

구조용 단열재 개발을 위한 왕겨숯 보드의 강도적 성질에 대한 연구¹

김 광 철^{2,†}

A Study on The Strength Properties of Board Using The Carbonized Rice Husks to Develop a Structural Insulation¹

Gwang-Chul Kim^{2,†}

요 약

최근의 단열 재료에 대한 관심과 연구는 단열성능 이외의 복합적 성능을 요구하는 추세이다. 본 연구에서는 구조적인 성능을 가지는 왕겨숯 보드 개발을 위한 목재 섬유대 왕겨숯의 최적 비율을 찾고자 하였다. 왕겨숯을 활용하여 구조적 성능을 지니는 친환경 단열재를 개발하고자 기초 연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 최종 왕겨숯 보드의 함수율은 3.2~4.1%로 얻어졌으며, 밀도는 0.58~0.68로 우수한 구조재료로서의 가능성을 보였다. 휨강도는 길이방향으로 9.1-32.6 MPa, 그리고 폭방향으로는 9.2-34.1 MPa로 나타났다. 통상적으로 사용되는 MDF 수준의 휨강도를 얻을 수 있어 구조적 성질을 가지는 단열재 개발의 가능성을 찾을 수 있었다.

ABSTRACT

In recent years, many interests and researches on the insulations required the multiple performances other than insulation performance. The purpose of this paper is to find the optimal ratio between wood fiber and rice-husks charcoal to develop a structural board with carbonized rice-husks.

Based on these rice-husks charcoals, basic research was carried out to develop thermal insulation materials with structural performance, and the following conclusions were obtained. The MC of the board using the carbonized rice-husks was 3.2-4.1% and the density was 0.58-0.68, indicating the possibility of excellent structural material. The bending strength was 9.1-32.6 MPa in the length direction and 9.2-34.1 MPa in the width direction. It is possible to obtain the bending strength of the normally used MDF level and to find the possibility of development of the thermal insulation material having the structural performances.

Keywords : insulation performance, carbonized rice-husks, structural performance, bending strength, MDF

¹ Date Received June 3, 2017, Date Accepted June 15, 2017

² 전북대학교 주거환경학과. Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 김광철(e-mail: gckim@jbnu.ac.kr)

1. 서 론

최근 들어 삶의 질이 높아지면서 쾌적한 주거환경에 대한 요구가 높아지고 있다. 고효율의 주거환경을 이루기 위해서는 적절한 냉난방이 필수적이며 이러한 냉난방에 가장 큰 영향을 끼치는 것이 바로 단열 재료이다. 초기의 단열 재료에 대한 관심과 연구는 냉난방비 절약에 초점이 맞추어져 있었지만 최근 들어서는 단열성능 이외의 복합적 성능을 요구하는 추세이다(Kim *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2004). 근래에 들어 대부분의 전원주택의 시공에는 친환경 건축 재료로 알려진 목재를 사용하는 경량목구조가 대세이다. 누구나 목재 및 목질복합재료가 친환경이라고 생각하고 느끼고 있지만 외국처럼 공장생산이 되는 균질한 목질재료가 부족하여 현장 시공이 많은 국내의 현실에서는 현장의 가공과정이나 시공측면을 본다면 친환경적인 장점은 상당 부분 떨어진다고 볼 수 있다(Kim and park, 2014). 특히 고에너지가 문제가 되고 있는 요즘의 여건상 단열에 대한 관심과 집중이 그 어느 때보다 필요한 상황이며, 이에 따라 높은 단열성능을 가지면서도 인체에 효율적인 친환경성의 건축 재료를 개발하는 것은 필요 불가결한 측면을 가지고 있다. 일반적으로 친환경적인 건축 재료는 독성이 없어야 하고, 지속가능성을 갖는 재활용이 가능하여야 하며, 건물의 환경성능을 향상시킬 수 있어야 한다(Kim and park, 2014; Kim *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2004). 이러한 요건에 가장 적합한 재료가 바로 목재와 숯이다. 목재와 숯은 이미 알려진 바와 같이 음이온 발산, 원적외선 방사 효과, 전자파 차단 및 공기정화 효과, 탈취 작용, 항균 및 해독효과, 조습효과, 진드기 제거효과 등과 같은 다양한 효과를 지니고 있어(Kim and park, 2014; Kim *et al.*, 2016), 목재와 숯을 활용한 다양한 건축 재료들이 개발되고 있다(Ko *et al.*, 2008; Park and Park, 2012; Park *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013). 이에 본 연구의 최종 목적은 쌀의 도정과정에서 발생하는 왕겨를 이용하여 만든 숯으로 목재 숯 제작에서의 경제성과 편리성 문제를 해결하고 건축물의 에너지부하 저감을 위한 방안의 하나로서 목재와 숯이 가지고 있는

