

실험계획법을 이용한 석고 혼입 기포콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Foamed Concrete with Plaster Using the Experimental Design

이 상 안¹⁾ 김 화 중²⁾ 윤 상 천^{3)*}
Sang-An Lee Wha-Jung Kim Sang-Chun Yoon

Abstract

This research was performed through the experimental design to get the statistical analysis on foamed concrete mixed plaster with hydrogen peroxide. In this experiment, we set the ratio of each material, which part of lightweight concrete, as experimental factors and evaluated on the mechanical properties by statistical analysis for response variables obtained from experiments. Experimental factors are plaster replacement, water binder ratio, and hydrogen peroxide ratio. Response variables are dry density, compressive strength, and flexural strength. Mixing design of the foamed concrete set up a total of 15 experimental points by Box-Behnken (BB) method of the response surface analysis. Thus, the results of a study were summarized as follows. Values of the probability in experimental factors (plaster replacement, water binder ratio and hydrogen peroxide ratio) on the response variables were estimated to be significant at the 95% of confidence limit. On response surface analysis for dry density of foamed concrete, water binder ratio and hydrogen peroxide ratio were estimated to be significant ($\alpha = 0.05$), and the relationship between the amount of void and the water content for dry density is inverse proportional. On response surface analysis for the compressive strength of foamed concrete, water binder ratio, hydrogen peroxide ratio and (hydrogen peroxide ratio)² was estimated to be significant ($\alpha = 0.05$). On response surface analysis for the flexural strength of foamed concrete, water binder ratio, hydrogen peroxide ratio was estimated to be significant ($\alpha = 0.05$). Through multi response surface analysis, we found the optimal area that meets performance goals.

Keywords : Foamed concrete, Hydrogen peroxide, Plaster replacement, Box-Behnken (BB) method

1. 서론

경량콘크리트는 일반적으로 콘크리트를 경량화 하는 방법에 따라 다공질의 경량 골재를 사용하는 경량골재콘크리트와 시멘트페이스트나 모르타르에 기포를 연행시켜 단위용적량을 감소시키는 경량기포콘크리트, 그리고 잔골재를 사용하지 않은 굵은 골재만을 사용해 콘크리트 내부에 공극을 형성시키는 무잔골재 콘크리트로 나뉜다 (Oh, 2002; Korea Concrete Institute, 1995). 그 중 경량기포콘크리트란 시멘트 또는 석회에 모래나 혼화재료 등을 넣어 물과 혼합한 슬러리에 다량의 기포를 도입함으로써 콘크리트 내부에 작고 미세한 기포를 형성시켜 경화시킨 다공질의 재료로 동일한 용적의 일반

콘크리트보다 가볍게 만든 콘크리트를 말한다 (Go, 2002). 경량기포콘크리트는 기포의 도입이 가스나 공기에 의해 이루어짐으로 가스콘크리트 (gas concrete, aerated concrete)라고도 하며, 발포체를 사용한다는 점에서 발포콘크리트 (foamed concrete)라고도 한다 (Andrew, 1978). 본 연구에서는 발포체로 과산화수소를 슬러리 중에 첨가해 혼합하는 과정에서 기포를 발생시키는 기포콘크리트를 대상으로 하며, 발포의 원리는 과산화수소와 산화제 (표백분)등과 반응하여 산소기체를 발생시키는 것으로 그 반응식은 식 (1)과 같다.



1) 정희원, 경북대학교 건축토목공학부 박사과정
2) 정희원, 경북대학교 건축토목공학부 교수
3) 정희원, 가천대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : ysc4206@gmail.com
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

본 연구는 참고문헌 (Lee et al., 2009; Lee et al., 2010)의 후속 연구로서, 분석 및 통계처리방법은 유사하나, 구성재료와 실험결과에서 차별성이 있습니다. 콘크리트학회 (2009-12) 기 발표논문은 기존의 알루미늄 분말로 발포한 고온고압양생법에 비해 경제성을 고려하여 과산화수소를 이용한 상온양생법을 개발하기 위한 실험논문이며, 건축학회 (2010-07) 기 발표논문은 과산화수소를 발포제로 사용하면서 플라이애시를 시멘트 대체재로 활용 및 경제성 확보를 목표로 한 실험논문입니다. 이번 후속연구는 응결시간을 단축시키고, 몰드 탈형 시 공시체의 단면파손 방지를 위하여 도자기형재용 석고를 사용하였으며, 2차 제품 생산 시의 경제성 확보를 목표로 한 실험논문입니다.

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 실험에서는 기포콘크리트를 구성하는 각 재료의 혼합비율을 실험인자로 설정하여 실험을 통해 얻어진 반응변수를 바탕으로 역학적 특성에 미치는 영향을 평가 하였다. 실험인자는 석고혼입율, 물결합재비, 발포제첨가비이며, 인자 및 수준은 Table 1과 같다.

