

# 고분자 기포제를 이용한 경량 기포 콘크리트의 역학적 특성(Ⅱ)

## Mechanical Properties of Lightweight Foamed Concrete Using Polymer Foam Agent



박상순\*

Park, Sang-Soon



송하원\*\*

Song, Ha-Won



변근주\*\*\*

Byun, Keun-Joo

### 요 약

본 논문은 경량기포콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구이다. 본 연구의 목적은 고분자기포제를 이용하여 초경량성과 타설에 충분한 유동성을 확보하면서 소요강도를 갖는 선기포방식의 경량기포콘크리트의 역학적 특성을 실험적으로 규명하는데 있다. 이를 위해 플로우값이 180mm 이상으로 단위체적중량이 0.38~0.64t/m<sup>3</sup>인 범위에서 30kg/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 갖도록 개발된 선기포방식의 경량기포콘크리트를 사용하였다. 본 논문에서는 경량기포콘크리트의 탄성계수, 포아송비, 응력-변형률곡선, 강도특성 등의 광범위한 자료를 도출하였고, 평균기포크기에 따른 경량기포콘크리트의 역학적 특성을 규명하였다. 본 연구는 경량기포콘크리트의 제조와 설계를 위한 중요한 지표를 제공하여 구조적인 목적에 그 활용의 폭을 넓혀 줄 것으로 기대된다.

### Abstract

The objective of this study is to obtain the mechanical characteristics of prefoamed

\* 정회원, 연세대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 정회원, 연세대학교 토목공학과 조교수

\*\*\* 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 4월 30일까지 학회로 보내주  
시면 1997년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

lightweight foamed concrete using the polymer foam agent which has high lightness, flowability and strength. For this purpose, the preformed lightweight foamed concrete which was developed to have flow value over 180mm, unit weight between 0.38t/m<sup>3</sup> and 0.64t/m<sup>3</sup>, and compressive strength about 30kg/cm<sup>2</sup> was used. This paper presents extensive test data on Young's modulus, Poisson's ratio, stress-strain curve, the characteristics of strength of the foamed concrete and also presents the mechanical characteristics of the foamed concrete with different foam sizes. It is expected that this study provides an importance guide to design and manufacture lightweight foam concrete, so that it helps to expand its structural use.

**Keywords :** mechanical characteristics, lightweight foamed concrete, polymer foam agent, unit weight, foam size, strength characteristics, stress-strain curve.

## 1. 서 론

일반적으로 콘크리트를 경량화시키는 방법은 경량 골재를 사용하는 경우와 기포를 혼합시키는 경우로 나눌 수 있는데, 단위체적중량 1.2t/m<sup>3</sup> 이하의 저단 위중량을 달성하기 위해서는 기포의 혼합이 보다 효과적이다.<sup>1,2)</sup> 경량콘크리트에 대한 연구는 선진 각국에서는 이미 상당한 수준의 성과가 있어서 단열 및 방음 등의 간접 효과를 위한 비구조용 콘크리트로서의 이용 뿐만 아니라 공극 충전용, 연약지반 보강용 및 급경사지에서의 연직성토, 구조물 배면의 토압경 감 등의 경량성토재료<sup>3), 4), 5)</sup>로서 활용의 폭을 넓혀 나가고 있으나 국내에서는 배합설계에 대한 표준화 및 시방화가 미비하며 제조기술도 표준화되어 있지 않고, 역학적특성에 대한 연구도 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고분자기포제를 이용하여 플로우값이 180mm 이상으로 시공에 필요한 유동성과 단위체적중량 0.5t/m<sup>3</sup> 정도에서 압축강도가 30kg/cm<sup>2</sup> 이상의 경량기포콘크리트<sup>6)</sup>의 역학적 특성을 규명하는데 연구의 목적을 둔다.

## 2. 실 험

### 2.1 시편의 제작

실험시편의 형상과 갯수는 Table 1과 같고 콘크리트를 1배치당 40 l 씩 Table 2의 배합비를 사용하여

Table 1 Types and numbers of specimen

types	test	number
∅10×20	• compressive strength	744
	• Poisson's ratio	
	• Young's modulus	
	• tensile strength	
5×5×5	• compressive strength	132
4×4×16	• flexural strength	306
10×10×10	• unit weight	73

배합설계하였다.

