

점용접 변형에 대한 등가하중

주석재[†], 이상혁*

Equivalent Loads for Spot-Weld Distortions

Seok-Jae Chu and Sang-Hyuk Lee

Key Words: Spot-weld(점용접), Distortion(변형), CMM(3차원측정기), FEM(유한요소법), Equivalent Load(등가하중)

Abstract

Spot-welding is widely used to construct passenger car bodies in automotive industry. Occasionally severe spot-weld distortions in sub-assembly make further spot-weld difficult.

In this paper, distortions for various spot-weld conditions are measured using coordinate measuring machine. Then, based on finite element solution for unit translation or unit rotation of nugget edge, equivalent loads for spot-weld distortions are determined. They can be used to predict the spot-weld distortion using finite element method.

1. 서론

승용차 차체 부재에 보강부재를 얹어 클램핑하고 점용접한 뒤 클램핑을 풀면 변형이 발생하여 다음 어셈블리 작업이 곤란하게 되는 현상이 문제가 되었다.

이 현상의 제1차 원인은 부재와 보강부재의 성형오차(프레스 가공 뒤 스프링백과 같은 것) 때문에 부재에 보강부재를 얹으면 완전히 밀착되지 않다 때문이다. 이 부위를 눌러 닿게 하면서 탄성변형이 발생하고 점용접한 뒤 클램핑을 풀면 탄성변형이 일부 회복되며 변형이 발생한다.

클램프를 많이 설치할수록 이 문제는 점점 해결되겠지만 설치비용 증가, 설치공간 제약 등 다

른 문제 때문에 현실적으로는 곤란하다. 그 보다는 점용접 순서와 클램핑 위치를 조정하여 서브어셈블리의 변형을 최소화하는 쪽이 바람직하다. 서브어셈블리의 점용접변형 과정을 여러 가지 점용접 순서와 클램핑 위치에 대하여 유한요소 시뮬레이션하는 방법이 이 최소화 문제를 해결해 줄 것으로 기대되었다. 2002년도에 이미 부재와 보강부재의 성형오차를 반영하고 로딩, 클램핑, 점용접, 언클램핑 과정을 유한요소 시뮬레이션하는 것이 시작되었다. 비선형성(재료와 형상)까지 고려한 해석이었다.

그러나, 비선형해석이어서 시간이 많이 걸리고 까다로웠다.

유한요소 시뮬레이션이 더 정확하려면 점용접 자체의 변형에 대한 정보가 필요하다고 하여 본 연구가 시작되었다. 여러 가지 용접조건에 대하여 점용접 자체의 변형을 측정하고 유한요소 시뮬레이션에 입력하기 쉽게 등가하중 형태로 제공하려고 한다.

차병우⁽¹⁾는 점용접 변형을 측정하였다. 이 논문 외에는 점용접 변형을 측정한 것이 이제까지 거의 없다.

[†] 회원, 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail : sjchu@ulsan.ac.kr

TEL : (052)259-2141 FAX : (052)259-1680

* 르노삼성자동차

2. 실험계획과 준비

2.1 강판의 재료, 두께와 용접조건

실제 차체 점용접이 행하여지는 강판의 재료와 두께를 조사하여 Table 1과 2와 같이 2 겹 점용접은 10 가지, 3 겹 점용접은 7 가지를 선정하였다. 가압력, 전류와 통전시간은 실제 사용되는 용접조건(260 ~ 330 kgf, 9.3 ~ 11.1 kA, 10 ~ 20 cycle)을 사용하였다.

- 클램핑 1 가지(Fg. 1과 같이 블랭크 4 변 모두 블록을 대고 클램핑)
- 상판과 하판 틈새 3 가지(스페이서 0.0, 0.5, 1.0 mm 사용)
- 용접방향 2 가지(A 상판+하판(두꺼운 것), B 상판(두꺼운 것)+하판)

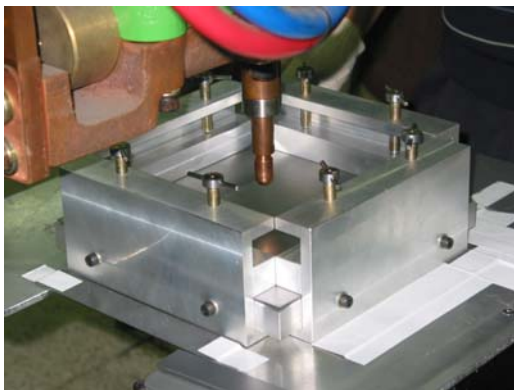


Fig. 1 Clamp (Blank Size 246×246 mm²)
(After excluding clamped area 200×200 mm²)

