

소수력 발전용 한국형 공기주입식 고무댐 개발을 위한 유체-구조 연성 해석

황태규[†] · 김진구^{*}

(원고접수일 : 2008년 9월 8일, 원고수정일 : 2008년 11월 13일, 심사완료일 : 2008년 11월 25일)

Analysis of Fluid-Structure Interaction for Development of Korean Inflatable Rubber Dams for Small Hydropower

Tae-Gyu Hwang[†] · Jin-Gu Kim^{*}

Abstract : Inflatable rubber dams are used for controlling flood, impounding water for recreations, preventing beach erosions, diverting water for irrigations, and generating hydropower. They are long, flexible, inflated with air, cylindrical structures on a rigid horizontal foundation such as concrete. The dam is modeled as an elastic shell inflated with air. The mechanical behaviors of the inflated dam model were investigated by using the finite element method. The analysis process such as One Way Coupling Fluid-Structure Interaction consists of two steps. First, the influences of the fluid side were investigated, viz, the shape changes of the inflated rubber dam due to the fluid motions was captured when the height of the dam was 30cm with air pressure 0.01MPa, at which the pressure distributions over the surface of the dam were calculated. And next, the structural deformations were calculated using the pressure distributions. The initial inlet velocity for flow field was set to 0.1m/s. The structural deformation behaviors were investigated. The final research goal is to develop a Korean Inflatable Rubber Dam to be used for generating small hydropower.

Key words : Inflatable rubber dam(공기주입식 고무댐), Finite element method(유한요소법), Mooney-rivlin model(Mooney-Rivlin 모델), Fluid-structure interaction(유체-구조 연성), Small hydropower(소수력 발전)

기호설명

ψ : 변형률 에너지 함수

C_{10}, C_{01}, C_{11} : Mooney-Rivlin 3항 상수(MPa)

I_1, I_2 : 주 연신률의 불변량

d : 물질의 비압축성 파라미터

J : 탄성 변형 구배 F의 행렬식

[†] 교신저자(한국조선기자재연구원 에너지해양연구본부, E-mail:andrew@komeri.re.kr, Tel: 051)400-5070)

^{*} 충북과학대학 기계자동차학과

1. 서 론

고무댐은 단단한 수평 토대 위에 설치되어지는 길고 유연한 실린더 구조로써 1950년대에 LADWP(Los Angeles Department of Water and Power)의 N.M. Imbertson에 의해서 최초로 개발되어졌다. 이 후로, 2000년대까지 이와 같은 댐이 약 2000개 이상이 설치되었으며, 이 중 약 1800여 개가 일본, 약 80여 개가 미국, 그 외 나머지는 호주, 한국, 대만, 태국 등에 설치되었다. 이들 댐은 기본적으로 실린더형 튜브형태이고, 고무로 가공된 재료로 만들어지며, 공기, 물, 또는 두 가지의 조합에 의해서 팽창되어진다. 댐을 만들기 위한 고무판의 두께는 약 5mm에서 32mm 내외이며, 댐의 수명은 40년 이상이다.

국외의 경우 높이 8m까지 설치가능하며, 길이의 경우 단일 스패너로 190m(스페인, 2001)가 설치되었다. 가장 긴 고무댐은 중국 상하이의 Yihe river에 설치된 Xiaobudong rubber dam(1997. 7. 1)으로 길이가 1,135m(16 섹션, 1 섹션은 70m임)에 달한다. 공기를 이용한 고무댐의 경우 공기를 넣거나 뺌으로써 고무댐의 기립(起立)과 도복(倒伏)을 조정할 수 있어, 이를 통하여, 고무댐은 홍수조절(Tam, 1997), 레크레이션용 저수, 강가의 침식 방지, 관계용 치수(Tam, 1997), 조경용, 소수력 발전 (Sehgal, 1996)등 여러 용도로 사용되고 있다.

국내의 경우 제작되고 있는 고무댐의 보강포의 층수는 일반적으로 2층으로 구성됨에 따라 설치높이의 제한 및 요구되는 소수력 발전용량에 따른 정수압 확보가 어렵다. 또한, 고무본체와 일체형이 아닌 접착형식을 따른 통기판 방식으로 인해 율류시 진동으로 인해 내구성확보의 어려운 단점이 있다. 이에 따라 보의 크기와 요구되는 정수압력에 부합되는 수중보의 경우 국내 제작이 어려우므로 상당량을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 한국형 공기주입식 고무댐 개발을 위한 기본이 되는 유체-구조 연성해석을 수행하였다.

2. 공기주입식 고무댐의 유체-구조 연성(Fluid-Structure Interaction) 해석

2.1 유체-구조 연성 해석

유체의 유동에 의한 압력분포는 구조물에 변형을 일으키고, 그 구조물 변형은 다시 유동장의 변화를 가져오며 이 유동장(압력분포)의 변화는 또 다시 구조물의 변형을 일으키는 상호작용이 나타난다. 이와 같이 유체 유동과 구조 변형이 상호 연계되어 나타나는 물리적인 현상을 유체-구조 연성(FSI)이라 한다.

