

자동차 B-pillar부품의 스폿용접 및 접착 혼용 용접부의 충돌특성 및 해석에 관한 연구

최영수* · 윤상만* · 조용준** · 이세현***†

*한양대학교 기계공학부대학원

**현대자동차 생산기술개발팀

***한양대학교 기계공학부

A Study on the Crash Characteristics and Analysis of Spot+adhesive Welds in Automobile B-pillar Parts

Youngsoo Choi*, Sangman Yun*, Yongjoon Cho** and Se-hun Rhee***,†

*Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**Hyundai Motor Company, 772-1, Jangduk-dong, Hwaseong-si, 445-706, Korea

***Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University Graduate School, Seoul 133-791, Korea

†Corresponding author : srhee@hanyang.ac.kr

(Received September 29, 2011 ; Revised October 17, 2011 ; Accepted October 28, 2011)

Abstract

In the present day, the needs of new steel for lightweight car-body have been increased in the automotive industry. however, the resistance spot welding is difficult to apply to the new steel because of the narrow weld current range and defects. As the solutions to these problems, adhesive bonding process is proposed. Adhesive bonding which reduce noise and vibration can be applied to joining the new steel. In this study, crash tests of b-pillar applied the resistance spot welding, structural adhesive bonding, the mixture of the structural adhesives and resistance spot welding were performed. And FEM crash model for b-pillar applied the structural adhesive bonding was developed. The results of experiment and analysis on b-pillar crash test were compared to verify the validity.

Key Words : Adhesive bonding, Resistance spot welding, B-pillar, mixture, crash test, FEM

1. 서 론

최근 자동차 산업의 급속한 성장과 더불어 차체의 경량화 및 강도 향상을 만족시켜주는 새로운 재료의 개발이 증가하고 있다. 하지만 차체 접합의 90%이상을 차지하는 기존의 스폿 용접공정은 새로운 재료에 대한 적용이 어려우며, 용접공간의 제한성으로 복잡한 형상의 차체에 적용하기에 매우 제한적이다. 이러한 문제점의 개선방안으로 구조용 접착제(adhesive bonding)를 사용한 접합공정이 제시되고 있으며, 이는 이미 유럽 자동차회사들의 고급 세단을 중심으로 적용되고 있는 상황이다.

구조용 접착제를 사용하면 기존의 접합공정에 비해 소음 및 진동을 크게 감소시킬 수 있고, 스폿 용접의 적용이 어려운 재료도 접합이 가능해진다. Choi, Rhee¹⁾등은 구조용 접착제 파단 특성에 관한 연구를 수행하였고, Choi, Kim²⁾등은 사각 폐단면 접착부의 해석 모델을 개발하였다. Nied³⁾는 스폿 용접의 FEM에 대해 연구하였고, Adams, Comyn⁴⁾등은 구조용 접착제에 대한 연구를 진행하였다. 하지만 아직까지 구조용 접착제에 관한 연구가 많이 진행되지 않았고, 특히 자동차의 B-pillar에 대해 구조용 접착제를 적용하는 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 구조용 접착제를 적용하여 B-pillar의

스폿용접 타점수의 감소율을 도출하기 위해 구조용 접착제와 스폿용접을 혼용 적용한 B-pillar의 충돌 실험을 수행하였고, 충돌 FEM 해석과 비교하여 검증하였다. 이를 위해 전단 인장 및 수직 인장 실험을 통해 스폿용접과 접착제의 접합 및 파단 특성을 고찰하여 FEM 해석 모델을 개발하였고, 사각 폐 단면 충돌실험을 수행하여 사각 폐 단면 충돌 FEM 의 결과와 비교하였다.

2. 용접조건 및 용접부 평가 조건

2.1 용접조건

2.1.1 전단인장시험을 위한 용접조건

Table 1은 접착제의 두께와 접착 폭에 따른 전단 인장 실험 조건이다. 접착제는 유동성이 있기 때문에 일정한 두께를 유지하기 위해 두께 0.1mm의 절연 테이프를 사용하여 두께를 조절하였다. 접착제는 도포 후 200℃에서 2시간 동안 가열하였다. 인장 시험 속도는 20mm/min 의 등속도로 실시하였고, 실험은 각 조건 별로 5회 실시하였다.

2.1.2 수직인장시험을 위한 용접조건

수직 인장강도를 측정하기 위해 Fig. 1과 같은 시편을 제작하였다. 강종은 동일하며, 실험 횟수는 5회이고 조건은 Table 2과 같다.

2.1.3 사각 폐단면 충돌시험을 위한 용접조건

사각 폐 단면의 충돌실험은 앞서 실험한 강종과 동일

Table 1 Experimental condition for adhesive bonding & spot welding

	Parameter	Condition	
Adhesive	Overlap width(mm)	6.25, 12.5, 18.75, 25	
	Thickness(mm)	0.2, 0.3, 0.5, 0.7	
Adhesive & spot welding	Overlap width(mm)	12.5	
	Thickness(mm)	0.2, 0.3, 0.5, 0.7	
Spot welding	Welding variables	Current	9.7kA
		Time	13cycle
		Force	300kgf

