

보수용접기술 기초

이 보 영

An Introduction to Repair Welding Technology

Bo-Young Lee

1. 서 언

용접구조물에는 제작과정 중의 결함이나 사용 중의 과부하 또는 반복하중 등으로 인해 결함이나 손상이 발생할 수 있다. 이런 결함이나 손상을 제거하기 위해 실시하는 용접을 보수용접이라 한다. 보수용접은

- 생산과정 중의 마감용접,
 - 불일치 부분에 대한 수정용접,
 - 사용 중에 있는 구조물에 대한 보수용접
- 으로 구분할 수 있다¹⁾. 본 논문에서는 사용 중에 있는 구조물에 대한 보수용접기술에 관해 설명하기로 한다.

2. 구조물에 대한 보수용접

사용 중에 있는 구조물에서 용접부나 모재부에 손상이 발생되면 먼저

- 1) 손상부위의 보수가 가능한가?
- 2) 현재 위치에서 보수가 가능한가 또는 분리해 내어야 하는가?
- 3) 보수를 위해 어떤 기술과 시간이 소요되는가?
- 4) 구조물은 보수 후 어떤 사용 특성을 갖을 것인가?
- 5) 보수용접 이외에 다른 해결 방법이 있는가? 용접과 유사한 성공확률을 갖고 용접보다 빠르게 그리고/또는 값싸게 해결할 방법이 있는가?

등을 확인하여야 한다. 이들을 확인 후 보수용접 할 것을 결정하게 되면 보수용접을 하기 전에 다음과 같은 조치들이 수행되어야 한다:

- 결함이나 손상의 원인 도출.
- 실제 모재와/또는 용개재의 확인.
- 보수용접규정과 관련한 응용규격과 계약서의 검토 확인.
- 보수 계획서의 수립(보수순서 포함).

이런 조치들을 수행하기 위해서는 다음의 자료들이 확

인되어야 한다:

- 1) 발주자는 누구인가(회사 및 부서)?
- 2) 어떤 설비/기계의 요소인가?
- 3) 부품명은 무엇인가?
- 4) 부품의 크기, 중량, 형태는 어떠한가?
- 5) 사용조건은 어떠한가?
- 6) 사용시간은 얼마인가?
- 7) 결함/손상의 종류는 무엇인가?
- 8) 결함/손상의 위치는 어디인가?
- 9) 결함/손상의 범위는 어느 정도인가?
- 10) 결함/손상 부위의 모재의 두께는 얼마인가?
- 11) 결함/손상 부위의 모재의 종류는 무엇인가?
- 12) 결함/손상 부위의 모재 상태는 어떠한가?
- 13) 결함/손상 부위의 열처리 상태는 어떠한가?
- 14) 결함/손상부가 용접부인 경우 사용 용접법과 용접 재료 및 용접 조건 등.

2.1 결함이나 손상의 원인 도출

보수를 시작하기 전에 손상의 원인을 확인해야 한다. 결함이나 손상의 발생원인을 규명하기 위해서는 각 재질별 발생할 수 있는 결함과 손상의 종류 및 발생 기구를 이해하고 있어야 한다. 또한 구조물의 사용 특성으로 인한 발생 손상의 종류와 원인도 이해하고 있어야 한다. 손상의 원인은 손상의 위치와 방향, 손상부위의 변형 상태, 손상의 크기, 파단면 분석 등과 함께 금속 조직 검사 등의 방법으로 확인한다.

자주 확인되는 손상의 원인에는

- 과부하
- 설계 잘못/계산 결함
- 재료의 잘못 사용 또는 재료 결함
- 부재의 열처리 결함
- 시공 결함(ISO5817 또는 ISO 10042의 품질 등급

기준 미달) 등이 있다.

손상 시 생기는 파손의 종류는 다음과 같다:

- 연성파단
- 피로파단
- 취성파단
- 라멜라 균열

결합 또는 손상의 원인을 알아야 보수 후에 동일한 손상이 발생하는 것을 방지할 수 있다.

손상의 원인확인 후의 조치는 다음과 같은 것들이 있다:

- 설계의 변경
- 모재 또는 용가재의 변경
- 용접 순서 또는 적층 순서의 변경
- 추가적인 기계가공 또는 덧살의 가공.

