

온돌 채움용 플라이에쉬 경량기포콘크리트의 품질특성

Properties of Foamed Concrete using Fly Ash for On-Dol

고진수*	임정수*	전명훈*
Ko Jin Soo	Lim Jeong Su	Jun Myoung Hoon
김종엽**	손영준***	이도현***
Kim Jong Yeob	Son Young Jun	Lee Do Heun

ABSTRACT

Foamed concrete is applied as filling material of On-dol, but it has much trouble in controlling the quality because of not establishing the detailed related criteria and recommendation for the construction and quality control practice.

Therefore, this study will investigate the as-placed density and air content of foamed slurry before hardening and its physical characteristics after hardening, analyze the relation of each characteristic, and, finally provide the proper method for the quality control of foamed concrete.

1. 서론

그동안 경량기포콘크리트는 품질확보를 위한 적절한 기준이 마련되지 않은 상태에서 공동주택의 온돌바닥용으로 적용되어 왔다. 따라서, 기술표준원에서는 '99년 8월에 KS F 4039("현장 타설용 기포콘크리트")를 제정하였으나, 품질규정의 적절성 및 시험규정에 대한 검토의 여지가 있다고 여겨진다.

온돌 바닥용으로 사용되고 있는 현장타설용 경량기포콘크리트는 제조방식과 양생조건 등에 따라 품질편차가 크게 나타난다. 그러므로, 소요의 품질을 확보하고 품질관리를 용이하게 하기 위한 적절하고 합리적인 시험방법을 정립할 필요가 있으며, 이를 위하여 경량기포콘크리트의 물리적 특성에 대한 정확한 규명이 요구된다.

경량기포콘크리트는 사용재료 및 제조방법이 다양하며, 요구성능은 단열성이 요구되는 경우와 단열성이 필요없는 경우로 크게 구분할 수 있다. 본 연구에서는 혼화재료로써 시멘트의 일부를 플라이에쉬로 치환한 사용한 FA기포콘크리트를 대상으로 하며, 이를 단열성이 필요없는 채움용으로 사용하는 경우의 적절한 품질관리방안을 수립코자 한다. 따라서, 경량기포콘크리트의 타설시에 28일 압축강도를 추정할 수 있도록, 경화전의 기포슬러리 비중과 기포율에 대한 물리적 특성을 검토하여 경화후의 28일 압축강도에 미치는 영향을 분석함으로써, 현장에서 조기에 품질관리가 되도록 하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

*정회원 대한주택공사 주택연구소 연구원

**정회원 대한주택공사 주택연구소 선임연구원

***정회원 (주)금강하이텍 대표이사

****정회원 대한주택공사 주택연구소 책임연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료 및 배합

본 실험에는 H사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트 중량의 40%를 충남 태안산 유연탄계 플라이애쉬로 치환하였다. 기포제는 국내 S사의 동물성기포제 및 식물성기포제를 각각 1:30 및 1:50으로 희석하여 사용하였다. 각 사용재료의 물리적 성질은 표 1과 같으며, 배합은 표 2와 같다.

표 1 사용재료의 물리적 성질

시멘트		플라이애쉬	기포제			
			동물성		식물성	
비중	분말도(cm^2/g)	비중	비중(25℃)	pH	비중(25℃)	pH
3.15	3,150	2.28	1.12	6.8	1.03	6.9

표 2 배합인자 및 수준

인자	기포제	기포율 (%)	W/B (%)	FA치환율(%/C.wt)
수준	동물성, 식물성	60, 65, 70, 75	50, 55, 60	40

2.3 공시체의 제작 및 양생

기포콘크리트의 배합은 시멘트 중량에 플라이애쉬를 40% 치환한 분체를 배치형 믹서기에 물과 약 2분간 배합하여 페이스트를 만들고, 비중 및 분포가 일정하게 구성된 기포를 약 3분간 혼합하여 공시체를 제작하였다. 압축강도 측정용 공시체는 KS F 2459의 “기포콘크리트의 겉보기비중, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법”에 따라 폴리에틸렌 주머니에 넣어 온도 18~24℃의 조건에서 양생하였다.

2.4 실험방법

(1) 기포슬러리 비중 시험

기포슬러리의 비중 시험은 KS F 4039의 “현장 타설용 기포 콘크리트”규정에 따라 측정하였다.

