

차체경량화 알루미늄 샌드위치구조용 250°F 에폭시 접착필름 열적 특성 평가

Study on Thermally Properties of 250 °F Epoxy-Adhesive Film for Aluminum Sandwich Construction with Weight Reduction

오경원*+ 이상진* 정종철* 조세현* 목재균**
Oh, Kyung-Won Lee, Sang-Jin Jeong, Jong-Cheol Cho, Sea-Hyun Mok Jai-Kyun

ABSTRACT

This study was experimental test of edgewise compression properties for aluminum(type-50XX) sandwich panel with thermal environment and surface treatment using adhesive film. There was decreasing 10%-peel strength after thermal environment. Through compressive buckling mode know to seen of properties of adhesive, sheet and core strength. First case of Chromate to aluminum sheet, know low shear strength of adhesive through buckling mode but case of Beomite to aluminum sheet, know than thin sheet and core low strength through buckling mode.

1. 서 론

샌드위치구조(sandwich structures) 강도(strong), 강성(stiff), 경량화(light)가 우수하다. 이는 샌드위치 스킨(faces)과 코어(core)사이에서 완벽한 접착이 이루어 질 경우를 말한다.[1-2] 현재 구조체의 경량화(weight reduction) 방안 중 하나로 샌드위치 구조가 보편화 되었다. 기존에 특수목적의 구조물에 주로 사용되어 왔던 것보다 사용범위가 넓어지므로 최근 다양한 환경에 따른 적용범위 타당성에 대한 연구가 이루어지고 있다. [3-6]

허니컴 샌드위치 판넬(honeycomb sandwich panel) 제작은 주로 고분자수지 접착재로 접착이 되고 접착특성이 허니컴 샌드위치구조의 강성을 결정하는 부분에서 영향을 준다. 하지만 현재 해석적으로는 동적 거동 특성을 파악하기위해 허니컴 샌드위치를 Shell Model로 모델링 하기엔 시간적 비용이 크고 element의 개수가 많아져 해석시간이 급증하는 문제가 발생되어 허니컴 코어를 등가 solid로 모델하여 모델링 및 해석 시간을 줄여왔다. 또한 허니컴 샌드위치 구조는 그림 1과 같이 면과 선의 접착으로서, 접착면에서 발생되어지는 Fillet을 해석적으로 구현하기가 힘들었기

* (주)한국화이버 복합재료연구소, + 교신저자(kwoh@fiber-x.com)

** 한국철도기술연구원 미래기술실용화사업단 교통핵심연구팀 책임연구원

때문에 주로 샌드위치 판넬의 시험편 결과치를 적용하여 해석을 유도하였다.

본 연구의 목적은 허니컴판넬에서 알루미늄 판과 허니컴사이에 접착필름을 사용하므로서 유발되는 표면처리에 따른 접착특성평가하기 위함이다. 본 논문에서는 열적환경변화 전후의 측면좌굴 특성평가만 하기로 한다.

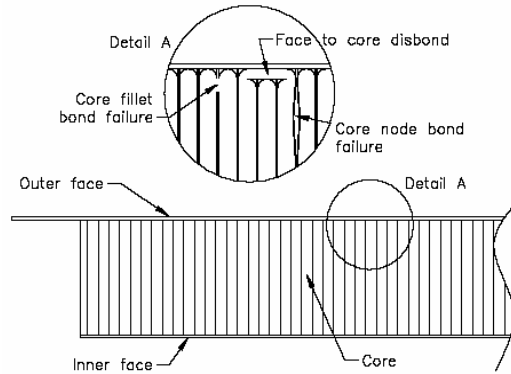


그림 1 Failure of adhesive bonds in sandwich panels after degradation

2. 시험평가

2.1 시험시편

본 연구를 수행하기 위해 알루미늄 허니컴 판넬(Al-Alloy honeycomb sandwich panel)을 제작하였으며 그림 2와 같은 물성을 가지는 알루미늄 50XX계열 합금판재로 스킨에 사용 하였다. 시험을 수행하기 위해 사용되는 알루미늄 판재는 마그네슘 알루미늄 합금으로서 화학조성비에 따른 Chromate와 Boemite처리를 하였다.

