

LNG 저장 탱크 운반선 9% Ni Steel의 용접성에 대한 실험분석과 메타분석 연구

박상흡, 안덕현*

공주대학교 기계공학과, 한국가스기술공사 기계팀

Laboratory and Meta Analysis for 9% NI Steel of Liquefied Natural Gas Carrier

Sang Heup Park, Duck Hyun Ahn*

Department of Engineering, Kongju University,

Department of Technology, Kogas-Tech

요약 본 연구는 LNG 저장 탱크 운반선 9% NI Steel에 대한 실험분석과 메타분석 연구이다. 본 연구는 LNG 저장 탱크 운반선 9% NI Steel에 대한 선행연구에 기초해서 메타분석을 수행한 후에, 9% Ni Steel의 패스(pass)와 다층용접(multi pass)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석하기 위하여 충격반응검정(impulse-response test)을 통한 실험분석을 수행하였다. 본 연구의 실험분석 결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다, 첫째, 9% Ni Steel의 다층용접(multi pass welding)에 대한 인장강도(tensile strength)를 시험한 결과 패스 1부터 패스 3까지 인장강도가 증가하였으나, 패스 3 이후부터 다층용접의 인장강도는 감소하는 것으로 보인다. 둘째, 다층용접(Multi pass welding)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석한 결과, 패스(pass), 다층용접(multi pass)이 인장강도(tensile strength)에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 보인다. 용접시간(welding time)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석한 결과, 용접시간(welding time), 인장강도시간(tensile time)이 인장강도(tensile strength)에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 보인다.

Abstract Laboratory and meta-analyses were done for 9% NI Steel for use in a liquefied natural gas carrier. The meta-analysis is based on a previous study. The laboratory analysis examines the effects of a single pass and multiple passes on the tensile strength through an impulse-response test. The tensile strength increased from pass one to pass three and decreased from pass four to pass ten. The pass and multi-pass welding had a positive effect on the tensile strength. Lastly, the welding and tensile time had a positive effect on the tensile strength.

Keywords : Impulse-response test, Laboratory analysis, LNG carrier, Meta analysis, Multi pass welding, Tensile strength, 9% Ni Steel.

1. 서론

1.1 LNG 저장 탱크 운반선 9% NI Steel에 대한 연구배경

LNG 관련제품을 개발하고 공급하는 전 세계적인 기업들은 LNG저장 탱크 운반선에 대해서 9% Ni steel 소재를 활용하기 위한 실무적 혹은 학술적 연구를 활발하

게 하고 있다. 일본의 경우는 LNG 선박에 탑재되는 SPB형의 탱크 소재로 사용되는 A5083-O 소재 관련 논문이 가장 많고, 다음으로 육상 LNG 기지 건설에 사용되는 9% Ni steel 관련 논문, Mark-III형 탱크 소재인 STS 304 스테인레스강 순으로 연구되고 있다. 또한 9% Ni steel을 이용한 LNG 탱크 구축 시 사용되는 용접법으로 SAW, 자동 GTAW 등이 사용되고 있다. 일본에서

*Corresponding Author : Duck Hyun Ahn (Kogas-Tech)

