

## 전기저항 다점 용접에서의 용접부 형성에 관한 연구

### A study on weldment formation in multi-point electrical resistance welding

이상민\*, 김진범\*, 김지태\*, 나석주\*\*

\* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

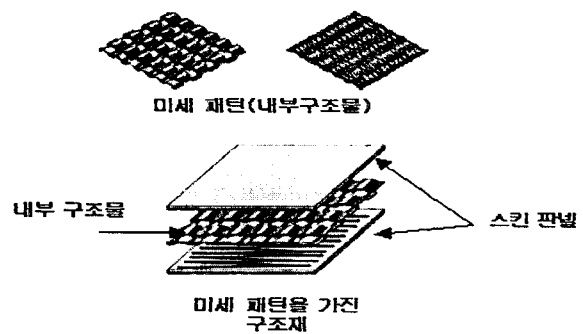
\*\* 한국과학기술원 기계공학과

#### 1. 서 론

최근 환경 문제의 대두로 인해 자동차뿐만 아니라 모든 운송 수단에서 중량 감소를 추구하고 있으며 인간 친화적인 제품을 만들기 위해 전자 제품에서도 경량화를 추구하고 있다. 이런 상황에서 동일 질량에 비해 강도와 강성이 뛰어난 금속 판재를 개발하려는 노력이 세계 각국에서 시도되고 있으며 내부 구조재를 가진 초경량 판재 (Inner Structured and Bonded panel; ISB panel)는 이런 요구를 만족시킬 수 있는 최적의 선택이라고 여겨진다. ISB패널은 초경량 금속 구조재(ultra light metal structure)의 일종으로 fig.1 과같이 3차원 형상의 미세 구조를 갖는 내부 구조물을 두 판 사이에 위치시켜 서로를 접합한 판재로써 내부구조재가 강성 및 강도를 증가시키는 반면, 부피의 대부분이 비어 있어 비강도 및 비강성이 크게 개선된 판재를 말한다.[1] 기존 샌드위치 패널과는 달리 전체두께가 1~3mm 이내이며 내부 구조물은 쉽게 성형이 가능한 형상을 이용하고 있다. 내부 구조물과 외부 판재사이의 접합은 전기 저항용접을 이용하여 시도하였으며 이때 내부 구조물과 외부 판재 사이의 접점 간 간격이 매우 가깝기 때문에 1회 타점 시 여러 점들이 동시에 용접 된다.

본 논문에서는 전기저항 다점 용접을 통한 ISB 패널의 내부 구조물과 외부 패널 사이의 접점에서의 용접부 형성을 상용 FEM 해석프로그램인 ABAQUS를 이용하여 해석을 시도 하였다. 일반 점 저항 용접에서의 용접부에 대한 해석은 많은 사

람들이 시도 하였고 현재 incrementally coupled mechanical-thermal-electrical model을 통해 매우 정확하게 용접부의 형성을 예측할 수 있는 상태이다.[2] 그러나 ISB 패널의 내부구조물과 외부 판재 사이의 접점은 일반 점용접에서와는 달리 축대칭이 아니기 때문에 3-D 모델을 이용해야만 했으며 이로 인해 해석시간의 문제로 기계-열-전기적 연계 모델(coupled mechanical-thermal-electrical model)을 이용할 수 없었고 단순한 기계적 해석(mechanical analysis)과 열-전기적 연계 해석(fully coupled thermal - electrical analysis)을 순차적으로 수행하여 접점의 용접부 형성에 대하여 해석을 수행하였으며 실험을 통해 해석 결과와 비교 하였다.



#### 2. 해석 방법

먼저 기계적 해석을 통해서 접촉면적과 접촉면에서의 압력분포를 계산하고 이를 토대로 접촉 저항을 계산하게 된다. 계산된 접촉 저항은 열-

전기적 연계해석동안 접촉면에서의 초기 접촉저항으로 이용되며 전압, 전류밀도, 온도분포와 용융부 형상을 계산하게 된다.

본 해석에서는 자기장의 영향과 용접시간동안 발생하는 열에 의한 접촉압력과 접촉면적의 변화를 무시 하였으며 초기 스패터의 영향도 무시하였다.

