

# 스테인리스강 프로펠러축계의 육성 용접에 대한 연구

백신영\*

\* 목포해양대학교 기관시스템공학부

## A Study of Built-Up Repair Welding for Stainless Steel Propulsion Shafting

Shin-Young Baik\*

\* Division of Marine Engineering System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요약** : 현재 중소형선박의 동력전달용 스테인리스 추진축계가 많이 사용되고 있으나 선미를 통과하는 선미관 패킹부, 베어링이 작용하는 집축부 등에서 마모, 축의 재질불량이나 설계 불량으로 인하여 축이 절손되는 경우가 많다. 프로펠러축이 과다마모 또는 절손으로 파단시 새로운 축으로 신환하고 있으나 축을 새것으로 구입하려면 주문, 제작 등에 따라 상당한 비용이 소요된다. 또한 축을 육성 용접하는 경우는 해양수산관청의 승인을 득하도록 되어 있으나 지금까지 승인이 된 경우가 없었다. 따라서 이 연구에서는 직접 스테인리스 재료를 육성 용접하면서 모재와 비교하여 용접에 따른 금속조직의 변화, 결함의 계측 등을 규명하여 해양수산관청의 승인에 필요한 용접 절차, 검사에 필요한 사항 등을 검토하였다.

**핵심용어** : 중소형 선박, 추진축계, 스테인리스강, 육성용접, 용접부 검사

**Abstract** : In recent days, the consumption of stainless steel in the propulsion shafting systems for small-medium class vessel is increased due to its high corrosion protection with wear resistant properties. Unfortunately the small and medium class vessel that operated in the west-south sea area of Korean peninsula experienced heavy wear down due to the role of mud. In the event of wear or broken down, the propeller shaft must be replaced by new one, but the new shaft is very expensive and time-consuming for order made supply. In this case, the methods of built up for wear and broken shaft by welding is one of the most effective cases. In this study, the built up welding for austenitic stainless steel shaft has been accomplished by various pre-surface treatment, welding methods, post heattreatment and inspection. The results confirmed that the built-up welding was one of the effective methods for stainless steel shafting.

**Key Words** : Small and medium class vessel, Shaftings, Stainless steel, Built-up welding, Inspection of welding parts.

### 1. 서 론

현재 중소형선박의 동력전달용 추진축계에 스테인리스강(Stainless Steel : SS)이 많이 사용되고 있으나 선미관이 통과하는 선미관 패킹부, 베어링이 작용하는 집축부 등에서 마모가 많이 발생하여 과다마모와 축의 재질불량이나 설계 불량으로 인하여 축이 절손되는 경우가 많다. 프로펠러축이 과다마모 또는 절손으로 파단시 새로운 축으로 신환하고 있으나 축을 새것으로 구입 할 경우 선박용으로 사용하는 대부분의 축계는 표준화 되어 있지 않아 주문, 제작 등을 통한 공급에는 상당한 시일이 소요되며, 이 기간 동안 선박을 사용할 수 없으므로 운항에 따른 상당한 경제적 손실이 발생 할 수 있다. 그 일례로서 도서지역을 항해하는 여객선의 경우에는 수리기간동안 여객선을 운항하지 못하면 대체 여객의 운송수단이 없어 도서민들이 아주 큰 불편을 겪게되거나, 양식장 등에서 미

역이나 다시마 또는 김 등을 생산하는 양식선의 경우에는 제때에 수확 및 관리를 하지 못하면 막대한 경제적 손실도 수반된다. 이러한 점에 대비하여 용접으로 보수(補修)하여 사용할 수 있도록 하거나, 새로운 축을 주문 생산하여 공급될 때까지 임시로 운항을 위한 축계의 보수 용접의 필요성은 절실하다고 할 수 있다.

