한국해양공학회지 제23권 제4호, pp 32-37, 2009년 8월 (ISSN 1225-0767)

부유식 유체저장용 2차원 막구조물의 이론적 해석

최윤락*
*울산대학교 조선해양공학부

An Analytic Analysis for a Two-Dimensional Floating and Fluid-Filled Membrane Structure

Yoon-Rak Choi*
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Floating membrane structure 부유식 막구조물, Analytic solution 해석적 해, Elliptic integrals 타원적분

ABSTRACT: *An analytic similarity shape solution was studied for a two-dimensional floating and fluid-filled membrane structure. The static shape of a membrane structure can be expressed as a set of nonlinear ordinary differential equations. The integration of curvature leads to an analytic solution for the shape, which contains unknown boundary values. Matching the upper and lower shapes at the free surface incorporated with their buoyancy allowed the unknowns to be determined. Some characteristic values of similarity shapes were evaluated and shapes are illustrated for various density ratios and volume efficiency ratios.*

1. 서　　론

청수, 원유 등 해수보다 비중이 낮은 액체를 저장, 운반하기 위해 막구조물 형태의 운송체가 활용되고 있다(Hawthorn, 1961). Dracone 바아지라 불리워지는 이 구조물은 세장비가 10~20 정도로 최대 35,000m^{3}의 용량을 운반할 수 있는 길이 200m급 까지 상용화되었다. 또한 Dracone 바아지는 해양 유류 오염 시에 오일 붐으로 사용되기도 하며 동시에 회수된 유출유의 저장용기 역할도 한다. 막구조물은 일반적인 강재 구조물에 비해 제작비용이 저렴할 뿐만 아니라 설치 및 제거가 용이하다는 이점이 있다.

이러한 막구조물을 설계, 제작, 운용하기 위해서는 적재용량에 따른 형상, 내부 압력, 구조물 내의 장력 등의 해석이 필수적이다. 큰 세장비로 인해 보통 2차원 단면에 대한 해석이 수행되는데 Hawthorne(1961)은 외부 유체와 내부 유체의 밀도비가 2인 경우 정적 상태에서의 형상을 해석적으로 제시한 바 있다. Szyszkowski and Glockner(1987), Zhao(1995)는 다양한 밀도비에 대해 수치적 반복계산을 토대로 정적해석을 수행하였다. 한편 최윤락(2007; 2008)은 경사면 및 수중에 놓인 막구조물 형상을 해석적으로 구하였다.

본 연구에서는 현재까지 수치적 반복계산으로 수행되었던 부유식 2차원 막구조물에 대한 정적해석을 수학적 해석기법으로 해석하여 각종 특성치들을 구하였다.

2. 문제의 정식화

Fig. 1과 같은 부유식 막구조물 내부에 밀도가 ρ_i인 액체가 저장되어 있고 외부 유체밀도는 ρ_o인 경우, 막구조물 형상의 곡률($d\theta/ds'$)은 내부 압력(p_i)과 외부 압력(p_o)의 차로 표현되며 다음과 같다(Szyszkowski and Glockner, 1987).

$$T\frac{d\theta}{ds'} = p_i - p_o \tag{1}$$
$$= \begin{cases} p_r + \rho_i g(H' - y') & \text{for} \quad y' > 0 \\ p_r + \rho_i g(H' - y') + \rho_o g y' & \text{for} \quad y' \leq 0 \end{cases}$$

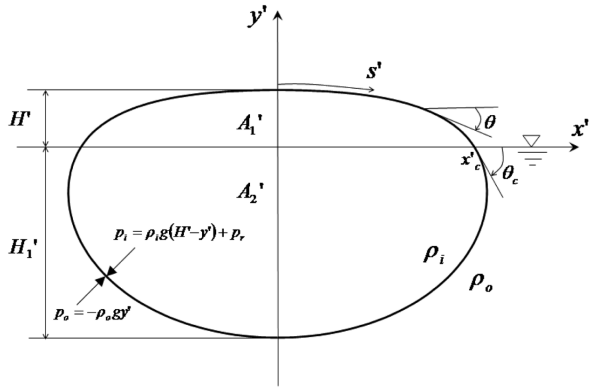

Fig. 1 The shape of two-dimensional floating and fluid-filled membrane structure

교신저자 최윤락: 울산광역시 남구 무거2동 산29, 052-259-2158, yrchoi@ulsan.ac.kr

여기서 T는 단위폭 당 장력으로 상수이며 g는 중력 가속도 그리고 p_r은 막구조물 내부의 기준압력으로 최상단에서의 압력이다. 이때 막구조물 자체의 중량은 유체의 중량에 비해 매우 작다는 가정 하에 무시하였다. 또한 막구조물의 인장변형도 전체적인 형상변화에 비해 매우 적으므로 무시하였고 내부 및 외부 유체의 흐름이 없는 정적상태만을 고려하였다.

