



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2017년 08월
석사학위논문

시추기 마스트 프레임의 대형화에 따른 용접강도에 관한 연구

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 영 승

시추기 마스트 프레임의 대형화에 따른 용접강도에 관한 연구

Study on the welding strength with the enlargement of
the drilling machine mast frame

2017년 08월 25일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 영 승

시추기 마스트 프레임의 대형화에 따른 용접강도에 관한 연구

지도교수 주 성 민

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2017년 04월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 영 승

윤영승의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 방 희 선 (인)

위 원 조선대학교 교수 방 한 서 (인)

위 원 조선대학교 교수 주 성 민 (인)

2017년 05월

조선대학교 대학원

CONTENTS

List of Figures	III
List of Tables	V
Abstract	VI
1장. 서론	1
1 . 1 연구배경	1
1 . 2 연구목적	6
2장. 연구 내용 및 방법	7
2 . 1 연구내용	7
2 . 2 연구방법	8
2.2.1 응력 집중부 확인	8
2.2.2 프레임 구조물의 최적 두께 결정	11
2.2.3 시편의 제작	13
2.2.4 MT (Magnetic Particle Test)	23
2.2.5 RT (Radiographic Test)	25
2.2.6 용접부 화학성분 시험	29
2.2.7 측면 굽힘 시험	30
2.2.8 인장강도 시험	31
2.2.9 경도 시험	32

3장. 시험결과 및 고찰	34
3 . 1 MT (Magnetic Particle Test)	34
3 . 2 RT (Radiographic Test)	36
3 . 3 용접부 화학성분 시험	38
3 . 4 측면 굽힘 시험	39
3 . 5 인장강도 시험	42
3 . 6 경도 시험	44
4장. 결론	46
참고문헌	48

List of Figures

그림 1-1	최초의 지열발전 시설 (라르데렐로 마을)	2
그림 1-2	아이슬란드의 지열 에너지 이용 설비	3
그림 1-3	바이너리 발전 방식	4
그림 2-1	모델링된 시추기 프레임 구조물 형상	8
그림 2-2	신규 설계중인 프레임 구조물에 대한 응력 집중부	10
그림 2-3	안전계수 기준의 프레임 구조물 두께 조정 화면	12
그림 2-4	가스보호 FCAW (Flux Cored Arc Welding, Gas Shielded)	13
그림 2-5	자체보호 FCAW (Flux Cored Arc Welding, Self Shielded)	14
그림 2-6	FCAW 용접 와이어의 다양한 횡단면 형상	15
그림 2-7	개선방법에 따른 맞대기 용접 형상	16
그림 2-8	CO ₂ 용접기	18
그림 2-9	용접부 형상 디자인	22
그림 2-10	자분탐상검사(MT)의 원리	23
그림 2-11	방사선 투과 장비	26
그림 2-12	방사선 침투 검사법	26
그림 2-13	용접부 화학성분 시험편	29
그림 2-14	인장시험 장비 및 시편의 치수	30
그림 2-15	굽힘시험 장비 및 시편의 치수	31
그림 2-16	경도 측정 라인	32
그림 2-17	비커스 경도 시험기	33
그림 3-1	자분탐상검사 (MT)	34
그림 3-2	방사선 침투 검사 (RT)	36
그림 3-3	22mm 인장시편의 파단 형태	40
그림 3-4	30mm 인장시편의 파단 형태	41
그림 3-5	22mm 굽힘 시험편 결과	43
그림 3-6	30mm 굽힘 시험편 결과	43

그림 3-7 22mm 시험편과 30mm 시험편의 경도 분포 45

List of Table

표 2-1	응력 집중부 확인을 위한 입력 변수	9
표 2-2	프레임 구조물 최적 두께 결정을 위한 하중 별 입력 조건	11
표 2-3	SS400의 화학적 성질	17
표 2-4	SS400의 기계적 성질	17
표 2-5	BA-500 용접기 스펙	19
표 2-6	용가재 (Welding Wire) 스펙	20
표 2-7	FCAW (SS400 + SS400) 용접 조건	21
표 2-8	자분탐상시험 (MT) 조건 값	24
표 2-9	방사선원 및 필름 종류	27
표 2-10	방사선원 강도, 선원-필름간 거리, 재질, 두께	27
표 3-1	자분탐상검사 (MT) 결과	35
표 3-2	방사선 침투 검사 (RT) 결과	37
표 3-3	시험편의 화학성분 결과표 (단위 : %)	38
표 3-4	두께 별 용접부 인장시험 결과	39
표 3-5	측면 굽힘 시험 결과	42
표 3-6	경도 시험 결과	44

ABSTRACT

시추기 마스트 프레임의 대형화에 따른 용접강도에 관한 연구

Young-Seung Yun

Advisor : Prof. Joo, Sung-min, Ph.D.

Department of Welding and Joining
Science Engineering,

Graduate School of Chosun University

The drilling equipment of Hanjin D&B is manufactured in various forms such as hot spring, ground water, architecture, civil engineering, coal mine, gold mine. It has been used in many countries around the world, and it is expected that demand will continue to be steadily rising in the drilling market based on the potential demand of developing countries.

Based on the technology accumulated for about 20 years in the field of drilling equipment, Hanjin D&B is actively engaged in drilling industry both in Korea and overseas. The sale of equipment is also continuing. However, demand in the global drilling market does not increase and demand is generated in the existing market. Therefore, it is not significantly lower or higher than existing earnings. Hanjin D&B is committed to technology development in the drilling market. However, due to limitations in profitability, it is difficult to pursue technology development. Thus, Hanjin D&B sought another profitable alternative.

HANJIN D&B Water Hammer for deep drilling has improved

dramatically through the accumulation of technology over the last 20 years, but it lacks equipment manpower and skills. To drill deeper into the ground requires a lot of time and skill because the body size of the equipment must be much larger. When the size of the frame structure is increased and the core drill head and water hammer are applied, it is similar to that of existing equipment. It can also generate high profits. However, since the evaluation of the integrity of the welded part of the frame structure is most important, various welding tests are required before the fabrication of medium and large equipment. Therefore, weld integrity was evaluated in this paper through non-destructive testing and mechanical testing.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

시추장비 산업은 온천 및 지하수 개발이 가능한 지하수용 시추기(Water Well Drilling Machine)부터 건축, 토목, 탄광, 금광, 등 지질조사가 가능한 조사장비용 시추기(Diamond Drilling Machine)까지 다양한 형태로 제작되어 세계 각 국에서 사용되어 왔으며, 앞으로도 개발도상국의 잠재적 수요를 바탕으로 시추기 시장에서 꾸준히 수요자가 나타날 것으로 보인다.

한진디엔비는 위 내용처럼 지하수 및 조사용 시추장비 분야에서 약 20년간 축적된 시추 기술력을 바탕으로 국내와 해외에서 드릴링산업을 왕성하게 활동 중이며 장비의 판매도 끊임 없이 이어지고 있다. 하지만 세계의 드릴링 시장은 수요가 증가하는 것이 아니라 기존 시장에서 수요가 발생하므로 기존 수익대비 현저하게 낮아지거나 높아지지 않는다는 점이 있다. 한진디엔비는 드릴링시장에서 압도적 우위에 서기 위해 더욱 진보된 기술개발에 매진하고 있지만 수익의 한계성 때문에 기술개발에 박차를 가하는데 어려움을 겪고 있다. 이 때문에 한진디엔비는 수익성이 높은 다른 대안을 모색하였다.

최근 화석 및 오일가스 연료의 고갈 그리고 그러한 연료 사용에 따른 지구 온난화 등에 따라 재생가능한 에너지의 중요성과 비중이 점차적으로 높아지고 있다. 재생가능한 에너지란 자연적인 상태에서 만들어진 Energy를 일컫는데, 태양/풍력/수력/지열/생물자원/조력/파도에너지 등이 있다. 그 중 한진디엔비와 가장 연관이 있는 분야는 지열에너지 개발 분야이다. 지열에너지는 지구가 가지고 있는 내부의 열에너지를 가리킨다. 지열 에너지의 근원은 지구 내부에서 우라늄, 토륨, 칼륨 같은 방사성 동위원소의 붕괴열(약 83%) 그리고 지구 내부 물질에서 열의 방출(약 17%)로 이루어지며, 지표에서 느껴지는 지열의 약 40%는 지각에서 방출되는 것으로 추정되고 있다(Beardsmore and Cull, 2001). 지상에서 지구 내부로 내려갈수록 온도는 상승하는데, 지구

내부 10Km까지의 평균 온도 증가율은 약 25~30도/km이다. 한편, 지구 내부에서 맨틀 대류에 의한 판의 경계에서는 100℃ 이상의 고온 지열부가 존재한다. 따라서 대부분의 지열에너지 발전소는 판의 경계에 위치하고 있다.[1]

지열에너지 발전은 지열에너지를 이용하여 전력을 생산하는 방법이다. 최초의 지열에너지 발전은 1904년 이탈리아 토스카나 지방의 라르데렐로 마을에 건설된 것이 시작인데, 이 곳에는 지구 내부에서 솟아오른 150~250도의 증기를 이용해 터빈을 돌려 지열에너지 발전을 하였다. 1913년 라르데렐로에서는 상업적으로 지열 발전을 시작하였으며 현재도 라르데렐로 지역은 약 550MW의 발전 용량을 가지고 있다. 현재까지 건설된 지열에너지 발전 시설물 중 세계 최대는 미국 샌프란시스코(San Francisco) 인근의 ‘더 게이저스’이다. 총 15개의 지열에너지 발전소로 구성된 ‘더 게이저스’의 발전 용량은 약 730MW인데, 이 용량은 약 730,000가구, 즉 미국 샌프란시스코와 비슷한 도시에 전력을 공급할 수 있는 양이다.[1]



