

CNT/Epoxy 접착제를 이용한 돌침대용 석재/목재 복합재의 열적특성 및 접착특성 개선 연구

김종현* · 신평수* · 권동준** · 문선옥*** · 박종만*†

A Study on Improvement of Thermal and Adhesion Properties of Stone/Wood Composites for Stone Bed using CNT-epoxy Adhesive

Jong-Hyun Kim*, Pyeong-Su Shin*, Dong-Jun Kwon**, Sun-Ok Moon***, Joung-Man Park*†

ABSTRACT: Improvement of the thermal and adhesion properties of stone/wood composites was studied. Tensile test was performed for wood and stone to know the basic mechanical properties. Real-time temperature of stone and wood was measured when stone and wood was heated. To compare thermal transfer properties of stone/wood composites, two types of specimens were tested: one was stone upper whereas another was wood upper. Real time temperature measurement and lap shear test were performed to know thermal and adhesion properties by using CNT-epoxy adhesive in which CNT was dispersed in epoxy adhesive uniformly. The thermal transfer property was better for the wood upper case than stone upper case. Adding CNT improved the heat transfer as well as mechanical properties including lap shear strength.

초 록: 본 연구에서는 돌침대용 석재/목재 복합재의 열적특성 및 접착특성 개선에 대한 연구를 진행하였다. 기초 물성을 체크하기 위해 인장실험을 진행하였고 석재 및 목재의 실시간 온도측정을 진행하였다. 석재/목재 복합재의 가열부위에 따른 열적 특성을 알아보기 위해 석재를 위로 두었을 때와 목재를 위로 두었을 때 두 가지 방법으로 가열을 실시하였다. 에폭시 접착제에 CNT를 넣음으로써, 열적 및 접착특성의 변화를 알아보기 위하여 실시간 온도측정과 랩 전단 실험을 실시하였다. 실험결과 목재를 위로 두었을 때 열적 특성이 좋은 것을 확인하였고 에폭시 접착제에 CNT를 넣음으로써 접착특성 및 열적특성이 개선됨을 볼 수 있었다.

Key Words: 탄소나노튜브(CNT), 열적 특성(Thermal properties), 접착 특성(Adhesion properties), 석재/목재 복합재 (Stone/wood composites)

1. 서 론

최근 웰빙, 에코 트렌드와 함께 돌침대는 한국의 전통문

화인 온돌을 현대식으로 재해석한 대표적인 건강가구로 부상하고 있다[1]. 현재 돌침대의 상판 보드는 두께 2 cm 이상의 두껍고 무거운 석재로 이루어져 있다. 돌침대 산업에

Received 10 August 2016, received in revised form 28 October 2016, accepted 28 October 2016

*Department of Materials Engineering and Convergence Technology, Center for Creative Human Resource & Convergence Materials, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University

*†Department of Materials Engineering and Convergence Technology, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Corresponding author (E-mail: jmpark@gnu.ac.kr)

**Department of Materials Engineering and Convergence Technology, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University

