



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

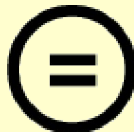
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

TWB 이중재의 충돌 해석, 기계적 특성 및 내식성 평가 연구



학연합동 기계공학과

유 정 수

공학석사 학위논문

TWB 이중재의 충돌 해석, 기계적 특성 및 내식성 평가 연구

지도교수 남 기 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2012년 2월

부경대학교 대학원

학연협동 기계공학과

유 정 수

유정수의 공학석사 학위논문을 인준함

2011년 12월

주심 공학박사 문창권 (인)

위원 공학박사 김진욱 (인)

위원 공학박사 남기우 (인)



목 차

Abstract

1. 서 론	1
2. 이론적 배경	5
2.1 마르텐사이트 변태	5
2.2 TWB	7
3. 재료 및 실험방법	9
3.1 충돌 해석 대상 및 해석 방법	9
3.2 TWB 이중재 시험편의 기계적 특성	14
3.3 TWB 이중재 시험편의 내식 특성	16
4. 결과 및 고찰	19
4.1 충돌 해석	19
4.2 기계적 특성	25
4.2.1 TWB 이중용접재의 인장 특성	25
4.2.2 TWB 이중용접재의 부정정 고속 굽힘 특성	32
4.3 내식 특성	36
5. 결 론	43

참고문헌	45
------------	----

감사의 글	47
-------------	----



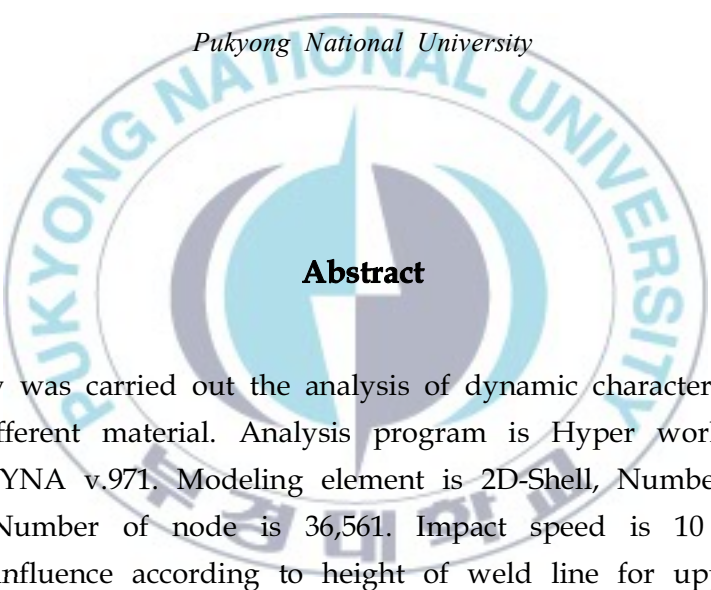
Evaluation of impact property, mechanical property and corrosion resistance of TWB specimen with different materials

Jung Su Yoo

Department of UR Interdisciplinary Program of Mechanical Engineering

Graduate School

Pukyong National University



Abstract

This study was carried out the analysis of dynamic characteristic for laser TWB of different material. Analysis program is Hyper works 10.0 with Solver LS-DYNA v.971. Modeling element is 2D-Shell, Number of element is 35,641, Number of node is 36,561. Impact speed is 10 km/sec. To investigate influence according to height of weld line for upper part and lower part, length of lower part was different from each 300 mm and 400 mm. The obtained results are as follows; In lower part material SPFC980 with length of 300 mm, the deformation was the smallest and absorbed energy of impact force was the biggest. On based the lower part of center pillar, the position of TWB shows the shorter and the better value. That is, the performance was depended upon according to proportion of upper part, high strength steel; SABC1470. Case 1 and 2 of lower part material SPFH590 showed the large deformation. Impact performance was reduced significantly for case 3 and 4 of lower part material SPFC980. Therefore,

impact performance of length of lower part material SPFC980, 300 mm, showed the best analysis result. TWB different materials specimen qualified the high strength in SABC1470 material by heat treatment. The tensile properties according to waiting time up to water cooling and the deformation behavior of high speed bending by statically indeterminate condition like center pillar were evaluated. In same temperature, the heat treated TWB specimen shows a decreasing trend the tensile and yield strength according to waiting time up to water cooling. SABC1470 + SPFH590 TWB specimen of 850 °C was moderate conditions that can protect passenger by accident. Considering it's safety of passenger by accident, center pillar is safe to use with SABC1470 of top part and SPFH590 of bottom part. In salt spray test, as-received materials, SABC1470 with Al+Si plating had red rust after 18 hours, SPFH590 with Zn plating had rust after 6 hours. But, SPFC980 without plating had red rust in 30 minute. In salt spray test in 72 hours, the corrosion resistance of SABC1470+SPFH590 TWB specimen with heat treatment at 950 °C was more excellent than that of 850 °C. SABC1470+SPFC980 TWB specimen was excellent in 850 °C.

1. 서 론

최근 자동차관련법규는 안전성 강화에 의해 고속에서의 높은 충돌 성능을 요구하고 있으며, 이에 따라 강화된 충돌시험 기준이 적용되거나, 적용될 예정에 있다. 환경에 대한 인식이 높아지면서 배기가스 규제에 따른 연비 기준이 강화되고 있는 추세이며 이에 따라 경량화에 대한 필요성이 강화되면서 자동차업계에서는 다양한 방법으로 기술적 구현을 시도하고 있다.

그 일환으로 자동차 생산 업계에서는 차체의 안전성을 유지하면서 차량의 무게를 줄임으로써 연비개선, 연료절감으로 인한 환경 보호 등 연쇄적인 효과를 기대 할 수 있는 방법을 모색하고 있다.

그 방법으로써 알루미늄, 마그네슘 합금을 이용하여 소재 자체의 경량화를 도모하는 방법과 고강도 철강 소재를 사용하여 소재의 두께를 줄임으로서 경량화를 시키는 방법 등이 각광을 받아 왔다.

그러나 소재 자체 경량화의 경우, 알루미늄이나 마그네슘 합금 소재가 고가인 현 상황에서 가격 경쟁력의 약화를 가져 올 수 있으며, 고강도 철강 소재 사용으로 인한 경량화의 경우, spring-back 현상 및 고강도로 인한 가공 또는 성형이 어렵다는 단점을 극복해야 하는 실정이다.

이러한 단점을 보완하고자 고온에서 가공하여 성형성을 확보하고, 이후에 열처리를 통하여 고강도를 가질 수 있는 프레스 열간 성형 및 핫스탬핑(hot stamping) 기술이 각광을 받고 있다.⁽¹⁾

핫스탬핑 기술은 보론 강판을 오스테나이트 변태 온도 이상으로 가열한 후 가열된 소재를 프레스 성형으로 한번에 성형한 후 급속 냉각하여 고강도 부품을 제조하는 성형기술이다.⁽²⁾ 여기서 보론 강판은 강의 경화능을 향상시키기 위해 미량의 보론(boron, B)을 첨가한 강판으로 보론이 오스테나이트에서 고용체로 존재하여 경화능을 향상시키는 효과를 발생시키는 역할을 하게 된다.⁽³⁾

일반적으로 프레스 열간성형 및 핫스탬핑 기술은 고온으로 가열된 판재 또는 부품을 프레스에서 성형하기 전에 상온에서 사전성형(pre-forming)하는 여부에 따라 직접법(direct method)과 간접법(undirected method)으로 나눈다. 현재까지 알려진 직접법에 의한 프레스 열간성형에서는 금형내부에 냉각수의 회전에 의해 고온의 성형부품을 급랭시켜야 하므로 금형내부의 냉각유로의 위치 및 배열 그리고 냉매의 순환속도 등이 매우 중요한 공정변수로 작용하게 된다.

간접법은 일반 상온 프레스금형에서 최종부품의 약 90~95%의 성형을 수행한 후 이를 가열하여 고온에서의 마무리 성형을 통한 복잡한 형상의 부품성형에 이어 연속적인 담금질을 통한 고강도화를 이루는 방법이다. 간접법의 경우 담금질 방법은 직접법과 마찬가지로 금형 내의 냉각수의 흐름에 의한 급냉을 하기도 하지만, 두께가 두꺼운 부품의 경우 오일 직접분사에 의한 오일 급냉이나 공기를 강제 분사하여 급냉시키는 방법이 이용되기도 한다^(4,5,6).

Fig 1.1에 핫스탬핑 공정의 직접법과 간접법을 개략적으로 나타내었다.

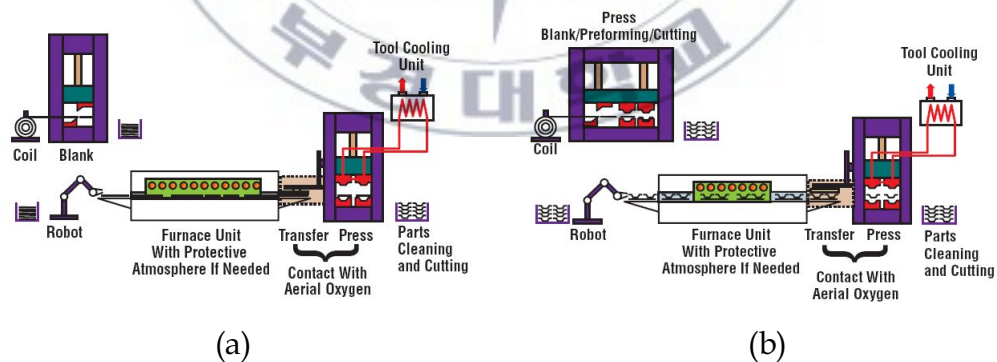


Fig 1.1 Schematic diagram of hot stamping process
(a) Direct process, (b) Indirect process

Fig 1.2는 보론 첨가 강판을 이용한 차체 부품의 적용 예이다. Fig 1.2에서 보는 바와 같이, B-Pillar(센터 필라)의 경우, 경량화 및 충돌로 인한 승객의 안전성을 확보하기 위하여 상부에 고강도 재료를 적용하여 상부 충돌강성을 하부보다 더욱 높게 유지해야 한다. 자동차 차체부품은 대부분 모노코크(monocoque) 구조로서 차체구성을 위해서는 다른 상판부품들과 용접공정을 통하여 조립되어야 한다. 그러므로 원소재의 특성뿐만 아니라 용접특성도 차량성능을 좌우하는 매우 중요한 변수가 된다. 원소재의 특성이 우수하더라도 상판되는 다른 부품의 소재와 용접성이 좋지 않은 경우에는 실제 차량 주행 시 차체의 비틀림강성, 굽힘강성, 동강성, 충돌성능, 내구성능, NVH 성능 등 모든 차량성능에 좋지 않은 영향을 미치기 때문에 용접특성의 분석은 매우 중요한 분석 요소이다⁽⁷⁾.