2.2 모재와 용가재

2.2.1 모재

구조물에 사용된 실제 모재를 완전히 규명할 수 없다면 화학성분 분석을 실시해야 한다. 항복응력이 355 MPa 이상인 결정립미세화강의 경우에는 결정립미세화 원소(V, Ti, Nb, B 등)에 유의해야 한다. 또한 제작 된지가 오래된 구조물의 경우에는 소재를 확인할 때 N, P, S 함량을 확인해야 한다.

모재의 기계적 성질을 모를 경우에는 시험편을 채취하여 다음의 물성을 확인해야 한다:

- 인장강도
- 항복강도
- 연신율
- 인성(충격인성)
- 단면수축률.

또한 필요한 경우에는 재료의 조직, 결합이나 손상의 위치를 확인하고 열화 정도(고온에서 사용되는 구조물의 경우)를 확인하기 위한 금속조직검사를 해야 한다.

2.2.2 용가재

화학성분분석 등을 통해 사용된 용가재의 종류를 확인해야 한다. 보수용접에 사용하는 용가재는 높은 연신율(≥30%)을 가져야 한다. 특히 루트용접 시에는 모재 보다 낮은 항복강도를 갖는 용가재를 사용하는 것이 바람직하다. 표면층의 덧살을 제거할 경우에도 이런 용가재를 사용해야 한다.

2.3 응용규격과 계약서

보수용접은 응용규격과/또는 계약조항의 규정에 따라

수행해야 한다. 구조물 제작 시의 품질요건과 허용공차 요건을 만족해야 한다. 보수용접절차는 공인검사원이나 계약자의 허가를 받아야 하며 경우에 따라 이들의 입회 하에 실시해야 한다. 보수용접 후의 시험에는 적어도 최초의 구조물 제작 시 실시한 시험내용들이 포함되어야 한다.

2.4 보수 계획

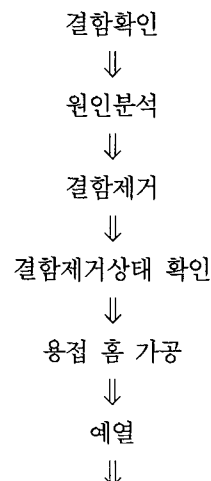
보수계획이 준비되어야 하며 경우에 따라 고객이나 검사기관의 승인을 받아야 하는 때도 있다. 보수계획은 처음의 용접계획과 거의 유사하다.

보수계획에는 다음과 같은 사항들이 포함되어 있어야 한다²⁻³⁾:

- 안전 사항
- 세척
- 재료의 종류
- 용가재
- 보수절차시방서(시방과 절차)
- 용접승인 시험
- 보수절차 시험
- 보수순서(층쌓기와 용접순서)
- 허용 수축량
- 필요한 경우 열처리(온도, 유지시간, 가열 및 냉각 속도)
- 용접후처리(해머링, 기계가공, 연삭)
- 시험방법(시험 날자와 범위)
- 보수용접의 검사 및 감독

2.5 보수용접절차

보수용접의 일반적인 절차는 다음과 같다.



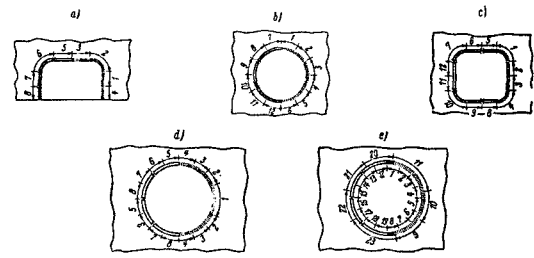
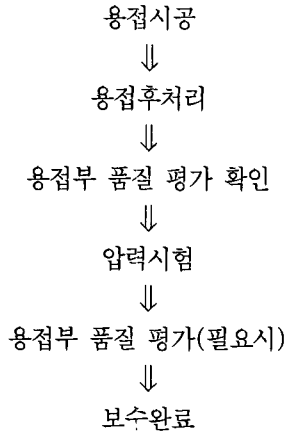


Fig. 1 Patch 용접에서의 용접 쌓기 순서의 예

3. 보수용접 시의 일반적 주의사항

보수용접과 생산용접의 차이는 용접부에 발생하는 구속도의 차이, 후처리(열처리 포함) 가능성의 유무, 용접자세의 제한 등을 들 수 있다. 특히 구속도의 차이로 인해 보수용접부에는 잔류응력이 최대로 발생할 수가 있다. 예로서 지름 80~100mm, 두께 9~20mm의 원형 patch 용접에서 용접부에 접선 및 법선 방향의 최대 응력이 발생하는 것이 알려져 있다⁴⁾. 이로 인해 용접부의 조립조건이나 용접순서가 생산용접의 경우와 다르게 되며 용접부의 형상도 다르게 된다.

