Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 18, No. 12 pp. 106-111, 2017

https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.106
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

LMU용 일래스토머릭 베어링의 강성평가

한동섭[1], 장시환[2], 이권희[3*]
[1]㈜레미타이트, [2]동아대학교 대학원 기계공학과, [3]동아대학교 기계공학과

Stiffness evaluation of elastomeric bearings for leg mating unit

Dong-Seop Han[1], Si-Hwan Jang[2], Kwon-Hee Lee[3*]
[1]**R&D Team, Remitite Co., Ltd.**
[2]**Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University**
[3]**Department of Mechanical Engineering, Dong-A University**

요 약 본 연구에서는 해양구조물의 상부(top side) 구조물을 설치할 때 필요한 장치인 LMU(Leg Mating Unit)의 강성을 구조해석을 통하여 검토하였다. 이것은 구조물의 지지 점에 장착되어 설치 시 충격을 흡수하고 안정적으로 구조물을 지지하는 데 사용된다. LMU는 가운데가 비어있는 원통형 구조로서 수직 하중을 지지하기 위해서 일래스토머릭 베어링(Elastomeric Bearing, 이하 EB)과 철판을 여러 층으로 적층한다. EB의 강성은 기본적으로 베어링의 크기에 영향을 받지만, 동일한 크기에서도 내부 보강판의 적층 수에 따라 강성이 변하게 된다. 일반적으로 보강판과 압축 강성 사이의 관계를 분석하여 적합한 설계를 한다. EB의 강성은 변위를 제어하면서 반력을 산출하는 방식으로 분석을 한다. 먼저 보강판의 크기와 압축 강성 관계를 검토하고, 보강판의 적층 수와 압축 강성 관계를 검토한다. LMU는 장착되는 지점마다 다른 하중이 요구된다. 해석을 통해 각 지점에서 동일한 변형이 발생하도록 압축 강성을 다르게 설계하는 것이 목표이다. 본 연구의 유한요소해석을 위하여 상용 프로그램인 ANSYS를 이용하였다.

Abstract In this study, the stiffness of an LMU (Leg Mating Unit), which is a device required for installing the top side part of an offshore structure, was examined through structural analysis. This unit is mounted on the supporting point of the structure and is used to absorb the shock at installation. It is a cylindrical structure with an empty center. To support the vertical load, elastomeric bearings (EBs) and iron plates are laminated in layers. The stiffness of the EBs is basically influenced by the size of the bearings, but it varies with the number of laminated sheets inside the same sized structure. The relationship between the stiffener and the compressive stiffness is investigated, and its design is suggested. The stiffness of the EBs is analyzed by calculating the reaction force, while controlling the displacement. First, the relationship between the size of the reinforcing plate and the compressive stiffness is considered. Next, the relationship between the number of stacked reinforcing plates and the compression stiffness is considered. Different loads are required for each installed point. The goal is to design the compression stiffness in such a way that the same deformation occurs at each point in the analysis. In this study, ANSYS is used to perform the FE analysis.

Keywords : Leg Mating Unit, Elastomeric Bearing, Stiffness Coefficient, Finite Element Analysis, Force-Displacement Curve

1. 서론

레그 조합 유닛(leg mating unit, 이하 LMU)는 해양 구조물의 상부(top side)에 구조물을 안정적으로 안착시킬 때 사용되는 장치이다. LMU는 원통형 구조물 내에 수직 하중을 지지하기 위하여 일래스토머릭 베어링

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1D1A3B03029727)
*Corresponding Author : Kwon-Hee Lee(Dong-A Univ.)
Tel: +82-51-200-7638 email: leekh@dau.ac.kr
Received October 25, 2017 Revised November 21, 2017
Accepted December 8, 2017 Published December 31, 2017

(elatomeric bearing, 이하 EB)과 철판을 여러 층으로 적층되며, 설치 시 좌우 흔들림을 방지하기 위하여 하부 측면에 고무패드가 부착되어 있다. [Fig. 1],[1]

