

댐붕괴 홍수해석을 위한 수리학적 추적기법의 선정

Selection of Hydraulic Routing Technique for Dam-Break Flood Analysis

한건연*, 김극수**, 박홍성***, 박종근****

Kun Yeun Han, Keuk Soo Kim, Hong Sung Park, Jong Keun Park

요 지

최근 전 세계적으로 기후 이상으로 인한 여러 가지 문제점들이 대두되고 있다. 특히 지구 온난화의 결과로 발생되는 하계 집중호우와 대형 태풍의 빈발은 막대한 인명과 재산의 손실이라는 결과를 초래하고 있다. 국내에서도 이러한 기후 변동의 여파로 2002년 태풍 루사, 2004년 태풍 매미, 2006년 강원도 지역의 집중호우 등이 발생하였으며, 이를 통해 제방붕괴 및 댐·저수지 붕괴라는 결과를 초래하였다. 국내에서 그 동안 발생한 피해를 들면 일산제 붕괴(1990년), 임진강유역 홍수(1996년), 연천댐붕괴(1996년), 장현·동막저수지 붕괴(2002년), 강원지역의 집중호우로 인한 범람 피해(2006년) 등을 들 수가 있다. 이러한 피해들은 그 규모가 기하급수적으로 증가하고 있으며, 피해 뿐 아니라 복구로 인한 경제적 손실 또한 막대하다. 그러므로 이러한 분야의 심층적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

위에서 언급한 바 있는 댐 붕괴나 하천의 범람에 관한 그 간의 연구는 수문학적인 방법을 통해 수행되어 왔다. 그러나 이러한 수문학적 방법은 하천에서의 흐름 특히 홍수시 발생할 수 있는 하천 부정류 흐름의 특성을 규명하기에는 미흡한 점이 있으며, 또한 광범위한 수리수문학적 홍수추적 기법들을 특정한 문제에 대해 적용하는 기준은 명백하게 제시되어 있지 않다. 그러나 특정 사고과정과 일반적인 지침들은 홍수추적 기법의 선정에 대한 폭을 좁힐 수 있게 하여 최종적으로 적절한 기법의 선정을 가능케 하여 준다.

본 연구에서는 수리학적 홍수추적 기법들을 적용하여 하천에서의 흐름 양상을 규명하였으며, 각 추적기법들의 적용성을 파악하고 실제 적용시 수반되는 문제점들을 제시하였다. 또한 각 기법들의 문제점과 효용성을 검토하여 최적의 적용방안의 제시하였다.

핵심용어 : 댐붕괴해석, 하천수리해석

1. 서 론

기존의 댐 붕괴해석과 하천수리해석에 관한 연구들은 주로 강우-유출 해석이라는 부분에 치우쳐져 있었으며, 하천의 흐름해석 분야는 간단한 알고리듬을 통한 해석이 이루어져왔다. 따라서 본 연구에서는 하천 흐름해석의 여러 기법들을 적용해 봄으로써 실제 적용상에서 이런 기법들의 최

* 정회원·경북대학교 토목공학과 교수·E-mail : kshanj@knu.ac.kr

** 정회원·경북대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : logic4@nate.com

*** 정회원·경북대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : jewelry6632@hanmail.net

**** 정회원·경북대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : may_beetle@hanmail.net

적 적용방안을 규명하고자 한다. 본 연구의 목적은 이상호우 시 발생할 수 있는 댐 붕괴나 하천의 설계홍수량을 초과하는 유출량으로 인한 하천의 부정류 흐름을 규명하기 위해 기존 연구된 여러 기법들을 실제 유역에 적용함으로써, 각 기법들에서 발생되는 실제 적용상의 문제점과 효용성을 검토하여 최적의 적용방안을 제시하는 데 그 목적이 있다. 이를 통해 댐 붕괴나 하천 범람에 대한 홍수파 해석에 대한 기초자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 하천 흐름 해석 기법들인 음해법, 양해법, 확산파 및 Muskingum-Cunge 기법들을 조사하고 분석하였다. 이러한 조사된 기법들을 바탕으로 하여 NWS FLDWAV 모형을 적용하여 홍수추적을 실시하였다. 모형의 적용은 미국 Teton 댐 유역과 Buffalo Creek 댐 유역, 그리고 낙동강 유역에서 이루어 졌으며, Teton 댐 유역과 Buffalo Creek 댐 유역은 댐 붕괴 홍수파 해석을 기법별로 실시하였고, 낙동강 유역은 가능최대강수에 의한 가능최대홍수 유출량의 수문곡선이 임하댐 상류 저수지로 유입될 경우에 대한 댐 붕괴 홍수추적과 여수로 방류에 의한 방류량에 따른 하도 홍수추적을 실시하였다. 적용 대상 지역과 적용 기법별 최고수위와 첨두홍수량을 비교하여 각 기법별 타당성을 검증하였으며, 이를 비교 검토하였다.

