

# 마찰용접에서 마찰계수의 변화가 플래시 형상에 미치는 영향

## The Effect of Friction Coefficient on Flash Shape at Friction Welding

\*염성호<sup>1</sup>, 남경오<sup>2</sup>, 박현진<sup>1</sup>, #홍성인<sup>3</sup>

\*S. H. Yeom<sup>1</sup>, K. O. Nam<sup>2</sup>, H. J. Park<sup>1</sup>, #S. I. Hong(hsi@cnu.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>한국원자력연구원, <sup>3</sup>충남대학교 기계공학과 BK21 메카트로닉스 사업단

Key words : Friction welding, weld flash

### 1. 서론

마찰용접<sup>(1)</sup>이란 재료를 맞대어 가압한 상태에서 상대 회전운동을 시켜 접촉부에서 발생하는 열을 이용하여 압접하는 용접방법이다. 마찰용접의 장점은 높은 에너지 효율을 가지며 용접변수의 제어가 용이하고 이종재료의 용접이 가능하다는 점을 들 수 있다. 그리고 단점으로는 용접소재의 한쪽은 축대칭이어야 하고 축을 중심으로 회전하여 마찰운동이 가능하여야 하는 형상적인 제한이 있으며, 용접 후 잘라버려야 하는 플래시가 생성되고, 용접부의 충격인성이 작아지는 단점을 가지고 있다. 마찰용접은 대부분 형상이 단순한 원형의 소재에 대한 동일재료 및 이종재료접합에 사용되고 있다. 마찰용접기술의 발전으로 용접부의 형상이 복잡한 제품의 성능향상을 위해 마찰용접이 적용되고 있다. 특히, 마찰용접에 의해 유동부를 갖는 형상은 마찰용접으로 생성된 플래시를 제거할 수 없기 때문에 유동에 영향을 주지 않는 형상이 되도록 용접부의 형상 설계를 해야 한다. 마찰용접은 용접 과정에서 용접기계의 변수에 많이 의존하기 때문에 용접부의 형상설계는 현장실무 경험자의 경험에 대부분 의존하고 있다. 최근에는 해석기술의 발전으로 인해 마찰용접의 해석을 이용한 설계와 용접변수의 제어가 용이해져 다양한 분야에 마찰용접 기술을 적용할 수 있으며 이종 접합과 같은 소재의 결합에서 용접결함 예측까지 가능하게 되었다.

본 연구에서는 마찰용접 해석을 수행하기 위한 해석조건을 결정하고, 유동부 형상을 설계 함에 있어 마찰계수의 변화가 플래시의 형상에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 마찰용접해석에 있어서 마찰속도, 마찰압력, 업셋압력과 같은 하중 조건은 실제 시험과 동일한 입력이 가능하다. 하지만 마찰용접에서 마찰계수는 온도가 증가함에 따라서 변화하기 때문에 정확한 값을 측정하기가 어렵다. 그리고 용접부는 고상에서 부분적으로 액상으로 변화해 있기 때문에 이 부분에 마찰계수를 적용하기 또한 어려움이 있다. 마찰용접 해석을 수행한 많은 연구자들은 마찰계수를 변수로 하여 수행한 결과를 볼 수 있다. 대부분의 연구자는 마찰계수를 상수로 가정하여 해석을 수행하였다, Zlindemann 등은 마찰계수를 온도의 함수로 가정하여 해석을 수행하였다<sup>(2)</sup>. 그리고 마찰부의 온도변화가 국부적으로 소재의 용융점 이상으로 발생하기 때문에 온도변화에 대한 마찰계수 변화값과 합당한 응력-변형률 곡선을 입력해 주어야 한다. 용접 시편과 동일한 형상으로 모델링하여 DEFORM-2D 를 이용 해석을 수행하였다. 마찰계수의 변화에 따른 용접부의 온도변화와 생성된 플래시를 확인하여 마찰계수의 변화에 따른 플래시 형상의 변화를 확인하였다. 그리고 유체의 유동을 고려한 용접부의 형상에 대하여 해석을 수행하였다.

### 2. 마찰용접 해석

마찰용접해석에 사용된 프로그램인 DEFORM-2D 의 지배방정식에는 3 가지의 식이 적용되고 있다. 대 변형 해석에는

식(1)의 강-소성식<sup>(3)</sup>이 사용 된다. 식(1)은 재료가 변형되는 동안 고온과 높은 변형율을 가지는 모델에 사용된다. 열전달해석에는 식(2), 접촉면의 관계는 식(3)의 쿨롱 마찰모델식이 사용 된다.

