

## 수중 부유물에 의한 소나돔 충격해석

### Impact Analysis for Sonar Domes Collided with Logs

강 명 환\*

MyungHwan Kang

#### Abstract

During navigation of warships, sonar domes have been damaged by collision with floating objects like logs. In order to analyze the damage of a sonar dome from collisions with a log, The analytical method and the numerical analysis using ABAQUS are performed. Throughout the analytical method, the mechanism of collision between a sonar dome and log is analyzed. To design a sonar dome, the numerical analysis for A type sonar dome and the B type sonar dome have done considering fluid loading effect around the sonar domes with normal and maximum speeds of the ship, respectively. The numerical analysis results of the A type sonar dome and the B type sonar dome are compared and analyzed.

Keywords : Collision of a Sonar Dome(소나돔 충돌), Impact Analysis for a Sonar Dome(소나돔 충격해석)

#### 1. 서론

소나(SONAR)는 음파를 송수신하여 수중에서 목표물의 방위와 거리를 알아내는 장비이다. 음파를 송수신이 잘되게 하기위해 소나의 음향센서들은 수중함 및 수상함의 선체 외부에 설치되어야 하지만 외부에 설치된 소나의 음향센서들은 수중환경에 노출되어 유체 소음이 증가되고 슬래밍(slamming)이나 수중 하중에 취약하다. 이러한 취약성으로 부터 음향 센서의 성능을 유지시키고 보호하기 위하여 소나돔이 설치된다.

소나돔은 음향센서가 음파를 송수신하는데 방해가 되지 않게 음향신호가 잘 투과되고 왜곡을 시키지 않

아야 하며 동시에 내외부 하중으로부터 센서를 보호하는 구조 특성을 만족해야 한다.

구조적 측면에서의 소나돔은 유체력에 저항하여 항상 일정한 형상을 유지해야하고 슬래밍(slamming)과 수중 폭발과 같은 외부환경에 의한 하중을 견딜 수 있을 만큼 충분한 강도를 가져야 한다.

실제 함정의 운항 중에 해상에 표류하고 있는 부유물, 특히 통나무와 같은 질량체와의 충돌에 의해 소나돔의 손상이 발생된다고 보고되고 있다. 수중 부유물에 의해 손상된 소나돔을 수리하기 위해 많은 시간과 비용이 발생하고 수리 기간 동안 함정의 운용이 어렵기 때문에, 수중 부유물의 충돌에 강한 소나돔 개발을 요구 받고 있다.

현재 해상 충돌 분야에서는 선박 간 충돌 및 좌초, 선박과 교량과 같은 방호구조물과의 충돌에 관해 연구가 많이 이루어지고 있다<sup>[1~5]</sup>. 이에 대한 연구는 소

† 2011년 5월 27일 접수~2011년 7월 15일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 강명환(kangmh@add.re.kr)

성변형, 파괴역학, 마찰등 해석하는 방법에 따라 간편식을 이용하는 방법부터 비선형 유한요소 해석에 이르기 까지 해석 모델링과 계산이 다양하게 이루어지고 있다. 하지만 현재 수중 부유물과 소나돔과의 충돌에 관한 연구는 이루어 지지 않고 있다.

본 논문에서는 3000톤급 이하 함정에 설치된 선저 소나돔의 소나돔에 영향을 주는 수중 부유물 중 국내해상 여건을 고려하여 소나무 재질의 통나무를 모델로 충격해석을 하였다. 최대 응력이 발생 가능한 충돌 상태를 검토하기 위해 해석적 방법을 이용하여 소나돔과 통나무의 충돌 현상을 분석하였고, 수중부유물과의 충돌에 강한 소나돔의 설계를 위해, 유한요소해석으로 음향성능이 유사한 두가지 타입의 물성치를 가지는 소나돔에 대하여 통나무와 충돌해석을 하였고, 그 충격 영향을 함정의 속도와 통나무와의 충격 위치별로 충돌해석을 수행하여 충격의 영향을 비교 분석하였다.

## 2. 해석적 방법

소나돔에 수중부유물이 부딪칠 때의 현상을 개념적으로 살펴보기 위하여 함정과 통나무의 충격시 단순 해석적 모델을 다음과 같이 수립하였다.

앞에 언급된 바와 같이 소나돔의 설치환경은 소나돔 외부에 물과 접하고 있으며, 음탐에 영향을 주지 않기 위해 소나돔 내부에도 물을 채우기 때문에 소나돔 내부에도 물과 접하고 있다. 따라서 소나돔 내외부 모두 물과 접하고 있기 때문에 충격해석에서도 접수에 의한 영향을 고려해야 한다.

