

## 확률강우량 산정방법의 신뢰도 분석

### Reliability Analysis for the Estimation of Frequency-Based Rainfall

홍 창 선\* / 원 석 연\*\* / 안 재 현\*\*\* / 안 원 식\*\*\*\*

hong, Chang Sun / Wone, Seog Yeon / Ahn, Jae Hyun / Ahn, Won Sik

---

#### Abstract

A reliability analysis is conducted on the process in estimating frequency rainfalls. 39 year of annual maximum data in Seoul station are collected to analyze the reliability in the frequency analysis technique. Frequency analysis is carried out for the nine types of distribution function and three types of parameter estimation method which are currently used in Korea. Reliability Analysis is conducted for the frequency rainfalls determined by 3 types(maximum, median, selected) of method to select the adequate rainfall. Computed rainfalls of each duration and return period are standardized to find the distribution of the frequency rainfall. It shows that the resulting rainfall distribution fairly represents the normal distribution. Coefficient of variation of 0.0456 is computed to be used in estimating the reliability based design rainfall.

*Keywords* : frequency rainfall, reliability analysis, normal distribution, coefficient of variation

---

#### 요 지

본 연구에서는 확률강우량 산정과정에서 발생할 수 있는 불확실성을 파악하기 위하여 신뢰도 분석을 실시하였으며, 이를 위해 서울관측소의 39개년(1961년~1999년)간의 연최대 강우량자료 계열을 이용하였다. 강우량 빈도해석을 위해 국내에서 일반적으로 적용되어온 9개의 확률분포형 및 3가지의 매개변수 추정법을 적용하여 각 방법별로 강우 지속기간별, 재현기간별로 확률강우량을 산정하였으며, 계획강우량의 결정방법을 3가지(최대치, 중앙치, 선정치)로 구분하여 각 방법에 대한 신뢰도 분석을 실시하였다. 확률강우량의 분포형을 파악하기 위하여 확률강우량 산정치를 표준화하였으며, 표준화된 확률강우량은 정규분포를 따르는 것을 볼 수 있었다. 또한 이 값들로부터 강우 지속기간별 빈도별로 변동계수를 산정할 결과 0.0456의 값을 가지는 것을 알 수 있었으며, 이 값은 신뢰도 개념을 도입한 확률강우량의 산정을 위해서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

**핵심용어** : 확률강우량, 신뢰도 분석, 정규분포, 변동계수

---

\* 대림대학 토목과 교수

\*\* 정회원 · (주)건일엔지니어링 수자원부 이사

\*\*\* 정회원 · (주)건일엔지니어링 수자원부 차장

\*\*\*\* 정회원 · 수원대학교 토목공학과 교수

## 1. 서 론

신뢰도 분석방법은 주로 구조물의 안전여부를 판단하기 위한 과학적이고 체계적인 근거를 제시하기 위해 꾸준히 발전되어 왔으며, 최근에는 수자원 분야에도 도입되어 설계시 필요한 매개변수의 산정과정과 수공구조물의 안정성 평가 등에 응용되고 있다.

수공구조물의 설계기준이 되는 수문량의 산정 및 이에 따른 구조물의 적정규모를 결정하는 과정에는 근본적으로 불확실성이 개입하게 되며, 수문 분석 과정에서의 불확실성을 발생시키는 요인은 일반적으로 다음과 같이 3가지로 요약할 수 있다.

- ① 수문 자료에 대한 불확실성
- ② 모형 구조에 대한 불확실성
- ③ 모형의 매개변수에 대한 불확실성

수문자료의 불확실성은 우리가 측정 또는 수집한 자료의 수가 충분치 못하여 본래의 수문량의 성향을 적절히 반영하지 못하는 점, 수문량의 오차, 시간·공간적인 변화의 미반영, 자료의 전달 및 운영상의 오류 등에 의해 발생한다. 수문모형을 적용하는 경우에도 유역의 수문과정을 완벽하게 재현할 수는 없으므로 수문모형은 불확실성을 내포하게 되며, 또한 수문모형 내에 포함되어 있는 매개변수의 산정시 지형 및 기상인자들의 시간적·공간적 특성을 적절히 반영하지 못함 등으로 인해 불확실성을 포함하게 된다.

신뢰도의 개념은 대상으로 하는 시스템이 소정의 조건하에서 규정의 기간 중에 요구되는 기능을 완수하는 성질을 말하며, 이때의 기능이란 안전성, 사용성, 거주성 등을 지칭한다. 따라서 신뢰도 분석의 궁극적인 목적은 위의 전술한 3가지의 불확실성을 포함한 각종 불확실성을 규명하고, 이를 근거로 하여 수공구조물별로 요구되는 신뢰성을 확보할 수 있도록 적정 신뢰도를 가지는 모형출력의 값을 산정하고자 하는데 있다.

국내·외적으로 다수의 신뢰도 분석에 대한 연구가 수행된 바 있으며, 관련된 주요 연구성과를 정리하면 다음과 같다. Ang과 Tang(1984)은 위험도는 실패의 확률이며 불확실성, 실제 현상들의 무작위성 및 예측치 추정의 불완전성에 관련된다고 하였으며, Wood(1976)는 직접적분 신뢰성분석으로 수문모형 매개변수의 불확실성을 판단하였다. 또한,

신뢰도 분석에 주로 적용되는 AFOSM(Advanced First Order Second Moment) 기법은 Hasofer(1974)에 의해 최초로 제안되었고, Rackwitz(1976)에 의해 완성되었다. Burnham과 Davis(1990)는 정상상태의 홍수모의시 지형자료의 정확도와 모형의 신뢰도가 홍수위에 미치는 영향을 분석하였으며, Klemes(1969)는 댐의 저수용량 결정을 위해 신뢰도분석을 실시하였고, Votruba와 Broza(1989)는 용수공급의 신뢰도 기준에 대한 연구를 수행하였다.