자동차 차체부품 조립공정에는 대부분 spot 용접과 GMAW 용접(CO₂용접)을 실시하고 있으나, 최근 맞춤형 재단 용접(TWB : tailor welded blanks)이 주목을 받고 있다. 이것은 두께와 강도 재질 등이 서로 다른 강판을 적절한 크기와 형상으로 절단하여 레이저로 용접하여, 원하는 형태의 제품으로 가공하는 방법이다. 이렇게 함으로써 자동차회사가 직접 용접 가공하는 비용을 크게 줄일 수 있기 때문이다.

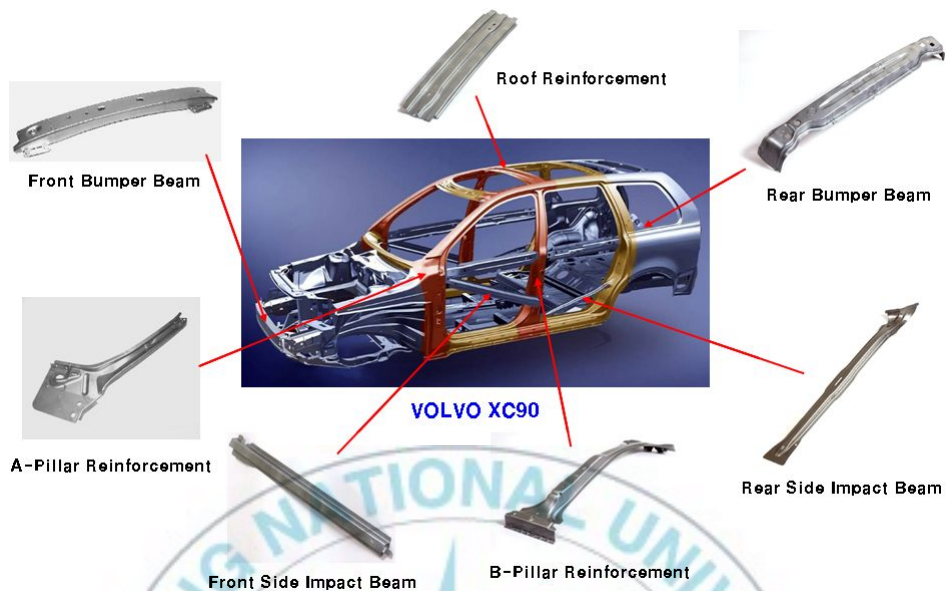


Fig 1.2 Applications of boron steel for hot stamping
(Source : Volvo)

따라서 본 연구에서는 생산성 확보와 제작성을 고려하여 센터 필라 개발을 위한 레이저 맞춤식 재단 용접 (TWB)된 이중접합강(상부 보론강, 하부 냉연강)의 동적 특성을 해석하고, 기계적 특성과 충돌을 고려한 부정정 보의 고속 굽힘 특성을 연구하였다. 즉, 상부 보론 첨가강이 요구하는 1500 MPa 이상의 인장강도를 유지하기 위한 열처리 조건에서 열처리된 이중접합강의 기계적 특성 및 자동차의 센터 필라가 고정된 조건과 유사한 부정정 조건에서 이중접합강의 고속 굽힘 변형 상태를 연구하였다. 또한, 친환경 방청 소재를 적용하여 모재 및 용접재의 내식성을 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 마르텐사이트 변태

공업용 재료에서 가장 흔하게 사용되는 강화 방법은 강을 퀀칭하여 급냉함으로서 오스테나이트를 무확산 전단 응력을 일으켜 마르텐사이트 (martensite) 변태시키는 방법이다.

마르텐사이트의 높은 강도는 이 조직에서 전위 이동에 매우 강한 장애물이 있음을 암시한다. 마르텐사이트계는 매우 복잡하여 논란도 많고 강화 기구도 많지만, 마르텐사이트의 고강도 요인에는 대체로 2가지 중요한 인자가 있다.⁽⁸⁾

첫째, 마르텐사이트의 높은 강도의 일부분은 미세한 쌍정 구조나 높은 전위 밀도가 슬립 이동을 효과적으로 방해함으로써 일어난다.

둘째, 마르텐사이트 강도에 기여하는 또 다른 인자는 탄소 원자이다. 탄소 원자는 페라이트 격자에 변형률을 생성시키고, 이 변형률은 상온에서 확산에 의해 탄소 원자를 재분배함으로써 제거된다. 그 결과 전위와 탄소 원자 사이에 강한 결합이 생기며, 이는 전위 이동을 방해한다.

이러한 마르텐사이트 변태의 또 하나의 중요한 특성은 무확산 변태라는 것이다. 즉, 반응이 너무 급속하게 일어남으로써 원자가 섞여 들어갈 시간적 여유가 없다. 그러므로 모상에 조성변화가 없으며 각 원자는 원래의 주위원자를 그대로 유지하려고 한다.

또한 강의 마르텐사이트 변태는 M_s 라고 하는 일정한 온도에서 변태하기 시작한다. 냉각도중 온도가 계속 내려가면 더 많은 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하며 M_f 온도에 도달할 때까지 계속된다.

보론강의 마르텐사이트 강화 기구의 이해를 돕고자 Fig 1에 보론강의 마르텐사이트 변태에 대한 개략도를 나타내었다.

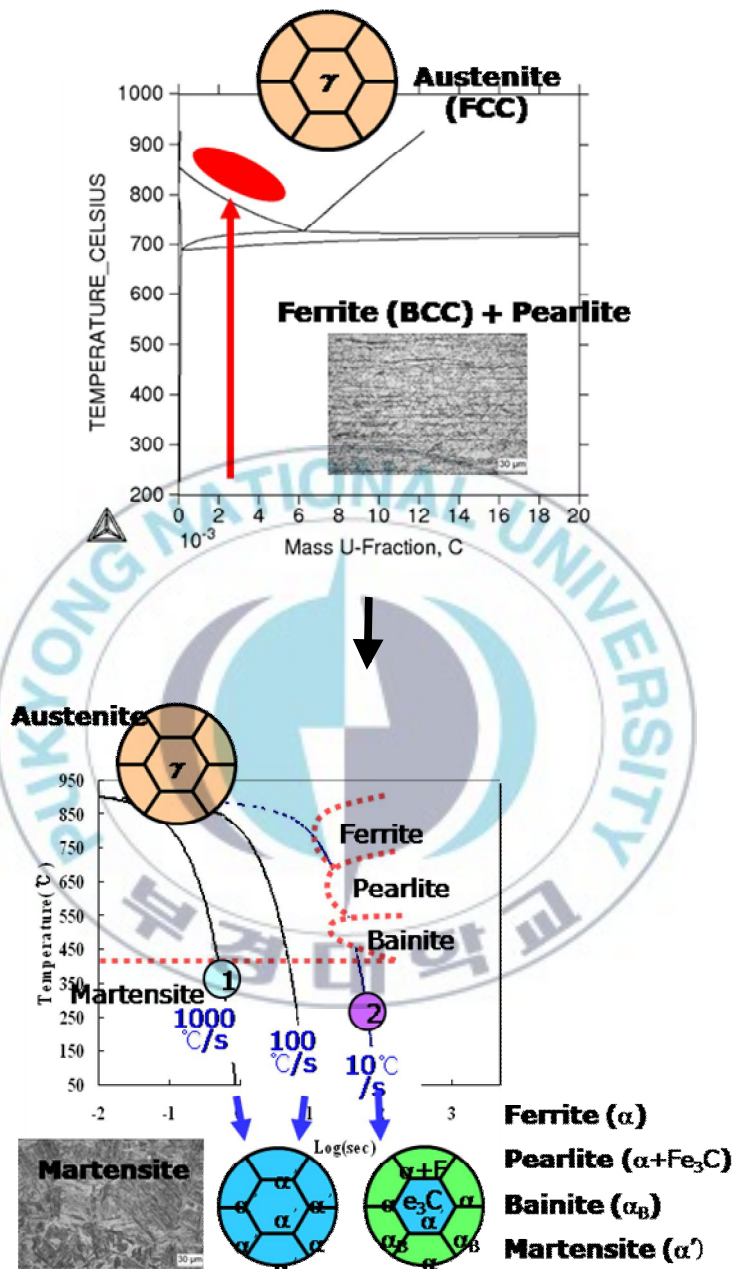


Fig. 2.1 Schematic diagram of boron steel's martensite transformation

2.2 TWB⁽¹⁰⁾

개발 배경은 자동차 연비 개선을 위해 기존 철강재 대체소재의 연구에 대응하고자 전세계 철강제조사들이 1994년 이후, ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) 이라는 Consortium 을 구성, 차량 경량화 기술 연구를 한 후로부터 TWB 와 Hydroforming 이 채용되었으며, TWB 는 자동차 연비를 향상시켜 지구 온난화 주범인 자동차 배기 가스를 줄이면서 동시에 안전도 향상을 꾀하는 첨단 공법이라 할 수 있다. 미국의 경우 MEDINA사를 비롯한 5개 회사가 GM, 포드, 크라이슬러에 연간 3,400만매를 납품하고 있으며, 유럽은 독일의 THYSSEN 과 오스트리아의 Voest Alpine 을 필두로 5개 회사에서 폭스바겐, BMW, 벤츠, 아우디, 재규어 등 유럽의 모든 차량에 연간 7,500만매를 공급하고 있다. 또한, 향후 시장규모가 지속적으로 성장할 것으로 전망되고 있다.

TWB는 Tailor Welded Blanks의 약자로 서로 다른 재질 및 두께의 판재를 자동차 요구 형태로 재단(Blank)하여 레이저 용접(Weld)한 것이다. 이 공법은 연비 절감을 위한 차체 경량화, 안전성을 고려한 내충격성 강화 및 원재료 최적화 배치를 통한 소재 절감을 향상을 통한 원가 절감의 특징을 가진 첨단 자동차 경량화 공법이다.

TWB 적용 제품은 Fig. 2.2에 나타나듯이 도어 인너 판넬, 리어휠 하우스, 필라 보강판넬 및 사이드멤버 판넬 등이다.

