

# 대곡 · 사연댐 유역의 HEC-HMS를 이용한 매개변수 최적화 연구

## Study on Parameter Optimization in Daegok & Sayun Dam Basins Using HEC-HMS

윤국희<sup>1)</sup> · 박명기<sup>2)</sup> · 최병만<sup>3)</sup> · 김영진<sup>4)</sup>

Guk Hui Yoon, Myung Ky Park, Byung Man Choi, Yung Jin Kim

### 요 지

최근 기상이변에 따른 국지성 호우 등으로 인하여 지역별로 홍수량 차이가 많이 나고 있는 상황으로 유역내 중요시설물 및 인명의 보호를 위해서는 유역의 특성을 정확하게 반영한 홍수분석이 필수적인 실정이다.

유역 주요지점의 정확한 홍수량을 산정하기 위해서는 지역특성이 반영된 호우를 선정하고, 유출모의를 위한 유역특성이 잘 구현되어야 한다. 이를 위해서는 홍수량산정에 영향을 주는 매개변수의 정확한 산정이 필요하며 본 연구에서는 미공병단(US Army Corps)에서 개발하여 배포한 차세대 프로그램인 HEC-HMS(v3.3)를 이용하여 집중시간, 저류상수, Curved Number, 감수상수, 초기손실, 초기기저유량, Threshold 등 7가지 매개변수에 대한 최적화를 수행하였다. 종래에는 첨두홍수량을 중시하여 집중시간과 저류상수는 최적화하고 나머지 변수들은 실측치 및 계산값을 적용하였으나, 급변 연구에서는 첨두홍수량 및 총유출량 모두 관측값에 최대한 일치하도록 7가지 매개변수를 최적화하는 방안 및 최적화시 초기값 선정이 매개변수 최적화에 미치는 영향을 연구하였다.

매개변수 최적화 순서는 먼저 전체적인 평균유출량 또는 평균유출고가 실측치와 모의치 간에 일치하도록 CN, RC를 보정하고 다음 단계로 첨두발생시간이 일치하도록 Tc, K를 보정하고, 마지막으로 홍수 수문곡선의 형태를 결정하는 나머지 매개변수를 조정하여 전체적인 수문곡선의 형태와 첨두홍수량이 일치하도록 수행하였으며, Tc, K, CN 등의 중요 매개변수는 신뢰구간(계산치의 0.8~1.2)을 설정하여 목적함수의 수렴을 유도하였다.

위를 이용하여 수렴된 매개변수들로 강우-유출 모의를 분석한 결과를 기존 홍수사상과 비교한 결과 상당히 근접한 결과를 도출할 수 있어, 매개변수는 7가지 모두에 대한 최적화를 가능한 것으로 연구되었으나 목적함수들의 수렴되는 과정에 대해서는 좀 더 심도있는 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : HEC-HMS, 매개변수 검보정

- 1) 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : [yoongh1002@kwater.or.kr](mailto:yoongh1002@kwater.or.kr)
- 2) 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : [mkparkjosep@hotmail.com](mailto:mkparkjosep@hotmail.com)
- 3) 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : [bmchoi@kwater.or.kr](mailto:bmchoi@kwater.or.kr)
- 4) 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : [yungjin@kwater.or.kr](mailto:yungjin@kwater.or.kr)

## 1. 서론

대곡댐의 PMF 및 빈도별 확률홍수량을 산정하기 위해서는 적합한 홍수유출모형의 선정 및 올바른 매개변수 산정이 필수적이다. 본 연구에서는 미공병단 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-HMS(HEC Hydrologic Modeling System) 모형을 이용하여 대곡댐지점의 매개변수의 최적화를 통하여 홍수량을 산정하였다. HEC-HMS 모형은 HEC-1모형의 GUI(Graphic User Interface)를 개선시키고 매개변수 최적화 기능을 보강한 홍수분석용 모형으로써 현재 version 3.3까지 개발되어 있다. HEC-HMS 모형에는 여러 가지 강우손실, 강우-유출, 하도추적, 기저유량 산정 모형 등을 포함하고 있으며, 각 모형의 매개변수를 최적화할 수 있는 기능을 가지고 있다. 2005년부터 본격 운영된 대곡댐의 운영환경을 고려하여 금번 분석에서는 대곡댐 및 사연댐의 2005~2007년의 3개년 중 각 댐별로 각기 7개 실측 홍수사상을 선정하여 이에 대한 매개변수를 추정하였다.

## 2. HEC-HMS 모형

### 2.1 강우-유출 모형

대곡댐에 대한 실측 강우량 및 유입량 자료가 확보되어 이를 이용하여 강우-유출모형에 단위도를 유도하였다. HEC-HMS에는 단위도 산정방법으로 Clark 유역추적법, Snyder 합성단위도법 및 SCS 무차원 단위도법 등이 있으며, 우리나라에서도 주로 이 3가지 유출모형을 이용하여 홍수량을 산정하고 있다.

