

LNG용 비상분리 커플링의 분리 시뮬레이션에 관한 연구

A Study on Dynamic Simulation of Emergency Release Coupling for LNG

김주현* · 조영진* · 장지성** · 지상원***†

Ju-Hyeon Kim*, Yeong-Jin Jo*, Ji-Seong Jang** and Sang-Won Ji***†

(Received 11 October 2022, Revision received 18 October 2022, Accepted 19 October 2022)

Abstract : In this paper, we propose a new model of emergency release coupling, which is an essential safety component mounted on the loading arm and hose of LNG bunkering. The proposed model replaces the existing breaking bolt, the separation operation is made by the ball detent, and the flow path is opened and closed by the poppet. Therefore, rapid reuse is possible even after separation, and excellent leak performance can be expected. A simulation model of the separation characteristics of the proposed emergency release coupling is developed using AMESim. The dynamic characteristics of the body and the plug being quickly separated when a set separation load is applied and the flow path is blocked were verified through simulation. Thus, this verifies the effectiveness of the proposed emergency release coupling separation structure.

Key Words : LNG, Bunkering, Emergency release, Coupling, AMESim

— 기호 설명 —

m : 질량, [kg]
 x : 변위, [m]
 k : 스프링상수, [N/m]
 d : 감쇠계수, [N·s/m]

F : 힘, [N]
 S : 포핏의 유효 수압면적, [m²]
 P : 유체의 압력, [N/m²]
 Q : 유체의 유량, [m³/s]
 u : 유체의 유속, [m/s]
 L : 포핏 유동에서의 검사체적 길이, [m]

*** 지상원(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-9827-4717) : 교수, 부경대학교 에너지수송시스템공학부 기계시스템공학전공
E-mail : jsw@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6190
*김주현(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6079-113X) : 대학원생, 부경대학교 대학원 기계시스템공학과
*조영진(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9829-8498) : 대학원생, 부경대학교 대학원 기계시스템공학과
**장지성(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-9827-5824) : 교수, 부경대학교 에너지수송시스템공학부 기계시스템공학전공

***Sang-Won Ji(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-9827-4717) : Professor, Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University.
E-mail : jsw@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6190
*Ju-Hyeon Kim(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6079-113X) : Graduate student, Department of Mechanical System Engineering, Graduate School, Pukyong National University.
*Yeong-jin Jo(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9829-8498) : Graduate student, Department of Mechanical System Engineering, Graduate School, Pukyong National University.
**Ji-Seong Jang(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-9827-5824) : Professor, Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University.

그리스 문자

ρ : 유체의 밀도, [kg/m³]

α : 포핏 원추부의 각도, [rad]

하첨자

i : 입력

f : 유동

r : 마찰

c : 외부 케이스

b : 바다

l : 플러그

p : 포핏

1. 서 론

최근 선박 배기가스 규제 강화에 따른 대책으로 LNG(liquefied natural gas) 연료 사용이 가장 현실적인 방안으로 대두됨에 따라 LNG 병커링 장비에 대한 수요도 증가하고 있다.¹⁾ LNG 병커링용 비상분리 커플링은 로딩암 및 호스 등에 장착되는 필수 안전부품으로,²⁾ 배관이나 배관 접속부의 파손 등으로 인한 LNG의 대량 누설을 방지하기 위해 LNG 병커링 도중에 허용 외력 이상이 병커링 라인에 인가되면 압수 커플러가 신속히 서로 분리되어 LNG의 흐름을 긴급히 차단한다.

중래의 LNG용 비상분리 커플링은 일정 외력이 상에서 파단되는 파열 볼트(breaking bolt)로 압수 커플러의 접속과 분리가 이루어지고 토션 스프링이 부착된 flip-flap 밸브로 유로 개폐가 이루어지는 방식으로,³⁾ 커플링 접속시에 요구되는 기밀성능 유지가 어려우며 비상분리 후에는 파단 볼트를 교체하여야 하므로 신속한 재사용이 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 케이블 또는 유압 실린더에 의한 일정 외력에 의해 동작되는 구동 슬리브에 의해 홈에 볼이 안착되거나 탈락되어 압수 커플러의 접속과 분리가 이루어지고, 압축 스프링이 부착된 포핏으로 유로 개폐가 행하여지는 LNG용 비상분리 커플링을 새로이 제안한다. Fig. 1