해석의 단순화를 위해 부유물이 떠다니는 속도는 함속에 비해 매우 낮으므로 소나돔과 통나무의 충돌 전 초기속도를 0으로 하고 함정의 속도는 최대 속도 32kts(16.5m/s)와 정상속도 20kts(10.3m/s)인 두 경우를 해석하였다.

Fig. 1은 소나돔을 포함하는 함정과 통나무의 충돌 좌표계를 보여준다. 초기에 통나무는 정지 되어 있으며 함정은 x방향의 속도만 가진다.

소나돔을 포함한 함정의 질량을  $M_a$ 라고 하면 함정이 등속운동을 할 때, 충격에 의한 순간적인 함정의 운동 방정식과 충격지점의 함정 가속도는 각각 식 (1)과 (2)와 같다.  $m_{ax}$ 와  $m_{ay}$ 는 접수효과에 의한 x, y 방향의 부가질량 비를 나타낸다. 각도  $\alpha$ 는 충격각도를 나타낸다.  $\dot{v}_{ax}$ 와  $\dot{v}_{ay}$ 는 x, y 방향의 함정의 충돌시

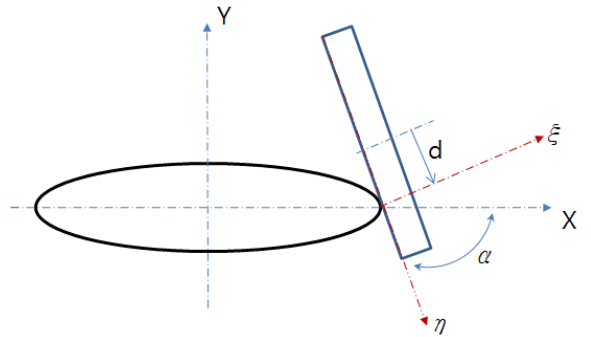


Fig. 1. 소나돔과 통나무의 충돌 좌표계

순간 가속도이다.  $F_\xi$ 와  $F_\eta$ 는  $\xi$ 와  $\eta$  방향의 충격력이고  $\ddot{\xi}_a$ 와  $\ddot{\eta}_a$ 는  $\xi$ 와  $\eta$  방향의 충격지점의 충격 가속도이다.

- 함정(소나돔)의 운동방정식

$$\begin{aligned} M_a(1+m_{ax})\dot{v}_{ax} &= -F_\xi \sin\alpha - F_\eta \cos\alpha \\ M_a(1+m_{ay})\dot{v}_{ay} &= -F_\xi \cos\alpha + F_\eta \sin\alpha \end{aligned} \quad (1)$$

- 함정(소나돔)의 충격지점 가속도

$$\begin{aligned} \ddot{\xi}_a &= \dot{v}_{ax} \sin\alpha + \dot{v}_{ay} \cos\alpha \\ \ddot{\eta}_a &= \dot{v}_{ax} \cos\alpha - \dot{v}_{ay} \sin\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

통나무의 질량을  $M_b$ 라고 하면 운동 방정식과 충격지점의 통나무의 가속도는 식 (3)과 (4)와 같다. 함정과 달리 통나무의 질량이 작기 때문에 충격지점에 따라 회전력이 발생한다.  $m_{b1}$ ,  $m_{b2}$ 는 주변 물에 의한 부가질량 비를 나타내고,  $j_b$ 는 회전 모멘트에 의한 주변 물에 의한 부가질량 비를 나타낸다.  $R_b$ 는 통나무의 관성 반지름을 나타내고 거리  $d$ 는 충격지점과 통나무의 질량 중심 간의 거리를 나타낸다. 충격지점  $(x_c, y_c)$ 와 통나무의 질량 중심  $(x_b, y_b)$ 은 기하학적으로 식 (5)로 표현할 수 있다.

- 통나무의 운동방정식

$$\begin{aligned} M_b(1+m_{b1})\dot{v}_{b1} &= F_\eta \\ M_b(1+m_{b2})\dot{v}_{b2} &= F_\xi \\ M_b R_b^2(1+j_b)\dot{\omega}_b &= -F_\xi[(y_c - y_b) \sin\alpha - (x_c - x_b) \cos\alpha] \\ &\quad - F_\eta[(y_c - y_b) \cos\alpha - (x_c - x_b) \sin\alpha] \end{aligned} \quad (3)$$