Table 1 Two layer spot weld

Upper layer	Middle layer	Lower layer
SPRC340 0.8t	-	SPRC340 0.8t
		SPCC 1.0t
		SPCEN 1.4t
		SPRC340 1.8t
SPCC 1.0t	-	SPCC 1.0t
		SPCEN 1.4t
		SPRC340 1.8t
SPCEN 1.4t	-	SPCEN 1.4t
		SPRC340 1.8t
SPRC340 1.8t	-	SPRC340 1.8t

Table 2 Three layer spot weld

Upper layer		Middle layer		Lower layer	
SPRC340	0.8t	SPCC	1.0t	SPRC340	0.8t
SPRC340	1.8t	SPRC340	0.8t	SPCEN	1.4t
SPCC	1.0t	SPCC	1.0t	SPRC340	0.8t
		SPCEN	1.4t		
SPCEN	1.4t	SPCEN	1.4t	SPRC340	1.8t
SPCEN	1.4t	SPRC340	1.8t	SPCC	1.0t
SPRC340	1.8t	SPCEN	1.4t	SPRC340	1.8t

3. 측정과 데이터 처리

3.1 측정

하판과 상판을 블록에 얹고 클램핑한 상태에서 상판과 하판 양쪽을 측정하고, 이어서 용접한 뒤 (클램핑을 풀지 않고) 측정하여 변위를 구하여 보았다.

Fig. 2와 같이 점용접 중심에서 x, y축 방향 -50 ~ +50 mm인 범위를 10 mm 간격으로 표면의 높이를 측정하였다. 모두 121점을 측정하였다. -100 ~ +100 mm인 전체 범위를 측정하지 않은 것은 블랭크가 정사각형이므로 x, y축 방향과 대각선 방향 길이가 달라 중심에서 멀수록 측대칭성이 약해지기 때문이다.

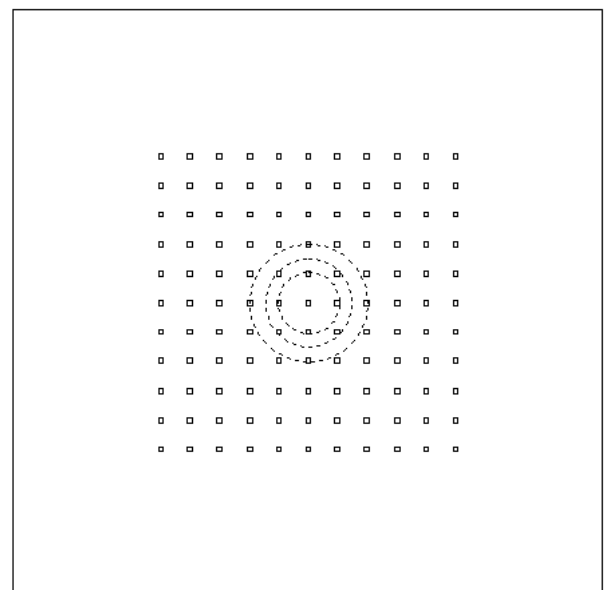
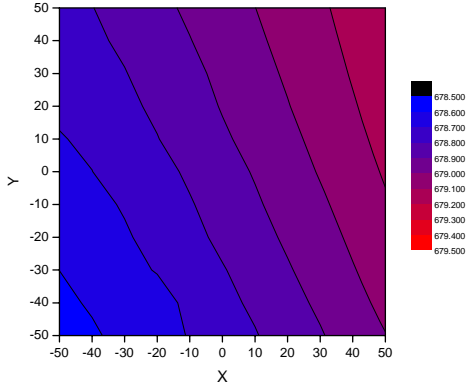
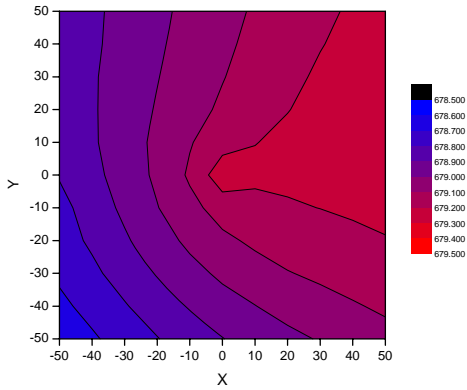


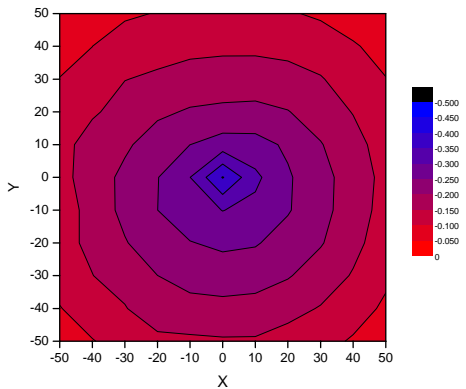
Fig. 2 11x11=212 CMM measuring points.