한편, 기하학적 적합성에 따른 관계식들은 다음과 같다.

$$\frac{dx'}{ds'}=\cos\theta,\qquad \frac{dy'}{ds'}=-\sin\theta \tag{2}$$

형상은 y'축에 대하여 대칭이므로 양의 x'영역내의 형상에 대해서만 고려하면 경계조건은 다음 식들로 표현된다.

$$\theta=0,\quad x'=0,\quad y'=H' \qquad \text{for}\quad s'=0 \tag{3a}$$
$$\theta=\theta_c,\quad x'=x_c',\quad y'=0 \qquad \text{for}\quad s'=s_c' \tag{3b}$$
$$\theta=\pi,\quad x'=0,\quad y'=-H_1' \qquad \text{for}\quad s'=s'* \tag{3c}$$

여기서 $s'*$은 구조물 형상의 최상단 점으로부터 최하단 점까지의 원호길이(Arc length)로써 막구조물 전체 둘레길이의 절반이고 s_c'은 정수면까지의 원호길이이다.

부력원리에 따라 내부 유체의 중량은 외부 유체 배수중량과 동일해야 하므로 다음의 관계식이 성립한다.

$$\rho_i A'=\rho_i(A_1'+A_2')=\rho_o A_2' \tag{4}$$

여기서 A_1'과 A_2'은 각각 내부 유체의 정수면 상부 및 하부의 체적이다.

$$A_1'=2\int_0^{x_c'} y'dx' \qquad \text{for}\quad y'>0 \tag{5a}$$

$$A_2'=2\int_{x_c'}^{0} y'dx' \qquad \text{for}\quad y'\leqq 0 \tag{5b}$$

이상의 식들을 무차원화 하기 위해 특성길이 $l=\sqrt{T/\rho_i g}$를 도입하여 길이차원의 물리량들과 체적차원의 물리량들을 무차원화 하면 다음과 같다.

$$\frac{d\theta}{ds}=\frac{p_i-p_o}{\sqrt{T\rho_i g}}=\begin{cases}\dfrac{l}{L}+H-y & \text{for}\quad y>0\\[2mm] \dfrac{l}{L}+H-y+\rho y & \text{for}\quad y\leqq 0\end{cases} \tag{6}$$

$$\frac{dx}{ds}=\cos\theta,\quad \frac{dy}{ds}=-\sin\theta \tag{7}$$

$$\theta=0,\quad x=0,\quad y=H \qquad \text{for}\quad s=0 \tag{8a}$$
$$\theta=\theta_c,\quad x=x_c,\quad y=0 \qquad \text{for}\quad s=s_c \tag{8b}$$
$$\theta=\pi,\quad x=0,\quad y=-H_1 \qquad \text{for}\quad s=s* \tag{8c}$$

$$A=A_1+A_2=\rho A_2 \tag{9}$$

$$A_1=2\int_0^{x_c} ydx \qquad \text{for}\quad y>0 \tag{10a}$$

$$A_2=2\int_{x_c}^{0} ydx \qquad \text{for}\quad y\leqq 0 \tag{10b}$$

여기서 ρ는 외부 유체와 내부 유체의 밀도비($\rho_o/\rho_i>1$)이며 $l/L=p_r/\sqrt{T\rho_i g}$로써 내부 기준 압력과 장력간의 관계이다.

식 (6)에서 식 (8)을 보면 이 문제는 독립변수 s에 대한 3개의 종속변수 θ, x, y의 비선형 연립미분방정식 형태이고 경계조건의 적용점과 경계값이 미지의 값 $s*$, s_c, x_c, θ_c, H, H_1을 포함하고 있어 해석 용이하지 않다. 이러한 난점은 식 (6)을 한 번 더 미분하고 추가적인 경계조건을 부여하여 해결할 수 있다.

$$\frac{d^2\theta}{ds^2}=\begin{cases}-\sin\theta & \text{for}\quad y>0\\ -(\rho-1)\sin\theta & \text{for}\quad y\leqq 0\end{cases} \tag{11}$$

$$\frac{d\theta}{ds}(s=0)=\frac{l}{L} \tag{12a}$$

$$\frac{d\theta}{ds}(s=s_c)=\frac{l}{L}+H \tag{12b}$$

$$\frac{d\theta}{ds}(s=s*)=\frac{l}{L}+H-(\rho-1)H_1 \tag{12c}$$

식 (11)은 수학적으로 한번 적분가능하며 식 (12)의 경계조건을 사용하면 곡률, l/L 그리고 형상 특성치들 간의 관계식을 구할 수 있다.