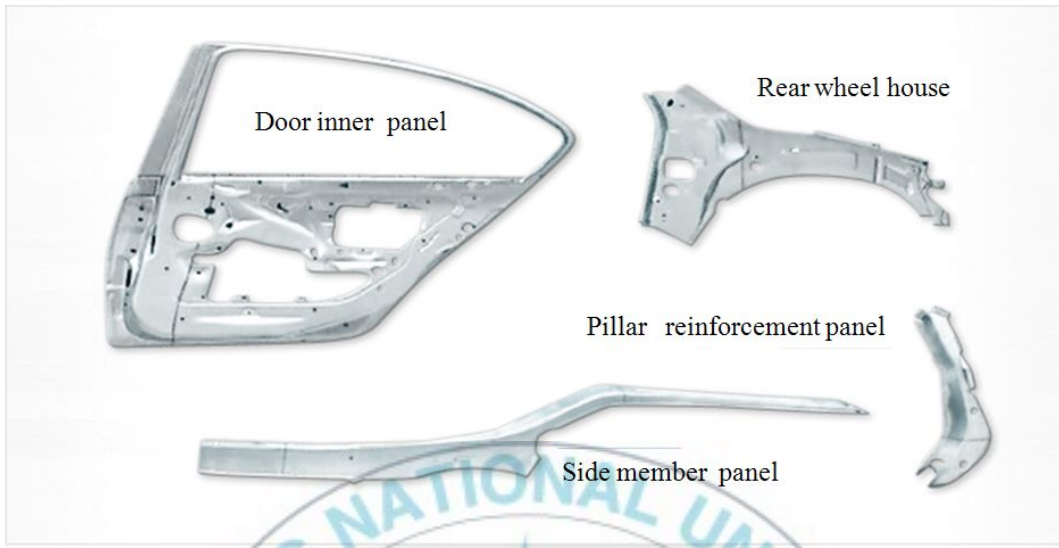


Fig. 2.2 Typical products from TWB

3. 재료 및 실험 방법

3.1 충돌 해석 대상 및 해석 방법

센터 필라의 경우, 승용차의 경량화 및 측면 충돌로 인한 승객의 안전성을 확보하기 위하여 Fig. 3.1(a)와 같이 상부에 고강도 재료를 적용하여 상부 충돌강성을 하부보다 더욱 높게 유지해야 한다. 그러나 Fig. 3.1(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. 3.1(c)와 같이 센터 필라의 하부에 상부보다 약한 강성을 부여하여 승객의 안전을 확보해야 한다. 이와 같은 이중재의 용접은 최근 맞춤식 재단 용접(TWB)으로 실시한다. 이것은 두께와 강도 재질 등이 서로 다른 강판을 적절한 크기와 형상으로 절단하여 레이저로 용접하여, 원하는 형태의 제품으로 가공하는 방법이다. 이렇게 함으로써 차체 부품 설계(강성) 최적화 및 소재 손실분(loss)를 최소화 하여 부품 생산비용을 크게 줄일 수 있다.

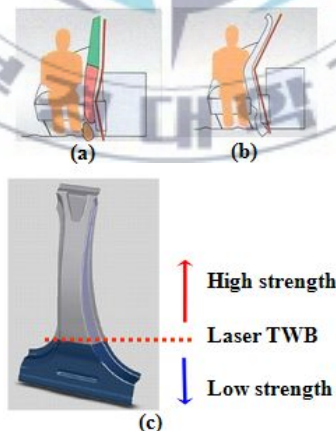


Fig. 3.1 The side collapse of center pillar. (a) different material, (b) same material, (c) outline of center pillar bonded with the different materials

일반적으로 자동차 연비 개선을 위해서는 엔진 효율 향상, 공력 개선, 타이어 롤링 마찰력 개선, 트랜스미션 효율 향상 및 경량화 등 다섯 분야에 대한 기술 개발이 필요하다. 그러나 앞선 4가지 분야는 기술 실현에 장기간과 고비용이 요구되며, 또한, 현재 개선효과를 한계점으로 보는 것이 일반적이다. 따라서 자동차 차체에 초고강도 소재 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 소재만으로 대응하기에는 이미 한계점에 도달하였다. 초고강도 금속 적용으로 형상 단순화, 소재 두께 감소 및 메인 판넬 내부 보강재 삭제 등으로 인한 경량화와 경량 소재인 알루미늄 및 보론 첨가 강을 적용하는 방안이 이에 대한 대안으로 떠오르고 있다. 사용한 소재는 뒤에서 설명하는 실험과 같은 것으로 상부 고강도강은 보론 첨가된 SABC1470, 하부 저강도강은 냉연강으로 SPFH590(KS D 3616)과 SPFC980(KS D 3617)이다. 레이저 용접은 1.4 mm 이중재 동종 두께의 강판을 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 3.1 및 Table 3.2와 같다.

Table 3.1 Mechanical Properties

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

Table 3.2 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	-	-

센터필라의 이중 용접부에 충격을 가하여 안전성을 검증하기 위한 해석을 실시하였다. TWB 용접선의 위치는 충격 시에 안전성에 영향을 미치므로 높이를 조절하여 실시하였다. 해석은 Fig. 3.2와 같은 구속조건 및 충격하중으로 하였다. 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/sec이다. 상하부의 용접선은 높이에 따르는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 3.3과 같이 300 및 400 mm로 하였으며, 상하부의 소재 및 TWB 위치를 Table 3.3에 나타낸다.

Table 3.3 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

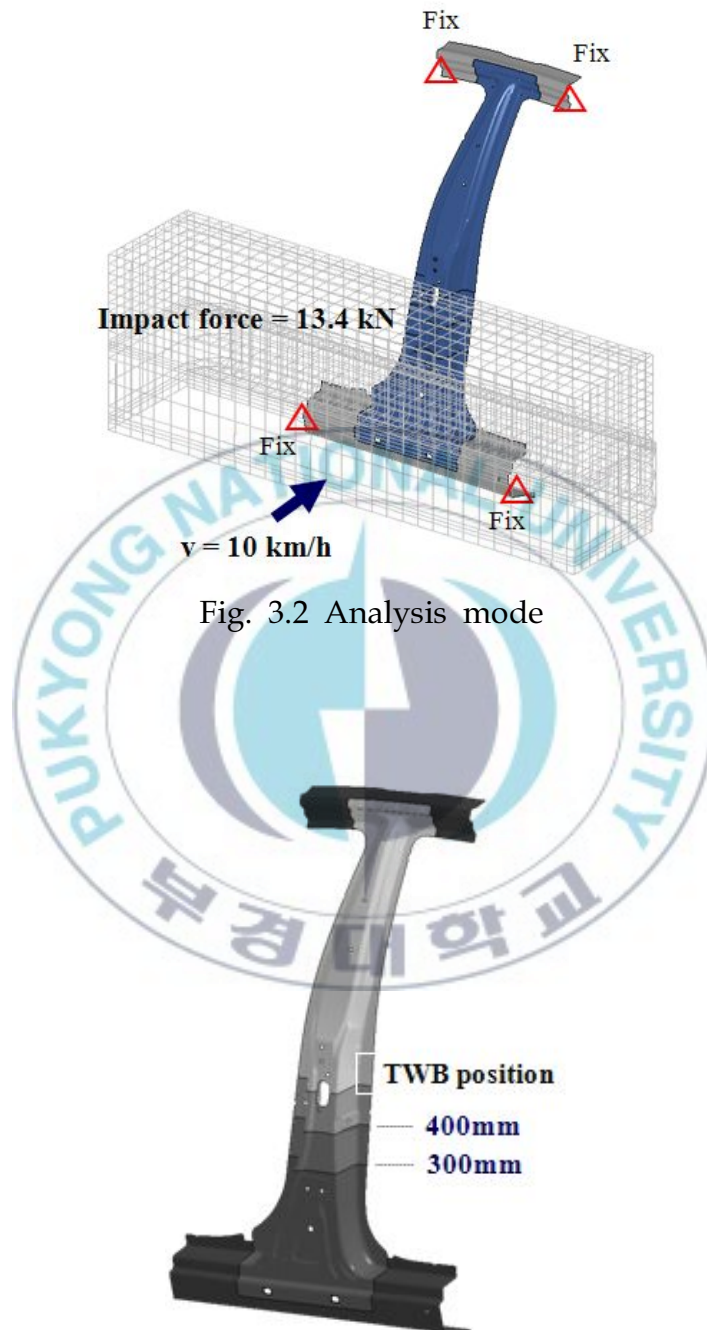


Fig. 3.3 TWB position for analysis

3.2 TWB 이중재 시험편의 기계적 특성

기계적 특성 평가에 사용한 소재는 해석에서 사용한 소재와 같은 것을 사용하였다. 즉, 상부 고강도강은 보론 첨가된 SABC1470 강판(신일본제철)으로 산화피막발생을 방지하기 위하여 Al+Si를 도금처리 한 소재이고, 하부 저강도강은 냉연강으로 SPFH590(신일본제철)과 SPFC980(현대하이스코)이다. 소재의 두께는 1.4 mm이며, 기계적 특성 및 화학적 성질은 Table 3.1 및 Table 3.2와 같다.

이중재의 TWB는 3.1절에 나타난 것과 같다. 레이저 TWB된 시험편의 수냉 조건에 따른 기계적 특성 변화를 관찰하기 위하여 시험편을 850, 900, 950 °C에서 7분간 열처리한 후 수냉하였다. 수냉 조건은 0과 10 s 대기중에 노출 후 수냉하였다. 이 냉각 조건은 핫 스탬핑 조건에서 SABC1470강이 마르텐사이트 변태를 유지할 수 있는 조건이다.⁽¹¹⁾ 고강도를 유지하기 위하여 열처리가 필요한 부분은 마르텐사이트 변태가 필요한 SABC1470이므로, 하부 냉연강의 열처리 방지를 위하여 이중의 차폐 처리를 하여 열처리 실시하였다. 하부 냉연강은 SiC 세라믹스로 밀폐 처리한 후, 1300 °C 이상의 고온에 견디는 단열재를 사용하여 이중으로 밀폐 후, SABC1470 부분만 마르텐사이트 변태화시켰다.

레이저 용접된 이중재 시험편의 인장시험은 만능 시험기(모델명: Zwick/Roell Z250)를 사용하였다. 시험 조건은 예비하중을 50 N으로 가한 상태에서 시험 속도를 1 mm/min로 실시하였다. 시험편의 형상 및 치수를 Fig. 3.4에 나타낸다.

