

## 센터필라 적용을 위한 이종 접합강의 충격 특성 해석에 관한 연구

남기우<sup>\*†</sup> · 박상현<sup>\*\*</sup> · 유정수<sup>\*\*\*</sup> · 이상문<sup>\*\*\*</sup>

\* 부경대학교 재료공학과, \*\* 성우하이텍 기술연구소, \*\*\* 부경대학교 대학원 학연협동기계공학과

### Analysis of Impact Characteristics of Bonded Dissimilar Materials for Center Pillar

Ki Woo Nam<sup>\*†</sup>, Sang Hyun Park<sup>\*\*</sup>, Jung Su Yoo<sup>\*\*\*</sup> and Sang Mun Lee<sup>\*\*\*</sup>

\* Dept. of Materials Science and Engineering, Pukyong Nat'l Univ.,

\*\* Technical Institute, Sung Woo Hitech Co. Ltd.

\*\*\* Graduate School, Pukyong Nat'l Univ.

(Received October 6, 2011 ; Revised June 11, 2012 ; Accepted June 11, 2012)

**Key Words:** Center Pillar(센터 필라), Dissimilar Material(이종 재료), Tailor Weld Blanks(TWB; 맞춤형 재단 용접), Impact Test(충격 시험)

**초록:** 본 연구에서는 레이저 TWB로 용접된 이종재료의 동적 특성에 대한 해석이 수행되었다. 해석프로그램은 Hyper works 10.0으로 Solver는 LS-DYNA v.971, 모델링 요소는 2D-Shell, 요소 수는 35,641개, 노드 수는 36,561개이다. 충격속도는 10 km/h이다. 상·하부의 용접선 높이에 따르는 영향을 연구하기 위하여, 하부의 길이를 300 mm와 400 mm로 하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다. 길이 300 mm인 하부 재료 SPFC980의 변형은 가장 작고, 충돌 흡수 에너지는 가장 크다. 하부 냉연강 기준으로 TWB의 위치가 짧을수록 성능이 우수하게 나타났다. 즉, 상대적으로 상부 고강도강인 SABC1470 재료가 차지하는 비율에 따라 성능이 좌우되었다. 하부 재료 SPFH590은 큰 변형이 나타났고, 충돌성능은 SPFC980보다 현저히 떨어졌다. 따라서 충돌 성능 해석 결과에서 하부 재료 SPFC980인 길이 300 mm가 가장 우수한 것으로 나타났다.

**Abstract:** This study was carried out to analyze the dynamic characteristics of laser tailor-welded blanks (TWBs) made of dissimilar materials. The analysis was performed using Hyper Works 10.0 with Solver LS-DYNA v.971. 2D-Shell was used as the modeling element, and the number of elements and nodes was 35,641 and 36,561, respectively. The impact speed was 10 km/h. To analyze the impact characteristics according to the height of the weld line for the upper and lower parts of the center pillar, the length of the lower part was set as 300 and 400 mm. When the lower part was made of SPFC980 steel with a length of 300 mm, the deformation was the smallest and the absorbed energy of the impact force was the largest. On based the lower part of center pillar, the position of TWB shows the shorter and the better value. In other words, the performance depended on the proportion of the upper part made of high-strength SABC1470 steel. A lower part made of SPFH590 steel showed large deformation. In contrast, a lower part made of SPFC980 steel showed significantly lesser deformation. Therefore, the impact performance of a lower part made of SPFC980 steel with a length of 300 mm showed the best analysis result.

## 1. 서 론

최근 자동차관련법규는 안전성 강화를 위하여 고속 주행에서 높은 충돌 성능을 요구하고 있다. 이에 따라 강화된 충돌시험 기준이 적용되거나, 적용될 예정이다.<sup>(1)</sup> 환경에 대한 인식이 높아지면서 배기가스 규제에 따른 연비 기준이 강화되고 있는 추세이며, 이에 따라 자동차업체는 다양한 방법으로 경량

