

구조해석을 통한 구조용 인양기 개발

손인수*, 김창호**#, 배성호**, 이준용***

*동의대학교 기계공학과, **매그스위치 테크놀로지 코리아(주), ***MNTech Korea, ,

Rescue Lift Development Using Structural Analysis

In-Soo Son*, Chang-Ho Kim**#, Sung-Ho Bae** and Joon-Yong Lee***

*Department of Mechanical Engineering, Dong-eui Univ., **Magswitch Technology Korea Co.,Ltd,
*** MNTech Co., Ltd

(Received 9 January 2015; received in revised form 17 February 2015; accepted 20 February 2015)

ABSTRACT

There has been a string of negligent accidents at the seaside. In addition, there is a shortage of professional equipment to deal with these negligent accidents at present. The purpose of this paper is to assess the development of a rescue lift using a structural analysis. The critical load of a support pipe on the rescue lift is investigated in this paper. The stability of the rescue lift is also determined in a structural analysis. In the critical load analysis, the effects of variations in the pipe length and the ratio of the moment of inertia are investigated. The total weight of the developed rescue lift is approximately 20.7kg, and the lift passed the load tests.

Key Words : Rescue Lift(구조용 인양기), Critical Load(임계하중), Structural Analysis(구조해석)

1. 서 론

안전사고와 관련한 구조장비는 사고유형과 사고 장소 등에 따라 그 종류와 역할이 매우 다양하다. 구조장비 중에서 해역의 방파제, 테트라포드(tetrapod)나 안벽 지역 등에서 일어나는 안전사고는 꾸준히 증가하는 추세이며 인명피해도 늘어나고 있는 실정이다. 하지만 연안 해역에서 사고 발생 시 사용할 수 있는 현재의 구조장비는 구조작업의 효율성이 떨어지고, 그 사용에 한계가 많다.

따라서 해역의 방파제 및 테트라포드에서 발생하는 안전사고에 대하여 소수의 인원으로 안전하고 신속하게 구조작업을 실시 할 수 있는 장비의 보급이 절실히 요구되고 있다. 현재 119 차량 진입이 가능한 지역에서는 추락사고 발생시 차량의 크레인을 사용하여 구조작업이 가능하지만, 차량 진입이 불가능한 지역에서는 119 소방대와 해양경찰청 특수구조단에서 운용 중인 맨홀 구조용 인양기를 사용하고 있다. 하지만, 맨홀 구조용 인양기는 연안 해역에서 발생하는 안전사고의 구조작업에 활용하는 것에는 한계가 있다. 따라서 방파제 테트라포드 및 안벽 등 연안 해역 추락 사고에 적용이 가능한 구조용 인양기 개발이 절실히 필요하다.

Corresponding Author : chkim21@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-1651, Fax: +82-0505-182-6891

다.^[1-3]

본 연구에서는 연안 해역의 인명구조를 위한 구조용 인양기 개발에 있어 인양기 지지 파이프의 좌굴 및 구조해석을 통하여 최적의 설계치수를 도출하는 것을 연구의 목표로 한다. 좌굴해석을 수행하여 대략의 설계치수를 결정하고, 결정된 치수에 대한 구조해석을 수행하여 안정성을 판단하였으며, 최종적으로 도출된 결과를 바탕으로 30 kg 이내로 휴대가 용이하고 소수의 인원으로 구조작업을 할 수 있는 구조용 인양기를 개발하고자 한다.

2. 접근방법 및 좌굴해석

구조용 인양기 개발을 위해 먼저 인양기의 핵심 부품인 메인 지지대인 사각 파이프의 치수 및 형상 결정이 선행되어야 한다. 이 과정은 기존 연구^[2,3]에서의 축방향으로 이송되거나 강제진동을 받는 파이프의 해석과는 차이가 있다.

Fig. 1은 연구개발 흐름도를 보여주고 있으며 크게 좌굴해석과 구조해석으로 연구를 수행하였다. 좌굴해석에서는 상하단 지지 파이프의 형상 및 치수에 대한 최적치를 구하는 것을 목적으로 하였고, 구조해석에서는 좌굴해석에서 도출한 형상 및 치수를 바탕으로 강도해석을 수행하여 지지 파이프의 안정성 해석을 수행하였다.

