

**아크스폿 용접의 입열 효율 계산 수치모델에 관한 연구**  
**A Study on the Numerical Modeling of the Heat Input Efficiency**  
**in Arc-spot Welding**

정진우\*, 장경복\*, 강성수\*, 최규원\*\*, 박찬우\*\*, 조상명\*\*

\* 부산대학교 기계기술연구소 미시소성연구실

\*\* 부경대학교 대학원 생산가공학과

1. 서론

차체 구조의 접합에는 저항 점용접(spot welding), 아크 용접(arc welding), 레이저 용접(laser welding)등의 접합법이 이용되고 있으며, 이 중 저항 점용접과 아크 용접이 널리 사용되고 있다. 저항 점용접은 저항 발열을 이용하여 용접을 행하기 때문에 판재의 두께가 두껍거나 용접지점의 간격이 허용한도보다 좁을 경우 원하는 작업 결과를 얻기가 어렵게 된다. 더욱이 접합부의 양쪽 면에서 동시에 가압을 가해주어야 하기 때문에 형상에 따라 작업의 제한을 받는 단점이 있다. 이와 같이 저항 점용접의 사용이 제약을 받을 경우, 일반적으로 아크 스폿용접(arc spot welding)이 이용된다.<sup>1)</sup> 아크스폿 용접이란 접합되어야 할 두 판재 중 한쪽에 구멍을 뚫은 후 그 구멍을 통해 용탕을 채워 판재를 접합시키는 용접법으로 플러그 용접(flug welding)이라고도 한다. 이 방법은 판재의 한쪽 면만을 통한 접합이 가능하며, 약 6.4mm 두께의 강판까지 겹치기 용접이 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 이러한 아크 스폿용접은 접합부의 한쪽 면만을 가압해 주면 되므로 양쪽면을 동시에 가압해야 하는 저항 점용접 보다 형상의 제약을 적게 받으며 두꺼운 판재까지 용접이 가능하므로 그 사용 범위가 상당히 넓다. 이러한 아크스폿 용접은 기본적으로 GMAW(Gas Metal Arc Welding)와 유사하나, 용접 열원의 이동이 없고, 입열이 스폿에 집중되므로 GMAW 보다 짧은 시간에 고입열이 이루어진다는 점에 있어서 차이가 있다. 일반적인 이동 열원의 아크 용접의 경우 아크 효율을 적게는 65%에서 많게는 95%까지로 보고 있으나 본 모델에 적용되는 아크 스폿 용접의 경우 열원의 이동이 없이 스폿에 열원이 집중 되어 용접 금속이 차올라 오는 형태이기 때문에 아크 효율이 다소 높다는 정도만 알려져 있을 뿐이다. 그리고, 이러한 아크 스폿 용접의 경우 그 구멍의 크기에 따라 아크 입열효율이 달라지기 때문에 더욱더 입열 모델을 정립하기가 어렵다. 이에 본 연구에서는 열전도 특성이 좋아 아크 열원의 입열 영향을 순간적인 온도 계측을 통해 직접 관찰할 수 있는 동판을 이용하여 용접시간에 따라 변화하는 아크스폿 용접의 입열 효율을 계산하였고 이를 유한요소 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다.

2. 재질 및 형상

본 연구에 사용된 재료는 99.9%의 동판으로 직경은 191mm이며, 두께는 16.1mm이다. 그리고, Fig. 1은 입열효율 측정을 위한 열전대 부착위치를 나타낸 것이다.

3. 온도계측 및 결과

열전대 부착 시 아크력에 의한 노이즈를 최소화시키기 위해 용접부 반대편에 구멍을 내어 세라믹관을 이용하여 간섭을 최소화하였다. 용접조건은 전류 220A, 전압 25V, 용접시간 1.9초로 두었으며, 용접개시부터 냉각까지의 온도 이력을 온도 모니터링 시스템을 이용하여 측정하였다. Fig. 2는 계측 실험장면을 나타내고 있으며, Fig.3은 동판에 부착되어진 6군데 열전대 위치에서의 온도 이력을 나타내고 있다. 이 실험 결과를 이용하여 용접후 이론적인 평형온도와 실제 나타난 평형 온도의 비를 이용하여 전체 입열효율을 계산하였는데, 결과적으로 85%의 입열효율을 나타내고 있었다. 또한, Fig. 4에서 용접시간 1.9초 동안의 온도 기울기가 크게 3부분으로 변화하고 있음을 확인하여, 각 구간에 해당하는 시간을 계산하여 그 기울기로서 시간 경과에 따른 용접부의 입열효율을 계산하였다. 시험