*** Major of Environmental Materials Science, Institute of Agriculture and Life Science Gyeongsang National University

서 개선될 부분은 침대로써의 다양한 기능도 있지만, 운반의 편리함을 고려해야 한다. 따라서 석재보드의 경량화가 필요하다[2]. 세라믹 재료들이 가지고 있는 장점으로는 내마모성, 고강도와 경도, 높은 용융점, 낮은 밀도, 높은 열전도율 등을 들 수 있는데 반면에 낮은 파괴 인성과 취성, 그리고 열 충격에 약한 것이 큰 단점이다[3]. 이러한 단점을 극복하기 위하여 이전부터 석재와 타 보강재를 접착시킨 보드는 꾸준히 연구되어 왔고 건축용 자재 관련된 부분으로 특허가 출원 및 등록되어 있다[2]. 보강재 중 나무를 이용한다면 제작이 용이하고 비용적인 측면에서도 경쟁적이며, 재활용이 가능하고, 생분해성 또한 뛰어나 최근 친환경적인 제품을 추구하는 추세에 부합한다[4]. 가구용 소재로 적용하기 위하여 석재의 무게를 줄일 방안으로 목재를 활용하고자 진주 전통 목공예 가구사업단에서 고안하였다. 하지만 경량화에 따라 석재 고유의 승온 및 온도가 유지되는 열적 특성이 감소되는 문제점이 발생하게 된다. 이를 개선하기 위하여 열 및 전기 전도도가 우수하고 강도 및 탄성 계수가 우수한 CNT를 이용하고자 하였다[5-7]. 본 연구에서는 석재 및 목재의 실시간 온도 변화측정을 통하여 재료 특유의 열적 특성을 측정하였고, 이를 FT-IR과 XRF를 통한 화학적 분석과 함께 분석하였다. 석재/목재 복합재의 가열 부위에 따른 열적 특성 평가를 실시간 온도 변화 측정을 통하여 어떤 재료에 직접적으로 열을 주어야 열적특성이 좋은지에 대하여 평가하였다. 열적 및 접착 특성 개선을 위해 에폭시 접착제에 CNT를 넣음에 따른 석재/목재 복합재의 실시간 온도 변화를 측정하고 랩 전단 실험을 통하여 열적 특성과 접착특성 개선을 확인하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 논문에서 석재는 오닉스, 귀사문석을 사용하였고, 목재는 느티나무를 사용하였으며 경상대학교 전통목공예·가구사업단에서 제공받은 것을 사용하였다. 에폭시는 비스페놀 A계 에폭시(KER-9100, (주)금호피앤비화학, 한국), 아민계 경화제(KCA-9110, (주)금호피앤비화학, 한국)를 사용하였고, 석재/목재 복합재의 열적특성 및 접착특성을 개선시키기 위하여 CNT(Carbon Nano-material Technology Co., Ltd., 한국)를 에폭시에 분산시켜 사용하였다. CNT는 직경 20 nm, 길이 10 μ m를 이용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 기초물성 실험

석재 및 목재의 기초 물성을 알아보기 위하여, ASTM C1273의 기준으로 석재 및 목재의 인장 실험을 만능시험기(H1KS, Lloyd, 영국)를 이용하여 진행하였다.

석재 및 목재의 종류에 따른 열적 특성을 보고자 핫플레

이트(PC-620D, Corning, 미국)로 시편을 가열하였고, 멀티미터(34972a, Agilent Technologies, 미국) 및 적외선 열화상 카메라(FLIR i7, Flir System, 미국)로 시편의 표면온도를 관찰하였다. 열적 시험의 조건은 가열온도 80°C로 하였다. 석재 및 목재를 저속시편절단기(IN-310, iNexus, Inc., 한국)를 이용하여 가로·세로 25 mm, 두께 10 mm로 재단하였다. 석재가 강도가 높고 취성이 낮기 때문에 재단을 얇고 일정하게 하는데 어려움이 있기 때문에 두께의 차이에 따른 온도를 정량화하기 위하여 삭마율을 계산하는 식을 응용하여 heat ratio라는 개념을 도입하였다[8].

$$\text{Heat Ratio} = \frac{\text{Temperature of specimen}}{\text{Thickness of specimen}} \quad (1)$$

heat ratio란 두께가 있는 물체에 열을 가하였을 때 표면까지 도달하는 온도를 표현하는 식으로 이용하였다. 온도는 석재 상부의 표면온도를 측정하였고, 이를 시편의 두께만큼 나눠주었다.

석재 및 목재의 화학적인 물성을 통해 기초 물성 및 열적 특성을 분석하기 위하여, XRF(WD-XRF, Bruker Co., 미국)와 FT-IR를 이용하여 진행하였다.

2.2.2 석재/목재간 최적의 열적특성을 파악하기 위한 실시간 온도 측정

CNT(Carbon Nano-material Technology Co., Ltd., 한국) 1 wt%를 넣은 에폭시와 넣지 않은 에폭시 두 가지를 이용하여 도포 후 건조오븐(FO-600M, Jeio Technology, 한국)에 120°C 조건하에 2시간 동안 경화하였다. CNT는 초음파 분산기(VC-750, Sonics & Materials Inc., 미국)를 이용하여 30 watt, 1시간 조건으로 분산시켰다. 핫플레이트로 시편을 가열하였고, 멀티미터 및 적외선 열화상 카메라로 시편의 표면온도를 관찰하였다. 열적 시험의 조건은 가열온도 80°C로 가열하였다.