2.2 사용재료

이 실험에서 사용된 각 재료의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 시멘트는 KS L 5201의 규정을 만족하는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 과산화수소는 KS M 1112를

Table 1 Experimental factors & levels

Factors	Low level	High level	Notation
Plaster replacement	0	10	P/C
Water binder ratio	30	50	W/B
Hydrogen peroxide	10	30	H/B

P : plaster, C : cement, W : water
H : hydrogen peroxide, B : C+P

Table 2 Physical characteristics of materials

Materials	Physical characteristics
Portland cement	Specific gravity : 3.15 Setting time : 10 hour below
Plaster of paris mold pottery	Setting time : 35 min. below
Hydrogen peroxide	Specific gravity : 1.46

만족하는 공업용 과산화수소를 사용하였다. 혼화재료는 도자기 형재용 석고를 사용하였다.

2.3 기포콘크리트의 배합

기포콘크리트의 배합은 반응표면설계 중 Box-Behnken (B-B) 계획법에 의해 총 15회의 실험점이 있는 Table 3과 같다.

2.4 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 시멘트와 도자기 형재용 석고를 함께 넣어 1분간 건비빔하고, 배합수를 투입하고 2분간 비빈 뒤 발포제를 투입하여 1분간 혼합한 후에 몰드에 타설하였다. 몰드 속에서 발포 팽창하는 윗부분의 콘크리트는 타설 24시간 경과 후 깎아서 윗면을 평평하게 하였다. 재령은 콘크리트 2차 제품 생산 시 경제성을 고려하여 3일로 하였다.

2.5 측정항목 및 시험방법

기포콘크리트의 겉보기밀도, 압축강도 및 휨강도를 측정하였으며, 측정항목에 대한 시험방법은 Table 4와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험의 유효성 검증

실험인자인 석고혼입율, 물결합재비 및 발포제첨가비와 반

Table 3 Mixing ratio of foamed concrete (unit : weight %)

Std Order	Pt Type	Block	P/C	W/B	H/B
1	2	1	0	30	20
2	2	1	10	30	20
3	2	1	0	50	20
4	2	1	10	50	20
5	2	1	0	40	10
6	2	1	10	40	10
7	2	1	0	40	30
8	2	1	10	40	30
9	2	1	5.5	30	10
10	2	1	5.5	50	10
11	2	1	5.5	30	30
12	2	1	5.5	50	30
13	0	1	5.5	40	20
14	0	1	5.5	40	20
15	0	1	5.5	40	20

Table 4 Method of test

Item	Method of test
Dry density	KS F 2459 『Testing methods for density, water content, absorption and compressive strength of cellular concrete』
Compressive strength	KS F 2405 『Method of test for compressive strength of concrete』
Flexural strength	KS F 2408 『Method of test for flexural strength of concrete』

Table 5 Test results

Std Order	Dry density (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
1	762	4.564	1.088
2	771	2.483	0.771
3	400	0.604	0.275
4	452	0.939	0.413
5	867	7.250	1.557
6	888	6.847	1.309
7	510	1.543	0.358
8	584	2.081	0.606
9	782	7.585	1.198
10	828	4.699	1.419
11	699	3.759	0.854
12	477	1.006	0.316
13	751	4.363	0.950
14	749	4.027	0.923
15	735	2.685	1.019

Table 6 Multiple regression for response variables

Response variable	Seq SS	Adj MS	F	P
Dry density	244726	81575	8.67	0.003
Comp. strength	56.309	18.770	11.63	0.001
Flex. strength	1.68725	0.56092	9.05	0.003

응변수인 겉보기밀도, 압축강도 및 휨강도 간의 2차 회귀모형의 그 반응표면은 식 (2)와 같다 (Park, 2006).

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i \leq j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Table 5는 Box-Behnken (B-B)계획법에 의한 15회의 합성을 수행하고, 실험 결과를 나타낸 것이다.

Table 6은 반응변수 (겉보기밀도, 압축강도 및 휨강도)에 대한 다중회귀분석결과를 나타낸 것이다. 다중회귀분석의 해석 결과, 유의확률값 (p-value)은 신뢰한계 95% (유의수준 $\alpha=0.05$)에서 모두 유의함을 알 수 있었다.

