

국지성 호우패턴 변화를 고려한 인천지역 확률강우강도식의 산정

Evaluation of Probable Rainfall Intensity Formula Considering the Locality of Rainfall Pattern Change at Incheon City

최계운* / 한만신** / 정연중***

Choi, Gye Woon / Han, Man Shin / Chung, Yeun Jung

요 지

본 논문은 최근 발생한 집중호우와 이상강우를 고려하여 인천지역에서 사용중인 확률강우강도식에 대한 새로운 확률강우강도식을 제안하였으며, 기상청 자료를 이용하여 지속시간 10분~24시간까지의 임의시간 연최대강우량을 산정하였다. 강우지속시간별 확률강우량을 추정하기 위하여 11개의 확률분포형을 적용하였으며 Chi-square 검정방법, Kolmogorov-Smirnov 검정방법, Cramer Von Mises 검정방법으로 적합도 검정과 함께 최근 강우에 대한 경향을 분석하고 실제 발생한 강우 중에서 최대 발생 강우량을 고려하여 적정분포인 GEV 분포를 확률 분포형으로 선정하였다. 확률강우강도식은 최소자승법을 사용하여 Talbot형, Sherman형, Japanese형, 통합형 I 및 II 형태로 산정하였고, 지역내 하수도 및 하천의 지속시간을 감안하여 확률강우강도식을 결정하였다. 또한 정확성을 고려하여 통합형 I 을 선택하였고 지속시간에 따른 강우강도식의 확률강우와 관측치를 감안한 강도식을 인천지역의 강우강도식으로 제안하였다.

핵심용어 : 확률강우강도, 확률분포형, 임의시간, 연최대강우량

1. 서 론

하천의 수공구조물의 설계와 하천정비기본계획 수립에서 설계와 계획의 빈도, 지속시간에 해당하는 확률강우량을 산정하여 첨두유량을 결정하는 것이 매우 중요한 과제이며, 대상하천 유역의 최적의 강우자료와 적절한 확률분포형을 선택하는 기준이 서로 상이함에 따라 동일 유역임에도 불구하고 각각 다른 확률강우량을 제시하고 있다. 이러한 설계의 차이를 막기 위해서는 공공기관의 신뢰성 있는 자료의 배포와 관에서의 적극적인 지역특색에 맞는 확률분포형 제시 등과 같은 조치가 이루어져서 설계자의 혼돈을 사전에 조율할 수 있어야 할 것이다. 이러한 노력들이 과거에도 이루어져 왔는데, “도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석”에서(이원환, 1967; 이원환, 1980) 제시한 강우강도식을 사용해 왔으나, 인천시(1999)는 인천만의 특색을 고려하여 하수도 및 하천의 확률강우량 산정시 “하수도정비 기본계획(변경)을 위한 인천지역내 확률강우강도식 연구”에서 제시된 인천대공식을 사용해 왔다(최계운 등, 1999; 최계운 등, 2000). 또한, 건설교통부(2000)는 전국의 확률강우강도식을 단일화하기 위해 한국확률강우량도를 작성하기도 하였다. 2000년 이후 태풍 프라피론(Pripiron), 루사(Rusa), 매미(Maemi)등과 이상기후에 의한 집중호우 등에 대한 영향으로 과거의 강우자료와 비교하여 강우의 변화양상을 비교분석할 필요성이 있다.

우리나라에서 강우량을 측정하고 있는 기관은 기상청, 건설교통부, 한국수자원공사, 한국전력공사와 각 구청별 옥상에 설치된 자기우량계가 있으나, 인천지역의 경우 기상청을 제외하고는 강우기록년수가 작아 신뢰성 있는 자료로 사용하기 어려운 실정이다. 지속시간별 최대강우량을 산정하기 위해서는 자기기록지나 5분 또는 10분 단위의 시우량 자료가 있어야 하나 자료습득이 쉽지가 않고, 자기기록지를 판독하기 위해서는 자료의 객관화를 위해 다수의 사람들이 판독하여 비교할 필요가 있다. 본 연구에서는 1952년부터 1999년까지의 강우기록지와 2000년 이후의 분단위 우량자료를 획득

* 정회원-인천대학교 토목환경시스템공학과 교수E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 정회원-인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정E-mail : 8190hansman@hanmail.net

*** 정회원-인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정E-mail : chungyj@incheon.go.kr

하여 분석하였으며, 판독한 결과값을 타 기관의 강우자료와 비교한 후 이상이 있는 부분에 대하여 강우기록지를 재판독하여 신뢰성있는 임의시간 지속시간별 최대강우량을 추출하였다.

