

한강유역 상류부 댐의 확률홍수량 재산정

The Estimation of Flood Quantiles for Dams in Upper-Basins of Han River

○ 김 경 덕^{*} · 허 준 행^{**} · 이 동 진^{***} · 조 원 철^{****}

Kim, Kyung Duk · Heo, Jun Haeng · Lee, Dong Jin · Cho, Won Cheol

1. 서 론

홍수사상은 사회적 경제손실, 환경변화, 인명피해 등 경제적, 사회적, 정치적으로 막대한 악영향을 가져다 주기 때문에 홍수해석은 매우 중요한 과제이다.

한강유역은 1940년대 이후 댐들이 건설되어 저수지군이 형성되어 있으며, 팔당댐 하류부에는 수도권이 위치하여 용수를 취수하고 있다. 그러나 용수수요는 급격히 증가하는데 반하여 신규댐의 건설은 어려운 가운데, 기존댐의 최적 연계운영을 통한 활로를 모색하고 있는 실정이다. 이러한 용수이용 측면에 있어서는 가능한 댐의 저수율을 최대로 하는 것이 유리한데, 이로 인하여 치수적인 면에서 홍수피해에 대한 위험도는 더욱 가중될 수 밖에 없다. 또한, 댐의 건설시기, 설계빈도, 설계기준 등이 댐마다 제각기 다르고 전체적인 계획에 따라 건설한 것이 아니기 때문에 현재 상태는 수자원 상황이 상당히 변모된 상태이다.

따라서 현재의 상태에서 각 댐의 설계홍수량을 재산정할 필요가 있으며, 특히 상류부 3개 댐(화천댐, 소양강댐, 충주댐)은 홍수조절 능력을 가지고 있으므로, 이에 대한 재산정은 댐군의 연계운영을 통한 홍수대처에 필수적이라 하겠다.

본 연구에서는 화천, 소양, 충주댐에 대한 확률홍수량을 재산정하였는데, 다음과 같은 2가지 방법으로 확률홍수량을 산정하였다.

첫 번째로 매년 최대치 첨두 유입량에 대하여 빈도해석을 실시하였으며, 두 번째로는 간접적인 방법으로 강우-유출모형을 통하여 확률홍수량을 산정하였다.

강우-유출 모형으로는 HEC-1 모형을 사용하였으며, 대상유역의 강우량 자료를 통하여 확률강우 강도식을 유도하였다. 이때에 설계강우를 1시간 간격으로 변화시켜 가면서 첨두 유출량이 최대가 될 때를 임계지속시간으로 정의하여 확률홍수량을 산정하였다.

실측 홍수량 자료를 통한 확률홍수량과 유출모형을 통한 간접적인 확률홍수량과 비교, 분석하여 가장 합리적인 확률홍수량을 산정하려 한다.

* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

** 연세대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

**** 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

2. 본 론

홍수조절 능력이 있는 화천댐, 소양강댐, 충주댐에 대하여 실측 침투 홍수량에 대한 빈도해석을 실시하였다. 이 3개 댐은 상류에 댐이 없으므로 자연유입량으로 간주할 수 있으며, 비교적 정확한 빈도별 홍수량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 화천댐의 경우, 금강산댐, 평화의댐의 건설로 영향을 받을 수 있으므로 댐건설 이전인 1987년까지의 자료에 대하여 해석하였다.

가우해석을 통하여 얻어진 확률강우량과 HEC-1 모형을 이용하여 간접적인 빈도별 홍수량을 산정하여 이를 비교하였다.

2.1 실측 침투홍수량에 대한 빈도해석

수문자료에 적합하다고 알려진 13가지 확률분포형(γ -2, γ -3, General extreme value, Gumbel, lognormal-2, lognormal-3, log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, log-Pearson type III, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5)을 적용하였으며, 매개변수의 추정에는 모멘트법(method of moments ; MOM), 확률가중 모멘트법(probability weighted moments ; PWM), 최우도법(maximum likelihood ; ML) 등을 사용하였다. χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등으로 적합도 검정을 실시하였으며, 도시적 해석을 병행하였다(김경덕 등, 1996a).