소형 선박의 경우 축계는 일반 중대형 선박과는 다르게 고장시 대체 수단이 없고, 직접적으로 선박의 운항 및 안전과 관련되기 때문에 선박 축계의 보수 용접은 반드시 해운 관청의 승인을 득하여야 하나(한국선급협회, 2007) 아직까지 수리 및 추진축계에 대하여 기술적으로 승인된 예가 없다. 따라서 본 연구를 통하여 재료의 분석, 마모나 파손부의 검사, 용접부의 용접전 열처리, 용접법, 용접후 열처리 및 용접부의 검사 및 내식성 회복 등을 검토하여 스테인리스계통의 축계 용접을 검토하고 선급협회 등에서 축계 보수 용접의 검사를 위한 기초 자료로서 역할을 겸한 연구를 하고자 한다(백, 2007).

\* 대표저자 : 정희원, baiksy@mmu.ac.kr, 061-240-7097

## 2. 축계 용접수리법의 구성

### 2-1 마모 및 파손부의 분석

축계의 마모는 주로 선미관내의 축봉장치(Shaft Sealing System)에서 누설을 방지하는 패킹과 축의 접촉으로 발생하거나, 축계 냉각을 위한 해수에 갯벌 등이 혼입하여 이들이 마모제의 역할을 하여 마모를 많이 가속시키거나, 전기적으로 SS 축과 선체의 접지가 잘 못될 경우 축과 선체의 전위차이로 패킹글랜드 부분에서 주로 전식에 의한 피팅이 발생한다. 축계의 절손은 파다 마모나 축 중심의 불량이나 비틀림 진동 등으로 발생하는 경우가 있으며 그 파단부를 현미경으로 관찰하면 마모에 의한 것인가 진동 등 부가외력에 의한 것인가를 판단 할 수 있다.

### 2-2 축계의 육성 또는 보수 용접의 전처리

축계의 마모나 기계적 손상 또는 전기적 부식부를 원래의 형태로 바로 잡기 위해서는 육성(肉盛)보수 용접을 실시하여야 하며 용접 전에는 필히 용접전처리를 하여야 한다. 전처리로는 녹은 산세 처리로 피막을 제거 하고 축계 표면의 염분이나 이물질들을 제거하는 세정작업이 있다. 용접 입열에 의한 균열이나 비틀림을 방지하기 위하여 사전에 가접을 하는 방법도 검토하여야 한다.

#### 1) 용접 전 표면 세척

표면에 부착된 먼지류, 그리스, 윤활유, 등의 유지류와 페인트, 마킹용 표시 등을 기계적 또는 화학적 제거로 완전히 청결히 제거하여야 한다.

#### 2) 산처리에 의한 표면의 피막제거

표면의 피막은 Table 1의 세척제가 많이 사용되나 만약 피막이 잘 제거되지 않으면 염산의 양을 증가시켜 세척력을 증가시킨다.

Table 1. The Chemicals for Stain Remover on SS

| Kind of Acid                                | Quantity |
|---|----------|
| 52% HNO <sub>3</sub> (Nitric Acid) Baume 32 | 100 l    |
| 65% Hydraulic Acid or (NaF)                 | 20 l     |
|   | 30kg     |
| H <sub>2</sub> O                            | 900 l    |

## 3. 용접

### 3-1 용접부의 개선(Groove)

용접부의 용융이 원활하게 이루어지도록 다음과 같은 형상의

개선을 시행한다. I형(Square groove), V형(single V groove), X형(Double V groove), Single bevel groove, K형( Double bevel groove), J형, Double J형, U형(Single U groove), 및 H형(Double U groove)으로 한다(ASM, 1993; 일본기계공학전서 23, 1989)

### 3-2 용접자세

용접자세는 하향(Flat position), 횡향(Horizontal position), 입향(Vertical position) 및 상향(Over head position)이 있으나 가급적 용접 결함이 가장 적은 하향이 권장된다.

