

자동차공학전공 설계프로젝트 최종 보고서

주철 피복아크 용접시공에 따른 금속조직 및 경도 변화에 대한 연구
(2012년 03월 02일 ~ 11월 30일)

팀명 : WARP

자동차공학 설계프로젝트 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.

2012. 12.

대구대학교 기계자동차공학부(자동차전공)

제 출 문

대구대학교 기계자동차공학부 학부장 귀하

본 보고서를 대구대학교 기계자동차공학부 설계프로젝트 과제 '주철 피복아크 용접시공에 따른 금속조직 및 경도 변화에 대한 연구'의 결과보고서로 제출합니다.

(과제기간 : 12. 03. 02 ~ 12. 11. 30)

2012. 12.

지도교수 : 김 봉 훈

대표학생 : 김 인 우

참여학생 : 김 정 훈

김 진 우

김 혜 성

박 상 근



목 차

최종보고 요약문

제1장 과제내용 및 목표	1
제1절 목적 및 필요성	1
제2절 과제의 목표	1
제3절 기대효과 및 활용방안	1
제2장 개념설계 및 상세설계	2
제1절 개념설계	2
제2절 요인시험	3
제3절 시스템 설계	6
제4절 상세설계	8
제3장 제작	9
제1절 공정도	9
제2절 제작	10
제4장 시험방법	14
제1절 운용 및 시험 요구조건	14
제2절 운용 및 시험결과	22
제5장 결론	26
제1절 문제점 분석 및 처리결과	26
제2절 총평	27
[참고문헌]	29

최종보고 요약문

과제명	주철 피복아크 용접시공에 따른 금속조직 및 경도 변화에 대한 연구
팀명	WARP
팀원	김인우 / 김정훈 / 김진우 / 김혜성 / 박상근
과제기간	2012 년 3 월 8 일 ~ 2012 년 11 월 30 일

1. 개발내용 및 목표

- 주철은 유동성, 주조성, 절삭성 등이 연강보다 우수하며 400℃까지는 기계적 성질이 상온과 유사한 재료이다.
- 주철은 용접성이 좋지 않다. 하지만 이를 개선하기 위해 용접 최적의 조건을 찾는 것이 최종 목표이다.
- 주철 용접시 용착금속부, 열영향부, 모재부에 대해 각각 표면을 보고 어떤 변화가 생기는지 확인한다.
- ※ 예열을 통해 최적 조건을 찾되 예열을 과도하게 하여 주철 자체 변형은 하지 않음.

2. 개념설계 및 상세설계

- 주철은 용접성이 좋지 않은 재질임을 인지하고, 예열온도와 전류를 변경해 가며 시험하여 목표를 달성
- 정확한 시험을 위해 KS규격(금속재료 인장시험편)에 맞게 시편을 제작
- 예열온도와 전류를 제외한 나머지 조건은 철저히 통제하여 동일한 시험조건을 제공
- 전류 90A / 120A, 용접속도 동일, 용접봉 동일

3. 제작

- 시편(KS B 0801 금속 재료 인장 시험편 - 14B호) 제작

4. 시험방법

- UTM 인장력 시험
 - 90A보다는 120A 일 때 더 큰 하중을 버텼으며, 이에 따라 최대 변위 및 연신율 인장강도도 증가하는 결과를 얻음
 - 예열온도 또한 증가할 때마다 최대하중이 증가하였으며 이에 따라 최대 변위 및 인장강도 연신율 또한 증가하였음
- 브리넬 경도 시험
 - KS규격에 명시되어 있는 GC200의 경도는 223HB 이하로 용접의 영향을 받지 않은 모재부에서의 경도 175로 조건을 만족함
 - 용접시 열에 의해 장시간 열을 받는 부위의 GTAPHITE는 탄소입자들을 형성하여 BRITTLE하게 되는데, 용착금속부의 브리넬 경도가 가장 높은 것을 확인함

5. 세부 연구개발 내용 및 실적

- 모재부에서는 펄라이트 바탕에 검은 줄기 모양의 편상흑연이 존재하고 이를 200℃~400℃의 예열 과정에서 탄소가 용해되어 고탄소강이 되고 열영향부는 세멘타이트, 오스테나이트에서 펄라이트로 변화된 백주철의 조직을 띰
- 용착금속부에서는 마르텐사이트와 펄라이트가 생성되고, 연신율이 작게 나타나고 바로 깨져버리는 취성을 갖음
- 세멘타이트 부분에서 균열이 발생되고 넥킹현상이 일어나는데, 이는 모재부와 열영향부에서 파단이 이뤄지는 것으로 보아 열영향부주변에 세멘타이트가 존재한다는 것을 확인함.
- 경도 시험에서는 용착금속부에서 경도가 가장 높고, 예열을 할수록 브리넬 경도는 작아지며 전류에는 크게 영향을 받지 않음

제1장 과제내용 및 목표

제1절 목적 및 필요성

1. 과제개발의 목적

회주철은 유동성이 우수하며 부재의 형상설계에 있어서 자유롭고 양호한 성형성을 얻을 수 있으며 이러한 특성 때문에 다방면에 널리 사용되고 있다. 최근에는 공학적인 환경이 급변함에 따라 이러한 주철재의 각종 기기의 성능 향상과 수명 연장을 위하여 회주철의 용접이 요구되고 있다. 특히 산업 기계부문에서는 강도가 요구되는 주조부품에서 균열이나 결함에 대해 보수 용접이 필요하고 복잡한 형상의 주조품의 경우는 소규모로 주조하여 용접으로 결합하는 것이 가능해지면 주철 용접에 대한 이점이 커질 것이다. 하지만 일반적으로 회주철의 용접은 강에 비해 곤란하고 품질의 신뢰성이 확립되어 있지 않다. 이 연구의 목적은 회주철 용접시 최적의 용접 조건을 찾는 데 있다.

2. 과제개발의 필요성

- 주철은 주조성이 뛰어난 반면 용접이 어려움
- 주조품 균열이나 결함에 대해 보수용접이 필요함
- 복잡한 형상 주조품 제작시 소규모로 제작하여 용접으로 해결 예상

제2절 과제의 목표

1. 과제의 목표

- 주철의 용접 결함을 줄이기 위해 예열온도와 전류량에 따라 용착금속부 HAZ부 모재부가 어떻게 변화하는지 확인
- 실질적 인장력 및 경도 측정을 통해 수치적으로 어떻게 변화하는지를 이용하여 주철의 용접 최적 조건 확인

제3절 기대효과 및 활용방안

1. 과제의 기대효과

- 주철이 주조성이 좋은 것을 인지하지만 용접성 때문에 사용치 못했던 부문에 새로운 발판 마련
- 복잡한 형상의 주조품 제작시 부품으로 주조하여 용접으로 조립 가능할 것으로 기대

2. 과제의 활용방안

- 주철의 용접이 필요한 곳에 최적의 용접 조건을 알아볼 수 있으며, 이를 이용해 실질적으로 주철의 용접하는 곳에 적용할 수 있다.

제2장 개념 설계 및 상세설계

제1절 개념설계

1. 이론적 배경

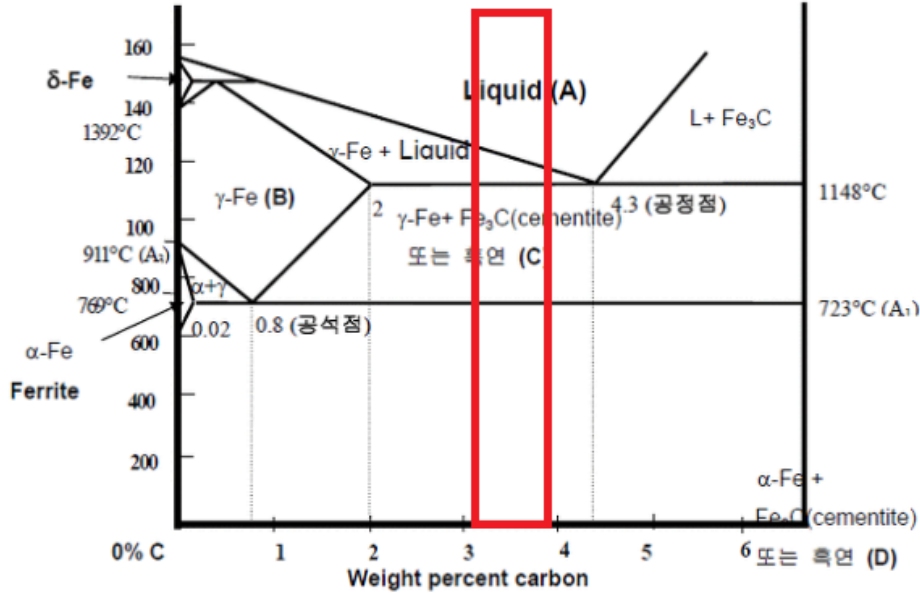


Fig 2-1-1. 철-탄화철 상태도

주철은 탄소(C)가 3.2%~3.8% 함유하고 있다. 약 1,150°C에서 녹으며 주물을 만드는데 사용한다. 이 주물을 만들 때 주철에는 철과 시멘타이트가 층상구조로 이루고 늘어선 펄라이트 조직을 바탕으로 해서 편상의 흑연이 산재하게 된다. 이러한 주철을 주물로 가공할 때에도 고온으로 녹여 사형 주조의 경우 틀에 넣어 하되 쇳물을 부은 후 모래속이나 가열로 안에서 서서히 식히게 된다. 그 이유는 오스테나이트화 된 주철이 상온부근까지 급격하게 온도가 낮아질 경우 마르텐사이트 형성되기 때문이다. 마르텐사이트는 오스테나이트와 펄라이트의 중간 조직으로 경도는 강한 반면 연성과 인성이 떨어지며 단단한 공구에 적합한 형태이다. 그러므로 마르텐사이트가 나오지 않도록 해야 한다. 아크용접은 용접모재와 같은 종류의 금속으로 만든 전극 사이에 아크를 발생시켜 전극 그 자체를 녹여서 접합부분을 채워 모재를 접합하는 용접법으로써 아크용접을 할 때에는 5,000 ~ 6,000K의 고온에 달한다.