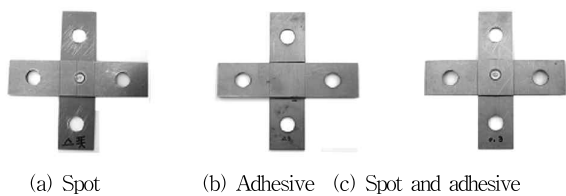


Fig. 1 Specimen for normal tensile test

Table 2 Normal tensile test specimen

	Parameter	Condition	
Adhesive	Overlap width(mm)	25	
	Thickness(mm)	0.2, 0.3, 0.5, 0.7	
Adhesive & spot welding	Overlap width(mm)	25	
	Thickness(mm)	0.2, 0.3, 0.5, 0.7	
Spot welding	Welding variables	Current	9.7kA
		Time	13cycle
		Force	300kgf

Table 3 Configuration of test specimen

	Pitch(mm)	Spot welding rate(%)
Spot & adhesive	20	100
	40	50
	60	29
	120	14
Spot	20	100
Adhesive		0

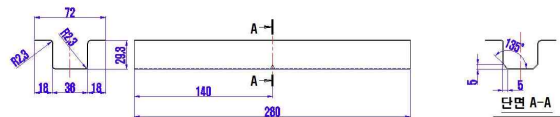


Fig. 2 Hat-profile specimenile test



Fig. 3 Impact tester

한 재료를 사용하였으며, 접착 두께는 0.2mm로 실험하였다. Table 3은 실험 조건이며, 각 조건별로 3회의 실험을 실시하였다. 용접 율은 피치 20mm 경우의 용접 타점 횟수를 기준으로 스폿용접 타점수의 비율을 나타낸 것이다.

Fig. 2는 사각 폐 단면 형상을 나타낸 모식도이고, 충돌 테스트기는 Fig. 3과 같이 구성되어 있다. 하단부

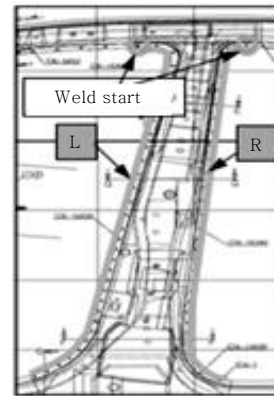
에 로드셀이 부착되어 있고, 1m 높이에서 충돌 헤드가 사각 폐 단면 시편에 충격을 가하게 된다. 충돌 실험 결과의 측정은 기준 높이 280mm에서 충돌 후 남아 있는 사각 폐 단면의 높이를 측정하였다.

2.1.4 B-pillar 충돌실험을 위한 용접조건

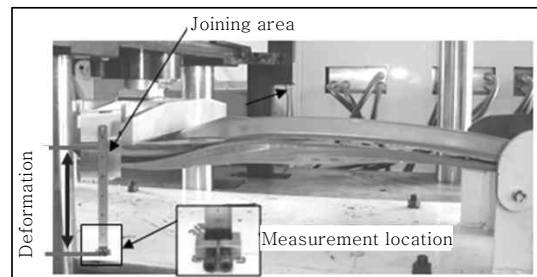
실험에서 사용된 B-Pillar의 접착제 도포 및 스폿 용접 부는 Fig. 4와 같다. 점선으로 표시된 부분이 B-Pillar의 접착부분이며 실선으로 표시된 부분이 접착제 도포 및 스폿 용접부이다.

충돌 테스트는 크로스 헤드 상판과 하판(각 70, 50kg), 추 (50 kg), 팁 (30kg)으로 구성되었으며, 하부에는 로드 셀이 삼각형 모양으로 3개 위치해 있다. B-Pillar 시험편은 스폿, 접착제, 그리고 스폿과 접착제를 혼용으로 적용하여 제작하였으며, 조건은 Table 4와 같다.

Fig. 5(a)에서 스폿 용접이 시작되는 지점과 구조용 접착제가 도포되는 구간을 도시하였고, (b)에서는 충돌 실험 후 변위를 측정하는 실험 방법을 나타내었다. 기준이 되는 높이 290mm에서 충돌 변형 후의 높이를



(a) Spot weld part



(b) deformation measurement

Fig. 5 Crash test specimen

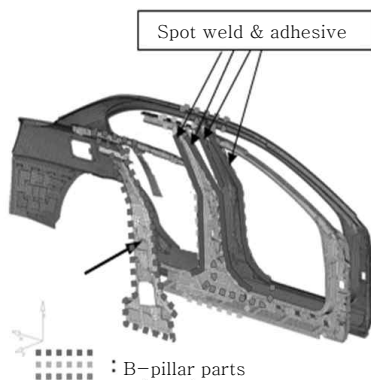


Fig. 4 Joining area of b-Pillar

Table 4 Configuration of test specimen

	Number of spot (L/R)	Pitch of spot (L/R) (mm)	Reduction of spot weld(%)	Number of specimen (set)
Spot	32/30	40/40, 30	0	3(1)
Adhesive	0/0	0	100	3(1)
Spot & adhesive	32/30	40/40, 30	0	3(1)
	24/23	47/47	25	3(1)
	16/15	72/78	50	3(1)
	8/7	154/180	75	3(1)
Total				18(6)

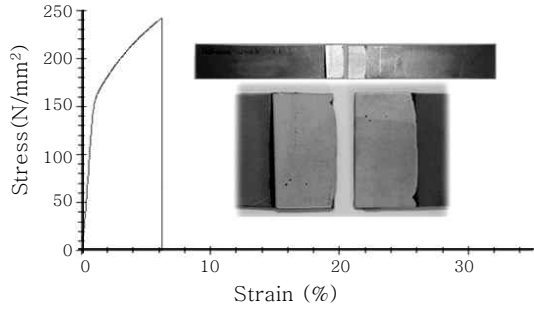
측정하여 얼마만큼의 변형이 이루어졌는지 측정하였다. 이는 지그표면에서부터 남은 높이를 측정하고 기준 높이와의 차를 구하는 방법으로 실시하였다.

