

No-Fines Concrete의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of No-Fines Concrete

홍건호*

정일영**

Hong, Geon Ho Chung, Il Young

요 약

본 연구에서는 최근 건설자재의 부족으로 인한 신건축재료의 필요성에 의하여 모래를 사용하지 않은 No-fines concrete의 사용가능성을 확인하기 위하여 재료의 역학적 특성 및 경제성을 연구하였다.

압축 및 인장강도시험과 응력도, 변형도의 측정에 의하여 재료의 기본적인 역학적 특성을 규명하였고, 타재료와의 단가와 단위벽체 건설비용을 비교하였다.

실험결과 강도 및 탄성계수의 저하, 보강철근 사용의 복잡성 등의 불리한 역학적 특성을 보여주고 있으나, 작업의 용이성, 자중 및 건설비용의 감소 등의 특성을 보여 대단위 저층 주택건설에 효과적인 재료로 판단되었다.

Abstract

The purpose of this research is to examine experimentally the mechanical properties and economics of No-fines concrete for its application to the low-rise housing construction.

Basic mechanical properties of No-fines concrete are studied by measuring of compressive, tensile strength and stress-strain relationship, and economics of it is compared with other materials in unit cost and wall construction cost.

From the test results, it can be concluded that No-fines concrete has advantages of good workability, light weight and lower construction cost, even though it has lower strength and modulus of elasticity than normal concrete does.

keywords : No-fines concrete, compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, low-rise housing

* 정회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정
** 정회원, 서울대학교 건축학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 8월 30일까지 학회로 보내
주시면 1994년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 국내의 건설현황은 대규모의 서민주택개발사업을 비롯하여 수도권지역의 대형건축물의 수요급증과 지역개발사업 등의 건설수요의 증가로 인하여 시멘트의 품귀와 자연산 모래, 자갈 등의 건설자재의 부족현상이 두드러지고 있다. 이러한 현상은 국내시공의 대부분이 재래식 콘크리트 공법에 의존하고 있기 때문이며, 따라서 새로운 자재나 공법의 개발에 의한 신기술의 도입으로 우리실정에 맞는 저렴주택의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

이와같은 요구에 의하여 2차대전 이후 구미 각국의 저렴주택 개발을 위한 사례를 조사한 결과 영국과 독일 등을 중심으로 대규모의 서민주택 공급을 위한 No-fines Concrete의 사용사례를 발견할 수 있었으며^(1, 2), 그 특성 및 건설법 등에 의한 경쟁력을 제고해 본 결과 국내 농어촌지역의 대단위 주택단지개발사업 등에 도입의 타당성을 발견할 수 있었다.

No-fines Concrete란 시멘트와 9-19mm의 조골재만으로 이루어진 콘크리트를 의미하는 것으로, 외국의 시공사례를 살펴볼 때 골재의 표면에 시멘트 페이스트를 입힌 다음 진동이나 다짐 등의 작업없이 거푸집에 타설하여 자중에 의하여 다짐이 되도록 한다. 이때 부재에는 철근의 보강을 하지 않으며, 골재를 코팅할 정도의 시멘트만이 필요하므로 콘크리트에 소요되는 재료비를 절감할 수 있고, 값싼 노동력으로 짧은 시간내에 시공이 가능한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 경량 콘크리트의 일종인 No-fines Concrete의 국내 활용을 위하여 여러가지 배합 및 양생조건에 따른 No-fines Concrete의 역학적 특성 및 경제성을 분석함으로써 최적의 배합 및 양생조건을 규명하고자 한다.

2. No-Fines Concrete의 특성

No-fines Concrete의 장단점을 외국의 연구자료에 기초하여 살펴보면 다음과 같다.^(1~6)

2.1 長點

1) 건조수축량은 $120 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 으로 보통 콘크리트보다 훨씬 적으며, 건조수축의 1/2이 10일 이내에 실행되고 100일 이내에 80%가 실행되므로 건조수축량의 예측이 용이하다.

2) 중량골재를 사용한 No-Fines Concrete벽은 동일 두께의 벽돌벽과 유사한 열전도율(K-value)을 갖는다.

3) 경량 콘크리트의 일종으로 일반골재 사용시 1900~2000kg/m³의 중량을 가지며, 경량골재 사용시에는 640kg/m³까지 중량을 줄일 수 있다.

4) 중력만으로 다짐이 되므로 진동다짐이 필요하지 않고, 표면이 거칠어 랜더링(rendering)의 훌륭한 바탕재료가 되며, 숙련공이 필요하지 않으므로 인건비를 절약할 수가 있다.

5) 콘크리트 내부에 큰 공극이 존재하여 강도저하의 원인이 되기도하나, 수분의 모세관 현상에 의한 침투가 없고, 외벽의 바깥면에 위치한 공극을 따라 수분이 흘러내리므로 벽체내부로의 수분의 침투가 없고 결빙에 강하다.

2.2 短點

1) 기존 콘크리트와 새로운 콘크리트와의 접합이 어렵기때문에 시공중단(construction joint)의 수를 줄여야 한다.

