

## Al5052/CFRP 복합소재의 표면특성이 접착성과 기계적특성에 미치는 영향

이민식\* · 김현호\* · 강충길\*†

### Effect of Surface Roughness of Al5052/CFRP Composites on the Adhesion and Mechanical Properties

Min-Sik Lee\*, Hyun-Ho Kim\*, Chung-Gil Kang\*†

**ABSTRACT:** In this study, Al5052/CFRP composites were fabricated for an automobile component by compression molding process inside a U-channel mold. Al5052 sheet were treated by sand blasting with two different particle sizes. Accordingly, surface roughness (Ra) values of 4.25  $\mu\text{m}$  and 1.85  $\mu\text{m}$  were obtained for the treated Al5052 sheets. The effect of surface roughness of Al5052 sheets on the adhesion and mechanical properties of Al5052/CFRP composites have been evaluated. Shear lap test and 3-point bending test were conducted. Results showed that the shear load for the composite fabricated by using the treated Al5052 sheets with Ra value of 1.85  $\mu\text{m}$  and 4.25  $\mu\text{m}$  were 3 and 5 times higher than Ra value of 0.73  $\mu\text{m}$  of the composite fabricated by using the untreated sheet. The bending stress of 200MPa was obtained for the composite fabricated with untreated Al5052 sheets. The bending stress increased to 400MPa when the composite fabricated from treated sheets. However, the bending stress was not influenced by treating condition through sand blasting.

**초 록:** 본 연구에서는 차량용 Al5052/CFRP 복합재를 U-채널 몰드에서 컴프레션 몰딩 공정을 통해 제작하였다. Al5052는 샌드블라스팅을 통해 표면처리를 하였다. 표면처리를 하지 않은 판재와 표면거칠기(Ra)가 1.85  $\mu\text{m}$  및, 4.25  $\mu\text{m}$ 인 Al5052판재를 이용하여 실험을 수행하였다. 표면거칠기가 Al5052/CFRP 복합재의 접착성과 기계적 특성에 대한 영향을 전단시험과 굽힘실험을 통하여 평가하였다. 전단 시험에서는 표면거칠기가 1.85  $\mu\text{m}$  와 4.25  $\mu\text{m}$  시험편이 표면처리를 하지 않은 시험편보다 각각 3, 5배의 전단강도의 증가를 보였다. 굽힘시험에서는 표면처리를 하지 않았을 때 굽힘강도가 200 MPa에서 표면처리 후 400 MPa로 증가함을 알 수 있었다.

**Key Words:** 하이브리드 복합재료(hybrid composite materials), U-채널 몰딩(U-channel molding), 전단 시험(shear lap test), 표면 거칠기(surface roughness), 3점 굽힘실험(3 point bending test)

## 1. 서 론

최근 자동차 산업에서는 안전성, 연비개선을 위한 경량화 및 환경오염 억제를 위한 친환경성 소재개발이 대두되고 있다. 고성능, 고효율 차량을 위한 기술개발에 대한 요구

가 증대되면서, 최근 고장력강 (Advanced High Strength Steel) 소재를 핫프레스 공정으로 제조한 부품들을 차량에 적용하는 연구가 이루어 지고 있다[1,2].

한편 미래형 자동차 개발을 위하여 전기자동차, 연료전지 자동차에 대한 연구가 이루어 지고 있지만 전기모터, 추

Received 25 July 2013, received in revised form 25 October 2013, accepted 28 October 2013

\*부산대학교 기계공학과 정밀가공시스템공학과

\*†부산대학교 기계공학부, Corresponding author (E-mail: [cgkang@pusan.ac.kr](mailto:cgkang@pusan.ac.kr))

가배터리 및 연료전지의 추가 등으로 인해 차량의 무게는 증가 되는 경향을 보이고 있다. 결국, 현재의 고장력강 소재만으로는 차량 경량화는 실질적으로 한계에 부딪히고 있다. 따라서, 미래형 자동차 개발을 위해서는 지금의 철강 소재보다 훨씬 가볍고 비강도, 비강성이 높은 소재의 적용이 요구되고 있다.

이러한 자동차 산업에서의 경량화에 대한 요구는 고강도 알루미늄합금, 마그네슘 외에도 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)이라는 복합소재가 개발되어 적용되고 있다. 그중 CFRP는 비강도, 비강성이 뛰어나 수많은 연구가 이루어 지고 있다[3,4]. 그러나 CFRP 복합재료의 낮은 연신율, 낮은 파괴강성 및 연결접합의 어려움 등으로 인하여 자동차 부품의 적용에는 많은 제약을 받고 있다. 최근, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로, CFRP와 금속재료를 접합하여 용접이 가능하도록 하여 단일소재가 가지는 재료의 한계점을 극복할 수 있도록 하이브리드 복합 재료에 대한 연구가 진행되고 있다[5].

일반적으로 하이브리드 복합재료의 기계적 물성은 하이브리드 복합재료가 가지고 있는 접합구조에 크게 의존하는 것으로 알려져 있으며 두 재료가 잘 접합되어 있지 않을 경우 충돌시 분리가 일어나 충돌 흡수능이 떨어질 수 있다. 뿐만 아니라 CFRP와 Al과의 접합의 경우 갈바닉 효과에 의해 Al부식의 진행속도가 매우 빨라지며 쉽게 분리되기 때문에 접합전 인산염 에칭처리 및 아노다이징과 같은 화학처리가 필요하다[6]. 이러한 이종재료의 접합성을 향상시키기 위하여 많은 연구가 활발히 이루어 지고 있다. Haider Al-Zubaidy *et al.*[7]은 Steel/CFRP 복합소재의 결합강도를 평가하였으며 Chung *et al.*[8]은 발포알루미늄과 CFRP의 기계적 특성에 대해서 연구하였다. Rhee *et al.*[9]은 플라즈마에 의해 표면 처리를 하여 T-peel 강도와 전단강도가 각각 6배와 33%의 증가를 보여주었다. 그러나 자동차 부품에 적용하기 위해 알루미늄 표면처리 방법으로 화학적 에칭 처리 및 Plasma를 통한 표면처리는 고비용이며 대량생산에 적합하지 않다. 대량생산에 적합한 저비용 표면처리 기술이 요구되고 있으며 물리적인 표면처리를 통한 평균 표면 거칠기(Roughness average)인 Ra 값에 의한 기계적 특성, 접합성, 에폭시 함침량에 따른 연구가 필요하다. 또한 복잡한 형상을 가진 하이브리드 복합소재 제조시 단일 부품내에서 부위별 에폭시 함침량과 그에따른 두께 균일성에 대한 연구는 미미하다.