센터 필라의 충돌에 의하여 변형되는 양상을 관찰하기 위하여, 부정정 조건으로 구속하여 이중접합재 시험편의 고속 굽힘 시험을 실시하였다. 시험은 49 kN의 만능인장시험기(Instron 4204)를 사용하였다. 시험편은 KS 규격에 의하여 제작하였으며 시험편의 형상과 치수를 Fig. 3에 나타낸다. 하중의 부하는 접합부에서 20 mm 떨어진 SABC1470에 가하였으며, 크로스 헤드 속도는 200 mm/min이다.

시험편의 조직은 나이탈 3% 용액으로 에칭하여 금속현미경으로 관찰하였다.

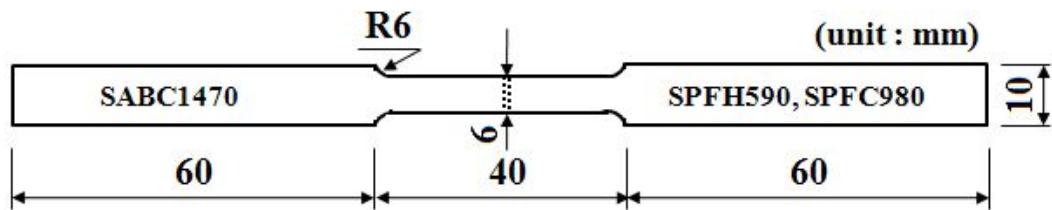


Fig. 3.4 Shape and dimensions of tension specimen of different materials bonded with laser TWB

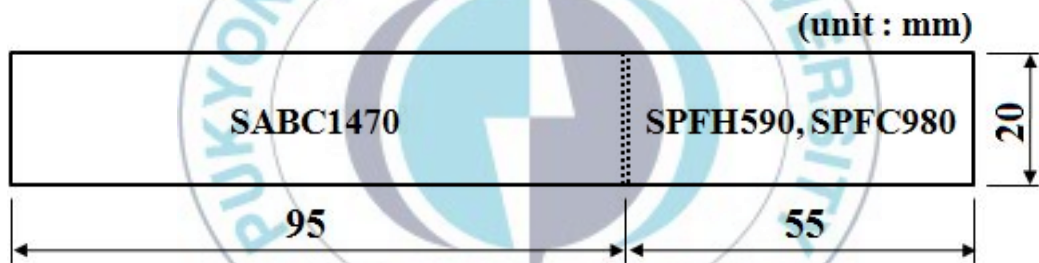


Fig. 3.5 Shape and dimensions of high speed bending specimen of different materials bonded with laser TWB

3.3 TWB 이종재 시험편의 내식 특성⁽¹²⁻¹⁴⁾

내식 특성 평가를 위한 시험편은 위에서 설명한 것과 같은 것을 사용하였으며, TWB 이중재 시험편은 보론강 SABC1470의 고강도화를 위하여 SPFH590과 SPFC980은 차폐하여 850 및 950 °C에서 7분간 유지 후, 급냉하여 마르텐사이트 변태시켰다.

시험편의 크기는 Fig. 3.6에 나타내는 것과 같이 KS D 9502 규정의 150 × 70 mm보다 약간 큰 160 × 85 mm이다. 이것은 가장자리 부분에서 부식이 시작되는 것을 방지하기 위하여 테이핑 처리 할 여유이다. 시험편은 부식을 방지하기 위하여 뿌려놓은 기름이나 오물을 제거하기 위하여 탈지제(중외 휴먼텍, CW-ISC/D, 강력탈지 세척제, CW-1020)를 사용한 뒤, 이소프로판올에서 5분간 초음파 세척하였다.

염수부무시험에 사용할 용접재 시험편은 오물을 제거하고 사용한 것과 표면에 부식방지를 위하여 개발된 유/무기 하이브리드 용액으로 코팅한 것을 사용하였다. 코팅 용액은 LR-0727(1) (우레탄 13 wt.% + Si polysilicate 7 wt.% + Ti 아모르퍼스 0.5 wt.%)과 LR-0727(2) (우레탄 7 wt.% + Si polysilicate 7 wt.% + Ti 아모르퍼스 0.5 wt.% + 에폭시 6 wt.%)을 사용하였다. 코팅은 바코터 3호(습도막 두께: 6.86 μm)를 사용하였으며, 열처리 온도 190 °C에서 5분간 유지 후, 수냉 처리하였다. 이때 열처리된 코팅층의 두께는 습도막의 두께 x 코팅액의 고형분으로 계산하면 약 1.37 μm 정도이다. 그리고 수냉 후, 코팅면적이 150 × 70 mm이 되도록 가장자리에 테이핑 처리하였다.

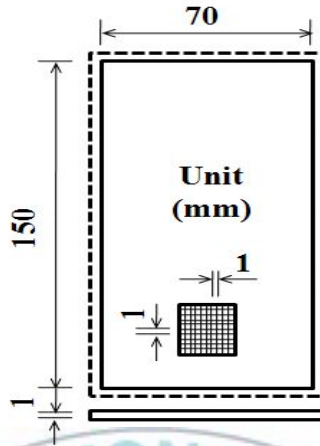
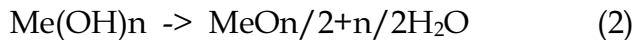


Fig. 3.6 Dimensions of specimen for salt spray test

유/무기 하이브리드 용액은 Fig. 3.7에 나타난 반응의 가수분해에 의하여 폴리실리케이트 용액을 만들 수 있다. 금속 알콕사이드를 Me(OR)_n 으로 나타내면, 식(1)의 반응과 같이 가수분해하여 생성된 Me(OH)_n 은 용액 중에서 식(2)와 같이 반응이 진행된다.



여기서, Me는 Si, Ti, Al, Ba 등의 금속, R은 CH_3 , C_2H_5 , C_3H_7 등의 알킬기, n은 금속의 산화수를 나타낸다.



Me(OH)_n 이 식(2)에 의하여 중축합하여, 용액 중에 $-\text{Me-O-Me-O}-$ 의 결합이 형성된 골격을 가지는 산화물 미립자가 생성되고, 연결되어 건조 후에 치밀한 피막이 형성된다.

염수분무시험은 코팅된 용접재 시험편의 내식특성을 조사하기 위하여 염수분무시험기(Test mate Co. Ltd.)를 사용하였다. 2가지 코팅 용액의 내식성을 비교하기 위한 시험편은 각각의 용액에 대하여 5개씩 사용하

였다. 시험편은 챔버 내의 45°기울어진 거치대에 설치하고, 분무실내의 온도는 35±2 °C로 유지하면서 중성 염수를 분무하여 시험을 실시하였다. 시험편은 30분 간격으로 관찰하였으며, 72시간동안 실시하였다. 시험편의 내식성 평가는 촬영한 사진으로 초기 부식의 발생시간과 부식의 진행영역의 넓이(부식 면적률)로 판단하였다. 부식면적률은 모눈종이법으로 구하였다. Fig. 3.8은 염수분무 시험의 흐름도이다.

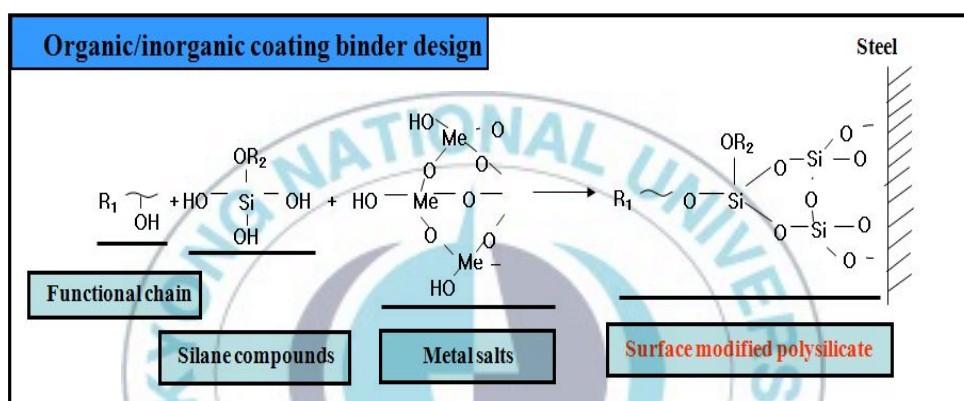


Fig. 3.7 Organic/inorganic coating binder design

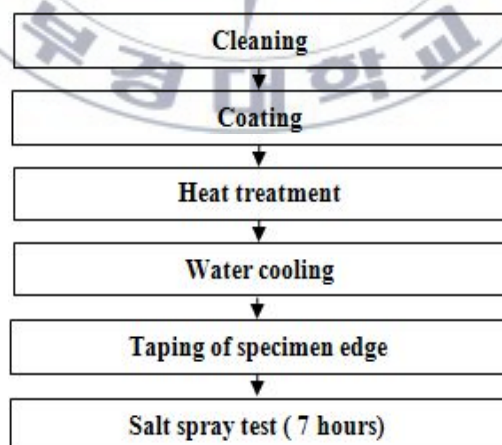


Fig. 3.8 Flow chart of salt spray test

4. 결과 및 고찰

4.1 충돌 해석

Fig. 4.1에 충돌속도 $v = 10 \text{ km/h}$ 에 따르는 시간과 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. 4.2는 충돌하중과 시간과의 관계를 나타낸다. Case 1과 2는 0.045 ms이후에 과대한 충돌하중이 나타났다. 따라서 이 조건은 사용할 수 없는 것이라 판단된다. 그러나 Case 3과 4는 충돌하중이 완만하게 증가하여 본 연구의 TWB 높이 조건을 만족하는 것이라 판단된다.

Fig. 4.3은 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 4.1에 나타내었다. 여기서 충격력은 Fig. 4.2의 0.04 ms에서의 값이다. 4가지 조건에서 변형량이 작을수록, 충격력이 클수록, 충격 흡수 에너지가 클수록 성능이 우수하다고 판단된다.