### 3-3 용접법의 선택

축계 보수를 위한 용접법으로는 Shield Metal Arc(SMAW), Submerged Arc(SAW), Gas Metal Arc(GTAW), Plasma Arc Welding(PAW), Gas Tungsten Arc(GTAW), Flux Cored Arc Welding(FACW) 등의 여러 가지 용접이 사용 될 수 있으나 비교적 마모가 적은 경우는 Metal Arc Welding으로, 규모가 큰 경우는 MIG(Metal Inert Gas Welding) 법으로 행하는 것이 바람직스럽다(박 등, 1999)

### 3-4 용접 입열에 의한 재료의 변형 방지 검토

SS의 경우 일반 탄소강재에 비하여 열전도가 나쁘고 전기적 저항이 크므로 용접 입열로 재료의 변형이 발생하기 쉽다. 따라서 용접을 위하여 가급적 용접 입열이 최소화되도록 저전류를 사용하고, 축의 한쪽에서 점차적으로 용접하는 것보다 간격을 두고 180도로 회전시키면서 열이 분산되도록 용접하고 1회 육성 후 어느 정도 냉각이 된 이후에 용접을 계속하는 것이 바람직스럽다.

### 3-5 용접재료의 화학적 성분 검토

#### 1) 용접 모재 재료의 규격

Table 2는 한국선급협회(KR)의 SS의 규격을 나타내고, Table 3은 한국선급협회의 SS의 기계적 성질을 나타낸다.

#### 2) 용접봉의 규격

304를 비롯한 오스테나이트계 SS의 용접봉은 Table 4와 같다. Table 5는 304를 비롯한 SS에 요구되는 용접봉을 사용하고 용접부 검사를 하기 위한 용접봉의 종류와 적용 강재를 표시한다. Table 6은 피복 아크 용접봉의 화학적 성분 규격을 나타내고 Table 7은 MIG 용접봉을 나타낸다.

#### 3) 용접봉의 크기와 전류, 전압

SS의 육성용접에 활용할 수 있는 용접봉에 따른 전류 전압 관계는 Table 8과 같다.

Table 2. Grades and chemical compositions of stainless steel (KR)

| Grades  | C     | Mn   | Si   | P     | S     | Cr        | Ni        | N     | Mo      |
|---------|-------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|-------|---------|
| RSTS304 | -0.08 | -2.0 | -1.0 | -0.04 | -0.03 | 18.0-20.0 | 8.0-10.5  | -0.10 |         |
| RSTS316 | -0.08 | -2.0 | -1.0 | -0.04 | -0.03 | 16.0-18.0 | 10.0-14.0 | -0.10 | 2.0-3.0 |

Table 3. Mechanical properties for austenitic stainless steel (KR)

| Element | Mechanical             |                        |                 | Hardness |          |         |
|---------|------------------------|------------------------|-----------------|----------|----------|---------|
|         | YS(N/mm <sup>2</sup> ) | TS(N/mm <sup>2</sup> ) | Elongation. (%) | HB max.  | HRB max. | HV max. |
| RSTS304 | min. 205               | min. 520               | min. 40         | 187      | 90       | 200     |
| RSTS316 | min. 205               | min. 520               | min. 40         | 187      | 90       | 200     |

Table 4. Mechanical properties for austenitic SS. (KR)

| Element | Mechanical             |                        |                | Hardness |          |         |
|---------|------------------------|------------------------|----------------|----------|----------|---------|
|         | YS(N/mm <sup>2</sup> ) | TS(N/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | HB max.  | HRB max. | HV max. |
| RSTS304 | min. 205               | min. 520               | min. 40        | 187      | 90       | 200     |
| RSTS316 | min. 205               | min. 520               | min. 40        | 187      | 90       | 200     |

Table 5. Grades of ateel for test assembly steel (KR)

| Grades of Welding Consumables | Kind of SS |
|-------------------------------|------------|
| RD 308 RY 308 RW 308 RU 308   | STS 304    |
| RD 316 RY 316 RW 316 RU 316   | STS 316    |

