

## 마이크로 유전알고리즘을 이용한 점용접 위치최적화

### Weld Location Optimization by micro genetic algorithm

김 종 곤\*, 이 세 현\*\*

\* 한양대학교/ 기계공학과

\*\* 한양대학교/ 기계공학부

#### 1. 서 론

충돌에서 일어날 수 있는 사고를 미연에 방지하고자 실재 차량 충돌 실험과 FEM해석을 실시하고 있으며, 이를 통한 결과 예측을 많이 한다. 그러기에 충돌 해석 결과의 정확성을 기할 때 용접 요소의 역할은 매우 중요하다. 특히 접합의 대부분을 차지하고 있는 점용접 요소의 경우 더욱 중요하다.

점용접부의 정확한 해석을 위해서는 mesh size를 매우 조밀하게 만들 필요가 있으나, 자동차 메이커에서 사용하는 바디FEM모델의 mesh size는 약 5~7mm 이다. 점용접 크기에 비교해 볼 때 매우 크다. 점용접이 위치할 부분을 다시 re-mesh한다고 해도 수천 점에 해당하는 부위를 재 작업한다는 것은 매우 시간적인 낭비이다. 하지만 대부분의 경우 node to node의 단순한 연결 형태로 모델링 하고 있어, 실재 실험에서 일어나는 점용접부의 정확한 물리적 거동이나 파단은 표현 할 수가 없다. 좀 더 충돌 해석에 정확성을 부여하기 위해서 물리적 특성을 표현 하면서 용접파단이 일어나는 모델의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 모재(base metal)가 strain rate에 따라 다른 Stress - Strain curve를 가지는 것에 착안하여, 이를 이용하여 FEM 해석을 통해 충돌 속도에 따라 다른 파단 강도 값을 가

지게 점용접 요소를 모델링 하였다. 그리고 모델의 검증을 위해 Hat profile 형태의 beam을 만들어 충돌 압력 실험을 하고 그 결과를 FEM 해석과 비교하였다. 또한 해석의 범위를 좀 더 넓혀, 점용접 간격을 최적화하여 타점을 줄이면서도 강성을 확보하는 최적화 작업을 수행하였다.

#### 2. Strain rate를 고려한 점용접 모델

##### 2.1 점용접 파단식과 강도 실험

점용접은 부하의 작용방향에 따라 그 강도가 달라짐이 알려져 있다. 본 연구에서는 점용접 FEM 해석에 이용할 파단식으로 일반적으로 쓰이고 있는 아래의 식을 적용하였다.

$$\left(\frac{\sigma_{rr}}{\sigma_{rr}^F}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau^F}\right)^2 \geq 1 \quad (1)$$

식 (1)의 분모에 해당하는 항들은 점용접의 수직 강도와 전단 강도에 해당하며, 이는 파단강도 실험으로 수직·인장 실험과 인장·전단 실험을 실시하여 얻을 수 있다.

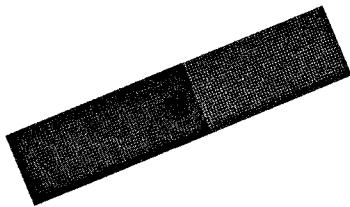
Table 1 Failure strength

Type	Failure strength
Tensile & Shear	3014.025 N
Normal & Tensile	2646.522 N

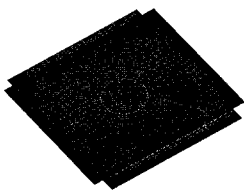
##### 2.2 Strain rate별 강도 예측

재료는 변형률 속도에 따라 다른 강도를 가진다. 이는 점용접부에 있어서도 다르지 않다. 변형률 속도에 따라 서로 다른 파단 강도를 가진다. 충돌의 경우 변형률 속도가 매우 크기 때문에 일반의 점용접 강도를 사용하여서는 정확한 결과를 얻을 수 없다. 정확한 계산을 하기 위해서는 변형률 속도를 FEM 모델에 반드시 적용하여야 한다.

