

선박용 디젤기관의 주철부품 보수용접 특성에 관한 연구

강명신* · 김진경** · 김영식***

*한국해양대학교 대학원

**한국해양수산연수원

***한국해양대학교

A Study on Characteristics of Repair Welding for Cast Iron Part of Diesel Engine for Ship

JIN-GYEONG KIM*, MYUNG-SHIN KANG** AND YOUNG-SIK KIM***

*Korea Institute Maritime and Fisheries Technology

**Graduate School, Korea Maritime University

***Korea Maritime University

KEY WORDS: Ni-Electrode 니켈계 용접봉, NiFe-Electrode 니켈-철계 용접봉, HAZ 용접용접열영향부, Hardness 경도, Blow Hole 기공,

ABSTRACT: Arc welding is sometimes used to repair damaged cast iron parts in diesel engine for driving a ship. In this case cold arc welding is good for saving the time and results in good repairing. But if some difference in hardness on welding zones made with AWS E Ni-CI and NiFe-CI happen, repaired parts would be cracked in a short. In order to overcome this default, the study is performed on varying preheating temperature of welding parts, selecting welding rod and welding work way. The result will be used on ship's repair working shop.

1. 서 론

구조물의 제작 방법의 하나인 주조에 사용하는 공업용 주철은 탄소를 2.5~4.5% 이의 규소나 인을 저탄소강보다 많이 함유한 재료로 주조성, 내마멸성, 절삭성이 우수하고 가격이 저렴하므로 선박용 디젤기관의 각종 부품을 비롯한 일반 기계 부품과 몸체 등의 재료로 널리 사용되고 있으나, 인장강도와 인성이 낮고 단련이 안 되는 것이 결점이다.

선박용 디젤기관의 실린더 라이너, 실린더 헤드, 배기밸브 상자, 과급기 등의 재료로 많이 사용되고 있는 주철 부품에 부식, 파공, 균열 등의 손상이 발생하여 사용이나 운전이 지장을 주는 경우가 종종 있다. 신뢰성 중요한 이런 부품들은 예비품으로 교환하거나 보수용접을 하면 빠른 시일 내에 정상운전을 할 수 있으나, 만일 생산을 중단하였거나 예비품을 구할 수 없는 디젤기관의 중요 부품인 경우 신규로 제작하여 완성하려면 적어도 10일 이상 소요된다고 볼 수 있다. 입출항 시간이 정해진 선박의 경우는 정박 기간 내에 보수 정비를 완료하기 위하여, 자주 이러한 주철에 대해 보수용접을 실시하고 있다. 그러나 주철은 연신율이 거의 없거나 적고 압연재가 아니며, 탄소함량이 많아 용접 입열로 조직이 바뀌거나 균열의 발생할 수도 있으며, 기공의 발생 등 용접성이 나쁘므로 일정한 용접 시공 원칙 및 조건을 준수하지 않으면, 좋은 용접 결과를 얻을

수 없는 경우가 많다. 따라서 시공법의 선택, 여러 용접 방법, 보수 용접 기간의 절약 및 가공성 등과 그 특성을 고려하여 주철의 보수용접 방안을 결정해야 한다.

주철의 보수 용접에 있어서 용접부위에 나타날 수 있는 특성은 시멘타이트 조직의 생성과 균열의 발생, 주철의 성장 과용착 불량 및 기공 발생, 주조 응력 및 열응력으로 균열의 발생, 유연한 주철 용접 부품 내에 경도가 높은 부분 형성, 주조 불량 부분의 용접 균열 발생, 일산화탄소 발생, 용접 금속 중에 모재 원소의 영향으로 높은 경도 형성과 균열 발생 등을 들 수 있다¹⁾²⁾. 이러한 특성을 고려하여 적용하고 있는 주철의 보수 용접 시공은 열간 시공과 냉간 시공이 있고, 용접법은 산소-아세틸렌 용접, 아크 용접, 경랍 땀 등이 있으나, 현재 주철 보수용접에서 가장 많이 사용하는 용접방법은 용접결함 발생을 최소화하고, 용접부의 기계적 특성이 가능한 것으로서 니켈계 통 용접봉을 사용하는 냉간 아크 용접법이다. 이런 주철의 냉간 아크용접에 대한 기술적 기초 자료를 연구하고자 한다.

