

## 버터링 비드를 이용한 탄소강 보수용접에서 수동 용접 프로세스의 특성

### Characteristics of manual welding process on carbon steel repair welding using buttering bead

송근호, 김인수, 이명열

두산중공업(주) 기술연구원 소재개발팀

**ABSTRACT**, Methods of repair welding are different to production welding for welding position, welding process, welding power source, heating methods. This study investigated proper the welding process used the welding process SMAW and GTAW in the weldment of inconel filler metals. Mechanical test showed that SMAW and GTAW process had higher mechanical properties than those of material specification. Both SMAW and GTAW welding process can apply the repair welding. In comparison, GTAW welding process had more higher mechanical properties in the weldment.

## 1. 서 론

플랜트 설비의 구성 기계 요소 중 많은 부분이 배관으로 구성되어 있다. 배관 재질은 가동 특성에 따라 다양한 재질이 사용되지만 일반적으로 용접이 용이하고 경제적으로 유리한 탄소강 모재에 내부식, 내마모 등의 가동 조건을 고려하여 이중재 용접이나 용사 등으로 용가재를 육성하여 사용하고 있다. 보수용접에서는 생산용접과 달리 이미 설치되어 있는 상태에서 보수를 수행하여야 하므로 보수절차와 용접자세, 용접방법, 예.후열관리, 적용장비 등이 달라져야 하고 용접 품질에도 영향을 주게 된다. 따라서 내부식 환경에서 가동되는 배관보수 과정에서는 배관 감육부가 배관 두께의 설계강도를 유지하면서 내부식 특성이 만족되는 보수를 실시하여야 하며 과도한 표면손상부는 스테인레스 계열이나 인코넬계열 용가재를 이용한 수동 용접방법으로 보수용접이 실시되고 있다. 수동용접에는 피복아크용접(SMAW)과 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)이 적용될 수 있으며 시험되는 조건에서 적정 수동 용접프로세스를 확보하기 위하여 용접 방법간의 특성을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험장치

보수에 사용되는 용접기는 저입열의 용접이 가능하여야 하고 입열의 조절 기능이 있는 것이 유리하다. 그러나 현실적으로 보수 현장에서는 일반적 용접장비를 사용하므로 SCR(Silicon Controlled Rectifier) 방식의 용접장비를

사용한다. 실험 모재 사양은 ASME metal grouping 규격으로 P No.1, Gr No.1이며 용접 프로세스는 SMAW(Shielded Metal Arc Welding)와 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)를 적용한다. 용가재는 모재와의 기계적 강도와 용접 작업성이 만족되는 인코넬 용접봉을 사용하였다. 사용된 용접재의 규격은 SMAW 용접방법에 대해서는 AWS A 5.11, F 43/ ENiCrFe-3이고 GTAW 용접방법에 대해서는 AWS A 5.14, F 43/ ERNiCr-3 이다.

실험 조건에서 우선 구별 조건은 입열 조건, 용접방법이다. 예열조건은 예열을 실시하지 않는 조건인 10° C와 150° C 예열 조건으로 구분하고 용접변수 중 용접전류는 적용 조건 중 최저 입열 조건을 적용하고 비드 적층 순서는 버터링 비드(Buttering bead)층을 우선 형성하며 후속층을 더 높은 입열 조건인 높은 전류로 형성하면서 용접을 실시한다. 이러한 실험은 PWHT, 예열 면제 조건인 ASME 조건을 참조하였으며 용접개선은 Cavity를 가공한 시편을 사용한다. 적용된 용접변수는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Welding variables in welding process

| Coupon No     | W6829       | W6841       |
|---------------|-------------|-------------|
| Process       | SMAW        | SMAW        |
| Amp           | 120-150     | 130-150     |
| Volt          | 21-24       | 20-23       |
| Speed(cm/min) | 17-25 / 5-8 | 12-18 / 6-8 |
| Preheating    | N/A         | Min. 150°C  |

| Coupon No     | W6830        | W6842       |
|---------------|--------------|-------------|
| Process       | GTAW         | GTAW        |
| Amp           | 190-200      | 190-200     |
| Volt          | 15-17        | 12-16       |
| Speed(cm/min) | 10-20 / 6-18 | 10-17 / 6-8 |
| Preheating    | N/A          | Min.150°C   |

2.2 실험방법

예열 유무 및 용접 프로세스별 시편 용접후 시편의 형상을 Fig.1에 나타내었다. 기계적 특성 파악을 위한 평가는 인장시험, 굽힘시험, 미세조직 시험, 충격시험을 실시하고 용접부 평가를 위해서는 경도측정, 매크로 시험, 화학분석을 실시하였다. 경도측정 및 미세조직 관찰은 용접부 횡방향으로는 용착금속, 버터링부, 열영향부, 모재부를 나타낼 수 있게하고 두께방향으로는 용접 표면하, 용착금속 중심부, 용착금속 루트부 상 방향으로 측정하였다. 희석율을 파악하기 위한 화학분석은 용착금속과 버터링부에서 실시하였다.