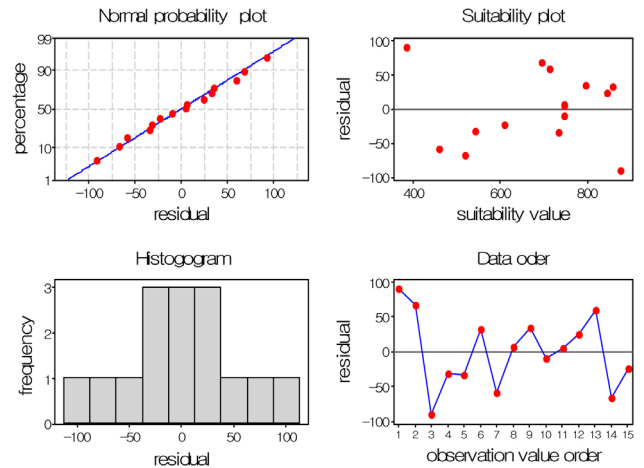


Fig. 1 Residual plot for dry density

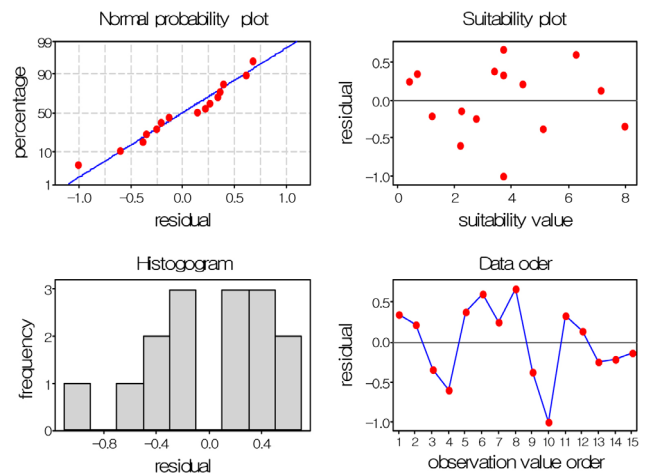


Fig. 2 Residual plot for compressive strength

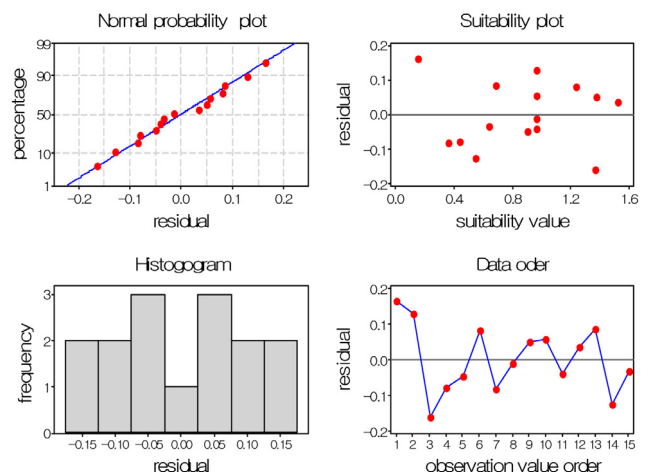


Fig. 3 Residual plot for flexural strength

실험결과는 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3의 정규 잔차 분석도를

통해 그 적합성을 확인할 수 있다. 정규확률도 그림이 거의 직선으로 나타나 회귀모형이 맞는다고 할 수 있다. 잔차의 히스토그램이 종모양을 보이는 걸보기밀도는 정규분포 함수로 볼 수 있지만, 압축강도와 휨강도의 정규분포 함수로 볼 수 없다. 잔차 대 적합치 그래프에서 잔차는 0 근처에 랜덤하게 타점이 되고 있으므로 오차는 상수변동을 갖는다고 할 수 있다. 잔차 대 데이터 순서의 그래프는 특별한 패턴을 가지고 있지 않으므로 실험이 랜덤하게 진행되었다고 볼 수 있다. 이상을 종합적으로 판단할 때 본 연구의 실험결과는 적합한 것으로 판단된다.

3.2 걸보기밀도

기포콘크리트의 걸보기밀도에 대한 적합한 모델을 찾기 위해 Table 7의 걸보기밀도에 대한 분산분석표를 초기 분석하면, 선형 ($P=0.013$)은 유의 ($\alpha = 0.05$)하지만, 제곱 ($P=0.236$)과 상호작용 ($P=0.534$)은 유의하지 않다. 따라서 제곱과 상호작용 항을 모델에서 제외하고 반응 표면 설계 분석을 하면, Table 8과 같은 걸보기 밀도에 대해 추정된 회귀계수를 구할 수 있다.

Table 8에서 각 항들의 추정된 회귀 계수에 대한 P값을 살펴보면 석고혼입율은 $P=0.581$ 로 유의하지 않으므로 모델에서 제외하고, 다시 반응 표면 설계 분석을 하면 Table 9와 같은 회귀계수가 구해진다.

