

## 용융용접의 기초와 실제(VI)

- 각종 편면용접법 -

정 호 신

### Fundamentals of Fusion Welding(VI)

- Fundamentals of One Sided Welding -

Ho-Shin Jeong

지난 호에서는 편면용접법에 대한 기초적인 사항과 서브머지드 아크용접에 대한 사항 위주로 설명하였다. 편면용접법은 주로 서브머지드 아크용접에 적용되고 있지만 현재 사용되고 있는 탄산 가스 아크 용접 및 각종 용접법을 채용할 때의 편면용접에 대하여 지난 호에서 설명한 내용에 덧붙여 간단히 설명하기로 한다.

#### 1. 탄산 가스 아크 용접에 의한 편면용접법

조선공업 분야에서는 특히 평판의 용접 블록처럼 길이가 긴 용접부는 능률과 효율 측면에서 서브머지드 아크 용접에 의해 편면용접되는 경우가 많지만 곡률을 가진 선체 외판부의 용접이나 비교적 용접 길이가 짧은 웹, 관통재와 같은 소조립 부재의 이음부, 교량의 플랜지, 웹, 차량의 박판재 등의 편면용접은 탄산가스 아크 용접에 의해 시공되는 경우가 많다. 이와 같은 이유는 용접 장치가 서브머지드 아크 용접에 비해 간단하기 때문이고, 용접준비도 간편하다는 것도 이유가 될 수 있지만 조선공업의 경우와 같이 곡률을 가지는 외판에서는 가공공정에 전개, 절단 및 굽힘 가공 등 복잡한 공정이 포함되기 때문에 가스 절단에 의해 직선으로 절단되는 평판재에 비해 정밀도가 더 엄격한 용접 그루브를 얻기 어렵다는 것도 이유가 될 수 있다. 그루브 정밀도가 나쁜 용접선을 전자동으로 편면용접하게 되면 용입 형상의 차이로부터 이면 비드가 불균일하게 되는 것은 불가피하고, 정밀도에 맞추어 용접조건을 바꾸거나 그루브 내에 충전재를 첨가하여 용입 형상을 균일하게 할 필요가 생기게 되므로 작업이 복잡해지고 번거로워지게 된다. 이 때문에 용접 작업자의 기량이 우수하여야 한다.

그러나 탄산 가스 아크 용접에 의해 편면용접할 경

우에는 용접선이 경사지거나 굽어져 있어 서브머지드 아크용접이 불가능한 경우나 박판을 용접할 경우에 특히 적합하다. 용접기의 취급이 간단하기 때문에 어떠한 복잡한 경사나 곡률을 가진 경우에도 적용할 수 있고, 수용접에 비해 용접전류가 높아 능률을 높일 수 있다는 점, 가접의 영향 등을 종합적으로 고려할 때 아주 효율적인 방법이다. 또 용입 깊이가 깊기 때문에 두께 14mm까지는 I형 그루브로도 편면용접이 가능하고 그루브 가공을 현장에서의 작업 조건에 맞추어 가공할 수 있기 때문에 절단면의 효율적인 관리와 합리화가 가능하다.

적용할 수 있는 편면용접법으로는 지난 호에서 설명한 RF법, 형 플릭스법, 유니백법 등이 있고, 시공 방법은 서브머지드 아크 용접하는 경우와 같지만 곡률이 있는 외판과 같이 그루브 정밀도가 나쁜 이음부에 대해서는 그루브 조건의 변화에 따라 아크 전압, 용접전류 및 용접속도를 바꾸기보다는 아크가 가장 안정적으로 되는 용접조건, 즉 스프레이 이행이 되도록 하고 운봉 조건을 조절하여 이면 비드를 형성하는 것이 실용적이며 좋은 결과가 얻어진다. 운봉 요령은 용접선을 따라 토치 선단을 후방으로 수직에서 20-30° 경사시키고, 용접 중앙부를 전후로 가볍게 위빙하는 것이 좋다. 위빙할 때에는 전진하여 그루브의 아랫 부분을 용융시킨 다음 일단 크레이터쪽으로 후퇴하여 용착금속을 생성하는 것이 바람직하다. 루트 간격은 1.5-4.5mm 정도가 가장 좋고, 루트 간격이 커질수록 이면 비드가 생성되기 쉽기 때문에 운봉에 의해 적절하게 조절할 필요가 있다. 용접선의 경사는 상향 방향이 좋고 경사도가 커질수록 이면 비드가 생성되기 쉽고, 15°의 경사까지는 충분히 실용성이 있다. 또 용접선에 직각 방향의 경사는 20° 경사로도 충분하며 경사가 이 이상으로