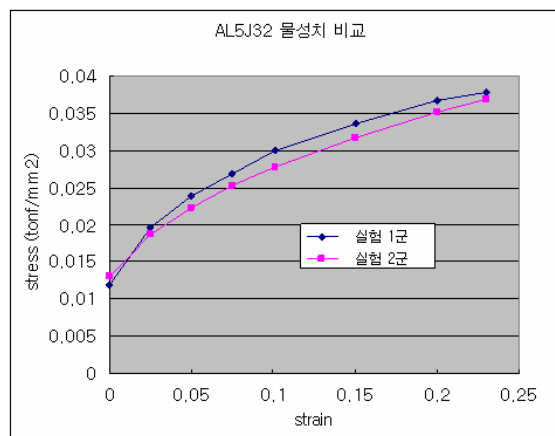


그림 2 AL50XX계열 물성데이터 그래프

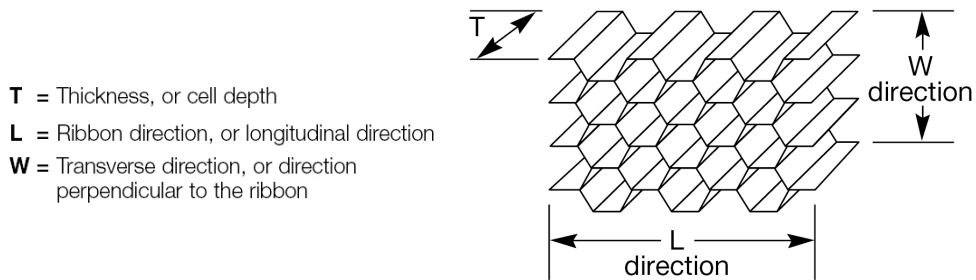
접착필름은 (주)한국카본의 Bondex 606 (250°F 경화형 Epoxy Resin System)을 사용 하였으며 Al-Alloy Honeycomb core(AA 3104 H16)는 foil 두께 70 μ m, Cell size 3/8", 3.44pcf (1pcf=0.016g/cm³), Honeycomb 두께(T) 25mm를 사용하였다.

사용된 시험시편은 표1과 같이 제작되었으면 시험기준은 ASTM 규격을 적용하였다. 측면압축시험의 시험변수로 허니컴 코어의 Riboon 방향과 Transverse방향으로 정의 하였다.

표 2 시험편의 시험규격 및 조건

시험규격	시험편 Size	Spec	실험변수	비고
Edgewise Compression Test (ASTM C364)	50*75*A	-5mm/min	- Ribbon, Transverse방향	-상온 조건 -200°C처리
Drum peel Test (ASTM D1781)	305*76*A (250*76)	-25.4mm/min		-상온 조건 -200°C처리

A; Al core thickness(25t)+facing thickness 1.2t



2.2 표면처리에 따른 측면좌굴 특성시험

초기에 Chromate처리를 한 샌드위치 판의 측면 압축시험 하였다. 시험은 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 5번씩 수행이 되었고 이중 가장 큰값과 작은 값을 제외하고 3가지 데이터 평균값을 사용하기로 한다.

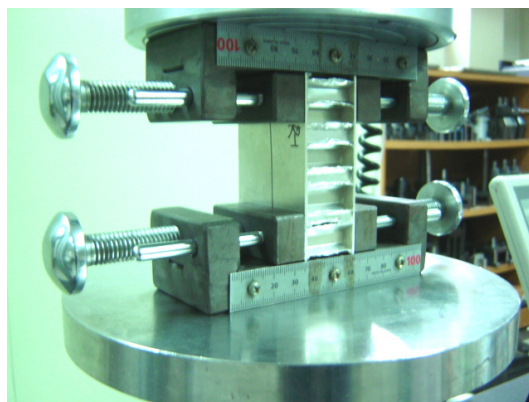


그림 3 Edgewise Compressive

표 2의와 같이 A150XX계열 스킨에 Chromate의 처리한 샌드위치 측면압축시험은 Ribbon 방향과 Transverse방향의 하중이 2,937kgf, 3,079kgf로 비슷하게 나왔다. 좌굴모드는 대부분 얇은 스킨이나 코어강도가 낮다는 모드가 나타났으나 Ribbon 방향의 시험편에서는 Shear crimpling 현상이 시편마다 나타나 불충분한 접착 전단강도현상이 나타났다.