2) 콘크리트상에 직접 못질(nailing)하는 것이 불가능하므로 필요시에는 해당위치에 블록(nail block)을 삽입해야 한다.

3) 물의 강한 흡수력을 갖기때문에 기초나 물과 접하는 부위의 구조체로는 부적합하다. No-fines Concrete의 최대흡수는 부피의 25%, 무게의 50% 정도로서 일반 콘크리트의 흡수량이 무게의 1/5 이하인 것에 비하여 상당히 큰값을 갖는 것을 알 수 있다. 다만 최근에는 해안가의 콘크리트 구조체로 인한 환경파괴의 문제를 해결하기 위하여 각종 생물이 기생할 수 있는 No-fines Concrete가 사용되기도 한다.

4) 철근과의 부착강도가 내부에 분포된 공극으로 인하여 보통콘크리트에 비하여 떨어지고 부식

을 방지하지 못하므로 철근 콘크리트로는 거의 사용하지 못한다.

3. 실험의 계획 및 방법

3.1 실험계획

No-fines concrete의 배합방법에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 연구하기 위하여 배합의 주요 변수로는 1:6~1:9의 시멘트-골재비와 30~45%의 물시멘트비로 표 1에서와 같이 기본적인 25가지의 배합조건을 결정하여 각 경우에 대한 실험을 실시하였다.

No-fines concrete의 강도가 시멘트 페이스트와 골재사이의 접합에 의해서만 발현된다는 것을 고려하여 시멘트페이스트 부분의 강성을 증가시키

Table 1 The mix design of No-Fines concrete

No. of Specimen	Cement	Curing Method	Cement/Aggregate	W/C	S.F	Compaction method		
PW-8-35	PORTLAND	in water	1:8	35	-	H		
PW-8-40				40	-	H		
PW-8-45				45	-	H		
PW-8-35-S			1:8		1:8	35	5%	H
PW-8-40-S						40	5%	H
PW-8-45-S						45	5%	H
PW-9-35			1:9		1:9	35	-	H
PW-9-40						40	-	H
PW-9-45						45	-	H
PW-6-30			1:6		1:6	30	-	VT
PW-6-35						35	-	VT
PW-6-40						40	-	VT
PW-7-30	1:7		1:7	30	-	VT		
PW-7-35				35	-	VT, H		
PW-7-40				40	-	VT, H		
PW-7-45	1:6	AUTOCLAVE	1:6	45	-	VT		
PA-6-30				30	-	VT		
PA-6-35				35	-	VT		
PA-6-40	High-ALUM.	foggy room	1:6	40	-	VT		
HA-6-30				30	-	VT		
HA-6-35				35	-	VT		
HA-6-40			40	-	VT			
HA-7-30			1:7		1:7	30	-	VT
HA-7-35						35	-	VT
HA-7-40	40	-				VT		

* H : Hand Compaction
VT : Vibration Table

기 위한 실리카흙 성분을 혼입한 경우와 양생방법에 따른 강도의 변화를 관찰하기 위하여 수중양생 및 고온고압 양생법을 비교하였으며, 사용시멘트의 종류를 변화시킨 경우 등을 연구하였다.

3.2 실험방법

1) 물시멘트비 및 골재시멘트비에 따른 강도시험

표 1의 배합계획에 따라 30~45%의 물시멘트비와 1:6~1:9의 시멘트-골재비로 혼합한 콘크리트는 10×20cm의 압축강도 시험용 공시체로 제작되어 22℃의 수조에서 수중양생되었다. 콘크리트의 다짐을 위하여 1986년 Iraq의 Moayed N. Al-khalaf와 Hana A. Yousif의 보고서⁽⁴⁾에 따라 손다짐방법과 진동판다짐방법을 사용하였으며, 그 차이를 관찰하였다. 그리고 콘크리트의 압축강도 분산이 평균강도의 13%로 크게 나타나는 것을 고려하여 그 신뢰도를 높이기 위하여 28일 압축강도 측정용 공시체 갯수를 7개로 상향 조정하였다. 공시체의 제작방법은 KS F 2403을 따랐으며, 압축강도 측정은 KS F 2405, 인장강도는 KS F 2423에 따라 할렬인장시험법을 사용하여 측정하였다.

2) 하이알루미나 시멘트를 사용한 경우의 강도 시험

하이알루미나 시멘트를 사용한 경우의 콘크리트의 배합은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우와 동일하게 하였다. 강도의 측정은 하이알루미나 시멘트가 수화반응의 시작후 24시간 이내에 수화반응이 완료되며 재령 1일의 강도가 보통 포틀랜드 시멘트의 28일 강도와 견줄만하므로 본 연구에서는 재령 2일(48시간)의 강도를 측정하였다.

또한, 하이알루미나 시멘트의 수화시에 발생하는 발열량이 9cal/g/hour에 달하게 되며, 수화반응시 공시체 내부의 온도가 상승하게 된다. 이 온도상승으로 인하여 시멘트의 conversion현상이 나타나고, 이는 콘크리트 강도를 저하시키는 원인이 된다. 따라서 일반적으로 지연제를 사용하여 수화반응의 속도를 지연시킴으로써 발열량을 조절할 수 있으나, 본 연구에서는 지연제는 사용

치 않았으며 공시체 타설후 22℃의 항온 항습의 상태에서 양생하여 강도를 측정하였다.

