

댐 붕괴에 의한 댐 하류지역의 홍수범람 영향에 관한 연구*

A Study on Flood Impact upon the Downstream Area of A river by Dam Break

Dae Hee Kim, Dong Woo Jang**, Hyo Seon Park***, Gye Woon Choi****

Hydrological Survey Department, Hydrological Survey Center, 407 Hallyuworld ro, Ilsanseo-gu,
Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract

In these days, drought and flood occurs more frequently throughout the world due to an unusual exchange in the weather. As the localized torrential rainfall increases, the possibility of flood occurrence such as river flood, bank decay, reservoir destruction also increased due to worn out or impairment of the hydraulic structures caused by flood damage. Especially, there have been several historic localized torrential rainfall in Chullabuk-do and Chullanam-do, there is no enough research done about the risk of the A dam decay after its construction nor the flood-risk mapping of main A river. Therefore, in this research, postulated dam failure of A dam during maximum possible precipitation is proposed and investigated in order to calculate not only the peak flood for the continuous collapse time, but also the flooding hour, flooding type and flooded area extent that hourly influences B county, C county by using the MIKE FLOOD model. In analyzing the receptive capacity of the embankment in the main stream of the A River, except the mountainous region in its upstream, the receptive capacity of the embankment is higher than the planned flooding level and the existing embankment height, the embankment water level in the B region occurred up 8.80m in maximum, the embankment water level in the C region occurred up 2.27m in maximum. By using the flooding occurrence point, the maximum flooding depth, the flood graph of time and season, of the B and the C region to be caused by the breaking of the A river, the forecast and alarm and disaster prevention for the flood of the A river basin in the future should be planned.

Key words: dam break, MIKE FLOOD, flooding, disaster response

* 이 논문은 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었음.

** Corresponding author. Tel. +82-32-850-5720. Fax. +82-32-851-5730, E-mail. nightray@paran.com

*** Tel. +82-32-835-4760. E-mail. hszizibe@nate.com

**** Tel. +82-32-835-4760. E-mail. gyewoon@incheon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 10, 2014 / Revised: Jan. 23, 2014 / Accepted: Feb. 2, 2014

국문초록

최근 기후변화로 인하여 홍수 및 가뭄의 발생 빈도가 전 세계적으로 증가하고 있다. 우리나라에서도 이러한 이상기후의 발생으로 인한 집중호우가 크게 증가하고 있는 실정이며 이는 제방의 월류, 수공구조물의 파괴, 저류지의 침수 등 다양한 홍수 피해를 발생시키고 있다. 전북 및 전남지역의 경우 최근 기록적인 집중호우가 발생하고 있으나, 댐이 건설된 이후 댐 붕괴위험에 대한 연구 및 A 지역 강 본류의 홍수범람 영향에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가능최대강수량 발생 시 A댐의 가상 댐 붕괴를 모의하여 붕괴지속시간에 대한 침투홍수량을 산정하고, MIKE FLOOD 모형을 이용하여 붕괴지속시간별 A 댐의 하류지역인 B, C지역에 영향을 미치는 범람시간, 범람양상 및 침수면적을 모의하였다. A강 본류의 제방여유고를 분석한 결과, A강 상류의 산지지역을 제외하고, 대부분 계획홍수위 및 기존의 제방고보다 높은 수위가 발생하였다. B지역은 제방 월류 수위가 최대 8.80m 까지 발생하였고, C지역은 제방 월류 수위가 최대 2.77m 까지 발생하였다. A 댐 붕괴에 따른 댐 하류부 B와 C지역의 침수발생시점, 최대 침수심 및 홍수범람도를 제공하여 향후 A 유역의 홍수 예·경보 및 방재계획 수립에 활용될 수 있을 것이다.

주제어: 댐 붕괴, MIKE FLOOD, 홍수범람, 재난대책

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 세계 각지에서 기상이변으로 인해 가뭄과 홍수가 빈번하게 발생하고 있고, 우리나라도 최근 집중호우로 인해 수해 피해가 증가하고 있는 추세이다[6]. 집중호우가 증가함에 따라 하천 범람, 제방 붕괴, 저수지 붕괴 등과 같은 홍수 발생 가능성이 증가하고 있고, 수공구조물의 노후화 및 손상에 따른 홍수피해도 염려되고 있는 실정이다.

댐은 수자원확보를 목적으로 하는 시설물이지만 만약 댐 설계빈도를 넘는 홍수 발생에 따라 노후화된 댐이 붕괴된다면 댐 하류지역에 큰 위험을 가져올 수 있다. 댐의 붕괴로 인한 홍수피해를 저감시키기 위한 대책으로써 태풍 및 국지성 집중호우 발생에 따른 월류 또는 수공구조물 파괴가 예상되는 홍수위험지역에 대해서는 정확한 홍수범람 지역을 예측하여 침수면적이나 침수심도, 재해취약 지역의 보강 등의 적절한 사전 대책에 의해 인명 및 재산피해를 최소화하는 것이 중요하다.

최근 전북 및 전남지역에 기록적인 집중호우가 많이 발생하고 있는데, A댐 건설이후 댐 붕괴 위험에 대한 연구 및 A강 본류의 홍수범람에 대한 연구는 많이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 가능최대강수량 발생시 A댐의 가상 붕괴를 모의하여 댐 붕괴 시 발생하는 침투홍수량을 산정하고, DHI(Danish Hydraulic Institute)에서 2차원 동수역학 모의가 가능하도록 개발된 MIKE FLOOD 모형을 이용하여 A댐 붕괴 시 댐 하류부 도시지역인 B, C 지역에 대한 침수피해를 예측하여 홍수에 대비할 수 있는 기본 자료로 제공하고자 하였다.

전국에 발생한 호우 중 10개를 선정하여 호우중심을 임실로 하는 가능최대강수량을 산정하고, 선정되어진 호우를 A강 유역으로 전이시켜 가능최대강수량이 발생하였을 때에 A댐의 가상붕괴 모의를 실시하였다. 댐 붕괴 시의 유출량은 HEC-HMS 모형을 이용하여 산정하였으며, 산정

된 유출량을 토대로 1, 2차원 통합해석이 가능한 덴마크 DHI사의 MIKE FLOOD 모형을 사용하여 A댐 하류부의 B, C지역의 침수피해를 예측하였다.

