

생물학적 판넬용 마그네시아-인산칼륨 복합체의 유동 및 압축강도 특성

최연왕*, 이재흔, 최병걸, 오성록
세명대학교 토목공학과

Workability and Compressive Strength Properties of Magnesia-Potassium Phosphate Composites for Biological Panel

Yung-Wang Choi*, Jae-Heun Lee, Byung-Keol Choi, Sung-Rok Oh
Dept. of Civil Engineering, Semyung University

요약 본 논문에서는 생물학적 판넬의 모재로써 마그네시아-인산칼륨 복합체의 품질을 제어하기 위하여 마그네시아-인산칼륨 복합체의 혼합비와 물-결합재비(W/B)에 대한 유동 및 압축강도의 영향을 고찰하고자 하였다. MPPC는 W/B 7수준(30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 vol. %) 및 인산칼륨 및 마그네시아 비율(P:M) 4수준(1;0.5, 1;1.0, 1;2.0 and 1;3.0)으로 제조하였으며, 실험결과, MPPC의 유동 및 압축강도는 P:M비 및 W/B에 크게 의존하는 것을 확인할 수 있었다. MPPC의 플로우는 P:M이 증가할수록 반응을 위한 배합수의 부족으로 혼합이 되지 않는 것으로 나타났으며, 이러한 원인은 P의 밀도와 M의 밀도가 크기 때문인 것으로 나타났다. 또한 MPPC의 압축강도는 P:M이 증가함에 따라 강도가 감소하는 경향이 나타났으나 W/B에 따라서는 비례적인 변화가 나타나지 않아 모순된 결과가 나타났다. 이러한 결과는 MPPC의 경우 W/B에 따라 최적의 배합비율이 존재함을 확인할 수 있었다. 본 논문의 이러한 결과를 통하여 생물학적 판넬 설계시 재료적 측면에서 모재 재료의 유동성 및 압축강도에 대한 품질 제어를 위한 기반자료로써 활용하고자 한다.

Abstract In this paper, we investigated the influence of flow and compressive strength on the mixing ratio and water-to-binder (W/B) ratio of magnesia - potassium phosphate composites for controlling the quality of the Magnesia-Potassium Phosphate Composites(Magnesia-Potassium Phosphate Composites,MPPC) as a matrix material for biological panels. MPPC was produced at 7 W/B ratios (30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 vol.%) and 4 P:M ratios (1:0.5, 1:1.0, 1:2.0 and 1:3.0). The experiment results confirmed that the flow and compressive strength of MPPC depend strongly on both P:M and W/B ratios. The flow of MPPC showed that as P: M was increased, the mixing did not occur due to the shortage of the compounding amount for the reaction, because of the large density difference between P and M. The compressive strength of MPPC showed a tendency to decrease with increasing P:Mratio but there was a contradictory result with no proportional change according to W/B ratio. These results indicate that the optimum compounding ratio exists for MPPC according to W/B ratio. These results will be used as the basis data for quality control of the fluidity and compressive strength of matrix materials in terms of material in biological panel design.

Keywords : Biological, Compressive Strength, Panel, Magnesia, Workability

1. 서론

최근 인구의 증가, 각종 인공 시설물 및 차량의 증가

등 도시의 팽창으로 인하여 인공열의 방출과 CO₂의 배출량이 급증하고 있으며 이로 인한 온난화 및 도시 내 열섬현상이 뚜렷해지고 있다.[1] 열섬현상은 온도가 높

본 논문은 국토교통부 국토교통기술연구개발사업의 연구비 지원(16CTAP-C114646-01)에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Yun-Wang Choi(Semyung Univ.)

Tel: +82-43-642-8816 email: crete77@semyung.ac.kr

Received May 10, 2017

Revised June 20, 2017

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

은 지역이 섬과 같은 형태를 띄게 되어 지역 내 풍로가 감소함에 따라 대기 오염 및 냉방 에너지 소모의 증가를 가져오며 체감온도의 상승으로 인하여 지역주민에게 심리적 불쾌감을 조성하게 된다.[2]

기상연구소의 조사에 따르면 지난 16년간 도시 내 고층건물과 아파트 단지 밀집 지역의 지표면 온도가 크게 상승한 것으로 나타나고 있으며, 온도가 24°C 이상인 지역도 증가하는 것으로 나타나고 있다.[3] 이러한 원인은 도시지역의 녹지 면적이 감소하고 개발 지역이 증가함에 따른 원인으로 분석되고 있다[2]. 이와 같은 열섬현상을 저감시키기 위해서는 도시의 녹지공간을 충분히 확보하여야 하나 이는 경제여건 상 어려운 실정[4]이기 때문에 도시 열섬현상을 완화시키고 CO₂를 감소시킬 수 있는 대안을 요구되고 있는 실정이다.