<그림 1-1> 최초의 지열발전 시설 (라르데렐로 마을)

지열에너지를 활용하는 기술은 크게 150도 미만의 지열수를 이용하는 직접 이용 기술과 150도 이상의 지열 유체(증기와 지열수)를 이용하는 간접 이용 기술로 나눌 수 있다. 직접 이용 기술은 활화산 지대에서 자연스럽게 얻을 수 있는 지열수를 이용하는 방법으로, 대체적으로 지역의 난방, 온실 난방, 농산물의 건조, 산업의 이용, 온천, 등에 이용된다. 또한 지열수를 이용하는 바이너리 발전으로 전기 생산이 가능하다. 바이너리(binary) 발전은 지구 내부의 열이 낮아 증기를 생산하기에 충분하지 않은 경우에 사용되는데, 열

교환기를 통하여 고온의 지열수가 지구표면으로 끌어올려지면 물보다 끓는점이 낮은 2차용액이 기체화되어 터빈을 구동시키는 방식이다.[1]

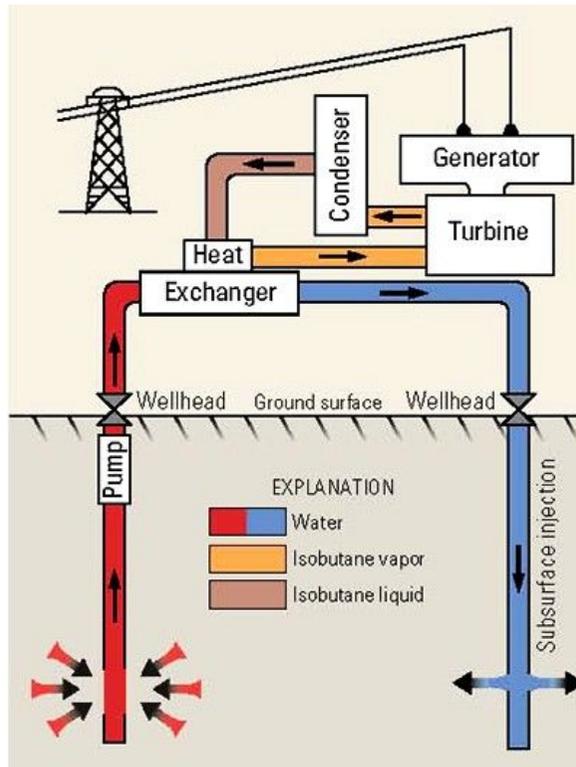
2015년 기준으로 해서 전 세계의 지열 직접 이용 설비는 약 28,000MW인데 이 것은 2010년의 15,000MW보다 약 85%증가한 수치다. 2015년 기준으로 직접 이용하는 지열설비용량이 가장 많은 나라가 미국(7,800MW)이며 다음으로 스웨덴(3,850MW), 중국(3,687MW), 아이슬란드(1,790MW), 터키(1,180MW)순이다. 반면 2015년 기준 연간 직접 지열 사용량이 가장 많은 나라는 중국(45,400TJ)이며 다음으로 스웨덴(36,000TJ), 미국(31,239TJ), 아이슬란드(23,800TJ), 터키(19,620TJ) 순이다. 반면에 국토의 면적대비 또는 인구대비해서 지열에너지의 직접 이용이 가장 높은 나라는 아이슬란드인데, 그 이유는 대서양 중앙 해령(Mid-Atlantic Ridge)이 지나는 곳에 아이슬란드가 위치하고 있기 때문에 상대적으로 지진과 화산의 활동이 활발하여 지열 에너지가 풍부하기 때문이다.[1]



<그림 1-2> 아이슬란드의 지열 에너지 이용 설비

150도 이상의 지열 유체(증기와 지열수)를 이용하는 방법으로는, 보통 화산활동이 왕성한 지열지대가 아닌 지역에서 지하 수천미터 깊이까지 심부시추를 하여 지열에너지를 얻는 방법이다. 이 경우 땅에 두 개의 시추구멍을 뚫고, 한 구멍에 물을 주입하면 지구 내부 깊은 곳에서 지열에 의해 물의 온도가 상승되어 수증기가 발생한다. 이 수증기가 다른 하나의 구멍을 통해 분출되어 터빈을 돌려 발전기를 작동시키는 방법이다. 최근 독일과 호주는 지역에 화산활동이 없음에도 불구하고 지구 내부 5.3km까지 심부 시추를 하여

바이너리(binary) 발전을 통해 전기를 생산하고 있다.[1]



<그림 1-3> 바이너리 발전 방식

한국의 지열에너지 개발은 2000년대 끝 무렵에 본격적으로 관심가지기 시작하였다. 2000년에는 일년 내내 일정한 온도(약 20도)를 유지하는 지하열에너지를 이용하여 냉방과 난방을 해결하는 지열냉난방시스템을 도입하여 휴향 시설, 병원, 학교, 등에 적용하고 있으며, 2004년부터는 대체 에너지를 적용시키는 의무화된 법규를 시행하고 있다. 우리나라에서 지열에너지의 유량이 비교적 높은 지역은 포항인데, 한국지질자원연구원은 2003년부터 ‘심부지열 에너지 개발사업’을 수행하여 지구 내부 1.5km 에서 약 50℃에 가까운 지열수 개발에 성공했다. 최근에는 지식경제부와 포항시가 해당 지역에 지열발전소 건립을 추진 중인데, 지구내부 5km 전후의 지열에너지를 이용해 ‘메가와트급(MW) 지열발전소’를 건설하여 2015년부터 상업적 운전을 실시하였으

며, 또한 제주도는 1,200억원을 들여 5메가와트급(MW) 규모의 지열발전소를 2015년에 건립하였다. 한국의 경우 화산지대가 없으므로 심부지열에너지를 이용한 방식이 추진되고 있다.[1]

심부시추를 위한 한진디엔비의 워터해머는 지난 20년 동안의 기술축적을 통하여 비약적으로 발전하였으나 그 기술을 뒷받침할 수 있는 장비제작의 인력과 기술이 부족했다. 지반을 더 깊게 드릴링하기 위해서는 장비의 몸체 크기가 훨씬 커져야하기 때문에 시간과 기술이 많이 필요한데 드릴링머신의 프레임은 모든 부분을 용접을 통한 구조물로 제작되어 용접상 결함이 발견되거나 부분 용입으로 이루어진 부분이 있을 경우 장비나 인명에 치명상을 줄 수 있는 여지가 충분하기 때문이다. 하지만 이를 보완하기 위해 프레임 구조물의 크기를 키우고 핵심장치인 드릴헤드와 워터해머를 적용시킬 경우 기존의 소형장비의 제작기간과 비슷하면서 훨씬 고수익을 창출할 수 있는 발판이 마련될 수 있다. 그러나 프레임 구조물의 품질과 직접적으로 연관이 있는 용접부위의 건전성 평가의 선행이 가장 중요하기 때문에 중대형 장비를 제작 전 다양한 용접부 시험을 필요로 한다. 그래서 프레임 구조물은 한진디엔비의 용접부 평가 방법으로써 비파괴시험과 기계적 시험을 통해 용접부 건전성이 평가되어야 한다.

1.2 연구목적

심부지열에너지개발에 이용할 수 있는 신규 설계중인 중대형 장비(심부시추장비)의 용접부에 대해 구조적 안정성 평가를 수행하는 것이 목적이다.

신규모델 제작시 사내평가항목으로는

- 응력집중부의 안전계수 (사내기준)
- 용접조건 (AWS D1.1)
- 용접부 기계 및 비파괴 시험 (AWS D1.1)

이므로,

용접부에 대한 구조적 안정성 평가는 아래의 3가지 단계로 진행하였다.

- (1) 응력집중부에 대해 사내 안전계수 관리 기준을 충족하는 프레임의 두께를 결정하였다.
- (2) 결정된 두께에 대한 용접 조건 설정하였다.
- (3) 설정된 용접 조건으로 제작된 용접 시편의 비파괴 시험 및 기계적 시험 수행하였고, 추가적으로 용접부 화학성분시험을 실시하였다.

제 2 장 연구 내용 및 방법

2.1 연구 내용

신규 모델 제작시 사내평가항목 기준에 따라 신규 설계중인 장비에 대하여 100KN하중을 주었을 때와 245KN의 하중을 주었을 때의 응력집중부를 확인하였다. 각 하중 값에 따른 응력집중부의 안전계수 값이 사내 안전계수 기준에 충족되도록 100K하중과 245KN하중에 대한 프레임 구조물의 최적 두께를 결정하였다. 용접 조건을 설정 후 결정된 2가지의 프레임 구조물 두께로 시편을 제작하여 비파괴검사, 용접부 화학성분시험, 기계적 검사를 실시하였다.

(1) 신규 설계중인 장비를 3D프로그램(인벤터)을 이용하여 모델링하였다.

(2) 모델링된 신규 장비에 해석프로그램(인벤터)를 이용하여 2가지(100KN, 245KN)의 수직 하중을 적용시켰다.