3) 고온고압 양생에 의한 공시체의 강도시험

No-fines Concrete의 양생방법에 따른 강도의 변화를 판단하기 위하여 수중양생의 경우와 고온 고압 양생(Autoclave curing)의 경우를 비교하였다. 양생시의 게이지 압력은 KS F 2701 ALC 블록의 경우를 준용하여 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였으며 온도는 180°C 의 포화 증기양생으로 하였다. 양생 방법은 그림 1과 같이 열충격에 의한 콘크리트의 강도저하를 막기 위하여 1일간의 전양생을 실시하였으며, 3시간 동안의 승온 및 승압 후 고온, 고압(Autoclave)의 상태에서 8시간동안 양생하였고, 4시간의 냉각 후 강도측정을 실시하였다.

3.3 사용재료의 물성

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 하이 알루미나 시멘트(High-Alumina Cement)를 사용하였으며, 사용 시멘트의 물리적 성질은 표 2 및 표 3과 같다. 조골재는 경기도 미사리에서 채취한 9.5mm~19mm의 강자갈을 사용하였으며 혼화제는 사용하지 않았다.

Table 2 The properties of ordinary portland cement

	Description	Unit	Result
Fineness	Blaine	cm^2/g	3,125
Stability	Autoclave Expansion	%	0.09
Setting Time	Initial	min.	289
	Final	hour	7 : 00
Compressive strength	3 Days	kg/cm^2	190
	7 Days	kg/cm^2	251

Table 3 The properties of High-Aluminal Cement

	Description	Unit	Result
Fineness	88 Screen remain	%	2.5
Setting Time	Initial	hour	7 : 05
	Final	hour	8 : 00
Strength (24 hour)	Flexual	kg/cm^2	50.3
	Compressive	kg/cm^2	328
Flow		mm	230

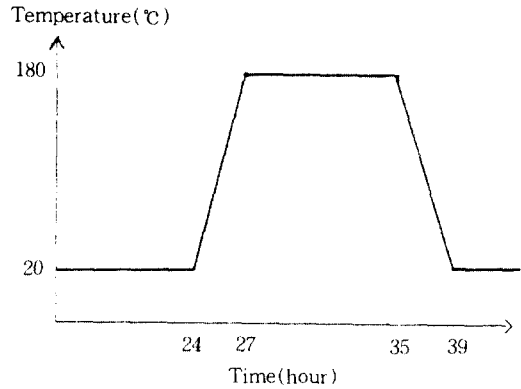


Fig. 1 Autoclave curing

4. 실험결과 및 분석

4.1 No-fines Concrete의 중량

No-fines Concrete의 중량은 굳지않은 콘크리트의 상태에서 공시체 타설 직후 공시체 3개의 중량을 측정하여 그 평균값으로 표 4에 주어져 있다. 표에서 No-fines Concrete의 중량은 일반골재의 사용시 $1700\sim 1900\text{kg}/\text{cm}^2$ 로, 큰 차이를 나타내지는 않았으나 물시멘트비가 증가함에 따라 콘크리트의 중량이 증가하는 경향을 보였다. 시멘트골재비의 경우에는 시멘트골재비가 커짐에 따라 중량이 증가하였다.

Table 4 Weight og No-fines concrete

W/C ratio (%)	Portland cement		High Alumina cement	
	1 : 6	1 : 7	1 : 6	1 : 7
30	1895	1728	1827	1824
35	1809	1792	1835	1828
40	1864	1822	1837	1811

4.2 No-fines Concrete의 압축강도

No-fines Concrete의 압축강도는 표 5와 같다. 표에서 No-fines Concrete의 압축강도는 물시멘트비가 감소할수록, 시멘트골재비가 증가할수록 증가한다. 페이스트 부분의 강도를 증가시키기 위

하여 시멘트 중량비의 5%에 해당하는 실리카흙을 혼입한 결과 압축강도가 약간 증가하며 강도의 편차가 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며 시멘트의 종류나 양생방법에 의한 차이는 거의 없었다. 따라서 No-fines Concrete의 압축강도는 재료의 특성보다는 주로 내부의 공극에 의한다는 것으로 추정할 수 있었다. 즉, No-fines Concrete의 압축강도는 사용된 굵은 골재의 형상 및 배치와, 골재로부터 시멘트 페이스트의 분리정도에 지배를 받게 되며 시멘트페이스트의 초기균열 억제에 의한 매트릭스 부분의 강도증진에는 한계가 있음을 알 수 있다.

