

# 유한요소법을 이용한 종류별 콘크리트 댐의 변형 거동 해석

이헌기\*, 진기덕<sup>o</sup>, 김찬유\*, 김동현\*

\*경운대학교 항공기계공학과,

<sup>o</sup>경운대학교 항공기계공학과

e-mail: leehunkee@ikw.ac.kr, {itsrlejr<sup>o</sup>, kcu1993, gksmfans1234}@naver.com

## Analysis on the Types of Concrete Dam Structures using Finite Element Method

Hun-Kee Lee\*, Gi-Deok Jin<sup>o</sup>, Chan-Yu Kim\*, Dong-Hyeon Kim\*

\*Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University,

<sup>o</sup>Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University

### ● 요약 ●

다양한 신재생 에너지 발전 중에서 수력발전은 풍력발전과 더불어 탄소배출이 가장 적은 에너지 발전 중 하나이며, 정부의 “2050 탄소중립” 발표에 따라 근래 수력발전에 대한 관심이 증폭되고 있는 추세이다. 하지만 국내의 지리적 특성상 수력발전의 규모가 국외에 비해 소규모이며, 대규모 수력발전의 경우에도 설치 가능지역이 고갈되어 다수의 소규모 수력 발전소 설치라는 방향성이 불가피한 현실이다. 이에 따라 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 소규모 수력발전에 가장 많이 사용되는 콘크리트 댐 형상에 대한 구조해석을 실시하고 정수압 하에서 각 콘크리트 댐의 변형 거동 및 안정성을 분석하였다.

**키워드:** 유한요소법해석(Finite Element Analysis), 정수압(Hydrostatic Pressure), 콘크리트 댐(Concrete Dam)

### I. Introduction

다양한 신재생 에너지 발전 중에서 수력발전은 풍력발전과 더불어 탄소배출이 가장 적은 에너지 발전 중 하나로, 근래 탄소 중립을 위한 신재생 에너지로 각광받고 있다. 수력 발전을 위한 다양한 댐 중에 콘크리트 구조의 댐에 많이 활용되는 댐은 아치댐, 중력댐, 직사각형 댐 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 세 가지 종류의 콘크리트 댐을 선정하여 Abaqus 프로그램을 이용하여 정수압이 미치는 영향을 분석해 보고자 한다. 특히, 콘크리트 댐은 엄청난 무게를 지니고 있기 때문에 지중을 고려하여 해석되어야 한다. 지중의 유무에 따라, 유의미한 결과 값의 차이가 있음을 확인하였고 댐의 종류에 따른 정수압에 적절히 유지 되는지를 알 수 있었다. 본 연구에서 사용되는 댐의 형상은 [Fig. 1]과 같고 각 댐의 부피는  $1.16 \times 10^7 \text{ m}^3$  으로 동일하게 모델링하였다.

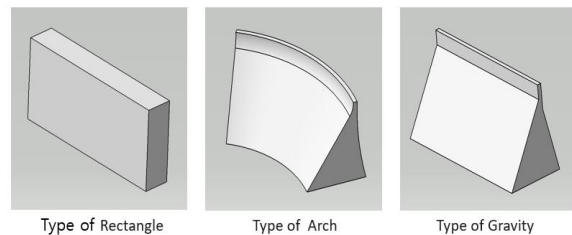


Fig. 1. Modeling of Types of Dam Structures

또한, 실제 댐의 양쪽 끝부분은 산 혹은 돌과 같은 자연 지형물에 지지되어 설치되는 경우가 대부분이며 본 연구에서는 이러한 자연 지형물을 구현하기 위하여 [Fig. 2]와 같이 각 댐에 틀을 만들어, 이를 강체로 가정하였다.

