

무선 랜 시스템용 스마트 스킨의 좌굴 특성 연구

전지훈* · 유치상* · 황운봉** · 박현철** · 박위상***

Characteristics of Smart Skin for Wireless LAN system under Buckling Load

Ji Hoon Jeon*, Chi-sang You**, Woonbong Hwang**,
Hyun-Chul Park** and Wee-Sang Park***

Key Words: Buckling, Smart Skin

Abstract

The characteristics of smart skin for wireless LAN system under compression load are investigated. The smart skin structure is composed of 3 layers of face material and 2 layers of core material. Theoretical formula for determining buckling load is derived by Rayleigh-Ritz method and compared with experimental result. The maximum length of specimen that buckling does not occur is determined by assuming that the compression load is sustained by only face material. In the experiment, if buckling occurs obviously then it follows the theoretical result well. In the process of buckling, the load supporting capability and the antenna property such as radiation pattern and reflection coefficient were examined.

기호설명

- L : 시편의 길이
- b : 시편의 두께
- E : 면재의 영률
- G : 심재의 전단변형률
- U : 변형에너지
- V : 포텐셜에너지
- Π : 전체에너지
- c_1 : 위 심재의 두께
- c_2 : 아래 심재의 두께
- u : x축 변위
- w : z축 변위

1. 서론

무선 통신 기술의 발달과 더불어 다양한 통신 서비스에 대한 요구가 날로 증대됨에 따라 각 통신 시스템에 적합한 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 연구되어온 안테나는 구조체 표면에 부착되는 형태로써 구조적으로 안정하지 못한 단점이 있다. 운송수단에 사용되는 구조물은 구조적으로 안정해야 하며 경량화가 필수적이기 때문에 단위 중량 당 강도가 월등히 우수한 복합재료가 각광을 받고 있는 추세이다. 이에 하니컴을 이용한 샌드위치 구조물을 스마트 스킨에 적용하여 통신을 필요로 하는 운송체 및 노트북을 비롯한 여러 이동통신기기에 사용되는 안테나 부착에 의한 돌출부와 결함을 근본적으로 제거함으로써 항력 저항 및 구조적인 기능뿐만 아니라 안테나의 기능도 동시에 만족시키는 고성능 적용구조 스마트 스킨 안테나가 연구 개발중이다. 스마트 스킨 구조물은 기존의 샌드위치 구조물을 응용한 형태이며 좌굴과 크러싱에 대한

* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

** 포항공과대학교 기계공학과

*** 포항공과대학교 전자컴퓨터공학과

저항을 가지고 있어야 한다. 이번 연구에서는 샌드위치 구조물을 응용한 스마트 스킨의 좌굴에 따른 기계적인 거동과 안테나의 성능변화에 대해서 알아보았다.

2. 이론

2.1 스마트 스킨의 구조

스마트 스킨 안테나의 구조는 Fig.1과 같다. 위 부분의 얇은 유전층은 보호층인 레이돔의 역할을 하며, 그 아래 부분에 방사 소자인 패치가 위치한다. 패치와 개구면을 포함한 접지면 사이에는 허니컴이 위치한다.

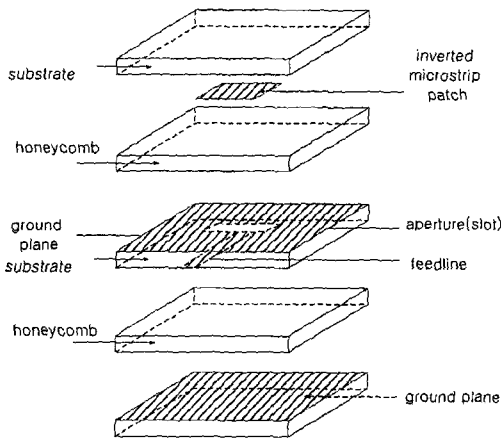


Fig.1. Smart skin antenna structure

무선 랜 시스템용 스마트 스킨은 기존의 안테나와는 달리 화면의 뒤쪽에 안테나를 삽입하여 구조체를 이루어 물리적인 영향에도 안테나가 손상되지 않도록 설계되어 있다.

무선 랜용 안테나는 5 × 2 배열형태의 안테나이다. 레이돔층과 슬롯, 피드층은 Rogers 사의 RO4003 기판이며 코어로 Hexel 사의 HRH-10-1/8-6.0 허니컴을 사용하였다.

