

# 통신 안테나용 허니콤 샌드위치 구조물의 충격 손상에 관한 연구

조성재\* · 김차겸\* · 박현철\*\* · 황운봉\*\*

## Impact Damage of Honeycomb Sandwich Antenna Structures

Sungjae Cho, Chakyum Kim, Hyunchul Park and Woonbong Hwang

**Key Words :** Sandwich(샌드위치), Honeycomb core(허니콤 코어), CLAS, Impact damage(충격 손상), Microstrip antenna(마이크로스트립 안테나)

### ABSTRACT

The impact response and damage of CLAS panel was investigated experimentally. The facesheet material used was RO4003 woven-glass hydrocarbon/ceramic and the core material was Nomex honeycomb with a cell size of 3.2mm and a density of 96 kg/m<sup>3</sup>. The shield plane used was RO4003 and 2024-T3 aluminum. Static indentation and impact test was conducted to characterize the type and extent of the damage observed in two CLAS panels, and the performance of antenna used in a wireless LAN system. Correlation of peak contact force, residual indentation and the delamination area shows impact damage of the panel with an aluminum shield plane is larger than that of the panel with RO4003 shield plane, although the former is more penetration resistant. The damage was observed by naked eye, ultrasonic inspection and cross sectioning. The shape and size of delamination was estimated by ultrasonic inspection, and the area of delamination linearly increases as impact energy increases. The performance of impact damaged antenna was estimated by measuring return loss and radiation pattern.

### 1. 서 론

최근 이동 통신이 급속하게 발전하면서 안테나의 사용이 증가하게 되었다. 하지만, 기존에 사용된 안테나는 돌출부가 존재하여 외관상 좋지 않을 뿐만 아니라 구조적으로 취약한 단점이 있었다. 이러한 단점을 극복하고자 안테나와 구조물의 역할을 함께 수행하는 CLAS(Conformal Load-bearing Antenna Structure)에 대한 연구가 필요하게 되었다 [1-2].

CLAS 가 하중을 지지하는 구조재로 사용되면 외부의 물체에 의한 충격 손상을 받기 쉽다. 본 논문에서는 마이크로스트립 안테나와 샌드위치 패널을 이용하여 CLAS 를 제작하고, 외부의 물체에

의하여 CLAS 에 저속 충격이 가해지는 경우 CLAS 에 나타나는 충격거동을 실험적으로 해석하였다. 또, 충격 손상이 안테나의 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 저속 충격(low-velocity impact) 실험을 수행하였다. CLAS 의 충격 손상은 비파괴적인 방법을 이용하여 조사하였다. 또, 스펙트럼 분석기와 무 반사실을 이용하여 손상을 받은 CLAS 의 반사 손실(return loss)과 방사 패턴(radiation pattern)을 측정하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 시편의 제작

CLAS 의 제작은 면재의 동박을 에칭하고, 접착 필름을 이용하여 면재와 심재를 붙이고 오토클레이브(autoclave)를 이용하여 경화 시키는 방법으로 제작되었다. 경화 사이클은 125℃에서 90 분 동안

\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 회원, 포항공과대학교 기계공학과

유지하였다. 실험에 사용된 재료의 물성은 Table 1에 나타내었다.

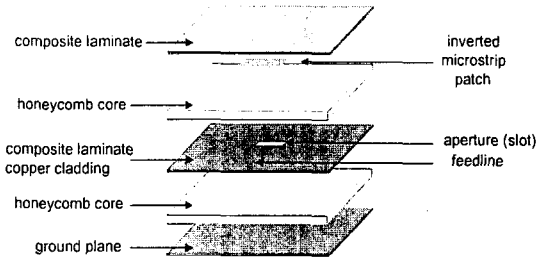


Fig. 1 Structure of the specimens

Table 1 Properties of Materials

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Dielectric Constant	Loss Tangent	Tensile Modulus (Gpa)	Tensile Strength (Mpa)
RO4003	1800	3.38	0.0027	26.9	141
HRH-10-1/8-6.0	96.1	1.12	Very Low	-	7.76 (Comp)
2024-T3	2800	-	-	72.4	482

실험을 위한 시편은 저속 충격 실험을 위한 Panel 1 과 Panel 2, 안테나의 성능 측정을 위한 Panel 3 을 준비하였다. Panel 은 RO4003 을 접지면으로 사용하였고, Panel 2 와 Panel 3 은 2024-T3 Aluminum 을 접지면으로 사용하였다. 시편의 구조는 Fig. 1 에 나타나 있다. 시편의 크기는 가로와 세로가 각각 100mm 가 되도록 하였고, 면제와 접지면의 두께는 모두 0.5mm, 심재의 두께는 2.54mm 가 되도록 하였다.