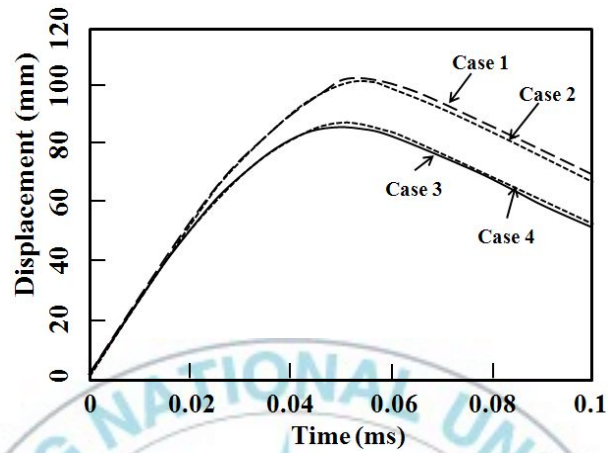


Fig. 4.1 Displacement versus time for four cases

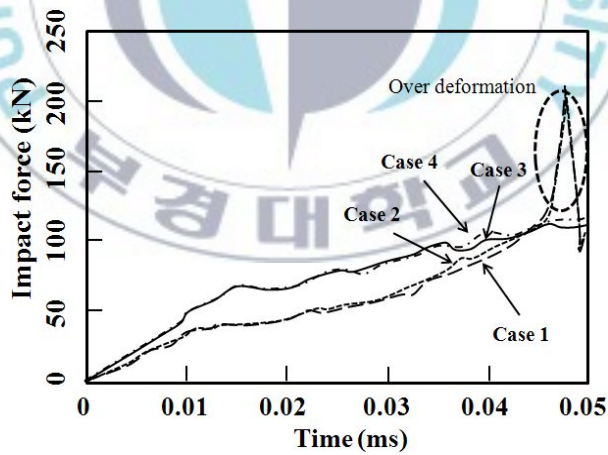


Fig. 4.2 Impact force versus time for four cases

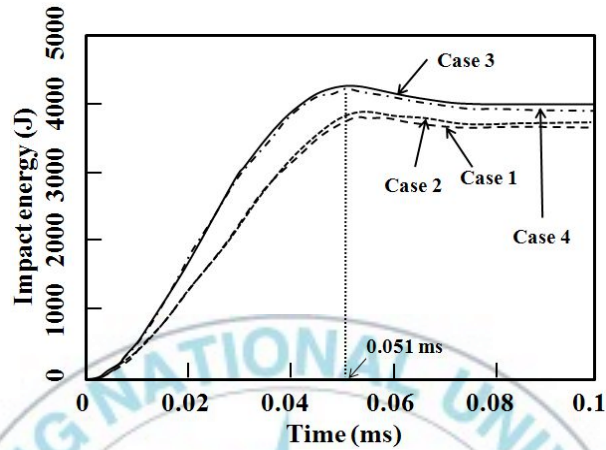


Fig. 4.3 Impact energy versus time for four cases

Table 4.1 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. 4.4 ~ 4.6은 센터 필라의 외측, 내측, 측면의 충돌 시험 전후에 따른 변형을 나타내고 있다. Fig. 4.4 ~ 4.6에서 Case 1, 2의 경우는 과도한 변형으로 상대 비교가 불가능하며, Case 3, 4에 비하여 충돌 성능이 떨어진다. 또한 하단부 기준으로 TWB 용접선의 위치가 짧을수록 성능이 우수하게 나타났다. 즉, 상대적으로 상부의 SABC1470 소재가 차지하는 비율에 따라 성능이 좌우되는 양상을 보인다. 이것은 하부에 사용하는 냉연강 SPFC980 및 SPFH590의 강도 및 연신율에 의존하는 것으로 충격하중에 의한 SPFC980의 변위가 작고(Fig. 4.1), 충격력은 크게(Fig. 4.2) 나타났다. 또한 충격 에너지도 크게(Fig. 4.3) 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.

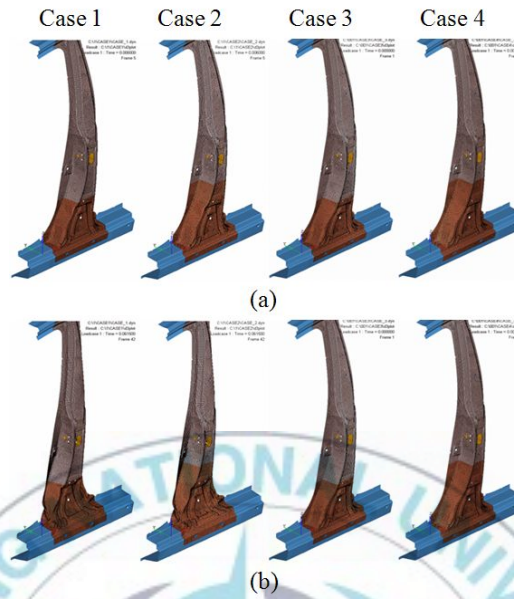


Fig. 4.4 Deformation behavior of before-and-after of the outside for Impact force. (a) Before, (b) After

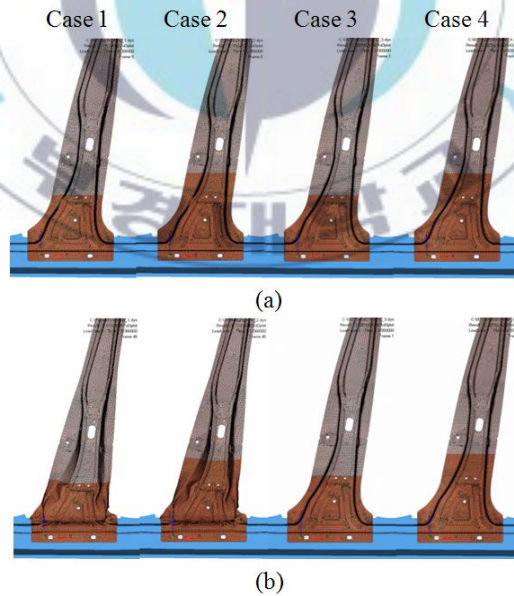


Fig. 4.5 Deformation behavior of before-and-after of the inside for Impact force. (a) Before, (b) After

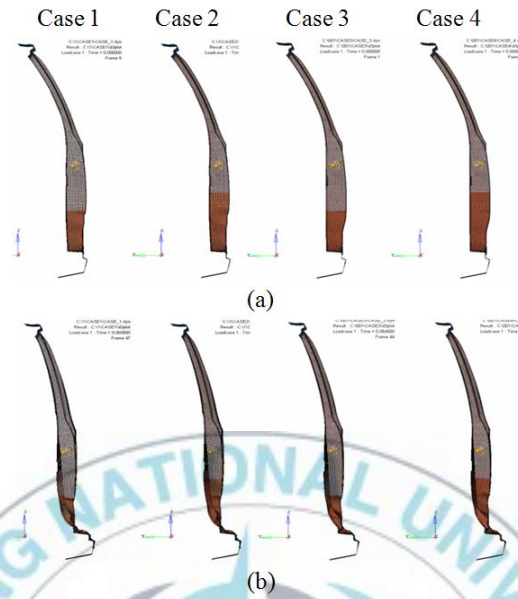


Fig. 4.6 Deformation behavior of before-and-after of the side for Impact force. (a) Before, (b) After

4.2 기계적 특성

4.2.1 TWB 이중용접재의 인장 특성

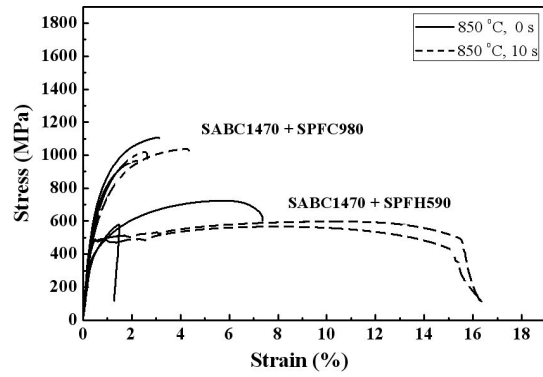
레이저 TWB된 시험편을 사용하여 SABC1470 소재는 고강도화를 위하여 850, 900, 950 °C에서 7분간 열처리한 후, 수냉한 TWB시험편의 인장시험 결과를 Fig. 4.7에 나타낸다. 같은 온도에서 열처리한 TWB시험편은 수냉 시간까지 대기시간이 길어짐에 따라서 인장 및 항복강도가 낮아지는 경향을 보였다. 모든 조건에서 SABC1470 + SPFC980의 TWB 시험편이 SABC1470 + SPFH590 TWB시험편보다 높은 인장강도를 나타내었다. 이것은 SPFC980의 모재 인장강도가 SPFH590보다 높기 때문이다. 한편 SABC1470강은 840 °C이상에서 인장강도 1500 MPa 이상을 나타내었다.

SABC1470 + SPFH590 TWB시험편은 이중 재료간의 강도차이가 매우 크다. 이러한 강도차이는 인장시험에서 상대적으로 강도가 낮은 냉연강 및 용접부에서 파단을 일으키는 원인이 되어 전체적으로 낮은 인장강도와 높은 연신율을 나타내는 이유가 되었다고 판단된다. 열처리 온도 850과 900 °C의 강도는 SPFH590 모재의 항복 강도 정도를 나타내고 있고, 950 °C는 모재보다 높은 강도를 나타내고 있다. 950 °C의 경우는 SABC1470을 열처리할 때, SPFH590으로 열전달이 되는 것을 밀폐시켰지만 높은 온도로 인하여 열처리가 되어 강도가 높게 나타났다고 판단된다.

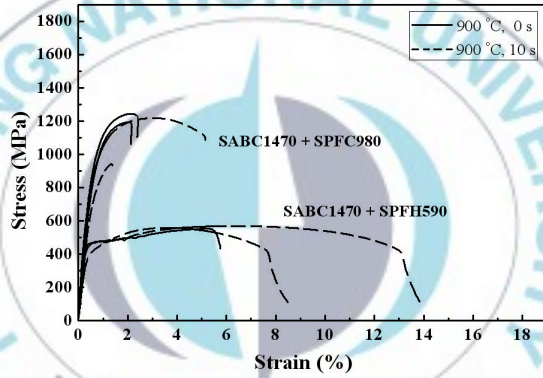
SABC1470 + SPFC980 TWB시험편은 850과 900 °C의 열처리에서 평균 1000 및 1200 MPa이상의 높은 강도를 나타내었으나, 3 % 이하의 낮은 연신율을 보였다. 그러나 950 °C 7분간 열처리 후, 대기중에서 10 s 방치 후 급냉 처리한 TWB시험편은 평균강도 1359 MPa, 평균연신율 4.8 %의 값을 나타내었다. 이 시험편의 경우는 SPFC980의 모재 강도가 높기 때문에 SPFH590 TWB시험편보다 높은 강도를 나타내었다.

