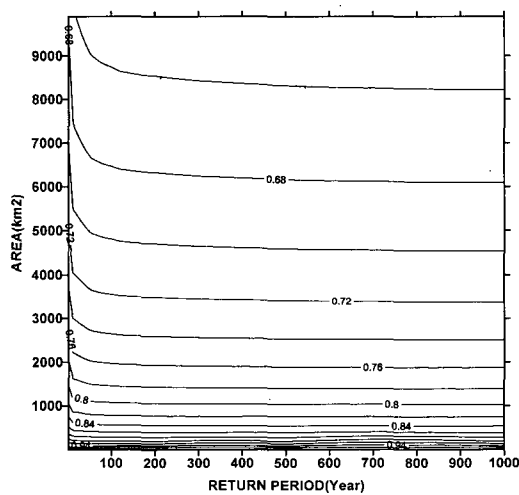


그림 12. 재현기간-유역면적-면적감소계수와의 관계

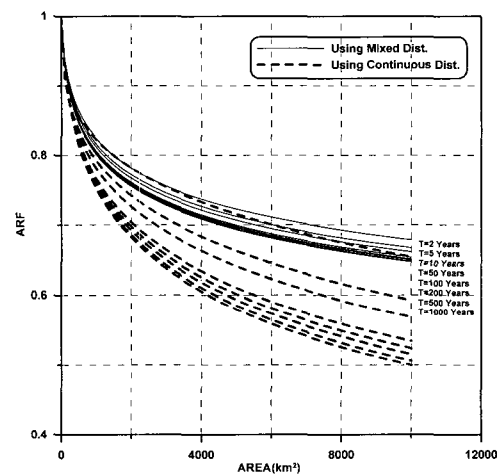


그림 13. 연속분포와 혼합분포를 적용경우의 면적감소계수 비교



표 5. 연속분포를 사용했을 경우 재현기간별 추정된 회귀식의 계수

$$ARF = 1.0 - M \exp^{-[aA]^b}$$

재현년도	M	a	b	R-squared
2	9999.0906	0.0757	0.0273	0.5704
5	7.0300	0.1499	0.0924	0.4703
10	3.0762	0.1547	0.1293	0.4233
50	1.8259	0.1423	0.1778	0.3728
100	1.6661	0.1368	0.1915	0.3613
200	1.5625	0.1318	0.2029	0.3526
500	1.4708	0.1260	0.2154	0.3440
1000	1.4214	0.1222	0.2235	0.3389

식에 대해서도 비교적 낮은 결정계수를 나타냄을 확인할 수 있다. 결론적으로, 무강우 부분을 배제한 강우의 연속분포로 유도된 면적감소계수는 적절한 값을 제시하지 못함을 확인할 수 있었다.

다음으로, 본 연구결과와 기존 연구결과인 정중호 등(2001), 건설교통부(2000), 그리고 허경희와 허준행(2001)이 제안한 24시간 지속기간에 대해 추정된 면적감소계수와 비교를 수행하였다. 그 결과는 각각 그림 14 - 16 와 같다.

먼저, 정중호 등(2001)의 결과와 본 연구에서 제시한 방법으로 산정된 면적감소계수는 그림 14에 나타난 바와 같이 매우 유사함을 확인할 수 있다. 특히, 정중호 등의 연구결과는 빈도가 고려되지 않은 것임을 감안할

때 그 유사성이 매우 크다고 할 수 있다. 아울러, 처음 1000 km<sup>2</sup>까지 발생하는 차이는 주로 초기 관측소의 티센면적에 해당하는 확률강우량이 한정되지 않아 발생하는 것으로 파악된다. 즉, 어떤 SET에서 처음 강우계의 티센면적 만큼에는 두 번째 강우계의 티센면적이 누가 될 때까지 면적감소계수가 산정되지 않기 때문이다. 물론 이러한 문제점은 대상구역의 관측망 밀도를 높혀 해결할 수 있다.

