

자료기간 증가에 따른 확률강우량의 거동특성 분석

Analysis of the Changes in Rainfall Quantile according to the Increase of Data Period

안 재 현* / 김 태 응** / 유 철 상*** / 윤 용 남****

Ahn, Jae Hyun / Kim, Tae Woong / Yoo, Chulsang / Yoon, Yong Nam

Abstract

To account for the influence of heavy storm in Korea by climate change like global warming, the frequency analyses for annual maximum rainfall sequence in 12 rainfall gauge stations are carried out. In order to analyze the temporal change, the rainfall quantile of each station is estimated by the 30-yr data period being moved from 1954 to 1998 with 1-yr lag. Through the analysis for 100-yr rainfall quantile it has been shown that the recent heavy storms increase comparing with storms in the past. From the additional estimating of the rainfall quantile of each station by the 30-yr data period being cumulated from 1954 to 1998 with 1-yr, the change of the probable rainfall by including the heavy storm duration is realized. When the hydraulic structures are determined, it is important to select the data size and necessary to reestimate the flood prevention capacity in existing river systems.

keywords : global warming, data period, probable rainfall, heavy storm, frequency analysis

요 지

지구온난화와 같은 기후변화로 인해 최근에 한반도에서 급증하고 있는 집중호우의 영향을 알아보기 위해서 12개 우량관측소 지점의 연 최대 강우량 계열에 대한 빈도해석을 실시하였다. 확률강우량의 시간적인 변화를 알아보기 위해 자료기간을 30년으로 한 후 1년씩 이동하면서 100년 빈도 확률강우량을 산정하였고, 80% 이상의 지점에서 최근의 집중호우가 과거에 비해 상대적으로 증가하고 있음을 확인하였다. 또한 자료기간을 1년씩 증가하면서 100년 일최대 확률강우량을 산정하여 집중호우가 발생했던 해의 연 최대 강우량 포함에 따른 확률강우량의 증가 경향을 파악하였다. 이를 통해 수공구조물의 설계를 위한 빈도해석시 자료기간 선정의 중요성과 기존 하천시스템의 홍수방어능력에 대한 재평가 필요성을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 지구온난화, 자료기간, 확률강우량, 집중호우, 빈도해석

- * 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(E-mail : ajhyun87@kucenx.korea.ac.kr)
- ** 유타주립대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil Engrg., Utah State Univ., U.S.A.
- *** 고려대학교 환경공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Environmental Engrg., Korea Univ., Chungnam 339-700, Korea
- **** 고려대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

최근 들어 우리 나라에서 이상기후로 인한 홍수재해의 발생이 잦아지고 있으며, 그로 인한 피해 규모도 갈수록 심해지고 있다. 최근 5년 이내에 발생한 피해 상황만을 살펴보다더라도 1996년 7월에 경기도 북부지방과 강원도 영서지방 일원에 내린 집중호우로 큰 홍수가 유발되어 심각한 피해가 발생하였고 77명의 인명피해와 4,800억원의 재산피해를 기록하였다. 1998년 8월에는 경기북부·서울지역을 시작으로 중부지역, 충청, 영남, 호남지역 순으로 전국을 휩쓸고 간 집중 폭우로 인해 인명피해 227명, 이재민 67,000명, 재산피해 1조 3,900억원이 발생하였다(윤용남, 1998). 또한 1999년 8월에도 경기북부 지방에 내린 집중호우로 인해 엄청난 피해가 발생하였다.

이와 같은 대형 홍수피해의 발생이 최근에 와서 빈번해 지고 있는 원인에 대해서는 여러 가지 이론이 있으며, 그 중 하나가 지구온난화(global warming)이다. 즉, 인간이 사용해 온 화석연료로 인해 대기중의 탄산가스 농도가 증가되면서 소위 그린하우스(green house) 영향으로 지구온난화 현상이 발생함에 따라 지구 환경의 변화가 초래되어 홍수재해가 전 세계적으로 가중되고 있다는 것이다. 그러나, 아직까지는 지구온난화 현상이 지구상의 기상 메카니즘에 구체적으로 어떠한 영향을 어떻게 미치고 있는가는 정량적으로 밝혀지지 못하고 있다.

마찬가지로 이러한 지구온난화가 한반도의 기후에 미치는 영향에 대해서도 정량적으로 밝혀진 사항은 없다. 그러나 지구온난화에 따른 변화에 대한 연구는 최근의 관심 사항으로서 주로 GCM(General Circulation Model)을 이용하여 이루어지고 있으며, 오재호와 홍성길(1995), 윤용남 등(1999c), 한국과학기술연구원(1994, 1995) 등의 연구에서 그 예를 찾아볼 수 있다.

오재호와 홍성길(1995)은 3개의 GCM(CCC, UI와 GFDL GCM) 모의 결과에 근거한 한반도의 연강수량 변화를 CO₂의 배중에 따라 봄, 여름, 가을철에 10%, 13%, 24%의 증가를 겨울철에는 현재보다 약간의 감소(약 13mm/year)를 추정한 바 있으며, 윤용남 등(1999c)은 GCM(MRI GCM)으로 얻은 결과를 중·소규모 기상-수문모형에 적용하여 금강유역의 봄철 강수량이 감소할 것으로 분석하였다. 또한, 한국과학기술연구원(1994, 1995)에서는 5개의 GCM(GFDL

-R30, CCC, GISS, UKMO와 GFDL GCM) 모의 결과에 근거해서 한반도의 연강수량 변화를 추정하여 CO₂의 배중에 따라 연평균 약 -5%~25%의 증감율, 계절별로는 -30%~35%의 증감을 예측한 바 있다. 그러나 이와 같은 연구 결과의 차이를 통해 알 수 있는 것은 지구온난화가 한반도의 기상 변화에 어떤 영향을 끼칠 수 있다는 가능성의 파악이지, 결코 정량적인 변화를 밝혀내지는 못한다는 사실이다.

최근에 발생한 홍수사상들 중에는 홍수방어시설의 일반적인 설계 기준인 수 십년 또는 수 백년 빈도를 훨씬 초과하는 수 천년 혹은 그 이상에 해당되는 기록적인 빈도의 홍수들이 있었다. 특히, 1996년 임진강 유역의 홍수나 1998년 집중호우로 인한 전국적인 홍수 등은 이러한 예에 속하는 사상들로 설계 기준을 훨씬 초과하는 홍수가 발생하여 하천시설이 파괴되고 극심한 피해가 발생하였다. 따라서, 이러한 이상홍수의 대비를 위해서 홍수방어시설 등에 대한 전반적인 홍수방어능력 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 즉, 과거의 여러 수문 사상에 대한 통계적인 분석을 통해서 수공구조물들의 설계 빈도를 결정하는 우리 나라의 현실에서 사용된 수문 사상의 자료기간에 따라 설계 값은 큰 차이를 보일 수 있을 것이며, 특히 최근에 발생한 대형 홍수사상의 포함 여부에 따라 서로 다른 설계 빈도가 결정될 것이다. 그러므로 동일한 자료기간을 가지는 경우의 빈도해석 결과 및 자료기간 누가에 따른 변화와 아울러 관측기간중의 자료로 인해 발생 가능한 값의 범위를 추정해 봄으로써 설계강우량의 안정치가 어느 정도인지를 판단해 볼 필요가 있다.