다공성을 활용한 친환경 경량 단열벽체를 개발하고자 함이다(Kim and Kang, 2017). 또한 개발한 단열벽체와 목재를 접합 가공하여 내부 벽체 구조체로써의 가능성을 살펴보고자 한다. 이에 대한 최종 연구가 성공할 경우 목재와 숯의 친환경성과 동시에 구조적 문제까지 해결이 되어 경제성 있는 친환경 부분 구조체가 생산 및 시공이 될 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 최종 결과물을 얻기 위해 왕겨숯과 목재 섬유를 활용하여 보드 형태를 제작하여 최적의 강도 성능을 얻기 위한 기초 연구를 일차적으로 실시하였다. Park *et al.* (2011)의 연구에 의하면 국내의 왕겨 생산량은 조곡 생산량의 약 18%에 해당하며 이에 따른 최근의 통계량을 적용하면 2013년 기준 93만 톤의 왕겨가 생산되고 이 중 전라북도의 경우 15만 톤의 왕겨를 생산하고 있다. 왕겨는 일부 전기 및 가스, 바이오에탄올, 규소를 이용한 제품 생산 등에 이용되고 있지만 약 95% 이상의 대부분은 매우 싼 값에 축산시설 깔개로 사용 후 퇴비로 이용되고 있는 실정이다. 왕겨숯은 타 바이오차와는 다르게 쌀알이 빠져나간 부분의 공기층 형성으로 단열성능이 탁월한 재료이다(Kim and Park, 2014). 따라서 본 연구에서는 단열성능과 음이온 방출 성능, 원적외선 방출 성능, 탈취율이 우수한 왕겨의 친환경 단열 성능을 최대한 살리면서 구조적인 성능까지 가질 수 있는 왕겨숯 보드 개발을 위한 최적 비율을 찾고자 하였다.

2. 재료 및 방법

왕겨숯 보드의 최소한의 구조적 성능을 확보하기 위하여 목섬유와 왕겨숯을 적절한 비율로 혼합하고 제조의 편리를 위해 분말성 폐놀수지를 첨가하여 복합보드를 제작하였다. 문제점은 왕겨숯의 형태를 유지하고 있을 때는 EPS와 유사하지만 분말형태로 보드를 만들 경우 열전도율이 떨어지므로, 이러한 문제점을 해결해서 보드형태로 왕겨숯 보드를 만들 수 있다면 일정수준의 강도를 가진 패널 형태로 만들어 친환경 고효율벽체를 만들 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Informations on the boards using the carbonized rice husks

Size of boards (cm)	Target density of boards	Binder type	Target weight of boards (g)	Weight of binder (g)
35 × 35 × 1.5	0.8 g/cm ³	Powdered phenolic resin	1470	294

Table 2. Content by raw material ratios

Type (wood fiber : rice husk)	wood fiber (g)	carbonized rice husks (g)	resin (g)
100 : 0	1176	0	294
90 : 10	1058.4	117.6	294
80 : 20	940.8	235.2	294
70 : 30	823.2	352.8	294
60 : 40	705.6	470.4	294
50 : 50	588	588	294