화 달성을 위하여 기술적으로 시도하고 있다.<sup>(2)</sup> 또한, 환경오염 규제강화에 대응하기 위한 방안으로 하이브리드 및 연료전지 등의 차세대 자동차개발이 가속화되고 있다. 그러나 연료전지 등의 추가적인 부품 탑재에 의하여 차량중량 증가가 불가피하다. 따라서 이러한 개발추세에 대한 자동차의 전반적인 경량화가 요구되고 있다. 자동차 차체는 다른 부품들보다 기술개발대비 효과가 상대적으로 큰 부품에 속하며, 경량화 및 충돌성능향상에 직접적인 영향을 미치는 분야이다.<sup>(3-5)</sup> 즉, 다른 부품과 비교하여 개발

† Corresponding Author, [namkw@pknu.ac.kr](mailto:namkw@pknu.ac.kr)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

된 기술적용 시 충돌성능 및 경량효과를 즉시 확인할 수 있다. 해외 자동차 선진업체의 차체개발동향을 분석한 결과, 금속 재료와 알루미늄의 이종재료를 적절하게 적용하여 안전성과 경량화를 효과적으로 개선한 것을 알 수 있다.<sup>(6-8)</sup> 그러나 이러한 이종재료 차체적용은 AUDI TT와 BMW 530i와 같은 일부 차량을 제외하고, 그 적용사례를 찾아보기가 힘들다. 이는 이종재료간의 조립방법이 본딩, 셀프 피어싱 리벳 및 고강도 리벳 등으로 한정되어 있어, 생산단가가 높기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 생산성 확보와 제작성을 고려하여 센터 필라 개발을 위한 레이저 맞춤식 재단 용접(tailor welded blanks; TWB)<sup>(9,10)</sup>이 된 이종접합강의 동적 특성의 해석적 연구를 수행하였다.

## 2. 해석 대상 및 방법

### 2.1 해석 대상

센터 필라는 경량화 및 충돌로 인한 승객의 안전성을 확보하기 위하여, Fig. 1(a)와 같이 상부에 고강도 재료를 적용하여 상부 충돌강성을 하부보다 더욱 높게 유지해야 한다. 그러나 Fig. 1(b)와 같이 상·하부가 동일한 강성을 가질 경우, 측면 충돌시 센터 필라의 중간 부분이 직접적으로 충격을 받으면서 승객의 상체에 큰 충격을 주게 된다. 이를 해결하기 위하여 Fig. 1(c)와 같이 센터 필라의 하부에 상부보다 약한 강성을 부여하여 승객의 안전을 확보해야 한다. 이와 같은 이종재의 용접은 최근 맞춤식 재단 용접(TWB)으로 실시되고 있다. 이것은 두께, 강도 및 재질 등이 서로 다른 강판을 적절한 크기와 형상으로 절단하여 레이저로 용접하여, 원하는 형태의 제품으로 가공하는

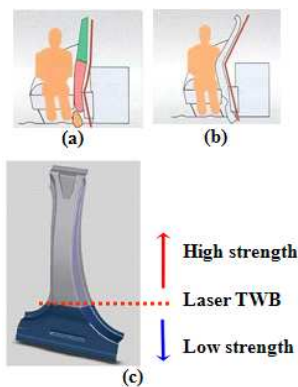


Fig. 1 The side collapse of center pillar. (a) dissimilar material, (b) same material, (c) outline of center pillar bonded with the dissimilar materials

방법이다. 이렇게 함으로써 자동차회사가 직접 용접 가공하는 비용을 크게 줄일 수 있다.

일반적으로 자동차는 연비 개선을 위하여 엔진 효율 향상, 공력 개선, 타이어 롤링 마찰력 개선, 트랜스미션 효율 향상 및 경량화 등 다섯 분야에 대한 기술 개발이 필요하다. 그러나 네가지 분야는 기술 실현에 장기간 및 고비용이 요구되며, 지금까지의 개선효과를 한계점으로 보는 것이 일반적이다. 따라서 자동차 차체에 초고강도 재료 및 경량 알루미늄을 적용하여, 연비를 개선하고자 하는 것이 전 세계적으로 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 고연비 차량 개발의 성패는 자동차 업계의 생존과 직결된다. 점차 강화되고 있는 환경법규에 대응하기 위하여, 차체부품에 기존 금속 재료만으로 대응하기에는 이미 한계점에 도달하였다. 초고강도 금속 적용으로 형상 단순화 및 재료 두께 감소로 인한 경량화와 경량 재료인 알루미늄 및 보론 첨가 강을 적용하는 방안이 대안으로 떠오르고 있다.