확률분포형 선택시 설계자의 판단에 의하여 결정이 되고 있으며, 우리나라에서 하천정비 기본계획시 약 57%이상이 Gumbel분포를 사용하고 있고, Log-Pearson type, GEV등이 쓰이고 있다.(건설교통부, 2000) 분포형 결정시 흔히 쓰이는 적합도 검정 방법 등에 의하여 결정하고 있으며, 자료 기록기간에도 영향을 받게 된다. 하지만, 적합도 검정은 판단의 기각을 결정할 뿐, 적정분포형을 선택하는 기준이 되지 못한다. 본 연구에서는 적정 분포형을 선택하기 위하여 선정 기준을 설정한 후에 실제 강우와 비교하여 실제 강우와 동등 이상인 분포형을 최적 분포형으로 선정하였다.

2. 강우자료의 수집

2.1 강우량 자료의 수집 및 분석

인천지역 및 인천광역시 인근의 강우관측소는 인천지역내 위치한 인천기상대와 인천지역 인근에 위치한 강화관측소, 김포관측소, 구로관측소, 안양관측소, 반월1관측소 등 5개의 강우관측소가 위치해 있으며 각각의 관측소를 Thiessen법을 이용하여 거리에 따른 영향권역을 구분하면 인천광역시 중 강화지역은 강화관측소의 영향권으로 나타났으며, 인천 대부분의 지역은 인천관측소의 영향권으로 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서는 인천기상대의 강우자료를 사용하여 강화지역을 제외한 인천지역에 대한 강우강도식을 작성하고자 한다.

인천관측소의 경우 관측개시연도는 1904년 4월부터 시작되었으나, 1961년이전의 자료에 대해서는 결측년도가 발생하고 있으며, 부분적인 결측이 있는 부분이 많아 본 연구에서는 1961년부터 2004년까지의 강우자료를 사용하였다. 이는 총 44개년으로 기본적인 신뢰도를 확보할 수 있는 조건을 갖추고 있다고 판단된다. 또한, 1961년부터 1999년까지는 아날로그방식으로 20mm를 최대로 하여 반복적인 수치를 기록한 강우기록지를 사용하였으며, 2000년 이후부터는 디지털 방식으로 0.1mm단위와 0.5mm단위의 두가지 종류의 기기를 사용하여 측정하고 있다. 따라서, 1961년부터 1999년까지의 강우기록지와 2000년에서 2004년까지의 0.5mm 측정단위의 기기에 대한 분단위 강우기록을 확보하였으며, 이를 판독하여 각 지속시간별 임의시간에 대한 최대강우량을 추출하였다.

기상청에서 배포하고 있는 단위시간당 강우량자료를 사용하여 지속시간별 강우량을 산정한 결과를 고정시간으로 나타내었고, 분단위 강우자료를 사용하여 급회 산정한 지속시간별 강우량을 임의시간으로 표시하여 표 1.에 나타내었다. 표 1.에서 보여주는 바와 같이 1961년도부터 2004년까지 강우량 자료 중 고정시간과 임의시간의 차가 10mm이상 발생한 년도를 보여주고 있으며, 고정시간에 비하여 임의시간의 강우량이 크게 나타나고 있다. 실제 설계시에는 확률강우량을 산정하기 위해 고정시간을 임의시간으로 바꾸어주기 위한 환산계수를 사용하고 있으며, 본 연구에서 산정된 임의시간을 사용하여 고정시간에 대한 환산계수를 산정하여 비교하였다.