댐 붕괴조건으로는 A댐 유출량자료에 사용될 가능최대강수량을 산정하여 최대 유출조건 시 댐 체적을 고려한 전단면 붕괴조건을 이용하였다. MIKE FLOOD 모형에 적용하기 위해 A댐 유역의 지형자료를 GIS를 이용하여 구축하였고, 유량과 수위조건을 설정하여 홍수범람모의를 수행하였다. 주요 분석결과로 댐 붕괴 시 하류부의 홍수위, 침수면적, 지속기간 등을 산정하였다.

2. 연구동향

댐은 이수와 치수를 동시에 가능하게 하는 대표적인 수공구조물이다. 이러한 댐의 붕괴 시 다른 어떤 강우에 의한 홍수보다 규모가 크고 댐 하류지역의 피해가 크다. 그러므로 댐 붕괴로 인한 유출수문곡선의 형태 및 첨두유출량을 정확히 예측하여 댐의 안전계획을 수립하는 것은 매우 중요하다.

댐 붕괴와 관련된 국외의 연구사례를 살펴보면 한건연 외(1985)은 흙댐의 붕괴 유출모형 개발을 수행하였으며, 티톤 댐과 버팔로-크릭 댐에 적용하여 유출수문곡선을 작성하였다[16].

이창훈·이길성(1989)은 댐 파괴 양상을 종합적으로 분석하기 위해서는 수리, 수문, 토질 등 각 분야에서의 검토가 필요하다고 하였고, 댐 파괴로 인한 하류부에서의 홍수와 해석 및 피해 범위를 예측하기 위해 기존 댐 파괴 모형을 비교·분석을 실시하였다[11].

이준학(2001)은 HEC-HMS, DAMBRK, HEC-RAS 모형을 이용하여 연천댐 붕괴 과정을 공학적으로 심도 있게 재현하였으며, 하류 특정지역에 미치는 홍수효과를 정량적으로 분석하였다[10].

최병규 외(2008)은 DAMBRK 모형을 통하여 댐 지점의 붕괴유출수문곡선을 산정하였으며, 댐 하류하천 수위분석은 1차원 DAMBRK 모형과 HEC-RAS 모형을 이용비교 분석하였고 이를 통하여 댐 붕괴로 인한 하류하천 홍수류 해석시 HEC-RAS 모형의 적용성을 검토하였으며, 검토결과 HEC-RAS 모형 계산치가 DAMBRK 모형에 의한 결과 보다 과대하게 산정 되었다고 제시하였다[14].

한상범(2009)은 섬강유역에 대해서 HEC-HMS 모형을 이용하여 댐 붕괴 매개변수 각각의 첨두유출량 및 설계홍수량을 비교 분석을 실시하였고[19], 댐 붕괴에 의한 홍수분석으로 최현수 등(2011)은 DAMBRK 모형을 이용하여 저수지 하류지역의 홍수분석을 수행하였고, 하도의 홍수량에 따른 수리학적 거동 분석을 연구하여 댐붕괴홍수량에 따른 하류부 홍수량의 지속시간, 대표 홍수량을 추정하였다[15].

II. 분석 모형의 선정 및 모델 구축

1. 모형의 선정

댐 붕괴모형의 선택은 댐의 특성, 댐 붕괴에 대한 홍수범람 현상을 동수역학적으로 구현할 수 있는 수리모델이 적용되어야 한다. 특히 댐 붕괴에 대한 홍수량을 추정하고, 홍수범람에 대한 침수영역을 제대로 구현할 수 있는 모델 중 1, 2차원의 통합해석이 가능한 덴마크 DHI사에서 개발된 홍수모델링 프로그램인 MIKE FLOOD 모형을 이용하여 댐 붕괴에 의한 홍수범람해석에 이용하였다. MIKE FLOOD모델은 비교적 빠른 홍수평가가 가능하며, 홍수 위험에 대한 도식화가 가능하고, 통합적인 하천 및 해안 범람 모의가 가능한 모형이다.

MIKE FLOOD 모형은 1차원 모형인 MIKE 11 모형의 하도를 2차원 모형인 MIKE 21 모형의 격자를 연결시키는 역할을 한다. 두 모형이 연결되면 하도의 수위가 제방을 월류하는 양을 MIKE 11 모형에서 계산하여 MIKE 21 모형의 격자에 2차원 방정식으로 홍수범람 양상을 모의하게 된다[13].

홍수량의 산정은 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)를 이용하였다. 미 육군 공병단에서 개발된 강우-유출 해석 모형으로써 HEC-1과 유사한 단위도방법과 하도 추적법을 바탕으로 격자망으로 된 강우량 자료에 적용할 수 있는 선형 분포형 모형 및 장기유출모의에 사용할 수 있고, 전 세계적으로 널리 이용되고 있는 모델이다.

2. 댐 붕괴 시 유량 산정

1) 가능최대강수량의 산정

홍수량 산정을 위해서 A댐의 체적을 고려한 댐 저수량 외에 가능최대강수량을 산정하였다. 전국 PMP도 제작성 보고서[3]와 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서[2] 등에서 제시된 수문기상학적방법을 이용하여 가능최대강수량을 산정하였다.

가능최대강수량 산정을 위한 지속시간 면적별 평균강우량 자료는 감천댐 타당성조사 보고서[18], 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제2권[2], 2002년 홍수피해 종합 조사보고서[20], 2003년 9월 태풍 매미에 의한 대홍수[17] 자료를 활용하여 전국적으로 발생했던 10개의 호우사상을 대상으로 지속시간 면적별 평균강우량을 사용하였고, 유역의 공간적 분포의 특성을 고려하여 가능최대강수량을 산정하였다.

