

점토목재파티클보드로 제조된 Clay-Woodceramics의 성질*¹

이 화 형*^{2†} · 김 관 의*²

Properties of Clay-Woodceramics from 3 layers-clay-woodparticleboard*¹

Hwa Hyoung Lee*^{2†} · Gwan Eui Kim*²

요 약

본 연구는 목재파레트폐잔재 파티클과 페놀수지(고형분함량 50%, 함지율 30%) 및 점토를 사용하여 3층 점토 목질파티클보드를 제조하고 소정의 탄화온도(400°C, 600°C, 800°C)에서 탄화하여 Clay-Woodceramics를 제조한 후 물리·기계적성질을 검토하였다. 점토의 효과를 구명하기 위하여 전진파티클중량의 10%, 20%, 30%를 첨가하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

1. Clay-Woodceramics의 탄화수율은 탄화온도가 높을수록 감소하였고, 폭 및 두께 수축율은 증가하였다. 그러나 Clay첨가량이 많을수록 탄화수율은 증가하였으며 폭 및 두께 수축율은 감소하였다.
2. Clay-Woodceramics의 비중은 탄화온도가 높을수록 증가하며, 흡습율도 증가하였다. Clay의 첨가량이 많을수록 같은 온도조건에서 높은 비중을 나타냈으며, 흡습율은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 흡수율은 제조조건에 따른 통계적인 차이가 없었다.
3. 탄화온도가 높아짐에 따라 Clay-Woodceramics의 휨강도 및 휨탄성계수는 증가하는 경향을 나타냈다.

ABSTRACT

This research was carried out to examine physical and mechanical properties of clay-woodceramics which were carbonized for 3 hours in a special furnace from 3 layers-clay-woodparticleboard made from pallet waste wood, phenol formaldehyde resin(hereafter PF, Non volatile content 52%, resin content

*¹ 접수 2002년 11월 8일, 채택 2003년 2월 4일

본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음

*² 충남대학교 임산공학과, Department of Forest Products, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이화형(e-mail: hhlee@cnu.ac.kr)

30%) and clay(10%, 20% and 30%). Carbonization temperature was 400°C, 600°C and 800°C. The results are summarized as follows:

1. The higher the carbonization temperature, the higher the dimensional shrinkage and the lower the carbonization yield ratio. But the higher the clay addition, the lower the dimensional shrinkage and the higher carbonization yield ratio.
2. The higher the carbonization temperature, the higher the water absorption and the density. The higher the clay content, the higher the density.
3. The higher the carbonization temperature, the higher the bending Modulus of Rupture and bending Modulus of Elasticity.

Keywords: Clay-Woodceramics, Carbonization, Pallet wood waste, Phenol formaldehyde resin

1. 서 론

산업과 생활환경으로부터 발생하는 폐기물의 막대한 양은 심각한 지구환경오염의 원인이 되고 있다. 따라서 오늘날 많은 재료연구자들은 환경과피를 최소화하기 위한 재료의 설계, 생산, 사용, 재활용 등에 대한 많은 연구를 진행 중에 있다. 우드세라믹(Woodceramics)은 목재나 목질재료에 페놀수지를 함침하여 건조한 후 고온의 진공상태에서 탄화하여 만든 다공질 탄소 재료를 말하며, Okabe 등(1996a, 1996b)은 내부식성, 내구성, 전자파 차폐효과와 같은 우드세라믹의 유용한 특성에 대하여 설명한 바 있다. 우드세라믹에 대한 연구는 90년대 중반 처음으로 개발된 일본을 중심으로 제조방법과 기초성질에 대한 연구가 진행되었고, 90년대 후반부터 현재까지 제조방법 및 물성개선에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 한국에서도 오승원(2001, 2002) 등이 MDF로 제조된 우드세라믹의 성질에 대한 연구를하여 수지함침율과 소성온도의 영향에 대한 연구를 진행하였다. Hirose *et al* (2001, 2002)은 액화목재를 중질섬유판(MDF)에 주입하거나 탄화된 대나무 파이버에 액화목재를 혼합하여 보드를 제조한 후 탄화하여 탄화온도 및 탄화속도가 우드세라믹의 성질에 미치는 영향을 보고하였으며, Xie *et al* (2002)은 용융된 마그네슘합금을 우드세라믹 내에 침투시켜 기계적성질의 증가효과를 보고한 바 있고, Kercher과 Nagle(2002)은 서로 다른 3수종(Southern yellow pine, Northern pine, Hardwoods)으로 제조한 MDF를 사용하여 제조한 우드세라믹의 성질을 보