이 중 Clark 유역추적법이 현재 실무에서 가장 넓게 이용되는 모형으로 선호되는 이유는 단위도의 이론적인 측면에서 침투유량의 발생시점 및 그 크기를 구현하는데 가장 정교하면서 합리적이기 때문이다. Snyder 단위도법은 전국적인 합성단위도 형태로 많이 개발된 모형이나 그 효용성은 Clark 유역추적법보다 떨어지며, SCS 무차원 단위도법 역시 Snyder 단위도법과 크게 다르지 않다. 특히, 미공병단 PMF 추정지침서(2001.9)에 의하면 Clark 단위도법은 실측 수문자료가 있는 유역에서 대표단위도를 유도하여 이용하는 대신 최적화 방법을 적용하여 강우-유출관계에 최적으로 부합되는 단위도의 매개변수를 산정하여 적용하는 방식으로 권장되는 유일한 홍수량 산정방법으로 제시하고 있다. 이는 Clark 단위도법이 단위도 형상이 일정하게 고정된 다른 합성단위도법에 비해 적합한 매개변수만 추정된다면 특정유역의 다양한 유출특성을 반영하는 최적 단위도의 형상을 구성할 수 있는 장점을 가지기 때문이다. 또한, 2007년 12월 작성된 KDI에서의 “PMP, PMF 산정의 적정성 검토”보고서에서도 유출해석의 방법으로 Clark 모형을 제안하고 있다.

### 2.2 Clark 모형의 주요 매개변수

Clark 모형의 주요매개변수는 총 7가지로 단위도, 손실률, 기저유량에 관한 것으로 아래와 같다.

단위도 관련 직접유출의 형태를 결정하는 주요 매개변수는 도달시간  $T_c$ 와 저류상수  $K$ 에 의하여 결정되어지며, 홍수량 산정시 가장 중요한 유역의 매개변수라고 할 수 있다.

손실률관련 매개변수 검정을 위해서 기존에는 강우손실 등을 고려하지 않았으나 최근에는 실제 현상과 가장 가깝게 강우량과 유출량을 적용하기 위해 강우손실을 고려하였다. 강우의 손실률을 산정하는 방법에는 일정비법, 일정손실률법, 초기손실-일정손실률법, 침투곡선법, 표준형 강우-유출관계 곡선법 등이 있다. HEC-HMS에서는 초기손실-일정손실률법을 추천하고 있으며, 국내에서는 미 농무부 산하 NRCS의 유출곡선지수(Runoff Curve Number: CN)를 이용한 NRCS방법이 가장 많이 적용되고 있다. 이 방법은 유역의 토양형, 식생 피복형 및 처리상태 등의 유출특성과 선행토양 함수조건 등을

고려하는 방법으로, 이러한 지형의 피복 및 식생상황에 유출곡선지수(CN)를 선정하고 이에 따라 제시된 경험공식 및 유출관계에 따른 초기 손실율(Ia)을 산정해 매개변수의 초기조건으로 적용하였다.

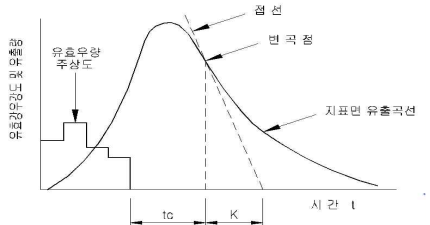


그림 1. 도달시간과 저류상수의 정의

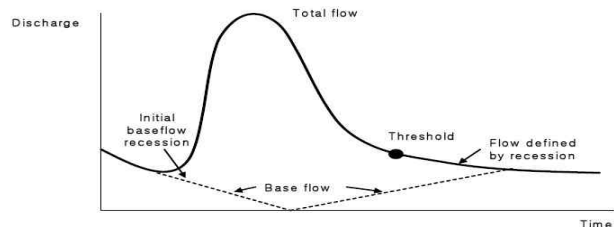


그림 2. 기저유출의 분리

수문곡선에서 기저유출을 분리하는 방법에는 주지하수 감수곡선법, 수평직선분리법, N-day법, 수정 N-day법 등이 있다. 감수곡선법에서는 감수상수, 초기기저유출, 직접유출이 끝나는 시점의 유량인 Threshold 유량이 매개변수이다. 초기기저유출은 강우가 없는 상태에서도 지하수유출 등으로 인하여 지속적으로 존재하는 유량으로 선행강우의 함수이며, 감소상수는 유역의 특성을 가정하여 결정된 값으로 하강곡선의 변곡점 이후의 어떤 유량과 하루 경과후의 감소유량의 비이다. 그리고 Threshold 유량은 수문곡선의 하강곡선상에서 지수함수적으로 감소하기 시작하는 감수곡선 시작점을 의미한다. <그림2>는 기저유출의 분리를 나타낸 것이다.