Tel: +82-10-5399-6884 email: adh99976@naver.com

Received November 7, 2016

Revised December 7, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

는 2003년부터 육상의 Prestressed Concrete LNG 탱크 구축에 1토치 2전극방식의 고능률의 GTAW가 개발되어 현장에 적용되고 있는데, 이 용접방법은 용접속도의 고속화와 고용착화가 가능하여 입향 상진 용접에서도 안정적인 용입을 얻을 수 있으며, 판상 전극의 채용으로 내로우 갭 용접에도 적용이 가능하다. 중국의 경우는 스테인레스강 관련 용접연구가 가장 많으며, 이 외에 육상의 LNG 기지 건설용의 9% Ni steel 소재 관련 용접연구가 있다. 우리나라의 경우, LNG 기지건설용 고정식 탱크 소재인 9% Ni steel의 용접에 관한 연구를 보면 용접부의 강도와 건전성 검증에 치우쳐 있고, 용접공정의 효율화와 생산성 향상을 위한 연구개발이 미진한 상태이기 때문에 이 분야의 공정개선 노력이 요구되는 상황이다. 본 연구에서는 LNG저장 탱크 운반선에 대해서 9% Ni steel에 대한 선행연구에 기초해서 기존의 선행연구들의 문제점과 연구방향을 제시하고자 한다. 이 LNG저장 탱크 운반선에 대해서 9% Ni steel에 대한 메타분석은 LNG저장 탱크 운반선에 대해서 9% Ni steel에 대한 연구동향을 분석해 보고, 특히 9% Ni steel 소재의 효과성을 제시한 선행연구들을 실험연구(laboratory research)와 메타연구(meta research)를 적용하여 분석하고 기존 연구의 문제점을 진단함과 동시에 향후 연구방향을 제시하고자 한다[1-3].

1.2 LNG 저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 연구동향

LNG 저장 탱크는 PC-외부탱크 일체식으로 방액벽을 프리 스트레스트 콘크리트(PC: Pre-stressed concrete)재로 하여 외부탱크에 밀착시킨 형태로 사용하며, 내부탱크 소재로 9% Ni steel이 해상의 부유식 저장탱크에 주로 사용되고 있으며, 최근에 7% Ni steel과 High Mn steel이 개발되어 실용화 단계에 있다. 9% Ni steel 소재의 가격을 낮추기 위해서 일본에서는 7% Ni-TMCO steel을 개발해서 육상의 고정식 저장탱크 건설에 적용하고 있다. LNG저장 탱크 운반선에 9% Ni steel이 주로 많이 사용되고 있지만, LNG 탱크와 같은 대형 구조물을 용접하는 데 있어서 용접금속의 강도 및 열팽창 계수가 모재와 유사해야 하고, 극저온에서의 높은 충격인성, 우수한 용접작업성 등이 수반되어야 한다[4-9].

9% Ni steel을 용접하는데 있어서 용접금속의 고온균열, 용접열영향부의 균열, 성분의 회석, 용입부족, 아크

솔립 등의 문제점이 나타날 수 있다.

- 1) 9% Ni steel과 Ni계 합금은 용접과정에서 직전 Pass의 잔존 열에 대한 영향을 받기 때문에 다층 용접(Multi pass welding)이 9% Ni steel 모재의 용접금속 성능에 큰 영향을 미친다[4-6].
- 2) 용접금속의 고온균열은 Ni계 합금은 오스테나이트 조직이기 때문에 기본적으로 고온균열이 발생하기 매우 쉬우며, 용접전류, 운봉비가 높을수록 내부균열이 발생하는 문제가 있다[5-6].
- 3) 용접열영향부의 균열은 고니켈합금으로 9% Ni steel을 용접하는 경우에는 용접열영향부에 균열이 발생할 가능성은 거의 없지만 흡수한 용접재료를 사용한 경우에는 열영향부에 저온균열이 발생할 가능성이 있다[6-8].
- 4) 성분의 회석은 9% Ni steel과 Ni계 합금은 화학성분이 크게 상이하기 때문에 9% Ni steel 모재의 회석이 용접금속 성능에 큰 영향을 미친다[7-8].
- 5) 용입부족은 Ni계 합금은 9% Ni steel에 비하여 용접이 150℃ 정도 낮기 때문에 탄소강의 용접에 비해 용입량이 작아 용입불량을 일으키기 쉽다[7-8].
- 6) 아크솔립은 Ni steel은 연강에 비해 자장의 영향으로 자성을 띄기 쉬워 9% Ni steel 용접에 있어서는 자기 아크솔립이 문제로 발생한다[8-9].