- 통나무의 충격지점 가속도

$$\begin{aligned} \ddot{\xi}_b &= \dot{v}_{b2} - \dot{\omega}_b [(y_c - y_b) \sin \alpha - (x_c - x_b) \cos \alpha] \\ \ddot{\eta}_b &= -[\dot{v}_{b1} - \dot{\omega}_b (y_c - y_b)] \cos \alpha \\ &\quad + [\dot{v}_{b2} - \dot{\omega}_b (x_c - x_b)] \sin \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

$$x_c - x_b = d \cos \alpha - \frac{B}{2} \sin \alpha \quad (5)$$

$$y_c - y_b = -d \sin \alpha - \frac{B}{2} \cos \alpha$$

식 (2)와 (4)를 이용하여 충격지점의 상대 가속도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} &= \ddot{\xi}_a - \ddot{\xi}_b = -\left[\frac{D_{a\xi}}{M_a} + \frac{D_{b\xi}}{M_b}\right] F_\xi - \left[\frac{D_{a\eta}}{M_a} + \frac{D_{b\eta}}{M_b}\right] F_\eta \\ \ddot{\eta} &= \ddot{\eta}_a - \ddot{\eta}_b = -\left[\frac{K_{a\xi}}{M_a} + \frac{K_{b\xi}}{M_b}\right] F_\xi - \left[\frac{K_{a\eta}}{M_a} + \frac{K_{b\eta}}{M_b}\right] F_\eta \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

$$\begin{aligned} D_{a\xi} &= \frac{1}{1+m_{ax}} \sin^2 \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \cos^2 \alpha \\ D_{a\eta} &= \left(\frac{1}{1+m_{ax}} - \frac{1}{1+m_{ay}}\right) \sin \alpha \cos \alpha \\ D_{b\xi} &= \frac{1}{1+m_{b2}} + \frac{16}{1+j_b} \left(\frac{d}{L_b}\right)^2 \\ D_{b\eta} &= \frac{8}{1+j_b} \frac{B \cdot d}{L_b^2} \\ K_{a\xi} &= \frac{1}{1+m_{ax}} \sin \alpha \cos \alpha - \frac{1}{1+m_{ay}} \sin \alpha \cos \alpha \\ K_{a\eta} &= \frac{1}{1+m_{ax}} \cos^2 \alpha - \frac{1}{1+m_{ay}} \sin^2 \alpha \\ K_{b\xi} &= \frac{8}{1+j_b} \frac{B \cdot d}{L_b^2} \\ K_{b\eta} &= \frac{1}{1+m_{b1}} + \frac{4}{1+j_b} \left(\frac{B}{L_b}\right)^2 \end{aligned}$$

충격 후 통나무는 충격면에 수직 방향으로 운동한 다면 충격지점의 다음과 같이 상대 속도는 함정의 초기속도와 반발계수  $e$ 로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\xi}(0) &= \dot{\xi}_a(0) - \dot{\xi}_b(0) = V_{ax} \sin \alpha \\ \dot{\eta}(0) &= \dot{\eta}_a(0) - \dot{\eta}_b(0) = V_{ax} \cos \alpha \\ \dot{\xi}(T) &= \dot{\xi}_a(T) - \dot{\xi}_b(T) = -e \dot{\xi}(0) \\ \dot{\eta}(T) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)의 연립방정식을  $F_\xi, F_\eta$ 으로 풀어 식 (8)의 충격력 식에 대입하고 식 (7)의 조건을 이용하면 충격량을 구할 수 있다.

$$I_\xi = \int_0^T F_\xi dt \quad (8)$$

$$I_\eta = \int_0^T F_\eta dt$$

접수 효과에 의한 부가질량은 Pedersen이 제안한 식을 사용하여 다음의 경험식을 이용하였다<sup>[6]</sup>.

$$\begin{aligned} m_{ax} &= m_{b1} = 0.05 \\ m_{ay} &= m_{b2} = 0.4 \\ j_b &= 0.21 \end{aligned}$$

소나뿔이 받는 충격량을 계산하기 위해 소나뿔의 질량을 포함한 3000톤 함정과 길이 2m, 반지름 1m인 200kg 질량의 통나무를 해석모델로 정하였고 함정의 초기속도는 정상속도 20kts(10.3m/s)와 최고속도 32kts(16.5m/s) 두 경우로 나누어 계산하였다.