$$\left(\frac{d\theta}{ds}\right)^2=\begin{cases}2\left[1+\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1-\cos\theta_c}{H}-\dfrac{H}{2}\right)^2-\cos\theta\right] & \text{for}\quad y>0\\[2mm] 2\left[1-\rho\cos\theta_c+\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1-\cos\theta_c}{H}-\dfrac{H}{2}\right)^2+(\rho-1)\cos\theta\right] & \text{for}\quad y\leqq 0\end{cases} \tag{13}$$

$$\frac{l}{L}=\frac{1-\cos\theta_c}{H}-\frac{H}{2} \tag{14}$$

$$\left(\frac{1-\cos\theta_c}{H}+\frac{H_1}{2}\right)(H+H_1)-\rho\frac{H_1^2}{2}=2 \tag{15}$$

한편, 식 (6)의 정수면 상부에 관한 식과 식 (7)의 첫 번째 식을 이용하여 최상단점으로부터 정수면까지 경로적분을 수행하면 내부유체 체적에 관련된 식을 도출 할 수 있다.

$$\sin\theta_c=\left(\frac{1-\cos\theta_c}{H}+\frac{H}{2}\right)x_c-\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{\rho}\right)A \tag{16}$$

3. 해석해의 도출

막구조물의 기하학적 형상에 의거하여 곡률은 양의 값을 가지므로 식 (13)은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d\theta}{ds}=\begin{cases}\sqrt{2}\sqrt{a-\cos\theta} & \text{for}\quad y>0\\ \sqrt{2}\sqrt{a-\rho\cos\theta_c+(\rho-1)\cos\theta} & \text{for}\quad y\leqq 0\end{cases} \tag{17}$$

여기서,

$$a\equiv 1+\frac{1}{2}\left(\frac{1-\cos\theta_c}{H}-\frac{H}{2}\right)^2 \tag{18}$$

로 정의되며 1보다 큰 값을 가진다. 식 (17)에 연쇄법칙을 적용하여 x와 θ에 대한 미분방정식으로 변환한 후 수면 상부와 하부에 대해 경로적분을 수행하면 x_c에 대한 두 식을 얻을 수 있다.

$$x_c = \begin{cases} \displaystyle\int_0^{\theta_c} \frac{\cos\theta}{\sqrt{2}\sqrt{a-\cos\theta}}\, d\theta \\ \displaystyle\int_{\theta_c}^{\pi} \frac{-\cos\theta}{\sqrt{2}\sqrt{a-\rho\cos\theta_c+(\rho-1)\cos\theta}}\, d\theta \end{cases} \tag{19}$$

이 식은 수면 상부의 형상과 수면 하부의 형상이 수면에서 일치해야한다는 것을 나타낸다. Gradshteyn and Ryzhik(2000)에 따라 그 결과는 다음과 같이 타원적분으로 표현된다.

$$x_c = \begin{cases} \dfrac{-2}{r_1} E(\delta(\theta_c), r_1) + r_1 a F(\delta(\theta_c), r_1) \\ \qquad\qquad + \sqrt{2}\sqrt{\dfrac{1-\cos^2\theta_c}{a-\cos\theta_c}} \\ \dfrac{-2}{r_2\sqrt{\rho-1}}\left[E\left(\dfrac{\pi}{2}, r_2\right) - E\left(\dfrac{\theta_c}{2}, r_2\right)\right] \\ \qquad + \dfrac{r_2(a-\rho\cos\theta_c)}{(\rho-1)^{3/2}}\left[F\left(\dfrac{\pi}{2}, r_2\right) - F\left(\dfrac{\theta_c}{2}, r_2\right)\right] \end{cases} \tag{20}$$

여기서,

$$r_1 = \sqrt{\frac{2}{a+1}}, \quad r_2 = \sqrt{\frac{2(\rho-1)}{a+\rho(1-\cos\theta_c)-1}}, \\ \delta(\theta) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{r_1}\sqrt{\frac{1-\cos\theta}{a-\cos\theta}}\right) \tag{21}$$

이고, F와 E는 각각 제1종과 제2종의 타원적분으로 다음과 같은 정의를 따른다.

$$F(\phi, k) = \int_0^{\phi} \frac{d\lambda}{\sqrt{1-k^2\sin^2\lambda}}, \\ E(\phi, k) = \int_0^{\phi} \sqrt{1-k^2\sin^2\lambda}\, d\lambda \tag{22}$$

한편, 식 (17)을 최상단점 으로부터 최하단점까지 적분을 수행하면 s^*를 구할 수 있고 식 (16)의 체적(A)을 체적률(Volume efficiency ratio) α로 표현하면 다음과 같다.

$$s^* = \sqrt{\frac{2}{a+1}}\, F(\delta(\theta_c), r_1) + \frac{r_2}{\sqrt{\rho-1}}\left[F\left(\frac{\pi}{2}, r_2\right) - F\left(\frac{\theta_c}{2}, r_2\right)\right] \tag{23}$$

$$\sin\theta_c = \sqrt{2}\sqrt{a-\cos\theta_c}\, x_c - \frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{\rho}\right)\frac{s^{*2}}{\pi}\alpha \tag{24}$$

여기서 α는 주어진 둘레길이가 가질 수 있는 최대 체적에 대한 비로써 1인 경우 원에 해당된다.