SABC1470강은 840 ℃ 이상에서 1500 MPa 이상의 인장강도를 가지므로, 본 연구에서 열처리한 850 ℃ 이상의 온도는 충돌에 의하여 승객의 상체를 보호할 수 있는 충분한 고강도를 확보하였다고 판단된다. 따라서 충격에너지를 흡수하는 냉연강의 충분한 연성을 고려하면 850 ℃의 SABC1470 + SPFH590 TWB시험편이 적당한 조건이라 판단된다.

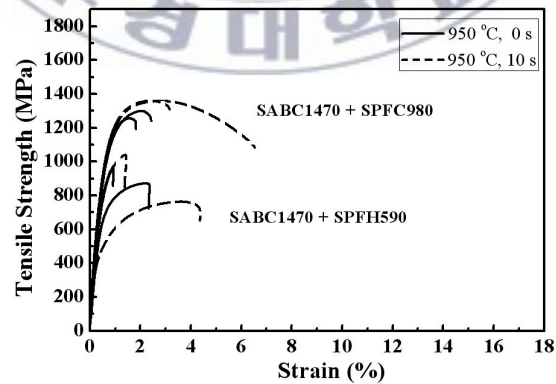




(a)



(b)

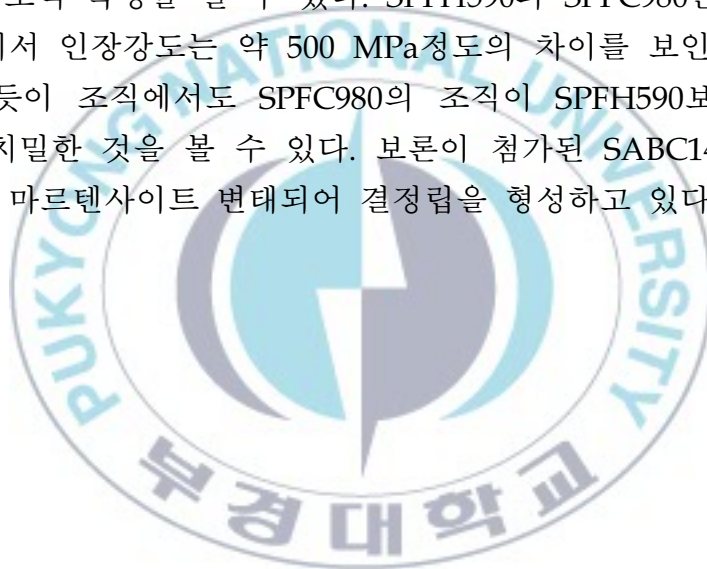


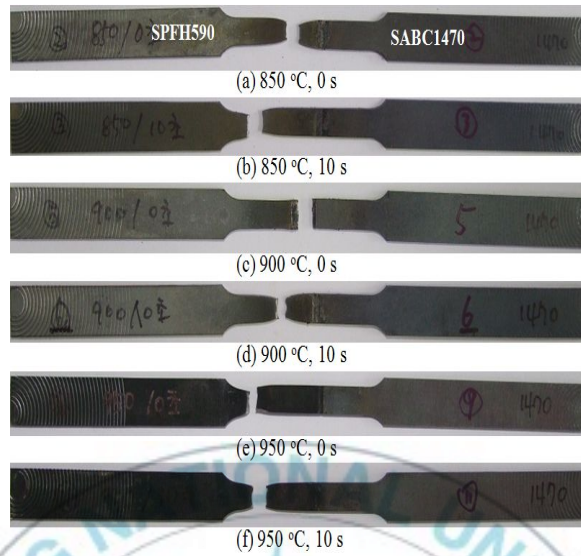
(c)

Fig. 4.7 The curve of stress and strain of different materials bonded with laser TWB. (a) 850 °C, (b) 900 °C, (c) 950 °C

인장시험에서 얻어진 파단 시험편의 외관을 Fig. 4.8에 나타낸다. (a)는 SPFH590 + SABC1470이고, (b)는 SPFC980 + SABC1470이다. Fig. 4.8 (a)와 (b)에서 TWB 시험편은 냉연강인 SPFH590과 SPFC980 모재 또는 용접부에서 파괴하였다. 그러나 보론 첨가강인 SABC1470에서 파단된 것도 있었다. 이것은 시험편의 가공 결함 또는 열처리의 불균일에 의한 것이라 판단된다.

Fig. 4.9는 본 연구에 사용된 시험편의 조직을 관찰한 것으로 강도차이에 따른 조직 특성을 알 수 있다. SPFH590과 SPFC980은 냉연강으로 Table 3.1에서 인장강도는 약 500 MPa정도의 차이를 보인다. 강도차에서 나타나듯이 조직에서도 SPFC980의 조직이 SPFH590보다 결정립이 미세하고 치밀한 것을 볼 수 있다. 보론이 첨가된 SABC1470은 열처리한 것으로, 마르텐사이트 변태되어 결정립을 형성하고 있다.





(a) SPFH590 + SABC1470



(b) SPFC980 + SABC1470

Fig. 4.8 Appearance of fractured specimens

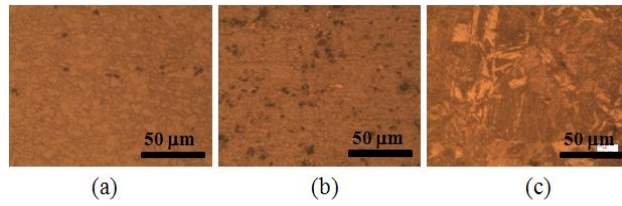


Fig. 4.9 Microstructure of as-received materials. (a) SPFH590, (b) SPFC980, (c) SABC1470

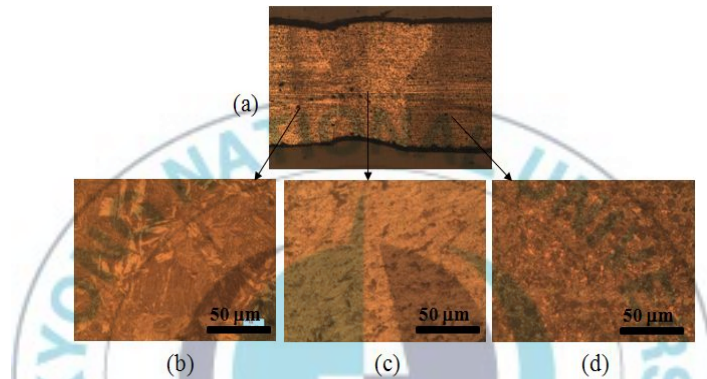


Fig. 4.10 Microstructure of different materials bonded with SABC1470 and SPFC980. (a) Appearance of weld zone, (b) SABC1470, (c) Weld metal zone, (d) SPFC980

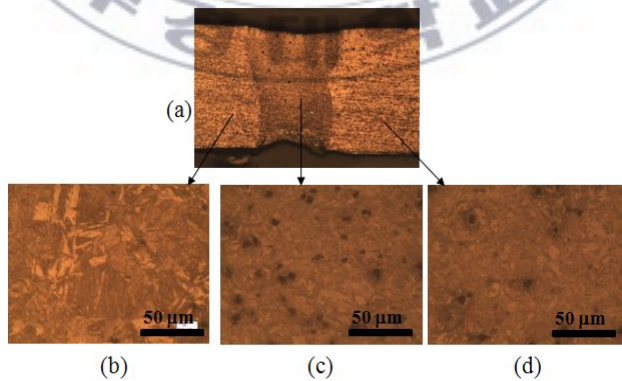


Fig. 4.11 Microstructure of different materials bonded with SABC1470 and SPFH590. (a) Appearance of weld zone, (b) SABC1470, (c) Weld metal zone, (d) SPFH590

Fig. 4.10과 4.11은 각각 인장시험에서 최대 강도를 나타낸 950 ℃, 10 s의 SABC1470 + SPFC980 TWB시험편과 SABC1470 + SPFH590 TWB 시험편의 미세조직을 나타낸 것이다. (a)는 용접부를 나타낸 것이며, (b) ~ (d)는 각 부분의 미세조직을 나타낸다. Fig. 4.10 (b)는 보론 첨가한 SABC1470으로 마르텐사이트 조직을 나타내고 있다. Fig. 4.10 (c)는 용착부로 페라이트와 시멘타이트가 침상으로 보이는 하부 베이나이트의 형상을 하고 있으며, Fig. 4.10 (d)는 저탄소강 SPFC980의 조직으로 페라이트와 약간의 펄라이트를 나타낸다. Fig. 4.11 (c)는 용착부로 페라이트와 소량의 펄라이트로 이루어져 있으며, Fig. 4.11 (d)는 SPFH590의 조직으로 Fig. 4.11 (c)보다 약간 조대한 페라이트와 펄라이트를 나타낸다.



4.2.2 TWB 이중용접재의 부정정 고속 굽힘 특성

승용차의 센터필라가 충돌에 의하여 변형되는 특성을 평가하기 위하여 TWB 시험편의 고속 굽힘 시험을 실시하였다. 센터필라가 구속되어 있는 구조물과 같은 조건을 고려하여 부정정 조건으로 굽힘을 실시하였다.

Fig. 4.12는 TWB시험편을 사용하여 고속 굽힘 시험을 실시한 후의 외관을 나타낸다. 4.12 (a)는 SPFH590 + SABC1470 TWB시험편, (b)는 SPFC980 + SABC1470 TWB시험편을 나타낸다. 그림에서 ○는 용접부를 나타낸다. 4.12 (a)에서 열처리에 의하여 마르텐사이트 변태한 고강도 SABC1470 재료에 고속 굽힘 하중을 가하였지만, 연성이 많은 냉연강 SPFH590 재료가 하중점의 최대 처짐과 같은 형태로 소성 변형하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 충돌이 발생하면, 냉연강 SPFH590 소재는 큰 변형이 나타나고, 보른 첨가강 SABC1470은 거의 변화가 없다는 것은 의미한다. 따라서 SPFH590 소재는 충돌에 의한 에너지를 흡수하여 승객의 상체 부분의 안전성을 확보하기 위한 TWB 이중접합재로 적합하다고 판단된다.

그러나 4.12 (b) SPFC980 + SABC1470 TWB시험편은 SPFC980 재료의 인장강도가 1100 MPa 이상이므로 SABC1470 재료에 고속 굽힘 하중을 부하하여도 최대 처짐은 부정정보의 중심에서 발생하고 있다. 이와 같이 강도가 큰 소재로 이루어진 TWB 이중접합재는 자동차 차체에 있어 측면 충돌이 실제로 발생할 경우 해당 두 종류의 소재가 기계적 특성이 유사해 센터필라의 하측, 즉 차체 바닥면 쪽(탑승자의 둔부 아래쪽)으로의 변형에 의한 충격 흡수가 이루어지지 않고 센터필라 중심부에서 급격한 좌굴이 발생하여 탑승자의 상체 측면에 높은 상해치를 가할 수 있으므로 승객의 안전성을 확보하기 위한 센터필라의 구조물로서 적당하지 않다고 판단된다.