2.2 좌굴력 계산

스마트 스킨은 길이가 L 이고 폭은 b 이며, 맨 위 레이돔층에 해당하는 부분을 윗 면재 라고

하였고, 가운데 피드, 슬롯층을 중간 면재라고 하였으며, 맨 아래 접지층에 해당하는 부분을 아래 면재라 하였으며 각 면재의 두께는 t , 영률은 E 로 설정하였다. 윗 면재와 중간 면재사이의 하나 킴을 윗 심재라고 하였고 두께는 c_1 , 중간 면재와 아래 면재 사이의 하나 킴을 아래 심재라고 하고 두께는 c_2 라고 하였다. 그리고 코어의 전단 변형 시 곱해지는 계수를 λ 라고 하였다. 중립축이 중간 면재, 아래 심재에 있는 2가지 경우를 가정하여 변형에너지와 포텐셜에너지를 계산한 후 Rayleigh-Ritz 방법으로 좌굴력을 구한다. 그 이후 해의 타당성을 검증한다.

중립축이 중간 면재에 있다고 가정할 후 중간 면재 아래로부터 중립축까지의 거리를 q 라고 하였을 때 시편의 미분요소를 Fig.2에 표시하였다.

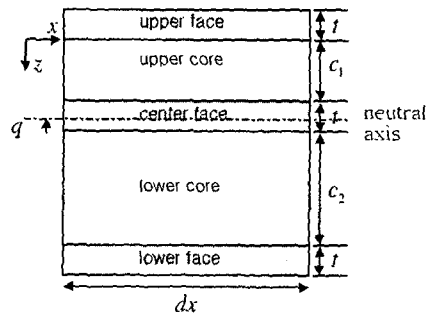


Fig.2. Dimension of specimen for buckling test when neutral axis is on center face

이때 각각의 변위는 다음과 같이 계산된다.

· 윗 면재 ($-t \leq z \leq 0$)

$$u = (t - q + c_1 \lambda - z) \frac{dw}{dx} \quad (1)$$

· 윗 심재 ($0 \leq z \leq c_1$)

$$u = (t - q + \lambda c_1 - \lambda z) \frac{dw}{dx} \quad (2)$$

· 중간 면재 ($c_1 \leq z \leq c_1 + t$)

$$u = -(z - c_1 - t + q) \frac{dw}{dx} \quad (3)$$

· 아래 심재 ($c_1 + t \leq z \leq c_1 + c_2 + t$)

$$u = (-q - \lambda z + \lambda c_1 + \lambda t) \frac{dw}{dx} \quad (4)$$

· 아래 면재 ($c_1+c_2+t \leq z \leq c_1+c_2+2t$)

$$u = (-q - \lambda c_2 - z + c_1 + c_2 + t) \frac{dw}{dx} \quad (5)$$

각 면재의 변형에너지는 다음과 같다.

$$U_f = \frac{1}{2} \int \epsilon_x \sigma_x dV = \frac{E}{2} \int \left(\frac{du}{dx} \right)^2 dV \quad (6)$$

심재는 전단 변형만 한다고 가정을 하였기 때문에, 심재의 변형에너지는 다음과 같다.

$$U_c = \frac{G}{2} \int v^2 dV = \frac{G}{2} \int \left((1-\lambda) \frac{dw}{dx} \right)^2 dV \quad (7)$$

포텐셜에너지는 다음과 같다.

$$V = -\frac{P}{2} \int_0^L \left(\frac{dw}{dx} \right)^2 dx \quad (8)$$

양 끝점의 지지 조건에 따른 x 축 변위는 다음과 같이 가정한다.

· 단순지지 (simply supported)

$$w = a_n \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (9)$$

· 고정 지지 (clamped)

$$w = a_n \sin^2 \frac{n\pi x}{L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (10)$$

각각의 변형에너지와 포텐셜에너지를 합을 전체에너지 Π 라 하면 이는 미지변수 a_n , λ , q 에 대한 함수이다. 아래 방정식으로부터 좌굴력 P 를 계산할 수 있다.

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_n} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \lambda} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial q} = 0 \quad (11)$$

3. 실험

3.1 기계적 성능 실험

Fig.3에는 경계조건이 완전고정일 때, Fig.4에는 단순지지일 때의 결과를 보였다. 이론치는 가는 실선으로 표시하였고 실험값들은 \times 표시를 하였다. 굵은 실선은 최대 압축하중이다. 대체적으로 이론치보다 실험치가 작게 나오지만 잘 일치하는 경향을 보인다. 시편의 길이가 짧을수록 좌굴에 의한 파괴보다는 시편의 최대 압축 하중에 의하여 파괴경향을 보인다.

