

## 우량관측망의 밀도를 고려한 면적확률강우량 산정 방안

○ 김 경 덕\* · 김 문 모\*\* · 이 재 응\*\*\* · 송 재 우\*\*\*\*

### 1. 서 론

우리 나라는 수문학적 특수성으로 인하여 1966년부터 특정 다목적댐법에 의해 댐 건설을 적극적으로 추진하여 왔다. 이러한 댐들은 건설당시 제한된 수문자료에 대하여 수문 분석을 통하여 설계수문량을 결정하였으며, 해석기법에 있어서도 개략적인 經驗的 기법이 대부분이었다. 따라서, 관측자료의 누적에 따른 수문자료의 확충과 해석기법이 발전한 현 시점에서 기존댐의 설계수문량을 평가할 때, 그 결과는 댐 시설물의 안전진단에 있어서 매우 중요하다.

댐을 적절히 설계, 시공, 운영, 유지관리하여 인명과 재산을 합리적으로 보호하기 위한 기관인 미국 Department of Ecology Dam Safety (DSO)의 댐과괴 분석자료에 의하면, 여수로의 설계와 소통문제로 인한 파괴가 34%로 가장 크게 나타났다. 따라서, 여수로 방류 능력 검토는 댐 안전진단에 있어서 매우 중요한 항목으로 판단된다.

이를 위해서 가장 선행되어야 할 과제는 재현기간별 면적확률강우량을 산정하는 것으로서 댐유입량 산정을 위한 입력자료가 된다. 댐유입량은 입력자료인 강우량에 절대적으로 좌우되는 것으로서 입력자료의 정확도는 결국 수문분석 전반적인 결과의 정확도를 좌우하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 자료의 기간, 관측정도 등에서 매우 양호한 자료를 사용하여 확률강우량을 산정하려 한다. 그러나, 대상유역의 우량관측소 가운데 2곳이 수문 통계학적 분석이 가능한 양호한 자료이고 나머지 11곳은 자료기간이 10년 미만으로 직접 사용이 어려운 상황이다. 본 연구에서는 자료기간이 짧지만 관측소의 밀도가 높은 지점의 자료를 이용하여 자료의 상태가 좋지만 관측소의 밀도가 낮은 단점을 보완하고자 한다. 또한, Monte Carlo 모의 실험을 통하여 어느 정도의 보완 효과를 가지는지 검토하였다.

- 
- \* 시설안전기술공단 진단 2본부
  - \*\* 신구대학 토목과 부교수
  - \*\*\* 아주대학교 환경도시 공학부 조교수
  - \*\*\*\* 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수

## 2. 기본자료 및 분석방법

합천댐은 1988년 담수 개시하여 1989년부터 상업발전을 시작하였다. 현재 유역내 11개 우량관측소가 설치되어 시간당 강우량을 측정하고 있으며, 기상청 관할로 2개소가 1972년 이후 설치 운영중에 있다. 다음 표 1은 대상유역의 강우 관측소 현황을 나타내고 있다.

표 1. 강우관측소 현황

지점명	관측년도	관측기간(년)	지점명	관측년도	관측기간(년)
합천	1990-1999	10	거창1	1992-1999	8
봉수	1990-1999	10	가북	1992-1999	8
복상	1990-1999	10	지산	1992-1999	8
고령	1990-1999	10	죽고	1996-1999	4
청연	1990-1999	10	기상청		
용양	1990-1999	10	합천	1972-1999	28
진양	1990-1999	10	거창	1971-1999	29

기상청 자료에서는 매년 특이할 만한 강우사상에 대하여 각 지속기간별로 최대치가 나타날 수 있도록 자기우량지를 수집하여 지속기간별로 최대치 자료를 구축하였다. 다음 표 2는 각 연도별 추출한 호우사상을 나타내고 있다. 지속기간으로는 30분, 1시간, 2시간 등 단기간 지속기간으로부터 48시간 장기간 지속기간에 대하여 최대치 자료를 구축하였다.

