

천연섬유질을 심재로 사용한 친환경 복합단열재의 물성

황의환[†] · 조성준 · 김진만*

공주대학교 화학공학부
331-717 충남 천안시 부대동 서북구 부대동 275
*공주대학교 건축학부
331-717 충남 천안시 부대동 서북구 부대동 275
(2010년 11월 2일 접수, 2010년 11월 30일 채택)

Physical Properties of Environment-friendly Insulating Composite Materials Using Natural Cellulose as a Core Material

Eui-Hwan Hwang[†], Soung-Jun Cho and Jin-Man Kim*

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan-si, Chungnam 331-717, Korea

*Department of Architecture, Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan-si, Chungnam 331-717, Korea

(Received 2 November 2010; accepted 30 November 2010)

요 약

친환경 복합단열재를 개발하기 위하여 천연섬유질(목재칩 및 톱밥)을 심재로, 황성황토를 결합재로 사용하였다. 물/결합재비 및 천연섬유질/결합재비를 다양하게 변화시켜 공시체를 제작하였으며, 공시체의 제 물성을 조사하기 위하여 압축 및 휨강도, 흡수성, 내열수성, 열전도도, 세공분포측정 및 SEM에 의한 미세조직 관찰을 실시하였다. 그 결과 흡수율은 천연섬유질/결합재비가 증가될수록 증가되었으나 폴리머/결합재비 증가에 따라 현저히 감소되었다. 압축 및 휨강도는 물/결합재비 및 천연섬유질/결합재비에 따라 다양한 특성을 나타내었다. 천연섬유질/결합재비 및 폴리머/결합재비가 증가됨에 따라 열전도도는 감소되었다. SEM조사에서 황성황토 결합재는 수화결정체가 잘 형성되어 치밀한 조직을 관찰할 수 있었고, 황성황토를 결합재로 사용한 시편의 총세공량은 생황토를 결합재로 사용한 시편의 총세공량에 비하여 적게 나타났다.

Abstract – For the development of the environment-friendly insulating composite materials, natural cellulose (wood chip and sawdust) was used as a core material and activated Hwangtoh was used as a binder. Various specimens were prepared with the water/binder ratio and natural cellulose/binder ratio. The physical properties of these specimens were then investigated through compressive and flexural strength test, absorption test, hot water resistance test, thermal conductivity, measurement of pore distribution and observation of micro-structures using scanning electron microscope (SEM). Results showed that the absorption ratio increased with the increase of natural cellulose/binder ratio but decreased remarkably with the increase of polymer/binder ratio. The compressive and flexural strength development varied appreciably with the increase of water/binder ratio and natural cellulose/binder ratio. On the other hand, thermal conductivity decreased with the increase of natural cellulose/binder ratio and polymer/binder ratio. Through SEM, it was found that activated Hwangtoh that reacted with water formed a hydrate crystal leading to the compact structure and the total pore volume of the specimen using activated Hwangtoh was smaller than that of the non-activated Hwangtoh.

Key words: Insulation, Natural Cellulose, Activated Hwangtoh, Composite Materials, Environment-Friendly

1. 서 론

지구환경 보호를 위한 기후변화협약과 더불어 에너지 절약을 통한 온실가스감축은 세계적인 관심사가 되었다. 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 석유 등 에너지 소비가 세계 10위

를 차지하고 있어 에너지 절약에 대한 인식의 전환이 필요한 실정이다. 에너지 절약을 위해서는 건축물의 벽과 천장 등에 효과적인 단열 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

일반적으로 단열재는 무기질 단열재와 유기질 단열재로 구분되며 무기질 단열재는 석면, 암면, 유리면, 펄라이트 등이 있고 유기질 단열재는 스티로폼, 폴리우레탄폼, 우레아폼 등이 대표적이다[1]. 이 중 석면은 인체 유해성 때문에 일반 건축용에는 쓰이지 않고 산업용으로 일부 쓰이고 있다. 단열재 시장은 유기질 단열재(스티로폼 55%,

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ehhwang@kongju.ac.kr

*이 논문은 KAIST 입선기 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

폴리우레탄 29%, 압축보드 6% 등)가 71%를 차지하고 있으며 무기질 단열재(유리면, 압면, 석면 등)는 29% 정도의 시장점유율을 나타내고 있다[1]. 이와 같은 단열재들은 비교적 단열성능, 기계적 강도, 흡수성 및 시공성이 우수하여 오랫동안 널리 사용되어 왔다. 그러나 이러한 단열재들은 환경 친화적 측면에서 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 즉 석유를 원료로 사용하는 유기질 단열재의 경우, 화재에 매우 취약하고, 화재발생시 유독가스의 배출로 인명 및 재산상의 피해가 매우 크며[2-4], 무기질 단열재의 경우, 광석을 채취하여 생산함으로써 자연을 훼손하게 될뿐만 아니라 단열재를 생산하는 과정에서 막대한 에너지를 사용하게 된다. 또한 이러한 단열재는 건물의 수명이 끝나 해체할 경우 재활용되지 못하고 폐기물로서 매립처분하게 됨으로서 환경파괴의 원인이 되고 있다.

이러한 기존 단열재의 문제점을 해결하기 위하여 선진국에서는 천연섬유질을 심재로 사용한 친환경 단열재 개발에 대한 연구[5-18] 및 기포제를 사용하여 단열성과 차음성을 향상시킨 경량기포콘크리트에 대한 연구[19-26]가 활발히 진행되고 있다.

천연섬유질을 사용한 복합단열재의 장점으로서는 폐목재를 활용함으로써 원료구입을 위한 비용이 싸고, 제조과정이 단순하여 매우 경제적이뿐만 아니라 단열성이 우수하고 유기질 단열재에 비하여 실내 공기질 오염이 없기 때문에 인간생활에 쾌적한 환경을 제공할 수 있게 된다. 또한 생산과정에서 비교적 에너지의 사용량이 적고, 건물을 해체 폐기하여도 쉽게 부식되기 때문에 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

본 연구에서는 천연섬유질로 목재칩과 톱밥을 사용하였고, 결합재로는 황성황토[27-30]를 사용하였으며, 미세기포 도입 및 방수성 향상을 목적으로 폴리머 에멀전 용액을 사용하여 공시체를 제작하였다. 공시체의 물성 검토를 위하여 압축 및 휨강도, 흡수율, 내열수성, 세공특성, 미세조직관찰 및 열전도도를 측정하였으며 그 결과를 보고하고자 하였다.