Table 5 Results of compressive and splitting tensile strength test of No-fines concrete

No. of Specimen	Compressive strength at 28 days(kg/cm ²)	Tensile strength at 28 days(kg/cm ²)
PW-8-35	59.09	
PW-8-40	66.11	
PW-8-45	61.06	
PW-8-35-S	69.82	
PW-8-40-S	69.49	
PW-8-45-S	57.31	
PW-9-35	55.27	
PW-9-40	44.04	
PW-9-45	41.69	
PW-6-30	89.84	12.06
PW-6-35	73.08	11.44
PW-6-40	65.35	10.85
PW-7-30	68.82	9.52
PW-7-35	65.04	8.54
PW-7-40	57.54	10.64
PW-7-45	60.54	
PA-6-30	78.46	
PA-6-35	63.67	
PA-6-40	38.16	
HA-6-30	89.35	12.73
HA-6-35	75.24	11.02
HA-6-40	50.32	8.14
HA-7-30	67.90	9.58
HA-7-35	72.20	11.38
HA-7-40	63.11	10.71

다짐방법에 따른 효과를 연구하기 위하여 시멘트골재비가 1:7인 경우 그림 2와 같이 진동판다짐에 의한 압축강도가 손다짐에 의한 압축강도의

70~80%에 불과한 것으로 나타났다. 이와같은 현상은 No-fines concrete의 슬럼프치에서도 나타났다. 재료자체의 유동성이 크기 때문에 진동판다짐을 하였을 경우에는 손다짐을 한 경우에 비하여 시멘트페이스트가 골재로부터 분리되는 정도가 더 크기 때문이다.

4.2.1 시멘트골재비에 따른 압축강도

시멘트골재비에 따른 No-fines Concrete의 압축강도는 표 5 및 그림 3과 같이 시멘트골재비가 증가할수록, 즉 단위시멘트량이 커질수록 증가한다. 따라서 부재의 사용하중 및 층수에 따라 적절한 시멘트골재비를 사용함으로써 경제적인 시공이 가능하다. 다만, 실험결과로부터 시멘트골재비 1:9 이하의 경우에는 콘크리트의 강도가 현저히 감소하므로 시멘트골재비를 제한하여야 한다.

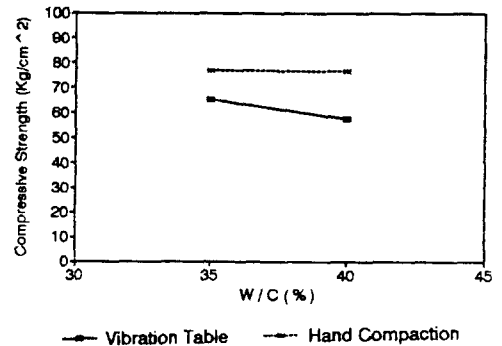


Fig. 2 Effect of compaction method

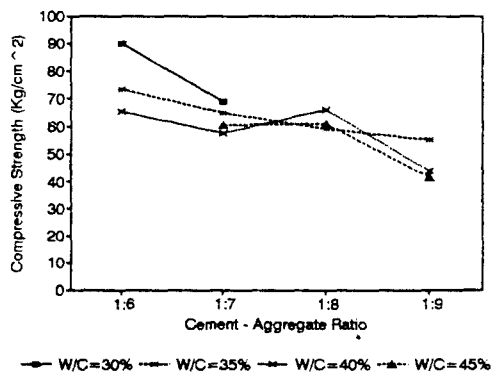


Fig. 3 Relationship between C/A and compressive strength of No-fines concrete

4.2.2 물시멘트비에 따른 압축강도

콘크리트에 있어서의 물은 시멘트의 경화에 필요한 경화제로서의 역할뿐 아니라 콘크리트의 시공연도(Workability)를 좌우하는 요소이다. 그러나 No-fines Concrete의 경우는 조골재와 이를 코팅하는 시멘트페이스트 만으로 이루어지게 되고, 유동성을 감소시키는 잔골재를 사용하지 않으므로 항상 양호한 시공연도를 유지할 수 있어 시멘트의 수화작용에 필요한 최소한의 물만으로 콘크리트를 타설할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 물시멘트비를 30%에서 45%까지 5% 단위로 실험을 실시하였다. 실험결과 그림 4와 같이 1:6의 골재시멘트비, 30%의 물시멘트비에서 89.84kg/cm²의 비교적 높은 압축강도를 나타내었으나 물시멘트비가 커짐에 따라 점차 압축강도가 감소하였다.