(3) 2가지의 수직하중에 대한 응력집중부를 확인 후 응력집중부에 대한 안전계수 값을 확인하였다. 100KN하중에 대한 응력집중부와 245KN하중에 대한 응력집중부가 사내 안전계수 기준인 3에 충족될 수 있도록 응력집중부 프레임에 두께를 변화시키면서 안전계수가 3이 되는 시점의 두께를 기록하였다.

(5) 각 하중 별 사내 안전계수 기준에 만족하는 두께를 모재의 두께로 정하였다.

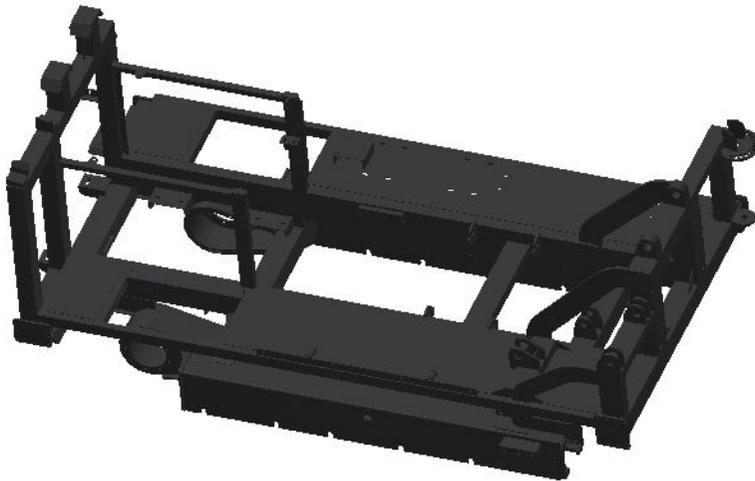
(6) 용접 조건을 설정 후 100KN하중과 245KN하중에서 결정된 모재 두께로 플렉스 코어드 아크 용접(FCAW)을 이용해 시편을 제작하였다.

(7) 제작된 시편으로 AWS(미국용접협회)의 AWS D1.1에 따라 비파괴검사(MT, RT), 용접부 화학성분시험(KS), 기계적 검사(인장강도, 측면굽힘, 경도)를 실시하였다.

2.2 연구 방법

2.2.1 응력집중부 확인

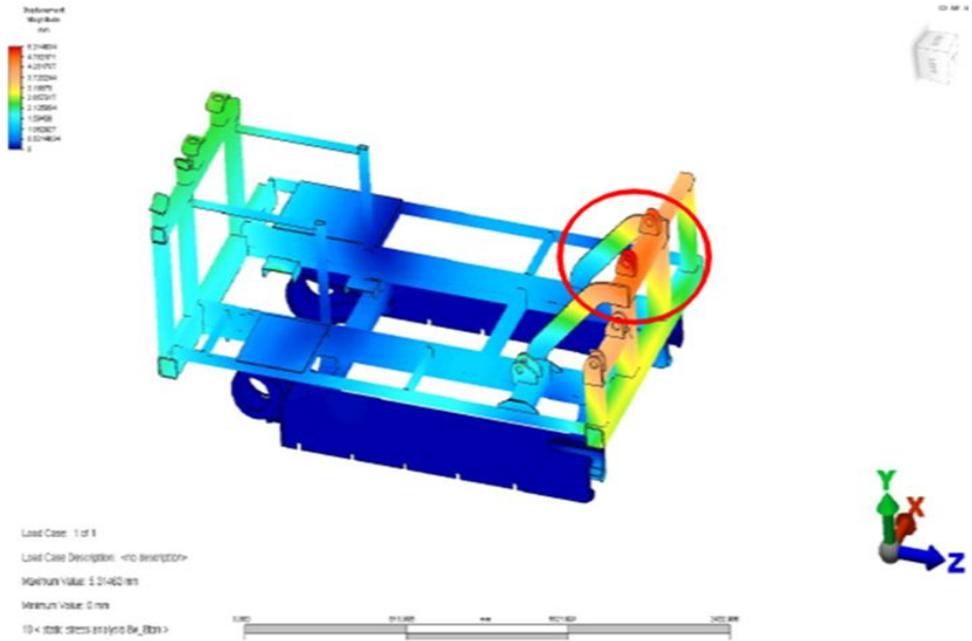
프레임구조물의 응력집중부에 대한 최적의 두께를 결정하기 위해 먼저 응력집중부를 확인하였다. 응력 집중부를 확인하기 위해서 신규설계중인 시추기의 구조물을 <그림 2-1>과 같이 3D설계프로그램(인벤터, INVENTOR)으로 모델링한 후 인벤터(INVENTOR)의 응력해석프로그램 기능을 이용해 <표 2-1>과 같은 조건으로 응력 집중부를 확인하였다. 응력 집중부는 <그림 2-2>와 같다.



<그림 2-1> 모델링된 시추기 프레임 구조물 형상

<표 2-1> 응력 집중부 확인을 위한 입력 변수

Division	Variable Values	
재질(강종)	SS400	SS400
하중	100kN	245kN
구속조건	롤러 장착부 표면	롤러 장착부 표면
메쉬 평균 요소크기	0.1	0.1
메쉬 최소요소크기	0.05	0.05
메쉬 등급계수	1.5	1.5
메쉬 최대회전각도	60°	60°
곡선 메쉬 여부	○	○
부품기반측정 여부	○	○



<그림 2-2>. 신규 설계중인 프레임 구조물에 대한 응력 집중부

2.2.2 프레임 구조물의 최적 두께 결정

하중 별 프레임 구조물의 최적 두께를 결정하기 위해 사내 안전계수 기준을 기반으로 <표 2-2>와 같은 조건을 입력하여 진행하였다. 응력 집중부의 하중에 대한 안전계수가 사내 안전계수 기준 이상이 되려면 <그림 2-3>과 같이 응력집중부의 프레임 구조물의 두께를 변화시켜야하고 두께를 변화시키면서 사내 안전계수 기준에 충족했을 때의 두께 값이 최적의 프레임 구조물의 두께가 된다. 사내안전계수 기준으로 두께를 조정한 결과 100kN 하중에서의 최적 두께는 22 mm, 245kN 하중에서의 최적 두께는 30 mm 로 결정되었다.

<표 2-2> 프레임 구조물 최적 두께 결정을 위한 하중 별 입력조건

Division	Loads	
	100kN	245kN
해석특성	SS400	SS400
초기 두께	14 mm	22mm
두께 조정 범위	14 - 30 mm	22 - 40 mm
두께 변동 범위	2 mm	2 mm
안전계수	3	3

파라메트릭 테이블

설계 구속조건

구속조건 이름	구속조건 유형	한계	안전계수	결과 값	단위
최대값 폰 미세스 응력	값 보기			60,5119	MPa
▶ 최소값 안전계수	하한값	3	1	3,42081	ul

매개변수

구성요소 이름	피쳐 이름	매개변수 이름	값	현재 값	단위
▶ 300-005	Face3	Thickness	12 - 22:5	<input type="text" value="12.5"/>	mm

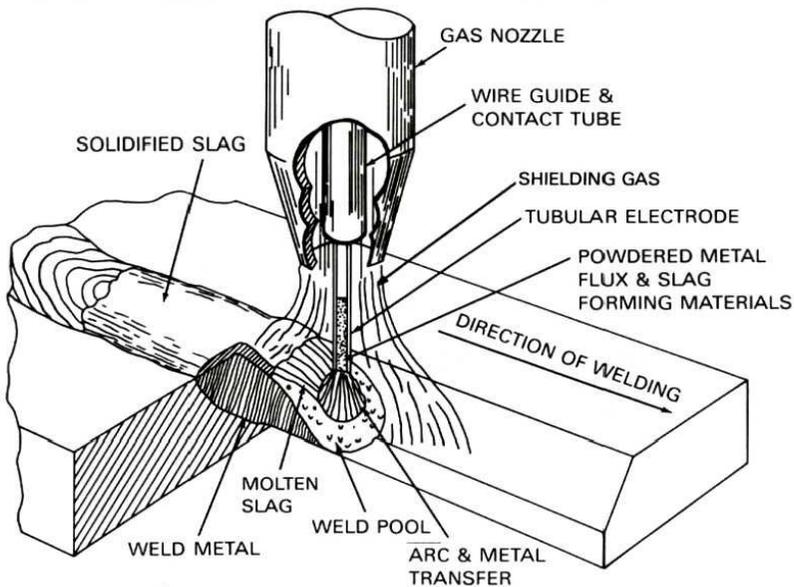
<그림 2-3> 안전계수 기준의 프레임 구조물 두께 조정 화면

2.2.3 시편(Specimens)의 제작

프레임 구조물의 응력 집중부를 확인 후 해석프로그램(인벤터)을 이용한 최적의 모재 두께를 결정하고, 프레임 구조물의 강종과 동일한 모재를 이용하여 FCAW(플럭스 코어드 아크 용접, Flux cored arc welding) 용접법으로 시편을 제작하였다.