고무와 같은 비선형 재료를 해석하기 위해서는 표 1과 같이 여러 가지 모델이 사용되어지며, 본 연구에서는 식 (1)과 같은 3차 Mooney-Rivlin 모델을 사용하여 고무댐의 변형을 해석하였다. 표 2는 실제 사용된 고무재질에 대한 Mooney-Rivlin 상수값과 탄성계수 및 포와송비를 나타낸 것이다.

$$\psi = C_{10}(I_1 - 3) + C_{10}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + \frac{1}{d}(J - 1)^2 \tag{1}$$

Table 1 Analysis model for nonlinear materials

Characteristics	Model	Range	Remark
Incompressible	Neo-Hookean	30%	-
	Mooney-Rivlin	30%-200%	It works with incompressible elastomers with strain upto 200%. For example, rubber for an automobile tyre.
	Arruda Boyce	Upto 300%	It is well suited for rubbers such as silicon and neoprene with strain upto 300% this model provides good curve fitting even when test data are limited.
	Ogden	Upto 700%	works for any incompressible material with strain up to 700%. This model give better curve fitting when data from multiple tests are available.
Compressible	Blatz-Ko	-	It works specifically for compressible polyurethane foam rubbers.
	Hyperfoam	-	It can simulate any highly compressible material such as a cushion, sponge or padding

Table 2 Property of using material

3 rd Order Mooney-Rivlin		Composite Material	
C_{10} (MPa)	1.48109	Elasticity Coefficient (MPa)	372.6924
C_{01} (MPa)	0.53134		
C_{11} (MPa)	0.04131	Poisson Ratio	0.3

FSI를 하기 위하여 고무댐은 공기가 찬 탄성 셀로써 모델링되었으며, 댐의 기계적 특성은 유한요소법에 의하여 조사되어졌다. 한방향 유체-구조 연성(One Way Coupling FSI) 해석은 두 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계로, 도복(倒伏)된 형태로 모델링되어진 고무댐에 내압 0.01MPa를 주어 댐의 높이가 30cm에 도달했을 때 기립(起立)된 댐의 형상을 이용하여 유동장 해석 및 댐 표면에 작용하는 압력분포를 계산하였으며, 다음 단계는 유동장에 의한 고무댐표면의 압력분포를 사용하여 댐의 구조변형을 조사하였다.

2.2 모델링

그림 1의 (a)와 (b)는 상기 제시되어진 고무댐의 용도 중 일례를 보여주고 있는 사진이다. (a)는 충북 옥천군 금강휴게소에 설치되어진 소수력 발전용 고무댐이며, (b)는 서울시 불광천에 설치되어진 시민들을 위한 레크레이션, 물놀이 및 조경용 고무댐이다.

고무댐의 한방향 유체-구조 연성 해석을 수행하기 위하여, 고무댐 형상 자체에 대한 격자와 유동 해석을 위한 격자 2가지를 따로 만들어 수치해석을 수행하였다.



(a) Rubber dam for small hydropower



(b) Rubber dam for recreations

Fig. 1 A use for inflatable rubber dam

2.2.1 구조 해석을 위한 고무댐 형상 모델링

그림 2와 같은 축소모형과 그림 3의 고무 및 보강포의 두께를 이용하여, 그림 4와 같이 셀형태의 유한요소모델로 모델링을 하였다. 이 때, 사용된 노드의 수는 882개이다. 고무댐 내에 내압이 걸리기 전에 자중에 의한 영향을 고려하였으며, 그 형상은 그림 5와 같다.

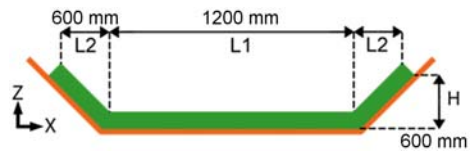


Fig. 2 Shape of miniature inflatable rubber dam for FSI analysis

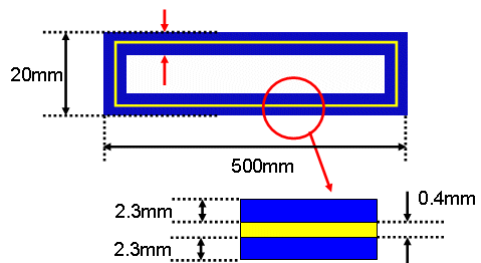


Fig. 3 Sketch of rubber dam for modeling

그림 5와 같은 초기 댐의 형상 내부에 0.01MPa의 내압을 걸어준 후, 내부압력에 의한 고무댐의 형상변화를 0초에서 10초까지 시간추이별로 계산을 수행하였으며, 댐의 높이가 30cm에 도달하였을 때의 고무댐의 형상을 이용하여 유체-구조 연성해

석을 수행하였다. 그림 5의 형상에서 높이 30cm에 해당하는 그림 6의 형상으로 변형될 때까지 걸린 시간은 약 0.963초 이였으며, 그림 6은 이 때의 형상 및 고무댐 내.외부의 응력분포를 함께 나타낸 것이다.