2.2.3 석재/목재간 최적의 접착특성을 파악하기 위한 랩 전단 실험

ASTM-D5868의 기준으로 석재와 목재간 접착 실험을 진행하였다. 접착된 면은 폭이 25 mm이며, 길이는 25 mm로 정사각형의 면적에서의 접착면 전단응력을 둘의 종류와 접

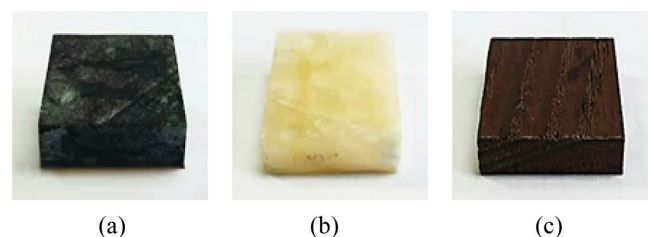


Fig. 1. Cutting specimen of stones and wood : (a) Jade, (b) Onyx, and (c) Zelkova

착제의 종류에 따라 평가하였다. 만능시험기를 이용하여 실험을 진행하였으며, 인장속도는 3 mm/min로 진행하였다. 시편은 각 종류별 3개씩 진행하여 평균 결과를 이용하여 결과를 분석하였다. 상온에서 실험을 진행하였다. 접착제의 경화는 건조오븐에 120°C 조건하에 2시간 동안 경화를 진행하였으며, 시편 제조를 위해 접착면에 5 psi의 압력 조건에서 접착제 경화를 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기초 물성 실험 결과

Fig. 2는 각 재료에 대한 기초적인 물성을 알아보기 위하여 인장실험을 실시한 결과이다. 석재인 귀사문석과 오닉스의 인장강도가 2.5~1.5 MPa에 비하여 느티나무의 경우 43 MPa로 석재의 인장강도가 매우 좋지 않은 것을 파악할 수 있다. Fig. 3은 석재 및 목재의 실시간 온도측정을 관찰

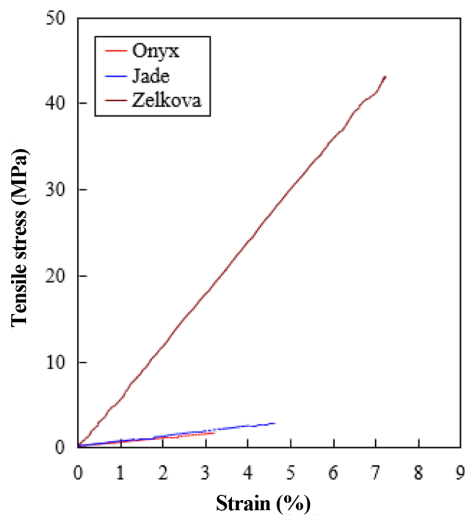


Fig. 2. Tensile test of stones and wood

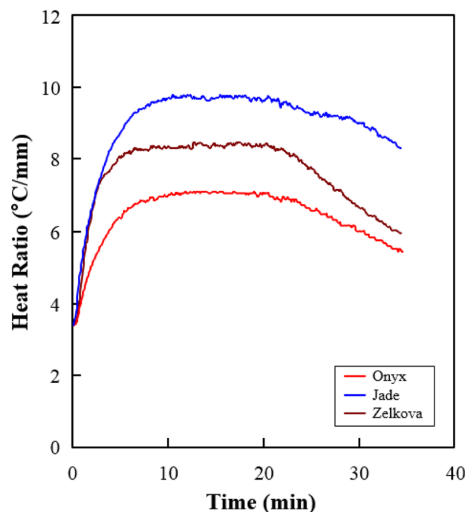


Fig. 3. Real time temperature of stones and wood

Table 1. XRF analysis of Onyx and Jade

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	etc.	L.O.I*	Sum
Jade	40.90	8.71	38.91	2.13	3.67	5.50	99.82
Onyx	0.08	0.00	1.19	53.69	0.72	43.95	98.92