보수용접인 주철의 냉간 아크 용접은 용접자의 기술에 좌우되는 경우가 많으며, 주로 이 용접부위에 나타나서 해결해야 하는 주요한 쟁점 중 하나는 용접부위 별 경도 차이이며, 그 차이가 가장 적은 용접봉과 용접 시공 조건을 구명하는 것이 매우 중요하다. 이러한 보수용접에 사용한 용접봉은 국내에서 확보할 수 있는 것 중 세 회사의 용접봉을 선택하고, 각각의 예열 조건, 사용 용접 전류 등을 변화시켜 가장 적절한 용접봉

과 시공조건을 확립하는 기초를 쌓고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용 재료

시험한 주철은 대형디젤기관에 사용하는 선급 인정 실린더 라이너의 한 부분이며, 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 같고 사용한 재질의 가공 치수는 25t×50×100mm이다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of cast iron used

Chemical composition(%)								Mechanical properties		
C	Si	Mn	P	S	B	Cu	V	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	경도 (HBS)
3.2	1.1	0.8	0.4	0.1	0.04	1.5	0.22	245	0.3	180~230
※ SR : 550℃×4H										

주철의 보수용접 시공법에는 미리 높은 온도로 예열하여 이 온도를 유지하며 시공하는 열간 용접과 예열을 그다지 하지 않고 용접 입열량을 최소로 줄이도록 하는 냉간 용접이 있다. 국내에는 시공 조건으로 열간 중에서 산소-아세틸렌 용접방법보다 용접재료가 고가이지만 시공 중에 비드의 온도를 낮게 유지해야하므로 장기간 소요되는 주철 용접을 끊임없이 용접할 수 있고, 용접부위의 기계 가공성이 우수할 뿐만 아니라 짧은 시간 내 용접 작업이 끝나는 냉간 아크용접을 훨씬 많이 이용하고 있다. 이 냉간 아크용접에서 어떤 용접봉이 용접성이 우수하고 용접 결함 발생이 적은 것인가를 판단하기 위해, 대표적으로 선정하여 사용한 각 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 2와 같다. 각각의 용접 시공 조건에 대한 구체적인 자료는 별로 없고, 다만 용접봉 안내서로부터 얻은 자료를 이용할 뿐이다.

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of electrode for cast iron used

회사 별 용접봉 종류	Chemical composition(%)							Mechanical properties	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe	인장강도 (N/mm ²)	경도 (HB)
1(Ni)	0.86	0.28	0.30	0.002	0.002	Bal	1.85	440	-
2(NiFe)	0.98	0.32	0.80	0.005	0.004	55.1	Bal	560	-
3(Ni)	1.0	0.38	0.07	0.006	0.006	Bal	0.02	300	145
4(NiFe)	0.94	0.69	0.67	0.003	0.005	53	Bal	460	210
5(Ni)	0.5	-	-	-	-	Bal	2.0	460	140
6(NiFe)	0.5	-	-	-	-	54	45	460	180

2.2 실험 방법

주철을 냉간 아크 용접으로 보수한 용접부위에 나타날 수 있는 주요한 특성은 시멘타이트 조직의 생성과 균열의 발생, 주철의 성장 과 용착 불량 및 기공, 용접 금속 중에 모재 주철의 탄소(C), 규소(Si), 황(S) 및 인(P) 원소의 영향으로 높은 경도 형성과 균열 발생 등이지만, 대표적인 문제점 중 하나는 높은 경도 차이와 이로 인한 균열 발생일 것이며, 그것은 용접 금속, 용접용접열영향부 및 모재와의 경도 차이를 경유한다. 상대적으로 부위 별 경도 차이가 많이 나면 인성이나 연성이 부족하여 용접부위의 사용 수명이 단축될 수밖에 없을 것이다.

용접봉 종류에 따른 각 용접부위별 경도 분포를 알기 위해서 Table 2의 $\phi 3.2$ 용접봉을 주철 모재에 동일한 전류로 현장 용접 조건과 가깝게 Fig. 1과 같이 3층 용접하였다. 용접한 부위의 경도는 용접선 방향과 직각 방향으로 기계식 절단기로 절단하여 기계가공, 연마 등을 한 단면을 에칭(etching)을 실시하여 용접부위를 명확하게 구분하여 비커스 경도기로 측정하였다.

아크 용접을 실시할 경우 회사에서 제시한 숫자 뒤에 L자를 붙인 최저 전류와 H자를 붙인 최고 전류를 사용하여 경도를 상호 비교하였다. 상온에서 용접 비드 길이 30~40mm로 한 층만 Fig. 2와 같이 냉간 용접한 후 용접금속부, 용접용접열영향부 및 모재부의 각각 경도 등을 측정하여 적절한 용접 전류에 대한 영향을 확인하였다. 또한 주철의 보수용접에 사용하는 용접봉 별로 용접부위에 만들어질 수 있는 기공의 발생 상태와 함께 조직 사진을 금속현미경으로 촬영하여 경도의 증가 원인을 확인하도록 하였다.