본 연구에서는 알루미늄을 샌드블라스트 표면처리를 하였고 표면거칠기에 따른 U-형상의 하이브리드 복합소재 제조시 각 위치별로 굽힘 테스트를 통하여 기계적 특성을 평가하였다. 에폭시 중량퍼센트를 측정하여 두께 감소율을 구하여 표면거칠기가 에폭시 함침량과 두께에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 시편제작 및 실험 방법

### 2.1 전단시험

본 시험에 사용된 CFRP는 Toray사의 카본 섬유이며 평직 섬유를 사용하였다. 프리프레그의 두께는 0.3 mm이며 초기 에폭시 중량 퍼센트가 35%인 열경화성 수지이다. Table 1은 에폭시의 물성 데이터를 나타낸다.

Al5052 소재는 용접성이 우수하여 자동차 부품에 널리 사용되어 왔으며 본 연구에서 사용된 Al5052의 두께는 0.5 mm의 박판으로 기계적 특성은 Table 2에 나타나 있다.

Fig. 1은 Al5052/CFRP 복합소재의 접합면의 측면부를 나타낸 것이다. 이종재 접합시 갈바닉 효과에 의해 알루미늄의 부식이 촉진되는 것을 방지하기 위해 샌드블라스트 후 양극산화 처리로 알루미늄에 코팅을 하였다. 연질양극산화 처리로 피막 두께가 10 μm 미만이다.

Fig. 2는 본 연구의 전체적인 개략도를 나타낸 것이다. 이종 소재간의 접착강도를 높이기 위해 알루미늄 양쪽 표면

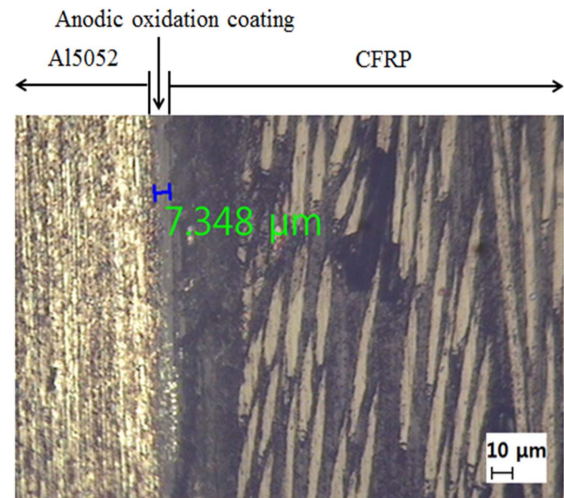


Fig. 1. Cross-section of Al5052 sheet with anodic oxidation coating

Table 1. Resin properties

Item	YD-115J	Test method
EEW(g/eq)	175-194	KD-AS-001
Viscosity(cps at 25°C)	150-500	KD-AS-005
Hy-Cl(wt.%)	0.6-0.9	KD-AS-010
Specific Gravity	1.14	KD-AS-040

Table 2. Properties of Al5052

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Brinell hardness (H <sub>b</sub> )	Elastic Modulus (MPa)
230	12-16	60	70

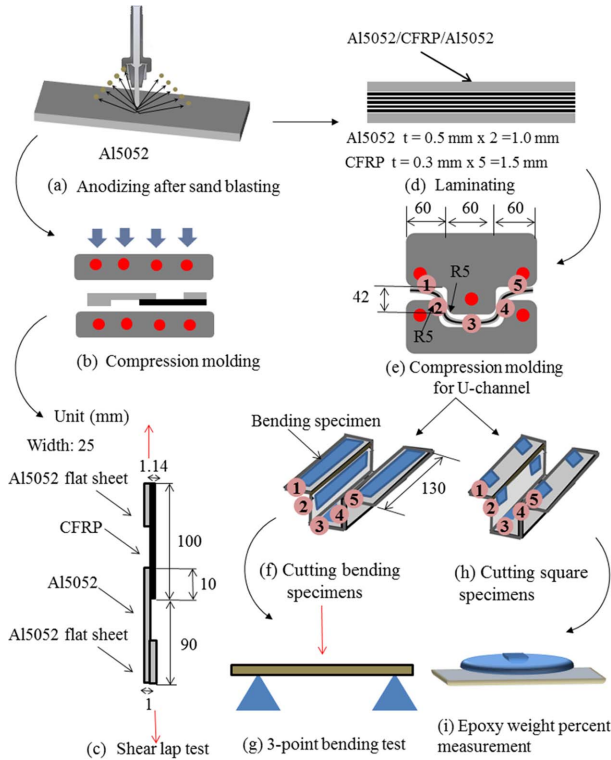


Fig. 2. Schematic diagram of experiment

에 Fig. 2(a)와 같이 샌드블라스트 표면처리를 한 뒤 양극산화피막 코팅처리를 하였다.