다음 표 1은 소양강댐 자료의 매개변수 추정별 각 확률분포형의 매개변수 추정치와 적합성 검토결과를 나타내고 있으며, 표 2는 추정된 매개변수가 적합성 조건을 만족하는 경우에 적합도 검정을 실시한 결과를 나타내고 있다. 표 2에서 보면 알 수 있듯이, γ 2(MOM, ML, PWM), GEV(PWM), Gumbel(ML), log-Gumbel-2(MOM, PWM), lognormal-2(MOM, ML, PWM), lognormal-3(ML, PWM), log-Pearson type III(MOM, PWM), Wakeby-4(PWM) 분포형이 적합도 검정에서 채택되었다. 이에 대하여 도시적인 해석결과를 나타낸 것이 그림 1과 그림 2이다. 그림에서 보면, lognormal-2(MOM, ML, PWM), log-Pearson type III(MOM), Gumbel(ML) 분포형 등이 잘 적합되고 있음을 알 수 있다.

표 1. 각 확률분포형의 매개변수 추정치와 적합성 결과 (소양강댐)

확률분포형	모멘트법				최우도법				확률가중 모멘트법				
	XLO	XSC	XSH	판정	XLO	XSC	XSH	판정	XLO	XSC	XSH	판정	
gamma-2	0	1945.904	2.026	O.K.	0	1301.611	3.029	O.K.	0	1640.396	2.403	O.K.	
gamma-3	1888.746	3735.780	0.550	N.G.	비수렴			N.G.	비수렴			N.G.	
GEV	2668.178	1845.603	-0.103	O.K.	4209.309	467.741	-0.163	O.K.	2569.755	1238.970	-0.354	O.K.	
Gumbel	2695.789	2159.504	0	O.K.	2876.436	1549.664	0	O.K.	2807.518	1965.728	0	O.K.	
log-Gumbel-2	0	2530.498	2.335	O.K.	비수렴			N.G.	0	2530.498	2.335	O.K.	
lognormal-2	0	8.079	0.633	O.K.	0	8.105	0.557	O.K.	0	7.992	0.565	O.K.	
lognormal-3	-811.230	8.320	0.541	O.K.	1055.890	7.604	0.861	O.K.	1176.590	7.485	0.938	O.K.	
log-Pearson type III	5.151	0.110	26.867	O.K.	비수렴			N.G.	6.966	0.304	3.745	O.K.	
Weibull-2	0	4345.820	1.446	O.K.	0	4454.071	1.631	O.K.	0	4405.102	1.634	O.K.	
weibull-3	1121.423	2842.135	1.018	O.K.	1471.157	848.258	0.404	N.G.	1638.169	1985.170	0.774	N.G.	
Wakeby-4									XLO	a	b	c	d
Wakeby-5									0	1627.9	73.2	6716.0	0.2581
									455.8	1176.0	49.9	6675.0	0.2590

표 2. 매개변수 추정방법에 따른 적합도 검정결과 (소양강댐)