주철의 냉간 아크용접 전에 예열 효과를 알아보기 위해 모재의 예열을 각각 100℃, 200℃로 한 후 상온에서와 동일한 조건과 방법으로, 모든 용접봉에 대해서 100A의 전류로 용접을 실시하여 각각의 경도를 측정, 비교하여 보았다.



—●— 층간 온도 100℃
3층용접

Fig. 1 Schematic view of 3 pass welded cast Iron



Fig. 2 Schematic view of welded cast Iron

실제 주철 냉간 아크 용접과 비슷한 상황을 고려하여 Fig. 1과 같이 200℃로 예열한 모재에 3층 모두를 Ni 계통(AWS E Ni-CI를 나타냄)으로 용접한 경우와 1층과 3층은 Ni 계통으로 2층은 Ni-Fe 계통(AWS E NiFe-C를 나타냄)로 각각 3 회사 별 용접봉으로 용접하여 모재에서부터 맨 위의 3층까지 전체의 경도를 측정하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 냉간 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도

냉간 아크용접부의 경도는 예열온도, 용접전류, 시공법에 따라 달라지지만, 경계부인 열영부에 큰 차이를 보이고 있다. Fig. 3은 주철 모재에 Ni 및 NiFe 계통 용접봉을 사용하여 85A의 전류로 3층 용접한 부위에 대해 측정된 경도 자료로서, NiFe 계통의 용접봉이 Ni 계통보다 전체적으로 높게 나타났으며, 또한 용접부위 별 경도 차이가 제일 적고 전체적으로 경도가 제일 낮은 것은 5번의 Ni 계통 용접봉이었다.

Fig. 4는 냉간 아크 용접한 Ni 계통과 NiFe 계통의 용접용접 용접열영향부 조직을 보여주고 있는데 후자가 마텐자이트와 같은 조직에 넓게 보이고 있다. 이것은 Table 2에 나타난 바와 같이 다량으로 Fe가 포함된 NiFe 계통의 용접봉이, 용접중에 Ni 성분이 주철로부터 용융한 용융지로 탄소가 이행하는 것을 막는 작용이 어느 정도 있다고 할지라도 한계가 있을 수 있으므로 Fe가 주철에 있는 많은 양의 탄소와 결합하여 마텐자이트 조직으로 되었을 것이라 생각된다.

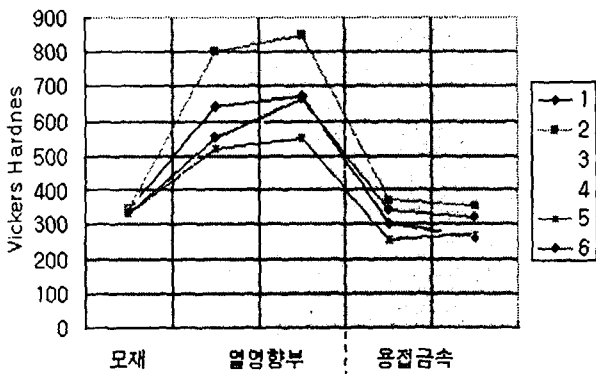
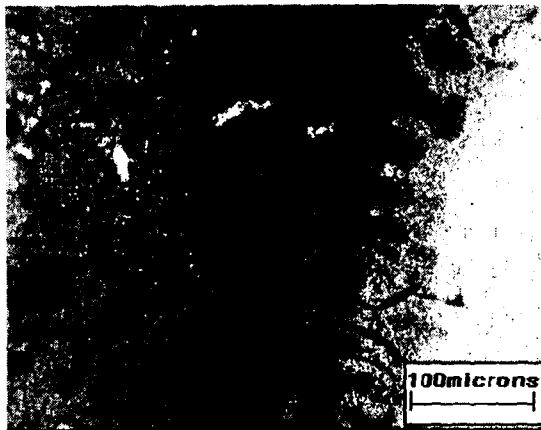


Fig. 3 Hardness of the weld zone of various electrode



(a) Ni 계통

Fig. 4 Microstructure of HAZ according to electrode



(b) NiFe 계통

Fig. 4 Microstructure of HAZ according to electrode

3.2 상온에서 냉간 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도

상온에서 각종 니켈계 용접봉으로 최저 전류와 최고 전류로 냉간 아크 용접한 주철 용접부위에 대해 측정된 경도의 결과가 Fig. 5에 나타내고 있다.