(a) Before spot-weld



(b) After spot-weld



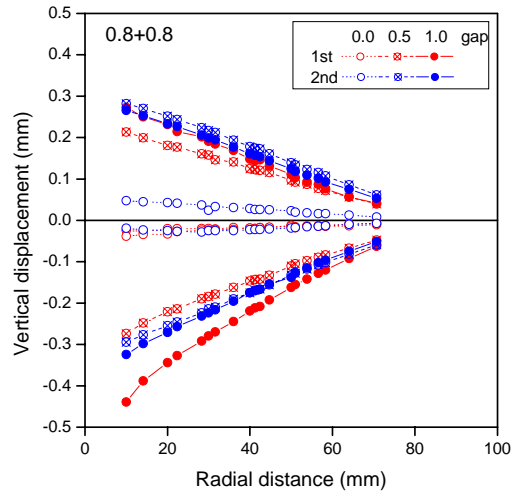
(c) Vertical displacement

Fig. 3 Vertical displacement contours

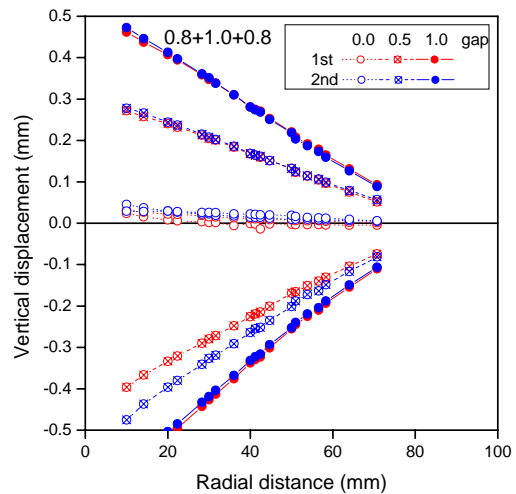
Fig. 3과 같이 구한 변위 w 가 Fig. 4와 같이 반경방향거리에 따라 잘 정렬되었다. 블랭크 가장 자리를 클램핑하였으므로 반경방향 거리가 증가할수록 변위는 0에 접근하는 분포를 보인다.

다음 그림에서 변위가 -인 선은 상판에 대한 것이고 변위가 +인 선은 하판에 대한 것이다. 상판과 하판 두께가 같은 경우 변위의 절대적인 크기를 보면 상판이 하판보다 크다. 이것은 점용접기가 Press type으로서 상, 하 전극 중 상 전극은 내려오고 하 전극은 움직이지 않기 때문이다.

되풀이하여 완전히 재현된다면 빨간색과 파란색 기호가 겹쳐졌을 텐데 다음 그림과 같이 완전히 재현되지는 않았다.



