

## 플라이애쉬를 혼입한 현장타설 경량기포콘크리트의 물리적 특성 및 품질관리

이도현<sup>1)</sup> · 전명훈<sup>1)</sup> · 고진수<sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>대한주택공사 주택연구소

(2000년 11월 16일 원고접수, 2001년 1월 15일 심사완료)

### Physical Properties and Quality Control of Foamed Concrete with Fly Ash for Cast-in-Site

Do-Heun LEE<sup>1)</sup>, Myoung-Hoon JUN<sup>1)</sup>, and Jin-Soo KO<sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup> Korea National Housing Corporation, Sungnam, 463-704, Korea

(Received on November 16, 2000, Revised on January 15, 2001)

#### ABSTRACT

Foamed concrete for cast-in-site, which shows excellent lightweight, thermal insulation, noise insulation, constructability and cost efficiency, has been applied as thermal insulation or filling material for On-dol. However, the technology is too insufficient to obtain the high level of quality, and serious problems often occur in quality control at sites. It, thus, is necessary to establish the proper and reasonable quality control method for ensuring the required quality, based on the investigation on the physical properties and their reciprocal relation. This study aims to settle the quality control method in case of applying FA foamed concrete replacing 40% by weight with fly-ash as the filling material for On-dol.

The results of the study include the correlation among flow, as-placed density and foam ratio of fresh foamed concrete, the correlation between physical properties before hardening and after 28-day, provision of an equation to estimate 28-day compressive strength early with 7-day compressive strength, and suggestion of quality criteria for the revision of KS on foamed concrete for cast-in-site.

**Keywords :** On-dol, foamed concrete, as-placed density, foam ratio, quality control

#### 1. 서 론

최근 국내의 건설업계에서는 경쟁력 강화를 위한 공사비 절감과 성능향상을 위한 기술개발이 끊임없이 이루어지고 있다. 이러한 의미에서 경량기포콘크리트는 비중이 낮은 경량재료로서 경제성 및 단열성, 흡음성, 시공성 등도 우수하여 건설재료로서의 가치 및 활용도가 매우 높다.

ALC (Autoclave Lightweight Concrete)는 가장 대표적인 경량기포콘크리트로서, 외국에서는 범용화되어 많이 사용되고 있으며, 국내에서도 경량블럭 등의 건식건축자재로 사용되고 있다<sup>1)</sup>.

또한, 현장타설용 경량기포콘크리트는 펌프타설이 가능하여 시공성이 좋을 뿐만 아니라 재료비 및 공사비 절감에 효과적이다<sup>2)</sup>. 일본에서는 경사지나 연약지반에서의 도로확

폭 성토·교대·옹벽 뒷채움재 등으로 기포혼합경량토를 사용한 성토공법인 FCB 공법(Foamed Cement Banking Method)<sup>3)</sup>이 많이 적용되고 있다. 국내에서는 이와 같은 용도로써 발포스티로폼을 블록제품으로 만들어 성토용 재료로 사용하는 EPS (Expanded Polystyrene) 공법이 적용되고 있으나, FCB 공법보다 2배 정도나 비싸므로 동일한 용도로는 FCB 공법의 적용이 기대된다.

우리나라에서의 현장타설용 경량기포콘크리트는 주로 온돌 바닥용의 채움재 또는 단열재로 사용되고 있다. 이것은 과거에 온돌바닥 구성층의 일부로써 존재하던 자갈층의 시공성이 나쁘고 골재자원의 고갈로 경제성도 불리하므로 자갈층의 대체재료로써 사용하기 위한 것이다.

그러나, 경량기포콘크리트에 대한 국내외의 관련규격이 제정되고 일부의 단편적인 연구<sup>4-9)</sup>가 수행되어 왔다. 그러나 대부분 단열성 향상을 목적으로 하였으며, 온돌 채움용으로서의 현장품질관리를 위한 각 물리적 성질간의 상관성에 관한 종합적인 분석 등 세부적인 기술개발이 미흡하여

\* Corresponding author

Tel : 031-738-4702 Fax : 031-738-4757

E-mail : jsgo@hri.knhc.co.kr

Table 1 Quality of foamed concrete for cast-in-site (KS F 4039)

Grade	Fresh foamed concrete			Hardened foamed concrete				
	As-placed density	Flow (mm)	Settlement (mm)	Bulk density	Compressive strength $N/mm^2$ { $kgf/cm^2$ }		Thermal conductivity $W/(mk)$ { $kcal/mh^{\circ}C$ }	Length change ratio (%)
					7 days	28 days		
0.4	over 0.39	over 180	less than 15	0.3 to 0.4	over 0.15(1.10)	over 0.8(8.15)	less than 0.130(0.112)	less than 0.50
0.5	over 0.52	over 180	less than 10	0.4 to 0.5	over 0.9(9.18)	over 1.4(14.28)	less than 0.160(0.138)	less than 0.40
0.6	over 0.72	over 180	less than 6	0.5 to 0.7	over 1.5(15.30)	over 2.0(20.39)	less than 0.190(0.165)	less than 0.30

현장품질 관리에 많은 어려움을 겪고 있다.