Table 6. Chemical composition for shielded arc welding rod(KR)

| Element | C(max.) | Si(max.) | Mn(max.) | P(max.) | S(max.) | Ni        | Cr        | Mo       |
|---------|---------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|
| RD 308  | 0.08    | 0.90     | 2.50     | 0.04    | 0.03    | 9.0-11.0  | 19.0-21.0 |          |
| RD 316  | 0.08    | 0.90     | 2.50     | 0.04    | 0.03    | 11.0-14.0 | 18.0-21.0 | 2.0-2.75 |

Table 7. Chemical composition for TIG, MIG welding rod(KR)

| Element | C(max.) | Si(max.) | Mn      | P(max.) | S(max.) | Ni        | Cr        | Mo      |
|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| RD 308  | 0.08    | 0.65     | 1.0-2.5 | 0.03    | 0.03    | 9.0-11.0  | 19.0-22.0 | -       |
| RD 316  | 0.08    | 0.65     | 2.50    | 0.03    | 0.03    | 11.0-14.0 | 18.0-20.0 | 2.0-3.0 |

Table 8. The relationship for size of welding rod and current

| Electrode dia.(mm) | Current | Max. V |
|--------------------|---------|--------|
| 1.5                | 35-45   | 24     |
| 2.0                | 45-55   | 24     |
| 2.6                | 65-80   | 24     |
| 3.2                | 90-110  | 25     |
| 4.0                | 120-140 | 26     |
| 5.0                | 160-180 | 27     |
| 6.4                | 220-240 | 28     |

용접시 전극은 Direct Positive Electrode(DCEP)가 되도록 한다. 즉, 용접봉이 (+)극, 모재가 (-) 극이 되도록 한다.

4) 용접부 차폐가스

용접부의 산화를 방지하기 위하여 차폐 가스를 사용한다.

4. 용접부 검사

용접부의 건전한 용접 확인과 결함의 유무는 육안(Macro) 검사와, 전자현미경 또는 금속 현미경 등에 의한 미세(Micro) 검사, 내부의 결함 여부를 판단할 수 있는 비파괴 검사 등으로 검사할 수 있다.

**4-1 용접부에서 발생하기 쉬운 결함의 종류**

용접결함(Weld defect)은 용접시 발생하는 결함으로서 용입부족, 용입과다, 슬래그혼입, 터짐, 융합불량, 블로우홀 등이 있으며 그 결함의 종류는 Table 9와 같다.

**4-2 용접부의 표면 검사**

용접부의 표면은 육안 검사의 매크로(Macro)검사, 현미경을 활용하는 마이크로(Micro) 검사가 있다. 육안 검사는 대형의 결함을 검출 할 수 있으며, 표면 확대용의 USB의 Microscope를 활용하면 더욱 세밀하게 검사 할 수 있다. 용접부에서 내부로 확대 또는 연결되는 결함은 침투탐상법으로 그 정도를 파악 할 수 있다.

**4-3 용접부의 내부 검사**

용접부의 내부에 발생하는 결함은 비파괴 시험으로 검출할 수 있다. 현재 많이 활용되는 시험기로는 방사선탐상, 초음파 탐상, 자분탐상, 와전류탐상, 음향탐상, 중성자 탐상 등이 있으며 각각의 간략한 비교는 다음과 같다(박, 2000).

1) 방사선탐상법

방사선 방사선투과법의 가장 큰 장점은 내부결함의 크기 및 형태 등 결함의 성질을 판단하기가 쉽고, 이미지로 얻은 결과가 양호하며 결과를 거의 영구적으로 보관이 가능하다는 것이다. 단점으로는 결함부위의 공간적인 정보를 얻을 수 없다는 것으로 결함의 깊이를 추정하기 어렵고 방향성이 좋지 않고 2차원 결함을 검출하기 어렵다는 것입니다. 또한 방사선을 투과하는 장비는 방사선 본질과 피폭 등으로 인체에 유해한 방사선을 방출하기 때문에 AI캡에 채워 텅스텐 제 용기에 보관하여야 하며 자격증을 보유한 전문가만 활용 할 수 있다. 방사선투과기의 크기로 인하여 경우에 따라서는 현장에서 사용하기 어려울 수도 있으며, 탐색속도가 느리고, 탐색비용이 상당히 고가이므로 방사선 투과법을 효과적으로 적용하기 위해서는 육안점검 및 다른 비파괴 시험법을 조합적으로 적용하는 방안이 필요하다.