충격현상을 개념적으로 살펴보기 위하여 통나무의 반발계수를 1로 가정하여 충격각도  $\alpha$ 와 충격지점과 통나무 중심간 거리에 관해서 충격량을 계산하면 정상속도의 경우는 Fig. 2와 최고속도의 경우는 Fig. 3과 같다. 해석결과, 소나뿔이 통나무 충돌에 의해 받는 충격량은 함정의 방향과 통나무의 방향이 수직일 때와 충격지점과 통나무의 중심간 거리가 일치하였을 때 최대 충격량이 발생한다. 최대 충격량은 함정의 정상속도 경우는 4280N·s이고 최고속도 경우는 6846N·s정도이다. 함정 정상속도 경우와 최고속도 경우 두 경우 모두 충격각도  $\alpha$ 가 커질수록 충격량은 작아지며, 충격

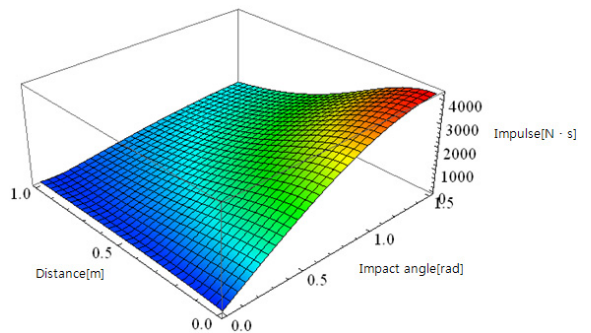


Fig. 2. 함정이 정상속도(20kts)로 통나무 충돌시 충격량

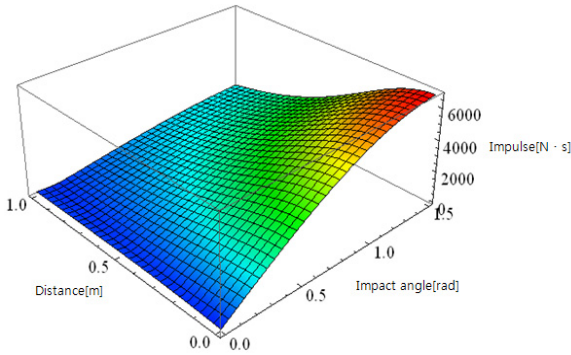


Fig. 3. 함정이 최고속도(32kts)로 통나무 충돌시 충격량

지점과 통나무 중심 간의 거리가 커질수록 충격량은 작아지는 경향을 가진다. 본 해석적 방법에서는 함정(소나돔)과 통나무와 같은 부유물과 충돌할 때 충격량 최대치가 발생하는 충돌 상태를 살펴보기 위해 소나돔을 포함한 함정과 통나무를 강체로 가정하여 계산하였기 때문에, 소나돔의 충격에 의한 영향은 계산되지 않는다. 따라서 소나돔의 충격에 의한 영향을 해석하기 위해서는 소나돔과 통나무의 탄성을 고려한 유한요소해석이 필요하다.

### 3. 유한요소해석

#### 가. ABAQUS 해석 모델링

함정과 통나무의 충돌해석 모델은 Fig. 4와 같다. 구조해석 프로그램은 ABAQUS<sup>[7]</sup>이며 ABAQUS/Explicit를 이용하여 외연적 동적해석을 하였다. 해석적 방법에서 구한 결과를 이용하여, 소나돔이 충격을 가장 크게 받는 경우인, 소나돔의 선수부분이 통나무의 중심에 충돌하는 해석 모델로 유한요소해석을 하였다.

ABAQUS/Explicit를 이용하여 동해석을 할 때, 함정의 형상의 모델을 사용하면 해석시간 길어지고 함정의 형상부분이 해석에 영향을 주지 않기 때문에 함정은 함정의 무게만을 가진 강체 모델로 해석하였다. 함정은 정상속도 20kts와 최고속도 32kts 경우를 나누어서 통나무와 충돌해석을 하였다.

수중부유물과 충돌에서도 문제가 없는 소나돔을 설계하기 위하여 A타입 재질의 소나돔과 B타입 재질에 대하여 해석하였으며 각각의 소나돔의 물성치는 Table 1과 같다. 소나돔의 재질은 구조적인 특성과 음향적인 특성을 동시에 만족하기 위해 소나돔의 재료는 복합

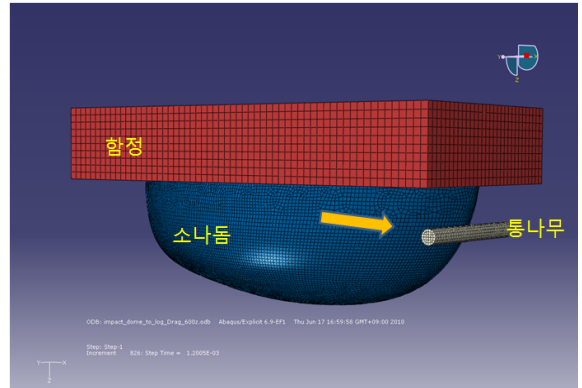


Fig. 4. 함정 운항시의 통나무와 소나돔의 충돌모델

Table 1. 소나돔 물성치

	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (GPa)	푸아송비	인장강도 (MPa)
A Type재질 소나돔	1790	21	0.15	415
B Type재질 소나돔	1500	62	0.05	850

