

LNG 벙커링용 QC/DC 벨로즈의 유동/구조 해석

CFD/CAE Analysis of QC/DC Bellows for LNG Bunkering

장성철^{1*}, 엄정필², 정현철³

Jang Sung-Cheol^{1*}, Eom Jeong-Pil², Jung Hyun-Cheol³

〈Abstract〉

By using an ANSYS product suite (CFX, Ansys Multiphysics), which is a powerful tool for multiphysics analysis of complicated physical phenomena, we performed a structural stress analysis based on fluid flow and heat transfer phenomena within a quick connect/disconnect (QC/DC) bellows system. Considering the extremely low temperatures in the QC/DC environment, an approach to the problem based on complex multi-physics phenomena, where different phenomena interact with each other, is crucial. Therefore, we use a numerical analysis technique where fluid-thermal-structural interactions are combined. In conclusion, when low temperature fluids flow inside bellows, the expected service life is conspicuously reduced due to the thermal stress caused by heat transfer. Therefore, in future research, a structure with considerably reduced thermal stress by robust design optimization will be derived.

Keywords : Quick Connect/Disconnect (QC/DC) Bellows, Fluid-Thermal-Structural

1* Sung-Cheol Jang(corresponding author): Department of Mechanical System Engineering, Polytechnic, Chungjoo Campus E-mail: jsc@kopo.ac.kr, Tel: 043-850-4280

2 Jeong-Pil Eom: Shipbuilding Marine Engineering R&D Center, GNTP, Korea,
E-mail: jpeom@gntp.or.kr, Tel: 055-259-3391

3 Hyun-Cheol Jung: NEC CO. Ltd, R&D Center, E-mail: nes@neskorea.co.kr, Tel: 055-903-0880

1. 서론

LNG 벙커링 선박 및 LNG 연료 추진선박은 강화되는 온실가스과 배기가스 규제에 대응하기 위한 대안 기술이며, 조선기자재 산업의 신성장 동력으로서 기여할 수 있는 차세대 제품이다. LNG 연료공급 시스템 기술은 친환경/고부가가치선박 시장의 주도권을 확보하기 위하여 필수적인 기술이며, 유럽, 미국, 일본, 중국 등 기술개발 투자가 집중되어 있다. 특히 LNG 벙커링의 핵심기자인 QC/DC의 경우 국내에서 연구가 어느 정도 이루어지고 있으나 기술적 결함 및 시장 선점이 되지 않아 사업화가 이루어지지 않은 상태로 파악된다¹⁻²⁾. 수입제품의 경우 QC/DC 단품으로 이루어져 있어 Flexible Hose의 전후단에 대한 특성 파악이 제대로 되지 않아 -162°C의 극저온 상황에서의 작동시 균열 및 파열 등의 문제가 발생한다고 보고되어 있다. Ship to Ship이나 Pipe to Ship 등 LNG선박으로의 연료공급이 이루어지면 파도에 의한 Flexible Hose의 변위가 발생하게 된다. 특히 -162°C의 상황에서는 송유관의 동결현상으로 인해 유연성을 잃게 되어 균열 및 파열이 가속화되는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 변위량이 가장 많이 발생하는 지점에 QC/DC, ERC, 벨로우즈를 탑재하여 유체-열-구조 연성해석에 의한 최적화 설계에 대한 기초 연구를 수행하고자 한다.

2. 유체-열-구조 연성해석

Fig. 1은 본 연구의 대상제품을 나타낸 것으로 벨로우즈, ERC, QC/DC를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 QC/DC 전단에 비상용

ERC가 장착되어 있어 선박간의 높이 차이에 의한 안전성을 고려하였으며, 벨로우즈의 경우 플렉시블 호스의 피로누적을 감소시키기 위한 방안이다.

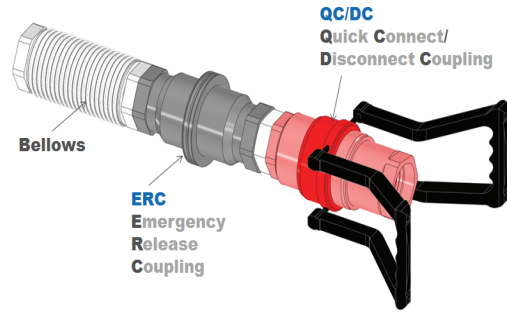


Fig. 1 Bellows analysis model for QC/DC

Fig. 2는 유체-열-구조 연성해석의 개략도를 나타낸 것이다. 일반적인 FSI(fluid structural interaction) 연성해석에서 유체는 압력, 온도를 구조부재에 전달하여 구조물에 변형이 발생하며, 이에 대한 정보가 다시 유동장에 전달되어 이에