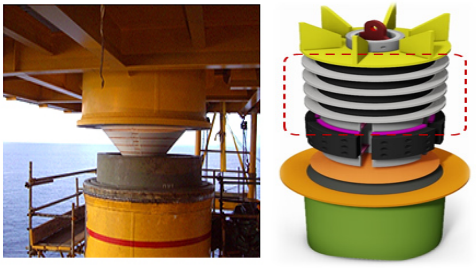
LMU에 사용되는 EB는 가운데가 비어있는 보강된 원통형 구조로서 탄성체(elastomer)와 보강판(reinforced steel plate)이 적층으로 부착되어 있으며, 구조물의 지지점에 장착되어 설치 시 충격을 흡수하고 안정적으로 구조물을 설치하는 데 사용된다.[2 3]

해양 구조물 상부(top side)에 설치되는 구조물은 LMU가 장착되는 지점마다 작용하는 수직 하중이 다르므로 LMU용 EB는 수직 하중에 관계없이 모든 지점에서 동일한 변형이 발생하도록 압축 강성을 다르게 설계해야 한다. EB의 강성은 베어링의 크기에 따라 영향을 받지만 동일한 크기에서도 내부에 보강되는 보강판의 크기와 적층 수에 따라 강성이 현저히 변하게 된다. 따라서 EB에 삽입되는 보강 철판과 압축강성 사이의 관계를 분석하여 요구 하중에 적합한 EB 설계를 가능하도록 해야 한다.

이를 위해 먼저 ANSYS를 이용한 해석을 통해 27가지 설계 점에서 강성분석을 실시하였고, 보강판에 따른 각각의 압축 강성의 결과를 이용하여 그에 따른 경향성을 분석하였다.

본 논문에서는 기존 논문과는 달리 탄성체 내부에 들어가는 보강판의 치수와 압축강성 사이의 관계를 분석함으로써 압축하중에 따른 보강판의 치수와 적층 수를 결정할 수 있는 관계식을 추정할 수 있다.

2. 강성평가를 위한 해석모델



(a) (b)

Fig. 1. Shape of LMU

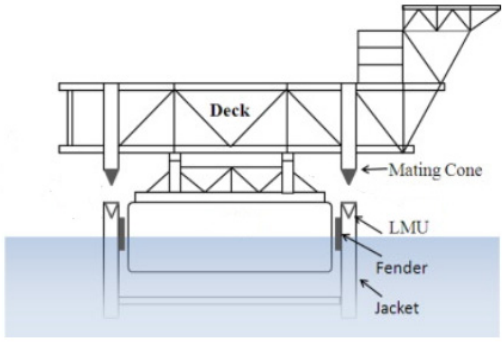


Fig. 2. Mounting point of Leg mating unit

[Fig. 1]의 (b)는 여러 개의 LMU가 적층 된 구조를 표현한 그림이고, (a)는 실제 이미지이다. [Fig. 2]는 LMU 장착 지점을 표현한 것이다.

2.1 해석모델

LMU용 EB는 축대칭모델로서 해석모델의 단면 치수는 Fig. 3와 같이 정의된다. 탄성체 베어링 내에 삽입되는 철판에서 정의된 설계변수의 범위와 표본점을 생성할 때, 제작 시 정해진 폭과 두께에 대한 규격을 제한조건으로 두고 생성하였다.[4]

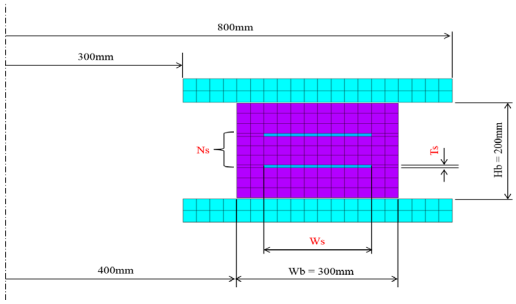


Fig. 3. Dimensions of a elastomeric bearing for LMU

표본점을 생성하는 방법으로 각 설계변수에 대해 완전요인배치법(Full Factorial Design)의 3수준(level)을 적용하였으며, 각 변위에 대해 공통된 27개의 표본점을 Table 1에 생성하였다.

