

탄화온도가 탄화보드의 표면온도에 미치는 영향¹

오 승 원^{ID 2,†} · 황 정 우² · 박 상 범³

Effect of Carbonization Temperature on the Surface Temperature of Carbonized Board¹

Seung-Won Oh^{ID 2,†} · Jung-Woo Hwang² · Sang Bum Park³

요 약

탄화보드의 신용도개발을 위하여 합판, 파티클보드, 중밀도섬유판 및 물푸레나무를 400~1100℃로 탄화하여 탄화온도가 탄화보드의 표면온도에 미치는 영향을 검토하였다. 탄화보드의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 경과시간 12분까지는 급격히 상승하다가, 그 이후에는 완만히 상승하였으며 20분 이후부터는 온도가 안정화되었다. 제조시 탄화온도가 높을수록 제조된 탄화보드의 밀도가 크고 시간경과에 따른 표면온도가 높아 밀도가 표면온도상승에 영향을 미친 것으로 판단된다. 실리콘러버히터의 표면온도보다 탄화보드의 표면온도 하강속도가 느려 탄화보드가 오랜 시간 열을 유지하였다.

ABSTRACT

For new use development of carbonized board, we investigated the effect of carbonization temperature on the surface temperature of carbonized board manufactured from a plywood, particle board, MDF, and wood of *Fraxinus rhynchophylla* at different carbonization temperature (400℃~1100℃). The surface temperature of carbonized board precipitously increased until 12 minutes elapsed, after smoothly increased and thereafter which were stable after 20 minutes. The higher carbonization temperature increased density of carbonized board and surface temperature of carbonized board so that density is considered to influence surface temperature change. Moreover, carbonized boards kept heat for a long time because the descent velocity of carbonized boards' surface temperature was slower than that of heater's.

Keywords : carbonized board, carbonization temperature, surface temperature, *Fraxinus rhynchophylla*

¹ Date Received October 26, 2017, Date Accepted January 5, 2018

² 전북대학교 목재응용과학과. Department of Wood Science and Technology, Chonbuk National University, Chonju 54896, Republic of Korea

³ 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-6601-9789)

1. 서 론

탄화보드는 첨단 다기능성 신소재로서의 흡착성, 난연성, 원적외선방사, 공기정화기능 및 음이온 발생 효과 등 과학적으로 검증된 효능이 있어서 새집 증후군 등 기타 유해환경에 살고 있는 현대인에게 필수적으로 필요한 재료에 사용될 것으로 생각된다 (KFRI, 2008). 국립산림과학원에서는 목질제품의 VOC (Volatile Organic Compound) 평가 및 개선 연구 과제를 수행하면서 파티클보드(PB), 중밀도섬유판(MDF)와 같은 목질 판상보드를 이용하여 VOC와 포름알데히드 방출이 전혀 없고 유해화학물질 제거 능력이 뛰어난 기능성 탄화보드를 개발한 바 있다 (KFRI, 2007).

한편 탄화보드의 실용화를 위한 노력으로 탄화보드의 표면에 갈라 코팅하는 방법, 탄화보드의 표면에 검게 묻어나는 현상을 방지하기 위하여 1 mm 정도의 얇은 섬유판을 부착하는 방법, 표면을 세라믹으로 코팅하는 방법 등 다양한 처리가 시도되고 있다. 이와 같이 탄화보드의 신용도개발 및 산업화를 위해서는 용도에 맞는 기초연구가 필요한데, 이에 대한 연구로는 KFRI (2008)가 중밀도섬유판을 이용하여 탄화온도별로 탄화보드를 제조하고 전자파차폐효과를 측정하였고, Park *et al.* (2009)은 합판, 파티클보드 및 중밀도 섬유판으로 탄화보드를 제조하여 탄화온도에 따른 수축률, 중량감소율, 밀도변화 및 표면구조변화를 조사하였다. 또한 Oh *et al.* (2003)은 톱밥보드로 우드세라믹을 제조하고 수지함침률 및 탄화온도에 따른 표면온도를 측정하였고, Oh (2007)는 소나무로 우드세라믹을 제조하고 제조 시 승온온도 및 최고온도유지시간이 우드세라믹의 표면온도에 미치는 영향에 대하여 검토한 바 있다.