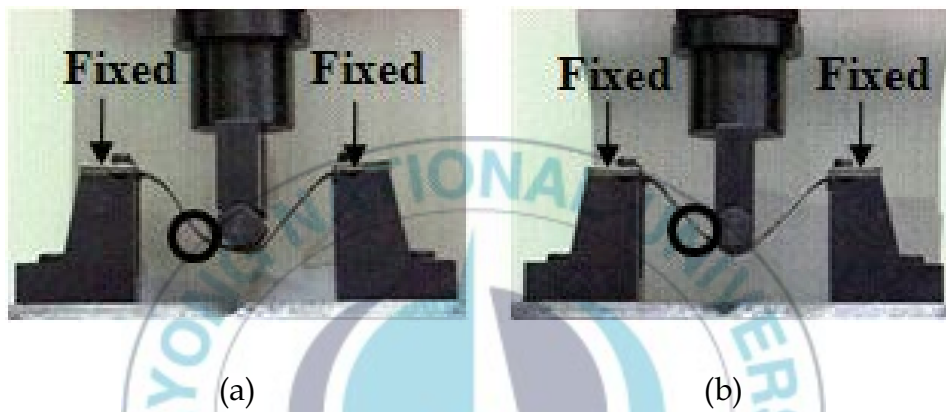


Fig. 4.12 The pattern of high speed bending. (a) SPFH590 + SABC1470, (b) SPFC980 + SABC1470

부정정 시험편의 고속 굽힘 시험에서 얻어진 하중-처짐 곡선의 2.9 kN 하중점에서의 처짐을 구하여 Fig. 4.13 나타내었다. 4.13 (a)는 SABC1470 + SPFH590 TWB시험편이고, 4.13 (b)는 SABC1470 + SPFC980 TWB 시험편이다. 4.13 (a), (b)에서 처짐은 수냉까지의 시간에 큰 상관없이 열처리 온도에 따라서 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 열처리 온도가 증가함에 따라서 SABC1470의 인장강도가 증가하여 저항력이 증가한 것이 원인이라 판단된다. 그리고 SABC1470 + SPFH590 TWB시험편의 처짐이 SABC1470 + SPFC980 TWB시험편보다 처짐이 약간 큰 것을 알 수 있다. 이것은 SPFH590 소재는 강도가 작고 연성이 많아서, Fig. 4.12 (a)와 같이 SABC1470 소재를 굽힘하여도 SPFH590 소재가 변형하기 때문이다. 한편 SPFC980 소재는 강도가 크고 연성이 작아 SABC1470 소재와 유사한 변형을 하기 때문에 처짐이 약간 작다고 판단된다. 이와 같은 결과로 부터 추돌에 의한 승객의 안전성을 고려하면 상부는 보론 첨가강 SABC1470, 하부는 냉연강 SPFH590 소재를 사용하여 TWB하는 것이 안전하다고 판단된다.



(b) SABC1470 + SPFC980

Fig. 4.13 Deflection according to temperature of TWB specimen at statically indeterminate condition

4.3 내식 특성

3종의 모재(SABC1470, SPFH590, SPFC980)에서 실시한 염수분무시험의 결과를 Fig. 4.14에 나타낸다. 이것은 구입한 재료 자체를 사용한 것이다. 이 그림에서 Al+Si 도금되어 있는 SABC1470은 시험을 시작하여 18시간이 경과한 후에 적녹이 발생하였으며, 아연 도금되어 있는 SPFH590은 6시간이 경과한 후에 백청이 발생하였다. 한편, 무도금한 SPFC980은 30분이 경과하기도 전에 많은 적녹이 발생하였다. 따라서 부식을 방지하기 위하여 표면에 도금되어 있는 재료가 내식성이 우수하다는 것을 알 수 있었으며, 특히 SABC1470 재료가 탁월하다는 것을 알 수 있다. 이것은 유/무기 하이브리드 코팅용액에서 Si polysilicate가 열처리에 의하여, 식(1)의 Me를 Si가 대체하여 우수한 내식성을 나타내는 것과 같이, 표면에 도금되어 있는 Si의 산화물에 의한 것이라 판단된다.

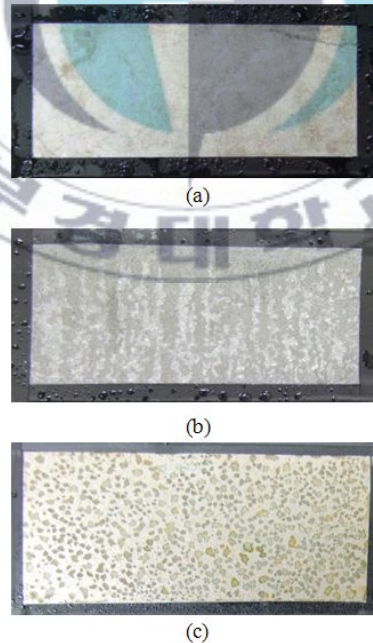


Fig. 4.14 Results of salt spray test from as-received specimens. (a) SABC1470, (b) SPFH590, (c) SPFC980

남 등⁽¹⁵⁾은 SPFC980과 같이 자동차, 냉장고, 세탁기, 사무용 기구 등 가정용품으로 부터 산업기계 및 각종 건축용 자재에 이르기까지 광범위하고 다양한 용도로 사용되고 있는 무도금한 냉간압연강판에 본 연구에서 사용한 2종류의 용액으로 코팅된 시험편의 내식성을 평가하였다. 그 일례를 Fig. 4.15에 나타낸다. 이 그림은 7시간 동안 염수분무실험을 실시한 결과이다. 냉간압연강판에 본 연구에서 사용하는 2종류의 유/무기 하이브리드 용액과 동일한 것을 사용하여 코팅한 시험편은 7시간(420분)이 경과하여도 표면은 아무런 변화가 없었다. 이것은 무도금한 SPFC980이 30분 경과하기도 전에 많은 적층이 발생한 것과 비교하면 매우 우수한 내식특성을 나타내는 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서 사용하는 3종류의 재료는 2종류의 용액으로 코팅하면 매우 우수한 내식특성을 나타낼 것으로 판단된다. 이것은 저자들이 사용한 유/무기 하이브리드 코팅용액에서 Si polysilicate 및 Ti 아모르퍼스가 열처리에 의하여 식(1)의 Me를 대체하여 우수한 내식성을 나타낸다고 판단된다. 여기서 식(1)의 Me를 Si와 Ti가 대체하였기 때문에 우수한 내식성을 나타내므로, 열처리에 의하여 코팅층에 Si와 Ti가 생성 되었는지를 확인하기 위하여 LR-0727(2) 코팅 시험편을 사용하여 EDX분석을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 4.16에 나타낸다. 이 그림에서 Si와 Ti가 검출된 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 4.15 Results of salt spray test in 72 hour from coated specimen of cold rolled steel, (a) LR-0727(1) coated specimen, (d) LR-0727(2) coated specimen

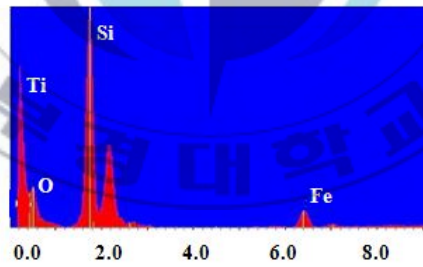


Fig. 4.16 Result of EDX of LR-0727(2) coated specimen

Fig. 4.17과 Fig. 4.18은 이중 용접시험편을 72시간 동안 염수분무 시험 후의 시험편 외관을 나타낸 것이다. Fig. 4.17은 LR-0727(1) 용액을 코팅한 시험편이고, Fig. 4.18은 LR-0727(2) 용액을 코팅한 시험편이다. Fig. 4.17과 Fig. 4.18에서 왼쪽은 SABC1470이고, 오른쪽은 각각 SPFH590과 SPFC980이다. 위에서 설명하였듯이 용접시험편은 SPFH590과 SPFC980은 차폐하고, SABC1470은 850 및 950 °C에서 7분간 열처리 하고, 2종류의 용액을 코팅하여 190 °C에서 5분간 열처리 하였다. 모든 용접시험편은 6시간 후에 부식이 시작되었으며, 2종류의 용액에서는 비슷한 경향을 나타내었다. SABC1470은 우수한 내식성을 나타내었으나, SPFH590과 SPFC980은 부식이 많이 발생하였다. 이것은 본 연구에서는 SPFH590과 SPFC980에 차폐하고, SABC1470의 마르텐사이트 변태를 위하여 열처리를 실시하였지만, 차폐한 SPFH590과 SPFC980에 열전도 되어, SPFH590의 아연도금이 박리되거나 SPFC980의 표면이 열화되어 용액이 일정한 두께로 코팅되지 않았기 때문이라 판단된다.