현장타설용 경량기포콘크리트는 제조·시공방법 및 양생 조건 등에 따라 품질편차가 크게 나타나므로, 소요의 성능을 확보하기 위해서는 물리적 성질에 대한 상세한 검토와 실험결과에 근거한 시험기준 및 품질관리 기법을 정립할 필요가 있다. 따라서 산업자원부 기술표준원에서는 1999년 8월에 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)를 제정하여 Table 1과 같이 품질을 규정하였으나, 관련업계에서는 각 규정값에 대하여 부분적으로 문제점을 지적하여 왔다.

또한, 일반적으로 현장에서 온돌용 기포콘크리트를 시공하는 경우, 28일 압축강도를 측정하기 이전에 그 상부층에 배관작업 및 모르타르층 타설 등의 후속공정이 완료되어야 한다. 그러므로 기포콘크리트의 28일 압축강도 시험결과가 소요의 강도에 미치지 못한 것으로 판정될 경우에도 철거 및 재시공이 매우 곤란하게 된다.

본 연구는 시멘트의 일부를 산업부산물인 플라이애시로 치환한 온돌채움용 FA기포콘크리트의 품질관리방안을 검토한 것이다. 여기에서는 경량기포콘크리트의 플로우, 기포 슬러리 비중, 기포율 및 경화후의 겉보기 비중과 압축강도에 대한 물리적 특성을 구명하고, 각 특성값의 상관성을 분석하여, 기포콘크리트의 현장품질관리를 위한 새로운 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

본 실험에서는 H사 보통포틀랜드시멘트(비중 3.15, 분말도  $3,150cm^2/g$ ), 보령산 플라이애시(비중 2.28), 상수도수, S사의 동물성 단백질계 기포제와 식물성 계면활성계 기포제

Table 2 Physical properties of foam agent

Type	Specific gravity	pH	Dilution ratio
Animal protein	1.12	6.8	1 : 30
Vegetable surfactant	1.03	6.9	1 : 50

를 사용하였다. 각 기포제의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

### 2.2 배합계획

본 실험의 배합인자 및 수준은 Table 3과 같다. 여기서 기포율은 경량기포콘크리트의 체적에 대한 기포의 체적비이며, 물-결합재비(W/B)는 시멘트와 플라이애시의 혼합량에 대한 혼합수의 중량비를 나타낸다. 또한, 기포율 및 W/B는 현장에서 일반적으로 사용되는 경량기포콘크리트의 특성을 고려하여 설정하였다.

### 2.3 시험체 제작 및 측정

#### 2.3.1 시험체 제작 및 양생

경량기포콘크리트의 제조는 시멘트에 플라이애시를 중량비 40%로 치환한 분체를 배치형 믹서기에 넣고 물과 약 2분간 혼합하여 페이스트를 만들었다. 이와는 별도로, 기포제를 일정 압력으로 기포발생장치에 통과시켜 기포를 제조하였다. 그 후, 믹서내의 페이스트에 기포를 넣으면서 약 3분간 혼합하여 경량기포콘크리트를 제조하였다. 또한 압축강도 시험을 위하여 KS F 2459(기포콘크리트의 겉보기비중, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법)에 따라  $\phi 10 \times 20cm$  실린더 공시체를 제작하였으며, 2일후에 탈형하고 폴리에틸렌 주머니에 넣어 20°C의 수조에 띄워 놓아 항상 규정온도 18~24°C의 조건에서 양생하였다.

#### 2.3.2 플로우 시험

경량기포콘크리트의 플로우 시험은 시료를 제조한 직후에 KS F 4039의 규정에 따라 측정하였다.

Table 3 Classifications of mix

Factor	Level
Type of foam agent	Animal, Vegetable
Foam ratio (%)	60, 65, 70, 75
W/B (%)	50, 55, 60
Ratio of replacement with fly ash (%/C.wt)	40

### 2.3.3 기포슬러리 비중 시험

경량기포콘크리트의 기포슬러리 비중 시험은 시료를 제조한 직후에 KS F 4039의 규정에 따라 측정하였다.

### 2.3.4 기포율 시험

경량기포콘크리트의 기포율은 슬러리 상태의 시료중에 포함된 기포의 체적을 나타내는 것으로서, 온돌바닥용은 일반적으로 60% 전후이다. 그러므로 기포율은 압축강도 등 각종 물리적 특성에 큰 영향을 미치지만, KS 관련규격에는 기포율에 대한 규정이 포함되어 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 기포율이 경량기포콘크리트의 물성에 미치는 영향과 기포율에 의한 품질관리의 가능성을 판단하기 위하여 일부 기포제 제조업체에서 제시하고 있는 가칭 소포법<sup>10)</sup>(Foam breaking method)과 간이소포법(Simplified foam breaking method)에 의한 기포율을 측정하였다.