$$\delta\pi = \int_V \bar{\sigma} \delta \dot{\epsilon} dV + K \int_V \dot{\epsilon}_v \delta \dot{\epsilon}_v dV - \int_{S_f} F_i \delta u_i dS = 0 \quad (1)$$

$$\int_V kT_{,i} \delta T_{,i} dV + \int_V \rho c \dot{T} \delta T dV - \int_S q_n \delta T dS - k \left( \int_V \sigma_y \epsilon_y \delta T dV + \int_S (f_s)_{,i} (u_s)_{,i} \delta T dS \right) = 0 \quad (2)$$

$$f_s = -\mu p \frac{u_s}{|u_s|} \cong -\mu p \left( \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{u_s}{u_0} \right] \right) \quad (3)$$

마찰용접의 주요 변수<sup>(5)</sup>는 fig.1 과 같이 소재를 마찰온도까지 높이기 위해 소재의 회전속도, 소재에 가하는 마찰압력과 업셋압력으로 이루어지며 변수값은 주로 소재의 종류와 크기에 따라서 결정된다. 용접 후 생성되는 플래시의 크기와 형상은 업셋압력에 의해 결정 되기 때문에 설계된 용접부의 업셋길이에 맞도록 업셋압력을 결정해 주어야 하며, 해석에도 실제 마찰용접 변수와 동일한 변수를 결정해 주어야 한다.

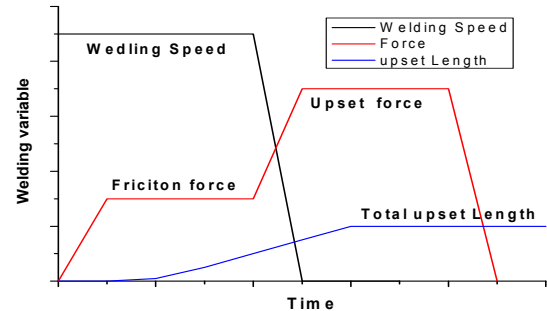


Fig. 1 Welding variable of brake type welding machine

마찰용접 해석 시 본 연구에 사용된 재료의 온도가 국부적으로 2000 ~ 3500 도 까지 상승하기 때문에 이에 합당한 재료의 물성 데이터와 마찰계수가 필요하게 된다. 해석에 사용된 DEFORM-2D 는 1200 도 까지의 물성 데이터만이 제공되기 때문에 그 이상의 데이터는 사용자가 결정해 주어야 한다. 시험에 의해 측정된 데이터를 입력하는 것이 해석에 대한 신뢰성을 높이는 방법이지만 용융점 이상의 물성을 측정하는 것이 거의 불가능하기 때문에 기존의 물성 데이터를 이용하여 수치해석방법인 외삽법을 사용하여 용융점 이상의 데이터를 결정하였다. 그리고 마찰계수는 마찰열 상승의 주요 요인으로 온도 변화에 따른 마찰계수를 입력해 주어야 한다. 앞서 소개된 온도에 따른 마찰계수의 변화는 fig.2 처럼 4 가지의 모델로 설명 할 수 있다. 첫 번째 모델은 마찰계수의 일정한 것으로 대부분의 해석에서 이러

한 모델을 사용하고 있다. 두 번째 모델은 마찰계수가 일정온도까지는 상수로 유지하다 용융온도까지 급격히 떨어지는 형태이며 세 번째는 온도에 따라서 선형적으로 떨어지는 형태이다. 마지막으로 초기에 온도가 상승하면서 마찰계수가 증가하다 이후에 급격히 감소하는 형태이다. 마지막 변화는 온도변화에 따른 마찰계수를 실험에 의해 측정된 데이터를 Andrzej Sluzalec<sup>(4)</sup>가 수식화한 마찰계수 식(4)를 사용하여 온도변화에 따른 마찰계수를 얻었다. 식(4)에 의해 얻어진 마찰계수는 Fig.2에서 4번째 모델과 같은 형태이다. Fig.2는 상온에서의 0.6인 마찰계수가 온도가 약 600도 일 때 최대치를 나타내고 그 이후부터 작아지는 특징을 가지고 있다. 온도분포에 따른 마찰계수는 재료에 따라 달라질 수 있지만 본 연구에 사용된 재료와 SCM440 재료와 유사하다고 판단하여 식에 의해 계산된 마찰계수를 사용하였다.

$$\mu(t) = A \cdot T^B \cdot e^{-cT} \tag{4}$$

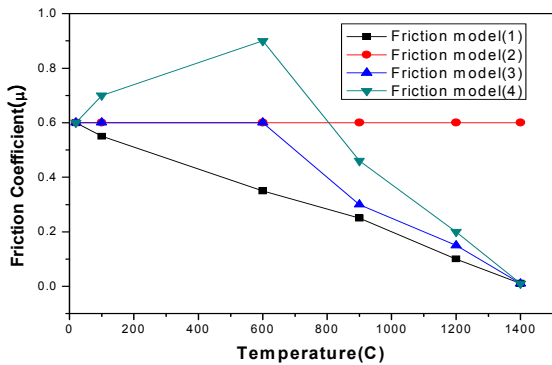
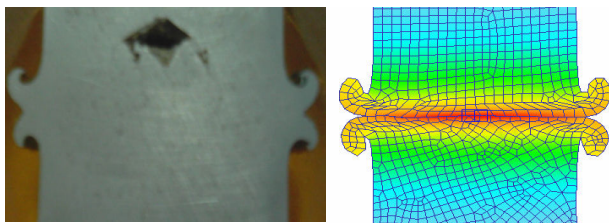