고한 바 있다. 본 연구는 지금까지 연구하지 않던 PB를 대상으로 기존의 MDF에 페놀수지를 함침한 후 제조하던 4단계 공정의 우드세라믹와는 달리 2단계공정으로 페놀수지와 목재파티클 및 ceramics원료인 Clay를 혼합하여 파티클보드를 제조하고 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 그 물리·기계적 성질을 구명하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

2.1.1. 목재파티클

본 연구의 Clay-Woodceramics 제조를 위해 인천소재 D사에서 분양받은 목재파렛트 분쇄파티클(남양재 혼합파티클, ◦ 중층용: 4 mm~1.5 cm-50%, 2~4 mm-50%, ◦ 표층용: 0.5~1 mm-70%, 0.25~0.5 mm-30%)을 실험용 재료로 사용하였다.

2.1.2. Ceramics

Clay-Woodceramics 제조를 위한 복합재료 원료로는 Clay(제조사:S상사, SiO₂-70%, Al₂O₃-20%, 기타 물질-10%)를 사용하였다.

2.1.3. 접착제

점토목재 파티클보드제조시 사용한 접착제로는 페

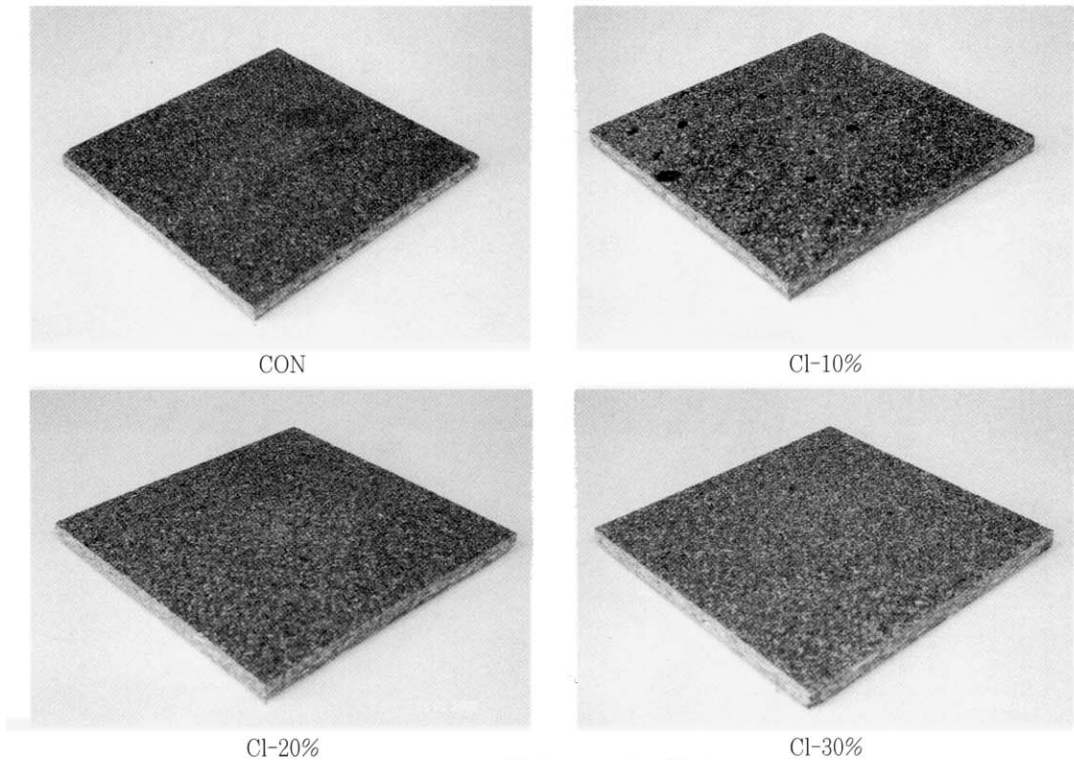


Fig. 1. Clay-Wood Particleboards (CON: 무첨가, Cl: 점토첨가)

