

# 알루미늄과 발포알루미늄의 표면처리에 따른 파괴특성평가 Fracture property on surface treatment of aluminum and aluminum foam

\*정협재<sup>1</sup>, #이경엽<sup>2</sup>, 한범석<sup>3</sup>, 유용문<sup>3</sup>

\*H. J. Chung<sup>1</sup>, #K. Y. Rhee(rheeky@khu.ac.kr)<sup>2</sup>, B. S. Han<sup>3</sup>, Y. M. Ryu<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> 경희대학교 기계공학과, <sup>2</sup>경희대학교 테크노공학대학 <sup>3</sup>한국자동차부품연구원  
 Key words : Aluminum foam, Surface treatment, Contact angle, Plasma

## 1. 서론

에너지 과다 소비에 의한 지구 환경 문제로 최근 몇 년 사이에 에너지 절감 문제가 대두 되고 있다. 에너지의 소비를 줄이면서 기존 물질의 역할을 할 수 있는 경량재 연구가 진행 되었고, 연구가 진행됨에 따라 발포금속에 대한 중요성이 강조되었다.

발포금속은 기존 금속에 비하여 비탄성률과 비강도가 우수하며, 에너지 흡수성과 열·전기적 특성, 흡음특성 등이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이러한 발포금속재료는 기존의 금속재료에 비하여 초경량이며 액상이나 공기 등의 투과성이 양호하며 뛰어난 기능적 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 가지는 발포금속 중 하나가 발포알루미늄이다. 발포알루미늄은 특히 흡음성과 충격흡수가 우수하여 대형건축물의 방음판으로 사용되며 자동차산업에서는 발포알루미늄을 크래쉬 박스 및 자동차 범퍼에 적용하고 있다. 최근까지 발포알루미늄에 대한 연구가 진행에 있으며, 특히 발포알루미늄의 기계적 특성[1-3]과 흡음성에 관한 연구[4-5], 에너지흡수에 관한 연구[6-8], 발포알루미늄 특성의 수치해석연구[9-10]등이 진행되고 있다. Paul,[1]은 노치에 따른 폐기공의 발포알루미늄의 인장강도를 측정하여 노치의 길이와 구멍의 지름이 커질수록 인장강도는 감소한다고 발표하였다. 특히 현미경 관찰을 통하여 노치 구멍의 지름과 셀의 크기의 비율에 따라 강도에 영향을 미친다고 하였다. Ramachandra,[6]등은 낮은 속도에서의 발포알루미늄 충격 에너지 흡수에 대한 연구를 통하여 속도가 10m/s보다 클 경우 충격파의 영향이 상당히 커지게 되어 에너지흡수가 커진다고 발표하였다. 위와 같은 연구들을 바탕으로 발포알루미늄이 산업에서 이용되기 위해서는 발포알루미늄과 이종재료와의 접합이 매우 중요하다. 하지만 발포알루미늄과 이종재료의 접합에 관한 연구는 아주 소수의 연구만이 진행되고 있는 실정이다[11-12].

최근 저자들은 질소플라즈마 표면처리를 통하여 알루미늄/발포알루미늄 복합체의 접합성에 관한 연구를 통하여 알루미늄에 질소 플라즈마 처리를 할 경우 플라즈마 처리를 하지 않은 경우와 발포알루미늄에 플라즈마 처리를 한 경우에 비하여 강도가 굽힘시험은 13%, 전단시험은 30% 증가한다고 발표하였다 [11]. 그러나 알루미늄/발포알루미늄 복합체에서 알루미늄에 플라즈마로 표면처리 할 경우 파괴인성이 얼마나 향상되는가에 대한 연구결과는 발표된 바 없다. 본 논문에서는 질소 플라즈마 표면처리의 유/무에 따라 알루미늄과 발포알루미늄 복합체의 파괴인성에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보기 위하여 CLS(Cracked Lap Shear)시편을 제작한 후 파괴인성 시험을 수행하여 플라즈마 표면처리가 파괴인성에 어떤 영향을 미치는가에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 플라즈마 처리

본 연구의 시편제작을 위해 Al 5052(25mm \* 100mm \* 5mm)와 발포알루미늄(25mm \* 100mm \* 5mm, 밀도 0.4~0.5)을 사용하였다. 플라즈마 표면처리 전에 알루미늄의 이물질을 제거하기 위해 아세톤으로 5분간 초음파세정을 하였다. 알루미늄 재료에 대한 플라즈마 표면처리는 Plasma Preen Cleaner (U0050725A, USA)를 사용하여 수행하였으며 Frequency는 2.45GHz, Power는 700W를 적용하였다. 플라즈마 가스는 질소를 사용하였으며 표면처리 시 가스의 압력은 160kPa, 진공은 90kPa를 유지하였다.