기포는 선기포방식을 이용하여 희석수와 기포제를 50 : 1로 섞어서 발포기에 넣고 5kg/cm<sup>2</sup>의 압축공기로 압송하여 제조된다. 혼합은 용량 250 l 인 강제식 믹서기를 이용하였으며 기포가 소포되는 것을 최소화하기 위하여 진동다짐만을 실시했으며 양생은 시편 제작 후 최소 48 시간 이상 양생실에서 상온양생

Table 2 Mixing design

	c (kg)	SP + FA (kg)	W (kg)	S (kg)	styro foam (kg)	Foam(kg)		γ <sub>air</sub> (t/m <sup>3</sup> )	σ <sub>c</sub> (kg/ cm <sup>2</sup> )	P
						foam agent (kg)	W			
1	320	0	160	0	0	0.74	32.56	0.38	6.9	0.72
2	380	0	190	0	0	0.69	30.40	0.52	15.4	0.65
3	460	0	230	0	0	0.63	27.52	0.63	31.6	0.59
4	520	0	260	0	0	0.58	25.35	0.75	39.2	0.51
5	320	0	160	0	10.71	0.37	16.28	0.38	7.5	0.72
6	380	0	190	0	9.99	0.35	15.20	0.52	20.0	0.63
7	460	0	230	0	9.05	0.31	13.76	0.57	27.4	0.60
8	520	0	260	0	8.34	0.29	12.68	0.63	31.3	0.55
9	320	0	160	0	21.41	0	0	0.53	12.9	0.64
10	380	0	190	0	19.99	0	0	0.56	20.7	0.64

	c (kg)	SF + FA (kg)	W (kg)	S (kg)	styro foam (kg)	Foam(kg)		$\gamma_{con}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	P
						foam agent (kg)	W <sub>i</sub>			
11	460	0	230	0	18.10	0	0	0.64	26	0.57
12	520	0	260	0	16.67	0	0	0.77	25.8	0.56
13	320	0	160	0	5.09	0.53	22.72	0.41	8.1	0.71
14	380	0	190	0	4.75	0.49	21.21	0.42	9.8	0.71
15	460	0	230	0	4.31	0.45	19.21	0.55	36.6	0.65
16	520	0	260	0	3.97	0.41	17.70	0.64	47	0.56
17	320	0	160	0	11.88	0.23	9.74	0.44	14.3	0.69
18	380	0	190	0	11.09	0.21	9.09	0.49	16.8	0.69
19	460	0	230	0	10.05	0.19	8.23	0.55	26.2	0.61
20	520	0	260	0	9.26	0.18	7.59	0.65	23.4	0.56
21	460	0	276	0	0	0.58	25.49	0.61	22.0	0.55
22	460	0	276	0	8.38	0.29	12.74	0.57	14.6	0.54
23	460	0	276	0	16.76	0	0	0.55	10.8	0.56
24	460	0	184	0	0	0.68	29.55	0.56	11.9	0.65
25	460	0	184	0	9.72	0.34	14.77	0.62	32	0.60
26	460	0	184	0	19.43	0	0	0.53	18.7	0.66
27	250	0	125	125	0	0.75	32.10	0.53	12.6	0.66
28	300	0	150	150	0	0.70	30.74	0.55	13.3	0.67
29	350	0	175	175	0	0.65	28.51	0.36	7.1	0.78
30	400	0	200	200	0	0.60	26.29	0.80	28.6	0.56
31	200	0	100	200	0	0.77	33.50	0.51	2.8	0.68
32	250	0	125	250	0	0.71	30.85	0.60	5.9	0.62
33	300	C	150	300	0	0.64	28.20	0.84	9.4	0.54
34	350	C	175	350	0	0.58	25.55	0.90	31.8	0.54
35	150	C	75	350	0	0.80	34.88	0.42	2	0.73
36	200	C	100	225	0	0.73	31.80	0.54	3.2	0.68
37	250	C	125	300	0	0.66	28.73	0.79	5.3	0.58
38	300	C	150	375	0	0.59	25.65	0.93	10.7	0.56
39	495	C	248	0	15.6	0.15	7.35	0.52	17.3	0.67
40	450	45	248	0	15.6	0.15	7.35	0.59	21.7	0.62
41	580	0	290	0	13.16	0.15	7.35	0.61	12.5	0.61
42	528	52	290	0	13.16	0.15	7.35	0.75	28.6	0.55
43	361	19	190	0	0	0.69	30.02	0.43	13	0.64
44	342	38	190	0	0	0.68	29.64	0.55	6.8	0.63
45	323	57	190	0	0	0.67	29.26	0.59	3.3	0.60
46	304	76	190	0	0	0.66	28.88	0.44	17.6	0.62
47	361	19	190	0	9.87	0.34	15.01	0.50	29.6	0.65
48	342	38	190	0	9.75	0.34	14.82	0.52	16.7	0.63
49	323	57	190	0	9.62	0.33	14.63	0.53	20.9	0.62
50	304	76	190	0	9.50	0.33	14.44	0.54	18.2	0.61
51	361	19	190	0	19.74	0	0	0.45	13.3	0.70
52	342	38	190	0	19.49	0	0	0.43	14.7	0.69
53	323	57	190	0	19.24	0	0	0.44	7.5	0.68
54	304	76	190	0	18.90	0	0	0.47	9.4	0.66
55	400	0	180	0	0	0.79	38.86	0.38	11.9	0.69
56	360	40	180	0	0	0.79	38.58	0.46	11.4	0.69
57	320	80	180	0	0	0.78	38.32	0.44	5.2	0.68
58	280	120	180	0	0	0.78	38.05	0.28	3.1	0.70