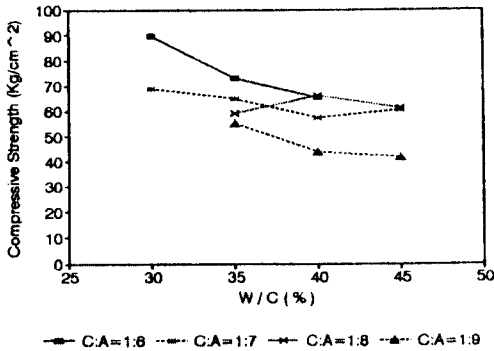


Fig. 4 Relationship between W/ C and compressive strength of No-fines concrete

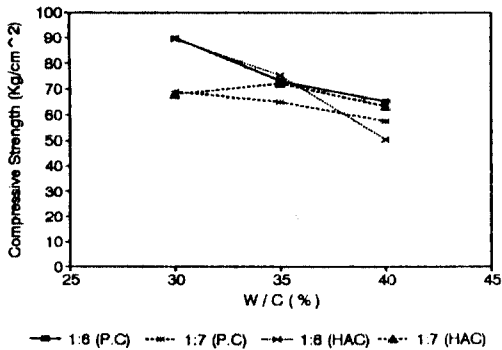


Fig. 5 Effect of cement type on the compressive strength

공시체의 타설시 물시멘트비 30%의 경우에는 진동판 다짐에 의한 시멘트페이스트의 분리현상이 거의 나타나지 않았으나, 그 이상의 물시멘트비에서는 다짐시에 시멘트페이스트가 공시체 몰드의 아래로 흘러내려 진동판다짐방법이 불리하였다.

4.2.3 하이알루미나 시멘트 사용시의 압축강도

No-fines Concrete의 페이스트 부분의 강도강화 및 조기강도획득에 의한 콘크리트의 초기균열을 억제하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트를 하이알루미나 시멘트로 대체한 결과는 그림 5와 같다.

그림에서 하이알루미나 시멘트를 사용한 결과는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 28일간 수중양생한 경우와 거의 일치하였으나, 조기강도와 작은 강도편차의 특성을 나타내었다. 단, 본 연구에서는 하이 알루미나 시멘트의 수화작용에 의한 발열로 발생될 수 있는 시멘트의 conversion 현상에 대한 방지책을 사용하지 않았다.

4.2.4 양생방법에 따른 압축강도

콘크리트의 강도에 영향을 주는 또 다른 요소로서 콘크리트의 양생조건을 들 수 있으며, 본 연구에서는 콘크리트의 조기강도의 획득 및 양호한 양생조건의 확보라는 측면에서 고온고압(Auto-clave)양생을 실시하였다.

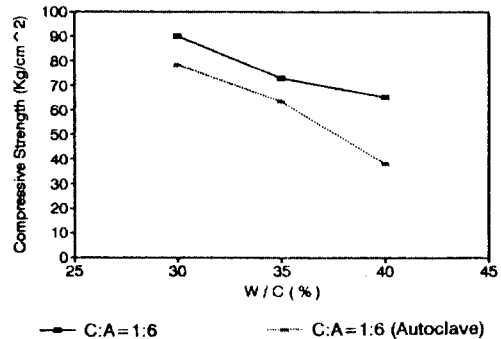


Fig. 6 Effect of curing method on the compressive strength

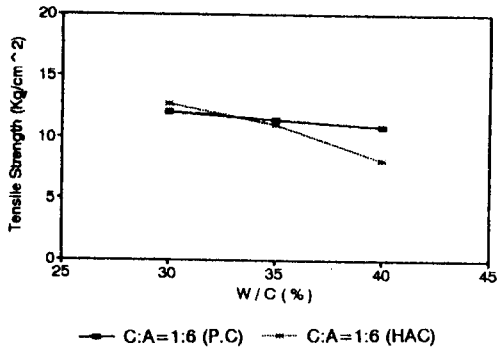


Fig. 7 Relationship between W/ C and tensile strength of No-fines concrete

고온고압에 의한 양생방법은 콘크리트의 보양을 촉진하는 방법으로 초기강도의 증진과 함께 뛰어난 치수 안정성 및 내부식성을 나타내게 된다. 본 실험에서의 양생시 공시체의 조건은 장비의 크기를 고려하여 지름 7.5cm, 높이 15cm의 실린더형 공시체를 사용하였으며, 공시체의 크기에 따른 추가적인 계수는 고려하지 않았다.

양생결과 그림 6과 같이 재령 2일의 강도는 1:6의 골재시멘트비, 30%의 물시멘트비에서 78.46kg/cm²으로 나타났으며 물시멘트비에 따른 강도의 변화는 수중양생의 경우와 거의 일치하였다. 물시멘트비가 40%인 경우에는 38.16kg/cm²이라는 낮은 강도를 보였으며, 이는 진동판다짐에 의한 시멘트 페이스트의 분리현상이 심하게 일어났으므로 나타난 현상으로 판단된다. 고온고압으로 양생된 공시체의 경우 고온고압양생에 의한 안정화작용에 의해 수중양생의 경우보다 상대적으로 큰 파괴 변형도, 즉 큰 연성을 나타내었다.

결론적으로 고온고압양생에 의한 방법은 No-fines Concrete의 조기강도 획득 및 연성도의 확보에 유리한 것으로 판단되며 건조수축의 감소 및 내부식성 등의 효과가 추가로 확보될 수 있다.

철근과의 부착강도의 문제는 No-fines Concrete의 공법 사용시 철근의 사용이 극히 제한된다는 점을 감안한다면 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

4.3 No-fines Concrete의 인장강도

No-fines Concrete의 활열인장강도는 표 5 및 그림 7에서와 같이 배합조건에 따라 6~13kg/cm²의 강도를 나타냈다. 강도는 골재시멘트비와 물시멘트비의 변화에 의존하는 것으로 판단되며, 양생방법과 시멘트의 종류에 따른 변화는 거의 없다.

