

[특별강연] 알루미늄 허니콤을 이용한 새로운 단축 압축시험법 개발

엄기중

강원대학교 창강제지연구소

1. 서 론

새로운 종이 제품을 개발하거나 제조공정을 최적화하려할 때 종이의 하중에 대한 기계적인 거동을 예측하고 시뮬레이션하는 것이 중요하다. 또한 종이의 하중에 대한 기계적인 거동을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션하기 위해서는 종이의 기계적인 거동 특성을 나타낸 실험적인 데이터를 필요로 한다. 실험적인 데이터로서는 단축 인장 또는 단축 압축 응력-변형률 데이터가 주로 사용되어져 왔다.

보통 단축 인장 응력-변형률 테스트는 실험수행이 용이하며 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 단축 인장 응력-변형률 데이터로만으로 모든 종이의 기계적인 거동 특성을 나타낼 수 없다. 단축 압축 응력-변형률 테스트는 종이가 유연하고 좌굴(buckling)되기 쉬운 관계로 실험을 수행하기가 어려워 많은 연구가 이루어지지 않고 있다.

단축 압축 응력-변형률 테스트로서 중공축 실린더를 이용한 방법이 Ueseka *et al.* (1)에 의해 시행되었다. 양 끝단을 24시간에 걸쳐 경화되는 에폭시 접착제로 강화하고 스카프조인트로 균일한 두께의 종이 실린더를 만든 다음 단축 압축 응력-변형률 테스트에 사용하였다. 이 시험법은 역학적으로 올바른 이론적인 배경을 가지고 있지만 종이 실린더를 만들기가 용이하지 않고 종이 실린더가 하중을 받을 때 국부적인 좌굴 현상(local buckling)이 생길 수 있다. Gunderson(2)과 Setterholm *et al.*(3)은 가는 수직 막대의 그리드를 측방지지대로 이용하고 진공을 걸면서 단축 압축하여 데이터를 구하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 측방지지대로 사용된 가는 막대들과 종이사료 사이에 마찰이 발생할 수 있고 종이사편이 하중을 받을 때, 변형상태를 직접 관찰할 수가 없다.

본 연구에서는 알루미늄허니콤을 측방지지대로 이용하고 이미지 correlation을 기초로한 새로운 단축 압축 시험법을 개발하는 것을 목표로 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 종이 재료

본 실험에 사용된 종이재료는 SUNY ESF ESPRI에 있는 122 cm Fourdrinier 파이렛 프랜트에서 만들어진 종이판지(greeting card)로서 밀도는 676kg/m^3 이었고 평량은 122 g/m^2 이었고, 판지의 두께는 0.18 mm 였다.

2.2 알루미늄허니콤

Alcore 사가 만든 알루미늄허니콤으로서 두께는 0.635 cm, 셀사이즈는 0.476 cm, 너비는 6.30 cm 였으며 길이는 9.70 cm 이었다.

2.3 디지털 캠코더

Sony사의 DCR-TRV 730 Digital 8 캠코더가 변형되는 종이판지 표면의 디지털 이미지를 얻는데 사용되었다.

2.4 이미지 correlation 소프트웨어

미국의 South Carolina 대학에서 개발된 VIC_2D 이미지 correlation 소프트웨어가 사용되었으며 30x30 픽셀의 서브셋, 10 픽셀의 서브스텝 사이즈의 디지털이미지가 분석되었다. 이미지 correlation분석에 사용된 파라미터들이 Table. 1에 나타나 있다.

Table 1. The user-selected parameter and values used in the image correlation of reference set

Parameters	Values/options
Correlation Measure	Cross Correlation
Factor Calculation	Before analysis
Correlation Technique	New-Raphson
"Full Partial" or "No Partial"	Full Partial
Coarse Fine Factor	0.00999
Coarse Fine Range	10
Subset size	30
Sub step size	5

