

폴리에틸렌 튜브를 혼입한 경량 시멘트 경화체의 기초물성 평가

An Evaluation on the Properties of the Hardened Lightweight Cement Using the Polyethylene Tube

○ 김 세 영*

Kim, Sae-Young

전 봉 민**

Jeon, Bong-Min

김 호 열***

Kim, Hyo-Youl

오 상 균****

Oh, Sang-Gyun

Abstract

This study proposes the physical properties of the hardened lightweight cement using the polyethylene tube and to make the fundamental data regarding a new lightweight concrete development. The aerated concrete is displaying various effects such as lightweight, insulation characteristic and it is coming to be widely applied the slab layer of apartment as an insulating material but currently the aerated concrete has many problems. Therefore, demonstrating similar property of former aerated concrete and improving the defects, developing new hardened cement is needed. In this study, we predict adopting possibility of hollow core polyethylene tube, as a material to make cement hardening containing a lot of void. So we changed the mixing ratio, a diameter and length of the polyethylene tube and improved the compressive strength and unit capacity weight of the lightweight cement hardening body. From the test results, we judge that the aerated concrete is a developmental possibility.

키워드 : 기포콘크리트, 경량 시멘트 경화체, 폴리에틸렌 튜브, 압축강도, 층간소음

Keywords : Aerated Concrete, Hardened Lightweight Cement, Polyethylene Tube, Compressive Strength, Floor Impact Sound

1. 서 론

현재 기포콘크리트는 공동주택 바닥 난방 구성층의 축열층 및 단열층 재료로서 널리 활용되고 있으며, 연약 지반 보강재 등의 재료로서 그 활용 범위가 확대되고 있는 추세에 있다. 그러나 기포콘크리트는 현재 그 품질에 대한 기준이 명확화 되어 있지 않고, 더욱이 배합에 관한 표준화 및 시방화가 확립되어 있지 않아 품질관리가 매우 모호하며 제조 및 이용에 많은 어려움이 있다. 또한 배합과정 및 부어넣기 중 기포의 소포작용으로 인한 건조수축의 발생량이 커 경화체 내에 균열 발생이 매우 빈번하며, 이러한 체적변화와 균열은 기포콘크리트가 소요의 성능을 발휘하고 품질을 확보하는데 있어 큰 문제로서 작용한다. 특히 기포콘크리트는 70%이상의 많은 공극을 내포하고 있어 소요의 강도를 확보하는 데도 많은 어려움이 있는 실정이다. 따라서 현재의 기포콘크리트와 유사한 성능을 발휘하면서 이러한 단점이 보완된 새로운 재료의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구는 폴리에틸렌 튜브를 사용한 경량 시멘트 경화체를 제조하고 이의 기초물성을 파악함으로써 새로운 기포콘크리트 대체 재료의 개발에 있어서 기초적 자료를 구축하는 데에 그 목적이 있다.

2. 중공형 튜브를 사용한 경량 시멘트 경화체

일반적으로 경량 시멘트 경화체를 제작하기 위해서는 기포제 및 발포제를 이용하여 다량의 공극을 내포시키는 방법과 다공성 골재를 활용하는 방법이 널리 사용되어 왔다. 이 중 기포제 및 발포제를 이용하는 방법은 외부 환경의 변화에 따른 품질의 차이가 크며, 특히 시멘트의 경화과정 중 기포의 소포 및 수분의 건조에 따른 체적변화가 발생되어 많은 문제점을 유발하고 있다. 이에 기포제와 발포제를 사용하는 기포콘크리트는 체적변화에 기인한 균열이 발생하여 이를 통해 열(熱) 및 음(音) 등의 에너지가 하부로 빠져나감으로써 기포콘크리트로서의 역할을 충분히 수행하지 못하고 있는 실정이다. 또한 다공성 골재를 활용하는 방안은 골재의 흡수율이 매우 크기 때문에 배합에 있어서 많은 문제점이 내재되어 있다. 그러나 이러한 문제점들에도 불구하고 경량 시멘트 경화체는 적절한 대안이 없기 때문에 국내 건축현장에서 그대로 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 발포제 등을 이용한 기포콘크리트나 경량골재 콘크리트의 문제점을 해결하기 위한 새로운 독립공극형 경량 시멘트 경화체를 개발하기 위하여, 그림 1의 예측모델과 같은 중공형 튜브를 사용한 다공성 경량 시멘트 경화체의 제조 가능성을 예측하였다.