<Table 1> Selected results of target heavy rain and various parameter

호우명	호우원인	호우중심	수분최대화비	수평전이비	수직전이비	지형영향비	총조절비
R1972081804	저기압	수원	1.45	1.02	1.00	0.77	1.45
R1981090104	태풍	고흥	1.45	0.97	1.00	0.72	1.45
R1987071304	태풍	마천	1.23	1.01	1.00	0.88	1.23
R1990090904	태풍	신평	1.29	1.09	1.00	0.83	1.29
R1998073102	저기압	시천	1.33	0.99	1.00	0.84	1.33
R1998080502	저기압	강화	1.30	1.02	1.00	0.68	1.30

선정된 10개의 대상호우 및 각종 인자의 선정 결과는 <Table 1>과 같다. 선정된 호우사상을 대상유역에 전이시키기 위해서 수문기상학적 방법[2]을 이용하여 조절계수를 산정하였고, 수문기상학적 방법은 식 (1)과 같다.

$$PMP = OP \times R_{IP} \times R_{HT} \times R_{VT} \times R_{GF} \quad (1)$$

여기서, OP 는 관측강우량, R_{IP} 는 수분최대화비, R_{HT} 는 수평전이비, R_{VT} 는 수직전이비, R_{GF} 는 지형영향비를 나타낸다.

수분최대화비는 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제2권 한국 가능최대강수량 추정[2], 2002년 홍수피해 종합 조사보고서[20]에서 제시하는 호우명 별 수분최대화비(1.23~1.45)를 사용하였다.

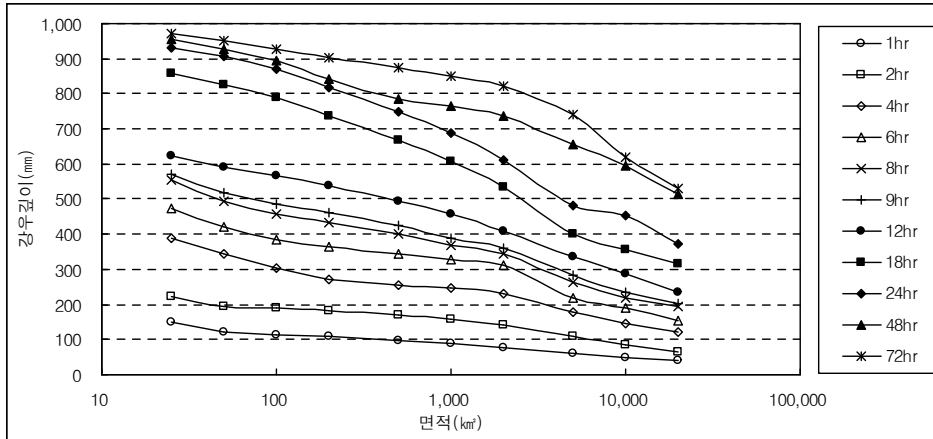
수평전이비, 수직전이비, 지형영향비 산정을 위해 필요한 전이지대(임실) 최대 이슬점, 100년 빈도 확률강우량, 전이지대 유효 표고는 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제2권 한국 가능최대강수량 추정[2], 전이지대 최대 강수량은 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제3권 한국 가능최대강수량 추정[1]에서 제시한 값을 적용하였다.

호우명 별 계산된 조절계수를 10개 호우에 적용하여 최대값의 DAD(Depth-Area-Duration)를 산정하였고, 산정된 지속시간별 관측 최대 DAD는 <Table 2>와 같고, PMP-DAD의 관계는 <Fig 1>과 같다.

<Table 2> Measured maximum DAD for each duration

(Unit: mm)

구분	1시간	2시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간	72시간
25km ²	148.50	221.85	387.75	475.50	552.90	621.60	859.10	932.93	956.60	972.86
50km ²	122.87	196.20	345.00	422.55	492.45	592.46	826.47	905.69	928.81	949.69
100km ²	114.05	189.82	305.27	382.92	458.07	568.06	787.71	868.82	893.03	926.52
200km ²	108.03	183.30	270.01	365.53	432.90	539.99	737.23	817.96	843.37	903.34
500km ²	98.94	172.03	257.08	343.13	399.43	495.41	666.71	747.78	785.56	872.72
1,000km ²	89.86	158.34	245.51	327.84	368.71	456.11	606.51	689.29	765.04	849.74
2,000km ²	77.95	142.47	232.47	309.78	342.72	410.49	534.86	610.08	735.91	823.45
5,000km ²	60.93	109.82	177.66	219.90	263.36	337.21	400.66	482.56	656.62	740.44
10,000km ²	47.55	84.35	144.00	191.75	220.51	285.74	356.40	453.56	593.92	621.41
20,000km ²	38.79	65.34	119.78	155.87	192.38	233.39	317.81	371.24	515.04	531.92



<Fig 1> PMP-DAD

각 호우사상에 대해 전이한 값을 유역면적에 해당하는 지속기간별 강우량을 산정후 적합한 회귀식을 산정하여 지속기간별 가능최대강수량을 결정하였다. 가능최대강수량의 시간분포는 Blocking 방법의 일종인 중앙집중형 Mononobe 방법에 의해 실시하였다. 중앙집중형 방법을 사용함으로써 최대 강우시점에 댐이 붕괴되는 조건으로 극한 조건에서의 모델내 유량조건을 설정하였다. 공간분포는 호우중심형 방법을 이용하여 최종 산정하였다.