	c (kg)	SF + FA (kg)	W (kg)	S (kg)	styro foam (kg)	Foam(kg)		$\gamma_{con}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	P
						foam agent (kg)	W <sub>i</sub>			
59	240	160	180	0	0	0.77	37.78	0.41	4.3	0.70
60	200	200	180	0	0	0.77	37.51	0.46	6.1	0.65
61	360	40	200	0	16.38	0.20	9.82	0.38	8.5	0.70
62	320	80	200	0	16.21	0.20	9.73	0.39	9.3	0.70
63	280	120	200	0	16.10	0.20	9.66	0.45	13.4	0.65
64	240	160	200	0	15.96	0.20	9.57	0.48	10.9	0.64
65	200	200	200	0	15.82	0.20	9.50	0.48	11.0	0.60
66	360	40	200	0	11.69	0.33	16.37	0.43	10.1	0.70
67	320	80	200	0	11.59	0.33	16.22	0.45	8.9	0.70
68	280	120	200	0	11.52	0.33	16.12	0.45	1.1	0.66
69	240	160	200	0	11.41	0.33	15.97	0.47	10.7	0.64
70	200	200	200	0	11.31	0.32	15.83	0.46	7.2	0.64
71	365	0	183	365	14.18	0.15	7.35	0.64	7.2	0.60
72	410	0	205	410	12.28	0.15	7.35	0.78	17.0	0.56
73	315	0	158	630	11.90	0.15	7.35	0.84	10.0	0.57

을 실시한 후 탈형하여 28일까지 20±2℃의 항온수조에서 수중양생을 실시하였다.

여기서 C : unit cement weight, P : 기포율

SF : silica-fume, FA : fly-ash

W<sub>i</sub> : 희석수,  $\gamma_{con}$  : 단위체적중량

## 2.2 실험 방법

실험의 수행과정은 Fig. 1과 같다.

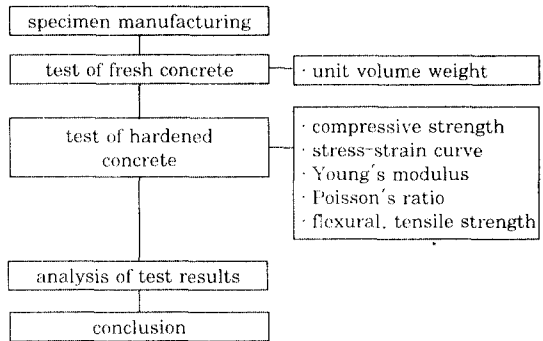


Fig. 1 Procedure of the test

## 3. 경량기포콘크리트의 역학적 특성

### 3.1 압축강도

#### 3.1.1 단위체적중량과 압축강도와의 관계

물시멘트비(W/C)가 0.5이고 모래시멘트비(S/C)

가 0인 경량기포콘크리트 시편의 단위체적중량과 압축강도와의 관계는 Fig. 2와 같다.