2. 본론

2.1 통계분석 절차

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 기존의 연구들을 보면 실무적으로 유효성(얇은 시트 및 스트립, 플레이트, 튜브, 바/로드, 와이어), 용접방법(GMAW, SMAW, GTAW, SAW), 용접소모품 등을 비교분석하여 활발하게 현장에서 적용되고 있으나, LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 학술연구가 체계적으로 연구되고 있지 않아서 기존 연구에 대한 인용이 미흡한 상태이다.

본 연구의 자료처리는 실험연구(laboratory research)와 메타연구(meta research)를 적용하여 다음 두 단계로 수행되었다.

첫 번째 단계는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel의 다층용접(multi pass welding)에 대한 실험연구가 미흡

하게 수행되었기 때문에 9% Ni Steel에 대해서 다음과 같이 실험연구(raboratory research)를 수행하였다

- 1) 9% Ni Steel의 다층용접(multi pass welding)에 대한 효과를 분석하기 위해서 t4×50mm×150mm 시편 10개에 STS 308 용접봉을 사용하여 다층용접 (Multi pass welding)을 수행하였다.
- 2) 인장강도(tensile strength)를 측정하기 위하여 1차적으로 t4×50mm×150mm 시편을 t4×3mm×150mm 시편으로 재가공하여 20톤 인장압축시험기(20ton)를 이용하여 extensometer (-10%~100% strain)를 적용하여 인장강도(tensile strength)를 시험하였다.
- 3) 다층용접(Multi pass welding)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석하기 위하여 패스(pass), 다층용접(multi pass), 용접시간(welding time), 인장시간(tensile time), 인장강도(tensile strength) 등의 변수를 측정하여 실험연구에 사용하였다.

두 번째 단계는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 기존의 연구를 체계적으로 재 검토하기 위해서 다음과 같이 메타분석(meta analysis)을 수행하고자 한다.

- 1) LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 연구에 대한 효과를 분류하고 코딩하기 위한 단계이다. 본 연구는 이 분야에 해외연구 9편을 최신성과 인용 지수에 기초하여 추출한 후 코딩하였다.
- 2) LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 연구의 일치도를 측정하기 위한 단계이다. 분석단계별 일치도는 총빈도와 서로 동의한 빈도를 구한 후 연구 단계별 동의한 빈도를 총빈도로 나누고 그 값에 관찰자 수를 곱하여 구하였다. 분석단계별 일치도는 0.90 이상으로 도출되도록 분석하였으며, 여러 번의 반복적인 시뮬레이션을 수행하여 일치도를 높였다.
- 3) LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 연구의 일반적인 경향과 효과크기를 측정하고 분석하기 위한 단계이다. 실험집단과 통제집단 간 평균 및 표준편차 또는 t값, F값, p값을 사용하여 각 논문의 종속변수별로 효과 크기 Hedges' d값을 산출하였다. 효과크기의 유의성은 95% 신뢰구간을 기준으로 평가하였고 통계적 동질성 여부를 확인하기 위해 이질성을 확인한 후 고정효과와 임의효과를 분

석하였으며, CMA2(Comprehensive Meta-Analysis Version 2) 통계패키지를 사용하여 메타분석을 수행하였다.

2.2 실험분석 결과

2.2.1 인장강도 시험편

인장강도(tensile strength)를 측정하기 위하여 1차적으로 t4×50mm×150mm 시편을 t4×3mm×150mm 시편으로 재가공하여 20톤 인장압축시험기(20ton)를 이용하여 extensometer (-10%~100% strain)를 적용하여 인장강도(tensile strength)를 시험하였다.