*L.O.I: Loss of Ignition

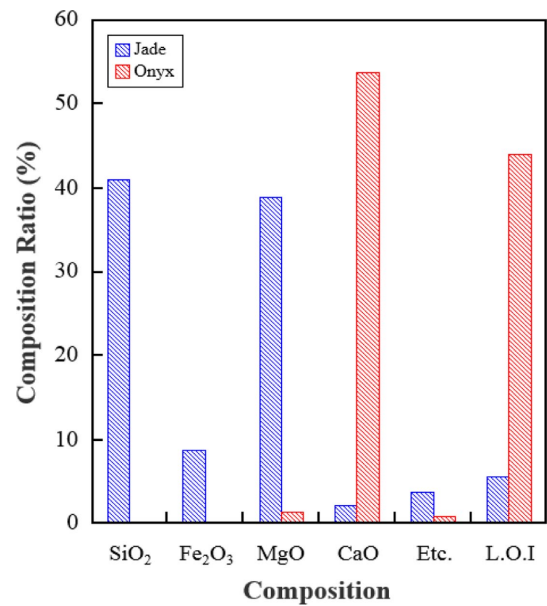


Fig. 4. XRF analysis of Onyx and Jade

한 결과이다. 두 가지 석재 중에서 귀사문석의 최고온도, 승온속도, 열의 유지 등 열적 특성이 가장 뛰어났으며, 오닉스의 경우 목재인 느티나무 보다 열적특성이 좋지 않은 것을 확인할 수 있었다. Table 1과 Fig. 4는 XRF 분석법을 통해 두 가지 석재의 화학적 구성을 분석한 결과이다. 귀사문석의 경우 Fe₂O₃와 MgO 등 금속성분이 많은 것을 표와 그림을 통하여 볼 수 있다. 반면에 오닉스의 경우 금속성분이 거의 없으며, CaO가 50% 이상 다량 함유되어 있는 것을 관찰하였다. 그리고 XRF 분석 중에 열에 의하여 손실된 양(L.O.I: Loss of Ignition)이 귀사문석은 5.5%가 손실 되었지만, 오닉스의 경우 전체 비율의 절반에 가까운 43.95%가 손실된 것을 관찰하였다. 이를 통하여 오닉스의 경우 석재 내부에 유기물이 다량 함유되어 있는 것을 알 수 있었고, 열에 의한 손실이 많은 것을 알 수 있었다. 반면 귀사문석의 경우 금속성분이 비교적 다량 함유되어 있어 열적특성이 뛰어남을 알 수 있었다.

3.2 가열부위에 따른 열적특성 결과

Fig. 5는 석재/목재 복합재의 가열부위에 따른 열적특성을 알아보기 위하여 실시간으로 온도를 측정한 결과이다. 석재를 아래로 두어 석재에 직접 열을 가하는 방식과 목재를 아래로 두어 목재에 직접 열을 가하는 두 가지 방식을 이

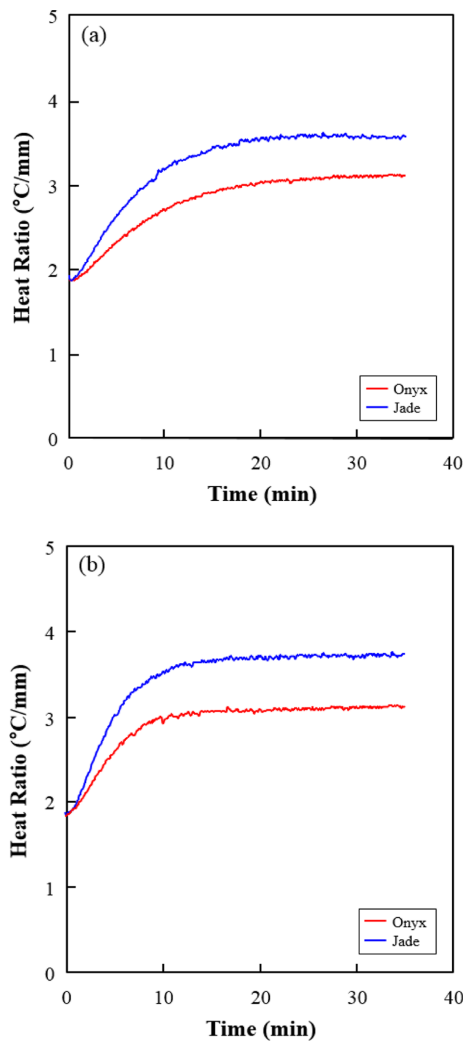


Fig. 5. Real time temperature of specimens: (a) wood upper and (b) stone upper

용하여 실험을 실시하였다. 석재를 직접적으로 가열하는 방식의 경우에 목재가 가질 수 있는 열이 귀사문석보다 적기 때문에 heat ratio가 기존보다 감소한 것을 관찰하였다.

