

# 인천지방 확률강우강도식(인천대공식)의 산정

최계운\*, 안경수\*, ○권영식\*\*, 김현태\*\*

## 1. 서 론

확률강우량은 도시하수도 계획에 있어서 우수유출량 산정이나 소구역의 배수계획, 중소하천의 홍수량의 추정, 하천의 내수배제 등 각종 토목공사계획에 큰 영향을 미친다. 확률강우량산정은 통상적으로 기존에 제안되어 있는 공식을 사용하여 구하거나 과거의 강우자료를 수집하고 이를 이용해서 확률분석을 직접 실시하여 구하게 된다.

후자와 같이 과거자료를 분석하여 사용하는 것은 큰 문제가 되지 않지만 항상 이와 같은 수문분석을 수행할 수 없으므로 여러 분석방법을 통하여 각 지역마다 미리 제안되어 있는 공식을 많이 사용하게 된다. 그 동안 인천지방의 확률강우강도 공식은 최영박과 박종훈(1966), 이원환(1967), 최영박과 이선근(1968), 이원환과 변근주(1969), 이원환(1980) 등에 의하여 제안되었으며, 최근에 들어서는 이원환(1980)공식이 많이 사용되고 있다. 그러나, 이 공식이 20여년전에 제안된 것으로 현재의 강우사상을 적절히 표현하지 못하는 단점을 안고 있다. 또한 최근에는 엘리뇨, 라니냐 등의 이상 기후 변화가 발생하고 있어 과거와 다른 강우특성을 가지게 되는데, 오랜 전의 강우기록을 기준으로 구한 강우강도식을 그대로 이용하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다. 또한, 현재 사용되고 있는 이원환공식은 하나의 형태가 아닌 지속기간별로 Japanese형, Talbot형, Sherman형 등 3개의 공식을 같이 사용하고 있어, 재현기간 5년의 5분지속기간의 강우강도가 30년의 5분지속기간의 강우보다 더 크게 나타나고, 재현기간 10년의 5분지속기간의 강우강도가 30년, 50년, 70년의 것보다 더 크고, 재현기간 20년의 5분지속기간 강우강도가 200년의 것보다 더 크게 나타나는 등 문제점이 지적되고 있다. 따라서 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 최근의 강우특성을 반영할 수 있도록 새로운 강우강도식 제안을 위한 강우분석을 실시하였다.

## 2. 확률강우량의 산정

수문사상의 통계학적인 처리를 위한 기본자료는 다년간의 정확한 실측 기록이 필요하다. 또 이것은 합리적인 방법으로 통계이론을 적용할 수 있도록 자료를 정리하는 것이 필요하다. 최근의 확률강우량 산정에 있어서는 매년의 최대치를 이용하는 방법이 널리 쓰이고 있으며 본 연구에서도 이 방법을 채택하였다. 본 연구에서는 인천기상대를 직접 방문하여 강우자기기록지를 확인하여 지속기간 10분부터 6시간까지 최대강우량을 찾는 작

\* 인천대학교 토목공학과 교수

\*\* 인천대학교 토목공학과 석사과정

업을 수행하였다. 10분, 1시간, 6시간 최대강우량의 값은 기상연보에서 제시된 값과 비교하여 가능한 한 기상연보에 제시된 값을 수용토록 하였으나 현저하게 차이가 발생하는 경우 인천기상대에서 강우자기기록지를 확인한 값을 사용하였으며 그 밖의 값은 강우자기기록지에서 확인된 자료를 활용하였다.

