

냉매용 원터치 삽입식 파이프 조인트의 안전성 구조해석

Structural Stability Analysis of One-Touch Insertion Type Pipe Joint for Refrigerant

김은영¹ · 박동삼^{2*}Eun-young Kim¹, Dong-sam Park^{2*}¹Ph.D. Course, Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Incheon National University, Incheon, Korea²Professor, Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Incheon National University, Incheon, Korea

*Corresponding author: Dong-sam Park, dspark@inu.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: Pipes are widely used as applied devices in many industrial fields such as machinery, electronics, electricity, and plants, and are also widely used in safety-related fields such as firefighting and chemistry. With the diversification of products, the importance of technology in the piping field is also increasing. In particular, when changing the existing copper pipe to stainless steel, it is necessary to evaluate safety and flow characteristics through structural analysis or flow analysis. **Method:** This study investigated the structural stability of the 6.35 and 15.88 socket models, which are integrated insert type connectors developed by a company, using FEM. For structural analysis, HyperMesh as pre-processor, HYPER VIEW as post-processor, and LS-DYNA as solver were used. **Result:** In the case of 6.35 socket, the maximum stresses at hook, holder and hinge were 95.02MPa, 19.59MPa and 44.01MPa, respectively, and in case of 15.88 socket, it was 127.7 MPa, 40.09MPa and 45.23MPa, respectively. **Conclusion:** Comparing the stress distribution of the two socket models, the stress in the 15.88 socket, which has a relatively large outer diameter, appears to be large overall, but it is significantly lower than the yield stress of each material, indicating that there is no problem in structural safety in both models.

Keywords: Piping, Insert Type Connector, Structural Analysis, Stress Distribution, FEM, Structural Stability

요약

연구목적: 파이프는 기계, 전자, 전기, 플랜트 등 많은 산업 분야에서 응용기기로 널리 사용되고 있으며, 소방, 화학 등 안전 관련 분야에서도 널리 사용되고 있다. 제품의 다양화에 따라 배관 분야에서도 기술의 중요성이 높아지고 있습니다. 특히 기존 동관을 스테인리스강으로 변경하는 경우 구조해석이나 유동 해석을 통해 안전성과 유동 특성을 평가할 필요가 있다. **연구방법:** 본 연구에서는 자체 개발한 일체형 삽입형 커넥터인 6.35 및 15.88 소켓 모델의 구조적 안정성을 FEM을 이용하여 조사하였다. 구조해석은 전처리기로 hyper mesh, 후처리기로 HYPER VIEW, 솔버로 LS-DYNA를 사용하였다. **연구결과:** 응력해석 결과 6.35 소켓의 경우 훅, 홀더 및 후가드에서의 최대응력은 각각 95.02MPa, 19.59MPa 및 44.01MPa였으며, 15.88 소켓의 경우 각각 127.7MPa, 40.09MPa 및 45.23MPa로 나타났다. **결론:** 두 소켓 모델의 응력분포를 비교하면 상대적으로 외경이 큰 15.88 소켓에서의 응력이 전반적으로 크게 나타나고 있으나 각 소재의 항복응력보다는 현저히 낮아 두 모델 모두 구조적인 안전성은 문제가 없는 것으로 나타났다.

핵심용어: 배관, 삽입형 커넥터, 구조해석, 응력분포, FEM, 구조 안정성

Received | 29 July, 2022

Revised | 15 September 2022

Accepted | 15 September 2022

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

배관은 기계, 전자, 전기 및 플랜트 등 많은 산업 분야에서 응용기기로 널리 이용되고 있을 뿐만 아니라 소방이나 화학 등 안전과 관련된 영역에서도 폭넓게 활용되고 있으며 관련 제품의 기술개발과 발전에 따라 배관 분야의 중요성도 날로 커지고 있다. 기존 에어컨 실외기 배관은 제작 편리성과 높은 열 전도성 때문에 구리로 제작을 하였다. 하지만 구리 배관의 경우 부식에 취약하고 강도가 낮아 찌그러짐 변형 등의 문제가 많이 발생하였다. 또한 동관은 수입에 의존하는 구리 100%인 관으로 LME(London Metal Exchange: 런던금속거래소)에서 거래되는 투기성 광물이기도 하여 가격변동이 심하고 구매에 대한 안전성도 떨어진다.