전체적인 해석을 위해서 지지 파이프의 고정 홀에 대한 영향은 무시하였고, 적용되어지는 하중은 단순 압축하중으로 가정하여 해석을 수행하였다. 또한 파이프의 재질은 알루미늄, 상하단 지지 파이프의 길이는 각각 1.5 m를 기준으로 하였으며, 안전율은 3으로 설정하여 전체 해석에 적용하였다. 기본적인 인양기 구조는 상하단 파이프가 서로 겹쳐지는 구조로 고안을 한다. Case I의 경우는 하단파이프가 상단파이프에 삽입되는 형태이며, Case II는 그 반대의 형태를 지닌다.

Fig. 2는 인양기 지지대의 수학적 모델을 표현한 것이다. 여기서 F 는 파이프 상단에 작용하는 하중을 나타내며 δ 는 초기 변형, 그리고 E 는 재료의 영계수를 의미한다. 그리고 I 는 파이프의 단면 2차 모멘트이며 아래첨자 1, 2는 각각 지지 파이프의 상하단을 의미한다.

파이프에 대한 좌굴해석을 위해 임계하중을 계산하면 다음과 같다.^[4]

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_1}{4L^2} \left[\frac{1}{\frac{L_1}{L} + \frac{L_2}{L} \frac{I_1}{I_2} - \frac{1}{\pi} \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \sin \frac{\pi L_1}{L}} \right] \quad (1)$$

여기서 L_1, L_2 는 각각 상하단 파이프의 길이를 나타내며 L 은 파이프의 전체 길이를 의미한다.

구조용 인양기의 지지 파이프 기본 적용하중은 300kgf(약 2943 N)으로 적용하였으며 안전율은 3으로 하여 임계하중 보다 높은 값을 나타내는 치수 중 최소 직경을 선택하고자 하였다.