본 연구에서는 물푸레나무판재, PB, MDF 및 합판(Plywood)를 이용하여 탄화온도별로 탄화보드를 제조하고 탄화보드를 발열판으로 이용가능성을 검토하고자 실리콘 러버히터를 활용하여 탄화온도별로 각 탄화보드의 표면온도를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 탄화보드제조

탄화보드를 제조하기 위하여 물푸레나무판재, 중밀도섬유판(MDF), 파티클보드(PB), 합판(PW)을 400 mm × 400 mm 크기의 시험편으로 재단한 후 실험용 탄화로를 사용하여 탄화온도 400~1100℃로 100℃간격으로 승온하면서 탄화하였다. 이때 승온속도는 50℃/min.이며, 목표탄화온도에서 2시간 동안 유지하였다. 표면온도 측정을 위하여 습도 65 ± 5%, 온도 20 ± 1℃에서 일주일간 조습처리 하였다.

2.2. 시간의 경과에 따른 표면온도 측정

시간의 경과에 따른 탄화보드의 표면온도를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘 러버히터를 연결하고, 20 V에서 60℃로 목표온도를 설정한 후, 온도센서를 이용하여 히터의 표면온도를 고정하였다. 가열된 실리콘러버 히터 위에 시험편을 올려놓고 그 위에 다른 온도센서를 부착하여 시간의 경과, 히터바닥온도의 변화 및 온도하강시간에 따른 표면온도변화를 측정하였다. 이때 표면온도 측정은 실내(20 ± 2℃)에서 Thermo Recorder (T and D Co., Ltd TR-71S)를 이용하여 측정하였다.

2.3. 히터의 표면온도 상승에 따른 시편의 표면 온도 측정

전기전압 조절장치에 실리콘 러버히터를 연결하고 히터의 최고표면온도를 80℃로 고정하였다. 그 후 실리콘 러버히터 위에 시험편을 올려놓고 히터의 표면온도가 25℃에서부터 80℃까지 상승될 때 5℃간격으로 각 시험편의 표면 온도 상승변화를 측정하였다.

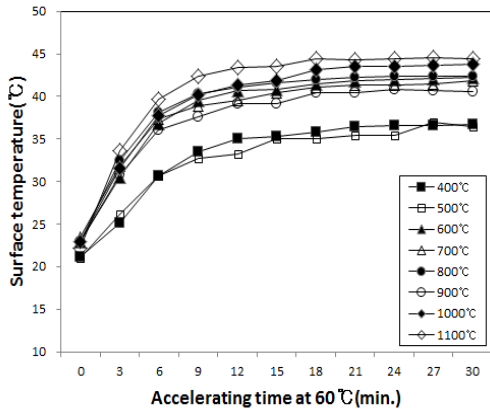


Fig. 1. Surface temperature for carbonized plywood as a function of heating time.

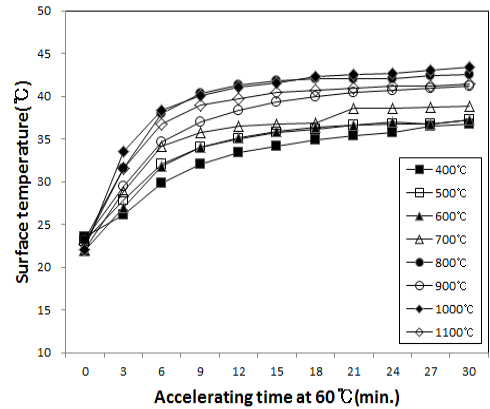


Fig. 3. Surface temperature for carbonized wood as a function of heating time.

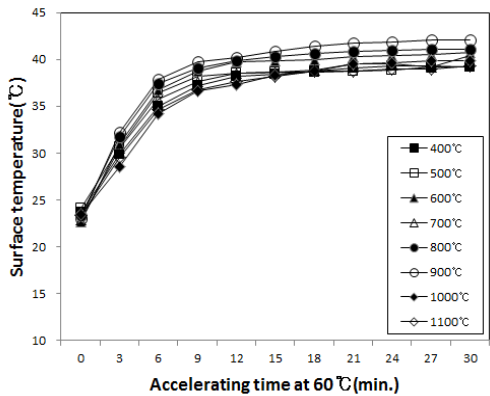


Fig. 2. Surface temperature for carbonized MDF as a function of heating time.