표 1. 고정시간과 임의시간의 최대강우량 비교

year	60min			120min			180min			360min			1440min		
	fixed	random	gap	fixed	random	gap	fixed	random	gap	fixed	random	gap	fixed	random	gap
1962	32.9	44.7	11.8	41.2	52.8	11.6	45.1	55.5	10.4	59.9	62.1	2.2	86	90	4.0
1967	31.5	42.0	10.5	46.1	49.8	3.7	53.6	56.6	3.0	70.9	71.4	0.5	80.5	80.5	0.0
1970	43.1	52.7	9.6	80.5	83.5	3.0	94.1	101.1	7.0	159.4	161.5	2.1	234.5	234.5	0.0
1971	45.7	58.9	13.2	62.2	81.0	18.8	82.7	83.6	0.9	107.1	107.7	0.6	122.4	122.4	0.0
1972	47.0	63.0	16.0	77.2	80.7	3.5	85.6	85.6	0.0	138.0	140.8	2.8	359.2	359.2	0.0
1976	40.3	48.0	7.7	78.1	80.5	2.4	85.7	90.8	5.1	92.5	92.5	0.0	133.1	142.8	9.7
1977	54.7	62.0	7.3	75.6	86.5	10.9	91.8	97.5	5.7	132.0	132.0	0.0	262.2	262.2	0.0
1982	38.0	50.9	12.9	65.5	78.1	12.6	81.0	88.6	7.6	102.6	102.6	0.0	117.2	117.4	0.2
1984	74.2	78.0	3.8	114.9	127.3	12.4	143.1	151.0	7.9	187.7	189.5	1.8	286.1	286.1	0.0
1985	40.7	55.0	14.3	73.2	73.5	0.3	77.0	79.5	2.5	83.4	83.7	0.3	104.3	104.3	0.0
1995	38.8	42.7	3.9	55.8	72.3	16.5	79.2	79.2	0.0	85.7	85.7	0.0	152.6	152.8	0.2
1997	72.5	93.0	20.5	125.6	135.5	9.9	173.2	181.5	8.3	213.5	221.1	7.6	277.3	282.6	5.3
1999	46.2	53.3	7.1	90.0	90.0	0.0	101.8	121.7	19.9	169.9	176.5	6.6	257.5	257.7	0.2
2001	71.3	84.0	12.7	118.3	121.5	3.2	140.3	155.5	15.2	166.8	173.0	6.2	220	220	0.0

2.2 강우자료 분석

1961년부터 2004년까지의 강우자료를 보면 지속시간 10분의 경우 최대강우량이 24.0mm, 1시간이 93.0mm, 6시간이 257.6mm, 15시간 349.9mm, 24시간이 373.1mm로 나타났으며, 1961년부터 2004년까지 44개년의 강우기록년수를 판단하였기 때문에 100년빈도 확률강우량 결정시 이를 감안하는 것이 바람직하다. 또한, 1961년부터 2004년의 년도에 따른 지속시간별 최대강우 발생패턴은 그림 1.에서 보는바와 같다.