본 연구는 주철의 보수용접에 관한 금속조직과 경도변화에 대해 연구하고 있으며, 주철에 예열을 통해 마르텐사이트를 나오지 않음과 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하면서 균열 등의 문제가 생기는데 이 또한 예열을 통해 해결하고자 시작하였다.

제2절 요인시험

1. 재료 및 방법

실험에 앞서 GC200¹⁾의 회주철을 구입하려는데 있어 원재료의 구입의 어려움이 있다. 그러므로 아래와 같은 KS규격화된 맨홀뚜껑을 구입하여 실험을 진행한다. 구입한 맨홀뚜껑을 다시 용융하여 주철괴로 재가공하여 KS B 0801/ 14B호 시편 모양으로 만든다. 이때 용융하는 과정에서 조직 성분이 변질될 우려가 있으므로 원재료를 KS B 0801/ 14B호²⁾ 시편 모양으로 만들고, 제작된 시편으로 인장 시험을 통하여 회주철의 기계적 성질에 입각하여 인장강도 및 경도를 비교하고 일부 시편을 채취하여 조직검사를 실시하고 실험에 적합한지 판단한다.



Fig 2-2-1. 주철괴 대체 맨홀뚜껑

1-1-1. 주철 성분

Table 2-1-1. 주철 성분

C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Mg(%)
3.2~3.8	1.4~2.2	0.4~0.6	0.5 이하	0.1 이하	-

1-1-2. 회주철품 KS D 4301 기계적 성질

Table 2-1-2. 회주철품 기계적 성질

종류 및 기호	인장 강도 N/mm^2	경도 HB
GC100	100 이상	201 이하
GC150	150 이상	212 이하
GC200	200 이상	223 이하
GC250	250 이상	241 이하
GC300	300 이상	262 이하
GC350	350 이상	277 이하

1-1-3. 주철의 용접성

- 주철은 용융상태에서 급냉되면서 HAZ부에 급격한 경화로 인한 냉각 수축현상에 의해 균열 발생의 위험이 크다.
- 용접시 모재의 불순물로 인한 기공을 발생한다.
- 용접에 의한 장시간 열을 받는 부위의 흑연은 탄소입자들을 형성하여 깨지게 된다.

1-1-4. 주철의 용접방법³⁾

- 주철용접에는 냉간 용접과 열간 용접으로 구분되며 냉간용접은 예열 없이 아주 낮은 온도로 용접하는 방법이고 열간용접은 용접하는동안 600~700℃를 계속 유지하여 용접하는 방법이다.

(1) 냉간 용접시 일반적인 사항

- 용접 물체 표면을 깨끗이 한다.
- 가능한 낮은 전류로 운봉 없이 용접한다,
- 수축응력을 제거하기 위하여 용접은 짧은 비드로 한다.
- 용접된 후 남아 있는 응력을 제거하기 위해 PEENING을 하여 이를 계속 반복한다.
- 일반적으로 약 100~200℃ 정도 예열을 한다.

(2) 용접의 기본원칙

- 용접 접합점(모재와 용착금속의 경계부분)의 입열을 가능한 최소로 한다.
- 크랙의 경우 크랙 양쪽 끝에 구멍을 뚫거나, 크랙방향과 직각으로 3cm 정도 다리용접 해준다.
- 중앙 균열의 경우는 크랙의 끝쪽에서 부터 크랙의 중앙쪽으로 용접을 해나가고 한쪽 끝만 크랙이 있는 경우는 안쪽에서 바깥쪽으로 용접해 나간다.
- 용접 후 반드시 가벼운 망치질을 하여 수축응력을 제거하여야 한다.
- 홈 가공은 V형은 피하고 항상 U형으로 가공한다.
- 얇거나, 중간정도의 홈가공은 부드러운 U를 형성하도록 하고 가능한 사이각은 넓게함과 동시에 높이는 두께의50%이상 필요 없다.
- 두꺼운 용접은 ROOT FACE를 5cm이상 크게 해서는 안된다. 그리고 각 부위를 부드럽게 가공한다.

1-2. 용접

1-2-1. 용접봉⁴⁾

- 주철에 맞는 용접봉은 Ni가 포함되지 않은 주철보수용 연강봉과 Ni이 50%, 99%가 포함된 크게 세 종류가 있다
- Ni 성분이 많이 들어갈수록 가격대가 높으며 주철용접이 수월하다
- 본 연구에서는 금전적 문제로 인해 가격대비 가장 저렴한 Est(주철보수용 연강봉) 사용하기로 하였다
- 용착금속 성분

Table 2-2-3. 용접봉 용착금속 성분

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
1.68	0.50	0.35	97.47

- 제품치수 및 적정전류 (AC 또는 DC+)

Table 2-2-4. 용접봉 종류 및 조건범위

봉 지 름 (mm)		2.6	3.2	4.0	5.0
봉 길 이 (mm)		300	350	400	400
전류(A)	<i>F</i>	60~90	90~130	120~160	150~200



Fig 2-2-2. KCF-50(고려용접봉)

1-2-2. 용접기

Table 2-2-5. 용접기 성능 및 재원

	ECONO-230		
	정격출력전류	A	10~200
	정격입력전류	KVA	6.6
	입력전원	V	1Ph-220
	정격주파수	Hz	50~60
	정격부하전압	V	28
	정격무부하전압	V	85
	정격사용율	%	40
	외형치수	mm	150x235x362
	중량	kg	12

제3절 시스템 설계

1. 용접용 지그 설계

1. 용접용 지그

- 용접시 시편을 움직이지 않도록 지지할 수 있는 고정용 지그 제작
- 시편 예열온도 유지를 위해 열전도도가 적은 SUS 304로 제작
- 시편의 위아래를 고정하도록 클램프 제작

2. 용접용 지그 최초 설계

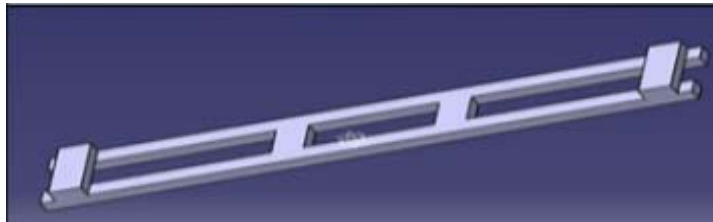


Fig 2-3-1. 용접용 지그 최초 설계

※ 설계에 대한 조 회의결과 문제점

- 위/아래 고정 장치가 없음
- 예열 하였을 시, 시편의 열팽창에 따라 들어가지 않을 수도 있음
- 위쪽 좌우측 시편 받침대의 제작이 어려움

제4절 상세설계

1. 시편

1. 인장시험 시편

1-1. KS B 0801 : 금속인장 시험편에 비례 시험편 14B호 사용²⁾

Table 2-4-1. KS 규격에 따른 인장시험 기준(14B호)

판 두께 (mm)	나비 W(mm)	표점 거리 L(mm)	평행부의 길이 P(mm)
27 초과 40 이하	40	205	265
19 초과 27 이하		170	
13 초과 19 이하	20	100	130
10 초과 13 이하		85	
7.5 초과 10 이하	12.5	60	80
5.5 초과 7.5 이하		50	

