

디젤기관 실린더 블록의 보수용접법에 관한 연구

조상명* · 김종호** · 김영식**

A Study on the Repair Welding Methods for Cylinder Block of Diesel Engines

S. M. Cho* · J. H. Kim** · Y. S. Kim***

Key words : Cylinder block(실린더 블록), Cast iron(주철), Repair welding(보수용접), Built up welding(육성용접), Magnetic particle test(자분탐상검사), 의사균열(Suspected crack)

Abstract

Cracks on the cylinder block of diesel engines will often happen due to cyclic load and thermal stress. According to the Classification Societies' rules, welding repairs of cylinder block made of cast irons are generally not permitted. However, such welding repairs became inevitable taking enormous cost and time for their renewal into consideration.

In this study repair welding methods for the cylinder blocks, made of gray cast irons were reviewed and the tests of their welds were carried out in order to purpose the repair welding methods of packing seat and o-ring seat of cylinder block and apply them to the practice. The following conclusions are obtained: 1. The tensile strength of weld of cast iron more than that of base metal can be obtained by means of preheating, keeping temperature above 100°C between welding passes, preventing slag inclusion, peening, and cramping weld metal by studs. 2. The suspected crack by a magnetic particle test due to different magnetic permeability can be identified, which are not associated with a mechanical discontinuity.

1. 서 론

선박용 디젤기관을 장시간 사용하는 경우 반복적인 하중과 열응력으로 인하여 여러 곳에서 균열

이 발생하는 사고가 발생할 수 있고 특히 주철로 제작되는 중소형 디젤기관의 실린더 블록은 낮은 피로강도로 인하여 피로균열이 발생하는 경우가 적지 않다. 이러한 균열에 대한 보수용접은 주철용

* 정회원, 부경대학교 생산가공공학과(원고접수일 : 99년 2월)

** 정회원, 한국해양대학교 기관시스템공학부

*** 정회원, 한국해양대학교 재료공학과

접의 특성을 고려하여 대부분의 선급^{1)~3)}에서 일반적으로 인정하지 않고 있지만 이러한 부품을 교환할 때 소요되는 막대한 경비와 시간을 고려하면 보수용접의 필요성은 절실하다. 특히 중소형 디젤기관을 탑재한 국내 원양어선은 노령선이 많고 또 디젤기관은 대부분 외국에서 제작된 것이 많기 때문에 실린더블록을 교환하기 위해서는 외국제품을 수입하지 않을 수 없는 형편이고 이 또한 경비와 시간적인 측면에서 쉽지 않은 현실이다. 따라서 주철재 부품에 부가되는 하중조건과 사용조건을 고려한 용접법을 개발하고 이를 실용화하는 것은 선박의 안전운항과 수리경비 절감 측면에서 매우 중요한 과제이다.

본 연구에서는 디젤기관의 주철재 실린더 블록을 대상으로 실용적으로 적용 가능한 용접법을 제안하기 위하여 현장에서 실린더 블록에 적용하고 있는 용접법을 검토하고 그 용접성을 확인하기 위하여 용접부에 대한 시험을 수행하였다. 또한 최종 검사 단계에서 용접부에 대한 자분탐상시험 결과를 판정할 때 의사균열(擬似龜裂)과 용접균열을 판정하는 기준을 제시하였다.

2. 보수용접법의 제안

2.1 실린더 블록 패킹시트의 보수용접법

소형 디젤기관의 경우 실린더 라이너와 물재킷

을 일체형으로 제작하는 경우도 있지만 대부분의 중소형 디젤기관은 물재킷에 실린더 라이너를 끼우는 구조를 채택하고 있다. Fig.1은 본 연구의 대상인 실린더 블록의 전형적인 구조를 보여 주고 있다. 그림에서 구리패킹과 오링은 실린더 블록과 실린더라이너의 기밀을 유지할 목적으로 삽입되는 것이고 물재킷은 연소실을 냉각할 목적으로 설치되어 있다.