철근의 보강이 어렵다는 No-fines Concrete의 특성을 감안할 때, 이와같은 콘크리트의 인장강도는 큰 값의 인장력을 받는 부재에는 사용이 불리하며, 이와 같은 콘크리트의 활열인장과 압축강도와의 관계는 CEB-FIB 국제 지침의 지수형식을 따를때 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$f_t = 0.69 \times (f'_c)^{0.64} \quad (1)$$

인장강도와 압축강도와의 상관관계를 단순화시켜 선형으로 비교한 식은 다음과 같다.

$$f_t = 1.42 + (0.13 \times f'_c) \quad (2)$$

그림 8에서 식 (1) 및 (2)를 실험결과치와 비교하였으며, 이때의 상관계수는 각각 0.91과 0.89로 비교적 높게 나타났다.

4.4 No-fines Concrete의 파괴양상 및 강도의 분산

압축 및 인장파괴시의 공시체의 파괴양상은 보통 콘크리트의 경우 파괴하중의 50% 이상에서 조골재의 주변으로부터 shear-bond crack이 발생하기 시작하여 매트릭스의 균열과 결합되고 하중 방향의 20~30° 경사로 파괴되는 것에 반하여, No-fines Concrete의 경우에는 골재주변의 shear-bond crack 만으로 파괴되므로 그림 9와 같이 공시체의 중앙부근에서 시멘트 페이스트의 압축파괴(crushing)이 일어나며 파괴되었다.

No-fines Concrete의 강도의 분산은 수중양생의 경우 재령 28일의 강도측정시 13%에 해당하는 큰 편차를 보였으며, 본 연구에서 하이알루미나 시멘트를 사용한 경우와 고온고압 양생을 한 경우에는 평균강도의 10% 이하의 표준편차를 나타내어 강도의 편차가 감소되었다.

4.5 No-fines Concrete의 응력-변형도관계

No-fines Concrete의 응력-변형도관계는 그림 10과 같으며, 최대강도 1/3 지점의 secant modulus에 의하여 계산된 탄성계수 E의 값은 압축강도의 변화에 따라 $1.2 \sim 1.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 정도로 나타났다. No-fines Concrete의 탄성계수가 보통콘크리트의 탄성계수보다 낮은 값을 나타내는 것으로부터 응력에 대한 콘크리트의 변형도가 크게 된다. 그 이유는 콘크리트 내부의 공극으로 인하여

응력에 대한 변형이 쉽게 일어나는 것으로 판단된다.

파괴시의 변형도 값은 0.001 ± 0.0003 이었으며 보통콘크리트의 기준값에 비할 때 상당히 작은 변형도의 값에서 파괴되었다. 이것은 No-fines Concrete가 자갈과 시멘트 페이스트만으로 구성되어 콘크리트의 내부에 다량의 공극이 분포함으로써, 골재주위의 구속력이 작아 낮은 값의 변형도에 의하여도 쉽게 자갈사이의 시멘트 페이스트가 극한 강도에 도달하는 것으로 판단된다.

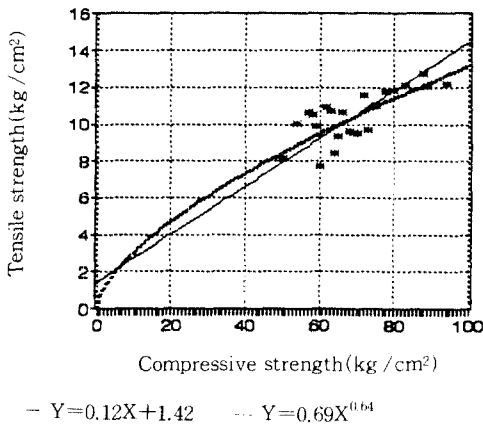


Fig. 8 Relationship between compressive and tensile strength of No-fines concrete

5. No-fines Concrete의 경제성 분석

건설공사에 있어서의 공사비의 구성은 크게 재료비, 노무비, 기계비, 기타 제경비 등의 4가지로 분류될 수 있다. 이와같은 관점에서 No-fines Concrete의 경제성을 분석해 볼 때 이 재료는 자갈과 이를 코팅하는 시멘트 페이스트만으로 구성되어 현재의 철근콘크리트에 비하여 재료비의 큰 절감효과를 얻을 수 있으며, 작업성이 좋고 타설 작업이 쉬우며 숙련공이 필요하지 않기 때문에 노무비의 절감효과를 기대할 수 있다. 특히 현대의 기술개발의 형태가 과거의 재료절약형으로부터 노무비의 상승으로 인한 노동절약형으로 변화한다는 점을 감안한다면, 이 재료는 시공현장에서의 원가절감에 크게 기여할 수 있을 것이다.