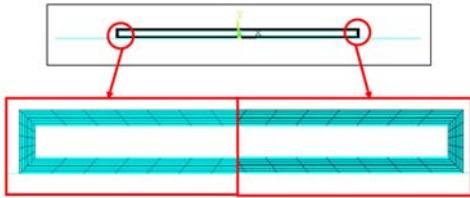


Fig. 4 Finite element modeling for rubber dam

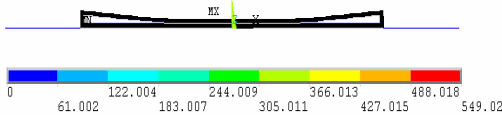


Fig. 5 Effect of standard earth gravity for rubber dam

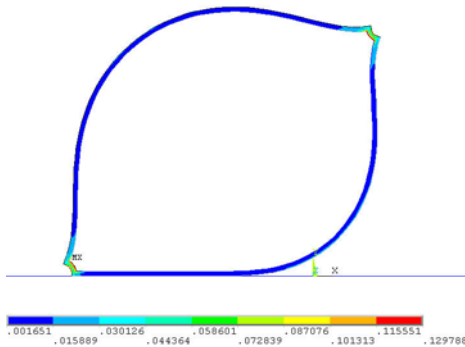


Fig. 6 Inflatable rubber dam's shape at 0.963sec

2.2.2 유동 해석을 위한 고무댐 형상 모델링
 고무댐 주위의 유동장 해석을 위한 격자계는 그림 7과 같다. 그림 6의 고무댐 외형형상을 고려하여 모델링을 하였으며, 격자는 헥사를 이용하여 275,000개의 노드로 이루어졌다. 해석을 위한 경계조건은 다음과 같다. 입구는 0.1m/s의 속도조건을 주었으며, 출구는 정압 0Pa를 주었다. 또한 벽면은 No Slip조건을 사용하였으며, 고무댐의 양쪽 끝단은 Symmetry조건을 사용하여 SST난류모델로 해석을 수행하였다. 개수로 유동이므로 해석에

사용되는 유체는 고무댐을 지나는 물과 상부에 존재하는 공기 두 가지를 고려한 이상유동에 대한 해석을 하였다. 개수로 유동의 경우 물과 공기가 접하는 자유표면이 존재하므로, 자유표면에 해당하는 부분에는 상대적으로 많은 격자를 두었다. 계산은 0.01초 간격으로 수행하였으며, 계산의 결과는 0.1초 간격으로 15초까지 해석을 수행하였다. 계산시간 15초는 그림 8의 (a)와 같은 상태에서 0.1m/s로 유입되는 물이 고무댐을 범람하면서 고무댐에 발생되어지는 진동으로부터 고무댐이 안정화되는 잔여진동구간을 고려하여 경험적으로 선택하였다.

고무댐 주위를 물이 지날 때 자유표면 변화에 따른 유동장과 고무댐에 미치는 압력을 계산하여 고무댐에 대한 구조해석에 사용하였다. 또한 고무댐 주위 유동장을 함께 규명하였다.

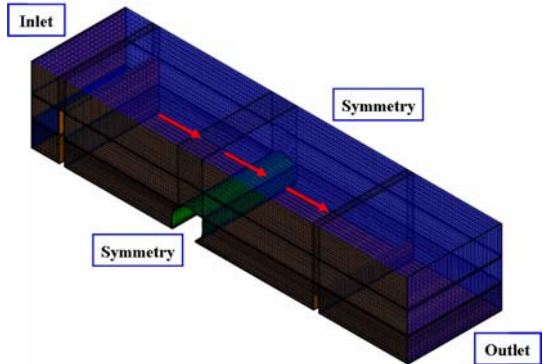


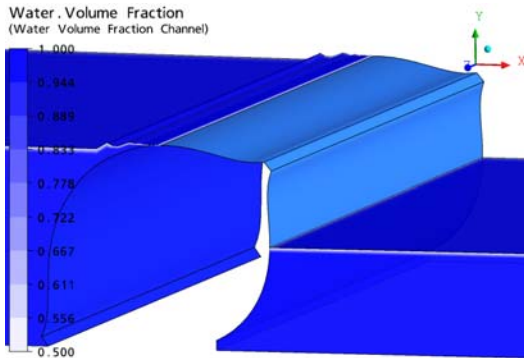
Fig. 7 Hexa mesh system for fluid field of rubber dam