(a) Two layer spot-weld

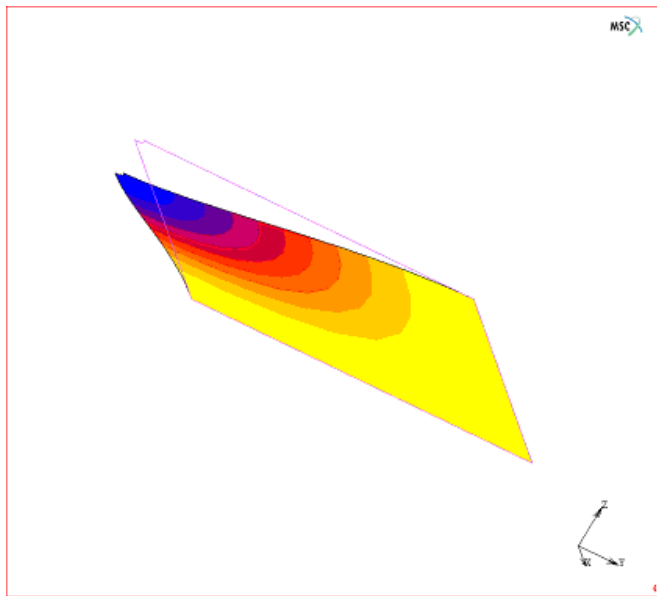


(b) Three layer spot-weld

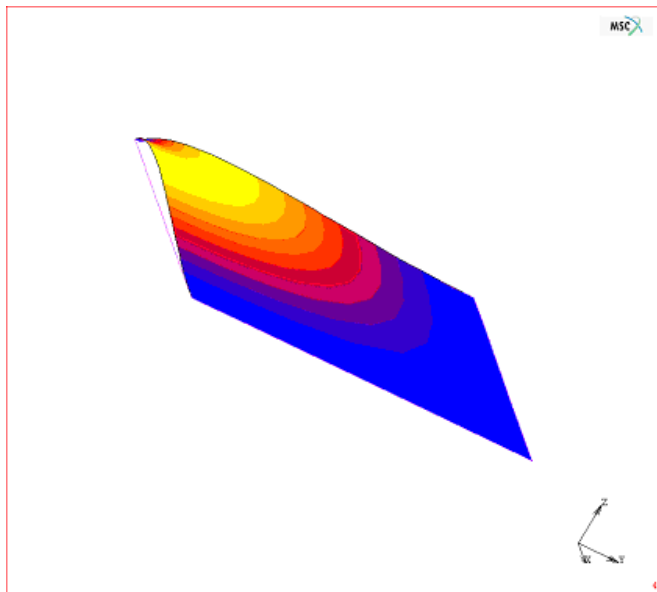
Fig. 4 Vertical displacement distributions

상판, 중판, 하판 중 중판은 노출되지 않으므로 상판과 하판을 측정하였다. 스페이서를 상판과 중판, 중판과 하판 사이에 넣으므로 2 겹 경우보다 변위가 크다.

4. 측정 데이터 분석



(a) Translation



(b) Rotation

Fig. 5 Deformed shape for unit translation and unit rotation of the nugget edge

Fig. 5와 같이 셀 요소로 모델링하여 (a) 너겟을 1 mm 누른(unit translation) 경우 변위 분포 w_t (b) 너겟 가장자리를 1 rad 꺾은(unit rotation) 경우 변위 분포 w_r 을 Fig. 6과 같이 구하였다. Fig. 7은 측정 변위를 $w = C_1 w_t + C_2 w_r$ 로 Curve Fitting한 것이다.

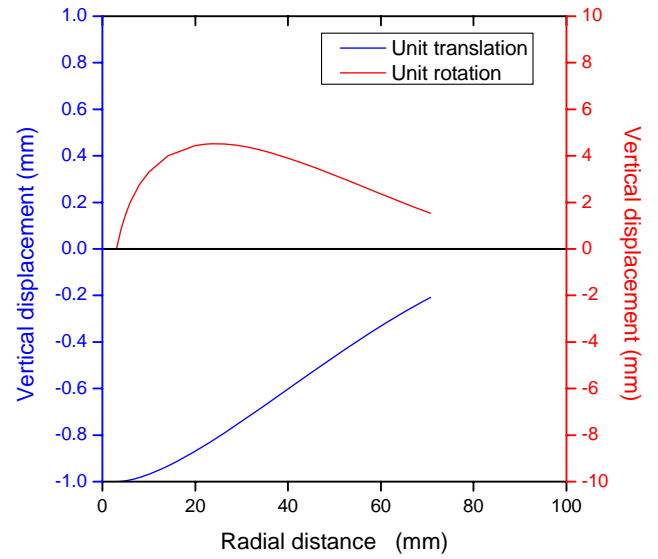


Fig. 6 Vertical displacements for unit translation and unit rotation of the nugget edge