사용한 재료는 두께 1.4 mm로, 상부 고강도강은 보론 첨가된 SABC1470, 하부 저강도강은 냉연강으로 SPFH590과 SPFC980이다. 레이저 용접은 야그 레이저 용접기(모델명: 3 kW-CW Nd : YAG Laser System)를 이용하여, 3 kW 출력으로 4.0 m/min로 시험편 상부에서 초점을 두고 맞대기(Butt) 용접을 실시하였다. 보론강 SABC1470의 고강도화를 위하여 900 °C에서 7분간 유지 후, 급냉하여 마르텐사이트 변태시켰다. 기계적 특성 및 화학적 성질은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1 Mechanical properties

Properties Materials	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SABC1470	996	1470	6
SPFH590	522	626	26
SPFC980	726	1128	13

Table 2 Chemical composition (wt.%)

Compositions Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	B
SABC1470	0.21	0.26	1.27	0.017	0.003	0.22	0.0028
SPFH590	0.15	0.16	1.38	0.017	0.004	-	-
SPFC980	0.086	0.20	3.09	0.024	0.002	-	-

2.2 해석 방법

센터필라의 이중 용접부에 충격을 가하여 안전성을 검증하기 위한 해석을 실시하였다. TWB 용접선의 위치는 충격 시의 안전성에 영향을 미치므로 높이를 조절하여 실시하였다. 해석에 적용된 구속조건 및 충돌 형상은 Fig. 2와 같다. 충돌 유동 배리어 (Moving Deformable Barrier; MDB)는 북미 법규인 FMVSS214(Federal Motor Vehicle Safety Standards 214)에서 규정한 모델을 사용하였으며, 탄성체로 중량은 13.4 kN이다. 해석프로그램은 Hyper works 10.0으로 Solver는 LS-DYNA v.971, 모델링 요소는 2D-Shell, 요소 수는 35,641개, 노드 수는 36,561개이다. 충격속도는 10 km/h이며, 해석 시간은 0.1초이다. 상·하부의 용접선은 높이에 따르는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 3과 같이 300 및 400 mm로 하였으며, 충돌 위치는 330~503 mm 부분이다. 상·하부의 소재 및 TWB 위치를 Table 3에 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4에 충돌속도  $v = 10 \text{ km/h}$ 에 따르는 시간

Table 3 TWB position and materials of upper and lower

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
TWB position	300 mm	400 mm	300 mm	400mm
Upper material	SABC 1470	SABC 1470	SABC 1470	SABC 1470
Lower material	SPFH 590	SPFH 590	SPFC 980	SPFC 980

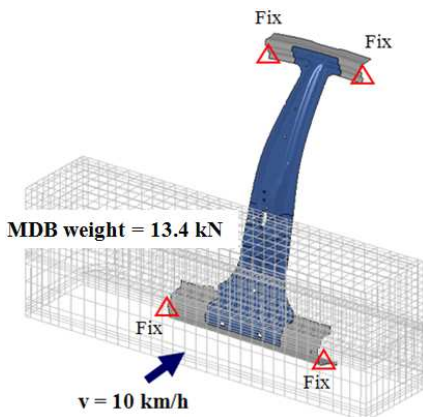


Fig. 2 Analysis model

과 변위관계를 나타내었다. Case 1과 2, Case 3과 4는 각각 TWB위치에 관계없이 하부 냉연 소재의 강도에 따라서 비슷한 변위를 나타내고 있다. 변위는 모두 0.051 ms에서 최대를 나타내고 있으며, 하부냉연소재 SPFC980, TWB 위치 300 mm인 Case 3의 경우가 0.051 ms에서 제일 작은 변위 85.9 mm를 나타내었다.