최고온도까지 도달하는 시간은 기존 석재는 10분이 걸리는데 반해, 목재를 직접적으로 가열하였을 경우의 최고온도까지 도달하는 시간이 약 20분으로 증가됨을 관찰하였다. 석재를 직접적으로 가열하였을 경우 최고 heat ratio의 감소폭이 비교적 작고, 최고온도까지 도달하는 시간 또한 약 12분이 소모됨을 알 수 있었다. Fig. 6와 같이 이를 육안으로 관찰하기 위하여 보드 상판의 표면온도가 최고 온도에 도달하였을 때 적외선 열화상 카메라로 관찰하였다. 이전 실험과 동일하게 시편의 하단면 전체를 핫플레이트를 이용하여 80°C 로 가열하였다. 목재를 직접적으로 가열하였을 경우 석재의 표면온도는 그 반대의 경우와 비교하여 온도가 높은 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 온도의 분포 또한 목재를 직접적으로 가열하였을 경우에 더욱 고르

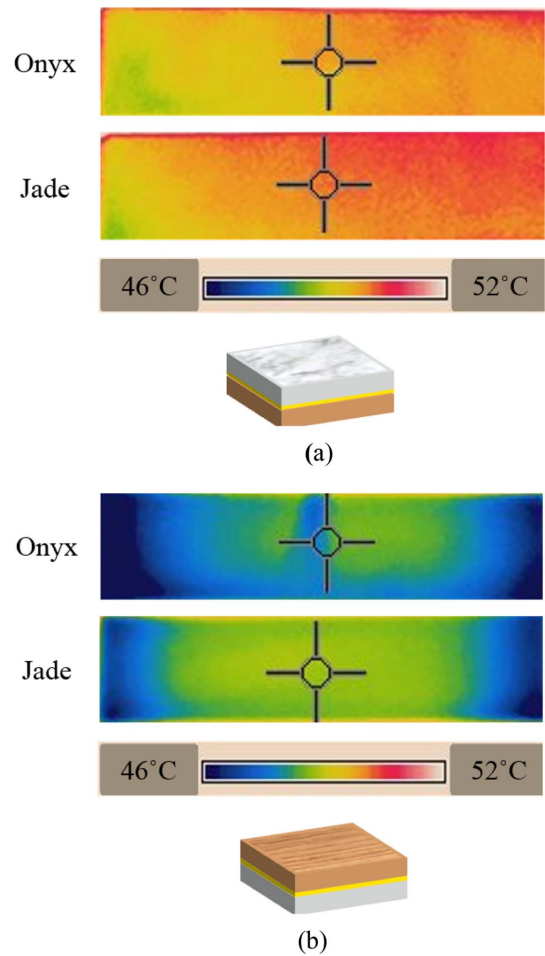


Fig. 6. Observation temperature of specimens by using infrared thermal camera: (a) stone upper and (b) wood upper

게 분포되는 것을 볼 수 있었다. 이는 목재 자체의 최고온도에 의한 영향으로 볼 수 있는데, 목재 자체의 열전도도가 떨어지기 때문에 상부에서의 승온 속도가 느린 것을 볼 수 있었고, 전체적인 온도 분포 또한 떨어짐을 알 수 있었다. 이를 통하여 석재를 직접적으로 가열하는 방식이 열적 특성 감소를 최소화하고 보드 상판의 표면온도 분포가 고르게 나타나는 방법임을 알 수 있었다.