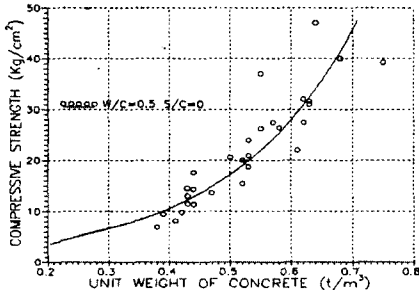


Fig. 2 Relation between unit weight and compressive strength

Table 2는 경량기포 콘크리트의 단위체적 중량에 따른 압축강도와 기포율(pore ratio)의 대표적 실험 결과이며, Fig. 2의 실험결과를 회귀 분석한 단위체적중량과 압축강도의 관계곡선은 식 1과 같다.

$$\sigma_{ck} = 1.5 e^{59 \gamma_{con}} \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{ck}$  : 압축강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_{con}$  : 단위체적중량 (t/m<sup>3</sup>)  
 correlation : 0.9

Table 2 Comp. strength and pore ratio by unit weight

unit weight (t/m <sup>3</sup> )	compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	pore ratio
0.38	7	0.72
0.44	18	0.65
0.50	21	0.62
0.55	37	0.59
0.64	47	0.56

### 3.1.2 재령에 따른 압축강도 특성

Fig. 3에서 W/C를 0.5로 고정시켜 놓고 단위시멘트량을 변화시켜 단위체적중량에 따른 7일 강도와 28일 강도를 비교하였다.

Fig. 3에서 단위체적중량의 증가에 따라 압축강도의 증가비율이 높아지며, 평균적으로는 28일강도가 7일강도의 1.7배 정도이다.

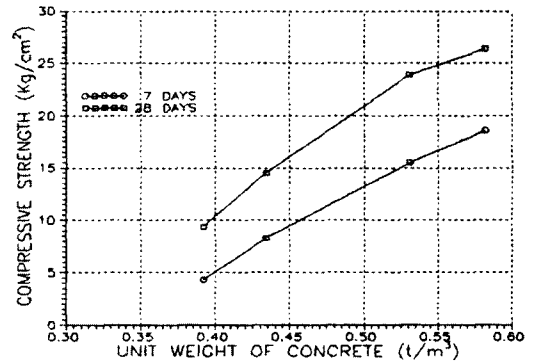


Fig. 3 Compressive strength of 7 and 28 days by unit weight

Fig. 4는 스티로폼(styrofoam)을 치환하지 않은 경량기포콘크리트의 7일 압축강도와 28일 압축강도와의 관계를 나타내었고, 회귀분석으로부터 7일 압축강도와 28일 압축강도 사이의 다음의 관계식을 얻었다.

$$\sigma_{28} = 1.27 \sigma_7 + 2.57 \quad (2)$$

여기서  $\sigma_7$ ,  $\sigma_{28}$  : 7일, 28일 압축강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 correlation : 0.99

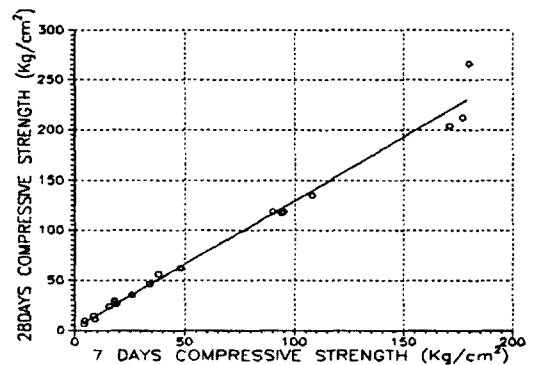


Fig. 4 Relation between 7 and 28 days compressive strength

### 3.2 응력-변형률 관계

본 연구에서는 일축압축시험으로부터 응력-변형률 관계곡선을 도출했으며, Fig. 5는 기포율이 0.61인 경량기포콘크리트의 응력-변형률 관계곡선으로  $\epsilon_1$ 은 종방향변형률이고  $\epsilon_2$ 는 횡방향변형률이다.