2. 시편 도면

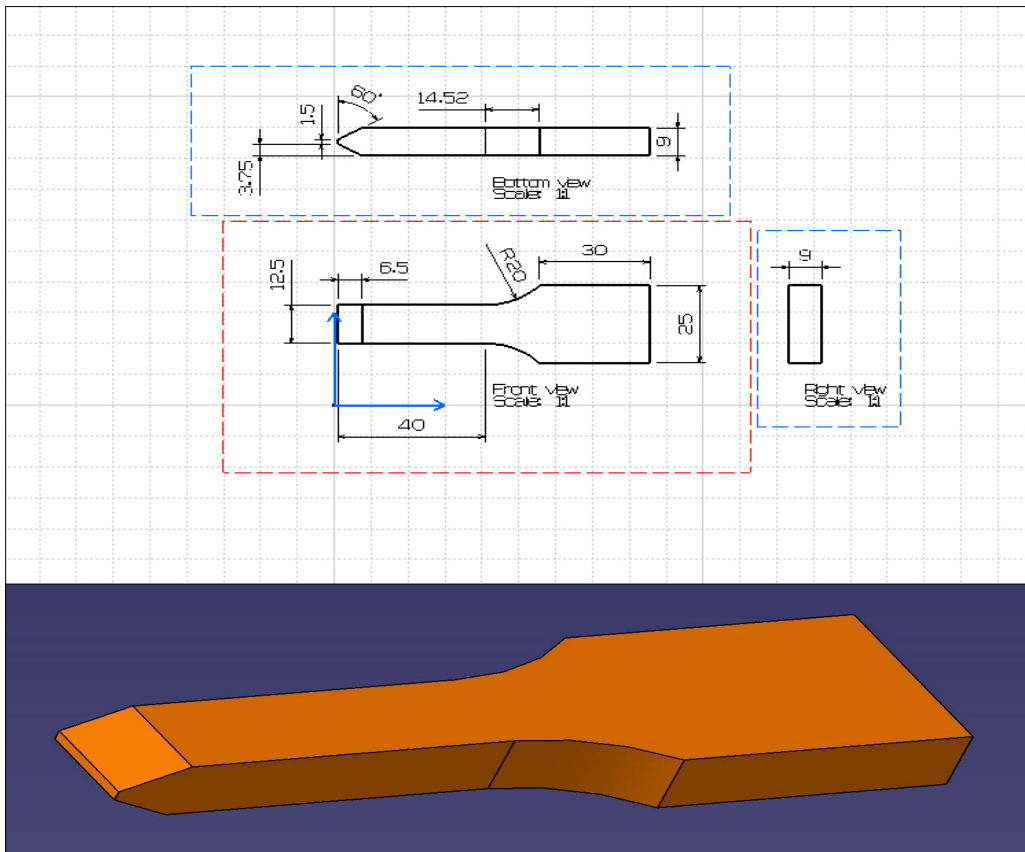


Fig 2-4-1. 인장시험 기준에 충족하는 시편 도면

제3장 제 작

제1절 공정도

Table 3-1-1. 제작 공정도 및 특이사항

공정 과정	특이 사항
① 주철(GC200) 및 용접봉 구매	※ 주철괴 대체 맨홀뚜껑 구입
↓	
② 주철 조직 확인	※ 맨홀뚜껑이 회주철이 맞는지 확인
↓	
③ 외주 제작의뢰 전 사전작업	※ 크기 맞게 밀링 작업
↓	
④ 시편 제작	※ 외주의뢰
↓	
⑤ 용접용 지그 제작	※ 열전도율이 낮은 SUS304 사용
↓	
⑥ 시편 용접	
↓	
⑦ 용접 완료 된 시편 재가공	※ 재가공(9T → 6T)
↓	
⑧ 제작완료	※ 시험(인장력/경도측정) 준비

제2절 제작

1. 주철(GC200) 및 용접봉 구매

- 주철과 구매가 용이하지 않아 이미 주철로 제작된 맨홀뚜껑을 구매하여 용융 후 재가공하여 밀링가공에 용이하게 주조
- ※ 용융하여 재가공함에 있어 주철은 급랭시킬 경우 백주철이 될 가능성이 있으므로 필요한 회주철을 얻기 위하여 서서히 냉각시켜야 함



Fig 3-2-1. 주철 및 용접봉

2. 주철 조직 확인

- 정확한 시험결과를 얻기 위해 회주철이 맞는지 확인을 위해 습식 절단기를 이용하여 작게 채취 후 마운팅/폴리싱/에칭을 한 후 현미경을 통하여 조직 확인
- ※ 에칭 - 3% Nital 용액을 사용

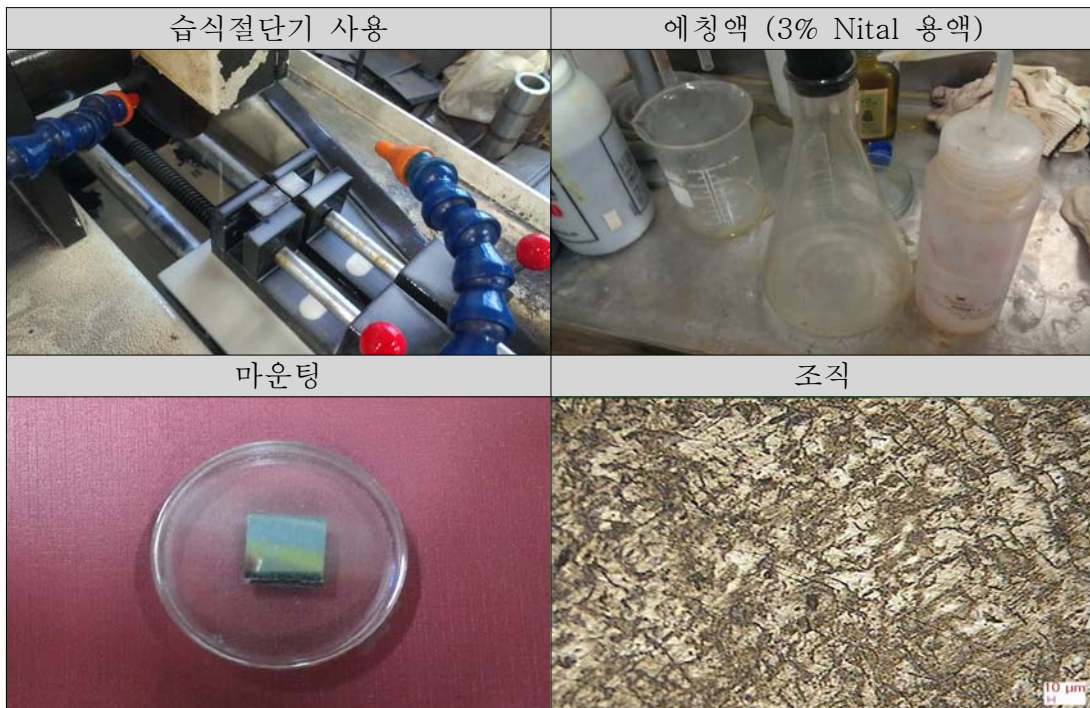


Fig 3-2-2. 주철 조직 확인

3. 외주 제작의뢰 전 사전작업

- 크기에 맞게 절단 및 밀링작업을 하였으며, 시편 도면 제작
- 도면에 따라 12T로 제작
- ※ 학교에서 사용하는 일반 밀링 커터바이트가 아닌 주철용 바이트(K10) 사용