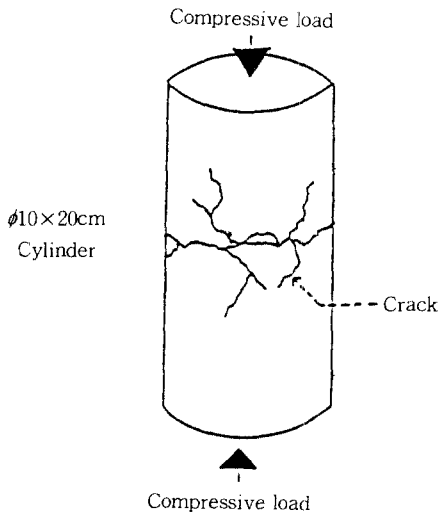


Fig. 9 Fracture aspect of No-fines concrete

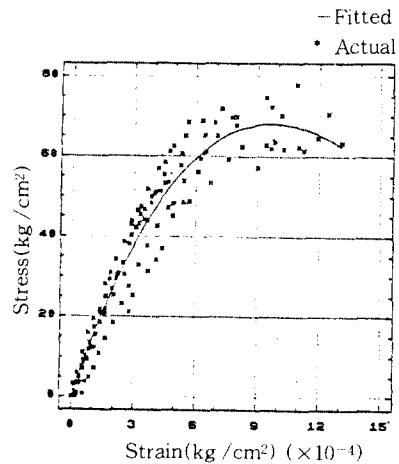


Fig. 10 Relationship between strain and stress of No-fines concrete

Table 6 Comparison of unit cost

(cost /m³)

Description	Total (Won)	Material costs				Personnel costs		
		Subtotal	Cement	Coarse Aggre.	Fine Aggre.	Subtotal	Concrete laborer	normal laborer
			Kg	m ³	m ³		man	man
Unit cost			52.50	9,500	9,500		18,100	16,100
No-Fines Concrete 1 : 6	43,723	23,203	13,703 (261)	9,500 (1)	-	20,520	10,860 (0.6)	9,660 (0.6)
No-Fines Concrete 1 : 7	41,780	21,260	11,760 (224)	9,500 (1)	-	20,520	10,860 (0.6)	9,660 (0.6)
No-Fines Concrete 1 : 8	40,310	19,790	10,290 (196)	9,500 (1)	-	20,520	10,860 (0.6)	9,660 (0.6)
No-Fines Concrete 1 : 9	39,155	18,635	9,135 (174)	9,500 (1)	-	20,520	10,860 (0.6)	9,660 (0.6)
Dense Concrete 1 : 2 : 4	62,105	29,625	16,800 (320)	8,550 (0.90)	4,275 (0.45)	32,390	16,290 (0.9)	16,100 (1.0)
Dense Concrete 1 : 3 : 6	55,725	24,945	11,550 (220)	8,930 (0.94)	4,465 (0.47)	30,780	16,290 (0.9)	14,490 (0.9)

따라서 No-fines Concrete의 일위대가 및 벽체 건설비용을 '90년 정부공인 물가자료를 기준으로 다른 건축재료와 비교해보면 다음과 같다.

5.1 일위대가 비교

No-fines Concrete와 현재 일반적으로 사용되고 있는 1 : 2 : 4 및 1 : 3 : 6의 조밀콘크리트를 일위대가에 의하여 비교하여보면 표 6과 같다. No-fines Concrete의 일위대가는 보통 콘크리트의 63~78% 정도로 재료비 및 인건비에서 보통 콘크리트에 비하여 경제성이 있음을 보여주고 있다.

5.2 단위 벽체의 건설비용 비교

No-fines Concrete의 경제적 타당성을 판단하기 위하여 재료의 여러가지 시공조건을 고려한 실제 벽체건설시의 비용을 동일조건인 조적조, 치장조적조, 철근콘크리트조와 비교하면 표 7과 같다.

이때 벽체의 조건은 일반주택의 길이 6m, 높이 3m인 내력벽으로 계산의 편의상 개구부는 없는 것으로 하였다. 조적조의 경우 벽의 두께는 1B로서 시멘트 벽돌을 사용하고, 벽체의 양면을 3회 미

장한 후 페인트칠을 하는 것으로 가정하였고, 치장조적조의 경우 1B두께로 미장벽돌을 치장쌓기한후 외부는 그대로 마감하고 내부는 기타의 구조와 마찬가지로 미장후 페인트칠을 하는 것으로 가정하였다.

Table 7 Comparison of wall construction cost

Materials	No-Fines Concrete			Masonry	Decorative Masonry	Reinforced concrete
	1:6	1:8	High-Alum.			
Construction cost	654,061	640,411	1,225,651	711,260	1,066,234	917,851

철근콘크리트조의 경우에는 20cm 두께로 거푸집 제거후 2회 미장을 실시하고 페인트칠을 하는 것으로 가정하였으며, No-fines Concrete 사용시는 두께 20cm로 가정하고 양면의 2회 미장후 페인트칠을 하는것으로 가정하여 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 골재비가 1 : 6과 1 : 8인 경우와 하이알루미나 시멘트를 사용하여 골재비 1 : 6인 경우를 비교하였다. 단열재의 사용에 소요되는 인력 및 재료비는 동일하다고 가정하여 계산에서 제외하였으며, 또한 No-fines Concrete의 타설 및 미장시의 작업인원은 작업의 용이성을 고려하여 저등급 숙련공의 인건비를 적용하였다.

