

인공경량골재의 입도에 따른 고강도 경량콘크리트의 강도변화에 대한 실험적 연구

An Experimental Study for the Strength Variations of High-strength Lightweight Concrete According to Grain-size of Artificial Lightweight Aggregate

김 성 칠^{1)*} 박 기 찬²⁾ 최 형 욱³⁾
Kim, Sung Chil Park, Ki Chan Choi, Hyoung Wook

Abstract

In recent days, while taller and more massive structures such as huge bridges and super skyscrapers have been welcomed, the structural stabilization in design and construction have been gradually limited due to the major weakness of current concrete which is relatively heavier when compared with its strength. To improve the weakness of the current concrete, The lightweight concrete with light weight and high strength should be used; however, not many researchers in Korea have studied on the lightweight concrete.

Generally, artificial lightweight aggregate produced through high-temperature-plasticization has a possibility of its body-expansion with many bubbles. Therefore, depending on the size of aggregate, the effects of bubbles on the specific weight and strength of the lightweight concrete should be studied.

In this study, considering grain-size, the mix design of the artificial lightweight aggregate produced through the high-temperature-plasticization and the body-expansion of waste and clay from the fire power plant in Korea was conducted. The experiment to analyze the variation in specific weight and strength of the lightweight concrete was followed. From these experiments, the optimized grain-size ratio of the artificial lightweight aggregate for the enhancement of high-strength from the lightweight concrete was revealed.

Keywords : Artificial lightweight aggregate, High-strength lightweight concrete

1. 서론

최근 환경문제가 대두됨에 따라 산업 폐기물(석탄회, 유/무기성 슬러지, 폐분진 등)을 재활용한 인공골재 개발에 많은 관심과 연구가 진행되어 오고 있다.^{1)~4),10),14),15),17)}

국내에서 화력발전소의 폐기물을 소성화하여 개발한 에코인공경량골재는 자연산 골재 보다 강도가 낮다는 것이 단점이나 이를 사용한 콘크리트의 강도를 증진시킬 수만 있다면 부족한 골재의 수요에 어느 정도 대체해 갈수 있을 것으로 기대된다.

에코인공경량골재는 환경부 인증 환경 마크(제 5599호) 획득과 제조 기술로 환경 신기술 (206호)을 지정받는 골재로, 경기대 산학연단 순환자원연구팀에서 개발(2004년), 현재 상용화하여 (주)세라그린에서 생산되고 있다. 이 골재로 제작한 콘크리트(자중 :1.7~1.8t/m³)를 구조

용 콘크리트로 적용한 예로는 두산산업개발이 2006년 10월 여의도 아이맥스건물을 기존 10층 건물에서 15층 건물로 증축 시 처음으로 슬래브에 타설하였다.

선진국에서는 인공경량골재의 개발 및 제조가 이루어진 것은 1917년 S.J.Hayde가 혈암과 점토를 회전로방식으로 열 팽창하여 골재로 사용한 것을 시초로 같은 시기에 F.J.Staub에 의해 화산재를 원료로 한 인공경량골재가 생산되기 시작한 이래 미국, 독일, 일본 등지에서 개발과 제조에 대한 연구가 활발히 진행되어 건축물이나 토목구조물에 적용되어 왔다.¹⁵⁾

근래 초고층건물 및 장대교량 건설 등 구조물들이 대형화됨으로써 기존의 콘크리트를 사용할 경우 강도 및 내구성에 비해 중량이 크다는 결점 때문에 콘크리트 구조물의 설계 및 시공의 안정에 대해 제약을 주게 된다. 따라서 이러한 결점을 개선하고자 인공경량골재로 대체한 연구가

1) 정희원, 경기대학교 토목공학과 교수
2) 정희원, 경기대학교 대학원 박사과정
3) 학생회원, 경기대학교 대학원 석사과정

* Corresponding author : sung7kim@kyonggi.ac.kr 031-249-9711

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

활발히 진행되어 지고 있다.