Ra 값에 따라 전단강도에 끼치는 영향을 분석하기 위해 길이와 폭이 각각 100, 25 mm인 Al5052 시편에 CFRP를 10 mm 정도 접합하여 시험편을 제작하였다. Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 카트리지 히터에서 140°C로 가열된 평판형 금형으로 0.5 MPa의 압력에서 30분간 가압하여 Fig. 2(c)와 같이 shear lap test 시험편을 제작 하였다.

Al 평판을 그림부에 붙여 수평을 맞추었으며 MTS에서 전단시험 조건은 20 mm/min 속도로 전단시험을 수행하였다. 시험 개수는 조건당 3개씩이며 가장 높은 수치와 가장 낮은 수치를 제외한 중간 수치를 데이터로 활용하였다.

## 2.2 U-채널 컴프레션 몰딩

U-채널 컴프레션 몰딩 실험은 Ra 값에 따라서 Al5052/CFRP/Al5052 복합소재의 제품의 기계적 특성 및 에폭시유동의 영향을 알아보는 실험이다. 하이브리드 시편 제작시 두께 0.3 mm의 CFRP 5장과 샌드블라스트로 표면처리 된 0.5 mm의 Al5052 판재를 Fig. 2(d)과 같이 양쪽으로 샌드위치 적층하여 Al5052/CFRP/Al5052 복합재료 시편을 제작 하였다. 시험편의 두께는 CFRP는 0.3 mm×5=1.5 mm와 Al5052는 0.5 mm×2=1.0 mm으로 총 2.5 mm이다. Al5052 판재의 폭과 너비는 각각 130×180 mm이다.

이 Al5052/CFRP/Al5052 복합재료를 Fig. 2(e)에서 보는 바와 같이 카트리지 히터로 140°C까지 가열된 U-채널 금형에 0.5 MPa 압력으로 30분간 컴프레션 몰딩하였다. 본 연구에서는 양산형 차체 제품을 제작하기 위한 기초연구가 목적이다. Hongyan Zhu는 압력이 0.4 MPa 이상에서는 기포가 거의 없어졌음을 보여주었다[11]. 본 연구에서는 진공이 아닌 고압 컴프레션 몰딩시 제품을 만들고 자동차 산업에서 양산용 차체로써 타당한 물성치를 나타내는지 평가하기 위함이다.

컴프레션 몰딩시 1, 3, 5번 위치에서는 펀치력에 의해 가압을 할 수 있지만 2, 4번인 측면부에서는 수직(90°)으로 가압되지 않는다. 이러한 이유로 Al5052/CFRP/Al5052 시험편의 두께가 2.5 mm일 때 펀치와 다이사이의 공차를 1.85 mm로 두어 클리어런스를 0.7로 조절하였다. 시험편의 두께가 금형의 공차보다 크기 때문에 컴프레션 몰딩시 강제로 시험편이 가압되도록 하였다.

시험편 제작 후 Ra 값에 따라 기계적 특성을 평가 하기 위해 Fig. 2(f)에서 보는 바와 같이 위치 1~5번에서 굽힘 시험편을 잘라 기계적 특성과 접착성을 평가 하였다. 굽힘시험편의 사이즈는 75×15 mm로 잘라 ASTM(D 790-03)[9] 기준으로 지지된 span 길이를 맞추고  $V_f=10\text{mm/min}$  속도로 3점굽힘을 수행하였다(Fig. 2(g)). 굽힘시험 후 식 (1)을 통해 굽힘응력을 구하였다.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{bt^2} \quad (1)$$

여기서  $P$ ,  $L$ ,  $b$ ,  $t$ 은 각각 굽힘하중, span 길이, 폭 및 두께이다.

기계적 특성 평가 후 Ra 값에 따라서 에폭시 유동 및 중량퍼센트를 측정 하기 위해 Fig. 1(h)와 같이 시험편을 위치 1~5에서 대칭으로 10×10 mm로 잘라 중량계를 이용하여 (Fig. 1(i)) U-채널 성형 전과 성형 후의 시험편의 에폭시 중량퍼센트를 비교하여 에폭시 증감에 따라 에폭시 유동을 평가 하였다. 10×10 mm의 사각 시험편의 무게를 측정한 후 식 (2)를 통하여 에폭시 중량퍼센트를 구하였다.

$$W_r = \frac{\rho_r V_r}{\rho_r V_r + \rho_f (1 - V_r)} \times 100 \quad (2)$$

여기서  $W_r$ ,  $\rho_r$ ,  $\rho_f$ ,  $V_r$ ,  $V_f$ 는 각각 에폭시중량 퍼센트, 에폭시 밀도, CFRP 밀도, 에폭시부피 및 CFRP 부피이다. 에폭시 중량퍼센트에 따라 식 (3)에 의해 시험편의 두께변화를 측정 하였다.

$$\gamma = \frac{t_o - t}{t_o} \times 100 \quad (3)$$

여기서  $\gamma$ ,  $t_o$ ,  $t$ 는 각각 두께감소율, 성형전 및 성형후시편의 두께이다.



3. 실험결과

3.1 샌드블라스트를 통한 표면처리

이온을 통하여 에칭하는 플라즈마와 달리 샌드블라스트는 스퍼터링에 의한 물리적 에칭이 기초원리이다. 공기압에 의해 흡입된 연마제 하나의 입자가 가지는 운동에너지가 Al5052 표면에 전달되어 표면 물질의 원자나 분자를 떼어냄을 통하여 물리적인 작용으로 에칭 되는 것은 이온을 통하여 에칭되는 것과 동일한 작용을 하게 된다. 연마제의 입자의 크기에 의해 Al5052의 표면의 Ra 값이 달라지게 된다. 연마제의 입자가 크면 큰 알루미늄 표면입자가 떨어져 나가 Ra 값이 커지며 연마제의 입자가 작으면 작은 알루미늄 표면입자가 떨어져 나가 Ra 값이 작아지게 된다.

