

# 톱밥 · 귤박 혼합보드로 제조한 세라믹의 물리적 성질<sup>1</sup>

황 정 우<sup>2</sup> · 오 승 원<sup>2,†</sup>

## Physical Properties of Ceramics Manufactured from A Boards Mixed with Sawdust and Mandarin Peels<sup>1</sup>

Jung-Woo Hwang<sup>2</sup> · Seung-Won Oh<sup>2,†</sup>

### 요 약

본 연구는 제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업부산물인 귤박의 새로운 활용 방안을 찾기 위하여 수행되었다. 귤박 혼합율 및 밀도별로 혼합보드를 제조한 후 수지함침율, 탄화온도 및 귤박혼합율별로 세라믹화 하여 물리적 성질을 조사하였다. 수지함침율이 증가할수록 두께와 길이감소율 및 밀도는 증가하였고, 중량감소율은 감소하였다. 탄화온도가 증가할수록 중량감소율은 증가되었고, 길이와 두께 감소율은 1000℃까지 증가하고 그 이후의 증가는 완만하였다. 귤박혼합율이 높을수록 중량과 두께 및 길이 감소율은 감소하였다.

### ABSTRACT

This study was carried out to explore a new application of the by-products sawdust, formed during sawing and mandarin peels which are agricultural by-products. The boards were manufactured by mixing the sawdust and mandarin peels at different mixing ratio and density. The boards were then converted to ceramics by various percentage of resin impregnation and at different carbonization temperatures. As the percentage of resin impregnation increased, the weight loss was decreased; on the other hand, density, linear shrinkage and thickness shrinkage increased. As the carbonization temperature increased, the weight loss was increased and linear thickness shrinkage increased to 1000℃ and the subsequent increase was insufficient. As the percentage of mandarin peels addition increased, the weight loss, linear shrinkage and thickness shrinkage was decreased.

**Keywords :** composite board, ceramics, mandarin peel, weight loss, linear shrinkage, thickness shrinkage

<sup>1</sup> Date Received March 14, 2017, Date Accepted April 30, 2017

<sup>2</sup> 전북대학교 목재응용과학과. Department of Wood Science & Technology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

## 1. 서 론

환경파괴 및 목재소비량 증가와 목재수출국들의 자국 산업보호를 위한 정책으로 인해 목재자원의 부족현상이 계속될 것으로 보이며, 국내 목재가격도 매년 상승하고 있어서 폐목재자원, 건축폐기물 및 간벌재 등 이용 가능한 목질자원을 활용한 친환경 재료의 개발이 시급하게 되었다.

이러한 현실을 극복하기 위하여 목질을 비롯한 섬유자원의 대체효과를 가질 수 있는 국내 목재수급체계가 확립되어야 하고, 기타 농업 부산물을 이용한 신소재자원의 개발이 필요한 실정이다. 이러한 관점에서 농업부산물을 이용한 고부가가치 상품개발이 필요하다고 생각된다(Yoshida *et al.*, 1986; Lee *et al.*, 1999). 농업부산물인 국내산 감굴의 연간 생산량은 2007년도 기준 약 810,000톤이며, 외국의 경우 2005년 브라질과 미국을 포함한 주요 20개국의 감굴류 생산량은 122,822,000톤이며, 이들 중 85%는 스스로 가공되는데 가공 중 엄청난 양의 과피 등이 부산물로 나온다(Im *et al.*, 2009). 감굴박은 건조시길 경우 그 자체로도 진피라는 한약재로 쓰일 뿐 아니라 별도의 전처리 없이도 사료로서 유용하게 활용될 수 있는 것으로 연구되었다(Jang *et al.*, 2004). 하지만 이러한 상황에서도 감굴박이 연중 2개월이라는 짧은 기간 동안 집중적으로 발생되기 때문에 저장 문제가 해결되지 않아 지역의 현안 문제로 대두되고 있으며, 집중 발생 시에는 처분이 어려워 상당량을 해양투기 하고 있어 환경오염 문제가 심각하다(Im *et al.*, 2009). 만약 이러한 굴박을 목질패널 제품 등의 원료로 사용한다면, 농가소득증대에 도움이 될 뿐 아니라 환경오염문제와 목재수입자원의 대체효과를 가져올 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 재료로 사용한 톱밥은 목재의 제재과정에서 발생하는 부산물로서 수분흡수율이 매우 높아 주로 가축농가에서 분뇨처리용으로 사용되고 있으며, 일부는 톱밥을 부숙시켜 부산물 제조 및 사료용으로 사용되고 있다(Oh *et al.*, 2003).