3. 평가시험결과

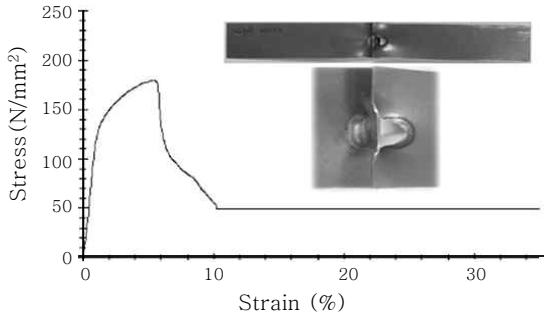
3.1 전단인장시험결과

Fig. 6(a)는 접착제만을 적용한 시편의 파단 사진과 stress-strain 커브이고, Fig. 6(b)는 스폿 용접만을 적용했을 경우의 파단 사진과 stress-strain 커브이다. 접착제의 취성 특성으로 파단강도 이후에 갑작스런 파단이 나타났고, 파단면에서 접착제가 도포된 부분의 코팅이 벗겨지는 현상이 관찰되었다. Fig. 6(c)는 접착제와 스폿 용접을 혼용 적용한 시편의 파단 사진과 stress-strain 커브이다. 인장력이 가해지면, 우선 접착제가 도포된 부분에서 파단이 발생하고, 그 다음에 스폿 용접의 파단이 발생하는 현상을 보여주고 있다. 이는 접착제의 최대 강도 값을 가지면서 스폿용접 특성을 동시에 나타내고 있어 충격이나 외력에 대해 취성특성을 감소시켜주고, 전체적으로 흡수할 수 있는 에너지 영역범위를 크게 해준다.

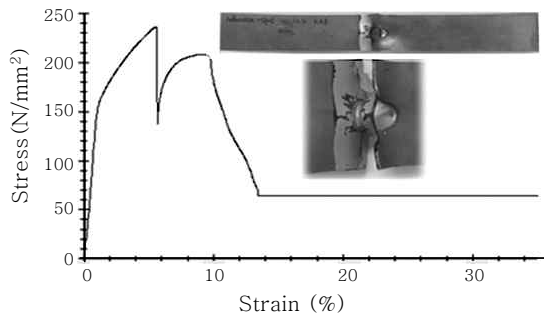
Table 5에서 구조용 접착제와 스폿 용접의 혼용적용과 각각의 단일 적용시의 파단 하중을 나타내었다. 접착



(a) Adhesive bonding



(width : 12.5mm, thickness : 0.3mm)
(b) Spot welding



(c) Spot welding and adhesive bonding
(width : 12.5mm, thickness : 0.3mm)

Fig. 6 Stress-strain curve and shearing fracture test

Table 5 Failure tensile strength

Type	Thickness(mm)	Failure tensile strength(N)
Adhesive & spot	0.2	4262
	0.3	4104
	0.5	3904
	0.7	3581
	1.0	3201
Adhesive	0.2	4269
	0.3	4120
	0.5	3622
	0.7	2995
	1.0	2787
Spot	Diameter 6	3018

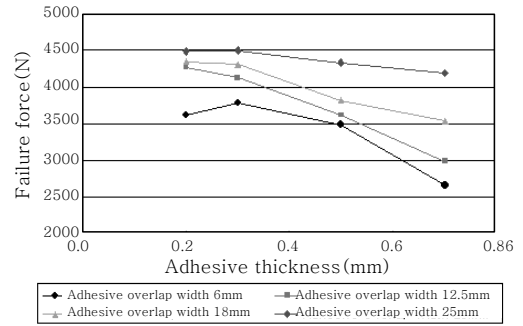


Fig. 7 Failure force of adhesive thickness

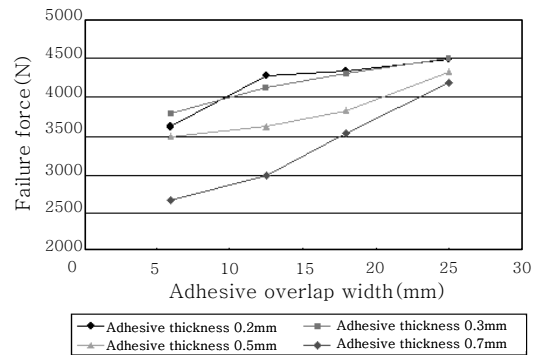


Fig. 8 Failure force of adhesive overlap width

폭은 12.5mm로 동일하게 실험한 결과 값이다. 스폿 용접에 비해서 접착제의 파단 하중이 크다는 것을 확인할 수 있겠으며, 혼용 적용 시에도 접착제의 특성으로 인해 파단하중이 크게 나타남을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 접착 두께에 따른 파단 하중 값을 보여준다. 접착 두께가 증가할수록 파단 하중이 작아지는 현상을 확인할 수 있다. Fig. 8은 접착 폭에 따른 파단 하중 값을 보여주고 있다. 접착 폭이 증가할수록 시편의 굽힘 각이 감소하여 파단 하중이 증가함을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8을 통해서 접착 폭이 클수록 두께의 영향이 적어지고 접착 두께가 클수록 접착 면적의 영향을 상대적으로 많이 받음을 알 수 있다.