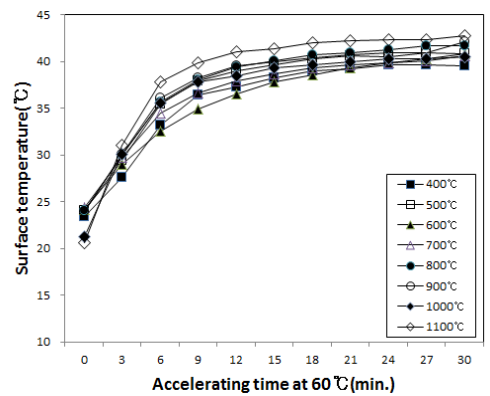


Fig. 4. Surface temperature for carbonized particle board as a function of heating time.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간의 경과에 따른 표면온도 상승 및 하강 변화

실리콘 러버히터의 표면온도를 60°C로 설정하고 그 위에 탄화온도 별로 탄화된 4종류의 탄화보드를 올려놓은 다음 3분 간격으로 30분 동안 탄화보드의 표면온도변화를 측정된 결과는 Figs. 1~4와 같다.

탄화온도별 탄화보드의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 경과시간 12분까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 상승을 보였고, 20분 이후부터

는 온도가 안정화되었다. 각 보드의 탄화온도에 따른 탄화보드의 30분 경과시간 후의 온도는 탄화 함판의 경우 탄화온도 1100°C일 때 44.4°C, 탄화MDF는 900°C일 때 42.1°C, 탄화 원목은 1000°C일 때 43.4°C 그리고 탄화PB는 1100°C일 때 42.8°C로 탄화온도가 900°C 이상일 때 표면온도 상승이 양호하였다. Oh *et al.* (2003)이 낙엽송 톱밥으로 보드를 제조하고 수지함침 후 탄화하여 우드세라믹을 제조한 다음 본 연구와 같은 방법으로 탄화온도별 표면온도를 측정된 결과, 탄화온도 600°C시편은 52.5°C, 1000°C시편은 55.2°C이었다고 보고한 바 있다. 또한 Oh and Byeon (2004)이 소나무 간벌재로 제조된 우

Table 1. Density of carbonized boards after carbonization

CT (°C) \ Board	CMDF	CPB	CPW	CW
BC	0.58	0.72	0.54	0.64
400	0.39	0.45	0.28	0.25
500	0.40	0.46	0.30	0.25
600	0.41	0.48	0.31	0.29
700	0.42	0.49	0.30	0.33
800	0.42	0.50	0.34	0.31
900	0.44	0.54	0.32	0.40
1000	0.44	0.54	0.34	0.41
1100	0.45	0.54	0.34	0.41

CT : Carbonization Temperature, BC : Before carbonization
 CMDF : Carbonized Medium Density Fiberboard, CPB : Carbonized Particleboard
 CPW : Carbonized Plywood, CW : Carbonized Wood

Table 2. Thickness of carbonized boards after carbonization (mm)

CT (°C) \ Board	CMDF	CPB	CPW	CW
BC	11.97	11.77	12.05	11.88
400	7.62	8.30	9.22	9.83
500	6.96	8.11	8.38	9.93
600	6.80	7.68	8.00	10.30
700	6.69	7.61	8.19	8.58
800	6.61	7.57	7.93	10.18
900	6.55	7.20	7.86	9.43
1000	6.59	7.19	8.16	7.23
1100	6.55	7.19	7.86	7.53

Legends : see table 1

드세라믹의 표면온도변화에서 측정시간 30분 후에 탄화온도 600℃ 시편은 48.3℃, 1000℃ 시편은 57.9℃이었다고 하였다. 이러한 결과와 본 연구결과에서의 온도차이는 우드세라믹 제조시 함침된 수지가 탄화과정에서 유리질탄소(glassy carbon)로 변환되어 열전도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

탄화 후 두께와 밀도에 따른 탄화보드의 온도변화의 경우에도 Table 1에서 보는 바와 같이, 탄화 합판은 탄화온도 1100℃일 때 0.34g/cm³, 탄화MDF는 1100℃일 때 0.45 g/cm³, 탄화 원목은 1000℃일 때 0.41 g/cm³ 그리고 탄화PB 는 900~1100℃일 때 0.54 g/cm³로 밀도가 클수록 표면온도가 높아 밀도가 탄화보드의 온도상승에 영향을 미친 것으로 생각

된다. Nanoka *et al.* (1999)은 활엽수 MDF로 제조된 우드세라믹의 밀도에 따른 열전도율을 측정된 결과, 탄화온도 650℃ 시편은 밀도가 0.32 g/cm³에서 0.82 g/cm³로 증가함에 따라 열전도율은 0.085 W/mk에서 0.259 W/mk로, 탄화온도 800℃시편은 밀도가 0.40g/cm³에서 0.84g/cm³로 증가함에 따라 열전도율은 0.113 W/mk에서 0.386 W/mk로 증가하였다고 보고한바 있어, 열전도율은 밀도와 깊은 관계가 있음을 밝힌 바 있다.