다음으로 건설교통부(2000)의 경우는 본 연구에 비해 높게 추정된 결과를, 허경희와 허준행(2001)의 연구결과는 본 연구의 결과에 비해 재현기간별 변동이 매우 큰 것으로 파악되었다.

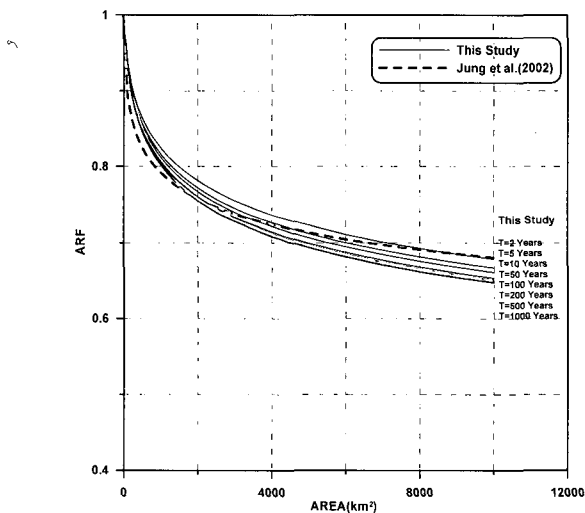


그림 14. 본 연구와 정중호 등(2002)의 결과의 비교

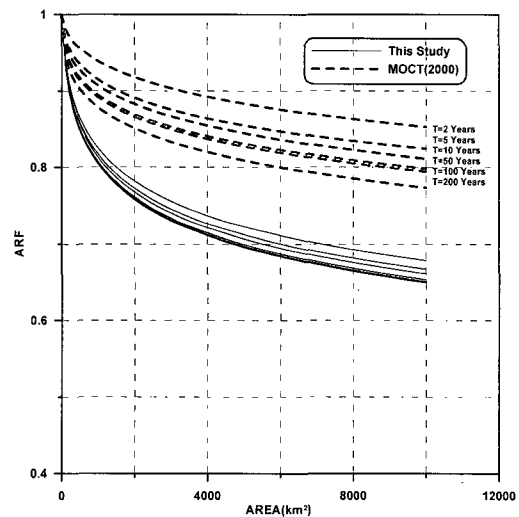


그림 15. 본 연구와 건설교통부(2000) 결과의 비교

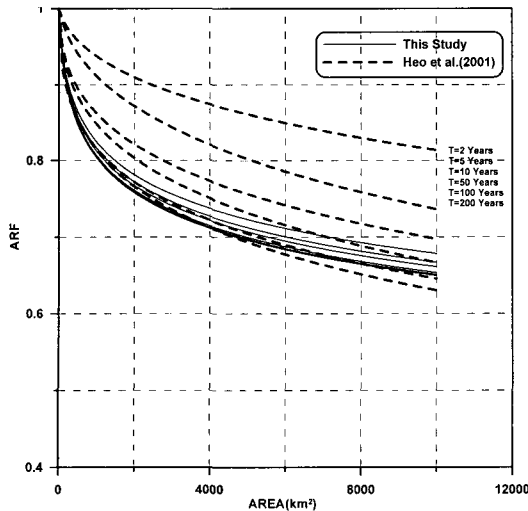


그림 16. 본 연구와 허경희와 허준행(2001) 연구 결과의 비교

## 5. 결 론

본 연구에서는 강우의 공간적 특성을 잘 나타낼 수 있는 혼합분포를 이용하여 면적감소계수를 추정하는 방법을 제안하였다. 혼합분포는 특히 강우의 간헐성(intermittency)을 표현하는데 유리하며, 특히 대상 면적의 크기에 따른 면적평균강우의 특성차이를 나타내는데도 유리하다. 본 연구에서는 2변수 혼합감마분포를 금강유역에 적용하여 우기(6월-9월)의 면적감소계수를 추정하였다.

본 연구에서 추정된 면적감소계수는 기존 연구결과와 비교되었으며, 특히 정중호 등(2002)의 연구결과와 매우 유사한 결과를 주는 것으로 파악되었다. 이 방법은 동시강우량 자료를 이용하여 산정하는 방법에 비해 간편하며, 아울러 시 자료가 부족한 경우에도 적용가능하다는 점에서 실용적인 장점이 크다고 판단된다.