되면 이면 비드가 아래로 처지는 경향이 있지만 작업성에는 거의 영향을 미치지 않으며, 35°의 경사에서도 이면 비드 상부에 약간 살 두께가 두꺼워질 뿐 양호한 비드 형상이 얻어진다. 또 그루브 내부의 가접도 과도하지 않는 한 문제가 되지 않는다.

## 2. 논 가스 용접에 의한 편면용접법

### 2.1 유니백법

이 방법은 판상의 고휘 플럭스와 동 백킹재를 병용하므로써 용접하는 방법이다. 백킹재는 공구를 사용하지 않고도 절단할 수 있고 취급도 편리하며 이면 비드의 외관이 양호한 등의 특징을 가지고 있다. 주로 용접선이 짧은 경우에 적용되고 있다.

### 2.2 RF법

이 방법은 그루브 가공한 강판의 홈 내부에 열경화성 플럭스를 충전하여 고휘화한 백킹재를 사용하여 용접하는 방법이다. 주로 곡률이 있는 외판등의 경사면에 적용되고 있다.

### 2.3 CRB법

이것은 심선 주위에 피복한 백킹재를 써서 용접하는 방법이다. 강판이 필요하지 않으며 취급이 간단하고 또 단면 형상이 원형인 백킹재를 사용하기 때문에 그루브 내에 백킹할 수 있으며 필렛용접부의 편면용접이 가능하다는 점이 특징이다. 주로 철골, 교량에 실용화되고 있다.

### 2.4 BB법

이 방법은 그림 1과 같이 미리 그루브가 가공되어 있는 내화성 고휘 백킹재를 써서 용접하는 방법이고 동판이 필요하지 않고 백킹재는 공구를 사용하지 않고

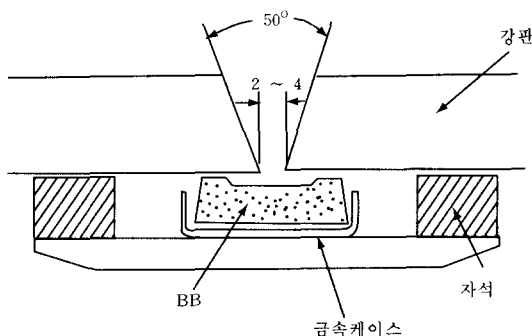


그림 1 BB법에 의한 논 가스 편면 용접법

절단할 수 있으며 가볍고 크기가 작기 때문에 자석으로 간단히 부착시킬 수 있는 것이 특징이다.

## 2.5 형 플럭스법

이 방법은 서브머지드 아크 용접법에 사용하는 백킹재와 유사한 구조를 가지는 백킹재를 써서 용접하는 편면용접법이다. 특징은 RF법, UB법과 같이 강판을 필요로 하지 않고 CRB법, BB법보다 백킹재의 내화도가 높기 때문에 그루브 간격의 변동에 대해서도 상당히 안정적이다. 논 가스 용접법에 사용되는 백킹재는 서브머지드 아크 용접에 사용되는 백킹재에 비해 상당히 가볍고 소형이기 때문에 자석으로 간단히 취부할 수 있다. 또 금속 케이스를 직접 모재에 가접하여 사용할 수도 있다.

## 3. 수용접에 의한 편면용접법

수용접에 의한 편면용접법에는 백킹재를 사용하는 방법과 백킹재를 사용하지 않는 방법이 있다. 전자는 백킹재로서 동판, 고휘 플럭스 등을 사용하는 것으로 루트 간격 및 용접전류의 허용 범위가 상당히 넓은 점, 이면 비드가 매우 안정적이라는 점 등이 특징이다. 그러므로 대형 구조나 현장 용접등에서 판재의 용접, 블록의 용접, 골조의 용접 등 광범위하게 적용되고 있다. 후자의 경우에는 특수한 용접봉을 사용하여 백킹재 없이 편면용접할 수 있는 장점이 있지만 루트 간격 및 용접전류 허용 범위가 매우 좁다는 점과 상당한 숙련된 기량이 요구될 뿐 아니라 안정적인 이면 비드가 얻어지기 어려운 단점이 있다. 그러므로 백킹하기 어려운 직경이 작은 파이프의 수용접에 사용되고 있을 뿐이다.