2.3 유동장 해석 결과

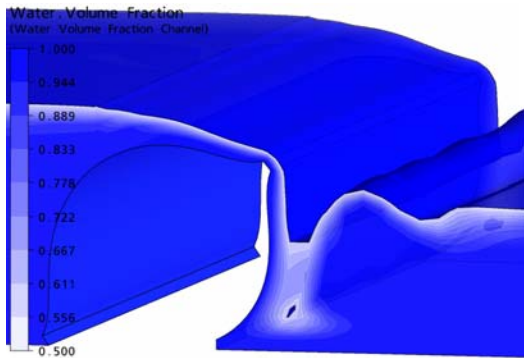
그림 7의 격자계를 이용하여 개수로 유동을 해석하였으며, 그림 8의 (a)와 (b)는 개수로에서 시간에 따른 고무댐 주위의 순시적인 물의 흐름을 나타낸 것이다. (a)는 물이 유입하기 전 초기에 댐 높이까지 물을 채워놓은 상태이며, (b)는 (a)로부터 15초가 지난 순간의 물의 흐름을 나타낸 것이다.

그림 9는 개수로 유동결과를 나타낸 것으로, (a)는 15초 후의 xy단면의 중심에서의 속도벡터를 나타낸 것으로, 고무댐의 상단 끝부분에서 상대적으로 큰 속도벡터를 나타내고 있다. 이는 댐의 상단

끝단부에서 물이 하류로 낙하하면서 공기에 의한 이상유동이 일어남으로써, 이 부분에서의 속도벡터들이 다른 영역에 비해 상대적으로 많이 되는 것을 확인할 수 있다. (b)의 경우는 15초일 때의 개수로의 자유표면과, 자유표면에서의 속도벡터 및 xy단면의 중심에서의 속도벡터를 함께 나타낸 것이다. (b)를 통하여 (a)의 댐상단에서 떨어져나가는 큰 벡터들이 물방울임을 직·간접적으로 유추할 수 있다. 또한 (b)의 빨간색 원과 같이 고무댐의 하류부에 서로 다른 방향의 와가 형성되는 것을 확인할 수 있다.



(a) Open channel flow with rubber dam at t=0 sec

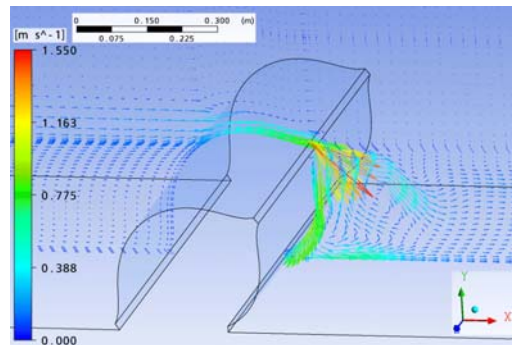


(b) Open channel flow with rubber dam at t=15 sec

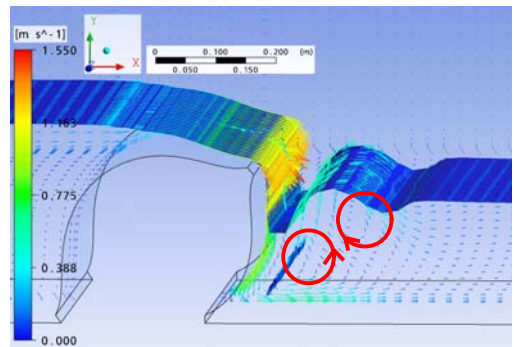
Fig. 8 Instantaneous water stream at open channel

그림 10의 (a)와 (b)는 물이 유입되기 전과 후의 전압분포를 나타낸 것으로, (a)는 계산 시간의

단축을 위하여, 댐의 높이에 해당하는 만큼의 물을 미리 채운 후 물이 유입되기 전의 전압분포를 나타낸 것이다. (b)는 15초 후의 고무댐 표면의 전압분포를 나타낸 것이다. 초기 물이 유입되기 전의 고무댐에서의 전압분포를 살펴보면, 물이 채워지지 않은 고무댐 상단부의 경우 (a)와 같이 초기 압력이 0가 됨을 확인할 수 있으며, 시간이 지나감에 따라 (b)와 같이 고무댐 상부의 전압분포가 변하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Velocity distribution of center of xy section at 15sec