따라서 도시 밀집 지역의 열섬현상을 저감하고 CO₂ 저감을 위한 방안으로써 (미)생물 등을 착근시킨 생물학적 판넬을 개발하여 기존 또는 신규 구조물의 외벽과 옥상에 외장재로써 적용하여 감소한 녹지 면적의 재생효과를 얻을 수 있는 친환경 건설재료를 적용하고자 하였다. 이와 유사한 기술로는 수직정원(Vertical Garden)이 있으나 구조물 외벽과 일체화가 이루어질 수 없는 단점을 가지고 있으며, 복잡한 지지 구조물을 별도로 설치해야 하기 때문에 설치비와 유지관리 비용이 동일한 면적의 일반 정원과 비교하여 약 3배가량 증가하여 비경제적이다.[5]

또한, 콘크리트 판넬의 생물학적 층 역할을 대신하는 수직정원의 스펀지나 매트타입 또는 블록타입으로 제작된 인공 경량 토양의 경우 내구성에 문제점이 많은 것으로 나타나고 있다.[6]

생물학적 판넬은 (미)생물 등의 착근이 쉬운 조건이어야 하며 착근 이후 생존이 가능하도록 환경을 조성하여야 한다. 그러나 판넬을 제조하기 위해서는 재료적 측면에서 시멘트를 적용할 경우 높은 pH를 형성하고 있기 때문에[7] (미)생물의 생존 및 유지기간에 부적합하며, 구조적 측면의 경우 표면이 매끈하거나 치밀할 경우 (미)생물의 착근이 어려워 지는 단점이 있다. 더불어 판넬에 (미)생물을 위한 영양분이나 수분공급에 따른 문제도 발생한다.

따라서 생물학적 판넬 개발을 위한 일환의 기초 연구 중 하나로써 판넬의 재료적 측면의 문제를 해결하기 위한 방안으로 마그네시아-인산칼륨 복합체(Magnesia -

Potassium Phosphate Composites)를 판넬의 모재재료로써 활용하고자 하였다. 마그네시아-인산칼륨 복합체는 일반적인 시멘트와 상대적으로 pH 낮은 영역으로 중성의 특징을 띄기 때문에[8] 생물학적 수용성에 유리하며, 생물학적 판넬의 모재 재료로써 적합한 재료이다. 그러나 마그네시아-인산칼륨 복합체는 종래의 경우 속경성인 특징으로 인하여 신속하게 작업을 해야 하는 구조물 긴급 보수용 재료로 사용되어 왔으며[9], 특히 관련 연구의 경우 마그네시아-인산칼륨 복합체의 획일화된 연구가 수행되지 않아 연구기관 및 관련 단체에 따라 제각각의 방법으로 사용되어 마그네시아-인산칼륨 복합체의 품질이 모두 다르기 때문에 활용이 불가능하며, 연구사례의 경우 쉽게 찾아보기 어렵다.[10]

이에 따라 본 논문에서는 생물학적 판넬의 모재로써 마그네시아-인산칼륨 복합체의 품질을 제어하기 위한 자료확보를 위하여 마그네시아-인산칼륨 복합체의 혼합비와 W/B에 대한 유동 및 압축강도의 영향을 고찰하고자 하였으며, 본 논문의 결과를 통하여 생물학적 판넬 설계 시 재료적 측면에서 모재 재료의 품질을 반영하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 마그네시아 시멘트

실험에 사용된 마그네시아 시멘트는 1,500 °C 이상에서 고온 소성된 국내 D사의 밀도 3.6 g/cm³ 사소 마그네시아(산화마그네슘(MgO), 이하 M으로 약함)를 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 마그네시아 시멘트의 물리적 특성 및 화학적 성분을 나타낸 것이다.