### 3.1 동 백킹법

이 방법은 가장 단순한 방법으로서 그림 2와 같은 그루브를 가지는 동 백킹재를 써서 용접하는 것이다. 이 방법은 백킹재를 운착하기 쉽고, 루트 간격이 상당히 큰 경우, 이면 비드에 돌기가 생기는 점, 용접 길이가 변하는 경우 및 짧은 용접부에서는 백킹재가 쉽게 절단되지 않기 때문에 불편하며 더욱이 백킹재가 무겁고 취부가 복잡한 점 등의 단점 때문에 현재는 많이 사용되지 않고 있다.

### 3.2 동 플럭스 병용법

이 방법은 그림 2에 나타낸 동 백킹재의 그루브 내에

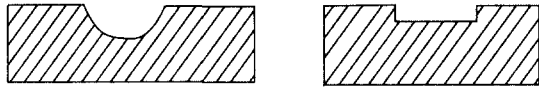


그림 2 편면 수용접에 사용하는 동 백킹재의 형상

에 플럭스를 소량 첨가하여 용접하는 방법이다. 이 방법은 동판만 사용하는 경우와 달리 동판이 용착되지 않기 때문에 직경이 큰 용접봉을 사용할 수 있는 장점이 있지만 아랫보기 자세가 아니면 적용할 수 없는 것이 단점이다.

### 3.3 동 유리 테이프 법

이 방법은 동판의 용착을 방지하기 위하여 전술한 플럭스 병용법과 마찬가지로 플럭스 대신에 유리 테이프를 병용한다. 따라서 수직 자세, 수평 자세에도 적용할 수 있고, 또 직경이 큰 용접봉을 사용할 수 있다는 장점이 있지만 동판을 사용하여야 한다는 것이 단점이다.

### 3.4 RF법

이 방법은 서브머지드 아크 용접 및 반자동 아크 용접의 경우와 같이 그루브 가공한 강판의 홈 내부에 열경화성 플럭스를 충전하여 가열하므로써 고형화한 백킹재를 사용하여 용접하는 것이다. 이 방법은 이면 비드 외관이 매우 양호하고 특히 이면 비드의 광택이 우수하다. 또한 아랫보기 용접시에는 슬랙이 선행하여 스파터가 많아 작업성이 나쁜 것이 결점으로 현재는 그다지 적용된 예가 많지 않다.

### 3.5 CRB법

이 방법은 심선 주위에 내화성 플럭스를 피복한 봉상의 유심 백킹재를 사용하여 용접한다. CRB법은 그림 3과 같이 백킹봉을 그루브 내에 삽입하여 이면 비드 용접하는 양면법과 그루브 뒷면에 위치시켜 용접

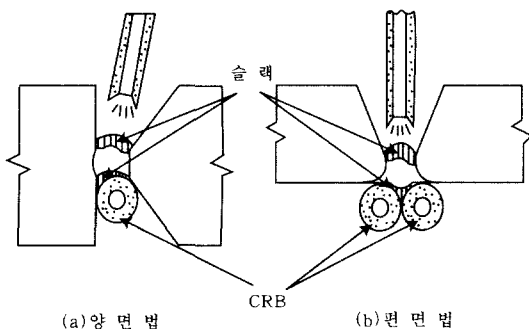


그림 3 CR법의 실시 요령

하는 편면법 등 두 가지 시공 방법이 있다.