국내에서도 신뢰도 분석기법에 대한 연구가 상당수 이루어진 바 있으며, 이를 살펴보면 다음과 같다. 이희승 등(1992)은 장기간의 유입량 자료와 모의 발생된 자료를 이용, 최적화 기법에 의한 운영 결과의 신뢰도 분석 및 관련 인자들의 상관분석을 실시하였고, 심평필 등(1997)은 추계학적 모의 발생기법을 이용하여 장기간의 저수지 운영을 통한 신뢰성 분석을 연구한 바 있으며, 한건연 등(1997)은 낙동강 수질예보시스템의 개발에 AFOSM 기법을 적용한 바 있다. 또한, 김문모 등(1993)은 하수관망의 신뢰성 분석을 위해 AFOSM 기법의 적용성을 판단하였으며, 한건연 등(1997a; 1997b)은 댐 및 하천제방의 위험도 평가를 위해 MCS(Monte Carlo Simulation)와 AFOSM 기법에 의한 위험도 모형을 개발한 바 있다.

본 연구에서는 이와 같은 신뢰도 분석 기법을 수공구조물의 설계를 위한 확률강우량의 산정에 적용하여 발생가능한 불확실성을 판단하고자 하였으며, 이를 통해 신뢰도 개념을 도입한 확률강우량의 산정방법을 제시하고자 한다.

## 2. 확률강우량의 산정방법

### 2.1 확률분포형

수공구조물의 설계를 위해 실시하는 빈도해석에 주로 이용되는 확률분포형은 정규분포를 기본으로 하여 최근의 Wakeby나 Logistic 분포에 이르기까지 매우 많은 종류가 사용되고 있다. 각각의 확률분포형들은 매개변수의 개수로부터 그 형태에 이르기까지 서로 다른 특성을 가지고 있으며, 분석되는 자료의 특성에 따라 적용되는 최적 확률분포형에 대한 확실한 기준은 없는 실정이다. 수공구조물의 설계를 위한 빈도해석시에 주로 사용되는 확률분포형은 표 1과 같다.

표 1. 확률분포형의 종류

대분류	소분류
Gaussian Distributions	Normal Distribution
	Two-Parameter Lognormal Distribution
	Three-Parameter Lognormal Distribution
Extreme Value Distributions	Extreme Value Type-I Distribution (Gumbel Distribution)
	Extreme Value Type-II Distribution
	Extreme Value Type-III Distribution (Weibull Distribution)
	General Extreme Value Distribution
	Two Component Extreme Value Distribution
Gamma Distributions	One-parameter Gamma Distribution
	Two-parameter Gamma Distribution
	Three-parameter Gamma Distribution (Pearson Type-III Distribution)
	Log Pearson Type-III Distribution
Logistic Distributions	Logistic distribution
	Log Logistic distribution
	Generalized Logistic distribution
Wakeby Distribution	4-parameter Wakeby Distribution
	5-parameter Wakeby Distribution

표 1의 확률분포형 중에서 국내에서 확률강우량의 산정을 위하여 적용되는 대표적인 방법으로서는 2변수 대수정규분포(2LN), 3변수 대수정규분포(3LN), 2변수 Gamma 분포(GA2), 제3형 피어슨 분포(PT3), 대수 제3형 피어슨 분포(LP3), 제1형 극치분포(GUM), 극치분포(GEV), 4변수 Wakeby 분포(WKB4), 5변수 Wakeby 분포(WKB5) 등이 있으며, 본 연구에서는 이 9개의 확률분포형을 적용하여 빈도해석을 실시하였다.

## 2.2 확률분포형의 매개변수 산정방법

각종 확률분포의 수학적 특성인 그 분포의 모멘트를 계산함으로써 알 수 있으며, 확률밀도함수의 매개변수로서 표시되는 것이 통상적이다. 분포의 특성을 나타내는 방법에는 중앙집중 성향, 분산도, 왜곡도, 첨예도 등이 있으며 이것들을 결정하여 판단할 수 있다.

확률분포형의 매개변수를 산정하는 방법에는 다음과 같은 여러가지 방법이 있으며, 매개변수 산정 방법에 따라 확률치는 조금씩 차이를 가지게 된다.

- ① 최소자승법(Method of least squares)
- ② 도해법(Graphical method)
- ③ 모멘트법(Method of Moments, MOM)

- ④ 최우도법(Method of Maximum Likelihood, MML)
- ⑤ 확률가중모멘트법(Method of Probability Weighted Moments, PWM)

본 연구에서는 지금까지 가장 널리 사용되어온 전통적인 모멘트법과 최우도법, 그리고 확률가중모멘트법을 적용하여 확률분포형별 매개변수를 산정하였다.

## 2.3 적정 분포형의 선정

적정분포형의 선정을 위한 전통적인 방법으로는 그래프를 이용하는 방법(graphical method)과 적합도 검정(goodness of fit test)을 들 수 있으며, 이 방법들은 단순히 가정한 이론 확률분포형이 표본자료의 확률분포형과 크게 벗어나는지의 여부를 확률적인 개념에 의해 확인하는 방법이므로 어떤 분포 및 매개변수 추정방법이 표본 혹은 모집단의 통계특성을 가장 잘 구현할 수 있는가를 판단하는 방법으로는 부적절한 것으로 알려져 왔다.

최근에는 통계특성치 및 모멘트비도(moment ratio diagram)의 비교를 통해 각 모형이 원자료의 통계특성을 얼마나 잘 구현하는지를 상대적으로 평

가하는 거동분석방법(behavior analysis), 그리고 모형의 적응성(flexibility)을 기준으로 그 적정성을 평가하는 강인성 검정(robustness test)에 관한 연구가 활발히 진행된 바 있으며, 이 방법들은 기존의 방법들에 비해 좀 더 객관적인 방법으로 평가되고 있다.