놀과 포름알데히드의 몰비가 1:1.63인 실험실에서 제조한 페놀수지로써 NVC(Non volatile content): 52%, pH11.4, 점도90~130 cps였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 파티클보드 제조

Clay-Woodceramics 제조를 위하여 분양 받은 중층용과 표층용 목재파티클(남양제혼합파티클)을 사용하여 점토목재 파티클보드를 제조하였다. 표층-중층-표층의 3층 점토목재 파티클보드를 제조하였으며, 사용한 페놀수지의 함지율은 전건파티클 중량의 30%를 처리하였고 경화제로 Na_2CO_3 를 수지고형분함량 대비 1%를 첨가하였다. Woodceramics의 터짐과 갈라짐 등 표면성과 각종 성질의 개선을 위하여 Clay첨가량은 파티클 전건중량의 10%, 20%, 30%를 처리하여

각 조건당 4만복씩 제조하였다. 점토목재 파티클보드는 $20 \times 20 \times 1$ cm의 크기로 제조하였으며 열압온도는 170°C , 열압시간은 6분이었다(Fig 1).

2.2.2. 점토목재세라믹(Clay-Woodceramics)제조

점토목재세라믹 제조를 위하여 제조된 점토목재 파티클보드를 제탄용 회화로(Muffle furnace, MF-30S)로 탄화시켜 우드세라믹을 제조하였다. 이때 탄화온도는 각각 400°C , 600°C , 800°C 이었으며 기준온도에서 3시간 동안 탄화시켜 제조하였다. 이때 질소가스(N_2)를 1.5 l/min 씩 제탄용 회화로 chamber내로 흘려 주었다. 제조된 점토목재세라믹의 형상은 Fig 2와 같다.