식 (20)과 식 (24)를 보면 주어진 체적률과 밀도비에 대해 3개의 미지량 a, θ_c, x_c으로 구성된 3개의 대수방정식이어서 해들을 구할 수 있다. 특히 $\rho=2$인 경우 체적률에 관계없이 모든 a에 대해 $\theta_c=\pi/2$이다.

4. 상사형상 및 특성치

특성길이 l로 무차원화된 물리량들에 대한 식들로 문제가 구성되었기 때문에 주어진 체적률과 밀도비에 대해 도출되는 형상은 상사형상(Similarity shape)이다. 상사형상은 식 (17)에 연쇄법칙을 적용하여 x와 θ에 대한 미분방정식과 y와 θ에 대한 미분방정식으로 변환한 후 적분하여 구할 수 있으며 그 결과는 다음과 같이 매개변수 θ로 표현된다.

$$x = \begin{cases} \dfrac{-2}{r_1} E(\delta(\theta), r_1) + r_1 a F(\delta(\theta), r_1) \\ \qquad\qquad + \sqrt{2}\sqrt{\dfrac{1-\cos^2\theta}{a-\cos\theta}} & \text{for} \quad y>0 \\ \dfrac{-2}{r_2\sqrt{\rho-1}}\left[E\left(\dfrac{\pi}{2}, r_2\right) - E\left(\dfrac{\theta}{2}, r_2\right)\right] \\ \quad + \dfrac{r_2(a-\rho\cos\theta_c)}{(\rho-1)^{3/2}}\left[F\left(\dfrac{\pi}{2}, r_2\right) - F\left(\dfrac{\theta}{2}, r_2\right)\right] & \text{for} \quad y \leqq 0 \end{cases} \tag{25}$$

$$y = \begin{cases} \sqrt{2}\left[\sqrt{a-\cos\theta_c} - \sqrt{a-\cos\theta}\right] & \text{for} \quad y>0 \\ \dfrac{\sqrt{2}}{\rho-1}\left[-\sqrt{a-\cos\theta_c} + \sqrt{a-\rho\cos\theta_c+(\rho-1)\cos\theta}\right] \\ \qquad\qquad \text{for} \quad y \leqq 0 \end{cases} \tag{26}$$

형상의 최대 반폭지점의 좌표값(x_{max}, y_{xmax})은 $\theta=\pi/2$ 지점이며 $1<\rho<2$인 경우 수면 하부, $\rho>2$인 경우 수면 상부, $\rho=2$인 경우 수면에 존재한다.

수면 상부 최대 높이(H)와 수면 하부 최대 깊이(H_1)는 식 (26)에 $\theta=0$과 π를 대입하여 구할 수 있다.

무차원화 된 압력분포는 식 (6)과 식 (14)를 사용하여 구할 수 있다.

$$\frac{p_i - p_o}{\sqrt{T\rho_i g}} = \frac{d\theta}{ds} = \begin{cases} \dfrac{1-\cos\theta_c}{H} + \dfrac{H}{2} - y & \text{for} \quad y>0 \\ \dfrac{1-\cos\theta_c}{H} + \dfrac{H}{2} + (\rho-1)y & \text{for} \quad y \leqq 0 \end{cases} \tag{27}$$

5. 해석 결과

식 (20)과 식 (24)의 해로써 a, θ_c, x_c으로 구할 때 밀도비와 체적률이 작은 경우 a값이 1에 매우 근접하는 해에 해당하므로 계산에 세심한 주의가 필요하다. Fig. 2에 네가지 밀도비에 대한 a값을 도시하였는데 예를 들면 $\rho=1.03$(해수/청수에 해당)이고 $\alpha=0.1$인 경우 $a=1+1.0\times10^{-152}$ 정도의 값을 가지므로 계산 시 많은 유효숫자 자리를 사용하여야 한다. 본 연구에서는 높은 정밀도의 연산기능을 제공해 주는 Maple을 사용하여 계산을 수행하였다(Maplesoft, 2003).