2) 초음파탐상법

초음파 탐상법은 방사선투과 시험이 곤란한 조인트 부분까지도 시험이 가능하나 펄스에코시그널을 해석하는데 상당한 기술이 요구되며, 검사방법으로는 투과법, 반사법, 공진법, 수직 탐사법 등이 있다. 표준 측정장비는 음파생성기, 수신장치

(보통 한 기구 내에 조립됨)와 초기파 및 반사파가 나타나는 화면 등으로 구성되며 화상 표시장치는 결함부의 위치(깊이) 및 결함의 성질을 추정할 수 있다. 기구의 감지부(탐지부)를 조사할 부분을 따라 이동함으로써 결함의 크기 측정을 가능하게 하고 조사 민감도는 음향 진동수, 탐지부의 설계, 기계의 조작, 반사 신호의 전기적 처리기술과 같은 여러 가지 시험변수에 영향을 받는다.

초음파탐상법의 장점은 휴대성, 민감성이 높고 균열의 위치 또는 결함의 공간적인 정보를 얻을 수 있다는 점이며, 방사선투과법에 비하여 안전하고 경제적인 비파괴검사법이다. 최근에는 현장 측정 자료를 컴퓨터 처리와 보고서 작업에 적당한 형식으로 저장할 수 있는 디지털 장비가 보급되어 있어 작업의 효율성이 높아지나 단점으로는 표면결함을 효과적으로 찾아낼 수 없다는 점에 있다.

3) 와전류 탐상법

와전류탐상법은 그 원리가 자분탐상법과 매우 유사하며, 정밀한 자기장의 변화를 감지할 수 있는 센서의 개발과 함께 비교적 최근에 실용화된 비파괴검사법이며 와상전류시험법은 조사하고자 하는 물체에 자기장이 아닌 전기장을 교란시켜 결함을 검출하는 것이 자분탐상법과 다른 점이다.

장점은 물체표면으로부터 깊은 곳에 존재하고 있는 결함을 검출할 수 있으며, 진동수를 적절히 조절함으로써 표면조사만을 할 수 있고 결함의 크기 또한 조사 지역의 결과로부터 측정할 수 있으나 와전류탐상법의 결과는 물체의 기하학적 형상에 크게 영향을 받으므로 간단한 형상에 대해서만 조사할 수 있고 복잡한 형상은 임피던스값 자체를 변화시키기 때문에 유용성이 제한되며, 자분탐상법처럼 전도체만을 조사대상으로 할 수 있으며, 페인트와 같은 여러 가지 표면조건에 둔감하다는 단점이 있다.

**4-4 용접 후 내식성 회복을 위한 부동태화 처리**

산세에 의한 피클링(Pickling)을 완료 후 표면에 균일한 부동태 피막을 형성시키기 위한 부동태화 처리 용액은 Table 10과 같다.