* 동의대학교 건축공학과 대학원, 석사과정, 정희원

** 동의대학교 건축공학과 대학원, 박사과정, 정희원

*** 김해대학 건축계열 전임강사, 공학박사, 정희원

**** 동의대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정희원

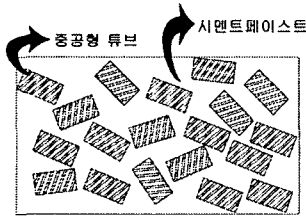


그림 1. 예측모델

예측모델에서와 같이 중공형 폴리에틸렌 튜브는 배합 중 불규칙한 배열로 존재하게 되며, 폴리에틸렌 튜브가 채워진 후 발생하는 공극에 시멘트 페이스트가 채워지게 된다. 따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌 튜브를 사용한 시멘트 경화체는 폐쇄형 공극구조가 될 것으로 예측된다.

본 연구에서 제안한 예측모델은 굳지않은 페이스트에 중공형 튜브를 혼연하여 제작되는 것으로, 배합 시 시멘트 페이스트가 튜브 내부로 침투하여 공극을 메울 가능성이 있다. 그러나 그림 2의 개념도와 같이 튜브 내부에는 공기가 존재하고 시멘트 페이스트는 튜브의 양쪽에서 모두 안으로 침투하려하기 때문에 튜브 내부의 공기가 빠져나갈 통로가 없어지므로 튜브 내부에는 독립된 공기가 형성되게 된다.



그림 2. 독립공극 형성 개념도

3. 실험

3.1 실험인자 및 수준

폴리에틸렌 튜브의 가공조건에 따른 경량 시멘트 경화체의 물성검토를 위하여, 본 연구에서는 폴리에틸렌 튜브의 직경과 길이를 각각 3종, 혼입율은 최대 60%의 범위에서 4조건으로 변화하였다.

시멘트 페이스트의 제조조건은 물시멘트비 및 단위시멘트량의 변화에 따른 변수를 배제하기 위하여 단일 조건으로 고정하였다. 본 연구의 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자		수준수
튜브 직경 (mm)	3.5, 5.0, 7.0	3
튜브 길이 (mm)	5, 10, 15	3
치환율 (%)	0, 20, 40, 60	4

3.2 사용재료

3.2.1 시멘트

시멘트는 국내 S사에서 생산한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학 조성 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 시멘트의 화학조성 및 물리적 성질

화학 조성	화학성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
	합량(%)	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58
물리적 성질	비표면적 (cm ² /g)	비중	응결시간		압축강도(Mpa)			
			초결	종결	3일	7일	28일	
	3,112	3.15	4시간	6시간	19.8	27.2	38.9	

3.2.2 폴리에틸렌 튜브

폴리에틸렌 튜브는 국내에 시판중인 지름이 각기 다른 음료용 폴리에틸렌 관을 사용하였으며, 이를 절단기를 이용하여 각각 5, 10, 15mm로 제작하였다. 특히 본 연구에서 사용한 폴리에틸렌 튜브는 표면이 매우 매끄러운 상태로서 이를 시멘트 페이스트에 혼합하여 사용할 경우 시멘트 페이스트와의 부착력이 감소하여 경화체의 강도가 저감할 것으로 예측하였다. 따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌 관을 절단하기 전 목부마감용 연마지(AA-60)를 사용하여 표면을 5회 처리하여 표면을 가공하였다.

가공된 폴리에틸렌 튜브를 경량 시멘트 경화체용 재료로서 활용하기 위해서는 이의 정확한 체적 및 중량의 측정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이를 위하여 폴리에틸렌 튜브 300개의 중량을 10회 측정하여 튜브 1개의 평균 중량을 표 3과 같이 산출하였다.