Table 1. Main chemical compositions and physical properties of magnesia cement

Type	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Density (g/cm ³)
M	0.1	1.1	95.68	3.60

Table 2. Experiment plan and variables

Item	Experiment Variable
P:M (vol.)	1:0.5, 1:1.0, 1:2.0, 1:3.0
W/B (%)	30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
Retarder (%)	3.0% (on M)

2.1.2 인산칼륨

실험에 사용된 인산칼륨은 순도 99% 이상인 국내 D사의 밀도 2.34 g/cm³의 제 1인산칼륨(KH₂PO₄, 이하 P로 약함)을 사용하였다.

2.1.3 지연제

실험에 사용된 지연제(Retarder, 이하 R로 약함)는 국내 D사의 붕산(H₃BO₃)를 사용하였다.

2.2 실험계획

본 논문에서는 마그네시아-인산염 복합체(이하 MPPC로 약함)의 품질을 제어하기 위한 기반 자료확보를 위하여 W/B 7수준(30, 35, 40, 45, 50, 55 및 60%)을 제조하였다. 또한 P 및 M은 밀도의 차이가 크기 때문에 P:M비에 따라 용적이 크게 변화되므로 동일한 용적일 경우 P 및 M의 비율 변화에 따른 영향을 평가하기 위하여 P:M 4수준(1:0.5, 1:1.0, 1:2.0 및 1:3.0 vol. %)을 제조하였다. Table 2는 실험 변수를 나타낸 것이다. MPPC의 혼합은 M, P 및 R을 투입하여 약 2분간 건비빔을 실시하였으며, 배합수 투입 후 1속 1분 및 2속 2분 믹싱 후 토출하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 유동성

MPPC의 유동성은 W/B 및 P:M에 따른 영향을 개략적으로 평가하고자 대표적인 유동성 평가지표인 플로우를 통하여 위커빌리티를 평가하였으며, “KS L 5105 수정성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법”에 준하여 플로우를 측정하였다.

2.3.2 압축강도

MPPC의 압축강도는 “KS L 5105 수정성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법”에 준하여 50×50×50 mm 큐브형 공시체를 제조하여 24시간 기건 양생을 실시한 다음 탈형을 실시하였으며, 재령일에 도달시점에 만능시험기(UTM)를 통하여 압축강도를 측정하였다. 압축강도 재령일은 12시간, 3일, 7일 및 28일에 평가를 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 플로우 측정결과