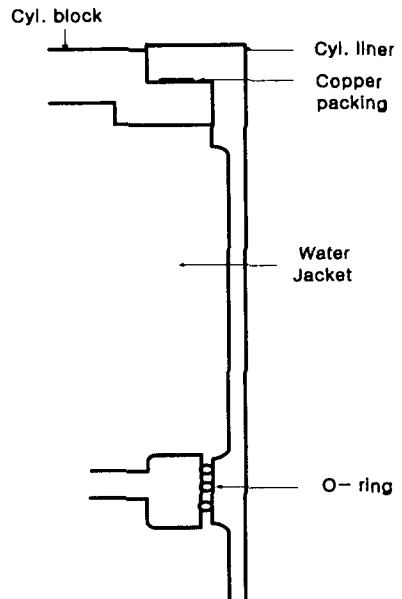


Fig. 1 A structure of cylinder block of diesel engines

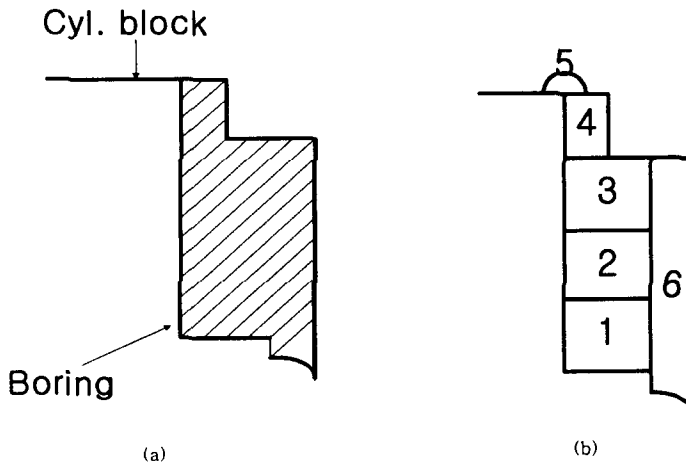


Fig. 2 The repair welding method for cylinder block packing seat of diesel engines

경험과 사고 보고^{4)~5)}에 의하면 주철제 실린더 블록의 패킹시트에 자주 발생하는 피로균열은 주로 원주방향으로 전파하면서 성장한다. Fig.2는 이러한 균열을 용접으로 보수하기 위해서 본 연구에서 제안하는 보수용접법을 보여 주고 있다. 먼저 Fig.2(a)와 같이 패킹시트를 보링 머신으로 절삭 가공하여 완전히 균열을 제거한다. 그리고 액체침투탐상시험을 실시하여 균열이 없음을 확인한 후 약 200℃로 예열을 행하고 나서 니켈계 용접봉(55%Ni, 45% Fe)을 사용하여 수동 피복 아크용접을 실시한다. 용접 중 용접전류와 용접전압은 낮게 유지하면서 비드를 단속적으로 형성시키며, 초층 용접은 120~140A, 28V로 하고 그 이후의 적층은 90~110A, 25V로 한다.

Fig.2(b)는 실린더 블록의 동패킹 시트에 대한 보수용접을 위하여 적용하는 대표적인 적층방법을 보이고 있다.

2.2 실린더 블록 오링 시트의 보수용접법

선박용 디젤기관의 실린더 블록에 있어서 오링 시트(o-ring seat) 부위는 부식환경에서 장기간 사용되기 때문에 두께의 감소와 부식의 발생 등에 의하여 오링 시트의 기밀이 유지되지 못함에 따라 누설되는 냉각수가 시스템 오일에 함유됨으로써 각 윤활부에 치명적인 손상을 초래하는 경우가 적지 않다. 이 경우도 동패킹 시트의 보수용접과 같이 오링 시트를 보링 머신으로 절삭 가공하여 부식된 부위를 완전히 제거하고 보수용접을 실시할 수 있다.

Fig.3은 이러한 균열을 용접으로 보수하기 위해서 본 연구에서 제안하는 보수용접법을 보여 주고 있다. 먼저 보링 머신을 이용하여 실린더 블록 내부의 부식된 부위를 절삭가공하여 완전히 제거하

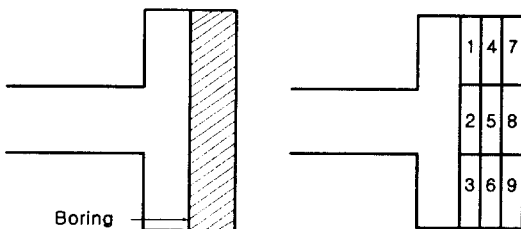


Fig. 3 A repair welding method for cylinder block o-ring seat of diesel engines

고 액체침투탐상시험을 실시하여 균열 등이 없음을 확인한다. 이어서 토오치를 이용하여 200℃ 정도로 예열하면서 용접할 면에 부식생성물, 불순물 또는 산화물 등이 제거되었음을 확인하고 나서 수동 피복 아크용접으로 육성용접을 실시한다.