Fig. 3는 샌드블라스트 처리의 유무에 따른 알루미늄 시편의 AFM(Atomic Force Microscope) 결과를 나타낸 것이다. AFM test의 조건은 Table 3에 나타나 있다.

Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 표면처리를하지 않은 시편의 경우 Ra = 0.73  $\mu\text{m}$ 이며 Al5052의 표면에서 몇군데를 제외하고는 거의 높이 차이가 없이 비슷함을 볼 수 있었다. Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)는 샌드블라스트 표면처리된 시편의 AFM 결과이며 Ra 값은 각각 1.85, 4.25  $\mu\text{m}$ 이다. 큰 연마제로 표면처리를 한 알루미늄 시편이 깊고 큰 입자가 떨어져 나갔으며 Ra 값이 증가 할수록 알루미늄 표면의 거친정도의 편차가 증가함을 알 수 있었다. Ra = 0.73, 1.85, 4.25  $\mu\text{m}$  일

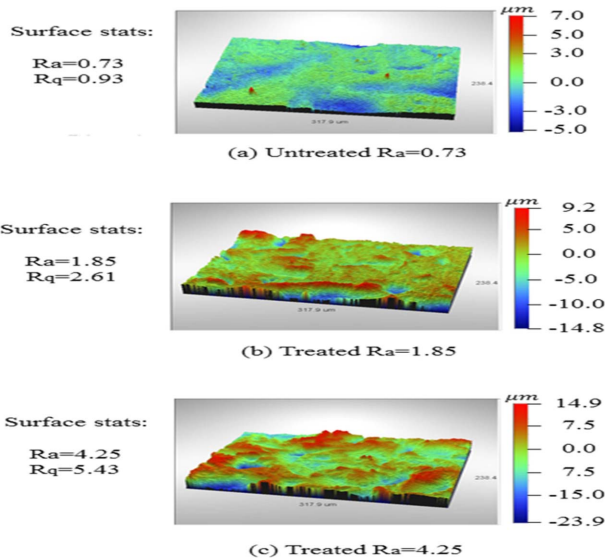


Fig. 3. 3-Dimensional interactive display according to surface roughness with sand blasting

Table 3. Experimental condition for AFM test

Magnification	Measurement mode	Sampling (nm)	Array Size ( $\mu\text{m}$ )
20	VSI	496.74	640×480

때 마루와 골 사이의 평균 깊이 제곱근인 Rq 값은 각각 0.93, 2.61, 5.43  $\mu\text{m}$ 이었다.

Fig. 4(a)~(c)는 표면거칠기에 따른 평면상에서 x-축라인을 따라 거칠기의 정도를 2차원으로 나타낸 것이다. Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 표면처리를 하지 않은 시편인 Ra = 0.73 경우 최대 마루의 높이 Rp = 1.40이며 가장 낮은 골 Rv = -1.86이다. Fig. 4(b)와 (c)에서 샌드블라스트로 표면처리를 한 시편의 경우 Ra 값이 1.85에서 4.25로 증가함에 따라 최대 마루의 높이인 Rp는 각각 3.71, 6.76이며 가장 낮은 골 Rv 값은 각각 -5.25, -8.59임을 알 수 있었다. 알루미늄의 큰 입자가 떨어져 나갈수록 마루와 골 사이의 편차가 증가하며 이 깊은 거친 표면 사이로 에폭시가 침투할 수 있다. 마루와 골 사이의 최대 편차인 Rt의 값은 Ra 값이 0.73, 1.85, 4.25 일때 각각 1.40, 8.97, 15.35  $\mu\text{m}$ 이다.

Fig. 5는 Al5052/CFRP/Al5052 시험편 제작후 접합된 CFRP와 Al5052의 측면부를 보여준 것이다. 표면처리를 하지 않은 시험편인 Ra = 0.73는 알루미늄과 CFRP의 접착상태가

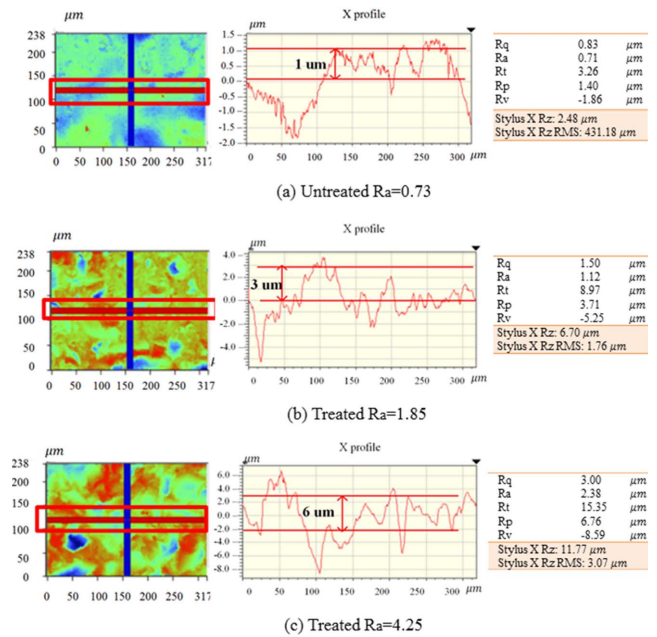


Fig. 4. Roughness of 2-dimensional line section with sand blasting

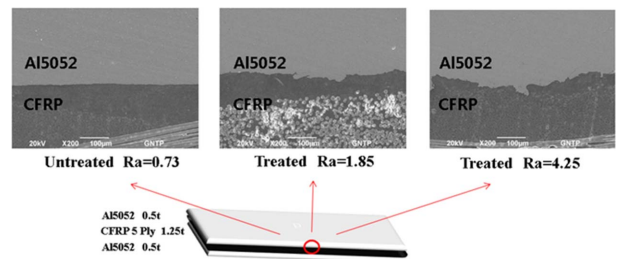


Fig. 5. Side view of Al5052/CFRP/Al5052 composites according to surface roughness with sand blasting