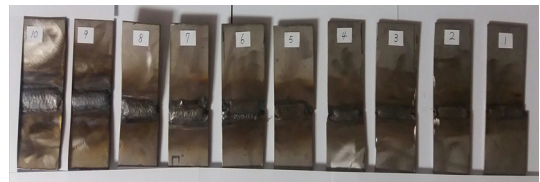


Fig. 1. Testing material for 9% Ni steel

9% Ni Steel의 용접인장강도(tensile strength)를 시험하기 위하여 패스(pass), 다층용접(multi pass), 용접시간(welding time), 인장시간(tensile time), 인장강도(tensile strength) 등의 변수를 시험하였다.

Table 1. Testing materials for tensile strength

Testing materials	Size (mm)	Thickness (mm)	Pass	Multi pass	Welding time (seconds)	Tensile time (seconds)	Tensile strength (kgf)
TM1	50*150	4	1	1	60	13.23	850.46
TM2	50*150	4	2	1	70	13.56	567.47
TM2	50*150	4	3	1	80	13.42	884.82
TM4	50*150	4	4	1	90	13.31	898.09
TM5	50*150	4	5	1	100	13.78	911.56
TM6	50*150	4	6	0	110	13.34	914.29
TM7	50*150	4	7	0	120	13.11	918.86
TM8	50*150	4	8	0	130	13.33	921.61
TM9	50*150	4	9	0	140	13.98	923.45
TM10	50*150	4	10	0	150	13.87	925.29

2.2.2 다층용접이 인장강도에 미치는 영향

9% Ni Steel의 패스(pass)와 다층용접(multi pass)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석하기 위하여 충격반응검정(impulse-response test)을 수행하였다. 패스(pass), 다층용접(multi pass)과 인장강도(tensile

strength) 간의 관계에 대한 충격반응함수는 다음과 같다. 충격반응함수는 최대시차수의 결정은 Akaike Information Criterion 기준과 Schwarz Criterion 기준을 통하여 적정시차를 2로 하였으며 충격반응기간은 10으로 하였다.

첫째, 인장강도(tensile strength)에 대한 충격반응함수는 다음과 같다.

$$TS_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 PA_{t-j} + \sum_{j=1}^2 MP_{t-j} + \epsilon_t$$

둘째, 패스(pass)에 대한 충격반응함수는 다음과 같다.

$$PA_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 PA_{t-j} + \sum_{j=1}^2 MP_{t-j} + \epsilon_t$$

셋째, 다층용접(multi pass)에 대한 충격반응함수는 다음과 같다.

$$MP_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 PA_{t-j} + \sum_{j=1}^2 MP_{t-j} + \epsilon_t$$

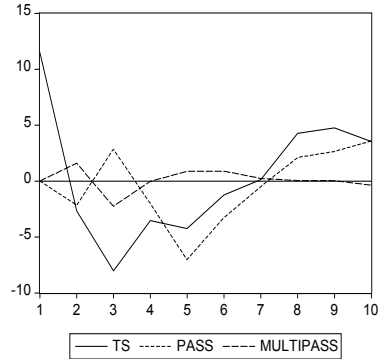
9% Ni Steel의 패스(pass)와 다층용접(multi pass)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 충격반응함수로 분석한 결과 패스(pass)와 다층용접(multi pass)이 실시될수록 인장강도(tensile strength)에 지속적으로 충격을 미치는 것으로 나타났다.

2.2.3 용접시간이 인장강도에 미치는 영향

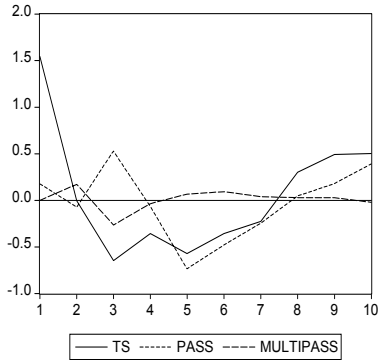
9% Ni Steel의 용접시간(welding time)과 인장강도시간(tensile strength time)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석하기 위하여 충격반응점정(impulse-response test)을 수행하였다. 용접시간(welding time), 인장강도시간(tensile strength time)과 인장강도(tensile strength) 간의 관계에 대한 충격반응함수는 다음과 같다. 충격반응함수는 최대시차수의 결정은 Akaike Information Criterion 기준과 Schwarz Criterion 기준을 통하여 적정시차를 2로 하였으며 충격반응기간은 10으로 하였다.