3.2 수직인장 시험결과

Fig. 9는 수직 인장 실험 결과를 보여주고 있다. (a)에서는 일정 수준까지 하중이 상승한 후에 급격한 하강의 모습이 뚜렷하게 나타났으며, (b)는 앞서의 하중보다 작은 하중 값이 지속적으로 나타났다. 스폿 용접이 접착제보다 더 높은 하중에서 파단이 발생함을 알 수 있으며, 접착제의 적용은 박리 파단에 매우 취약함을 보여주고 있다. (c)는 (a)와 (b)를 중첩시켜놓은 모습을 보여주고 있으며, 낮은 하중에서 접착제의 파단이

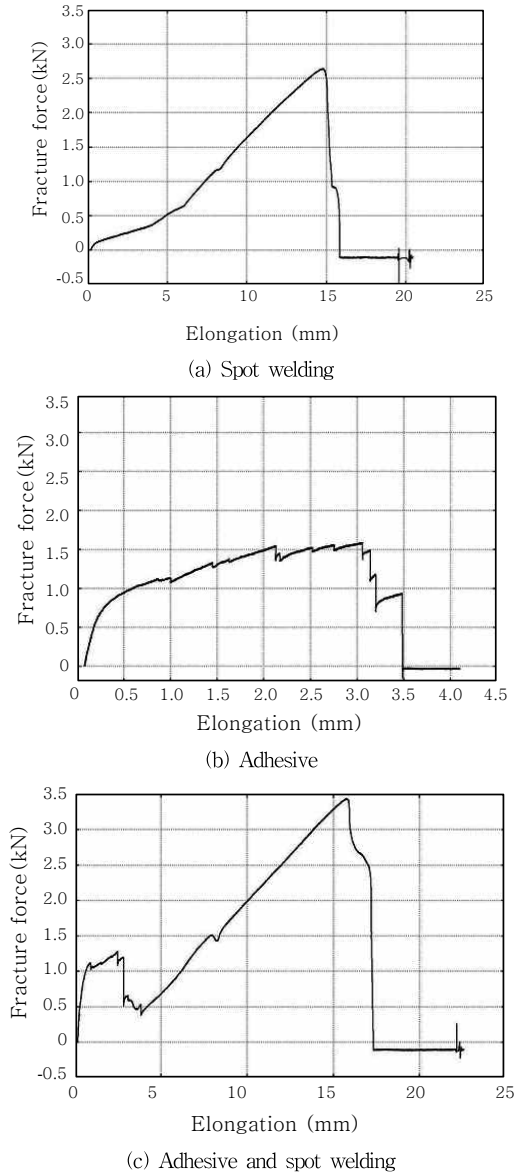


Fig. 9 Failure force-strain curve and shearing fracture test

발생한 후에 스폿 용접의 파단이 발생함을 알 수 있겠다. Fig. 10은 접착제의 두께에 따른 파단 하중을 나타낸 그래프이다. 스폿 용접에 비해 접착제의 경우가 더 작은 파단 하중이 나타남을 보여주고 있으며 접착두께와의 영향이 크지 않음을 확인할 수 있다. 하지만 혼용 접착 시에는 접착두께가 증가할수록 파단 하중이 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 실험을 통해 접착제는 스폿 용접보다 전단 인장 하중은 크나, 수직 인장시험 시 박리 파단에 취약함을 알 수 있다. 그러므로 접착제의 적용을 통해 스폿 용접 타점수를 줄이면서 강도를 개선할 수 있을 것이라 판단하였다.

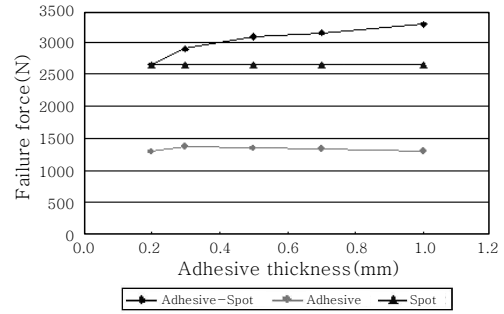


Fig. 10 Failure force of adhesive thickness

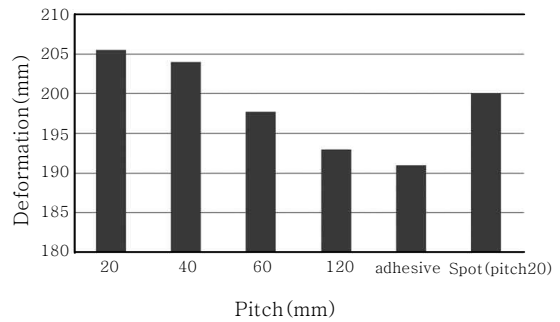


Fig. 11 Deformation on pitch

3.3 사각폐단면 충돌시험 결과

Fig. 11은 충돌 실험 후 피치 조건에 따른 높이를 나타낸 그래프이다. 혼용 접합의 경우는 점용접의 피치가 증가함에 따라 그 변형량이 증가함을 보여주고 있으며, 접착제의 경우는 스폿용접보다 변형량이 많음을 보여주고 있다. 또한 스폿용접의 경우와 변형량이 비슷한 혼용 접합은 피치가 약 50인 것으로 나타났다.