HEC-HMS 모형에서 유역유출에 관련된 항목으로 제안되는 매개변수는 총 7가지이다. 이들을 유출에 미치는 중요도 순으로 기술하면 <표 1>과 같다.

표 1. Clark 모형의 유역유출 매개변수

구 분	매개변수	변수설명	영향 대상	비 고
유역 매개변수	Tc	도달시간	직접유출 형태	
	K	저류상수	직접유출 형태	
호우특성 매개변수	CN	Curve No.	직접유출 용적	
	IA	초기 손실	직접유출 용적, 초기 직접유출 형태	
	IBF	초기 기저유량	기저유출	
	RC	감수상수	중간유출	
	TQ	임계유량	중간유출	

### 2.3 매개변수 검보정 절차

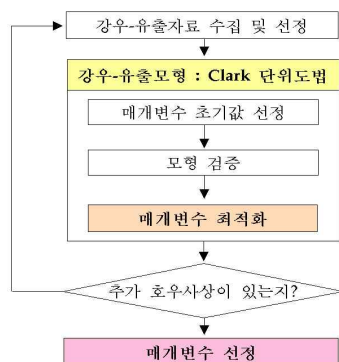


그림 3. 매개변수 선정 흐름도

강우-유출모형의 원활한 모의운명을 위해 장기간의 관측자료 중 유역의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 호우사상을 5개이상 선정하여 매개변수를 최적화함이 타당하나, 2005년부터 대곡댐이 운영되어 주요지점에서의 유량 관측자료가 4개년(2005~2008)임을 감안하여 유역의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있도록 총 7가지의 호우사상 및 주요지점별 유량관측치를 선정하였다.

매개변수의 최적화 순서는 먼저 전체적인 평균유출량 또는 평균유출고가 실측치와 모의치 간에 일치하도록 CN,

RC를 보정하고 다음 단계로 침투발생시간이 일치하도록 Tc, K를 보정하고, 마지막으로 홍수수문곡선의 형태를 결정하는 나머지 매개변수를 조정하여 전체적인 수문곡선의 형태와 침투홍수량이 일치하도록 수행하였다.

모든 매개변수는 홍수량 최대산정 개념을 기준으로 초기값이 선정되며, 기준은 <표 2>와 같다. 본 연구에서 경험식 및 물리적 인자들을 이용하여 호우사상별 선정된 매개변수의 초기값은 <표 3>와 같다.

**표 2. 매개변수별 초기값 선정기준**

매개변수	초기값 선정기준
CN	토지이용도 및 토지피복도를 이용하여 토지이용사항별, 주거형태별 등에 따라 산정
IA	NRCS방법을 사용
Tc	경험식(Kirpich, Rizha, Kraven 등), 관측값 및 제약조건을 고려하여 수립하는 최소값으로 결정
K	경험식(Clark, Linsley, Russel, Sabul 등), 관측값 및 제약조건을 고려하여 수립하는 최소값으로 결정
RC	Sabul(1988)의 제안식을 사용
IBF	HEC-HMS 매뉴얼에서 추천한 호우발생이 시작될 때의 평균유량으로 선정
TQ	Threshold 유량이 발생하는 변곡점은 강우가 끝난 시점에서 집중시간을 더할 수 있으며, 이때 발생한 Threshold 유량을 계산할 수 있으며 이 값을 초기값으로 선정한다.

**표 3. 호우사상별 설정된 매개변수의 초기값**

호우사상	Tc	K	CN	IA	IBF	RC	TQ	비고
1	1.27	1.19	79.6	13.0	1.20	0.43	8.0	
2	1.27	1.19	79.6	13.0	0.50	0.43	20.0	
3	1.27	1.19	79.6	13.0	2.40	0.43	30.0	
4	1.27	1.19	79.6	13.0	0.80	0.43	15.0	
5	1.27	1.19	79.6	13.0	18.00	0.43	80.0	
6	1.27	1.19	79.6	13.0	12.40	0.43	25.0	
7	1.27	1.19	79.6	13.0	12.20	0.43	38.0	

HEC-HMS를 이용하여 제시된 7개의 매개변수 모두에 대하여 각 호우사상별로 매개변수 최적화를 수행한다. 최적화 모듈 중 목적함수에 가장 안정적인 해를 제시하는 침두가중 평균제곱근오차(Peak-weighted Root Mean Square Error, PRMSE)를 사용한다. 최적화기법으로는 발산율이 적고 최적화되도록 선택된 여러 가지 매개변수 중 하나를 제외한 모든 매개변수를 고정시킨 상태에서 하나의 매개변수를 변화시키는 단일 변량증감법(Univariate-gradient Method)를 적용하였다. 최대개념(PMF 산정) 구성을 위한 매개변수는 <표 4>와 같이 선정한다.