Fig. 5 Stress-strain curve (pore ratio=0.61)

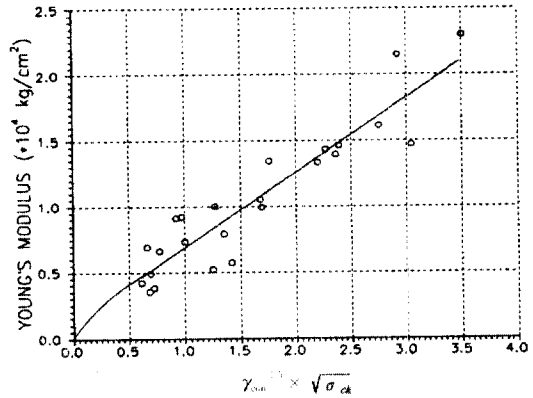


Fig. 6 Relation between Young's modulus and  $\gamma_{cm}^{1.5} \times \sqrt{\sigma_a}$

### 3.3 탄성계수와 포아송비

본 연구에서는 경량기포콘크리트의 할선탄성계수를 일반화된 공식으로 제시하기 위하여 응력-변형률 곡선의 원점과 극한강도의 50% 응력에서의 점을 연결한 직선기울기를 할선탄성계수값으로 정의하여 3개 시편의 평균값을 구하였다. Table 4는 경량기포콘크리트의 압축강도, 단위체적중량, 탄성계수의 대표값을 나타낸다. 보통콘크리트의 탄성계수는  $20 \sim 30 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$  범위인데 비해 경량기포콘크리트의 탄성계수는  $0.3 \sim 3 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$  범위로 보통콘크리트 탄성계수의 1~15% 정도이다.

Table 4 Compressive strength and Young's modulus

unit weight (t/m <sup>3</sup> )	compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ )
0.39	7.38	0.4
0.49	15.4	0.8
0.55	36.6	1.6
0.64	47.0	2.3

Fig. 6은 경량기포콘크리트의 탄성계수를 단위체적중량과 압축강도와 의 식으로 표현하기 위하여 단위체적중량과 압축강도의 곱 ( $\gamma_{cm}^{1.5} \times \sqrt{\sigma_a}$ )에 대한 탄성계수를 나타낸 것이다. 회귀분석결과 식 3을 얻었다.

$$E = 6326 \gamma_{cm}^{1.5} \sqrt{\sigma_a} \quad (3)$$

여기서 E : Young's modulus (kg/cm<sup>2</sup>)  
correlation : 0.93

경량기포콘크리트의 탄성범위내에서 종방향변형률( $\epsilon_1$ )과 횡방향변형률( $\epsilon_2$ )의 비로부터 구한 경량기포콘크리트의 포아송비( $\nu$ )와 보통콘크리트, ALC 등의 포아송비를 비교하면 Table 5와 같다. 평균 포아송비는 0.2이며 실험결과 경량기포콘크리트의 포아송비와 단위체적중량, 압축강도와는 특별한 관계는 없었고, 기포량과 스티로폼의 혼합량과도 뚜렷한 상관관계는 발견되지 않았다.

Table 5 Poisson's ratio

types	Poisson's ratio
lightweight foamed concrete	0.15~0.25
normal concrete	0.16~0.20
ALC	0.17~0.20

### 3.4 쪼갬인장강도

본 실험에서는 불시멘트비가 0.5인  $10 \times 20 \text{cm}$  원통형시편을 이용하여 KSF 2423 (콘크리트의 인장강도 시험방법)에 근거하여 쪼갬인장강도 시험을 수행했다. 경량기포콘크리트의 단위체적 중량이  $0.38 \sim 0.75 \text{t/m}^3$  범위인 경우 쪼갬인장강도는  $1.4 \sim 8.1 \text{kg/cm}^2$ 이었다. Fig. 7은 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계를 나타낸 것으로 보통콘크리트의 경우 압축강도에 대한 쪼갬인장강도의 비가 0.08~0.11 정도이지만 경량기포콘크리트의 경우 압축강도에 대한 쪼갬인장강도의 비가 0.2~0.4로서 상대적으로 보통콘크리트에 비해 높은 것으로 나타났다.

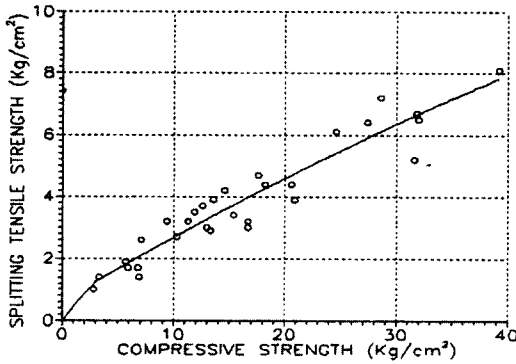


Fig. 7 Relation between compressive strength and split tensile strength

Fig. 7에 나타난 압축강도와 쪼갬인장강도와의 회귀분석관계식은 식 4와 같다.