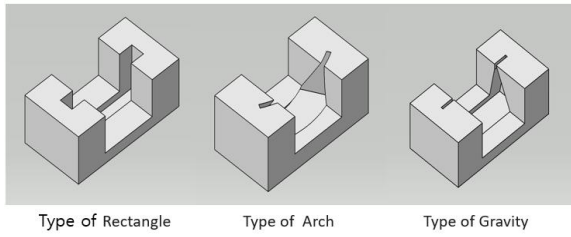


Fig. 2. Frame of Dam

## II. Pre-Processing of Modeling

### 1. Materials And Assembly

콘크리트는 물과 시멘트의 배합률 및 재령기간 등에 따라 다양한 종류가 있는데, 본 연구에서는 댐 건설에 주로 사용되는 독일 콘크리트 회사의 재료 선정 기준에 따른 B40 콘크리트를 재료로 선정하였다[1]. 콘크리트의 영률은 밀도(배합률)와 설계기준 압축강도 등에 따라 달라진다. 먼저 설계기준 압축강도는 콘크리트의 재령기간에 따라 달라지는 압축강도이다. 일반적으로 콘크리트는 28일을 기준으로 하여 설계기준 압축강도를 선정하지만 댐은 부피가 크기 때문에 재령기간이 오래 걸려 91일을 기준으로 하여 설계기준 압축강도를 선정한다. B40의 밀도는 2,298/m<sup>3</sup>이며, 이를 통해 국토교통부 기준의 콘크리트 영률 산정식에 따라 영률을 도출하였다. 이에 따라 도출된 영률값은 30\*10<sup>-9</sup> Pa이며, 푸이송 비는 0.2를 적용하였다. 콘크리트는 압축 항복응력보다 인장 항복응력이 강하다는 특이한 성질이 있기 때문에 Abaqus 프로그램 내에서 물성치를 적용시킬 때 Plastic에 소성 물성값을 기입하는 것이 아니라, Concrete smeared cracking 혹은 Concrete damaged Plasticity 물성 모델을 사용하며 본 연구에서 사용한 물성 모델은 Concrete damaged Plasticity이다. 팽창각의 경우 콘크리트는 일반적으로 20-40도를 가지며 그 중에서 B40 콘크리트는 31도를 가진다. 이심률과 응력비, K변수, 점성 매개변수 값은 Abaqus 매뉴얼을 참고하여 기본값으로 설정하였다. Assembly는 [Fig. 1]과 [Fig. 2]에서 언급한 댐과 틀의 모델링 파트를 조립하여 [Fig. 3]과 같이 구성하였다.

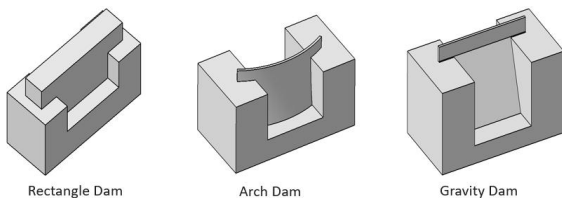


Fig. 3. Assembly of Types of Dam Structures

### 2. Interactions And Step

[Fig. 4]와 같이 Interaction은 Master surface를 [Fig. 2]의 강체에 적용하고 Slave surface를 [Fig. 1]의 댐에 적용시켰다.

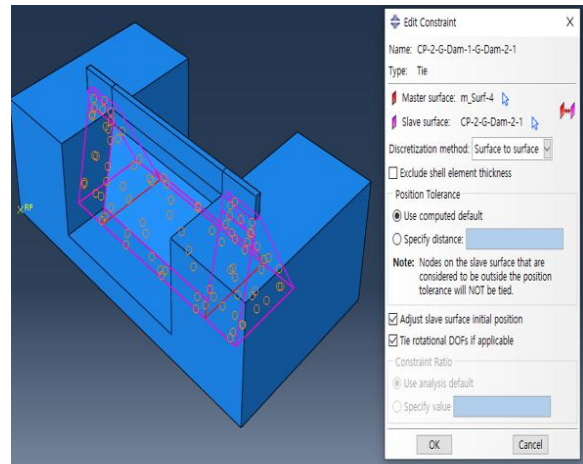


Fig. 4. Interactions

스텝은 Static, General을 사용하였고 기본 설정값을 유지하였다. 실제 상황에서는 정수압이 산 혹은 돌과 같이 차명 지형물에 미치는 영향이 미미하기 때문에 강체를 모든 방향에서 고정하는 BCs(Boundary Condition)를 [Fig. 5]와 같이 적용하였다.

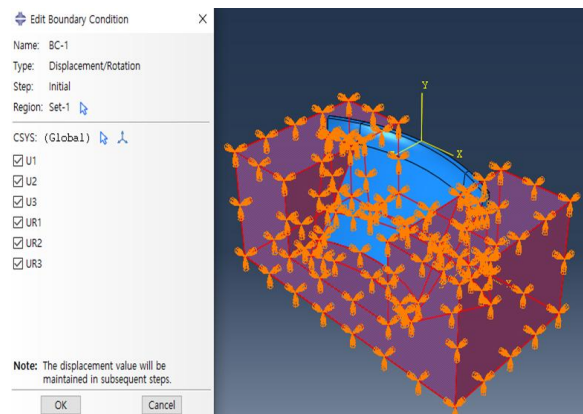


Fig. 5. Boundary Condition

### 3. Loads And Mesh

정수압을 구현하기 위하여 댐 모델을 활용하여 댐에서 물이 닿는 부위의 최대 높이를 178m로 설정하였다. 따라서 Y값이 0일 때 가장 큰 정수압을 받고, 178m일 때 정수압을 받지 않도록 수식화하였다. Load의 Magnitude는 1로 설정하였으며 [Fig. 6]에서 보는 것과 같이 실제 정수압과 동일하게 댐 표면에 수직하도록 정수압이 적용된 것을 확인할 수 있다.