**표 4. 최대개념 구성을 위한 매개변수의 선정**

매개변수	Tc	K	CN	IA	IBF	RC	TQ	비고
선택	Min	Min	Max	0	Max	Max	Max	

## 2.4 매개변수 검보정 결과

매개변수의 초기값을 선정하기 위해서는 경험식을 이용하게 되며, 필수적으로 지형자료와 강우 및 주요지점 유량의 실측자료가 요구된다. 각 매개변수별로 산정된 초기값을 이용하여 검보정한 결과는 <표 5>와 같다.

표 5. 호우사상별 매개변수의 수렴값

호우사상	Tc	K	CN	IA	IBF	RC	TQ	비 고
1	2.49	1.81	59.41	20.83	0.59	0.17	5.32	
2	2.50	1.10	63.77	29.93	0.37	0.07	16.36	중요기간 강우자료 결측
3	1.49	1.38	90.46	11.08	2.72	0.43	32.97	Tc/K 범위를 벗어나서 기각
4	1.81	1.58	71.11	30.76	0.53	0.22	16.47	Tc/K 범위를 벗어나서 기각
5	1.60	1.11	80.63	12.45	20.36	0.29	60.23	
6	2.01	1.29	64.70	16.42	13.98	0.29	16.61	
7	1.70	1.24	77.50	13.50	13.41	0.18	42.12	
평균	1.95	1.36	70.56	0.00	5.74	0.23	31.07	확률홍수량 적용
최대개념	1.60	1.11	80.6	0.0	20.36	0.3	60.2	PMF 적용

주) 단, IBF는 댐운영기간의 6~9월 실측 월평균유입량 5.74m³/s를 적용하였음

위 결과에서 Tc, K를 제외한 나머지 매개변수는 최대호우사상이 될 수 있도록 최소, 최대 및 0.0을 채택하면 되나, Tc와 K는 일정한 상관관계가 있음을 고려하여 수렴되는 값을 채택하였다.

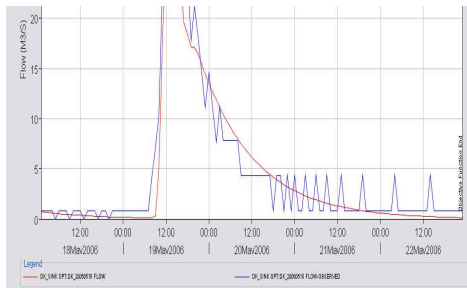


그림 4. 호우사상 최적화 결과

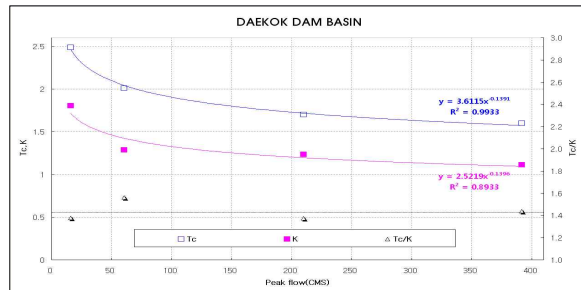


그림 5. 대곡댐의 첨두홍수량과 Tc, K, Tc/K의 관계

### 3. 결 론

매개변수 최적화시 홍수량 및 PEAK 발생시간에 중요한 인자(CN, Tc, K)들은 경험식에서 산정된 초기값으로부터 최적화과정에서 신뢰구간을 80%~120%로 설정하여 연관성을 가진 값들이 수렴되어졌으며, 이 값을 이용하여 강우-유출모형 분석시 관측치와 매우 유사하게 해석되어 유역의 특성이 잘 반영된 것으로 가늠된다. PEAK 발생관련 변수(Tc,K)만의 매개변수 최적화가 아닌 평균유출량, 첨두발생시간, 홍수수문곡선의 형태를 결정짓는 순서로 매개변수를 산정한 과정은 최적화단계를 중요도순으로 재정립했다고 판단된다.

현재까지의 연구된 결과를 보면 급변 연구시 적용한 매개변수 최적화 기법은 객관성을 확보했다고 판단이 되지만, HEC-HMS의 매개변수최적화 TOOL 및 초기값 산정을 위한 경험식들이 대상지역에 적합한지에 대한 검증은 향후에 필요할 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

1. 한국개발연구원(2007.12). 댐설계기준의 적정성 검토 (PMP 및 PMF 산정을 중심으로)
2. 건설교통부(2005.4). 홍수량산정 지침서
3. US Army Corps(2008). Hydrologic Modeling System HEC-HMS