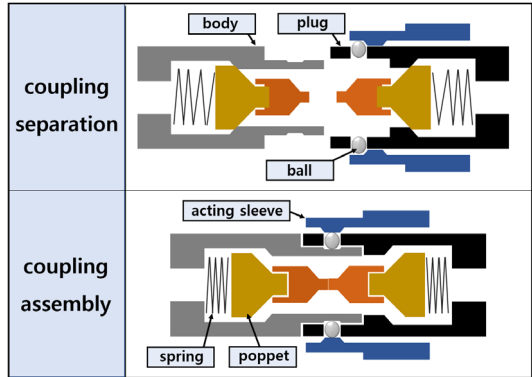


Fig. 1 Main structure of the proposed emergency release coupling

에 나타난 바와 같이 제안된 비상분리 커플링은 볼이 일종의 멈춤쇠로 작용하여 별도의 부품 교체 없이도 압수 커플러의 연속적 탈부착이 가능하여 비상분리 이후에도 신속히 병커링 작업을 재개할 수 있으며, 포핏 밸브에 의해 유로 개폐가 이루어지므로 우수한 기밀성능을 기대할 수 있다.

한편, 제안된 비상분리 커플링의 작동 원리와 유사한 유공압 퀵 커플링에 대한 선행 연구로는 유동해석⁴⁾ 및 구조해석⁵⁾에 관한 일부 연구가 존재하나 유공압 퀵 커플러를 포함하여 LNG용 비상분리 커플링의 분리 특성에 관한 연구는 보고된 바 없었다. 따라서 본 논문에서는 전술한 작동 원리를 구현할 수 있는 시뮬레이션 모델을 구현하고 작동조건을 적용한 분리 시뮬레이션을 수행하여 제안된 비상분리 커플링의 분리 특성 및 유효성을 검증한다.

2. 비상분리 커플링 설계

2.1 3차원 형상 모델

비상분리 커플링에서 요구되는 주요 특성으로는 낮은 압력 강하, 신속한 결합 및 분리, 안전 잠금의 보장 등이 있다.⁶⁾ 커플링을 통과하는 유량은 체결 부품의 형상에 따라 유동 손실을 발생시킬 수 있으므로 내부 형상 설계가 매우 중요하다.⁷⁾ 커플링 내부에서 발생하는 압력 강하는 내부 유로의 마찰 손실과 커플러의 입구와 출구 및 단면

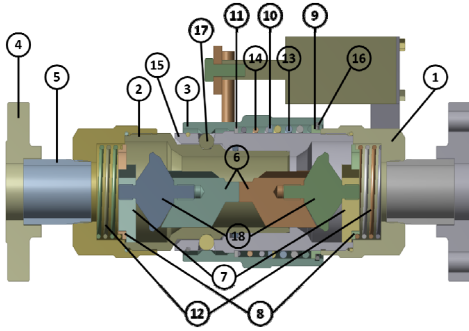


Fig. 2 3D model of emergency release coupling

적의 변화 그리고 내부의 다양한 형상에 따른 부차적 손실 등으로 인하여 발생한다.⁸⁾ 따라서 내부 구조에 따른 유동 손실과 압력 강하가 최소화 되도록 유로 형상을 설계해야 한다.

본 논문에서 제안한 비상분리 커플링의 3차원 상세모델을 Fig. 2에 나타낸다. Fig. 2의 듀얼 타입 비상분리 커플링은 크게 구동부와 작동부로 나뉜다. 구동부는 유압 분리기구와 케이블 분리기구로 구성되고 작동부는 암수로 형성되는 커플러 부재, 커플러 부재의 체결을 위한 체결 부재와 유로 개폐 역할을 담당하는 가변 어셈블리⁹⁾ 등으로 구성되어 있다. 커플러 부재는 수 커플링인 플러그와 암 커플링인 바디로 각각 구성되며, 바디 측에서 플러그 측으로 유체가 공급되는 구조이다. 가변 어셈블리는 포핏 및 가이드로 구성되며 스프링과 함께 유체 관로 내에 형성되어 커플링 분리 시에 유로를 차단하는 역할을 수행한다.