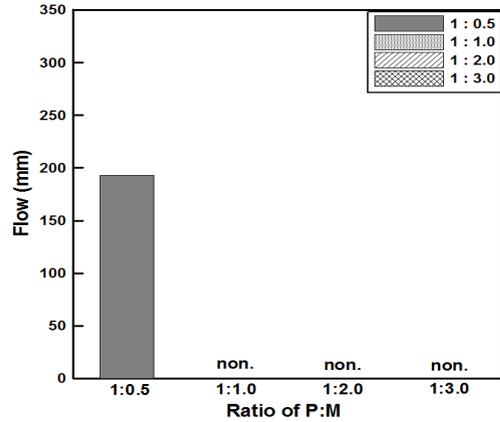


Fig. 1. Test results of flow according to W/B 30

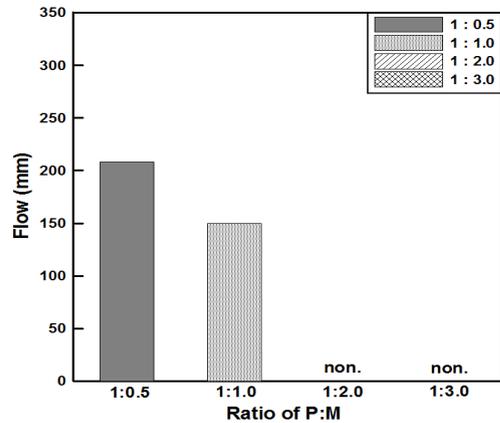


Fig. 2. Test results of flow according to W/B 35

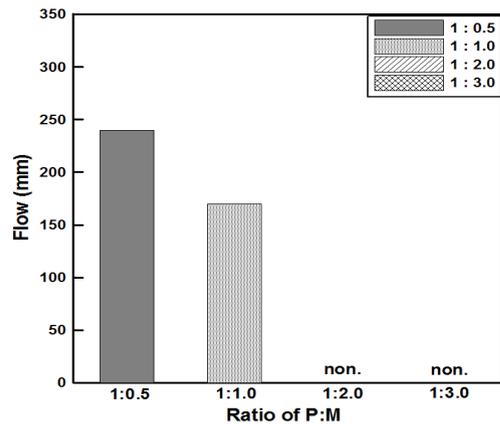


Fig. 3. Test results of flow according to W/B 40

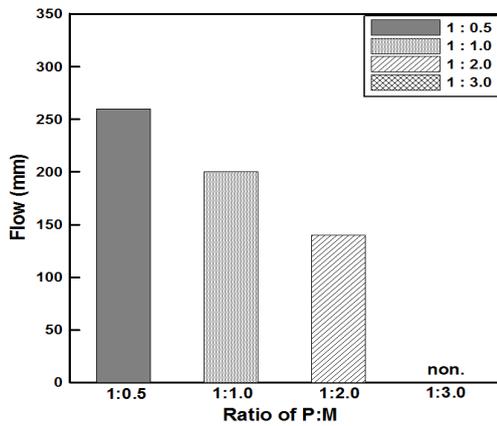


Fig. 4. Test results of flow according to W/B 45

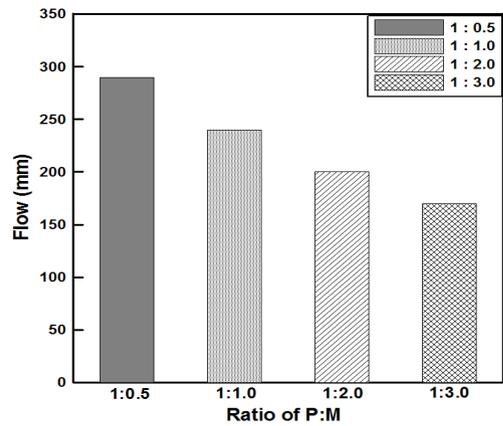


Fig. 6. Test results of flow according to W/B 55

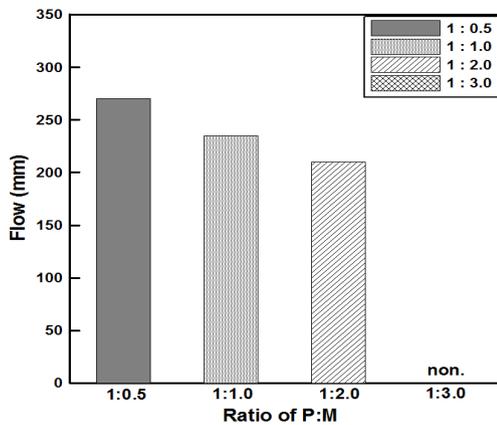


Fig. 5. Test results of flow according to W/B 50

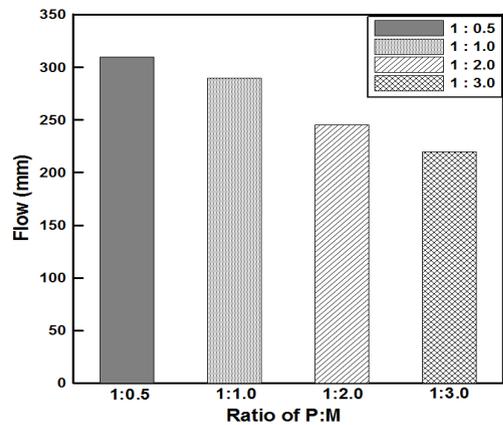


Fig. 7. Test results of flow according to W/B 60

Fig. 1-Fig 7은 MPPC의 W/B에 따른 P:M에 대한 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 1-Fig 7의 결과 W/B에 따라 MPPC의 혼합여부가 다른 것으로 나타났다. W/B 30의 경우에는 P:M 0.5를 제외한 나머지 P:M에 대해서는 혼합하는데 어려움이 따르는 것으로 나타났다. 이는 M의 밀도가 P의 밀도와 비교하여 상대적으로 약 1.5배 크기 때문에 P:M이 증가할수록 P의 실제 질량이 급격히 증가하기 때문에 반응에 기인하는 배합수의 부족으로 혼합이 되지 않는 것으로 판단된다. W/B 35 및 40의 경우 P:M 1:2.0 및 P:M 1:3.0은 혼합이 되지 않는 것으로 나타났으며, W/B 45 및 50의 경우 1:3.0이 혼합이 되지 않아 플로우를 측정하기 어려운 것으로 나타났다. 그러나 W/B 55 및 60의 경우에는 모든 P:M에 대하여 혼합이 가능한 것으로 나타났다. P:M에 대한 플로우는 W/B가 증가할수록 유동성이 증가하는 경향이 나타

났으며, P:M 증가에 따라 플로우가 감소하는 경향이 나타났다.