(2) 기포율 시험(알콜소포법)

본 실험은 실제 목표한 기포율과 배합된 이후 시료의 기포율을 확인하고, 시험방법의 신뢰성을 검토하기 위하여 알콜로 슬러리 내부의 기포를 소포시켜 기포율을 측정하는 가칭 소포법과 간이소포법을 적용하였다. 소포법은 500cc 메스실린더에 시료 200cc를 넣고 물 200cc를 더하여 플라스틱 봉으로 1분간 잘 저어서 기포를 분리시켰으며, 여기에 알콜 100cc를 더하여 다시 1분간 저어서 완전히 소포시킨 후, 메스실린더 눈금을 읽어 체적을 측정하였다. 간이소포법은 500cc 메스실린더에 시료 200cc를 넣은 상태에서 물을 더하지 않고 직접 알콜 100cc를 더하여 1분간 저어서 완전히 소포시킨 후 메스실린더 눈금을 읽어 체적을 측정하였으며, 식(1)에 의하여 기포율을 산출하였다.

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

(3) 압축강도

경량기포콘크리트의 7일 및 28일 압축강도는 KS F 2459의 “기포콘크리트의 겉보기비중, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법”에 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서의 FA경량기포콘크리트의 기포슬러리 비중, 기포율, 압축강도 시험결과는 표 5와 같다.

표 5 경량기포콘크리트 실험결과

No	시험체	배합량(kg/m ³)			기포율 (%)	측 정 결 과			
		시멘트	FA	물		기포슬러리 비중	기포율 (%)	7일강도 (kgf/cm ²)	28일강도 (kgf/cm ²)
1	A I i	282	188	235	60	0.70	60/59	9.1	18.5
2	A I ii	267	178	245	60	0.73	55/53	14.0	19.9
3	A I iii	253	168	252	60	0.72	56/54	12	22.3
4	A II i	248	164	206	65	0.63	61/61	4.2	5.7
5	A II ii	233	155	214	65	0.58	65/60	4.4	6.8
6	A II iii	221	147	221	65	0.61	68/63	8.3	12.1
7	A III i	211	141	177	70	0.63	65/65	2.1	3.0
8	A III ii	200	133	183	70	0.60	69/55	1.3	1.8
9	A III iii	190	126	189	70	0.55	72/65	5.4	7.9
10	A IV i	176	118	147	75	0.46	78/71	1.5	2.0
11	A IV ii	167	111	153	75	0.53	74/69	1.0	1.4
12	A IV iii	158	105	158	75	0.44	74/70	2.8	2.9
13	B I i	282	188	235	60	0.71	59/59	11.8	20.9
14	B I ii	267	178	245	60	0.72	60/58	13.1	21.8
15	B I iii	253	168	252	60	0.71	60/58	10.0	22.9
16	B II i	248	164	206	65	0.62	59/54	5.4	8.1
17	B II ii	233	155	214	65	0.54	72/68	3.6	7.1
18	B II iii	221	147	214	65	0.65	67/63	8.0	12.1
19	B III i	211	141	177	70	0.61	65/73	4.6	7.2
20	B III ii	200	133	183	70	0.61	71/60	4.3	6.3
21	B III iii	190	126	189	70	0.55	70/63	5.3	8.9
22	B IV i	176	118	147	75	0.49	74/70	2.9	4.0
23	B IV ii	167	111	153	75	0.51	74/66	1.9	3.0
24	B IV iii	158	105	158	75	0.46	74/69	2.8	4.3

* A : 식물성기포제 B : 동식물성기포제
 I : 기포율 60% II : 기포율 65% III : 기포율 70% IV : 기포율 75%
 i : 물시멘트비 50% ii : 물시멘트비 55% iii : 물시멘트비 60%

3.1 기포슬러리 비중

그림 1은 기포슬러리 비중의 측정결과를 나타는 것으로써, Y축(세로축의 좌측)의 선그래프는 기포슬러리 비중의 실험값을 나타내며, 2중차트 Y축(세로축의 우측)의 막대그래프는 배합표 계산에 의한 기포슬러리 비중(단위중량)의 계산값을 나타낸다. 또한, X축은 기포율(I : 60%, II : 65%, III : 70%, IV : 75%)과 물결합재비(i : 50%, ii : 55%, iii : 60%)를 나타낸다. 원칙적으로는 기포슬러리 비중의 측정값이 배합계산에 의한 기포슬러리 비중(단위중량)값과 동일해야 하지만, 그림 1과 같이 기포슬러리 비중의 측정값이 계산값(배합재료의 단위중량)보다 다소 높은 값을 나타내며, 기포율이 높을수록 그 차이가 증대하는 경향이라고 여겨진다. 이것은 배합과정에서 기포의 일부가 소포되어 전체 용적에서 공극이 차지하는 비율이 감소함에 따라서 상대적으로 시멘트, 플라이애쉬, 물의 단위량이 증가하기 때문으로 추정된다. 따라서, 현장에서 재료혼합에 의한 기포율 감소 및 부가적으로 고층부에 압송할