톱밥은 2016년 입엽통계연보에 따르면 2015년에 119,886 m<sup>3</sup>, 74억원 정도 생산되었고, 소비가격은

62,000원 /m<sup>3</sup>으로 수종에 따라 차이가 있지만 제재 목 도매가격의 1/6에 지나지 않는다. 그러므로 간벌재 및 임지 폐목재로 생산되는 톱밥을 효과적이고 고부가가치적으로 이용한다면 국내 입엽 및 목재 가공산업의 활성화에 크게 기여할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 농업부산물인 감굴박과 제재과정에서 발생하는 톱밥을 이용하여 밀도와 혼합비를 달리하여 혼합보드를 제조하고 수지를 함침한 후 600℃ 이상의 고온으로 탄화하여 세라믹화한 후 물성을 조사함으로써, 톱밥과 감굴박의 새로운 용도 개발을 위한 기초자료를 제공하고 목질 및 비목질 재료의 개량을 통한 신소재 개발에 필요한 자료를 얻고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

#### 2.1.1. 톱밥

톱밥은 낙엽송(*Larix kaempferi* C.) 간벌재 제재 시 발생된 것을 시중 제재소에서 구입하여 사용하였으며, 보드 제조시 시료의 균일함을 위하여 입자의 크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 6% 이하로 조절하였다.

#### 2.1.2. 굴박

굴박은 제주도에서 구입하여 음건한 후 보드 제조시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기로 분쇄하여 입자 크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 5% 이하로 조절하여 사용하였다.

#### 2.1.3. 수지

톱밥·굴박 혼합보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지첨가량은 톱밥·굴박 혼합량의 10% (중량비)로 하였다. 세라믹 제조를 위한 함침에는 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)를 사용하였으며 각 수지의 특성은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Characteristics of phenol-formaldehyde resin for the experiment

Resin types Items	Powder resin (Novolak type)	Liquid resin (Resol type)
Solid content (%)	99	51 ~ 53
Melting point (°C)	80 ~ 95	-
Specific gravity	-	1.06
Celation time (sec.)	80 ~ 120	80 ~ 95
Plate flow (mm)	30 ~ 35	-
Viscosity (cps)	-	45 ~ 65

## 2.2. 시험방법

### 2.2.1. 혼합보드 제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 굴박 및 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방향 몰드 속에 넣고 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 가로 26 cm × 세로 26 cm × 두께 1.4 cm의 보드를 제조하였다. 보드의 제조 조건은 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>일 때 굴박 혼합율 5%, 10%, 15%, 20%, 25%인 board, 그리고 굴박혼합율 10%일 때 목표밀도는 0.4 g/cm<sup>3</sup>, 0.5 g/cm<sup>3</sup>, 0.6 g/cm<sup>3</sup>, 0.7 g/cm<sup>3</sup>인 보드를 각각 10장씩 제조하였다. 이때 열압온도는 190℃, 가압압력은 40 kgf/cm<sup>2</sup> → 30 kgf/cm<sup>2</sup> → 20 kgf/cm<sup>2</sup> (3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분(3단 가압시간)으로 하였다. 열압과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의한 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 테프론 판을 사용하였다.

### 2.2.2. 혼합보드의 함침처리

제조한 보드를 두께 1.4 cm 그리고 단면의 크기를 12 cm × 12 cm의 크기로 재단한 다음 밀도를 계산하였다. 또한 시험조건을 일정하게 하기 위하여 조건별로 목표밀도에 ± 0.03 g/cm<sup>3</sup>인 시편을 선정하였다. 준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압(1기압)과 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 20분 동안 병행한 후 다시 상압에서 20분 동안 방치하는 방법으로 3 반복하였

고 반복시간을 조절하여 함침율을 조절하였다. 함침에 사용한 감압·초음파 함침장치는 함침탱크, 초음파진동부, 초음파 발전부, 진공펌프 등으로 구성되어 있다. 함침 후의 시편을 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60℃에서 8시간, 130℃에서 8시간 연속 건조 및 경화시킨 다음 함침 전·후의 물리적 특성을 측정하였다.