6. 결 론

이상과 같은 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. No-fines Concrete의 압축강도는 물시멘트비가 감소함에 따라, 시멘트골재비의 증가함에 따라 증가하였다.

2. 다짐방법에 의한 콘크리트의 강도는 30%의 물시멘트비에서는 진동판에 의한 방법이 외관상 시멘트페이스트의 분리가 나타나지 않아 적당하나 그 이상의 물시멘트비에서는 골재로부터 시멘트페이스트의 분리가 두드러지므로 손다짐에 의한 방법이 가장 적당한 것으로 판단된다.

3. No-fines Concrete의 압축강도는 그 배합비에 따라 40~90kg/cm²를 나타내었으며, 중량에 비할때 비교적 낮은 분포를 보였으나, 골재시멘트비가 1:6, 물시멘트비가 30%인 경우에는 약 90kg/cm²의 강도를 나타내어 저층의 주택건설에는 큰 문제가 없다.

4. 하이알루미나 시멘트를 사용한 경우 초기강도의 획득 및 강도편차의 감소 등의 효과를 얻을 수 있었으나 압축강도의 큰 증가는 없었으며 수화열에 의한 conversion 현상에 대한 대책이 필요하게 되고 초기타설의 필요에 따른 숙련공의 필요와 재료비의 상승 등을 감안할 때 사용이 불리하였다.

5. 수중양생의 경우와 고온고압양생의 경우를 비교하면, 수중양생의 재령 28일 압축강도에 비하여 고온고압양생의 재령 2일의 강도는 약 87% 정도로 나타났다.

6. No-fines Concrete의 중량은 일반골재의 사용시 1700~1900kg/m³이었으며, 파괴부위가 골재 자체보다는 골재사이의 접착면인 것을 고려할 때, 경량골재의 사용에 의한 경량화 방안이 가능하였다.

7. No-fines Concrete의 인장강도는 그 배합조건에 따라 6~13kg/cm²으로 나타났으며, 보강철근의 사용시 철근의 부식과 부착강도 등이 문제시 되므로 인장력이 크게 작용되지 않는 벽체 등에 사용이 적합하다.

8. No-fines Concrete의 활열인장강도와 압축

강도와와의 관계는 본 실험결과 다음 식과 같이 표시될 수 있다.

$$f_t = 0.69 \times (f_c')^{0.64} \text{ 또는}$$

$$f_t = 1.42 + (0.13 \times f_c')$$

9. No-fines Concrete의 탄성계수는 1.2~1.5×10⁵kg/cm²로 나타났으며, 보통 콘크리트의 1/3 정도의 변형도에서 파괴되었다.

10. No-fines Concrete는 1/8의 시멘트골재비를 기준으로 보통 콘크리트(1:2:4)와 비교하여 콘크리트 1m³당 124kg의 시멘트와 0.45m³의 모래를 절약시킬 수 있었으며, 철근콘크리트조의 약 70%, 조적조의 약 90%로 건설비용을 줄일 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술처에서 시행한 신주택기술 개발과제의 일부분임을 밝히며, 연구에 많은 도움을 주신 KIST의 정형진 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Malhotra, V. M., "No-fines Concrete-Its properties and Applications, State of art report", ACI Journal Vol. 73, No. 11, Nov. 1976, pp 628-644
2. Short, A. and Kinniburgh, W., "Lightweight Concrete", John Wiley and Sons, London, 1963, pp 91-106
3. "Special Concrete, Mortars and Products", Portland Cement Association, John Wiley and Sons, London, 1975, pp 31-33
4. Moayed, N. Al-khalaf and Hana, A. Yousif, "Compactibility of no-fines concrete", The International Journal of cement composites and lightweight concrete, V. 8, Feb. 1986, pp 45-50
5. Richard C. Meininger, "No-fines pervious concrete for paving", Concrete International, Aug. 1988, pp 20-27
6. Tamai, M. and Nishiwaki, Y., "Studies on Marine Epilithic Organisms to No-Fines Con-

- crete Using Slag Cement and Portland Cement with Silica Fume”, 1992 Istanbul Conference, SP132-87, pp 1621-1635
7. Naegel E., Schneider U., and Brandau A., “Properties of Porous Concrete injected with Polymer and Cementitious Materials”, Chapman and Hall, London, 1986, pp 106-112
 8. Murdock, L. J. and Brook, K. M., “Concrete Materials and Practice”, Edward Arnold, 1979, pp 358-361
 9. Neville, “Properties of Concrete”, 3rd Edition, Pitman publishing Limited, London, 1981, pp 629-632
 10. Taylor, W. H., “Concrete Technology and Practice”, 4th ed., McGraw-Hill, 1977, pp 590-642
 11. “신주택 기술개발-No-Fines Concrete의 개발에 관한 연구(제 2차년도 연차보고서)”, UCN891 (4)-4656-1, 과학기술처, 1991
(접수일자 : 1994. 4. 19)