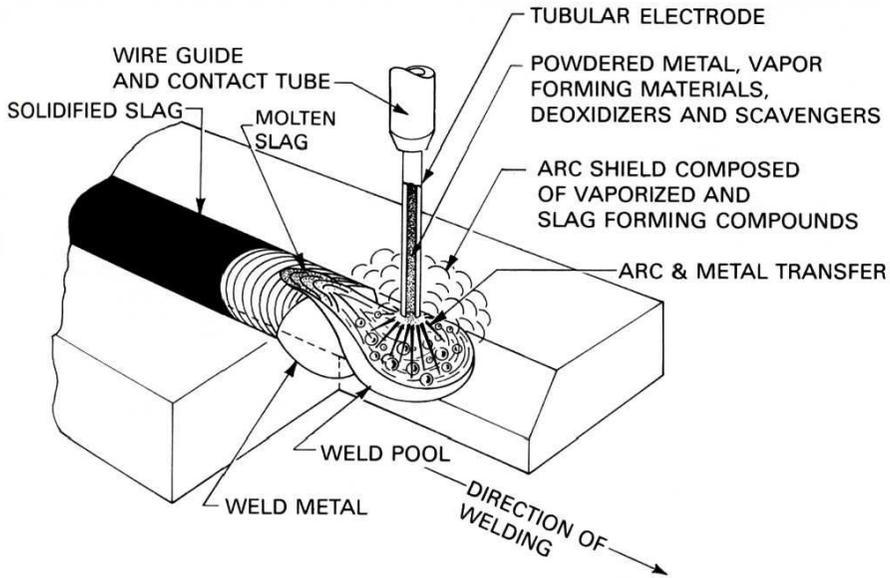
(1) FCAW 용접 이론

플럭스 코어드 아크 용접(FCAW)은 와이어의 중심에 플럭스(Flux)가 채워져 있는 플럭스 코어드 와이어를 사용하는 Arc용접이다. 플럭스 코어드 아크 용접(FCAW)은 보호가스의 이용 여부에 따라서 <그림 2-4>에 나타나 있는 가스보호 FCAW 와 <그림 2-5>의 자체보호 FCAW 로 분류된다. [2]



<그림 2-4> 가스보호 FCAW (Flux Cored Arc Welding, Gas Shielded)

가스보호 FCAW(플럭스 코어드 아크 용접) 에서는 외부에서 별도로 보호가스를 공급하여 보호가스 뿐만 아니라 플럭스(Flux)에서 생성된 슬래그에 의해 용융부가 보호된다. 따라서 용융지가 이중으로 보호되는 것으로써 일반적인 가스보호 아크용접과 원리는 동일하다. [2]



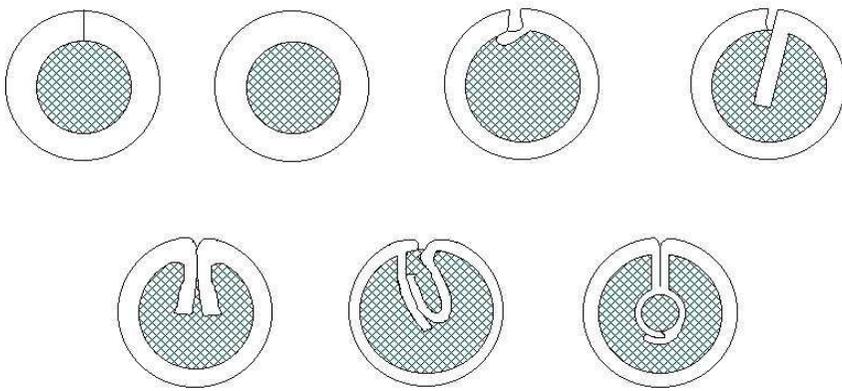
<그림 2-5> 자체보호 FCAW (Flux Cored Arc Welding, Self Shielded)

자체보호 FCAW(플럭스 코어드 아크 용접) 에서는 외부에서 추가적인 보호가스가 공급되지 않아서 플럭스 코어드 와이어의 플럭스(Flux)에서 발생하는 가스와 슬래그에 의해 용접부가 보호된다. 따라서 이것은 서브 머지드 용접의 원리와 비슷하다. [2]

FCAW(플럭스 코어드 아크 용접)은 용접재료의 교체가 필요하지 않으므로 작업 능률을 향상시킬 수 있다. 또한 용착되는 금속의 금속학적 성질을 향상시키기 위해 플럭스를 사용하고, 와이어의 직름이 작아 전류밀도가 높기때문

에 용착속도가 높아지게 된다.[3] 용접작업 후 슬래그(Slag)가 비드의 표면을 덮고 있기 때문에 비드의 외관 및 표면상태를 좋게 한다. 또한 수직상진 용접 시 만들어지는 슬래그(slag)가 비드(bead)를 고정 시켜주는 역할을 하여 높은 전류(A)를 사용하여도 비드의 처짐을 방지 할 수 있다. 그러나 용접 후의 굳어진 비드를 해머, 브러쉬, 등을 이용해 인력으로 완전하게 제거를 해주어야 하는 어려움이 있다.

FCAW(플렉스 코어드 아크 용접) 와이어는 생산성, 제조능력, 경제성, 용접의 작업성, 용접의 품질, 등을 극대화하기 위해 아래의 그림과 같이 여러 종류의 단면형상을 가지고 있다. [2]

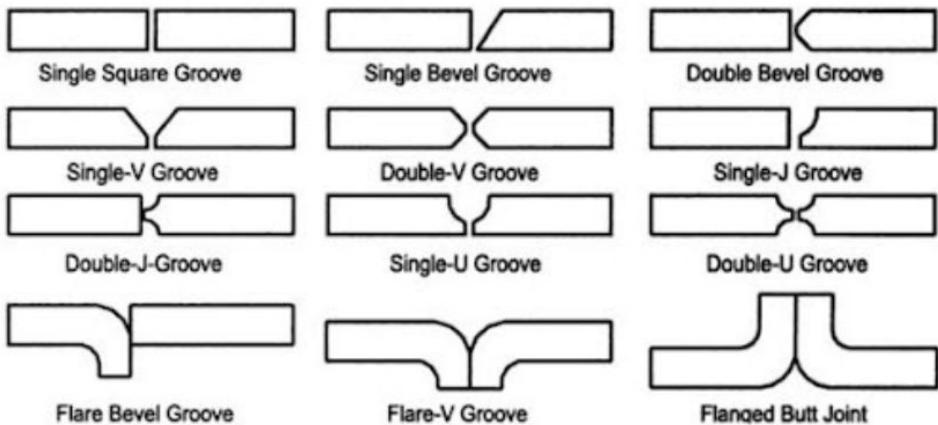


<그림 2-6> FCAW 용접와이어의 다양한 횡단면 형상

<그림 2-6>에 보여진 것과 같이 와이어의 바깥쪽은 스트립(Strip)이 감싸고 있고 안쪽은 플렉스(flux)가 충전 되어있는 구조를 보인다.[2] 단면 형상이 금속의 화학 성분, 기계적 성질, 등에 많은 영향을 미치지 않지만 플렉스의 충전량, 용적이행 현상, 아크의 안정성 및 와이어의 용융속도, 등에는 매우 큰 영향을 미친다.[3] 또한 용접부가 슬래그(slag)로 덮여 있어 바깥외관이 아름다운 비드(bead)를 얻을 수 있다. [2]

(2) 용접부 형상 이론

용접시편은 AWS(American Welding Society, 미국용접협회) 기준서를 참고하여 시편의 사이즈를 결정한 후 실제 신규설계중인 장비의 도면과 동일한 용접 형상으로 개선작업을 한다. 개선(Edge Preparation)작업이 필요한 가장 큰 이유는 용입불량이 발생할 수 있기 때문인데 만약 용접부에 용입 불량이 발생했을 경우 심각한 구조적 결함으로 이어질 수 있기 때문이다. 특히 용접부 설계자는 구조물의 두께와 위치, 등을 고려하여 최적의 용접 형상을 디자인하여야 한다.



<그림 2-7> 개선방법에 따른 맞대기용접 형상

개선(Edge Preparation)된 모재를 용접하기 위해서는 용접 전 입열량 기준(사내기준)을 고려해야하는데 전류(A), 전압(V), 용접속도가 입열량 기준에 적합한지 점검해야 한다.

(3) 재료 및 장비

시험 재료는 한진디엔비의 프레임 구조물 제작에 사용되는 강종 SS400을 선택한다. 시험편으로 선정된 재료의 일반적인 화학적, 기계적 성질은 <표 2-3>과 <표 2-4>와 같다.

<표 2-3> SS400의 화학적 성질

SS400			
Chemical composition(austenite)			
C	Mn	P	S
-	-	0.05 이하	0.05 이하

<표 2-4> SS400의 기계적 성질

Material	Yield strength (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)
SS400	2,498	4,078	17

준비된 시험편에 사용되는 FCAW 용접장비는 <그림 2-8>와 같이 조월사의 BA-500 모델을 사용하였다. BA-500 모델은 조선과 플랜트(plant) 산업 현장에서 가장 많이 사용되는 용접기 중 하나이며 다음과 같은 장점이 있다.

철구조물 및 조선소 등의 높은 출력이 요구되는 용접에 적합하다.

- 장거리 케이블에 적합하도록 설계.
- 싱글(single) 케이블 사용에 적합하게 설계.

- 입력전압이 변하여도 출력이 안정되어 용접부에서 결함이 발생하지 않도록 함.

- CO₂, 가우징, 수용접을 표준으로 한 다기능 용접기.

와이어의 공급 속도의 안정

- 입력전압이 변할 때에도 항상 와이어를 일정한 속도로 공급하기 위한 제어방법을 이용하여 아크의 안정성 및 출력 전류(A)를 일정하게 유지.

제어케이블의 길이 변화에 따른 송급 속도의 안정성

- 제어케이블의 길이변화 및 송급 모터의 부하 변동시 변화량을 검출하여 송급 속도가 안정 될 수 있도록 함으로써 출력전류의 안정성 유지.