3.3 에폭시 상태에 따른 열적특성 결과

에폭시 접착제의 열적 및 접착특성을 개선하기 위하여 CNT 1 wt%를 분산시켰고, 기존의 에폭시 접착제와 비교하는 실험을 실시하였다. 열적특성을 알아보기 위하여 실시간으로 온도를 측정하였다. Fig. 7은 실시간 온도측정 결과로 CNT를 1 wt%를 넣은 에폭시를 사용한 시편의 최고온도가 기존의 일반 에폭시를 사용한 시편보다 더 높게 나온 것을 볼 수 있다. 그리고 가열을 중지한 상태에서 온도가 유지되는 것 또한 CNT 1 wt%를 넣은 에폭시를 사용한 시편의 경우가 더 뛰어난 것을 볼 수 있다. 이는 CNT의 열전도

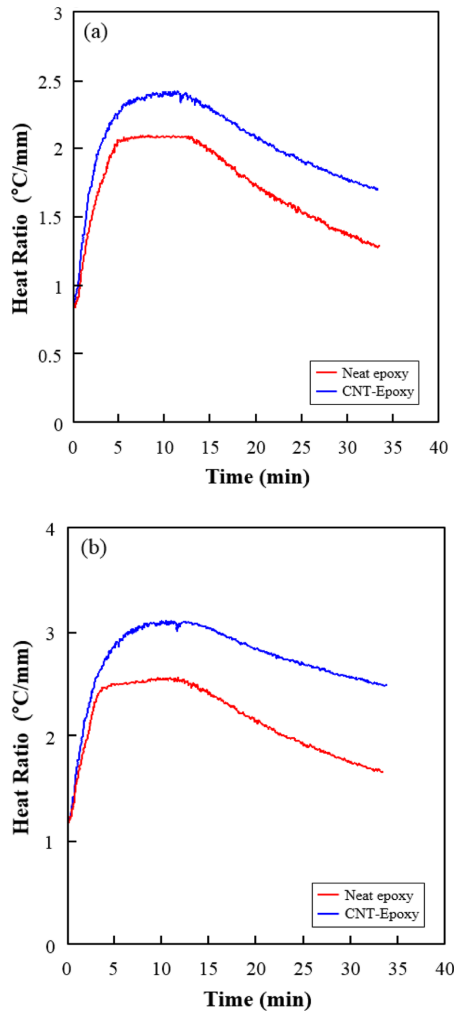


Fig. 7. Real time temperature of specimens: (a) Onyx and (b) Jade

특성에 의한 것으로 석재와 목재사이 계면에서 CNT를 넣은 에폭시가 있음으로써 열전도 특성이 개선되었음을 알 수 있었다.

3.4 에폭시 상태에 따른 접착특성 결과

접착특성을 평가하기 위하여 랩 전단 실험을 실시하였다. Fig. 8은 랩 전단 실험 결과로써, CNT를 넣은 에폭시를 사용함에 따라 접착에 대한 전단강도가 개선되었고, 모듈러스 또한 증가하였음을 볼 수 있다. 실험이 끝난 후 시편의 사진을 통해서도 기존의 에폭시를 사용한 시편의 경우 파단면이 비교적 깔끔하게 떨어진 것에 비해, CNT 1 wt%를 넣은 에폭시를 사용한 시편의 경우 석재나 목재에서 파단이 발생하는 것을 볼 수 있었다. Fig. 9은 에폭시에 CNT를 넣음에 따라 전단강도가 증가한 현상을 설명하고자 하는 모식도이다. 에폭시에 CNT가 들어감에 따라 에폭시 접착제 자체의 물성이 증가하였다고 볼 수 있지만, 이 외에도 석재와 목재의 표면에 있는 미세한 틈에 CNT가 침투함으로써 갈고리와 같은 작용을 하여 전단강도가 증가하였다