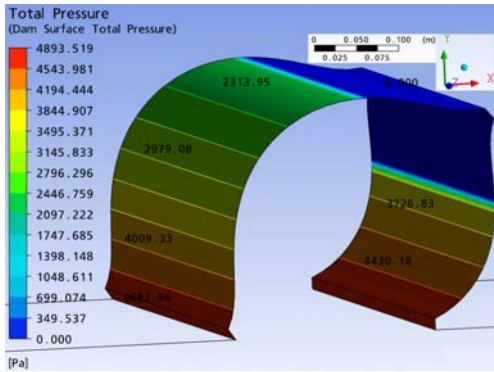


(b) Velocity distribution of center of xy section with free surface at 15sec

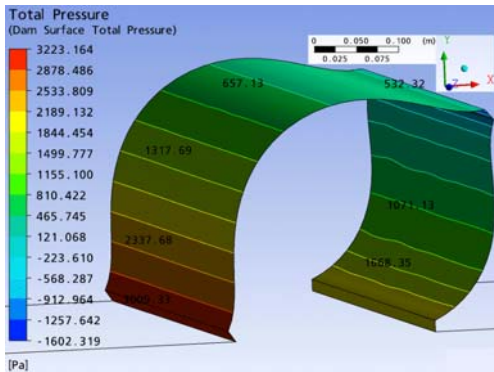
Fig. 9 Velocity distribution of the surrounding rubber dam

그림 11은 15초 후의 xy단면의 중심에서의 정압분포를 나타내었으며, 고무댐 상단의 끝단부에서 음압이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 고무댐 상단의 끝단부에서 생성되는 음압이 주기적으로 반복

될 경우, 고무댐의 통기핀부에서 진동이 발생될 것으로 생각되어 진다.



(a) Total Pressure distribution at 0sec



(b) Total Pressure distribution at 15sec

Fig. 10 Total pressure distribution of the surface of rubber dam

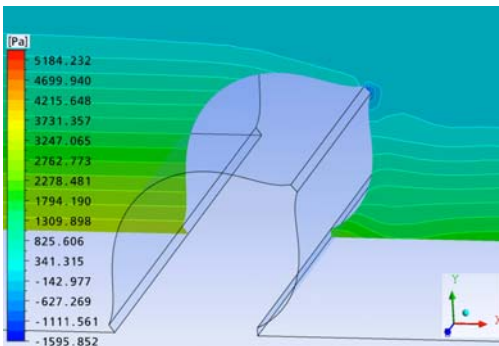


Fig. 11 Static pressure distribution of center of xy section at 15sec

그림 12는 그림 11에서 음압이 발생하는 지점, 고무댐 상단의 핀끝단의 한 지점에서 시간의 변화에 따른 전압과 정압을 그래프로 나타낸 것이다. 정압의 경우, 0초일 때, 핀의 끝단부까지 물이 채워지지 않은 상태이므로, 정압이 0이며, 시간이 증가함에 따라, 음압이 됨을 확인할 수 있었으며, 약 8초 이후, 정압은 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다. 전압의 경우는 역시 0초일 경우 핀의 끝단부까지 물이 채워지지 않으므로, 전압이 0이며, 이후 시간이 지남에 따라 전압이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 고무댐 주위의 속도벡터들에 의한 동압의 증가에 기인한 것으로 생각되어 진다.

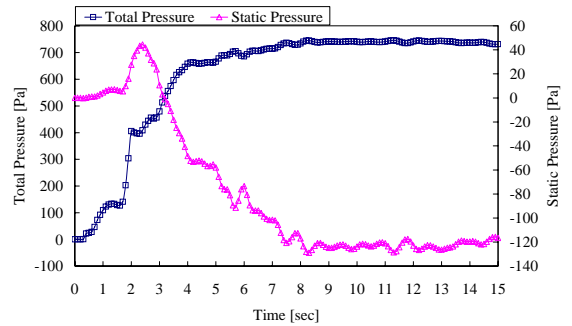


Fig. 12 Total pressure vs static pressure at the end of rubber dam's pin

그림 13은 고무댐 상단의 핀끝단의 한 지점에서 각각의 속도성분과 속도크기를 나타낸 것으로, 속도 성분 U와 V는 약 8초 이후 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었으며, 속도 성분 V의 경우 고무댐

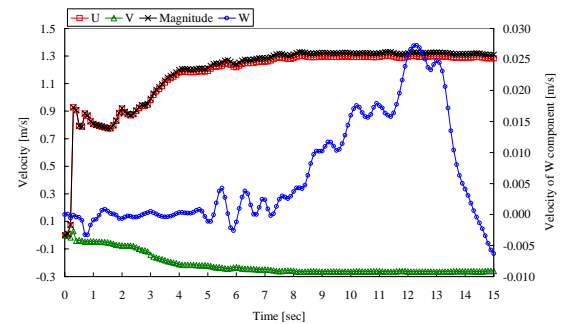


Fig. 13 Velocity distribution of each components and magnitude at the end of rubber dam's pin

상단의 편끝단에서부터 물이 떨어지므로, (-)값을 갖는 것을 확인할 수 있으며, W성분의 경우는 그림 13의 그래프상으로는 변위가 가장 큰 것으로 보여지나, 실제로는 U, V, W 세 가지 속도성분중 가장 영향력이 적게 미친다. 특히 속도크기와 비교해 볼 때, 속도크기에 가장 큰 영향을 미치는 주흐름은 U성분임을 확인할 수 있었다.