첫째, 인장강도(tensile strength)에 대한 충격반응함수

Response of TS to One S.D. Innovations



Response of PASS to One S.D. Innovations



Response of MULTIPASS to One S.D. Innovations

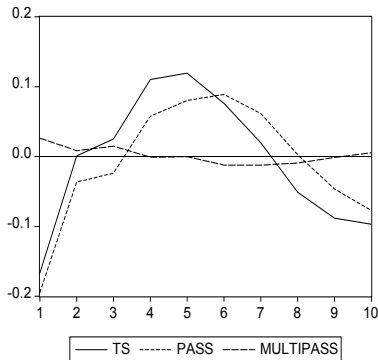


Fig. 2. Impulse-response test for multi pass and tensile strength in 9% Ni steel

는 다음과 같다.

$$TS_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 WT_{t-j} + \sum_{j=1}^2 TT_{t-j} + \epsilon_t$$

둘째, 용접시간에 대한 충격반응함수는 다음과 같다.

$$WT_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 WT_{t-j} + \sum_{j=1}^2 TT_{t-j} + \epsilon_t$$

셋째, 인장강도시간(tensile strength time)에 대한 충격반응함수는 다음과 같다.

$$TT_t = \alpha + \sum_{j=1}^2 TS_{t-j} + \sum_{j=1}^2 WT_{t-j} + \sum_{j=1}^2 TT_{t-j} + \epsilon_t$$

9% Ni Steel의 용접시간(welding time)과 인장강도시간(tensile strength time)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 충격반응함수로 분석한 결과 패스(pass)와 다층용접(multi pass)이 실시될수록 인장강도(tensile strength)에 지속적으로 충격을 미치는 것으로 나타났다.

2.3 메타분석 결과

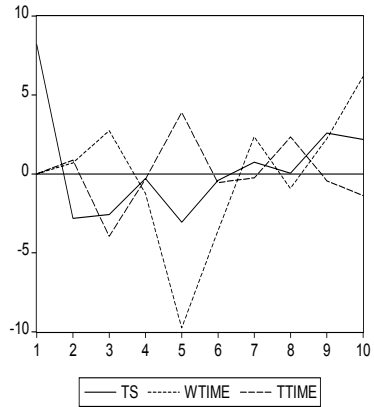
2.3.1 LNG 저장 탱크의 AI5083-O 용접 기술 연구에 대한 기술통계량

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 기술통계량을 보면 전체 9편의 논문들에 대해서 Point와 Study Variance를 비교분석한 결과, Oh et al.(2015)의 연구(Point=1.705, Study Variance=1.466)가 다른 논문들에 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 효과를 잘 추정하는 연구인 반면에, Grieve(2012)의 연구는 효과가 가장 낮은 연구로 보인다. LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 Oh et al.(2015), Smith and Craig(2001), Nishigami et al.(2012), Khourshid and Ghanem(2012), Toussaint et al.(2000), Kruzic(2004), Kim et al.(2004), Yang(2006), Grieve(2000) 순으로 효과차이를 보였다.