3.4 B-pillar 충돌시험 결과

실험을 수행한 결과의 사진은 Fig. 12와 같다. 스폿 용접만을 적용한 Fig. 12(a)와 접착제와 스폿 용접(25%)을 적용한 Fig. 12(e)의 경우는 판재사이에 터짐이 발생하였고, 접착제와 스폿 용접(100%)을 적용한 Fig. 12(b), 접착제와 스폿 용접(75%)적용한 Fig. 12(c), 접착제와 스폿 용접(50%)을 적용한 Fig. 12(d)는 판재사이에 터짐이 발생하지 않고 양호한 상태를 보여주었다. 접착제만을 적용한 Fig. 12(f)의 경우는 접착 면이 파열되어 분리된 것으로 관찰되었다. 이는 아직까지 접착제만을 단독으로 적용할 경우, 그 안정성이 충분히 보장되지 못함을 보여주고 있다.

아울러 각 조건 별 충돌 실험 시 변형량을 측정하여 Table 6에 나타내었다. 스폿 용접 타점 감소율이 50%

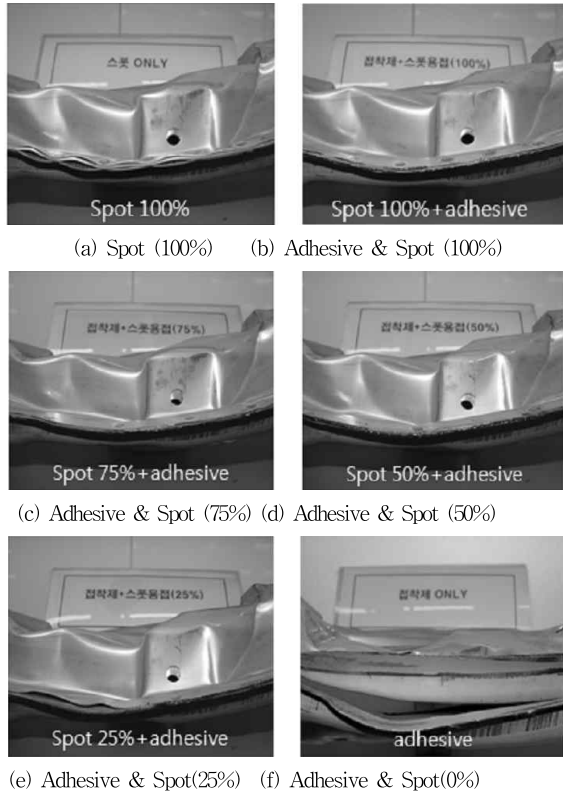


Fig. 12 B-pillar crash test

Table 6 Results of experiments

		Pitch of spot weld (left/right)	Number of spot weld (left/right)	Deformation (reference height : 290mm)
Spot		40/30,40 (30~40)	32/30	93.7
Spot & adhesive (spot reduction)	0%	40/30,40 (30~40)	32/30	89.0
	25%	47/47	24/23	91.3
	50%	72/78	16/15	92.7
	75%	154/182	8/7	95.3
Adhesive		-	-	Not measured

이하인 실험 조건의 충돌 변형 량이 스폿용접만을 사용한 충돌 변형 량보다 작게 나타났다. 이는 접착제의 사용이 스폿 용접타점의 감소로 인한 강도의 저하를 보상해 주는 것으로 판단된다.

스폿 용접 타수가 줄어들수록 변형 량은 많아지는 결과를 보여준다. 결과적으로 Fig. 13에서 보는 것 같이 스폿용접만을 단독으로 사용한 경우와 같은 강도를 가지는 접착제와 스폿 용접의 혼용 적용의 경우를 계산해보면, 스폿 용접의 타점수를 약 56%까지 줄일 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

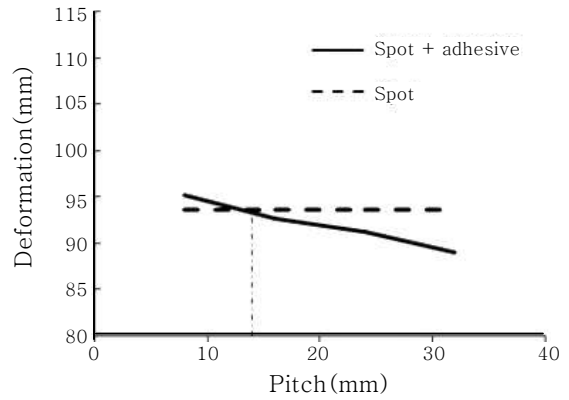


Fig. 13 Deformation on spot welding number

4. 용접부 강성 FEM 해석 결과

4.1 FEM 모델링

4.1.1 인장시편 FEM 모델링

LS-Dyna를 이용하여 시편과 동일한 규격의 형상 설계를 하였고, mesh는 가로 8개, 세로 20개로 나누어 구성하였다. material property는 failure stress, strain rate effect, Young's modulus, thickness 등이 입력된다. 접착부에 관한 설정은 constrained weld를 이용하여 각 node를 묶어주었으며, 하단부를 고정시키고, 반대쪽 끝을 20mm/min으로 인장하는 경계조건을 부여하여 LS Dyna solver로 해석을 수행하였다.