예를 들어 1996년 임진강 유역에 발생한 홍수의 경우에는 100년 빈도로 설계된 시설물들이 1996년 홍수를 포함하여 평가할 경우 설계 빈도의 절반에 못 미치고 있다(김승, 1999). 또한 1998년 8월의 경우에도 서울지역에서는 8월 8일 332.8mm의 비가 내려 관측이래 두 번째로 큰 일 강수량을 기록했었는데, 표 1에서 알 수 있듯이 서울 지역의 홍수량을 기존의 확률홍수량과 비교해보면 1998년 홍수가 설계빈도를 훨씬 상회하고 있음을 보여주고 있으며(이종태, 1998) 이러한 1998년의 홍수를 포함하여 확률홍수량을 다시 계산한다면 기존의 확률홍수량 보다 더 큰 값이 얻어질 것이다. 이러한 관점에서 최근의 이상홍수를 빈도해석에 적용할 경우 그 경향이 어떻게 되는지를 판단해 볼 필요가 있는 것이다.

본 연구에서는 이와 같이 자료기간에 따라 달라질

표 1. 서울지역 주요하천의 확률홍수량 및 1998년 홍수량의 비교(이종태, 1998)

하천명	지 점	유역면적 (km ²)	확률홍수량(m/sec)							
			5년	10년	20년	50년	80년	100년	200년	'98홍수
중랑천	우이천 합류전	179.19	640	826	1006	1239	1359	1400	1591	2070
창릉천	중골천 합류전	27.30	-	-	205	275	310	330	-	400
여의천	염곡천 합류전	5.17	40	54	68	86	95	100	113	125
세곡천	현인릉지류 합류후	4.99	33	47	61	80	90	94	108	103
홍제천	구기천 합류후	6.60	66	86	106	131	144	150	169	198

수 있는 설계빈도에 대한 분석을 실시해 보았다. 비교적 오랜 기간동안 강우자료를 보유하고 있는 12개 우량관측소별로 자료기간을 달리하면서 빈도해석을 실시하여 확률강우량의 변화를 분석하였고, 이를 통해 최근 들어 빈번하게 발생하는 집중호우의 정도를 판단할 수 있도록 하였다. 이러한 결과는 수공구조물의 설계빈도를 결정할 때 그 안정성의 고려에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 본 론

2.1 대상자료의 선정

본 연구를 위해 선정된 우량관측소는 그림 1과 같이 기상청 산하 우량관측소 중에서 비교적 장기간의 자료를 보유하고 있는 12개점이며 이중에서 가장 오래된 부산관측소는 1905년부터 관측이 시작되었고, 반대로 가장 낮은 추풍령관측소에서의 관측은 1953년에 시작

되었다.

수문 자료의 빈도해석에 있어서 같은 지점에서 추출한 자료일지라도 기간의 취급방법, 기간의 길이에 따라 해석결과가 크게 다를 수 있고 빈도해석의 전제조건인 자료의 독립성, 불편성, 동질성의 조건을 만족시키지 않을 경우가 있다(건설부, 1993). 그러므로 본 연구의 목적 중에 하나인 자료기간에 따른 설계빈도를 비교하기 위해서는 일관된 기간을 가지는 자료의 준비가 필요하다. 따라서 선정된 12개 관측소들이 공통적으로 가지는 최장의 자료기간인 1954년~1998년을 자료기간으로 선택하였는데, 이는 강릉과 서울관측소의 결측기간을 고려한 때문이다.

선정된 12개 우량관측소의 연평균 강우량의 변화를 살펴보기 위해서 각 지점의 연평균 강우량을 매년 산술평균하여 그 결과를 그림 2에 도시하였다. 그림 2를 통해 알 수 있듯이 1954~1998년 동안의 연평균 강우량의 시계열은 부작위한 양상을 보이며, 선형 회귀분석 결과(질은 실선) 45년 동안 거의 변화가 없음을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 이동률 등(1994), 조하만 등(1997)이 1905~1995년 기간동안의 분석에서 파악한

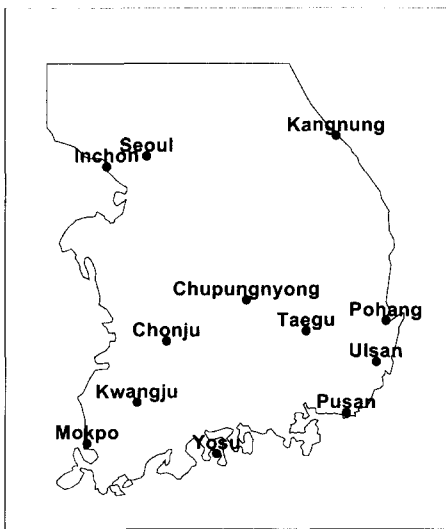


그림 1. 선정된 12개 우량관측소의 위치

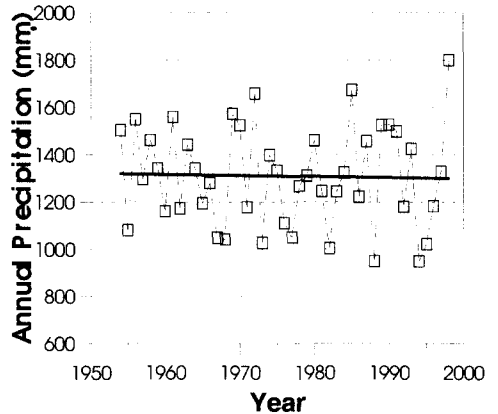


그림 2. 연평균 강우량의 변화

전반적인 연평균 강우량의 증가 경향과는 약간 상이한 것으로, 이것은 그림 2의 결과가 1954년 이후의 자료를 사용하였기 때문인 것으로 판단되며 이러한 연평균 강우량에 대한 분석으로는 한반도 강우량의 변화추이를 파악할 수 없음을 보여주는 예라 할 수 있겠다.

그러므로, 본 연구에서는 실질적으로 홍수의 발생에 영향을 줄 수 있는 일 강우량의 발생횟수에 대한 분석을 시도하였다. 윤용남 등(1999a, b)은 금강지역 일 강우량 분포의 변화분석을 통해 홍수해의 연 강우량은 일 강우량이 50mm 이상일 경우의 강우일수와 큰 상관을 가짐을 파악하였다. 또한 Angel 등(1997)은 미국 중서부 지역 304개 지점의 1901~1994년 기간동안에 발생한 2in(50.8mm) 이상의 일 강우일수에 대한 분석을 통해 약 20%의 발생일수 증가를 파악하여 집중호우의 변화양상을 밝힌 바 있다.