2. 실험

2-1. 실험재료

천연섬유질 재료로서 목재칩과 톱밥을 사용하였으며, 복합단열재의 방수성을 향상시키기 위하여 EVA 에멀전, SBR 에멀전 및 에폭시수지 에멀전을 선정하여 시험하였다. 결합재는 난연성을 높이고, 포졸란 반응에 의한 결합력을 증진시키기 위하여 생황토를 800 °C로 소성시켜 만든 황성황토와 시멘트를 혼합하여 사용하였다.

2-2. 시험방법

압축 및 휨강도시험은 KS F 2405 및 2408에 따라 수행하였다. 흡수시험은 28일 양생한 공시체를 80±2 °C에서 2시간 건조한 후 중량을 측정하였고, 20±2 °C에서 48시간 침수시킨 다음 다시 중량을 측정하여 흡수율을 구하였다[31]. 내열수성은 90 °C의 열수에 28일간 침수시켜 시험을 수행하였고[31], 세공특성은 내열수성 시험 전과 후의 시편에 대하여 입경 2.5~5 mm 범위의 시료를 채취하여 아세톤으로 세정하고 48시간 동안 건조시켜 수은 압입법으로 분석하였다. 열전도도 측정은 ASTM C518:10에 따라 시험체의 크기 가로(300 mm)×세로(300 mm)×두께(20 mm)의 것을 사용하여 측정하였다.

Table 1. Mix Proportions of Composite Insulating Materials

F-No	Water (g)	Polymer solid (g)	Binder (g)	Wood chips (g)	Sawdust (g)	Remarks
1				6.5	6.5	
2				7.0	7.0	
3		0	100	7.5	7.5	
4				8.0	8.0	
5				6.5	6.5	
6		5	100	7.0	7.0	
7				7.5	7.5	
8				8.0	8.0	
9				6.5	6.5	
10	45	10	100	7.0	7.0	Polymer emulsion: EVA Type
11				7.5	7.5	
12				8.0	8.0	
13				6.5	6.5	
14		15	100	7.0	7.0	
15				7.5	7.5	
16				8.0	8.0	
17				6.5	6.5	
18		20	100	7.0	7.0	
19				7.5	7.5	
20				8.0	8.0	

Binder : Activated Hwangtoh(50%) + Portland cement(50%)

Solid content of EVA emulsion : 47%

2-3. 배합설계

Table 1에서 보는 바와 같이 결합재의 중량(100 g)을 기준으로 배합표를 작성하였다. 물/결합재비는 45%로 정하였고, 폴리머/결합재비는 0, 5, 10, 15, 20% 5단계로 설계하였으며, 심재로 사용한 천연섬유질은 목재칩과 톱밥을 혼합하여 13, 14, 15, 16%의 4단계로 배합하여 총 20종류의 공시체를 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 폴리머 에멀전의 고형분 측정

Table 2에서 보는 바와 같이 폴리머 에멀전의 고형분 함량은 제품의 종류에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. EVA 에멀전의 고형분 함량이 가장 높게 나타났고 SBR 에멀전이 가장 낮게 나타났다.

3-2. 천연섬유질 및 공시체의 흡수특성

Fig. 1에 천연섬유질의 형태에 따른 흡수율 시험결과를 나타내었다. 폴리머 에멀전을 처리하지 않은 천연섬유질에 비하여 폴리머 에멀전을 처리함으로써 흡수율이 현저히 감소되는 것을 알 수 있었다. 대체적으로 에멀전을 처리한 후 방수효과는 고형분의 함량에 비례하여 나타나는 것을 알 수 있었다. 폴리머 에멀전의 방수효과는 EVA 에멀전이 가장 우수하였고, 에멀전을 처리하지 않은 섬유질에 비하여 EVA 에멀전을 처리함으로써 목재칩은 70.8%, 평평한 형태의 목

Table 2. Solid content of polymer emulsion

Type	Solid content (%)	Remarks
EVA	46.8	
SBR	22.4	emulsion
Epoxy	28.6	

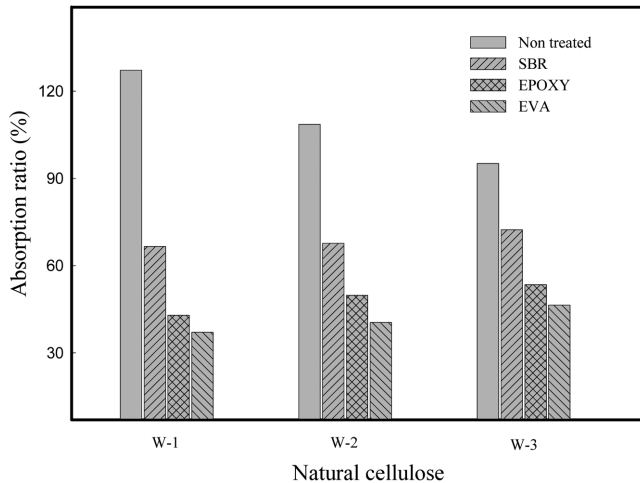


Fig. 1. Comparison of absorption ratios of natural cellulose treated with polymer emulsions (w-1: wood chips, w-2: wood flakes, w-3: sawdust).

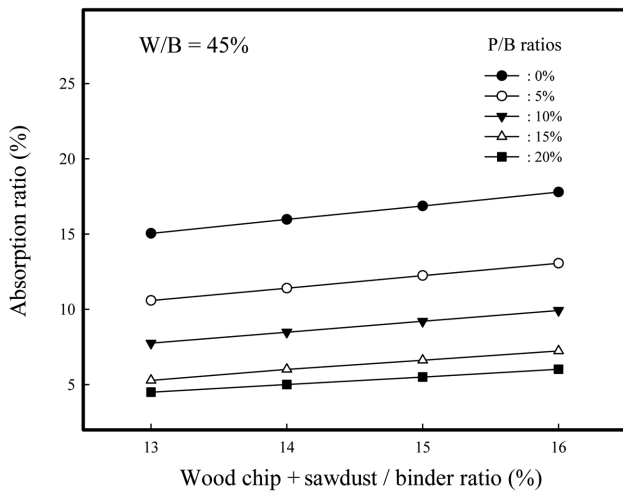


Fig. 2. Absorption ratios of composite insulation specimens vs. wood chips +sawdust/binder ratio.

재침은 62.7%, 톱밥은 51.2% 흡수율이 각각 감소되는 것으로 나타났다. Fig. 2에 폴리머/결합재비 및 천연섬유질/결합재비에 따른 공시체의 흡수율 변화를 나타내었다. 그림에서 천연섬유질/결합재비가 증가될수록 흡수율은 비례적으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 이것은 결합재의 흡수율에 비하여 다공성의 천연섬유질 흡수율이 현저히 높기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 그러나 폴리머/결합재비 증가에 따라 흡수율은 현저히 감소됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 첨가된 폴리머가 천연섬유질과 결합재속에서 견고하게 융착되어 co-matrix 상을 형성함으로써 수밀성이 증대되기 때문에 나타나는 결과로 판단된다.