표 3. 폴리에틸렌 튜브의 중량

	직경 3.5mm			직경 5.0mm			직경 7.0mm		
	5mm	10mm	15mm	5mm	10mm	15mm	5mm	10mm	15mm
1회	2.2	4.6	6.8	3.1	5.9	9.1	4.4	9.0	13.6
2회	2.2	4.4	6.7	3.0	6.0	9.1	4.5	9.1	13.6
3회	2.2	4.5	6.8	2.9	6.0	9.0	4.6	9.1	13.4
4회	2.4	4.6	6.8	3.0	6.2	8.9	4.5	8.9	13.5
5회	2.2	4.5	6.8	2.9	5.8	9.0	4.6	9.0	13.6
6회	2.3	4.4	6.7	3.1	6.2	8.8	4.4	9.0	13.5
7회	2.2	4.6	6.8	3.0	6.0	9.1	4.6	9.1	13.5
8회	2.2	4.6	6.6	3.1	6.2	9.0	4.5	8.9	13.6
9회	2.3	4.4	6.8	3.0	6.0	9.0	4.5	9.0	13.5
10회	2.2	4.5	6.8	3.0	6.0	8.9	4.6	9.0	13.4
개당 중량(g)	0.007	0.015	0.023	0.010	0.020	0.030	0.015	0.030	0.045
개당 체적(cm ³)	0.048	0.096	0.144	0.098	0.196	0.294	0.192	0.385	0.577

폴리에틸렌 튜브의 개당 중량은 직경별 길이 가공조건이 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 측정되어 절단에 따른 차이는 매우 적은 것으로 나타났다. 따라서 폴리에틸렌 튜브를 경량 시멘트 경화체용 재료로서 활용 시 개당 체적을 기준으로 배합설계에 활용하는 것이 가능한 것을 파악할 수 있었다.

3.3 배합

폴리에틸렌 튜브를 사용한 경량 시멘트 경화체의 배합은 표 4와 같다.

표 4. 경량 시멘트 경화체의 배합

튜브가공조건		치환율 (%)	W/C (%)	배합량 (kg/m ³)		
직경(mm)	길이(mm)			시멘트	물	튜브
-	-	0	1,394	558	-	
3.5	5	20	1,115	446	29.2	
		40	836	335	58.4	
		60	557	223	87.6	
	10	20	1,115	446	31.3	
		40	836	335	62.6	
		60	557	223	93.9	
	15	20	1,115	446	31.9	
		40	836	335	63.8	
		60	557	223	95.7	
5.0	5	20	1,115	446	20.4	
		40	836	335	40.8	
		60	557	223	61.2	
	10	20	1,115	446	20.4	
		40	836	335	40.8	
		60	557	223	61.2	
	15	20	1,115	446	20.4	
		40	836	335	40.8	
		60	557	223	61.2	
7.0	5	20	1,115	446	15.6	
		40	836	335	31.2	
		60	557	223	46.8	
	10	20	1,115	446	15.6	
		40	836	335	31.2	
		60	557	223	46.8	
	15	20	1,115	446	15.6	
		40	836	335	31.2	
		60	557	223	46.8	

3.4 실험방법 및 측정

3.4.1 배합 및 시험체 제작방법

시멘트 페이스트의 혼합은 모르타르 배합용 믹서를 사용하였으며 시멘트 페이스트를 먼저 제작하고 폴리에틸렌 튜브를 투입한 후 60초간 비빔 후 배출하여 시험체를 성형하였다. 강도 시험용 시험체는 5×5×5cm 입방 몰드를 이용하여 제작하였으며, 24시간 동안 기건양생한 후 탈형하여 표준조건에서 수중양생하였다.

3.4.2 측정항목 및 방법

1) 단위용적중량

단위용적중량 시험체는 수분 함유량의 차이에 따른 영향을 배제하기 위하여 수중양생 후 건조기를 이용하여 항량으로 건조한 시험체를 이용하였으며, 각 시험체의 중량을 측정하여 1 m³에 대한 단위용적중량을 산출하였다.

2) 압축강도

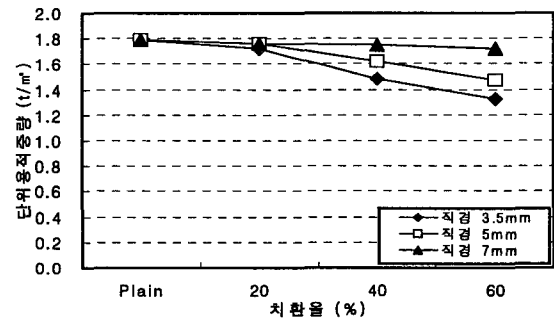
압축강도 시험은 재령 28일 시험체를 KS F 2459에 준하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