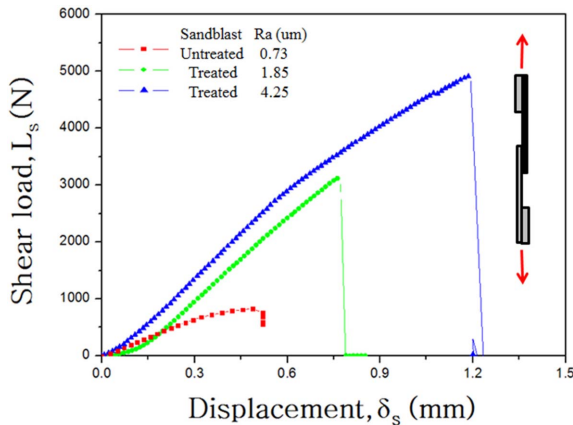


Fig. 6. Shear load and displacement according to surface roughness

양호하였고 샌드블라스트로 표면처리를 한 시편인  $Ra = 1.85$  와  $4.25$ 는 알루미늄의 거친 표면에 에폭시가 함침되었음을 볼 수 있었으며  $Ra$  값이 클수록 더 거친 표면에 에폭시가 깊게 함침되어 있음을 알 수 있었다.

### 3.2 표면 거칠기에 따른 전단시험

Fig. 6은 표면거칠기에 따른 전단하중과 변위 그래프를 나타낸 것이다. 전단 실험 후 파단은 Al과 CFRP의 10 mm 접착된 부분이 떨어지게 되었다. 표면거칠기에 따라서 표면처리를 하지 않은  $Ra$  값이 0.73의 경우 전단실험후 CFRP와 Al이 깔끔하게 떨어져 나갔고 표면거칠기가 증가할 수록 전단 실험 후 Al의 접착된 부분에서 많은양의 에폭시가 묻어있음을 확인 할 수 있었다. 표면거칠기가 증가함에 따라 에폭시가 Al 시편 깊은곳에 침투하여 파단 후에도 에폭시가 다량 묻어 있게 되었다고 생각된다. 표면처리를 하지 않았을 때 최대 전단하중은 900 N이고 변위는 0.5 mm이었다. 반면에 샌드블라스트 처리된  $Ra = 1.85$ 에서 전단하중은 3000 N이고 변위는 0.8 mm으로 눈에 띄게 증가함을 알 수 있었다. 또한  $Ra$  값에 따라서도 큰 증가를 보였다.  $Ra$ 값이 1.85에서 4.25로 증가할 때 전단하중과 변위는 각각 3000에서 5000 N으로 변위는 각각 0.8에서 1.27 mm으로 증가함을 알 수 있었다. 표면처리를 하지 않은 시편  $Ra = 0.73$ 일 때의 전단하중보다  $Ra$ 가 1.85와 4.25일 때 각각 3배 와 5배의 전단하중의 증가를 보임을 확인 할 수 있었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 거친 알루미늄 표면조도가 클수록 에폭시는 거친 표면사이로 깊게 침투되며 샌드블라스트를 통한 물리적인 에칭법이 CFRP와 Al5052의 기계적인 접착성에 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

### 3.3 표면 거칠기에 따른 굽힘응력

Fig. 7(a)~(c)는 표면 거칠기에 따라 U-형상 시편의 위치별 굽힘응력과 변위와의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)에

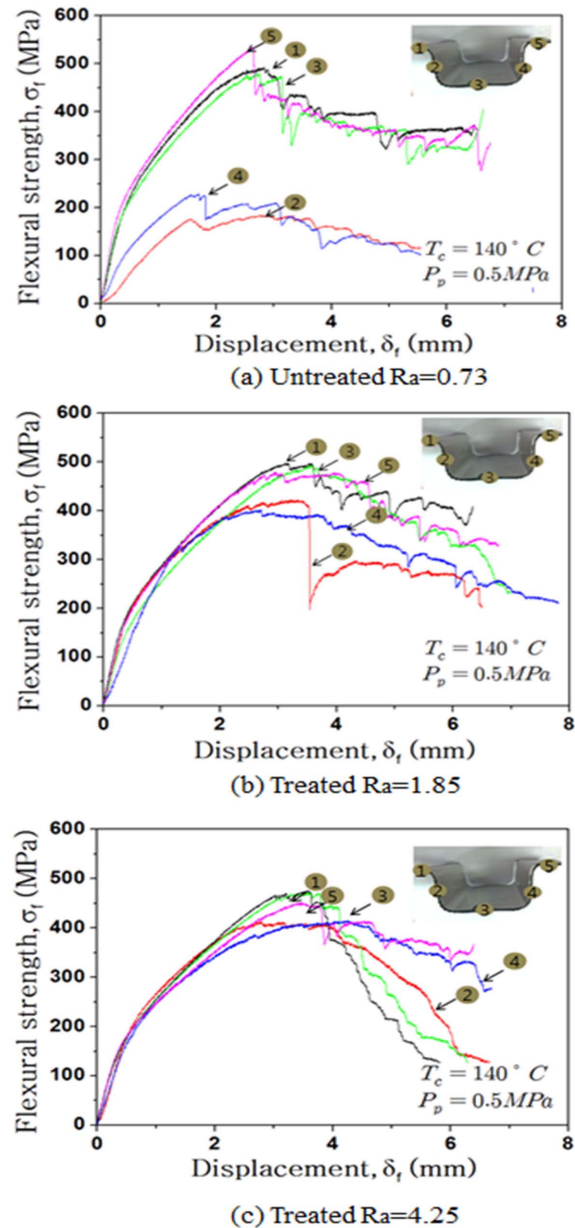


Fig. 7. Correlation flexural stress and displacement according to surface roughness