2.2.3. 파티클보드의 물리·기계적 성질 조사

Clay-Woodceramics 제조를 위한 점토목재 파티클

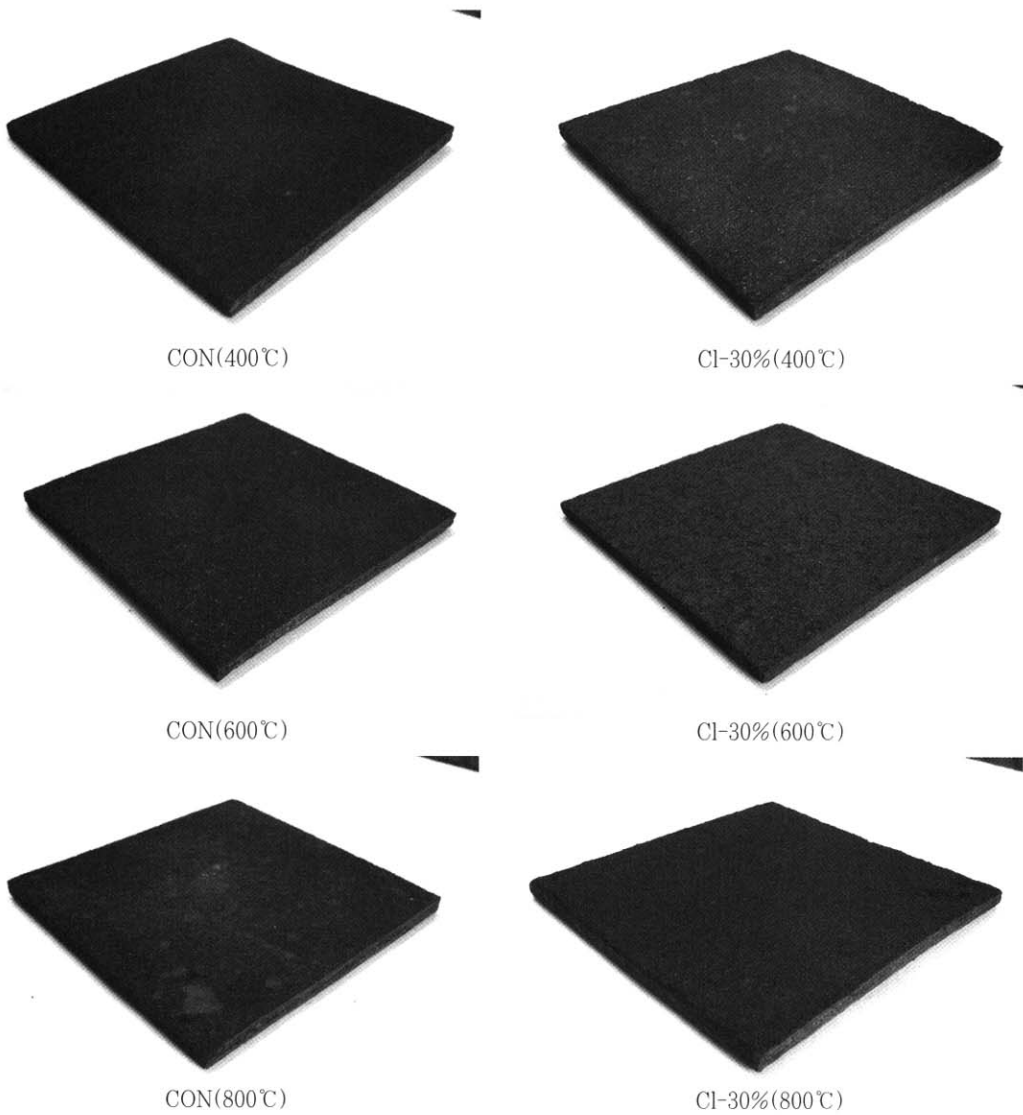


Fig. 2. Clay-Woodceramics (CON: 무첨가, CI: 점토첨가)

보드의 물리·기계적 성질은 KS F 3104(1997, 파티클보드)에 의거하여 물리·기계적 성질을 측정하였다.

2.2.4. Clay-Woodceramics의 물성 조사

Clay-Woodceramics의 물리·기계적 성질은 KS F 2205(흡습율), 3104에 의거하여 측정하였다.

2.2.5. 통계처리

각 조건별로 제조한 제품의 물리·기계적 성질에 대하여 통계적인 유의성을 알아보기 위하여 던컨의 신다중검정법(Duncan's new multiple range test)으로 통계분석 하였다.

Table 1. Physical Properties of Clay-wood Particleboards

| | Density F=24.92* | Duncan | Moisture content(%) F=0.24 ^{ns} | Thickness swelling(%) F=1.70 ^{ns} | Water absorption (%) F=0.80 ^{ns} |
|----------|---------------------|--------|---|---|--|
| CON | 0.95±0.01 | C | 5.84±0.72 | 7.9±0.66 | 20.86±0.81 |
| Clay-10% | 1.09±0.05 | B | 5.93±0.44 | 11.96±3.96 | 20.75±3.00 |
| Clay-20% | 1.13±0.05 | A | 5.86±0.41 | 10.93±3.01 | 19.21±1.30 |
| Clay-30% | 1.2±0.03 | A | 5.62±0.18 | 11.83±0.38 | 21.85±2.54 |

Table 2. Mechanical Properties of Clay-wood Particleboards

| | Bending strength (kgf/cm ²) F=5.13* | Duncan | Elastic modulus (kgf/cm ²) F=3.66* | Duncan | Internal bonding strength (kgf/cm ²) F=0.38 ^{ns} |
|----------|--|--------|---|--------|--|
| CON | 317.87±39.17 | A | 47616.33±3103.67 | A | 6.87±2.04 |
| Clay-10% | 302.70±33.87 | A | 46277.67±1206.30 | A | 6.98±0.88 |
| Clay-20% | 265.60±10.47 | AB | 43750.33±614.08 | AB | 6.21±0.94 |
| Clay-30% | 237.43±17.27 | B | 39465.00±5541.00 | B | 6.05±1.01 |