Table 1. Sample points for stiffness analysis of a elastomeric bearing

Ts (mm)	Ws (mm)	Ns (EA)
3	100	1,2,3
	150	
	200	
6	100	
	150	
	200	
9	100	
	150	
	200	

2.2 경계조건

LMU용 EB의 압축 강성 분석을 위해 범용 구조해석 프로그램인 ANSYS를 사용하였다. LMU용 EB는 축 대칭 모델이므로 2차원 축대칭조건을 적용하여 해석을 수행하였다. EB는 점탄성 재료로서 압축 강성을 분석하기 위해서는 변위를 제어하여 반력을 산출하는 형태로 해석이 진행되어야 한다. EB의 상하에는 각각 50mm 두께의 철판을 두었으며, 상부 철판을 고정하고 하부 철판의 수직 변위를 0에서 60mm까지 10mm 간격으로 상방향으로 적용하였다. 상하부 철판과 EB의 접촉면에는 Contact 조건을 적용하였다. 고무와 철판 사이의 건마찰계수는 1.0이므로, 접촉부의 마찰계수는 1.0으로 설정하였다.

3. 유한요소 해석을 이용한 구조해석 결과

보강판의 영향을 분석하기 위해 27가지 설계 점에서 두께(Ts) 3, 6, 9mm와 폭(Ws) 100, 150, 200mm에서, 각 모델의 수직 변위를 10mm부터 10mm씩 증가시켜서 60mm 까지 수직 반력과 적층 수(Ns)에 따른 수직 반력을 산출하였다.

이후에는 보강판이 EB의 압축 강성에 미치는 영향을 분석하기 위해 반력으로 그래프를 그려 경향을 분석하였다.

3.1 보강판의 치수와 압축강성사이의 관계

먼저 동일한 적층 수에서 보강판의 치수(두께와 폭)가 EB의 압축 강성에 미치는 영향을 평가한 후 보강판의 적층 수에 따라 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다. 1열의 적층 수(Ns=1)를 가지고 보강판의 두께가 일정할 때 폭을 변화시켜서 얻은 EB의 하중-변위 그래프를 Fig. 4에 나타내었다. 그리고 1열의 적층 수(Ns=1)를 가지고 보강판의 폭이 일정할 때 두께를 변화시켜서 얻은 EB의 하중-변위 그래프를 Fig. 5에 나타내었다. [5]

Fig. 4과 5를 살펴보면, 보강판의 두께가 일정할 때 폭이 증가함에 따라 압축 강성이 현저히 증가하였다. 이에 반해 보강판의 폭이 일정할 때 두께가 증가함에 따라서는 압축 강성의 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 즉, EB의 압축 강성은 보강판의 두께보다는 폭에 지대한 영향을 받음을 알 수 있다.

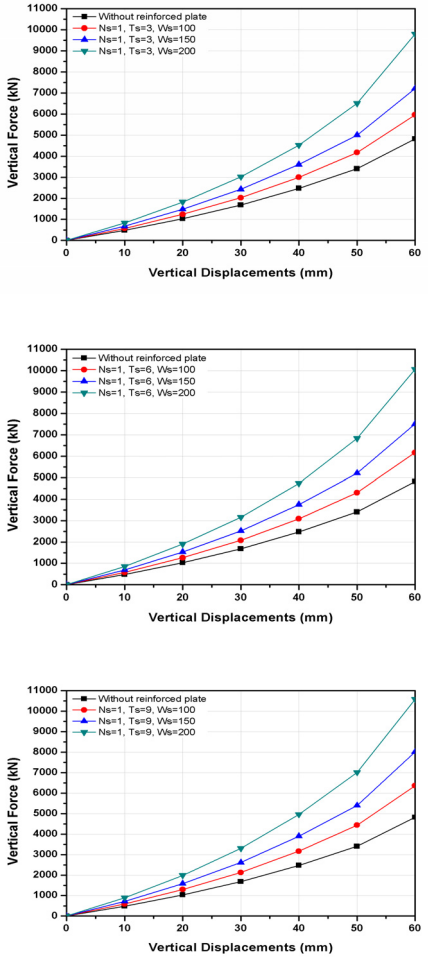


Fig. 4. Force-displacement curve of EB according to the width of reinforced plate.(Ns=1, thickness : constant)