시간분포 방법인 Mononobe 방법은 설계강우량에 시간구간을 곱하여 설계강우량을 시간별로 분포시키는 방법으로 식 (2)를 사용하여 분포시켰다[12].

$$R_t = \frac{R_T}{T} \left(\frac{T}{t}\right)^n \cdot t \quad (2)$$

여기서, R_T 는 지속시간 T시간인 설계강우량(mm)이고, R_t 는 강우시작부터 시간 t시간까지의 누가우량(mm), T는 강우지속시간으로 보통 24시간을 사용하고, n은 상수(일반적으로 2/3)이다. 산정된 지속기간별 가능최대 강수량은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Maximum Possible Precipitation for Each Duration

(Unit: mm)

구분	1시간	2시간	4시간	6시간	8시간	12시간	18시간	24시간	48시간	72시간
A 댐 유역	107.85	151.65	232.53	308.36	376.18	492.39	623.03	709.14	785.27	856.79

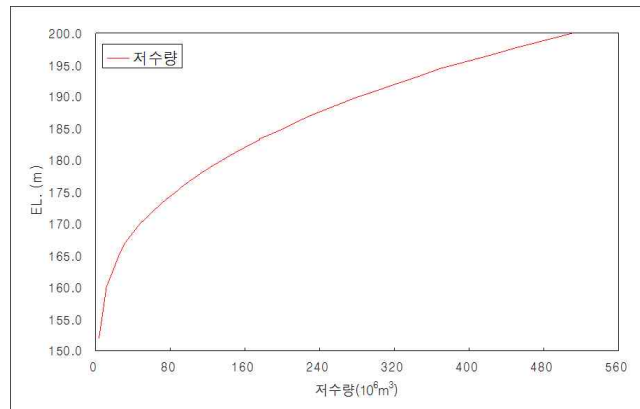
2) A 댐의 저수량 산정

댐의 수위-저수량 관계식을 이용하여 댐의 유입량으로부터 댐의 저수량을 산정하였고, 이를 토대로 방류량을 산출하였다. A댐은 콘크리트 중력식 댐으로서 높이 64m, 제방길이 344.2m, 저수용량 4억 6600만 m³이다. A댐의 저수위 EL. 154.54m일 때 84.8백만 m³, 상시만수위 EL. 196.50m일 때 420.7백만 m³이다[5]. A댐의 수위-저수용량관계곡선식은 <Table 4>와 같고, 관계

식을 통해 산출된 관계곡선은 <Fig 2>와 같다.

<Table 4> Relationship Curve Equation of Water Level-water Storage in A dam

수위범위(m)	수위-저수용량 관계곡선식
$0 < X \leq 167$	$0.0004541881X^3 - 0.08933406X^2 - 4.306272X + 1126.814$
$167 < X \leq 183.3$	$0.0009584451X^3 - 0.2401497X^2 + 4.696622X + 1480.881$
$183.3 < X \leq 186.85$	$0.0002639076X^3 - 0.07490688X^2 + 15.17943X - 1715.17$
$186.85 < X \leq 189.68$	$0.000154666X^3 + 0.005972898X^2 - 1.620837X - 687.15$
$189.68 < X \leq 194.48$	$0.0002238944X^3 - 0.003059854X^2 - 3.877388X - 406.5751$
$194.48 < X$	$0.0002509427X^3 - 0.007055291X^2 - 1.173385X - 980.2872$



<Fig 2> Curve of Water Level-water Storage

※ Source: WAMIS.

3) 댐 붕괴지속시간의 선정

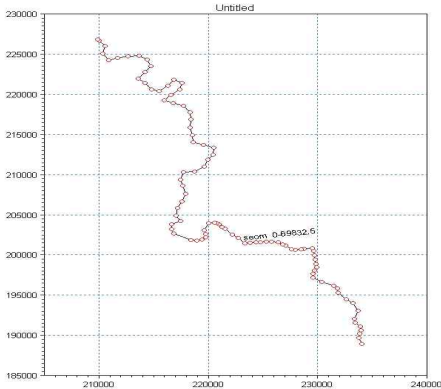
댐의 붕괴지속시간은 댐 붕괴에 의한 홍수영향을 좌우하는 가장 중요한 요소 중에 하나이다. A댐의 경우 콘크리트 중력댐이고, 붕괴지속시간은 댐의 파괴 양상에서 제안하고 있는 <Table 5>에 따라 0.2 시간 이내의 조건으로, 본 연구에서는 0.1, 0.2, 0.3시간의 3가지 조건으로 유출량을 산정하였다[8][9].

<Table 5> Characteristics of dam break

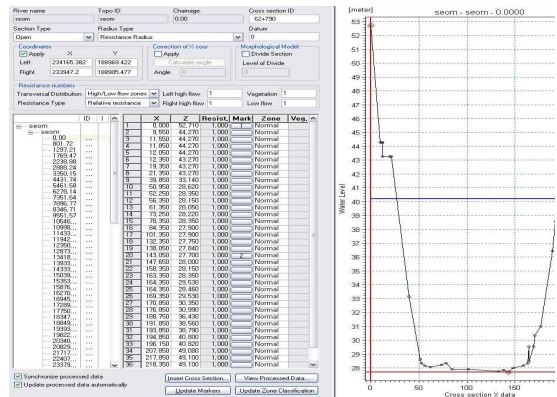
댐종류	붕괴지속시간(hour)
fill dam(well constructed)	$0.5 \leq T \leq 3.0$
fill dam	$0.1 \leq T \leq 0.5$

3. 네트워크 및 횡단면 구축

MIKE FLOOD 모형은 1차원 해석모델인 MIKE 11과 2차원 해석모델인 MIKE 21의 두 모형을 통합하여 해석하는 모형이다. A댐 하류부의 1차원 하천흐름해석을 위해 MIKE 11모델의 하천 네트워크와 횡단면(Cross Section)을 섬진강 하천기본계획(보완) 보고서[4]를 토대로 A댐 지점부터 압록 수위관측소 지점까지 약 500m간격 95개소의 지점에 대해 <Fig 3>과 <Fig 4>와 같이 구축하였다.