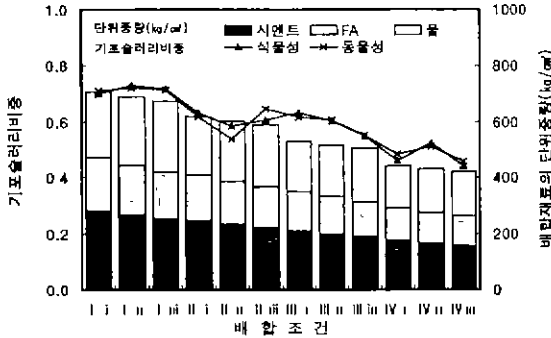


그림 1 기포슬러리 비중의 계산값과 측정값

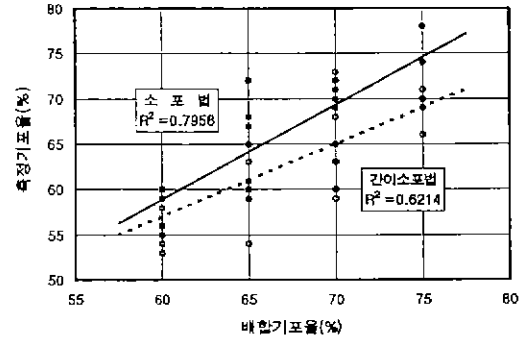


그림 2 소포방법에 의한 기포율의 차이

경우에는 압송에 의한 소포현상 등 기포율 관리에 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다. 또한 그림 1로부터 기포슬러리 비중은 W/B가 5% 증가할수록 평균 0.015% 정도 낮아지는 경향을 나타내었다.

3.2 기포율 측정방법

경량기포콘크리트는 배합시에 기포제를 첨가하여 강제적으로 기포를 도입함으로써 일반적으로 전체 체적의 60% 이상이 공극으로 이루어진다. 따라서, 기포율은 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에는 품질시험항목으로 규정하고 있지 않지만, 경량기포콘크리트의 각종 품질에 중요한 영향을 미치게 되므로, 품질관리항목으로 기포율 시험을 도입할 필요가 있을 것으로 사료된다.

그림 2는 소포법과 간이소포법에 의해 경량기포콘크리트의 슬러리를 채취하여 기포율을 측정할 결과이다. 두가지 실험방법을 비교하면 실험의 편리성 면에서는 물과 알콜을 사용하는 소포법보다 알콜만을 사용하는 간이소포법이 용이할 뿐만 아니라 소포효과도 유리한 것으로 나타났다. 그러나, 소포법에 의한 측정 기포율이 간이소포법보다 배합시의 기포 도입량(배합 기포율)과 더욱 유사할 뿐만 아니라, 측정편차를 나타내는 상관성도 높게 나타나 신뢰성이 높으므로, 시험의 편리성보다는 측정결과의 신뢰성을 중시하여 소포법을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.3 기포슬러리 비중과 기포율 및 압축강도의 상관관

그림 3은 기포율과 기포슬러리 비중의 측정값에 대한 관계를 나타낸 것으로서, 결정계수 0.85정도의 매우 큰 상관성을 나타내었다. 여기에서 W/B가 10% 증가하면 기포슬러리 비중이 약 0.03% 정도 감소(그림 1 참조)하는 결과에 비하면, 기포율이 10% 증가할 때 기포슬러리 비중이 0.16 정도 감소하므로, 기포율의 변화가 기포슬러리 비중에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 경량기포콘크리트의 경화전 기포슬러리 비중과 경화후 28일 압축강도가 서로 상관관계에 있음을 나타낸다. 이러한 관계로부터 28일 압축강도를 추정함으로써 경량기포콘크리트의 품질관리에 적절히 이용할 수 있을 것으로 판단된다. FA기포콘크리트를 대상으로 한 본 실험결과에 의하면, 기포슬러