$$\sigma_t = 1.03 \sqrt{\sigma_c} \quad (4)$$

여기서  $\sigma_t$  : 쪼갬인장강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )  
correlation : 0.9

### 3.5 휨강도

본 연구에서는 물시멘트비가 0.5인  $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ 인 보시편을 이용하여 KSF 2407 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 근거하여 3등분재하법으로 휨강도실험을 실시하였다. 경량기포콘크리트의 휨강도는 단위체적중량에 따라  $3 \sim 14 \text{kg/cm}^2$ 의 범위에 있고, 보통콘크리트의 압축강도에 대한 휨강도비는 0.14~0.2 정

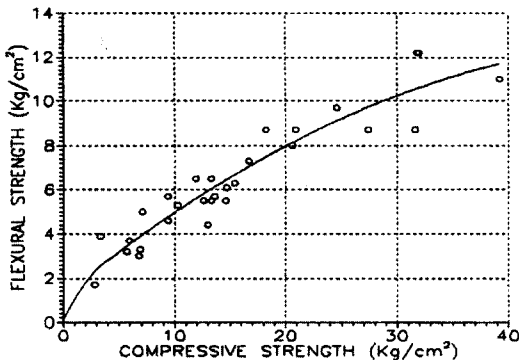


Fig. 8 Relation between compressive strength and flexural strength

도이지만 경량기포콘크리트는 0.3~0.6으로 보통 콘크리트보다 압축강도에 대한 휨강도의 비가 높은 특성을 가지고 있다. Fig. 8은 압축강도와 휨강도의 상관관계를 도시한 것이다.

Fig. 8에 나타난 경량기포콘크리트의 압축강도와 휨강도와의 회귀분석관계식은 식 5와 같다.

$$\sigma_b = 1.74 \sqrt{\sigma_c} \quad (5)$$

여기서  $\sigma_b$  : 휨강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )  
correlation : 0.9

### 3.6 단위체적중량

Fig. 9에 나타난 것과 같이 굳지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 기건단위체적중량과는 거의 선형적인 관계를 이루고 있음을 알 수 있는데 이 관계를 회귀분석하면 다음 식과 같다.

$$\gamma_{con} = \gamma_{fresh} - 0.131 \quad (6)$$

여기서  $\gamma_{fresh}$  : fresh concrete의 단위중량 ( $\text{t/m}^3$ )  
correlation : 0.99

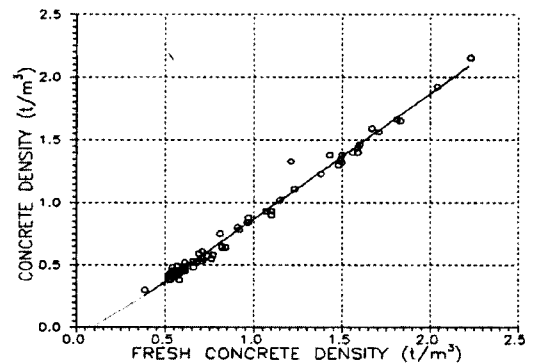


Fig. 9 Relation between fresh concrete density and hardened concrete density

### 3.7 경량기포콘크리트의 기포분석

경량기포콘크리트의 기포크기가 강도증가에 영향을 미친다고 경험적으로 알려져 있으나, 일반적으로

경량기포콘크리트의 강도특성은 모재(matrix)가 된 시멘트 페이스트 부분의 강도와 기포량만의 관계로 연구되어지고 있다. 보통 기포는 거포크기가 큰 거시기포와 작은 미시기포로 구성되며, 거시기포 분포는 image분석을 통해 측정하고 미시기포 분포는 수은주입방법에 의해 측정된다.<sup>7) 8) 9)</sup> 본 연구에서는 기포율이 0.76, 0.72, 0.69, 0.65, 0.61, 0.59, 0.58, 0.51이고, 스티로폼을 혼합하지 않은 단면적이 10×10cm인 8개 시편의 중심부를 절단연마하여 image분석을 실시하여 경량기포콘크리트 거시기포의 평균크기와 분포를 측정하였다. 평균기포크기는 250~460 $\mu$ m 범위에 존재하였다. Table 6은 분석결과를 나타낸다.