Spot 용접부의 경우 버튼 파단을 유사하게 모사하기 위해서 Fig. 14와 같이 둥근 형태로 mesh를 구성하였고, 점용접의 파단을 나타내기 위해 식(1)의 Failure criterion을 이용하였다. S_n 과 S_s 는 앞선 실험에 의한 Spot 용접부의 normal과 shear force의 실험값을 입력하였다. 식의 지수 n, m 은 모두 동일하게 2가 입력된다. 최종적으로 그 합력이 1이 넘어가는 순간 스폿 용접 부는 파단이 일어나게 되는 식이다.

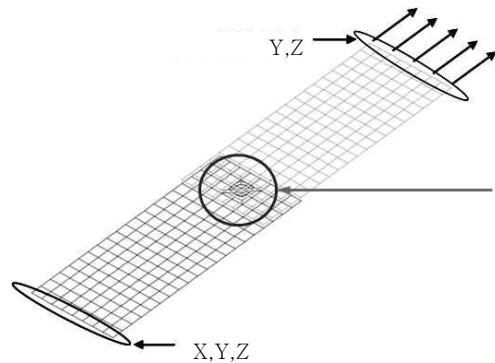


Fig. 14 Spot weld FEM model

$$\left(\frac{|f_n|}{S_n}\right)^n + \left(\frac{|f_s|}{S_s}\right)^m \geq 1 \tag{1}$$

f_n : normal interface force
 f_s : shear interface force
 S_n : normal force at spotweld failure
 S_s : shear force at spotweld failure
 n : exponent for normal spotweld force
 m : exponent for normal spotweld force

$$\beta \sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_t^2)} \geq \sigma_f \tag{2}$$

여기서 σ_n 은 normal stress, τ_n 은 shear stress in direction of joining, τ_t 는 shear stress normal to joining, σ_f 는 failure stress, β 는 failure parameter 를 의미한다.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \tag{3}$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \tag{4}$$

식 (2)의 Failure equation에서 부등호 오른쪽 항 σ_f 는 실험적으로 얻은 failure stress 값이 입력이 된다. 식 (3)은 3차원 응력 분포 하에서 모든 항을 포함하고 있는 Von mises 식이다. 식(3)을 변환하게 되면 식 (4)과 같이 쓸 수 있으며, 식(4)에서 평면 응력 상태를 가정하여 식(3)의 failure equation을 얻을 수 있었다. 왼쪽 β 에 관한 항은 control parameter로 설정한 항으로 실험값과의 오차를 보정해주기 위해 사용되었다

4.1.2 사각폐단면 충돌시편 FEM 모델링

Fig. 16-(a)은 사각 폐단면의 한쪽 면의 mesh 형성 후의 모습이고, Fig. 16-(b)은 사각 폐 단면 최종 형상의 모습이다. 그리고 검은색으로 테두리 쳐진 부분이

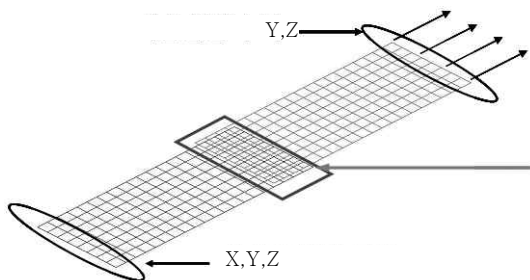


Fig. 15 Adhesive bonding FEM model

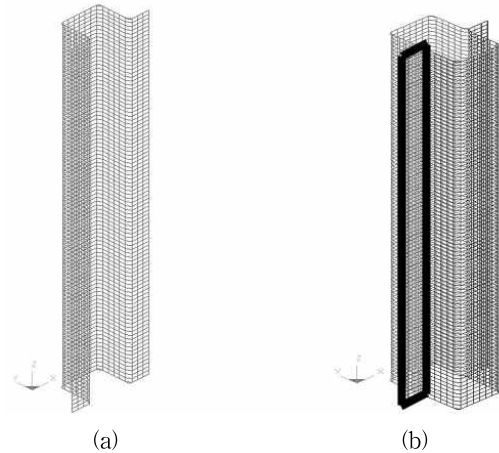
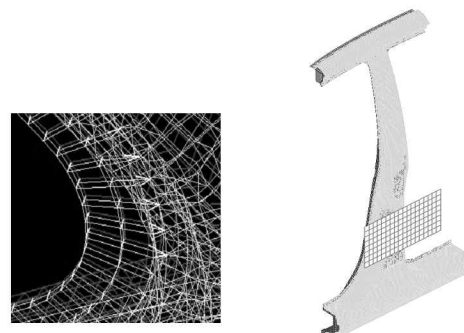


Fig. 16 Crash model of hat-profile

플랜지이며 여기를 접착 요소로 묶어 주게 된다. 인장 FEM 때와는 달리 변형률 속도에 관련된 값이 들어가 게 되는데 여기에서는 실험적으로 구하여진 변형률 속도에 의존하는 Stress- Strain커브를 입력하였다.