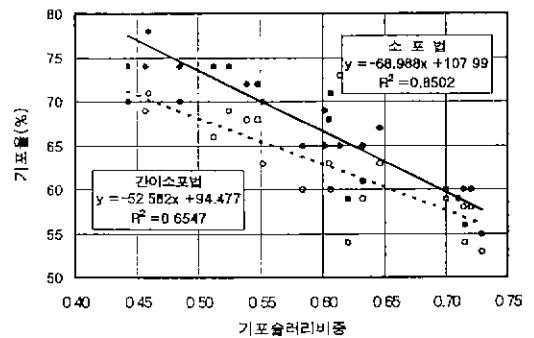


그림 3 기포슬러리 비중과 기포율의 관계

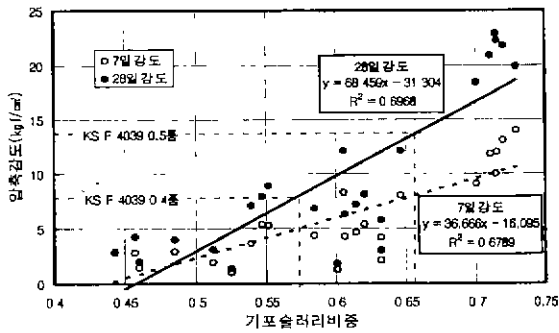


그림 4 기포슬러리 비중과 압축강도의 관계

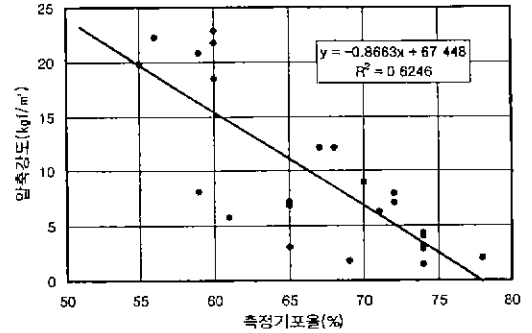


그림 5 기포율과 압축강도의 관계

리 비중이 0.65이면 28일 압축강도는 약 10kgf/cm², 0.7이면 약 15kgf/cm²로 추정할 수 있다.

그런데, KS F 4039에서는 경량기포콘크리트의 품질을 0.4품, 0.5품, 0.6품으로 분류하고 있는데, 0.4 품은 기포슬러리 비중과 28일 압축강도를 각각 0.39 이상, 8.15kgf/cm² 이상으로 규정하고 있으며, 0.5 품은 0.52 이상, 14.28kgf/cm² 이상으로 규정하고 있다. 그러나, 0.5품으로 규정한 기포슬러리 비중 0.52 를 본 실험에 의해 도출된 추정식에 대입하면, 압축강도는 약 4kgf/cm²에 불과하므로 한국산업규격의 규정값은 개선의 여지가 있는 것으로 생각되며, 0.5품의 압축강도를 확보하기 위한 FA경량기포콘크리트의 기포슬러리 비중은 최소 0.65 이상이어야 할 것으로 판단된다.

그림 5는 기포율과 28일 압축강도의 관계가 서로 상관관계에 있음을 나타낸다. 본 실험에서 KS F 4039에 제시한 0.5품의 28일 압축강도 14.28kgf/cm² 이상으로 나타난 기포율의 범위는 비교적 측정편차가 크다고는 할 지라도 대부분 60% 이하의 범위이며, 기포율 65% 이상에선 대부분 압축강도 13kgf/cm² 이하의 낮은 값을 나타내었다. 따라서 0.5품 이상의 압축강도를 확보하기 위한 기포율의 최소범위는 65% 이하여야 할 것으로 판단된다.