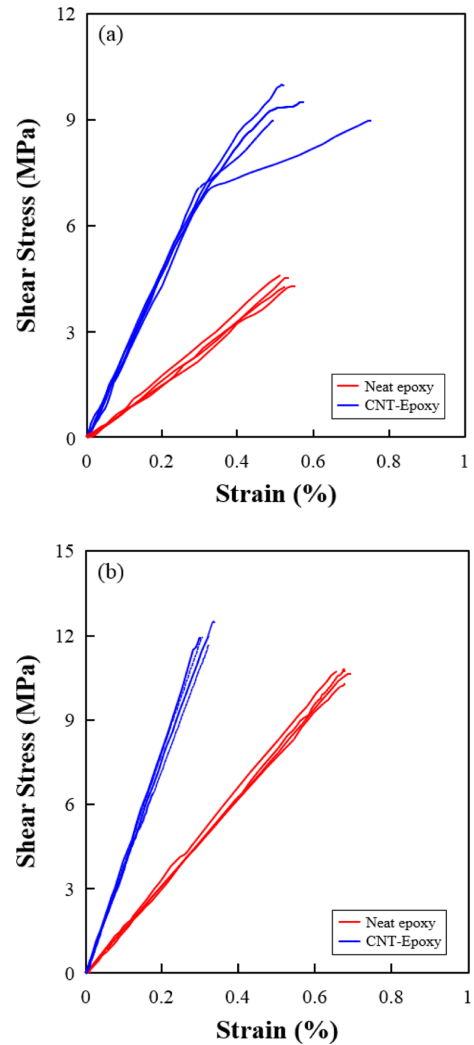


Fig. 8. Lap shear test of specimens: (a) Onyx and (b) Jade

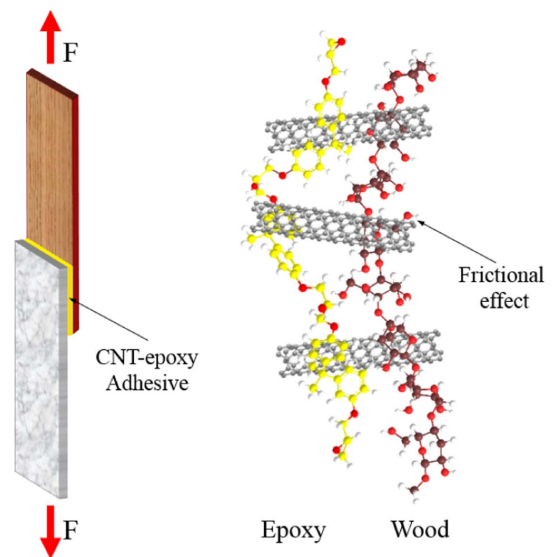


Fig. 9. Schematic of the lap shear test specimen by using CNT epoxy

는 결론을 도출하였다. 석재 중 오닉스에서만 석재가 파단 되는 것을 볼 수 있는데 이는 오닉스 자체의 물성이 매우 약하기 때문이다. 이를 통하여 오닉스를 사용한 시편의 경우 전단이 일어나기 전에 오닉스가 파단이 되는 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 CNT 1 wt%를 넣음으로써 접착특성이 개선되었음을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 귀사문석, 오닉스 두 가지의 석재와 느티나무 한 가지의 목재, 에폭시를 이용하였고, 석재/목재 복합재의 가열부위에 따른 열적특성 개선과 나노입자를 첨가했을 때 열적특성 및 접착강도의 개선을 확인하는 것을 목적으로 하였다. 비스페놀 A 형태의 에폭시를 접착제로 사용했고, CNT를 첨가하였다. 실험결과 귀사문석의 열적특성이 오닉스보다 뛰어난 것을 알 수 있었고, 이는 귀사문석에 금속성분이 많이 포함되어 있어 열적특성이 뛰어난 반면, 오닉스의 구성성분으로 주로 유기물질 및 CaO가 많이 포함되어 열적특성이 매우 떨어지게 되고, 돌침대와 같이 장기적으로 오랫동안 열을 가하는 제품에는 오닉스는 적합하지 않음을 확인하였다. 석재/목재 복합재의 가열부위에 따른 실험결과 석재에 직접적으로 열을 가하였을 때 열적특성이 가장 좋았고, 추가적으로 에폭시에 CNT를 첨가하였을 때 열적특성 및 접착특성이 개선됨을 알 수 있었다. 이에 따라 접착부의 파단 형태도 달라졌다. 일반 에폭시의 경우 에폭시에서 파단이 발생하였고, CNT를 첨가한 에폭시의 경우 석재 및 목재에서 파단이 발생함을 확인하였다. 돌침대의 특성상 열전도가 뛰어나야 하고, 하중이 자주 가해지기 때문에 목재/석재 간의 접착특성이 좋아야 한다. 이 연구를 통하여 귀사문석을 이용한 석재/목재 복합재가 열적특성이 가장 뛰어난 것을 볼 수 있었고, CNT를 넣음으로써 열적특성을 더욱 개선할 수 있었다. 접착특성 또한 CNT를 넣은 에폭시 접착제를 이용하여 개선할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통산자원부가 지원하는 지역산업육성사업으로 수행되었으며, 진주 전통 목공예 가구사업단의 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Han, J.E., and Nam, K.S., "A Study on Functional Development of Thermo-Bed through Structural Improvement and Urushi Lacquer Finishing", *Korean Society of Design Science*, Vol. 24, No. 4, 2011, pp. 57-66.
2. Kwon, D.J., Shin, P.S., Choi, J.Y., Moon, S.O., and Park, J.M., "Interfacial and Mechanical Properties of Different Heat Treated Wood and Evaluation of Bonding Property between Stone and Wood for Rock Bed", *Journal of Adhesion and Interface*, Vol. 16, No. 2, 2015, pp. 69-75.
3. Lee, T.H., "Review of The Research and Development of Ceramic Matrix Composite Materials and Future Works", *Composites Research*, Vol. 27, No. 4, 2014, pp. 123-129.
4. MacVicar, R., Matuana, L.M., and Balatinecz J.J., "Aging Mechanisms in Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, 1999, pp. 189-196.
5. Evgin, T., Koca, H.D., Horny, N., Tavman, H.I., Chirtoc, M., Omastova, M., and Novak, I., "Effect of Aspect Ratio on Thermal Conductivity of High Density Polyethylene/Multi-Walled Carbon Nanotubes Nanocomposites", *Composites: Part A*, Vol. 82, 2016, pp. 208-213.