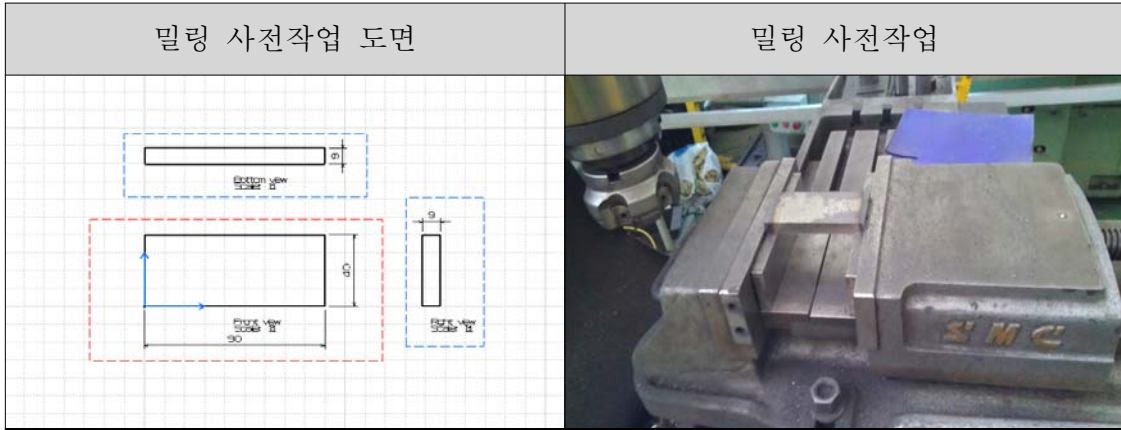


Fig 3-2-3. 사전작업 도면 및 사진

4. 시편 제작

- 사전작업 마친 주철을 9T 시편으로 제작을 의뢰
- 용접에 용이하도록 시편 끝부분은 V형으로 제작
- ※ 시편 정밀성을 위해 외주 의뢰

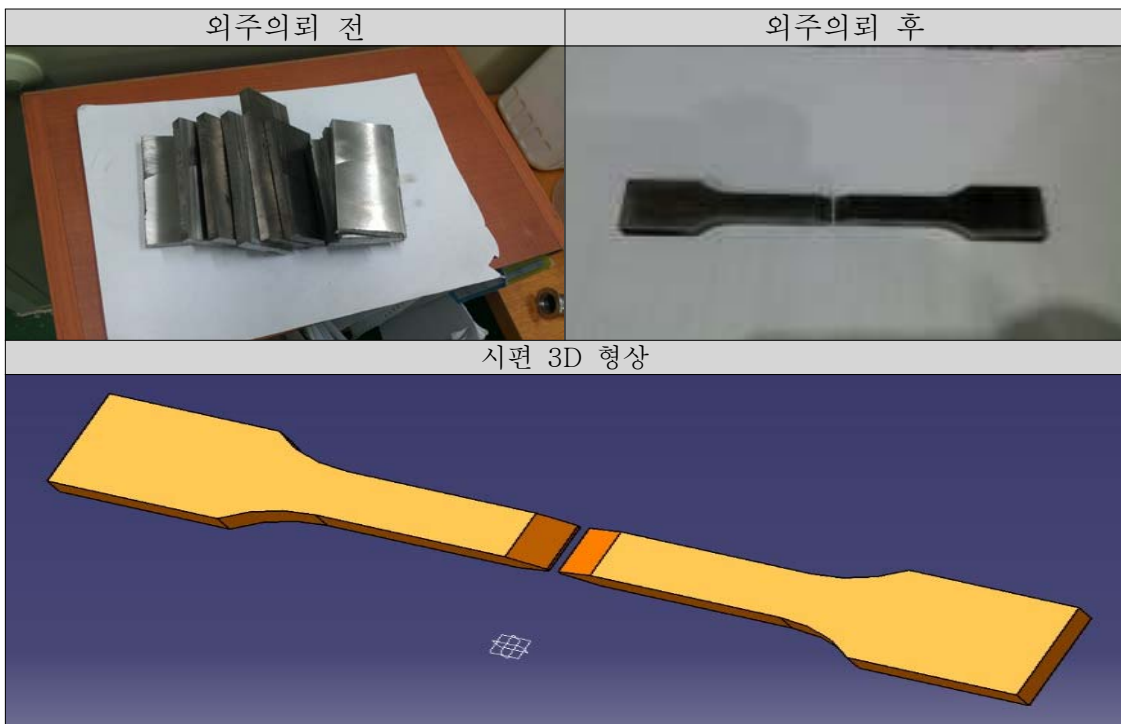


Fig 3-2-4. 시편 가공

5. 용접용 지그 제작

- 용접시 시편의 고정 및 수평을 위하여 지그 제작
- 제작 과정

- ① 워터젯 절단을 이용 기본 틀 / 제작 시편 고정용 틀 2개 제작
- ② 육각렌치 볼트 사용하기 위해 기본 틀 4φ 탭 가공 (시편 고정용 틀 4φ 탭가공)
- ③ 볼트 고정 및 시편 고정을 위해 고정용 틀 가운데 고정판 결합

※ 예열온도가 급격히 떨어지는 것을 방지하기 위해 열전도도가 낮은 SUS304 사용

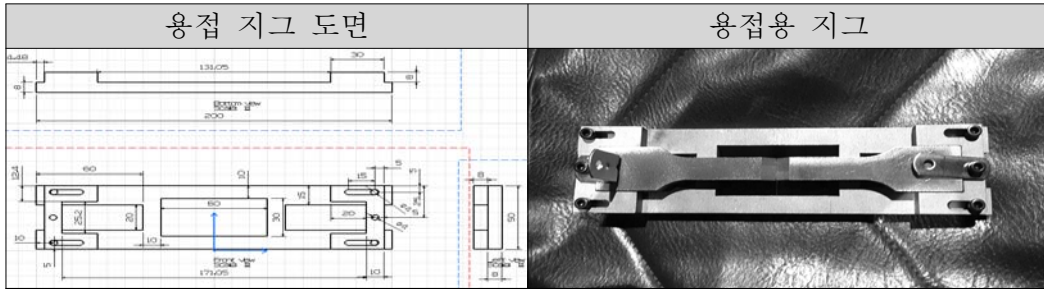


Fig 3-2-5. 용접용 지그 제작

6. 시편 용접

- 용접은 피복아크 용접(SMAW)으로 시공하고 주철의 시편은 각각 상온, 200℃, 400℃에서 용접한다. 200℃, 400℃로 예열함으로써 시편내의 잔류응력을 감소시킬 수 있고, 변형의 저감, 온도기울기나 열응력에 기인한 균열발생을 방지할 수 있다. 예열은 미세조직을 조절하는 역할을 하며 315℃ 이상의 온도로 예열하면 마르텐사이트 변태가 최소화되는 점까지 냉각속도가 늦춰지며 균열발생 경향이 감소한다. 가열로에서 시편을 꺼내면 상온에서 열이 식으므로 예열온도에 맞게 용접을 위해 예열온도보다 50℃가량 더 가열하여 예열온도로 낮춰지면 용접을 실시한다.

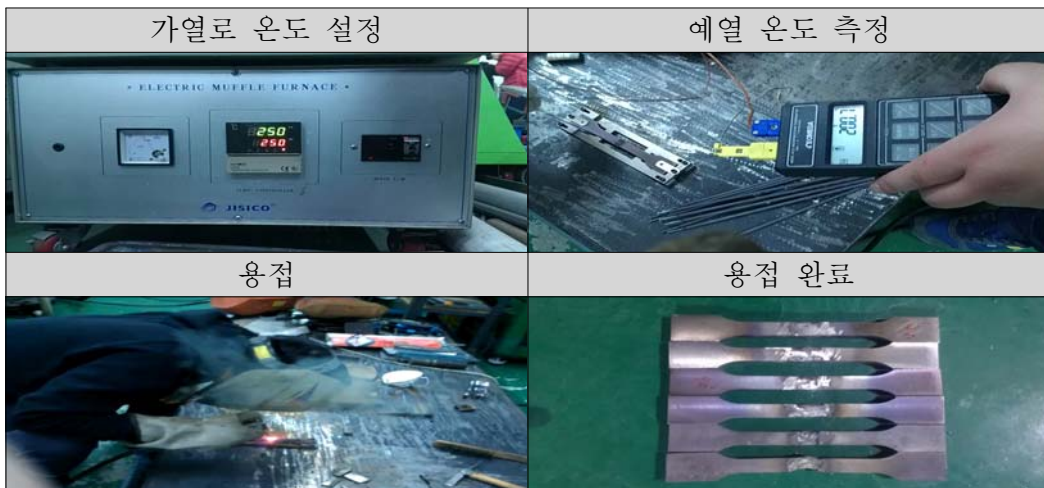


Fig 3-2-6. 시편 용접

※ 400℃, 120A 조건의 경우 용접 불가 (시편 변형)



Fig 3-2-7. 400℃, 120A 조건 용접 불가

7. 용접 완료 된 시편 재가공

- 용접이 완료 된 후 9T 시편을 KS B 0801/ 14B호에 맞게 6T로 재가공

※ 측면 용접 비드 제거

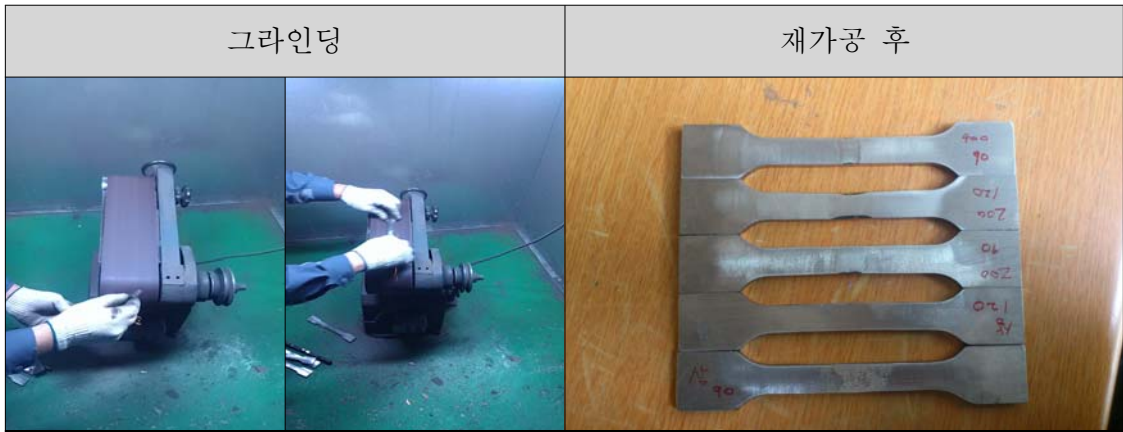


Fig 3-2-8. 용접 후 시편 재가공

제4장 시험방법

제1절 운용 및 시험 요구조건

1. 기본 조건

Table 4-1-1. 용접 기본 조건표

입열량	사용전원	용접속도	용접봉	시편	예열온도 ⁵⁾
28V 90A	DC	100 mm/min	KCF-50 Ø3.2	관형 14B호	상온
					200℃
400℃					
상온					
200℃					
400℃					
28V 120A					