### 2.2.3. 세라믹 제조

굴박혼합율이 5%, 10%, 15%, 20%, 25%인 board 중 수지함침율 60 ± 3%인 board와 굴박혼합율이 10%인 함침board 중 수지함침율이 40 ± 3%, 50 ± 3%, 60 ± 3%, 70 ± 3%인 board를 선정하여 진공탄화로를 이용하여 800℃에서 탄화하여 세라믹을 제조하였다. 또한 밀도가 0.6 g/cm<sup>3</sup>이고 굴박혼합율이 10%인 함침board 중 수지함침율이 50 ± 3% 시편을 선정하여 600℃, 800℃, 1000℃, 1200℃로 각각 탄화하여 세라믹을 제조하였다. 이때 실온에서 설정 온도까지 4℃/min으로 승온하였으며, 설정온도에서 2시간 유지한 후 탄화로 주위에 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다.

### 2.2.4. 물성 측정

#### 2.2.4.1. 함침율 계산

함침재의 수지함침율은 혼합보드의 전건중량에 대하여 주입된 수지량을 백분율로 표시한 것으로 다음과 같이 구하였다.

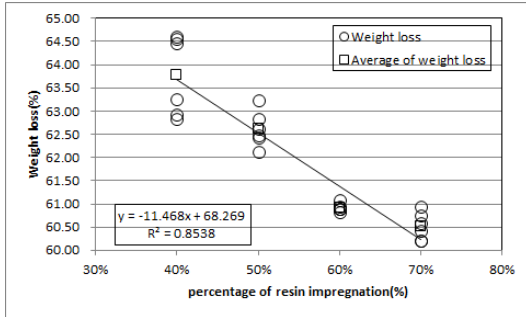


Fig. 1. Weight loss of ceramics after carbonization with percentage of resin impregnation.

$$\text{수지함침율(\%)} = (W1 - Wn) / Wn \times 100$$

여기서, W1; 수지함침 후의 보드 전건중량(g)

Wn; 수지함침 전의 보드 전건중량(g)

#### 2.2.4.2. 중량 및 치수변동

각 단계별로 제조된 혼합보드, 함침보드 및 탄화 후의 혼합세라믹에 대하여 조습처리한 후 치수와 중량을 측정하여 치수변화, 중량변화 및 밀도변화를 조사하였다. 각 실험은 조건별로 6개를 선정하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 혼합세라믹의 중량 및 밀도변화

Figs. 1~3은 탄화 후 굴박·톱밥 혼합세라믹의 중량감소율을 나타냈다.

굴박혼합율 10%, 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>인 혼합보드를 함침 후 800℃에서 탄화한 함침보드의 수지함침율에 따른 혼합세라믹의 중량감소율은 Fig. 1과 같이, 수지함침율 40%일 때 63.8%, 60%일 때 60.9%, 그리고 70%일 때 60.5%로 수지함침율이 증가할수록 감소하였다. 굴박혼합율 10%, 수지함침율 50 ± 3%인 함침보드의 탄화온도에 따른 혼합세라믹의 중량감소율은 Fig. 2와 같이, 탄화온도 600℃일 때 61.8%, 1000℃일 때 64.0%, 1200℃일 때 64.1%로 소성온도가 상승하면서 중량감소율이 증가하였다. 이는 열

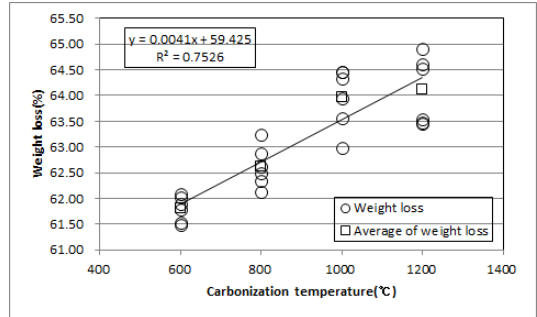


Fig. 2. Weight loss of ceramics after carbonization at different carbonization temperature.