전술한 비상분리 커플링의 3차원 모델은 전술한 기본 구성에 맞춰 플러그와 바디, 두 부품을 결합해주는 작동 슬리브로 이루어져 있으며, 볼과 스프링 등을 이용하여 비상분리 커플링의 분리 메커니즘을 구현할 수 있도록 하였다. 비상분리 커플링 내부는 포핏과 가이드가 결합되어 유로가 형성되는 구조이며, 상기 모델에 사용된 정지링¹⁰⁾은 일종의 지지링의 역할을 수행하여 바디에 삽입되어 있는 조립체가 후방으로 빠지지 않도록 고정하는 역할을 수행한다. Fig. 2에서 번호로 나타낸 각 부품의 명칭과 수량을 Table 1에 나타낸다.

2.2 분리 메커니즘

전술한 비상분리 커플링의 분리 메커니즘 구현을 위해 커플링 작동부를 질량, 댐퍼 및 스프링으로 이루어진 계로 간략히 구성하고 그 개략도를 Fig. 3에 나타낸다.

Table 1 Part name of emergency release coupling

Part No.	Part Name	Quantity
①	Body	1
②	Plug	1
③	Acting sleeve	1
④	Cap(Flange)	2
⑤	Lipple	2
⑥	Front guide	2
⑦	Rear guide	2
⑧	Spring disk	2
⑨	Spring disk	1
⑩	Spring disk	1
⑪	Spring disk	1
⑫	Spring	2
⑬	Spring	1
⑭	Spring	1
⑮	Stop ring	1
⑯	Stop ring	1
⑰	Ball	12
⑱	Poppet	2

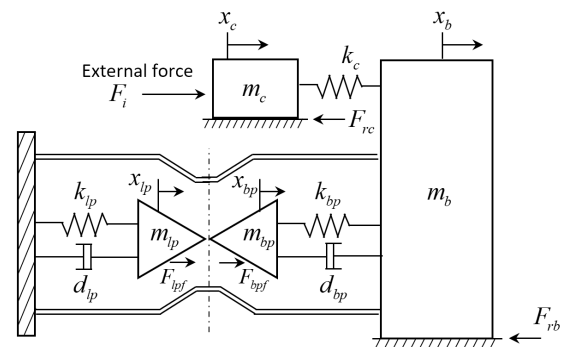


Fig. 3 Schematic diagram of the separation mechanism

Fig. 3에 나타난 비상분리 커플링의 작동부에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$m_c \ddot{x}_c = F_i - F_{rc} - k_c(x_c - x_b) \quad (1)$$

$$m_b \ddot{x}_b = -F_{rb} - k_c(x_b - x_c) - k_{bp}(x_b - x_{bp}) - d_{bp}(\dot{x}_b - \dot{x}_{bp}) \quad (2)$$

$$m_{bp} \ddot{x}_{bp} = -k_{bp}(x_{bp} - x_b) - d_{bp}(\dot{x}_{bp} - \dot{x}_b) + F_{bpf} \quad (3)$$

$$m_{lp} \ddot{x}_{lp} = k_{lp}x_{lp} + d_{lp}\dot{x}_{lp} + F_{lpf} \quad (4)$$

Fig. 3과 식 (3)-(4)에서 F_{bpf} 과 F_{lpf} 는 유체에 의해 각각의 포핏에 가해지는 축방향 힘(F_{af})을 의

미하고, 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.¹¹⁾ 식 (5)의 우변 제1항은 포핏밸브 입출구 양단의 압력차에 의한 힘을 의미하고, 우변 제2항과 제3항은 정상 유동력과 비정상 유동력을 각각 의미한다. 유동력은 흐름의 형태와 시트의 형상에 따라 밸브를 폐쇄하거나 개방하는 방향으로 작용하는 것으로 알려져 있다.

$$F_{af} = S\Delta p - \rho Qu \cos \frac{\alpha}{2} - \rho L \frac{dQ}{dt} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 모델 및 파라미터