따라서 생물학적 판넬의 모재재료로 활용하기 위한 MPPC는 소요의 강도를 만족하는 범위에서 작업이 가능한 범위 내 목표 플로우를 선정하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 압축강도 측정결과

Fig. 8-Fig. 14는 MPPC의 W/B에 따른 P:M에 대한 재령 12시간, 3일, 7일 및 28일 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 8-Fig 14의 결과 W/B에 따라 혼합이 가능한 배합의 경우 전반적으로 P:M이 증가할수록 압축강도가 유사하게 감소하는 경향이 나타났다. 또한, P:M 0.5 기준 압축강도는 12시간에서 29일 압축강도에 대비하여 약 50-70% 발현되는 결과가 나타났다. 이러한 원

인은 MPPC의 일반적인 특징인 속경성으로 인하여 단시간내 강도발현이 급격히 나타나는 것으로 판단되며, 이는 R의 첨가량 변화에 따라 소요 작업시간을 만족하는 범위에서 소요 압축강도 기준을 선정하여야 할 것으로 판단된다. 그러나 W/B에 따라 재령별 압축강도를 고려할 경우에는 일반적인 이론은 W/C설에 따라[11] W/B 증가에 따른 압축강도가 감소하는 경향이 나타나지 않았다. W/B에 따른 본 논문의 압축강도결과를 고찰할 경우 W/B 30에서 W/B 40까지 강도가 증가하는 경향을 나타내다가 W/B 40을 정점으로 W/B 60까지 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 원인은 P:M의 증가에 따라 각각의 W/B가 증가하는 경향을 나타내다가 W/B 40을 정점으로 W/B 60까지 감소하는 경향이 나타났다. 에서 혼합이 되지않는 원인과 동일한 것으로 동일한 부피내에서 MPPC이

차지하고 있는 부피가 커질수록 강도가 증가하여야 하는 결과가 나타나야 하지만[11] P:M 이 증가할수록 밀도차에 의한 M의 크기가 배수로 커지게 되므로 P와 M이 반응할 수 있는 소요 단위수량의 절대량 부족이 원인이 된 것으로 판단된다. 이러한 결과는 최적의 P:M가 존재하는 결과이며, W/B에 따라 최적의 P:M은 달라질 수 있는 것을 의미한다. 이러한 결과를 명확하게 규명하기 위해서는 W/B와 P:M의 변수범위를 보다 세밀하게 구분하여 다수의 실험을 통한 결과분석이 이루어져야 할 것으로 판단되지만 본 논문에서는 생물학적 판넬의 모재 재료로 활용가능한 개략적인 혼합비 및 비율을 검토하고자 하였으므로 세밀한 분석은 실시하지 않았다. 그러나 생물학적 판넬에 적용하기 위한 재령 7일 목표강도는 20 MPa 이상을 기준으로 하였기 때문에 이를 만족하는 W/B 및