따라서 선정된 12개 지점에서 윤용남 등(1999a, b)의 연구결과에 근거하여 1954~1998년 사이에 발생한 50mm 이상의 일 강우일수를 계산하였고 이를 그림 3에 도시하였다. 그림 3을 통해 1954년 이후의 한반도에서는 50mm 이상의 일강우 발생일수가 최근으로 올수록 증가하는 경향임을 보여주고 있으며, 전체적으로 약 10% 정도 증가하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 홍수해인 경우가 최근으로 올수록 많아지고 있다는 것을 의미하며, 이는 최근 20년 동안 지속적으로 발생하였던 집중호우의 증가양상을 잘 대변하고 있는 것으로 판단된다.

위와 같은 특성을 가지는 12개 우량관측소의 강우량 자료 중 본 연구에서는 일 강우량 자료를 사용했으며, 빈도해석을 위해서는 연 최대치 계열을 작성해야 함으

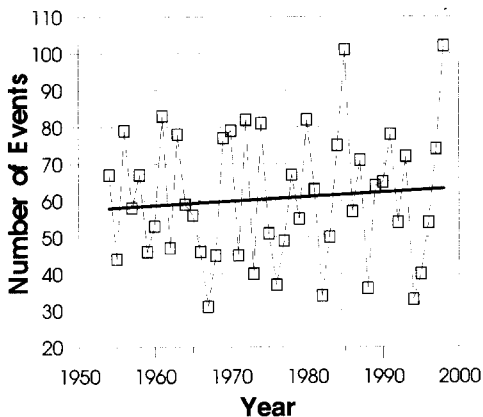


그림 3. 50mm이상인 일 강우량의 발생일수

로 선정된 우량관측소별로 지속기간에 따른 연 최대치 계열의 자료를 준비하였다. 이렇게 준비된 각각의 우량 관측소별 연 최대치 일 강우량 계열은 표 2와 같다.

2.2 적정 확률분포형과 최소 자료기간의 선정

2.2.1 적정 확률분포형의 선정

일반적으로 우량 시계열의 빈도분석에 널리 사용되는 확률 분포형에는 여러 가지가 있으나 본 분석에서는 2변수 대수정규분포, 3변수 대수정규분포, 3변수 Gamma분포(혹은 Pearson Type-3 분포), Log-Pearson Type-3분포, Type-I Extreme 분포(혹은 Gumbel 분포) 등을 대상으로 검토하였다. 이들 확률 분포형을 자료시계열에 적합(Fitting)시키기 위해 결정해야 하는 매개변수의 산정방법에는 모멘트법(method of moment), 최우법(method of maximum likelihood), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moment) 등이 있으나 본 연구에서는 WMO(World Meteorological Organization)가 추천한 확률가중모멘트법을 이용하였다. 또한 적정 분포형을 선정하기 위한 적합도 검정을 위해 Kolmogorov-Smirnov Test(K-S Test)와 Chi-square Test를 실시하였다.

본 연구에 사용된 확률분포형의 적합도 검정 결과 대부분의 분포형이 유의수준을 만족하는 결과를 산정하였으며, 특히 연 최대 강우량계열의 빈도해석에 주로 사용되는 Type-I Extreme 분포의 경우는 모든 지점과 지속기간에 대해 적합함을 보였다. 따라서 본 연구에서는 Type-I Extreme 분포를 이용하여 12개 지점에 대해 각각의 자료기간에 따라 지속기간별로 확률강우량을 계산하였다. Type-I Extreme 분포의 확률밀도함수 $f(x)$ 는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left[-\frac{x-x_0}{a} - \exp \left(-\frac{x-x_0}{a} \right) \right] \quad (1)$$

여기서 a 는 축척변수이며, x_0 는 최대확률의 발생위치를 의미한다. 식(1)을 적분하면 비 초과확률을 의미하는 누가확률분포함수 $F(x)$ ($F(x) = P(X \leq x) = 1 - 1/T$, T 는 재현기간)를 식(2)와 같이 얻을 수 있다.

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-x_0}{a} \right) \right] \quad (2)$$

표 2. 우량관측소별 연 최대치 일 강우량 계열

(단위 : mm)