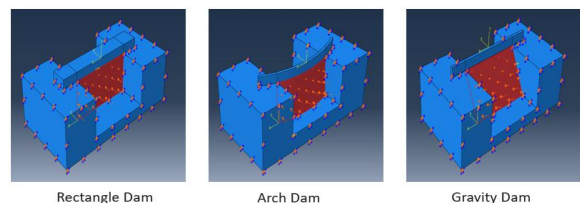


Fig. 6. Loads of Dam

매쉬의 경우, 프레임은 강제로 가정하였기 때문에 Abaqus 자동 제시값을 사용하였으며 댐은 형상에 관계없이 글로벌 사이즈 10으로 동일하게 적용하였다. 이때 Hexagonal Structured 요소를 사용하였으며 요소 타입은 C3D20R을 적용하였다.

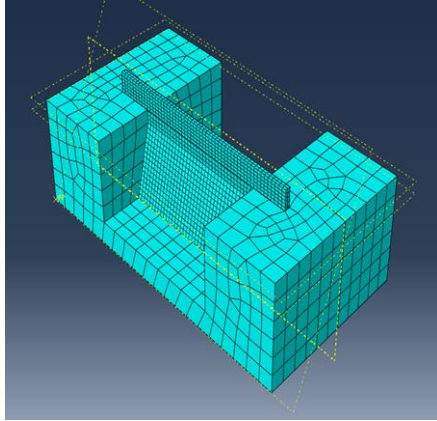


Fig. 7. Mesh of Gravity Dam

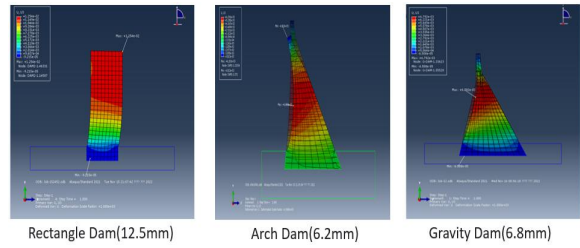


Fig. 9. Result when dead weight is considered

결론적으로, 아치 댐이 동일 부피의 콘크리트를 사용하였을 경우 정수압을 견디는 능력이 셋 중에서 가장 뛰어나며 정수압이 작용할 때 가장 신뢰성이 높은 댐은 아치 댐임을 확인하였다. 하지만, 아치 댐의 경우 곡률이 있기 때문에 댐 건설 시 중력댐보다 난이도가 높은 것이 특징이며 중력댐은 댐을 만들기 비교적 쉽기 때문에 국내에서는 대부분 중력 댐을 건설하는 추세이다. 본 연구를 바탕으로 정수압에 강한 아치형 댐을 손쉽게 건설할 수 있는 방법과 구조적 설계에 대한 연구를 지속할 예정이다.

### III. Results of The Analysis

자중을 무시한 경우, 직사각형 댐은 상단부에서 중간 부위까지 많은 변위량이 발생되며, 그 최댓값은 12.7mm이었다. 아치댐의 경우 최상단에서 최대 15.1mm의 변위량을 보였으나 변위가 발생하는 부위는 직사각형 댐보다 작았다. 중력댐의 경우 변위량 발생 구간은 아치댐과 비슷하며 최댓값은 12.5mm이다. 이처럼 자중을 고려하지 않은 경우, 가장 큰 변형을 보이는 댐은 아치댐이다. 하지만 자중을 고려한 경우, 유의미한 결과값의 차이를 보였다.

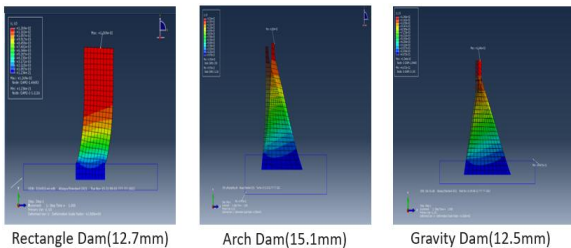


Fig. 8. Result when dead weight is not considered

자중을 고려하였을 때 직사각형 댐의 변위량은 12.5mm로 자중 유무에 따라 0.2mm의 근소한 변위량 차이가 있는 것으로 분석되었으나, 아치댐 및 중력댐의 경우 자중 유무에 따라 변위량에 큰 차이가 발생됨을 확인하였다. 자중을 고려했을 경우 정수압으로 인한 최대 변위량은 아치댐의 경우 6.2mm, 중력댐의 경우 최대 변위량이 6.8mm로 분석되었다.

### REFERENCES

- [1] Yi Wei Daniel Tay et al., "Creating functionally graded concrete materials with varying 3D printing parameters," *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 17(3), pp. 662-681, 2020. DOI : 10.1080/17452759.2022.2048521
- [2] Standard Specification of Concrete(2016, Ministry of Land, Infrastructure and Transport) <https://www.codil.or.kr/viewDtlConWrkDtlSch.do?pMetaCode=CIGCSS190034&gubun=constd>
- [3] Hafezolghorani Esfahani et al., "Simplified Damage Plasticity Model for Concrete," *Structural Engineering International*. Vol. 27. pp. 68-78, 2017. DOI : 10.2749/101686616X1081.