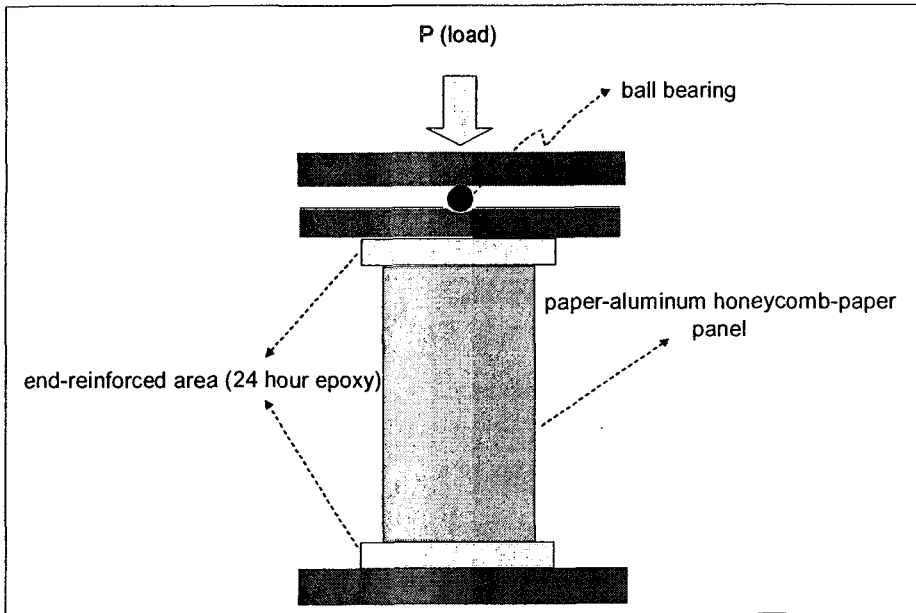


Figure 1. Experimental setup for the uniaxial compression test using aluminum honeycomb as lateral supports

2.5 시험기(Testing machine)

모든 실험은 Instron Model 4204 유니버설 시험기를 사용하여 이루어졌다. 이 시험기는 인터페이스회로 보드를 통해 컴퓨터로 자동통제 되었다. 중밀도 섬유판 (Medium density fiberboard)이 Instron Model 4204 유니버설 시험기의 크로스헤드 밑에 거치되어 압축하중 표면으로 이용되었다.

강철공(steel ball)이 집합기의 노치(notch) 위에 위치하여 단축 압축 실험을 할 때, paper-aluminum honeycomb-paper panel에 하중이 고루 분포하도록 하였다.

단축 압축 응력-변형을 실험장치의 모식도가 Fig. 1에 그리고 데이터의 흐름도가 Fig. 2에 각각 나타나 있다.

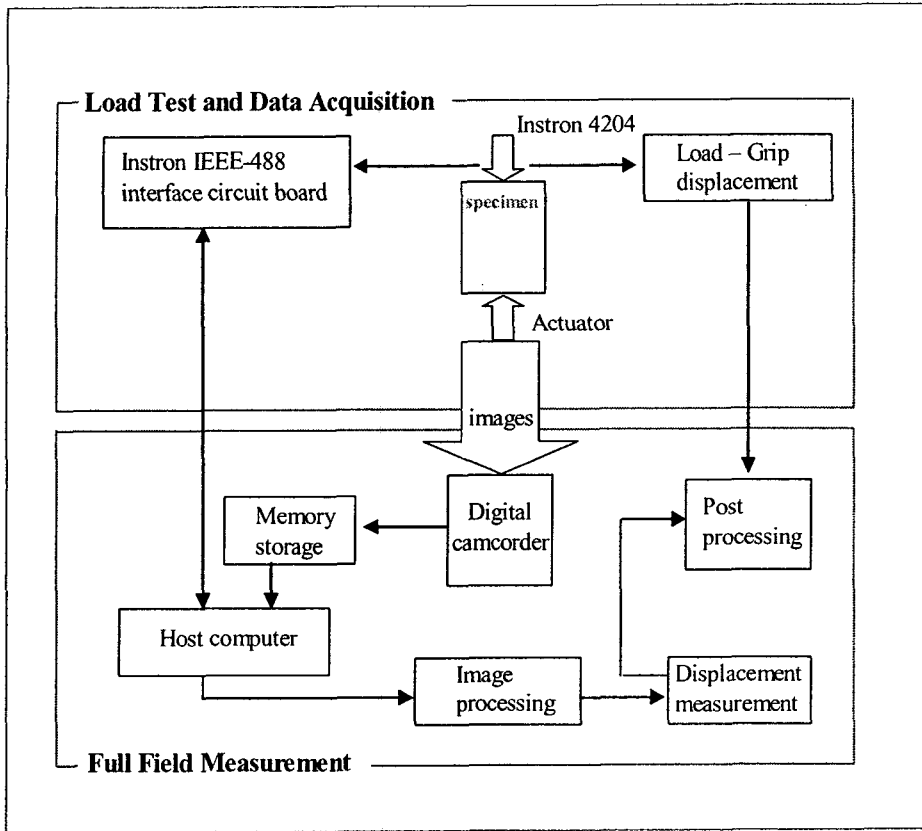


Figure 2. A schematic diagram on the flow of experimental data.