년도	강릉	서울	인천	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수
1954	287.1	126.0	102.3	68.6	80.0	67.6	94.5	101.9	105.5	97.7	76.8	106.9
1955	122.0	122.2	89.3	126.7	114.3	96.4	128.0	88.2	127.5	101.9	183.1	169.7
1956	117.0	219.9	150.1	99.8	77.8	62.9	63.5	111.1	90.5	112.3	119.7	142.3
1957	158.4	153.2	131.2	92.0	59.3	81.2	64.6	180.6	113.9	152.2	120.3	154.6
1958	179.9	145.3	121.0	146.0	76.4	83.1	202.2	181.8	98.7	72.8	156.1	190.3
1959	165.5	101.9	114.9	94.7	68.1	107.5	146.9	157.4	61.6	90.7	64.7	115.4
1960	102.2	135.3	71.8	80.3	96.8	81.5	102.1	148.6	70.5	129.8	58.8	156.2
1961	91.7	103.1	143.5	93.2	114.4	95.6	170.8	138.2	118.4	138.2	116.3	155.2
1962	85.7	74.7	79.0	55.1	112.4	113.6	89.6	148.6	112.4	217.3	79.3	140.3
1963	124.1	174.0	152.7	77.1	84.5	88.4	137.3	102.9	176.0	183.6	204.0	171.9
1964	130.5	126.0	88.1	62.3	100.1	106.7	116.9	68.1	128.1	90.1	96.6	68.4
1965	114.4	144.9	91.6	124.2	99.7	95.0	89.8	110.1	112.5	207.2	126.2	126.2
1966	96.4	226.3	96.8	152.9	72.7	52.1	101.9	65.5	75.9	65.8	54.7	138.6
1967	124.2	96.2	75.5	50.4	45.5	71.0	103.2	108.1	72.2	90.4	101.5	119.0
1968	137.6	149.3	136.5	64.5	81.7	170.0	60.3	88.3	90.5	111.8	62.5	158.1
1969	136.6	122.3	153.2	83.7	115.5	88.1	97.0	315.8	108.7	234.0	115.7	177.0
1970	267.0	164.8	212.5	89.6	151.6	112.4	61.0	142.8	65.1	155.1	80.9	145.0
1971	289.1	188.6	111.7	102.4	115.7	45.8	96.1	115.0	90.1	79.0	96.7	73.2
1972	206.5	273.2	207.0	89.3	134.1	102.4	68.5	170.1	131.7	224.7	134.7	126.2
1973	75.4	61.2	54.3	69.4	110.9	92.9	73.4	154.6	99.7	182.5	83.0	123.5
1974	110.4	84.3	83.3	70.3	137.1	118.6	87.8	137.6	244.6	190.4	143.6	138.3
1975	138.6	130.5	60.4	122.9	89.0	64.3	95.7	72.6	121.4	75.2	81.2	79.8
1976	110.0	96.2	129.6	119.2	64.0	59.3	178.3	73.1	87.1	98.9	55.4	128.3
1977	77.2	155.8	228.4	99.4	73.8	51.3	54.9	73.4	69.7	76.0	81.5	99.3
1978	107.6	194.6	153.3	118.1	114.9	136.8	112.1	121.7	162.2	224.6	181.0	267.6
1979	85.9	92.0	71.3	113.5	75.1	60.9	232.1	88.1	128.9	183.3	105.8	257.1
1980	90.6	131.0	118.8	107.8	156.9	81.2	110.0	123.2	158.1	101.8	153.0	117.6
1981	169.8	137.0	136.7	73.4	112.7	174.1	114.1	163.4	110.9	169.0	394.7	173.0
1982	241.6	106.8	96.2	53.9	80.4	210.1	51.3	216.9	86.8	107.9	106.0	173.1
1983	84.2	131.6	61.8	139.4	118.1	77.6	127.8	72.4	85.8	188.6	83.3	78.8
1984	204.5	268.2	268.4	111.2	99.0	100.2	167.3	233.2	104.3	246.5	76.8	152.3
1985	275.9	124.5	104.3	104.7	83.6	182.6	106.9	149.4	150.0	200.4	185.3	221.1
1986	127.4	147.8	102.3	102.5	79.3	78.6	114.6	97.0	131.7	152.2	116.8	139.5
1987	173.5	294.6	302.5	187.8	165.8	103.0	104.3	197.7	76.7	135.7	101.5	143.6
1988	132.0	101.6	96.1	144.3	63.7	46.1	111.7	122.7	124.0	75.6	94.5	69.6
1989	125.3	103.1	85.3	92.7	101.3	85.4	82.6	56.2	335.6	140.5	156.0	121.7
1990	297.5	247.5	255.3	75.3	59.5	67.2	109.8	103.2	107.8	79.4	126.6	82.4
1991	131.2	140.2	96.0	94.5	315.6	96.6	69.0	417.8	150.6	439.0	95.5	101.2
1992	91.3	153.3	121.1	100.0	66.5	82.2	171.6	72.0	125.1	87.4	97.0	116.7
1993	223.0	91.8	77.3	106.8	175.2	81.4	142.5	208.3	143.0	129.5	112.0	89.2
1994	157.5	79.4	92.1	56.4	57.7	30.6	57.3	97.2	61.1	93.1	96.8	140.6
1995	75.0	149.2	136.0	172.3	101.7	51.4	56.7	77.6	47.1	126.4	87.5	135.3
1996	83.4	168.6	79.6	215.4	111.1	113.0	139.9	117.3	106.6	88.7	92.4	91.0
1997	81.1	127.7	260.8	87.6	117.4	101.4	138.2	112.7	216.5	104.9	103.9	163.0
1998	169.2	332.8	105.4	193.5	516.4	225.8	179.2	166.4	188.2	147.7	149.5	114.2

2.2.2 최소 자료기간의 선정

본 연구의 목적인 빈도해석에 사용되는 자료기간이 빈도해석의 결과에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 대상 자료의 특성을 반영할 수 있는 최소 자료기간을 선정해야 하며, 이것은 비교적 안정된 확률강우량을 추

정하는 최소한의 자료수가 어느 정도인지를 판단하기 위한 필수적인 과정이다. 이를 위해 본 연구에서는 다른 자료기간 별로 각각 계산된 확률강우량의 분산 (variance)을 비교해 봄으로써 안정된 자료기간의 선정을 시도하였다.

최소 자료기간의 분석을 위해 선정된 12개의 우량관

측소 중 서울, 대구, 전주와 목포 등 4개 지점을 선택 하였으며, 분석기간은 대상 지점의 자료 보유년수를 고려하여 최소 10년에서 최대 85년까지로 하였다. 따라서 각 지점별로 각각의 자료기간에 따라 2-5년씩 점진 이동시키면서 100년 빈도 일최대 확률강우량을 산정하여 각각의 확률강우량의 변동을 살펴보고, 그 변동 정도를 자료기간과 연결시켜 적절한 자료기간의 판단을 시도한 것이다.

예를 들어 서울지점의 경우, 총 45년(1954~1998년)의 자료를 보유하고 있으므로 최소 10년에서 최대 40년의 자료기간을 2년씩 변화시키면서 확률강우량을 산정하였다. 따라서 자료기간 10년의 경우 총 36개(1954~1963년, 1955~1964년, ..., 1989~1998년)의 100년 빈도 일최대 확률강우량이 산정되었으며 36개 확률강우량의 분산은 2466.6으로 계산되었고, 자료기간 40년의 경우는 총 6개(1954~1993년, 1955~1994년, ..., 1959~1998년) 확률강우량의 분산이 91.4로 나타났다.

이러한 분석을 4개 지점에 대해 실시하였으며 그 결

과를 그림 4에 도시하였다. 그림 4에 나타난 결과를 살펴보면 안정된 확률강우량(분산의 변동이 작음)을 산정하기 위한 최소한의 자료기간은 30년 이상(검은 점)이 되어야 하는 것으로 나타났고, 이 경우에 그 변동성은 확률강우량의 약 5~8% 정도 되는 것으로 분석되었다.

따라서, 본 연구에서는 확률강우량의 추정에 따른 가능 변동폭을 최소한으로 하기 위해서 자료기간을 30년으로 하였으며 자료기간을 점진 이동하면서 확률강우량을 추정하여 그 변동을 살펴보고, 아울러 최소 30년부터 매년의 자료를 누가하면서도 빈도해석을 실시하여 자료기간의 연장에 따른 확률강우량의 거동특성의 분석을 시도하였다.