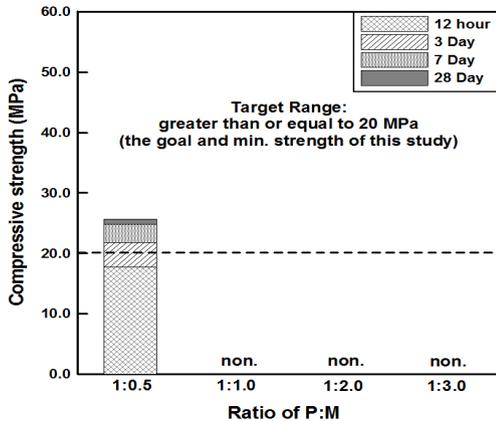


Fig. 8. Test results of compressive strength according to W/B 30

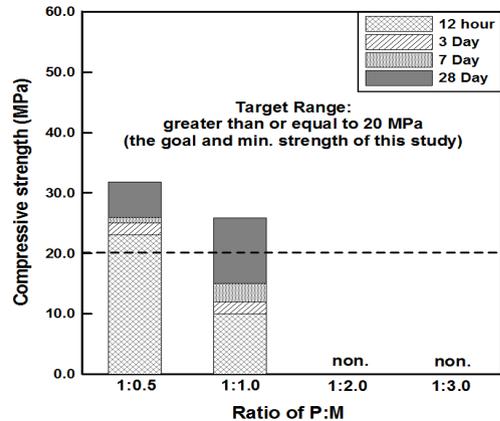


Fig. 10. Test results of compressive strength according to W/B 40

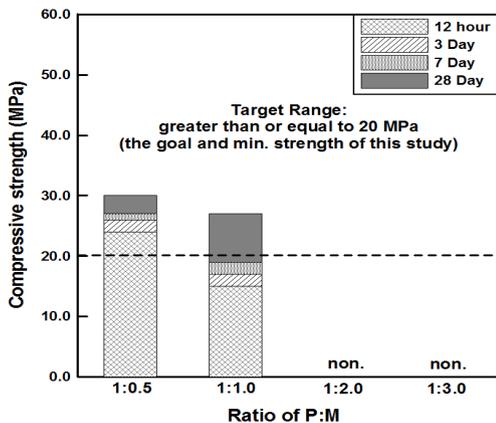


Fig. 9. Test results of compressive strength according to W/B 35

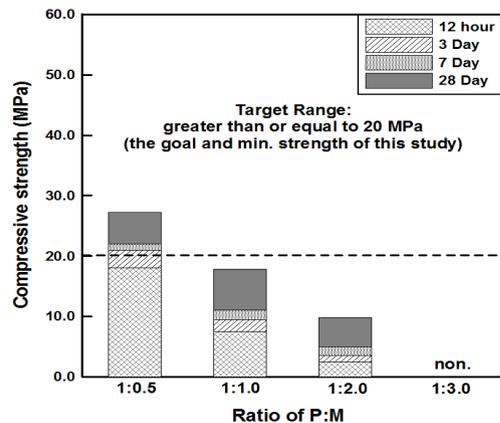


Fig. 11. Test results of compressive strength according to W/B 45

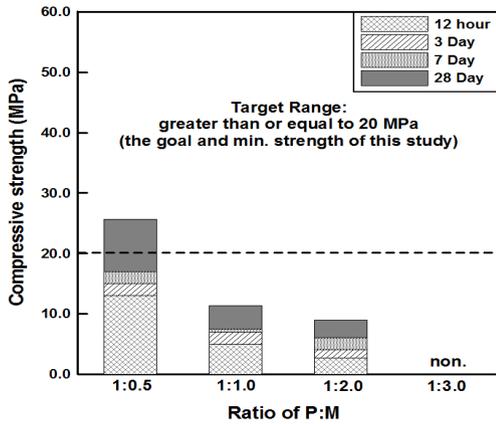


Fig. 12. Test results of compressive strength according to W/B 50

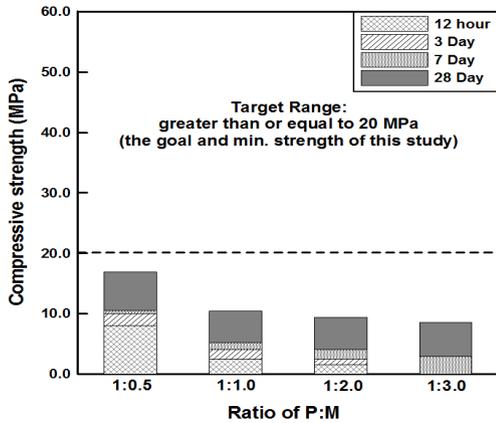


Fig. 13. Test results of compressive strength according to W/B 55

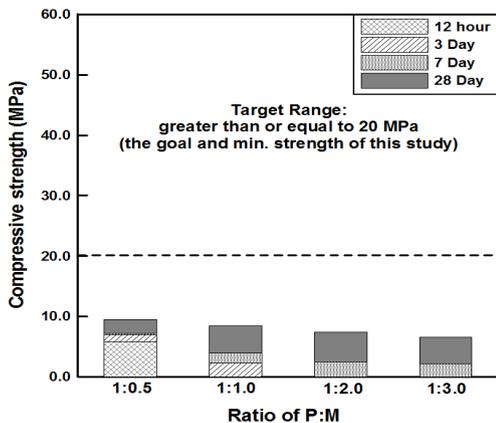


Fig. 14. Test results of compressive strength according to W/B 60

P:M을 선정하고자 하였다.