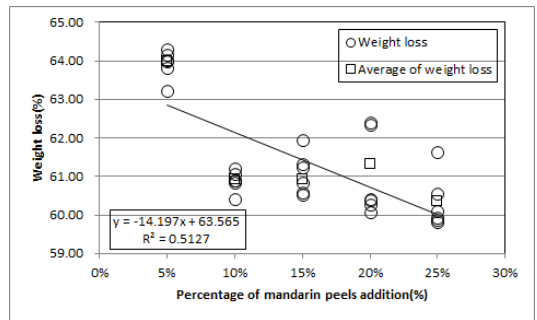


Fig. 3. Weight loss of ceramics after carbonization with percentage of mandarin peels addition.

처리 시 페놀수지의 중량감소량이 목질재료보다 많다는 것을 알 수 있었다.

수지함침율 60 ± 3%, 탄화온도 800℃인 함침보드의 굴박혼합율에 따른 혼합세라믹의 중량감소율은 Fig. 3과 같이, 굴박혼합율 5%일 때 64.0%, 10%일 때 60.9%, 20%일 때 61.3%, 그리고 25%일 때 60.4%로 혼합율이 높을수록 중량감소율이 감소하였다.

Oh *et al.* (2005)은 톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹의 물성 조사에서 함침율에 따른 중량 감소율은 함침율 40%일 때 53.0%, 60%일 때 51.0%, 70%일 때 49.0%으로 중량감소율은 함침율이 증가함에 따라 감소하였고, 탄화온도에 따라서는 탄화온도 600℃일 때 52.0%, 1000℃일 때는 52.9%이고 1200℃일 때는 56.7%로 중량감소율이 탄화온도가 증가함에 따라 완만히 상승하였다고 보고하였다. 그러나 본 연구와

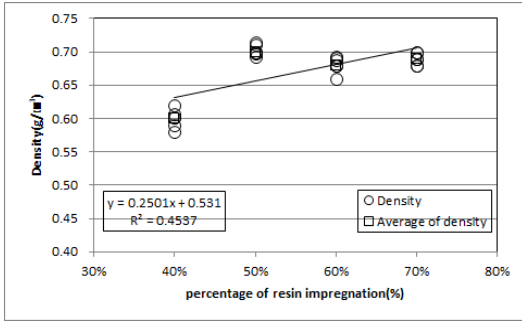


Fig. 4. Density of ceramics after carbonization with percentage of resin impregnation.

의 변화율의 차이는 세라믹의 제조 조건 및 원재료의 차이에 기인된 것으로 생각된다.

Figs. 4~6는 탄화 후 톱밥·굴박 혼합세라믹의 밀도를 나타냈다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 밀도는 탄화시 톱밥, 굴박 및 수지의 탄소화에 의한 구조변화로 인한 치수변화와 중량변화에 기인한 것으로 Fig. 4와 같이, 수지함침율 40%일 때 0.60 g/cm<sup>3</sup>, 50%일 때 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 60%일 때 0.68 g/cm<sup>3</sup> 그리고 70%일 때 0.69 g/cm<sup>3</sup>로 수지함침율 50%일 때 가장 높은 수치를 나타냈지만 전체적으로 수지함침율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. Oh and Byeon (2002)은 함침한 MDF의 탄화한 후 밀도를 조사한 결과, 탄화온도 800℃에서 수지함침율 40%일 때 0.79 g/cm<sup>3</sup>, 60%일 때 0.83 g/cm<sup>3</sup>, 80%일 때 0.88 g/cm<sup>3</sup>로 폐놀수지의 양이 많을수록 탄화 후의 밀도가 증가하는 결과를 얻었다.