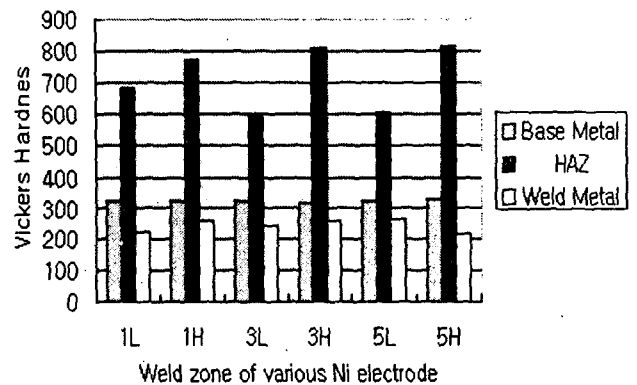
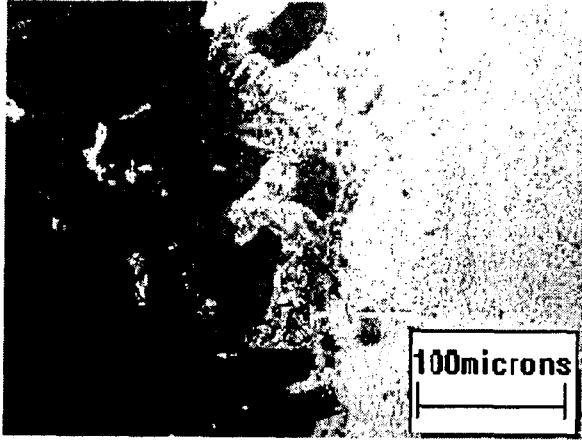


Fig. 5 Hardness of the weld zone of cast iron made with AWS E Ni-CI

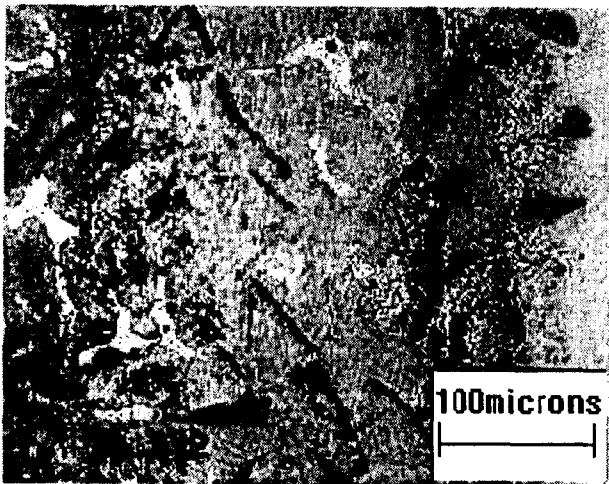
Fig. 5에서 전체적으로 용접봉 안내서나 회사에서 제시한 주철의 냉간 아크용접에서 용접전류가 낮은 쪽의 모든 L 경우보다 높은 쪽의 H 경우가 용접용접용접열영향부와 용접금속부의 경도는 상승하고 있고, 용접봉 회사에서 제공한 자료와는 용접 조건 등이 다르므로 다소 차이가 있다고 생각된다. 경도가 제일 높은 용접부위는 용접봉에 관계없이 용접용접용접열영향부이며, 그 중에서도 용접봉 5H가 제일 높은 값을 나타내고 있다. 용접봉 종류에 따른 주철의 냉간 아크 용접에서 각 용접부위 별 경도 차이가 제일 적게 나타나는 것은 5L이고 그 다음이 3L이다.

Fig. 6의 (a)는 5L를, (b)는 5H를 나타내는 조직을 보여 주고 있는데 5H에는 마텐자이트 조직이 넓은 범위에 걸쳐서 나타나

고 있다. 이것은 입열량이 많을수록 주철 자체가 오스테나이트 조직에서 Fe와 C가 결합할 시간적 여유가 길어지므로 발생한 현상이라 할 수 있을 것이다.