확률분포형	검정방법	모멘트법(MOM)			최우도법(ML)			확률가중 모멘트법(PWM)		
		검정 통계치	표값	판정	검정 통계치	표값	판정	검정 통계치	표값	판정
gamma-2	χ^2 -test	5.27	5.99	○	2.00	5.99	○	0.91	5.99	○
	K-S test	0.19	0.25	○	0.21	0.25	○	0.20	0.25	○
	CVM test	0.15	0.46	○	0.14	0.46	○	0.13	0.46	○
gamma-3	χ^2 -test									
	K-S test									
	CVM test									
GEV	χ^2 -test	8.45	3.84	×	36.16	3.84	×	0.73	3.84	○
	K-S test	0.18	0.25	○	0.66	0.25	×	0.11	0.25	○
	CVM test	0.12	0.46	○	3.06	0.46	×	0.03	0.46	○
Gumbel	χ^2 -test	8.45	5.99	×	4.36	5.99	○	8.45	5.99	×
	K-S test	0.21	0.25	○	0.18	0.25	○	0.21	0.25	○
	CVM test	0.17	0.46	○	0.12	0.46	○	0.16	0.46	○
log-Gumbel-2	χ^2 -test	1.64	5.99	○				1.64	5.99	○
	K-S test	0.09	0.25	○				0.09	0.25	○
	CVM test	0.04	0.46	○				0.04	0.46	○
log-Gumbel-3	χ^2 -test									
	K-S test									
	CVM test									
lognormal-2	χ^2 -test	3.91	5.99	○	0.73	5.99	○	3.00	5.99	○
	K-S test	0.16	0.25	○	0.16	0.25	○	0.10	0.25	○
	CVM test	0.07	0.46	○	0.07	0.46	○	0.07	0.46	○
lognormal-3	χ^2 -test	8.45	3.84	×	1.18	3.84	○	0.73	3.84	○
	K-S test	0.17	0.25	○	0.12	0.25	○	0.10	0.25	○
	CVM test	0.11	0.46	○	0.03	0.46	○	0.04	0.46	○
log-Pearson-typeⅢ	χ^2 -test	0.91	3.84	○				2.00	3.84	○
	K-S test	0.14	0.25	○				0.11	0.25	○
	CVM test	0.05	0.46	○				0.03	0.46	○
Weibull-2	χ^2 -test	10.27	5.99	×	8.45	5.99	×	8.45	5.99	×
	K-S test	0.20	0.25	○	0.22	0.25	○	0.22	0.25	○
	CVM test	0.18	0.46	○	0.18	0.46	○	0.17	0.46	○
Weibull-3	χ^2 -test	3.91	3.84	×						
	K-S test	0.15	0.25	○						
	CVM test	0.09	0.46	○						
Wakeby-4	χ^2 -test							3.64	3.84	○
	K-S test							0.10	0.25	○
	CVM test							0.04	0.46	○
Wakeby-5	χ^2 -test							6.00	3.84	×
	K-S test							0.10	0.25	○
	CVM test							0.03	0.46	○

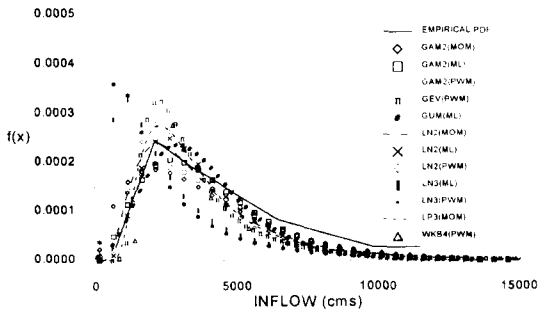
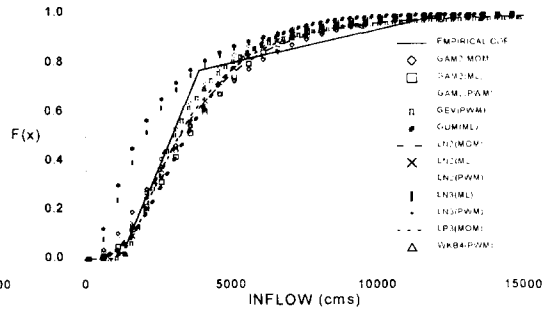


그림 1. 경험 밀도함수와 적합 밀도함수 그림



2. 경험 누가분포함수와 적합 누가분포함수

적합도 검정결과, 도시적 해석 등을 통하여 3개 댐의 적정분포형을 선별하였으며, 이를 표 3에 나타내었다.

표 3. 상류부 3개 댐의 적정분포형

		분포형 1	분포형 2	분포형 3
화천	분포형	GEV	log-Pearson type III	lognormal-2
	추정방법	(MOM)	(MOM)	(PWM)
소양	분포형	lognormal-2	log-Pearson type III	lognormal-2
	추정방법	(ML)	(MOM)	(PWM)
충주	분포형	Gumbel	gamma2	log-Pearson type III
	추정방법	(MOM)	(PWM)	(PWM)

2.2 강우-유출모형에 의한 홍수량 산정

빈도별 확률홍수량을 산정하는 간접적인 방법으로 강우-유출모형에 의한 방법이 있다. 본 연구에서는 재현기간별, 지속기간별, 소유역별 확률강우량과 과거 실측홍수 자료에 대해 검정을 거친 HEC-1 모형(백중철 등, 1998)을 이용하여 빈도별 확률홍수량을 산정하였다.

