

저수지 붕괴 시 홍수 분석에 관한 연구 동향

Study Trend on Flood Analysis by Reservoir Failure

최 현 수*

Chol, Hyun-Soo

I. 서론

저수지는 농업용수, 발전용수, 공업용수 및 생활용수의 공급, 오염 물질의 저장, 휴식공간의 제공 및 홍수조절 등을 목적으로 하천의 유수를 막아 물을 저류하는 수공구조물로서 국가의 중요한 사회기반 시설물이기 때문에 그 기능과 안전이 충분히 확보되어야 한다. 대표적인 저수시설로는 다목적 댐, 발전용 저수지, 농업용 저수지 등이 있다.

농업용 저수지의 경우에는 다목적 댐과는 달리 대부분 홍수조절기능이 없기 때문에 이상홍수 발생 시 급격한 수위상승에 따른 댐 월류(Overtopping)의 위험이 상대적으로 높은 편이다. 또한 유입홍수를 그대로 방류함으로써 하류 지역의 홍수피해 잠재성이 크며, 대부분의 농업용 저수지는 필댐으로 되어 있어 월류에 의한 위험성은 더욱더 크게 작용하는 실정이다.

최근 우리나라를 포함한 전 세계적으로 엘니뇨(El-Nino) 및 라니냐(La-Nina)와 같은 기상이변으로 인해 수공구조물의 설계빈도를 초월

하는 기록적인 집중호우가 자주 발생하고, 이로 인한 대규모 홍수는 많은 인명과 재산피해를 야기하고 있다.

국제대댐회(International Commission on Large Dams, ICOLD)에서 1900년부터 1973년까지 파괴된 높이 15m 이상의 댐에 대한 조사결과를 보면 댐 붕괴의 주요원인은 댐 제체의 기초부와 구조적인 문제 및 기타원인 등으로 크게 분류하고 있다. 실제 필댐의 주요한 파괴원인 중에서 파이핑과 침투에 의한 파괴 38%, 월류에 의한 파괴 35% 그리고 기타 원인에 의한 파괴 27% 순으로 나타났다.

전 세계적으로 발생한 댐 붕괴 중 설계홍수 초과 사례는 1935년에 붕괴된 이탈리아의 Alla Sella Zerbino Dam, 1961년에 인도의 Khadakwasla Dam, 1969년 브라질의 Oros Dam, 1970년 아르헨티나의 Frias Dam, 1972년 미국의 Canyon Lake, 남아공의 Xonxa Dam 등을 들 수 있다. 이들 댐의 주요파괴 원인은 방류능력을 초과하는 홍수의 유입과 상류로부터 떠내려 온 부유물에 의해 여수로 기능의

* 한국농어촌공사 기술본부 기술지원팀 차장(hskre@hanmail.net)

마비 등으로 조사되었다.

우리나라의 대부분 농업용 저수지는 필댐으로 건설되었다. 필댐은 콘크리트댐과는 달리 월류 시 붕괴되기 쉬운 취약한 특성을 가지고 있기 때문에 차후 발생하는 저수지 붕괴원인도 대부분 월류 또는 관공작용(Piping)이 주요 원인으로 작용할 것으로 유추할 수 있다. 관공작용에 의한 누수는 시설물의 노후와 시설관리자의 관리부족에 의한 인위적인 요소가 작용할 수 있으나, 댐의 월류는 최근 자주 발생하는 기상이변과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

1971년부터 2002년까지 한반도 주변을 지나간 태풍에 의한 최대일강우량 자료를 조사한 결과 상위 10개 중 7개가 1990년대 이후에 발생했다. 이 중 2002년 태풍 루사(Rusa) 내습 시 강릉지역에 내린 870.5mm의 강우량이 가장 큰 것으로 조사되었다. 또한 태풍 루사와 동반한 이상호우로 인해 강원도 강릉의 장현·동막저수지에 설계홍수량을 초과하는 홍수의 유입으로 여수로의 붕괴뿐만 아니라 저수지의 제체가 붕괴되는 피해를 입기도 했다. 이밖에도 1961년 전북 남원의 효기리댐, 1996년과 1998년에 연천댐 등이 대표적인 설계홍수량 초과로 인한 붕괴사례로 들 수 있다.

따라서 본고에서는 이상호우로 인한 저수지 붕괴 시 하류지역의 홍수 분석과 관련된 국내외 사례에 대해 소개하고자 한다.