3. 용접부 실험방법

본 연구에서는 중소형 디젤기관의 실린더 블록의 재료로 널리 사용되는 회주철 FC25를 시험재로 사용하였다. 회주철은 잘 알려진 바와 같이 연성이 매우 부족하고 취성이 강하기 때문에 용접시의 열응력으로 인하여 용접 도중 또는 용접 후에 용접균열이 생기는 수가 많고 저온 균열의 발생 경향은 두께가 커질수록 모재의 치수가 클수록 두드러진다. 문헌^{6)~7)}에 의하면 후판으로서 비교적 치수가 큰 맞대기 용접을 실시하는 경우는 양쪽 모재 홈의 면에 스티드(stud)를 여러 개 적절한 간격으로 박아서 용접 시에 서로 구속할 수 있도록 조치하면 저온 균열을 방지할 수 있는 것으로 보고하고 있다. 본 시험재에서도 이와 같은 조치를 취하여 용접하였고 그 후에 인장 시험편을 채취할 때는 이 스티드가 박힌 부분을 제외하였다.

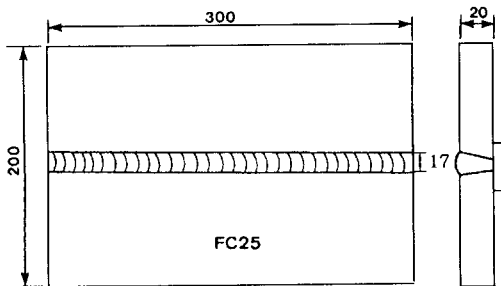
시험재는 아래의 조건으로 부산광역시 소재 부산특수용접에서 Fig.4와 같이 제작하였다.

- 1) 용접 방법 : 수동 피복 아크용접
- 2) 모재의 준비 : 두께 20mm의 회주철 FC25
- 3) 베벨의 가공 : 밀링에 의해 절삭 가공하여 베벨각도를 15°, 루트 간격 4mm
- 4) 백킹 바의 사용 : 모재와 동일한 FC25를 사용
- 5) 용접봉 : 3.25mm 니켈 계 용접봉(KS EGC-NiFe, AWS ENiFe-CI)
- 6) 용접봉의 건조 : 드라이 오븐(dry oven)에서 300~350℃로 1.5~2시간 건조
- 7) 스티드의 사용 : 직경 6mm의 스티드를 양쪽 모재 홈의 면에 끼워 박아서 용접
- 8) 모재의 예열 및 패스간 온도 : 200℃로 예열, 100℃ 이상의 패스간 온도 유지
- 9) 용접 홈의 청결도 : 용접 직전에 수분, 기름기, 먼지, 산화물, 철분 등을 제거

- 10) 각변형 구속 : 다층용접 실시로 인한 심한 각변형을 방지하기 위하여 모재 양쪽에서 지그를 사용하여 모재를 완전히 구속
- 11) 작업시의 유의점 : 방풍 대책을 철저히 하였으며, 아크 길이를 가능한 한 짧게 유지하여 기공발생을 방지
- 12) 비드폭의 유지 : 용접 시 용착 금속의 오염 방지와 화학 조성 유지 및 입열량 과대를 방지하기 위하여 비드폭은 좁게 유지
- 13) 피닝 실시 : 각 패스의 용접 직후에는 피닝 햄머를 써서 용접 비드에 대하여 항상 적절한 피닝(peening)을 실시
- 14) 슬래그 제거 : 각 패스의 용접 후 냉각 중에 슬래그는 완전히 제거
- 15) 적층 중의 결합 검사 : 각 층의 용접을 실시하고 나서 다음 층을 적층하기 전에는 반드시 균열과 결합의 유무를 확인한 후에 용접 실시(결합 발견 시에는 확실하게 제거한 후 용접한다)
- 16) 용접전압 및 전류 : 초층용접(120~140A, 28V), 그 이후의 적층(90~110A, 25V)

또 시험재의 단면에 대하여 접합부를 가로 질러서 용착금속과 모재의 경도를 다음과 같은 조건으로 마이크로 비커스 경도(micro-vickers hardness)를 측정하였다.

- 1) 경도의 종류 : 마이크로 비커스 경도(Hv)
- 2) 하중 : 100g



(a)

- 3) 부하시간 : 15초
- 4) 경도측정 간격 : 0.1mm

4. 시험결과 및 고찰

4.1 인장시험

인장시험편은 한국 선급의 규칙⁹⁾에 따라 시험재에서 2개를 채취하여 Fig.5와 같이 가공하였으며 충분한 곡률반경을 부여하여 응력집중에 의한 영향을 배제하였다.