적정분포형의 선정에 있어서의 타당성 검정은  $\chi^2$  test와 K-S test를 포함한 적합도 검정으로 평가할 수 있지만, 이러한 검정 결과는 정해진 유의수준에 따라 좌우되며 또한 유의수준의 결정은 대개 주관적인 요소가 강하게 작용한다. 그럼에도 불구하고 이런 검정들은 현실적으로 선택 가능한 분포형의 상대적인 타당성을 검정하는데 유용한 것으로 알려져 있으므로, 본 연구에서는  $\chi^2$  test와 K-S test만을 이용하여 적정확률분포형을 판단하였다.

### 3. 확률강우량 산정의 신뢰도 분석

#### 3.1 강우자료 수집

본 연구의 목적이 확률강우량 산정방법에 대한 신뢰도 분석이므로, 가능하면 장기간의 강우자료를 보유한 지점에 대해 분석하여 보다 신뢰성 있는 결과를 얻는 것이 바람직하다. 따라서, 본 연구에서는 기상청 산하 서울관측소의 1961년부터 1999년까지 39년간의 자료를 이용하였다.

확률강우량 산정을 위하여 서울관측소의 지속기간별 연최대 강우량을 표 2와 같이 추출하였다. 이때 강우지속기간은 각각 10분, 1시간, 2시간, 4시간, 8시간, 12시간, 16시간, 20시간, 24시간의 총 9개 지속기간에 대하여 연최대 강우량자료를 추출하여 빈도해석의 기본자료로 사용하였다.

#### 3.2 확률강우량의 산정

표 2에 나타난 서울지점의 지속기간별 연최대 강우량에 대한 빈도해석을 재현기간 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 200년, 500년에 대해 실시하였으며, 빈도해석을 위하여 LN2, LN3, GA2, PT3, LP3, GUM, GEV, WKB4, WKB5의 9가지 분포형을 이용하였고, 매개변수 산정방법은 MOM, MML, PWM의 3가지 방법을 이용하였다. 따라서, 지속기간별로 총 23개의 조합이 발생하였으며(MOM과 MML의 경우 WKB4와 WKB5 제외), 적

합도 검정은  $\chi^2$  test 및 K-S test를 유의수준 5% 이내로 실시하여 유의수준 5%를 벗어나는 확률분포형 및 매개변수 산정방법은 적정분포형에서 기각하였다.

이상에서  $\chi^2$  test 및 K-S test에서 기각된 확률분포형 및 매개변수 산정방법은 표 3과 같으며, 기각되지 않은 확률강우량 산정결과 중 지속시간 1시간에 대해 정리한 것을 표 4에 나타내었다.

일반적으로 적용되는 수문량 산정방법과 마찬가지로 가장 적합한 수문량을 중앙치로 결정한다면 산정된 수문량의 값이 과다 혹은 과소 추정되는 것을 방지할 수 있다는 장점을 가지게 된다. 그러나 이 경우 수문량 산정치의 위험도가 증가하게 되므로 이를 감소시키기 위해 산정치에 여유고나 안전율 등의 개념을 적용하여 구조물 계획을 수립하게 된다. 따라서, 이와 같은 개념을 중시하는 경우의 확률강우량 산정치는 적합도 검정에 기각되지 않은 확률분포형에 의하여 산정된 확률강우량의 값 중에서 적절한 중앙치를 선택하는 것이 하나의 방법이라 할 수 있을 것이다.

다른 측면에서는 수공구조물이 타 구조물과는 달리 설계치를 상회하는 수문현상이 발생했을 경우 그로 인한 피해액은 매우 큰 영향을 가지고 있다. 이로 인해 수공구조물 설계의 기준이 되는 수문량의 결정시 가능하면 안전측면을 고려하여 비교적 큰 값을 택하는 경우도 있다. 이와 같은 개념을 중시할 경우에는 기각되지 않은 분포형에 의한 확률강우량 산정치중 가장 큰 값을 선택하는 것이 하나의 방법이라 할 수 있다. 그러나, 이 방법에 의하여 설계수문량을 결정할 경우에도 설계기준상 여기에 여유고를 적용하게 되므로 과다설계의 우려를 가지게 된다.

현재 우리나라에서 확률강우량을 산정하는 경우에는 대체적으로 강우 지속기간별로 적정한 확률분포형을 나열한 후, 각 지속기간에 대하여 전체적으로 적합도 검정 결과가 좋은 분포형을 선택해서, 이를 일정 지속기간별 적정 확률분포형으로 선정하고 있으며, 일반적으로 제1형 극치분포(GUM)가 우리나라 강우특성에 적합한 것으로 알려져 있다(건설교통부, 2000). 따라서, 본 연구에서도 제1형 극치분포를 적정분포형으로 선정하였으며, 매개변수 추정은 확률가중모멘트법(PWM)을 이용하였다.

상술한 바와 같이 적정 확률강우량 산정방법에

표 2. 서울지점의 지속기간별 연최대치 강우량(mm)