2.1. 왕겨숯 보드의 제작

왕겨숯을 분말형으로 가공하여 복합보드를 제작할 경우 고른 밀도 분포와 적절한 형상 등을 얻기에는 유리하지만 왕겨숯 본연의 최대 장점인 낮은 열전도성을 상당 부분 잃어버릴 수 있기 때문에 최대한 왕겨숯의 원형을 유지하기 위해 분말로 가공하지 않고 목섬유와 왕겨숯 자체를 혼합하였다. 왕겨숯의 공극을 고려하여 액상의 수지류 대신 분말성 페놀수지를 사용하고 구조체로의 성능을 확보하기 위하여 복합보드 제조 시 수지함유량을 보통의 목질보드보다 높게 설정하여 20%로 하였다. 본 연구의 최종 목적이 패널형태의 왕겨숯 보드를 제작하여 일체형 벽체를 완성하는데 있기 때문에 단열성을 가지면서도 구조체로서의 기능을 가진 복합보드 완성을 위해 목표 밀도를 0.8로 높게 잡고 재료를 혼합하였다. 복합보드 제조와 휨강도 실험은 MDF의 표준 규격인 KS F 3200을 준용하여 제작 및 실험하였다. 목섬유는 한솔홈데코에서 분양받은 시판용 섬유판에 널리 사용되는 함수율 8%의 리기다소나무 목섬유이다. H산업에서 분양받은 왕겨숯은 쌀의 도정과정에서 발생하는 왕겨를 가마에서 섭씨 700° 온도로 직접탄화시켜 생산한 것으로 간접탄화 시킨 타사 제품보다 열전도율이 우수한 재료이다(열전도율 0.043 (W/m·K). 목섬유 대 왕겨숯의 혼합 비율을 50 : 50, 60 : 40,

70 : 30, 80 : 20, 90 : 10, 100 : 0의 비율로 혼합하여 각 비율에서의 휨강도 값과 함수율, 밀도를 측정하여 최적 비율을 찾고자 하였다. 복합보드의 제작과 실험은 MDF의 표준 규격인 KS F 3200을 준용하였다. 보드의 크기는 35 cm × 35 cm × 1.5 cm이었으며 보드는 그룹별로 5개씩 제작하였다. 구체적인 보드 제조 조건은 Table 1과 2와 같다.

사용한 분말성 페놀수지는 제품명 PHENOLITE TD-739A로 외관은 담황색 분말상이며, 용점은 85~95 (°C)이고, 유동도는 17~27 (mm), 경화 시간은 45~55 (155°C,sec), 핵사민 함량은 7.7~8.3 (%)에 수분은 0.8 (%) 이하이고 입도는 95 이상 200 mesh pass 분(%)이었다.

열압조건은 열판온도 150°C, 압체압력 8 MPa, 압체시간 5분, 보드제조 후 실내에서 일주일 양생을 거친 후 휨강도 시편을 절취하였다(Fig. 1). 35 cm × 35 cm × 1.5 cm 크기의 보드를 그룹별로 5개씩 제작하고 각 보드당 휨강도 실험 시편은 폭 50 mm 길이 300 mm로 6개씩을 절단하여 각 보드 6 그룹별로 총 30개씩의 휨강도 시편을 확보하였다. 길이방향으로 18개, 폭방향으로 12개를 구성하였다.

2.2. 왕겨숯 보드의 물리적 성질 측정

휨강도 실험을 마친 시편에서 50 mm × 50 mm 치



Fig. 1. Manufacturing process on the boards using the carbonized rice husks.



Fig 2. MC specimens and S.G. specimens.

수로 절단하여 건조기에서 전진시킨 전후의 무게와 치수를 측정하여 함수율과 밀도를 측정하였다. KS F 2198과 2199에 따라 실험을 실시하였다(Fig. 2).

2.3. 왕겨숯 보드의 역학적 성질 측정

MDF의 표준 규격인 KS F 3200을 준용하여 휨강

도 시편의 치수를 각 보드당 폭 50 mm 길이 300 mm로 6개씩을 절단하여 각 보드 그룹별 총 30개씩의 휨강도 시편을 확보하였다. 이 중 길이방향으로 18개, 폭방향 12개로 구성하였다. 10 mm/min의 하중 속도로 중앙 집중 휨하중 실험을 실시하였다.