Fig. 3은 상하단 파이프의 단면 2차 모멘트 변화

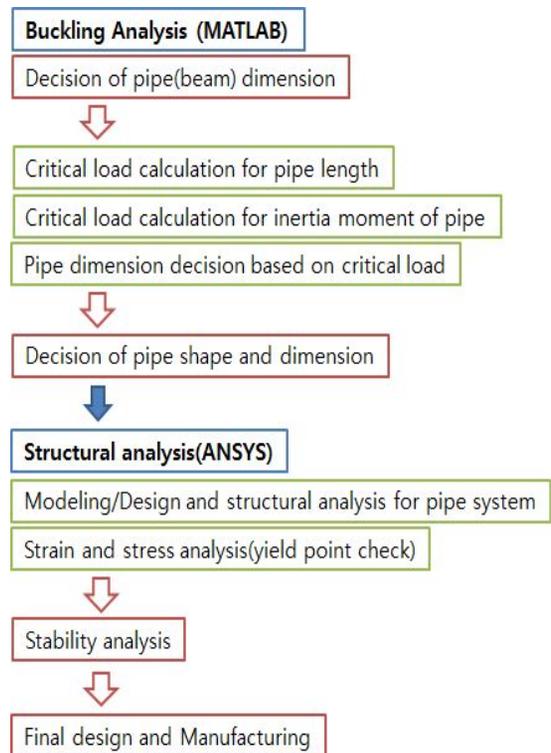


Fig. 1 Process chart of study

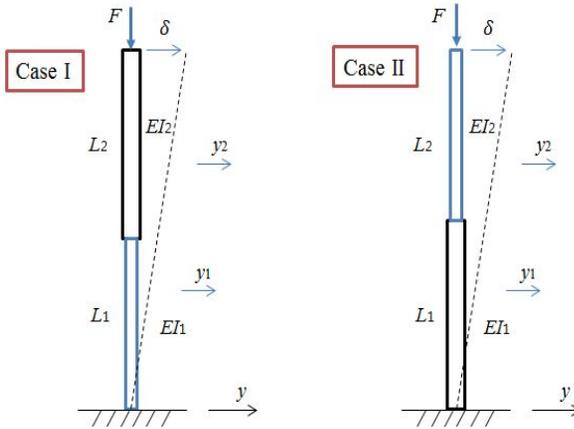


Fig. 2 Geometry of analytical modeling

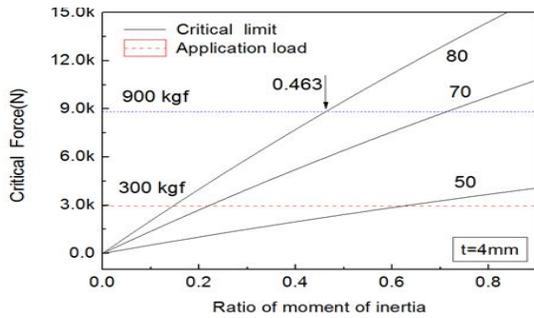
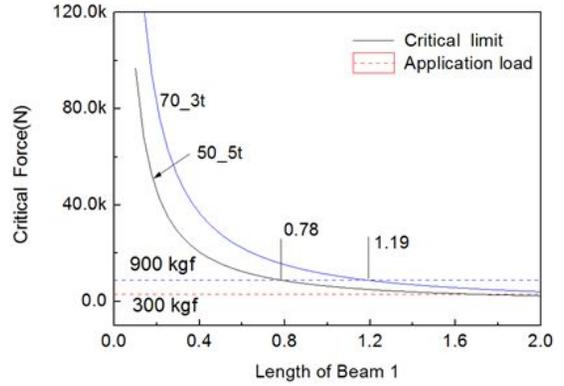


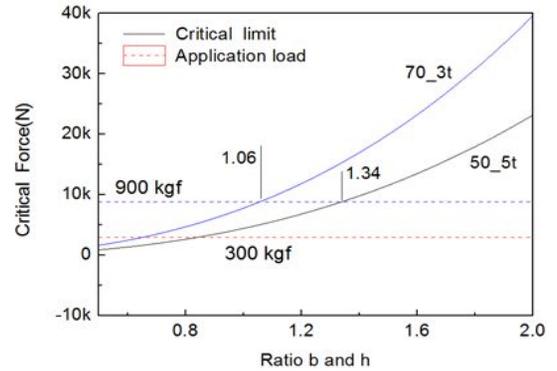
Fig. 3 Effect of inertia moment ratio

에 따른 임계하중의 변화를 나타낸 것이다. 이 때 모멘트 비 $R = I_1/I_2$ 이며, 모멘트에 따른 임계하중 변화를 살펴보는 이유는 상하단 파이프의 외부 치수를 결정하기 위해서이며, 외부 치수가 결정되면 두께를 결정하여 파이프의 내부 치수를 결정하기 위함이다. 즉, 최적의 파이프 두께를 찾기 위해서 필요한 과정이라 할 수 있다.

전반적으로 상하단 파이프의 단면 모멘트의 비가 높아질수록 임계하중은 높아지는 경향을 보인다. 결과적으로 50 mm의 치수(두께 4 mm)를 갖는 파이프는 안전율 3으로 적용했을 경우 모두 사용이 불가능하다고 판단된다. 파이프 치수 70, 80 mm인 경우 일정 부분 사용가능하나 너무 커지는 경향이 있기 때문에 같은 치수에서 파이프의 형상을 정사각형에서 직사각형 형상으로 고려해 보기로 한다.