단계적 통계분석 과정을 통한 기포콘크리트의 걸보기밀도에 대한 회귀식은 식 (3)과 같다.

$$D = 683.7 - 107.1W - 136.9H \quad (3)$$

여기서, D : dry density (kg/m^3)
 W : water binder ratio (%)
 H : hydrogen peroxide ratio (%)

Fig. 4는 기포콘크리트의 걸보기밀도에 대한 등고선도이다. 걸보기밀도에 대한 분산분석에서 상호작용이 유의하지 않아서 요인분석 모델에서 제외하였기 때문에 등고선이 모두 직선이다. 이 등고선도에서 걸보기밀도가 최소인 점은 발포제첨가비와 물결합재비가 가장 높은 오른쪽 윗부분임을 알 수 있다. 따라서 기포콘크리트는 기포 혼입량의 증가 (발포제첨가비증가)에 따라 기포콘크리트내의 공극도 증가하기 때문에 발포제첨가비와 걸보기밀도는 반비례 관계에 있다. 또한 일반적으로 모든 재료는 함수율의 증가에 따라 밀도가 증가하므로 물결합재비와 걸보기밀도도 반비례 관계에 있다.

Fig. 5는 기포콘크리트의 걸보기밀도에 대한 주효과도이다. 수준간의 변화폭은 발포제첨가비, 물결합재비, 석고혼입율 순이다. 즉 기포콘크리트의 걸보기밀도에 영향을 미치는 가장 유의한 인자는 발포제첨가비로 판단된다.

Table 9 A regression coefficient for dry density

Term	coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	683.7	24.33	28.099	0.000
W/B	-107.1	33.32	-3.215	0.007
H/B	-136.9	33.32	-4.108	0.001

S = 94.23 $R^2 = 69.4\%$ R^2 (Adj) = 64.3%

Table 7 Analysis of variance for dry density

Source	DF	Seq SS	F	P
Linear	3	244726	410.56	0.013
Square	3	45779	1.98	0.236
Interaction	3	19120	0.83	0.534
Residual error	5	38616		
Total	14	38464		

Table 8 A regression coefficient for dry density

Term	coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	683.67	25.05	27.295	0.000
P/C	19.50	34.30	0.569	0.581
W/B	-107.13	34.30	-3.123	0.010
H/B	-136.87	34.30	-3.991	0.002

S = 97.01 $R^2 = 70.3\%$ R^2 (Adj) = 62.2%

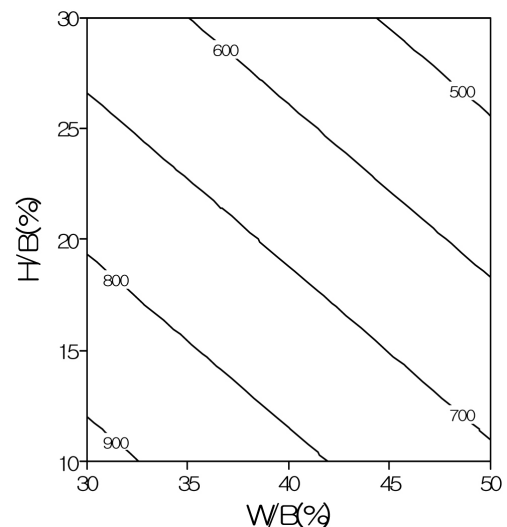


Fig. 4 Contour plot of dry density

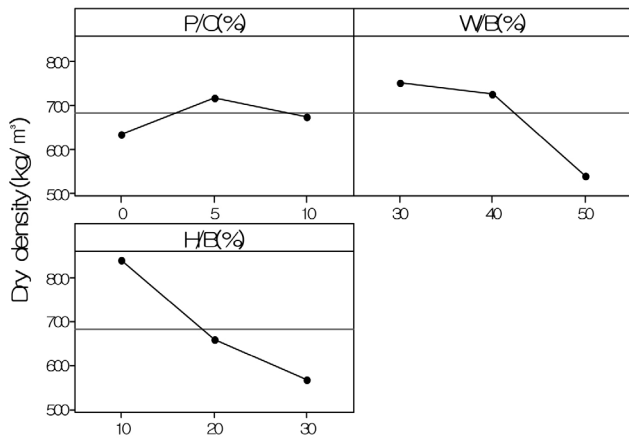


Fig. 5 Main effect plot of dry density

Table 10 Analysis of variance for compressive strength

Source	DF	Seq SS	F	P
Linear	3	56.309	30.16	0.001
Square	3	12.963	6.96	0.031
Interaction	3	1.685	0.90	0.502
Residual error	5	3.112		
Total	14	74.069		

Table 11 A regression coefficient for compressive strength

Term	Coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	3.6917	0.4471	8.257	0.000
P/C	-0.2014	0.2738	-0.736	0.483
W/B	-1.3929	0.2738	-5.088	0.001
H/B	-2.2490	0.2738	-8.215	0.000
P/C*P/C	-0.6881	0.4030	-1.707	0.126
W/B*W/B	-0.8561	0.4030	-2.124	0.066
H/B*H/B	1.4267	0.4030	3.540	0.008