이 방법의 특징은 동판이 필요하지 않다는 것과 용접속도가 서냉되기 때문에 크레이터부에 결함이 발생될 가능성이 희박하다는 점 및 그림 4에 나타내는 바와 같이 다양하게 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

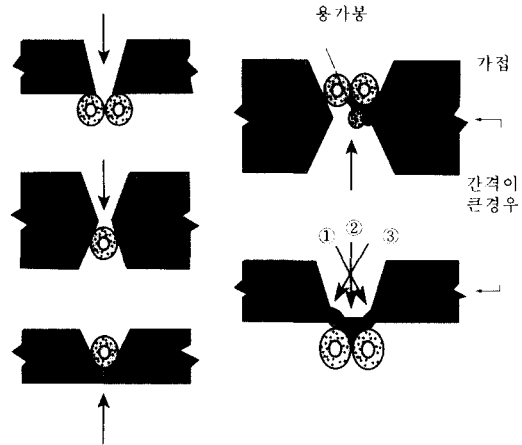


그림 4 CRB법의 실시예

### 3.6 BB법

이 방법은 홈을 가공한 고상의 백킹재를 사용하여 용접하는 것으로 그림 5와 같은 백킹재를 사용한다. 이 방법의 특징은 고상의 플럭스 백킹재를 사용하기 때문에 취급이 매우 간단하고, 공구를 사용하지 않고도 절단이 가능하며 슬랙 포켓을 가지는 구조이므로 용접작업성이 좋다는 것이다. 또 루트 간격의 허용 범위가 3-15mm로 넓고 동판이 불필요하며 취부가 간단하고 용융지가 서냉되므로 크레이터 결함이 매우 적다. 이 방법은 특히 반전하기 어려운 대형 구조물의 현장 편면용접에 매우 적합하며 백킹재의 용융량도 적고 고품질의 용접부가 얻어진다.