3.1 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 제안된 비상분리 커플링 기구부

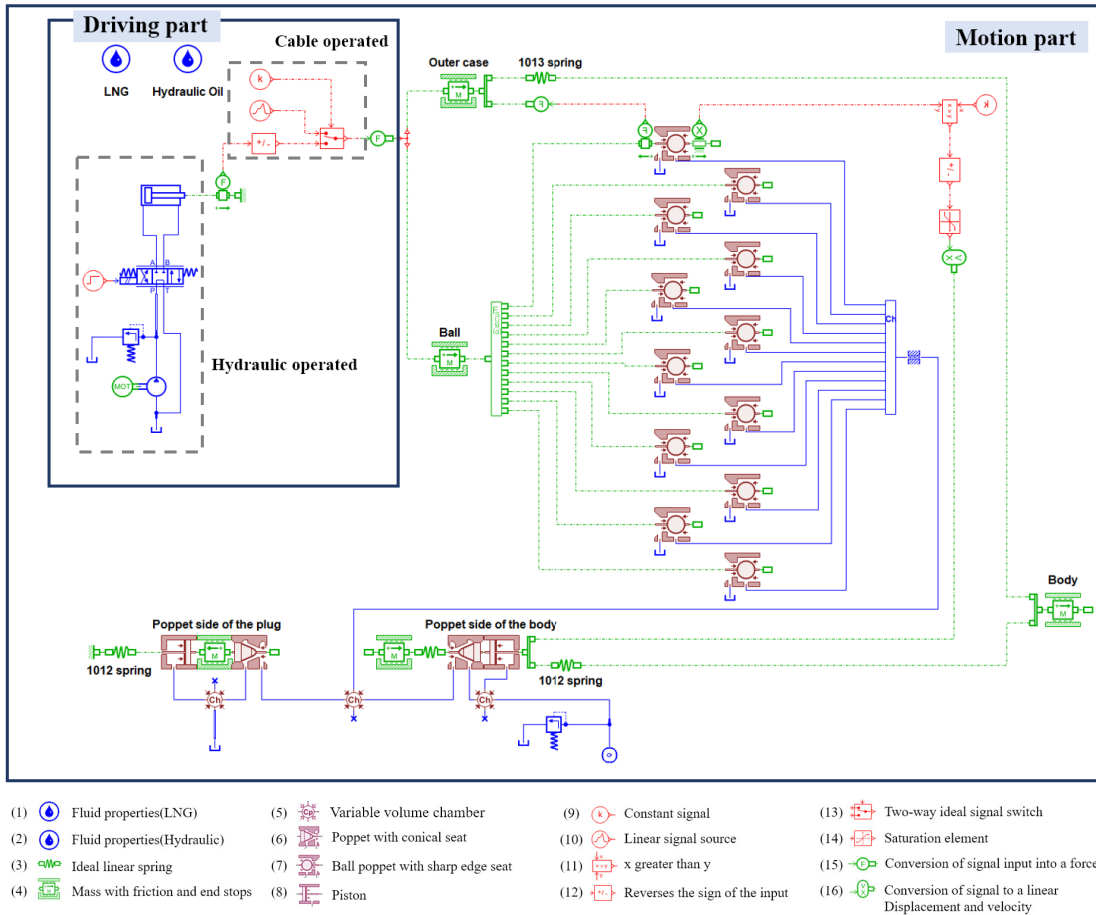


Fig. 4 Simulation model of emergency release coupling using AMESim

의 분리특성 및 유효성 검증을 위하여, 상용 프로그램인 AMESim을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 구현된 비상분리 커플링의 시뮬레이션 모델과 구성요소를 Fig. 4에 나타낸다. 구현된 시뮬레이션 모델은 커플링에 분리 하중을 인가하기 위한 유압 구동부와 케이블 구동부, 비상분리 커플링 작동부로 구분할 수 있다. 유압 구동부는 전동기, 유압펌프, 릴리프 밸브, 방향 제어 밸브, 유압 실린더로 구성되어 있으며, 케이블 구동부는 인가되는 외력을 분리 하중으로 적용하는 케이블 등으로 구성되어 있다. 그 외 구성요소는 비상분리 커플링의 작동부 요소를 나타낸 것으로, 작동 슬리브, 바디, 볼, 포핏 등이 사용되어 구성되었다. 상기 시뮬레이션 모델에서는 구동부를 통한 외력이 분리력으로 작동 슬리브에 인가되고, 작동 슬리브가 일정 변위 이상 이동하면 볼이 탈락되어 바디와 플러그가 분리되는 동작 특성을 구현하였다.