1) 강우해석

건설부 및 수자원공사의 매년 1일, 2일, 3일 최대 강우자료를 구축하였다.

기상대 자료는 9개 지점에 대하여 각 지속기간별로 구축하였으며, 앞서 실시한 방법과 마찬가지로 빈도해석을 실시하였다. 선정된 확률분포형의 확률강우량에 대하여 단기간(6시간 이하)과 장기간(6시간 이상)으로 구분하여 회귀분석을 실시하였다.

기상대 관측소 9개 지점은 자기우량지를 통하여 각 지속기간별 최대치 자료를 구축하였고, 비교적 관측기록이 길고 양질의 상태이다. 이러한 자료에 대하여 지점별로 확률강우강도식을 유도하면 임의의 지속기간에 대한 재현기간별 확률강우량을 산정할 수 있다. 따라서, 기상대 자료를 통하여 각 소유역별 설계홍수량을 임계 지속기간에 따라 산정하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 그러나 기상대 9개 관측지점으로 전체 한강유역에 대한 면적강우량을 산정하는 데는 관측소의 밀도면에서 무리가 따를 수 있다. 따라서 54개 지점자료(건설교통부)의 해석결과를 이용하여 이러한 문제점을 보완하고자 하였다.

9개 기상대 지점자료를 통하여 구해진 면적강우량을 54개 지점자료로 구한 면적강우량으로 환산하기 위하여 다음과 같은 과정을 수행하였다.

한편, 각 소유역별 면적강우량은 전체 면적강우량과 소유역별 면적강우량, 인근지점 강우량을 변수로 하는 다중회귀분석을 실시하여 산정하였다(김경덕 등, 1996b).

2) 강우지속기간의 설정

한강수계 상류부 3개댐에 있어서의 보나 합리적인 빈도별 홍수량을 산정하기 위하여 임계지속시간(critical duration)을 확률강우의 지속기간으로 간주하고, 각 유역에 대하여 빈도별 홍수량을 산정하였다. 임계지속시간이란 어떤 수공구조물의 용량을 결정하기 위해 사용되는 하류부에 있어서의 유출량의 부하가 최대가 되는 강우의 지속기간을 말하며, 임계지속시간은 하류부 구조물에서 첨두유출량을 기준으로 하느냐 아니면 유출총량을 기준으로 하느냐에 따라 달리 산정할 수 있다(이재준 등, 1993). 해당유역 하류부에 위치한 댐구조물에서의 방류량은 각 강우사상마다 상이하므로, 본 과업에서는 첨두유출량에 기준한 임계지속시간을 산정하였으며, 한강수계 3개댐 유역에 대한 유출량 산정을 위하여 앞절의 강우해석에서 유도된 6시간부터 48시간까지 강우지속기간을 변화시키면서 각 경우에서의 첨두유출량을 산정하고, 이를 비교하여 최대가 되는 첨두유출량이 발생하는 시간을 임계지속시간으로 정의하였다

3) 강우의 시간적 분포

본 연구에서는 Huff의 4분위법을 사용하였다. 기왕의 강우자료에 대한 통계해석을 통해 4개 첨두위치에 따라 강우의 시간적 분포를 해석한 이근후(1983)의 연구결과를 사용하였으며, Huff 2분위와 3분위에 대하여 한국건설기술연구원(1989)에서 제시한 한강수계내의 기상청 산하 9개지점에서의 무차원 확률누가우량도를 이용하여 해당유역의 강우를 시간적으로 분포하였다.

4) 유출모형에 의한 빈도별 홍수량 산정

HEC-1 모형을 이용하여 6시간부터 48시간까지 1시간단위의 강우 지속기간별, 13개 재현기간(2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 100, 200, 300, 500년)별로 산정하였으며, 강우 지속기간 변화에 따른 각 유역에서의 첨두유출량의 변화는 다음과 같다.

