

가능최대홍수량 산정 절차 변경에 따른 결과 분석

Comparative Study on PMF estimation process

권지혜*, 김남원**, 허준행***, 신은우****

Ji Hye Kwon, Nam Won Kim, Jun-Haeng Heo, Eun Woo Shin

요 지

최근 이상기후에 의하여 큰 호우사상이 빈발하고 있어 기존 PMF의 검토 및 그에 대한 체계적이고 합리적인 산정 절차가 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 필요성에 의하여 우리나라의 1종 댐 시설물에 대해 외국의 최근 추세에 부합하는 개념을 적용하였다. 그 결과 대부분의 경우에 있어 PMF가 기존에 산정된 값들에 비하여 증가되었고, 이러한 절차는 양질의 자료를 다량 확보하여 이에 대한 분석을 실시하고 더 많은 댐에 적용함으로써 가능최대홍수량 산정시 신뢰성을 부여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 가능최대홍수량(PMF), 단위도

1. 서론

최근 이상기후로 인하여 2002년에 발생한 태풍 루사시 가능최대강수량(PMP)에 가까운 강우량을 기록한 바 있으며, 호우로 인한 피해 규모도 증가하고 있어 PMP 및 그에 의한 가능최대홍수량(PMF)의 산정에 관한 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 그리고 기존 댐들이 설계될 당시에는 제대로 된 PMP 개념이 적용되지 않은 경우가 대부분이며, 설계시에는 댐 운영에 따른 실측 강우-유출 자료가 없으므로 설계 대상유역을 미계측유역으로 간주하여 홍수량을 산정하였다. 또한, 댐 운영 후 실측 자료를 확보한 상태에서도 확률홍수량과 PMF 산정시 필요한 단위도를 유도할 때 현재까지는 이들간의 구분 없이 일반적인 평균단위도 개념을 일괄적으로 적용하는 등 미국, 영국, 호주 등 선진국의 경우와 비교할 때 홍수량을 산정하는 합리적인 과정이 정립되어 있지 않다는 문제점이 있었다.

따라서, 본 연구에서는 확률홍수량 산정 절차와 차별화된 PMF 산정 절차를 정립하고, 이에 의한 결과와 기존의 방식에 의하여 산정된 결과와의 비교를 통하여 그 변화 정도를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 1종 댐시설물에 대하여 설계 당시와 기존 관련 연구 및 본 연구에서 산정된 홍수량 결과를 비교·분석하였다.

2. 본론

1종 댐시설물에 대한 정밀안전진단시에는 실제 댐운영자료를 확보할 수 있는 경우가 대부분이므로, 설계당시와 달리 실측 호우사상 자료를 이용하여 각 호우사상별 매개변수들을 산정, 검증하는 절차를 걸쳐 대표단위도를 유도하게 된다. 이 과정에서 기존 연구나 보고서 등에서 사용된 단위도가 있는 경우, 이에 의하여 주요 호우사상에 대한 수문곡선이 잘 구현되는지 검토해 보아야 한다. 그러나, 확보되어 있는 기존의 단위도가

* 정회원, 한국시설안전기술공단 진단2본부 댐항만실, 공학석사, wisdom@kistec.or.kr

** 정회원, 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원, 공학박사, nwkim@kict.re.kr

*** 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수, 공학박사, jhheo@yonsei.ac.kr

**** 정회원, 한국시설안전기술공단 진단2본부 본부장, 공학박사, ewshin@kistec.or.kr

주요 호우사상을 합리적으로 재현하지 못하거나 유역특성의 변화 및 가정한 초과강우의 시간분포에서 나타나는 오차 등에 의하여 합리적으로 재현되지 않는다고 판단될 때는 새로운 수문곡선이 개발되어야 한다. 이 부분에 있어 현재까지 우리나라에서 사용되어 온 단위도는 그 유도 절차가 구체화, 체계화되어 있지 않으며, 여기에서는 강우손실을 AMC-III 조건으로 채택하고 있고 단위도로서 확률홍수량과 PMF의 구분 없이 평균 단위도 개념을 획일적으로 적용하고 있다. 또한, 기저유량은 고려하지 않거나 월평균유량으로 가정하여 적용하고 있다. 그러나, PMF 산정시 영국의 경우 Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999)에서 단위도의 침투발생시각을 1/3만큼 감소시키고 침투를 1/2만큼 증가시키며 단위부피를 유지하기 위하여 기저시간을 1/3만큼 감소시킬 것을, 또한 호주의 경우 단위도의 침투유량 부분을 30% 증가시키는 방법을 채택하는 등 기존의 방식에 비하여 보다 합리적인 결과를 도출하기 위한 기준을 마련하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 단위도 유도에 있어서 외국의 적용기준을 토대로 한 변경된 절차를 적용하여 그 결과를 기존의 산정결과와 비교해 보았다.