### 2.1 기계적 해석

Fig.2는 기계적 해석을 하기위한 모델이다. 내부 구조물은 직경 0.9mm인 와이어 메시(wire mesh)로 와이어간 간격은 4.8mm이다. 외부 판재와 내부구조물의 전체 두께는 약2.8mm이다. 외부 판재는 실험에서는 0.3mm 스테인리스 강을 이용하였으며 해석에서는 일반 연강의 물성치를 이용하였다.[3] 하부 전극 밀면은 고정시키고 상부 전극 윗면을 1초 동안 아래방향으로 0.5mm 이동시켰다. 저항 점용접에서와는 달리 압력이 아닌 전극의 이동을 경계조건으로 한 이유는 ISB 패널 제작 시 내부 구조물의 형상을 최대한 유지시키기 위해 용접시간 동안 스톱퍼를 이용하여 전극의 간격을 일정하게 유지하기 때문이다.

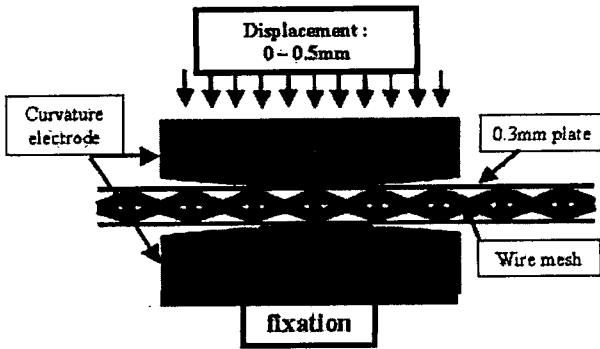


Fig.2 Finite element model for mechanical analysis

### 2.2 열-전기적 해석

열-전기적 해석을 하기위한 모델은 기계적 해석의 결과로부터 얻어진 변형된 형상에서 대칭성을 최대한 이용하여 fig.3 과 같은 형상만을 이용하였다. 해석에 이용된 물성치는 외부 판재와 내부 구조물 모두 연강의 온도변화에 따른 값[3]을 이용하였으며 하부전극 밀면은 0V로 상부전극 윗면에는 12A/mm<sup>2</sup>의 전류밀도를 부여 하였다.

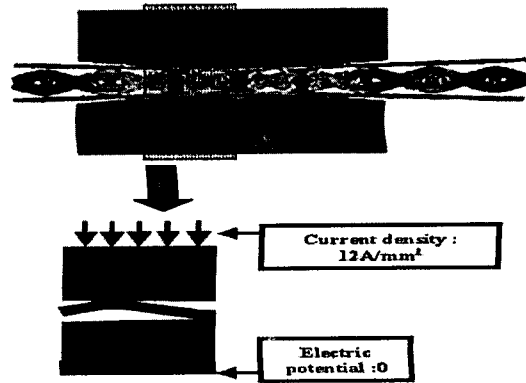


Fig.3 Finite element model for thermal-electrical analysis

### 2.3 접촉저항 모델링

접촉저항은 초기 발열에 매우 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 Khan이 제안했던 모델[4]을 이용하였다.(식.1)

$$R = \left\{ \max \left[ 0, \left( \frac{T_{liq} - T}{T_{liq} - T_{sol}} \right) \times (R_{sol} - R_{liq}) + R_{liq} \right] \right\} / \bar{p}^n \quad T \leq T_{sol} \quad (1)$$

$$R = \left\{ \max \left[ 0, \left( \frac{T_{sol} - T}{T_{sol} - T_0} \right) \times (R_0 - R_{sol}) + R_{sol} \right] \right\} / \bar{p}^n \quad T \geq T_{sol}$$

여기서  $T_{sol}$ ,  $T_{liq}$ 은 모재의 고상선(solidus), 액상선(liquidus) 온도이며  $R_0, R_{sol}$ 는 가압에 의한 최초 접촉 저항과 고상선에서의 접촉 저항을 의미한다.  $\bar{p}$ 는 무차원 접촉압력이며 n은 상수로써 강인 경우 1.2이다.

전기저항 다점 용접에서는 여러 접점들이 동시에 존재하기 때문에 한 점에서의  $R_0$ 를 실험적으로 측정하기엔 어려움이 있다.  $R_0$  값을 계산하기 위하여 Babu가 제안했던 모델[5]을 이용하였다.(식.2)

$$R_{Ca} = (\rho_1 + \rho_2) \left[ \frac{1}{4} \left( \frac{\pi \sigma_{ys}}{\eta P} \right)^{1/2} + \frac{3\pi}{16 \eta^{1/2}} \right] \quad (2)$$

여기서  $\rho_1, \rho_2$ 는 두 모재의 자체 저항성이며  $\eta$ 는 모재 표면의 미세돌기(asperity)밀도이다.  $\sigma_{ys}$ 는 모재의 항복강도이며  $P$ 는 접촉점에서의 접촉 압력을 의미 한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기계적 해석 결과와 실험의 비교

Fig.4는 기계적 해석의 결과이다. 좌우 대칭성을 고려해서 3접점에서 접촉면적 변화를 도식한 결과와 실험적으로 판재에 생긴 압흔(indentation)을 타원으로 근사화 시켜 구한 접촉면적의 변화를 비교 하였다. FEM 해석결과가 실험결과와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다.