2. 용접 계획

- ① 가열로에 넣어 각각 상온, 250℃, 450℃로 예열한다.
- ② 지그에 맞춰 끼운 후 상온, 200℃, 400℃가 될 때 까지 기다린 후 용접을 동일한 속도로 한다
- ③ 제1층에서는 피닝을 하면 안되기 때문에 하지 않고, 다시 가열로에 넣어 서서히 냉각시킨다
※ 급랭시킬 경우 용착금속부의 주철이 변형이 되기 때문에 서서히 해야 한다.
- ④ 지그에서 빼낸 후 다시 제2층을 하기 위해 가열로에 넣어 각각 상온, 250℃, 450℃로 다시 예열한다
- ⑤ 예열이 끝난 시편을 다시 지그에 맞춘 뒤 상온, 200℃, 400℃가 될 때 까지 기다린 후 용접을 동일한 속도로 한다
- ⑥ 제2층 이후로는 피닝을 실시하도록 한다
※ 피닝 - 용착금속부를 각 층마다 끝이 둥근 해머로 연속적으로 두드려 표면층에 소성 변형을 부여하는 조작이다. 피닝은 용착금속부의 잔류 응력이나 변형을 완화하는 효과가 있기 때문에 응력 제거를 요하지 않는 정도의 간단한 용접 보수의 경우, 잔류 응력이나 변형의 감소를 꾀하는 방법으로 사용되기도 한다. 그러나 제1층에는 절대로 피닝을 해서는 안 된다.
- ⑦ 다시 서서히 냉각시킨다
- ⑧ 제3층은 2층과 동일한 형태로 실시한다. 총 4층의 용접을 실시한다

3. 시험 방법

1-1. 인장시험기

1-1-1. 인장시험기-UTM



Fig 4-1-1. UTM 인장시험기

하중은 유압프레스로 가하게 된다. 하중의 측정은 주로 유압 실린더에 발생하는 압력을 직접 측정하거나 밀폐된 플렉시블 캡슐(Closed flexible capsule)을 사용하여 측정하며 피스톤의 면적을 변화시켜 피스톤이 받는 압력을 조절할 수 있으므로 대용량의 시험기 제작이 가능하나 유압밸브를 조절하여 하중의 가감을 하므로 하중속도는 조절이 가능하나, 변형율 속도의 조절은 힘들다.

1-1-2. 인장시험 개요

일반적으로 단면이 원형 또는 사각형인 평행부를 갖는 규정된 형상과 치수의 시험편을 (표준 소급성을 갖는 시험기를 사용하여) 그 축의 방향으로 과단이 일어날 때까지 서서히 인장하중을 가하며 하중과 변형을 측정하는 시험이다. 인장시험의 장점은 시험에 걸리는 응력의 분포가 잘 해석되어 있고, 시험 방법이 잘 정립되어 있다. 그리고 시험하기가 쉽고 경제적이다.

인장시험에서 얻을 수 있는 정보는 인장강도 (Ultimate Tensile Strength), 항복강도 (Yield Strength), 연신율 (Elongation), 단면수축율 (Reduction of Area), 비례한도 (Proportional Limit), 포와송비 (Poisson's Ratio), 탄성계수 (Modulus of Elasticity)가 있다. 인장시험 결과를 응용하면 설계치에 대한 사용 재료의 적정성 판단하고 규격에 대한 재료의 합격 여부 판단할 수 있다. 타 소재로의 대체 가능성 검토하고 생산품의 품질관리를 할 수 있다. 그리고 신소재 개발에의 기초 자료와 설비의 안전성 평가 기초 자료로 사용될 수 있다.

1-1-3. 인장 시험편

시험편 채취 방법은 일반적으로 재료는 등방, 등질재료이나 압연이나 이방성 재료를 실험할 경우에는 많은 차이가 난다. 시험 전 시험편 채취 방향을 표시하여 알 수 있도록 해야 한다. 시험편의 크기가 클수록 강도는 낮아지고, 내부에 결함이 있을 확률이 높아진다. 그러므로 규격에 맞는 동일한 시험편으로 시험을 해야 한다. 시험편 표면에 발생된 흠이나 표면 거칠기 등의 차이는 응력집중이 원인이 되며 강도가 낮아진다. 이를 개선하기 위해서는 표면을 폴리싱(polishing)작업을 필요로 한다. 시험기의 크기를 고려하여 규격에 근거한 시험편을 가공하고 열처리를 수행한 재료의 특성은 시험편을 가공한 후에 정해진 열처리를 수행한다.

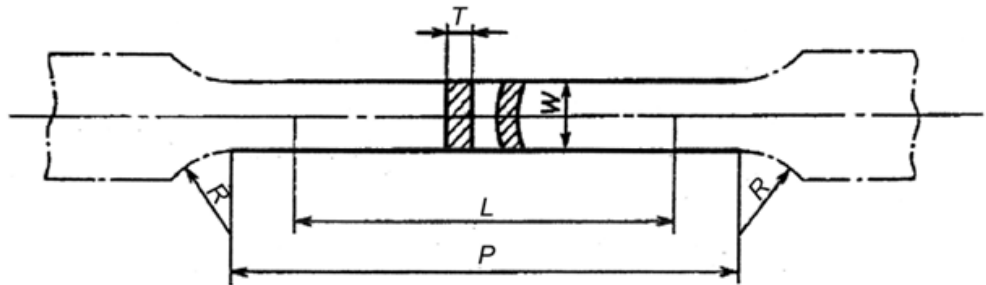


Fig 4-1-2. 판형 인장시험편

- 인장시험편의 평행부 (reduced section,P)

시험편 중앙부에서의 동일 단면을 갖는 부분을 말한다.

- 표점거리 (gage length,L)

평행부에 표시된 두 표점간의 거리로, 연신률 측정의 기준이 되는 거리를 말한다.

- 상사법칙 : 동일 재질, 기하학적으로 유사한 시험편은 동일한 연신율을 가진다.

1-1-4. 인장 시험 척

- 썬치형 : 가장 많이 사용하며 하중이 가해질수록 완전히 고정된다.

- 나사형 : 완전고정이 가능하나 시험편 제작이 어렵다.

1-1-5. 인장 시험 시 주의 사항

- 시험 목적에 부합되는 하중 속도와 온도 조건을 결정한다.

- 시험편의 제작 방법이나 기계적인 처리 등 시험편의 이력을 기록한다.

- 시험기의 종류와 용량을 기록한다.

1-1-6. 인장실험 계획

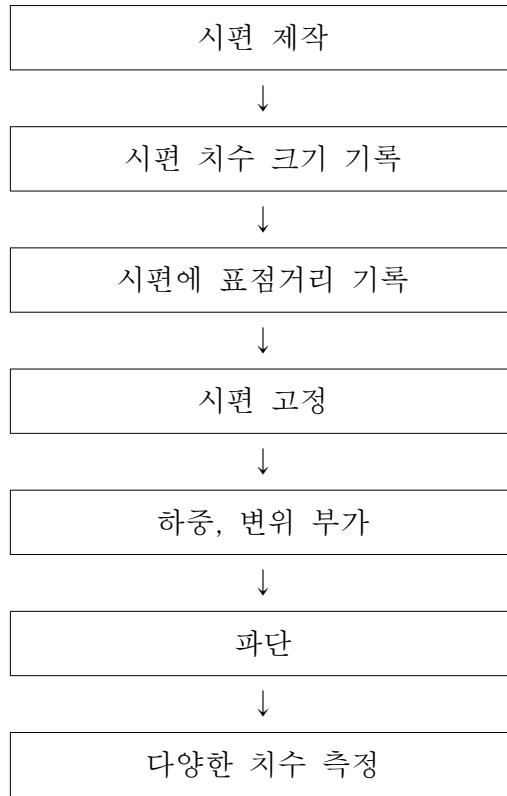


Fig 4-1-3. 인장시험 순서⁶⁾

- 하중부하속도 : 하중제어와 변위제어(30mm/min~0.5mm/min)가 있음. 보통 하중부하속도가 느릴수록 정확한 data를 얻을 수 있고, 속도가 빠를 때보다 인장강도는 낮다.(재료가 충분히 손상을 받기 때문)
- 시편장착 : 하중 축을 일직선으로 유지시켜야 한다
- 시험 전 데이터정리 : 시험편치수 측정, 표점거리표시
- 시험이후 데이터정리 : 변형된 표점거리와 단면적 측정, S-S curve 계산, 항복 응력계산





1-1-7. UTM 사용법

Table 4-1-2. UTM 인장시험기 버튼 사용법

	작동하중 및 변위 표시창
	크로스헤드의 상하 이동 버튼
	유압장치 작동 버튼 클램프 작동 및 하중 작동 시 ON
	장비시동 시건 장치
	하중작동 레버

- ① UTM의 시리얼 포트를 컴퓨터에 연결 후 장비시동 시건 장치에 UTM 열쇠를 꽂아 전원을 켜다. 이때 컴퓨터의 전원도 켜다.
- ② 유압장치 작동 버튼을 눌러 유압장치를 작동시키고 컴퓨터에서 KStester를 실행시킨다.