3.2 시뮬레이션 파라미터

커플링에 인가되는 분리 하중은 기존 LNG 재액화 장치 기준에 근거하여 441 N 이상의 외력이 인가될 수 있도록 설정하고 커플링의 내부 통과 유량은 분당 600 L의 유체가 흐르도록 설계하였다. 유압 구동부에 사용된 유체는 ISO VG 46으로 유압 액추에이터 사양은 Table 2와 같이 설정하였다. 그 밖의 유압 구동부에 적용된 구성요소 사양은 Table 3에 나타낸다. 그 외의 주요 구성 요소별 질량 및 체적 등을 Table 4에 나타낸다. Table 4에 나타낸 포핏은 커플링 유로 형성을 위해 전방 가이드와 후방 가이드가 결합되어 있는 구조로, 포핏과 가이드의 질량을 모두 고려하여 하나의 질량체로 가정하였다. 시뮬레이션 모델에 사용된 스프링 사양은 Table 5에 나타낸다.

Table 5에 나타낸 1012 스프링은 Fig. 2에서 포핏 후방에 위치한 압축 스프링을 의미하며, 1013 스프링은 작동 슬리브와 바디 사이에 연결되어 있는 스프링을 각각 의미한다.

Table 2 Parameter of hydraulic actuator

Parameter	Value	Unit
Piston diameter	30	mm
Rod diameter	20	mm
Length of stroke	50	mm
Maximum operating pressure	14.3	MPa
Minimum operating pressure	0.31	MPa
Weight	2.65	kg

Table 3 Parameter of hydraulic drive

Component	Parameter	Value	Unit
Relief valve	Cracking pressure	0.1	MPa
Control valve	Type	4 port 3 position	
	Rated current	40	mA
Hydraulic pump	Displacement	4.8	cc/rev
	Speed	1000	rev/min

Table 4 Volume and mass of main component

Component	Volume [mm ³]	Mass [g]
Outer case	397.86	3182.9
Body	580.31	4642.5
Plug	282.07	2256.5
Poppet	108.59	1048.8

Table 5 Spring constant

Component	Spring constant [N/m]
1012 spring	190
1013 spring	637

Table 6 Parameter of poppet with conical seat

Parameter	Value	Unit
Diameter of poppet	71.2	mm
Diameter of cone	63.5	mm
Diameter of hole	60	mm
Diameter of rod	40	mm
Seat half angle	33	degree
Needle cone half angle	60	degree

본 시뮬레이션 모델에 적용된 포핏은 형상에 따른 압력 강하를 최소화하기 위하여 원추형 포핏을 적용하였다. 가이드는 커플링 내부에서 발생하는 압력 강하를 최소화하기 위해 가이드 날개 부가 120도 간격으로 배치된 방사형 구조¹²⁾로 설계하였다. 포핏의 변위는 원추형 포핏 개구면적에 상응하는 거리가 될 수 있도록 설계되어야 하므로¹³⁾ 해당 조건을 만족하기 위해 포핏과 결합된 가이드를 포함하여 개구 면적 및 길이를 도출하였으며, 계산된 포핏 사양을 Table 6에 나타내었다.

한편, 바디와 플러그의 결합을 지지해주는 일종의 멈춤쇠 역할을 수행하는 볼을 구현하기 위해 시뮬레이션 모델에 볼 형상의 포핏 구성요소를 적용하고 12개의 볼을 연결하여 모델을 구성하였으며, 볼에 가해지는 LNG의 압력을 이용하여 작동 슬리브와 볼에 가해지는 마찰력을 도출하였다.