Table 1은 인장시험의 결과를 보이고 있다. 일반적으로 주철 용접부는 모재 이상의 인장강도를 얻기 어려운 것으로^{9)~10)} 알려져 있으나 상기 값은 모재인 회주철 FC25의 인장강도를 상회하는 것이다. 이와 같은 결과는 적절한 예열, 층간온도의 적용에 의하여 시험재에는 용접 저온균열이 발생되지 않았으며, 슬래그 혼입방지, 피닝 및 스테르드에 의한 구속 등의 효과로 결합이 없는 용접부를 얻을

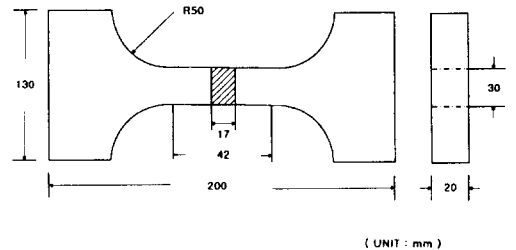
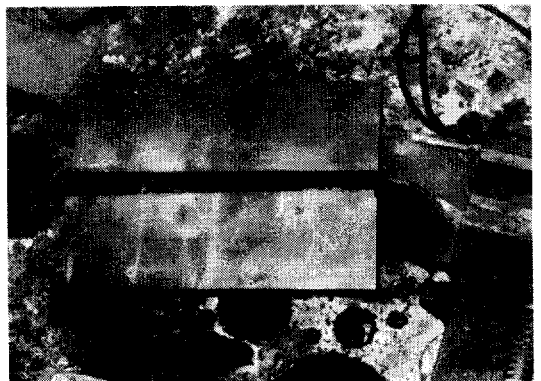


Fig. 5 Tensile specimen of weld



(b)

Fig. 4 Test piece for mechanical tests of weld

Table 1 The results of tensile test for welds

No.	Thickness x Width(mm)	Tensile Strength (MPa)	Location of failure
1.	20 x 30	274	Bond part
2.	20 x 30	264	Bond part

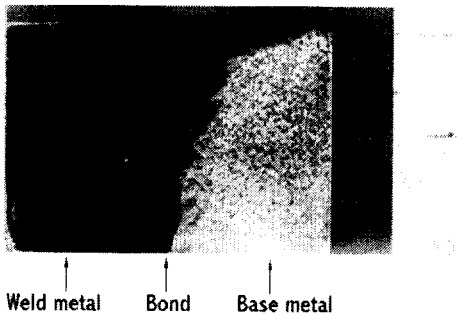


Photo 1 The macro structure of weld(5% nital etch)

수 있었기 때문이라 사료된다.

4.2 단면마크로 시험

Photo 1은 본 시험재의 단면을 절단하여 경면 연마한 후 5% 나이탈용액으로 마크로 부식을 실시하여 접사 사진을 촬영한 것이다. 전체적으로 용합 불량이나, 균열과 같은 결함이 없음을 확인할 수 있고 용접부의 베벨각도도 거의 15°로 나타나 있음을 볼 수 있다.

4.3 용접부 미세조직

니켈계 용접봉에 의한 회주철의 용접부 단면중에서 인장시험시 주로 파단되는 곳은 본드부의 모재쪽 백선화된 부분으로 알려져 있다¹¹⁾. Photo 2에서 알 수 있는 바와 같이 가늘고 긴 흑연이 본드부 근방에서는 유리된 상태로 존재하지 않고 고용된 형태로 존재하여 시멘타이트 즉 백선화 되어 있음을 알 수 있다. 시멘타이트는 극히 취약한 것으로서 수축량이 크기 때문에 수축응력에 의한 저온균열을 발생시킬 수 있다. 그러나 앞에서 밝힌 바와 같이 용접 중 실시한 예열과 충전 온도 유지를 통한 슬래그 혼입 방지, 피닝, 스톱에 의한 시험재의 구속 등의 효과에 의해서 용접부의 인장강도가 모재의 그것보다 높은 것을 고려할 때 본 연구에서 제안한 용접법을 적용한 용접부에는 용접 결함이