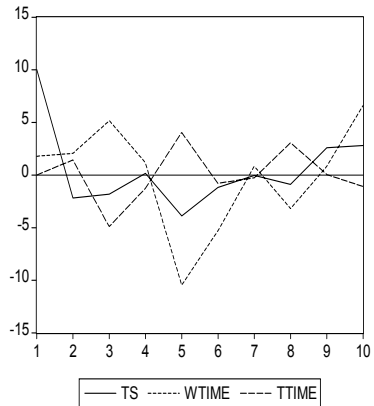
2.3.2 LNG 저장 탱크의 AI5083-O 용접 기술 연구에 대한 고정효과와 임의효과

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 전체 9편의 논문들에 대해서 고정효과(fixed effect)와 임의효과(random effect)를 분석한 결과 두 가지 효과가 모두 같은 값이 도출되어서 본 연구에서는 고정효과모형이 적합한 것으로 판단된다. 고정효과모형의 검증 결과(Point=3.266, Z=2.618, p=0.009)를 기준하였을 때, 전

Response of TS to One S.D. Innovations



Response of WTIME to One S.D. Innovations



Response of TTIME to One S.D. Innovations

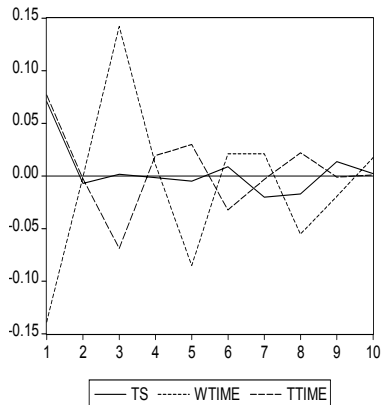


Fig. 3. Impulse-response test for welding time and tensile strength in 9% Ni steel

체 9편의 논문들 중에서 Oh et al.(2015), Smith & Craig(2001), Nishigami et al.(2012), Khourshid and

Ghanem(2012), Toussaint et al.(2000), Kruzic(2004), Kim et al.(2004), Yang(2006), Grieve(2000) 순으로 고정효과가 높은 것으로 나타났다. Oh et al.(2015)의 연구(Odds ratio=5.500, Z=1.408)는 다른 8편의 논문들에 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 효과를 잘 추정하는 연구결과로 보인다.

Table 2. Fixed and random effect for 9% Ni steel of LNG storage tank studies

Study name	Odds ratio	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Oh et al., 2015	5.500	0.513	59.014	1.408	0.159
Khourshid & Ghanam, 2012	3.750	0.325	43.313	1.059	0.290
Nishigami et al., 2012	5.000	0.344	72.767	1.178	0.239
Kruzic, 2004	3.000	0.150	59.890	0.719	0.472
Kim et al., 2004	2.200	0.172	28.137	0.606	0.544
Smith & Craig, 2001	5.000	0.492	50.831	1.360	0.174
Yang, 2006	1.000	0.034	29.807	0.000	1.000
Grieve, 2012	1.000	0.020	50.397	0.000	1.000
Toussaint et al., 2000	3.194	0.315	32.356	0.983	0.326
Fixed effect	3.266	1.347	7.921	2.618	0.009
Random effect	3.266	1.347	7.921	2.618	0.009

2.3.3 LNG 저장 탱크의 AI5083-O 용접 기술 연구에 대한 누적효과

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 누적효과 분석은 전체 9편의 논문들을 누적해서 논문의 누적효과를 보여주고 있다. 고정효과모형의 검증 결과(Point=3.266, Z=2.618, p=0.009)를 기준하였을 때, 전체 9편의 논문들 중에서 Oh et al.(2015), Khourshid and Ghanem(2012) 등 2편의 논문까지 누적효과가 유의하지 않은 것으로 나타났다. Oh et al.(2015)의 연구(Point=5.500, Z=1.408), Khourshid and Ghanem(2012)의 연구(Point=4.568, Z=1.748) 등은 유의수준 p<.05에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 검증되었다. 이는 Oh et al.(2015), Khourshid and Ghanem(2012) 등 2편의 연구는 다른 7편의 연구에서 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 누적효과가 상대적으로 낮은 연구결과로 보인다.