KS F 3200의 기준을 따라 다음의 식 (1)에 의해 휨강도를 계산하였다.

$$\text{휨 강도 (MPa)} = \frac{3}{2} \times \frac{PL}{bt^2} \dots\dots\dots (1)$$

P: 최대하중(N)

L : 스펠(mm)

b: 시험편의 너비(mm)

t: 시험편의 두께(mm)

3. 결과 및 고찰

왕겨숯의 친환경성과 우수한 단열 성능을 활용하여 구조용 단열재 개발을 위한 기초 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 최종 복합보드의 함수율은 3.2~4.1%로 얻어졌다. 휨강도는 길이방향이가장 낮은 그룹 9.1 MPa, 가장 높은 그룹이 32.6 MPa 그리고 폭방향으로는 가장 낮은 그룹 9.2 MPa, 가장 높은 그룹이 34.1 MPa로 나타나 통상적으로 사용되는 MDF 수준의 휨강도를 얻을 수 있어 구조적 성질을 가지는 단열재 개발의 가능성을 발견할 수 있었다.

Table 3. Moisture contents of boards using the carbonized rice husks

Type (wood fiber : rice husk)	MC (%)	Density
100 : 0	4.12 (0.16 [*])	0.68 (0.04 [*])
90 : 10	4.08 (0.16)	0.66 (0.04)
80 : 20	3.87 (0.21)	0.63 (0.03)
70 : 30	3.65 (0.14)	0.58 (0.03)
60 : 40	3.34 (0.15)	0.62 (0.05)
50 : 50	3.23 (0.37)	0.68 (0.08)

※ Standard deviation



Fig 3. Shape and testing machine for the flexural specimen.

3.1. 왕겨숯 보드의 함수율

힘강도 실험을 실시한 시편에서 절취한 함수율 시편을 전건 시킨 후 전후 무게를 측정하여 구한 왕겨숯 복합 보드의 함수율은 다음의 Table 3과 같이 얻어졌다. 목섬유의 비율에 비해 왕겨숯 비율이 많아질수록 보드의 함수율은 낮게 나타났지만 평균값 상으로는 큰 차이가 나타나지 않았다. 이에 분산분석을 실시하여 각 그룹간의 통계적 차이를 규명하고자 하였다. 분산분석의 결과 유의수준 95%에서 귀무가설

이 기각되어 그룹간 함수율 차이가 존재함을 알 수 있었다. 왕겨숯 함유량에 따른 각 그룹간의 함수율 평균값이 통계적으로 유의성이 있기 때문에 독립적인 개체로 인정하여 추가적인 연구를 수행할 수 있다고 판단되었다.

3.2. 왕겨숯 보드의 밀도

힘강도 실험을 실시한 시편에서 절취한 밀도 측정용 시편을 전건 시킨 후 전후 무게와 치수를 측정하여 구한 왕겨숯 복합 보드의 밀도를 Table 3에 나타냈다. 목섬유의 비율에 비해 왕겨숯 비율이 많아질수록 왕겨숯 함유량 30%까지는 밀도가 감소하였으나 이후에는 일정하지 않은 값을 보였다. 추가적인 분산분석을 실시한 결과 함수율과 동일하게 귀무가설이 기각되어 각 집단간에 통계적으로 평균값이 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, 왕겨숯의 함유량에 따라 각 보드그룹간에 어느 정도는 통계적으로 밀도 차이가 존재함을 알 수 있다. KS F 3200에 따르면 통상적으로 MDF의 밀도가 0.35~0.85임을 고려할 때 MDF와 동일한 제작 조건은 아니지만 본 연구에서 개발한 왕겨숯 보드의 밀도가 0.58~0.68로 얻어졌기 때문에 구조적 성질을 지니는 단열재료의 활용 가능성은 충분하다고 판단된다.