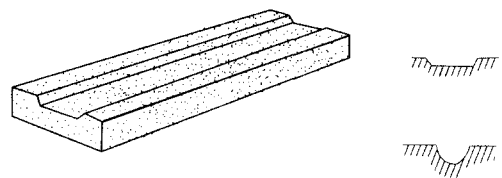


그림 5 BB법에 의해 사용되는 슬랙 포켓을 갖는 백킹재의 형상

## 4. 기타의 편면용접법

이미 설명한 각종 용접법 이외에 여러가지 용접법이 있지만 TIG 용접법을 중심으로 설명한다. TIG 용접

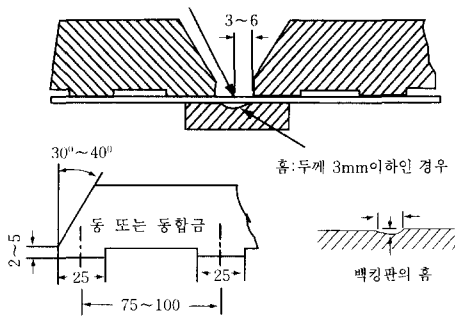


그림 6 금속 백킹법

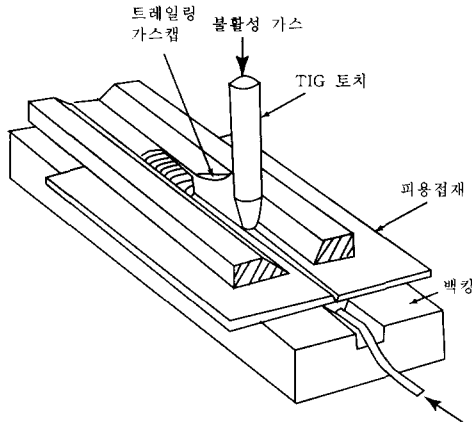


그림 7 불활성 가스 백킹법에 의한 편면 용접

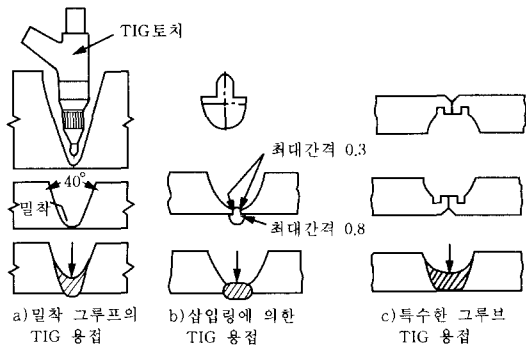


그림 8 파이프 맞대기 이음부의 편면 용접 방법

법은 일반적으로 박판에 적용되는 경우가 많기 때문에 백킹판을 병용하여 편면용접하여 시공하지만 이 경우 백킹 판재를 병용하는 목적은 이면 비드의 형성이 주된 목적이 아니라 그루브를 정확하게 유지하고, 변형 방지, 용착금속 용락의 방지나 용착금속 이면의 산화 방지 효과를 얻는 것이다. 백킹법에는 금속 백킹법, 불활성 가스 백킹법, 플럭스 백킹법 등 3가지가 있다. 금속 백킹법은 그림 6과 같은 방법으로 실시하는 경우가 많고 백킹재료로는 통상 강과 동을 사용한다. 백킹판의 홈은 이 그림과 같이 원호의 형상을 가지며 깊이는 0.3-0.8mm, 폭은 3-5mm 정도이다. 그러나 용착금속의 화학성분에 대한 요구가 엄격한 재료나 Ti, Zr과

같이 극소량의 대기가 함유되어도 취약하게 되는 재료에는 그림 7과 같은 불활성 가스 백킹법이 사용된다. 이면에 흘러보내는 가스로는 주로 Ar을 사용하지만 스테인리스강 파이프나 압력용기 등 직경이 작은 관의 용접시에는 내부면에서 용접하는 것이 불가능하기 때문에 TIG 용접하여 편면 이면 용접하는 경우가 많지만 이 경우에는 그림 8과 같은 방법이 사용된다. 즉 그림 (a)와 같은 밀착 U형 그루브의 루트부를 TIG 용접 토치로 용접봉을 사용하지 않고 용융시켜 이면 비드를 형성하거나 (b)와 같이 루트 간격이 작은 인서트 링을 삽입하여 이것을 완전히 밀착시켜 용접하는 방법이나 (c)와 같은 특수한 그루브를 가공하여 TIG 토치로 용접하는 방식 등이 있다. 이와 같은 방법은 모두 TIG 용접할 때 파이프 내면에도 불활성 가스를 충만시켜서 이면 비드를 보호할 필요가 있다.

5.1 용접 그루브와 정밀도의 관리

편면용접법의 기본 그루브는 V형이다. 이것은 표면에서 이면 비드를 형성한다고 하는 편면용접 본래의 목적에 기인하는 것이지만 경우에 따라서는 Y형, X형도 적용되고 있다. 그림 9는 X형 그루브를 FCB법으로 용접한 경우의 용착금속의 상황을 나타낸 것이지만 양면 1층 용접의 (b)와 비교해보면 알 수 있는 바와 같이 초층의 덴드라이트의 성장 방향은 용접부 중심선에 대해 상당히 각도가 작아지는 경향이 있다. 이와 같은 경향은 용착금속의 상부쪽으로의 각도가 작아질수록 증가하는 경향이 있다. 편면용접시에 이와 같은 경향이 뚜렷하게 나타나는 것은 이면 비드에 일정한 폭을 부여할 필요가 있다는 점과 용착금속의 냉각이 판 폭 방향으로 매우 빠르고 두께 방향으로 느린 것이 원인이다. 어느 경우이든 이 각도가 가능한 한 커지도록 하는 것이 비금속 개재물의 잔류, 고온균열 방지 측면에서 바람직하다. 이것이 V형 그루브가 편면용접의 기본이 되어야 하는 이유이다. 그러나 판 두께가 두꺼운 경우에도 V형 그루브만에 집착하게 되면 용착량의 증가에 의해 용접 비용이 많이 들 뿐 아니라 용접 층수가 많아지므로 각변형이 발생하여 오히려 용접

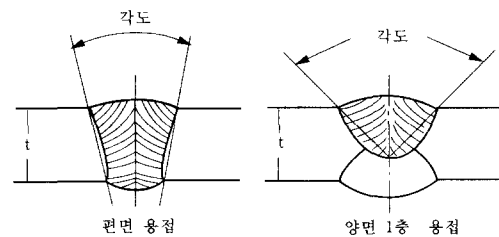


그림 9 용착부 각도의 비교

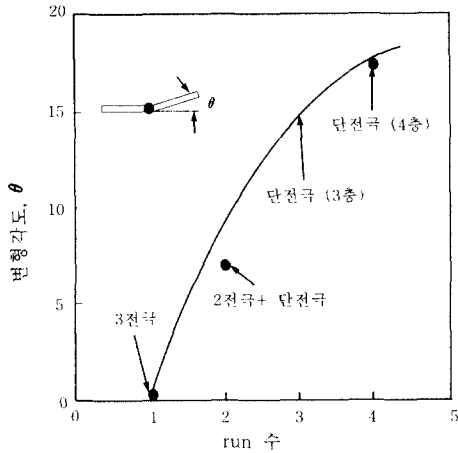


그림 10 용접 run과 용접 변형과의 관계

결과가 나빠진다. 이 때문에 V형 그루브일지라도 그루브 각도를 작게 하거나 Y형 그루브, X형 그루브등으로 용접시공할 필요가 있다.