2.5 접착제

종이판지-알루미늄허니콤-종이판지 판넬을 만들 때 5분내에 경화되는 3M Scotch-Weld Epoxy 접착제가 그리고 판넬의 양극단의 강화부분을 위해서 24시간내에 경화되는 3M Scotch-Weld Epoxy 접착제가 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 종이판지-알루미늄허니콤-종이판지의 표면에 대한 디지털이미지의 한 예를 보여주고 있다. 표시된 육각형은 알루미늄 허니콤의 한 세포(cell)로서 알루미늄 허니콤과 종이판지가 접착제에 의해 붙어 있는 곳을 나타낸다. 이미지 correlation 분석은 이 육각형 내부에서 이루어져 가능한 한 접착제와 알루미늄 허니콤의 영향을 배제하고 종이판지 자체의 변형만을 측정하였다.

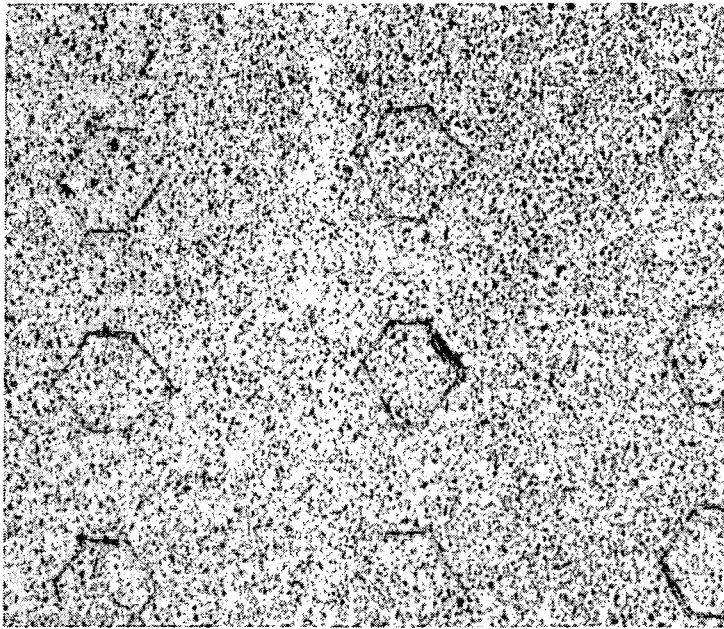


Figure 3. A digital image of paper-aluminum honeycomb-paper with marked hexagonal regions. Image correlation analysis was taken placed inside of the marked hexagonal.

본 연구에서는 이미지 correlation에 의해 correlation coefficient를 최소화하는 6개 미지의 파라미터: u , v , $\delta u/\delta x$, $\delta u/\delta y$, $\delta v/\delta x$, 그리고 $\delta v/\delta y$ 를 얻었다.

Fig. 4는 % strain의 이론적인 데이터와 실제 실험에 의한 이미지 correlation 분석법에 의해 얻은 데이터 그리고 5회 측정의 분산정도를 나타내었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 높은 실험 재현성이 얻어졌다.