3.3. 왕겨숯 보드의 최대 하중

KS F 3200 섬유판 규정에 근거하여 힘강도 실험을 진행한 후, 왕겨숯 복합 보드의 길이방향 및 폭방향으로의 최대 하중을 Fig. 4에 제시하였다. 목섬유

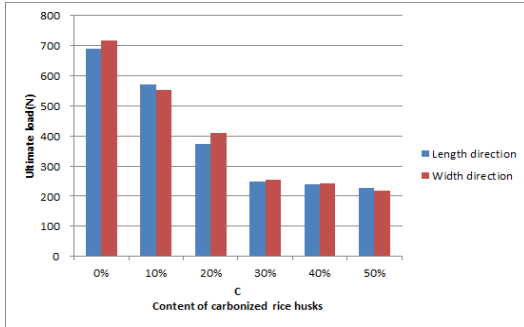
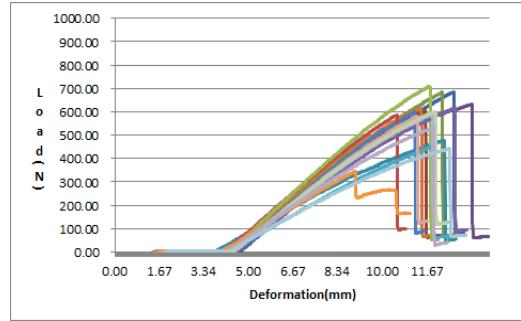


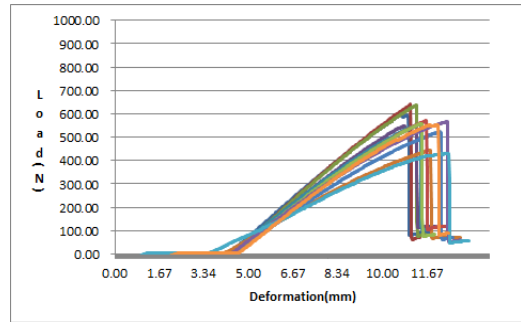
Fig. 4. Ultimate loads of boards using the carbonized rice husks.

대비 왕겨숯 함유량이 많아질수록 최대 휨하중은 감소함을 알 수 있다.

본 연구의 최종 목표인 구조적 성질을 지니는 단열재 생산을 위해 MDF의 KS 규격에서 제안하는 것처럼 왕겨숯 보드에 대한 방향별 강도값의 차이를 규명할 필요가 있었다. 따라서, 왕겨숯 함유량이 다른 각각의 6개 그룹에 대해 길이방향 강도와 폭방향 강도의 차이가 존재하는지를 우선적으로 검토하였다. 왕겨숯 함유량에 따라 각각 F-검정을 먼저 실시해서 길이방향 강도값과 폭방향 강도값이 등분산 집단인지 이분산 집단인지를 먼저 정의하고 이 결과를 바탕으로 이후 t-검정을 실시하여 길이방향과 폭방향 간의 강도 차이가 존재하는지를 증명하였다. 6개 그룹 모두에서 F-검정 결과 유의확률 값 P가 0.05보다 큰 것으로 나타났다. 이는 각 그룹내 시편의 길이방향 강도와 폭방향 강도 간에 등분산 분포를 지님을 의미한다. 이에 기초하여 t-검정은 등분산으로 가정하고 분석을 실시하였다. 역시 6개 그룹 모두에서 t-검정의 결과 유의확률값 P가 0.05 보다 크게 나타나서 두 방향 간의 강도값은 유의하지 않음을 알 수 있었다. 즉, 두 방향 간의 강도값 차이가 없이 유사한 것으로 판단되었다. 이에 따라 이후의 왕겨숯 함유량에 따른 왕겨숯 보드의 강도 예측에는 길이방향과 폭방향에 따른 강도값 구분을 하지 않고 동일한 하나의 집단으로 가정하여 숯 함유량에 따른 강도 예측을 실시하였다.



10-L-1~18



10-W-1~12

Fig. 5. Load-deformation curves of charcoal board using the rice husks.