연 도	10분	1시간	2시간	4시간	8시간	12시간	16시간	20시간	24시간
1961	15.8	38.8	56.8	81.0	98.9	102.4	103.1	103.1	103.1
1962	8.4	17.0	24.2	38.7	65.2	70.2	71.9	81.8	74.7
1963	14.7	55.2	66.1	81.8	117.3	156.6	168.6	173.8	174.0
1964	33.0	116.0	51.7	91.9	132.1	133.1	133.1	133.1	126.0
1965	19.7	48.0	80.0	104.0	123.6	132.6	139.6	142.1	144.9
1966	29.0	83.0	113.0	177.4	197.2	204.8	214.7	224.4	226.3
1967	19.0	68.0	82.1	82.9	94.9	98.4	101.2	101.2	96.2
1968	16.0	65.3	87.4	96.6	125.8	150.3	167.6	171.8	149.3
1969	20.0	46.9	83.9	118.8	119.7	119.8	119.8	119.8	122.3
1970	23.0	51.0	77.2	93.2	144.2	162.6	190.0	191.8	164.8
1971	17.6	71.4	97.5	156.2	188.6	188.6	188.6	188.6	188.6
1972	13.0	56.8	84.7	129.9	212.0	270.4	340.4	387.8	273.2
1973	9.5	22.0	31.6	39.0	51.8	57.4	60.4	61.6	61.2
1974	14.0	39.6	47.2	58.9	99.7	116.3	116.4	120.3	84.3
1975	12.7	38.5	58.5	98.6	127.6	130.1	130.5	131.6	130.5
1976	17.5	42.9	43.3	59.4	94.8	96.4	97.0	112.3	96.2
1977	13.4	43.4	67.1	73.9	117.6	133.2	151.4	179.6	155.8
1978	14.0	27.4	49.2	80.5	143.2	174.7	202.0	226.5	194.6
1979	15.6	43.0	51.4	88.0	91.3	91.7	92.1	96.3	92.0
1980	10.2	28.9	43.5	58.5	84.4	108.0	120.3	128.4	131.0
1981	6.8	26.5	36.6	58.0	97.2	117.8	126.8	137.1	137.0
1982	18.5	47.5	57.0	85.3	104.0	104.2	107.7	115.4	106.8
1983	22.0	67.3	98.3	100.9	121.1	121.2	132.1	137.3	131.6
1984	22.0	59.5	91.9	153.5	199.5	234.2	248.6	267.7	268.2
1985	23.5	61.4	62.9	66.8	97.1	121.3	124.5	124.7	124.5
1986	20.0	46.2	57.2	91.6	145.8	147.1	147.8	147.8	147.8
1987	22.2	69.5	101.9	160.6	234.4	271.5	283.1	284.5	294.6
1988	12.0	24.3	27.8	53.6	74.9	89.0	100.0	102.2	101.6
1989	13.6	45.3	56.6	76.2	95.4	102.5	103.3	104.1	103.1
1990	19.5	59.6	79.9	106.0	165.9	203.1	234.1	270.6	247.5
1991	18.5	41.5	77.0	101.0	114.5	131.4	136.1	139.7	140.2
1992	20.0	54.7	81.3	109.7	127.8	145.3	151.5	154.7	153.3
1993	28.5	60.2	74.0	84.1	84.2	90.9	91.2	91.2	91.8
1994	11.0	37.6	58.1	68.4	75.9	88.4	93.2	94.4	79.4
1995	18.5	54.0	77.1	112.6	123.7	142.1	169.6	185.2	149.2
1996	22.7	37.1	60.9	75.2	125.2	157.7	167.8	168.6	168.6
1997	16.5	36.1	51.2	75.8	112.2	125.1	127.6	128.3	127.7
1998	22.2	62.8	99.9	156.4	182.1	231.8	285.2	332.1	332.8
1999	25.8	54.9	65.7	113.6	182.1	198.6	220.9	235.8	261.6

표 3. 적합도 검정 결과

지속기간	매개변수 추정법별 기각 분포형		
	MOM	MML	PWM
10분	LP3	LP3	LP3, WKB4
1시간	PE3, LP3	PE3, LP3	LP3
2시간	PE3, LP3	PE3, LP3	-
4시간	LP3	LP3	LP3
8시간	LP3	LP3	PE3, LP3, WKB4
12시간	LP3	LP3	LP3
16시간	LP3	LP3	-
20시간	-	-	-
24시간	-	-	-

표 4. 지속시간 1시간인 확률강우량의 산정 결과

지속 시간	매개변수 추정법	확률 분포형	빈도별 확률강우량(mm)								
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	500년
1시간	MOM	LN2	56.9	67.4	77.6	83.5	90.8	97.7	100.9	111.1	124.9
		LN3	56.0	66.9	77.9	84.3	92.6	100.4	104.2	116.2	132.7
		GA2	58.1	68.0	77.0	81.9	87.9	93.2	95.6	103.1	112.7
		PE3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	57.1	67.5	77.4	83.2	90.3	96.9	100.0	109.6	122.3
		GEV	55.9	66.6	77.4	83.9	92.3	100.2	104.0	116.3	133.5
	MML	LN2	57.6	68.7	79.4	85.7	93.6	100.9	104.4	115.3	130.2
		LN3	57.3	68.2	78.7	84.8	92.5	99.6	103.0	113.7	128.0
		GA2	58.0	67.8	76.6	81.5	87.4	92.6	95.0	102.4	111.8
		PE3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	57.6	68.1	78.2	84.0	91.3	97.9	101.1	110.8	123.7
		GEV	57.4	67.4	76.7	81.9	88.4	94.2	96.9	105.3	116.0
	PWM	LN2	56.8	67.3	77.3	83.2	90.5	97.3	100.5	110.6	124.2
		LN3	56.9	66.3	75.1	80.0	86.2	91.7	94.3	102.4	113.0
		GA2	57.3	66.3	74.5	79.0	84.4	89.2	91.5	98.2	106.8
		PE3	57.1	66.6	75.1	79.9	85.7	90.8	93.2	100.5	109.8
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	56.5	66.4	75.9	81.4	88.2	94.5	97.5	106.7	118.8
		GEV	56.9	66.4	75.3	80.2	86.3	91.8	94.4	102.1	112.1
		WKB4	54.8	65.3	76.3	82.9	91.4	99.5	103.4	115.8	133.0
	WKB5	53.7	63.4	74.7	82.0	92.2	102.5	107.8	125.8	153.9	