표 2. 호우사상별 강우관측 자료 (기상청 자료, 합천)

연도	월	일	시간	분	연도	월	일	시간	분	연도	월	일	시간	분
1972	9	13	15	30	1982	8	29	1	0	1989	7	25	2	30
1973	7	18	18	0	1983	6	19	22	0	1989	7	26	12	0
1973	8	3	2	30	1983	7	14	13	0	1989	8	21	3	0
1973	9	9	2	0	1983	7	21	8	0	1989	8	29	17	30
1974	6	17	0	30	1983	7	23	8	30	1989	9	15	2	0
1974	7	2	20	30	1983	8	17	17	0	1990	4	12	2	40
1974	7	3	22	30	1983	8	27	9	30	1990	6	19	19	40
1974	7	6	4	0	1983	9	3	2	30	1990	6	24	11	10
1974	7	26	4	30	1983	9	27	8	0	1990	9	1	3	40
1974	8	23	17	30	1984	6	7	4	30	1991	7	9	10	0
1974	8	28	17	30	1984	7	4	14	0	1991	7	11	15	30
1975	6	4	10	0	1984	7	6	19	0	1991	7	30	7	0
1975	7	11	3	30	1984	8	20	13	30	1991	8	6	22	0
1975	7	25	2	0	1984	8	26	5	0	1991	8	9	2	40
1975	7	31	1	0	1984	8	31	3	0	1991	8	22	6	40
1975	9	16	3	30	1984	9	1	0	30	1991	8	22	6	40
1976	6	7	18	0	1984	9	2	9	30	1991	9	4	18	0
1976	8	5	13	0	1984	9	23	5	0	1991	9	26	14	20
1976	8	29	9	0	1985	7	3	10	0	1992	4	9	3	0
1977	4	6	0	30	1985	8	9	11	0	1992	7	16	8	30
1977	4	24	0	30	1985	8	14	2	30	1993	6	28	5	10
1977	7	6	3	0	1985	8	16	6	30	1993	7	11	14	50
1977	8	8	4	0	1985	9	1	11	30	1993	8	7	15	0
1977	9	7	13	0	1985	9	18	8	0	1994	8	1	3	30
1978	6	9	21	0	1986	6	16	1	0	1994	10	11	10	10
1978	6	16	18	0	1986	6	23	0	30	1995	7	23	10	20
1978	7	12	7	30	1986	6	24	3	0	1995	8	23	2	50
1978	7	14	6	30	1986	7	14	11	30	1995	8	24	9	50
1978	7	17	10	30	1986	8	18	14	30	1996	6	24	6	0
1978	8	17	17	30	1986	8	20	19	30	1997	6	25	2	50
1979	6	25	1	0	1986	8	28	1	30	1997	6	30	22	0
1979	7	16	11	0	1986	9	20	1	30	1997	7	6	4	40
1979	8	5	8	30	1987	6	1	20	0	1997	7	15	21	40
1979	8	17	0	30	1987	6	7	15	0	1997	8	4	5	50
1979	8	22	4	30	1987	7	12	12	20	1997	8	10	2	0
1980	7	10	8	0	1987	7	14	18	0	1998	6	24	14	40
1980	7	17	17	30	1987	7	22	19	30	1998	6	27	7	20
1980	7	29	4	30	1987	8	4	14	0	1998	7	31	14	20
1980	8	12	20	0	1987	8	7	12	30	1998	8	16	11	40
1980	8	28	14	0	1987	8	16	0	30	1998	9	29	1	10
1980	9	10	4	0	1987	8	21	2	30	1999	5	3	10	10
1981	7	11	0	0	1987	8	30	13	30	1999	7	1	15	40
1981	8	29	5	0	1988	7	14	3	30	1999	8	2	13	10
1981	8	30	3	30	1988	7	15	1	50	1999	8	4	5	30
1981	9	2	8	30	1988	8	19	16	30	1999	8	22	0	40
1982	6	24	18	0	1989	6	8	2	30	1999	8	30	2	40
1982	7	23	3	0	1989	7	15	7	0	1999	9	19	14	30
1982	8	11	14	30	1989	7	16	5	0	1999	9	22	3	30