2. 홍수추적기법의 선정

광범위한 수리수문학적 홍수추적 기법들을 특정한 문제에 대해 적용하는 기준은 명백하게 제시되어 있지 않다. 그러나 특정 사고과정과 일반적인 지침들은 홍수추적 기법의 선정에 대한 폭을 좁힐 수 있게 하여 최종적으로 적절한 기법의 선정을 가능케 하여 준다.

전형적으로, 강우-유출 해석에 있어, 수문학적 홍수추적 과정들은 상류부에서부터 하류부까지 하도구간에 기초한 구간이 사용된다. 일반적으로 강우-유출 연구의 주요 목표는 유역 내 몇 개 지점에서 유량수분곡선을 계산하는 것이다. 배수효과의 의미가 중요치 않은 상황이라면, 수문학적 홍수추적 모형들은 간단성, 사용편이성, 계산효용성을 높여주는 장점을 가진다. 또한 유량수분곡선들을 계산함에 있어 수문학적 홍수추적 기법들의 정확성은 수용가능 한 값의 범위 내에서 정상적으로 잘 표현된다. 그러나 무시 가능한 배수효과 자체만으로 수문학적 기법들의 사용이라는 것에 대한 정당성을 항상 보장할 수 없다는 사실을 기억해야만 한다. 수문학적 모형이 적절한지 또는 좀 더 상세한 수리학적 모형이 필요한지에 대한 결정에 있어 고려해야 할 다른 많은 요인들이 있다. 완전 부정류흐름 방정식들은 광범위한 흐름상황과 하도특성들을 모의할 수 있다. 일반적으로 수리학적 모형들은 추정 또는 보정에 있어 단지 하나 매개변수(조도 계수)를 가지고 있기 때문에 좀 더 물리적으로 기초하고 있다. 조도계수들은 수로의 조사로부터 어느 정도의 정확도가 있는 상태에서 추정가능하다. 이는 수리학적 기법들이 미계측 상황에 더 나은 적용할 수 있도록 해준다.

음해법은 이동하는 사류-상류 경계면을 발생시키는 홍수파를 유발하는 일부 거의 일시적인 대규모 댐 붕괴를 해석에 있어서 난점이 있다. 강한 충격파(거의 일시적인 댐 붕괴 파) 또는 상류-사류 혼합류 흐름을 가지는 흐름을 모의하기 위해서 FLDWAV 모델에서 개발된 기법들 중 하나가 바로 특성선 기반 상향가중 양해법(Jin과 Fread, 1997)이다. 상향가중 양해법의 원리는 시간의 축적된 국부 특성선 속도에 따라서, 공간 도함수에 대한 단측(one-sided) 유한 차분 근사를 사용하는 것이다. 확산파 기법은 단순화된 분포형 추적 기법이라 할 수 있으며, 운동량 방정식에서 관성항 부분의 생략을 통한 근사화를 통해 확산파 기법의 식이 도출된다. Chow 등(1969)의 문헌에 기술된 Muskingum 기법을 Cunge(1969)에 의해 도출된 추적 계수를 계산함으로서 수정되어진 방법이 Muskingum-Cunge 기법이다.

표 1. 홍수추적기법의 선정기준

고려 인자	적절한 기법	부적절한 기법
관측수문곡선 자료 無	▪완전 동역학 파 ▪화산파 ▪Kinematic Wave ▪Muskingum-Cunge	▪Muskingum
배수효과 大	▪완전 동역학 파 ▪화산파 ▪수정 Puls	▪Kinematic Wave ▪Muskingum ▪Muskingum-Cunge
홍수터 흐름 발생	▪overbank로부터 분리된 주하도의 수리학적 특성을 계산할 수 있는 모든 수리학적/수문학적 기법	▪Muskingum
하도경사 > 0.002 $\frac{TS_0 u_0}{d_0} \geq 171$	▪제시된 모든 기법	▪없음
$0.0004 \leq \text{하도경사} \leq 0.002$ $\frac{TS_0 u_0}{d_0} < 171$	▪완전 동역학파 ▪화산파 ▪Muskingum-Cunge ▪Muskingum	▪Kinematic Wave
하도경사 < 0.0004 $TS_0 \left(\frac{g}{d_0} \right)^{1/2} \geq 30$	▪완전 동역학파 ▪화산파 ▪Muskingum-Cunge	▪Kinematic Wave ▪수정 Puls ▪Muskingum
하도경사 < 0.0004 $TS_0 \left(\frac{g}{d_0} \right)^{1/2} < 30$	▪완전 동역학파	▪완전 동역학파기법을 제외한 모든 기법