이에 따라 A150XX계열의 화학조성에 맞는 표면처리 방법으로 Chromate의 Etching 시간 따른 조건시험 Boemite, Alumite처리등을 상온 및 200°C 1시간 열처리후 상온조건 시험하여 표면강도도 우수하며 접착성도 우수한 Boemite로 선정하였다.

표 3 Chromate처리 한 샌드위치 측면압축시험

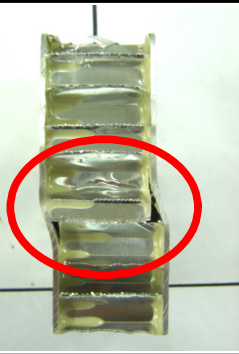
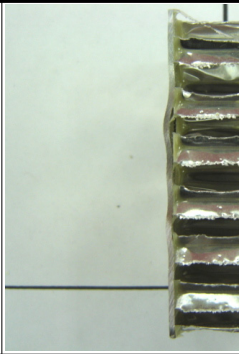





					
Ribbon 방향			Transverse 방향		
	Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Yield (Max load, kgf/mm ²)		Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Yield (Max load, kgf/mm ²)
CR	2,937.80	24.48	CT	3,079.22	25.65

표 4 샌드위치판넬의 좌굴모드

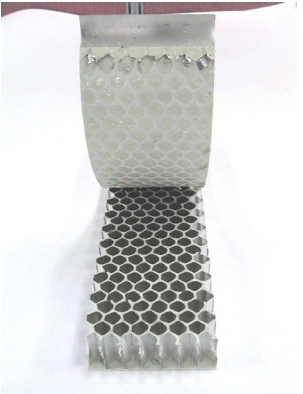
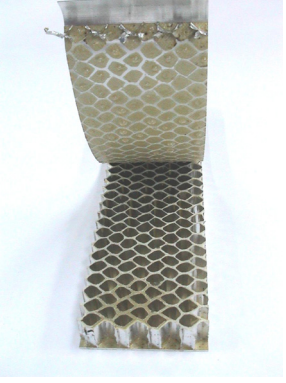
Buckling mode	Cause	Mode shape
General buckling (instability)	Insufficient bending stiffness, or Insufficient core shear rigidity	
Shear crimpling	Low core shear modulus, or Insufficient adhesive shear strength	
Face wrinkling	Thin face, and Low core strength	
Face wrinkling	Thin face, and Low core strength	
Intra-cell buckling or dimpling	Very thin face, and Large core cell size	

2.3 Boemite 접착특성평가

Al50XX계열에 적합한 표면처리로 선정된 Boemite처리의 접착특성을 파악하는 방법 중 하나로 ASTM D1781에 따른 Drumpeel 시험을 하였다.

Drumpeel 시험은 각 3회씩 수행되었으며 그 값을 평균내어 사용하였다. 200°C 1시간 조건 후 시험한 결과는 약 10%가량 peel강도 저하가 있었다. 육안검사로 수지 색상이 초기경화 후 흰백색이 200°C 조건이후 노란색으로 성분 탄화된 흔적이 있었다.

표 5 Boemite의 열환경 조건에 따른 Drumpeel

					
상온조건			200°C 1시간 열처리		
	Avg Ld, (kgf)	Strength (N/inch)		Avg Ld, (kgf)	Strength (N/inch)
DRU	68.41	670.86	DR200	63.87	626.34
*REW : 43.663kgf, 428.207N/inch					

2.4. 접착필름의 온도에 따른 물성변화

본 시험은 사용자가 요구하는 200°C 페인트경화온도 특성에 따른 고온용 수지의 열적특성을 분석하기 위함이다. 사용된 접착필름(Bondex 606)은 120°C 고온경화용이다. 그림 4은 DMA시험을 한 결과이며 Tg(유리전이온도)는 110°C이다. 그림 5는 TGA시험을 한 결과이며 탄화결정온도는 388°C이다.