3.4. 왕겨숯 보드의 파괴 모드

Fig. 5에 예시로 왕겨숯을 10% 첨가한 복합보드에 대해 길이방향과 폭방향으로 휨강도 실험한 결과의 하중-변형 곡선을 나타내었다. 하중-변형 곡선을 보면 보통의 건축 재료들과 동일하게 전형적인 취성 파괴 모드를 보여주고 있다. 취성 파괴 모드를 보이는 건축재료의 경우 성능의 한계상태에 이르러도 파괴의 사전 징후를 보이지 않는 위험성이 있으므로 연성 파괴의 재료와의 하이브리드나 구조적 보안을 할 필요가 있다. 따라서 연성파괴의 특성을 지닌 목재와 복합체를 구성하여 구조용으로 사용될 경우 구조적 신뢰성을 향상 시킬 수 있을 것이다. 즉 본 연구·개발의 최종 목적인 왕겨숯 단열 복합벽체를 구성한다면 친환경 단열재료의 성능과 구조체의 성능 모두를 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 4. The bending strengths of boards using the carbonized rice husks

Type (wood fiber : rice husk)	Bending strength (MPa)	
	length direction	width direction
100 : 0	32.62 (5.95 [*])	34.12 (4.44)
90 : 10	24.74 (4.33)	23.22 (3.28)
80 : 20	15.06 (6.93)	15.55 (4.15)
70 : 30	9.10 (3.80)	9.39 (2.98)
60 : 40	9.95 (6.73)	9.46 (6.83)
50 : 50	9.54 (4.73)	9.15 (5.36)

^{*}Standard deviation

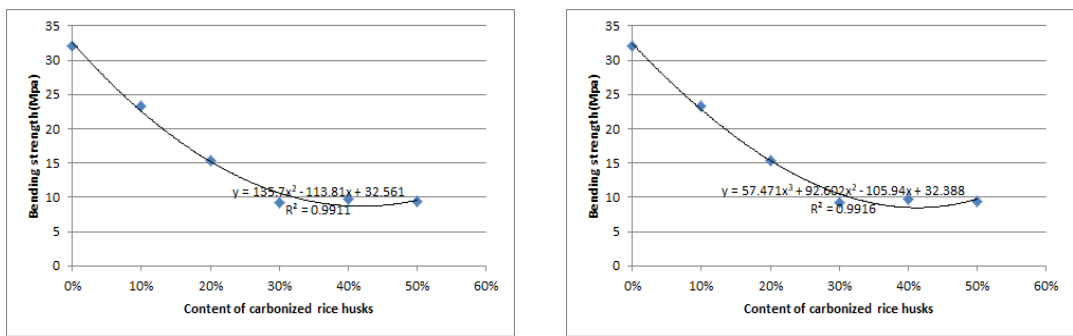


Fig. 6. Regression analysis on the bending strengths of boards using the carbonized rice husks.

3.5. 왕겨숯 보드의 휨강도

KS F 3200 섬유판 규정에 근거해서 실시한 왕겨숯 활용 복합보드의 휨강도는 다음의 Table 4와 같이 얻어졌다. 왕겨숯 함유량이 증가할수록 휨강도는 감소하였다. 단 왕겨숯을 40% 함유한 것과 50% 함유한 것의 휨강도가 30% 함유한 것에 비해 미세하게 증가한 것에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 목섬유와 왕겨숯 재료 간의 혼합 과정에서 생긴 문제 등의 자세한 추가 연구가 필요하지만 왕겨숯 함유량 40% 이상에서 나타난 휨강도 증가분이 크지 않기 때문에 본 연구의 단계에서 왕겨숯 함유량에 따른 왕겨숯 보드의 강도 추정에는 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단하여 이후 연구를 진행하였다.

3.3.절의 최대하중 제시 형태에 대응하여 휨강도 역시 길이방향과 폭방향 각각으로 표시하였다. 하지만 방향별 강도적 성질 차이가 없다고 판단되어(3.3.