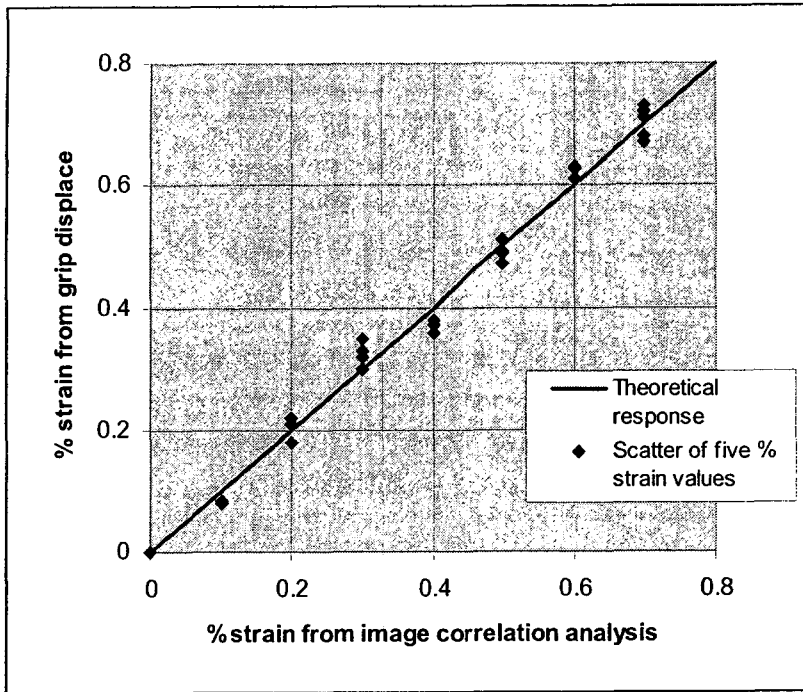


Figure 4. The theoretical and measured compressive % strain values of paper-aluminum-paper panel.

4. 결 론

본 연구를 통해 알루미늄 허니콤을 측방지지대로 이용하고 이미지 correlation 분석법을 기초로 한 종이의 새로운 단축압축 시험법이 개발되었다. 이 시험법은 기존의 단축 압축 시험법 - 중공축 실린더를 이용한 방법이나 수직 막대의 그리드를 측방지지대로 이용하고 진공을 걸면서 단축 압축하는 시험법 - 에 비해 더 높은 파괴 변형률을 보여 주었다 (Fig. 5). 이는 단축 압축 시험시 물질의 파괴가 구조적인 원인인 좌굴(buckling) 보다는 종이 물질 자체의 물성에 의한 것이 바람직하며, 본 연구를 통해 개발된 새로운 시험법이 단축압축 응력-변형률 데이터를 구하는데 유효한 것으로 사료된다.

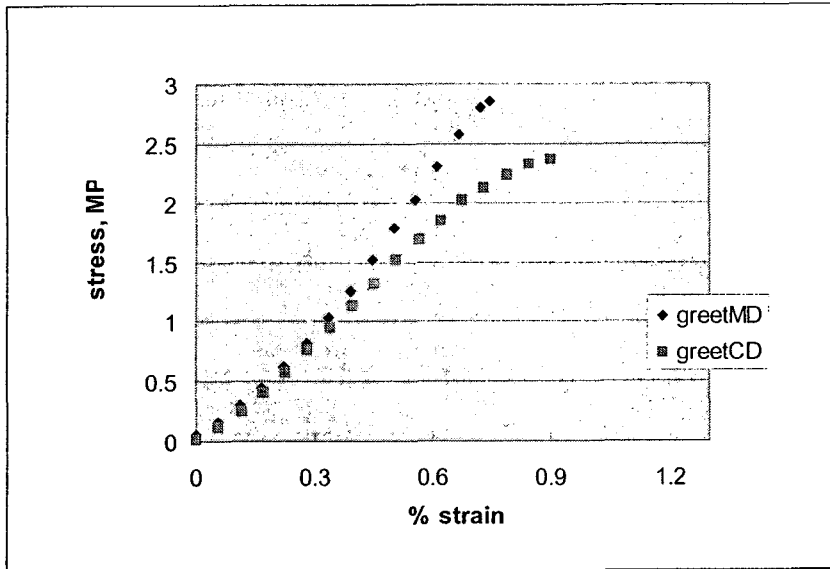


Figure 5. Stress-strain data obtained from aluminum honeycomb compressive specimen.

5. 참고문헌

1. Uesaka, T., Handbook of physical and mechanical testing of paper and paperboard Chapter 3, edited by R.E.Mark, Marcel Dekker (1983)
2. Gunderson, D., Appita 37(2): 137-141 (1983)
3. Setterholm, V. C. and Gunderson, D. E., Handbook of physical and mechanical testing of paper and paperboard Chapter 4, edited by R.E.Mark, Marcel Dekker (1983)