## 2.1 지점 빈도해석

각 지점에 대하여 확률분포형별 (gamma, GEV, Gumbel, lognormal, log-Gumbel, log-Pearson type III, Weibull, Wakeby), 매개변수 추정방법별 (모멘트법, 최우도법, 확률가중 모멘트법)로 해석하였으며, 적합도 검정 ( $\chi^2$ -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정, probability plot correlation coefficient 검정)과 도시적 해석 (graphical analysis) 등을 통하여 적정분포형을 선정하고 재현기간별 확률강우량을 산정하였다 (김경덕 등 1996a, 1996b). 다음 그림 1은 지속기간 2시간에 대한 경험 및 적합된 확률밀도함수를 나타내고 있으며, 표 3은 적합도 검정결과, 표 4는 선정된 지속기간별 확률분포형을 나타내고 있다.

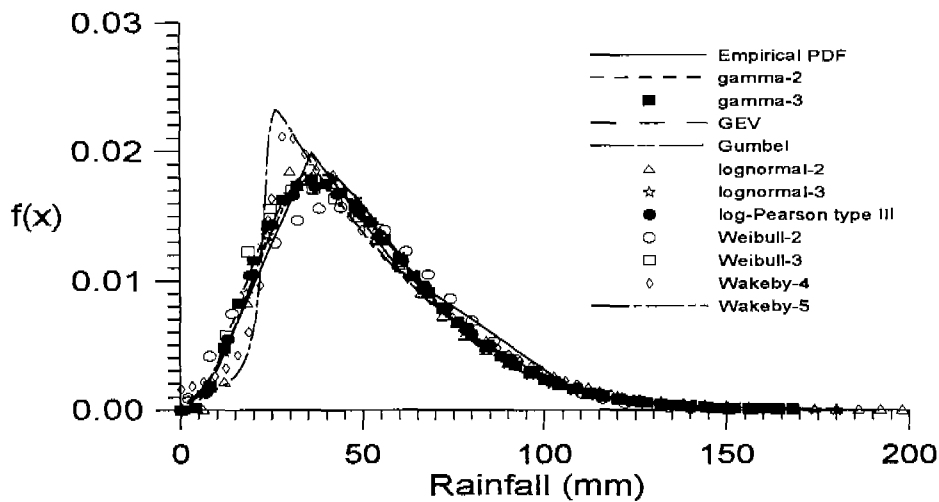


그림 1. 경험 및 적합된 확률밀도함수 (지속기간 2시간)

표 3. 적합도 검정결과 (합천)