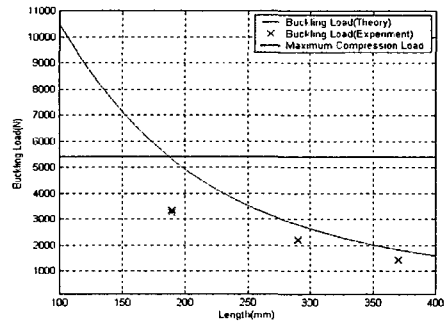


Fig.3. Load at $c_1=c_2=2.54\text{mm}$, $b=25\text{mm}$ for clamped condition

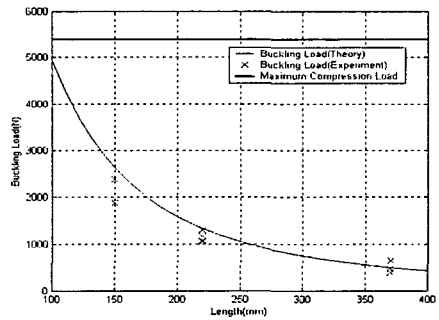


Fig.4. Load at $c_1=c_2=2.54\text{mm}$, $b=25\text{mm}$ for simply supported condition

3.2 안테나 성능 실험

좌굴 후 파손되지 않은 상태에서 하중을 제거한 안테나 반사계수와, 방사패턴은 거의 변화가 없었다. 좌굴 실험 시 레이돔층만 파손되었을 때 파손 전과 파손 후의 방사패턴을 Fig.5에 비교하였다. 가는 실선이 파손 전의 모습이고 굵은 실선이 파손 후의 모습이다. 방사패턴은 다소 변하였지만, 안테나의 역할을 할 수 있었다. 이 안테

나는 배열 중 가운데 부분만 손상을 입었고 나머지 부분은 잘 작동을 하기 때문에 대략 5dB 정도의 전력 손실이 있음을 확인 할 수 있다. 이후 가운데 파드, 슬롯층이 파손된 경우는 더 이상 안테나의 기능을 할 수 없었다.

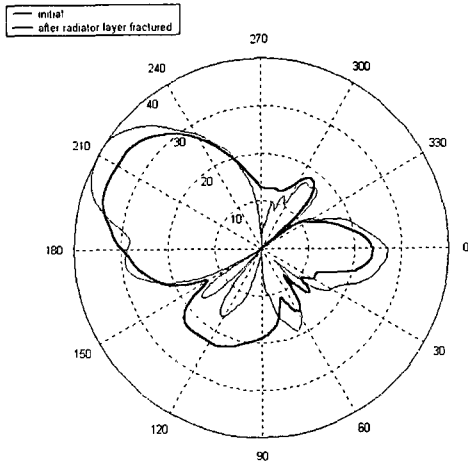


Fig.5. Radiation pattern of 5x2 array antenna of which radom layer fractured

4. 결론

스마트 스킨의 좌굴력은 하중이 크지 않은 경우, 길이가 긴 경우 좌굴현상이 명확하게 나타나기 때문에 실험과 비교적 잘 일치하였으며, 시편의 길이가 같은 경우는 완전고정일 경우가 단순 지지일 때보다 지지 하중이 더 큰 것을 알 수 있었다. 스마트 스킨의 좌굴 후 성능변화 과정은 제일 약한 레이돔층이 파손되면서 하중 지지능력이 상실되고 안테나는 가운데 패치가 손상되고 나머지 패치는 작동을 하여 전체적인 성능만 약간 감소하게 되고, 이후 파드, 슬롯층이 파괴되면서 안테나의 기능이 상실됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 1999년도 과학재단 목적기초연구(1999-2-304-004-3, 과제명: 기능성 적용구조 시스템 개발 및 제조)에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Howard G. Allen, "Analysis and Design of Structural Sandwich Panels," Pergamon Press, 1969
2. Stephen P. Timoshenko and James M. Gere, "Theory of Elastic Stability," McGraw-Hill, 1983
3. T. R. A. Pearce and J. P. H. Webber, "Experimental Buckling Loads of Sandwich Panels with Carbon Fibre 면재plates," Aeronautical Quarterly, Vol. 24, 1973, pp. 295-312
4. A. J. Lockyer, K. H. Alt, D. P. Coughlin, M. D. Durham, and J.N. Kudva, "Design and Development of a Conformal Load-Bearing Smart-Skin Antenna: Overview of the AFRL Smart Skin Structures Technology Demonstration (S3TD)," Part of the SPIE Conference on Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, Vol. 3674, 1999, pp. 410-424
5. Y. W. Lee, M. S. Chun and J. K. Paik, "An Experimental Study on the Behavior of Aluminum-Honeycomb Sandwich Panels," Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 33, No. 4, 1996, pp. 106-123
6. Y. W. Kwon, M. C. Murphy and V. Castelli, "Buckling of Unbalanced, Sandwich Panels With Titanium and GRP Skins," Transactions of the ASME, Vol. 117, 1995, pp. 40-44
7. R. M. Lee, "A Study on Dual-polarized Load-bearing Microstrip Antennas," M.S. Thesis, Pohang University of Science and Technology