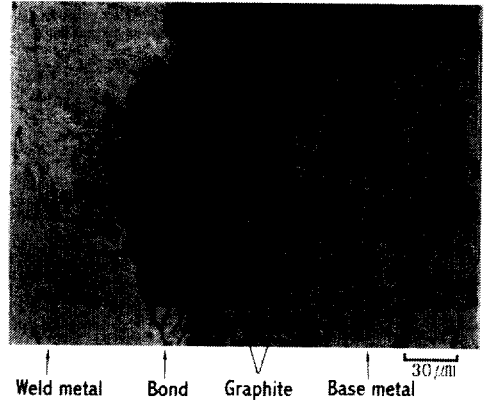


Photo 2 The microstructure of the weld(5% nital etch, x100)

내재될 가능성이 적은 것으로 판단된다.

4.4 자분탐상시험

용접부의 강도 저하와 피로 수명의 저하는 주로 재료의 표면에 존재하는 결함으로 인하여 생기기 때문에 용접 후 표면결함을 검사하는 것은 매우 중요한 공정으로 취급되고 있다. 일반적으로 철강재료의 용접부에 대해서는 액체침투탐상시험과 자분탐상시험 등이 주로 적용되고 있다. Photo 3은 시험재 단면에 대하여 요크형 자분탐상시험 장치를 사용하여 시험하고 그 결과를 촬영한 것이다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 용접 접합부(bond)를 따라가면서 자분이 모여서 마치 용접균열로 판정될 수 있는 의사균열(擬似龜裂)이 관찰되었다.

의사균열은 용접 작업을 통하여 모재와 용접봉이 용융될 때 접합부나 열영향부 등에서 비투자율이 서로 다른 금속이 휘석됨에 따라 누설자속을 따라 자분이 모이고 이것이 마치 용접균열과 같이 보여지는 것으로 용접균열과는 구분되어 판정되어야 한다.

본 연구의 시험재과 같이 회주철을 니켈계 용접봉으로 용접한 경우는 용착금속은 니켈-철의 합금(대략 55%Ni+45%Fe)으로 되어 있고, 회주철의 열영향부로서 접합부 근방은 거의 백선 즉 시멘타이트로 조직 변화를 일으켜 있으며, 다소 떨어진 부분은 원래의 회주철 조직은 그대로 유지되는 것을 Photo 2에서도 알 수 있다.

한편, 회주철은 일반 철강 재료보다 비투자율이

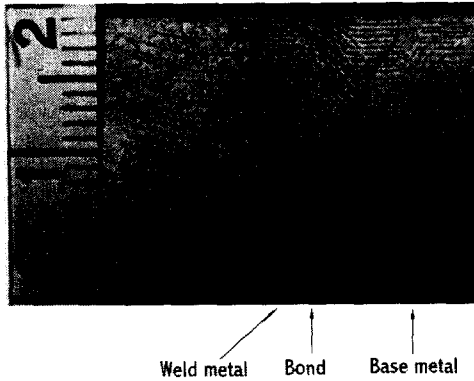


Photo 3 The distribution of magnetic particles on the weld

낮으며, 시멘타이트는 페라이트보다 비투자율이 낮기 때문에 집합부에 가까운 회주철 용접부의 백선부분은 비투자율이 주위의 다른 부분보다 낮아지게 됨을 알 수 있다. 따라서 용착금속의 니켈-철 합금 부분에 비하여 모재의 열영향부로서 백선화된 부분은 상대적으로 비투자율이 현저하게 낮기 때문에 누설 자속이 생기게 되고 이 누설 자속에 자분이 상대적으로 부착하게 된다. 이는 철강재료에 대하여 자분탐상검사를 실시할 때 표면 균열이 있는 곳에는 공기가 있고 이의 비투자율은 철강재료의 수백분의 1 정도로서 매우 낮기 때문에 누설 자속이 생겨서 표면균열이 있는 곳에 자분이 부착하는 이유와 같은 원리라고 할 수 있다.

4.5 경도시험

Fig.6은 시험결과를 나타낸 것으로 용착금속의 경도는 Hv230 정도 되었으나 열영향부의 집합부 쪽 일부 즉 백선화된 좁은 영역에서는 Hv470 정도로 상당히 높은 경도를 나타내고 있다.

이러한 고경도 현상은 주철 용접시에는 항상 발생할 수 있는 것으로 탄소 함유량이 2~3% 정도로 상당히 높은 철강을 용접하게 되면 국부적으로 오스테나이트 조직으로 되었다가 급랭하게 됨으로써 흑연이 형성하게 될 충분한 시간적 여유가 없고 탄소가 그대로 철 내부에 고용된 상태로 냉각되므로 시멘타이트가 생기고 이것의 경도가 매우 높기 때문에 생기는 것으로 알려지고 있다.