3. 홍수추적기법의 적용

음해법, 양해법, 화산파기법 및 Muskingum-Cunge 기법들을 Teton 댐 및 Buffalo Creek 댐 봉괴와 낙동강 유역에서 댐 봉괴 및 홍수에 대해 적용하였다. Teton 댐과 Buffalo Creek 댐 봉괴에 대한 적용의 경우 미국지질조사국에서 댐 봉괴 당시 조사한 자료를 기초로 하여 모의하였고, 낙동강 유역에 적용의 경우, 봉괴모의에 대해서는 PMF가 댐 저수지로 유입되어 댐 월류시 봉괴가 발생하는 조건으로 모의하였고, 홍수모의에 있어서는 댐 방류량 자료를 활용하여 하류부로의 추적을 실시하였다. 각각의 경우에 대한 결과를 아래의 그림과 같이 최고수위 및 첨두유량 종단으로 제시하였다.

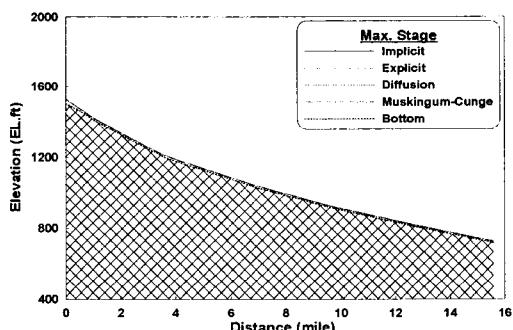


그림 1. 최고수위종단(Buffalo Creek 댐 봉괴)

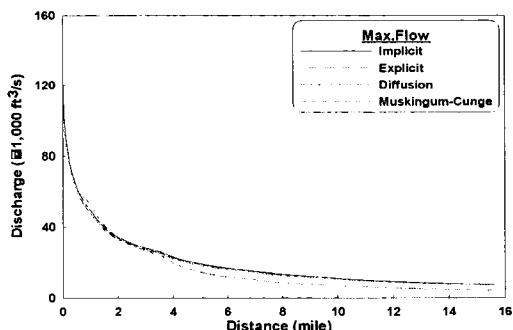


그림 2. 첨두유량종단(Buffalo Creek 댐 봉괴)

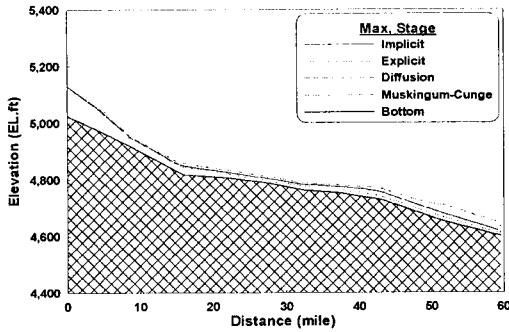


그림 3. 최고수위종단(Teton 댐 붕괴)

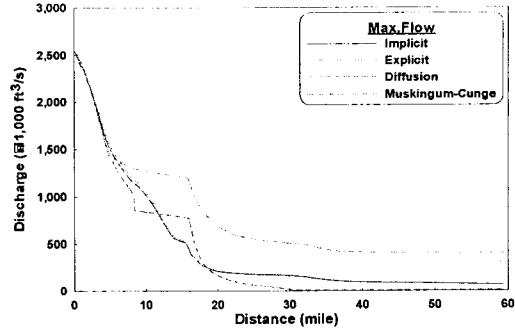


그림 4. 첨두유량종단(Teton 댐 붕괴)

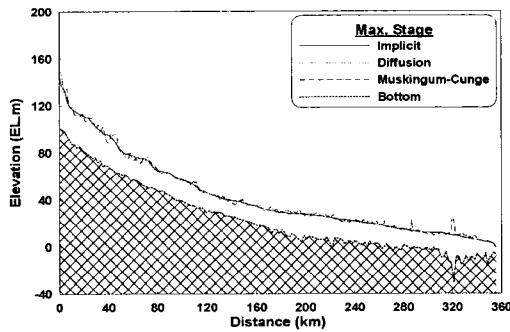


그림 5. 최고수위종단(임하댐붕괴)