그 동안의 확률강우량은 강우가 무작위 사상이라는 가정아래 정규분포 등 몇 개의 확률분포의 매개변수를 추정하고 추정된 매개변수가 검정한계에 있는 경우 적절한 확률분포로 판정하여 판정된 분포에 의하여 확률강우량을 산정하는 방법을 채택하였다. 그러나, 확률분포형의 매개변수를 추정하는 방법도 모멘트법(method of moments), 최우도법(method of maximum likelihood), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)의 3종류가 있어 선정방법에 따라 그 결과가 상이하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 3개의 매개변수 추정법을 모두 사용하여 그 값을 확률분포의 적합도 검정에 사용하였다. 확률분포의 적합도는  $\chi^2$ -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정과 Cramer Von Mises 검정 등 3가지 방법을 사용하여 신뢰도를 높이고자 하였으며, 수문자료 해석에 일반적으로 사용되는 확률분포형으로서 Gamma 분포형, GEV(General Extreme Value)분포형, Gumbel 분포형, Log-Gumbel 분포형, Log-Normal 분포형, Log-Pearson type III 분포형, Weibull 분포형, Wakeby 분포형 등을 포함하고 있다.

본 연구에서는 적합도 검정에 Chi-square 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정방법으로 적합도 검정을 실시하였다.

위의 과정을 거쳐 적합도 검정에서 조건을 만족하고 실제 강우 자료와 전체적인 개형 비교를 해보았을 때 가장 잘 일치하면서 모든 지속기간에 대해 확률강우량 분석이 제대로 이루어지고 있는 확률가중 모멘트법의 2변수 Log-Normal 분포를 최적 확률 분포형으로 채택하였다. 채택된 분포형의 빈도별 지속기간별 확률강우량을 보면 표 1과 같다.

표 1 인천지방의 빈도별 지속기간별 확률강우량

지속시간 (분)	재 현 기 간 별 강 우 량 (mm)												
	2년	3년	5년	10년	20년	30년	50년	70년	80년	100년	200년	300년	500년
10	14.8	16.8	19.1	21.9	24.4	25.9	27.7	28.9	29.4	30.1	32.5	33.9	35.7
20	22.3	25.9	29.8	34.8	39.4	42.1	45.5	47.6	48.5	50.0	54.5	57.1	60.5
30	30.2	35.1	40.5	47.2	53.6	57.3	61.9	64.9	66.1	68.1	74.3	77.9	82.6
40	31.8	37.1	42.9	50.1	57.0	61.0	65.9	69.2	70.5	72.6	79.3	83.3	88.3
50	36.1	42.1	48.9	57.3	65.4	70.0	75.8	79.6	81.1	83.6	91.5	96.2	102.1
60	39.9	46.8	54.5	64.2	73.5	78.8	85.5	89.9	91.7	94.6	103.8	109.2	116.1
90	50.2	59.0	69.0	81.5	93.6	100.5	109.2	115.0	117.3	121.1	133.1	140.2	149.3
120	58.2	69.3	81.9	97.9	113.4	122.4	133.8	141.4	144.4	149.5	165.4	174.8	186.9
180	67.8	80.4	94.6	112.7	130.1	140.3	153.0	161.5	164.9	170.5	188.2	198.7	212.2
240	75.9	90.1	106.0	126.3	145.9	157.2	171.6	181.0	184.8	191.2	211.0	222.9	237.9
300	81.5	96.2	112.7	133.5	153.6	165.2	179.8	189.4	193.3	199.7	219.8	231.7	247.0
360	87.3	103.1	121.0	143.6	165.4	178.0	193.9	204.4	208.6	215.6	237.5	250.5	267.1

### 3. 확률강우강도식의 산정

재현기간에 따라 강우강도와 지속기간의 관계를 나타내는 확률강우강도식은 다음과 같은 대표적인 경험공식의 유형이 있다.

- (1) Talbot 형 :  $I = \frac{a}{t + b}$
- (2) Sherman 형 :  $I = \frac{a}{t^n}$
- (3) Japanese 형 :  $I = \frac{a}{\sqrt{t + b}}$
- (4) 통합형 I :  $I = \frac{a}{t^n + b}$
- (5) 통합형 II :  $I = \frac{a}{(t + b)^n}$

여기서, I는 강우강도(mm/hr), t는 강우지속기간(min), a, b 및 n은 지역에 따라 달라지며 회귀분석에 의하여 결정되는 상수들이다.