실제 점용접의 경우는 HAZ 주위에서 응력집중이 발생하면서 찢어지는 반면, FEM 모델의 경우 shell 사이의 beam이 응력을 받으면서, 일정 응력에 도달하면 구속력을 없애버리는 형식을 취하고 있다. 즉 FEM 모델의 경우 BM가 찢어지는 연성 파단이 아니기 때문에 beam의 변형률 속도와 실제 button 주위의 변형률 속도를 비교하여 그 관계를 설정해 주어야 한다. 본 연구에서는 점용접의 고속 인장에 대한 실험을 FEM 해석을 통해 그 값을 예측하고, FEM 모델과 실험 간에 관계를 설정해 주었다.



(a) Tensile & Shear FEM model



(b) Normal & Tensile FEM model

1.1

Fig. 1 Fine mesh model for replacement test with FEM

Fig. 1에 보이는 모델은 연성 파단을 해석하기 위해 mesh 를 매우 조밀하게 배치한 모습이다.

HAZ 부에서의 변형률 속도에 따른 S-S 곡선을 본 연구에서는 동일 변형률 속도에서의 BM의 S-S 곡선과 같은 경향을 가진다고 가정하였다. 그리고 HAZ와 BM의 항복강도는 약 1.7배의 차이를 가진다는 연구결과[11]를 인용하여 이 비율만큼 스케일링하여 해석에 적용하였다. HAZ 부에서의 연신률 또한 변형률 속도에 따라 달라진다. 정적 인장 시 파단 변형률과 고속 인장 시 파단 변형률은 서로 차이가 있다. 변형률

속도가 증가할수록 파단 변형률이 증가하는 Lim [7] 등의 연구결과를 인용하여 BM의 파단 변형률을 변형률 속도에 따라 증가시켜 적용하였다. 이 모델을 이용하여 BM의 변형률 속도 별 S-S 곡선을 대입하고 그에 해당하는 점용접의 강도를 계산하였다.

Fig.2 Stress - Strain Curve by strain rate  
Table 3 Strength following strain rate of Beam element

Strain rate [ /ms ]	Normal & Tensile [ N ]	Strain rate [ /ms ]	Tensile & shear [ N ]
0.0	2650	0.0	3026
8.93E-09	2846	4.65E-10	3364
8.93E-08	2984	4.65E-09	3675
4.46E-06	3101	2.33E-07	3958
8.93E-06	3230	4.65E-07	4099
4.46E-05	3440	2.33E-06	4269
8.93E-05	3480	4.65E-06	4806
0.0001786	3515	9.30E-06	5089

### 3. 점용접 위치 최적화

#### 3.1 최적화 알고리즘 및 모델

충돌 중에서도 측면 충돌의 경우 운전자와 매우 가까운 거리에 일어나는 사고이며, 충돌 시 용접부가 많이 찢어지는 부분이기도 하다. 그래서 최적화 대상으로 자동차의 B-pillar 를 선택하고, 이를 단순화 하여 모델링 하였다.

최적화 전략으로는 유전자 알고리즘을 이용하였다. 기존의 단순 유전자 알고리즘으로는 최적화 작업을 수행하기 위해 많은 시간이 걸리므로, 본 연구에서는 마이크로 유전자 알고리즘을 사용하였다.



Fig. 2 B pillar shape & simplified model

#### 3.2 최적화 알고리즘 및 모델

최적화 수행을 위한 목적함수는 충돌 후의 변형량이며, 세대당 개체는 6 개, 변인은 점용접의

B pillar 플랜지에 위치하는 용접점 간의 간격으로 설정하였다.

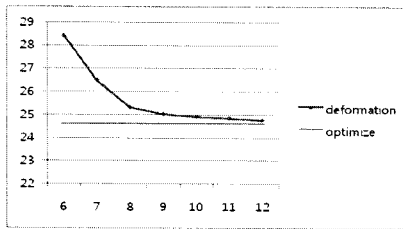
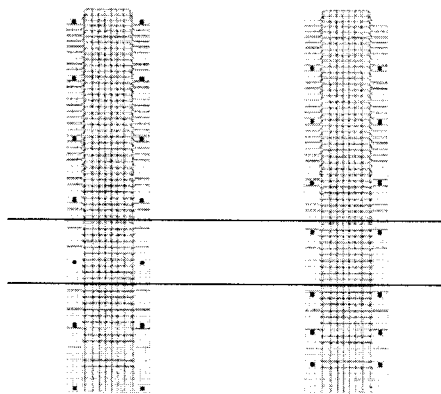