그림 10에 누적 용접 층수와 변형량과의 관계를 나타내고 있고 그림 11에는 그루브 형상과 용착량과의 관계를 나타내고 있다. Y형 그루브 및 X형 그루브를 선택하여 이음부의 용착량을 줄이는 것은 결국 초층의 용접전류를 크게 하는 것이다.

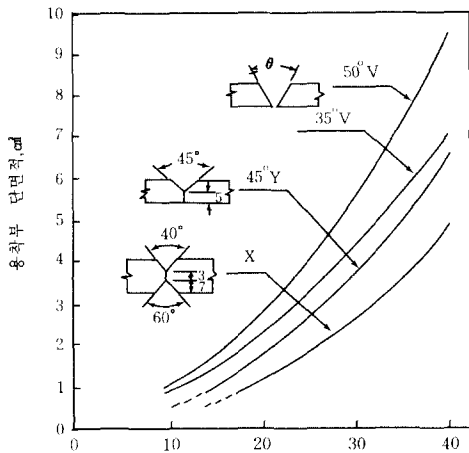


그림 11 그루브 형상과 용착량과의 관계

### 5.2 그루브의 정밀도

편면용접시의 이면 비드의 형성은 그루브의 루트 간격, 루트페이스의 높이에 큰 영향을 받는다. 따라서 통상의 정밀도 관리 이외에 특별히 이와 같은 점에 주의할 필요가 있다. 예를 들면 수용접, 반자동용접시에는 루트 간격을 0, 루트 페이스가 양의 값인 경우에는 거의 이면 비드가 형성되지 않는다. 서브머지드 아크 용접시에는 이와 반대로 루트 간격이 크면 아크가 불안정하게 되고 심선이 용착금속중에 박히게 되거나 이면

비드가 너무 커지게 된다. 이와 같이 그루브 정밀도의 불량은 운봉법을 바꾸거나 용접조건을 변경하므로써 어느 정도 조절할 수 있지만 이음부의 균일성을 기대할 수는 없다. 그러나 실제의 시공시에는 편면용접법이 적용되는 현장 용접에서는 간격이 너무 큰 경우나 너무 작아 잘라내어야 할 필요가 생기기 때문에 그루브 수정은 불가피한 것이다.

금속 분말 충전법은 이와 같은 수정을 목적으로 개발된 것으로 그림 12와 같이 그루브 간격이 큰 경우에 그루브 내에 철분을 충전하므로써 실제적으로 간격을 작게 한 것과 같은 효과가 얻어지도록 한 것이다. 이 방법에 의해 고형 플럭스를 사용하는 서브머지드 아크 편면자동용접법에서는 5mm, 탄산가스 아크 편면 자동용접에서는 6mm의 국부적인 간격에 대해서도 충분히 양호한 이면 비드가 얻어진다. 그러나 아크에 의한 용융에는 한계가 있고 철분의 전기적, 열전도 특성이 강판과 다르기 때문에 적어도 정상적인 이면 비드 폭을 초과하는 간격에 대해서는 효과가 없다. 또 루트 페이스가 너무 높은 경우나 그루브 각도가 너무 작을 경우에는 아크 에어 가우징하여 수정하는 것이 효과적이다. 현장 용접시에는 구속도가 크기 때문에 가접량이 커지기 쉽지만 그루브 내에서의 가접은 본 용접하기 전에 적당한 크기가 되도록 깎아내어야 한다.