Table 4-1-3. UTM 인장시험기 프로그램 버튼 기능

	시험환경
	인장시험
	인장강도시험자료입력
	그래프 확인

- ③ 시험환경 아이콘을 누른 후 다음과 같이 입력한다.

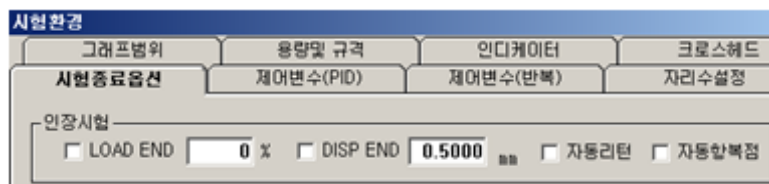


Fig 4-1-4. UTM 인장시험기 프로그램 시험환경

- ④ 시험방법을 인장시험으로 설정 후 인장강도시험자료입력 아이콘을 누르고 데이터를 입력한다.

시험번호		시료번호
한글표기	영문표기	내 용
시험번호	Test No	
시험일자	Test Date	2004-09-09
시험규격	Test Spec	
시험장소	Test Place	
시험온도	Test Temp	
제 조 처	Customer	
의 령 자	Buyer	
채취장소	Sampled	
기준강도	Spec Stress	
기준신율	Spec Elong	
시 험 자	PERFORMED BY	
확 인 자	CHECKED BY	

Fig 4-1-5. UTM 인장시험기 시험조건

- ⑤ 시험번호에 조이름을 입력 후 시료번호와 표점거리, 시료형태, 단면적을 입력한다.

Fig 4-1-6. UTM 인장시험기 시험 조건

- ⑥ 프로그램 오른쪽 하단부의 하중 영역을 설정한다.
 ⑦ 지그상단에서부터 시편을 장착한다.
 ⑧ 영점 조정 아이콘을 누른 뒤 START 아이콘을 누르고 하중 작동 레버를 Hold로 조정한다.

- ⑨ 시편이 파단되면 STOP 아이콘을 누르고 데이터를 저장한다.
- ⑩ 그래프 확인 아이콘을 누르고 그래프를 확인한다.

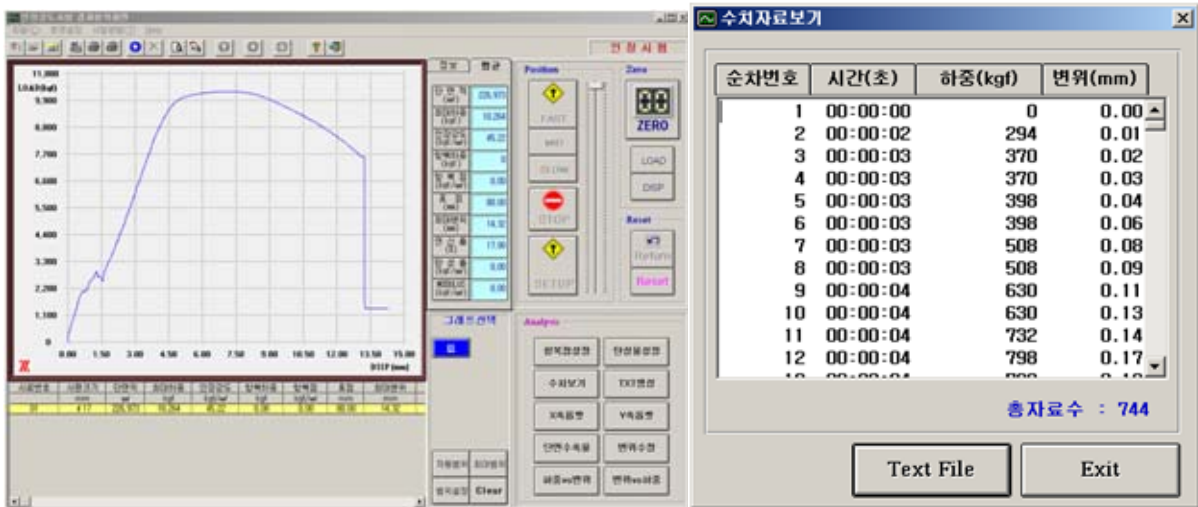


Fig 4-1-7. 인장시험 후 그래프

- ⑪ 수치보기 아이콘을 누르고 Text File로 저장한다.

2-1브리넬 경도기


	시험하중 (kg_f)	500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
	기계크기 (mm)	470×600×1140
	최대시험높이 (mm)	175
	중량 (kg)	약 120

Fig 4-1-7. 브리넬 경도 측정기

<브리넬 기준 시험편 교정>

ISO 6506-2 에 규정한 브리넬 경도 시험기의 간접 검증을 위한 기준 시험편의 교정 방법에 대하여 규정한다.⁷⁾

2-1-1. 시편의 두께 선정

경도 기준 시험편으로 사용되는 시험편은 특별히 관리하여 제조하여야한다.
교정할 각 금속 시험편의 두께는 다음 두께 이하로 한다.

- 10mm 볼의 경우 16mm
- 5mm 볼의 경우 12mm
- 5mm 이하의 볼의 경우 6mm

(시험편의 두께를 고려하여 5mm이하의 볼을 선택)

2-1-2. 시험편의 평탄도

- 시험편의 표면은 압흔을 측정하는데 방해가 되는 굽힘 자국이 없어야한다.
- 기준 시험편에 부착된 비금속 이물질을 지속적으로 제거하고, 교정시 최소 0.1mm 까지 두께를 표시하거나 시험편에 표면에 표기된 두께를 확인한다.

2-1-3. 교정절차

초기 부하 하중에서 완전 시험 하중이 부하될 때까지 시간은 6초 이상이어야 하고 8초를 경과할 수 없다. 시험하중 유지시간은 10~15초로 하여야한다. 하중은 볼이 시험편에 접촉하기 직전까지의 볼의 접근 속도를 1mm/s이하로 제어 하여야한다.

2-1-4. 압흔의 수

각 기준 시험편에서 표면에 균일하게 5개 압흔을 전체 시험편 표면에 형성시켜야한다.

이때 경도의 균일성을 위하여 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 는 배열 증가에 따라 배열된 압흔의 지름을 측정하여 평균값으로 할 수 있다. 특정 교정 조건에서 시험편의 균질성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

※ 브리넬 경도 실험 절차

금속 재료의 브리넬 경도 시험방법, KS B 0805에 의거하여 브리넬 경도시험을 실시한다. 채취한 시편의 두께에 따라서 볼의 지름을 선택하여야 함으로 ISO 6506-2 에 규정한 교정방법을 따른다. 시편은 두께는 6mm로 5mm 이하의 볼을 택한다. 5mm의 볼을 체결하여 시편을 받침대에 올려놓고 레버를 돌려 5mm 볼 끝과 살짝 접촉하도록 Setting 한다.브리넬 경도기의 압력밸브를 잠그고 손잡이를 아래위로 펌프질하여 1000kgf로 맞춘다. 이때 1000kgf에 가까워지면 펌프질을 천천히 하지 않으면 경도측정 오차가 커지므로 주의를 요한다. 10~15초 정도 하중을 가한 후 압력밸브를 열어 하중을 제거한다. 오차범위를 줄이기 위하여 압력밸브를 천천히 풀어 하중이 천천히 가해지도록 하여야한다. 볼에 의해 압축된 직경을 현미경을 통하여 측정하고 브리넬 환산표 “KS B 0805 부속서 C1”를 참조하여 경도를 측정한다.⁸⁾