6. Gardea, F., and Lagoudas, D.C., "Characterization of Electrical and Thermal Properties of Carbon Nanotube/Epoxy Composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 56, 2014, pp. 611-620.
7. Moisala, A., Li, Q., Kinloch, I.A., and Windle, A.H., "Thermal and Electrical Conductivity of Single- and Multi-Walled Carbon Nanotube-Epoxy Composites", *Composites Science and Technology*, Vol. 66, 2006, pp. 1285-1288.
8. Wang, Z.J., Kwon, D.J., Park, J.K., Lee, W.I., and Park, J.M., "Microstructure and Ablation Performance of CNT-Phenolic Nanocomposites", *Composites Research*, Vol. 26, No. 5, 2013, pp. 309-314.
9. Park, J.M., Kwon, D.J., Wang, Z.J., Roh, J.U., Lee, W.I., Park, J.K., and DeVries, K.L., "Effects of Carbon Nanotubes and Carbon Fiber Reinforcements on Thermal Conductivity and Ablation Properties of Carbon/Phenolic Composites", *Composites: Part B*, Vol. 67, 2014, pp. 22-29.
10. Guru, K., Mishra, S.B., and Shukla, K.K., "Effect of Temperature and Functionalization on the Interfacial Properties of CNT Reinforced Nanocomposites", *Applied Surface Science*, Vol. 349, 2015, pp. 59-65.
11. Tang, Y.J., Alva, G., Huang, X., Su, D., Liu, L., and Fang, G., "Thermal Properties and Morphologies of MA-SA Eutectics/CNTs as Composite PCMs in Thermal Energy Storage", *Energy and Buildings*, Vol. 127, 2016, pp. 603-610.
12. Wang, Z.J., Kwon, D.J., Gu, G.Y., Kim, H.S., Kim, D.S., Lee, C.S., and Park, J.M., "Evaluation of Mechanical Properties and Damage Sensing of CNT-Polypropylene Composites by Electro-Micromechanical Techniques", *Composites Research*, Vol. 26, No. 1, 2013, pp. 1-6.
13. Wang, B., Bai, Y., Hu, X., and Lu, P., "Enhanced Epoxy Adhesion between Steel Plates by Surface Treatment and CNT/Short-Fibre Reinforcement", *Composites Science and Technology*, Vol. 127, 2016, pp. 149-157.
14. Genna, D., Gaboury, D., Moore, L., and Mueller, W.U., "Use of Micro-XRF Chemical Analysis for Mapping Volcanogenic Massive Sulfide Related Hydrothermal Alteration: Application to the Subaqueous Felsic Dome-Flow Complex of the Cap d'Ours Section, Glenwood Rhyolite, Rouyn-Noranda, Québec, Canada", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 108, 2011, pp. 131-142.