**5. 용접절차 시방서**

신규협회에 용접 승인을 받기 위하여 다음과 같은 용접절차 시방서를 제출하여야 한다. 여기에 포함될 사항은 1) 용접

Table 9. Classification of defects

| Kind of defect | Name of defect                    |  |
|----------------|-----------------------------------|--|
| Grade A defect | Non metal inclusion by microscope | Sulfide, silicate, alumina, granular oxide           |
| Grade B defect | Non metal inclusion by microscope | Sand mark Sulfide, silicate, alumina, granular oxide |
| Grade C defect | Crack, porosity                   | Crack, porosity, lap, over-heating                   |

Table 10. Chemical for passivation of SS

| Composition                     | Quantity       |
|---------------------------------|----------------|
| 52% HNO <sub>3</sub> (Baume 32) | 250 l          |
| Water                           | 750 l          |
| Treatment Time, Temp.           | 20°C 15-60min. |

법 2) 모재의 종류 3) 용접용재료(종류, 보호가스 및 극성 등) 용접자세 5) 용접이음의 상세 6) 용접전기특성(전류, 전압 및 극성 등) 7) 예열 및 최대 중간온도 및 후열처리온도, 기타사항 등이다.

### 6. 용접법의 실제 적용 예

지금까지 살펴본 용접관련 사항을 축계와 연계하여 육성 용접을 실시하고 용접의 건전성을 평가하고자 실험하였다.

#### 6-1 용접 재료

용접 모재는 직경 50mm의 봉상 SS 304 및 316 및 가로 20 x 세로 100 x 두께 4mm의 SS304 재료에 대하여 육성 용접을 실시하고 분석하였다.

#### 6-2 모재의 화학적 성분

용접 모재에 사용하는 재료의 화학적 성분은 Table 11과 같다.

Table 11. Chemical composition of base metal for SS

| Element | C     | Si    | Mn   | P     | S    |
|---------|-------|-------|------|-------|------|
| 304     | 0.07  | 0.9   | 1.21 | 0.04  | 0.03 |
|         | Cr    | Ni    | Mo   | Bal.  |      |
|         | 18.72 | 8.23  | 0.06 | Fe    |      |
| 316     | C     | Si    | Mn   | P     | S    |
|         | 0.05  | 0.41  | 0.90 | 0.024 | 0.02 |
|         | Cr    | Ni    | Mo   | Bal.  |      |
|         | 17.03 | 11.40 | 2.10 | Fe    |      |

#### 6-3 용접 봉

용접봉은 SS 304계는 3.2mm의 SS 308계, SS316에는 SS 316을 사용하였다.

#### 6-4 용접 조건 및 개선

용접자세는 모두 하향자세, 용접전압은 DC 24V, 전류는 최대 90A, 용접봉을 (+)극으로 하였다. 용접부의 용입을 원활하게 하기 위하여 개선 형상을 Photo 1과 같이 개선하

였으며 지름 50mm 원형봉을 깊이 2mm, 폭 50mm를 선반으로 절삭하고 반지름 5mm로 개선하였다.

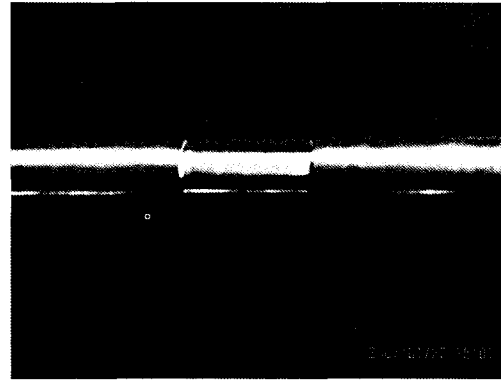


Photo 1. Base metal with groove (dia 50mm, depth 2mm, width 50mm).

#### 6-5 용접 전 표면 검사

용접전에 표면을 USB Microscope를 사용하여 검사한 결과 녹이 발생하여 52% 질산(HNO<sub>3</sub>) 용액으로 산세척을 실시하고 물로 소제하였다.

#### 6-6 용접부 형상

봉상 시편에 대하여 용접을 실시한 결과, 비교적 용접 상태는 좋았으며 용접 완료 후 표면에 오버랩(Over lap)된 부분을 본 모재의 크기로 기계 가공하였다. Photo 2는 용접부와 가공 후 형상을 나타낸다.



Photo 2. Welded and machined specimen.