소포법은 500cc 메스실린더에 시료(경량기포콘크리트의 슬러리) 200cc를 넣고 물 200cc를 더하여 플라스틱 병으로 1분간 잘 저어서 기포를 분리시켰다. 그 후 알콜 100cc를 더하여 다시 1분간 저어서 완전히 소포시킨 후 메스실린더 눈금을 읽어 체적을 측정하였다.

간이소포법은 시료 200cc를 채취한 메스실린더에 물을 더하지 않고 직접 알콜 100cc를 더하여 슬러리중의 기포를 소포시킨다는 점만 소포법과 다르다.

기포율은 다음 식(1)에 의하여 구한다.

$$\text{기포율(\%)} = \frac{\text{소포전 체적(cc)} - \text{소포후 체적(cc)}}{\text{시료량(200cc)}} \times 100 \quad (1)$$

## 2.3 결보기 비중 시험

결보기 비중 시험은 KS F 2459(기포콘크리트의 결보기 비중, 흡수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법)에 의하여 측정하였다. 그러나, 기포콘크리트를 장기간 수중에서 양생한 경우, 내부의 기포제 성분이 유출되어 다량의 기포가 발생하였기 때문에 수중양생을 하지 않고 폴리에틸렌 주머니에 넣어 밀봉양생한 후 105±5℃에서 항량이 될 때까지 건조시켜 측정하였다.

### 2.3.6 압축강도 시험

경량기포콘크리트의 압축강도는 KS F 2459에 의하여 측정하였으며, 경량기포콘크리트의 압축강도가 매우 낮은 점을 고려하여 용량 5ton(정밀도 0.1kg)의 Isntron사 만능재료시험기를 사용하였다.

압축강도 측정재령은 7일과 28일의 2종류로 하였으며, 1개조당 5개를 제작하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 경화전 기포콘크리트의 물성

#### 3.1.1 플로우

경량기포콘크리트는 시공성 측면에서 높은 유동성이 요구되므로, 각종 배합요인이 유동성에 미치는 영향을 고려하여 적절한 배합설계를 하여야 한다. Table 4는 본 연구에서 검토한 각종 배합 및 실험결과를 나타내는 것으로서, 경량기포콘크리트의 유동성을 판단하기 위하여 기포제의 종류별로 기포율과 W/B에 따른 플로우값의 변화경향을 파악하고자 하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다.

이상의 결과로부터 경량기포콘크리트의 플로우는 기포율이 클수록 저하되며, 그 경향은 각 그래프의 기울기로부터 W/B가 클수록 현저하게 나타난다. 또한 W/B가 높을수록 플로우는 증대하지만 기포율이 70% 이상이면 거의 동일한 유동성을 나타낸다. 따라서 W/B가 증대할수록 플로우가 증대하는 것은 일반적인 현상과 동일하지만, 기포율의 차이에 의한 유동성에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 기포율이 증대할수록 상대적으로 분체량이 감소하여, 독립적으로 분포되어 있는 기포가 페이스트의 자중에 의한 흐름을 방해하기 때문이라고 추정된다.

이상의 플로우에 미치는 배합조건의 영향은 기포제의 종류에 관계없이 동일한 경향을 나타내었다. 단 동물성기포제가 식물성기포제보다 상대적으로 유동성이 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 특정의 제품에 한정된 측정값이므로, 일반적으로 동물성기포제가 식물성기포제보다 유동성면에서 반드시 좋다고 할 수는 없다.