3. 결과 및 고찰

3.1. 파티클보드의 물리적 성질

Clay-Woodceramics를 제조하기 위한 점토목재 파티클보드의 물리적 성질은 Table 1과 같다. 파티클보드의 기건비중은 첨가되는 Clay의 양이 많아질수록 증가하며 제조된 모든 점토목재 파티클보드의 함수율 및 두께팽윤율은 KS F 3104의 요구기준(함수율: 5% 이상, 두께팽윤율: 12% 이하)를 만족하였다. Control과 비교하여 Clay가 첨가된 파티클보드가 높은 두께팽윤율을 나타냈으나(CON: 7.9%, Cl-30%: 11.83%) 흡수율은 거의 비슷한 경향을 보였다(CON: 20.86%, Cl-30%: 21.85%).

3.2. 파티클보드의 기계적 성질

Clay-Woodceramics를 제조하기 위한 점토목재 파티클보드의 기계적 성질은 Table 2와 같다. 제조된 모든 점토목재 파티클보드는 KS F 3104 18.0형의 요구기준(휨강도: 184 kgf/cm² 이상, 휨탄성계수: 30600 kgf/cm² 이상, 박리강도: 3.1 kgf/cm² 이상)을 만족하였으며, Control과 비교하여 Clay의 첨가량이 많을수록

휨강도와 휨탄성계수는 감소하였다. 박리강도의 경우 Control과 Clay가 첨가된 점토목재 파티클보드는 통계적으로보면 유의성이 없어 동일한 그룹으로 나타났다.

3.3. 점토목재세라믹의 제탄 특성

Clay-Woodceramics 제조를 위해 기준온도에서 3 시간동안 제탄한 점토목재 파티클보드의 수탄율 및 수축율은 Table 3과 같다. 탄화온도가 올라갈수록 탄화수율이 감소하였으며 (CON400℃: 49.79%, 600℃: 38.16%, 800℃: 35.27%), Clay첨가량이 많을수록 탄화수율이 증가하였다. 또한 온도에 따른 탄화수율의 차이가 Clay첨가량이 많을수록 적었다. 온도가 증가함에 따라 탄화수율이 떨어지는 것은 공동(2000)이 발표한 내용과 비슷한 결과를 나타냈으며, Fan 등이 (2001) 발표한 결과(cedar와 beech목편에 PF 30%주입하고 800℃에서 2시간 동안 탄화했을 때의 수탄율=34%)와 비교하여 보면 본 실험이 1.27% 높은 수탄율을 나타냈다. 점토 첨가량이 많을수록 탄화수율이 증가하는 것은 파티클보드 내의 Clay가 탄화되지 않고 탄소보드에 잔류하여 나타난 결과이다.

제탄시 탄화온도가 올라갈수록 폭 및 두께 수축율은 증가하였으며 Clay의 첨가량이 많을수록 목재세라믹의 폭 및 두께 수축율은 감소하였다. 특히 폭 수

Table 3. Carbonization Characteristics of Clay-woodceramics

| | Carbonization temperature | Carbonization ration(%) F=182.15 | Duncan | Width shrinkage(%) F=61.79 | Duncan | Thickness shrinkage(%) F=27.21 | Duncan |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| CON | 400℃ | 49.79±0.43 | C | 9.78±0.10 | BC | 14.41±1.78 | C |
| | 600℃ | 38.16±0.58 | G | 18.20±0.49 | FG | 16.95±1.57 | DEF |
| | 800℃ | 35.27±0.11 | H | 22.02±0.31 | H | 20.28±0.47 | G |
| Clay-10% | 400℃ | 53.32±0.36 | B | 8.88±1.63 | ABC | 11.88±0.12 | B |
| | 600℃ | 40.97±0.18 | F | 16.02±0.70 | E | 17.31±0 | EF |
| | 800℃ | 39.50±0.09 | G | 19.57±0.23 | G | 18.27±0.96 | F |
| Clay-20% | 400℃ | 53.32±2.12 | B | 8.14±1.67 | AB | 11.11±0.43 | B |
| | 600℃ | 44.40±0.88 | E | 14.58±0.94 | DE | 15.91±2.18 | CDE |
| | 800℃ | 41.63±0.14 | F | 16.39±1.10 | EF | 16.74±1.36 | DEF |
| Clay-30% | 400℃ | 55.64±1.52 | A | 7.62±2.16 | A | 8.97±0.56 | A |
| | 600℃ | 47.27±0.52 | D | 10.55±0.59 | C | 10.90±0.42 | B |
| | 800℃ | 45.69±0.05 | E | 12.76±0.31 | D | 15.13±1.23 | CD |