하지만 최근에는 구리 대비 높은 강도를 가진 스테인리스 소재를 적용한 냉매 배관을 개발한 회사들도 나타나고 있으며, 시공 편의성의 불편 때문에 작업자의 힘으로 변형이 될 수 있는 연결의 스테인리스강 개발과 열처리를 통한 연결 배관 제조 기술을 개발하여 시공 시간 단축 및 시공 원가도 줄이고 있다. 또한, 원터치식의 간편한 작업으로 비숙련자도 쉽게 시공할 수 있도록 만든 배관 연결구조도 개발되고 있는데 이는 기술적이고 경제적인 시공을 함으로써 원가절감을 이루려는 노력의 일환이다.

특히, 에어컨 제조업체들도 알루미늄 배관의 내구성이 좋지 않다는 것을 인지하고 있는데 실제로 알루미늄 배관은 몇 번 구부렸다가 펴면 바로 금이 생기는 현상은 큰 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 L전자는 2017년부터 출시되어 유통 중인 에어컨에 알루미늄 배관 대신 구리 배관을 사용하고 있으며, S전자는 최근 출시한 제품의 배관 전체를 알루미늄으로 만든 뒤 ‘스마트 링크’라고 부르는 접합재를 사용하고 있는데 이는 알루미늄과 구리의 결합으로 인한 부식을 막는 방안이다. C회사와 D회사에서도 아직 알루미늄 배관을 쓰고 있는데 배관 연결 시 나타나는 여러 문제점을 극복하기 위해 업체마다 배관 연결구조를 개발하고 이를 에어컨에 접목하고자 노력하고 있다.

최근 국내 E사(Hookjoint Ever Tech Corporation, 2022)가 개발한 냉매용 원터치 삽입식 조인트의 재질은 연결의 스테인리스를 사용하였는데 이는 경질에 비하여 내부충격에 의한 파손의 위험이 적으며, 내압성과 기밀성 등의 구조적 안정성을 확보하였다(Steel & Metal News, 2021).

한편, 이러한 상황에서 다양한 형태로 개발되는 연결구의 경우 실제 사용 시 많은 문제점이 발생할 수 있음에도 불구하고 개발된 배관 연결구의 실용적 측면에서의 효용성이나 구조상의 문제가 없는지에 대한 수치해석 등의 연구결과는 지극히 미미한 실정이다. 따라서, 기존의 구리 배관을 스테인리스로 변경하여 설계할 때 변경된 재료에 대해 새로운 평가를 할 기준이 필요하고, 해석을 통하여 냉매 사용에 안전한지, 유동에 대해서는 문제가 없는지 등을 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내 E사에서 개발한 후크조인트를 대상으로 일체형 삽입식 연결구를 이용한 공법의 현장 적용 시 유한요소법을 이용한 구조해석을 통하여 구조적 안정성을 규명하고자 한다.

해석 대상 제품의 개요

제품의 구조

제품명은 ‘E사의 냉매용 원터치 삽입식 조인트’로 의뢰자가 제공하였으며 제품의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 후크 조인트는 스테인리스 또는 동 배관과 배관을 연결하는 기능을 담당한다. 후크 조인트는 원터치 삽입으로 배관을 시공하는 무용접 배관 연결구조로 간단히 원터치 삽입만으로 배관의 시공이 완료되는 제품이며 일반 배관용 스테인리스 강관(KS D 3595)에 사용

하는 무용접 배관 연결구이다. 원터치 삽입식 혹 조인트는 배관 시공 시 전문 배관공이 필요가 없으며 단순한 삽입만으로 시공을 완료할 수 있어서 최소한의 인력으로 배관 공사 기간 단축과 인건비를 절감할 수 있는 장점이 있다.