재령 7일 20 MPa를 만족하는 배합은 Fig. 8-14의 결과를 통하여 선정이 가능하지만 통계적 분석기법을 통하여 적정 범위를 선정하고자 하였다.

3.3 최적 배합 비율

MPPC의 요구 압축강도 범위에 따른 최적 배합비는 국내 E사의 minitab 프로그램을 활용하여 P:M 및 W/B에 따른 압축강도의 분산분석을 수행하여 영향인자를 고려하고자 하였으며, 반응 표면 설계 분석을 통하여 최적 범위를 도출하고자 하였다.

Table. 3은 재령 7일 압축강도의 P:M 및 W/B의 분산 분석 결과를 나타낸 것이다. 재령 7일 압축강도에 대한 P:M 및 W/B의 유의 수준을 살펴볼 경우 P:M에 대해서는 매우 유의한 것으로 나타나지만 W/B의 경우에서 0.4 이상으로 유의하지 않음을 알 수 있다. 따라서 W/B에 따라 최적의 P:M이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, W/B에 따른 최적의 P:M를 고려하기 위해서는 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 본 논문에서 요구하는 재령 7일 압축강도의 20 MPa 이상의 범위를 만족하는 배합비는 Fig. 15와 같이 P:M 0.5의 범위내 W/B 35, 40 및 45의 범위에서 목표강도를 만족할 수 있는 것으로 판단되며, P:M 0.5의 범위에서 W/B 33%를 적용할 경우 약 23.14 MPa로 최대강도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 작업성을 고려한 유동성을 포함하여 고려할 경우에는 W/B 40 이상인 범위내에서 배합비를 선정하여야 할 것으로 판단된다.

Table 3. Analysis of variance on 7 days compressive strength (Two way, ANOVA)

Source	df ^a	Sum of Squares	Mean of Squares	F	P
P:M	3	1464.25	488.083	17.27	.000
W/B	6	182.94	30.490	1.08	.411
Error	18	508.60	28.256	-	-
Corrected Total	27	2155.79	-	-	-

df^a : degrees of freedom

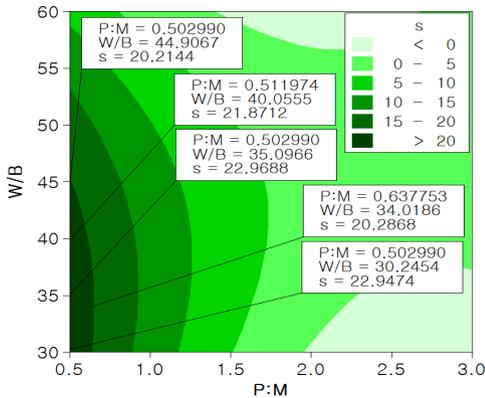


Fig. 15. Compression strength of MPPC according to W/B for P:M

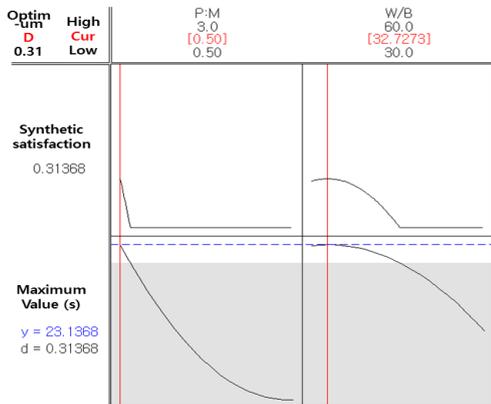


Fig. 16. Range of P:M and W/B to obtain maximum strength

4. 결론

본 논문에서는 생물학적 판넬 설계시 재료적 측면에서 모재 재료의 품질을 제어하고 반영하고자 마그네시아-인산칼륨 복합체의 혼합비와 W/B에 대한 유동 및 압축강도의 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 마그네시아-인산칼륨 복합체는 산화마그네슘의 밀도가 인산칼륨의 밀도와 비교하여 상대적으로 큰 원인에 기인하여 P:M이 증가할수록 실제 질량이 급격하게 증가하기 때문에 반응을 위한 배합수의 부족으로 혼합이 되지 않는 것으로 판단된다.
2. 마그네시아-인산칼륨 복합체는 P:M이 증가함에 따라 강도가 감소하는 경향이 나타났으나 W/B에 따라서는 비례적인 변화가 나타나지 않아 최적의 배

합비율이 존재함을 확인할 수 있었다.