3-3. 폴리머 에멀전을 사용한 복합단열재의 압축 및 휨강도특성

Table 1에서 보는 바와 같이 목재칩과 톱밥을 동일한 중량비로 혼합하여 심재로 사용하고, EVA 에멀전을 폴리머/결합재비 0, 5, 10, 15, 20%로 변화시켜 20종류의 공시체를 제작하여 압축 및 휨강도 시험을 수행하였다.

Fig. 3에 폴리머/결합재비 0%의 공시체에 대하여 양생 3일, 7일 및 28일의 압축강도 측정결과를 나타내었으며, Fig. 4, 5, 6, 7에 폴리머

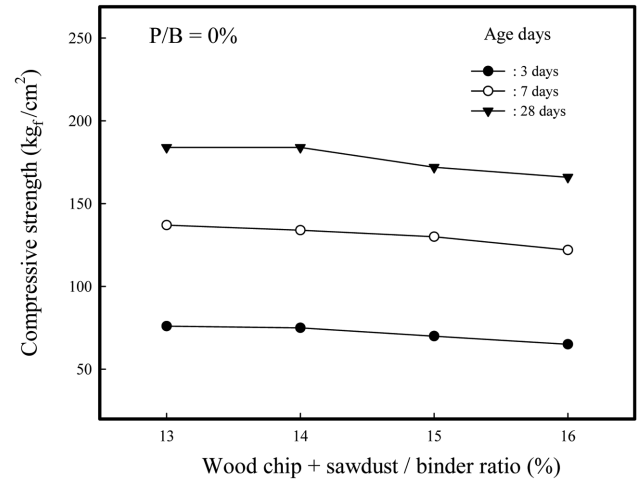


Fig. 3. Compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

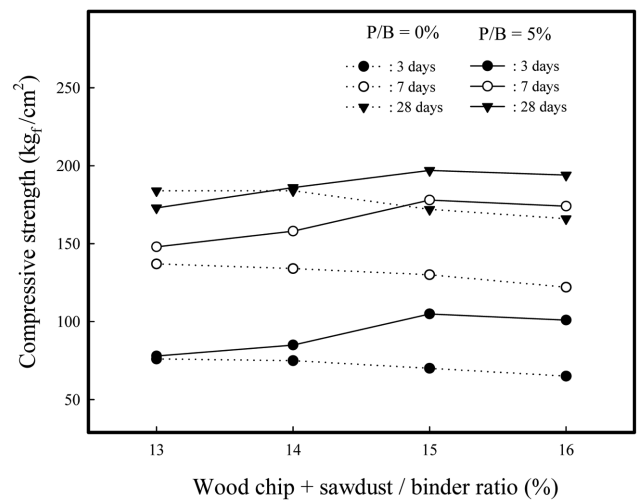


Fig. 4. Compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

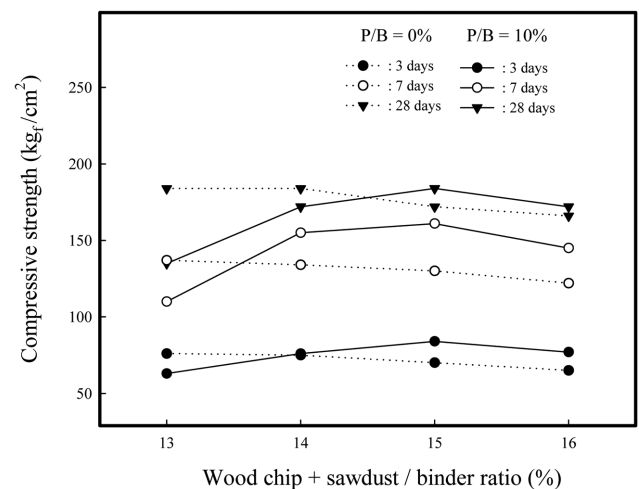


Fig. 5. Compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

/결합재비 5, 10, 15, 20% 변화에 따른 압축강도의 변화를 폴리머/결합재비 0%의 공시체 강도와 비교하여 나타내었다. Fig. 3에서 천연

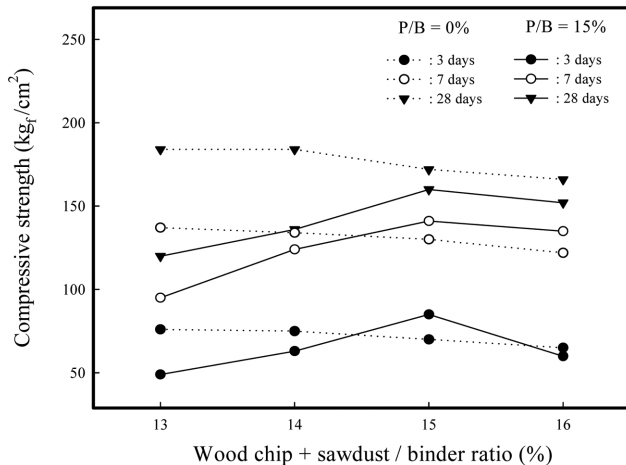


Fig. 6. Compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

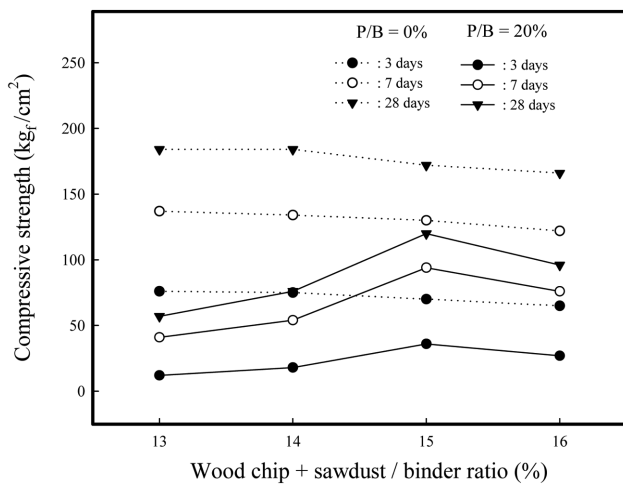


Fig. 7. Compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

섬유질/결합재비가 증가됨에 따라 압축강도는 서서히 감소되는 것을 볼 수 있다. 이것은 천연섬유질의 압축강도가 결합재의 압축강도보다 낮고 또 천연섬유질과 결합재의 계면에서 쉽게 파괴가 일어나는 특성이 있기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 에멀전을 사용하지 않을 경우 양생 7일 이상에서 압축강도 100 kgf/cm^2 이상의 강도가 발현되기 때문에 단열재로 사용하는데 별다른 문제가 없는 것으로 판단된다.