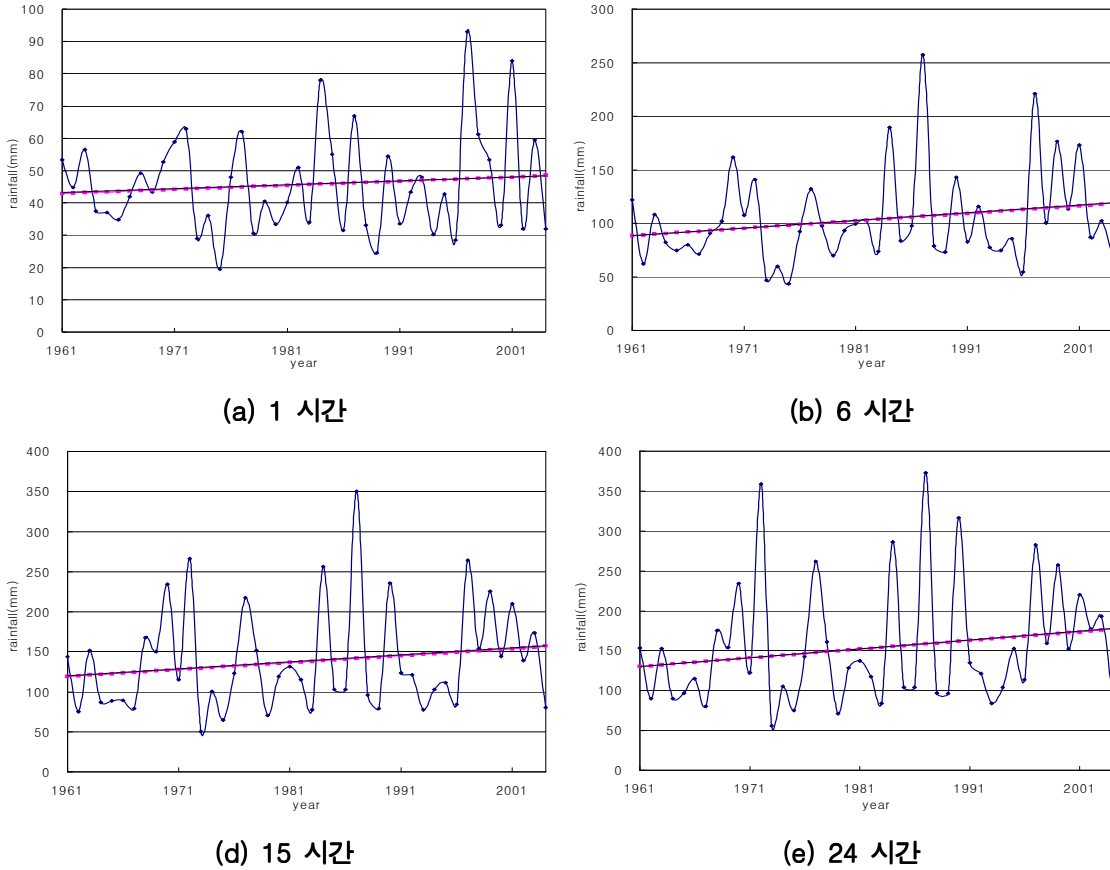


그림 1. 년도별 각 지속시간 최대강우량 추세

그림 1.에서 보는바와 같이 1961년에 비하여 2004년에 가까워질수록 점차적으로 증가하는 추세를 보이고 있으며 증가하는 정도는 표 2.에 나타난 바와 같이 24시간의 경우 10년 단위의 추세를 보면 평균적으로 약 7.47%의 증가를 보이고 있다.

표 2. 지속시간별 최대강우량 증가율

increasing rate	1964 ~ 1974	1974 ~ 1984	1984 ~ 1994	1994 ~ 2004	average
1hr	2.94%	2.86%	2.78%	2.97%	2.89%
6hr	7.44%	6.92%	6.48%	6.69%	6.88%
15hr	7.07%	6.61%	6.20%	6.42%	6.57%
24hr	8.14%	7.53%	7.00%	7.20%	7.47%

3. 확률강우량 산정

3.1 적합도 검정을 통한 최적 확률분포형 선정

확률강우량 결정을 위하여 채택한 확률분포는 2변수 Gamma분포(GAM2), 3변수 Gamma분포(GAM3), General Extreme Value 분포(GEV), Gumbel 분포(GUM), 2변수 Log-Gumbel 분포(LGU2), 3변수 Log-Gumbel 분포(LGU3), 2

변수 Log-normal 분포(LN2), 3변수 Log-normal 분포(LN3), Log Pearson Type III 분포(LP3), 2변수Weibull 분포(WBU2) 및 3변수 Weibull 분포(WBU3)이며, 각 분포의 매개변수는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법으로 추정하고, 추정된 매개변수의 적합성을 확인하였다. 그리고 각 확률분포형별로 추정된 매개변수에 관하여 Chi-square 검정, Kolmogorov-Smimov 검정, Cramer von Mises 검정방법으로 확률분포형의 적합도 검정을 실시하였다. 분포형 선정시 10min, 30min, 60min, 120min, 240min, 360min, 480min, 1440min에 대한 적합도 검정을 통과한 개수를 통하여 판단하였으며, 1961년부터 2004년까지 실제 발생했던 경우보다 크거나 같은 값을 갖는 분포형을 선택하여 강우의 증가경향과 집중호우에 대한 영향을 고려하였다.