Table 3. Cumulative effect for 9% Ni steel of LNG storage tank studies

Study name	Point	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Oh et al., 2015	5.500	0.513	59.014	1.408	0.159
Khourshid & Ghanam, 2012	4.568	0.932	25.092	1.748	0.080
Nishigami et al., 2012	4.689	1.114	19.735	2.107	0.035
Kruzic, 2004	4.312	1.180	15.756	2.211	0.027
Kim et al., 2004	3.756	1.183	11.921	2.245	0.025
Smith & Craig, 2001	3.975	1.414	11.179	2.616	0.009
Yang, 2006	3.536	1.315	9.507	2.503	0.012
Grieve, 2012	3.279	1.257	8.554	2.427	0.015
Toussaint et al., 2000	3.266	1.347	7.921	2.618	0.009
Fixed effect	3.266	1.347	7.921	2.618	0.009

2.3.4 LNG 저장 탱크의 AI5083-O 용접 기술 연구에 대한 상대적 효과

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 상대적 효과 분석은 전체 9편의 논문들 중에서 한 편의 논문을 제거하였을 때 논문의 상대적 효과를 보여주고 있다. 고정효과모형의 검증 결과(Point=3.266, Z=2.618, p=0.009)를 기준하였을 때, 전체 9편의 논문들 중에서 Yang(2006), Grieve(2012), Ki, et al.(2004) 등 3편의 논문이 상대적 효과가 높은 것으로 나타났다. Yang(2006)의 연구는 전체 9편의 논문들 중에서 상대적 효과

Table 4. One study removed effect for 9% Ni steel of LNG storage tank studies

Study name	Point	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Oh et al., 2015	3.002	1.156	7.801	2.256	0.024
Khourshid & Ghanam, 2012	3.199	1.236	8.275	2.398	0.017
Nishigami et al., 2012	3.099	1.212	7.926	2.361	0.018
Kruzic, 2004	3.293	1.302	8.325	2.518	0.012
Kim et al., 2004	3.448	1.340	8.871	2.568	0.010
Smith & Craig, 2001	3.037	1.164	7.921	2.271	0.023
Yang, 2006	3.561	1.422	8.916	2.712	0.007
Grieve, 2012	3.481	1.402	8.644	2.688	0.007
Toussaint et al., 2000	3.279	1.257	8.554	2.427	0.015
Fixed effect	3.266	1.347	7.921	2.618	0.009

(Point=3.561, Z=2.712, p=0.007)가 가장 높은 반면에, Oh et al.(2015)의 연구는 상대적 효과(Point=3.002, Z=2.256, p=0.024)가 가장 낮은 것으로 검증되었다. 이는 Yang(2006), Grieve(2012), Ki, et al.(2004) 등 3편의 연구는 다른 6편의 연구에서 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 효과를 잘 추정하는 연구결과로 보인다.

3. 결론

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel의 선행연구에 대해서 실험연구와 메타연구를 수행하였다. 9% Ni Steel의 다층용접(multi pass welding)에 대해서 실험연구(raboratory research)를 수행한 결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

- 1) 9% Ni Steel의 다층용접(multi pass welding)에 대한 인장강도(tensile strength)를 시험한 결과 패스 1부터 패스 3까지 인장강도가 증가하였으나, 패스 3 이후부터 다층용접의 인장강도는 감소하는 것으로 보인다.
- 2) 다층용접(Multi pass welding)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석한 결과, 패스(pass), 다층용접(multi pass)이 인장강도(tensile strength)에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 보인다.
- 3) 용접시간(welding time)이 인장강도(tensile strength)에 미치는 영향을 분석한 결과, 용접시간(welding time), 인장강도시간(tensile time)이 인장강도(tensile strength)에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 보인다.

LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 대표적인 해외 연구들 중에서 최근에 활발하게 인용되고 있는 9편의 논문에 대해서 메타분석(meta analysis)을 적용하여 실증분석을 수행한 결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

- 1) Oh et al.(2015)의 연구는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 효과가 가장 높은 연구이다. 전체 9편의 논문들에 대해서 Point와 Study Variance를 비교분석한 결과, Oh et al.(2015)의 연구(Point=1.705, Study Variance=1.466)가 다른

논문들에 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel에 대한 효과를 잘 추정하는 연구인 반면에, Grieve(2012)의 연구는 효과가 가장 낮은 연구로 보인다.