## 2.2 충격 실험

먼저 충격에 의해 시편이 완전히 관통되는 관통 실험 (Penetration Test)을 수행하였다. 시편에 가해지는 에너지는 31.99J, 충격체가 시편에 닿을 때의 속도는 4.98m/s 가 되도록 유지하였다.

저속 충격 실험 시 Panel 1 과 Panel 2 는 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0J 의 에너지 준위로 충격 실험을 수행하였으며, Panel 3 은 추가적으로 1.5, 1.75J 의 에너지 준위에 대하여 충격 실험을 수행하여 결과를 분석하였다. Panel 3 은 패치의 중앙에 충격이 가해지는 경우만을 가정하여 충격 실험을 수행하였다.

## 3. 충격 실험 결과

### 3.1 충격 하중 및 에너지

관통 실험의 결과는 Fig. 2 에 나타나 있다. Panel 1 의 최대 하중은 1.24kN 이며, 이 때 흡수된 충

에너지는 9.09J, 최대 변위는 6.14mm 이다. 반면, Panel 2 는 4.48kg 의 최대 하중과 28.25J 의 흡수 에너지, 13.96mm 의 최대 변위를 가진다.

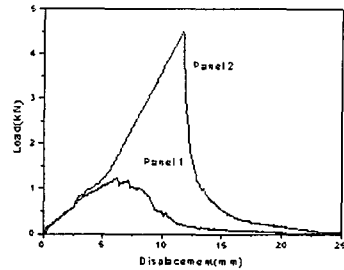


Fig. 2 Penetration test results of Panel 1 and Panel 2

Fig.3 와 Fig.4 는 충격 에너지의 증가에 따라 시편에 가해지는 충격 하중의 변화를 보여주는 그래프이다. Fig.3 의 그래프에서는 충격 에너지가 증가함에 따라 충격 하중이 증가하며, 충격 에너지가 5.0J 이 되자 급격한 하중의 감소가 나타났다. 이는 하단에 있는 RO4003 섬유 중 일부에 파단이 존재함을 나타낸다. 이 때의 최대하중은 1.24kN 이었다. Fig.4 의 그래프에서는 Fig.3 와 마찬가지로 충격 에너지의 증가에 따라 충격 하중이 증가하였으나, 하중의 급격한 감소는 일어나지 않았다. 이는 알루미늄의 파단이 시편 전체의 거동을 지배하기 때문에 RO4003 섬유의 파단이 충격 하중의 감소에 큰 역할을 하지 못한 것으로 풀이된다. 이 때, 시편에 가해지는 하중은 1.61kN 까지 증가하였다.

가해진 충격 에너지에 대한 흡수된 에너지의 비를 Fig.5 에 나타내었다. 시편에 충격 에너지가 가해지면 일부는 탄성에너지로 되돌아가고 나머지는 시편을 파괴시키며 시편으로 흡수된다. 이 에너지를 흡수된 에너지라 부르는데, 이 그래프에서 Panel 1 은 약 80%의 에너지를, Panel 2 는 약 75%의 에너지를 흡수하였다. 강성이 큰 Panel 2 가 Panel 1 보다 탄성에너지가 더 크기 때문에 더 적은 에너지를 흡수하였다. 또 Fig.5 에서는 1.0J 에서 2.0J 로 충격 에너지가 증가할 때 기울기가 변함을 알 수 있는데, 이는 두 번째에 있는 RO4003 섬유가 하중을 받기 시작하면서 흡수된 에너지가 증가함을 보여준다고 할 수 있다.

## 3.2 시편의 손상 관찰

### 3.2.1 초음파 C-scan

본 연구에서는 0.3J, 0.5J, 1.0J, 3.0J, 5.0J 의 충격 에너지에 의해 발생한 충격 손상만을 초음파 C-scan 으로 검사하였다.