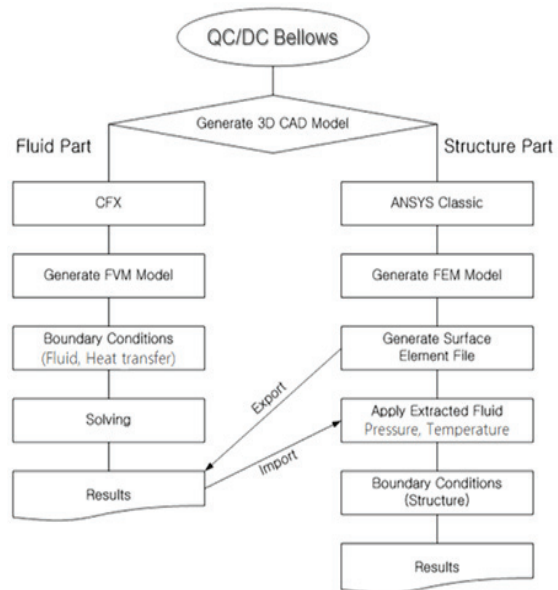


Fig. 2 Schematic diagram for FSI analysis

따라 유체 유동의 해석결과에 영향을 주게 되면서 양방향 연성해석이 가능한 수치해석적 기법이다. 본 연구의 QC/DC용 벨로즈 내부를 흐르는 극저온 유체는 구성 구조부재들에 미소 변형량을 유발시킴으로서 유체 유동장은 변화가 없는 것으로 가정하였다. 따라서 CFX의 CHT 해석결과에 의한 구성부재들의 온도분포도와 내압분포도를 ANSYS 구조해석의 입력 하중값들로 활용하는 단방향 유체-열-구조 연성해석을 수행하였다.

3. 연성해석 결과

Fig. 3은 상온 23°C 주변 온도 상태에서의 QC/DC 벨로즈에 대한 CHT 해석의 결과로 극저온 유체의 속도분포도를 나타낸 것이다. Bellows를 통과한 후 ERC를 거쳐 Connector 지점에서 유속이 증가하며, QC와 DC의 체결과정에서 형성되는 Disk와 벽면 사이의 좁은 유로를 통과하면서 유속이 급격히 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Fig.4와 Fig. 5는 CHT 해석의 열전달 결과를 나타낸 것이다.

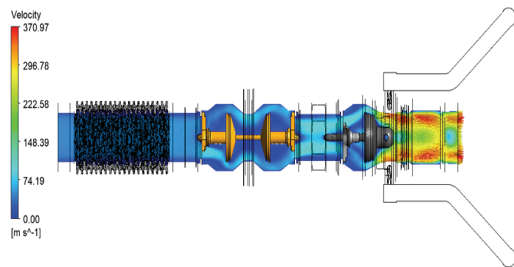


Fig. 3 Fluid velocity distribution for QC/DC bellows

그림 4에서 벨로즈와 QC/DC의 핸들 부분이 상온에 근접한 온도분포 상태임을 확인할 수 있

다. 가운데에 위치한 ERC의 최대 온도는 약 -14 0°C 임을 볼 수 있다. 따라서 습도가 높은 주변 환경에서는 ERC에 극저온 유체가 흐를 경우에는 ERC 표면에 두꺼운 얼음층이 형성될 것으로 예측된다.

Fig. 5에서 벨로즈 내부의 안쪽 주름 벽면은 유체의 극저온 -162°C에 노출되고 반면에 바깥쪽 주름의 벽면은 외부 공기층과 접촉된다. 또한 안쪽과 바깥쪽 주름 사이는 진공 층으로 대류와 전도에 의한 열전달이 발생하지 않는 단열층이 존재한다. 이러한 이유로 인해 벨로즈의 바깥쪽 주름의 양쪽 끝단에서의 온도구배가 상당히 크게 발생하고 있음을 볼 수 있다. -135°C 부터 23°C까지 그림은 점선 원형 안의 작은 영역에서 급격히 온도가 변화하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 벨로즈의 온도분포와 내압에 의한 구조해석 결과를 나타낸 것이다. 최대 응력값이 벨로즈의 바깥 주름의 시작점에서 발생함을 확인할 수 있었고, 그 값은 약 280MPa로 계산되었다. Bellows의 STS 316L 소재의 항복강도는 약