4. 시뮬레이션 결과

Fig. 4에 나타난 AMESim 시뮬레이션 모델과 Table 2~5의 파라미터를 이용하여 전술한 비상분리 커플링에 요구되는 분리 하중에 해당하는 외력을 인가하여 분리 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용된 분리 하중을 Fig. 5에 나타낸다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 6초경부터 외력이 인가되기 시작하고 인가 외력의 최종치는 분리 성능 기준인 허용 외력의 상한치에 근거하여 약 6.70 초에 441 N 이상이 되도록 설정하였다. Fig. 5의 외력에 의한 외부 케이스, 볼, 바디 및 포핏의 변위를 Fig. 6에 각각 나타내었다. Fig. 6에서 검은색 실선은 외부 케이스, 붉은색 파선은 볼, 파란색 일점 쇄선은 바디, 초록색 이점 쇄선은 포핏의 변위를 각각 의미한다. 설계 기준인 허용 외력의 상한치인 441 N이 인가되는 6.70 초에 일종의 작동 슬리브인 외부 케이스가 움직이기 시작하고 6.72 초에 12 mm의 최종 변위가 발생함을 알 수 있다. 외부 케이스의 이동이 완료되면 이어서 6.73 초에 볼이 움직이기 시작하여 6.74 초에 4.35 mm 이동하여 볼이 홈에서 이탈을 완료한다. 이후 6.74초에