탄화온도에 따른 혼합세라믹의 밀도는 Fig. 5와 같이, 탄화온도가 600℃일 때 0.66 g/cm<sup>3</sup>, 800℃일 때 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 1000℃일 때 0.68 g/cm<sup>3</sup>, 그리고 1200℃일 때 0.65 g/cm<sup>3</sup>으로 800℃에서 가장 높은 밀도를 보였고, 1000℃ 이상에서 밀도가 완만하게 감소하였다. Piao (2004)은 톱밥과 왕겨로 제조된 우드세라믹의 탄화온도에 따른 밀도는 800℃까지는 증가하다가 800 ~ 1000℃영역에서 변화폭이 작았고, 1200℃에서 감소하는 경향을 보였다고 보고하였다. 또한 Okabe and Satio (1995)는 탄화온도 1000℃일 때 밀

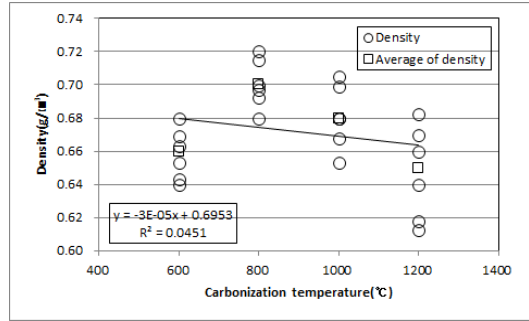


Fig. 5. Density of ceramics after carbonization at different carbonization temperature.

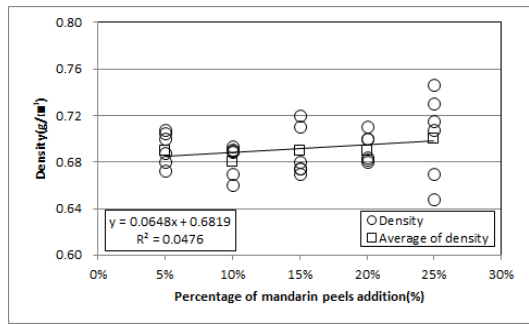


Fig. 6. Density of ceramics after carbonization with percentage of mandarin peels addition.

도감소율이 완만해지는 이유는 폐놀수지의 방향족다환구조 형성과 탄소화에 의한 것이라고 보고한 바 있다.

굴박혼합율에 따른 혼합세라믹의 밀도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이, 굴박혼합율 5%일 때 0.69 g/cm<sup>3</sup>, 10%일 때 0.68 g/cm<sup>3</sup>, 20%일 때 0.69 g/cm<sup>3</sup>, 25%일 때 0.70 g/cm<sup>3</sup>로 첨가율과는 상관없이 밀도가 비슷한 경향을 보였다. 이는 굴박혼합율 보다는 수지함침율이 밀도에 더 많은 영향을 미친다는 것을 보여준다. 이러한 탄화 후 밀도변화는 세라믹의 물리 및 기계적 성질 등에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되어 세라믹의 제조 조건, 원재료의 특성, 수지의 종류 및 화학적 반응 등 다각적인 연구가 필요하리라 생각된다.

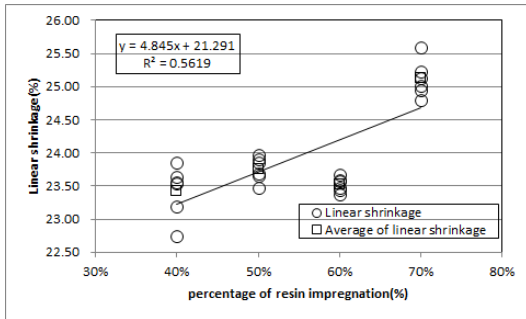


Fig. 7. Linear shrinkage of ceramics after carbonization with percentage of resin impregnation.

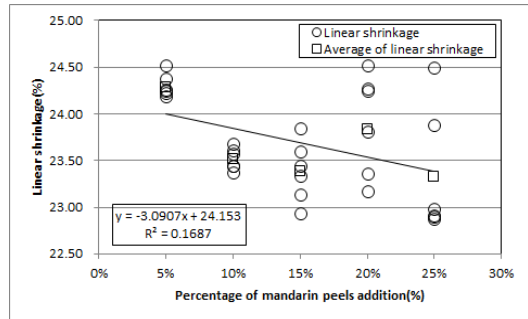


Fig. 9. Linear shrinkage of ceramics after carbonization with percentage of mandarin peels addition.