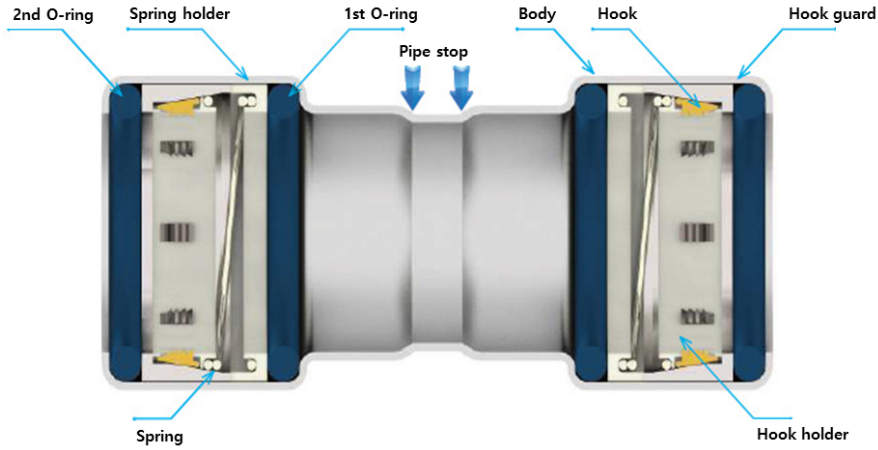


Fig. 1. Hook joint for refrigerant

체결원리

혹 조인트의 체결과정을 Fig. 2에 나타내었다. 삽입라인이 표시된 배관을 오크 조인트에 수평으로 삽입한 후 동시에 혹을 개방하며 개방된 혹이 스프링의 탄성, 수압 및 배관 이탈력에 의하여 강한 힘으로 배관을 잡아주게 된다.

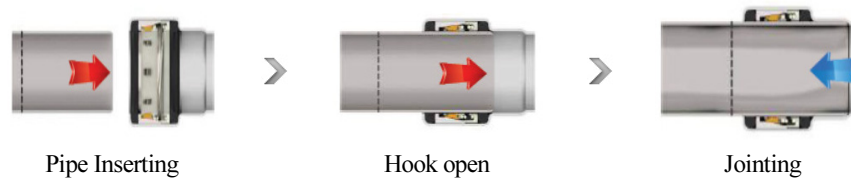


Fig. 2. Schematic principle of fastening process

구조해석 방법

구조의 모델링

혹 조인트의 구조해석을 위한 모델링 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

구조해석 조건

구조해석을 위하여 Pre-Processor로는 hyper mesh, Post-Processor로는 HYPER VIEW, Solver로는 LS-DYNA를 이용하였다.

또한 유체는 냉매 R410A, R22, R134A가 사용되나 구조해석 시에는 압력 조건만 반영하였으며, 사용온도는 -40 ~ 120°C

이나 여러 부품의 열팽창 효과는 고려하지 않고 상온 상태로 가정하였다. 사용 압력은 48bar 조건을 적용하였다.

해석 모델은 6.35 inch 소켓과 15.88inch 소켓 두 종류이며 각 모델의 메시(Mesh)는 Table 1과 같이 선정하였으며, 소켓의 결합 형태는 Fig. 4와 같고 구속조건은 양 끝단에서 모든 방향으로 고정조건으로 하였다.

화학 성분 및 기계적 성질

KS D 3595

강종	화학성분 Max (%)									인장강도 MPa	항복강도 MPa
	KS	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo		
STS 304		0.08	1	2	0.04	0.03	8.0~11.0	18.0~20.0		520	205
STS 316		0.08	1	2	0.04	0.03	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0	520	205