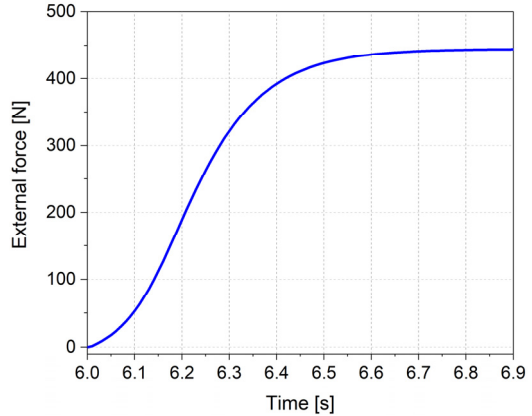


Fig. 5 External force acting as separation load

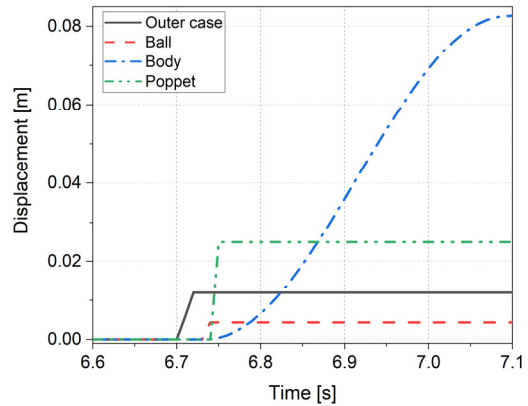


Fig. 6 Displacements of outer case, ball, body and poppet due to separation load

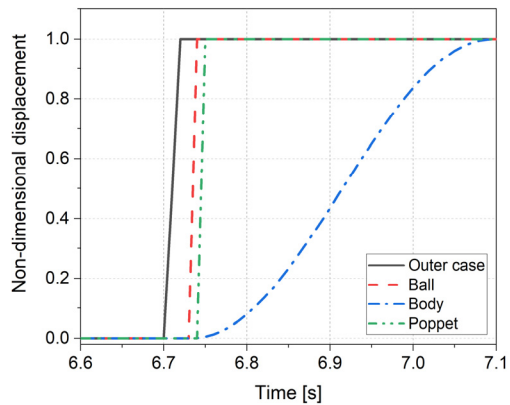


Fig. 7 Non-dimensional displacements of outer case, ball, body and poppet

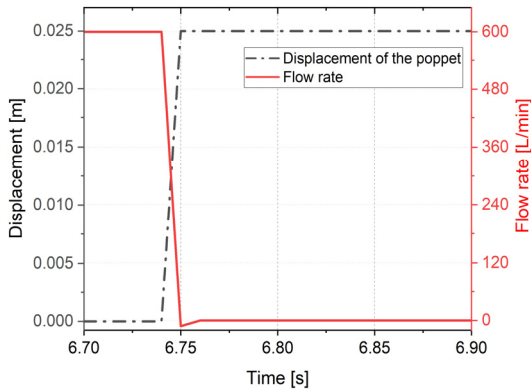


Fig. 8 Displacement and flow rate of poppet

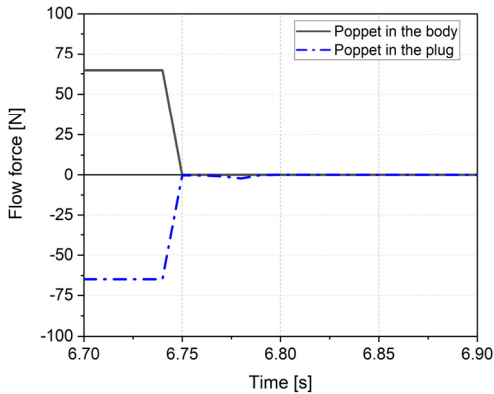


Fig. 9 Flow force of the body's and plug's poppet

바디와 포핏이 거의 동시에 움직이기 시작하여 비상분리 커플링의 분리가 시작되고, 포핏은 6.75 초에 25 mm의 최종 변위가 발생하여 완전히 닫히게 됨을 알 수 있다. Fig. 6에 나타난 주요 부품들의 변위를 무차원화하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6과 7의 시뮬레이션 결과로부터, 설정된 분리력 이상의 힘이 커플링에 인가되면 일종의 작동 슬리브인 외부 케이스가 이동하여 불이 탈락되고, 이후 바디와 플러그가 분리됨과 동시에 포핏 측 스프링이 인장되면서 포핏이 전진하여 유로가 차단되는 분리 메커니즘이 적절히 구현되었음을 알 수 있다.

Fig. 8에 검은색 일점 쇄선으로 표시된 바디 측 포핏의 변위와 붉은색 실선으로 표시된 포핏의 통과 유량을 각각 나타낸다. 포핏의 변위에서 체

터링이 관찰되지 않음에도 불구하고 포핏이 완전히 폐쇄되는 6.75초경에 일시적으로 미소한 음의 유량이 관찰되고 있는데, 이것은 일종의 수격현상에 의해 발생하는 것으로 사료된다. Fig. 9에 축소 흐름과 확대 흐름이 발생하는 바디 측과 플러그 측 포핏의 유동력을 각각 나타낸다. 바디 측과 플러그 측의 유동력은 서로 역의 방향으로 작용하여 동일 크기로 각 포핏을 개방하는 방향으로 작용함을 알 수 있다. 그러나 분리 이후에는 포핏 양단의 압력차가 증가하여 유동력의 비중이 현저히 감소하게 되므로, 실제 커플링의 분리 특성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 불이 일종의 멈춤쇠로 작용하여 비상분리 이후에도 별도의 부품 교체 없이 신속히 병커링 작업을 재개할 수 있으며, 포핏 밸브에 의해 유로 개폐가 이루어지므로 우수한 기밀성능을 기대할 수 있는 비상분리 커플링을 새로이 제안하고, 분당 유량이 600 L급인 비상분리 커플링의 3차원 모델을 설계하였다. 유동 손실과 압력 강하가 최소화되도록 유로 형상을 고려하여 모델을 설계하였으며, 설계한 모델을 통해 작동부 메커니즘을 검토하여 부품별 치수 등의 사양을 최종 선정하였다.

제안된 비상분리 커플링의 분리 특성 및 유효성을 검증하기 위해 AMESim을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 시뮬레이션 모델은 설정된 분리력 이상의 힘이 커플링에 인가되면 일종의 작동 슬리브인 외부 케이스가 이동하여 불이 탈락되고, 이후 바디와 플러그가 분리됨과 동시에 포핏 측 스프링이 인장되면서 포핏이 전진하여 유로가 차단되는 분리 메커니즘이 작동하도록 구현되었다. 비상분리 커플링에 분당 600 L의 유량을 흘려보내고 441 N 이상의 분리 하중을 인가하는 분리 시뮬레이션을 수행하여 제안된 비상분리 커플링의 분리 특성 및 유효성을 검증하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 비상분리 커플링에 설정된 분리 하중 이상의 힘이 인가되면 약 0.04초