표 5. 적정분포형 선정방법

기 호	선 정 방 법
MAX	확률강우량 산정치중 최대치를 적정 확률강우량으로 선정
MED	확률강우량 산정치중 중앙치를 적정 확률강우량으로 선정
SEL	적정 확률분포형을 선정한 후, 그 분포형에 의한 확률강우량을 적정 확률강우량으로 선정

표 6. 선정방법별 확률강우량 산정치

지속 기간	구분	재현기간별 확률강우량(mm)								
		5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	500년
10분	MAX	22.8	26.7	30.3	32.5	35.1	37.5	38.7	42.2	46.9
	MED	22.7	25.6	28.2	29.7	31.7	33.3	34.0	36.3	39.1
	SEL	22.3	25.9	29.3	31.2	33.7	35.9	37.0	40.3	44.6
1시간	MAX	58.1	68.7	79.4	85.7	93.6	102.5	107.8	125.8	153.9
	MED	57.0	67.1	76.9	82.5	90.4	97.1	100.3	110.1	123.0
	SEL	56.5	66.4	75.9	81.4	88.2	94.5	97.5	106.7	118.8
2시간	MAX	90.1	104.8	119.9	128.7	139.5	149.5	154.4	169.5	189.8
	MED	88.4	100.1	109.8	114.1	120.0	125.1	127.5	134.4	143.1
	SEL	86.5	101.0	114.8	122.8	132.7	141.9	146.2	159.6	177.2
4시간	MAX	122.1	143.3	162.6	174.3	188.9	202.3	208.7	228.6	255.4
	MED	121.1	140.6	157.9	168.7	181.0	189.6	193.4	207.2	225.4
	SEL	120.1	140.7	160.4	171.8	186.0	199.0	205.1	224.2	249.4
8시간	MAX	159.2	186.1	210.4	223.2	240.9	258.0	266.2	291.8	326.1
	MED	157.7	182.0	203.9	216.5	232.0	245.9	252.4	269.5	291.0
	SEL	156.8	182.3	206.8	220.9	238.4	254.6	262.2	285.8	317.0
12시간	MAX	182.2	215.1	246.6	263.9	288.2	312.4	324.1	361.6	413.9
	MED	179.7	209.8	237.8	254.2	274.7	293.5	302.4	330.3	361.0
	SEL	179.4	210.2	239.7	256.7	277.9	297.3	306.5	335.0	372.7
16시간	MAX	201.5	240.8	282.6	310.0	346.3	381.5	398.9	455.9	538.8
	MED	197.1	234.8	270.2	290.6	316.1	339.6	350.8	385.3	431.1
	SEL	198.1	234.9	270.2	290.5	315.9	339.1	350.1	384.3	429.3
20시간	MAX	216.6	259.4	311.9	346.8	394.1	441.2	464.9	544.2	664.2
	MED	208.7	253.4	296.1	320.5	351.3	380.3	394.2	436.8	495.4
	SEL	212.1	253.3	292.9	315.6	344.0	370.0	382.4	420.6	471.0
24시간	MAX	233.1	282.2	345.5	389.9	451.4	514.1	546.2	656.0	828.6
	MED	221.8	274.5	326.4	356.1	394.1	429.6	446.7	501.0	575.8
	SEL	227.4	274.0	318.7	344.4	376.6	406.0	419.9	463.1	520.1

는 여러 가지가 있을 수 있으므로, 본 연구에서는 전술한 중앙치, 최대치, 선정치의 3가지 값에 대한 신뢰도분석을 실시하여 각각의 값이 가지는 위험도를 산정하고자 하였다. 이상의 3가지 값에 대해 요약하면 표 5와 같으며, 이와 같은 기준에 의해 선정된 지속기간별 확률강우량을 표 6에 나타내었다.

### 3.3 적정분포형 선정 결과에 대한 신뢰도 분석

3.2절에서 언급한 3가지 적정분포형 선정방법(MAX, MED, SEL)에 대한 각각의 위험도를 산정하여 확률강우량 산정시 신뢰도 분석을 실시하였다. 확률강우량의 신뢰도 분석은 대상 확률강우량

표 7. 지속시간에 대한 빈도별 신뢰도 산정 결과

지속 시간	구분	재현기간별 신뢰도(%)									평 균 (%)
		5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	500년	
10분	MAX	84.1	99.0	98.9	93.7	98.2	97.9	97.8	97.4	96.9	96.0
	MED	69.2	30.2	29.5	31.5	39.0	39.4	38.6	39.7	40.5	39.7
	SEL	6.8	60.3	82.6	83.4	86.9	87.5	88.1	88.9	89.4	74.9
1시간	MAX	88.1	92.9	97.2	96.3	92.4	94.3	96.6	98.9	99.6	95.1
	MED	57.1	56.4	55.6	52.0	61.4	59.1	58.3	54.8	51.2	56.2
	SEL	39.4	34.1	28.4	29.5	30.9	33.4	34.8	36.3	37.1	33.8
2시간	MAX	95.7	98.4	97.8	97.3	96.6	96.1	96.0	95.6	95.4	96.5
	MED	60.3	37.8	31.9	26.4	27.4	28.8	29.1	30.2	31.5	33.7
	SEL	8.4	56.4	77.6	81.3	83.7	85.1	85.3	86.0	86.4	72.2
4시간	MAX	91.5	98.0	96.2	96.8	97.1	97.0	96.9	96.4	95.9	96.2
	MED	54.8	52.8	41.7	53.6	53.6	38.2	31.9	30.2	31.9	43.2
	SEL	12.9	56.0	80.0	85.8	39.1	90.5	40.5	90.7	90.3	65.1
8시간	MAX	93.5	99.9	99.1	96.0	95.2	95.8	96.0	96.3	96.3	96.5
	MED	53.6	50.0	38.6	42.1	43.6	44.4	44.4	34.8	28.1	42.2
	SEL	22.7	59.1	81.6	86.0	87.5	88.5	88.5	88.5	87.9	76.7
12시간	MAX	96.2	99.1	97.7	95.5	96.6	98.0	98.4	99.1	99.3	97.8
	MED	52.8	46.4	40.9	44.8	48.4	51.2	52.4	56.0	46.4	48.8
	SEL	44.4	53.6	60.0	63.3	65.5	67.0	67.4	68.1	68.5	62.0
16시간	MAX	97.3	95.8	94.8	96.6	97.6	98.2	98.3	98.7	98.9	97.4
	MED	53.2	47.6	41.3	40.5	39.4	39.7	39.7	40.1	40.1	42.4
	SEL	69.2	48.8	41.3	39.7	39.0	38.6	38.6	38.6	38.2	43.6
20시간	MAX	97.9	92.9	95.5	96.9	97.6	98.0	98.1	98.4	98.6	97.1
	MED	45.6	53.6	47.6	44.4	42.1	41.3	40.9	39.7	39.0	43.8
	SEL	79.4	52.8	34.1	30.2	28.1	27.4	27.1	26.4	26.4	36.9
24시간	MAX	97.9	93.2	94.9	96.4	97.3	97.7	97.8	98.1	98.3	96.8
	MED	47.2	56.8	52.8	48.0	44.8	43.3	42.5	40.9	39.7	46.2
	SEL	83.4	53.6	28.8	24.5	22.7	21.8	21.5	21.2	21.5	33.2
평 균	MAX	93.6	96.6	96.9	96.2	96.5	97.0	97.3	97.7	97.7	96.6
	MED	54.9	48.0	42.2	42.6	44.4	42.8	42.0	40.7	38.7	44.0
	SEL	40.7	52.7	57.2	58.2	53.7	60.0	54.6	60.5	60.6	55.4