(a) Effect of Beam 1 length



(b) Effect of ratio b and h

Fig. 4 Critical force of pipe system

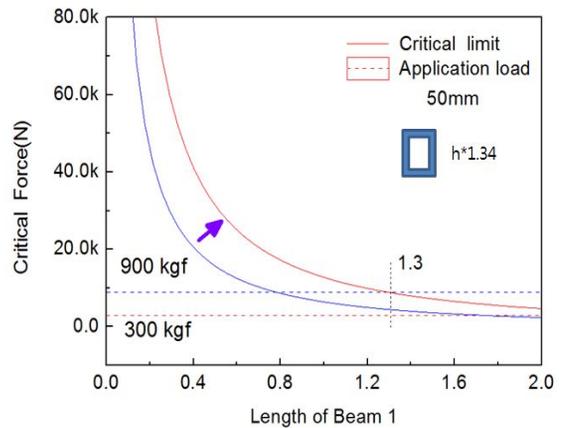


Fig. 5 Critical force for variation of h

Fig. 4는 하단 파이프를 고정하고 상단 파이프의 길이변화에 따른 임계하중을 도식한 것이다. 여기서 b 와 h 는 각각 파이프의 가로 및 세로를 나타낸다. Fig. 4(a)는 상단 파이프의 길이 변화에 따른 임계하중을 나타내었으며, Fig. 4(b) 파이프의 가로 및 세로 비가 임계하중에 미치는 영향에 대하여 고찰하면서, 적용가능한 파이프의 치수를 선정하도록 하였다. 즉, 가로 50 mm, 두께 5 mm인 파이프에 대하여 높이를 1.34 배 높이면 임계하중을 벗어날 수 있을 것이라 판단된다. 또한 70 mm에 대해서는 높이를 1.06 배하면 같은 효과를 나타낼 수 있을 것이라는 결과를 도출할 수 있다.

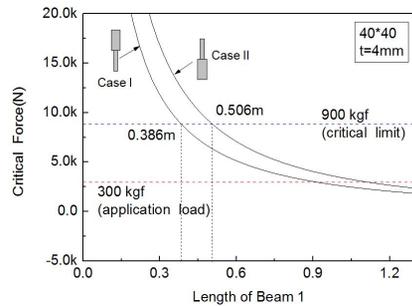
Fig. 5는 Fig. 4에서 얻은 결과를 토대로 도출한 사각 파이프 치수 및 형상(h 를 1.34 배 더 크게 한 형상)을 고려하여 임계하중을 구한 결과이다. 즉, 정사각 형상에서 직사각 형상으로 변경하였을 경우 상단 파이프의 길이가 1.3 m, 적용 안전하중 900 kgf에 대해서도 안정하다는 것을 판단할 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 2의 Case I, II에 대한 좌굴해석 결과를 보여주고 있으며 Fig. 6(a), (b)는 각각 파이프의 두께가 4, 5 mm인 경우의 결과이다. Fig. 6의 가로축은 상단 파이프의 길이변화로 길이가 짧아지면 접합되는 부분이 늘어남을 의미한다. 전체적으로 Case II의 경우가 더 높은 임계하중을 가짐을 알 수 있으며, Case II에 대하여 Fig. 6(a)에서 볼 수 있는 것처럼 상단 파이프의 길이가 0.5 m 이상인 경우 좌굴이 일어나며, 두께가 5 mm인 경우는 약 0.61 m 이상 상단 파이프가 펼쳐질 때 좌굴이 발생한다.

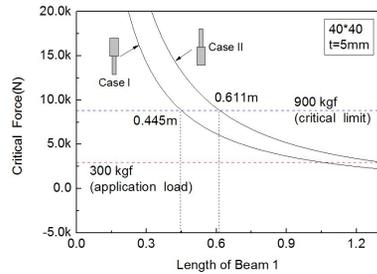
좌굴해석을 통하여 상하단 파이프의 형상 및 치수를 대략적으로 결정하였으며 결정되어진 치수를 활용하여 구조해석을 수행하고 최종적으로 최적의 파이프 치수를 결정하고자 한다.

구조해석을 통한 안정성 판단을 위하여 지지 파이프는 알루미늄 6061-T6의 항복 응력인 275 MPa를 적용하였으며, 상부 프레임은 structural steel의 항복강도인 250 MPa를 적용하였다. 지지대는 Fig. 2에 보인 것처럼 상단파이프가 하단 파이프에 삽입되는 형태를 Case I, 그리고 그 반대의 경우를 Case II라고 칭하였다.