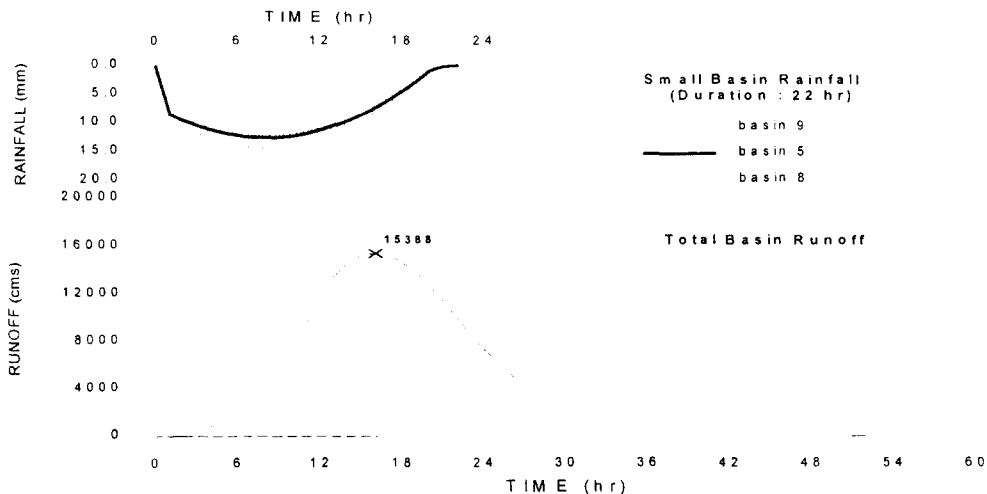


그림 3. 소양강 수계의 유출수문곡선
(지속기간 22시간, 재현기간 200년, Huff 2분위)

3. 결 론

이상에서 홍수조절 능력이 있는 3개 댐의 확률홍수량을 산정하는데 있어서, 실측 침투 홍수량에 대한 빈도해석 방법과 강우-유출모형에 의한 방법을 검토하였다.

2가지 방법중 어느 방법을 통하여 산정된 확률홍수량을 채택할 것인가는 쉽지 않은 문제라 할 수 있다. 2 방법 모두 불확실성을 내포하고 있는데, 각 방법의 문제점과 불확실성을 지적하면 다음과 같다. 우선 2가지 방법 모두 자료에 대한 불확실성이 내포됨을 지적할 수 있다. 빈도해석의 경우 모집단의 자료를 충분히 나타낼 수 있는가, 정확하고 지속성있으며, 독립적인 자료인가 등이다. 강우-유출모형의 경우에도 강우자료는 마찬가지로의 불확실성을 가지며, 모형의 검정을 위한 실측자료의 불확실성 등을 들 수 있다.

침투 홍수량에 대한 빈도해석은 자료에 대한 모집단을 기지의 확률분포형으로 가정하며, 적용한 몇개의 확률분포형으로 실측자료의 모집단을 정확히 나타낸다고 보기에 매우 어렵다. 또한, 확률분포형의 매개변수 추정과정, 적합도 검정과정 등에 따른 불확실성이 내재된다.

강우-유출모형의 경우 입력자료인 강우자료는 빈도해석 단계를 거쳐 확률강우량을 선정하여야 하므로 동일한 문제점을 포함하고 있다. 또한 대상유역의 입력자료에 대한 불확실성, 복잡한 강우-유출과정을 간략한 모형으로 표현하는데 따른 문제점 등이 있다.

이상의 문제점을 고려해 볼 때 실측 홍수량 자료에 대한 빈도해석을 통하여 확률홍수량을 산정하는 것이 보다 불확실성이 적게 내재될 것으로 판단된다.

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.
- 건설기술연구원(1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원, 89-WR-111, pp. 201~202, 연구보고서.
- 백중철, 배덕효, 허준행, 조원철(1998). "한강수계 댐군의 홍수 조절효과.", 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- 이근후(1983). 폭우의 시간적 분포에 관한 연구, 서울대학교 대학원 농공학과 박사학위논문, pp. 60~94.
- 이재준, 이정식, 전병호, 이종태(1993). "우수관거 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간.", 한국수문학회지, 제 26권, 제 2호, pp. 49~57.