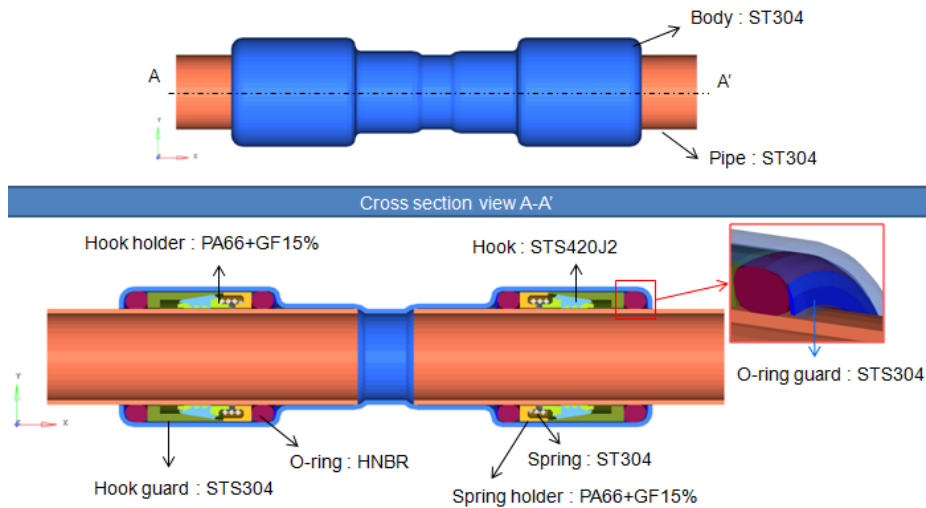


Fig. 3. Model configuration of the hook joint

Table 1. Mesh size and number of elements

Type	Mesh size	No. of element
6.35	1mm	84,000
15.88	1mm	113,400

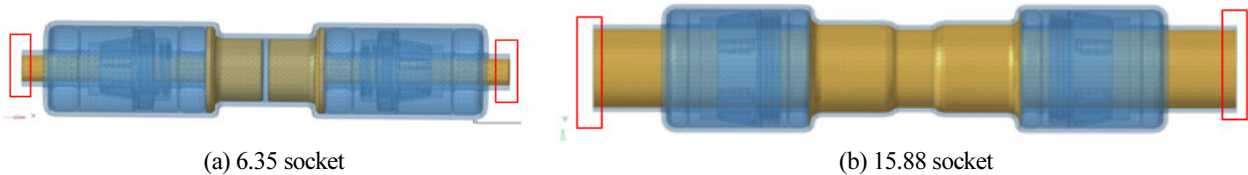


Fig. 4. Two types of the socket used in analysis

구조해석 결과

6.35 소켓에서의 응력과 변형

상기 조건에 따라 구조해석을 수행한 결과 Hook, Hook Holder, Hook Guard에 발생하는 응력의 분포형태는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 나타났다. 삽입 시의 원주방향 팽창 효과가 반영되고 그 중 가장 작은 접촉 면적을 가져 응력이 집중되는 Hook에 가장 강한 밀착력이 형성되는 것으로 나타났다.

이 때 Hook의 최대응력은 95.02MPa로 나타났고 재료의 표준규격에 나와있는 항복응력 253MPa 대비 2.7배의 안전계수를 가짐을 알 수 있다. 마찬가지로 Hook Holder와 Hook Guard의 최대응력은 각각 19.59MPa, 44.01MPa로 나타나 각각의 항복응력 57.75MPa, 205MPa 대비 크게 안전한 것으로 판단된다.

따라서, 설계에서 고려한 조건대로 파이프를 삽입 시에 배관과 접촉하는 Hook의 내부 부품에서는 압축 응력이 발생하며 이를 통해 배관이 안정적으로 유지되는 구조로 분석되었다.

응력분석 외 추가로 후크의 내부 변형율을 살펴보면 응력 분포에 따라 동일하게 Hook 부분의 변형이 집중되고 O-ring 부분 역시 그에 따라 변형되는 것을 확인할 수 있다.

변형량 분포를 살펴보면 외경 6.35mm 제품에 대한 최대 변형은 O-ring부 2.06mm이고, Hook, Hook guard & Hook holder의 최대 응력은 허용응력 값보다 작은 값을 가지므로, 충분한 강성을 가짐을 확인할 수 있다.

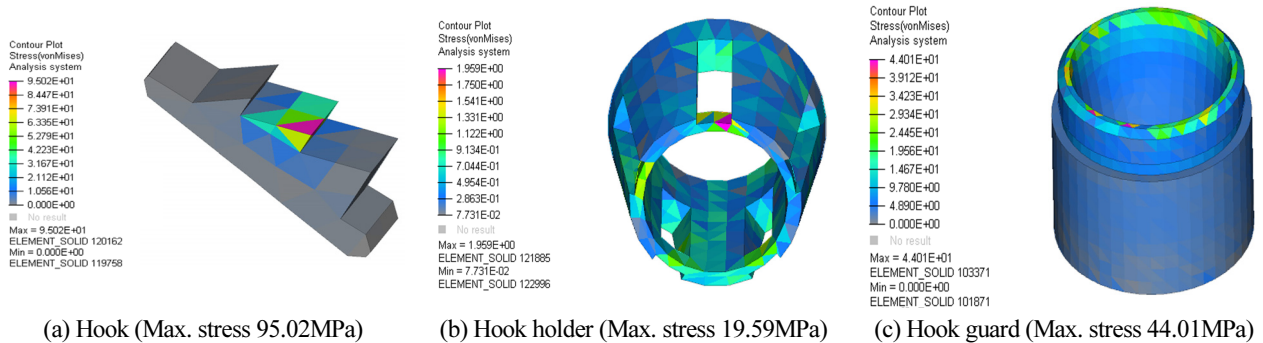


Fig. 5. Stress distribution(type 6.35)