2.1 대상 댐유역 및 적용자료

시설물의 안전관리에 대한 특별법(건설교통부, 1995)에 의하여 1종 시설물에 대한 정밀안전진단이 정기적으로 실시되고 있는데, 본 연구는 이들 중 비교적 양질의 자료를 확보할 수 있었던 4개의 댐을 대상으로 하였다. 또한, 댐 건설 이후 운영 자료 중 태풍 매미와 루사 등에 대한 자료나 최근의 큰 호우사상에 대한 자료를 주요 대상으로 하였다.

2.2 홍수량 산정

실측 자료에 대한 기존의 평균단위도 개념에서는 유역의 대표 유출곡선지수, 집중시간 및 저류상수 등의 주요 매개변수는 각 호우사상별로 산정된 매개변수들의 평균값이나 중앙값으로 결정되며, 이렇게 유도된 대표단위도를 확률홍수량과 PMF를 산정하는데 있어서 공통적으로 이용해 왔다. 그러나, PMP에 준하는 극대 호우사상이 발생할 경우 그 유출특성을 100년, 200년 빈도 확률홍수량의 유출특성과 같은 것으로 간주한다면 홍수량이 과소산정될 수 있으므로 본 연구에서는 PMF 산정절차에 대한 미국, 영국, 호주 등 선진국의 추세에 부합하여 실측 호우사상별로 산정된 매개변수들을 이용하여 합리적인 범위에서의 가장 불리한 조건을 형성하도록 대표단위도를 선정하였다.

본 연구에서는 Clark 방법을 이용하여 단위도를 유도하였으며, 이에 대한 매개변수인 도달시간, 저류상수를 비롯한 유효홍수량과 기저유량에 관한 항들을 산정하기 위하여 HEC-HMS의 최적화기법을 사용하였고, 이때 목적함수유형은 Peak-Weighted RMSE(root mean squared error)를, 목적함수를 찾아가는 기법으로는 Univariate Gradient 방법을 사용하였다.

다음의 그림 1은 이 4개의 댐 각각에 대한 실측 호우사상의 fitting 결과를 도시한 예이며, 그림 2는 대상 댐들 중 특정 호우사상에 대한 기존의 fitting 결과가 있는 경우인 댐 A의 기존 및 금회 fitting 결과를 비교한 것이다. 그림 2의 경우 기존의 fitting에서도 침투치는 잘 모의하고 있으나 금회 fitting에 의하여 특히 저류특성을 나타내는 부분에 대한 모의가 개선된 것으로 판단된다.

또한, 다음의 표 1은 댐 B에 대하여 호우사상별로 매개변수를 최적화한 결과이며 Sabol(1988)은 도달시간과 저류상수의 관계를 다음의 식 (1)과 같이 제시한 바 있다.

$$\frac{T_c}{K} = 1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A} \quad (1)$$

여기서, T_c 는 도달시간, K 는 저류상수, L 은 유로연장, A 는 유역면적이다.

식 (1)을 이용하면 댐 B의 경우 $T_c/K \approx 1.173$ 이 되어 도달시간을 저류상수의 함수로 나타낼 수 있게 되며, 본 연구에서 사용한 실측 호우사상의 경우 9개 사상의 평균이 약 1.117이 되어 적절한 수준으로 판단된다(그림 3 참조). 또한, 그림 3에 도시된 바와 같이 T_c 및 K 는 침투치가 증가할수록 지수적으로 감소하는