Fig. 2 Friction coefficient type at friction welding analysis

### 3. 해석결과

Fig.3은 반지름이 10mm인 용접시편으로 재질은 SCM440이다. 해석에서 상부와 하부 소재의 응력-변형을 곡선은 외삽법에 의해 결정된 물성을 입력하고 소재 사이의 접촉부에서의 마찰계수는 위에 제시된 4가지에 의해 결정된 온도변화에 따른 마찰계수를 입력하였다. 상부 소재가 1000RPM으로 회전하며 하부 소재는 온도상승을 위한 마찰압력 값과 가압을 위한 업셋압력 값을 입력하여 해석프로그램을 실행시킨다. 해석은 모델을 Fig.2에서 마찰계수의 온도변화에 따른 변화를 여러가지로 변화시켜 해석을 수행하였다.



(a)Experimental (b)Analysis

Fig. 3 FE analysis of friction welding

Fig.3은 실제 마찰용접된 시편과 동일한 하중 조건과 4번째의 마찰모델을 이용하여 해석한 결과 플래시의 형상을 보여주고 있다. 해석에 의해 형성된 플래시의 형상과 비

교하였을 때 유사한 경향을 보이고 있다. 마찰계수는 소재의 마찰열을 상승시키는 변수로서 온도변화에 따른 마찰계수의 용융온도까지 상승한 용접부에서는 업셋압력으로 인해 소재가 외부로 밀려나와 플래시가 생성된다.

플래시는 앞서 설명된 유체의 유동을 갖는 용접부의 형상 설계에 중요한 변수이기 때문에 유체의 유동에 영향이 없도록 용접 후 플래시의 형태를 미리 예측하여 용접부의 플래시를 설계하여야 한다. Fig.4는 유체유동을 갖는 유동부에 대하여 플래시의 형태를 보여주고 있다. 해석결과 유동부의 형상을 설계하여 유체유동에 영향이 없는 유동부를 설계함을 확인하였다.

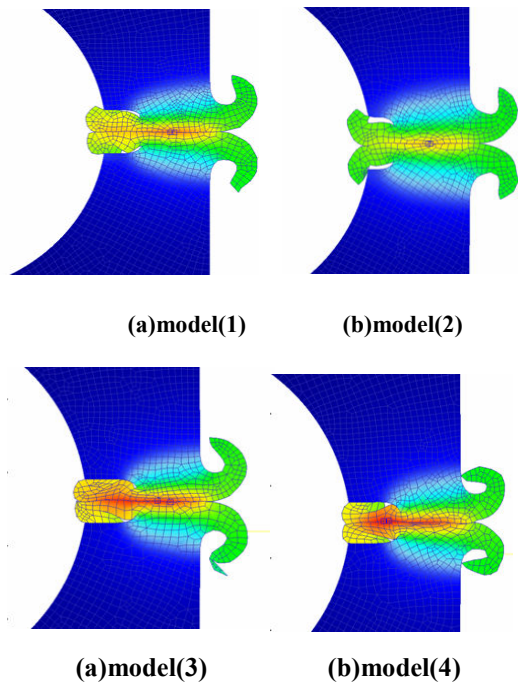


Fig. 4 Friction welding analysis result of welding part with flow gallery

### 4. 결론

마찰용접에서 마찰계수의 변화가 플래시의 형상에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과 마찰계수의 변화형태를 여러가지로 가정한 결과 실험식에 의해 구하여진 마찰계수의 형태가 실제 마찰용접실험과 해석에 의해 얻어진 플래시의 형상에 매우 유사하게 생성되는 결과를 보였다. 유체의 유동을 고려한 용접부는 마찰계수의 형태를 실험식을 고려하여 해석하였을 경우 플래시의 생성 형태를 고려하여 용접부를 설계하여 유체의 유동에 영향이 없는 용접부의 형태를 설계할 수 있었다.

### 참고문헌

1. H.S.Jeong, T.Shinoda, "Fundamentals and Basic Application of Friction Welding", 대한용접학회지, 제 15 권, 제 6 호. 1997.
2. Z.lindemann, K.skalski, W.wlosinski, J.zimmerman, "Thermo-mechanical phenomena in the process of friction welding of corundum ceramics and aluminium", Bulletin of the polish academy of sciences technical sciences, vol.54, no.1, 2006.
3. Kobayashi, S. Oh, S., & Altan T., 1989, Metal Forming and Finite-Element Method. New York; Oxford university press.
4. M. J.Maroon, R.J.Lopez, Numerical Analysis A Practical Approach, WADSWORTH, 1990.