그림 14는 고무댐 상단의 편끝단부에서의 전압과 U성분간의 관계를 나타낸 것으로, 그림 13과 같이 주흐름에 해당하는 U성분이 전압에 가장 큰 영향을 주었다.

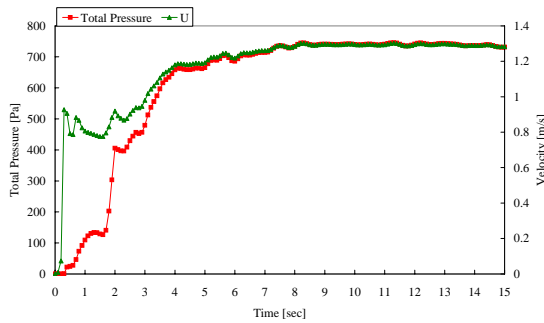


Fig. 14 Total pressure vs velocity U component at the end of rubber dam's pin

그림 15의 경우, 편끝단부에서의 정압과 V성분간의 관계를 나타낸 것으로, V성분은 편끝단부에서 하류층으로 흘러감으로써 (-)속도를 갖게 되며, V성분이 정압에 있어 가장 큰 영향을 주었다. 또한 8초 이후의 편 끝단부의 정압의 변화가 요동을 치는 것으로 보아, 고무댐의 통기핀이 유체 유동에 의해 진동함을 직·간접적으로 확인할 수 있었다.

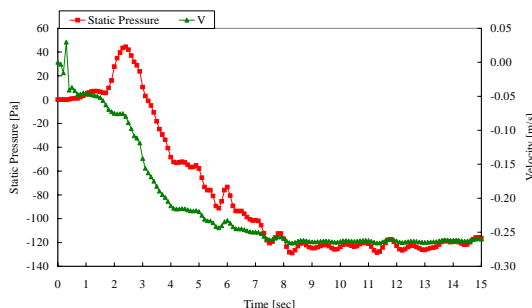


Fig. 15 Static pressure vs velocity V component at the end of rubber dam's pin

3. 공기주입식 고무댐의 유체-구조 연성 해석결과

고무댐에서의 한방향 유체-구조 연성해석은 다음과 같은 과정을 거쳐 수행되어졌다.

그림 6의 댐형상을 이용하여 그림 7의 격자계를 생성한 후, 그림 9와 같은 유동장 해석결과를 이용하여 그림 10과 같은 댐에 작용하는 표면압력을 구한 후, 이 표면압력을 댐에 작용하는 외력으로 하여 고무댐의 구조변형을 계산함으로써 한방향 유체-구조 연성해석이 이루어졌다.

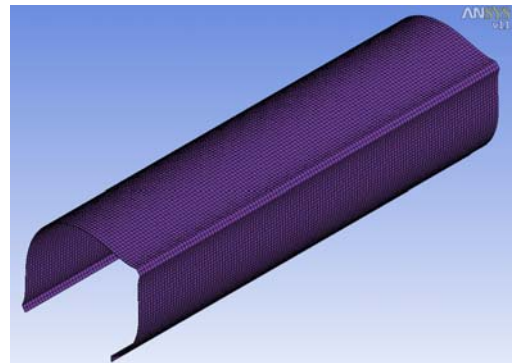


Fig. 16 Initial meshed model for rubber dam's deformation

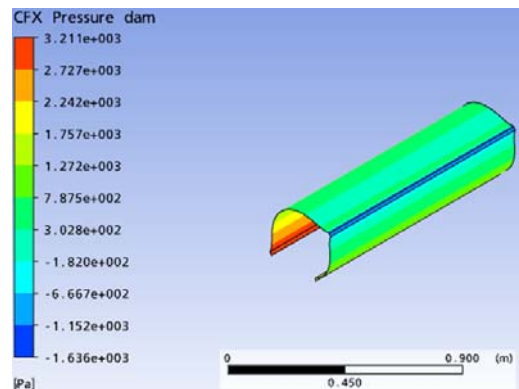
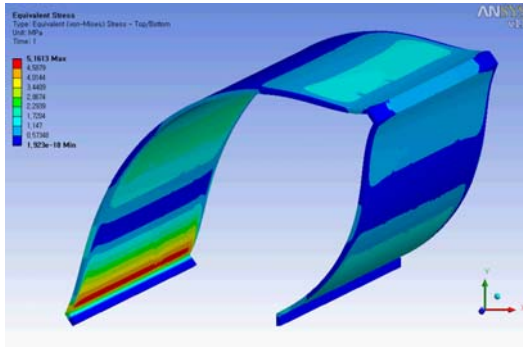
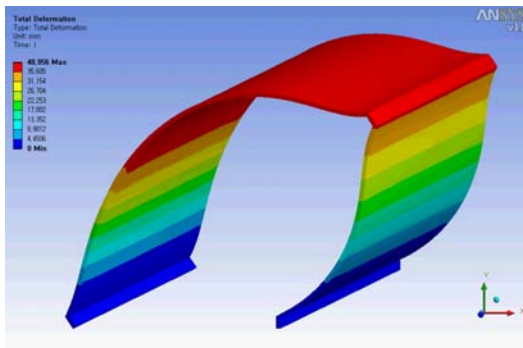