재(composite material)를 많이 사용하고 있다. 복합재료의 특징은 복합재료의 무게 대비 강도(strength) 및 강성(stiffness)이 높고, 섬유( fiber)의 비중이 낮으며, 마름질이 가능하여 유지비가 적게 든다. A 타입 재질의 소나돔과 B 타입 재질의 소나돔은 복합재료의 섬유(fiber) 방향이 직교(orthogonal)되게 짜여 구조적 안정성과 강도를 만족하게 하였다. 설계하려는 소나돔은 이방성 재질의 복합재료로 0도 방향과 90도 방향의 탄성계수가 같다. A 타입 재료가 B 타입 재료보다 탄성계수와 강도가 큰 특성을 가지는 것으로 선정하였다. 해석의 간소화를 위해 소나돔을 등방성 재질로 해석하였다. 소나돔의 크기는 대략 길이 6m 폭 2.5m와 높이 2m이다.

통나무는 국내 대표 수종인 소나무를 기준으로 하였다. 나무 재질은 반경, 접선, 길이 방향에 따라 물성 값이 크게 다른 특성을 가진다<sup>[8]</sup>. 본 해석에서는 Table 2와 같이 통나무의 방향별로 물성 값을 다르게 적용하였고 해석환경이 수중임을 감안하여 통나무의 평균 무게보다 크게 하였다.

소나돔은 그 면에 비해서 면의 두께 방향의 길이가 매우 작기 때문에 쉘(shell) 형태로 모델링 할 수 있다.

Table 2. 해석에 이용한 소나무 물성치  
(1 : 반경방향, 2 : 접선방향 3 : 길이방향)

구분	물성치
밀도(kg/m <sup>3</sup> )	500
탄성계수 E1(GPa)	0.88
탄성계수 E2(GPa)	0.44
탄성계수 E3(GPa)	10
전단계수 G12(GPa)	0.11
전단계수 G13, 23(GPa)	0.81
푸아송비 $\nu_{12}$	0.4
푸아송비 $\nu_{13}$	0.0351
푸아송비 $\nu_{23}$	0.0175

일반 고체 셀 요소에 많이 쓰이는 simson의 thickness integration rule을 사용하였고 integration point는 17개로 하였다. 실제 소나무의 경우, 음향창 역할을 하는 소나무 하부 부분의 두께는 17mm이고 소나무의 보강을 위해 플랜지 면에서 소나무 하부 방향으로 200mm까지의 두께는 27mm이다. 본 해석상에서 소나무 총 크기에서 보강된 부분이 매우 작으며 소나무의 안전성을 고려하고 해석의 단순화를 위해 소나무의 전체 두께를 17mm으로 하였다.

나. 해석 경계조건

소나무는 함정의 선저에 위치해 있으며, 음탐환경 때문에 소나무 내부에 해수로 채워져 있다. 따라서 통나무와 소나무의 충격해석 환경은 소나무 내부의 해수와 소나무 외부의 해수로 나눌 수 있다. 소나무의 외부의 해수의 영향을 고려할 때, 소나무 주위의 유체의 유동을 고려해야 한다. 해석의 단순화를 위해 소나무의 외부의 해수는 통나무가 받는 부력과 항력을 경계조건으로 주어 해석을 하였다. 소나무 내부의 해수는 Euler격자를 이용하여 해석을 하여 소나무 내부의 접수효과를 고려하였다.

소나무와 통나무 충격에서 소나무를 포함한 함정과 통나무의 질량 차이가 크게 난다. 충격 후에 소나무를 포함한 함정의 속도 변화는 거의 없지만, 주로 통나무의 운동 변화가 크게 나타난다. 수중에서 통나무에 영향을 주는 힘은 크게 항력(drag)과 부력(buoyant)으로

나누어 질 수 있다. 부력은 식 (9)에 의해 구해 질 수 있다.

$$F_B = \gamma V \tag{9}$$

여기서  $\gamma$ 는 해수의 비중(specific weight, N/m<sup>3</sup>)이고  $V$ 는 대상체의 부피이다. 부력의 작용점은 무게의 중심이 아닌 부피의 중심이 되고 작용방향을 해수면으로 수직 방향으로 작용된다. 통나무의 지름이 0.2m일 때 부력은 634N이다.