구조물 벽에 원형의 판재를 교체하는 patch welding을 실시할 경우에는 patch 판의 크기를 필요한 최소 크기보다 충분히 크게 하는 것이 바람직하다. 이는 작업을 용이하게 하며 응력집중을 피할 수 있기 때문이다. 또한 가능하면 맞대기 이음보다는 겹치는 형태의 겹치기이음을 활용하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 덧판의 지름을 구멍의 지름보다 두께의 4배정도 더 크게 만들어 안과 밖을 필릿 용접하는 것이 일반적이다. 이럴 경우 잔류응력을 낮추고, 균열발생위험을 낮추며 맞춤정렬작업을 용이하게 하며 비용을 싸게 할 수 있는 장점이 있다. 겹치기이음을 적용할 수 없는 원형 patch 용접에서는 용접 시 원형 용접선의 한쪽이 자유롭게 수축될 수 있게 조치하는 것이 필요하다. 즉, 원주 이음을 반으로 구분하여 한 쪽을 완전히 용접한 다음에 다른 한 쪽을 용접하는 방법이며 용착순서는 후퇴법(back-step welding)을 사용한다. 이를 위한 용접순서의 예는 다음 그림 1과 같다⁵⁾.

원형이 아닌 사각 판재를 patch 용접할 경우에는 용접결합발생을 예방하고, 응력을 낮게 하기 위해 모서리를 원형(R≥100mm)으로 설계해야 한다(그림 1-a 참조). 그림 2에는 원통형 반응기의 외벽에 실시한 patch 용접부의 모서리에서 발생한 균열의 모습이 주

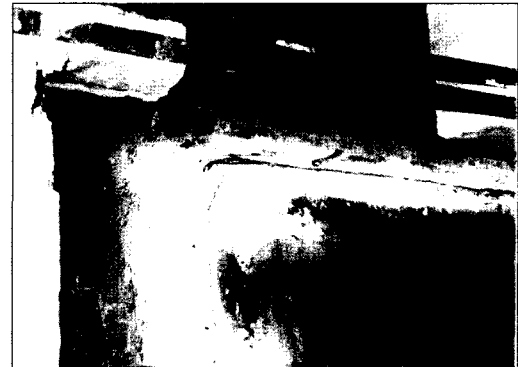


Fig. 2 사각형의 patch 용접부 모서리에 발생되어 있는 관통균열의 모습(좌측 상단 모서리 부위)

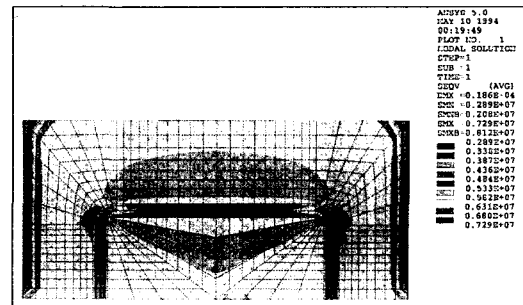


Fig. 3 Patch 용접부에 발생하는 상당응력 분포의 예

어져 있다. 관통균열이 왼쪽 상단의 모서리 용접 비드 끝부분의 열영향부에 발생되어 있는 모습이다. 그림 3에 주어진 이 부위의 응력해석 결과에서 모서리 용접부에서 가장 높은 응력이 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

구조물의 형상에 따라 그림 4와 같이 2개의 용접선을 연장하여 보수용접하는 방법도 사용된다. 시공 방법은 다음과 같다: 1번과 2번 이음을 조립하여 약하게 가접한 다음 1번 이음을 완전히 용접한다. 수축응력 때문에 2번 이음의 가접된 부위가 터져야 한다.