4.1.3 B-pillar 충돌 FEM 모델링

B-pillar의 FEM 모델링은 세장의 판으로 접착이 이루어지게 되어, 노드 셋에 세 판의 노드를 한 번에 묶어 주게 하였다. 노드 셋에 들어가는 노드 순서는 가운데판에 있는 노드가 중간에 위치하게 했고, 이러한 과정을 통해 종속노드에 대한 에러 발생을 해결하였다. 또한, 각 노드의 정보를 읽어 노드간의 최소거리를 탐색하였고, 가장 근접한 노드끼리 묶어주는 알고리즘을 사용하였다. 즉, 가운데판의 노드를 중심으로 다른 두 판의 모든 노드와의 거리를 계산하여 최소 거리인 점을 선택하여 노드 셋을 구성하는 방법을 적용하였다. Fig. 17(a)는 접착요소가 적용된 상세모습을 나타내고 있고, 이러한 과정을 거쳐 최종적으로 완성된 B-Pillar FEM model을 Fig. 17(b)에서 보여주고 있다.



(a) B-pillar mesh (b) B-pillar FEM model

Fig. 17 B-Pillar FEM modeling

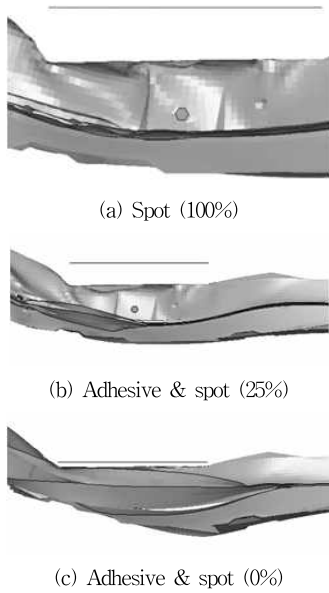


Fig. 18 FEM analysis of b-pillar crash

4.1.4 충돌 해석 결과 및 분석

앞서 측면 터짐이 발생한 실험 조건과 동일한 조건으로 충돌 해석을 수행한 결과를 Fig. 18(a),(b),(c)에 나타내었다. 충돌 실험의 FEM 해석 결과를 살펴보면 앞서 수행한 충돌실험의 측면 사진인 Fig. 12의 결과와 매우 유사함을 확인 할 수 있다.

4.2 용접부 강성 FEM 해석 결과

4.2.1 인장시편 FEM 해석결과

Table 8에서 실험값과 시뮬레이션 값을 비교하여 나타내었고, 실제 실험과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

4.2.2 사각폐단면 충돌시편 FEM 해석결과

Fig. 19는 사각 폐 단면 충돌 실험 후의 모습과 사각 폐 단면 FEM 해석 결과의 모습을 보여준다. table 8에서는 실험과 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. Fig. 20에서 변위 량에 따른 두 결과를 비교해 보면 충돌 실험과 FEM 해석 결과 모두 피치가 늘어남에 따라 함몰 깊이가 깊어지는 경향을 볼 수 있다.

전체적인 오차는 table 8에서 보이는 것과 같이 매우 작음을 볼 수 있다. 이는 구조물의 형태와 하중 조건이 간단하기 때문에 나올 수 있는 결과라 판단된다. 스폿 용접과 동일한 하중을 갖는 혼용 적용 조건을 살펴보면, 실험에서는 Spot 용접 단독으로 하였을 경우 혼용 접착의 피치간격은 40과 60 사이에 위치하게 되어 스폿 용접 율을 약 63%정도 감소시킬 수 있는 것으로

Table 7 Comparison for experimental and analytical results

Width (mm)	Thickness (mm)	Simulation (mm)	Experiment (mm)	Error (%)
6.25	0.2	3712	3787	1.99
6.25	0.3	3673	3615	1.61
6.25	0.5	2529	2654	4.73
6.25	0.7	3535	3490	1.30
12.5	0.2	4195	4120	1.81
12.5	0.3	4280	4270	0.25
12.5	0.5	3057	2995	2.08
12.5	0.7	3587	3622	0.96
18.75	0.2	4437	4334	2.37
18.75	0.3	4110	4298	4.38
18.75	0.5	3697	3821	3.25
18.75	0.7	3638	3531	3.01
25	0.2	4449	4481	0.72
25	0.3	4389	4492	2.30
25	0.5	4359	4325	0.78
25	0.7	4090	4188	2.34



Fig. 19 Shape of experiment and FEM analysis

Table 8 result of crash test

	Pitch (mm)	Spot welding rate(%)	Experiment (mm)	FEM (mm)	Error (%)
Spot & adhesive	20	100	205.5	211.1	2.73
	40	50	203.67	196.1	2.81
	60	29	197.67	195.8	0.96
	120	14	193	188.2	2.48
Spot	20	100	200	201.1	0.55
Adhesive		0	191	187.9	1.62

판단되고, 해석 결과에서는 피치 간격이 20과 40 사이에 위치하며 스폿 용접 율을 약 33% 정도 감소시킬 수 있는 것으로 판단되었다.