항력은 대상체 표면에 작용하는 전단력과 압력에 의해 유동 방향으로 발생되는 힘이다. 항력은 대상체의 형상이나 레이놀즈 수에 의한 영향을 많이 받는다. 레이놀즈 수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \tag{10}$$

여기서,  $U$ 는 대상체의 지름,  $\mu$ 는 해수의 동 점성(dynamic viscosity)이다. 본 해석에서 32kts의 함정 속도 일 때, 레이놀즈 수는  $0.33 \cdot 10^7$ 정도가 된다. 항력은 다음 식으로 계산된다.

$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 A C_D \tag{11}$$

여기서  $\rho$ 는 해수의 밀도,  $U$ 는 해수의 속도,  $A$ 는 대상체 단면의 면적,  $C_D$ 는 항력계수로 주로 레이놀즈 수와 대상체의 형상에 영향을 받는다. Fig. 5<sup>[9]</sup>에 의해 붉은 색 영역에 해당하는 항력계수를 정하면, 통나무 지름이 0.2m일 때는 4276N의 항력이 발생된다. 이러한 항력은 통나무의 운동 방향으로 작용한다. 따라서 항상 수평으로 항력이 작용되는 것이 아니라, 소나무와 통나무의 충돌 후에 통나무의 운동 방향의 역 방향으로 항력이 발생된다.

충돌 후에 통나무의 운동 방향은 소나무와 통나무가 충돌하는 경사면의 수직 방향이라고 가정하여 항력을 x와 z성분으로 나누어 해석하였다. 그리고 본 해석에서는 이러한 항력과 부력이 집중 하중(concentrated load)이 되지 않게 하기 위해 통나무에 분포하중 형태로 하중이 발생되도록 하였다. 통나무에 작용되는 항력과 부력을 x와 z 성분으로 나누어 계산하면 Table 3과 같다.

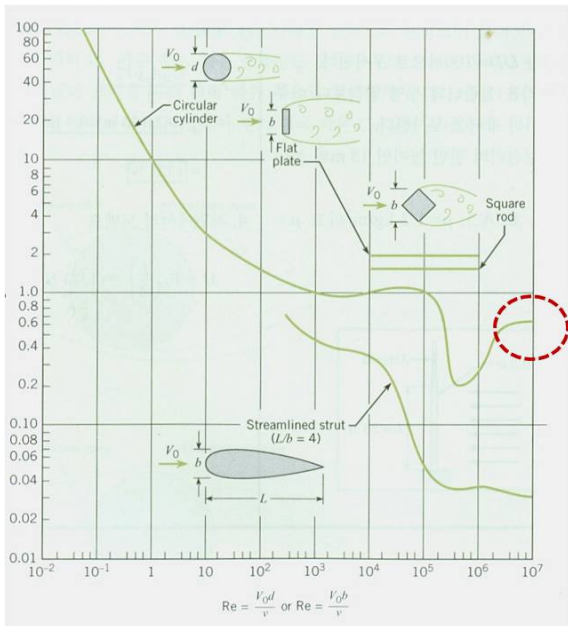


Table 3. 통나무에 작용하는 항력과 부력 (통나무 지름 0.2m, 길이 2m인 경우)

z distance (mm)	angle (°)	20kts		32kts	
		x(N)	z(N)	x(N)	z(N)
200	18.11	3572.44	2555.20	9145.44	4377.81
400	23.23	3453.92	2869.35	8842.03	5182.04
600	28.4	3306.28	3174.55	8464.07	5963.36
800	34.43	3100.19	3511.98	7936.48	6827.19
1000	42.05	2791.02	3904.31	7145.00	7831.54
1200	50.71	2380.14	4295.86	6093.16	8833.89

다. 해석 결과

소나돔이 통나무와 충돌 후 소나돔이 받는 충격을 소나돔 충격지점의 위치별로 von Mises 평형응력으로 충격영향을 분석하였다. Fig. 6은 소나돔과 통나무의 충돌 후의 모습이다. 충돌 후 함정 자체의 속도 변화는 거의 없으나 통나무는 충돌 후 운동방향은 소나돔 충격면의 수직방향으로 튕겨나간다.