표면온도 상승과 관련하여 Table 2에서 보는 바와 같이 표면온도가 최고일 때 시편의 두께는 탄화 합판의 경우 1100℃일 때 7.86 mm, 탄화MDF는 900℃일 때 6.55 mm, 탄화 원목은 1000℃일 때 7.23 mm,

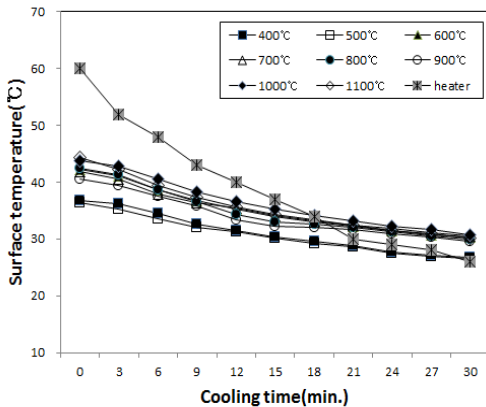


Fig. 5. Relationship between cooling time and desent of surface of carbonized plywood.

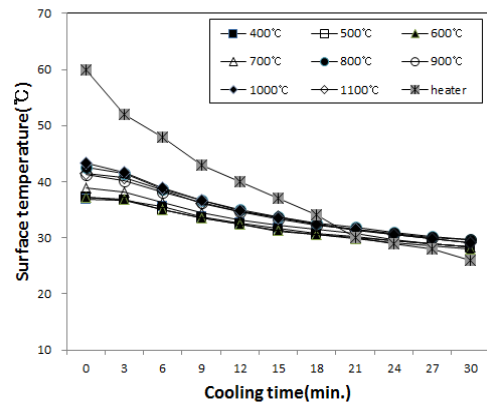


Fig. 7. Relationship between cooling time and desent of surface of carbonized wood.

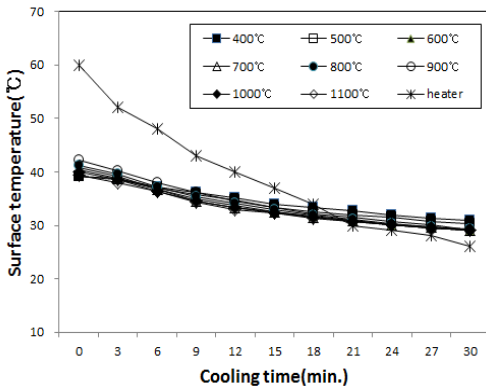


Fig. 6. Relationship between cooling time and desent of surface of carbonized MDF.

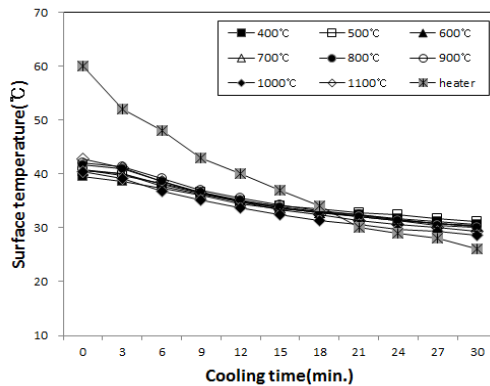


Fig. 8. Relationship between cooling time and desent of surface of carbonized particle board.

그리고 탄화 파티클보드는 1100℃일 때 7.19 mm로 동일재료에서 탄화보드의 두께 또한 열전달 특성과 관련이 있는 것으로 생각된다. 그러나 탄화PB의 경우 탄화온도 1100℃일 때 밀도가 0.54 g/cm³, 두께가 7.19 mm인데 30분 후의 표면온도는 42.8℃이었다. 반면, 탄화 합판의 경우 1100℃일 때 밀도가 0.34 g/cm³, 두께가 7.86 mm일 때 30분 후의 온도 44.4℃였다. 이 결과로 볼 때 밀도와 두께가 적은데도 표면 온도는 낮아 각 원재료의 특성에 따라 탄화 후 밀도 및 두께 변화가 다양하여 각각적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