#### 6-7 경도 검사

용접 후 재료 표면의 경도를 Micro Vickers 경도시험기와 Rockwell 경도 시험기로 경도를 측정하였다. 경도는 Photo 3과 같이 용접 중앙부 HV 경도 200 정도, 모재부가 195 정도로 나타나 모재와 용접부가 비슷하게 나타났다.

#### 6-8 표면 검사

Photo 4~Photo 6은 각각의 조직을 x40, x300, x 10,000배

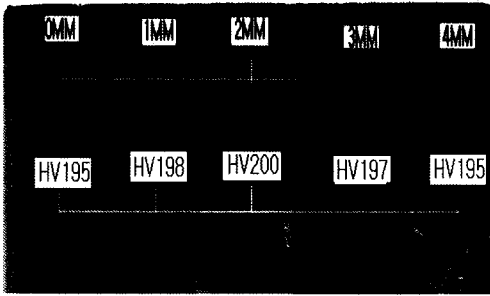


Photo 3. The result of hardness test.

한 전자현미경 조직 사진이다. Photo 4에서 용접부에 발생한 Photo 3의 모재와 용접부의 하부에 존재하는 크랙은 약 1.5mm 정도였다. Photo 5는 현미경으로 약 300배 확대한 조직사진으로 Photo 4에서 검출한 결함의 인접부에서 발생한 0.07mm 정도의 결함, Photo 6은 조직을 10,000배로 확대하고 Photo 5의 결함을 확대한 것이다.

이와 같이 용접부의 용접 결함을 현미경으로 확대함으로써 쉽게 결함을 검출할 수 있었다. 여기에서 검출된 결함은 사정후 재차 용접하여 결함을 완전히 제거하였으며 현미경으로 검사 후 다시 USB Microscope로 측정 결과 Photo 7과 같이 표면이 평탄하고 결함이 없는 것을 알 수 있었다.

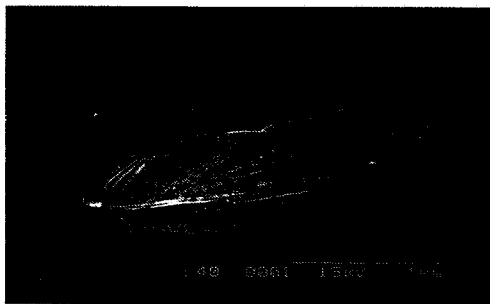


Photo 4. Macro defect(1.5mmL) x40.

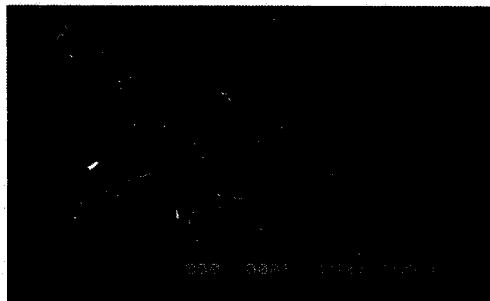


Photo 5. Micro defect(0.07mm) x300.

### 6-9 용접부의 초음파 탐상

용접부의 내부 결함을 계측하기 위하여 초음파 탐상장비를 이용하여 계측한 결과 용접 외부에 존재하는 결함을 완전히 제거하고 내부에 대하여 측정된 결과는 Photo 8과 같이 재료의 두께 범위 내에서 피크가 나타나지 않아 결함이 없는 것을 확인하였다.



Photo 6. Micro defect(0.02mm) x 10,000.

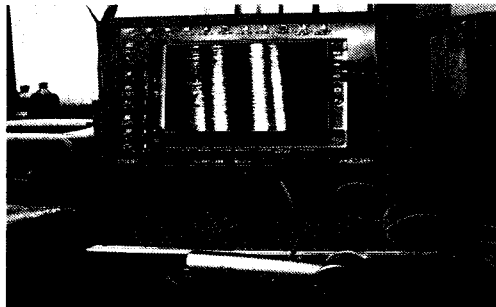


Photo 7. USB microscope image on weld.