구조해석을 위한 구속 조건은 하단 파이프의 지지면을 완전 구속하였으며 3개의 파이프가 결합된 상태이므로 다른 구속(수평방향 운동 구속)은 해제하여 해석을 수행하였다. 하중은 수직 수평에 대하여 각각 300 kgf를 적용하였으며 좌굴해석에서와 같이 안전율을 고려하지 않은 것은 3개의 파이프가 결합되기 때문에 전체 결합된 구조로 해석할 경우 안전율 3을 적용한 것과 같은 결과를 보여주기 때문이다.



(a) Pipe dimension 40*40(4t)



(b) Pipe dimension 40*40(5t)

Fig. 6 Critical force for Case I, II

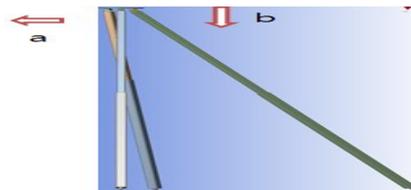
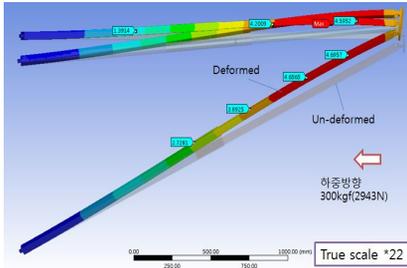
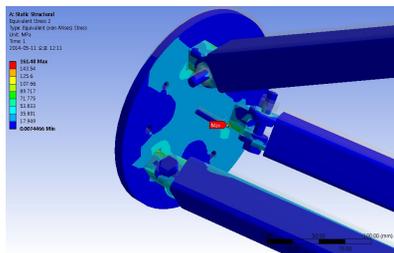


Fig. 7 Shape of recuse lift for analysis(case I)



(a) Deformation



(b) Stress

Fig. 8 Analysis result for supported pipe(Case I)

해석의 수행은 먼저 하나의 지지 파이프에 대한 해석을 수행하여 2장에서 얻은 파이프 치수에 대한 1차적인 검증은 끝낸 후 3개의 지지 파이프 및 프레임, 볼트 등 전체가 결합된 형태로 해석을 수행한 후 결과를 도출하였다.

Fig. 7에서 보여주는 것처럼 파이프의 지지 형태와 하중방향은 테트라포드 등에서 사용할 시 앞으로 기울어진 상태로 가정하였다.

해석에 사용한 상하단 파이프의 길이는 각각 1.5 m이며, 해석 시 상단 파이프는 하단 파이프 내부에 0.2m 삽입되어진 상태이며, 접촉조건은 하중발생시 두 파이프가 서로 접한다고 가정하여 해석을 수행하였다.

3. 구조해석

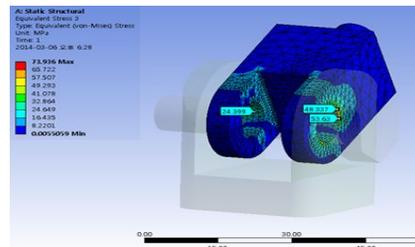
Fig. 8은 Case I(상단파이프가 하단 파이프에 삽입되는 형태)에 대한 구조해석 결과를 도시한 것이다. Fig. 8(a)는 실제 변형량을 22배 확대한 것으로 Fig. 8(b)와 같이 변형량은 4.75mm, 최대 응력은 약 161.48MPa이다. 최대응력이 발생하는 부분

은 상부프레임과 상단 파이프를 연결하는 부분에서 발생하며 구조용 강 of 항복응력보다 약 35.4% 정도 낮은 값을 가지며 이 결과로부터 전체 구조는 안정하다는 것을 판단할 수 있다. 특히, 파이프의 최대 응력은 35.45MPa로 매우 안정하다는 것을 알 수 있다.

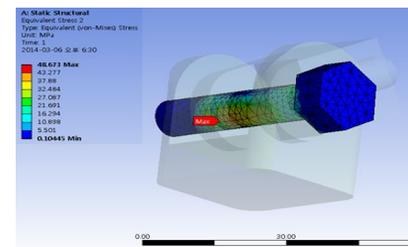
Fig. 9는 파이프와 프레임의 연결 볼트에 대한 구조해석 결과를 보이고 있으며 최대응력은 약 48.7MPa로 안정하다는 것을 확인하였다.