와이어 밀림방지 기능 개선

- 용접 종료 후 와이어 밀림 방지를 위하여 응답 속도가 빠른 MOS-FET를 (FET수명 반영구적) 사용하여 최단시간에 와이어가 정지하도록 함.

해당용접기의 사양은 <표 2-5>에 상세하게 나타 내었다.



<그림 2-8> CO₂ 용접기

<표 2-5> BA-500 용접기의 스펙

Division	Specifications
Rated input voltage (V)	380
Rated output current (A)	500
Rated input (KVA)	28
Output current range (A)	80~500
Output voltage range (V)	18~46
Rated utilization (%)	60
Body(WxDxH) (mm)	488 x 715 x 867
Body weight (ton)	0.158

(4) 용접 조건

<표 2-7>과 같이 모재 두께 별로 용접전압, 용접전류, 용접속도를 달리하여 준비된 Co₂용접기를 사용하여 용접을 진행하였다. 용접 시 사용된 보호가스는 가격이 저렴하고 아크의 안전성이 비교적 안정적인 이산화탄소(Co₂) 가스이며 용가재의 크기는 $\phi 1.2$ 이다. 용접의 작업성 향상과 원활한 용가재의 용입을 위해 <그림 2-9>와 같이 개선가공 각도를 45°로 하였고 하단부는 백킹(Backing)제를 덧대었다.[4]

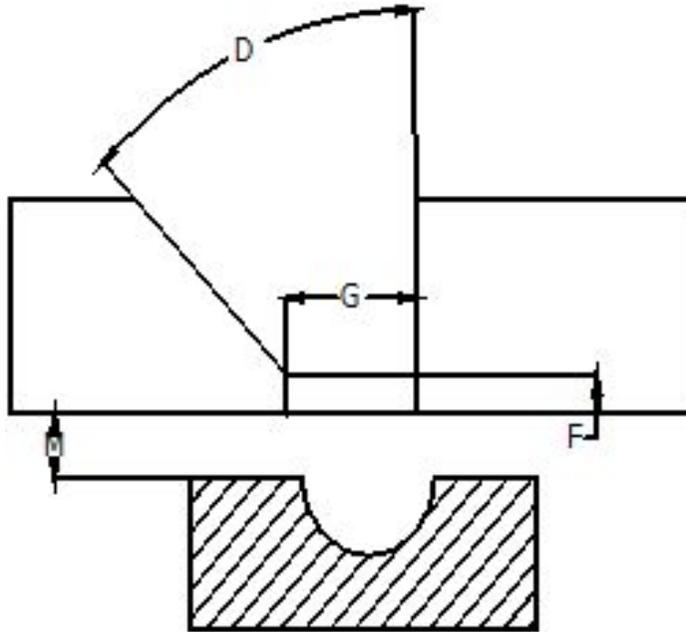
<표 2-6>과 같이 용접재료는 AWS(미국용접협회)의 코드에 준한 현대종합금속의 ST-50.6 을 이용하여 용접을 하였다.[4]

<표 2-6> 용가재(Welding Wire) 스펙

용접봉 규격		화학적 성분 (%)				
AWS규격	적용 용접봉 (현대종합금속)	C	Si	Mn	Ni	Cr
A5.20 E71T-1	ST-50.6	0.07	0.68	1.29	-	-

<표 2-7> FCAW (SS400 + SS400) 용접 조건

Welding parameter		Values	
		22mm 모재	30mm 모재
FCAW	용접전압 (V)	18 - 22	20 - 24
	용접전류 (A)	180 - 220	200 - 240
	보호가스	Co ₂	Co ₂
	전극경 (mm)	1.2	1.2
	용접속도 (mm/min)	120	100
	Co ₂ 유량 (ℓ / Min)	20	20
	패스	5	8
	입열량	20KJ/Cm	29KJ/Cm



- GROOVE DEGREE(D) : 45 ± 5
- ROOT FACE(F) : 0~2mm

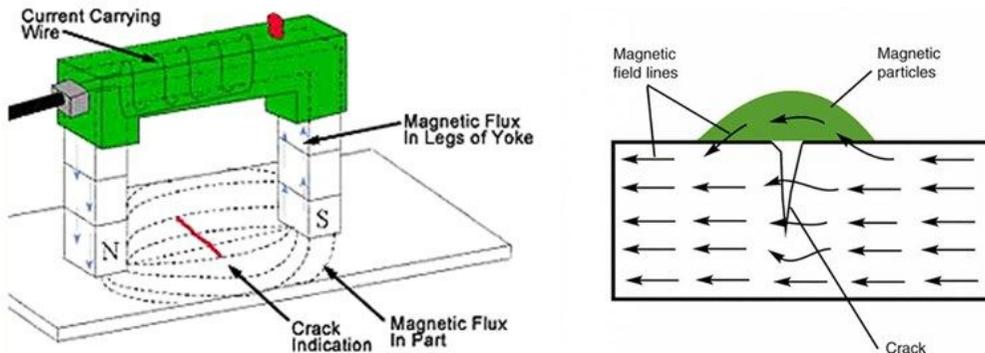
<그림 2-9> 용접부 형상 디자인

2.2.4 자분탐상검사(Magnetic particle inspection)

자분탐상검사는 강자성체인 시험편을 자화 시켰을 때 시험편 조직의 변화 또는 결함 등이 존재하는 경우 시험편에 형성된 자장의 연속성이 흐트러져 이 부분에 누설자장이 형성된다.[5] 이 때 시험편의 표면에 자분을 산포하게 되면 누설자장이 형성된 부위에 자분이 흡수되어 시험편 결함 또는 조직의 변화 등의 존재유무, 위치, 방향, 크기 및 범위 등을 검사할 수 있다.[6]

(1) 시험원리

자분탐상검사는 먼저 시험편이 자화될 수 있는 재질이어야 검사가 가능하며, 시험편 표면에 존재하는 결함들을 검출하는데 적당하다.[6] 또한 검사를 위한 조건에 따라서는 시험편 표면에서부터 최대 1/4 인치 깊이에 존재하는 표면 바로 밑에 존재하는 결함까지 검출이 가능하다. 표면의 미세한균열 검출에 가장 적합하며, 형상, 시험체의 크기, 등에 대체적으로 구애됨이 없이 검사 수행이 가능하다. 단점으로 거의 모든 재질에 적용할 수 있는 것이 아니라 자화될 수 있는 재질에만 제한이 되고, 시험편의 표면 주위에 존재하는 결함만을 검출할 수 있어 용접부 전체의 건전성을 평가하기 위해서는 다른 검사 방법과 병행하여 수행해야 한다. 그리고 검사법에 따라서는 전기가 접촉되는 주위에서 아크(arc) 발생으로 시험편이 손상될 가능성이 있다.[5]



<그림 2-10> 자분탐상검사의 원리

(2) 시험절차

가. 시험편 및 리프팅 파워블럭을 이용한 장비의 탐상감도 및 기준 자화 강도 확인

나. 시험부 표면 전처리 작업 (도장, 녹, 표면요철 및 이물질 제거)

다. 시험부 표면에 자분용 화이트(Visible-Wet) 도포

라. 탐상 실시

<표 2-8> 자분탐상시험(MT) 조건 값

자화 방법	YOKE
전류 세기	2.8 A
자극 간격	75 - 150 mm
자분 농도	1 - 3 cc / 100ml
자화 시간	3 sec

마. 결함 분석 및 평가

2.2.5 방사선 투과 검사(Radiographic inspection)

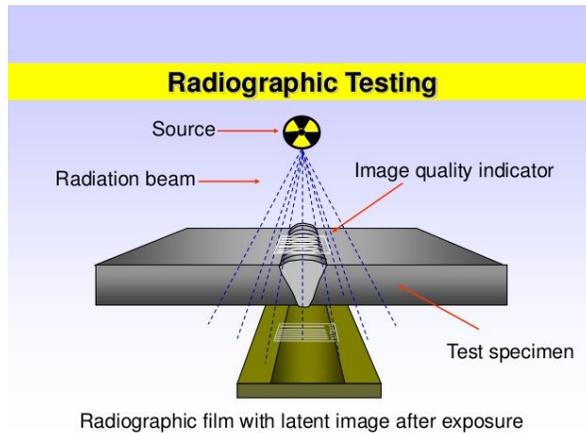
방사선 침투 검사(RT)는 강 또는 그 외 재질에 대하여 방사선원과 전용필름을 이용해 시험편의 용접부 내부에 존재하는 결함(불연속)을 검사하는데 적용하는 비파괴검사(NDT) 방법 중의 하나이다. 방사선 침투 검사의 장점으로 거의 모든 재질들을 테스트 할 수 있으며 테스트 결과는 전용필름으로 반영구적으로 테스트 기록을 남길 수 있다는 것이다. 그러나 방사선 침투 검사는 테스트 비용이 고가이고 방사선의 위험성 때문에 안전적인 측면에서 문제가 있으며 용접부의 형상이 복잡할 경우 테스트하기 어려운 단점이 있다.[5]