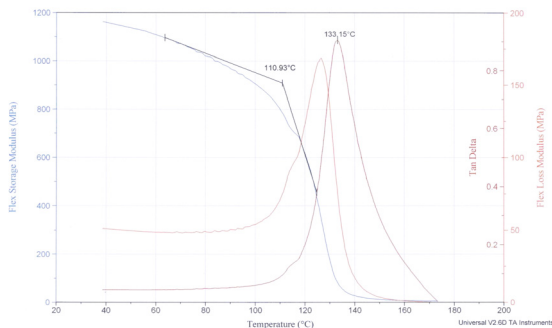


그림 4 Bondex 606 DMA

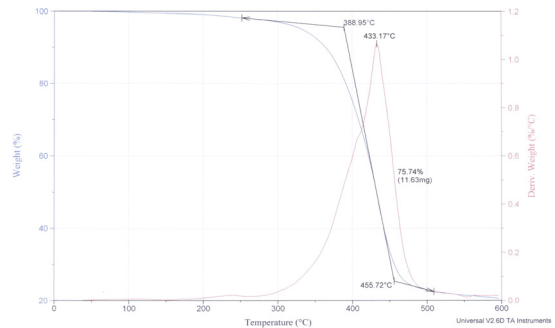


그림 5 Bondex 606 TGA

2.5 측면압축시험

경화된 샌드위치 판을 ASTM C364에 적합하게 시편컷팅한 후에 상온조건인 경우와 200°C 1시간 열처리 한후의 시편을 분리하여 각 3회씩 측면 압축시험을 하였다. 열처리 한후의 시편이 강도면에서는 미세하게 상승되었고 파괴모드는 초기의 chromate 시험결과인 불충분한 접착전단강도 특성은 나타나지 않았으며 얇은 스킨과 저장도의 코어 특성이 나타났다.

표 6 측면압축시험, Ribbon 방향


			
경화후 상온		경화후 200°C 1시간	
Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Max load, (kgf/mm ²)	Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Max load, (kgf/mm ²)
2,982.66	2.12	2,990.09	2.12

표 7 측면압축시험, Transverse 방향

			
경화후 상온		경화후 200°C 1시간	
Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Max load, (kgf/mm ²)	Load at Yield (Max load, kgf)	Stress at Max load, (kgf/mm ²)
2,960.99	2.16	3,055.51	2.23

그림 8과 그림9는 상온조건과 200°C 열처리 후의 측면압축시험에 대한 변위대 하중 그래프이다. 여기서 하중에 따른 탄성변위 구간의 변형량은 열처리 이후 값에서 증가하였고 최대 파괴하중시의 변형량도 열처리 이후에서 증가되었음을 보였다.

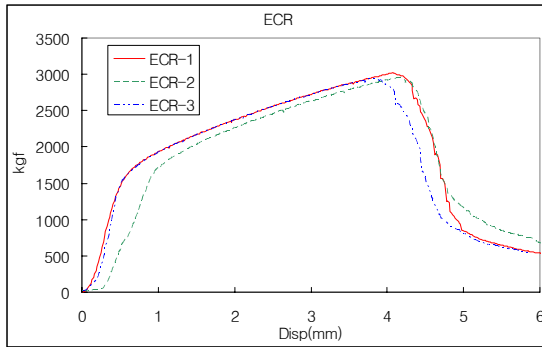


그림 8 상온조건에서의 Ribbon 방향 압축시험

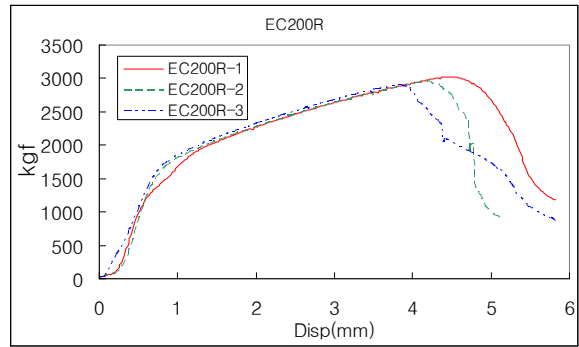


그림 9 200°C 열처리 후 Ribbon방향 압축시험

3. 결론

본 연구는 알루미늄 허니컴판넬에서 알루미늄스킨(50XX계열)과 허니컴사이에서 접착필름을 사용하므로서 유발되는 표면처리에 따른 접착특성과 열적환경변화 전후의 측면좌굴 특성평가에 대해 시험적으로 평가하였다.