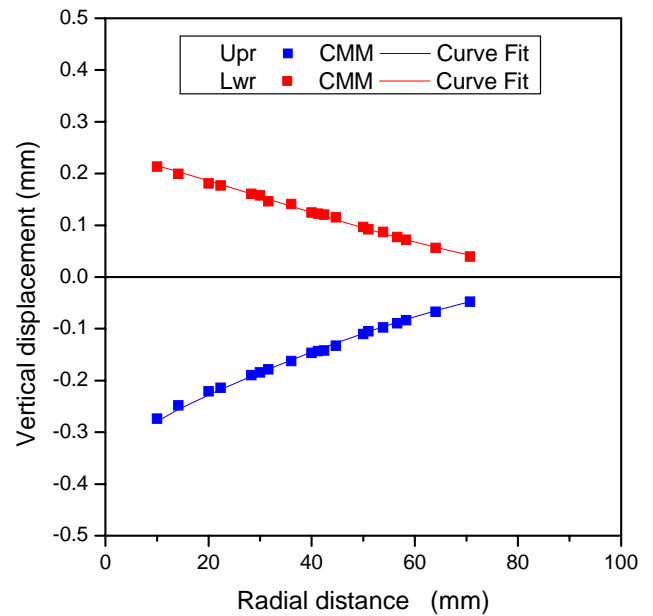


Fig. 7 Curve fitting $w = C_1 w_t + C_2 w_r$ of the measured vertical displacements

(a) Translation 변위는 전극으로 누른 탄성변형과 관련되지만 (b) Rotation 변위는 너겟이 녹아 가장자리가 꺾어진 영구변형과 관련된다. 그러므로, 클램프를 풀면 (a) 변위는 사라지고 (b) 변위는 남을 것이라고 가정하게 되었다. 그러면, Fig. 8과 같은 점용접 변형이 발생한다.

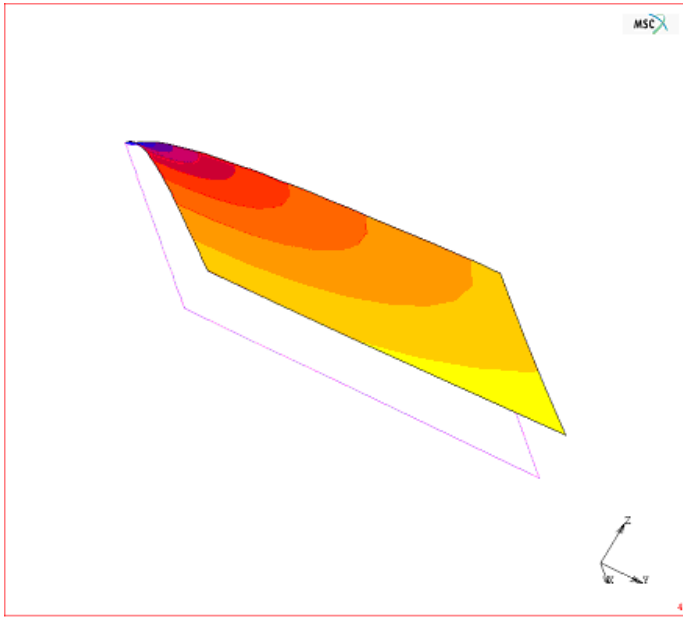


Fig. 8 Deformed shape after unclamping

가장자리 틈새 0.243 mm (=상판 0.182 + 하판 0.061)이다. 실제 실험에서 용접 뒤 클램프를 풀었을 때 스페이서(두께 0.5 mm)가 저절로 빠지지 않았다. 이것은 가장자리 틈새가 0.5 mm 이하인 것을 뒷받침한다.

5. 등가하중

Table 3과 같이 그 꺾임각을 유한요소모델 너겟 가장자리에 입력하여 점용접 변형, 즉 변위 분포를 구하고(Fig. 9) 그 다음은 너겟을 포함한 영역 정사각형 경계 절점에 그 변위를 입력하여 그 절점의 반력(등가하중)을 구하였다.(Fig. 10)

너겟 가장자리를 모델링할 때 부채꼴 요소를 사용하는 것이 유리하다. 그러나, 실제 차체 점용접점을 일일이 부채꼴 요소를 사용하여 모델링하는 것은 너무 번거로울 것으로 예상되어 정사각형 요소를 사용하는 경우에 대한 등가하중을 구하였다.

Table 3 Procedures to find the reactions

Step (Mesh type)	Input → Output
1 step (Fan)	Rotation of the nugget edge → Displacements and rotations
2 step (Square)	Displacements and rotations of the square nugget → Reactions
3 step (Square)	Reactions → (Compare) Displacements