Photo 8. Ultra-sonic test for weld section.

## 7. 결론

최근 중소형선박의 동력전달용 추진축계에 스테인리스강이 많이 사용되고 있으나 파다 마모나 축의 재질불량 또는 설계 불량으로 인하여 축이 절손되는 경우가 많다. 이러한 경우 새로운 축으로 신환하고 있으나 선박용으로 사용하는 대부분의 축계는 표준화 되어 있지 않아 주문, 제작 등을 통한 공급에는 상당한 시일이 소요되어 운휴에 따른 상당한 경제적 손실이 발생하며 특히 소형 선박의 경우 축계는 일반 중대형 선박과는 다르게 고장시 대체 수단이 없다. 이러한 경우 축을 용접으로 보수(補修)하여 사용하도록 하거나, 새로운 축을 주문 생산하여 공급될 때까지 대체 할 수 있도록 하기 위한 축계의 보수 용접의 필요성은 절실하다. 그러나 축계에 대하여 보수용접을 시행 할 경우 해운관청에 그 방법에 대하여 승인을 득하도록 되어 있으나 그 기술적인 검토가 없었고 승인된 예도 없었다.

본 연구를 통하여 재료의 분석, 마모나 파손부의 검사, 용접부의 용접전열처리, 용접법, 용접후열처리 및 용접부의 검사 및 내식성 회복 등을 검토하여 스테인리스계통의 축계 용접 등을 육성으로 보수하는 방법으로써 그 이행을 검토하고 직접 STS 304 및 STS316을 용접한 결과 충분히 육성에 의한 보수 용접이 가능하다는 점을 밝혔으며, 소형 선박의 추진축계가 마모가 발생하여 용접에 의한 보수를 시행 할 경우 용접부를 화학적 또는 기계적 전처리 세척, 모재에 따른 적절한 용접봉 선택, 용접전압과 전류, 용접 후 육안 및 마이크로 검사, 초음파 탐상에 의한 용접 내부의 결함 측정 및 용접부에 대하여 적절한 부동태화 처리 등을 실시하면 모재와 별로 차이가 없는 건전한 용접이 가능하다는 것을 밝혔다. 아울러 한국선급협회를 비롯한 기타 선급협회에서도 본 논문에서 검토한 사항을 참고하면 축계 용접의 검사 및 기술 개발에도 상당히 기여 할 것으로 기대되며 시험 중 얻어진 중요한 결과는 다음과 같다.

- 1) 용접부의 경도시험 결과 용융부가 Hv 200, 모재 Hv 195로 용융부가 약간 높게 나타났으나 그 차이는 적었다.
- 2) 용접부에서 발생하는 용접 결함을 전자현미경으로 40배, 300배, 10,000배로 확대하여 결함을 발견할 수 있었다.
- 3) 용접 중에 발생한 결함을 기계가공으로 제거하고 USB Microscope로 표면을 계측 결과 결함이 완전히 제거된 것을 확인하였다.
- 4) 초음파 탐상장치에 의한 측정 결과 용접 내부에 존재하는 결함이 없음을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

[1] 박상두 외 3인(1999), 원창출판사, 용접공학, pp. 437-441.  
 [2] 박익근(2000), 비파괴검사개론, 골드출판사, pp. 224-227.  
 [3] 백신영(2007), 제 14차 컨소시엄 최종보고서, 목포해양대학교 산학협력단 pp. 1-19.  
 [4] 일본 기계공학전서 23(1989), 용접공학, pp. 162-164  
 [5] 한국선급협회(2007), 선급 및 강선규칙.  
 [6] 일본 기계공학전서 23(1989), 용접공학, pp. 162-164.  
 [7] American Society of Metal(1993), Welding Brazing and Soldering" vol.6 pp. 320-352.

원고접수일 : 2007 년 09월 17일

원고채택일 : 2007 년 11월 28일