한편 탄화보드의 표면온도 하강 변화를 알아보기

위하여 상승변화 측정 후 실리콘 리버히터의 전원을 끄고 히터 표면온도를 하강시키면서 3분 간격으로 30분 동안 탄화보드와 히터의 온도 하강을 측정하여 시간의 경과에 따른 탄화보드의 열유지 정도를 조사한 결과는 Figs. 5~8과 같다. 히터의 표면온도가 60℃에서 26.0℃로 하강함에 따라 4종류의 탄화보드의 표면온도도 시간이 경과함에 따라 완만히 하강하였다. 각 탄화보드의 탄화온도별 처음 최고온도와 30분 후의 온도 차이는 탄화 합판 1100℃일 때 14.2℃, 탄화MDF 900℃일 때 12.9℃, 탄화원목 1000℃일 때 14.2℃, 그리고 탄화PB는 1100℃일 때 13.4℃로 가장 크게 나타나 온도상승속도와 하강속도는 거의

탄화온도가 탄화보드의 표면온도에 미치는 영향

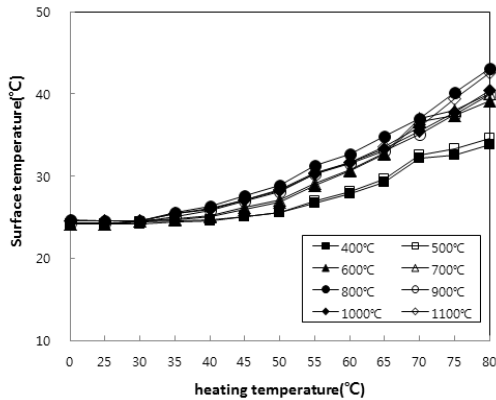


Fig. 9. Relationship between heating temperature and surface temperature of carbonized plywood.

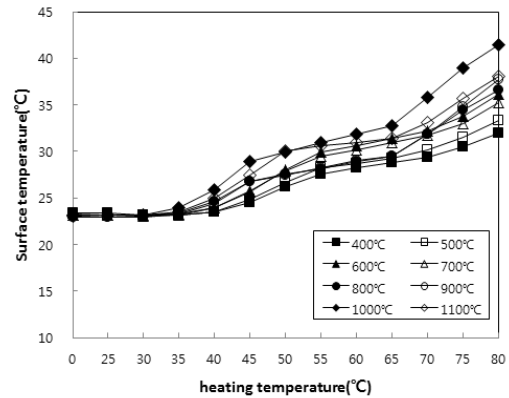


Fig. 11. Relationship between heating temperature and surface temperature of carbonized wood.

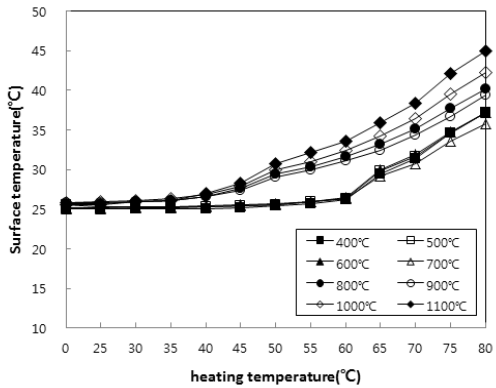


Fig. 10. Relationship between heating temperature and surface temperature of carbonized MDF.

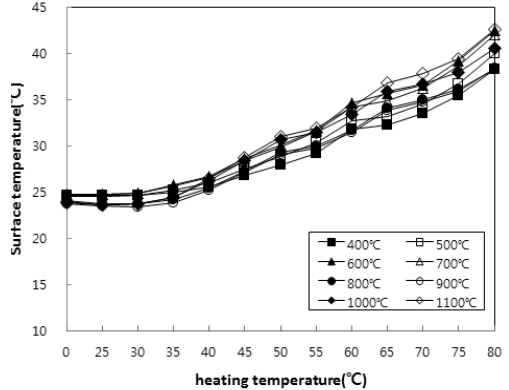


Fig. 12. Relationship between heating temperature and surface temperature of carbonized particle board.

일치하는 것으로 판단된다.