축율의 경우 점토 첨가량이 많아질수록 탄화온도가 높아질수록 점토목재세라믹의 수축율의 차이가 Control보다 반정도로 적어 치수가 안정됨을 보여준다 (CON400℃: 9.78%, 600℃: 18.20%, 800℃: 22.02%, CI-30%-400℃: 7.62%, CI-30%-600℃: 10.55%, CI-30%-800℃: 12.76%). 800℃의 Control 체적수축을 계산하면 52%인데 비하여 Clay첨가는 약 32%밖에 안되어 결과적으로 Clay는 제탄시 고온에서 소성될 때 보드의 치수안정에 영향을 주어 갈라짐이나 터짐이 적게 되는 요인을 제공하고 있음을 알 수 있다. 이전의 연구에서 Hirose 등(2001)은 비중 0.58의 MDF에 액화목재를 주입하여 800℃에서 탄화한 Woodceramics의 제탄특성을 보고한바 있는데 이때 폭수축율은 25%, 두께수축율은 36%를 나타냈으며, 수탄율은 34%를 나타냈다. 본 연구의 800℃에서 탄화된 Control과 비교하면 본연구의 결과가 폭수축율은 2.98%, 두께수축율은 15.72% 적었고 수탄율은 1.27% 높은 결과를 나타냈다.

3.4. 점토목재세라믹의 물리적 성질

1) 제조된 점토목재세라믹의 비중 및 함수율은 Table 4에서 볼 수 있다. 탄화온도가 높을수록 Woodceramics의 비중은 증가하였는데, 특히 800℃에서 탄화된 Woodceramics의 경우 400℃, 600℃와

비교하여 급격한 비중 증가를 나타내어 Kercher와 Nagle(2002)의 실험결과와 비슷한 경향을 나타냈다. 또한 Clay의 첨가량이 많을수록 같은 온도조건에서 제탄시 Control과 비교하여 높은 비중을 나타내었다. Woodceramics의 함수율은 파티클보드 보다 낮아 1.5~2.5%의 함수율을 나타냈다.

2) 점토목재세라믹의 흡수율은 같은 조건에서 탄화온도가 높을수록 증가하며(CON400℃: 13.15%, 600℃: 13.86%, 800℃: 17.76%) Clay의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다(CON800℃: 17.76%, CI-30%-800℃: 7.23%). 흡수율 역시 탄화온도가 높을수록 증가하나 Clay첨가량에 따른 흡수율 차이는 통계적으로 유의성이 없었다. Woodceramics의 두께 팽윤율은 콘트롤의 경우 탄화온도가 높아지면 두께팽윤율은 높아지나 점토목재세라믹은 탄화온도 및 Clay첨가량에 따른 차이 없이 아주 낮은 두께팽윤율을 나타내 치수가 매우 안정됨을 나타내고 있다. 따라서 Woodceramic의 Clay는 공기 중 흡습은 저하시키지만 액상의 수분을 흡수하는 경우에는 영향을 끼치지 않았다.