알루미늄은 공기중과의 표면부식을 방지하기 위해 표면처리를 한다. 이에 샌드위치 판넬로 접착하는 접착필름과의 최적의 접착특성 가지는 표면처리방법을 시험을 통하여 Boemite로 결정하였다.

사용되어진 접착필름(Bondex 606)은 120°C 고온경화용이지만 다양한 환경에 적용하기 위한 사용자의 요구에 따라 200°C 도장 온도 특성에 대한 알루미늄 허니컴 판넬의 신뢰성의 일부분으로 수행되어졌다. Tg(유리전이온도)는 110°C임으로 운용중의 열온도가 110°C이상일 경우는 사용이 불가하며 단 정적인 고정에 의한 도장등의 온도는 388°C이하에서도 가능하다.

열처리 이후 Drumpeel에 의한 접착강도는 약 10%정도 떨어짐을 알 수 있었다. 압축좌굴모드에서는 접착재의 특성, 스킨 및 코어강도에 대한 파악을 가지적으로 파악 할 수 있다. 초기에 chromate로 시험한 것은 접착재의 전단강성이 부족한 모드가 나타났으나 Boemite처리 후 측면 압축시험에 의한 좌굴모드는 스킨이 얇다는 것과 코어의 강성이 낮다는 것을 나타냈다.

상온조건과 200°C 열처리 후의 측면압축시험에 대한 변위 대 하중 그래프이다. 여기서 하중에 따른 탄성변위 구간의 변형량은 열처리 이후 값에서 증가하였고 최대 파괴하중시의 변형량도 열처리 이후에서 증가되었음을 보였다.

향후 본 데이터는 해석결과 신뢰성에 대한 자료로 사용할 예정이다.

후기

본 논문은 국가교통핵심기술개발사업 일환으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Zenkert, D., (1997). "An Introduction to Sandwich Construction" EMAS, London

2. J. R., (1999)"The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials" Technomic Publishing Co. Inc
3. Sleight, D.W., Wang, J.T. (1995) "Buckling Analysis of Debonded Sandwich Panel Under Compression" NASA. Technical Memorandum 4701, December.
4. F. Aviles, Lief A. Carlsson (2005) "Elastic Foundation Analysis of Local Face Buckling in Debonded Sandwich Columns" Mechanics of Materials 37, 1026-1034.
5. Ani Ural, Alan T. Zehnder, Anthony R. Ingraffea, (2003) "Fracture Mechanics Approach to Facesheet Delamination in Honeycomb: Measurement of Energy Release Rate of the Adhesive Bond" Engineering Fracture Mechanics 70, 93-103.
6. T.C. Radtke, A. Charon and R. Vodicka, (1999) "Hot/Wet Environmental Degradation of Honeycomb Sandwich Structure Representative of F/A-18: Flatwise Tension Strength" DSTO, DSTO-TR-0908
7. David W. Sleight and John T. Wang, (1995) "Buckling Analysis of debonded sandwich panel under compression", NASA, Technical Memorandum 4701
8. Mechanical Properties of Hexcel Honeycomb Materials, TSB 120, HEXCEL
9. ASTM C 364, "Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions", ASTM Spec.
10. ASTM D 1781, "Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives", ASTM Spec.
11. A.A. Baker and R. Jones (1988) "Bonded Repair of Aircraft Structures", MARTINUS NIHOFF PUBLISHERS
12. G. C. MAYS and A. R. HUTCHINSON (1992) "Adhesives in civil engineering" CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
13. Raymond F. Wegman and Thomas R. Tullos, (1992) "Handbook of Adhesive Bonded Structural Repair" NOYES PUBLICATIONS
14. J DEAN MINFORD, (1993) "HANDBOOK OF ALUMINUM BONDING TECHNOLOGY AND DATA", MARCEL DEKKER, Inc.
15. Edward W. Thrall and Raymond W. Shannon (1985) "Adhesive Bonding of Aluminum Alloys" MARCEL DEKKER, Inc.
16. Alan Baker, Francis Rose and Rhys Jones, (2002) " Advances in the Bonded Composite Repair of Metallic Aircraft Structure", ESLEVIER