Fig. 5는 충돌하중과 시간과의 관계를 나타낸다. Case 1과 2는 0.045 ms이후에 과대한 충돌하중이 나타났다. 이것은 하부 재료의 강도가 작아서 시간의 경과에 따라서 나타난 충격력을 견디지 못한 것이 원인이라 생각된다. 따라서 이 조건은 사용할 수 없는 것이라 판단된다. 그러나 Case 3과 4는 충돌하중이 완만하게 증가하여 본 연구의 TWB 높이 조건을 만족하는 것이라 판단된다.

Fig. 6은 충격 흡수 에너지를 나타낸다. 이 그림에서도 최대변위를 나타내는 0.051 ms에서, Case 3의 경우가 가장 큰 누적 충격 흡수 에너지를 나타내어 우수한 조건이라 판단된다. 충격 해석 결과 분석표를 Table 4에 나타내었다. 여기서 충격력은 Fig. 5의 0.04 ms에서의 값이다. 4가지 조건에서 변형량이 작을수록, 충격력이 클수록, 충격 흡수 에너지가 클수록 성능이 우수하다고 판단된다.

Table 4 Results of impact test

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Disp. (mm)	101.5	101.2	85.9	86.0
Impact force(kN)	94.3	97.2	100.1	105.4
Impact energy(J)	3835	3856	4224	4179



Fig. 3 TWB and impact position for analysis

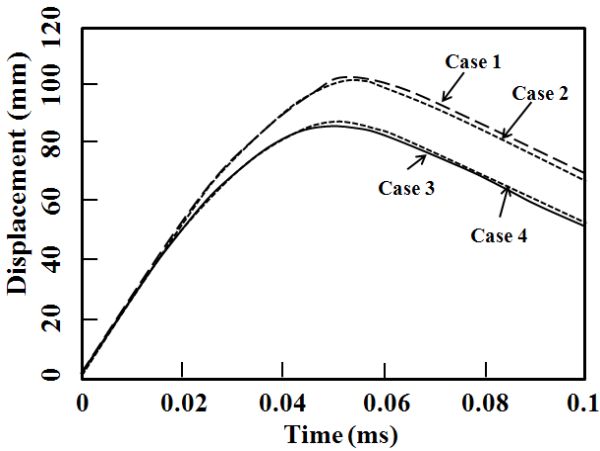


Fig. 4 Relationship of displacement and time for four cases of impact test

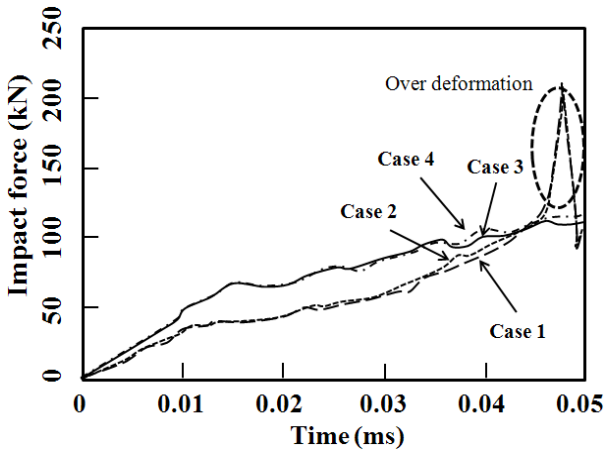


Fig. 5 Relationship of impact force and time for four cases of impact test

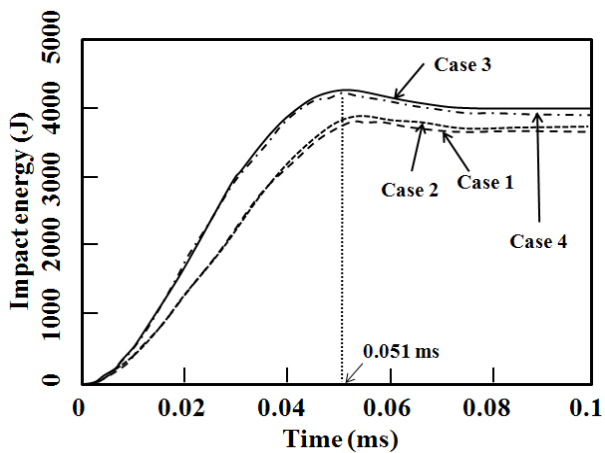


Fig. 6 Relationship of impact energy and time for four cases of impact test

Fig. 7~9는 센터 필라의 외측, 내측, 측면의 충돌 시험 전후에 따른 변형을 나타내고 있다. Fig. 7~9에서 Case 1, 2의 경우는 과도한 변형으로 상대 비교