본 연구에서는 강우지속기간 10분부터 6시간까지의 강우지속기간을 기준으로 분석한 결과와, 10분부터 2시간까지의 단기 지속기간과 2시간이후부터 6시간까지의 장기지속기간으로 구분하여 분석한 결과를 비교하였다.

### 3.1. 6시간 강우지속기간의 확률강우자료를 이용한 강우강도식의 유도

2절에서 추정한 인천지방의 강우지속기간별 확률강우량을 이용하여 6시간동안의 강우지속기간에 대한 확률강우강도식을 구하면 표 2와 같다.

Talbot형, Sherman형, Japanese형은 최소자승법을 이용하여 구하였으며, 통합형 I 과 통합형 II는 최소자승법과 시산법을 이용하여 구하였다. 괄호안의 숫자는 다음과 같이 표현되는 평균제곱근오차를 나타낸다.

$$\text{평균제곱근오차} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}}$$

여기서, X는 구해진 공식에 의하여 산출된 강우강도이며  $\bar{X}$ 는 빈도분석에 의하여 구한 확률강우강도이고 N은 각 재현기간별 강우지속기간의 개수이다.

표 2를 살펴보면 5가지 공식 모두 재현기간이 증가할수록 평균제곱근오차가 증가하고 있으나, 통합형 I 과 통합형 II의 평균제곱근오차가 다른 3가지 공식보다 현저히 작음을 알 수 있다. 따라서 6시간 강우지속기간 자료를 이용한 분석결과는 통합형 I 과 통합형 II가 나머지 3가지 공식보다 인천지방의 강우강도공식으로 적절한 것으로 판단된다.

### 3.2. 2시간 단기지속기간 확률강우자료를 이용한 강우강도식의 유도

빈도분석에 의하여 산출된 확률강우량에 접근되는 공식을 산정하기 위하여 6시간의 강우지속기간을 2시간의 단기지속기간과 2시간 이상의 장기지속기간으로 구분하여 공식을 구하고 단기강우강도공식과 6시간까지 확장검토한 평균제곱근오차를 구해보면 표 3과 같다.

표 3에서 보면 단기강우강도공식의 평균제곱근오차는 재현기간이 증가할 수록 증가함을 알 수 있고 이는 6시간의 전기간 확률강우자료를 이용한 결과와 동일한 경향을 보여주고 있다.