그런 다음 2번 이음을 끝까지 용접한다. 이 용접 시 발생하는 수축응력을 받아 줄 수 있는 길이는 적어도 두께의 40배 정도가 된다. 그런 다음 3번과 4번 이음을 차례로 용접한다. 용접이음의 길이가 모재 두께의 20배 이상인 경우 모든 이음의 용착순서는 후퇴법을

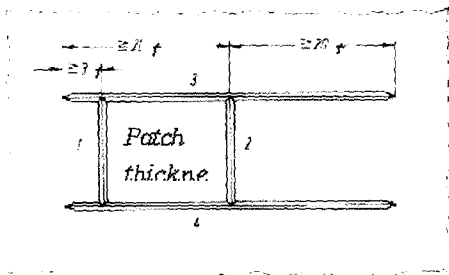


Fig. 4 사각판 patch 용접 순서의 예

사용한다. 이 방법은 모서리를 둥글게 한 patch 용접의 경우보다 잔류응력이 낮게 되는 장점뿐만 아니라 이음부 준비와 정렬 등의 시공이 용이하게 되는 장점이 있다.

구조물의 특성 때문에 용접후열처리를 실시할 수 없는 경우에는 temper-bead 용접기법을 사용할 수 있다. Temper-bead 용접기법은 후속비드의 열을 이용하여 먼저 용접한 비드에 열처리 효과를 줄 수 있도록 용접 비드를 겹쳐서 용접함으로써 용접후열처리를 대신하는 효과를 얻는 방법으로 이에 관한 상세 내용설명은 ASME Section III에 주어지 있다.

보수용접 중에는 표면 육성법을 사용하는 경우도 많이 사용되고 있다. 표면 육성을 실시하는 경우는 다음과 같이 구분할 수 있다:

- 1) 마모된 부위를 채우기 위한 용접
- 2) 표면경화층을 입히기 위한 용접
- 3) 화학적 저항성이 있는 재료를 입히기 위한 용접.

그림 4에는 손상되거나 마모된 부위를 육성용접하여 보수하는 그림 예가 주어지 있다.

표면경화층을 입히는 용접은 내마모성을 요구하는 구조물에 사용되며 매우 단단한 재료를 사용하여 표면 육성하는 방법으로 그림 5와 같다.

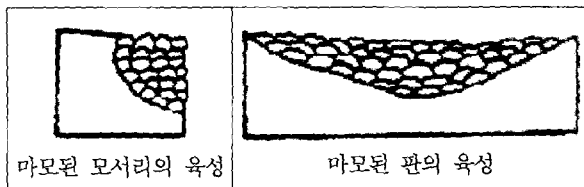


Fig. 5 손상/마모 부분의 육성용접의 예

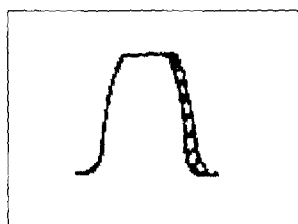


Fig. 6 스퍼기어 치차의 표면경화용접의 예

4. 결 언

보수용접 방법을 도출하기 위해 필요한 내용과 조치 사항 및 방법에 관해 간략하게 설명하였다. 그러나 실제 구조물에 발생한 결함이나 손상을 제거하기 위한 보수용접기술을 찾기 위해서는 사용된 모재의 특성과 구조물의 사용 특성 및 용접기술에 관한 포괄적인 지식이 필요하며 이를 모두 갖추기가 쉽지 않다. 따라서 올바른 보수용접 방법을 도출하기 위해서는 충분한 경험이 필요하다. 보통의 경우에 이런 경험을 직접 갖추기는 거의 불가능하기 때문에 보수용접에 관한 자료를 활용하는 것이 바람직하다. 발전설비와 장치산업분야에서의 50가지의 다양한 보수용접방법을 모아 설명하고 있는 자료가 있어⁶⁾ 이런 자료를 활용하면 독자들의 현장문제 해결을 위해 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회: 용접전문기술자 교육교재, 시공편, 대한용접학회, (1998)
2. 고진현 외: 신용접공학, 피어슨 에듀케이션 코리아, (2002)
3. 渡辺 正紀: 補修溶接施工法指針, (社)日本溶接協會 化學機械溶接研究委員會 補修溶接信頼性小委員會, (1987.7)
4. T. Yoshida: Beitrag zum Studium der Schweißspannungen bei kreisrunde Flicker. Der Praktiker Schweißen und Schneiden 16(1964), H.8, S. 114/5
5. R. Malisius: Schrumpfungen, Spannungen und Risse beim Schweißen. DVS, (1977)
6. DVS: Repareureschweißen - Anwendungsbeispiele aus Energietechnik und Anlagenbau, DVS-Berichte Bd. 180, (1996)



• 이보영(李普榮)
 • 1953년생
 • 한국항공대학교
 • 철강재용접, 보수용접, 용접부 손상해석
 • e-mail : bylee@mail.hau.ac.kr