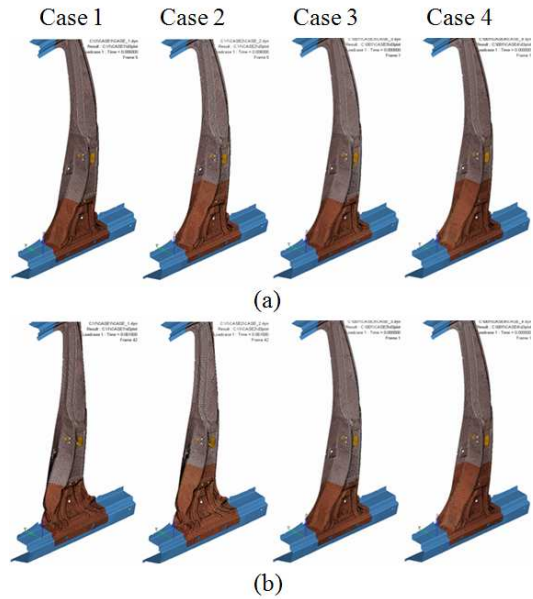


Fig. 7 Deformation behavior of before-and-after of the outside for impact force. (a) Before, (b) After

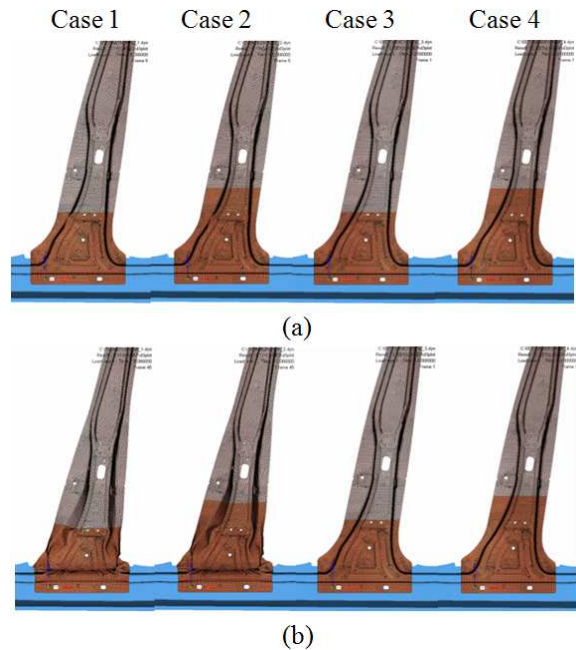


Fig. 8 Deformation behavior of before-and-after of the inside for impact force. (a) Before, (b) After

가 불가능하며, Case 3, 4에 비하여 충돌성능이 떨어진다. 또한 하단부 기준으로 TWB 용접선의 위치가 짧을수록 성능이 우수하게 나타났다. 즉, 상대적으로 상부의 SABC1470 재료가 차지하는 비율에 따라 성능이 좌우되는 양상을 보인다. 이것은 하부에 사용하는 냉연강 SPFC980 및 SPFH590의 강도 및 연신

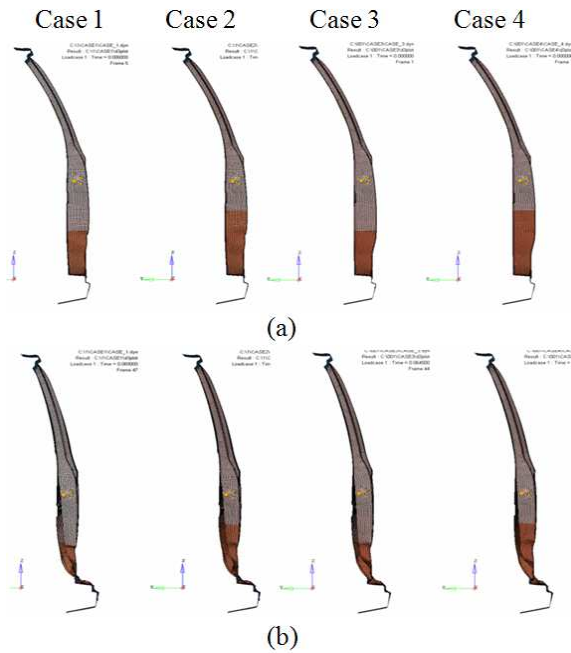


Fig. 9 Deformation behavior of before-and-after of the side for impact force. (a) Before, (b) After