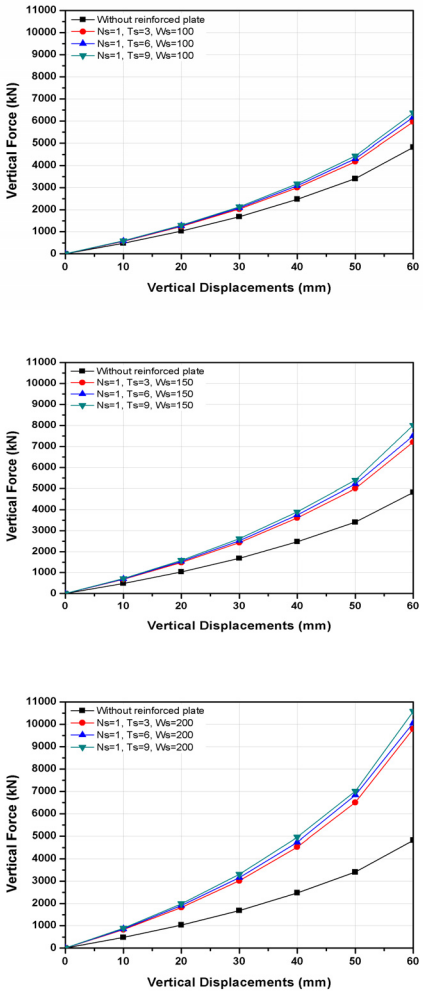
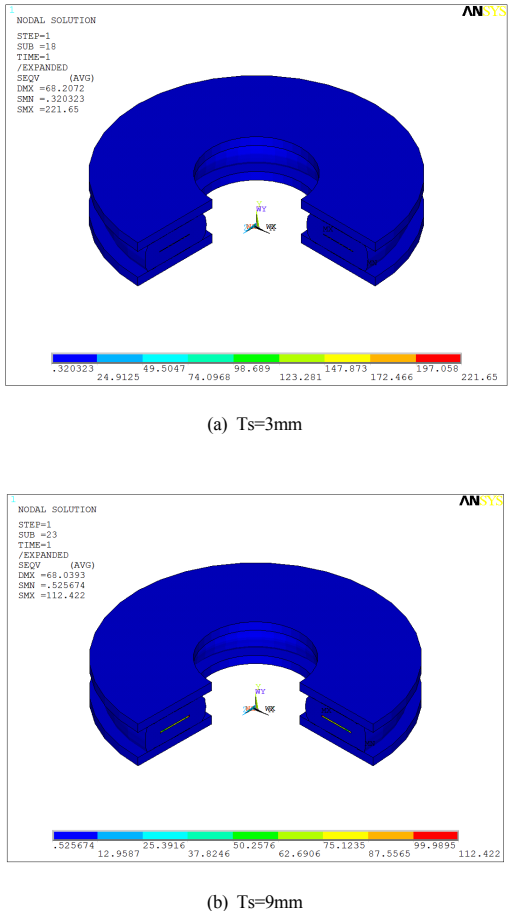


Fig. 5. Force-displacement curve of EB according to the thickness of reinforced plate(Ns=1, width : constant)

그런데, 50mm의 동일한 압축 변위에서 1열의 보강판을 갖는 EB의 탄성체(elastomer)와 보강판의 응력분포를 나타낸 Fig. 6을 살펴보면, 보강판의 두께가 3mm 에서 9mm로 두께가 3배로 증가하게 되면 보강판의 응력이 222MPa에서 112MPa로 50% 정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 보강판의 두께 변화에도 불구하고 탄성체의 응력변화는 거의 없었다. 즉, 보강판의 두께는 EB의 압축 강성에는 크게 영향을 미치지 않는다. 그러나 보강판이 가지는 판 자체의 강도에 지대한 영향을 미치게 되므로 보강판의 자체의 안전율을 고려하여 보강판의 두께를 결정해 야 한다.