Fig. 7~10은 소나돔이 통나무와 충돌 후 소나돔이

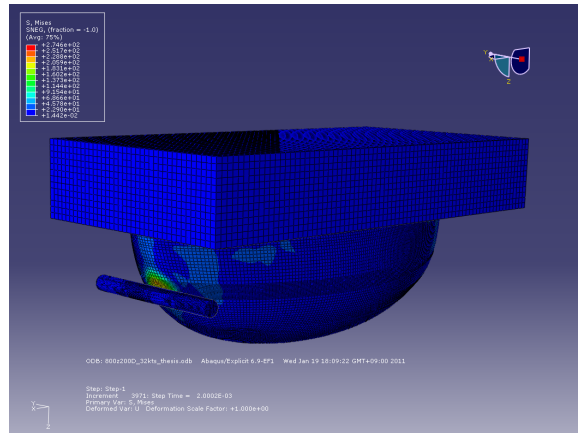


Fig. 6. 소나돔과 통나무의 충돌 후 모습

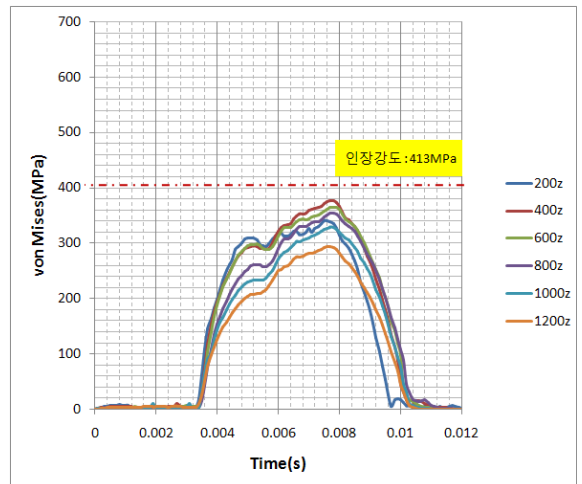


Fig. 7. A 타입 재질의 소나돔의 충격 위치에 따른 von Mises 응력 변화(함정 속도 20kts 경우)

받는 충격을 충격 위치별로 von Mises 응력으로 보여 준다. 소나돔의 충격 위치는 함정과 소나돔이 결합하는 플랜지면을 기준으로 위치를 표현하였다. A 타입의 재질의 소나돔은 충돌 위치가 커질수록 대체로 von Mises 응력이 줄어드는데, 이는 소나돔의 충격면에 의해 통나무에 의한 충격이 분산되어 von Mises 응력이 줄어든다. 또한 B 타입 재질의 소나돔의 탄성계수가 커져 통나무의 충격 반발력에 의해 두 번 충격 파형을 가지지만, A 타입 재질의 소나돔은 탄성계수가 낮아 두 번 충격의 간격이 짧아져 충격 파형이 겹쳐 보인다. A 타입 재질의 소나돔과 B 타입 재질의 소나돔을 비교해보면, 소나돔의 탄성계수가 클수록 통나무와의

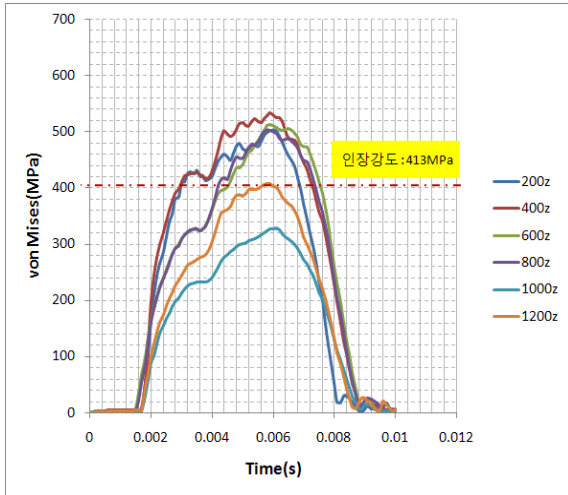


Fig. 8. A 타입 재질의 소나돔의 충격 위치에 따른 von Mises 응력 변화(함정 속도 32kts 경우)

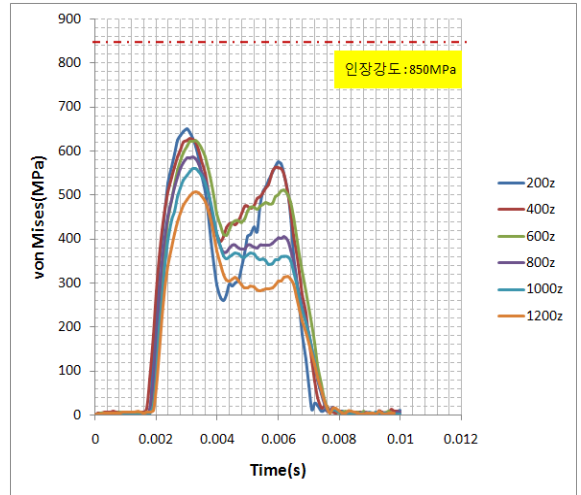


Fig. 10. B 타입 재질의 소나돔의 충격 위치에 따른 von Mises 응력 변화(함정 속도 32kts 경우)