Time (hr)	GOF	GAM2			GAM3			GEV			GUM			LN2			LN3			LGU2			LP3			WBU2			WKB4			WKB5		
		con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst	con	tab	rst			
1	CHI	.29	5.94	○	.00	3.84	○	2.71	3.84	○	2.00	5.94	○	5.94	5.94	○	2.71	3.84	○	3.07	5.94	○	.29	3.84	○	2.71	5.94	○	1.14	3.84	○	2.50	3.84	○
	K-S	.07	.22	○	.08	.22	○	.08	.22	○	.08	.22	○	.10	.22	○	.07	.22	○	.16	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.07	.22	○	.08	.22	○
	CVM	.03	.46	○	.02	.46	○	.02	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.02	.46	○	.19	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○
	PPCC	.99	.97	○	.96	.97	×	.99	.96	○	.99	.95	○	.98	.96	○	.98	.96	○	.98	.96	○	.99	.95	○	.99	.95	○	.99	.95	○	.99	.95	○
2	CHI	.29	5.94	○	.29	3.84	○	3.07	3.84	○	2.00	5.94	○	3.07	5.94	○	3.07	3.84	○	2.36	5.94	○	.29	3.84	○	2.71	5.94	○	1.14	3.84	○	2.00	3.84	○
	K-S	.08	.22	○	.07	.22	○	.07	.22	○	.08	.22	○	.08	.22	○	.08	.22	○	.09	.22	○	.08	.22	○	.11	.22	○	.06	.22	○	.06	.22	○
	CVM	.03	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.02	.46	○	.03	.46	○	.11	.46	○	.03	.46	○	.05	.46	○	.02	.46	○	.02	.46	○
	PPCC	.99	.97	○	.99	.97	○	.99	.95	○	.98	.95	○	.98	.96	○	.98	.96	○	.98	.96	○	.99	.95	○	.99	.95	○	.99	.95	○			
6	CHI	3.14	5.94	○				.21	3.84	○	2.36	5.94	○	.21	5.94	○	.21	3.84	○	2.00	5.94	○				4.50	5.94	○	2.43	3.84	○	1.50	3.84	○
	K-S	.11	.22	○				.07	.22	○	.11	.22	○	.07	.22	○	.07	.22	○	.06	.22	○				.14	.22	○	.06	.22	○	.06	.22	○
	CVM	.05	.46	○				.03	.46	○	.06	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○	.05	.46	○				.10	.46	○	.02	.46	○	.02	.46	○
	PPCC	.98	.97	○				.98	.94	○	.98	.95	○	.96	.96	○	.96	.96	×	.98	.96	○				.97	.95	○	.97	.95	○			
12	CHI	1.43	5.94	○	1.43	3.84	○	.93	3.84	○	1.64	5.94	○	.93	5.94	○	.93	3.84	○	2.47	5.94	○	1.43	3.84	○	.57	5.94	○	.71	3.84	○	5.00	3.84	○
	K-S	.10	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.11	.22	○	.11	.22	○	.10	.22	○	.13	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○
	CVM	.05	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.11	.46	○	.04	.46	○	.08	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○
	PPCC	.98	.97	○	.99	.97	○	.99	.94	○	.98	.95	○	.97	.96	○	.97	.96	○	.98	.96	○	.98	.95	○	.98	.95	○	.98	.95	○			
24	CHI	2.00	5.94	○	.86	3.84	○	.57	3.84	○	.57	5.94	○	.57	5.94	○	.57	3.84	○	3.07	5.94	○	.86	3.84	○	.57	5.94	○	4.14	3.84	×	4.00	3.84	×
	K-S	.11	.22	○	.10	.22	○	.09	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.10	.22	○	.09	.22	○	.10	.22	○	.14	.22	○	.09	.22	○	.09	.22	○
	CVM	.05	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○	.03	.46	○	.04	.46	○	.08	.46	○	.04	.46	○	.09	.46	○	.03	.46	○	.03	.46	○
	PPCC	.98	.97	○	.98	.97	○	.98	.95	○	.98	.95	○	.97	.96	○	.97	.96	○	.98	.96	○	.98	.95	○	.98	.95	○	.98	.95	○			
48	CHI	2.00	5.94	○	2.00	3.84	○	5.93	3.84	×	5.93	5.94	○	5.93	5.94	○	5.93	3.84	○	.57	5.94	○	2.00	3.84	○	11.2	5.94	×	2.43	3.84	○	7.00	3.84	×
	K-S	.13	.22	○	.12	.22	○	.12	.22	○	.12	.22	○	.12	.22	○	.12	.22	○	.08	.22	○	.12	.22	○	.12	.22	○	.15	.22	○	.10	.22	○
	CVM	.06	.46	○	.05	.46	○	.05	.46	○	.05	.46	○	.05	.46	○	.05	.46	○	.08	.46	○	.05	.46	○	.09	.46	○	.04	.46	○	.04	.46	○
	PPCC	.98	.97	○	.99	.97	○	.99	.95	○	.99	.95	○	.97	.96	○	.97	.96	○	.98	.96	○	.98	.95	○	.98	.95	○						