Fig. 17 Initial condition for structure analysis of rubber dam

고무댐의 구조변형을 계산하기 위하여 그림 16과 같은 댐의 형상에 13,230개의 노드를 사용하여 격자를 생성하였다. 그림 17은 그림 10의 댐에 작



(a) Stress distribution

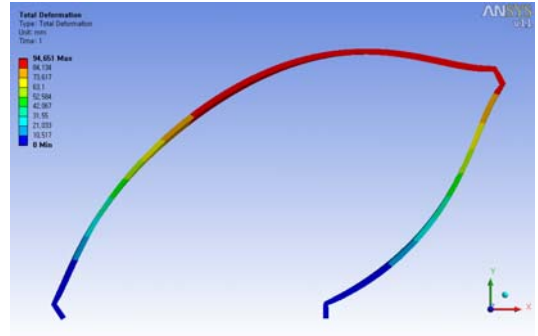


(b) Deformation of rubber dam

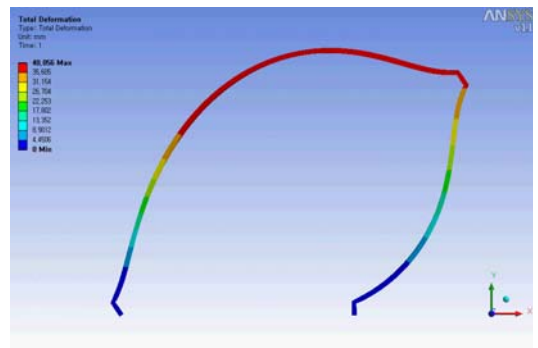
Fig. 18 Structure deformation of rubber dam for surface pressure

용하는 표면압력을 그림 16에 작용하는 외력으로 초기화시킨 형상을 나타낸 것이다. 그림 16에 댐의 표면압력을 외력으로 하여 구조해석을 수행하여 그림 18와 같은 댐의 구조변형을 구하였다. 그림 18의 (a)는 응력분포를 나타낸 것으로, 가장 높은 응력이 댐을 고정하여 지지하는 하단부에 생김을 확인할 수 있었으며, 그림 18의 (b)는 변형을 나타낸 것으로 고무댐에 있어 가장 큰 변형이 이루어지는 곳은 자유단에 해당하는 댐의 상단부임을 확인할 수 있었다. 실제 고무댐에서 콘크리트 바닥면에 볼트로 고정되어지는 부분인 (a)는 변형보다는 상대적으로 큰 응력을 받게 되며, (b)와 같이 자유단에 해당하는 고무댐의 상단에서는 외력이 변형을 일으키는데 작용하므로 상대적으로 적은 응력을 받게 되는 사실에 비추볼 때, 해석 결과가 타당함을 간접적으로 확인할 수 있었다. 즉, 고무댐이 외팔보

형태로 설치되어짐으로써, 고정단에 해당하는 부분인 댐의 하단부에서는 상대적으로 큰 응력이 작용하고, 댐의 자유단에 해당하는 상단부에서는 고정단인 하단부에 비해서 상대적으로 변형이 크게 일어나는 물리적인 현상과 일치함을 의미한다.



(a) Deformation of rubber dam without inner pressure(gauge pressure 0 or atmospheric pressure)



(b) Deformation of rubber dam with inner pressure 0.01MPa

Fig. 19 Effect of inner pressure at deformation of rubber dam for surface pressure

고무댐 내부의 압력이 유동변화에 따른 댐의 표면에 작용하는 압력에 대해 댐의 구조변형에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 댐의 내압이 없는 경우와 댐의 내압 0.01MPa이 존재할 경우에 대해 댐의 구조해석을 수행하였다. 사용된 압력은 게이지 압력으로 내압이 존재하지 않는 경우는 게이지압력