2.3 자료기간 이동에 따른 확률강우량의 변동 분석

2.2에서의 분석을 토대로 30년의 자료기간을 1년씩 점진 이동시키면서 100년 빈도 일최대 확률강우량을

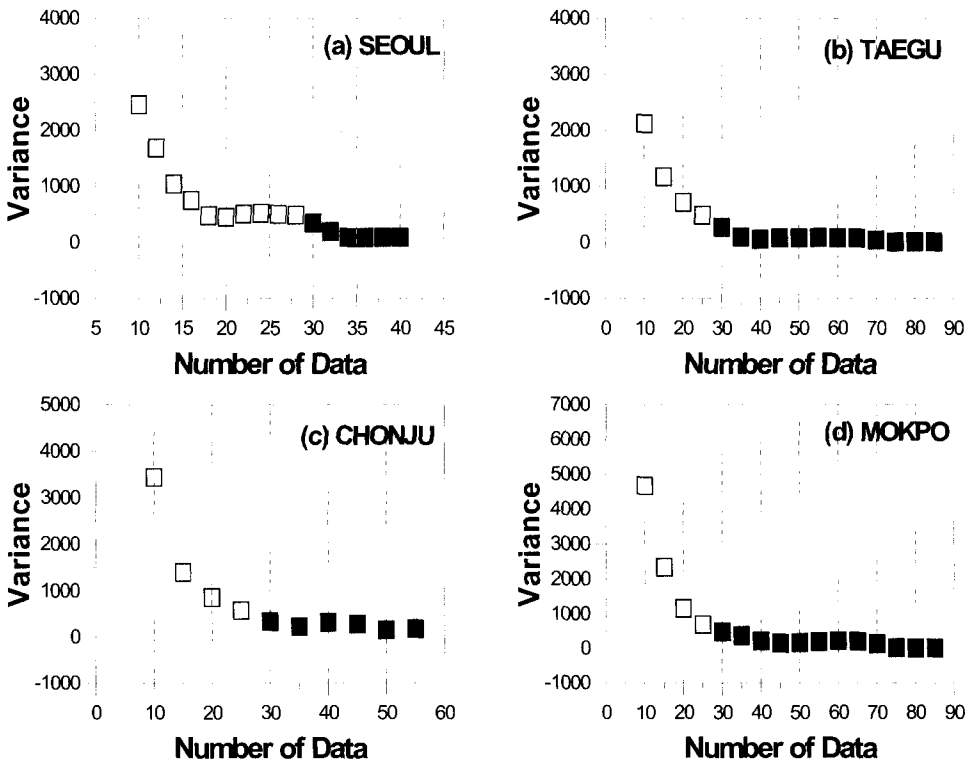


그림 4. 지점별 자료기간에 따라 산정된 확률강우량의 분산(variance) 변화

표 3. 지점별 자료기간 이동에 따른 100년 빈도 일최대 확률강우량

(단위 : mm)

자료기간	강릉	서울	인천	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수	
①	'54~'83	329.2	289.6	263.4	189.0	188.6	211.5	245.6	291.2	226.5	318.2	295.2	287.4
	'55~'84	312.9	312.4	290.8	189.6	188.6	211.6	254.7	308.6	226.5	333.8	295.2	286.7
	'56~'85	336.7	312.3	290.6	186.6	187.4	226.3	252.5	309.1	230.3	339.2	295.6	296.5
	'57~'86	336.9	300.8	287.2	186.8	187.3	225.1	251.3	309.7	232.7	339.7	295.3	296.4
	'58~'87	338.7	327.3	319.7	203.4	196.0	225.9	249.0	312.9	233.3	339.2	294.0	295.6
	'59~'88	333.4	327.4	319.0	203.1	197.5	229.3	233.3	306.4	234.7	338.8	287.2	294.6
	'60~'89	329.3	327.4	318.8	203.1	196.2	228.0	228.1	308.0	276.7	337.6	292.2	294.2
'61~'90	356.2	343.9	339.1	203.3	198.8	228.7	228.5	305.7	274.5	340.0	291.1	295.9	
평균①	334.2	317.6	303.6	195.6	192.6	223.3	242.9	306.5	241.9	335.8	293.2	293.4	
②	'62~'91	354.9	343.4	336.3	203.3	242.0	228.8	219.3	362.3	278.5	396.3	290.1	295.4
	'63~'92	354.3	339.8	336.1	200.8	242.3	226.4	230.3	361.2	279.3	390.4	289.3	295.0
	'64~'93	365.8	338.4	333.2	200.6	254.1	226.3	231.2	373.1	273.3	387.5	273.9	291.9
	'65~'94	368.1	342.1	333.0	201.4	256.1	229.6	232.7	371.1	275.8	387.3	273.9	288.7
	'66~'95	371.5	342.4	335.0	210.8	256.2	230.4	235.0	372.2	280.8	380.2	271.8	288.7
	'67~'96	372.6	333.0	336.0	224.3	256.4	231.8	239.8	369.7	279.7	377.3	267.6	289.9
	'68~'97	374.7	331.5	356.0	220.4	253.0	232.6	243.8	369.7	295.0	376.7	267.8	293.3
'69~'98	377.4	364.9	354.3	233.2	338.4	244.5	252.7	373.2	304.8	377.4	270.0	290.7	
평균②	367.4	341.9	340.0	211.9	262.3	231.3	235.6	369.1	283.4	384.1	275.6	291.7	
평균②/평균①	1.10	1.08	1.12	1.08	1.36	1.04	0.97	1.20	1.17	1.14	0.94	0.99	

산정하였으며 그 결과를 표 3에 정리하였다. 또한 표 3에 나타난 각 지점의 지속기간별 100년 빈도 일최대 확률강우량의 자료기간에 따른 변화를 그림 5에 도시하였다.

1990년 이후의 강우자료 포함여부에 따른 확률강우량의 변동을 살펴보기 위해서 표 3에서와 같이 각각 1954~1990년과 1991~1998년의 자료기간에 산정된 확률강우량의 평균값을 지점별로 계산하였고(평균①, 평균②) 평균②를 평균①로 나누어줌으로써 상대적인 변동을 살펴보았다. 그 결과 전주, 목포, 여수 지점을 제외한 나머지 9개 지점에서 1990년 이후의 자료가 포함된 경우의 확률강우량의 평균이 더 큰 값을 보여주고 있으며, 전주, 목포, 여수 지점의 경우도 그 감소폭이 상대적으로 그리 크지 않음을 알 수 있다.

이러한 확률강우량의 경년적 변화는 그림 5를 통해서도 확인할 수 있는데, 이는 1990년 이후의 자료가 포함된 경우(검은 점)의 확률강우량이 거의 전 지점에 걸쳐서 증가하는 양상을 보여주고 있기 때문이다. 특히 강릉, 서울, 인천, 추풍령, 포항, 대구, 울산, 광주, 부산 등의 지점은 그 변동폭의 차이는 존재하지만 1990년

이전의 자료가 포함된 분석시점에서부터 계속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한 전주 지점의 경우는 1990년 이전에는 감소추세를 보이지만, 1990년 이후에는 계속적으로 증가하는 양상을 보임을 알 수 있다.

이와 같은 표 3과 그림 5의 결과가 시사하는 바는 매우 크다. 먼저, 분석 대상지점 중 80% 이상의 지점에서 최근의 자료를 포함시킬수록 확률강우량의 크기가 증가하고 있다는 것이다. 이것은 우리 나라 대부분의 지역에서 최근의 집중호우로 인한 영향이 과거에 비해 상대적으로 증가하고 있다는 사실을 단적으로 보여주는 예라 할 수 있으며, 특히 1990년대 이후 자료가 포함된 자료기간의 빈도해석으로 산정된 확률강우량이 그 이전에 비해 월등히 크게 증가한다는 사실은 1990년대에 지속적으로 발생했던 집중호우의 영향에 기인하는 것으로 판단된다.