Table 6 Pore ratio

	pore ratio	mean pore size( $\mu$ m)	unit weight (t/m <sup>3</sup> )	compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.76	454	0.37	6.9
2	0.72	436	0.39	9.4
3	0.69	428	0.43	14.5
4	0.65	342	0.52	15.4
5	0.61	311	0.53	23.9
6	0.59	285	0.58	26.4
7	0.58	263	0.63	31.6
8	0.51	256	0.75	39.2

Fig. 10은 기포율에 따른 경량기포콘크리트의 단면형상을 스캐닝한 그림이다.

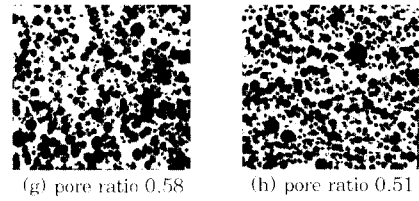
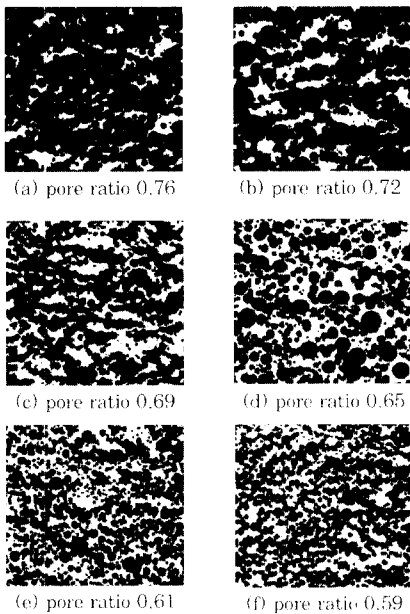


Fig. 10 Cross sections with different pore ratios

Fig. 11은 image분석을 통해 측정한 각 시편의 기포분포를 나타낸 것이다.

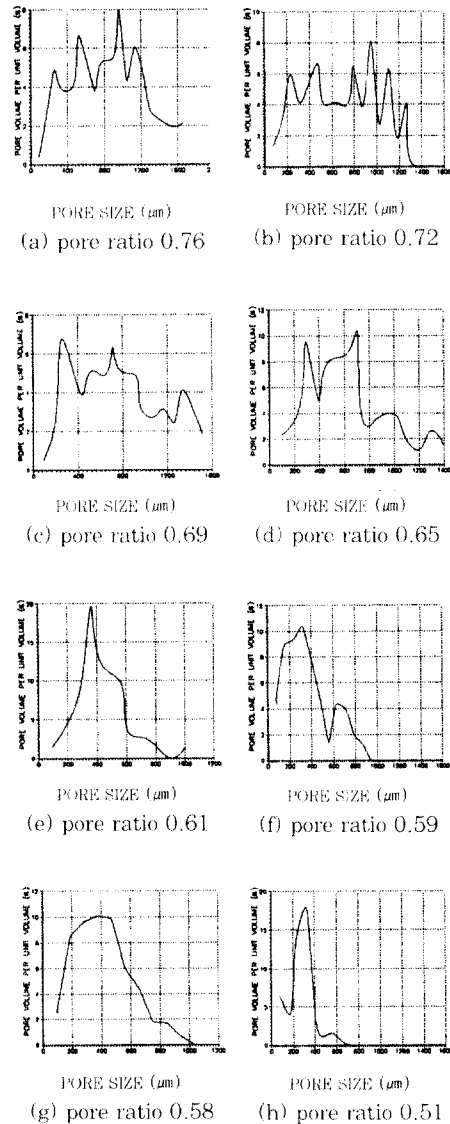


Fig. 11 Pore distributions by pore ratios

Fig. 12는 평균기포크기 250~460 $\mu\text{m}$  범위에서 실험과 이에 따른 회귀분석으로 구한 평균기포크기와 압축강도와의 관계를 나타낸다.

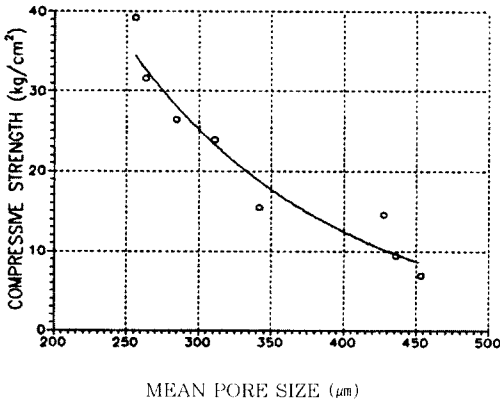


Fig. 12 Relation between mean pore size and compressive strength

Fig. 12의 실선으로 나타낸 것처럼 실험결과를 회귀분석하면 식 7과 같다.

$$\sigma_{ck} = 243 e^{-0.01D} \quad (7)$$

여기서 D : 평균기포크기 ( $\mu\text{m}$ )  
correlation : 0.97

Fig. 13은 실험결과와 회귀분석으로 구한 기포율과 평균기포크기와의 관계를 나타낸 것으로 기포율이 증가할수록 평균기포크기도 증가함을 알 수 있다. 회귀분석결과 식 8을 얻는다.