결과 첫번째 기울기를 나타내는 아크 스타트 후 0.24초까지는 와이어 송급속도로써 계산해 보면 아크가 깊이 3.5mm위치에서 스타트하여 0.95mm까지 차올라 오는데 까지 걸리는 시간을 나타내며, 이 시간 동안에는 아크가 구멍 안에서 보호되기 때문에 아크 효율이 거의 100%에 달한다. 그러나, 용접 금속이 점점 차올라 오며 따라 아크가 대기 중으로 노출되기 때문에 모재로 전달되는 열은 점점 줄어들므로, 아크 입열효율은 감소한다. 이러한 구간을 나타내는 것이 0.24초에서 0.95초까지이다. 이렇게 용접 금속이 3.5mm까지 채워지고 표면의 비드를 형성할 동안에는 아크가 대기에 직접적으로 노출되기 때문에 아크 입열효율은 더욱 떨어지게 된다. 결국, 아크 입열효율은 용접시간의 함수로서 점차적으로 감소된다는 것을 알 수 있는데, 이 시간 구간을 크게 3구간으로 나누고 첫번째 구간의 기울기를 1로 보고, 나머지 구간의 기울기 비를 구하였다. 이 때의 비는 1, 0.88, 0.74가 되고, 아크 입열효율의 변화는 100%, 88%, 74%가 된다. Fig. 5는 아크 입열효율 계산 모식도를 나타낸다.

#### 4. 유한요소해석 결과 및 고찰

앞에서 계산되어진 아크 입열효율의 타당성을 검증하기 위해 시험편과 동일한 모델을 구성하여 용접시간 동안 아크 입열효율이 변화하지 않고 100%로 일정하다고 가정하고 수행한 열전달 해석과 아크 입열효율이 시간에 따라 변화한다고 보고 수행한 열전달 해석결과 중 어느 쪽이 계측결과와 유사한지를 비교 검토하였다. Fig. 6은 시험편과 동일한 해석상의 모델을 나타내고 있다. 해석결과를 통해 후자쪽이 실제 계측결과와 더 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수가 있다. 즉, 전자의 경우는 아크 입열효율이 실제 보다 과대 평가되어지므로 인해 해석 결과에서 용접 직후 피크 온도가 계측치 보다 상당히 높게 나타나고 있음을 확인 할 수 있다.

#### 5. 결론

열전도율이 좋은 동판을 이용하여 얻은 아크 입열효율을 해석상에 적용함으로써 아크 입열효율이 실제 보다 과대 평가되어지는 현상을 방지할 수 있었고, 이로 인해 실제 계측결과와 유사한 해석결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 아크 스폿 용접의 경우 시간에 대해 아크 입열효율이 변화하는 입열 모델의 적용이 반드시 필요하다는 것을 알 수 있다.

#### 6. 참고문헌

1. 現代自動車(株), “電氣抵抗熔接”, (1985) pp.3-60.
2. 英國熔接學會, “自動 炭酸가스 熔接”, (1984).