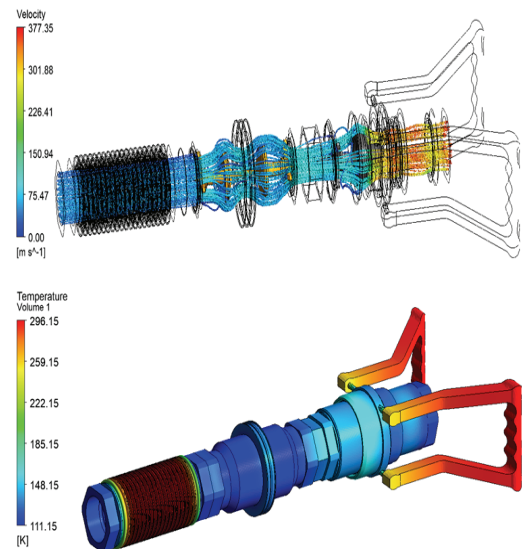


Fig. 4 Temperature distribution of solid part

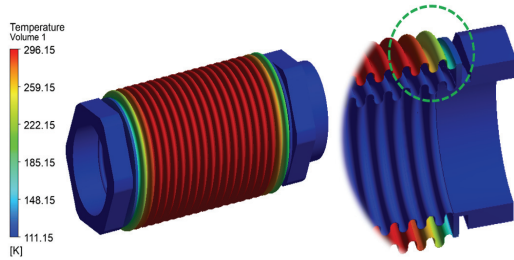


Fig. 5 Temperature distribution of bellows

290MPa이다. 따라서 극저온 유체가 벨로우즈의 내부를 흐르게 될 경우에 열전달에 의한 열응력으로 인해 내구수명이 현저히 저하 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 최적화를 통한 강건 설계로부터 이러한 열응력을 현저히 저감시킬 수 있는 형상모델을 결정하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 극저온의 유체가 15bar의 내압 상태에서 Bellows, ERC, QC/DC 조립체의 내부를 흐르는 유체유동 현상 및 온도분포에 의한 열변형과 내압에 의한 구조변형이 동시에 고려된 유체-열-구조 연성해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 벨로우즈와 QC/DC의 핸들 부분이 상온에 근접한 온도분포 상태임을 확인할 수 있었으며, 가운데 위치한 ERC의 최대 온도는 약 -140℃ 임을 확인할 수 있다.
2. 안쪽과 바깥쪽 주름 사이는 진공 층으로 대류와 전도에 의한 열전달이 발생하지 않는 단열층이 존재하므로 인해 벨로우즈의 바깥쪽 주름의 양쪽 끝단에서의 온도구배가 상당히 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

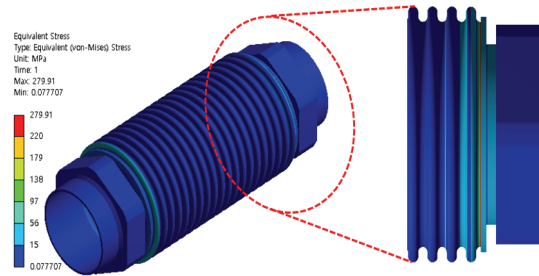


Fig. 6 Thermal stress distribution of Bellows

3. 해석결과 이중 단열 구조를 포함하는 벨로우즈에서의 열응력이 크게 발생함에 따라 향후 최적화를 통한 강건설계로부터 이러한 열응력을 현저히 저감시킬 수 있는 형상모델을 결정하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국산업기술진흥원 경제협력권 산업육성 사업(P0002316)에 의해 진행된 연구이며, 관계자에게 감사함을 전합니다.

참고문헌

- [1] Rohit George Sebastian, Satheesh Kumar S., 2014, "DESIGN OF QUICK CONNECT- DISCONE CT HYDRAULIC COUPLING", Internationa l Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH) Vol.3, No.3, August.
- [2] 정현철, 장성철, 2018, "벨로우즈가 설치된 LNG 병커링 장치", 특허출원, 10-2015-0022189.
- [3] ANSYS User's Guide. Release 17.0.
- [4] Sung-Cheol Jang, Min-Soo Kwon, Chang-Myung Seo, Hyun-Cheol Jung, Jeong-Pil Eom, Kyu-Jin Shim 2018, "Basic Design of QC/DC Bellows for LNG Bunkering Vessel", Proceedings of the

2018, KSPSE Spring Conference.

- [5] Chang-Myung Seo, Min-Soo Kwon, Sung-Cheol Jang, Hyoen-Chul Jeong, Joong-Ho Park, 2018, “Structural Analysis of Ship to Ship Cryogenic Ballows”, Proceedings of the 2018 KSICON Spring Conference.

(접수: 2018.08.28. 수정: 2018.09.10. 게재확정: 2018.09.15.)