Fig. 3에 수선면에서의 접선각(θ_c)을 도시하였다. 여기서 밀도비 1.1과 1.2는 각각 내부 유체가 중질원유와 경질원유이고 외부 유체가 해수인 경우에 해당한다. 넓은 범위의 체적률에 걸쳐 접선각은 거의 일정한 값을 가지는데 이 값은 $\cos\theta_c=-1+2/\rho$에 해당하며 이는 체적률이 감소함에 따라 a값이 급격하게 1로 수렴하기 때문이다. 또한 체적률이 1인 경우, 원이 되므로 $2\theta_c-\sin2\theta_c=2\pi(1-1/\rho)$의 해에 해당하는 값이다.

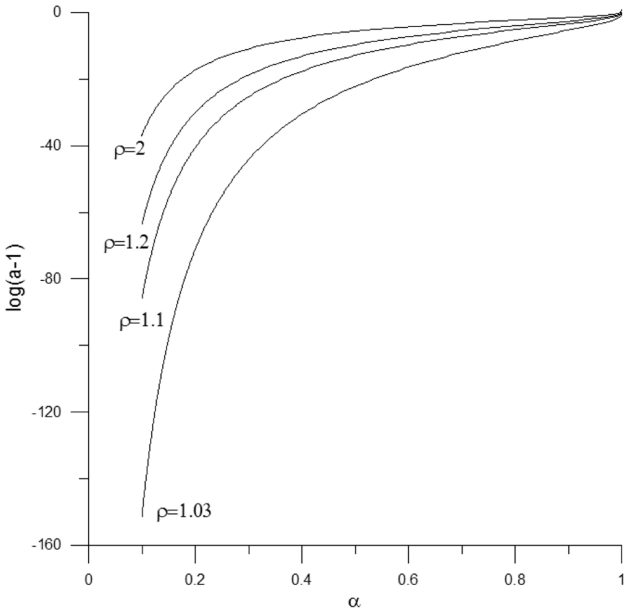

Fig. 2 Sensitivity of *a* according to volume efficiency ratio and density ratio

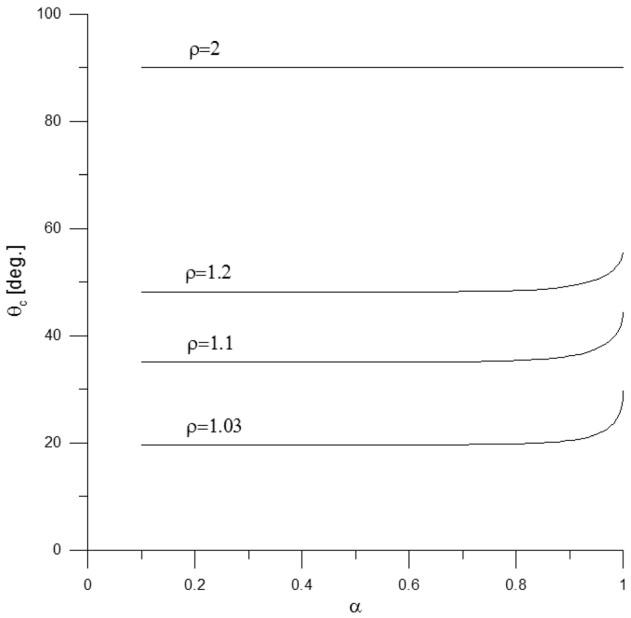

Fig. 3 θ_c for various density ratios

길이차원의 물리량들에 대한 특성치를 살펴보기 위해 막구조물 둘레 길이의 절반인 s^*을 사용하여 무차원화 하였다.

$$\{\overline{x_c},\ \overline{H},\ \overline{H_1},\ \overline{x_{\max}},\ \overline{y_{xmax}}\} \equiv \{x_c,\ H,\ H_1,\ x_{\max},\ y_{xmax}\}/s^* \quad (28)$$

$\rho=1.1$에 대한 특성치들을 Fig. 4에 도시하였고 Fig. 5에 상사형상들을 나타내었다. 체적률이 감소함에 따라 $\overline{H}$과 $\overline{H_1}$이 감소함을 알 수 있고 $\overline{x_c}$와 $\overline{x_{\max}}$는 막구조물이 완전히 평평해진 상태인 0.5의 값으로 수렴한다. 도시한 형상들의 체적률은 0.1부터