(a) HAZ of 5L



(b) HAZ of 5H

Fig. 6 Microstructure of HAZ according to weld current

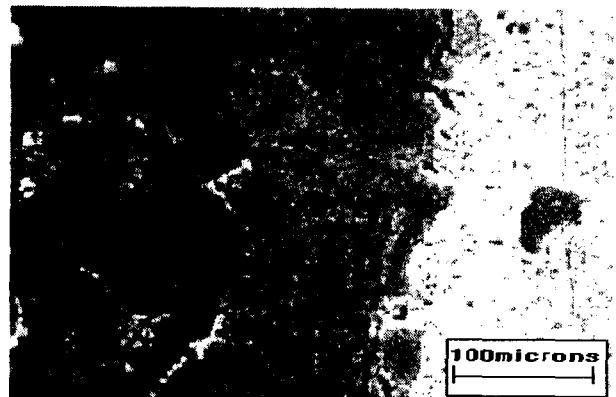
3.3 상온에서 용접전류에 따른 주철 냉간 아크 용접부위의 기공 발생

용접 입열량은 아크전류와 전압에 비례하고 용접속도에 반 비례하며, 주철은 압연한 재료가 아니므로 압연한 재료보다 상대적으로 급속 원자 사이에 미세 틈새가 많기 때문에 입열량이 많아짐에 따라 이 틈새에 있는 미세 기체가 더욱 팽창하여 용접열영향부에 기공을 더욱 많이 만들 수 있을 것이다. 이렇게 발생한 기공은 특히 주철의 버터링(buttering) 용접에서 용착 불량률의 원인이 되므로 주철의 보수용접에 지장을 많이 주고 있는 실정이다. 일반적으로 주철 보수용 Ni 계통 용접봉이 NiFe 계통보다 용접 전류가 낮고 주철과의 융합성이 우수하며, 용접 입열량이 적은 최저 전류로 버터링 하는 편이 조직의 변

화가 적을 뿐만 아니라 이러한 기공의 발생도 잘 일어나지 않게 할 수 있어 좋은 용접 결과를 가져올 것으로 사료된다. 사실 주철의 냉간 보수 용접 부위에 기공이 발생하는 이유는, 고온에서 오랫동안 사용된 주철은 주철 자체가 성장하여 흑연을 따라 들어온 고온 산화성 가스에 의한 산화와 열팽창계수의 차이에서 발생한 공극으로 용착 불량, 용접중 주철의 함유한 많은 양의 탄소와 공기 중의 산소가 높은 아크열로 인해 일산화탄소를 만들든지, 주조 불량으로 주철 자체에 보유하고 있는 기공이나 주철에 포함된 주물사의 결합 등에서도 일산화탄소가 만들어질 수도 있다.

이러한 기공이 주철 냉간 아크 용접부위에 즉시 그라인더로 갈아내고 다시 Ni 계통의 용접봉을 용접을 해도 용접부위의 경화가 매우 심하다든가 균열이나 기공이 다시 발생하지는 않고 기계 절삭이 가능한 것이 Ni 계통 용접봉을 주철의 냉간 아크 보수 용접에 사용하는 이유 중에 하나이다.

Fig. 7 (a)는 용접 전류가 낮은 65A로 냉간 용접한 용접열영향부의 미세 조직이고, (b)는 130A의 높은 용접전류로 용접한 것으로 기공의 크기가 상대적으로 클 뿐만 아니라 또한 많이 발생한 용접열영향부의 미세조직이다.



(a) Low Current



(b) High Current

Fig. 7 Size of blow hole in HAZ

3.4 예열한 상태에서 냉간 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도
 주철 모재를 상온, 100℃ 및 200℃로 예열하여 각각의 용접
 봉으로 냉간 아크 용접한 용접부위 별 경도 변화 경향을 보면
 Fig. 8과 같게 나타난다.

이 그림에서 상온에서 냉간 아크 용접한 용접부보다 100℃

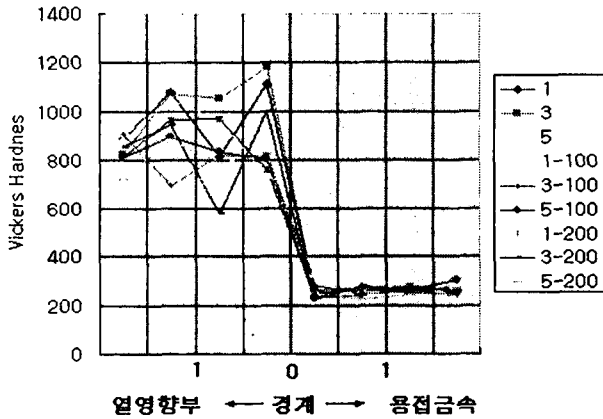


Fig. 8 Hardness of the cast iron weld zones made with AWS E Ni-CI and NiFe-CI according to preheating

