

용접잔류응력의 생성 메카니즘과 그 영향(I)

- 용접잔류응력의 생성 메카니즘 -

박 정 응

Mechanism and Effects of Welding Residual Stress

- Mechanism of Welding Residual Stress -

Jeong-Ung Park

1. 서 론

강구조물 제작시 용접프로세스에 의해 용접부 근방에서는 용접열원에 의해 급속가열·급속냉각의 열 사이클을 받으며, 열원의 이동과 함께 온도장이 변화하므로 용접부에 불균일한 온도분포가 발생된다. 이러한 불균일한 온도분포에 의한 용접부 근방의 열팽창·수축을 용접부로 부터 떨어져 있는 저온상태의 부재가 이를 구속하여 결과적으로 용접변형과 잔류응력이 발생한다. 또한 그 크기는 용접조건과 내적·외적구속의 정도에 따라 다르게 나타난다. 이러한 용접변형, 잔류응력은 구조물의 제작시의 조립정도, 미관, 좌굴강도, 피로강도 등에 악 영향을 미치는 요인이 되고 있다. 그중에서도 용접변형은 각 조립단계에서 발생한 용접변형이 구조물의 치수를 변화시켜 이를 수정하는데 많은 시간과 경비가 소요되어 생산성 저하의 원인이 되고 있다. 또한 최근 생산성 향상을 위해 공장자동화가 활발히 진행되고 있는 시점에서 용접변형에 의해 자동화의 효율을 저해하는 큰 문제점이 되고 있다.

용접잔류응력은 눈에 보이지 않을 뿐 아니라 설계자의 관점에서는 일반구조물의 경우 연성이 풍부한 소재의 사용으로 구조물의 강도에 미치는 영향이 작다고 생각하는 것이 일반적이다. 반면 특수 구조물 또는 후판의 경우 잔류응력에 의해 취성파괴를 일으킬 수 있으므로 기계적 또는 열처리를 통해 잔류응력을 완화시키는 방법을 적용하고 있다. 피로강도측면에서도 용접부 잔류응력은 피로강도를 저하시키는 주요 인자이므로 대형 시험편을 이용한 피로실험 결과를 사용하기도 한다.

용접잔류응력과 변형은 상호 밀접한 관계를 가지고 있다. 동일 용접조건인 경우 변형을 방지하기 위해 구속을 증가시키면 용접변형은 감소하나 반면 용접잔류응

력은 증가한다. 이때 구속이 과도한 경우 용접부에 균열이 발생할 수 있으므로 시공시 과대 구속이 되지 않도록 적절한 조치가 필요하다.

용접시공 측면에 용접잔류응력과 변형은 대상 부재의 크기나 부재의 두께에 따라 현저하게 다르게 나타나므로 주의해야한다. 일반적으로 박판용접의 경우 용접변형에 주의해서 시공해야하며 용접잔류응력은 큰 문제가 되지 않는다. 박판용접 변형은 변형교정이 힘들고 좌굴 변형이 발생하면 변형을 교정할 수 없으므로 설계단계부터 시공을 고려한 설계가 이루어져야한다. 후판용접의 경우는 박판용접과는 반대로 구속을 강하면 용접균열이 발생할 가능성이 있고, 잔류응력에 의해 취성파괴 등 위험성이 크다. 또한 후판용접의 변형은 발생하면 강성이 크기 때문에 교정이 어려워 변형방지에 주의할 기울려야 한다.

2. 용접잔류응력의 생성 메카니즘

본 강좌에서는 용접잔류응력의 생성 메카니즘을 주목하여 서술하고자 한다.

용접시 발생하는 온도분포는 일반 구조물에서 하중과 같다. 따라서 온도분포의 특성을 정확히 알아야한다. 용접부 온도변화의 특성을 모식화하면 그림. 1과 같다. 그림. 1(a)에 보여주고 있는 단면 A-A의 온도변화를 보면, 용접열원이 단면 A-A 상의 A점에 도달하기 전에는 단면A-A상의 온도는 거의 상승하지 않는다. 그것은 열전달속도보다 용접속도가 더 빠르기 때문이다. 용접열원이 A점에 도달하면 그부분의 용융금속이 용착되어 그 부분의 온도가 순간적으로 상승하고, 온도분포는 그림. 1(b)의 곡선A와 같이 된다. 그 열의 대부분은 모재쪽으로 전도되고, 일부는 대기중으로 전달된다. 따라

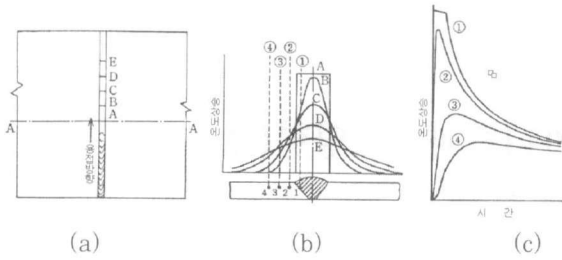


그림 1 용접부 온도변화 모식도

서 일정시간이 지나면 용접열원이 그림.1(a)의 B에 도달하면 단면 A-A의 온도분포는 그림.1.(b)의 곡선 B가 되고 용접열원의 진행함에 따라 곡선 C, D와 같이 변화한다. 그림. 1(b)의 점 1,2,3,4 의 시간 경과에 따른 온도분포를 그림. 1(c)에 보여주고 있다.