표 4. 지속기간별 선정 확률분포형

30 min.	Wakeby-5	4 hr	GEV	15 hr	GEV
1 hr	lognormal-3	6 hr	GEV	18 hr	GEV
2 hr	gamma-2	9 hr	Wakeby-5	24 hr	lognormal-2
3 jr	GEV	12 hr	GEV	48 hr	lognormal-2

## 2.2 관측소 밀도의 보정

수자원공사 관할 11개 관측소의 자료를 표 2와 같은 시간대의 호우사상으로 분리하였다. 각 호우사상별로 누가우량과 시간당 우량을 도시하여 관측오차를 보정하였으며, 각 지점의 상관성을 분석하였다. 다음 그림 2는 98년 9월 28일 호우사상에 대한 시간당 강우를 나타내고 있다.

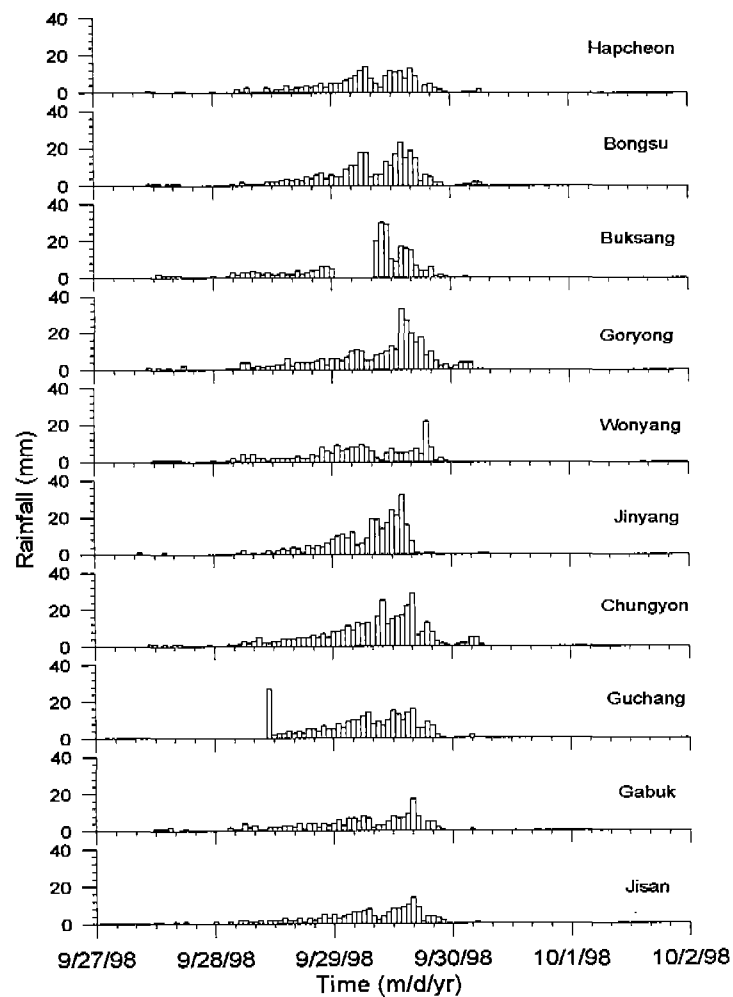


그림 2. 1998년 호우에 대한 시간당 우량

도시적 분석결과 관측오차 및 호우의 시간적 분포를 파악할 수 있었으며, 호우의 형태에 따라 공간적 특성이 다름을 알 수 있었다. 태풍성 강우인 경우와 장마성 강우인 경우에는 대상유역 전반에 걸쳐 비슷한 호우분포를 나타낸 반면에 4, 5월철 강우의 경우에는 지역별 편차가 크게 나타났다. 또한 기압골의 흐름에 따라 침두우량의 발생위치가 지점에 따라 변하고 있음을 파악할 수 있었다. 이러한 다양한 형태의 강우사상에 대하여 11개 지점의 자료를 이용하여 면적강우량을 산정하였다 (35개 호우사상). 산정된 면적강우량을 종속변수로 하고 기상청 관측소 지점과 비슷한 위치인 합천과 거창1의 강우자료를 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다.