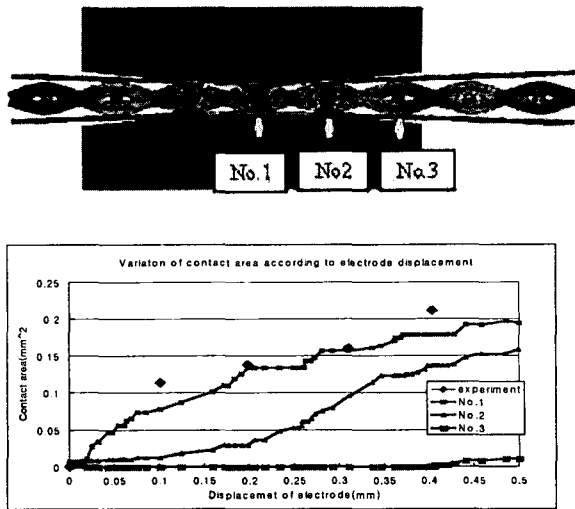


Fig.4 Result of mechanical analysis

#### 3.2 열-전기 해석 결과와 실험의 비교

Fig.5는 기계적 해석의 결과를 바탕으로 열-전기 해석 결과를 도식한 것이다. 실험적으로 관찰한 용융부와 해석을 통한 결과에는 많은 차이가 있었으나 외부 판재 보다는 와이어(wire)가 더 많이 용융 된다는 점과 용융부가 중심축에서 전류 흐름방향으로 편중되어 있는 경향성은 어느 정도 잘 맞고 있다.

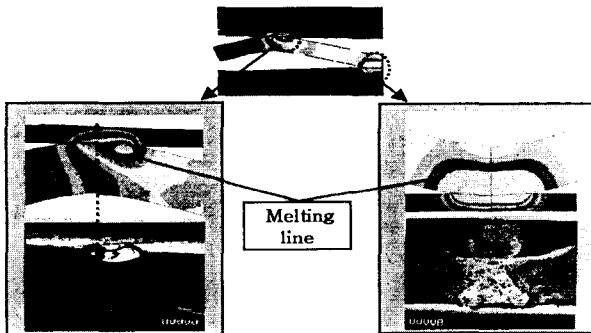


Fig.5 Result of thermal-electrical analysis

### 4. 결 론

ISB 패널 제작에 이용되는 전기저항 다점 용접 공정을 상용 해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 용접부 형성에 관한 예측을 시도 하였으나 일반 점 저항 용접에서와는 달리 용융부의 예측에 상당한 어려움이 있었다. 이는 접점부의 접촉 면적이 약 0.2mm<sup>2</sup> 정도로 매우 작기에 초기 스파터의 영향을 무시한다는 가정에 무리가 있고 3-D 모델에서 해석시간과 메모리 문제로 인해 mesh를 더 세밀하게 나누지 못한 점과 용접시간동안의 발열로 인한 접촉압력과 접촉면적의 변화를 고려해 주지 못한 결과라고 생각한다.

### 후 기

본 연구는 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발 사업(MRM)의 일환으로 수행 되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 정창균, 윤석준, 성대용, 양동열, 안동규, "초경량 내부구조 접합판재 제작을 위한 금속내부구조의 설계변수 분석", 한국정밀공학회 2004년 춘계학술대회논문집, pp.928-931, 2004
2. X.Sun, "Modeling of Projection Welding Processes Using Coupled Finite Element Analyses", Welding Journal, vol.79, pp.244/s-250/s, 2000
3. "Metal Handbook", vol.1, 8th edition, American Society of Metals, 1978.
4. A.Khan, L.Xu, Y.J.Chao, "Prediction of nugget development during resistance spot welding using coupled thermal-electrical-mechanical model", Science and Technology of Welding and Joining, vol.4, pp.201-207, 1999
5. S.S.Babu, M.L.Santella, Z.Feng, B.W.Riemer, J.W.Cohron, "Empirical model of effects of pressure and temperature on electrical contact resistance of metals", Science and Technology of Welding and Joining, vol.6, pp.126-132, 2001