3.5. 점토목재세라믹의 기계적 성질

점토목재세라믹의 기계적 성질은 Table 5와 같다. 목재세라믹의 휨강도와 휨탄성계수는 탄화온도가 높

Table 4. Physical Properties of Clay-woodceramics

| | C.T | Density (g/cm ³) F=7.85* | Duncan | Moisture content (%) F=6.84* | Duncan | Moisture absorption (%) F=22.83* | Duncan | Thickness swelling (%) F=10.57* | Duncan | Water absorption (%) F=0.71 ^{PS} |
|----------|------|--|--------|---------------------------------------|--------|---|--------|--|--------|--|
| CON | 400℃ | 0.63±0.02 | C | 2.15±0.08 | BC | 13.15±2.09 | BCD | 1.39±0.23 | A | 28.48±8.83 |
| | 600℃ | 0.63±0.04 | C | 2.58±0.19 | A | 13.86±3.31 | B | 2.20±0.29 | AB | 37.12±4.54 |
| | 800℃ | 0.70±0.04 | B | 1.29±0.13 | F | 17.76±0.09 | A | 6.21±1.30 | C | 37.73±15.1 |
| Clay-10% | 400℃ | 0.63±0.02 | C | 1.86±0.06 | BCD | 10.98±0.09 | E | 2.28±0.29 | AB | 29.38±0.75 |
| | 600℃ | 0.65±0.05 | C | 1.96±0.18 | BCD | 11.48±0.61 | CDE | 2.32±1.18 | AB | 30.96±0.14 |
| | 800℃ | 0.72±0.05 | B | 1.76±0.62 | CDE | 13.33±1.29 | BC | 1.86±0.55 | A | 35.78±3.40 |
| Clay-20% | 400℃ | 0.64±0.04 | C | 2.25±0.19 | AB | 8.03±0.30 | FG | 3.18±0.21 | B | 31.30±3.83 |
| | 600℃ | 0.65±0.02 | C | 2.04±0.19 | BC | 9.50±0.14 | EF | 2.04±0.81 | AB | 32.63±6.97 |
| | 800℃ | 0.73±0.01 | AB | 1.57±0.27 | DEF | 11.11±0.15 | DE | 2.57±0.90 | AB | 39.61±13.2 |
| Clay-30% | 400℃ | 0.68±0.02 | BC | 2.13±0.14 | BC | 6.64±0.13 | G | 2.23±0.19 | AB | 33.72±3.71 |
| | 600℃ | 0.71±0.01 | B | 1.83±0.27 | BCDE | 7.21±0.05 | G | 2.16±0.20 | AB | 35.68±8.50 |
| | 800℃ | 0.78±0.01 | A | 1.40±0.03 | EF | 7.23±0.32 | G | 1.80±0.15 | A | 37.58±2.08 |

* Moisture absorption of Other materials

1. Active carbon (cocoanut tree): 34.92%

2. Charcoal (Quercus variabilis): 13.52%

Table 5. Mechanical Properties of Clay-woodceramics

| | Carbonization temperature | Bending strength(kgf/cm ²) F=16.53* | Duncan | Elastic modulus(kgf/cm ²) F=17.35* | Duncan |
|----------|------------------------------|--|--------|---|--------|
| CON | 400℃ | 29.56±5.17 | E | 9061.67±1431.54 | D |
| | 600℃ | 43.20±3.13 | C | 19644.5±2197.5 | BC |
| | 800℃ | 65.64±9.99 | A | 40370.67±5127.34 | A |
| Clay-10% | 400℃ | 28.85±0.84 | E | 8650±1197.14 | D |
| | 600℃ | 36.62±1.82 | CDE | 17038.67±4866.46 | C |
| | 800℃ | 55.26±6.24 | B | 25489.5±2556.5 | B |
| Clay-20% | 400℃ | 31.36±2.37 | DE | 13422.67±1168.11 | CD |
| | 600℃ | 40.49±1.38 | CD | 19420.5±844.5 | BC |
| | 800℃ | 54.65±1.6 | B | 24877.5±156.5 | B |
| Clay-30% | 400℃ | 30.91±11.43 | E | 13478.67±6197 | CD |
| | 600℃ | 33.39±2.07 | DE | 13381.33±7261.39 | CD |
| | 800℃ | 52.27±2.55 | B | 24486.67±2340.63 | B |

아짐에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 휨강도의 경우 탄화온도가 800℃일 경우 400℃, 600℃와 비교하여 급격한 휨강도의 증가를 나타냈다. Clay첨가량에 따른 Woodceramics의 휨강도는 탄화온도 800℃에서 Control이 가장 높은 휨강도를 나타냈고 Cl-

30% 첨가가 가장 낮은 휨강도를 나타냈다. Xie 등 (2002)은 라디에타파인 섬유로 제조한 MDF에 PF를 보드전건중량대비 100%를 주입한 후 1000℃에서 탄화하여 제조한 Woodceramics의 기계적 성질을 보고하였는데 휨강도는 260 kgf/cm², 휨탄성계수는