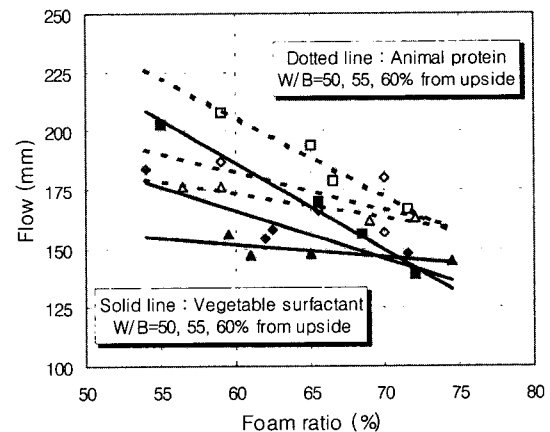


Fig. 1 Flow vs. foam ratio

Table 1 Mix proportions and test result of foamed concrete

Mix No.*	Type of foam agent	W/B (%)	Foam ratio (%)	Unit weight			Test result					
				Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Fly ash (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Flow (mm)	As-placed density	foam ratio ** (%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		Bulk density
										7 days	28 days	
A I i	Vegetable	50	60	282	188	235	156	0.70	60	9.1	18.5	0.427
A I ii		55	60	267	178	245	184	0.73	55	14.0	19.9	0.463
A I iii		60	60	253	168	252	203	0.72	56	12	22.3	0.556
A II i		50	65	248	164	206	147	0.63	61	4.2	5.7	0.506
A II ii		55	65	233	155	214	158	0.58	65	4.4	6.8	0.485
A II iii		60	65	221	147	221	170	0.61	68	8.3	12.1	0.457
A III i		50	70	211	141	177	148	0.63	65	2.1	3.0	0.473
A III ii		55	70	200	133	183	154	0.60	69	1.3	1.8	0.411
A III iii		60	70	190	126	189	156	0.55	72	5.4	7.9	0.382
A IV i		50	75	176	118	147	145	0.46	78	1.5	2.0	0.332
A IV ii		55	75	167	111	153	148	0.53	74	1.0	1.4	0.353
A IV iii		60	75	158	105	158	139	0.44	74	2.8	2.9	0.311
B I i	Animal	50	60	282	188	235	176	0.71	59	11.8	20.9	0.563
B I ii		55	60	267	178	245	187	0.72	60	13.1	21.8	0.533
B I iii		60	60	253	168	252	208	0.71	60	10.0	22.9	0.519
B II i		50	65	248	164	206	176	0.62	59	5.4	8.1	0.470
B II ii		55	65	233	155	214	180	0.54	72	3.6	7.1	0.376
B II iii		60	65	221	147	214	194	0.65	67	8.0	12.1	0.458
B III i		50	70	211	141	177	162	0.61	65	4.6	7.2	0.436
B III ii		55	70	200	133	183	166	0.61	71	4.3	6.3	0.409
B III iii		60	70	190	126	189	179	0.55	70	5.3	8.9	0.351
B IV i		50	75	176	118	147	163	0.49	74	2.9	4.0	0.332
B IV ii		55	75	167	111	153	157	0.51	74	1.9	3.0	0.345
B IV iii		60	75	158	105	158	167	0.46	74	2.8	4.3	0.309

\* A - I - i : Type of foam agent - Foam ratio - W/B  
 \*\* The foam ratio is obtained by the foam breaking method

### 3.1.2 기포슬러리 비중

기본적으로 기포는 단순한 공기층이므로 경량기포콘크리트의 중량은 배합에 투입된 분체와 물의 중량에 따라서 좌우될 것이며, 이것은 배합직후의 슬러리의 비중으로 나타날 것이다.

Fig. 2는 실험에 의한 기포슬러리 비중(선그래프, 좌측 Y축)과 배합비 계산에 의한 이론적 단위용적중량(막대그래프, 우측 Y축)을 나타낸다. 또한, X축의 기호 I~IV는 기포율 60, 65, 70, 75%를 나타내며, i~iii은 W/B 50, 55, 60%를 나타낸다.

이론적으로 기포슬러리 비중의 실험값과 배합비 계산에 의한 단위중량은 동일한 값이어야 한다. 그러나, 기포슬러리

비중의 실험값은 계산값보다 약간 높게 나타났는데, 그것은 실험오차의 원인도 있으나, 전체적으로 보면 배합중에 기포의 일부가 소포되어 상대적으로 분체 및 물의 양이 증가하였기 때문으로 생각된다.

이러한 경량기포콘크리트 소포현상은 제조시뿐만 아니라 현장에서 고압으로 압송하여 타설할 경우에도 발생할 가능성이 있으므로 이러한 소포현상을 고려한 배합설계가 요망된다.

Fig. 3은 W/B 및 기포율이 다른 각종 배합을 대상으로 하여 기포슬러리 비중과 플로우의 관계를 각 W/B별로 나타낸 결과로써, 경량기포콘크리트의 플로우는 W/B가 높을수록, 기포슬러리 비중이 클수록 증가하는 경향을 나타낸다.