3. 마그네시아-인산칼륨 복합체는 생물학적 판넬의 모재재료로써 활용하기 위해서는 소요의 강도범위를 만족하는 수준에서 작업성을 고려하여 소요 유동성을 가지는 배합을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] E. H. Park, C. H. Oh, "A study of CO₂ reduction effect by preventing heat island", Proceeding of Korean Society of Environment and Ecology, vol. 21, no. 1, pp. 133-141, 2011.
- [2] S. B. Kim, G. H. Kim, J. H. Cho, "The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies", Journal of Nakdong River Environmental Research Institute, vol. 6, no. 1, pp. 63-89, 2001.
- [3] Y. J. Kim, D. H. Kang, K. H., Ahn, "Characteristics of Urban Heat-Island Phenomena caused by Climate Changes in Seoul, and Alternative Urban Design Approaches for Their Improvements", Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design, vol. 12, no. 3, pp. 5-14, 2011.
- [4] H. J. Cha, J. H. Lim, "The Effect of Urban Road Vegetation on a Decrease of Road Surface Temperature", Journal of Korean Institute of Landscape Architecture, vol. 39, no. 3, pp. 107-116, 2011. DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2011.39.3.107>
- [5] S. J. Myung, "The Effect of Green Area in Urban Area on Mitigation of Urban Heat Island", Proceeding of Korean Meteorological Society, no. 2, pp. 402-403, 2015.
- [6] C. U. Chae, C. H. Suh, "Am Experimental Study on the Lightweight Precast Concrete Panel Development", Proceeding of the Architectural Institute of Korea, vol. 14, no. 1, pp. 521-524, 1994.
- [7] T. H. Kim, F. Q. Li, T. W. Ahn, I. S. Choi, J. M. Oh, "Research on Improvement of Water Purification Efficiency by Concrete using Bio Film", Journal of Environmental Impact Assessment, vol. 20, no. 6, pp. 815-821, 2011.
- [8] S. Manso, W. D. Muynck, I. Segura, A. Aguado, K. Stepe, N. Boon, N. D. Belie, "Bioreceptivity Evaluation of Cementitious Materials Designed to Stimulate Biological Growth", Journal of Science of The Total Environment, vol. 481, pp. 232-241, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.059>
- [9] J. H. Kim, S. P. Kang, H. N. No, B. C. Lee, "Characteristics and Application of Magnesia Phosphate Ceramic for Construction Materials", Magazine of the Korea Concrete Institute, vol. 27, no. 6, pp. 57-62, 2015.
- [10] H. Ma, B. Xu, "Potential to designmagnesium potassiumphosphate cement paste based on an optimal magnesia-to-phosphate ratio", Journal of Materials and Design, vol. 118, pp. 81-88, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.01.012>
- [11] Korea Concrete Institute, Concrete Standard Specification, Korea Concrete Institute Korea, 2009.

최 연 왕(Yun-Wang Choi)

[정회원]



- 1990년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

청색기술 및 기후변화 대응기술

최 병 결(Byung-Keol Choi)

[정회원]



- 2012년 8월 : 세명대학교 일반대학원 건설공학부 (공학석사)
- 2015년 8월 : 세명대학교 일반대학원 건설공학부 (박사수료)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 세명대학교 토목공학과 연구원

<관심분야>

방호·방폭 건설기술 및 뽕칠형 섬유보강 기술

이 재 흔(Jae-Heun Lee)

[정회원]



- 2016년 2월 : 세명대학교 토목공학과(공학사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 세명대학교 일반 대학원 건설공학부(석사과정)

<관심분야>

생물학적 콘크리트, 경량기포 콘크리트

오 성 록(Sang-Rok Oh)

[정회원]



- 2012년 2월 : 세명대학교 일반대학원 건설공학부 (공학석사)
- 2015년 2월 : 세명대학교 일반대학원 건설공학부 (박사수료)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 토목공학과 연구원

<관심분야>

자기치유 건설기술 및 미생물 활용기술