울에 의존하는 것으로 충격하중에 의한 SPFC980의 변위가 작고(Fig. 4), 충격력은 크게(Fig. 5) 나타났다. 또한 충격 에너지도 크게(Fig. 6) 나타났다. 반면 냉연강 SPFH590은 SPFC980보다 강도가 작으며, 연신율이 커서 해석에 사용한 충격하중에 의하여 case 1, 2의 변위가 크게 발생하였다. 따라서 냉연강 SPFC980을 하부에 사용한 case 3, 4가 SPFH590을 사용한 case 1, 2보다 변형이 작게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 승객의 안전 및 경량화를 위하여 센터 필라에 상하 강성이 다른 재료를 사용하여 레이어 TWB 이중접합강의 특성을 해석하였다.

(1) 하부 냉연강 기준으로 TWB의 위치가 짧을수록 성능이 우수하게 나타났다. 즉, 상대적으로 상부 고강도강인 SABC 재료가 차지하는 비율에 따라 성능이 좌우되었다.

(2) 하부 재료 SPFH590의 경우 과도한 변형으로 상대 비교가 불가하며, 하부 재료 SPFC980에 비하여 충돌성능이 현저히 떨어졌다.

(3) 이와 같은 해석 결과에서 하부 재료 SPFC980인 길이 300 mm의 변형량이 가장 작고, 충돌 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 동남광역경제권 선도산업 육성사업으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- (1) Ordinance of Ministry of Land, 2010, "Motor-Vehicle Safety Standard" No. 307.
- (2) Lim, S. W., 2008, "Advanced Technology for Lightweight Automobile," *The Korean Society for Heat Treatment*, Vol. 21, No. 3, pp. 164~170.
- (3) Kim, B. K., Kim, M. S., Kim, B. J. and Huh, S. J., 2005, "Optimal Design of the Passenger Vehicle Aluminum Seat for Weight Reduction and Durability Performance Improvement," *Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp. 58~63.
- (4) Bae, G. H., Huh, H., Lim, J. H. and Kim, G. S., 2010, "Development of a Design Guideline Considering the Light Weight and Crashworthiness of the ULSAB-AVC Model," *2010 Proceeding of The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 1~8.
- (5) Bae, G. H., Huh, H., Song, J. H. and Kim, S. H., 2006, "Light-Weight Design with a Simplified Center-pillar Model for Improved Crashworthiness," *Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp. 112~119.
- (6) Hashimura, T., Fukumoto, K. and Takahashi, N., 2010, "Structural Member of Different Materials," Patent Application number: 20100098969
- (7) Michae,l S. B., 2006, "High-Strength Steel Stamping Project (ASP 050), *Automotive Lightweighting Materials, FY 2006 Progress Report*, pp. 1154~1158.
- (8) Lee, H.W., Hwang, J. B., Kim, S. U., Kim, W. H., Yoo, S. J., Lim, H. W. and Yum, Y. J., 2010, "Construction of Vehicle Door Impact Beam Using Hot Stamping Technology," *Transactions of the KSME(A)*, Vol. 34, No. 6, pp. 797~803.
- (9) Lee, G. S., Kim, D. J., Han, Y. H. and Song Y. J. 2006, "Forming Analysis of TWB Inner Door Panel Considering Workshop Aspects," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 15, No. 4, pp. 289~

- 294.
- (10) Kim, J. H., Lee. W. O., Chung. K. H., Kim, D. Y. and Kim, C. M., Okamoto, K., Wagoner, R. H. and Chung, K. S. 2011, "Springback Evaluation of Friction Stir Welded TWB Automotive Sheets," *Met. Mater. Int.*, Vol. 17, No. 1, pp. 83~98.