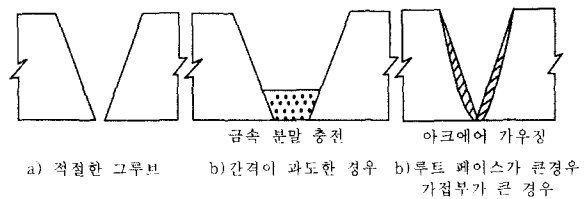


그림 12 적절한 그루브로의 수정 방법의 예

### 6. 백킹재의 관리

용접 아크와 접촉하는 백킹재료는 용접입열량이 적은 수용접할 경우에는 거의 용융되는 경우가 적기 때문에 마그네시아, 지르코니아 계통의 내화재료가 사용되지만 반자동 및 자동용접할 경우에는 이와 같은 내화재는 용융되어 용착금속의 기계적 특성에 큰 영향을 끼치기 때문에 냉각능이 큰 동판이나 용접 플럭스를 사용한다. 이 플럭스는 분말 형태인 것과 고화제를 사용하여 시트상으로 한 것의 두 가지가 있다. 이와 같이 백킹재로 동판 이외의 재료를 사용할 경우에는 각 재료가 흡습하게 되면 기공이나 기공이 서로 연결되어 터널 형태로 되는 경우가 적지 않다. 원래 편면 용접시의 초층 비드는 용착폭에 비해 용착 높이가 큰 특징을 가지기 때문에 탈 가스 작용이 완만하고, 분말상의 플

럭스를 이음부 뒷면에 밀착시켜 용접하는 FCB, FB법에서는 특히 수분이 외부로 배출되기 어렵기 때문에 용착금속중에 침입하기 쉬워진다. 따라서 편면용접법에서는 용착금속의 응고가 판 두께 중앙부에서 가장 빠르고 이면 비드 부분에서 늦어지는 현상이 중첩되어 터널 형태의 기공이 생기기 쉽다. 이 터널 형태의 결함은 용접 개시부와 용접 종료부가 완전히 용착금속중에 가려져 있기 때문에 외관상으로는 그 존재를 확인할 수 없지만 이면 비드에 herringbone 형태의 모양을 동반하는 경우가 많기 때문에 상당히 정확하게 판정할 수 있다. 고품 플럭스나 내화재로 된 백킹재는 분말상의 플럭스에 비해 흡습량이 적고 흡습하기 어렵지만 장기간 방치한 것은 다시 건조하여 사용하는 것이 좋다. 백킹재의 흡습도와 기공 및 터널상 기공의 발생 사이에는 정량적인 관계는 분명하게 밝혀져 있지 않지만 FCB법에 의한 조사 결과로는 0.5%가 발생 하한값이라고 한다. 따라서 백킹재에 대해서도 이 값 이하로 관리하는 것이 안전할 것으로 사료된다.

또 기공과 수분 사이에는 상관관계가 존재하기 때문에 그루브는 항상 청결하게 유지하여야 한다. 그루브 내에 부착되어 있는 기름이나 녹 및 가접부의 슬랙 등

은 철저히 제거하여야 한다. 가접한 뒤에 상당한 시간이 경과한 경우에는 가접 용접부의 뒷면에 물방울이 맺히기 쉽다. 또 비가 그친 뒤 옥외 용접할 경우에는 완전히 건조될 때까지 기다리거나 가스 버너로 가열하여 수분을 제거하고 용접하여야 한다. 그루브 뒷면은 모든 부분을 검사하여 절단 드로스 존재 유무도 확인하여야 한다. 또 백킹재료가 밀착되는 용접법을 사용하는 경우에는 가접부가 용락되면 밀착성이 나빠지므로 강판의 원래의 표면 위치까지 그라인더로 깎아내어야 한다.

## 후 기

지난 1년간 용융용접에 대한 해설 기사를 나름대로 정리하였지만 주제의 설정이 적절하였는지 걱정이 앞선다. 일단은 현장에 계신 몇 몇 분의 의견을 수렴하였지만 흡족한 마음이 들지 않음은 그 동안 성심성의껏 준비하지 못하였다는 자책감이 앞서기 때문이라고 생각된다. 또 다시 기회가 주어진다면 더욱 알찬 내용으로 많은 분들께 인사드리고 싶다.



- 정호신(鄭鎬信)
- 1954년생
- 부경대학교 재료공학부
- 용접균열, 용접야금, 확산용접
- e-mail : hsjeong@pknu.ac.kr