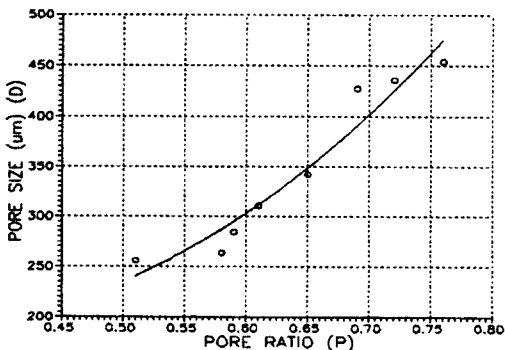


Fig. 13 Relation between pore ratio and mean pore size

$$D = 663P^2 - 113P \quad (8)$$

여기서 P : 기포율

correlation : 0.97

#### 4. 결 론

고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 경량기포콘크리트의 재령에 따른 압축강도, 굳지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 굳은 콘크리트의 단위체적중량 사이의 상관관계 및 기포율과 단위체적중량을 함수로 하는 압축강도 추정공식을 제안하였다.
2. 개발된 경량기포콘크리트는 쪼갬인장강도가 압축강도의 0.2~0.4인 범위이고, 휨강도는 압축강도의 0.3~0.6인 범위로서 보통콘크리트보다 강도특성이 우수하였다. 또한 설계에 활용할 수 있도록 쪼갬인장 강도-압축강도, 휨강도-압축강도 사이의 실험식을 제시하였다.
3. 경량기포콘크리트의 탄성계수는  $0.3 \sim 3 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$  범위로 보통콘크리트 탄성계수의 1~15% 정도이었다. 또한 압축강도, 단위체적중량을 함수로 하는 탄성계수 추정식을 제안하였다. 경량기포콘크리트의 포아송비는 0.15~0.25의 범위이고, 이 값은 보통콘크리트의 것과 거의 유사한 값을 규명하였다.
4. 개발된 경량기포콘크리트는 평균기포크기 250~460 $\mu\text{m}$  범위의 기포크기를 가지며 압축강도는 평균기포크기의 영향을 받는 것으로 나타났고, 기포율이 증가할수록 평균기포크기도 증가함을 밝혔다. 또한 평균기포크기와 압축강도와의 상관관계, 기포율과 평균기포크기와의 상관관계를 실험식으로 제시하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Short, A. and Kinniburgh, W., Lightweight Concrete, 3rd Ed., Applied Science Publishers Ltd., London, 1978, pp. 1-14.



2. Neville, A. M., Properties of Concrete, Pitman, 3rd Ed., pp. 605-629.
3. 三島信雄, 長尾和之, "氣泡セメント盛土工法(FCB工法)の研究", 日本土木學會誌, Vol. 79, No. 1, 1994, pp. 18-19.
4. 山田純男, 白井朗, "發泡ビーズ混合輕量盛土工法", 特集輕量盛土工法, 1994, pp. 22-27.
5. 森範行, 佐勝常雄, 桑原正彦, 草刈太一, "氣泡混合補強土工法", 特集輕量盛土工法, 1994, pp. 28-36.
6. 변근주, 송하원, 박상순, "고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 개발(1)", 콘트리트학회지, 제9권, 1호, 1997.
7. 山田哲夫, "超輕量コンクリート開發", セメント・コンクリート, No. 577, 1995, pp. 32-36.
8. 藤原活巳, 下山善秀, 田中敏嗣, "輕量氣泡コンクリートの高強度化に関する研究" 第44會セメント技術大會講演集, 1990, pp. 446-451.
9. 三島信雄, 長尾和之, 福岡一幸, "氣泡混合輕量土を用いた東名高速道路の擴幅工事", 土木技術, 49卷, 8號, 1994, pp. 76-79.

(접수일자 : 1996. 8. 6)