이러한 최근 자료기간의 확률강우량 증가는 최근의 집중호우 자료를 포함시켜서 빈도해석을 실시할 경우 기존의 설계빈도와는 매우 다른 양상을 보일 것임을 알려주는 것이며, 따라서 최근의 자료가 포함되지 않고

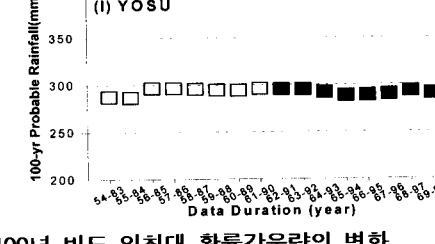
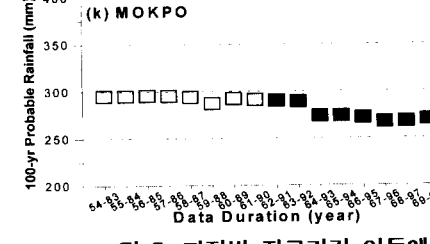
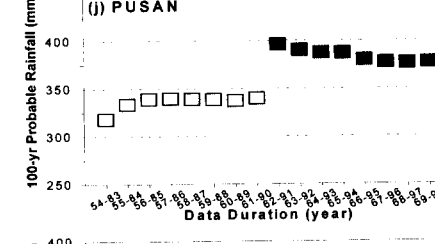
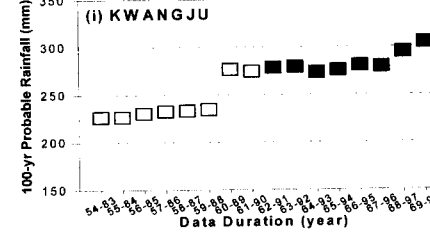
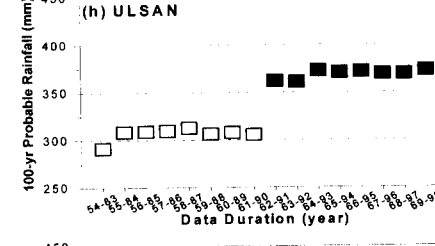
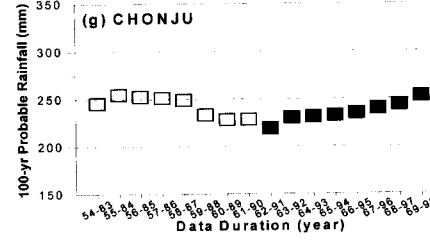
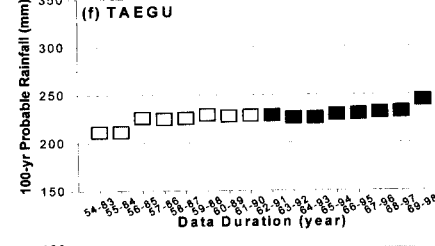
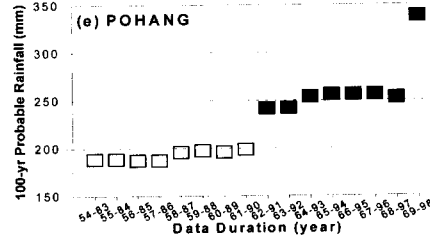
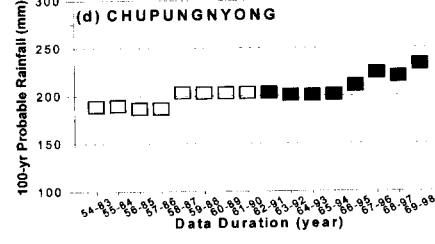
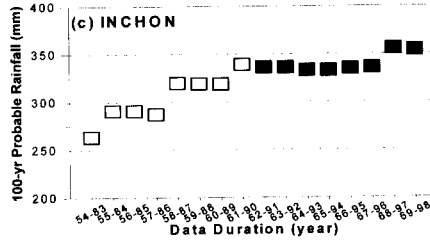
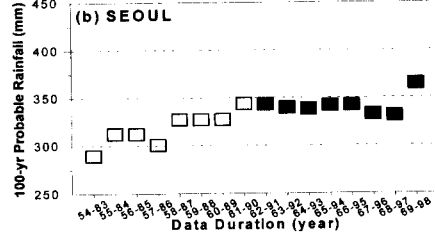
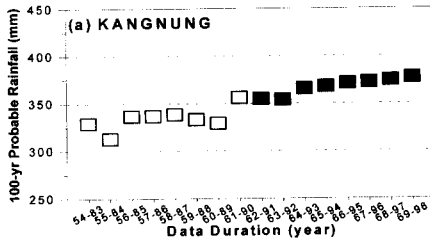


그림 5. 지점별 자료기간 이동에 따른 100년 빈도 일최대 확률강우량의 변화

과거의 자료에만 기초해서 설계된 기존의 홍수방어시설에 대해서는 전반적인 홍수방어능력 평가가 새롭게 이루어져야 할 것임을 시사하고 있는 것이다.

2.4 자료기간 누가에 따른 확률강우량의 변동 분석

2.3의 분석을 통해 최근의 집중호우가 확률강우량에 미치는 상대적인 영향에 대해 알아보았다. 그러나 이러한 방법은 기후적인 변화에 의한 영향을 파악하기 위해 시도할 수 있는 방법이지 실제 설계강우량을 산정하기 위한 방법은 아니며, 수공구조물의 설계를 위한 빈도해석시에는 모든 자료를 대상으로 확률강우량을 산정해야 한다.

따라서, 계속적인 자료의 누가(매년 새로운 자료가 추가되므로)에 따른 확률강우량의 변화를 살펴보는 것이 실제적인 방법이며, 이를 위해 지점별로 30년을 최소 자료기간으로 한 후 1년씩 자료를 누가시키면서 100년 빈도 확률강우량을 산정하였다. 이 결과를 표 4에 수록하였으며, 표 4에 나타난 확률강우량의 변화를 그림 6에 도시하였다.

표 4에서는 각 지점별로 확률강우량의 최대값을 음영으로 처리하였는데 서울, 추풍령, 포항, 대구, 광주 등의 지점에서 1998년을 포함시켰을 경우에 최대값을

계산하였으며, 나머지 지점에서는 지점별로 다른 자료기간에서 최대값이 산정되었다.