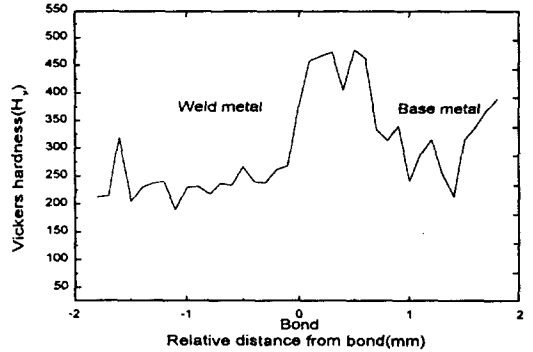


Fig. 6 The distribution hardness of the weld

5. 결 론

본 연구에서는 디젤기관의 실린더 블록을 대상으로 실용적으로 적용 가능한 용접법에 대한 검토와 용접부에 대한 시험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일반적으로 주철 용접부는 모재 이상의 인장강도를 얻기 어려운 것으로 알려져 있으나 예열과 층간 온도 유지를 통한 슬래그 혼입 방지, 피닝, 스티드에 의한 시험재의 구속 등을 적용하여 용접결함이 없는 용접부에서는 모재와 동등하거나 그 이상의 강도를 얻을 수 있다. 또한 본 연구를 통하여 제한한 보수용접법은 향후 피로강도에 대한 평가를 통하여 주철재 실린더 블록의 보수용접에 실제적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.
- 2) 주철용접부에 대한 자분탐상시험의 결과를 판정하는 기준을 제시하였다. 즉 주철용접부에 대한 자분탐상시험 시에 용접 접합부(bond)를 따라가면서 자분이 모임에 따라 나타나는 의사균열(擬似龜裂)은 용접봉과 모재의 용융 시 발생하는 휘석에 의해서 자분의 투자율이 달라지기 때문에 나타나는 현상이므로 이것은 용접균열과는 구분되어 판정되어야 한다.

참고문헌

1. (사) 한국선급, 선급 및 강선규칙 제 2편 1장, p. 45, (사) 한국선급, 1998

2. Nippon Kaiji Kyokai, Rules for the survey and Construction of Steel Sships, Part K Material. p.55, NK, 1998
3. American Bureau of Shipping, Materials and Welding, 2/2.25.3, ABS, 1996
4. イースタンミツヒンク柱式會社, “主機 Cylinder block Crack發生”, 事故速報そのI(機關部關係), E48-12, 1973
5. イースタンミツヒンク柱式會社, “主機關 No.4 Cylinder blockのCrack”, 事故速報そのI(機關部關係), E49~20, 1974
6. 仁熊賢次 외 1인, 鑄鋼·鑄鐵溶接技術大系 第25卷, pp.128~140, 産報出版, 1980
7. 仁熊 외 1인, 鑄鋼·鑄鐵溶接のかんどころ, pp.162~163, 産報出版, 1980
8. (사) 한국선급, 선급 및 강선규칙 제 2편 1장, pp. 58~59, (사) 한국선급, 1998
9. 日本鑄物協會, 鑄物便覽, pp510~511, 日本鑄物協會, 1987
10. 仙田 외 1인, 溶接部の非破壊. 検査, p.196, 産報出版, 1986.11. 仁熊賢次 외 1인, 鑄鋼·鑄鐵溶接技術大系 第25卷, pp.162~163, 産報出版, 1980

저 자 소 개



조상명

1952년 2월생. 1977년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1982년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 일본 대판대학 졸업(박사). 1983년~1992년 한국해양수산연수원 교수, 1993~현재 부경대학교 생산기공공학과 교수. 당학회 회원.



김종호

1958년 10월생. 1982년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1990년 동대학원 졸업(석사). 1995년 동대학원 졸업(박사). 1987년-1996년 3월 한국선급, 1996년 4월~현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수. 당학회 회원.



김영식

1944년 10월생. 1967년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1973년 동대학원 졸업(석사). 1979년 동경공업대학교 졸업(박사). 1974년~현재 한국해양대학교 재료공학과. 당학회 부회장, 대한용접학회 회장. 한국선급 금속전문위원. 중소기업 기술혁신 개발사업 평가위원.