Table 1은 구조해석 결과를 표로 나타낸 것이다. Case I에 비하여 Case II의 경우 최대 응력은 약 33% 정도 증가하지만, 파이프 부분에서는 오히려 약 43% 정도가 감소하는 경향을 보인다. 특히, Case II의 경우 상부 프레임의 볼트 부분에서 약 119.59 MPa 이 발생하여 Case I에 비하여 약 3배 정도 높은 응력 값을 가진다. 이것은 동일한 치수의 볼트에 대하여 Case II의 경우가 치수가 더 큰 프레임을 지지하기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 해석결과 두 가지 형태(case I, II) 모두 구조적으로는 안정하다고 판단되며, 전체적인 결과를 살펴보면 Case I의 형태로 인양기를 설계 및 제작하는 것이 좋다고 판단된다.



(a) Connection ring to support fixing bolt(case I)



(b) Fixing bolt

Fig. 9 Analysis result (case I)

Table 1 Result of structural analysis

	pipe size	weight (kg)	stress(MPa)			Max. deflection(mm)	note	
			Max.	pipe	pin			bolt
Case I	48 mm	20.704	156.62	-	-	-	5.11	without bolt and nut
		20.982	161.48	35.45	9.42	48.71	4.75	with bolt and nut
Case II	48 mm	20.665	209.31	20.22	8.39	119.59	3.44	with bolt and nut

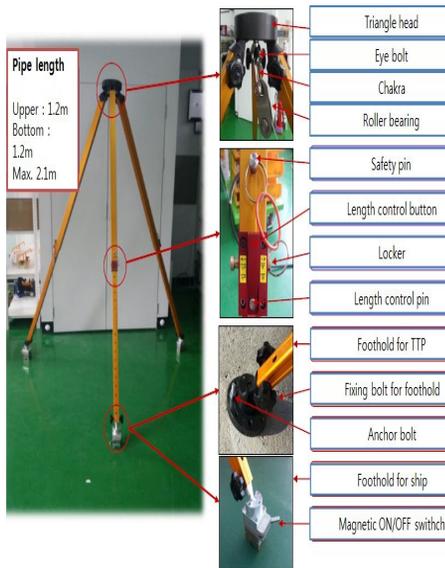


Fig. 10 Developed rescue lift

4. 결 론

본 연구에서는 연안 해역에서 발생하는 안전사고시 인명구조를 위한 구조용 인양기를 개발을 목표로 하였다. 인양기 개발을 위하여 기초 설계 및 구조해석을 통하여 최적의 설계치수를 도출하였으며, 최종적으로 Fig. 10과 같이 인양기를 개발하였다.

개발된 인양기는 수직 및 수평하중 600 kgf에 대하여 공인시험을 수행하여 통과하였으며, 최대 무게는 20.7kg이다.

개발된 인양기는 향후 소방대와 해양경찰청의 연안 해역 인명구조에 큰 역할을 할 것으로 기대되어진다.

후 기

“이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(과제번호 2014AA219).”

REFERENCES

1. Son, I. S., Hur, K. D., Lee, S. P. and Cho, J. R., “Stability Analysis of Axially Moving Simply Supported Pipe Conveying Fluid,” Journal of KSNVE, Vol. 22, No. 5, pp. 407-412, 2012.
2. Son, I. S., Yoon, H. K., Min, B. H. and Hur, K. D., “Forced Vibration Analysis of Elastically Restrained Valve-pipe System,” Journal of KSMPE, Vol. 11, No. 4, pp. 90-96, 2012.
3. Son, I. S. and Bae, S. H., “Optimal Design of Rescue Lift Using Structural Analysis,” Proc. of the KSME 2014 Spring Annual Meeting, pp. 262-263, 2014.
4. Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., “Theory of Elastic Stability,” McGraw-Hill, pp. 113-116, 1961.