Fig. 4, 5, 6, 7에서 폴리머/결합재비가 증가될수록 압축강도는 현저히 감소되는 것을 볼 수 있다. 이렇게 압축강도가 감소되는 이유는 폴리머 에멀전 속에 포함되어 있는 유화제에 의하여 미세한 기포들이 연행되기 때문으로 생각된다. 일반적으로 방수 또는 강도증진을 목적으로 폴리머 에멀전을 사용할 경우 약 1% 정도의 소포제를 혼합하여 사용하지만 본 연구에서는 단열성 향상을 목적으로 하고 있기 때문에 소포제를 사용하지 않았다. 대체적으로 폴리머/결합재비 5, 10% 공시체 압축강도는 폴리머 결합재를 사용하지 않은 공시체의 압축강도보다 높은 강도 값을 나타내지만 폴리머/결합재비 15, 20%에서는 지나치게 연행공기량이 많아 오히려 강도가 저하되는 현상이 나타나고 있다. 폴리머 에멀전을 사용하지 않은 공시체의 비중은 1.368이었으나 폴리머/결합재비 5, 10, 15, 20%일 때의 비중은 각각

1.314, 1.202, 0.999, 0.931로 현저히 감소되기 때문에 압축강도가 감소되게 되는 것으로 생각된다. 폴리머 에멀전을 사용하면 방수성과 단열성능은 향상되지만 압축강도는 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 폴리머/결합재비 20%에서는 압축강도가 100 kgf/cm^2 이하로 떨어지기 때문에 폴리머 에멀전의 사용한계는 폴리머/결합재비 15%까지 가능한 것으로 판단된다. 그림에서 천연섬유질의 첨가량 증가에 따라 압축강도가 증가되는 것은 폴리머 에멀전에 의한 천연섬유질과 결합재간의 결합력 증진에 기인된 영향으로 생각되며 천연섬유질/결합재비 16%에서 오히려 강도가 감소되는 것은 천연섬유질의 첨가량이 과다하여 작업성이 현저히 떨어져 치밀한 공시체를 제작할 수 없었기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

Fig. 8, 9에 28일간 양생한 공시체에 대하여 폴리머/결합재비 변화에 따른 압축 및 휨강도 측정결과를 각각 비교하여 나타내었다. Fig. 8에서 폴리머 에멀전을 사용하지 않은 공시체(폴리머/결합재비 0%)의 압축강도는 천연섬유질/결합재비가 증가됨에 따라 점차 감소되었으나 폴리머 에멀전을 사용한 공시체의 압축강도는 폴리머/결합재비가 증가됨에 따라 폴리머/결합재비 15%까지 증가되었고, 폴리머/결합재비 20%에서는 오히려 감소되었다. 이러한 현상은 폴리머 에멀전을 사용함으로써 천연섬유질과 결합재간의 결합력 증진효과가 미

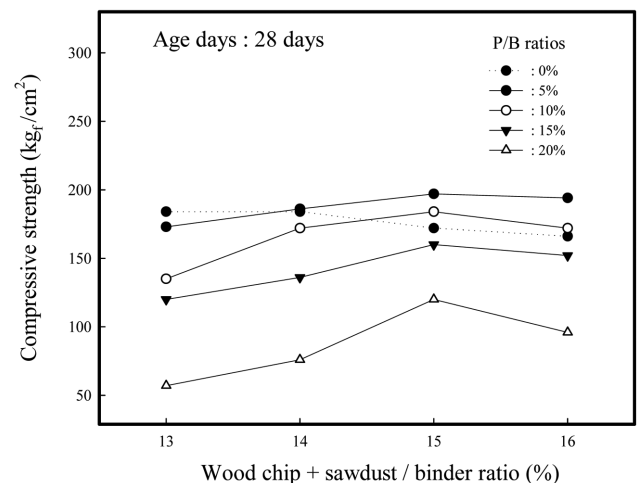


Fig. 8. Comparison of compressive strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

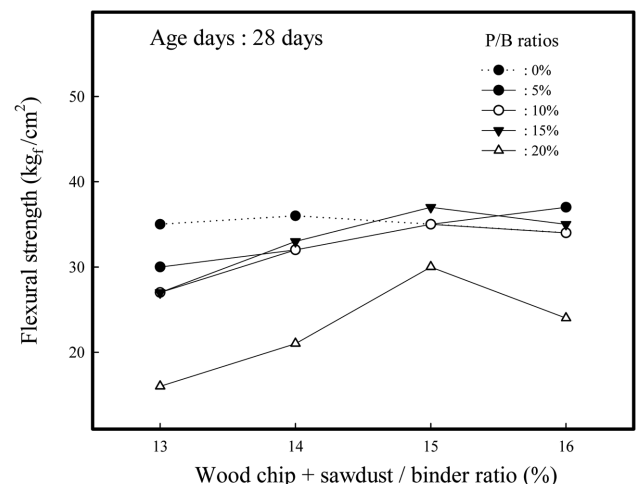


Fig. 9. Comparison of flexural strengths of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

세공기가 연행되어 강도가 감소되는 효과보다 크기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 그러나 폴리머/결합재비 20%에서는 역으로 천연 섬유질과 결합재간의 결합력 증진효과보다 과다한 미세공기가 연행됨으로서 강도가 감소되는 효과가 크기 때문에 압축강도가 감소되는 것으로 판단된다. 폴리머/결합재비 20%에서의 압축강도는 100 kg/cm^2 이하로 나타나기 때문에 강도가 지나치게 저하되어 외장 단열재로서 사용하는데 적합하지 않은 것으로 판단된다. Fig. 9 휨강도 측정결과에서도 압축강도에서 나타난 결과와 유사함을 알 수 있었다.