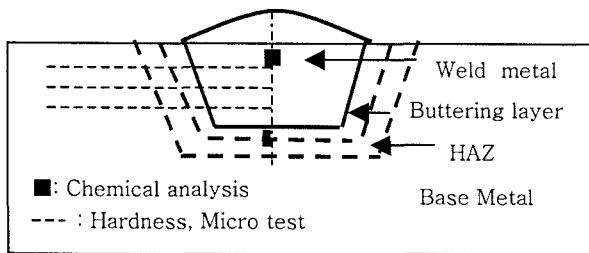


Fig.1 Welding coupon

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기계적 특성

매크로 시험에서 중간온도를 높게 유지한 시편에서는 용접방법에 관계없이 넓어진 버터링 용접부와 열영향부가 나타나며 조직이 조대하고 입열 증가에 의한 버터링 층간 변화가 관찰된다. 그러나 입자 조대화는 균열에 민감한 경향을 보일 수 있으며 예열을 실시한 시험편에서는 미세 균열이 관찰되기도 하였다. 과도한 입열 증가는 균열 발생 가능성이 있음을 보여준다.

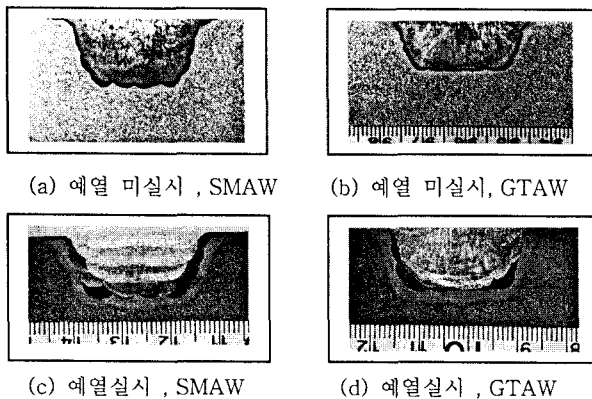


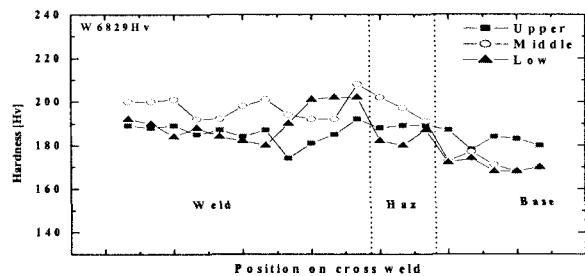
Fig. 2 Macro structure

인장시험에서 모든 시편이 모재에서 파단이 발생하였고 굽힘시험에서는 일부 미세 균열이 보이

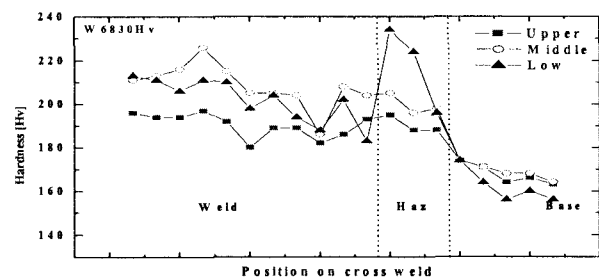
지만 허용 결함 범위 내 크기이다. 충격시험에서 흡수 에너지 크기는 용착금속부, 열영향부, 모재 순이며 GTAW 용접방법이 SMAW 용접방법보다 충격 특성이 양호하다. 이것은 용가재 합금성분 차이, 용접패스 수의 증가, 용착금속 조직, 용가재 불순물 함유 감소 등에 기인한다고 판단된다. 예열 실시여부와 관련 없이 모두 기계적 특성은 양호하다.

3.2 용접부 특성

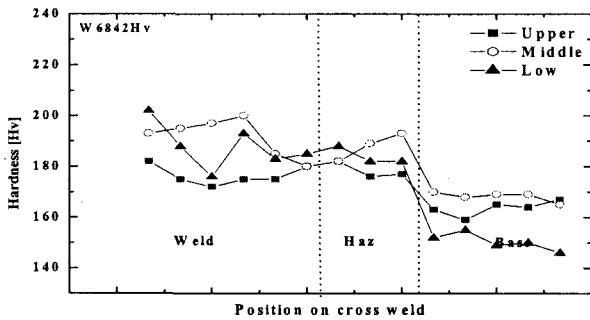
용착금속 경도는 GTAW 용접방법이 전반적으로 SMAW 용접방법보다 큰 경향이며 이것은 GTAW 용접방법이 패스 수가 증가하여 냉각속도가 더 빠르고 용가재 화학성분에서 경화성이 큰 Cr 성분을 더 함유하였기 때문이다. 예열실시 조건에서 용접방법에 관계없이 용접부 예열 미 실시 조건보다 경도가 저하하는 현상이며 예열이 용접부의 경화 정도를 낮추는 효과를 보이고 있다. 저탄소강은 마르텐사이트 생성이 미약하므로 열영향부에서 경화는 크지 않으며 고탄소강이나 합금강에서는 열영향부 경도 상승이 커지게 된다. 실험의 모재는 저탄소강이므로 버퍼링 비드가 경도에 큰 영향을 보이지 않았을 것으로 판단된다. 용접 열이력에 의한 경화도가 큰 모재는 버터링 비드 적용시 열영향부에 Tempering 효과를 나타내어 열영향부 경화성을 상당히 완화시킬 것으로 예상된다. 버터링 비드는 열이력에 의해 경화성이 큰 모재의 용접 후 열영향부 경도 저하에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.