<Fig 3> Network Map in MIKE



<Fig 4> Cross-section in MIKE

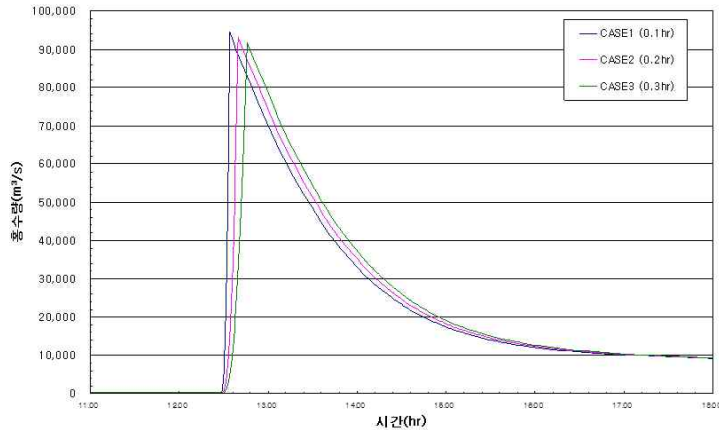
4. 모델 경계조건 설정

1) 댐 붕괴 시 유량조건

A댐 붕괴 시 유출량조건으로 강우-유출모형중 하나인 HEC-HMS 모형을 이용하여 시계열 유량을 산출하였다. 모형의 입력자료로 강우손실 분석, 단위도 분석, 홍수추적을 통해 결정하였다. 강우손실을 분석하기 위해 SCS 방법, 단위도 분석은 Clark 단위도, 홍수추적은 Muskingum 방법을 사용하였고, 콘크리트 댐의 붕괴시간을 0.1, 0.2, 0.3시간으로 선정하여 A댐 붕괴 시 시계열 유출량 <Table 6>과 같이 산정하였다. 산정결과 지속시간에 따른 댐 붕괴 발생시간은 최대 2분 정도의 차이가 발생하였고, 침투유출량의 경우 지속시간이 0.1시간일 때 94,426m³/s, 지속시간이 0.3시간일 때 91,648m³/s가 발생하였다. 댐 붕괴에 지속시간이 짧을수록 침투유출량도 증가하기 때문에 댐 붕괴에 의한 침수피해가 더 크게 발생할 것으로 예측되어 본 연구에서는 지속시간 0.1시간의 유출량을 모델 입력조건으로 설정하였다. <Fig 5>는 붕괴시간별 유출수문곡선으로 지속시간 0.1시간에서 침투유출량이 가장 큰 것을 알 수 있다.

<Table 6> Peak Outflow for Each Collapse Duration

지속시간 (hr)	가능최대홍수량 (m ³ /s)	초기수위 (EL.m)	댐 붕괴 발생시간(hr)	첨두유출량 (m ³ /s)	첨두유출량 발생시간(hr)	비고
0.1	9,071.0	197.7	12.48	94,426.8	12.57	적용
0.2			12.49	93,034.3	12.67	미적용
0.3			12.50	91,648.7	12.77	미적용



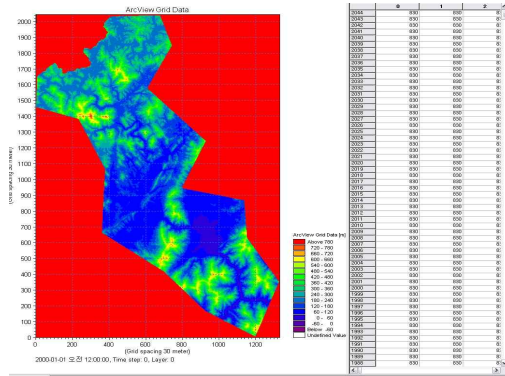
<Fig 5> Outflow Hydrograph for Each Collapse Duration

2) 하류부 수위조건

모델에 사용되는 하류 경계조건으로 수위조건을 입력하여야 하며, 본 연구에서는 섬진강 하천 기본계획(보완)보고서[4]에서 제시하고 있는 수위조건을 사용하였다. 대상구역의 하류단인 압록 수위관측소의 계획홍수위인 EL. 40.89m 를 하류부 수위조건으로 적용하였다.

5. 2차원 지형자료 구축

2차원 모형인 MIKE 21을 모의하기 위해 구역의 지형(bathymetry)을 댐붕괴의 직접적인 영향을 받는 A강 본류에 대하여 구축하였으며, A강 구역의 DEM 자료를 바탕으로 ArcGIS 프로그램을 사용하여 생성하였다. DEM 자료는 국가수자원관리 종합정보시스템과 전국구역조사 통합자료 조회시스템에서 제공하는 자료를 활용하였다. DEM 자료를 통해 추출한 x, y, z 값으로 대상구역의 지형(bathymetry)을 <Fig 6>과 같이 구축하였다.



<Figure 6> Build a Bathymetry

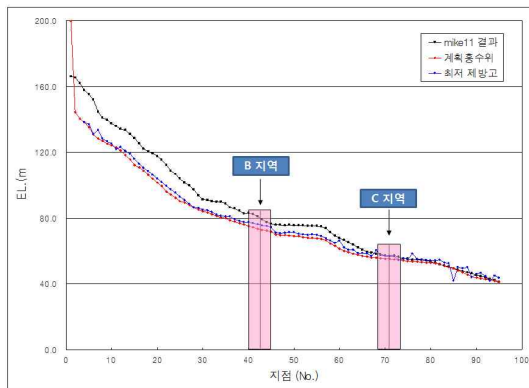
III. 대상유역의 홍수범람분석

홍수위 및 홍수범람 분석을 위한 MIKE FLOOD 모형의 모의과정은 MIKE 11 모형에서 제방을 월류하는 유량을 계산하여 MIKE 21 모형의 지형 격자망 모의를 통해서 홍수범람지역과 침수심이 결정된다. MIKE FLOOD 모의 결과를 통해 A댐 하류부의 침수범위와 주요지점의 시계열 홍수위를 산정하였다.

1. A 강 본류의 홍수위 분석

B, C지역은 A강 유역에서 비교적 많은 인구가 살고 있고 홍수 발생 시 피해가 다른 산간지역에 비해 클 것으로 판단되어 B, C지역을 중점으로 A강 본류의 홍수위와 제방고를 비교하였다. A강 본류를 중심으로 홍수위를 분석한 결과 B지역은 2.38m~8.80m, C지역은 0.45m~2.77m 까지 제방을 월류하는 수위가 발생하였다.

<Fig 7>은 모의를 통해 계산된 최대 홍수위와 제방고의 높이를 비교한 것이다.