S = 0.7743 R² = 93.5% R² (Adj) = 88.7%

3.3 압축강도

기포콘크리트의 압축강도에 대한 적합한 모델을 찾기 위해 Table 10의 압축강도에 대한 분산분석표를 초기 분석하면, 선형 (P=0.013)과 제곱 (P=0.031)은 유의 ($\alpha = 0.05$)하지만, 상호작용 (P=0.502)은 유의하지 않다. 따라서 상호작용 항을 모델에서 제외하고 반응 표면 설계 분석을 하면, Table 11과 같은 압축강도에 대해 추정된 회귀계수를 구할 수 있다.

Table 11에서 각 항들의 추정된 회귀 계수에 대한 P값을 살펴보면 석고혼입율과 석고혼입율의 제곱 및 물결합재비의 제곱은 각각 P > 0.05로 유의하지 않으므로 모델에서 제외

Table 12 A regression coefficient for compressive strength

Term	coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	2.809	0.3469	8.099	0.000
W/B	-1.393	0.3245	-4.293	0.001
H/B	-2.249	0.3245	-6.931	0.000
H/B*H/B	1.537	0.4750	3.236	0.008

S = 0.9178 R² = 87.5% R² (Adj) = 84.1%

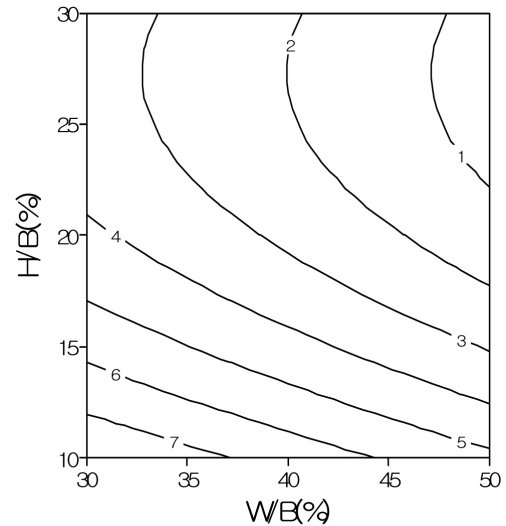


Fig. 6 Contour plot of compressive strength

하고, 다시 반응 표면 설계 분석을 하면 Table 12와 같은 회귀계수가 구해진다.

단계적 통계분석 과정을 통한 기포콘크리트의 압축강도에 대한 적합한 회귀식은 식 (4)과 같다.

$$C = 2.809 - 1.393W - 2.249H + 1.537H^2 \quad (4)$$

여기서, C : compressive strength (MPa)

W : water binder ratio (%)

H : hydrogen peroxide ratio (%)

Fig. 6은 기포콘크리트의 압축강도에 대한 등고선도이다. 압축강도에 대한 분산분석에서 상호작용 작용이 유의하지 않지만, 제곱항은 유의하므로 등고선은 Fig. 1과 달리 발포제첨가비 20~30% 사이에서 비선형적이다. 이 등고선도에서 압축강도가 최대인 점은 발포제첨가비와 물결합재비가 가장 낮은 왼쪽 아래부분임을 알 수 있다. 이는 시멘트 수화물로서 대표적인 강도 이론인 물-시멘트비 및 젤-공극비 이론과 일치함을 알 수 있다.

Fig. 7은 기포콘크리트의 압축강도에 대한 주효과도이다.

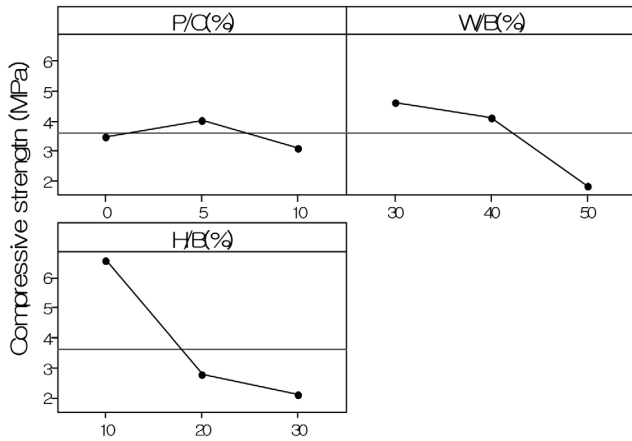


Fig. 7 Main effect plot of compressive strength

Table 13 Analysis of variance for flexural strength

Source	DF	Seq SS	F	P
Linear	3	1.68275	22.27	0.003
Square	3	0.29832	3.95	0.087
Interaction	3	0.25728	3.40	0.110
Residual error	5	0.12595		
Total	14	2.36429		

Table 14 A regression coefficient for flexural strength

Term	Coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	0.87040	0.06427	13.543	0.000
P/C	-0.02238	0.08800	-0.254	0.804
W/B	-0.18600	0.08800	-2.114	0.058
H/B	-0.41862	0.08800	-4.757	0.001

S = 0.2489 R² = 71.2% R² (Adj) = 63.3%

기포콘크리트의 압축강도에 영향을 미치는 가장 유의한 인자는 발포제첨가비로 판단된다.