표 3. 검정방법별 적합도를 통과하는 강우지속기간의 개수

매개변수추정방법	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3
모멘트법	9	6	9	9	9	5	9	7	3	9	4
최우도법	9	9	9	9	9	0	9	9	4	9	0
확률가중모멘트법	9	0	9	9	9	0	9	9	9	9	2

표 4. 주요지속 기간별 확률강우량 산정(100년 빈도)

	10min	30min	60min	120min	240min	360min	480min	840min	1440min
actual-rain	24.0	54.0	93.0	135.5	204.7	257.6	299.4	348.3	373.1
GEV	25.7	65.4	100.2	-	224.6	284.8	329.9	395.7	482.7
GUM	28.9	64.0	96.7	146.0	299.3	238.5	-	341.1	395.2
LN2	29.0	63.3	94.5	145.4	190.8	220.7	258.9	343.7	389.0

표 3은 각 확률분포형별로 적합도 검정을 통과하는 강우지속기간의 개수를 표시하였으며, 적합도 검정을 한 결과 비교적 GEV분포, GUM분포, LN2분포가 다른 분포에 비하여 적합도 검정에 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 우리나라는 강우기록 관측년수가 짧아 모멘트법과 최우도법의 경우 이상치에 민감한 문제를 보이거나, 수렴문제와 효율성문제가 발생하기 때문에, 자료수나 이상치에 왜곡특성이 크게 나타나지 않는 확률가중모멘트법을 사용하는 것이 바람직하다. 따라서, 확률가중모멘트법의 GEV분포, GUM분포, LN2분포를 사용하기로 하였다.

3.2 적정 확률분포형 및 확률강우량 산정

표 4에서 보는 바와 같이 각각의 확률분포형의 확률강우량을 산정하였을 때, 100년빈도의 경우 10분, 30분, 60분, 120분, 1440분에서는 세 분포형 모두 실제 강우 이상으로 확률강우량이 산정되었으나, GEV를 제외한 두가지 분포형이 240분~840분 사이에 발생된 강우보다는 큰 경우 20mm 이상 작게 나타나 장기간 강우에 대하여 과소설계가 우려된다.

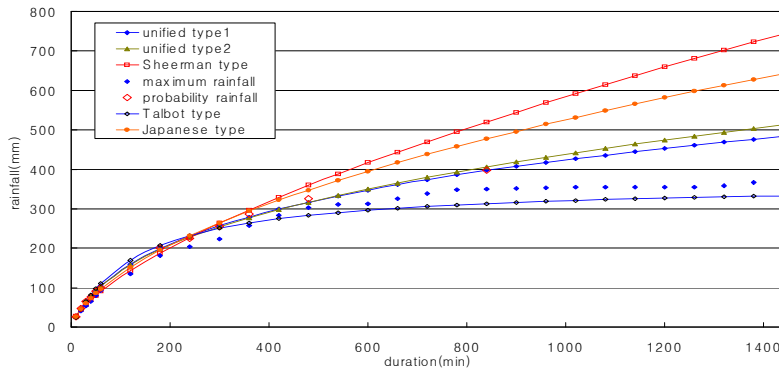
앞에서 검토한 바와 같이, 최근의 강우가 점차 증가하는 추세를 보이고 있고 이상강우 및 집중호우의 발생빈도가 잦은 점 등을 고려하고 1961년부터 2004년까지 발생했던 지속시간별 최대강우보다 동등이상의 확률분포형을 선택하여 GEV로 선택하였다. 단, 지속시간이 길어질수록 다른 분포형에 비해 큰 경향을 보이고 있어 이에 대한 보완이 필요하다고 판단된다.

4. 강우강도식

4.1 강우강도식 유도

일반적으로 강우관측소의 강우특성과 재현기간에 따라 영향을 받는 강우강도와 지속기간의 관계를 나타내는 확률강우강도식은 식 (1)~(5)와 같은 유형의 경험공식으로 표시된다. “하수도정비 기본계획(변경)을 위한 인천지역내 확률강우강도식 연구(1999)”에서는 우수구조물의 영향을 고려하여 10분부터 2시간까지의 강우지속기간을 고려하여 강우강도식을 산정하였다.