3-4. 세공분석

Fig. 10에 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따른 총 세공량의 변화를 나타내었다. 폴리머 에멀전의 첨가량이 증가됨에 따라 총 세공량은 상당히 증가되는 것을 알 수 있는데 이러한 현상은 폴리머 에멀전 속에 포함되어 있는 유화제에 의하여 미세한 기포들이 다량 연행되기 때문으로 생각된다. 그리고 내열수성시험 후에 측정된 총 세공량이 내열수성시험 전에 측정한 총 세공량에 비하여 감소되는 것을 볼 수 있다. 이것은 28일 동안 열수 속에서 결합재(활성황토 및 시멘트)가 경화반응이 촉진되어 견고한 경화체가 형성되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

Fig. 11에 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따른 세공의 평균직경을 나타내었다. 세공의 평균직경은 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따라 증가되며 특히 폴리머/결합재비 20%에서 현저히 증가되고 있음

을 볼 수 있다. 이렇게 세공의 평균직경이 증가되는 이유는 폴리머 에멀전 속에 포함되어 있는 유화제의 영향 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 내열수성 시험 후에 측정된 세공의 평균직경이 내열수성 시험 전에 측정된 세공의 평균직경보다 약 50% 정도 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 폴리머에 의하여 갖혀 있던 비교적 큰 세공들이 내열수성 시험에 의하여 폴리머가 열화 또는 분해됨으로서 열려지기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

Fig. 12에 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따른 시편의 밀도를 나타내었다. 폴리머 에멀전의 첨가량이 증가됨에 따라 폴리머 에멀전 속에 포함되어 있는 유화제의 영향으로 미세기포가 다량 연행되기 때문에 점차 밀도가 감소되는 것으로 나타나고 있다. 그림에서 내열수성 시험 후에 측정된 밀도가 내열수성 시험 전에 측정한 밀도보다 약 0.6% 정도 증가되고 있는데 이것은 결합재로 사용한 활성황토 및 시멘트가 열수 속에서 수화반응이 촉진되어 치밀한 조직이 형성되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

Fig. 13에 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따른 시편의 공극률을 나타내었다. 공극률은 폴리머 에멀전의 첨가량이 증가됨에 따라 증가되고 있다. 이것은 앞서 기술한 바와 같이 폴리머 에멀전 속에 포함되어 있는 유화제에 의한 영향 때문으로 생각된다. 내열수성 시험 후에 측정된 공극률은 내열수성 시험 전에 측정한 공극률에 비하여 약 50% 정도 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 열수

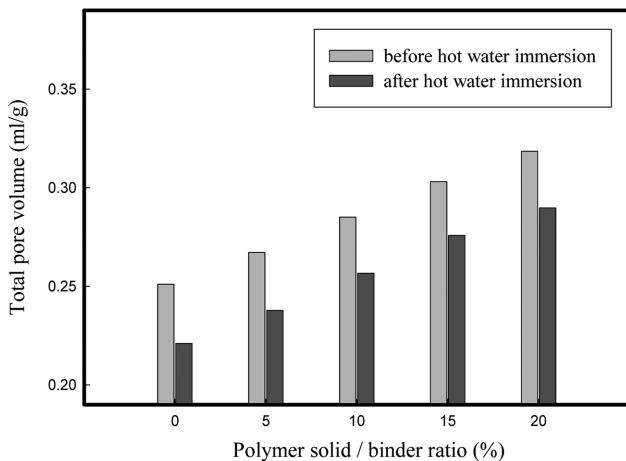


Fig. 10. Total pore volume vs. Polymer solid/binder ratios (%).

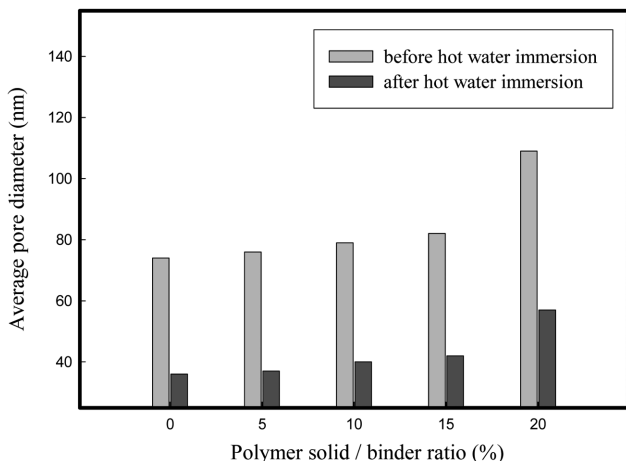


Fig. 11. Average pore diameter vs. Polymer solid/binder ratios (%).

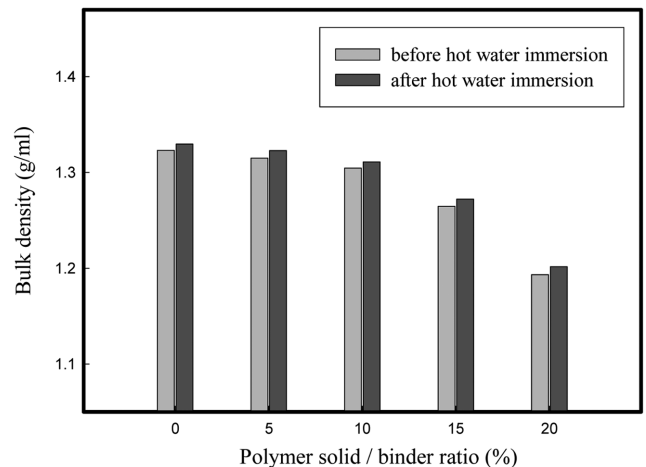


Fig. 12. Bulk density vs. Polymer solid/binder ratios (%).