충격 에너지의 증가에 따른 층간 분리의 길이와 면적을 계산하여 그 결과를 Fig. 6 에 나타내었

다. 층간 분리 면적은 충격 에너지가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하였으며, Panel 2의 층간 분리 면적이 Panel 1의 층간 분리 면적보다 넓었다.

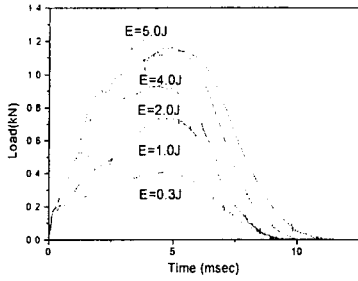


Fig. 3 Force history of Panel 1 as a function of time

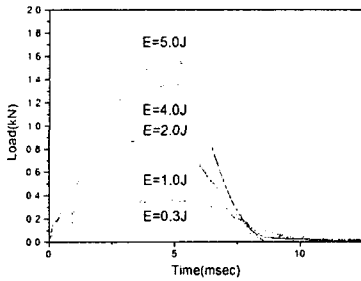


Fig. 4 Force history of Panel 2 as a function of time

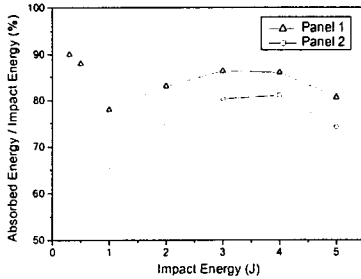


Fig. 5 Absorbed Energy / Impact Energy (%)

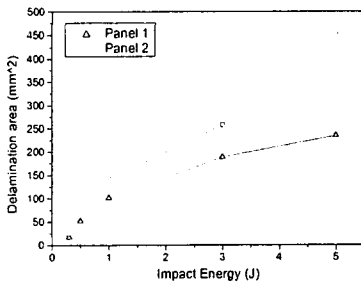


Fig. 6 Delamination area as a function of impact energy

### 3.2.2 X-radiography

Fig. 7는 3.0J의 충격 에너지를 가했을 때, X-선을 측면에서 방사하여 충격에 의한 손상 정도를

측정한 것이다. Panel 2가 Panel 1보다 더 깊이, 더 넓게 손상을 입었음을 알 수 있다.

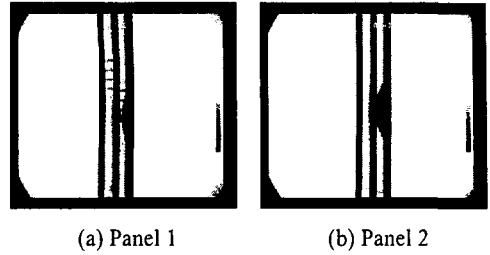


Fig. 7 X-radiography at 3.0J impact energy

## 4. 안테나 실험

### 4.1 반사 손실의 측정

반사 손실(Return loss)은 안테나의 공진 특성을 알아내는 척도로 사용되고 있으며, 입사된 전력에 대한 반사된 전력의 비이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다[6].

$$\begin{aligned} \text{Return Loss} &= -10 \log \left| \frac{P_0^-}{P_0^+} \right| \\ &= -20 \log \left| \frac{V_0^-}{V_0^+} \right| = -20 \log |\Gamma| \quad (1) \end{aligned}$$

여기서,  $P_0^+$ 와  $V_0^+$ 는 각각 입력된 전력과 전압을,  $P_0^-$ 와  $V_0^-$ 는 각각 반사된 전력과 전압을,  $\Gamma$ 는 반사계수를 나타낸다.

반사 손실을 측정하기 전에 Panel 3의 패치중앙에 충격 실험을 수행하였으며, 이때의 충격 에너지는 0.3J, 0.5J, 1.0J, 1.25J, 1.5J, 1.75J, 2.0J, 3.0J, 4.0J로 변화시켰다. 안테나의 성능 변화는 시편에 가해지는 충격 에너지가 1.0J과 2.0J사이일 때 발생하는 것을 알 수 있었다.