이상의 기포슬러리 비중과 기포율을 측정하여 다음의 식(2)~식(4)에 따라 28일 압축강도를 추정함으로써, FA경량기포콘크리트의 품질관리에 적절히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

$$fc(28) = 68.459Fg - 31.304 \quad (R^2=0.6968) \quad (2)$$

$$fc(28) = -0.8663Fm + 67.448 \quad (R^2=0.6246) \quad (3)$$

$$fc(28) = 58.143Fg - 0.5Fm + 15.142 \quad (R^2=0.7000) \quad (4)$$

여기서, $fc(28)$: 28일 압축강도(kgf/cm²)

Fm : 기포율(%)

Fg : 기포슬러리 비중

3.4 7일강도와 28일강도의 상관관계

그림 6은 압축강도의 조기추정을 위해 7일강도와 28일강도의 관계를 구한 결과로써, 결정계수 0.9364의 매우 높은 상관성을 나타내었으므로, FA기포콘크리트는 다음의 식에 의해 7일 강도로 28일 강도를 예측할 수 있다.

$$fc(28) = 1.6988fc(7) + 0.1821 \quad (R^2=0.9554) \quad (5)$$

여기에서 28일 강도에 대한 7일 강도는 약 60%로써, 일반적으로 알려진 보통콘크리트의 상대강도 약 67%보다 낮게 나타났으며, 영국의 BS CP114(1969)에서 정육면체(cube)공시체를 대상으로 하여 제시한 2/3이상보다 낮게 나타나 일반콘크리트의 재령에 따른 강도비보다 대체적으로 낮음을 알 수 있다. 이것은 경량기포콘크리트의 독특한 특성이라기보다 시멘트의 40%를 플라이애쉬로 치환한 영향이 클 것으로 생각되므로, 플라이애쉬를 사용하지 않은 경량기포콘크리트의 대표적인 특성값으로 대표할 수는 없을 것으로 판단된다.

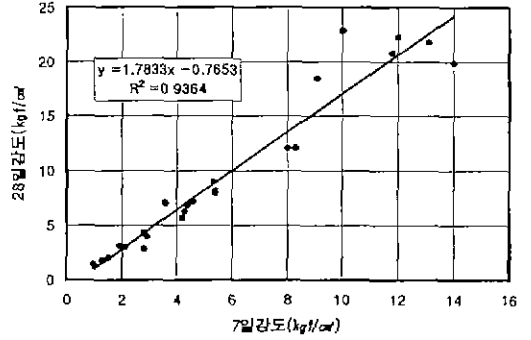


그림 6 7일강도와 28일강도의 관계

4. 결 론

이상의 플라이애쉬를 혼입한 현장 타설용 경량기포콘크리트의 품질특성에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기포율은 알콜을 이용한 소포법으로 측정함이 바람직하다.
- (2) 기포율은 기포슬러리 비중 및 압축강도와 밀접한 관계에 있으며, 경량기포콘크리트의 현장품질관리 시험항목으로 관리될 필요가 있다.
- (3) FA기포콘크리트의 기포슬러리 비중, 기포율, 28일 압축강도의 관계는 다음의 식으로 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 FA경량기포콘크리트의 품질관리에 적절히 이용할 수 있다.

$$f_c(28) = 68.459F_g - 31.304 \quad (R^2 = 0.6968)$$

$$f_c(28) = -0.8663F_m + 67.448 \quad (R^2 = 0.6246)$$

$$f_c(28) = 58.143F_g - 0.5F_m + 15.142 \quad (R^2 = 0.7000)$$

단, $f_c(28)$: 28일 압축강도(kgf/cm²)

F_m : 기포율(%)

F_g : 기포슬러리 비중

- (4) KS F 4039의 0.5품에 해당하는 경량기포콘크리트의 28일 압축강도를 만족하려면, FA기포콘크리트의 기포슬러리 비중은 최소 0.65 이상이어야 하고, 기포율은 최대 65% 이하이어야 한다.
- (5) KS F 4039에 규정된 기포슬러리 비중과 압축강도의 규정은 적절히 개선될 필요가 있다.
- (6) FA기포콘크리트의 28일 압축강도와 7일 압축강도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_c(28) = 1.6988f_c(7) + 0.1821 \quad (R^2 = 0.9554)$$

감사의 글

이 논문은 (주)금강과의 공동연구에 의한 결과이며, 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, "최신콘크리트공학", 1993
2. 대한주택공사 주택연구소, "온돌시스템 개발 연구", 1996
3. 김은정, 박양규, "윈도우용 SPSS 통계분석 8", 21세기사, 1999
4. 정성철 외, "온돌단열용 경량기포콘크리트의 배합설계에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 14권 12호, 1998
5. 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關する研究", 第44回セメント技術大會講演集, 1990
6. Peter J. M. Bartos, "Special Concretes-Workability and Mixing", E&FN SPON, 1993