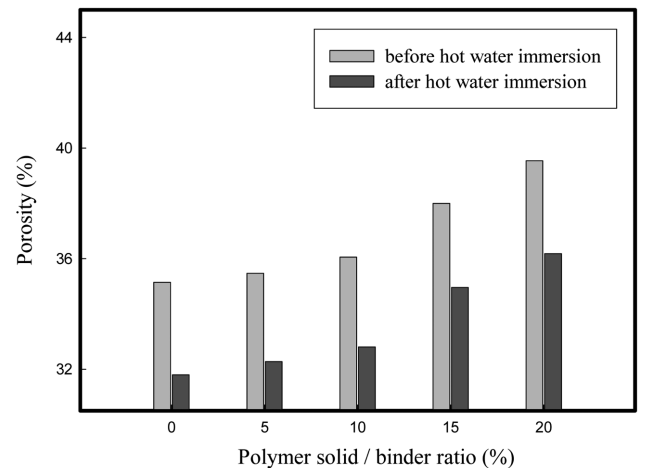
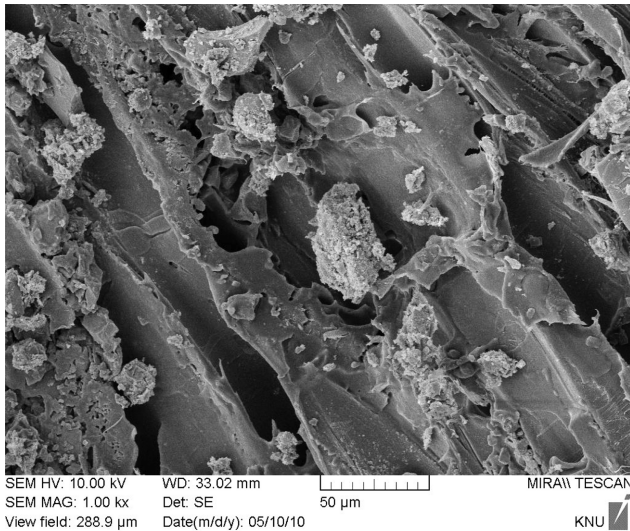
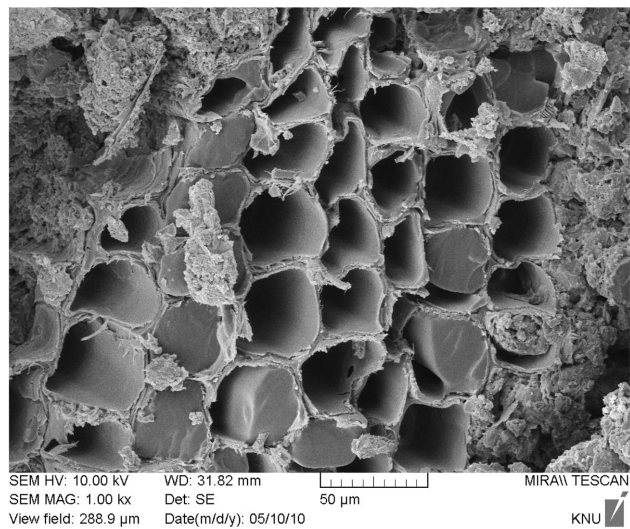


Fig. 13. Porosity vs. Polymer solid/binder ratios (%).



a) horizontal direction of wood chip.



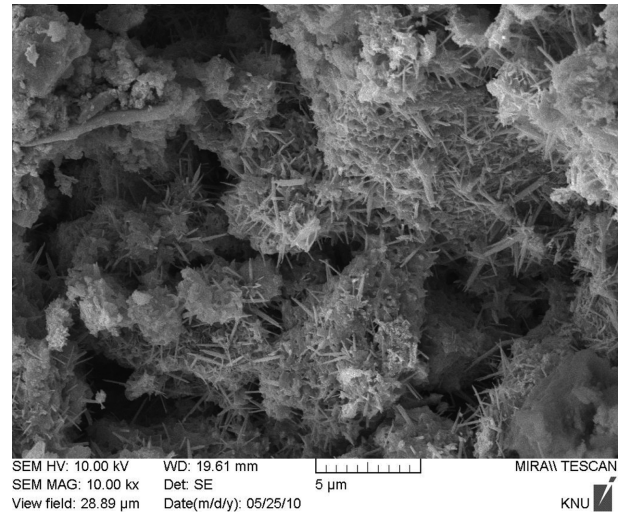
b) vertical direction of wood chip.

Fig. 14. Micrographs of wood chip in the fracture surface of specimen.

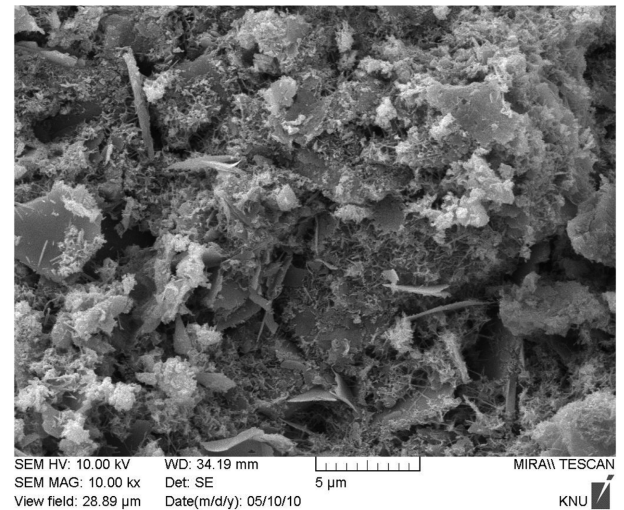
속에서 결합재의 수화반응이 촉진되어 치밀한 조직체가 형성되고 또한 유화제에 의하여 형성되었던 비교적 큰 기포들이 내열수성 시험에 의하여 폴리머가 분해되어 기포들이 열려지기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

3-5. 전자현미경 관찰

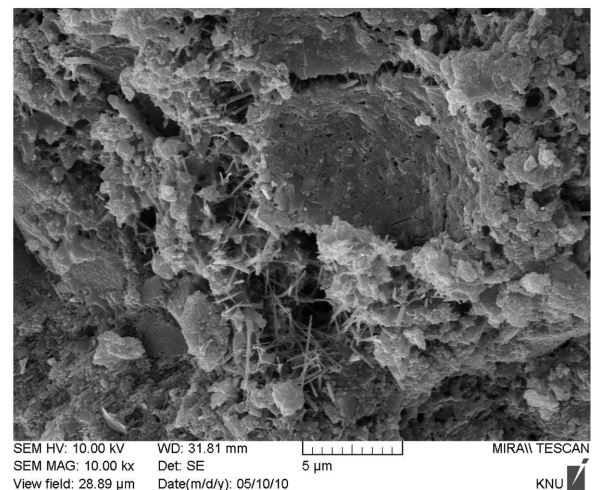
Fig. 14에 목재칩의 횡방향 및 종방향에 대한 사진을 게재하였다. 목재는 단열성이 매우 우수한 제품(열전도도 0.12 W/mK)으로 알려져 있는데 그 이유가 사진에서 보는 바와 같이 다공성의 층으로 이루어져 있기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. Fig. 15에 공시체의 과단면에서 나타나는 활성황토 수화물, 생황토의 수화물 및 활성황토의 수화물에 폴리머가 용착된 전자현미경 사진을 각각 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 활성황토의 수화물에서는 침상의 수화물 결정이 잘 성장되어 있는 것을 관찰할 수 있으나 생황토에서는 결정이 형성된 것을 찾아보기 어렵다. 이러한 결과는 생황토는 포졸란 반응을 일으킬 수 있는 성분이 존재하지 않으나 활성황토는 생황토를



a) activated hwangtohy hydrate.



b) non-activated hwangtohy hydrate.



c) activated hwangtohy hydrate coalesced with polymer.

Fig. 15. Micrographs of binder in the fracture surface of specimen.