용접에 의한 잔류응력의 생성 메카니즘에 대해 생각 보자. 맞대기용접시 발생하는 온도분포를 그림. 1(b)와 같이 모식적으로 나타낼 수 있다. 이때 용접부(고온)는 열팽창에 의해 주로 용접선방향으로 늘어나려고 하고, 주변의 온도가 낮은 부분은 용접부와 같이 늘어나지 않기 때문에 자유롭게 팽창되지 않는다. 즉, 온도의 상승에 의해 열팽창 변형이 주변의 온도상승이 작은 부분으로부터 구속을 받는다. 따라서 용접부 근방의 고온부에는 용접선방향으로 압축응력이 발생하고, 저온부는 용접부가 늘어나려고 하는 변형을 구속하면서 인장응력이 발생한다. 또한 용접부 근방의 급속은 고온상태에서 항복응력이 저하되어 일정 온도에 도달하면 주변의 구속에 의한 압축응력에 의해 항복하게 된다. 이것은 본래의 상태로 되돌아 올 수 없는 소성변형이 발생하는 것

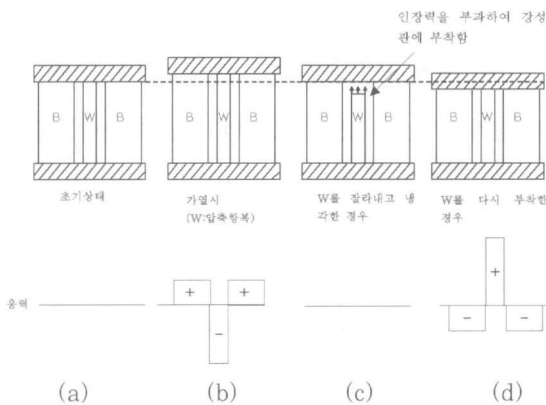


그림 2 용접잔류응력 생성메카니즘의 모식도

을 의미한다. 그래서 용접종료 후 온도가 상온이 되어도 본래의 길이보다 짧은 상태가 된다. 한편, 주변 저온부는 항복하지 않았으므로 본래의 길이로 되돌아온다. 이때 저온부는 고온부(용접부)와 함께 연결되어 있으므로 자유롭게 변형할 수 없다. 이러한 과정을 통해 최종상태에서는 아무런 하중을 재하지 않아도 그림. 2(d)와 같은 잔류응력이 발생하게 된다. 이것이 용접잔류응력의 생성 메카니즘이다.

위에서 설명한 용접잔류응력의 생성 메카니즘을 좀더 간략화해서 나타내면 그림. 2와 같다. W와 B의 강판이 강성판으로 연결되어 있으며 W는 용접부, B는 주변 저온부를 의미한다. 용접현상과 대응하여 설명하면 W판이 용접에 의해 고온으로 가열된다. 그러면 W판은 팽창하려고 하고, B부분은 온도가 낮으므로 자유롭게 팽창하지 않으므로 W판에 압축응력이 발생한다. 점점 온도가 상승하면 압축응력은 증가하고, 더불어 온도 상승에 따라 강(Steel)의 항복강도가 저하하여 압축항복하게 된다(그림. 2(b)). 한편, W가 압축항복 후 온도가 상온까지 내려가는 과정을 생각해 보자. 여기서는 W의 한쪽을 잘라내어 실온까지 냉각시킨 후 W에 인장력을 부과하여 다시 강성판에 연결한다. 이때 W는 압축항복을 했으므로 본래의 길이로 돌아오지 않고 약간 짧은 상태가 된다(그림. 2(c)). 강성판에 연결된 W판은 본래의 상태로 되돌아오려고 하나, 주변의 B부분이 이를 방해함으로 W는 인장잔류응력, B부분은 압축잔류응력이 발생한다(그림. 2(d)). 이때 용접선방향을 힘의 평형조건을 만족해야 함으로 압축과 인장잔류응력의 합은 영(Zero)가 된다.

이상으로 용접잔류응력의 생성 메카니즘에 대해 설명하였다. 그러나 더욱 복잡한 형태의 강구조물의 경우 복잡한 잔류응력이 발생하나 근본적으로는 위에서 설명한 생성 메카니즘으로 설명할 수 있다.



·박정웅(朴正雄)
 ·1966년생
 ·조선대학교 토목공학과
 ·용접잔류응력 및 변형, 용접강도
 ·e-mail:jupark@mail.chosun.ac.kr