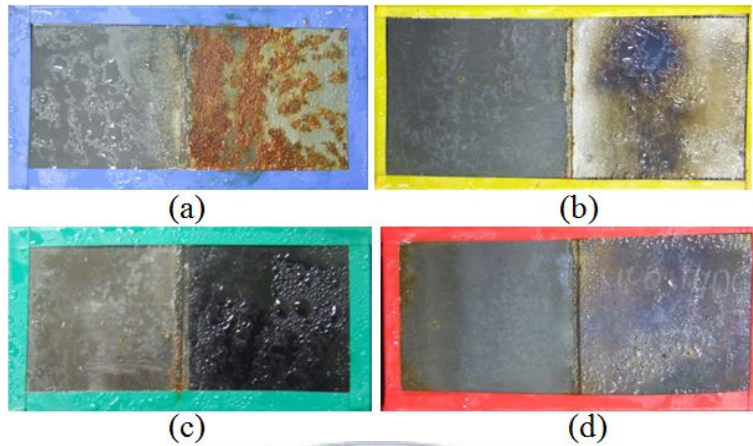


Fig. 4.17 Appearance after salt spray test during 72 hours at welding specimen with LR-0727(1) coating solution. (a) SABC1470(850 °C)+SPFH590, (b) SABC1470(850 °C)+SPFC980, (c) SABC1470(950 °C)+SPFH590, (d) SABC1470(950 °C)+SPFC980

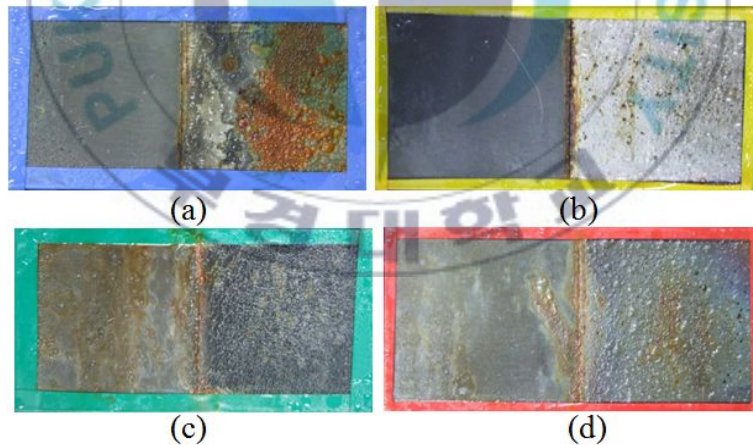


Fig. 4.18 Appearance after salt spray test during 72 hours at welding specimen with LR-0727(2) coating solution. (a) SABC1470(850 °C)+SPFH590, (b) SABC1470(850 °C)+SPFC980, (c) SABC1470(950 °C)+SPFH590, (d) SABC1470(950 °C)+SPFC980

Fig. 4.17 및 Fig. 4.18과 같은 시험편에서 부식면적률을 염수분무시간에 대하여 Fig. 4.19에서 나타내었다. 모든 용접시험편에서 LR-0727(1)용액이 LR-0727(2)보다 우수한 내식성을 나타내었다. 72시간의 염수분무 시험 후에 SABC1470+SPFH590 용접시험편은 950℃에서 열처리한 시험편이 850℃에서 열처리한 시험편보다 내식성이 매우 우수하였으며, SABC1470+SPFC980 용접시험편은 850℃에서 열처리한 시험편의 내식성이 우수하였다. 그러나 부식률이 급격하게 증가한 것은 SPFH590과 SPFC980의 열화로 인하여 내식성이 상대적으로 약하여 면적률이 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편, 시험편의 종류와 열처리 온도에 따른 부착성의 상관관계와 용접부의 부식특성에 대해서는 앞으로의 연구 과제로 판단된다.





Fig. 4.19 The relationship between percentage of rust and salt spray test time of welding specimen

5. 결 론

본 연구에서는 승객의 안전 및 경량화를 위하여 센터 필라에 적용하기 위하여 상하 강성이 다른 소재 (상부 보론 첨가강 SABC1470, 하부 냉연강 SPFH590 및 SPFC980)를 레이저 TWB하여, TWB 이중접합강의 충돌 특성을 해석하고, SABC1470 소재는 열처리에 의하여 고강성을 부여하고, 수냉까지 대기 시간에 따르는 인장 특성 및 센터 필라와 같이 구속된 부정정 조건으로 고속 굽힘을 실시하여 변형 특성을 평가하였다. 또한 모재 및 용접재를 사용하여 내식성을 평가하였다.

- (1) 충돌 해석에서 하부 냉연강 기준으로 TWB의 위치가 짧을수록 성능이 우수하게 나타났다. 즉, 상대적으로 상부 고강도강인 SABC1470 재료가 차지하는 비율에 따라 성능이 좌우되었다.
- (2) 해석 결과에서 냉연강 SPFC980을 사용하고 하부에서 길이 300 mm인 경우가 변형량이 가장 작고, 충돌 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 동일 온도에서 열처리한 TWB시험편은 수냉까지 대기시간이 길어짐에 따라서 인장 및 항복강도가 낮아지는 경향을 보였다.
- (4) 충돌에 의하여 승객의 상체를 보호할 수 있고, 충격에너지를 흡수하는 냉연강의 충분한 연성을 고려하면 850 °C의 SABC1470 + SPFH590 TWB시험편이 적당한 조건이라 판단된다.
- (5) 보론 첨가한 SABC1470은 열처리에 의하여 마르텐사이트 조직을 나타내고, SPFC980의 용착부는 페라이트와 시멘타이트가 침상으로 보이는 하부 베이나이트의 형상을 하고 있으며, SPFC980은 페라이트와 약간의 펄라이트를 나타내었다. SPFH590의 용착부는 페라이트와 소량의 펄라이트 조직이고, SPFH590은 약간 조대한 페라이트와 펄라이트를 나타내었다.
- (6) 센터 필라와 같은 부정정 조건인 고속 굽힘 시험에서 충돌에 의한

승객의 안전성을 고려하면 상부는 보론첨강 SABC1470, 하부는 냉연강 SPFH590 소재를 사용하여 TWB하는 것이 안전하다.

- (7) 모재에서 Al+Si 도금되어 있는 SABC1470은 18시간 후에 적녹이 발생하였으며, 아연 도금되어 있는 SPFH590은 6시간 후에 백청이 발생하였다. 한편, 무도금한 SPFC980은 30분 경과 전에 적녹이 발생하였다.
- (8) 용접재에서 SABC1470은 우수한 내식성을 나타내었으나, SPFH590과 SPFC980은 부식이 많이 발생하였다. 이것은 SPFH590과 SPFC980에 차폐하고, SABC1470의 마르텐사이트 변태를 위하여 열처리를 실시하였지만, 차폐한 SPFH590과 SPFC980에 열전도 되어, SPFH590의 아연도금이 박리되거나 SPFC980의 표면이 열화되어 용액이 일정한 두께로 코팅되지 않았기 때문이다.
- (9) 용접재에서 LR-0727(1)용액이 LR-0727(2)보다 우수한 내식성을 나타내었다. 72시간의 염수분무 시험 후에 SABC1470+SPFH590 용접시험편은 950℃에서 열처리한 시험편이 850℃에서 열처리한 시험편보다 내식성이 매우 우수하였으며, SABC1470+SPFC980 용접시험편은 850℃에서 열처리한 시험편의 내식성이 우수하였다.
- (10) 시험편의 종류와 열처리 온도에 따른 부착성의 상관관계와 용접부의 부식특성에 대해서는 앞으로의 연구 과제라 판단된다

참고문헌

- (1) T. Altan, 2006 "Hot-stamping Boron-alloyed Steels for Automotive parts, Part I : Process methods and uses", Stamping Journal, pp. 40~41.
- (2) 이명규, 김성준, 정우창. 2008. "초고강도 자동차 부품 제조를 위한 프레스 하드닝 기술현황", 기계와 재료, pp 83-86.
- (3) 최윤석, 정원섭, 박익민, 권광우, 지용권, 유인석. 1996. "보론강의 보론 분포거동과 특성", 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp 740-744.
- (4) P. Hein, et al., 2006. "Hot Stamping of USIBOR 1500P: Part and Process Analysis Based on Numerical Simulation," in proceedings from The International Conference "New Development in Sheet Metal Forming Technology," Stuttgart, Germany, pp. 163~175.
- (5) T. Tröster and W. Rostek, 2004. "Advanced Hot Forming," in proceedings from The International Conference "New Development in Sheet Metal Forming Technology", Stuttgart, Germany, pp. 49~63.
- (6) R. Kolleck, et al., 2004. "Hot Forming and Cold Forming Two Complementary Processes for Lightweight Auto Bodies," in proceedings from The International Conference "New Development in Sheet Metal Forming Technology", Stuttgart, Germany, pp. 235~244.
- (7) 윤성훈, 이종형, 이경모. 2001. "보론 첨가강(AISI 51B20재)의 피로특성에 관한 연구", 한국정밀공학회지, pp. 802~806.
- (8) 한봉희 역. 2007. "금속재료", 도서출판 인터비전, pp. 26~39
- (9) 오환교, 정재강, 차용훈. 2002. "신편 용접공학", 원창출판사, pp. 157~171.

- (10) Tailor Welded Blank Applications and Manufacturing (A State-of-the-Art Survey), The Auto/Steel Partnership Tailor Welded Blank Project Team 2000 Town Center - Suite 320 Southfield, MI 48075-1123, June 2001.
- (11) H. I. Je., C. S. Son, and K. W. Nam, 2011, "A Study on the Spot Welding Characteristics and Material Analysis of Boron Steel for Hot-stamping according to the Heat-treatment Conditions" Transactions of the KSME(A), Vol. 35, No. 4, pp. 383~391.
- (12) H. S. Seo, H. J. Moon, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, "Corrosion Resistance according to the Heat Treatment Temperature of Cr-free Coating Solution on Zinc Coated Steel" J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 60~66.
- (13) H. S. Seo, H. J. Moon, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, "Corrosion Resistance of Zinc Coating Steel coated Cr-free Coating Solution according to the Heat Treatment Time" J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 67~74.
- (14) H. S. Seo, H. J. Moon, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, "Corrosion resistance of galvanized iron by treating modified Si organic/inorganic hybrid coating solution" J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 1, pp. 32~38.
- (15) K. W. Nam, J. R. Kim and H. R. Jeong, 2011, "Corrosion resistance of cold rolled carbon steel by treating organic/inorganic hybrid coating solution", KSME (in submitted)

감사의 글

직장생활로 생계활동으로 정신없는 중년의 나이에 학업의 길을 열어 주시고 세심한 관심과 배려와 도움으로 모든 면에서 일천한 저에게 용기를 주시고 이끌어 주신 남기우 교수님께 평생에 갚질 못할 은혜를 입었음에 감사드립니다.

그리고 본 논문의 심사를 위해 넓으신 아량과 조언을 베풀어 주신 문창권 교수님, 김진욱 박사님께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다. 또한 실험실에서 음으로 양으로 부족한 본인을 도와주느라 고생한 연구실 후배들에게도 감사드립니다.

아울러 본인이 (주)성우하이텍 기술연구소 재직 당시 본 연구의 기틀을 잡는데 도움을 주시고 승인해 주신 이문용 전무님께 감사의 말씀을 올리고, 선행기술팀 직원들에게도 감사드립니다.

끝으로 부족한 아들이 뒤늦게나마 학위를 하는데 용기를 주시고 다독여 주신 부모님께 감사드리고, 망각하고 지내던 학업의 길을 걸으라고 일깨워준 아내 설지영에게 고마움을 전합니다. 나날이 영민하고 대견하게 커가고 있는 윤석, 우석에게도 이 논문을 선물하려 합니다. 끝으로 저를 아시는 모든 분들에게도 다시 한 번 감사의 말씀을 드립니다.

2011년 12월 유 정 수 올림.