800 °C에서 소성하여 급냉시켜 제조하였기 때문에 포졸란 반응을 일으킬 수 있는 성분이 생성되었기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 생황토를 소성하면 SiO_2 , Al_2O_3 가 활성화되어 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 포졸란 반

응을 일으켜 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{C-S-H})$ 상 및 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}(\text{C-A-S-H})$ 상의 결정을 생성하게 되는 것으로 알려져 있다[28]. 활성화 정도는 물과 반응하여 침상의 결정이 성장되면서 재료들 간에 결합력을 증진시켜 높은 강도가 발현되게 되지만 소성하지 않은 생황토에서는 침상의 결정이 생성되지 못하기 때문에 화학적 결합이 이루어지지 못하고 단지 물리적 결합에 의해서만 강도가 발현되기 때문에 높은 강도를 얻지 못하게 되는 것으로 판단된다. 사진 C)에서 생성된 결정이 폴리머와 융착되어 co-matrix상[32,33]으로 결합되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

3-6. 열전도도 측정결과

Fig. 16에 천연섬유질의 첨가량 증가에 따른 열전도도 측정결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 천연섬유질의 첨가량이 증가됨에 따라 열전도도는 현저히 감소되어 단열재로서 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 천연섬유질이 다공성의 재료로서 활성화 정도에 비하여 단열성이 우수하기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 그리고 Fig. 17에 폴리머 에멀전의 첨가량 증가에 따른 열전도도의 변화를 나타내었다. 그림에서 폴리머 에멀전의 첨가량이 증가됨에 따라 열전도도가 감소되는 것을 볼 수 있는데 이것은 폴리머 에멀전의 첨가량이 증가됨에 따라 유화제의 영향으로 미세기포가 다량

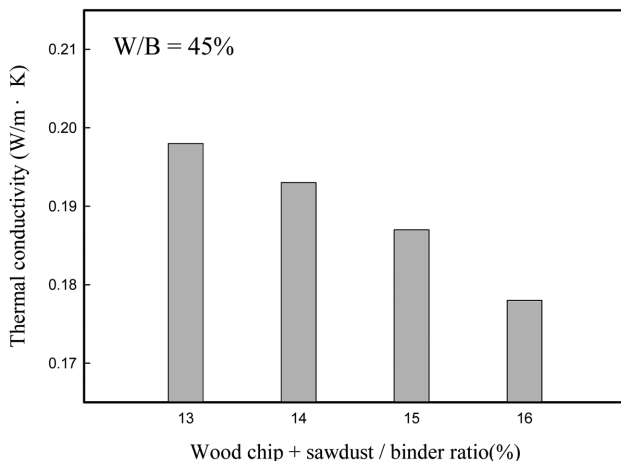


Fig. 16. Thermal conductivity of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

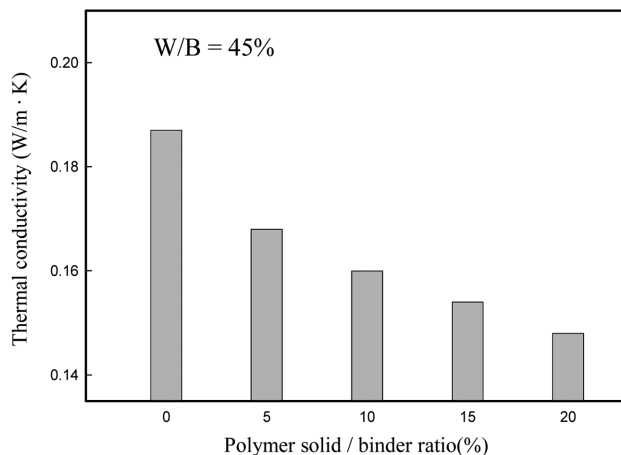


Fig. 17. Thermal conductivity of composite insulation specimens vs. wood chip + sawdust/binder ratios.

연행되기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 폴리머 에멀전을 첨가하지 않은 공시체의 밀도에 비하여 폴리머 에멀전을 5, 10, 15 및 20% 첨가하였을 때의 밀도는 96, 88, 73, 68%로 각각 저하되는 결과를 얻었다.

4. 결 론

현재 사용되고 있는 대부분의 유기 및 무기단열재는 인체에 해롭고, 환경을 오염시키며, 화재 발생 시 인명사고나 재산상의 피해가 매우 크게 나타나고 있다. 친환경 제품인 활성화 정도를 결합재로 사용하고, 천연섬유질을 심재로 사용한 복합단열재를 개발하기 위하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 천연섬유질을 폴리머 에멀전으로 처리할 경우 흡수율이 현저히 감소되었고, 폴리머 에멀전을 첨가하여 제조한 공시체의 흡수율은 폴리머/결합재비 증가에 따라 현저히 감소되었다.
- (2) 폴리머/결합재비 증가에 따라 압축 및 휨강도는 저하되었으나 열전도도는 천연섬유질/결합재비 및 폴리머/결합재비의 증가에 따라 현저히 감소되었다.
- (3) 세공특성분석에서 폴리머/결합재비가 증가될수록 세공의 평균 직경은 증가되었으며, 총세공량이 현저히 증가되어 밀도가 감소되었으나 내열수시험 후에는 세공의 평균직경과 총세공량이 감소되어 밀도가 증가되었다.
- (4) 전자현미경 관찰에서 생황토를 결합재로 사용한 시험체는 수화결정체가 거의 형성되지 않았으나 활성화 정도를 결합재로 사용한 시험체에서는 수화결정체가 잘 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.
- (5) 천연섬유질과 활성화 정도를 사용하여 제조한 친환경 복합단열재는 흡수성, 단열성 및 기계적강도가 우수하여 건물의 내외벽 단열재로 사용할 수 있는 것으로 평가되었다.

감 사

이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구입니다(지역거점연구단육성사업/에너지자립형 그린빌리지 핵심기술사업단).

참고문헌

1. Kwon, Y. C., Yu, H. K. and Rhee, E. K., "A Study on the Thermal Conductivity of Environment-friendly Cellulose Insulation," *Proceeding of Architectural Institute of Korea*, **23**(1), 601-604 (2003).
2. Liang, H. H. and Ho, M. C., "Toxicity Characteristics of Commercially Manufactured Insulation Materials for Building Applications in Taiwan," *Constr. Build. Mater.*, **21**, 1254-1261(2007).
3. Kim, D. K. and Lee, S. B., "Properties and Thermal Characteristics of Phenol foam for Heat Insulating Materials," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **17**(4), 357-360(2006).
4. Jeong, J. H., Kim, J. U. and Jeong, J. G., "Thermal and Sound Insulation Properties of Sandwich Panel Filled with Inorganic Core Materials," *J. Korean Soc. living environ. sys.* **13**(4), 320-326(2006).
5. Rim, K. A., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilly, R. M. and Que-