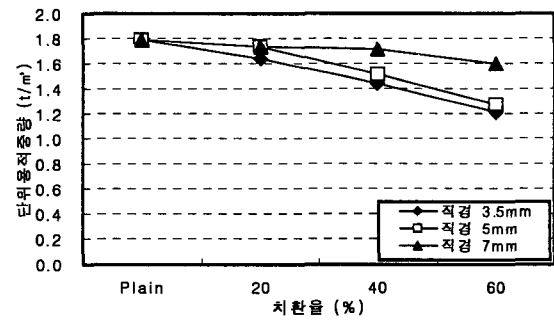
4.1 단위용적중량

폴리에틸렌 튜브의 길이에 따른 단위용적중량 시험결과는

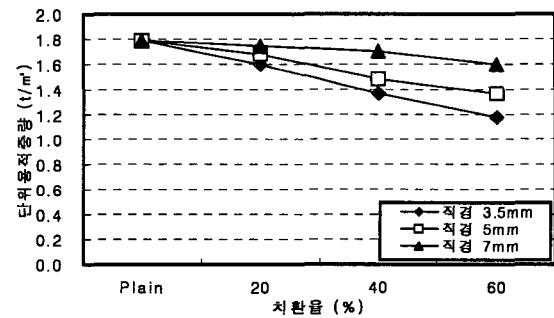
그림 3과 같다. 그림에서와 같이 폴리에틸렌 튜브의 치환율이 증가할수록 모든 배합조건에서 단위용적중량은 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 특히 튜브의 직경이 3.5mm인 배합에서는 각각의 길이 5, 10, 15mm에서 단위용적중량 감소효과가 현저한 것으로 측정되었으며, 튜브의 길이가 길어질수록 플레인과의 차는 증가하였다. 단위용적중량의 감소효과가 가장 큰 배합인 튜브 직경 3.5mm, 치환율 60%는 튜브 길이 5mm에서 약 26%, 10mm에서는 약 32%, 15mm에서는 약 34% 정도 단위용적중량 감소효과가 발휘되었다. 단위용적중량 시험결과에서 폴리에틸렌 튜브를 사용함에 따라 시멘트 경화체의 단위용적중량은 감소하였으며, 튜브의 직경이 작을수록 또한 튜브의 길이가 길어질수록 이러한 현상은 현저하였다. 그러나 단위용적중량의 감소효과는 페이스트 배합에서 공극부분을 제외하고 계산된 값과는 차이를 나타내고 있어 소량의 시멘트 페이스트가 튜브 내부로 유입된 것을 추측할 수 있다.



(1) 튜브 길이 5mm



(2) 튜브 길이 10mm



(3) 튜브 길이 15mm

그림 3. 단위용적중량(길이별)

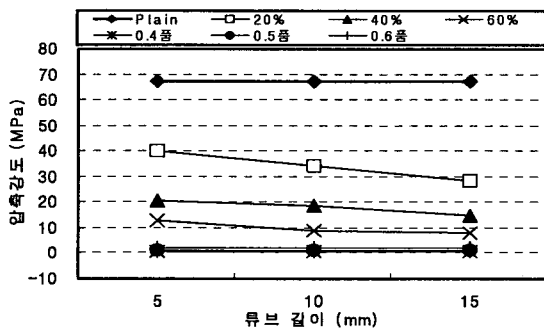
따라서 폴리에틸렌 튜브와 같은 중공형 튜브를 경량 시멘트 경화체 제조에 활용할 경우, 시멘트 페이스트가 튜브 내부로

유입되는 양을 줄여 경량성을 증대하기 위해서 튜브 직경을 가능한 한 최소화하고, 적절한 튜브의 길이를 선정하는 것이 효과적이라고 판단된다. 또한 본 연구의 범위에서는 폴리에틸렌 튜브의 치환율을 최대 60%로 한정하였으나, 치환율이 증가한다면 보다 효과적인 경량 시멘트 경화체의 제조가 가능할 것으로 예상된다.

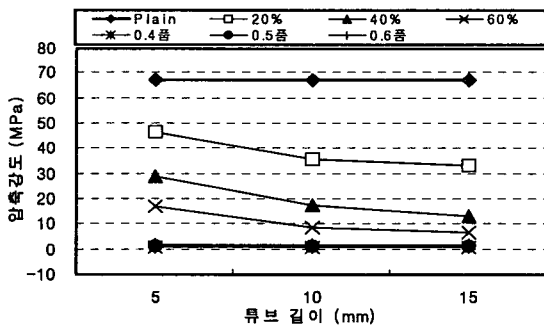
4.2 압축강도

일반적으로 바닥난방의 축열층 및 단열층 재료로서 사용되는 기포콘크리트는 KS F 4039에 겉보기 비중에 따라 0.4, 0.5, 0.6품으로 분류되어 있다. 상기의 기준에서 0.4, 0.5, 0.6품의 경량기포콘크리트의 압축강도는 재령 28일에 각각 0.8, 1.4, 2.0MPa 이상으로 규정하고 있다.