II. 연구 내용

이상호우로 인한 저수지 붕괴 시 하류지역의 홍수분석을 위해서는 상류에서 유입되는 홍수의 양과 여수로, 수문 등 기존 물량이 시설로 방류되는 양, 제체 월류와 파괴된 부분으로 방류되는 양을 추정하여야 한다. 이러한 조건일 때

저수지 붕괴에 따른 방류량으로 인해 저수지 하류부에 미칠 수 있는 홍수위, 홍수량 및 도달시간을 산정하여야 한다. 이러한 목적을 가지고 수행할 수 있는 모형은 여러 가지가 있으며, 이 중 DAMBRK 모형은 국내외적으로 적용사례가 다수 발표되어 그 적용성이 인정되었다.

DAMBRK 모형은 동역학적 홍수추적 모형으로 Fread(1977)에 의해 처음 소개 되었으며, 1979, 1980, 1981, 1982, 1984, 1988년에 기능이 개선되어 발표되었다(Fread, 1981; 1988). 이 모형은 댐으로부터 유출수문곡선을 유도하고 하류로의 홍수추적을 수리학적으로 해석하기 위하여 개발되었으며, 사용하는 지배방정식은 부정류에 관한 1차원 Saint-Venant 방정식으로서 하류구간에서의 급변류, 단면의 변화, 교량 등의 영향을 내부경계조건으로 수용할 수 있도록 설계되었다.

댐 파괴로 인하여 발생하는 유출 양상에 영향을 미치는 인자로는 파괴부의 형태, 크기 및 파괴시간 등이며, 이에 관한 연구도 많이 이루어져 왔다. 댐 붕괴 시 붕괴형태는 대체적으로 삼각형, 직사각형, 사다리꼴형 및 포물선형 등으로 나타낼 수 있다. 특히 사다리꼴형은 측벽면 경사 Z 는 0보다 크거나 같고 2보다 작거나 같은 범위를 갖고, 파괴부의 폭 등을 변화시킴에 따라 저수지 붕괴 시 가장 일반화된 형태로 표현할 수 있다.

Singh(1982)이 조사한 결과에 의하면 파괴 상단의 폭(B)과 댐높이(Hd)와의 관계는 $2Hd \leq B \leq 5Hd$ 라고 발표하였으며, MacDonald(1984)는 B의 값이 $Hd \leq B \leq 5Hd$ 의 범위를 갖는다고 발표하였다. Fread(1977)는 붕괴부 평균폭(Bm)이 $Hd \leq Bm \leq 3Hd$ 의 범위를 갖는다고 발표하였다. 이들의 결과를 비교하여 볼 때 Singh과 MacDonald의 조사치가 파괴부의 상단폭 임을

감안하면 Fread의 연구결과가 타당한 것으로 판단되었다.

국내의 경우, 댐 붕괴와 관련된 연구 자료 및 동향을 살펴보면 이종태 등(1986)은 Earth Dam의 파괴로부터 야기되는 유출수문곡선을 유도하였다. 또한 홍수파가 자연하도를 통하여 하류로 전파되어 나가는 과정을 추적하기 위해 동력학적방정식(dynamic wave equation)을 구성하고, 이 식을 Preissmann scheme과 double sweep법을 이용하여 해석하는 DBF (Dam Break Floodwave) 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 Teton dam에 적용하여 댐파괴로 인한 홍수파의 침두수위, 침두유량, 도달시간 및 범람범위 등을 계산하였고, 실측자료와의 비교검토를 통하여 모형의 적용성을 입증하였다.

한건연(1987)은 하천에서의 홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발연구를 효기댐 파괴에 따른 홍수파 해석을 중심으로 수행하였다. 댐 파괴나 급격한 방류로부터 발생하는 홍수파가 하도내에서 사류의 흐름으로 나타날 때, 이를 해석하기 위한 수치모형을 개발하였다. 개발된 모형을 Buffalo-Creek flood의 경우에 적용하고 실측치 및 DAMBRK에 의한 계산 결과와 비교 검토하여 모형의 적용성을 입증하였다. 효기댐의 경우에는 파괴당시의 실측자료를 기초로한 유출수문곡선을 유도하였고, 댐 하류부의 홍수파 전달양상을 통한 홍수분석을 실시하였다.