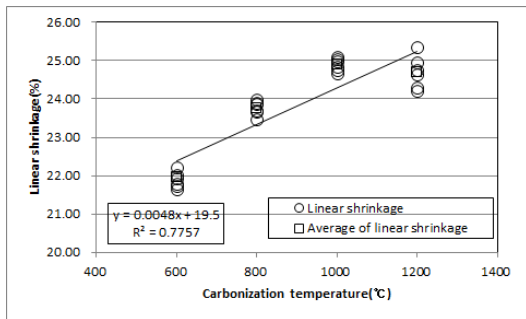


Fig. 8. Linear shrinkage of ceramics after carbonization at different carbonization temperature.

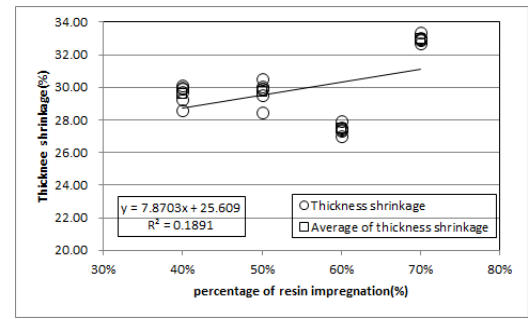


Fig. 10. Thickness shrinkage of ceramics after carbonization with percentage of resin impregnation.

### 3.2. 혼합세라믹의 치수변화

Figs. 7~9는 톱밥·굴박 혼합세라믹의 길이감소율을 나타냈다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 길이감소율은 Fig. 7에서와 같이, 함침율 40%일 때 23.4%, 50%일 때 23.8%, 그리고 70%일 때 25.1%로 함침율이 증가할수록 길이감소율도 완만하게 증가하였다.

탄화온도에 따른 혼합세라믹의 길이감소율은 Fig. 8과 같이, 탄화온도 600℃일 때 22.0%, 800℃일 때 23.8%, 1000℃일 때 24.9%, 1200℃일 때 24.7%로 탄화온도 600℃에서 1000℃까지 길이 감소율이 증가하였다. 굴박혼합율에 따른 혼합세라믹의 길이감소율은 Fig. 9와 같이, 혼합율 5%일 때 24.3%, 15%일 때 23.4%이고 25%일 때 23.3%로 굴박혼합율에

따른 길이감소율은 일정한 경향이 없었다. 따라서 굴박 혼합율보다 수지함침율과 탄화온도가 길이감소율에 더욱 많은 영향을 준 것으로 판단된다.

Figs. 10~12는 톱밥·굴박 혼합세라믹의 두께감소율을 나타냈다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 두께감소율은 Fig. 10과 같이, 함침율 40%일 때 29.6%, 50%일 때 29.7%, 그리고 70%일 때 33.0%로 함침율이 증가할수록 두께감소율도 완만하게 증가하는 경향을 보였다.

탄화온도에 따른 혼합세라믹의 두께감소율은 Fig. 11과 같이, 600℃일 때 27.1%, 800℃에서 29.7%, 1000℃에서 30.1%, 1200℃에서 30.1%로 600℃에서 1000℃까지 증가하고 그 이후의 증가는 완만하였다.

굴박혼합율에 따른 두께감소율은 Fig. 12와 같이, 혼합율 5%일 때 30.7%, 15%일 때 28.2%, 25%일 때

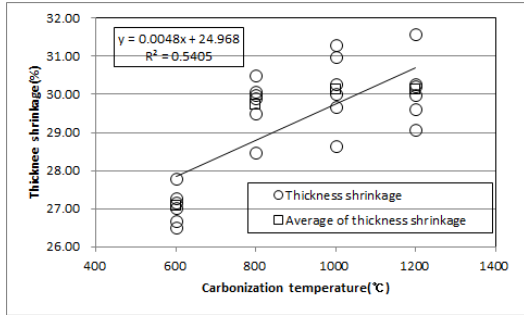


Fig. 11. Thickness shrinkage of ceramics after carbonization at different carbonization temperature.

26.7%로 혼합율이 증가할수록 두께감소율은 점차적으로 감소하였다.