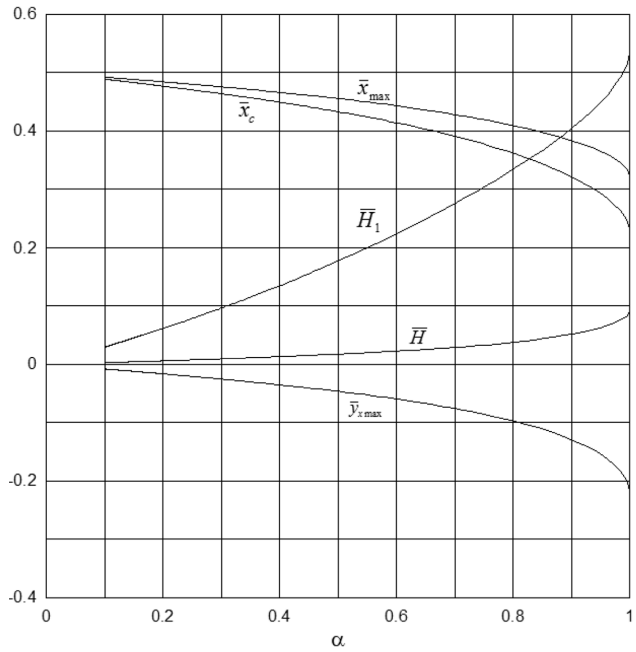

Fig. 4 Characteristic dimensions of similarity shape for $\rho=1.1$

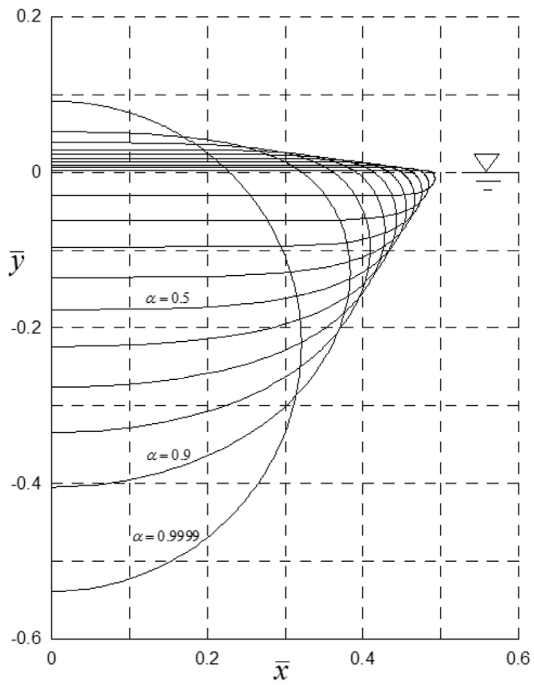

Fig. 5 Similarity shapes for $\rho=1.1$

0.9까지 0.1 간격이고 원에 가까운 체적률인 0.9999값도 함께 도시하였다. 체적률이 감소함에 따라 구조물의 상부와 하부가 평평해짐을 알 수 있다.

$\alpha=0.8$인 경우 밀도비에 따른 특성치와 상사형상을 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다. 내부 유체가 무거울수록 구조물의 형상은 수면 상부의 높이가 낮고 상부 형상이 더 평평하며 최대폭은 약간 감소한다.