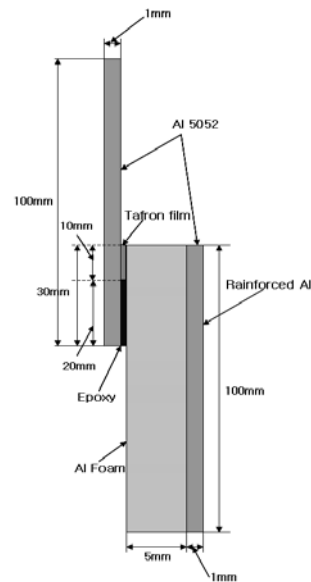


Fig. 1 CLS specimen

### 2.2 시편제작 및 실험방법

알루미늄/발포알루미늄 CLS(Cracked Lap Shear)시편은 상온에서 경화되는 접착제를 이용 알루미늄/발포알루미늄 형태로 적층한 후 5kg/cm<sup>2</sup>의 일정한 압력으로 상온에서 24시간 경화시켜 완성하였다. 접착제는 에폭시(정도화성)와 경화제(정도화성)를 중량비 2:1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 초기 균열은 알루미늄과 알루미늄 복합체 계면에 20μm 두께를 갖는 테프론 필름을 10mm 삽입하여 형성하였다. 시편 제작 시 발포알루미늄이 알루미늄 5052보다 강도가 약해 시험 도중 시편이 파괴되는 경우를 방지하기 위해 발포알루미늄의 접합면 반대쪽에 알루미늄을 붙여서 발포알루미늄을 강화하였다. 알루미늄 과 발포알루미늄의 접합은 에폭시(정도화성)와 경화제(정도화성)를 중량비 2:1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 본 연구에서는 표면처리와 상관없이 에폭시의 양을 0.3ml로 제한하고, 상온에서 24시간의 경화조건을 유지하여 0.2mm의 동일한 두께의 접착제를 갖는 시편을 제작하였다.

파괴시험은 Instron 8871를 사용하여 일정변형률 (0.5mm/min) 하에서 수행하였다.

## 3. 결과

플라즈마를 이용한 알루미늄 표면처리시 중요한 공정변수 중 하나가 표면처리 시간이다. 표면처리 시간이 접촉각에 미치는 영향을 규명하기 위해 처리시간을 5분, 10분, 20분, 30분으로 달리하여 표면처리 하였으며 이에 따른 접촉각 변화를 측정하였다. Fig. 2는 표면처리 시간에 따른 알루미늄의 접촉각 변화를 나타낸다. Fig. 2에 나타나 있듯이 표면처리 하지 않은 알루미늄 시편의 접촉각은 약 83°임을 알 수 있다. 한편 5분 동안 질소가스로 플라즈마 표면처리 한 시편의 접촉각은 약 31°로 급격하게 작아졌으며 10분 후에는 28°, 20분 후에는 16°로 감소함을 알 수 있다. 그러나 30분 후에는 오히려 접촉각이 약 20°로 증가하는 것을 알 수 있다. 표면처리에 따른 접촉각의 감소는 질소 플라즈마에 의해서 알루미늄 표면의 친수성이 높아지기 때문이라고 판단된

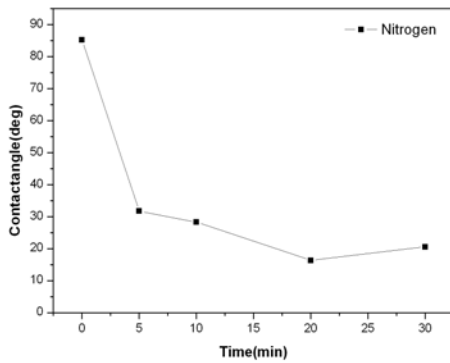


Fig. 2 Contact angle after nitrogen plasma treatment

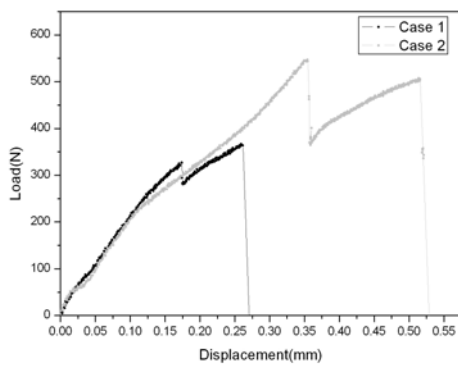


Fig. 3 P-δ Curves of Case 1 and Case 2

다. 주목해야 할 점은 5분이 넘어간 이후 시간에 따른 접촉각의 변화가 크지 않다는 것으로서 알루미늄 표면의 친수성은 표면처리 시간에 크게 영향 받지 않는다는 사실이다.