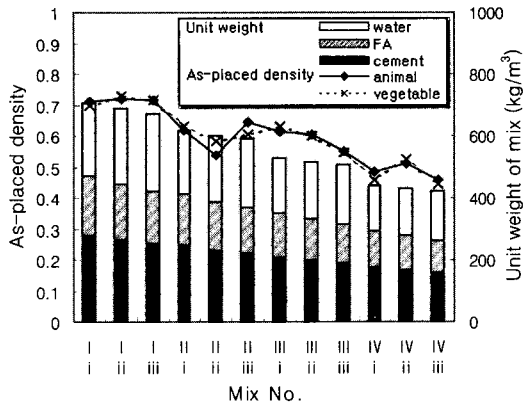


Fig. 2 Comparison of as-placed density and unit weight of mixture

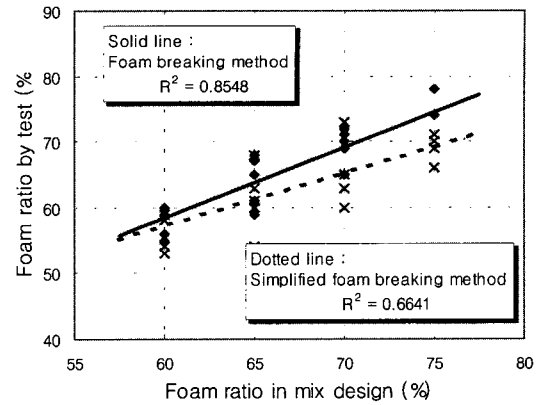


Fig. 4 Comparison of foam ratio by foam breaking method

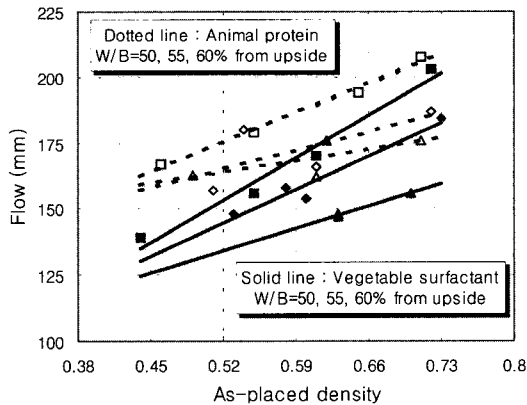


Fig. 3 Flow vs. as-placed density

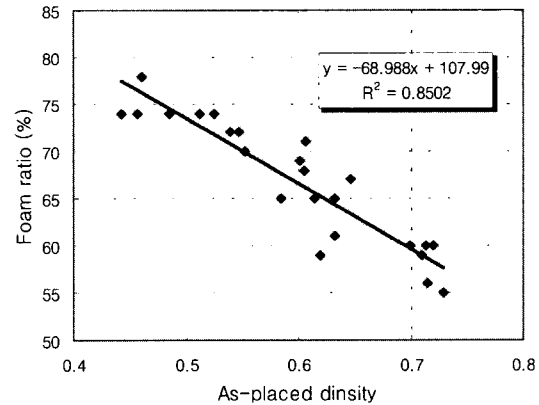


Fig. 5 foam ratio vs. as-placed density

### 3.1.3 기포율

경량기포콘크리트는 전체 체적의 약 60% 이상이 기포이므로 기포율은 기포콘크리트의 각종 물성에 절대적인 영향을 미친다. 여기에서는 우선 슬러리 상태에서 기포율을 측정하기 위한 방법을 확립하기 위하여 소포법과 간이소포법을 비교, 검토하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 기포율 측정값이 이론값보다 약간 낮게 나타난 것은 Fig. 2에서 고찰한 바와 같이 경량기포콘크리트는 혼합시에 일부의 기포가 소포되었기 때문으로 생각된다.

한편, 실험의 편리성은 물과 알콜을 사용하는 소포법보다 알콜만을 사용하는 간이소포법이 간단하며 소포효과도 좋아서 눈금의 판독에도 유리하였다. 그러나, 소포법에 의한 측정결과가 간이소포법에 의한 것보다 배합비의 이론값에 가까우며 상관계수도 높게 나타났다. 따라서, 경량기포콘크리트의 기포율 시험방법은 시험의 편리성은 다소 불리하지만 측정결과와 신뢰성이 높은 소포법을 적용함이 타당할 것으로 판단된다.

한편, Fig. 1과 Fig. 3으로부터 기포율과 기포슬러리 비중은

반비례적인 관계에 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 이와 같은 기포율과 기포슬러리 비중의 반비례적 관계를 직접 나타낸 것으로써, 결정계수 0.85 정도의 매우 큰 상관성을 나타내었다. 또한, 기포율이 10% 증가할수록 기포슬러리 비중은 0.16 정도 감소하여, Table 4의 배합비 계산 및 Fig. 2에서 W/B가 10% 증가할수록 기포슬러리 비중이 0.03 정도 증가하는 것에 비하면, 기포율의 변화가 기포슬러리 비중에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

## 3.2 경화후 기포콘크리트의 물성

### 3.2.1 압축강도

보통콘크리트의 시공중에 콘크리트 품질관리를 위하여 일반적으로 7일 압축강도를 측정하여 28일 압축강도를 추정하는 방법이 이용된다. 그러나 보통콘크리트의 공극율은 대부분 10%를 초과하지 않지만 온돌바닥용 경량기포콘크리트는 보통 내부공극이 50%를 초과하므로 7일 강도를 이용하여 28일 강도를 추정하기 위한 보통콘크리트에 대한

환산식을 경량기포콘크리트에도 그대로 적용할 수 있을지는 의문이다.

Fig. 6은 압축강도의 조기추정을 위하여 경량기포콘크리트의 7일 강도( $f_{c(7)}$ )와 28일 강도( $f_{c(28)}$ )의 관계를 나타낸 것으로서, X축은 7일 강도, Y축은 28일 강도를 나타낸다.

본 연구에서 대상으로 한 경량기포콘크리트는 7일 강도와 28일 강도가 다음 식 (2)와 같은 관계에 있으며, 결정계수는 0.9367로서 상관성이 매우 높다는 사실이 입증되었다. 따라서 경량기포콘크리트의 품질관리를 위하여 7일 강도로써 28일 강도를 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

$$f_{c(28)} = 1.7813f_{c(7)} - 0.7625 \quad (R^2=0.9367) \quad (2)$$

한편, 영국의 BS CP114(1969)에서 정육면체(cube)공시체를 대상으로 한 실험결과 등에 의하면 일반콘크리트의 7일 강도는 28일 강도의 약 67% 정도라고 알려져 있다<sup>11)</sup>. 그러나, Fig. 6에서와 같이 플라이애시를 사용한 경량기포콘크리트의 7일 압축강도는 28일 압축강도의 약 60%로써, 일반콘크리트의 재령에 따른 강도비보다 대체적으로 낮게 나타났다. 이와 같이 일반콘크리트보다 강도발현율이 낮은 원인은 내부조직의 특성차이 및 시멘트 중량의 40%를 플라이애시로 치환하였기 때문으로 판단되며, 시멘트보다 수화반응속도가 늦은 플라이애시의 치환율이 낮으면 강도비는 보다 높아질 것으로 판단된다.