이러한 자료기간 누가에 따른 확률강우량의 변화는 그림 6을 통해서 더욱 자세히 살펴볼 수 있는데, 그림 6에서 각 지점별로 공통적으로 보이는 특징은 집중호우가 발생했던 해의 연 최대 강우량의 포함 여부에 따른 확률강우량의 변화이다. 즉, 어느 해의 큰 강우량이 포함되기 전에는 지속적으로 감소하는 추세를 보이다가, 하나의 큰 값이 포함되면 확률강우량은 크게 증가하고 그 다음해부터는 다시 감소하는 추세를 보인다는 것이다.

서울의 경우 큰 홍수가 발생했던 해인 84년, 87년, 90년, 98년의 자료가 포함된 기간의 확률강우량은 급증하고 그 이후에는 감소하는 추세가 계속적으로 반복되고 있으며, 목포나 여수 등의 지점에서는 85년의 집중호우에 따른 최대 확률강우량의 산정 이후에는 특별히 큰 호우가 없었으므로 계속적으로 감소 추세를 보여주는 것을 알 수 있다.

이러한 분석 결과를 통해 하나의 의문을 가지게 된다. 즉, 대상지점의 수공구조물 설계를 위한 적절한 자료기간 및 확률강우량은 어떤 기준으로 결정하는 것이 옳은가 하는 것이다.

예를 들어 목포지점에서 수공구조물의 설계를 위한

표 4. 지점별 자료기간 누가에 따른 100년 빈도 일최대 확률 강우량

(단위 : mm)

자료기간	강릉	서울	인천	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수
'54~'83	329.2	289.6	263.4	189.0	188.6	211.5	245.6	291.2	226.5	318.2	295.2	287.4
'54~'84	334.3	308.3	287.1	188.5	187.0	209.5	251.2	304.8	223.9	330.4	291.1	284.9
'54~'85	350.9	304.4	283.4	187.4	185.3	221.3	248.3	302.8	226.9	332.8	297.5	293.6
'54~'86	346.4	301.6	279.9	186.1	183.7	218.5	246.0	299.6	226.7	330.5	294.1	290.4
'54~'87	345.8	322.7	306.8	199.2	192.4	216.7	243.1	304.8	225.4	327.6	290.1	287.5
'54~'88	341.8	319.9	302.9	202.9	192.1	216.9	240.7	301.5	224.3	326.6	286.2	289.7
'54~'89	337.6	317.0	299.6	201.0	190.8	214.4	238.6	302.3	260.4	324.0	287.6	287.0
'54~'90	355.1	327.4	314.7	199.6	190.9	212.5	236.3	299.1	257.4	322.6	285.5	287.3
'54~'91	351.0	324.1	310.9	197.8	225.1	210.6	235.1	341.8	258.7	366.5	282.1	285.9
'54~'92	348.3	321.8	307.9	196.3	223.6	208.3	240.5	339.6	256.8	363.4	278.7	283.5
'54~'93	353.4	320.1	305.3	195.2	231.1	206.1	241.6	344.3	256.9	359.9	275.9	282.8
'54~'94	351.3	319.6	302.0	195.5	230.3	208.1	241.4	340.7	256.9	356.7	272.8	280.6
'54~'95	350.4	317.3	300.3	203.0	228.4	207.6	241.2	338.2	258.3	353.4	270.1	278.3
'54~'96	348.4	316.7	297.8	216.5	227.0	207.6	241.9	334.7	255.9	350.5	267.2	277.6
'54~'97	346.6	313.8	311.3	214.7	226.2	206.4	242.3	331.3	266.0	347.2	264.6	277.3
'54~'98	345.8	334.7	308.2	223.7	283.2	221.5	247.4	331.0	271.4	345.0	265.6	275.4