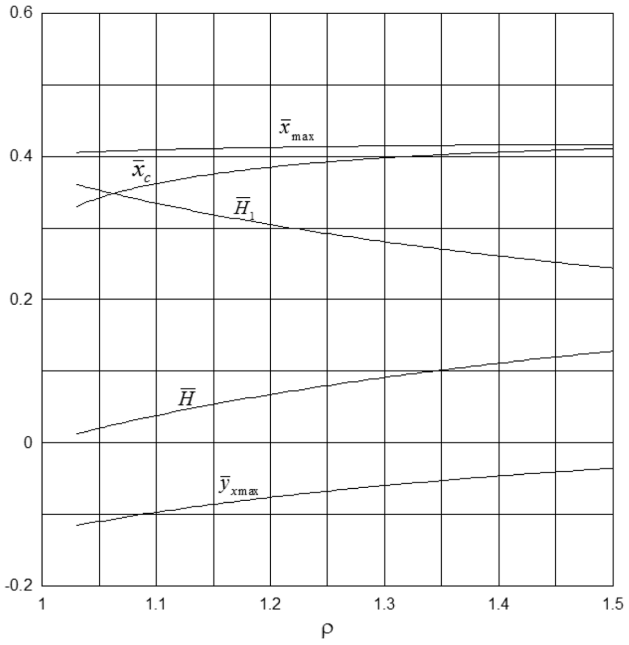

Fig. 6 Characteristic dimensions of similarity shape for $\alpha = 0.8$

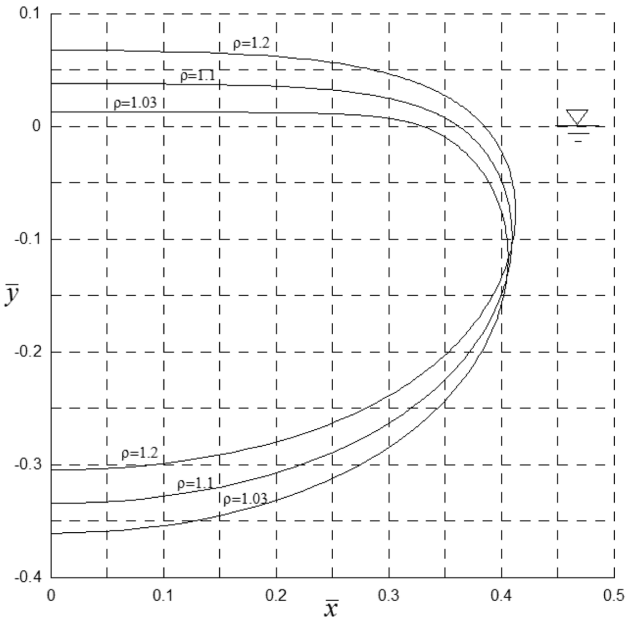

Fig. 7 Similarity shapes for $\alpha = 0.8$

단위 폭당 장력에 대한 해석 결과를 내부 유체의 비중과 $s^{*\prime}$을 사용하여 무차원화 하였고, 내부와 외부의 압력차의 해석결과는 내부 유체의 수두로 무차원화 하여 나타내었다. 따라서 최상단 지점의 압력(p_r)의 무차원 값은 다음과 같다.

$$\overline{T} \equiv \frac{T}{\rho_i g s^{*\prime 2}} = \frac{1}{s^{*2}},\ \overline{p} \equiv \frac{p_i - p_o}{\rho_i g H'} = \frac{1}{H}\frac{d\theta}{ds}, \tag{29}$$

$$\overline{p_r} \equiv \frac{p_r}{H'} = \frac{1-\cos\theta_c}{H^2} - \frac{1}{2}$$

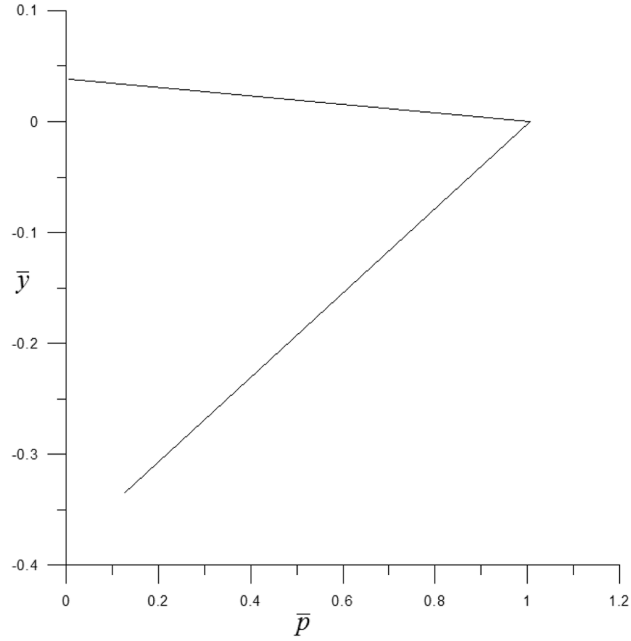

Fig. 8 Variation of pressure difference ($\rho = 1.1,\ \alpha = 0.8$)

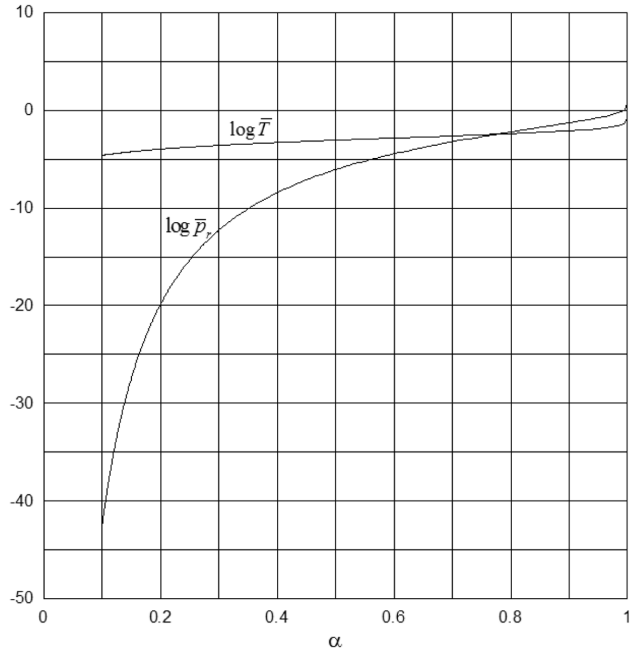

Fig. 9 Internal pressure at the top and tension for $\rho = 1.1$

Fig. 8에 $\rho = 1.1$이고 $\alpha = 0.8$인 경우 높이에 따른 $\overline{p}$를 도시하였다. 최상단 점에서의 압력이 가장 작고 수선면에서의 압력이 가장 크며 수면 하 지점으로 갈수록 압력차는 감소한다.