양상을 보이는데, 호우시 발생가능한 홍수량의 크기에 대하여 가장 불리한 조건을 형성하도록 단위도를 선정하기 위하여 이러한 경향을 이용하여 이들 매개변수의 값을 각 지수함수의 한계값에 가까운 값으로 고려하여 결정하였으며, 댐 A~D 각각에 대하여 이러한 방식에 의해 결정된 매개변수들을 다음의 표 2에 정리하였다. 이 과정에 있어서의 불확실성은 향후 신뢰성 있는 실측호우사상에 대한 자료가 다수 확보되어 축적된다면 감소될 것으로 판단된다. 또한, 다음의 그림 4는 댐 B에 대하여 유도된 단위도를 태풍 매미에 적용하여 검증하기 위한 그림인데, 여기에서 초기 기저유량, 강우 손실 등의 호우시 초기 특성에 해당하는 매개변수들은 해당 호우사상에 맞도록 수정하여 집중시간이나 저류상수, 감수상수 등의 적합성을 검증하였다.

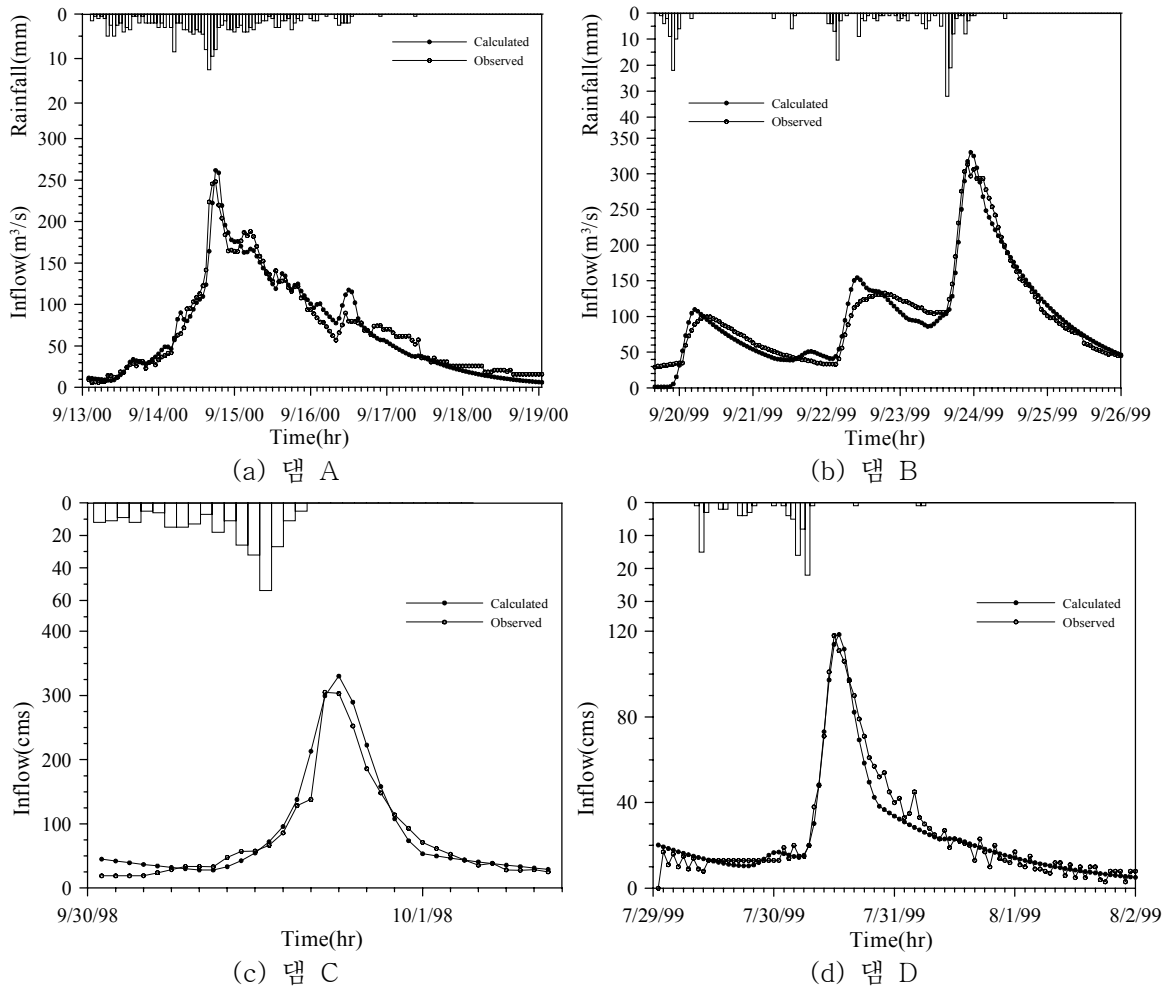


그림 1. 댐 A~D의 호우사상별 fitting 결과

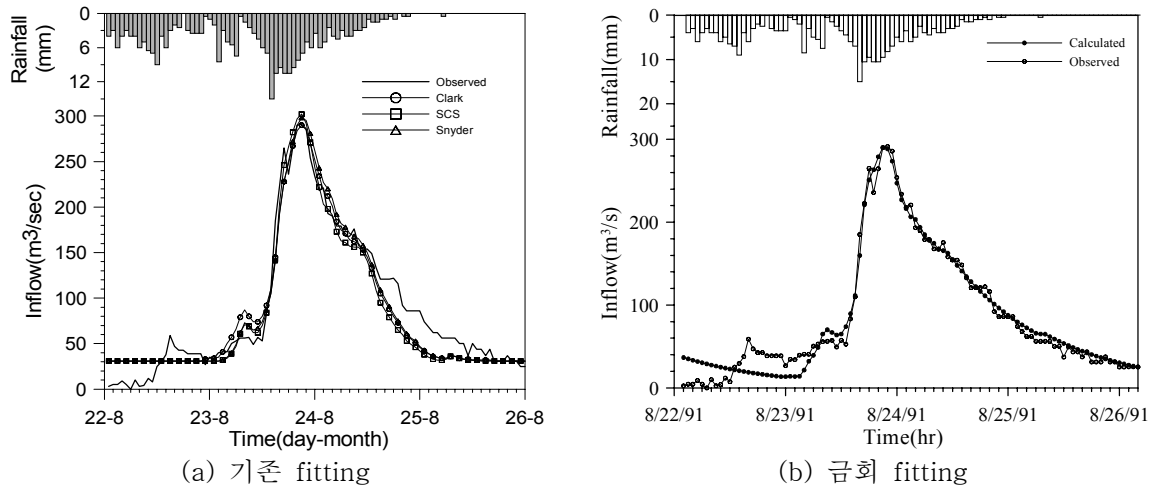


그림 2. 댐 A의 동일 호우사상에 대한 기존 및 금회 fitting 결과 비교

표 1. 댐 B의 호우사상별 매개변수 최적화 결과

호우사상	Initial Abstraction (mm)	Curve Number	Tc (hr)	K (hr)	Initial Baseflow (m ³ /s)	Recession Coeff.	Recession Threshold (m ³ /s)	Peak Q (m ³ /s)
1999. 9.19 ~ 1999. 9.25	67.70	84.40	7.88	7.41	15.70	0.4	248.8	313.0
2002. 8.10 ~ 2002. 8.13	21.97	85.33	6.22	5.74	41.72	0.4	256.0	256.9
2002. 8.14 ~ 2002. 8.17	7.00	84.00	6.20	6.00	88.50	0.4	205.4	268.9
2002. 9.15 ~ 2002. 9.19	47.70	87.90	11.80	9.56	4.38	0.4	99.7	82.1
2003. 7. 2 ~ 2003. 7. 4	0.00	88.50	10.32	9.00	12.68	0.4	98.3	90.4
2003. 7. 9 ~ 2003. 7.12	0.00	84.28	11.00	9.10	59.90	0.4	95.8	118.9
2003. 7.13 ~ 2003. 7.15	5.40	80.50	9.25	9.10	57.50	0.4	105.4	152.2
2003. 8.18 ~ 2003. 8.22	0.00	91.20	7.32	6.03	50.64	0.4	167.2	150.0
2003. 8.27 ~ 2003. 8.29	12.80	82.10	8.60	8.20	35.00	0.4	101.0	194.0