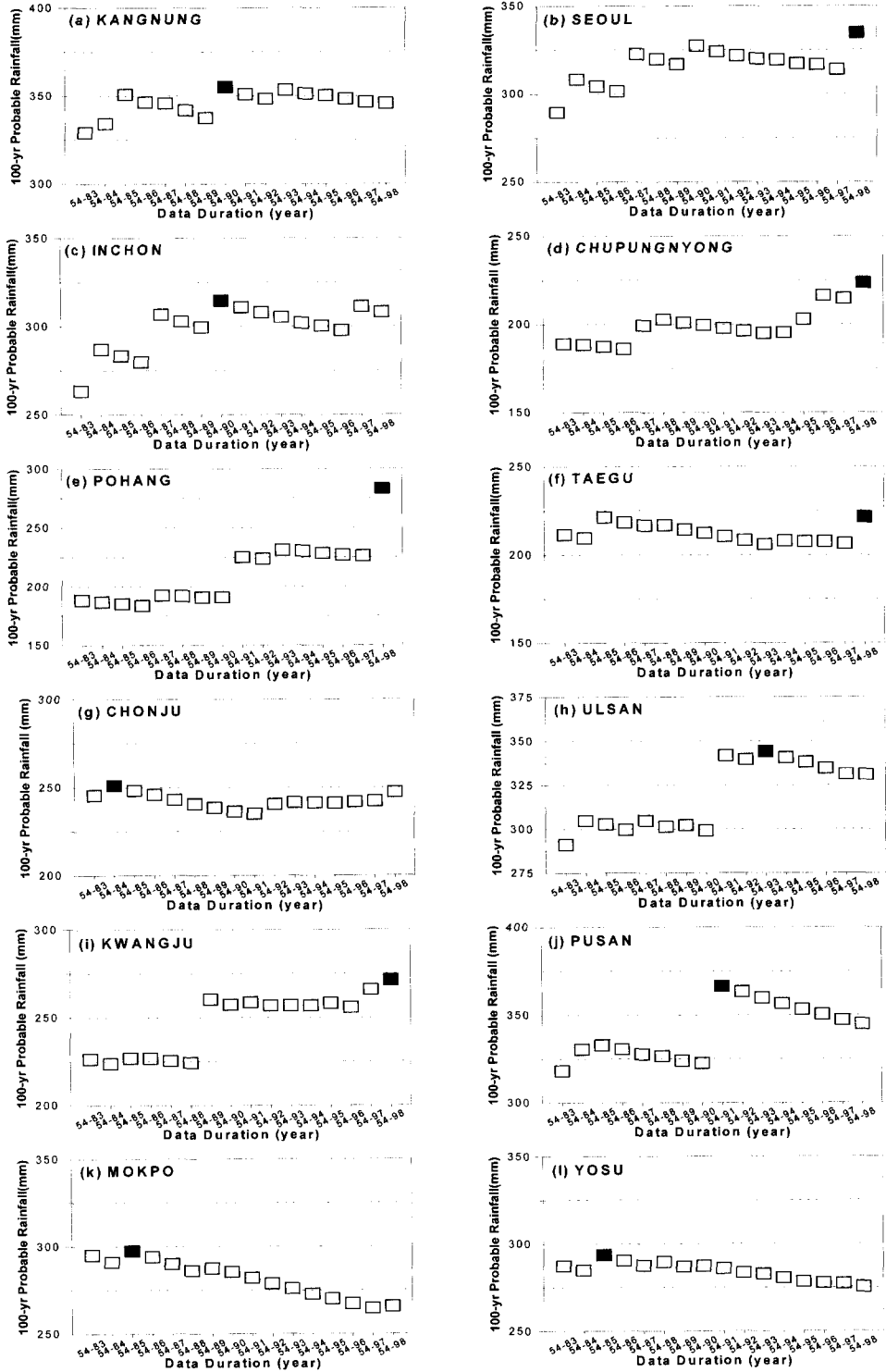


그림 6. 지점별 자료기간 누가에 따른 100년 빈도 일최대 확률강우량의 변화

확률강우량을 산정할 때 현재시점(1999년)에서 할 수 있는 가장 적절한 방법은 관측 시작년부터 1998년까지의 자료를 이용해서 지속기간에 따른 연 최대치 계열을 작성한 후 빈도해석을 실시하는 것일 것이다. 그러나, 위의 표 4와 그림 6의 결과에서는 1998년까지의 자료를 모두 포함한 경우보다 1985년까지의 자료만을 사용해서 분석한 결과가 더 큰 값을 산정하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 수공구조물의 안전설계를 위해서는 오히려 1985년까지의 자료로 계산된 최대값을 사용하는 것이 오히려 더 적절하지 않느냐는 것이다.

또한 1998년 자료가 포함된 경우에 최대값이 계산되었던 서울, 추풍령, 포항, 대구, 광주 등의 지점에 대해서도 또 다른 의문을 가질 수 있다. 만약 설계시점이 1998년의 집중호우가 발생하기 이전이라서 1997년까지의 자료만을 가지고 수공구조물을 설계했을 경우에 1998년의 자료를 포함한 경우와 비교한다면 분명 과소 설계가 되어진 것이고, 따라서 구조물의 능력에 심각한 영향을 줄 수도 있다는 것이다. 그러므로 장래에 발생할지도 모를 집중호우의 영향을 어떤 식으로 고려할 수 있는가 하는 것이다.

설계빈도를 초과하는 홍수가 계속적으로 발생하고 있는 우리 나라의 현실에서 이러한 고려는 중요한 의미를 가지게 되며, 기상이변으로 인해 발생할 수 있는 집중호우의 영향을 수공구조물의 설계시 반영했다라면 최근의 홍수피해를 조금이나마 경감시킬 수 있었을 것이기 때문이다. 따라서 빈도해석시 자료기간에 따라, 또는 내릴 수 있는 큰 규모의 집중호우에 따라 달라질 수 있는 확률강우량의 변화를 적절히 고려할 수 있다면 발생 가능한 재해를 줄이는데 좀더 효과적일 수 있을 것이다.

3. 결 론

최근들어 우리 나라에 급증하고 있는 집중호우로 엄청난 피해가 계속적으로 발생하고 있으며, 이러한 집중호우의 양상과 확률강우량의 산정에 미치는 영향을 알아보기 위해서 12개 우량관측소의 강우자료에 대한 분석을 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선정된 12개 우량관측소에서 1954~1998년 사이에 발생한 50mm 이상의 일강우 발생일수를 계산하여 1954년 이후의 한반도에서는 50mm 이상의 일강우 발생일수가 최근으로 올수록 전체적으로 약 10% 정도 증가하는 것을 알 수 있었고, 이는 최근 홍수 발생해의 증가 양상을 반영하는 것으로 판단된다.

2) 안정된 확률강우량을 산정하기 위한 최소 자료기간을 선정하기 위해 서울, 대구, 전주와 목포 등 4개 지점의 기간별 확률강우량의 분산을 계산하였으며, 최소 자료기간은 30년 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

3) 지점별로 30년의 자료기간을 1년씩 점진 이동하면서 100년 빈도 일최대 확률강우량을 산정하였으며, 분석 대상지점 중 80% 이상의 지점에서 1990년 이후의 강우자료가 포함될수록 확률강우량의 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 우리 나라 대부분의 지역에서 최근의 집중호우로 인한 영향이 과거에 비해 상대적으로 증가하고 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다.

4) 최소 자료기간을 30년으로 한 후 1년씩 점진 증가하면서 지점별로 100년 빈도 일최대 확률강우량을 산정하였으며, 집중호우가 발생했던 해의 연 최대 강우량의 포함 여부에 따른 확률강우량의 변화를 파악할 수 있었다. 이를 통해 빈도해석시 자료기간에 따라, 또는 내릴 수 있는 큰 규모의 집중호우에 따라 달라질 수 있는 확률강우량의 변화를 적절히 고려할 수 있다면 발생 가능한 재해를 줄이는데 좀더 효과적일 수 있음을 알 수 있었다.

5) 이상의 분석을 통해 전세계적인 기상이변으로 인한 한반도에서의 집중호우 증가양상을 정량적으로 파악하였고, 수공구조물의 설계를 위한 빈도해석시 자료기간 선정의 중요성과 기존 하천시스템의 홍수방어능력에 대한 재평가 필요성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1993). 1993년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서.
- 김 승 (1999). "이상기후에 따른 홍수관리대책", 이상기후 워크샵, 기상청, pp. 14~16.
- 오재호, 홍성길 (1995). "대기중 CO2 증가에 따른 한반도 강수량 변화." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제28권, 제3호, pp. 143~157.
- 윤용남 (1998). "우리 나라 치수방재대책의 향후 추진 방향." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권, 제5호, pp. 51~60.
- 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999a). "지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 : 1. 연/월강수량의 변화에 따른 일강수량 분포의 변화 분석." 한국수자원학회논문집,

- 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp. 617~625.
- 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999b). “지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 : 2. 지구온난화에 따른 일강수량 분포의 변화 추정.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제6호, pp. 627~636.
- 윤용남, 이재수, 유철상, 안재현 (1999c). 지구온난화에 따른 한반도 수문환경의 변화 연구, '99 학술 발표회 논문집, 한국수자원학회, 1999. 5, pp. 165~168.
- 이동률, 홍일표, 김남일, 서병하 (1994). “수자원 계획을 위한 과거 강수량 자료의 분석.” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제27권, 제3호, pp. 71~82.
- 이종태 (1998). “'98 홍수재해원인과 하천관리의 문제점.” 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권, 제5호, pp. 20~32.
- 조하만, 최영진, 권효정 (1997). “우리나라 여름철 강수량의 기후적 분포 특성.” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제3호, pp. 247-256.
- 한국과학기술연구원 (1994). 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(I), 과학기술처.
- 한국과학기술연구원 (1995). 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II), 과학기술처.
- Angel, J. R. and Huff, F. A. (1997). “Changes in Heavy Rainfall in Midwestern United States.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 4, pp. 246~249.

(논문번호:00-026/접수2000.04.20/심사완료:2000.08.07)