(1) 시험원리

진공(vacuum) 튜브내의 필라멘트(filament)에서 발생된 열전자가 광 전압에 의해 빠르게 가속되어 이동할 때 양극의 타깃(Target)에 충돌하여 X-선 또는 감마선이 발생하게 된다. 이 X-선 또는 감마선이 용접부를 통과하여 전용필름 또는 화상증폭관(Image Intensifier)에 맺힌 화상 흑화도의 차를 구별하여 소재 내부와 외부의 결함 유무를 판별한다. 방사선 침투 검사를 수행하기 위해서 기본적으로 시험편, 전용필름, 방사선원이 있어야 한다. 원리는 방사선원의 에너지 및 시험편의 두께와 밀도에 따라 방사선의 투과되는 양이 달라지며, 투과된 방사선원은 전용필름을 감광시키는데 이 때에 투과되는 방사선량에 따라 전용필름의 감광 정도가 다르게 되는데 이를 현상하여 전용필름에 보여지는 밝고 어두운 정도를 비교하여 시험편 내부의 상태를 평가 할 수 있다. 보편적으로 시험편의 방사선 침투 검사 시, 용접부 내부에 결함이 존재하는 경우는 결함의 밀도가 거의 시험편의 밀도보다 작아서 결함(불연속)부분을 투과한 방사선의 양이 시험편을 투과한 방사선양에 비해 많기 때문에 투과된 사진 상에서 검게 나타난다. 또한 기공 등은 기체가 들어 있는 상태이기 때문에 둥글고 검은 형태로 나타난다.[5]



<그림 2-11> 방사선 투과 장비



<그림 2-12> 방사선 침투 검사법

투과된 전용필름의 감도는 노출조건, 현상, 방사선원의 종류, 필름의 종류, 선원-필름간 거리, 등에 따라 영향을 받는다. 투과된 전용필름의 감도를 높이기 위한 보편적인 촬영 원칙은 방사선원의 에너지는 시험편의 재질과 두께에 따라 적절한 방법으로 선택해야 하며 방사선원 - 필름간 거리는 대체적으로 길게 하는 것이 좋다. 또한 효율적인 검사는 촬영하는 방법에 따라 달라지는데, 이는 시험편의 검사조건, 형태, 등에 많은 영향을 받게 된다.[5]

(2) 시험절차

가. 시험편의 재원에 따라 방사선원과 필름의 종류를 선정

<표 2-9> 방사선원 및 필름종류

방사선원	Gamma ray (Ir-920)
필름	Kodak AA400
필름 농도	2.0 - 4.0

나. 시험체 두께 측정

다. 시험편의 재질과 두께, 방사선원의 강도, 선원-필름간거리, 등을 생각하여 노출시간 계산

<표 2-10> 방사선원의 강도, 선원-필름간거리, 재질, 두께

강도	20 Ci
선원크기	3.0 x 1.75
선원-필름간 거리	400 mm
투과도계 강도	0.63 mm
스크린 재료 및 두께	Lead, 0.127 mm
노출시간	15분

라. 필름 부착 및 방사선원 고정

마. 방사선 투과 실시

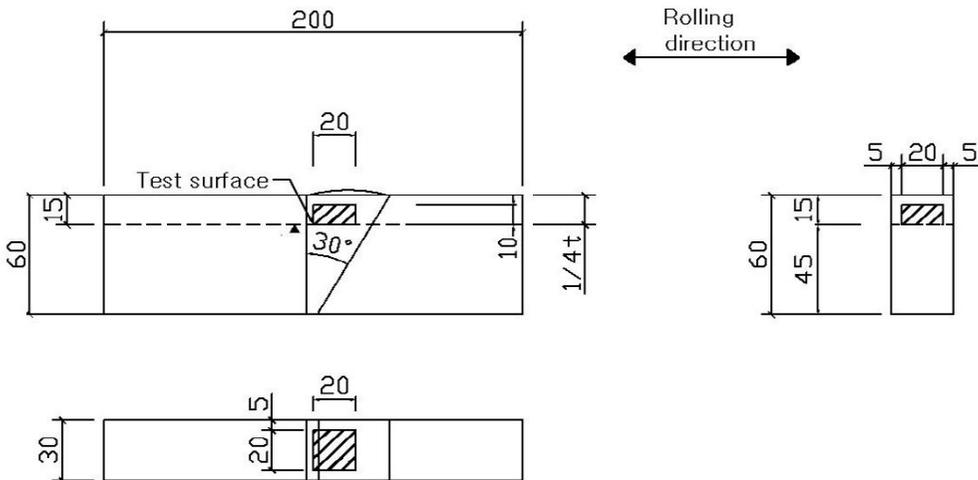
바. 필름 현상

사. 결함판독 및 평가

2.2.6 화학 성분 시험

시험편에 대한 화학성분테스트는 용착금속의 내부에 포함되어 있는 화학성분의 함유가 용접성 및 이음성능 확보에 적합한가를 체크하고 인성, 강성, 내부충격성, 등 용착금속의 기계적 특성에 영향을 미치는 성분이 과하게 포함되어 있는지 확인하는 것이 목적이다.[7]

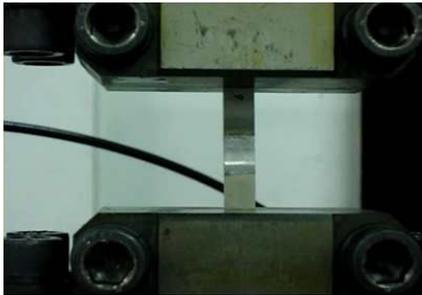
시험편의 화학성분은 KS D 1652 '철 및 강의 스파크 방전 원자 방출 분광 분석 방법' DP 따라서 <그림 2-13>처럼 20(L) X 20(C) X 10(T) 크기로 용착금속 내부에서 시험편 두께의 1/4지점이 측정 면이 되도록 채취하였고, 22mm 용접시편에서 1개, 30mm 용접시편에서 1개, 총 2개를 제작하였다.[7]



<그림 2-13> 용접부 화학성분 시험편

2.2.7 인장강도 검사 (Tensile test)

동종재(SS400+SS400)인 22mm시편과 30mm시편의 용접 접합부의 인장 강도검사는 용착금속의 인장강도와 변형능력을 체크하여 소요성능의 발휘여부를 체크하고 모든 성능이 AWS(미국용접협회)에 적합한지 체크하는 것을 목적으로 한다.[7] 22mm시험편과 30mm시험편에서 각각 2개씩, 총 4개의 시험편을 제작하였고, 기계적 성능과 용접성을 알아보기 위해 인장강도의 측정은 SHIMADZU사 EHF-EG200JN-40L(hydraulic type)을 사용하였으며, WIN SERVO 프로그램을 사용하였다. 인장 시험편은 미국용접협회(AWS) 규격인 AWS D1.1에 따라 제작을 하였고, 하중 속도는 0.033333mm/sec로 테스트하였다. <그림 2-14>는 검사에 이용된 장비 및 인장시편의 규격을 나타내었다.[4]

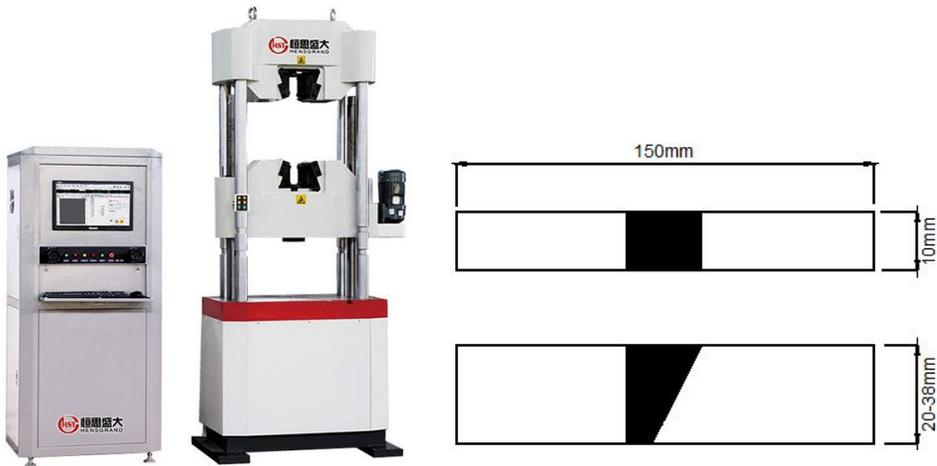


T : 22mm & 30mm

<그림 2-14> 인장시험 장비 및 시편의 치수

2.2.8 굽힘 시험 (Bending test)