서 보는 바와 같이  $Ra = 0.73$ 인 경우에는 1, 3, 5번에서 굽힘응력이 500 MPa 정도이고 측면부인 2, 4번에서는 현저히 낮은 150~200 MPa 굽힘응력을 보였다. 반면에 표면처리를 하여  $Ra = 1.85, 4.25$ 인 시편의 경우에는 Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)에서 보는 바와 같이 2, 4번의 위치에서 굽힘응력이 400 MPa 정도로 눈에 띄게 증가함을 알 수 있었다. 표면처리를 하지 않았을 때보다 약 2배 가까이 굽힘응력이 증가했으나 위치 1, 3, 5번의 굽힘응력에는 미치지 못한 결과 값을 나타내었다. 이러한 이유는 금형에 직접적으로 가압받는 가압부인 위치 1, 3, 5번에 비해 측면부인 2, 4번에서는 시편을 만드는 동안 지속적인 가압이 되지 않아 접착성이 떨어졌을 것이

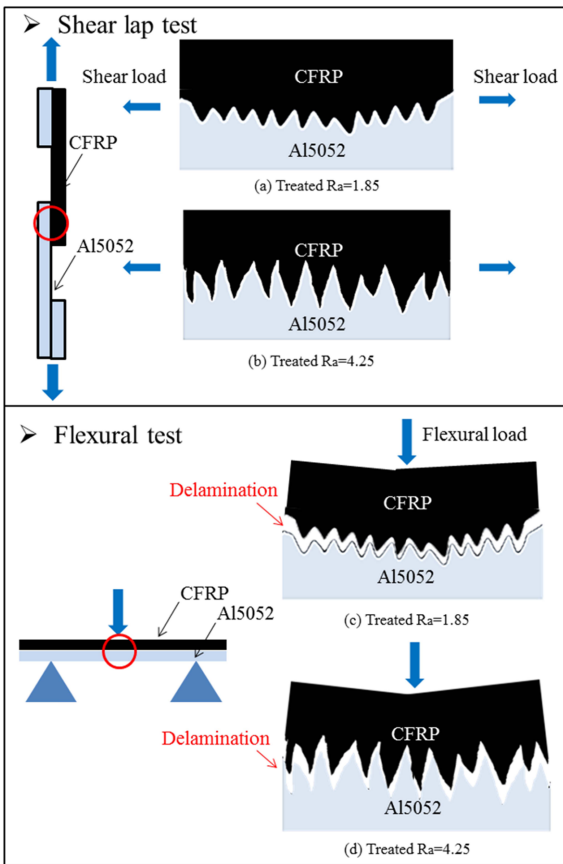


Fig. 8. Mechanism according to surface roughness in shear lap test and flexural test

며 이와 관련하여 기계적 특성에 영향을 미쳤을 것이라 생각된다. 전단하중에서와는 달리 표면거칠기가 Ra = 1.85에서 Ra = 4.24로 증가함에 따라 2,4번 위치에서 굽힘응력의 차이는 거의 없었다.

Fig. 8은 전단시험과 굽힘시험에서 시편이 하중을 받았을 때 층간 분리시 표면거칠기에 따른 메커니즘을 나타낸 것이다. Ra 값이 클수록 CFRP의 에폭시가 Al5052의 거친표면에 깊게 함침되어 있기 때문에 전단하중이 작용할 때 Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이 표면거칠기가 증가할 경우 더 깊게 함침되어 있는 에폭시는 층간분리에 저항하는 역할을 할 수 있음을 나타낸 것이다. 반면에 굽힘시험에서는 하중이 수직으로 작용하게 된다. Fig. 8(c)와 Fig. 8(d)에서 나타난 바와 같이 이러한 수직 하중이 작용할 때에는 깊게 함침되어 있는 에폭시가 층간분리시 그다지 큰 역할을 하지 못함을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 전단시험시 Ra 값에 따라서 큰 전단 하중을 보여 주었으나 Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)에서는 표면거칠기에 따라서 측면부에서 큰 하중 차이를 보이지 않은 것은 이러한 메커니즘에서 기인했다고 생각된다.

Fig. 9는 굽힘시험 후 위치별 굽힘시험편을 보여준다. 표면처리를 하지 않은 시편의 경우에는 굽힘시험 후 Al5052/CFRP/Al5052 시편의 모든 위치(1~5번)에서 한쪽 부분의 알

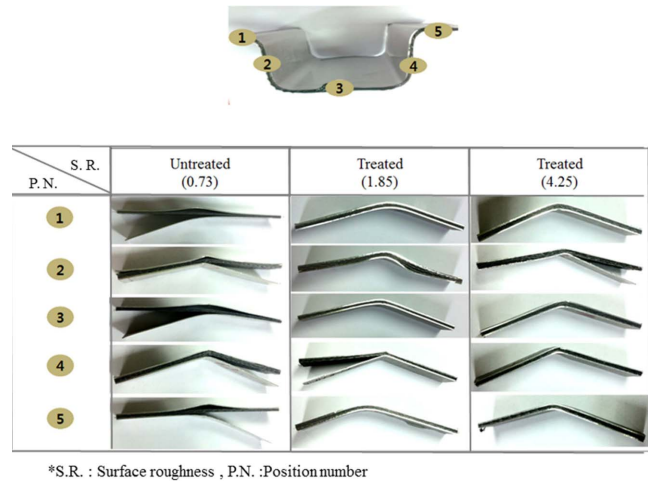


Fig. 9. Side view of bending specimens after bending test according to surface roughness