절 참조) 방향별 구분 없이 혼합하여 각 그룹별로 유의성 분석을 실시한 결과 각 그룹간의 독립성을 확인 할 수 있었고 추가적인 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

2차 예측식과 3차 예측식 모두 상관계수가 아주 높게 나타나므로 어느 것을 사용하여 복합보드의 휨강도 예측에 사용하여도 무방할 것이다. KS F 3200에 따르면 MDF의 경우 통상적으로 휨강도 15 MPa를 사용하고 있다. 본 연구에서 개발한 복합보드의 최종 활용 용도가 구조용임을 고려한다면 예측 그래프를 활용할 경우 왕겨숯 함유량을 20%까지로 제한하는 것이 적절하다고 판단된다.

4. 결 론

고도의 단열성능을 가지고 있는 왕겨숯을 활용하여 구조적 성능을 지니는 친환경 단열재를 개발하고자 기

초 연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

최종 왕겨숯 보드의 함수율은 3.2~4.1%로 얻어졌으며, 밀도는 0.58~0.68로 우수한 구조재료로서의 가능성을 보였다. 휨강도는 길이방향이 가장 낮은 그룹 9.1 MPa, 가장 높은 그룹이 32.6 MPa 그리고 폭방향으로는 가장 낮은 그룹 9.2 MPa, 가장 높은 그룹이 34.1 MPa로 나타나 통상적으로 사용되는 MDF 수준의 휨강도를 얻을 수 있어 구조적 성질을 가지는 단열재 개발의 가능성을 찾을 수 있었다.

사 사

“본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(NO. C0396181)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.”

REFERENCES

- Choi, W.K., park, H.R., Suh, S.J. 2004. A fundamental study for the development of building materials using the charcoal. Journal of the architectural institute of Korea planning & design 20(3): 185-192.
- Kim, G.C., Kang, Y.J. 2017. An evaluation of indoor environmental performance on the various wall systems with rice husks charcoal. Proceedings of the korean society of wood science and technology annual meeting. 75.
- Kim, G.C., Kang, Y.J. 2017. An evaluation of the environmental properties of test-houses using the rice-husks charcoal. The 5th International timber construction symposium; ITCS 2017. 153-158.
- Kim, G.C., Park T.K. 2014. A study on the possibility of development of wooden building materials using the rice-husks charcoal. 2014 Proceedings of the korean society of wood science and technology annual meeting. 306-307.
- Kim, G.C., Park T.K., Kang, Y.J. 2016. A capability and application technique of wooden house insulation. 2016 Proceedings of the korean society of wood science and technology annual meeting. 222-223.
- Kim, Y.M., Choi, H.Y., Chung, Y.G., Ryu, H.G. 2006. A Study on the Properties and Friendly Environment Efficiency Charcoal Concrete Bricks. Journal of the korea institute of building construction 6(1): 123-130.
- Ko, J.H., Jeong, J.M., Min, K.E., Lee, D.Y., Park, J.M., Kim, B.R. 2008. Charcoal Application to Paper and Analysis of Gas Absorption Capability. Journal of Korea TAPPI 40(1): 29-34.
- KS F 2198. 2004. Determination of density and specific gravity of wood, Korean Standard Association.
- KS F 2199. 2004. Determination of moisture content of wood, Korean Standard Association.
- KS F 3200. 2004. Fiberboards, Korean Standard Association.
- Park, H.M., Heo, H.S., Sung, E.J., Nam, K.H., Lim, J.S. 2012. Physical properties of hybrid boards composed of green tea, charcoals and wood fiber. Journal of the korean wood science and technology 40(6): 406-417.
- Park, H.M., Heo, H.S., Sung, E.J., Nam, K.H., Lim, J.S. 2013. Effect of the kind and content of raw materials on mechanical performances of hybrid boards composed of green tea, charcoals and wood fiber. Journal of the korean wood science and technology 41(1): 64-76.
- Park, S.B., Park, J.S. 2012. Combustion characteristics of bamboo charcoal boards. Journal of the korean wood science and technology 40(1): 19-25.
- Park, W.K., Park, N.B., Shin, J.D., Hong, S.G., Kwon, S.I. 2011. Estimation of biomass resource conversion factor and potential production on agricultural sector. Korean journal of environmental agriculture 30(3): 252-260.