의 비초과확률  $P(X \leq x)$ 에 대한 산정을 통해 실시하였으며, 신뢰도로 이용된 비초과확률을 정리해서 표 7에 나타내었다.

표 7를 통해 분석해보면 지속시간 및 재현기간에 따라 조금씩의 편차는 보이지만, 전체적으로 판단해보면 최대치(MAX)는 96.6%의 신뢰도, 즉 3.4%의 위험도를 갖는 확률강우량을 산정한 것으로 나타났으며, 중앙치(MED)의 경우는 44.0%, 선택치(SEL)의 경우는 55.4%의 신뢰도를 가지는 확률강우량을 산정함을 알 수 있다.

따라서, 현재 일반적으로 적용되는 확률강우량의

산정방법이 선택치를 따른다고 판단할 때, 확률강우량은 50%를 약간 상회하는 신뢰도를 가지는 값들이 산정되고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 확률강우량의 특성 분석

강우 지속기간별, 재현기간별로 산정된 확률강우량의 값은 당연히 서로 차이를 가지고 있게 되며, 상대적인 비교가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 확률강우량의 통계특성을 분석하기 위해서 산정된 지속시간 및 재현기간별 확률강우량을 표준화(standardization) 시켰으며, 표 4에 나타내었던 지속시



표 8. 지속시간 1시간인 확률강우량의 표준화 결과

지속 시간	매개변수 추정법	확률 분포형	표준화된 빈도별 확률강우량(mm)								
			5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	500년
1 시간	MOM	LN2	0.091	0.407	0.637	0.592	0.430	0.375	0.343	0.264	0.198
		LN3	-0.727	0.000	0.849	1.023	1.076	1.051	1.049	0.972	0.870
		GA2	1.181	0.896	0.212	-0.269	-0.610	-0.751	-0.792	-0.847	-0.852
		GA3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	0.272	0.489	0.495	0.431	0.251	0.175	0.150	0.056	-0.026
	GEV	-0.817	-0.244	0.495	0.807	0.968	1.001	1.006	0.985	0.938	
	MML	LN2	0.727	1.467	1.911	1.776	1.435	1.176	1.092	0.847	0.654
		LN3	0.454	1.059	1.415	1.292	1.040	0.851	0.792	0.625	0.465
		GA2	1.090	0.733	-0.071	-0.484	-0.789	-0.901	-0.921	-0.944	-0.930
		GA3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	0.727	0.978	1.062	0.861	0.610	0.426	0.385	0.222	0.095
	GEV	0.545	0.407	0.000	-0.269	-0.430	-0.501	-0.514	-0.541	-0.568	
	PWM	LN2	0.000	0.326	0.425	0.431	0.323	0.275	0.257	0.194	0.138
		LN3	0.091	-0.489	-1.132	-1.292	-1.220	-1.126	-1.071	-0.944	-0.827
		GA2	0.454	-0.489	-1.557	-1.830	-1.865	-1.752	-1.670	-1.527	-1.360
		GA3	0.272	-0.244	-1.132	-1.346	-1.399	-1.352	-1.306	-1.207	-1.102
		LP3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GUM	-0.272	-0.407	-0.566	-0.538	-0.502	-0.426	-0.385	-0.347	-0.327
		GEV	0.091	-0.407	-0.991	-1.184	-1.184	-1.101	-1.049	-0.985	-0.904
		WKB4	-1.817	-1.304	-0.283	0.269	0.646	0.826	0.878	0.916	0.895
	WKB5	-2.816	-2.852	-1.415	-0.215	0.933	1.577	1.820	2.304	2.695	