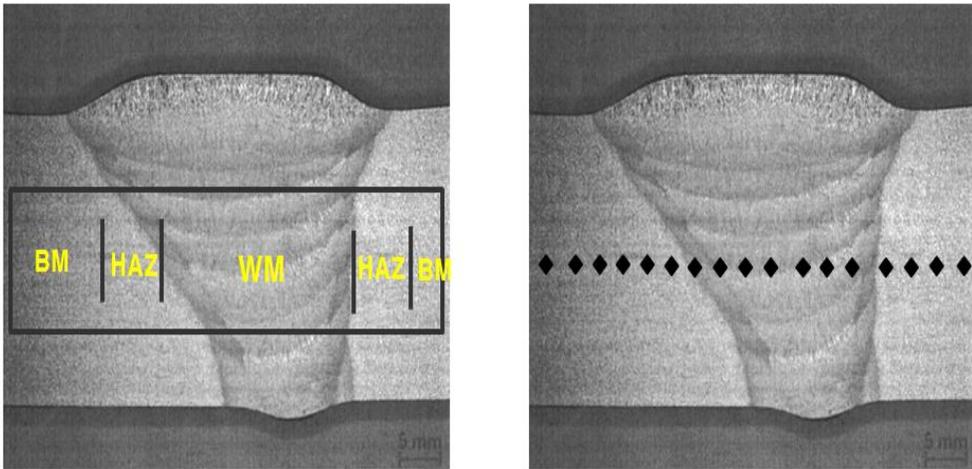
동종재(SS400+SS400)인 22mm시편과 30mm시편의 용접 접합부 굽힘 시험은 용접부의 표면에서 발생하는 결함을 확인하여 용접부의 건전성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 용접부 굽힘 시험편은 AWS D1.1의 4.8.3.1의 ‘루트, 표면 및 측면굽힘시험편’ 참고하여 Fig. 3.3과 같이 용접이음부가 측정면이 되도록 채취하였으며 22mm시험편에서 4개, 30mm시험편에서 4개, 총 8개의 시험편을 제작하였다. 굽힘시험 측정은 HST사 WAW-2000H 유압식을 사용하였으며, 2000kN급 UTM과 FORMER를 이용하여 180° 3점 굽힘시험을 하였다. 시험 전 5% 나이탈(nital) 액을 제조하여 굽힘시험편의 용접부 표면에 도포하여 에칭을 실시함으로 해서 용접부의 조직을 미리 파악한 후 변위 제어를 이용해 2mm / min의 속도로 힘을 주었다. <그림 2-15>은 시험에 사용된 장비와 굽힘시험편의 규격을 나타내었다.[7]



<그림 2-15> 굽힘 시험 장비 및 시편의 치수

2.2.9 경도 시험 (Hardness test)

동종재(SS400+SS400)인 22mm시편과 30mm시편의 용접 접합부 경도 측정은 용접부 주변의 경도를 측정함으로써 용접성과 이음성능의 건전성을 체크하는 것을 목적으로 한다. 22mm 시험편과 30mm의 시험편에서 각각 1개씩, 총 2개를 제작하였다. 아카시(Akashi)사의 모델 HM-112의 비커스 경도 시험기로 현미경의 배율은 x50이며, 135° 다이아몬드 피라미드 입자를 사용하여 용접방향에 수직인 단면을 절단 및 미세 연마하여 에칭(etching)을 실시한 후 하중시간 10초, 하중 500gf 조건으로 <그림 2-16>에서 보이는 것과 같이 중심(middle)라인에서 2.0mm씩 등간격으로 경도를 측정하였다. <그림 2-17>은 경도시험에 사용된 장비를 나타낸 것이다.[4]



<그림 2-16> 경도 측정 라인



<그림 2-17> 비커스 경도 시험기

제 3 장 실험 결과 및 고찰

3.1 MT (Magnetic Particle Test) 검사 결과

<그림 3-1>과 같이 시험편의 자분탐상검사를 실시한 결과 22mm시험편과 30mm의 시험편에서 <표 3-1>과 같이 크랙, 기공, 등은 발견되지 않았지만 언더컷이 발견되었다. 언더컷은 22mm 시험편에서 1개, 30mm시험편에서 1개 발생하였는데 크기는 2mm 이내였으므로 AWS(미국용접협회) 합격 기준에 만족하였다.



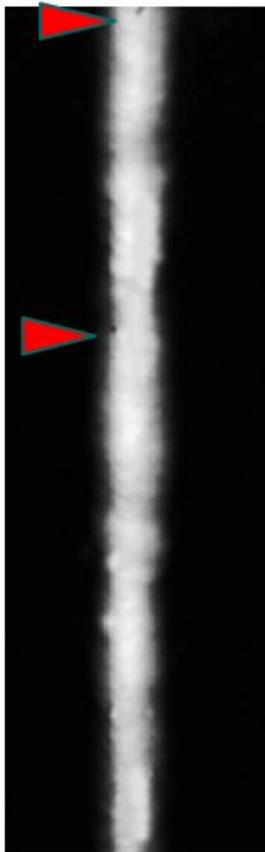
<그림 3-1> 자분탐상검사 (MT, Magnetic Particle Test)

<표 3-1> 자분탐상검사(MT) 결과

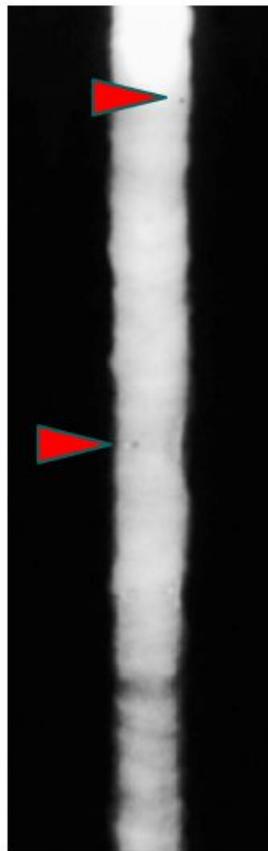
Division	Specimens	Surface Defects	Result
FCAW 22 mm 시험편	WS-NT-1	언더컷 1.5mm 외 결함 발견되지 않음.	AWS(미국용접협 회) 기준 언더컷 2mm 이내이므로 기준에 만족.
FCAW 30 mm 시험편	WS-NT-2	언더컷 1.8mm 외 결함 발견되지 않음.	

3.2 RT (Radiographic Test) 검사 결과

시험편의 방사선 침투 검사를 실시한 결과 22mm시험편과 30mm의 시험편에서 <그림 3-2>와 같이 내부 크랙 등은 발견되지 않았지만 기공이 발견되었다. 기공은 <표 3-2>와 같이 22mm 시험편에서 2개, 30mm시험편에서 2개 발생하였는데 100mm당 2개소를 초과하지 않았고, 직경 2mm를 초과하지 않았으므로 AWS(미국용접협회) 합격 기준에 만족하였다.



22 mm 시험편



30 mm 시험편

<그림 3-2> 방사선 침투 검사 (RT, Radiographic Test) 필름

<표 3-2> 방사선 침투 검사(RT) 결과

Division	Specimens	Surface Defects	Result
FCAW 22 mm 시험편	WS-NT-1	기공 2개소(직경1mm, 1.3mm) 외 결함 발견되지 않음.	100mm당 2개소를 초과하지 않았고, 직경 2mm를 초과하지 않았으므로 AWS(미국용접협 회) 기준에 만족.
FCAW 30 mm 시험편	WS-NT-2	기공 2개소(직경1mm, 1.3mm) 외 결함 발견되지 않음.	2mm를 초과하지 않았으므로 AWS(미국용접협 회) 기준에 만족.

3.3 시험편 화학성분시험 결과

용접시험편의 화학성분 시험 결과는 <표 3-3>에 나타내었으며, SS400을 이용하여 맞대기 용접한 22mm시험편과 30mm의 시험편의 용착금속 화학성분은 SS400강재의 KS기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<표 3-3> 시험편의 화학성분 결과표 (단위 : %)

Divison	C	Mn	P	S
22mm 시험편	0.021	0.015	0.041	0.040
30mm 시험편	0.022	0.012	0.039	0.042
KS기준 (100mm이하)	해당없음	해당없음	0.050이하	0.050이하

3.4 시험편 인장시험 결과

시험편 22mm와 30mm의 인장시험 결과는 <표 3-4>와 같으며, 22mm 시험편의 인장강도는 평균 460MPa으로 AWS(미국용접협회) 하한치인 400MPa 이상으로 나타났으며, 파단형태는 <그림 3-3>에 나타내었다. 시험편 30mm 강재의 인장강도는 평균 464MPa으로 AWS(미국용접협회) 하한치 400MPa 이상으로 나타났으며, 파단형태는 <그림 3-4>에 나타내었다. 22mm와 30mm 시험편 모두 모재의 기본 인장강도인 407MPa를 상회하였으며, 모든 시험편이 연성파괴의 원인중 하나인 넥킹현상을 수반하며 모재부에서 파단된 것으로 보아 용접성이 양호함을 확인할 수 있었다.

<표 3-4> 두께별 용접부 인장시험 결과

Division	Specimens	Breaking mode	Tensile strength (MPa)
22 mm 시험편	WS-TS-1	BS breaking	458
	WS-TS-2	BS breaking	464
	Average	-	460
30 mm 시험편	WS-TS-3	BS breaking	468
	WS-TS-4	BS breaking	460
	Average	-	464



<그림 3-3> 22mm 인장시편의 파단 형태



<그림 3-4> 30mm 인장시편의 파단 형태

3.5 시험편 굽힘시험 결과

<표 3-5>는 용접부 굽힘시험 결과를 나타낸다. 용접부의 굽힘 시험 전 모든 시험편을 에칭(etching)한 후 용접부의 조직을 육안으로 확인한 결과, 용접부에 불연속 조직이나 균열(crack)은 발견되지 않아 건전한 용접부로 확인되었다.[7]

22mm 굽힘시험편의 굽힘시험 결과 <그림 3-5>과 같이 4개의 시험편 중 1개의 측면 굽힘 시험편에서 용접 초층부의 열영향부(HAZ) 주위에 균열(crack)이 발견되었지만 미세한 균열이기 때문에 건전한 용접부로 판단되었다. 따라서 초층부를 용접할 때 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.[7]