표 2 인천지방 전 지속기간에 대한 재현기간별 확률강우강도식

재현기간	Talbot형	Sherman형	Japanese형	통합형 I	통합형 II
2년	$I = \frac{5384}{59.85 + t}$ (4.53)	$I = \frac{317}{t^{0.51}}$ (3.04)	$I = \frac{298}{\sqrt{t} - 0.08}$ (2.92)	$I = \frac{753}{t^{0.654} + 3.97}$ (1.336)	$I = \frac{493}{(t + 8.11)^{0.592}}$ (1.342)
3년	$I = \frac{6476}{63.41 + t}$ (4.99)	$I = \frac{355}{t^{0.50}}$ (3.81)	$I = \frac{356}{\sqrt{t} + 0.06}$ (3.49)	$I = \frac{951}{t^{0.663} + 4.80}$ (1.575)	$I = \frac{591}{(t + 9.65)^{0.593}}$ (1.574)
5년	$I = \frac{7712}{66.59 + t}$ (5.59)	$I = \frac{397}{t^{0.49}}$ (4.56)	$I = \frac{422}{\sqrt{t} + 0.19}$ (4.02)	$I = \frac{1149}{t^{0.666} + 5.36}$ (1.866)	$I = \frac{687}{(t + 10.66)^{0.591}}$ (1.871)
10년	$I = \frac{9300}{70.05 + t}$ (6.30)	$I = \frac{449}{t^{0.48}}$ (5.55)	$I = \frac{506}{\sqrt{t} + 0.34}$ (4.73)	$I = \frac{1422}{t^{0.671} + 6.08}$ (2.251)	$I = \frac{814}{(t + 11.91)^{0.59}}$ (2.252)
20년	$I = \frac{10882}{73.47 + t}$ (6.83)	$I = \frac{495}{t^{0.47}}$ (6.64)	$I = \frac{589}{\sqrt{t} + 0.48}$ (5.53)	$I = \frac{1758}{t^{0.681} + 7.14}$ (2.651)	$I = \frac{955}{(t + 13.59)^{0.592}}$ (2.652)
30년	$I = \frac{11787}{74.95 + t}$ (7.20)	$I = \frac{522}{t^{0.47}}$ (7.21)	$I = \frac{637}{\sqrt{t} + 0.54}$ (5.96)	$I = \frac{1936}{t^{0.684} + 7.54}$ (2.896)	$I = \frac{1030}{(t + 14.20)^{0.592}}$ (2.895)
50년	$I = \frac{12948}{76.88 + t}$ (7.62)	$I = \frac{554}{t^{0.47}}$ (7.99)	$I = \frac{697}{\sqrt{t} + 0.61}$ (6.55)	$I = \frac{2186}{t^{0.689} + 8.16}$ (3.227)	$I = \frac{1131}{(t + 15.14)^{0.593}}$ (3.22)
70년	$I = \frac{13723}{78.12 + t}$ (7.89)	$I = \frac{575}{t^{0.46}}$ (8.46)	$I = \frac{738}{\sqrt{t} + 0.66}$ (6.89)	$I = \frac{2341}{t^{0.691} + 8.48}$ (3.424)	$I = \frac{1195}{(t + 15.67)^{0.593}}$ (3.424)
80년	$I = \frac{14028}{78.50 + t}$ (8.03)	$I = \frac{584}{t^{0.46}}$ (8.64)	$I = \frac{754}{\sqrt{t} + 0.68}$ (7.02)	$I = \frac{2393}{t^{0.691} + 8.54}$ (3.506)	$I = \frac{1218}{(t + 15.79)^{0.593}}$ (3.507)
100년	$I = \frac{14558}{79.43 + t}$ (8.16)	$I = \frac{597}{t^{0.46}}$ (9.05)	$I = \frac{781}{\sqrt{t} + 0.72}$ (7.36)	$I = \frac{2555}{t^{0.696} + 9.05}$ (3.685)	$I = \frac{1274}{(t + 16.43)^{0.595}}$ (3.677)
200년	$I = \frac{16197}{81.74 + t}$ (8.70)	$I = \frac{639}{t^{0.45}}$ (10.12)	$I = \frac{866}{\sqrt{t} + 0.81}$ (8.17)	$I = \frac{2938}{t^{0.702} + 9.88}$ (4.147)	$I = \frac{1421}{(t + 17.64)^{0.597}}$ (4.141)
300년	$I = \frac{17184}{83.10 + t}$ (8.99)	$I = \frac{663}{t^{0.45}}$ (10.74)	$I = \frac{917}{\sqrt{t} + 0.86}$ (8.63)	$I = \frac{3169}{t^{0.705} + 10.35}$ (4.388)	$I = \frac{1509}{(t + 18.35)^{0.597}}$ (4.386)
500년	$I = \frac{18436}{84.57 + t}$ (9.42)	$I = \frac{695}{t^{0.45}}$ (11.55)	$I = \frac{982}{\sqrt{t} + 0.92}$ (9.26)	$I = \frac{3477}{t^{0.709} + 10.94}$ (4.78)	$I = \frac{1620}{(t + 19.12)^{0.598}}$ (4.777)
평균제곱근 오차의 합	(94.25)	(97.36)	(80.53)	(39.732)	(39.718)

### 3.3. 인천지방 강우강도공식의 선정

앞절에서 검토한 바와 같이 통합형이 Talbot형, Sherman형, Japanese형보다 인천지방 강우형태를 잘 나타내고 있으므로, 통합형을 기준으로 인천지방강우강도식을 선정하고