3.4 휨강도

기포콘크리트의 휨강도에 대한 적합한 모델을 찾기 위해 Table 13의 휨강도에 대한 분산분석표를 초기 분석하면, 선형은 유의하지만, 제곱과 상호작용은 유의하지 않다. 따라서 제곱 항과 상호작용 항을 모델에서 제외하고 반응 표면 설계 분석을 하면, Table 14와 같은 휨강도에 대해 추정된 회귀계수를 구할 수 있다.

Table 14에서 각 항들의 추정된 회귀 계수에 대한 P값을 살펴보면 석고혼입율은 P=0.804로 유의하지 않으므로 모델에서 제외하고, 다시 반응 표면 설계 분석을 하면 Table 15

Table 15 A regression coefficient for flexural strength

Term	Coefficient	SE coefficient	T	P
Constant	0.8704	0.06171	14.104	0.000
W/B	-0.1860	0.08451	-2.201	0.048
H/B	-0.4186	0.08451	-4.954	0.000

S = 0.2390 R² = 71.0% R² (Adj) = 66.2%

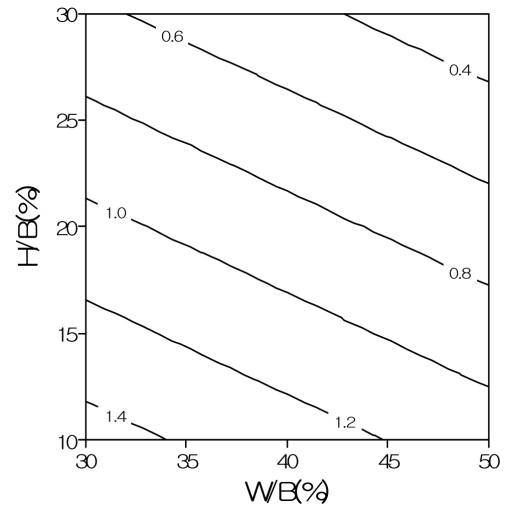


Fig. 8 Contour plot of flexural strength

와 같은 회귀계수가 구해진다.

단계적 통계분석 과정을 통한 기포콘크리트의 휨강도에 대한 적합한 회귀식은 식 (5)과 같다.

$$F = 0.8704 - 0.1860W - 0.4186H \quad (5)$$

여기서, F : flexural strength (MPa)
 W : water binder ratio (%)
 H : hydrogen peroxide ratio (%)

Fig. 8은 기포콘크리트의 휨강도에 대한 등고선도이다. 휨강도에 대한 분산분석에서 상호작용과, 제곱항은 유의하지 않고 선형만 유의하므로 등고선의 모양은 겉보기밀도의 등고선도와 유사한 선형적이다. 이 등고선도에서 휨강도가 최대인 점은 압축강도의 등고선도와 유사하게 발포제첨가비와 물결합재비가 가장 낮은 왼쪽 아래 부분임을 알 수 있다. 이는 압축강도와 동일하게 강도 이론인 물-시멘트비 및 젤-공극비 이론과 일치함을 알 수 있다.

Fig. 9는 기포콘크리트의 휨강도에 대한 주효과도이다. 기포콘크리트의 휨강도에 영향을 미치는 가장 유의한 인자는 발포제첨가비로 판단된다.

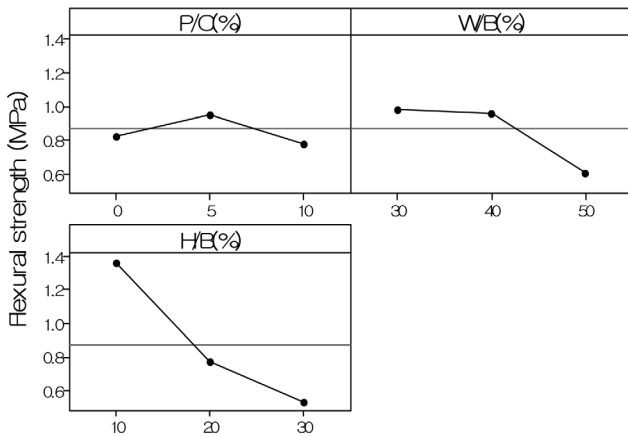


Fig. 9 Main effect plot of flexural strength

Table 16 The goals of multi-response surface analysis

Response variable	Lower limit	Upper limit
Dry density (kg/m ³)	450	750
Comp. strength (MPa)	1.02	4.41
Flex. strength (MPa)	0.28	0.84