본 연구의 결과는 비록 일 강우를 이용한 것이나 24시간 자료를 이용한 경우와 동일한 결과를 줄 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서의 방법이 연 최대치를 다루는 것이 아니라 모든 자료를 고려하는 것이므로 1일 또는 임의의 24시간 강우의 간헐성 및 시-공간적 변동특성에 통계학적인 차이가 없기 때문이다. 그러나, 2일 또는 48시간 강우의 경우는 따로 시계열을 만들어 분석해야 한다.

## 감사의 글

위 연구는 고려대학교의 특별연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부(2001). 한국확률강우량도 작성·한국가능최대 강수량 추정, pp. 117-146.
- 김원, 윤강훈(1992). 면적우량환산계수의 산정과 그 지역적 변화, *한국수문학회지*, 제25권, 제3호, pp. 79-86.
- 유철상, 정광식(2001). 면적평균강우량의 추정 및 추정오차, **2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 (I)**, pp. 471-476.
- 유철상, 정광식, 강인주(2002). 지구온난화에 따른 일 강수량 분포의 변화 평가, *대한토목학회논문집*, 제22권 제3-B호, pp. 291-299.
- 유철상, 정광식(2002). 엔트로피 이론을 이용한 강우관측망 평가; 혼합분포와 연속분포의 적용 비교, *대한토목학회논문집*, 제22권 제4-B호, pp. 447-457.
- 이원환, 이길춘(1987). 한강유역 동시강우량 자료를 이용한 강우량-거리비의 산정, *한국수문학회지*, 제20권, 제1호, pp. 55-61.
- 이길춘(1987). **지점우량의 지역빈도해석에 관한 연구**, 박사학위논문, 연세대학교.
- 정중호, 나창진, 윤용남(2001). 한강유역의 면적감소계수 산정, **2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, pp. 371-376.
- 한국건설기술연구원(1991). **면적우량과 강우의 공간변화 해석-면적우량 환산계수를 중심으로-**, 연구보고서, 건기연 91-WR-113.
- 허경희, 허준행(2001). 우량비를 이용한 한강유역의 면적우량환산계수의 산정, **대한토목학회 2001 학술발표회 논문집**, pp. 1-4.
- De Michele, C., Kottegoda, N. T., and Rosso, R. (2001). The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties, *Water Resources Research*, Vol. 37(12), pp. 3247-3252.
- Kedem, B., Chieu, L. S., and Karni, Z. (1990). An analysis of the threshold method for measuring area-average rainfall, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 29, pp. 3-20.
- Omolayo, A. S. (1993). On the transposition of areal reduction factors for rainfall frequency estimation, *Journal of Hydrology*, Vol. 145, pp. 191-205.
- Rao, R. A. and Hamed, K. H. (2000). *Flood Frequency Analysis*, CRC Press, New York.
- Roche, M. (1966). *Hydrologie de Surface*, Gauthier-Villars, Paris (Rodriguez-Iturbe and Mejia (1974)의 논문에서 재인용).
- Rodriguez-Iturbe, I. and Mejia, J. M. (1974). The Design of Rainfall Networks in Time and Space Water, *Water Resources Research*, Vol. 10(4), pp. 713-728.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Mejia, J. M. (1974). On the

- Transformation of Point Rainfall to Areal Rainfall, *Water Resources Research*, Vol. 10(4), pp. 729-735.
- Shimizu, K. (1993). A bivariate mixed lognormal distribution with an analysis of rainfall data. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, pp. 161-171.
- Sivapalan, M., and Blöschl, G. (1998). Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves, *Journal of Hydrology*, Vol. 204(1-4), pp. 150-167.
- Wilks, D. S. (1998). Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model, *Journal of Hydrology*, Vol. 210, pp. 178-191.
- (논문번호:04-45/접수:2004.05.04/심사완료:2004.08.18)