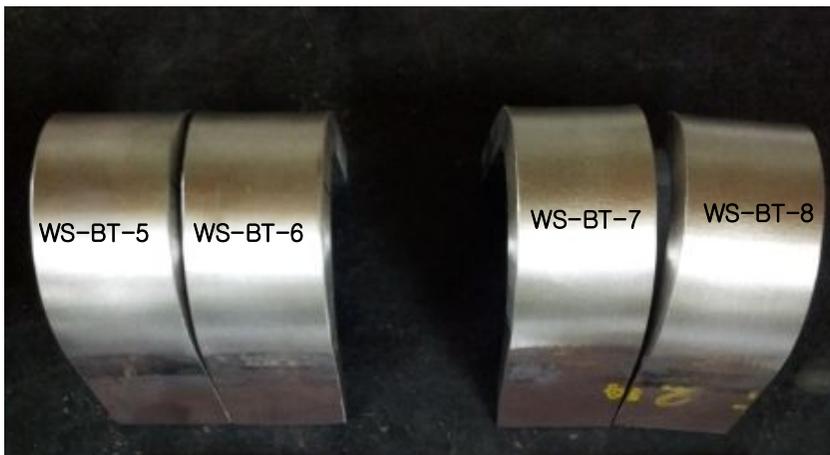
30mm 굽힘시험편의 굽힘시험 결과 <그림 3-6>과 같이 4개의 측면 굽힘 시험편 모두 균열(crack) 및 터짐 등의 결함(불연속)이 없어 양호한 용접부로 판단되었다.[7]

<표 3-5> 측면 굽힘 시험 결과

Division	Specimens	Bending Test	Test Result	Note
22mm 굽힘시험편	WS-BT-1	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
	WS-BT-2	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
	WS-BT-3	측면굽힘시험	양호	크랙 있음(미소)
	WS-BT-4	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
30mm 굽힘시험편	WS-BT-5	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
	WS-BT-6	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
	WS-BT-7	측면굽힘시험	양호	크랙 없음
	WS-BT-8	측면굽힘시험	양호	크랙 없음



<그림 3-5> 22mm 굽힘 시험편 결과



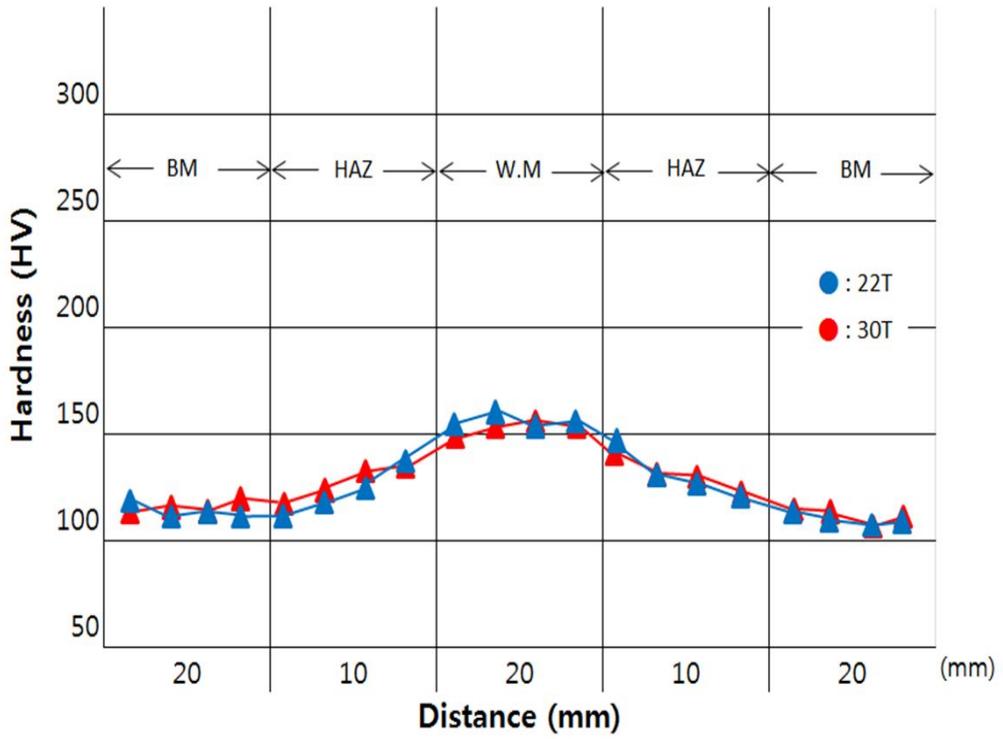
<그림 3-6> 30mm 굽힘 시험편 결과

3.6 시험편 경도시험 결과

시험편의 경도시험 결과는 <표 3-6>과 같으며, <그림 3-7>는 22mm 시험편의 경도분포와 30mm 시험편의 경도분포를 나타내고 있다. 시험편의 경도 분포는 전체적으로 200Hv를 넘지 않아 취성적인 경향을 보이지 않았다. 또한 모재와 용접부 간의 경도차는 약 45Hv이며 경도 분포를 보았을 때 비정상적인 경도 상승 및 하락이 없는 것으로 보아 양호한 용접부로 판단된다.

<표 3-6> 경도시험 결과

Division	Specimens	Measuring line	Average hardness (Hv)
22mm 시험편	WS-HT-1	BM (Middle)	108 Hv
		HAZ (Middle)	130 Hv
		WM (Middle)	152 Hv
30mm 시험편	WS-HT-2	BM (Middle)	110 Hv
		HAZ (Middle)	128 Hv
		WM (Middle)	154 Hv



<그림 3-7> 22mm 시험편과 30mm 시험편의 경도 분포

제 4 장 결 론

1. 본 연구에서는 신규 설계중인 중대형 시추장비 모델에 대한 응력 취약부를 확인하여 안전계수기준을 만족시키는 두께를 결정하였다.
 - (1) 응력 취약부는 시추장비의 Mast와 Main frame의 연결부로 확인되었다.
 - (2) 응력 취약부에 재하하중 100kN과 245kN당 각각 23mm, 30mm의 두께 적용되었을 때 안전계수기준 3을 만족하였다.

2. 결정된 두께의 소재를 용접하여 제작하기 위한 용접조건을 설정하여 시험을 진행하였다.
 - (1) 두께 22mm와 30mm의 main frame 용접시 각각 입열량 20KJ/Cm와 29KJ/Cm의 용접조건을 설정하였다.
 - (2) 용접결과물에 대해 용접성 및 이음성능을 확인하기 위해 6종의 시험을 실시한 결과 다음과 같이 나타났다.
 - 1) 시험편의 자분탐상검사를 실시한 결과 22mm시험편과 30mm의 시험편에서 크랙, 기공, 등은 발견되지 않았지만 언더컷이 발견되었다. 언더컷은 22mm 시험편에서 1개, 30mm시험편에서 1개 발생하였는데 크기는 2mm 이내였으므로 AWS(미국용접협회) 합격 기준에 만족하였다.
 - 2) 시험편의 방사선 침투 검사를 실시한 결과 22mm시험편과 30mm의 시험편에서 내부 크랙 등은 발견되지 않았지만 기공이 발견되었다. 기공은 22mm 시험편에서 2개, 30mm시험편에서 2개 발생하였는데 100mm당 2개소를 초과하지 않았고, 직경 2mm를 초과하지 않았으므로 AWS(미국용접협회) 합격 기준에 만족하였다.
 - 3) 용접결과물에 대한 화학성분시험 결과 화학성분은 SS400강종의 KS기준을 만족하는 것으로 나타났다.
 - 4) 시험편의 인장시험결과 22mm, 30mm 시험편의 최대 인장강도는 약 460MPa로 SS400강종의 KS기준에 만족하였다. 또한 모든 시험편은 연성파괴의 원인중 하나인 약간의 네킹현상을 수반하며 모재부에서 파단되어 이음성능이 양호하다는 것을 확인하였다.

- 5) 시험편의 용접부 굽힘시험 결과 용접부 표면상 균열, 블로우홀, 등 표면에서 결함이 발견되지 않았다.
 - 6) 시험편의 경도시험 결과 BM부의 경도는 약 110Hv, WM부의 경도는 DIR 155Hv로 용접부에서 우수한 경도를 확인할 수 있었으며 BM부와 WM부 경도차는 45Hv로 비정상적인 경도차, 상승 및 하락이 없었다.
3. 연구 결과는 실제 신규시추장비를 제작 시 적용 가능한 기계적 특성 및 용접성을 확인 할 수 있었으며, 향후 본 논문의 연구결과와 추가적인 피로시험결과를 바탕으로 시추장비를 생산할 경우 구조적으로 더욱 안정된 장비를 생산가능 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김동희: “지열에너지-땅 속에 있는 열을 뽑아쓰자”,
국립중앙과학연구원, 2013
- [2] 김용빈: “FCAW용접부의 흠형상에 따른 파괴인성 특성에 관한 연구”,
부산대학교 대학원, 2004
- [3] 박대호: “A516-70강의 용접입열량과 층간온도가 인성과 미세조직에
미치는 영향에 관한 연구”, 부경대학교, 2011
- [4] 이훈영: “이종재료 스테인리스강(ST304)/연경(SS400)의
GTAW용접특성에 관한 연구”, 조선대학교 용접접합과학공학과, 2016
- [5] 문정훈, 김진구: “자분 및 와전류검사”, 원창출판사, 1998
- [6] “용접부 균열 조사방법의 종류”, 한국건설기술인협회
- [7] 이은택, 김종락, 최영한, 김상섭: “HSA800강재의 FCAW용접성,
용접자세 및 이음성능 연구”, Vol28, No4, pp.281-292, 2016
- [8] AWS D1.1: “Structural Welding Code, 미국용접협회, 2010
- [9] KS D 1652: “철 및 강의 스파크 방전 원자 방출 분광 분석 방법”