(a) Ts=3mm

(b) Ts=9mm

Fig. 6. Stress distribution of EB with one reinforced plate (Ns=1, Dy=50mm)

3.2 보강판 적층수와 압축강성사이의 관계

3.1절에서 보강판의 두께는 EB의 압축 강성에 대한 영향이 미미하기 때문에 보강판 두께는 최적 설계의 고려대상이 아님을 알 수 있다. 그러나 철판의 두께가 철판 자체의 응력에 큰 영향을 미치게 된다. 이를 반영하여, 3.2절에서는 강도상 안전율이 1.5 이상이 되는 보강판을 6mm의 두께(Ts)로 한정하여 보강판의 적층 수가 EB의 압축 강성에 미치는 영향을 평가하였다. 6mm 선정 이유는 3mm의 경우는 안전율이 1.5를 만족시키지 못하고, 9mm는 중량이 많이 나가기 때문이다. 보강판의 폭(Ws)과 적층 수(Ns)에 따른 EB의 하중-변위 그래프를 비교하여 Fig. 7에 나타내었다.

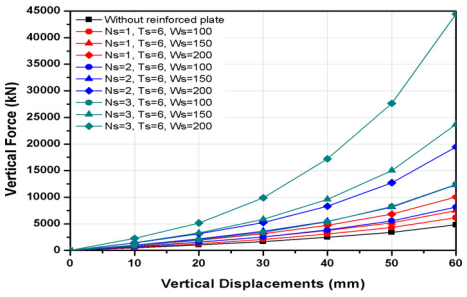


Fig. 7. Force-displacement curve of EB according to the layer number and width of reinforced plate.

Fig. 7을 살펴보면, 보강판의 두께가 6mm일 때 보강판의 폭뿐만 아니라 적층 수에 따라서도 압축 강성의 변화가 크게 발생하였으며, EB의 압축 강성에 대해서 보강판의 폭에 비해 적층 수가 훨씬 큰 영향을 보임을 알 수 있다. Fig.8은 수직변위가 50mm 발생 시 수직 하중은 적층 수(Ns)가 1일 때 4,305~6,834kN, 적층 수(Ns)가 2일 때 5,562~12,739kN, 적층 수(Ns)가 3일 때 수직 하중은 8,241~27,650kN으로서 보강판의 폭과 적층 수에 따라 수직 하중의 범위가 겹치는 것을 알 수 있다. 예를 들어, Fig. 8을 보면 수직 변위가 50mm일 때 요구되는 수직 하중이 6,000kN인 A지점이라면 적층 수를 1열 또는 2열에서 보강판의 폭을 조절하여 맞춤 설계 할 수 있고, 수직 하중이 10,000kN인 B지점 이라면 적층 수를 2열 또는 3열에서 보강판의 폭을 조절하여 맞춤 설계 할 수 있다.

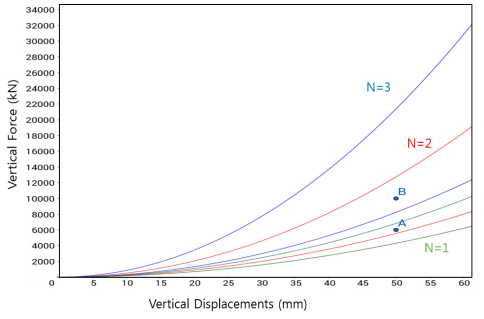


Fig. 8. Force-displacement curve of EB according to the layer number at displacement 50mm.

그런데 보강판의 적층 수가 증가함에 따라 EB의 하중-변위 그래프는 선형에서 2차 이상의 곡선 형태로 변하는 것을 확인할 수 있다.