제2절 운용 및 시험결과

1. 시험과정

1-1. 인장력 시험 - UTM 사용

- 인장시험 조건 - 시편크기 12.5mm×6mm, 75mm², 50mm

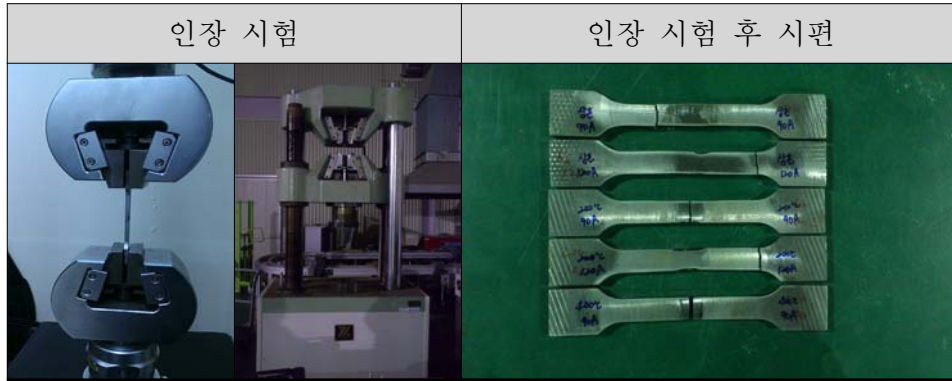


Fig 4-2-1. 인장시험

1-2. 경도 측정 - 브리넬경도기

- 용접 조건별로 용착금속부/열영향부/모재부분을 각각 측정 및 확인
- 경도시험 조건 - 볼지름 5mm, 무게추 1000kg

※ Nital 용액 사용하여 각 부분 확인

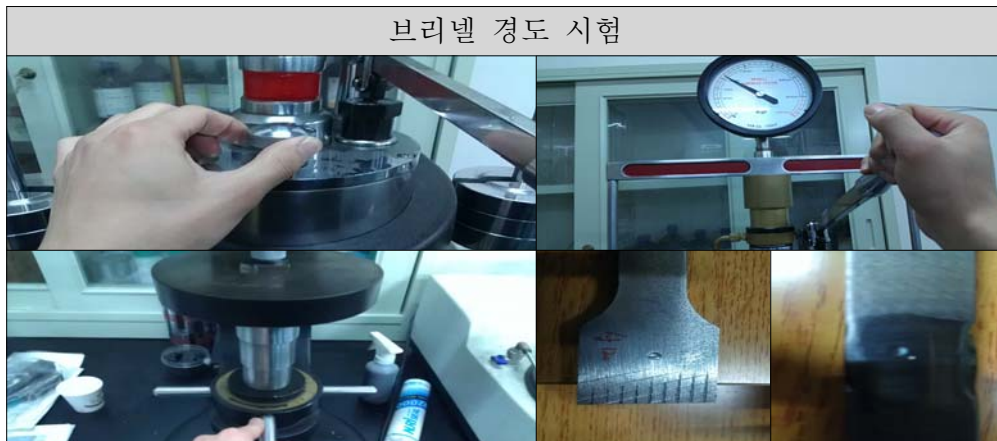


Fig 4-2-2. 경도시험

2. 시험 결과

2-1. 인장력 시험

- 온도와 용접 전류 변화에 따른 특성은 아래의 Fig 4-2-3과 같다. 인장강도는 예열 온도가 높을수록 인장강도가 높은 것을 알 수 있고, 경도와 다르게 용접전류의 변화에 인장강도의 변화가 있음을 알 수 있다. 전류 90A로 용접 시 상온에서의 연신율은 4.22%, 200℃의 예열온도에서 4.2%, 400℃온도에서는 4.82%로 연신율은 증가⁹⁾

- 인장시험 결과

90A 중 상온 경우 하중은 1,540kgf 인장강도는 20.53kgf/mm² 변위 2.11mm, 연신율 4.22%, 200℃ 경우 하중은 1,580kgf 인장강도는 21.07kgf/mm² 변위 2.1mm, 연신율은 4.2%, 400℃ 경우 하중은 1,930kgf 인장강도는 25.73kgf/mm² 변위 2.41mm, 연신율 4.82%이다.

120A 중 상온 경우 하중은 1,628.67kgf 인장강도는 21.72kgf/mm² 변위 2.16mm, 연신율 4.32%, 200℃ 경우 하중은 1,766kgf 인장강도는 23.55kgf/mm² 변위 2.27mm, 연신율은 4.54%이다.

- 인장시험 결과 및 분석

관형 시편의 용착금속부 인장시험의 결과 값을 미루어 볼 때, 평판인장시험의 결과를 보면, 상온의 경우 이상적인 파단형태인 모재부에서의 파단이 일어났으나, 200℃/90A, 400℃/90A의 경우는 용착금속부 파단이 일어났다. 주철의 용접성의 특징을 보면 가능한 낮은 전류로 100℃~200℃의 예열상태로 용접이 가장 효율적인 용접이 되는 것으로 알려져 있는데, 200℃의 예열 온도에서 90A로 용접 시 가장 효율적인 용접 조건으로 예상되지만, 용착금속부의 용입정도와 용접봉을 연강 봉으로 사용한 점이 변수로 작용한 것으로 판단된다. 용착금속의 선택 및 용접조건을 세밀히 파악할 필요가 있다.

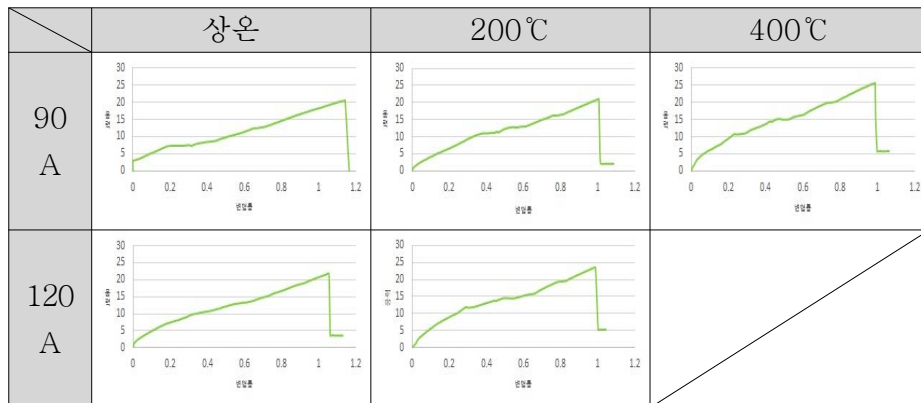


Fig 4-2-3. 인장시험 결과 그래프

2-2. 경도 측정

- 경도시험 결과

90A에서의 실험 경우

상온조건의 경우 용착금속부에는 340HB, 열영향부 250HB 모재부는 175HB,

200℃조건의 경우 용착금속부에는 276HB, 열영향부 227HB 모재부는 175HB,

400℃조건의 경우 용착금속부에는 250HB, 열영향부 227HB 모재부는 175HB

120A에서의 실험 경우

상온조건의 경우 용착금속부에는 340HB, 열영향부 250HB 모재부는 175HB,

200℃조건의 경우 용착금속부에는 250HB, 열영향부 227HB 모재부는 175HB,

- 경도시험 결과 및 분석

- KS규격에 명시되어 있는 GC200의 경도는 223HB 이하로 용접의 영향을 받지 않은 모재부에서의 경도 175로 조건을 만족

- 용접시 의해 장시간 열을 받는 부위의 GTAPHITE는 탄소입자들을 형성하여 BRITTLE하게 되는데, 위에서 알 수 있듯이 용착금속부의 브리넬 경도가 가장 높은 것을 확인함

- 상온에서의 경도는 예열한 곳보다 경도가 높으며, 열영향부에서는 경도 상승률이 크지 않음을 확인함

2-3. 표면 확인

- 각 조건 및 부분별 사진 (10μm)

	용착금속부	열영향부	모재부
상온 90A			
상온 120A			
200℃ 90A			

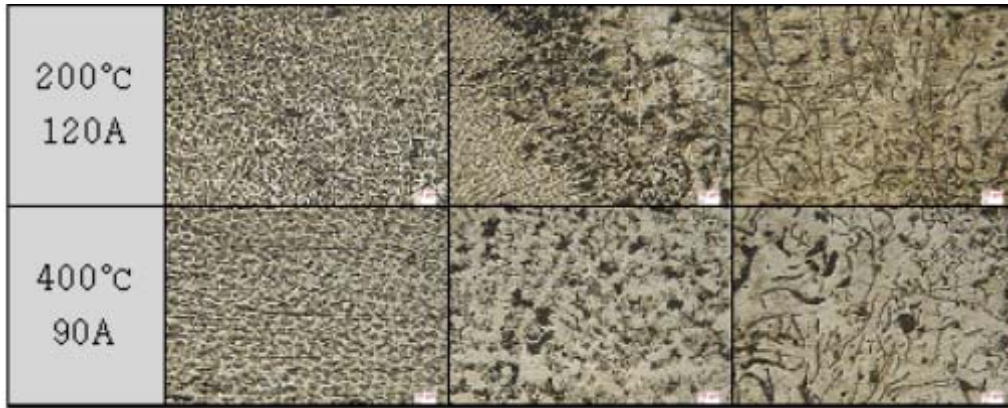


Fig 4-2-3. 각 조건별 표면

- 표면조직¹⁰⁾ (Fig 4-2-3)

- 일반 회주철에 나타나는 흑연의 형상은 여러 가지가 있으나 모재부에서 볼 수 있듯이 가는 줄기 모양의 편상으로 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 바탕은 펄라이트, 흰색 부분은 철(F)-인(P)의 공정조직(Steadite)이다.
- 예열을 많이 할수록 냉각속도 늦어지고 늦을수록 조직 내에서는 많은 페라이트가 나타나서 주철은 연하게 된다. 주철이 연하게 되면 연신율이 증가하게 된다.
- 반대로 냉각속도가 빨라지면 마르텐사이트가 많아지고 취성이 생기고 연성은 떨어지며 연신율이 작아진다.
- 회주철의 인장 실험시, 파단 경로(FRACTURE PATH)가 편상흑연을 따라 일어나서 파단면이 회색과 어두운 회색을 띤다.
- * 스테다이트 : 회주철 속에 인을 함유하고 있는 공정이 스테다이트이다.
- * 오스테나이트 : 탄소를 고용(古溶)하고 있는 γ 철, 즉 γ 고용체를 오스테나이트라고 한다. 철의 소입(燒入 ; Quenching) 조직의 하나이고, 면심입방정계이며 철을 A1 변태점(726°C) 이상으로 가열했을 때에 얻을 수 있는 조직이다.