<Fig 7> Comparing of Water Level and Bank Level at Downstream Area of A Dam

A강 본류에 대해 댐 붕괴가 시작되는 시점을 최대 강우 발생 시점으로하여 모의한 결과 월류 발생 시점은 댐 붕괴 후 약 37분 이후이고, 침투홍수량은 94,426.8m³/s가 발생하였다.

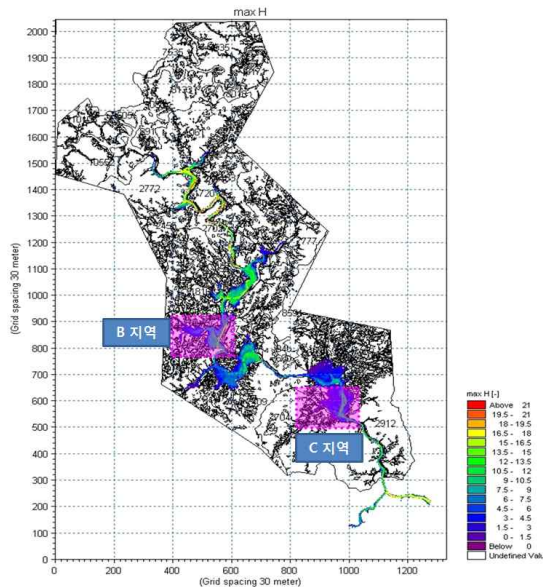
상류단인 A댐 부근은 좌안과 우안이 대부분 산지로 이루어져 있고 유역의 폭이 좁기 때문에 급격하게 수위가 상승하는 양상을 보였고, 유역의 하류단인 압록 수위관측소 지점에서는 댐 붕괴 후 약 5시간 02분 후에 월류가 발생하였다.

2. A 유역의 홍수영향

1) 홍수범위 및 도달시간 분석

MIKE FLOOD 모형결과를 이용하여 범람시간과 범람범위를 예측하였다. A댐 하류부의 경우 대부분의 지역이 산지지역이나 B지역과 C지역에는 주거지역이 밀집되어 있기 때문에 위 두 지역에 대해 보다 상세한 침수 양상 및 지역을 산정하였다.

A댐 붕괴에 직접적인 영향을 받는 A강 본류에 대해서 홍수범람 해석을 실시하였으며, 붕괴지 속시간 0.1시간에 대한 A강 유역의 최대 침수범위를 <Fig 8>과 같이 나타내었다.



<Fig 8> Maximum Water Level at A Dam Collapsed

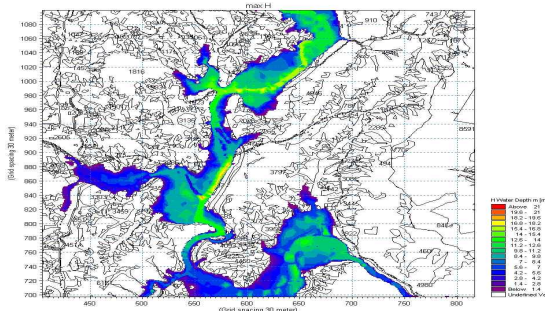
B지역은 댐 붕괴 후 약 1시간 32분후에 월류가 발생하며, 약 2시간 12분후 B읍 지역에 영향을 주기 시작하였다. B읍의 침수가 가장 크게 발생하는 시간은 약 3시간 37분 후 이며, 침수면적은 18.71km², 최대 침수심은 4.38m가 발생하였다.

C지역은 강우 발생 후 약 3시간 27분후에 월류가 발생하며, 약 3시간 42분후 C읍에 영향을 주기 시작하여 침수가 가장 크게 발생하는 시간은 약 6시간 42분 후 이고, 침수면적은 20.50km², 최대 침수심은 3.36m가 발생하였다.

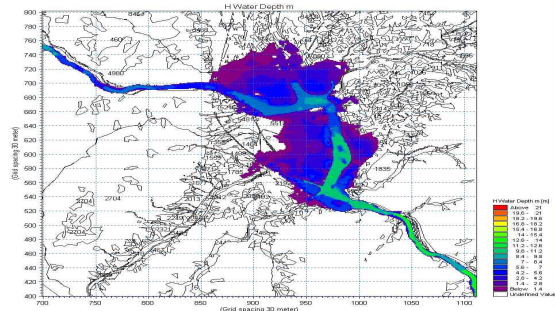
댐 붕괴 후 B, C지역의 최대범람범위를 <Fig 9>과 <Fig 10>에 나타내었고, 홍수범람 분석결과를 <Table 7>과 같다.

<Table 7> Analysis of Flood Inundation

구분	댐 붕괴후 최대 범람 발생 시간	침수면적 (면적/전체면적 비율)	최대 침수심(m)
B 지역 (면적:495.76km ²)	3:37	18.71km ² (3.77%)	4.38
C 지역 (면적:547.44km ²)	6:42	20.69km ² (3.78%)	3.36



<Fig 9> The Maximum Flood Inundation Map at B Area



<Fig 10> The Maximum Flood Inundation Map at C Area

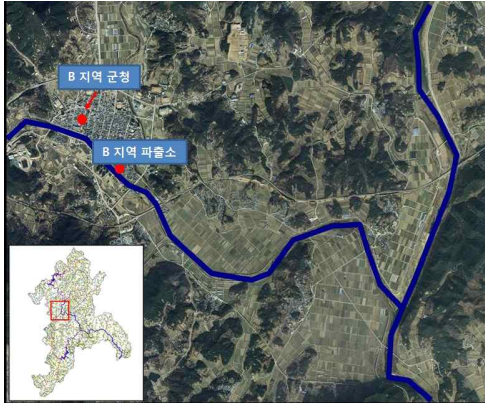
2) 수위 및 침수지속기간 분석

B지역과 C지역의 범람구역 중 인구 밀집도가 가장 큰 도시지역의 주요지점을 선정하여 침수 지속기간과 수위변화를 분석하였다.

B지역의 경우 B읍에 영향을 주기 시작하는 초입지역인 파출소 지점을 선정하였고, C지역의 경우 기차역 지점을 주요 분석지점으로 선정하였다. <Fig 11>은 B읍의 파출소, <Fig 12>는 C읍의 기차역의 위치를 나타낸 것으로 하천에 가장 인접하여 침수피해가 가장 우려되는 지점이다.