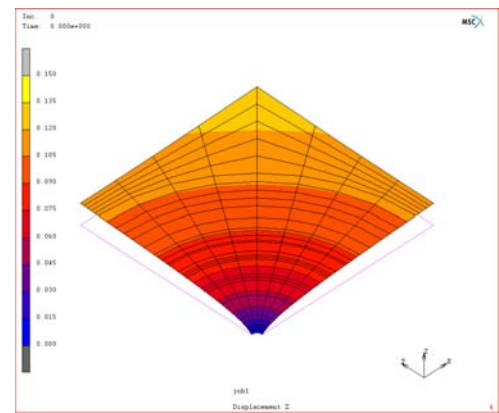


Fig. 9 Fan shaped mesh in step 1

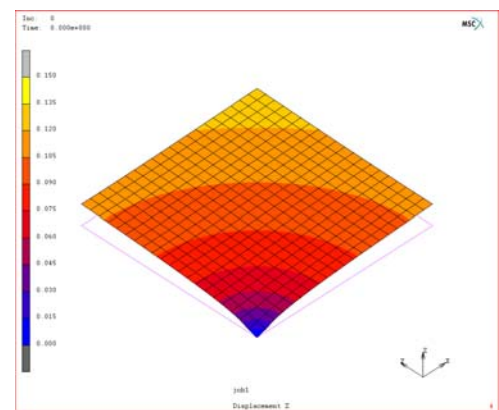
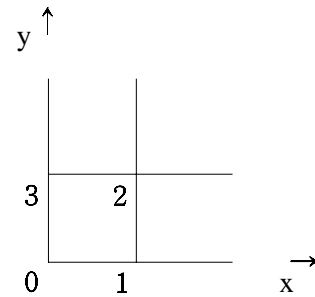


Fig. 10 Square mesh in step 2

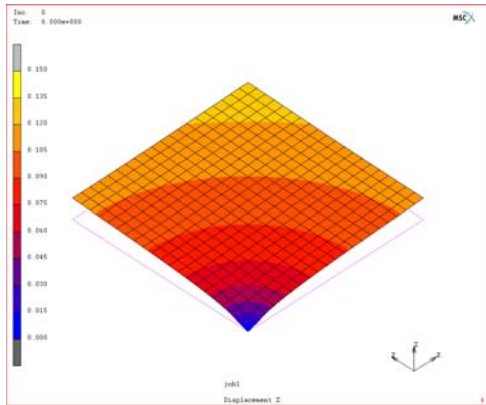


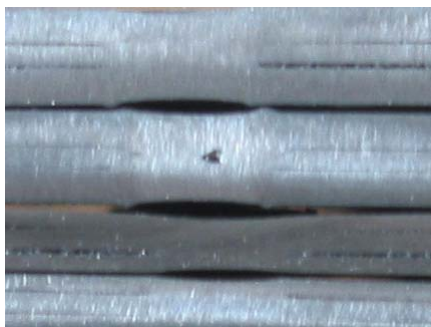
Fig. 11 Square mesh in step 3

Fig. 11은 등가하중을 입력 확인한 변위분포다.

Fig. 12와 같이 너겟 가장자리의 꺾임과 너겟의 크기를 확인하려고 너겟을 절단하여 보았다. 그러나, 단면 연마와 부식이 제대로 되지 않아 이 모두 정확히 확인되지 않았다.



(a) Two layer spot-weld



(b) Three layer spot-weld

Fig. 12 Spot-weld sections

6. 결 론

하판과 상판을 블록에 얹고 클램핑한 상태에서 상판과 하판 양쪽을 측정하고, 이어서 용접한 뒤 (클램핑을 풀지 않고) 측정하여 변위를 구하였다.

이 변위는 상판과 하판이 (a) 상, 하 전극으로 눌러지고 이어서 (b) 전기저항열로 녹아 너겟 가장자리가 꺾여 발생한 것으로 다루었다. 측정된 용접변위를 유한요소해석 결과 얻은 Unit Translation 변위와 Unit Rotation 변위의 조합으로 분해하였다. (a) Translation 변위는 전극으로 누른 탄성변형과 관련되지만 (b) Rotation 변위는 너겟이 녹아 가장자리가 꺾어진 영구변형과 관련되므로 클램프를 풀면 (a) 변위는 사라지고 (b) 변위는 남을 것이라고 가정하였다.

너겟 가장자리를 모델링할 때 부채꼴 요소를 사용하는 것이 유리하다. 그러나, 실제 차체 점용접점을 일일이 부채꼴 요소를 사용하여 모델링하는 것은 너무 번거로울 것으로 예상되어 실용적인 정사각형 요소를 사용하는 경우에 대한 등가하중을 구하였다.

후 기

이 연구는 현대자동차의 지원에 의하여 이루어진 것으로 관계자 여러분께 감사를 표합니다.

참고문헌

- (1) Cha, Byoung-Woo, 2002, "A study on residual stress and deformation of resistance spot welded structure using process analysis", Ph. D thesis, KAIST.