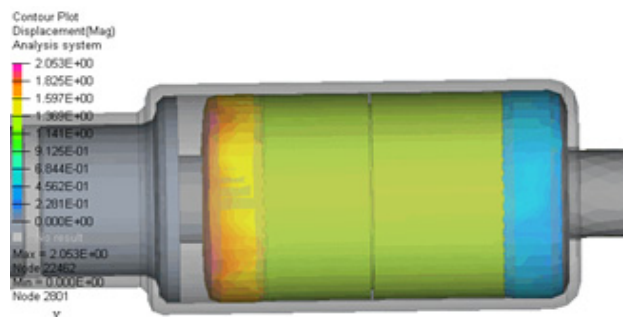


Fig. 6. Displacement distribution(type 6.35)

15.88 소켓에서의 응력과 변형

구조해석을 수행한 결과 Hook, Hook Holder, Hook Guard에 발생하는 응력 분포를 Fig.7 및 Fig. 8에 나타내었다. 삽입시의 원주방향 팽창 효과가 반영되고 그 중 가장 작은 접촉 면적을 가져 응력이 집중되는 Hook에 가장 강한 밀착력이 형성되는 것으로 나타났다.

이 때 Hook의 최대응력은 127.7MPa이 발생하였고 항복응력 253MPa 대비 약 2배의 안전계수를 갖는 것으로 나타났다. 마찬가지로 Hook Holder와 Hook Guard의 최대응력은 각각 40.09MPa, 45.23MPa이 발생하여 각각의 항복응력 57.75MPa, 205MPa 대비 안전한 수준임을 알 수 있다.

따라서, 설계에서 고려한 조건대로 파이프를 삽입할 시에 배관과 접촉하는 Hook의 내부 부품에서는 압축 응력이 발생하며 이를 통해 배관이 안정적으로 유지되는 구조로 분석되었다.

주목할 것은 상대적으로 큰 외경에 따라 접촉 면적이 늘어나 압축 응력은 낮아졌으나 전체 접촉 면적이 증가하여 삽입된 파이프를 지지하는 안전성은 확보된 것으로 판단된다.

응력 분석이외 추가로 후크의 내부 변형율을 살펴보면 응력 분포에 따라 동일하게 Hook 부분의 변형이 집중되고 O-ring 부분 역시 그에 따라 변형되는 것을 확인 할 수 있다.

변형량 분포를 살펴보면, 15.88mm 제품에 대한 최대 변형은 O-ring부 0.72mm이고, Hook, Hook guard & Hook holder의 최대 응력은 허용응력 값보다 작은 값을 가지므로, 충분한 강성을 가짐을 확인할 수 있다.

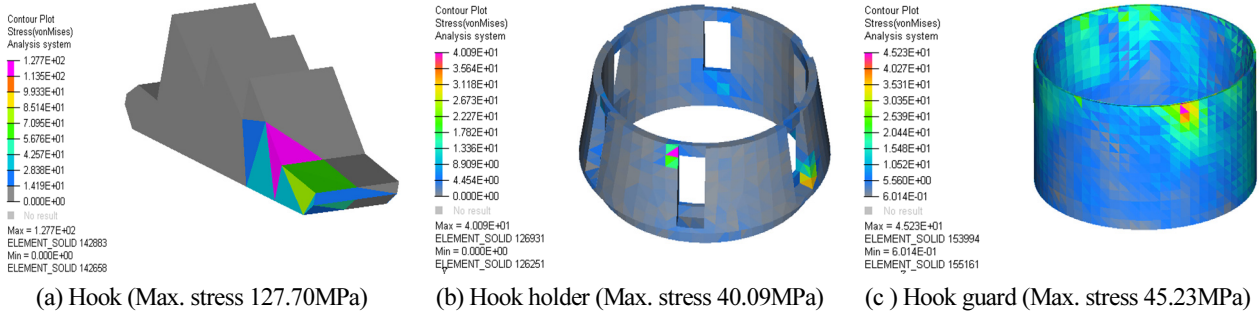


Fig. 7. Stress distribution(type 15.88)