115000 kgf/cm²로서 본연구의 800℃에서 제탄한 Control(휨강도: 65.64 kgf/cm², 휨탄성계수: 40370 kgf/cm²)보다 휨강도의 경우 3.96배, 휨탄성계수의 경우 2.85배가 높았는데 이러한 결과는 사용된 목질재료의 종류(fiber, particle), 수지량(100%, 30%), 탄화온도(1000℃, 800℃) 등의 차이에서 기인한다고 하겠다.

4. 결론

1) Clay-Woodceramics 제조를 위한 점토목재 파티클보드의 물리·기계적성질은 KS 기준을 만족시켰으며, Clay의 함량이 높을수록 비중은 증가하였고, 함수율, 두께팽윤율, 흡수율, 박리강도 등은 통계적인 차이가 없었다. Clay의 첨가량이 많을수록 휨강도, 휨탄성계수는 감소하는 경향을 나타냈다.

2) Clay-Woodceramics의 제탄특성은 탄화온도가 높을수록 탄화수율은 감소하였고, 폭 및 두께 수축율은 증가하였다. Clay첨가량이 많을수록 탄화수율은 증가하였으며 폭 및 두께 수축율은 감소하였다.

3) Clay-Woodceramics의 물리적성질은 탄화온도가 높을수록 비중과 흡수율은 증가하였다. Clay의 첨가량이 많을수록 같은 온도조건에서 높은 비중을 나타내며, 흡수율은 감소하는 경향을 보인다. 그러나 흡수율은 제조조건에 따른 통계적인 차이가 없었다.

4) Clay-Woodceramics의 휨강도 및 휨탄성계수는 탄화온도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보인다.

참고 문헌

1. Fan, T. X., T. Hirose, T. Okabe, and D. Zhang. 2001. Surface Area Characteristics of Woodceramics. *Journal of Porous Materials*. 8(3): 211~217.
2. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Journal of Materials Science*. 36(17): 4145~4149.
3. Hirose, T., T. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property changes of woodceramics impregnated with liqueficient wood. *Materials Letters*. 52(3): 229~233.
4. Hirose, T., B. Zhao, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics made from carbonized bamboo fiber and liquefied wood. *Journal of Materials Science*. 37(16): 3453~3458.
5. Iizuka, H., M. Fushitani, M. Ohtsuka, T. Okabe, K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996. Mechanical Properties of porous carbon materials Woodceramics. *Journal of Materials Science Letters*. 15(20): 1770~1772.
6. Kano, M., M. Michihiko, T. Okabe, and K. Saito. 1997. Specific heat capacity of new porous carbon materials: Woodceramics. *Thermochimica Acta*. 292(1/2): 175~177.
7. Kercher, A. K. and D. C. Nagle. 2002. Evaluation of carbonized medium-density fiberboard for electrical applications. *Carbon*. 40(2): 1321~1330.
8. Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics Development and fundamental properties. *Journal of Porous Materials* 2: 207-213.
9. Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996b. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 215-221.
10. Xie, X. Q., T. X. Fan, D. Zhang, T. Sakata, and H. Mori. 2002. Mechanical properties and damping behavior of woodceramics/ZK60A Mg alloy composites. *Materials Research Bulletin*. 37(6): 1133~1140.
11. 공석우, 김병로. 2000. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(Ⅱ)-수종의 목질재료 탄화와 탄화물의 특성. *한국목재공학회지*. 28(2): 57~65.
12. 김병로, 공석우. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화이용개발(Ⅰ)-수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성. *한국목재공학회지*. 27(2): 70~77.
13. 오승원, T. Okabe. 2001. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화. *한국목재공학회 춘계학술발표논문집*. p. 501~504.
14. 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질-증기분사 및 그 시간의 영향. *목재공학* 29(2): 69-75.
15. 오승원, 변희섭. 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화(Ⅱ)-수지함침율과 소성온도의 영향. *한국목재공학회 춘계학술발표논문집*. p. 292~295.