### 3.2.2 결보기 비중

기본적으로 어떤 재료의 단열성은 결보기 비중과 반비례 관계에 있다. 온돌바닥은 단열성이 요구되는 부위이므로, KS F 4039에는 온돌바닥에 사용되는 경량기포콘크리트의 열전도율에 대해서도 규정하고 있다.

그러나, 온돌바닥의 구성재료로서 사용되는 경량기포콘크리트는 그 용도에 따라서 요구성능이 달라지게 된다. 즉, 온돌 구성층에 별도의 단열층이 설치되어 경량기포콘크리트가 채움재로 사용되는 경우에는 특별한 단열성은 요구되지 않으며, 별도의 단열층이 없는 경우 등과 같이 단열성이 요구되는 경우도 있다. 따라서, 경량기포콘크리트가 채움용으로 사용될 경우에는 KS F 4039의 결보기 비중에 대한 규정을 삭제하거나 크게 완화해야 될 것으로 판단된다.

한편, 결보기 비중은 단열성을 평가하기 위한 기준이 되기도 하지만, 그 밖의 물리적 특성과의 관계가 있을 것으로 사료되므로, 결보기 비중을 측정함으로써 품질관리에 이용할 수 있는 가능성도 있다.

Fig. 7은 결보기 비중과 28일 압축강도와와의 관계를 나타내는 것으로서, 결보기 비중이 낮을수록 공극이 많으며 압

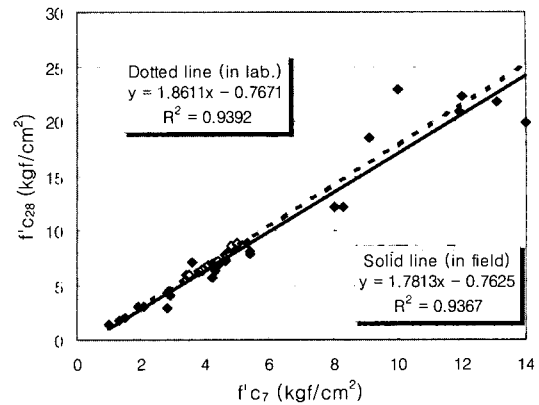


Fig. 6 Compressive strength at 7 days vs. 28 days

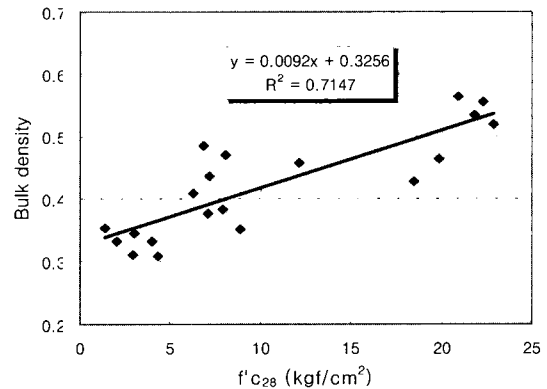


Fig. 7 Bulk density vs. compressive strength at 28 days

축강도가 낮다는 일반적인 결과와 동일한 경향이 나타났다.

그러나 결보기 비중과 압축강도의 상관성은 비교적 낮은 편이므로 결보기 비중을 이용한 압축강도의 품질관리는 어려울 것으로 판단된다.

### 3.3 경화전과 경화후의 경량기포콘크리트 물성의 상관관계

일반콘크리트에 대해서는 효과적인 품질관리를 위하여 28일 강도를 조기에 추정하는 방법이 제안되어 있으나, 경량기포콘크리트에 대해서는 아직 이러한 방법이 제시되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 개념에서 경량기포콘크리트에 대하여 28일 강도를 조기에 추정하기 위한 방법을 도색하였으며, KS F 4039에 규정되어 있는 경량기포콘크리트의 각 물성값의 적절성 여부를 검토하였다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 타설시에 아직 굳지 않은 상태의 기포슬러리 비중( $F_g$ ) 및 기포율( $F_m$ )과 28일 압축강도의 관계를 나타낸다.