본 연구에서는 표면처리가 알루미늄/발포알루미늄 복합재의 접합력에 미치는 영향을 알기 위해 CLS 시편을 이용한 파괴시험을 시행하였다. 파괴시험을 통하여 얻는 컴플라이언스 및 파괴하중 등과 같은 재료의 파괴특성은 하중-변위(P-δ)선도로부터 결정될 수 있다. Fig. 3은 표면처리 하지 않은 알루미늄과 발포알루미늄을 적용한 시편(이하 “Case 1” 이라 함), 질소 플라즈마 처리를 한 알루미늄과 발포알루미늄을 적용한 시편(이하 “Case 2” 라 함) 두 경우의 알루미늄/발포알루미늄 CLS 시편의 하중 변위 선도를 비교한 그림이다. 그림에 나타나 있듯이 Case 1, 2 모두 초기에는 힘이 선형에 가까운 형태로 증가하다가 비선형형태로 증가하는 것을 알 수 있다. Case 1의 경우 약 50N까지는 힘이 선형으로 증가하다가 약 75N이상이 되면서부터 비선형형태로 힘이 증가하는 것을 알 수 있다. 약 327N의 힘에서 첫 번째 크랙이 진전되며, 약 366N의 힘에서 시편의 파괴가 일어난다. Case 2의 경우 역시 약 50N까지는 선형의 형태로 힘이 증가하다가 50N이후부터 비선형형태로 힘이 증가한다. 약 543N에서 첫 번째 크랙이 일어나며 두 번째로 크랙이 진전될 때 약 506N의 힘에서 시편의 파괴가 일어난다. 이와 같이 힘이 선형의 형태에서 비선형의 형태로 증가하는 현상은 CLS 시편이 비대칭성 시편으로서 굽힘 모멘트가 알루미늄과 발포알루미늄의 접합부에서 발생하며 하중이 증가하면 이에 대한 굽힘 변형이 무시할 수 없을 정도로 크게 나타나기 때문이다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 질소 플라즈마 표면처리가 알루미늄/발포알루미늄 복합재의 파괴인성에 미치는 영향을 실험을 통하여 알아보았다.

1) 질소 플라즈마 처리 후 알루미늄의 접촉각은 5분 이후에는

시간에 따른 접촉각의 변화가 크지 않았다. 따라서 5분 이후에는 플라즈마 표면처리가 알루미늄 표면의 친수성에 크게 영향을 주지는 못한다는 것을 알 수 있었다.

2) CLS시편을 이용한 파괴시험에서 표면처리를 한 Case 2가 약 536N, 표면처리를 하지 않은 Case 1은 약 293N의 파괴하중을 나타내었으며 Case 2가 Case 1에 비하여 약 86%정도 높았다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 자동차기반기술개발사업의 지원으로 연구되었으며, 이에 사의를 표합니다.

#### 참고문헌

1. Paul, A., Seshacharyulu, T., Ramamurty, U. “Tensile strength of a closed-cell Al foam in the presence of notches and holes - Structure and Properties” Scripta materialia, v.40 no.7, pp.809-814, 1999
2. Papadopoulos, D.P., Konstantinidis, I.C., Papanastasiou, N., Skolianos, S., Lefakis, H., Tsipas, “Mechanical properties of Al metal foams”, Materials letters, v.58 no.21, pp.2574-2578, 2004
3. Kim, A., Hasan, M.A., Nahm, S.H., Cho, S.S., “Evaluation of compressive mechanical properties of Al-foams using electrical conductivity” Composite structures, v.71 no.2, pp.191-198, 2005
4. Kim, S. Y., Park, S. H., Um, Y. S., Hur, B. Y., “Sound Absorption Properties of Al Foam”, Materials science forum, v.486/487, pp.468-471, 2005
5. Jiejun, W., Chenggong, L., Dianbin, W., Manchang, G., “Damping and sound absorption properties of particle reinforced Al matrix composite foams”, Composites science and technology, v.63 no.3/4, pp.569-574, 2003
6. Ramachandra, S., Sudheer Kumar, P., Ramamurty, U., “Impact energy absorption in an Al foam at low velocities” Scripta materialia, v.49 no.8, pp.741-745, 2003
7. Asavavisithchai, S., Slater, D., Kennedy, A. R., “Effect of tube length on the buckling mode and energy absorption of Al foam-filled tubes” Journal of materials science, v.39 no.24, pp.7395-7396, 2004
8. Kretz, R., Hausberger, K., Götzinger, B., “Energy-Absorbing Behavior of Aluminum Foams: Head Impact Tests on the A-Pillar of a Car”, Advanced engineering materials, v.4 no.10, pp.781-785, 2002
9. Zhang, X., Cheng, G., “A comparative study of energy absorption characteristics of foam-filled and multi-cell square columns”, International journal of impact engineering, v.34 no.11, pp.1739-1752, 2007
10. Toda, H., Takata, M., Ohgaki, T., Kobayashi, M., Kobayashi, T., Uesugi, K., Makii, K., Aruga, “3-D Image-Based Mechanical Simulation of Aluminium Foams: Effects of Internal Microstructure” Advanced engineering materials, v.8 no.6, pp.459-467 2006
11. Chung, H.J, Rhee, K.Y, Han, B.S, Ryu, Y.M, “ Plasma treatment using nitrogen gas to improve bonding strength of adhesively bonded aluminum foam/aluminum composite”, Journal of alloys and compounds, In press.
12. Asavavisithchai, S., Slater, D., Kennedy, A. R., “Effect of bonding strength on the energy absorption of Al foam-filled cylindrical tube”, Journal of materials science, v.39 no.18, pp.5873-5875, 2004