Fig. 9에 $\rho = 1.1$일 때의 장력($\overline{T}$)과 최상단 지점의 압력($\overline{p_r}$)을 체적률의 변화에 대해 도시하였다. 체적률이 감소할수록 압력과 장력이 감소하며 특히 압력의 감소가 급격하다. 이는 체적률의 감소에 따라 상부 높이가 낮아지고 형상이 평평해지기 때문이다. 체적률이 작은 경우, Szyszkowski and Glockner(1987)의

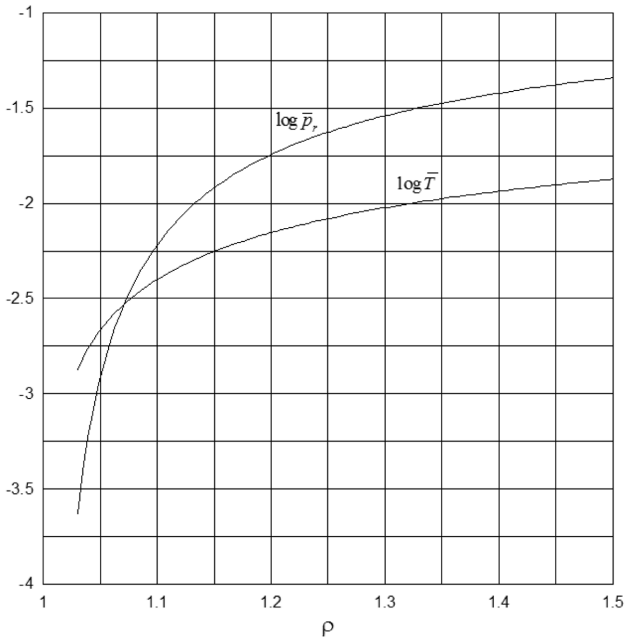

Fig. 10 Internal pressure at the top and tension for $\alpha = 0.8$

압력 계산결과는 본 연구에서 구한 값보다 큰 값을 보이는데 이는 반복계산을 통해 매우 작은 값을 구하는 과정에서 발생한 오차라 여겨진다. Fig. 10은 $\alpha = 0.8$인 경우 밀도비에 대한 변화이다. 무거운 내부 유체일 수록 압력과 장력이 급격하게 감소하여 밀도비가 1일때 0의 값으로 수렴한다.

6. 결 론

외부 유체보다 가벼운 내부 유체를 저장하고 있는 2차원 막구조물의 형상, 압력 그리고 장력을 정적상태에서 해석하였다. 기존의 수치적 반복계산에 의존하던 문제를 수학적 방법으로 접근하여 해석해를 구하였다.

상사형상은 곡률을 적분함으로써 도출되며 타원적분으로 표현된다. 수면 상부와 하부의 형상이 수면에서 일치하여야 한다는 조건과 부력원리에 따른 상부와 하부의 체적관계를 이용하여 해석해에 필요한 특성치들을 구하였다. 다양한 밀도비와 체적률에 대해 무차원화 된 형상, 압력 그리고 장력을 구하였고 이를 통하여 실제 구조물의 물리량들을 추정할 수 있다. 특히 압력과 장력은 내부 유체 주입시 필요한 압력과 막구조물의 구조안전성 해석에 사용될 수 있다.

실제적인 관점에서 막구조물의 형상 및 특성치 해석에는 파랑, 흐름 등 외부유체의 교란을 고려한 동적 해석이 필요하다. 이 경우에도 정적 형상 및 특성치들이 기준값으로 사용되므로 본 연구의 결과가 유용하게 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

최윤락 (2007). “경사면에 놓인 유체 저장용 막구조물 형상의 이론적 해석”, 한국해양공학회지, 제21권, 제1호, pp 45-50.

최윤락 (2008). “수중 유체저장용 막구조물 형상의 이론적 해석”, 한국해양공학회지, 제22권, 제5호, pp 39-43.

Gradshteyn, I.S. and Ryzhik, I.M. (2000). Table of Integrals, Series, and Products, 6th ed., Academic Press.

Hawthorne, W.R. (1961). ”The Early Development of the Dracone Flexible Barge”, Proc. of the Institute of Mechanical Engineers, Vol 175, pp 52-83.

Maplesoft (2003). Maple 9 Learning Guide, Waterloo Maple Inc.

Szyszkowski, W. and Glockner, P.G. (1987). ”On the Statics of Large-scale Cylindrical Floating Membrane Containers”, Int. J. Non-Linear Mechanics, Vol. 22, No 4, pp 275-282.

Zhao, R. (1995). ”A Complete Linear Theory for a Two-dimensional Floating and Liquid-filled Membrane Structure in Waves”, J. Fluids and Structures, Vol 9, No 8, pp 937-956.

2009년 3월 18일 원고 접수
2009년 6월 18일 심사 완료
2009년 8월 19일 게재 확정