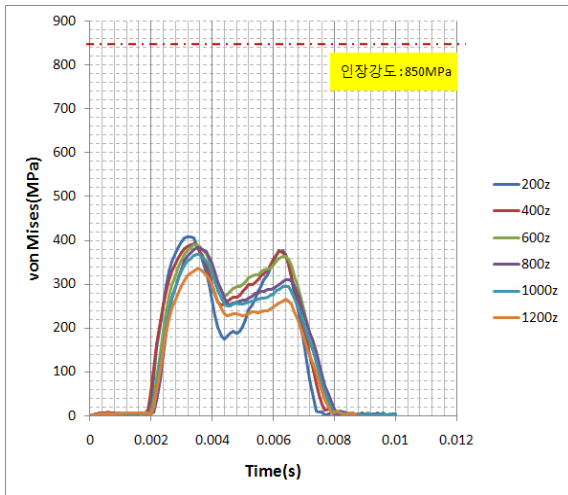


Fig. 9. B 타입 재질의 소나돔의 충격 위치에 따른 von Mises 응력 변화(함정 속도 20kts 경우)

충격을 약하다는 것을 알 수 있다. 하지만 A 타입의 소나돔은 인장강도가 413MPa 정도이기 때문에 함정의 속도가 20kts 일 경우에는 von Mises 응력이 인장강도보다 낮지만 함정의 최고속도인 32kts 일 경우에는 von Mises 응력이 인장강도보다 높다. B 타입 재질의 소나돔은 인장강도가 850MPa 정도로 함정의 속도가 20kts 뿐 아니라 32kts 인 경우에도 von Mises 응력이 인장강도보다 낮다. 따라서 B 타입 재질의 소나돔이 A 타입의 재질의 소나돔보다 통나무에 의한 충격에 강하다는 것

을 알 수 있다. 해석결과를 이용하여 음향 성능이 비슷한 A 타입 재질의 소나돔과 B 타입 재질의 소나돔 중 수중부유물 충격에 강한 B 타입의 재질을 현재 개발 중인 소나돔 재료로 결정하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 선저에 설치되는 음탐기를 보호하는 역할을 하는 소나돔이 운항 중에 수중부유물인 통나무와 충돌하였을 때 소나돔이 받는 영향을 분석하였다.

상세한 충격해석에 앞서 충돌현상 파악을 위해 해석적 방법으로 소나돔이 통나무와 부딪칠 때 충격량을 충격각도와 통나무와 충격점과 통나무 질량 중심 간 거리별로 알아보았다. 해석 결과 최대 충격량은 통나무 중심이 소나돔 선저에 부딪칠 때 크게 발생함을 알 수 있었다. 이를 근거로 탄성을 고려한 A 타입 재질의 소나돔과 B 타입 재질의 소나돔의 통나무와의 충돌에 의한 영향을 유한요소해석을 통해 비교해보았다. 해석을 통하여 A 타입 재질의 소나돔이 B 타입 재질의 소나돔보다 통나무에 의한 충격에 강하다는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 음향적 성능이 비슷한 A 타입 재질과 B 타입 재질 중 수중부유물과의 충돌을 고려하여 소나돔 재질을 A 타입으로 결정하여 소나돔을 설계하였다.

## References

- [1] 이호영, 박종환, 곽영기, “선박의 충돌로 인한 해양 구조물의 거동해석”, 한국해양공학회지 제15권 제4호, pp. 115~119, 2001.
- [2] 장인식, 김용섭, 김일동, “여러 가지 충돌 상황에 따른 FRP 어선간의 충돌해석”, 한국해양환경공학회지 제9권 제4호, pp. 253~262, 2006.
- [3] 이성로, 배용귀, “교량의 선박충돌위험도 평가”, 한국토목학회지 제26권 제1호, pp. 1~9, 2006.
- [4] 이상갑, 이정대, “주변 유체를 고려한 선박 충돌해석 기법 연구”, 대한조선학회논문집 제44권 제2호, pp. 166~173, 2007.
- [5] Shengming Zhang, “The Mechanics of Ship Collisions”, Thesis, 1999.
- [6] Pedersen P. T., Valsgaard S., Olsen D. and Spangenberg S., “Ship Impacts : Bow Collisions”, Int. Journal of Impact Engineering, 1993.
- [7] ABQUS 6.9-EF Documentation.
- [8] David. E. K., “Wood Handbook : Chap 5. Mechanical Properties of Wood”, Forest Products Laboratory, 2010.
- [9] Crowe. Clayton T., “Fluid Mechanics”, Wiley, 2010.