표 3 인천지방 단기 지속기간에 대한 재현기간별 확률강우강도식

지속기간	통합형 I	통합형 II	지속기간	통합형 I	통합형 II
2년	$I = \frac{660}{t^{0.627} + 3.17}$ (1.35)	$I = \frac{387}{(t + 5.40)^{0.539}}$ (1.48)	70년	$I = \frac{1652}{t^{0.620} + 5.26}$ (3.66)	$I = \frac{711}{(t + 8.38)^{0.484}}$ (4.39)
3년	$I = \frac{829}{t^{0.635} + 3.88}$ (1.59)	$I = \frac{450}{(t + 6.46)^{0.535}}$ (1.76)	80년	$I = \frac{1671}{t^{0.618} + 5.23}$ (3.75)	$I = \frac{720}{(t + 8.38)^{0.482}}$ (4.54)
5년	$I = \frac{936}{t^{0.624} + 3.92}$ (1.93)	$I = \frac{491}{(t + 6.57)^{0.519}}$ (2.18)	100년	$I = \frac{1792}{t^{0.624} + 5.61}$ (3.91)	$I = \frac{746}{(t + 8.80)^{0.483}}$ (4.68)
10년	$I = \frac{1113}{t^{0.621} + 4.24}$ (2.34)	$I = \frac{553}{(t + 7.01)^{0.507}}$ (2.73)	200년	$I = \frac{1981}{t^{0.622} + 5.84}$ (4.45)	$I = \frac{795}{(t + 9.11)^{0.475}}$ (5.41)
20년	$I = \frac{1323}{t^{0.623} + 4.77}$ (2.79)	$I = \frac{616}{(t + 7.76)^{0.499}}$ (3.29)	300년	$I = \frac{2084}{t^{0.620} + 5.94}$ (4.75)	$I = \frac{821}{(t + 9.26)^{0.47}}$ (5.84)
30년	$I = \frac{1428}{t^{0.622} + 4.92}$ (3.06)	$I = \frac{649}{(t + 7.97)^{0.495}}$ (3.59)	500년	$I = \frac{2241}{t^{0.620} + 6.15}$ (5.17)	$I = \frac{857}{(t + 9.44)^{0.465}}$ (6.44)
50년	$I = \frac{1588}{t^{0.624} + 5.26}$ (3.41)	$I = \frac{694}{(t + 8.39)^{0.49}}$ (4.07)	합계	(42.16)	(50.40)

자 하였다. 앞절에서 구한 강우강도식들의 그래프를 보면 그림 1과 같다. 장기강우강도를 단기 지속기간까지 확장검토 해 보았을 때 평균제공근오차는 상당히 증가하므로 비교에서 제외시켰다.

통합형 II의 6시간에 대한 강우강도공식의 평균제공근 오차가 가장 적지만 강우강도식을 사용하여 계산된 강우강도가 확률강우강도보다 작은 값이 많아 과소산정하는 경우가 많고, 그림 1에서 보는 바와 같이 통합형 I의 단기 지속기간의 공식을 장기 지속기간까지 확장검토한 공식이 평균제공근오차는 약간 커지지만 확률강우강도보다 작은 값이 제일 작아 안정성을 고려하는 측면에서 인천지방의 강우강도공식 가장 적합하다고 판단된다. 이와 같이 결정된 강우강도식의 평균제공근오차와 현행 사용되고 있는 강우강도식의 평균제공근오차를 비교해 보면 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 모든 재현기간에 있어서 본 논문에서 결정된 강우강도공식의 평균제공근오차가 과거공식에 비하여 상당히 작음을 알 수 있다.