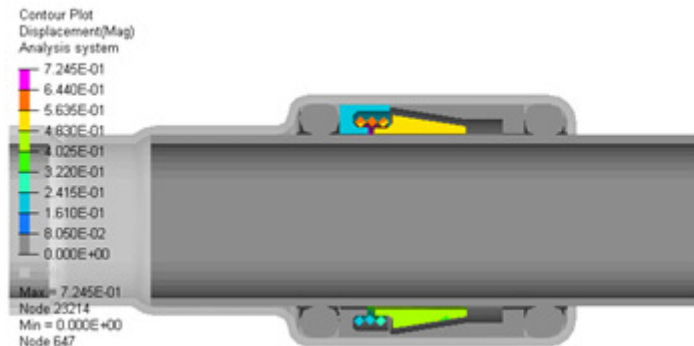


Fig. 8. Displacement distribution(type 15.88)

결론

본 연구는 기업에서 의뢰한 일체형 삽입식 연결구인 6.35 모델과 15.88 모델에 대한 구조해석을 통하여 실제 사용 시 구조적 안전성을 규명하고자 하였다. 구조해석을 위하여 Pre-Processor로는 hyper mesh, Post-Processor로는 HYPER VIEW, Solver로는 LS-DYNA를 이용하였으며, 혹, 혹홀더 및 혹가드에 발생하는 응력과 변형량을 구한 결과를 보고 실제 규격집에 나와있는 항복응력과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 6.35 소켓의 경우 혹에서의 최대응력 95.02MPa로 소재의 항복응력 253MPa 대비 안전한 수준이며, 혹홀더와 혹가드에서의 각각의 최대응력은 19.59MPa, 44.01MPa였으며 각 소재의 항복응력 57.75MPa, 205MPa로 나타나 전체적으로 안전한 수준임을 확인하였다.
- (2) 15.88 소켓의 경우 최대응력의 크기는 127.7MPa로 소재의 항복응력 253MPa 대비 약 2배 정도의 안전성을 갖추고 있었으며, 혹홀더와 혹가드에서의 각각의 최대응력은 40.09MPa, 45.23MPa로 각 소재의 항복응력 57.75MPa, 205MPa 대비 안전한 것으로 나타났다.
- (3) 변형해석 결과 혹 부분의 변형이 집중되고 O-링부에서 최대 변형이 나타났는데 6.35 소켓과 15.88 소켓에서 최대 변형은 각각 2.06mm와 0.72mm로 나타났다.
- (4) 두 소켓 모델의 응력분포를 비교하면 상대적으로 외경이 큰 15.88 소켓에서의 응력이 전반적으로 크게 나타나고 있으나 각 소재의 항복응력보다는 현저히 낮아 두 모델 모두 구조적인 안전성은 문제가 없는 것으로 나타났다.

References

- [1] https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2017/08/25/2017082501610.html
- [2] <https://blog.naver.com/janggilsankr/222271626705>
- [3] <https://n.news.naver.com/mnews/article/366/0000380934?sid=101>
- [4] Hookjoint Ever Tech Corporation (2022). <http://www.hookjoint.co.kr/html/en/main.php?>
- [5] Kharn Inside (2021). <http://www.kharn.kr/news/article.html?no=15345>.
- [6] Kim, J-H., Park, C-B., Choi, S-Y., Min, J-H. (2004). "Optimal design of the pipe configuration of an air conditioner outdoor unit considering vibration characteristics." Proceedings of the KSME Conference, Daejeon, pp. 655-660.
- [7] Kim, S-W., Jeon, B-G., Ahn, S-W., Wi, S-W. (2019). "A study for seismic behavior of a riser pipe with flexible groove joints using cyclic loading test." Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No.1, pp. 67-74.
- [8] Kim, S-W., Yun, D-W., Kim, J-B., Jeon, B-G. (2021). "Experimental study for seismic behavior analysis of a fire protection riser pipe system with groove joints." Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 25, No. 2, pp. 35-42.
- [9] Lee, C.Y. (2021). "A study of the standard structure for the social disaster and safety incidents data." Journal & Article Management System, Vol. 17, No. 4, pp. 817-828.
- [10] Lee, S-Y., Kim, W-S., Cho, S., Sung, U-J., Park, H-M., Sim K-J. (2009). "Flux analysis of air-conditioner coupling." Proceedings of the SAREK Conference, Pyeongchang, pp. 1031-1036.

- [11] Min, J-H., Choi, D-H., Jung D-H. (2009). “Shape optimization of an air conditioner piping system.” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 11, pp. 1151-1157.
- [12] Steel & Metal News (2021).