로 예열한 것이, 100℃로 예열한 것보다 200℃로 예열한 것이
 전체적으로 경도가 낮았고, Ni계통의 용접봉이 NiFe계통보다
 더 낮으며, 5번 용접봉을 200℃로 예열한 용접봉이 용접부위
 별 경도 차이도 작고 가장 낮다. 또한 5번 용접봉의 가격적인
 측면을 고려하지 않는다면 200℃로 예열한 상태에서 용접전류
 100A로 냉간 아크 용접한 경우의 경도 차이가 제일 낮아 이
 중 가장 우수한 용접봉으로 생각된다.

3.5 예열한 상태에서 3층 냉간 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도

실제 주철 냉간 아크 용접과 비슷한 상황을 고려한 각각 3
 회사 별 용접봉으로 용접하여 모재에서부터 맨 위의 3층까지
 전체의 경도를 측정된 결과를 Fig. 9에 보이고 있다.

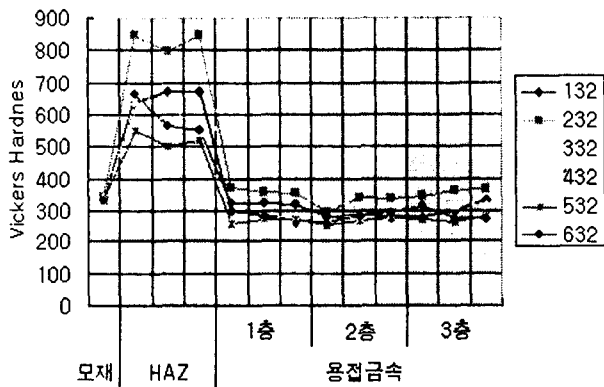


Fig. 9 Hardness of the cast iron 3pass weld zones made with AWS E Ni-CI and NiFe-CI at 200℃

Fig. 9에서 첫 글자가 짝수인 232, 432, 632는 2층에 NiFe 계
 통 용접봉을 용접한 경우이다. 전체적으로 경도 분포 경향은
 동일하고 이 실험에서 2층에 NiFe 계통 용접봉을 사용하였다
 고 하더라도 단층 용접을 한 Fig. 3처럼 큰 차이는 나지 않는
 다는 것을 알 수 있다. NiFe 계통의 용접봉은 경도적인 측면
 보다는 목적에 적합한 역할을 하기 위해서 사용한다는 것이
 밝혀졌고, 이번 실험의 경우 한해서 중간층에 용접을 하더라도
 경도 상승과는 별로 관계가 없는 것으로 사료된다.

4. 결 론

주철의 냉간 보수용접에서 예열효과에 관한 이상의 연구로
 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) NiFe계통의 용접봉이 Ni계통보다 용접부위 별 경도가 더
 높게 나타났고 5번 용접봉이 그 차이도 제일 적었으며, 또
 한 제일 낮은 경도 값을 가졌다.
- (2) 상온에서 실시한 용접봉 종류에 따른 주철의 냉간 아크 용
 접에서 각 용접부위 별 경도 차이가 제일 적게 나타난 것은
 5L이고 그 다음이 3L이다.
- (3) 용접 입열량이 많으면 냉간 용접이라 할지라도 용접용접용
 접열영향부에 기공이 발생할 가능성이 높다.
- (4) 버터링 용접의 경우는 Ni 계통을 사용하는 것이 경도 상승
 이 낮고, 기공 발생이 적다.
- (5) 예열한 경우에 실시한 용접봉 종류에 따른 주철의 냉간 아
 크 용접에서 각 용접부위 별 경도 차이는 상온보다는 100℃,
 100℃ 보다 200℃가 더 적게 나타났고, 5번 용접부위가 제일
 우수하다.
- (6) 층간 온도 200℃로 3층 용접을 한 경우 2층에 NiFe 계통
 용접봉으로 용접하여도 경도 상승 나타나지 않고 있어 사용하
 도 무방하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 (주) 종합폴스타의 주철용접 지원과 (주) 케이프의
 주철 재료 지원으로 수행된 연구결과 중 일부이며 이에 감사드
 럽니다.

참 고 문 헌

- 1) 日本溶學會(1977). "鑄鐵 および 鑄鋼", 溶接便覽, 丸善(株),
 pp864-866.
- 2) AWS Committee on Welding Iron Castings(1989). "Guide
 for Welding Iron Castings" AWS