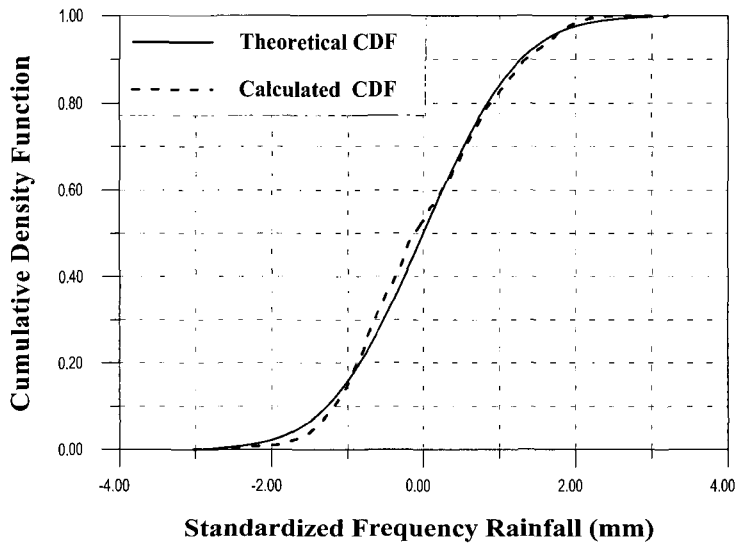


그림 1. CDF(Cumulative Density Function) 곡선의 비교

간 1시간에 대해 산정된 확률강우량의 표준화 결과를 표 8에 수록하였다.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

여기서,  $z$ 는 표준화된 확률강우량,  $x$ 는 확률강우량,  $\mu$ 는 평균,  $\sigma$ 는 표준편차를 의미한다.

표 8과 같이 나타낸 표준화된 확률강우량의 통계특성이 정규분포를 따른다면 신뢰도 분석 및 위험도 산정에 유용하게 이용될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 표준화된 확률강우량의 특성을 파악하기 위하여 CDF(Cumulative Density Function)를

작성하였다. CDF의 작성을 위하여 식(2)와 같은 Hazen plotting position 공식을 사용하였으며, 그림 1에 CDF 곡선을 도시하였다.

$$F = \frac{2m-1}{2n} \quad (2)$$

여기서,  $F$ 는 누가확률밀도함수,  $m$ 은 오름차순으로 정리된 자료의 순위,  $n$ 은 자료의 수를 의미한다.

그림 1에 볼 수 있는 바와 같이, 표준화된 확률강우량의 CDF는 정규분포와 근사(farely fitting)함을 알 수 있으며, 이것은 확률강우량의 산정치를 표준화했을 경우 표본의 통계특성이 정규분포를 이

표 9. 지속기간 및 재현기간별 변동계수

지속기간 \ 재현기간	지속기간 및 재현기간별 변동계수									평균
	5년	10년	20년	30년	50년	80년	100년	200년	500년	
10분	0.009	0.015	0.026	0.034	0.044	0.054	0.059	0.073	0.092	0.0451
1시간	0.019	0.018	0.018	0.023	0.031	0.042	0.047	0.066	0.095	0.0398
2시간	0.013	0.019	0.037	0.049	0.065	0.080	0.087	0.110	0.141	0.0667
4시간	0.007	0.010	0.015	0.019	0.024	0.030	0.033	0.044	0.058	0.0266
8시간	0.007	0.007	0.012	0.016	0.021	0.026	0.029	0.037	0.050	0.0227
12시간	0.008	0.010	0.017	0.021	0.026	0.032	0.035	0.044	0.057	0.0277
16시간	0.012	0.014	0.025	0.032	0.042	0.052	0.057	0.073	0.096	0.0447
20시간	0.018	0.017	0.030	0.041	0.055	0.069	0.076	0.100	0.133	0.0598
24시간	0.024	0.021	0.038	0.051	0.070	0.089	0.099	0.130	0.175	0.0774
평균	0.0130	0.0145	0.0242	0.0317	0.0420	0.0526	0.0580	0.0752	0.0996	0.0456

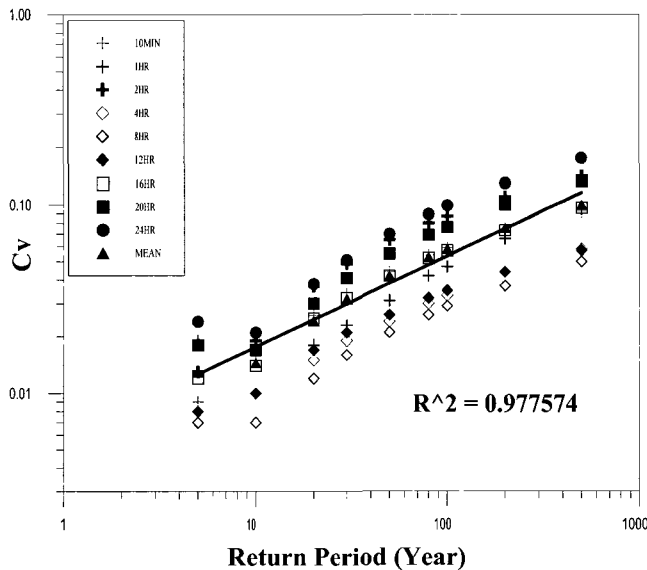


그림 2. 지속기간 및 재현기간별 변동계수

룬다는 것을 의미한다. 따라서, 이상과 같은 결과로부터 확률강우량 산정시 정규분포곡선을 이용하여 신뢰도분석 개념의 도입이 가능해진다.

### 3.5 변동계수를 이용한 신뢰도 분석

3.4절에서 분석된 확률강우량은 표준화된 확률강우량을 이용한 것이며, 이의 적용을 위해서는 빈도해석된 확률강우량의 표준편차( $\sigma$ )와 평균( $\mu$ )의 비로부터 식(3)과 같이 구해지는 변동계수(coefficient of variation, Cv)를 알아야 한다. 따라서 본 연구에서는 지속기간 및 재현기간별 변동계수를 식(3)을 이용하여 표 9와 같이 산정하였으며, 이를 그림 2에 도시하였다.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

표 9와 그림 2를 통해서 변동계수는 지속기간과 상관없이 무작위한 특성을 보이지만, 재현기간별로는 재현기간이 증가함에 따라 변동계수도 증가하고 있음을 알 수 있으며, 지속기간 및 재현기간 변동계수의 총 평균은 0.0456으로 나타났다.