0에 해당하며, 고무댐 내부에 대기압이 작용한다는 의미이다. 댐의 구조해석 결과는 그림 19와 같다. 그림 19의 (a)는 댐에 내압이 존재하지 않는 경우이며, (b)는 댐에 내압 0.01MPa이 존재하는 경우이다. 그림 19의 (a)와 (b)를 살펴보면, 댐에 내압이 존재하는 경우인 (b)가 내압이 존재하지 않는 경우인 (a) 보다 외력에 의한 변형이 작게 일어남을 확인할 수 있었으며, 이는 고무댐의 주위에 흐르는 물의 수위가 일정하다고 가정할 시에 일정한 수위에서 댐에 작용하는 표면압력에 대해 고무댐이 기립(起立)시 고무댐 설치시의 댐의 높이를 유지시킬 수 있는 최적의 내압이 존재함을 암시한다. 고무댐의 내압이 높으면 댐 주위의 유동장에 의한 표면압력인 외력을 견디게 되므로 댐의 변형은 작게 이루어지나, 상대적으로 댐을 이루는 고무재질의 내압에 대한 강성을 높여야 하는 결과를 초래한다. 이는 댐에 작용하는 외력에 대해 댐의 높이를 항상 일정하게 유지하는 최적의 내압을 구함으로써, 고무재질의 내압에 대한 강성을 최적화할 수 있음을 시사한다.

4. 결 론

한국형 공기 주입식 고무댐 개발을 위한 한 방향 유체-구조 연성해석을 수행하였다.

1. 고무댐 상단의 핀끝단의 한 지점에서 각각의 속도성분과 속도크기를 살펴본 결과, 속도크기와 비교해 볼 때, 속도크기에 가장 큰 영향을 미치는 주흐름은 U성분임을 확인할 수 있었다.
2. 고무댐 상단의 핀끝단부에서의 전압과 U성분간의 관계를 나타낸 것으로, 주흐름에 해당하는 U성분이 전압에 가장 큰 영향을 주었다.
3. 고무댐 핀끝단부에서의 정압과 V성분간의 관계를 나타낸 것으로, V성분은 핀끝단부에서 하류층으로 흘러감으로써 (-)속도를 갖게 되며, V성분이 정압에 있어 가장 큰 영향을 주었다. 또한 8초 이후의 핀끝단부의 정압의 변화가 요동을 치는 것으로 보아, 고무댐의 통기핀이 유체 유동에 의해 진동함을 직.간접적으로 확인할 수 있었다.

고무댐의 경우 외팔보형태로 설치되어짐으로, 고정단에 해당하는 댐의 하단부에서는 응력이 집중되며, 자유단에 해당하는 댐의 상단부에서는 변형이 크게 일어남으로써 하단부에 비해 응력이 적게 걸리는 사실에 근거하여 본 연구에서 수행되어진 고무댐의 한방향 유체-구조 연성해석 결과가 타당함을 확인할 수 있었다.

한 방향 유체-구조 연성해석을 통하여 댐에 작용하는 외력에 대해 댐의 높이를 항상 일정하게 유지하는 최적의 내압을 구함으로써, 고무재질의 내압에 대한 강성의 최적설계에 적용될 것으로 생각된다.

수행되어진 결과는 고무댐 내에 작용하는 내압, 고무판재의 두께, 적층되어질 보강포의 개수, 고정금구의 개수 등을 고려한 고무댐 형상 설계 최적화에 사용될 것이다.

추후에는 고무댐에 대하여 양 방향 유체-구조 연성해석을 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] N.M. Imbertson, "Automatic rubber diversion dam in the Los Angeles River", Journal of the American Water Works Association, Vol. 52, pp. 1373-1378, 1960.
- [2] P.W.M. Tam, "Use of rubber dams for flood mitigation in Hong Kong", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 123, pp. 73-78, 1997.
- [3] C.H. Sehgal, "Design guidelines for spillway gates", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 122, pp. 155-165, 1996.
- [4] Guruprasad V. Mysore, "Vibration Analysis Of Single-Anchor Inflatable Dams", Master's Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.6.
- [5] G. V. Mysore and S. I. Liapos, "Dynamic Analysis of Single-Anchor

Inflatable Dams”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 215, No. 2, pp. 251-272, 1998.

- [6] C. M. Dakshina Moorthy, J. N. Reddy, “Three-Dimensional Vibration of Inflatable Dams”, Thin-Walled Structures, Vol. 21, pp. 291-306, 1995.

저 자 소 개



황태규(黃太奎)

1974년 4월생, 2001년 한국해양대학교 기계공학과(공학사)졸업, 2003년 동대학원 기계공학과 기계공학과 석사졸업, 2005년 동대학원 기계공학과 박사졸업, 2005년 12월 - 2008년 1월 미국 조지아텍 Post Doc., 2008년 4월 현재 한국조선기자재연구원 에너지해양연구본부 연구개발팀 선임연구원, 당학회 정회원



김진구(金鎮九)

1957년 12월생, 1982년 한국해양대학교 기관공학과(공학사)졸업, 1991년 한국해양대학교 선박기계공학과(공학석사)졸업, 1997년 한국해양대학교 기관공학과(공학박사)졸업, 1986- 1998년 사단법인 한국선급 기관검사원, 1998년 현재 충북도립대학 기계자동차과 교수, 당학회 정회원