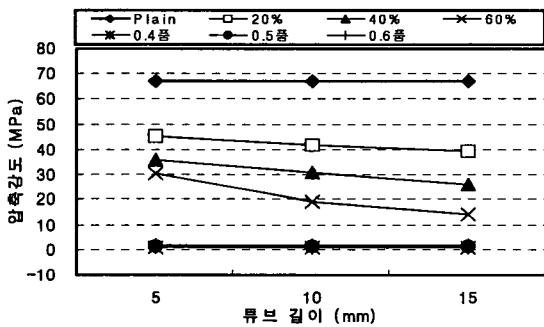
그림 4는 폴리에틸렌 튜브를 사용한 경량 시멘트 경화체의 압축강도와 현재 바닥난방의 축열층 및 단열층 재료로 사용되는 기포콘크리트의 품질규정을 비교한 결과를 나타낸 것이다.



(1) 튜브 직경 3.5mm



(2) 튜브 직경 5.0mm



(3) 튜브 직경 7.0mm

그림 4. 압축강도

경량기포콘크리트의 규준에 대하여 폴리에틸렌 튜브를 사용

한 시멘트 경화체의 압축강도는 모든 배합에서 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 한편 기포콘크리트 0.6품과 폴리에틸렌 튜브를 혼입한 시멘트 경화체 중에서 강도발현 특성이 가장 낮은 조건인 직경 5.0mm, 길이 15mm, 치환율 60%의 배합에서도 압축강도를 비교하여 볼 때 약 3.4배나 높은 결과를 보였다. 일반적으로 기포콘크리트는 높은 소포현상과 건조수축 및 낮은 강도로 인하여 균열의 발생량이 매우 크며, 더욱이 저강도 기포콘크리트 경화체 상부에 온수배관 설치 및 방통콘크리트 시공을 위하여 작업자 및 자재의 중량이 가해짐으로써 균열의 발생량은 더욱 증가하게 되므로 기포콘크리트가 소정의 성능을 발휘하는 데에는 많은 문제점들이 있다. 이는 기포콘크리트의 압축강도를 개선함으로써 해결이 가능하나 기포콘크리트의 압축강도와 축열 및 단열성능은 반비례 관계에 있으므로 기포콘크리트의 압축강도를 증가시키는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서 검토한 폴리에틸렌 튜브를 혼입한 경량시멘트 경화체는 기포콘크리트의 압축강도를 크게 개선하여 상부 작업 시 균열의 발생량을 저감시킬 수 있을 것으로 판단되므로 기포콘크리트의 문제점을 해결하는 새로운 재료 및 공법으로서 적용 가능할 것으로 기대된다.

5. 결 론

기포콘크리트 대체 재료로서 폴리에틸렌 튜브를 혼입한 경량시멘트 경화체의 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폴리에틸렌 튜브를 혼입한 경량 시멘트 경화체의 단위용적중량은 튜브 직경이 감소하고 길이가 증가함에 따라 감소하였다.
- 2) 폴리에틸렌 튜브 단위용적중량의 감소량은 배합시 계산치와 동일하지 않았으며, 이는 일부 시멘트 페이스트가 튜브 내부로 유입되어 실제 공기량을 감소시킨 결과로 판단된다.
- 3) 폴리에틸렌 튜브를 혼입한 시멘트 경화체의 압축강도는 튜브 직경이 감소하고 길이가 증가함에 따라 감소하였다.
- 4) 단위용적중량실험 및 압축강도실험 결과를 고려해 볼 때 폴리에틸렌 튜브 혼입 경량 시멘트 경화체는 모두 기포콘크리트 품질규준을 만족하므로, 단위용적중량 감소를 최대화하는 튜브 직경의 고려가 중요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박상순, 고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 개발과 역학적 특성, 연세대학교 토목공학과 석사학위 논문, 1996 .6
2. 山田哲夫, 超軽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
3. 서치호, 경량콘크리트의 성태에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위 논문, 1985