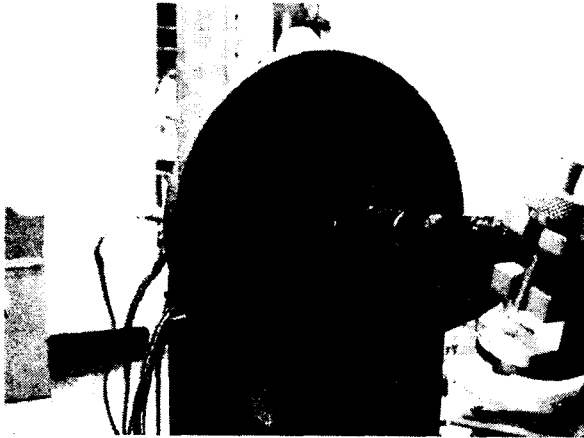


Fig. 1 Real Equipment for Test

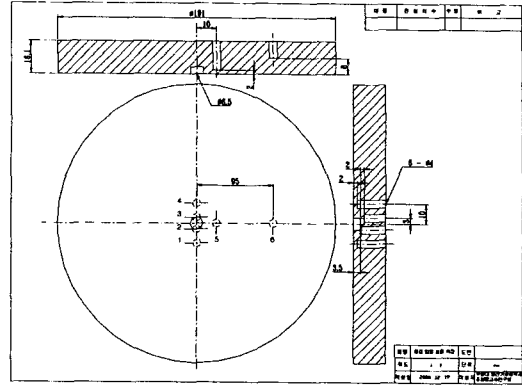


Fig. 2 Shape of Copperplate and Position of Thermo Couple

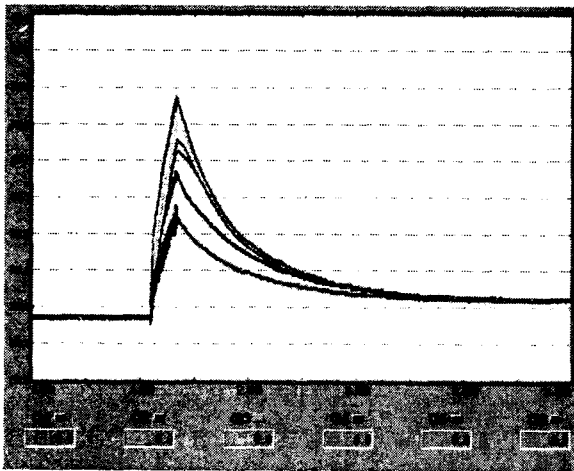


Fig. 3 Results of Temperature Monitoring

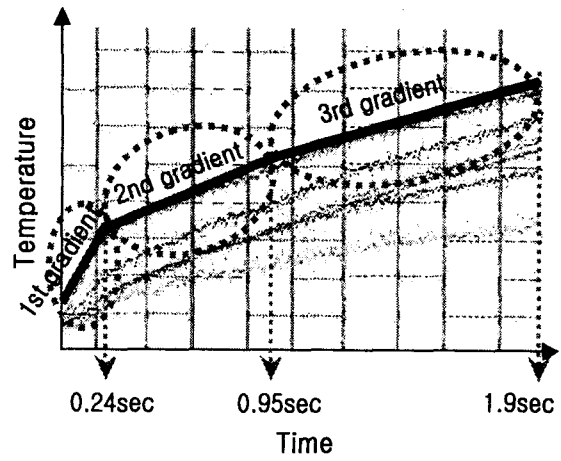


Fig. 4 Gradient for arc heat input model

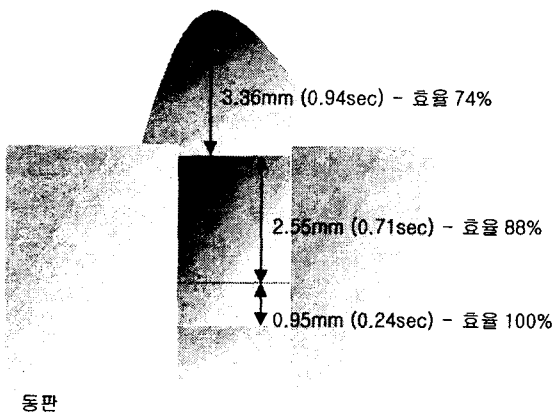


Fig. 5 Outline of arc heat input model

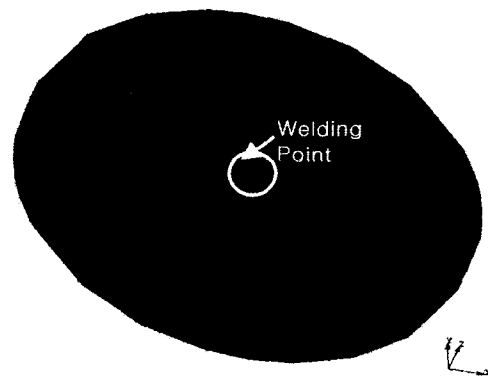


Fig. 6 Mesh Generation