본 연구에서는 인천 하천의 길이가 비교적 짧아서 대부분 도달시간이 최대 6시간 이내이기 때문에 10분부터 6시간까지의 강우지속기간을 고려하여 강우강도식을 산정하도록 하였다. 각 유형별로 강우강도식을 산정하여 확률강우량으로 계산한 결과를 그림 2에 보여주고 있으며, 확률강우량과 가장 근접한 결과를 보이는 유형이 통합형 계열로 나타나고 있다. Talbot 형은 실제 강우보다 작게 나타났고, Sherman 형은 과다한 결과가 나왔다.



$$\text{통합형 I} : I = \frac{a}{t^n + b} \quad (1)$$

$$\text{통합형 II} : I = \frac{a}{(t+b)^n} \quad (2)$$

$$\text{Sherman 형} : I = \frac{a}{t^n} \quad (3)$$

$$\text{Talbot 형} : I = \frac{a}{t+b} \quad (4)$$

$$\text{Japanese 형} : I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (5)$$

그림 2. 각유형별 강우강도식에 따른 확률강우량 비교 (100년빈도)

여기서, I는 강우강도(mm/hr), t는 강우지속시간(min), a, b 및 n은 지역 및 강우특성에 따라 달라지며 회귀분석에 의하여 결정되는 상수들이다. 따라서, 10분에서 6시간까지의 강우지속시간을 고려하여 강우강도식을 산정하였을 때, 100년 빈도에서 통합형 I이 가장 확률강우량과 근접하게 나타나 통합형 I을 채택하였다.

4.2 적정 강우강도식 결정

통합형 I을 채택하여 확률강우량을 산정하였을 때, 지속시간이 커질수록 실제 강우패턴보다 크게 산정되며 이를 보완할 필요성이 있고 이를 보완하기 위하여 오차율평균을 99%에서 96%로 저감시켜 장기지속시간에 대한 확률강우량을 감소시켜 산정하는 방법을 채택하였다. 오차율 평균을 계산하기 위하여 식 (6)과 같이 산정하였다.

$$T = \frac{\sum \left(\frac{c_o - c}{c} \right)}{N} \times 100(\%) \quad (6)$$

여기서 T는 오차율평균을 나타내며, Co는 결정된 강우강도 공식에 의하여 산출된 확률강우량이고 C는 빈도분석에 의하여 구한 확률강우량, N은 각 재현기간별 강우지속시간의 개수이다.

그림 3에서 보는바와 같이 96%의 오차율평균을 적용했을 때 실제 발생했던 최대강우량보다 적게 나오는 지속시간도 발생하지만, 1961년부터 2004년까지 44년간의 최대강우량의 최대치와 그 다음 크기의 강우간의 차이가 큰 점을 감안하고 전반적으로 계산된 확률강우량이 최대강우가 발생했던 강우량보다 크고 지속시간이 큰 시간에서도 편차가 크지 않기 때문에 96%의 오차율 평균을 가진 강우강도식을 본 연구의 강우강도식으로 결정하였다.

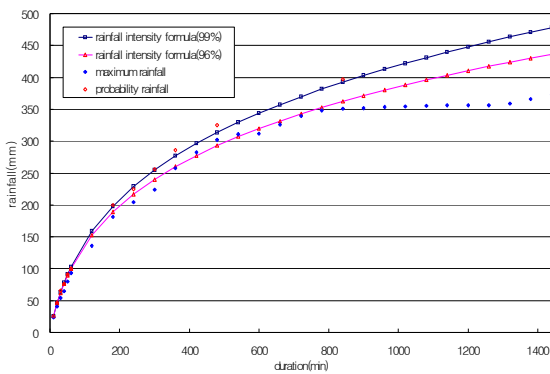


그림 3. 오차율 평균에 의한 확률강우강도식 비교

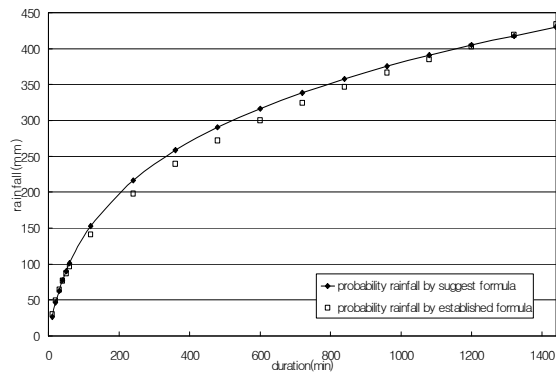


그림 4. 금회 제안된 확률강우량 (100년 빈도)

확률분포형을 GEV로 하여 통합형 I으로 10분부터 6시간까지의 강우지속시간을 가지고 강우강도식을 산정하여 96% 신뢰구간을 적용하였을 때, 그림 4에 나타난 바와 같다. 이를 기준에 제시된 인천지역 강우강도식에 의한 확률강우량과 비교를 하면 지속시간이 단기간에 대한 확률강우량 값이 증가하여 나타나고 있으나, 장기로 갈수록 그 차이는 작아지는 것으로 산정되었다.