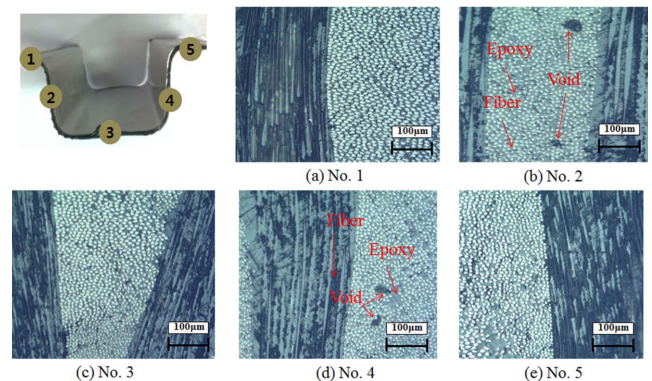


Fig. 10. Microstructure of bending specimens after bending test

루미늄이 떨어져 나간 것을 볼 수 있다. 반면에 Ra = 1.85와 4.25의 경우에는 위치 1, 3, 5번에서 굽힘시험 후에도 시편이 분리된 현상이 일어나지 않았다. 반면에 2, 4 위치에서는 분리되어 떨어진 모습이 관찰 되었다. 샌드블라스트 표면 처리 후에도 측면부의 경우에는 접착강도가 다른 1, 3, 5의 가압부보다 다소 떨어짐을 알 수 있었다.

Fig. 10은 굽힘시험 후 현미경으로 관찰한 위치별 굽힘 시험편을 보여준다. 압력을 0.5 MPa로 가압하여 컴프레션 몰딩을 하였기 때문에 기포가 거의 없을것으로 예상 하였다 [11]. 그러나 여전히 2번과 4번 위치에서는 지속적인 가압력이 작용하지 않아서 30~40 μm의 기포가 발생하였음을 알 수 있었다. 이는 측면부에서만 발생하였으며 1, 3, 5번에서는 Fig. 10(a), (c)와 (e)에서 보는 바와 같이 기포라고 의심 될 만한 것은 찾지 못하였다. 측면부인 2번과 4번에서 발생한 기포는 측면부의 기계적 특성의 저하의 원인이 되었을 것이라고 생각된다.

### 3.4 에폭시 중량 퍼센트와 두께 감소율

프리프레그 초기 에폭시 중량퍼센트는 35%이며 Al5052



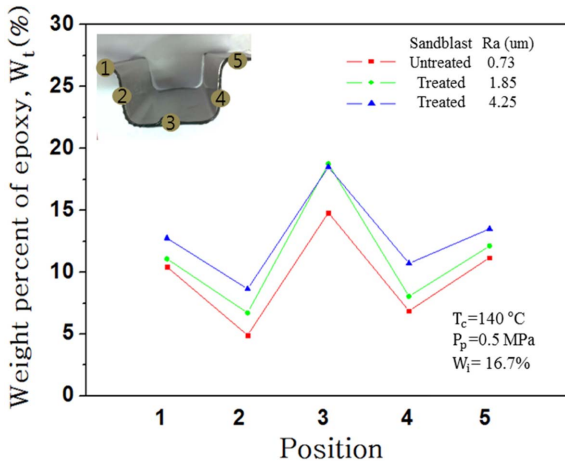


Fig. 11. Epoxy weight percent according to surface roughness

를 위 아래로 샌드위치 함으로써 전체 무게의 초기 에폭시 중량퍼센트는 16.7%이다. Fig. 10은 표면거칠기에 따라 위치별 에폭시 중량퍼센트를 나타낸다. 샌드블라스트 처리를 하지 않은 시편 Ra = 0.73일 때 측면부인 2번과 4번의 에폭시 중량퍼센트는 각각 5, 7% 정도가 됨을 알 수 있었다. 펀치와 하부금형 사이의 클리어런스가 0.7이기 때문에 성형 중 많은 양의 에폭시가 금형밖으로 흘러 나오게 된 것이다. 1번과 5번의 에폭시 중량퍼센트는 가압력에 의해 금형 밖으로 빠져나가 성형후 각각 11, 11.5%가 되었다. 반면에 3번 위치에서는 에폭시 중량퍼센트가 15%로 가장 높았다. 성형시 가압력에 의해 에폭시가 금형밖으로 빠져 나감에도 불구하고 많은 양의 에폭시들이 중력에 의해 중앙인 3번 위치로 흘러들어 초기 에폭시 중량퍼센트인 16.7% 보다 약간 감소한 것이다.

표면거칠기에 따라서 살펴보면 표면 거칠기가 Ra = 0.73에서 4.25로 증가함에 따라 각 위치에서 에폭시 중량퍼센트가 증가하는 경향을 보였다. Ra = 0.73일 때 3번 위치에서 에폭시 중량 퍼센트는 15%이지만 샌드블라스트 처리를 한 시편인 Ra = 4.25일 때 3번 위치에서 에폭시 중량퍼센트는 18.7%로 초기 에폭시 중량퍼센트는 16.7%보다 증가했음을 알 수 있다. 알루미늄 표면이 거칠수록 알루미늄과 에폭시의 접촉면적이 증가되며 에폭시가 거친표면사이로 깊게 침투됨을 알 수 있었다. 전체적으로 모든 위치에서 Ra 값이 증가할수록 에폭시 중량퍼센트는 증가함을 통해 거친 표면은 에폭시 중량퍼센트를 약간 증가시키는 역할을 함을 알 수 있었다.