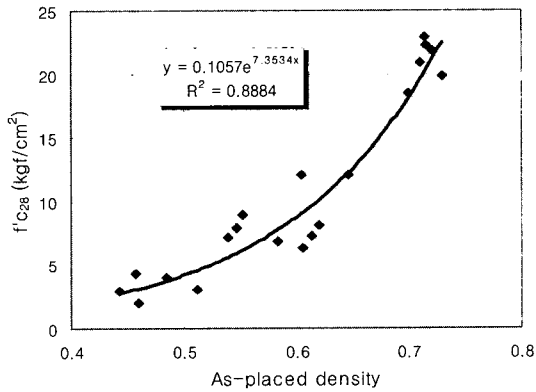


Fig. 8 Compressive strength at 28 days vs. as-placed density

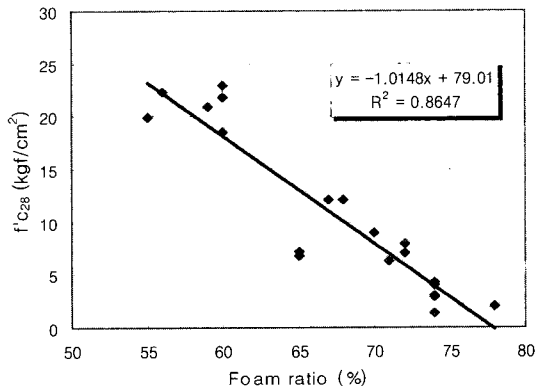


Fig. 9 Compressive strength at 28 days vs. foam ratio

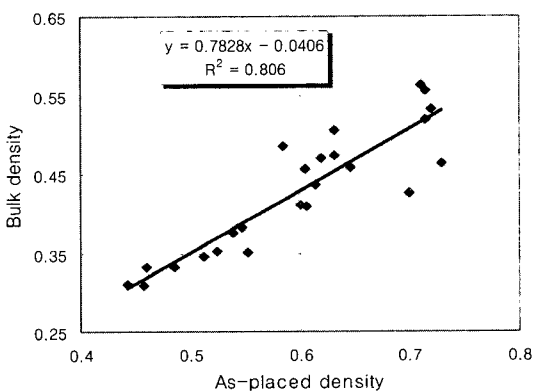


Fig. 10 Bulk density vs. as-placed density

이 결과로부터 기포슬러리 비중과 28일 압축강도는 다음 식(3)으로 나타낼 수 있으며, 결정계수 0.85 이상의 상관성을 나타내고 있으므로 타설시의 측정값으로 28일 압축강도를 추정하기 위한 판단기준으로서 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

$$f_{c(28)} = 0.1057e^{3534F_g} \quad (R^2=0.8884) \quad (3)$$

본 실험결과를 KS F 4039의 0.5품에 해당하는 28일 압축강도(14.28kgf/cm<sup>2</sup>)를 만족하려면 기포슬러리 비중은 0.66 이상이 요구되며, KS의 기포슬러리 비중에 대한 최소규정값 0.52의 경우에는 28일 압축강도는 약 4.3kgf/cm<sup>2</sup>에 불과하다.

이와 같은 결과는 본 연구가 시멘트 중량의 40%를 플라이애쉬로 치환한 FA기포콘크리트에 한정되어 있다는 점과 본 실험의 실험오차 등을 고려한다고 하여도, KS 규정값이 너무 낮게 설정되어 있어 개선의 여지가 있다는 점을 나타내고 있다.

한편, KS F 4039에는 경량기포콘크리트에서 가장 많은 용적을 차지하고, 압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 기포율에 대하여 규정되어 있지 않다. Fig. 9의 결과를 보면, 경량기포콘크리트의 기포율과 28일 압축강도는 명백하게 상관성이 있으며, 다음 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{c(28)} = -1.0148F_m + 0.7901 \quad (R^2=0.8647) \quad (4)$$

여기에서, KS 0.5품에 해당하는 압축강도를 만족하는 기포율의 범위는 대략 60% 이하의 영역에 속하며, 기포율이 70% 이상일 경우에는 28일 압축강도가 10kgf/cm<sup>2</sup>에도 미치지 못한다는 것을 알 수 있다. 따라서, KS F 4039에 경량기포콘크리트의 품질규정 항목으로 기포율을 추가하는 방안을 검토할 필요가 있으며, 이를 현장에서의 품질관리에 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

경량기포콘크리트의 타설시의 기포슬러리 비중과 양생후의 겔보기 비중은 동일 시료에 대한 비중값이므로 당연히 상관성이 클 것이라고 쉽게 예상할 수 있다. Fig. 10은 이러한 사실을 검증하기 위하여 실험한 결과이며, 상호간에 뚜렷한 상관관계가 있음을 나타내고 있다.

이상에서와 같이, 겔보기 비중은 28일 압축강도와 상관성이 대체로 낮고 오히려 기포슬러리 비중과의 상관성이 높다. 또한, 경량기포콘크리트를 채움용으로 사용할 경우에는 단열성이 중요한 요소가 아닐 뿐만 아니라, 단열성은 열전도율을 측정하여 평가될 것이다. 그러므로, 경량기포콘크리트의 용도 및 재료특성 등에 따라서는 겔보기 비중을 측정할 필요가 없으며, 보완적으로 필요할 경우에는 기포슬러리 비중값으로 추정토록 하는 것이 바람직하다고 생각된다. 단, 경량기포콘크리트의 겔보기 비중은 사용재료 등에 따라서 다른 물성과의 상관성 등이 달라지므로, 향후 각종 사용재료에 따른 실험결과를 보완하여 KS F 4039에 규정된 겔보기 비중 시험항목을 삭제하거나 완화하기 위한 검토가 요망된다.