오남선 등(1989)은 흙댐의 점진적 파괴에 관한 연구를 실시하였다. 점진적인 저수지 파괴는 흙댐에서 관공작용이나 월류에 의해 시작된다. 점진적 파괴에서는 물의 침식작용에 의해서 파괴부가 형성되고 확대되며, 이 과정은 매우 복잡하고 유동적이다. 오남선은 Singh과 Scarlatos의 수학적 모형과 Fread의 물리적 모형을 검증

하고 비교하였다. Fread의 모형은 많은 입력 자료를 필요로 하며 충분한 자료가 주어질 때 근사함을 보여주고 있으며, Singh과 Scarlatos의 모형은 간단한 입력자료 만으로도 저수지 파괴를 근사적으로 모의할 수 있음을 제시하였다.

한건연(2002)은 댐 붕괴 홍수해석 모형의 검토를 통해 DAMBRK를 포함하는 주요 댐붕괴 모형의 구성요소, 모의과정 등 주요특징을 비교 검토하였다.

소방방재청(2004)은 댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획(Emergency Action Plan, EAP) 수립 지침 작성방안 연구를 통해 댐 붕괴 발생원인 조사, 분석방법, 안전성 평가 기법, 기준 설정 방법 및 재해발생 시 발생원인 별 추적모의 방법 등을 제시하였다.

이밖에도 이종태(1987)는 댐파괴의 원인, 파괴부의 양상, 파괴양상과 유출 등을 분석하였고, 이홍래 등(1998)은 댐 붕괴 홍수모의에 대한 불확실도 해석에 관한 연구를 수행하였다. 이상태 등(2001)은 하천제방 붕괴 양상의 실험적 연구를 실시하였다.

Ⅲ. 활용방안

농림부와 한국농어촌공사(2008)에 따르면 전국에 산재되어 있는 농업용 저수지는 약 17,649개소에 이르고 있으며, 이 중 저수지 붕괴 시 피해 잠재성이 크게 나타날 것으로 예상되는 총저수량 1,000천 m^3 이상 저수지는 약 454개소로 조사되었다. 이러한 저수지는 전술한 바와 같이 설계홍수량을 초과하거나 예측할 수 없는 이유로 인해 각 저수지에 발생할 수 있는 비상상황을 시나리오별로 작성하여 대비체계를 구축하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 소방방재청(2004), 댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획 수립지침 작성방안 연구.
2. 오남선·선우중호(1989), "홍법의 점진적 파괴에 관한 연구", 한국수문학회지, 22(2), pp.213~221.
3. 이상태·이종태(2001), "하천제방 붕괴 양상의 실험적 연구(I)", 한국수자원학회논문집, 34(2), pp.141~154.
4. 이종태·한건연·이원환(1986), "Earth Dam의 가상파괴로 인한 홍수파의 예측모형", 대한토목학회 논문집, 6(4), pp.69~78.
5. 이종태(1987), "댐의 파괴양상", 한국수문학회지, 20(3), pp.186~190.
6. 이홍래·한건연·조원철(1998), "댐 붕괴 홍수모의에 대한 불확실도 해석", 한국수자원학회논문집, 31(3), pp.337~345.
7. 한건연(1987), "하천에서의 홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발", 한국수문학회지, 20(4), pp.285~294.
8. 한건연(2002), "댐 붕괴 홍수해석 모형의 검토", 한국수자원학회지, 35(1), pp.64~72.
9. 한국농어촌공사(2008), 경남권역 비상대처계획수립 보고서.
10. Fread, D. L.(1977), "The development and testing of a dam-break flood forecasting model," in Proceedings of Dam-break Flood Modeling Workshop, U.S. Water Resources Council, Washington, D. C., pp.164~197.
11. Fread, D. L.(1981), "Some limitations of dam-breach flood routing models," in Proceedings of ASCE Fall Convention, St. Louis, Mo.
12. Fread, D. L.(1988), The NWS DAMBRK MODEL: Theoretical background/user documentation, Hydrologic Research Lab., Office of Hydrology, National Weather Service, NOAA, Silver Spring, MD.
13. MacDonald, T. C. and J. L. Monopolis(1984), "Breaching Characteristics of Dam Failures," Journal of Hydraulic Engineering, 110 (5), pp.567~586.
14. ICOLD(1973), Lessons from Dam Incidents, Boston, Massachusetts, U.S. commission on Large Dams.
15. Singh, K. P. and A. Snorrason(1982), "Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models," Journal of Hydrology, 68, pp.295~310.