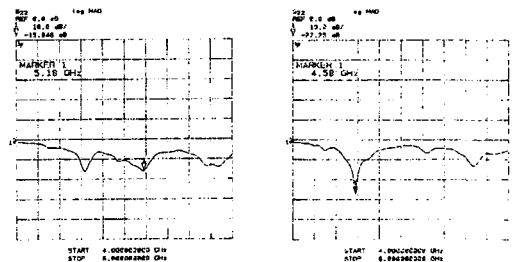


Fig. 8 Return loss of Panel 3 at each impact energy

본 논문에서는 1.5J과 1.75J사이의 반사 손실만

나타내었다. 손상을 입지 않은 안테나는 5.18GHz에서 공진하고 반사 손실이 25dB 정도가 되는데, 충격 에너지가 1.5J로 증가하여도 반사 손실 특성은 크게 변하지 않았다. 하지만, 1.75J이 되자 반사 손실 특성이 크게 변하였는데, 5.18GHz 근처에서 공진이 일어나지 않았다.

위의 결과들로부터, 1.5J에서 1.75J 사이의 충격 에너지를 가했을 때 안테나의 공진 주파수가 변화됨을 알 수 있었다.

#### 4.2 방사 패턴의 측정

방사 패턴은 안테나의 방사 특성에 대한 그래프 표현이라고 할 수 있으며, far-field에서 방사되는 안테나의 특성을 한 평면상에 360°로 나타낸 것이다[5]. 본 실험에서는 Compact Range를 이용하여 방사 패턴을 측정하였다. 사용된 전파의 주파수는 설계 주파수인 5.78GHz로 하였다.

Compact Range에서 측정한 방사 패턴을 Fig. 9~ Fig. 10에 나타내었다. 안테나에 가해지는 충격 에너지를 증가하여 1.5J이 되어도 주엽은 손상을 입지 않은 안테나의 것과 유사하였지만 충격 에너지가 1.75J이 되면, Fig. 10에서 볼 수 있듯이 주엽의 패턴이 설계했던 패턴과 전혀 다르게 나타나며, 이득 또한 현저하게 감소함을 알 수 있다.



Fig. 9 Radiation pattern of Panel 3 at 1.5J impact energy

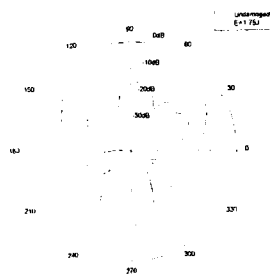


Fig.10 Radiation pattern of Panel 3 at 1.75J impact energy

## 5. 결론

본 연구에서는 RO4003 복합재와 허니컴 코어를 이용하여 CLAS를 제작하여 저속 충격에 의한 손상을 연구하였고, 그에 따른 안테나 성능의 저하를 연구하였다.

따라서, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고주파용 기관 대신 알루미늄을 이용하여 강성과 강도를 높이면 관통에 대한 저항성은 월등히 증가하나 저속 충격에 의한 손상 영역이 넓어진다.
- (2) 충격 에너지의 증가에 따른 안테나 성능의 저하에는 임계점(Threshold)이 존재하였으며, 그 때의 충격 에너지는 1.5J과 1.75J 사이에 존재한다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Tuss, J., Lockyer, A., Alt K, Uidrich, F., Kinslow, R., Kudva, J. and Goetz, A., "Conformal Loadbearing Antenna Structure," AIAA Paper 96-1415-CP, 1996, pp. 836-843
- (2) Hopkins, M. A., Tuss, J. A., Lockyer A. J., Alt K., Kinslow, R., and Kudva, J. N., "Smart Skin Conformal Load-bearing Antenna and Other Smart Structures Developments," AIAA Paper 97-1163, 1997, pp. 521-530
- (3) Kassapoglou, C., Jonas, P. J. and Abbott. R., "Compressive Strength of Composite Sandwich Panels After Impact Damage: An Experimental and Analytical Study," Journal of Composites Technology & Research, Vol. 10, Summer 1998, pp. 65-73
- (4) Kim, Chun-Gon, and Jun, Eui-Jin, "Impact Resistance of Composite Laminated Sandwich Plates," Journal of Composite Materials, Vol. 26, No. 15, 1992, pp. 2247-2261
- (5) Stutzman, Warren L., and Thiele, Gray A., "Antenna Theory and Design," John Wiley & Sons, Inc., 2<sup>nd</sup> ed. 1998
- (6) Pozar, David M., "Microwave Engineering," John Wiley & Sons, Inc., 2<sup>nd</sup> ed., 1998