B읍 파출소 지점의 지반고는 EL. 83.3m로 인근 A강 본류의 수위변화는 <Fig 13>과 같고, 파출소 지점은 약 40분간 침수가 지속되는 것으로 나타났다. A강의 본류와 비교적 거리가 떨어져 있고, 주변이 산지 지형으로 되어있어 침수지속기간이 다소 짧게 나타났다.

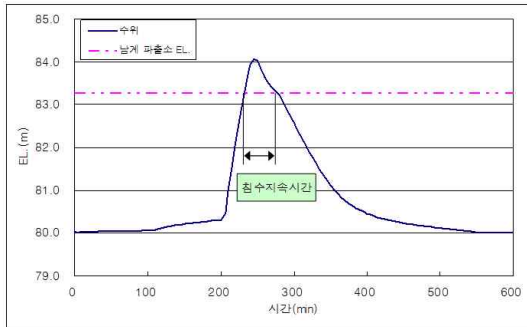
C읍의 기차역 지점의 지반고는 EL. 54.6m 로 인근 A강 본류의 수위변화는 <Fig 14>와 같고, C역 지점은 약 185분간 침수가 지속되는 것으로 나타났다. 산지 지형인 B읍 지역에 비해 C역 부근은 A 강 본류와 근접하고 있고 주변이 비교적 저지대이며, 농경지로 이루어져 있어 B읍 지역에 비해 침수가 다소 길게 지속되는 것으로 나타났다.



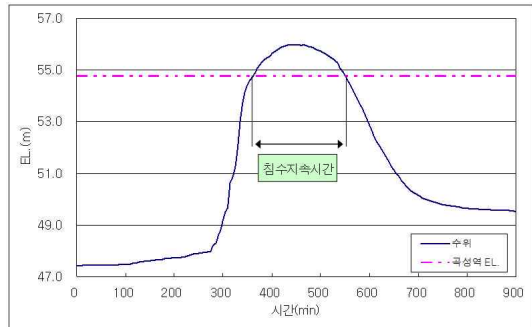
<Fig 11> The Location of the B Police Station



<Fig 12> The Location of the C Train Station



<Fig13> Water Level Change of A River at B Police Station



<Fig 14> Water Level Change of A River at C Train Station

IV. 결론

본 연구에서는 집중호우와 같은 큰 호우사상으로 댐이 붕괴되는 극한상황이 발생하였을 경우를 대비하여 홍수범람모의를 실시하였다.

전국적으로 발생한 호우사상을 A유역에 적용하여 가능최대강수량을 산정한 후에 가상 댐 붕괴모의를 실시하여 붕괴지속시간별 유출수문곡선 및 침투유출량을 계산하였다. 계산된 유출수문곡선을 DHI에서 개발된 MIKE FLOOD 모형에 적용하였고, A댐 하류부의 홍수범람 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, A댐의 붕괴지속시간에 따른 B 및 C 지역의 침수발생시점과 최대 침수심을 산정하였고, 침수범위를 홍수범람도로 작성하여 향후 A유역의 홍수 예·경보 및 방재계획 수립에 활용될 수 있도록 하였다.

둘째, B지역과 C지역 중 지반이 낮고, 인구밀집도가 높은 B지역 파출소 지점과 C지역 기차역

지점의 침수지속기간을 분석한 결과 주변이 산지인 B지역 파출소 지점보다 주변이 저지대이고, 본류와 인접한 C지역 기차역에서의 침수지속시간이 4.5배 정도 길게 나타났고, 최대 침수위도 높게 나타나 더 큰 홍수피해가 우려된다.

셋째, A강 본류의 홍수위를 모의하여 제방의 여유고를 분석한 결과, A강 상류의 산지지역을 제외하고, 대부분 계획홍수위 및 기존의 제방고보다 높은 수위가 발생하였다. B지역은 제방 월류 수위가 최대 8.80m 까지 발생하였고, C지역은 제방 월류수위가 최대 2.77m 까지 발생하여 A강 인근에서는 댐 붕괴 영향이 B지역에 더 클 것으로 판단되어 안전성 확보를 위한 제방의 증고가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 A댐의 붕괴로 인한 제방에 월류발생 시 B지역과 C지역에 대한 홍수범람 양상 및 침수면적을 제시하였고, 침수구역에 대한 예·경보 및 피난계획 수립에 활용 될 수 있도록 하였다. 향후 다양한 홍수범람 모형을 이용하여 각 모형의 모의결과를 비교, 분석한다면 보다 정확한 연구결과를 제시할 수 있을 것이다.

References

- [1] Minister of Land, Infrastructre and Transport. 1998. *Report on Development of Water Management Techniques*. Sejong: MOLIT.
- [2] Minister of Land, Infrastructre and Transport. 2000. *Report on Development of Water Management Techniques*. Sejong: MOLIT
- [3] Minister of Land, Infrastructre and Transport. 2004. *Rewrite Report on National PMP Map*. Sejong: MOLIT
- [4] Minister of Land, Infrastructre and Transport. 2009. *Seomjin River Master Plan Report*. Sejong: MOLIT
- [5] Water Management Information System. <http://www.wamis.go.kr/>
- [6] Kim, Gyu Il. 2011. *A Study on the Trends of Torrential Rainfall Events in Korea*. Master's Dissertation. Yonsei University.
- [7] Lee, Jae Hong. 2009. Review on Flood Estimation Methods. Master's Dissertation. Yonsei University. *Magazine of Korea Water Resources Association*. 42(10): 95-98.
- [8] Lee, Jong Tae, Kun Yeon Han, and Jung Sik Lee. 1986. A Forecasting Model for the Floodwave Propagation from the Hypothetical Earth Dam-Break. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 6(4): 69-78.
- [9] Lee, Jong Tae. 1987. Aspects of the Destruction of the Dam. *Magazine of Korea Water Resources Association*. 20(3): 186-190.
- [10] Lee, Jun hak. 2001. *Analysis of Flood Effects on Downstream Area due to Dam Collapse us-*