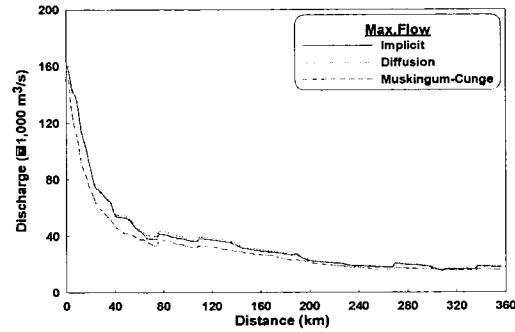


그림 6. 첨두유량종단(임하댐붕괴)

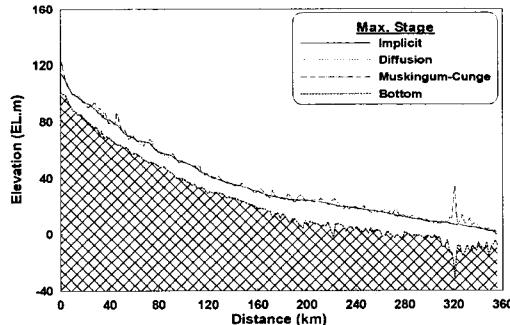


그림 7. 최고수위종단(낙동강유역홍수)

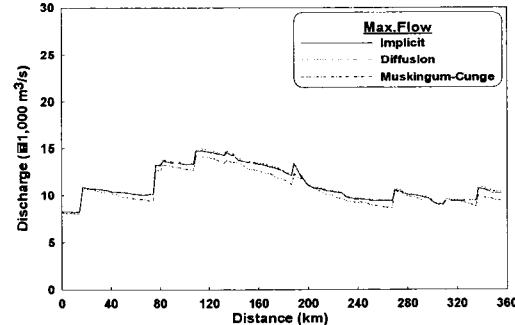


그림 8. 첨두유량종단(낙동강유역홍수)

4. 결 론

본 연구에서는 Teton 댐과 Buffalo Creek 댐 붕괴, 임하댐 붕괴 및 낙동강유역 홍수에 대해서 음해법, 양해법, 확산과 기법, Muskingum-Cunge 기법들을 적용해 보았으며, 적용결과를 토대로 각 기법들의 적용에서 발생할 수 있는 문제점과 적용성을 평가하였다. 그 결과를 요약해보면 다음과 같다.

1. 양해법의 경우는 비교적 단면개수가 적고, 추적될 하도의 길이가 짧을 경우 음해법과 가장 유사한 결과를 도출하였으며, 계산시간간격과 계산거리간격에 대해 계산 민감도가 매우 크게 나타났다.
2. 확산파기법의 경우는 적용성은 매우 크나 계산 정확도, 특히 유량의 예측에 있어서는 문제점이 발생되는 것으로 나타났으며, 하도 경사가 급변하는 부분에 대한 수리예측 및 측방유입에 의한 하도의 운동량의 변화에 대한 예측이 불확실한 것으로 나타났다.
3. Muskingum-Cunge 기법의 경우, 자연하천에서의 적용에 있어 하도의 경사의 변화가 거의 없는 부분에서는 적용이 가능하나 자연하천에서 발생할 수 있는 하상의 역경사 및 경사가 급한 구간에 대한 예측이 어려운 것으로 나타났다.
4. 기존 음해적 홍수추적 기법의 뱀봉과 또는 홍수사상에 적용시에 발생되는 수치적 불안정성의 문제를 양해법, 확산파기법, Muskingum-Cunge 기법들의 적절한 혼용을 통해 해결할 수 있으리라 판단되며, 또한 이러한 기법들을 자연하천에서 홍수추적 기법의 적용시 흐름 계산의 정확도 및 효율성의 증대가 기대된다. 그리고 차후 이런 기법들의 혼용에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명:내배수 침수재해 저감기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004). 낙동강유역종합치수계획
2. Fread, D.L. (1998). "NWS FLDWAV MODEL : Theoretical Description", Hydrologic Research Laboratory, National Weather Services, NOAA.
3. Fread, D.L. (1998). "NWS FLDWAV MODEL : User Document", Hydrologic Research Laboratory, National Weather Services, NOAA.
4. Ming, J. and Buan, S. (2000). NWS FLDWAV Model Application to the River Forecasting of the Red River of the North. 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management.
5. USBR(1998). Prediction of Embankment Dam Breach Parameters.