이는 Piao (2004)이 톱밥·왕겨로 제조된 우드세라믹의 물성측정결과에 비해서 길이, 두께감소율 등의 경향은 비슷하였으나 그 측정값은 다소 적게 나타났는데, 이것은 수지 함침율, 탄화시 승온속도, 밀도경사 등 제조조건 및 재료의 물성 차이에 기인된 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업부산물인 굴박을 이용하여 새로운 세라믹 소재를 개발하기 위해 굴박혼합율 및 밀도별로 톱밥·굴박 혼합보드를 제조하고, 톱밥·굴박 혼합보드를 수지 함침율, 탄화온도 및 굴박혼합율별로 세라믹화 하였다. 혼합세라믹의 물리적 성질은 다음과 같다.

- 1) 수지함침율이 증가할수록 두께, 길이감소율 및 밀도는 증가하였고, 중량감소율은 감소하였다.
- 2) 탄화온도가 증가할수록 중량감소율은 증가되었고, 길이, 두께감소율은 1000℃까지 증가하고 그 이후의 증가는 완만하였다.
- 3) 굴박혼합율이 높을수록 중량, 두께 및 길이 감소율은 감소하였다.

본 연구에서 굴박첨가율이 증가할수록 중량감소율, 길이 및 두께 감소율이 감소하는 결과를 나타내 굴박의 첨가율이 증가할수록 탄화 후 수율이 좋을

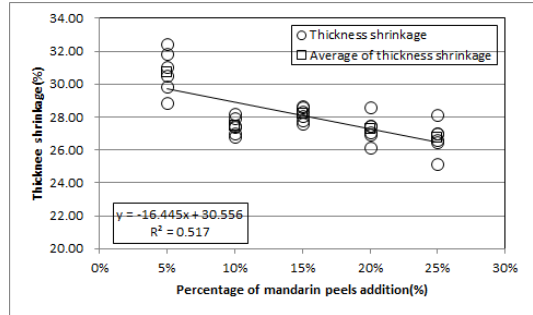


Fig. 12. Thickness shrinkage of ceramics after carbonization with percentage of mandarin peels addition.

것으로 예측된다. 굴박이 첨가된 세라믹의 이용가능성을 파악하기 위하여 역학적 성능과 다양한 기능적인 측면에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### REFERENCES

Im, H.S., Yoon, C.H., Oh, E.H. 2009. A study on the antibiotic effect using the *d*-limonene oil extracted to wasted mandarin peels in Cheju. Journal of the Korean Oil Chemists Society 26(3): 350-356.

Jang, S.Y., Choi, H.K., Ha, N.Y., Kim, O.M., Jeong, Y.J. 2004. Study on the antimicrobial effects of citrus peel by different extract methods. Korean Journal of Food Preservation 11(3): 319-324.

Korea Forest Service. 2016. Statistical yearbook of forestry. No: 46.

Lee, H.H. 1999. Development of rice hull board for the new ecomaterial. Report of ministry of agriculture, food and rural affairs.

Oh, S.W., Byeon, H.S. 2002. Properties of wood-ceramics made from MDF. Journal of the Korean Wood Science & Technology 30(2): 115-120.

Oh, S.W., Okabe, T., Hirose, T. 2000. Electrical properties of woodceramics made from thinned

- logs of *Cryptomeria japonica* D. DON. Journal of the Korea Furniture Society 11(1): 30-37.
- Oh, S.W., Piao, J.J., Jeong, I.S. 2005. Properties of ceramics from a board mixed with sawdust and rice husk -Effect of resin impregnation rate and carbonization temperature-. Journal of the Korean Wood Science & Technology 33(3): 30-37.
- 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.
- Okabe, T., Saito. K. 1995. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681-984.
- Piao, J.J. 2004. Physical and mechanical properties of ceramics from a board mixed with sawdust and rice husk. Chonbuk National University. Master's thesis.
- Yoshida, Y.S., Kawai, Y., Imamura, K., Nishimoto, T., Satou and M. Nakaji. 1986. Production technology for acetylated low-density particle board. I. Mechanical properties and dimensional stability. Mokuzai Gakkaishi 32(12): 965-971.