5. 결론

인천지방 확률강우강도식을 결정하기 위하여 인천기상대에서 관측된 자료를 1961년부터 1999년까지 강우기록지와 2000년부터 2004년까지의 분단위 강우자료를 수집하였고, 이를 검토하여 임의지속시간 10분부터 24시간까지의 연최대 강우량을 선정하였다. 강우자료의 고정시간과 임의시간에 대한 비교를 통하여 인천지역에 맞는 임의시간 최대 강우량을 제안하였으며, 1961년부터 2004년까지 최대발생 강우 크기와 집중호우 발생빈도를 고려하여 확률강우량 및 확률강우강도를 결정하였다. 확률강우량은 11개의 분포형에 대한 매개변수를 추정한 후 3가지의 검정방법을 실시하고, 도시적인 분석과 함께 적정 분포형을 최근의 이상강우발생과 강우증가 추세 등을 고려하여 극치분포인 GEV분포를 결정하여 산정하였다. 확률강우강도식은 최소사승법을 사용하여 통합형 I, II 및 Talbot형, Sherman형, Japanese형으로 분석하였으며, 인천지방 강우강도공식을 통합형 I 을 사용하여 96%신뢰 구간을 갖는 강우강도식으로 제안하였으며, 본 논문에서 제시된 인천지방의 확률강우강도공식은 표 5에 나타난 바와 같다.

표 5. 금회 제안된 인천지역 확률강우강도식

duration	rainfall intensity formula	duration	rainfall intensity formula
2year	$\frac{655.6}{t^{0.6278} + 3.40}$	70year	$\frac{3572.9}{t^{0.7250} + 18.36}$
3year	$\frac{788.1}{t^{0.6299} + 3.81}$	80year	$\frac{3858.0}{t^{0.7313} + 19.91}$
5year	$\frac{1042.1}{t^{0.6466} + 5.12}$	100year	$\frac{4320.7}{t^{0.7413} + 21.82}$
10year	$\frac{1419.4}{t^{0.6626} + 6.99}$	200year	$\frac{6230.4}{t^{0.7662} + 32.24}$
20year	$\frac{1934.1}{t^{0.6805} + 9.67}$	300year	$\frac{7730.1}{t^{0.7814} + 39.83}$
30year	$\frac{2369.8}{t^{0.6955} + 12.02}$	500year	$\frac{10193.1}{t^{0.7991} + 52.16}$
50year	$\frac{2989.3}{t^{0.7105} + 15.23}$	-	-

또한, 인천지역의 강우자료에서 고정시간과 임의시간을 비교하였을 때, 임의시간이 크게 나타나고 있어 강우자료 결정시 임의시간에 대한 선택이 이루어져야 하고, 그 동안의 확률분포형의 결정시 대부분의 경우 적합도 검정에 의하여 이루어져왔으나, 최근 강우를 감안한 시간별 실제 발생 최대강우량을 감안하여 이보다 큰 분포형을 선택하는 것이 바람직하다. 강우강도식을 산정할 때, 경향성을 분석하여 강우량이 증가 또는 감소추세에 있는지를 고려하여야 하며, 그 경향성을 반영하여 제시하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 인천지역환경기술개발센터의 2005년도 연구개발사업비 지원(05-1-30-33)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000) “1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제1권 한국확률강우량도 작성”
2. 이원환 (1967). “국내 지역별 강우특성과 확률강우량 산정에 관한 연구.” 대한토목학회지, 제15권, 제3호, pp. 28~38.
3. 이원환 (1980). “도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획 강우량 설정에 관한 추계학적 해석” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제28권, 제4호, pp. 81~93
4. 인천시 (1999). 하수도정비기본계획 변경보고서 부록 확률강우강도식 연구보고서
5. 인천기상대 (1961~2004) 강우자기기록지, 강우데이터
6. 최계운, 안태진, 권영식 (2000) “인천지방 확률강우강도식의 유도” 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 33권, 제 2호, pp. 263~276