- 2) Oh et al.(2015)의 연구는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 고정효과와 임의효과가 가장 높은 연구이다. Oh et al.(2015)의 연구(Odds ratio=5.500, Z=1.408)는 다른 8편의 논문들에 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 효과를 잘 추정하는 연구결과로 보인다.
- 3) Oh et al.(2015), Khourshid and Ghanem(2012) 등 2편의 연구는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 누적효과가 가장 낮은 연구이다. Oh et al.(2015), Khourshid and Ghanem(2012) 등 2편의 연구는 다른 7편의 연구에서 비해서 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대한 누적효과가 상대적으로 낮은 연구결과로 보인다.
- 4) Yang(2006)의 연구는 LNG저장 탱크 운반선 9% Ni Steel 연구에 대해서 상대적 효과가 가장 높은 연구이다. Yang(2006)의 연구는 전체 9편의 논문들 중에서 상대적 효과(Point=3.561, Z=2.712, p=0.007)가 가장 높은 반면에, Oh et al.(2015)의 연구는 상대적 효과(Point=3.002, Z=2.256, p=0.024)가 가장 낮은 것으로 검증되었다.

References

- [1] D. J. Oh, J. M. Lee, B. J. Noh, W. S. Kim, Ryuichi - Ando, Toshiyuk I- Matsumoto, Myung - Hyun Kim, "Investigation of fatigue performance of low temperature alloys for liquefied natural gas storage tanks," Journal of Mechanical Engineering Science, pp. 1-15, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0954406215569255>
- [2] Abd Khourshid, El Fattah Mustafa, Mohamed Ahemed Ghanem, "Using the welding parameters to improve the mechanical properties of Liquefied Natural Gas storage tank welded joint," IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), vol. 4, no. 3, pp. 32-39, 2012.
- [3] Hiroshi Nishigami, Masaki Kusagawa, Maki Yamahita, Tomoya Kawabata, Tahahiro Kamo, Kazushi Onishi, Syuichi Hirai, Nakazu Sakato, Masahiko Mitsumoto, Yukito Hagihara, "Development and realization of large scale LNG storage tank applying 7% Nickel steel plate," 2015 World Gas Conference, pp. 1-18, 2012.
- [4] R. Kruzic, "LNG storage tanks: advancements in weld inspections," Hydrocarbon Processing July 2004, pp.

53-55, 2004.

- [5] Hyo Kim, Jae-Sun Koh, Youngsoo Kim, Theofanius G. Theofanous, "Risk Assessment of membrane type LNG storage tanks in Korea-based on fault tree analysis," Korean J. Chem. Eng. vol. 22, no. 1, pp. 1-8, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02701454>
- [6] Liane Smith, Bruce Craig, "Properties of metallic for LNG service," Paper 57-presented at 9th MECC, Bahrain, February 12-14th 2001, pp. 1-10, 2001.
- [7] Y. M. Yang, "Development of the world's largest above-ground full containment lng storage tank," 23rd World Gas Conference, Amsterdam 2006, pp. 1-14, 2006.
- [8] Pascale Grieve, "GST, a new generation of LNG membrane-type land storage tank," Working paper, pp. 1-17, 2012.
- [9] Patrick Toussaint, Sylvan Pillot, Credric Chauvy, "Challenges, properties, and features of 9% nikel steel plates for LNG storage and transport: towards ultra-large designs," Poster PO-20, pp. 1-9, 2000.

안 덕 현(Duck-Hyun Ahn)

[준회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>
용접접합

박 상 흡(Sang-Heup Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 홍익대학교 기계공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 정교수

<관심분야>
용접접합