- neudec, M., "Influence of the Proportion of Wood on the Thermal and Mechanical Performances of Clay-cement-wood Composites," *Cem. Concr. Compos.*, **21**, 269-276(1999).
6. Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J., "New Lightweight Composite Construction Materials with Low Thermal Conductivity," *Cem. Concr. Compos.*, **23**, 65-70(2001).
 7. Bouguerra, A., Ledhem, A., de Barquin, F., Dheilily, R. M. and Queneudec, M., "Effect of Microstructure on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared from Clay, Cement and Wood Aggregates," *Cem. Concr. Res.*, **28**(8), 1179-1190(1998).
 8. Vrana, T. and Gudmundsson, K., "Comparison of Fibrous Insulations Cellulose and Stone Wool in Terms of Moisture Properties Resulting from Condensation and Ice Formation," *Constr. Build. Mater.*, **24**, 1151-1157(2010).
 9. Binici, H., Aksogan, O., Bbodur, M. N., Akca, E. and Kapur, S., "Thermal Isolation and Mechanical Properties of Fibre Reinforced Mud Bricks as Wall Materials," *Constr. Build. Mater.*, **21**, 901-906(2007).
 10. Coatanlem, P., Jauberthie, R. and Rendell, F., "Lightweight Wood Chipping Concrete Durability," *Constr. Build. Mater.*, **20**, 776-781(2006).
 11. Kruger, E. L., Adiazola, M., Matoski, A. and Iwakiri, S., "Thermal Analysis of Wood-cement Panels," *Constr. Build. Mater.*, **23**, 2299-2305(2009).
 12. Bederina, M., Laidoudi, B., Goullieux, A., Khenfer, M. M., Bali, A. and Queneudec, M., "Effect of the Treatment of Wood Shavings on the Physico-mechanical Characteristics of Wood Sand Concretes," *Constr. Build. Mater.*, **23**, 1311-1315 (2009).
 13. Bederina, M., Marmoret, L., Mezreb, K., Khenfer, M. M., Bali, A. and Queneudec, M., "Effect of the Addition of Wood Shavings on Thermal Conductivity of Sand Concretes," *Constr. Build. Mater.*, **21**, 662-668(2007).
 14. Ledhem, A., Dheilily, R. M., Benmalek, M. L. and Queneudec, M., "Properties of Wood-based Composites Formulated with Aggregate Industry Waste," *Constr. Build. Mater.*, **14**, 341-350(2000).
 15. Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmami, B. and Shin, U. C., "Development of Coconut Coir-based Lightweight Cement Board," *Constr. Build. Mater.*, **21**, 277-288(2007).
 16. Gunasekaran, K., Kumar, P. S. and Lakshmiopathy, M., "Mechanical and Bond Properties of Coconut Shell Concrete," *Constr. Build. Mater.*, **25**, 92-98(2011).
 17. Karade, S. R., "Cement-bonded Composites from Lignocellulosic Waste," *Constr. Build. Mater.*, **24**, 1323-1330(2010).
 18. Mathur, V. K., "Composites Materials from Local Resources," *Constr. Build. Mater.*, **20**, 470-477(2006).
 19. Lee, S. H., "Effect of Foaming Agent on the Continuous Voids in Lightweight Cellular Concrete," *J. Korea Concrete Institute*, **14**(5), 742-749(2002).
 20. Lee, S. A., Jung, C. W., Kim, W. J. and Ahn, J. H., "Optimized Mixing Design of Lightweight Aerated Concrete by Response Surface Analysis," *J. Korea Concrete Institute*, **21**(6), 745-752(2009).
 21. Jones, M. R. and McCarthy, A., "Heat of Hydration in Foamed Concrete," *Cem. Concr. Res.*, **36**, 1032-1041(2006).
 22. Goual, M. S., Bali, A., de Barquin, F., Dheilily, R. M. and Queneudec, M., "Isothermal Moisture Properties of Clayey Concretes Elaborated from Clayey Waste, Cement and Aluminium Powder," *Cem. Concr. Res.*, **36**, 1768-1776(2006).
 23. Narayanan, N. and Ramamurthy, K., "Structure and Properties of Aerated Concrete," *Cem. Concr. Compos.*, **22**, 321-329(2000).
 24. Aamr-Daya, E., Langlet, T., Benazzouk, A. and Queneudec, M., "Feasibility Study of Lightweight Cement Composite Containing Flax By-product Particles," *Cem. Concr. Compos.*, **30**, 957-963(2008).
 25. Byun, K. J., Song, H. W. and Park, S. S., "Development of Structural Lightweight Foamed Concrete Using Polymer foam Agent," *International Conference on Polymers in Concrete*, 99-106, Bologna, Italy(1998).
 26. Binici, H., Aksogan, O., Bakbak, D., Kaplan, H. and Isik, B., "Sound Insulation of Fibre Reinforced Mud Brick Walls," *Constr. Build. Mater.*, **23**, 1035-1041(2009).
 27. Kang, S. S., Lee, S. L., Hwang, H. Z. and Cho, M. C., "Hydration Heat and Shrinkage of Concrete Using Hwangtoh Binder," *J. Korea Concrete Institute*, **20**(5), 549-555(2008).
 28. Choi, H. Y., Kim, M. H., Kim, M. H., Hwang, H. Z. and Choi, S. W., "Experimental Study on the Properties of Concrete by the Kinds of Admixture and the Replacement Ratios of Activated Hwangtoh," *J. Korea Concrete Institute*, **13**(2), 123-129(2001).
 29. Kim, S. B., Nam, J. W., Yi, N. H., Kim, J. H. and Choi, H. S., "Flexural Behavior of Hwangtoh Concrete Beams with Recycled PET Fiber," *J. Korea Concrete Institute*, **20**(5), 619-626(2008).
 30. Torres, M. L. and Garcia-Ruiz, P. A., "Lightweight Pozzolanic Materials Used in Mortars," *Cem. Concr. Compos.*, **31**, 114-119(2009).
 31. Satoh, T., Ohama, Y. and Demura, K., "Water Resistance and Hot Water Resistance of Polymer Modified Mortars Containing FRP Powder," *Summary of Technical Papers of Architectural Institute of Japan*, 137(1994).
 32. Evbuomwan, N. F. O., "A State of the Art Report on the Strength and Durability Properties of Polymer Modified Mortars and Concrete," *International Conference on Polymers in Concrete*, 52, Shanghai, China(1990).
 33. Hwang, E. H., Ko, Y. S., Kim, J. M. and Hwang, T. S., "Mechanical/physical Characteristics of Polymer Mortar Recycled from Rapid-chilled Steel Slag," *J. Ind. Eng. Chem.*, **15**, 628-634(2009).