이와 같이 분석된 변동계수를 이용하여 다음과 같이 신뢰도 개념을 도입한 확률강우량을 산정할 수 있다.

- ① 적합도 검정 등에 의하여 기각되지 않고 선정된 모든 적정분포를 이용하여 확률강우량 산정하고 이를 크기 순으로 나열한다.
- ② 크기 순으로 나열된 확률강우량의 중앙치( $\mu$ )를 선택한 후, 변동계수( $C_v$ )를 곱하여 표준편차( $\sigma = \mu \times C_v$ )를 구한다.
- ③ 계획구조물의 중요도에 따라 책정한 위험도에 해당하는 표준정규변수( $z$ )를 정규분포표에서 찾는다.
- ④ 식(4)를 이용해서 적정 위험도를 갖는 확률강우량( $x$ )을 산정한다.

$$x = \mu + z \cdot \sigma \quad (4)$$

이와 같은 절차를 통해 적정 위험도를 가지는 확률강우량을 산정할 수 있으므로, 본 연구에서 제시한 방법은 추후 신뢰도 개념을 도입한 확률강우량 산정시 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

다만 본 연구에서 제시한 확률강우량의 분포형

(정규분포) 및 변동계수는 서울관측소의 39년간 강우자료를 분석하여 산정한 것이므로, 추후 좀더 다양한 우량관측소, 강우지속기간 및 자료기간에 대한 분석을 통하여 보다 신뢰성 있는 기준의 제시가 필요할 것이다.

## 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 확률강우량 산정과정에 발생할 수 있는 불확실성에 대한 신뢰도 분석을 실시하였으며, 이를 위해 서울관측소의 39개년(1961년~1999년) 강우량자료를 이용하였다.

빈도해석을 위한 확률분포형으로는 적용되는 9가지 확률분포형을 사용하였으며, 매개변수의 추정에는 모멘트법, 최우도법 및 확률가중모멘트법을 적용하였고, 이때 사용한 강우량 자료의 강우지속기간은 10분~24시간, 재현기간은 5~500년까지 9개 빈도를 적용하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 확률강우량 산정방법을 최대치(MAX), 중앙치(MED), 선택치(SEL)의 3가지로 구분하고, 각각의 방법으로 산정된 확률강우량의 신뢰도를 분석하였으며, 평균적으로 각각 96.6%, 44.0%, 55.4%의 신뢰도를 가지는 확률강우량을 산정함을 알 수 있었다.
- 2) 확률강우량의 지속기간 및 재현기간별 변화양상의 비교 및 판단을 위하여 확률강우량 산정치를 표준화하였고, 표준화된 자료에 대한 누가확률밀도함수의 도시를 통해 표준화된 확률강우량은 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.
- 3) 산정된 확률강우량의 강우지속기간 및 재현기간별 변동계수를 산정하였으며, 재현기간이 증가할 때는 증가하지만 지속기간과는 상관성이 없음을 알 수 있었다. 이와 같은 변동계수를 이용하여 확률강우량의 산정시 신뢰도 분석 개념의 도입시에는, 확률강우량 중앙값에 변동계수를 적용하여 표준편차를 구한 후 적정 위험도의 표준정규변수를 적용함으로써 적정 신뢰도를 가지는 확률강우량을 산정할 수 있음을 알 수 있었다.

이상과 같은 분석결과로부터 확률강우량의 산정시 신뢰도 분석 개념의 도입이 가능함을 확인할 수 있었으며, 추후 신뢰도 개념을 도입한 확률강우량

개념의 반영이 가능할 것으로 판단되었다. 본 연구에서 제시한 결과는 서울관측소의 한정된 자료를 이용하여 분석된 것이므로 추후 좀더 다양한 우량관측소, 강우지속기간 및 자료기간에 대한 분석을 통하여 보다 신뢰성 있는 기준을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 건설교통부(2000). 1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서 : 제1권 한국 확률강우량도의 작성, pp. 87.
- 김문모, 이원환, 조원철(1993). AFOSM 방법에 의한 하수관망의 신뢰성 분석, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제13권, 제2호, pp. 201~209.
- 심명필, 이봉희, 김경탁(1997). 저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제5호, pp. 527~537.
- 한건연, 이종석, 김상호(1997a). 댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: I. 이론 및 모형. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제6호, pp. 675-686.
- 한건연, 이종석, 김상호(1997b). 댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: II. 적용 예. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제6호, pp. 687-694.
- 이희승, 심순보, 고석구(1992). 신뢰도를 고려한 다목적 저수지의 월별 운영율, 한국수문학회지, 한국수문학회, 제25권, 제1호, pp. 75~82.
- 한건연, 김상호(1997). 낙동강에서의 신뢰도해석에 의한 수질예보시스템의 개발, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 411-420.
- Ang, A. H-S. and Tang, W. H.(1984). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design : Vol II Decision, Risk, and Reliability*. John Wiley & Sons.
- Burnham, M. W. and Davis, D. W.(1990). Effects of data errors on computed steady flow profiles. *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 7, pp. 914-929.
- Haosfer, A. M.(1974). Reliability Index and Failure Probability. *J. of Structural Mechanics*, Vol. 3, No.1, pp. 25-27.
- Klemes, V.(1969) Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input. *J. of Hydrology*, Vol. 13, No. 2, pp. 198-216.
- Rackwitz, R.(1976). Practical Probabilistic Approach to Design. *Bulletin 112, Comite European du Beton*, Paris, France.
- Votruba, L. and Broza, V.(1989). *Water management in reservoirs*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Wood, E. F.(1976). An Analysis of the Effects of Parameter Uncertainty in Deterministic Hydrologic Models, *Water Resources Research*, Vol. 12, No. 5, pp. 925-932.