3.5 다중 반응 최적법

Fig. 5, 7, 9는 각각의 단일인자에 대한 최적 반응값 이므로, 다중 반응 최적법을 사용하여 목표성능에 대한 최적범위를 찾을 수 있다. 목표 결보기밀도는 KS F 4914 「경량 기포 콘크리트 패널」 표 1의 범위로 하고, 목표 강도는 강도에 대한 결보기밀도의 회귀식 (6), (7)로부터 구할 수 있으며, 목표성능은 Table 16과 같다.

$$C = 3.688 - 0.01629D + 0.000023D^2 \quad (6)$$

$$F = 0.4435 - 0.001709D + 0.000003D^2 \quad (7)$$

여기서, D : dry density (kg/m³)
 C : compressive strength (MPa)
 F : flexural strength (MPa)

Fig. 10, 11, 12는 각각 석고혼입률 0%, 5%, 10%일 때의 반응변수들 사이의 면(面)적인 최적조건 영역을 나타내고 있다. 석고혼입률 0%와 5%일 경우, 대체로 물결합재비 낮은 면 발포제첨가비가 높고, 물결합재가 높으면 발포제첨가비 높아지는 우하향의 직선 오른쪽 부분이 목표성능을 만족하는 범위이다. 석고혼입률 10%에서는 물결합재비 전 범위에서 발포제첨가비가 20% 이상이 목표성능을 만족하는 범위

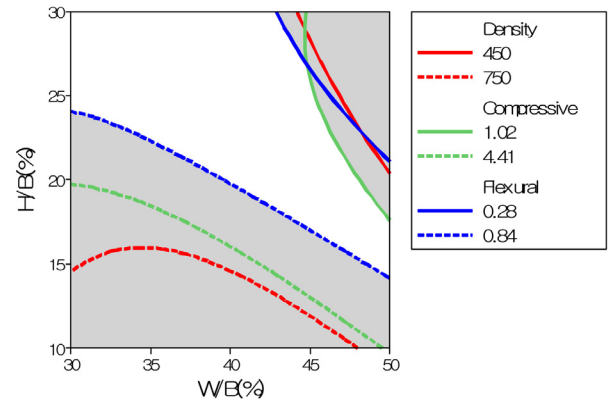


Fig. 10 Overlaid contour plot (P/C 0%)

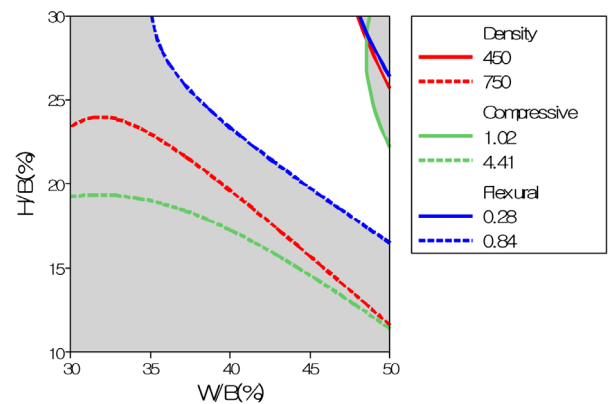


Fig. 11 Overlaid contour plot (P/C 5%)

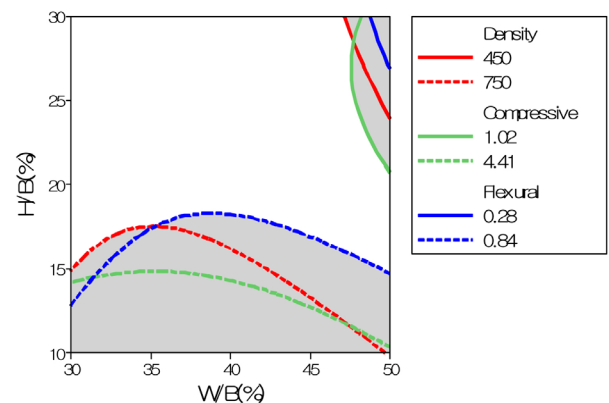


Fig. 12 Overlaid contour plot (P/C 10%)

가 나타나고 있다.