$$Y_t = \alpha X_{1,t} + \beta X_{2,t} + \gamma, \quad (t = 1, \dots, 35) \quad (1)$$

여기서,  $Y_t$ 는 t번째 호우사상의 11개 지점을 사용하여 얻어진 면적강우량,  $X_{1,t}$ 는 t번째 호우사상의 합천지점 강우량,  $X_{2,t}$ 는 t번째 호우사상의 거창지점 강우량을 나타낸다.

따라서, 2.1에서와 같이 기상청 자료로부터 얻어진 결과를 식 (1)의 2개의 독립변수에 대입하면 관측소 밀도를 보정한 결과를 얻게 된다.

### 2.3 Monte Carlo 모의실험

식 (1)을 통하여 얻어지는 면적확률강우량에 대한 정확도를 검토하기 위하여 다음과 같은 모의실험을 수행하였다.

1) 11개 각 지점의 35개 호우사상에 대한 자료로부터 모집단의 확률분포형을 선정하고 매개변수를 추정한다. 분석결과 GEV 분포형이 모두 적합도 검정을 만족하였다.

2) 선정된 GEV 분포형을 모집단으로 가정하고, 각 지점의 35개 자료로부터 매개변수를 추정한다.

3) 각 지점별로 10,000회 uniform random number를 발생하여 자료를 생성시킨다 (Bratley 등, 1987).

4) 11개 지점 자료로부터 얻어지는 면적강우를 참값으로 가정하고, 식 (1)을 이용하여 얻어진 결과를 추정치 1, 단순히 2지점을 산술평균한 값을 추정치 2로 정의한다.

5) 추정치 1과 추정치 2에 대하여 절대 상대오차를 구하여 비교한다.

이상과 같은 절차를 수행한 결과 기상청 2지점을 산술평균하여 면적확률강우량을 구하는 것보다는 본 연구에서 제안한 식 (1)을 이용하는 것이 절대 상대오차가 작게 나타났다.

## 3. 결 론

댐 여수로 방류능력을 검토하기 위한 가장 중요한 단계중 하나가 면적확률강우량을 산정하는 것이다. 최종결과의 정확도를 좌우하는 입력자료이기 때문에 자료의 기간, 관측

정도 등에서 매우 양호한 자료를 사용하여 확률강우량을 산정하고자 하였다. 그러나, 대상유역의 우량관측소 가운데 2곳이 수문 통계학적 분석이 가능한 양호한 자료이고 나머지 11곳은 자료기간이 10년 미만으로 직접 사용이 어려운 상황이다. 본 연구에서는 자료기간이 짧지만 관측소의 밀도가 높은 지점의 자료를 이용하여 관측소의 밀도가 낮은 단점을 보완하고자 다중회귀식을 제시하였다. 또한, Monte Carlo 모의 실험을 통하여 2지점 자료의 단순 평균 (추정치 2)보다는 제시한 회귀식을 사용하는 것 (추정치 1)이 절대상대오차가 작게 나타났음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 참고문헌

- 김경덕, 허준행, 조원철 (1996a). 2변수 보간법을 이용한 호우시 한강유역의 평균면적 강우량산정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 16권, 제 II-3호, pp. 219~228.
- 김경덕, 허준행, 조원철 (1996b). 연최대치 강우자료의 적정 확률분포형 선정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 16권, 제 II-4호, pp. 335~344.
- Bratley, D., Fox, B. L., and Schrage, L. E. (1987). A Guide to Simulation, Springer-Verlag, New York.