또한 하강시간 30분 후 4종류 탄화보드의 표면온도는 탄화온도별로 탄화합판은 26.8~30.2℃, 탄화MDF는 29.1~30.9℃, 탄화원목은 28.0~29.7℃ 그리고 탄화PB는 28.7~31.1℃로 거의 일정하였으며, 탄화온도가 낮은 시편일수록 최고온도와 30분 후의 온도 차이는 적은 것으로 나타났다.

전체적으로 실리콘 러버히터의 표면온도보다 탄화보드의 표면온도하강 속도가 느려 탄화보드가 비교적 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

3.2. 히터의 표면온도 상승에 따른 시편의 표면 온도 변화

탄화온도별로 제조된 탄화보드를 실온에서 실리콘 러버히터 위에 올려놓고 실리콘 러버히터의 표면온도를 25℃에 80℃까지 상승시키면서 탄화보드의 표면온도 상승변화를 측정한 결과는 Figs. 9~12와 같다.

4종류 탄화보드 모두 히터 온도 50℃정도까지는 표면온도가 완만히 상승하다가 그 이후에는 급격히 상승하는 경향을 보였다.

시편의 밀도와 표면온도 상승과의 관계에서 탄화

합판의 경우 탄화온도 800℃일 때 밀도 0.34 g/cm³인 시편의 온도가 24.7℃에서 43.1℃로 큰 상승을 한 반면, 밀도가 0.28 g/cm³로 가장 작은 400℃로 탄화된 시편은 표면온도가 24.2℃에서 33.8℃로 상승하여 비교적 상승폭이 적었다. 탄화 MDF의 경우 탄화온도 1000℃일 때 밀도 0.44 g/cm³인 시편의 온도가 25.5℃에서 45.0℃로 가장 크게 상승하였으며, 탄화온도 400℃일 때 밀도 0.39 g/cm³ 시편의 온도는 25.0℃에서 37.2℃로 가장 적게 상승하였다.

탄화PB의 경우 탄화온도 1100℃일 때 밀도 0.54 g/cm³인 시편의 온도가 23.9℃에서 42.6℃로 크게 상승하였으며, 탄화온도 900℃ 이상의 시험편 표면온도는 거의 비슷한 상승경향을 보였다. 이와 같이 실리콘 러버히터의 표면온도 상승에 따른 탄화보드의 표면온도 상승도 밀도와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 탄화원목과 3종류의 탄화보드를 탄화온도별로 제조하고 이를 실리콘 러버히터를 이용하여 표면온도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄화온도별 탄화 보드의 표면온도는 경과시간 12분까지 급속히 상승하다 그 이후에는 완만한 상승을 보였고 20분 이후부터는 안정화되었다.
- 2) 표면온도는 탄화합판의 경우 1100℃일 때 44.4℃, 탄화MDF는 900℃일 때 42.1℃, 탄화 목재는 1000℃일 때 43.4℃, 탄화PB는 1100℃일 때 42.8℃로 가장 높았다. 또한 실리콘 러버히터의 표면온도보다 탄화보드의 표면온도 하강 속도가 느려 탄화보드가 오랜 시간 열을 유지하였다.

이상과 같은 연구결과를 토대로 탄화보드가 열을 오랜 시간동안 유지하고 있기 때문에 발열체의 재료로 사용이 가능할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Korea Forest Research Institute. 2008. Evaluation and improvement of VOCs on wood-based panels. Research Report 08-20.
- Korea Forest Research Institute. 2014. Study on performance improvement of wood-based carbonized boards. Research Report 14-07.
- Park, S.B., Lee, S.H., Lee, S.M., Park, J.Y., Kim, N.H. 2009. Effect of carbonization temperature on the properties and microscopic observation of carbonized boards. Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting. 227-228.
- Nonaka, K., Fushitani, M., Hirose, T., Okabe, T. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. Proceeding of 11th MRS-J Annual Meeting. Session 1. New Plant Materials. pp. 98-101.
- Oh, S.W. 2007. A changes in surface temperature of woodceramics made from *Pinus densiflora* S. et. Z. Journal of the Korean Wood Science and Technology 35(3): 22-28.
- Oh, S.W., Piao, J.J., Byeon, H.S. 2003. Change in surface temperature of woodceramics manufactured by sawdust boards -effect of the rate of resin impregnation and burning temperature-. Journal of Korea Forestry Energy 22(1): 24-29.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2004. Effect of impregnation ratio and carbonizing temperature on surface temperature of woodceramics made from thinned logs of *Pinus densiflora* S. et. Z. Journal of the Korean Wood Science and Technology 32(4): 1-7.