4. 결론

실험계획법 중 반응표면분석을 이용하여, 도자기 형재용 석고 혼입 슬러리를 과산화수소로 발포한 후 상압 양생한 기

포콘크리트의 그 역학적 특성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 발포한 도자기 형재용 석고 혼입 기포콘크리트의 반응표면 분석 결과, 측정항목에 대한 각 실험인자 (석고혼입율, 물결합재비, 발포제첨가비)의 유의확률은 신뢰한계 95% (유의수준 $\alpha=0.05$)에서 유의한 것으로 추정되었다.
- (2) 겔보기밀도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비와 발포제첨가비만 유의한 것으로 추정되었으며, 기포 혼입량 증가에 따라 기포콘크리트 내 공극도 증가하기 때문에 발포제첨가비와 겔보기밀도는 반비례 관계를 확인할 수 있었다.
- (3) 압축강도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비, 발포제첨가비 및 발포제첨가비의 제공항이 유의한 것으로 추정되었으며, 시멘트 수화물로서 대표적인 강도 이론인 물-시멘트비 및 겔-공극비 이론과 일치함을 알 수 있었다.
- (4) 휨강도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비와 발포제첨가비만 유의한 것으로 확인할 수 있었다.
- (5) 주효과도를 통해 각 반응변수 (겔보기밀도, 압축강도, 휨강도)에 영향을 미치는 가장 유의한 인자는 발포제첨가비임을 확인할 수 있었다.
- (6) 다중 반응 최적법을 통해 반응변수들의 목표값을 만족하는 면 (面)인 최적조건 영역은 석고 혼입율 0%, 5%, 10%에서 각각 목표성능을 만족하는 범위가 보이지만, 석고혼입율 10%일 때 목표성능을 만족하는 그 범위가

가장 넓음을 확인할 수 있었다.

References

1. Andrew Short, William Kinniburgh, Lightweight Concrete, 1978.
2. Go, Y. S., "An Experimental Study on the Properties of Foamed Concrete within Fly-Ash", Master's Thesis, Graduate School of Konkuk University, 2002 (in Korean).
3. Goldbaum, J. E., Hook, W. and Clem, D. A., Modification of Bridges with CLSM, Concrete International, 1988.
4. Korea Concrete Institute, New Concrete Engineering, 1995 (in Korean).
5. Lee, S. A., Jung, C. W., Kim, J. K., Ahn, J. H., "Optimized Mixing Design of Lightweight Aerated Concrete by Response Surface Analysis", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 21, No. 6, 2009, pp.745-752 (in Korean).
6. Lee, S. A., Kim, H. J., Kim, J. K., "A Study on Specific Strength Properties of Aerated Concrete with Fly Ash Using Response Surface Analysis", Journal of Architectural institute of Korea, Vol. 26, No. 7, 2010, pp.101-109.
7. Malhotra, V. M. et al., Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash from Sources in the U.S., ACI Materials Journal, Vol. 90, No. 6, 1993.
8. Oh, S. C., "A Study on the Properties of Foamed Concrete with Admixtures", Doctoral Thesis, Graduate School of Konkuk University, 2002 (in Korean).
9. Park, S. H., Modern Design of Experiments, Minyoungsa, Seoul, 2006 (in Korean).

Received : 06/08/2013

Revised : 08/06/2013

Accepted : 08/19/2013

요 지

본 연구는 실험계획법을 통하여 과산화수소로 발포된 석고 혼입 경량기포콘크리트로 통계적 분석을 실시하였다. 본 실험에서는 경량기포콘크리트를 구성하는 각 재료의 혼합비율을 실험인자로 설정하고, 실험을 통해 얻어진 반응변수에 대한 통계적 분석으로 역학적 특성을 평가 하였다. 실험인자는 석고혼입율, 물결합재비 및 발포제첨가비이며, 반응변수는 겔보기밀도, 압축강도, 휨강도이다. 경량기포콘크리트의 배합은 반응표면설계의 Box-Behnken (B-B)계획법에 의해 총 15회의 실험점을 설정하였다. 본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 반응변수에 대한 각 실험인자 (석고혼입율, 물결합재비, 발포제첨가비)의 유의확률은 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 것으로 추정되었다. 경량기포콘크리트의 겔보기밀도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비와 발포제첨가비만 유의 ($\alpha=0.05$)한 것으로 추정되었으며, 겔보기밀도와 기포량 및 함수율과의 관계는 반비례함을 확인할 수 있었다. 경량기포콘크리트의 압축강도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비, 발포제첨가비 및 발포제첨가비의 제공항이 유의 ($\alpha=0.05$)한 것으로 추정되었다. 경량기포콘크리트의 휨강도에 대한 반응표면 분석 결과, 물결합재비와 발포제첨가비만 유의 ($\alpha=0.05$)한 것으로 추정되었다. 다중 반응 최적법을 통해 반응변수들의 목표값을 만족하는 최적조건 영역을 확인할 수 있었다.

핵심 용어 : 기포콘크리트, 과산화수소, 석고혼입율, 박스벤켄법