실제 사용자 측(조선소)에서 LMU의 제품 특성 상 갑판에 구조물을 안착시킬 때 변위에 따른 하중의 증가가 선형에 가깝게 유지되어야 한다는 것을 요구하고 있으므로, 보강판의 적층 수를 키우는 것보다는 보강판의 폭을 증가시키는 것이 하중-변위 그래프를 선형으로 유지하는 데 더욱 유리하다는 것을 알 수 있다. 따라서 제품의 압축 강성에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으므로 보강판의 적층 수를 늘리는 것에는 신중을 기해야 한다.

4. 결론

본 연구에서 LMU 용 EB의 해석을 통해 보강판이 EB의 압축 강성에 미치는 영향을 살펴본다. 변위 50mm 기준으로 두께 영향을 알아보기 위해 폭(Ws)을 100mm로 고정하고, 두께가 3, 6, 9mm 일 때 반력을 살펴보면 4,175kN, 4,305kN, 4,436kN이다. 그리고 폭의 영향을 알아보기 위해 두께(Ts)를 3mm로 고정하고, 폭(Ws)이 100, 150, 200mm 일 때 반력을 살펴보면 4,175kN, 4,998kN, 6,507kN이다. 다음으로 적층 수의 영향을 알아보기 위해 폭(Ws)을 100mm, 두께(Ts)를 3mm로 고정하고 적층 수 1, 2, 3개 일 때 반력을 살펴보면 4,175kN, 5,231kN, 7,104kN이다. 이러한 결과를 살펴보면 보강판의 두께, 폭, 적층 수 순으로 압축 강성에 미치는 영향이 현저히 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한, 보강판의 적층 수가 증가할수록 하중-변위 그래프가 선형에서 비선형으로 변하기 때문에 동일한 반력을 지지하도록 EB의 보강판을 설계할 때, 적층 수를 늘리는 것보다는 보강판의 폭을 늘리는 것이 더 효과적임을 알 수 있다.

References

[1] J. C. Simo, J. M. Kelly, “The Analysis of Multilayer Elastomeric Bearings”, The american society of mechanical engineers, Vol. 51, 7page, June. 1984. DOI: https://doi.org/10.1115/1.3167609

[2] Chaitanya. K, Nair. S.B, “Design of Leg Mating Unit for Float-Over Installation of Decks”, Ocean, Offshore and Arctic Engineering Division, Vol. 1, pp. V001T01A037: 12 page. June 2013. DOI: https://doi.org/10.1115/OMAE2013-10707

[3] Hu. Z, Li. X, Zhao. W, Wu. X, “Nonlinear dynamics and impact load in float-over installation” Applied ocean research, vol. 65, pp. 60 - 78, 2017.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.03.013

[4] Hyun-Duk Kim, Si-Yoong Yoo, Jung-Sun Park, “Design of an Elastomeric Bearing for a Helicopter Rotor Hub by Non-linear Finite Element Method”, International journal of aeronautical and space sciences, vol. 38, no. 6, pp. 5, 2010.
DOI: https://doi.org/10.5139/JKSAS.2010.38.6.612

[5] Kim Taeju, Kim Seungho, Hwang Inhui, Bae Gyeongmun, Han Jeongho, “Establishment elastomer bearing & lead-lag damper requirements for helicopter main rotor”, International journal of aeronautical and space sciences 2008 Fall Conference collection of dissertations1, pp. 731 - 734, 2008.

한 동 섭(Dong-Seop Han) [준회원]

- 1991년 3월 : 동아대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2000년 3월 : 동아대학교 기계공학과 석사과정
- 2002년 3월 : 동아대학교 기계공학과 박사과정
- 2013년 8월 : Post-Doc., Ocean Eng. at Texas A&M Univ.,USA.
- 2016년 1월 ~ 현재 : Remitite co.,Ltd. R&D Manager.

<관심분야>
기계구조 해석 및 설계

장 시 환(Si-Hwan Jang) [준회원]

- 2017년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>
기계설계, 최적설계

이 권 희(Kwon-Hee Lee) [정회원]

- 1991년 2월 : 한양대학교 공과대학 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 한양대학교 공과대학 기계설계학과 (공학박사)
- 1994년 6월 ~ 1999년 6월 : 대우자동차 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
기계설계, 최적설계