경과하여 바디와 플러그가 서로 분리되기 시작하고, 약 0.05초 이후 신속히 유로가 차단되는 양호한 분리 특성을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 커플링의 밀폐 요소인 바디 측과 플러그 측의 포핏은 서로 마주 보게 배치되어 있으므로, 서로 역의 방향인 유동력이 각 포핏을 개방하는 방향으로 작용하고 있으나, 분리 이후에는 포핏 양단의 압력차가 증가하여 유동력의 비중이 현저히 감소하므로, 유동력의 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

후속 연구로는 일종의 멈춤쇠로 작용하는 볼의 형상에 따른 정밀 동적모델을 도출하여 시뮬레이션 모델의 정확도를 개선하고 실험을 통해 본 논문에서 제안된 LNG용 비상분리 커플링의 유효성 실증 등이 있다.

후 기

이 논문은 2019학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(CD20191538).

Author contributions

J. H. Kim; Formal analysis, Software, Writing-original draft. Y. J. Jo; Investigation, Methodology. J. S. Jang; Validation. S. W. Ji; Conceptualization, Writing-review & editing.

References

1. S. Y. Seo and S. W. Cho, 2014, "A Study on Floating Offshore LNG Bunkering System and its Economic Analysis", Journal of Korea Port Economic Association, Vol. 30, No. 4, pp. 69-89.
2. ISO T.C. 67, 2016, "Petroleum and Natural Gas Industries—Design and Testing of LNG Marine Transfer Arms for Conventional Onshore Terminals", ISO 16904. (<https://doi.org/10.3403/30278078>)
3. H. H. Ahn and C. S. Yi, 2016, "Flip-Flap Valve-Type Breakaway Coupling through Reverse Engineering", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 16-22. (<https://doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.4.016>)
4. Z. Huaifa and S. Yongliang, 2017, "Research on the Breaking of Break-Away Coupling at LNG Loading Arm Based on Explicit Analysis", Natural Gas and Oil, Vol. 35, No. 4, pp. 36-40.
5. B. G. Choi, H. H. Ahn, H. T. Kim, Y. W. Kim, W. J. Lee, B. T. Kim and I. Kang, 2016, "A Study on Break-Away Bolt Design for a Marine Safety Break-Away Coupling Based on Elastic Stress Analysis", Proceeding of the AETA 2016, pp. 520-526. (https://doi.org/10.1007/978-3-319-50904-4_56)
6. S. M. Yeo, 2017, "A Study on Pressure Drop Characteristics of a Quick Coupling", MS thesis, Gyeongsang National University, Jinju, Korea.
7. R. Selvam and G. B. Loganathan, 2020, "Product Detail and Analysis of Hydraulic Quick Releasing Coupling", Materials Today: Proceedings 22, pp. 751-755. (<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.081>)
8. H. K. Joe, Y. C. Park, K. G. Kim, H. I. Park, J. S. Kim, S. M. Jang and H. H. Kim, 2016, "Study on Flow Characteristics with Changing the Internal Shape of the Quick Coupling for Aviation Fuel", Proceeding of the KSPE 2016, pp. 379-380.
9. S. S. Kim and S. W. Cho, 2016, "The Research about Pressure Drop Characteristics through the Improvement of Quick Coupler for Oil Pressure", Proceeding of the KSPE 2016, pp. 510-511.
10. R. G. Sebastian and S. Kumar, 2014, "Design of Quick Connect-Disconnect Hydraulic Coupling", International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 3, pp. 43-54.

- (<https://doi.org/10.14810/ijmech.2014.3304>)
11. S. Konami and T. Nishiumi, 2016, "Hydraulic Control Systems : Theory and Practice", World Scientific Publishing Company, Singapore, pp. 125-127. (<https://doi.org/10.1142/9970>)
 12. P. J. Prickett, 1984, "An Investigation into the Effects of Centrifugal Forces on the Gripping Force of A Diaphragm Chuck", MS thesis, Loughborough University, Loughborough, England, pp. 19-31.
 13. S. B. Park, G. B. Kim, C. H. Jeon, S. N. Yun and B. S. Kweon, 2009, "A study on the Relief Valve Modeling and Performance Analysis of Hydrogen Compressor", Transaction of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 3, pp. 179-187.