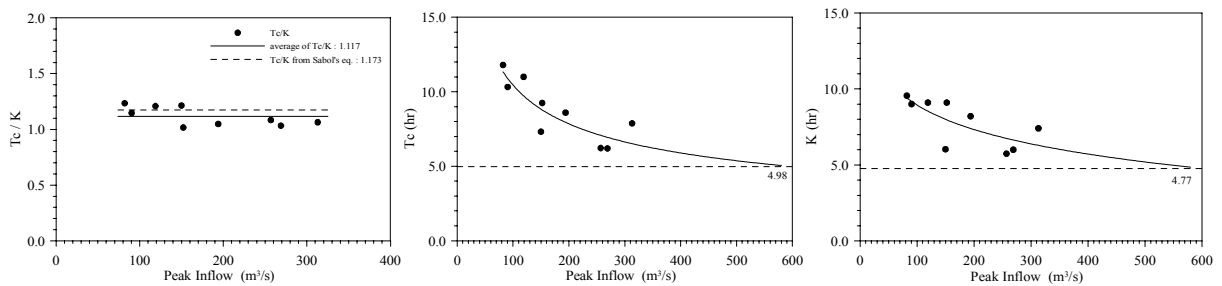


그림 3. 댐 B의 T_c/K , T_c 및 K

표 2. 댐 A~D의 단위도별 매개변수

구분	초기손실 (mm)	CN	T _c (hr)	K (hr)
A	0.0	76.3	1.10	1.25
B	0.0	91.2	4.98	4.77
C	2.0	89.4	1.80	1.76
D	0.0	90.0	4.20	3.80
구분	초기기저유량 (m ³ /s)	감수상수	Threshold Q (m ³ /s)	
A	100.6	0.32	231.4	
B	88.5	0.40	256.0	
C	45.0	0.20	130.5	
D	41.0	0.36	115.4	

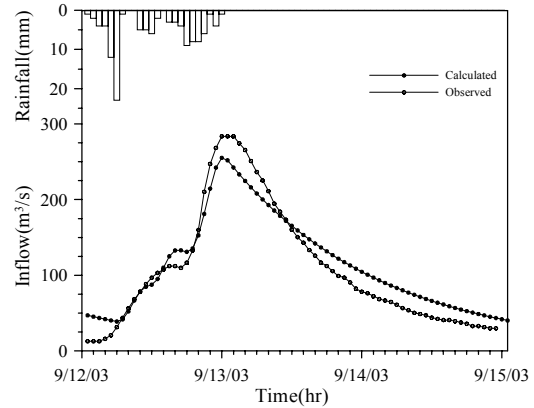


그림 4. 댐 B에 대한 단위도 검증

표 3. 댐 A~D의 PMF 산정 결과 비교 (m³/s)

댐 구분	설계당시	기존 산정 결과 1	기존 산정 결과 2	금회 산정 결과
A	3,740	2,325		3,213
B	2,500*	2,765		3,133
C	-	1,082		1,388
D	-	2,563	2,734	2,132

주) * : 확률강우량을 확률지에 도시하여 외삽

3. 결론

본 연구에서는 PMF 산정에 있어서 확률홍수량을 구하기 위한 평균단위도 개념을 동일하게 적용하였던 기존의 절차와 구분되는 별도의 산정 절차를 마련하여 4개의 1중 댐시설물에 적용한 결과를 비교하였다. 그 결과 댐 A~D에 있어 대부분의 경우 금회 산정된 PMF 값이 커지는 경향을 보였다. 그러나, 댐 A의 경우 설계 당시 1972년 발생한 태풍 Betty를 이용하여 PMP를 구하고 이에 의하여 PMF를 산정하였다고 언급하였으나 이에 대한 참고문헌이나 계산절차 등이 명확하지 않아 이 결과에 대한 신뢰성이 떨어지며 과다산정된 것으로 판단된다. 또한 댐 D의 경우 금회 산정된 PMF가 기존 산정 결과치에 비하여 감소하였으나 이 경우는 상류부에 새로운 댐이 건설되었기 때문으로 기법상의 변화에 의한 영향이라 볼 수 없다.

새로운 기법에 의하여 산정되는 PMF 값은 단위도의 개념 및 매개변수 선정에 대한 합리적인 가정 등의 변화에 의하여 기존에 산정된 값들에 비해 크게 산정될 것으로 예상되며, 이로 인해 기존 댐에 대한 홍수방어능력을 재평가해볼 때 월류 가능성이 있는 것으로 판단되므로 제한수위 변경이나 댐 증고, 여수로 확장 등의 방안이 강구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Institute of Hydrology(1999), Flood Estimation Handbook
2. 건설교통부(1995), 시설물의 안전관리에 대한 특별법
3. George V. Sabol(1988), Clark Unit Hydrograph and R-Parameter Estimation, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 1, pp. 103-111.