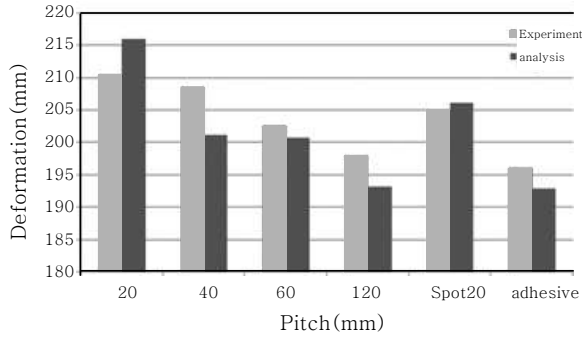


Fig. 20 Result of FEM and experiment

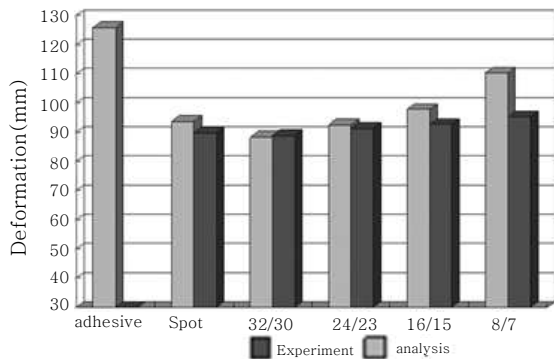


Fig. 21 Comparison of experiments & analysis

4.2.3 B-pillar 충돌 FEM 해석결과

Fig. 21은 B-Pillar의 충돌 실험을 통해 얻은 변형량과 FEM 충돌 해석을 통해 얻은 변형량을 비교해 놓은 그래프이다. 해석결과에서도 실험값과 마찬가지로 접착제와 스폿용접의 혼용 사용 시 스폿 용접율이 감소할수록 B-pillar의 변형량이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. Table 9는 실험 결과와 해석결과를 비교하여 실험값 대비 정확도를 보여주고 있다. 전체적으로 FEM 해석 결과와 실험 결과가 매우 유사한 경향을 가

Table 9 Comparison for experimental and analytical results

	Pitch of spot (left/right, mm)	Number of spot weld (left/right)	Ave. deformation (ref. height: 290mm)	Analysis	Compare to experiment(%)
Spot	40/30,40 (30~40)	32/30	93.7	95.6	2.02
Spot & adhesive (spot reduction)	0%	40/30,40 (30~40)	89.0	88.3	0.78
	25%	47/47	91.3	92.5	1.29
	50%	72/78	92.7	97.9	5.61
	75%	154/182	8/7	95.3	110.2
Adhesive	-	-	Not measured	125.9	

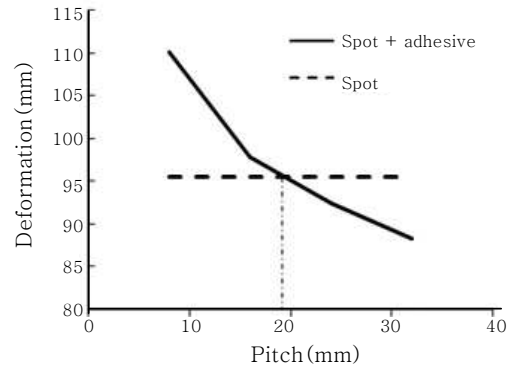


Fig. 22 Deformation on weld number in crash analysis

지고 있음을 판단할 수 있다. Fig. 22는 스폿 용접을 단독으로 적용한 경우와 동일 강도를 가지는 혼용적용 용접 타점수를 나타낸 그래프이다. B-pillar의 충돌 FEM 해석을 통해 구조용 접착제를 적용할 경우 스폿 용접율을 약 41% 감소시킬 수 있다는 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 연구는 스폿 용접과 구조용 접착제를 적용한 접합의 특성을 고찰하여 B-pillar부에 대한 스폿 용접을 개선을 위한 실험을 수행하였고, 이를 B-pillar 충돌 FEM 해석 결과와 비교하여 검증하였다. 전단 인장 시험을 통해 접착제가 스폿용접보다 더 큰 과단하중을 보이지만, 수직 인장실험에서는 더 낮은 하중을 보여주었기 때문에 접착제와의 혼용 적용을 통하여 스폿 용접의 타점 수를 어느 정도 감소시킬 수 있다고 판단하였다. 이를 바탕으로 스폿 용접과 구조용 접착제를 혼용 적용하여 B-pillar의 충돌 실험과 FEM해석을 수행하였고, 기존의 스폿 용접만을 적용한 경우의 강도와 동일한 강도를 가지는 구조용 접착제와 스폿 용접 적용의 조건을 도출할 수 있었다. 결과적으로 본 연구를 통해 이루어진 충돌 실험 결과와 충돌 FEM 해석 결과는 스폿 용접과 접착제의 사용에 있어서, 접착제 단독의 사용은 아직 충분한 강도를 나타내지 못함을 보여주고 있으며, 또한 스폿용접의 단일 적용과 동일한 강도를 확보하기 위한 구조용 접착제와 스폿용접의 혼용적용은 스폿용접 타점수를 상당부분 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 아울러 충돌 실험 결과와 FEM 충돌 해석 결과를 비교하여 그 유사성을 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Y. S. Choi, S. H. Rhee, H. B. lee, I. S. Jang, Y. G. Mun, Y. J. Jo, J. H. Kim, I. J. Kim : Study on the fracture characteristics of adhesive bonding for vehicle

- crash analysis, Journal of KWS, 46 (2006), 74-76 (in Korean)
2. Y. S. Choi, J. G. Kim, S. H. Rhee, H. B. lee, I. S. Jang, Y. G. Mun, I. J. Kim : Adhesive bonding model development for car crash analysis, Journal of KWS, 47 (2006), 45-47 (in Korean)
3. H. A. Nied., : The finite element modeling of the resistance spot welding process, Welding Journal, 63-40 (1984) 123-132
4. R. D. Adams, J. Comyn, W. C. Wake : Structural Adhesive Joints in Engineering, 32-76