제5장 결론

제1절 문제점 분석 및 처리결과

1. 문제점 분석

주철은 고탄소 철강제품으로 높은 탄소함량으로 인하여 일반 탄소강에 비하여 용접성의 어려운 것으로 알려져 있다. 적절한 용접재료나 용접절차의 선정 등의 검토가 필요하다. 우선 시험에 앞서 회주철 GC200의 원재료를 구하는데 어려움이 있다. 그러므로 회주철 GC200으로 만들어진 가공품을 조사하여 이를 필요에 맞게 가공해야 할 것으로 판단된다. 용접시 필요에 따라 지그가 필요한데, 판형시편으로 가공을 하고 시편을 정확하게 2등분하여 이를 KS B 0801/ 14B호에 맞게 맞대어 용접을 하므로 용접부위를 고정할 수 있는 고정용 지그가 필요하다. 지그를 제작할 때 시편을 확실히 고정할 수 있어야하며 정확히 설계되어야 한다. 주철을 100mm×100mm의 크기를 기준으로 400℃ 예열하면 열팽창으로 1mm정도 늘어나므로 용접용 지그를 제작하는데 있어 이를 고려하여야 한다. 용접조건을 상온, 200℃, 400℃로 용접하는데 있어 예열온도가 떨어지지 않도록 하는 주의를 요한다. 마지막으로 용착금속부와 모재부에 비하여 열영향부는 찾는 데 어려움이 있으므로 정확한 시험을 하는데 있어 고찰해야 할 부분이다.

2. 각 문제에 대한 처리결과

주철을 용접하기 위해서는 피복아크용접을 수행하는데 앞서 충분한 예열이 필요하며, 일반 용접봉이 아닌 주철의 강도를 더 증가시킬 수 있는 니켈(Nickel)이 함유된 주철 전용 용접봉을 사용하는 것이 이상적이다. 하지만 주어진 예산이 한정되어 있어 니켈이 함유된 주철 용접봉은 가격이 비싸므로 주철 전용 연강봉으로 대처하였다. GC200의 회주철을 구하기 위해 조사한 결과 주물로 제작된 맨홀뚜껑 가장 적합한 것으로 판단되어 이를 구매하여 용융 후 재가공을 하였다. 시편 고정을 위한 용접 지그는 예열온도가 빨리 떨어지는 것을 방지하기 위하여 열전도율이 낮은 SUS 304 재질로 제작하였고, Fig 3-2-5 와 같이 예열로 인한 열팽창에도 시편을 충분히 고정할 수 있게 제작하였다. 용접조건에 예열온도는 상온과 200℃는 시편만 예열하고, 400℃ 시편은 상온에서 지그에 고정 후 예열을 시작하여 450℃에 꺼내어 400℃가 되면 용접을 실시한다. 열영향부의 브리넬경도측정 방안은 인장강도 시험 후 파단된 시편을 습식절단기로 가공하고 폴리싱/에칭을 통하여 조직검사를 실시하고 열영향부를 찾아 이를 표시하여 표시된 부분의 경도를 측정함으로써 정확한 경도 시험을 실시하였다.

제2절 총평

1. 결론

모재부에서는 펄라이트바탕에 검은 줄기 모양의 편상흑연이 존재하고 이를 200℃~400℃의 예열과정에서 탄소가 용해되어 고탄소강이 되고 열영향부는 세멘타이트, 오스테나이트에서 펄라이트로 변화된 백주철의 조직을 띤다. 용착금속부에서는 마르텐사이트와 펄라이트가 생성되고, 연신율이 작게 나타나고 바로 깨져버리는 취성을 갖는다는 것을 인장시험으로부터 알 수 있다. 또한 세멘타이트 부분에서 균열이 발생되고 넥킹현상이 일어나는데, 이는 모재부와 열영향부에서 파단이 이뤄지는 것으로 보아 열영향부주변에 세멘타이트가 존재한다는 것을 확인 할 수 있다. 경도 시험에서는 용착금속부에서 경도가 가장 높고, 예열을 할수록 브리넬 경도는 작아지며 전류에는 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

인장시험 결과 주철을 예열할수록 연신율이 증가하고, 인장강도와 최대변위가 증가한 것을 알 수 있다. 또한 아크용접의 전류를 90A와 120A의 비교 결과 전류가 높을수록 위와 같이 인장강도와 최대변위, 연신율이 증가함을 알 수 있었다.

경도시험 결과로는 예열할수록 경도가 작아지고 용착금속부가 가장 경하다는 것을 알 수 있다. 용접 전류의 세기는 실험 결과와 같이 크게 영향이 없었다.

용접전류 120A, 예열온도 400℃로 용접하였을 때 용접부 부분이 녹아내리는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 결론적으로 10mm이하 주철을 용접시에는 120A보다 작은 전류로 예열온도를 200~300℃로 하여 용접하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단된다.

2. 과제 수행 소감

본 과제를 수행하면서 주철에 관한 전반적인 지식을 쌓을 수 있었으며 학부과정에는 없는 KS 규격에 대해서도 공부를 할 수 있었습니다.

지난 1학기에 생각하였던 과제를 2학기 동안 수행하면서 1학기 때 생각만큼 원하는 대로 되지 않은 점도 있었습니다. 1학기에는 쉽게 이렇게 이렇게 하면 될 것이다 라고 생각했지만 막상 제작하는 과정에서 여러 회사를 방문하면서 저희가 처음 생각했던 도면과는 또 다른 더 나은 방법을 각 회사 관계자 분들께 배울 수 있었습니다.

그 중 대표적인 사례는 저희는 시편모형을 맞대어 용접하면 되겠지 라고 시작하였습니다. 하지만 계속 공부해본 결과 그 시편에 맞는 지그가 있어야 정확한 용접이 된다는 것을 알게 되었고 이로 인해 용접용 지그 제작하기 위해 조원들과 상의하고 도면을 그리고 열전도도 적은 재질을 위해 공부해 SUS304를 찾고 이를 워터젯 절단을 이용해 하는 현장도 보았으며 탭 가공을 위해 포인트 탭을 알게 되었으며 조립 과정에서 클램프의 존재도 알게 되었습니다. 인장시험 또한 생각에는 쉽게 시편을 물려 시험하면 되겠지라고 생각했었지만 공부하여 조건하며 인장시험기 사용방법 등에 대해 배웠습니다.

설계과제를 진행 하면서 아쉬웠던 점은 해석부문입니다. 구조적인 해석은 학부과정에서 CAE를 통해 조원 모두가 배우고 알고 있지만, 저희는 용접에 의해 생기는 열에 의해 주철의 변형이 생기는 과정이라 해석부문에 연구가 미진하였습니다. 이 점이

조원 전부가 동감하는 아쉬웠던 점입니다.

정리하자면 도면 작성을 위해 CATIA, Auto CAD 등에 공부 할 수 있었으며 기계 공작법 시간에 책으로만 배웠던 워터젯 절단을 직접 볼 수 있었습니다. 또한 이밖에도 시편 규격 및 인장시험 / 경도시험 / 용접에 대해 많이 배울 수 있는 시간이었습니다. 마지막을 기해 도움을 주셨던 김봉훈 교수님을 비롯 공용수 선배님 이외에도 주철 구매부터 마지막 용접 후 시편 재가공 도움을 주셨던 각 회사 사장님들께 감사의 인사드립니다.

[참고 문헌]

1. 한국표준협회, 회주철품, KS D 4301, 2011 개정
2. 산업자원부 기술표준원, 금속 재료 인장 시험편, KS B 0801, 2007. 11. 26. 개정
3. 유순영, 주철 용접, 대한용접·접합학회, 대한용접·접합학회지 7(2), 1-11, 1989. 06.
김재곤, 자동차 Engine Cylinder Block의 보수용접(주철의 용접법), 한국자동차공학회, 한국자동차공학회 학술강연 초록집, 45-51, 1987.9.
4. 산업자원부 기술표준원, 주철용 피복 아크 용접봉, KS D 7008, 2002. 12. 31. 개정
5. 지식경제부 기술표준원, 용접-예열온도, 층간 온도 및 예열 유지온도의 측정에 대한 지침, KS B ISO 13916, 2003. 10. 21. 개정
김진경, 주철의 냉간시공 교류아크용접에서 예열효과에 관한 연구, 한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회지 31(6), 729-735, 2007.9.
6. 지식경제부 기술표준원, 금속 재료 인장 시험 방법, KS B 0802, 2003. 10. 08. 개정
7. 지식경제부 기술표준원, 금속 재료 용접부의 파괴시험 - 경도시험 - 제1부 : 아크용접부의 경도시험, KS B 0826, 2001. 12. 31. 개정
8. 한국표준협회, 금속 재료의 브리넬 경도 시험방법, KS B 0805, 2005 개정
9. 김현수, 주철 보수용접부의 잔류응력 분포에 관한 연구, 대한용접·접합학회, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 207-209, 2003.11.
10. 여태웅, 회주철 용접부의 금속조직 특성에 관한 연구, 대한용접·접합학회, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 10-12, 1999.1.