Fig. 3 Comparing existed welding location with optimization

FEM 모델의 플랜지 부위의 검은 점은 점용접을 나타내것이다. Fig. 4 의 (a)는 기존의 등간격으로 7 타점을 배치한 모델이며, (b)는 최적화 작업 수행 후에 용접점이 위치를 나타낸 것이다. 그리고 가로의 검은색 두 줄은 충돌하는 물체가 부딪히는 위치이다. 최적화 작업은 12 세대에서 수렴하면서 등간격 7 타점에 비해 7.6% 변형량 감소가 있었으며, 12 타점 대비 용접점 감소율은 41.7% 이상의 효과를 볼 수 있음을 확인 할 수 있었다.



(a)existing spot location (b)optimized location  
Fig.4 Comparing existing model with optimized model

#### 4. 결 론

본 논문에서는 용접 파단식으로 많이 이용하고 있는 식을 이용하여 용접 모델을 구성하였다. 그리고 모재의 변형률 속도별 S-S curve 를 이용하여, 해석을 통해 점용접의 파단 강도를 얻었다. 그리고 실제 파단과 FEM 모델 사이의 관계를 beam 요소의 변형률 속도 비로 관계를 설정하여, 최종적인 점용접 모델을 구성하였다. 그리고 해석의 범위를 확대하여 차량의 B pillar 를 간략화하여 측면 충돌에 대한 점용접 위치의 최적화 작업을 수행하였다. 최적화가 이뤄진 FEM 모델의 경우 용접 수는 7 타점이었지만 강도 측

면에서는 등간격 12 타점(pitch 30mm)보다 낮은 값을 나타내었다. 그리고, 등간격 7 타점과 변형량을 비교해 보았을 때 7.6%의 변형량 감소를 확인하였다. 즉, 용접위치 최적화를 통해서 용접 수 감소와 강성향상의 효과를 동시에 확보할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Madasamy C., Tyan T. and Frurque O., 2004, "Finite Element Modeling of Spot Weld Connections in Crash Applications", SAE, #2004-01-0691.
- (2) Faruque O. , Saha N. , Mallela K. , Tyan T. , Madasamy C. and Guimberteau T., 2006, "Modeling of Spot Weld under Impact Loading and Its Effect on Crash Simulation", SAE, #2006-01-0959
- (3) Xiang Y., Wang Q., Fan Z., Fang H., 2006, "Optimal crashworthiness design of a spot-welded thin-walled hat section", Finite Element in Analysis and Design, 42, 846-855
- (4) Wang J., Xia Y., Zhou Q. and Zhang J., 2006, "Simulation of Spot Weld Pullout by Modeling Failure Around Nugget", SAE, #2006-01-0532
- (5) Lee H., Kim B. and Han K., 2002, "Energy Absorption Characteristics and Optimal Welding Space of Square Hat type Thin-walled Tube", transaction of KSME, 26, 2703-2714
- (6) Song J., Huh H., Kim H. and Kim S., 2006, "Evaluation of the Finite Element Modeling of Spot-Welded Region for Crash Analysis", transactions of KSAE, 14, 174-183
- (7) Lim J., Kim S., Kim J., Huh H., Kwon S., Yoon C., Park S., 2004, "Study o the Fracture Elongation of the Steel Sheet at the Intermediate Strain Rate", transaction of KSAE, Spring Conference,1669-1674
- (8) Song J., Huh H., Kim H. and Kim S., 2006, "Evaluation of the Element Modeling of Spot-Welded Region for Crash Analysis", transaction of KSAE, 14, 174-183
- (9) Xu S., Deng X., 2004, "An evaluation of simplified finite element models for spot-Weld joints", Finite Elements in Analysis and Design", 40, 1175-1194
- (10) Seeger F. Feucht M., Frank B and Haufe A., " An investigation on Spot Weld Modeling for Crash Simulation with LS-DYNA, 2005, Anwenderforum
- (11) R. N. Yancey, 2004, "Impact Modeling of Spot Welds," Proc. of NUMIFORM 2004, pp.1215-1218