- ing GIS and Numerical Model*. Master's Dissertation. Korea National Defense University
- [11] Lee, Chang Hoon and Gil Sung Lee. 1989. Comparative Evaluation of Dam-break Models. *Magazine of Korea Water Resources Association*. 22(3): 323-330
- [12] Jeon, Il Kwon, 2010. *River Management Practices*. Donghwa Technology Publishing Co.
- [13] Choi, Gye Woon, Seong Joon Byeon, Yeon Joong Chung, and Young Kyu Kim. 2006. *The Study on Analyzing Overflow in River*. Proceedings of the Korea Water Resources Conference. 1236-1240.
- [14] Choi, Byeong Kyu, Tae Ho Kang, Yo Hwan Jung, Jae Hyung Ko, and Jang Mo Kim. 2008. *Proceedings of the Korea Water Resources Conference*. 1765-1769
- [15] Choi, Hyun Soo, Seung Jin Maeng, and Byeong Jun Kim. 2011. Flood Analysis of Downstream Area from Dam Using DAMBRK Model. *Journal of Safety and Crisis Management*. 7(1): 159-174
- [16] Han, Geon Yeon, Jong Tae Lee, and Won Hwan Lee. 1985. An Analysis of Outflow Hydrograph Resulting from an Earth Dam-Break. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 5(2): 41-50
- [17] Korea Institute of Construction Technology. 2003. *September 2003 Flood Caused by Typhoon Cicada*. Gyeonggi: KICT
- [18] K-WATER. 1997. *Gamcheon Dam Feasibility Study Report*. Daejeon: K-WATER
- [19] Han, Sang Bum. 2009. *A Study on the Hydrologic Modeling for Dam Failure Simulation*. Master's Dissertation. Joongbu University.
- [20] Korea Water Resources Association. 2002. *Comprehensive Report on Flood Damage*. Seoul: KWRA
- [21] DHI. 2007. MIKE 11 User Manual.
- [22] DHI. 2007. MIKE 21 User Manual.
- [23] DHI. 2007. MIKE FLOOD User Manual.

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [1] 건설교통부. 1988. 수자원관리기법개발 연구조사보고서. 세종: 건설교통부.
- [2] 건설교통부. 2000. 수자원관리기법개발연구조사 보고서. 세종: 건설교통부.
- [3] 건설교통부. 2004. 전국 PMP도 제작성보고서. 세종: 건설교통부.
- [4] 국토해양부. 2009. 섬진강 하천기본계획(보완) 보고서. 세종: 국토해양부.
- [5] 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>

- [6] 김규일. 2011. 국내 집중호우 발생 경향에 관한 연구. 연세대학교 석사학위논문.
- [7] 이재홍. 2009. 댐 홍수량 산정방법에 관한 검토. 한국수자원학회지. 42(10): 95-98.
- [8] 이종태, 한건연, 이정식. 1986. Earth Dam의 가상파괴로 인한 홍수파의 예측모형. 대한토목학회문집. 6(4): 69-78.
- [9] 이종태. 1987. 댐의 파괴 양상. 한국수자원학회지. 20(3): 186-190.
- [10] 이준학. 2001. GIS와 수치모형을 이용한 댐 붕괴로 인한 하류부 홍수효과 분석. 군사과학대학원 석사학위논문.
- [11] 이창훈, 이길성. 1989. 댐파괴 모형의 비교평가. 한국수자원학회지. 22(3): 323-330.
- [12] 전일권. 2010. 하천관리실무. 동화기술.
- [13] 최계운, 변성준, 정영준, 김영규. 2006. MIKE FLOOD를 이용한 하천 범람 해석에 관한 연구. 한국수자원학회 학술발표회논문집. 1236-1240.
- [14] 최병규, 강태호, 정요한, 고재형, 김강모. 2008. 댐 붕괴 홍수류해석을 위한 1차원 모형의 비교 연구. 한국수자원학회 학술발표회논문집. 1765-1769.
- [15] 최현수, 맹승진, 김병준. 2011. DAMBRK 모형에 의한 댐 하류지역의 홍수분석. 한국위기관리논집. 7(1): 159-174.
- [16] 한건연, 이종태, 이원환. 1985. earth dam의 파괴로 인한 유출수문곡선의 해석. 대한토목학회 논문집. 5(2): 41-50
- [17] 한국건설기술연구원. 2003. 2003년 9월 태풍 매미에 의한 대홍수. 경기: 한국건설기술연구원.
- [18] 한국수자원공사. 1997. 감천댐 타당성조사 보고서. 대전: 한국수자원공사.
- [19] 한상범. 2009. 댐 붕괴 모의를 위한 수문모형의 적용에 관한 연구. 중부대학교 석사학위논문.
- [20] 한국수자원학회. 2002. 2002년 홍수피해 종합 조사보고서. 서울: 한국수자원학회.

김대희: 인천대학교 토목환경공학과에서 석사학위(논문: 콘크리트 댐 붕괴에 의한 홍수범람 영향에 관한 연구)를 취득하였다. 현재 유량조사사업단에서 연구원으로 재직 중이며, 영산강 유량측정 및 유역분석 등의 연구를 수행하고 있다(daeheel853@hsc.re.kr).

장동우: 인천대학교 토목환경공학과에서 석사학위를 취득한 후, 현재 인천대학교 건설환경공학과에서 박사과정으로 있으며 (재)국제도시물정보과학연구원에서 수자원분야의 연구를 수행하고 있다(nightray@paran.com).

박효선: 인천대학교 토목환경공학과에서 석사학위를 취득한 후, 인천대학교 건설환경공학과에서 박사 수료하였으며 기후변화, 수자원을 전공으로 하고 있다(hszizibe@nate.com).

최계운: 콜로라도 주립대학교에서 박사학위를 취득한 후, 인천대학교 건설환경공학과 교수로 재직하였고, 현재 K-water 사장으로 활동 중이다(gyewoon@incheon.ac.kr).