(a) 예열 미 실시, SMAW



(b) 예열 미 실시, GTAW



(c) 예열 실시, GTAW

Fig.3 Hardness of SMAW, GTAW

화학 분석 결과에서 버터링 용접부는 모재 방향으로 희석이 진행되었다. Fig.4와 Fig.5는 용접부의 미세조직을 나타내었다. 미세조직 관찰에서 용접금속 인접 열영향부 입자는 조대화되어 있으며 버터링 비드 시작부는 모재와 용접경계면을 형성하고 용착금속은 수직상 조직을 보이고 있다.

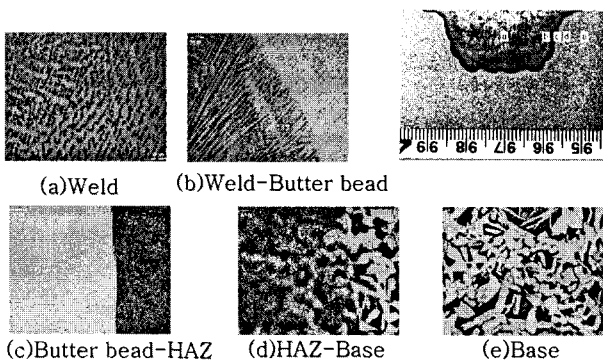


Fig.4 Microstructure of SMAW

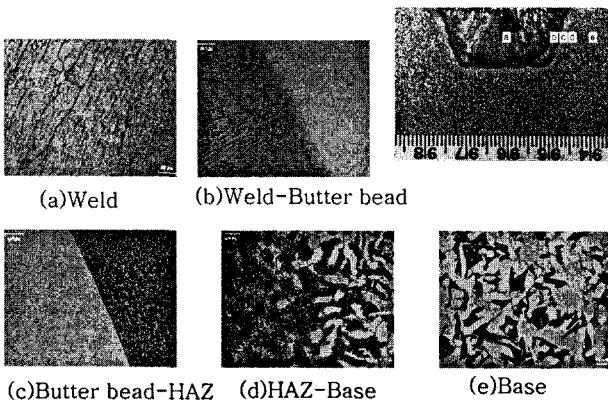


Fig.5 Microstructure of GTAW

#### 4. 결 론

버터링 비드를 이용한 보수용접에서 적용되는 용접 프로세스인 피복아크 용접(SMAW)과 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)부에 대한 비교 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 용접부의 기계적 특성은 모두 모재를 상회하는 기계적 특성을 나타내며 충격인성 특성은 GTAW 용접이 더 우수한 특성을 보인다.

2) 용접방법별 버터링 용접부와 열영향부간 경도 차이는 거의 없고 용착금속부는 모재보다 경도가 높다. 전체적인 입열량이 많고 용접 패스 수가 많은 GTAW 용접부가 SMAW 용접부보다 평균 경도가 높다. 저탄강모재에 대한 버터링을 이용한 용접에서 예열과 중간온도 증가는 용접부의 경도편차를 완화시킨다.

3) SMAW 용접과 GTAW 용접은 모두 보수용접에 적용할 수 있으며 GTAW 용접은 용접부 인성에 대한 물성치 면에서 더 우수하지만 균열 발생의 우려로 용접입열 관리에 주의를 필요로 한다.

#### 참 고 문 헌

- 1.H.T Lee : Characteristics of dissimilar welding of alloy 690 to 304L stainless steel., Science and Technology of welding and joining ,Vol.6 No.4 (2001), 225-234
- 2.T.Y Kuo : Analysis of microstructure and mechanical properties in 690 weldments using filler metals I-82 and I-52., Science and Technology of welding and joining ,Vol.4 No.2 (1999), 94-103
- 3.T.Y.Kuo : Effects of niobium on microstructure, mechanical properties, and corrosion behaviour in weldments of alloy 690., Science and Technology of welding and joining , Vol.4 No.4 (1999), 246-256