Fig. 12는 표면거칠기에 따른 위치별 두께감소율을 나타낸다. 표면처리를 하지 않은 시편 Ra = 0.73일 때 측면부인 2번과 4번에서 두께감소율은 각각 18.2%, 17.5%이다. 측면부에서 많은 양의 에폭시가 유출됨으로 인해 두께역시 가장 많은 감소율을 보이고 있다. 에폭시 중량퍼센트가 가장

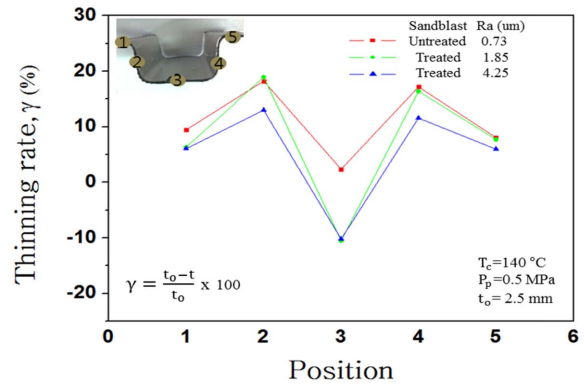


Fig. 12. Thinning rate according to surface roughness

많았던 3번위치에서는 감소율이 가장 적은것으로 나타났다.

표면거칠기가 증가할수록 에폭시 중량퍼센트가 증가하였으며 적은 두께감소율을 보인다. 특별히 3번 위치에서는 Ra = 0.73일 때 두께감소율은 2.3%였지만 Ra = 4.25일 때 두께감소율은 -10.2로 오히려 두께가 증가함을 보인다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 Ra = 4.25일 때 에폭시 중량퍼센트가 초기 에폭시값보다 증가하였기 때문에 두께역시 증가하였음을 나타낸다. 에폭시 유동은 두께에 영향을 미치며 두께를 균일하게 하기 위해서는 에폭시 유동 경향을 파악해야 하며 제어해야 하는 필요성이 있다.

#### 4. 결 론

1. 표면거칠기가 클수록 알루미늄과 에폭시 사이의 접촉면적이 증가하며 전단하중에 매우 큰 증가를 보였다. 표면처리를 하지 않았을 때(Ra = 0.73)보다 샌드블라스트 표면처리를 하였을 때(Ra = 1.85, 4.25) 전단하중은 각각 3배, 5배 이상의 증가를 보였다.
2. 표면처리를 하지 않은 시편의 경우 굽힘응력은 측면부인 2번과 4번에서 현저히 낮은 150~200 MPa를 나타냄을 알 수 있었고 표면처리를 한 시편의 경우 측면부의 굽힘응력이 400 MPa로 증가함을 알 수 있었다.
3. Ra 값이 클수록 에폭시가 깊게 침투하여 성형 후에도 각 위치별 에폭시 함침량이 증가함을 알 수 있었다. 에폭시 함침량이 증가할 때 두께가 증가하였으며 균일한 두께를 얻기 위해서는 에폭시 유동을 제어해야 하는 필요성이 있다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부의 우수제조기술연구센터사업(ATC)의 재원으로 한국산업기술평가관리원과 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 10039031), (No. 2011-0030013).

## 참고문헌

1. Caballeroa, F.G., García-mateoa, C., Capdevilaa, C., and García de Andrésa, C., "Advanced Ultrahigh Strength Bainitic Steels", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 22, No. 4, 2007, pp. 502-506.
2. Fan, D.W., Kim, H.S., and De Cooman, B.C., "A Review of the Physical Metallurgy Related to the Hot Press Forming of Advanced High Strength Steel", *Steel Research International*, Vol. 80, No. 3, 2009, pp. 241-248.
3. AL-Zubaidy, H., Zhao, X.-L., and Al-Mihaidi, R., "Mechanical Behaviour of Normal Modulus Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) and Epoxy under Impact Tensile Loads", *Procedia Engineering*, Vol. 10, 2011, pp. 2453-2458.
4. Van Paepegem, W., De Geyter, K., Vanhooymissen, P., and Degrieck, J., "Effect of Friction on the Hysteresis Loops from Three-point Bending Fatigue Tests of Fibre-reinforced Composites", *Composite Structures*, Vol. 72, No. 2, 2006, pp. 212-217.
5. Yu, T., Fernando, D., Teng, J.G., and Zhao, X.L., "Experimental Study on CFRP-to-steel Bonded Interfaces", *Composites: Part B: Engineering*, Vol. 43, No. 5, 2012, pp. 2279-2289.
6. Wang, W.-X., Takao, Y., and Matsubara, T., "Galvanic Corrosion-resistant Carbon Fiber Metal Laminates", 16th International Conference on Composite Materials, Japan, Kyoto, July 2007.
7. Al-Zubaidy, H., Al-Mahaidi, R., and Zhao, X.-L., "Experimental Investigation of Bond Characteristics Between CFRP Fabrics and Steel Plate Joints under Impact Tensile Loads", *Composite Structures*, Vol. 94, No. 2, 2012, pp. 510-518.
8. Chung, H.J., Rhee, K.Y., Lee, B., and Lee, J.H., "Effect of Oxygen Plasma Treatment on the Bonding Strength of CFRP/aluminum Foam Composite", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 481, No. 1-2, 2009, pp. 214-219.
9. Rhee, K.Y., and Yang, J.-H., "A Study on the Peel and Shear Strength of Aluminum/CFRP Composites Surface-treated by Plasma and Ion Assisted Reaction Method", *Composites Science and Technology*, Vol. 63, No. 1, 2003, pp. 33-40.
10. ASTM International, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", D 790-03.
11. Zhu, H., Wu, B., Li, D., Zhang, D., and Chen, Y., "Influence of Voids on the Tensile Performance of Carbon/Epoxy Fabric Laminates", *Journal of Materials Science & Technology*, Vol. 27, No. 1, 2011, pp. 69-73.