## 4. 결 론

플라이애쉬를 혼입한 현장 타설용 기포콘크리트가 경화되기 이전의 슬러리 상태에서 소요의 품질을 확보하고, 압축강도를 조기에 측정하기 위한 방안으로 기포슬러리 비중과 기포율의 특성 및 압축강도와의 상관관계를 분석한 연구결과는 다음과 같다.

1) 경량기포콘크리트의 플로우는 기포율이 클수록 기포슬러리 비중이 낮을수록 저하되며, 그 경향은 W/B가 클수록 현저하게 나타난다. 또한 W/B가 높을수록 플로우는 증대하지만 기포율이 70% 이상이면 거의 동일한 유동성을 나타낸다.

2) 기포슬러리 비중의 실험값은 혼합 및 압송중에 기포의 일부가 소포되어 배합설계시의 단위중량보다 높게 나타나므로, 초기의 배합설계시에 이러한 소포현상을 고려해야 한다.

3) 기포슬러리 비중은 기포율 및, 28일 압축강도와 상관성이 매우 크며, KS F 4039의 기포슬러리 비중에 대한 규정값이 너무 낮게 설정되어 있으므로 개선의 여지가 있다.

4) 경량기포콘크리트의 기포율은 28일 압축강도와 상관성이 크므로 KS F 4039에 품질관리 항목으로 추가하는 방안을 검토할 필요가 있으며, 시험방법은 측정이 용이한 간이소포법보다 측정결과의 신뢰성이 높은 소포법을 적용함이 타당하다.

5) 7일 압축강도와 28일 압축강도는 매우 높은 상관관계에 있으므로, 7일 압축강도로서 28일 압축강도를 추정할 수 있다.

6) 경량기포콘크리트를 채움용으로 사용할 경우에는 KS F 4039의 겉보기 비중에 대한 규정을 삭제하거나 크게 완화할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구를 위해 지원을 아끼지 않으신 ㈜금강 및 ㈜금강하이텍 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 조순보, 윤재환, “국내 콘크리트 공장제품의 업계현황”, 한국콘크리트학회지, 제8권 1호, 1996, pp.43~49.
2. 田中積, “現場打ち気泡コンクリートとその施工について”, 콘크리트工学, Vol.13, No.5, 1975, pp.78~85.
3. 三嶋信雄, 益村公人, “FCB 工法”, 理工圖書, 2000.
4. Peter J. M. Bartos, “Special Concretes-Workability and Mixing”, E&FN SPON, 1993, pp.217~223.
5. 건설교통부, “공동주택 바닥난방시스템 개발 및 실용화 연구”, 1998.
6. 건설교통부, “경량기포콘크리트의 재료개발에 관한 연구”, 1997.
7. 박상순, “고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 개발과 역학적 특성”, 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
8. 정성철, 김범수, “온돌단열용 경량기포콘크리트의 배합설계에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 (구조계), 제14권 12호, 1998, pp.83~92.
9. 정성철, 김범수, “성능이 향상된 온돌단열용 경량기포콘크리트의 제조 및 시공법”, 한국콘크리트학회지, 제11권 2호, 1999, pp.28~32.
10. 세립유화, “시멘트기포제 폼크레이트 (제품카탈로그)”, 1999.
11. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”, 기문당, 1996, pp.314.

## 요 약

현장타설 경량기포콘크리트는 경량성, 단열성, 흡음성, 시공성, 경제성 등이 우수하여 온돌바닥의 단열용 또는 채움용으로 사용되고 있다. 그러나, 경량기포콘크리트의 품질확보를 위한 세부기술개발이 미흡하여, 현장에서의 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서, 소요의 품질을 확보를 위한 적절하고 합리적인 품질관리방법을 정립할 필요가 있으며, 이를 위하여 경량기포콘크리트의 물리적 성질 및 상호관계에 대한 구명이 요구된다.

본 연구는 시멘트 중량의 40%를 플라이애시로 치환한 FA기포콘크리트를 온돌 채움용으로 사용할 경우의 품질관리 방안을 확립하기 위한 것으로서, 굳지 않은 경량기포콘크리트의 플로우, 기포슬러리 비중, 기포율 간의 상호관계 및 경화전 물성과 경화후 물성(겉보기 비중, 28일 압축강도) 간의 상호관계를 구명하였으며, 7일 압축강도를 이용하여 28일 압축강도를 조기에 추정하기 위한 관계식을 제시하고, 또한 현장타설용 기포콘크리트에 대한 KS 규격 개선안을 제시하였다.

**핵심용어** : 온돌, 기포콘크리트, 기포슬러리 비중, 기포율, 품질관리