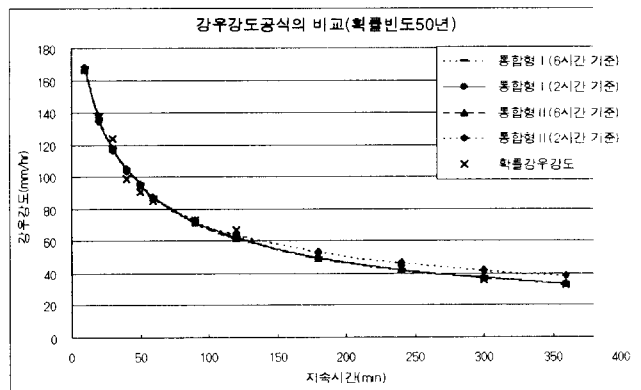


그림 1 강우강도의 비교(확률빈도 50년)

결정된 강우강도식의 평균제공근오차와 현행 사용되고 있는 강우강도식의 평균제공근오차를 비교해 보면 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 모든 재현기간에 있어서 본 논문에서 결정된 강우강도공식의 평균제공근오차가 과거공식에 비하여 상당히 작음을 알 수 있다.

표 4 결정된 강우강도식과 현행 사용강우강도식의 평균제곱근 오차

재현기간	2년	3년	5년	10년	20년	30년	50년	70년	100년	200년	300년	500년
현행 사용 강우강도	6.61	5.97	5.53	5.67	7.15	6.75	6.76	7.01	7.35	8.37	9.13	10.55
금번 결정 강우강도	1.35	1.59	1.93	2.34	2.79	3.06	3.41	3.66	3.91	4.45	4.75	5.17

#### 4. 결 론

본 연구에서는 인천지방 강우강도를 결정하기 위하여 인천기상대에서 관측된 자료를 검토하여 지속시간 10분 ~ 6시간까지의 최대 강우량을 선정하고 선정된 최대강우량을 분석하여 확률강우량 및 확률강우강도를 결정하였다.

확률강우량은 2변수 Gamma 분포 등 11개의 분포형에 대한 매개변수를 추정한 후 Chi-square 검정방법, Kolmogorov-Smirnov 검정방법, Cramer Von Mises 검정방법 등 3개의 적합도 검정을 실시하여 적정 분포형을 결정하여 산정 하였으며, 확률강우강도식은 최소자승법을 사용하여 Talbot 형, Sherman 형, Japanese 형의 3가지로 분석하고, 최소자승법과 시산법을 사용한 통합형 I 과 통합형 II 를 분석하여 인천지방 강우강도공식으로 인천대공식을 제안하였다.

인천지방에 대한 현행강우강도식으로부터 계산된 강우강도는 확률강우강도에 훨씬 못 미치고 있어 설계시 상당한 위험의 소지가 있다고 판단되며, 금번 연구에서 결정된 강우강도는 몇 개에 한해서 확률강우강도보다 작은 값이 있기는 하지만 그 차이가 작으며, 평균제곱근오차를 살펴보면 현행강우강도식보다 모든 재현기간에 있어서 그 오차가 상당히 작음을 알 수 있다. 따라서 앞으로 인천지방 강우강도식을 사용함에 있어서는 금번 연구에서 결정된 강우강도식을 사용함이 바람직하다고 판단된다.

제안된 인천대공식은 과거의 이원환공식에 비하여 최근 강우특성을 잘 반영하고 있으며 확률빈도에 따라 동일형태의 강우강도식을 사용하고 있기 때문에 과거와 같이 강우강도식의 형태에 따라 강우강도의 변화가 크고 심지어는 확률빈도가 커져도 강우강도가 오히려 작아지는 등의 문제점이 없다. 향후 인천지방에서의 각종 우수량이나 홍수량등의 산정시 제안된 인천대 공식을 사용하면 보다 합리적인 계획이 될 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

이원환(1967). "국내 지역별 강우특성과 확률강우량 산정에 관한 연구", 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 15권, 3호, pp. 28~38.

이원환(1980). "도시하천 및 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석", 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 28권, 4호, pp. 81~93.

이원환, 변근주(1969). "중소하천 및 도시하수도 계획설계에 필요한 확률강우강도식의 유도", 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 16권, 4호, pp. 1~11.

최영박, 박종훈(1966). "한국주요도시의 강우강도식형의 지역적 특성연구", 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 14권, 1호, pp. 15~29.

최영박, 이선근(1968). "한국 각 지방의 강우강도와 강도비 C치의 산정에 대하여", 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 16권, 2호, pp. 61~73.