그런데 인공경량골재를 사용하여 제작한 경량콘크리트는 보통 골재를 사용한 콘크리트에 비하여 골재, 배합, 물성에 있어서 많은 차이점이 있다. 특히, 인공경량골재는 골재내부에 소성화 시 팽창으로 인한 미세한 기포가 발생하여 그 비중이 보통골재에 비해 치수에 따라 일정치 않을 뿐 아니라 물의 흡수율의 변동도 크기 때문에 관리가 매우 어려운 재료이다.^{5)~7),12),13),18)~21)}

Zang과 Gjrov는 경량콘크리트의 강도에 영향을 주는 가장 큰 인자는 경량골재의 강도라는 결론을 내리고, 유럽산 경량골재에 대해 연구한 결과, 골재 내부의 공극률은 44~59%로 다양했으며, 골재가 클수록 독립기포보다 연속기포로 형성되어 있어 공극률도 크게 된다고 하였다.^{16),22)}

이러한 골재를 이용하여 설계자가 요구하는 콘크리트의 배합강도를 얻기 위해서는 사전에 많은 실험을 통하여 콘크리트 강도에 미치는 변수들의 영향이 규명되어 고강도 경량콘크리트용 인공경량골재 개발에 보다 정확한 자료를 제공하여야 할 것이다.

본 연구에서는 국내에서 생산되는 인공경량골재를 사용하여 골재의 입도별 경량콘크리트의 배합설계를 제시하고 실험을 통하여 골재의 입도에 따른 경량콘크리트의 단위중량 및 강도 변화를 비교 분석하여 고강도 발현을 위한 인공골재의 최적 입도비를 제안하고자 한다.

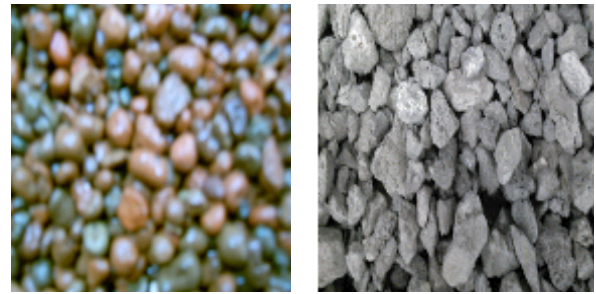
본 연구의 목적달성을 위하여 국내외의 경량골재의 치수별(Case-1), 또한 치수 혼합비(Case-2,3)에 따른 경량콘크리트의 압축강도 시험을 실시하여 골재의 입도별 콘크리트 강도를 비교 분석하고, 또한 고강도 발현을 위한 최적 입도비를 도출한다. 그리고 사용재료의 기본적인 물성실험과 인공경량골재의 특성에 맞는 용적법을 이용하여 배합설계를 실시하였다.

2. 재료의 제원 및 시험방법

2.1 재료의 제원

2.1.1 인공경량골재

본 실험에 사용한 국내산 인공경량골재는 Photo 1의 (a)와 같고, 화력발전의 폐기물(저회)과 준설토를 이용하여 고온에서 소성, 팽창 시켜 만든 것으로 골재 내부에 무수한 기포를 가지고 있는 다공질성 골재이다. 국외산은



(a) Eco aggregate (b) Stalite aggregate

Photo 1 Artificial lightweight aggregate

Table 1 Chemical composition of lightweight aggregate

Chemical component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Other chemical component
Measured value of average(%)	45.54	18.59	8.07	0.51	1.18	26.13

Table 2 Physical properties of lightweight aggregate

Size	Absolute density		Saturated surface-dry condition		Water absorption(%)	
	Eco. agg.	Stalite agg.	Eco. agg.	Stalite agg.	Eco. agg.	Stalite agg.
18.0 mm	1.48	1.47	1.75	1.62	18.34	9.71
12.5 mm	1.51	1.56	1.75	1.68	15.54	6.80
9.5 mm	1.61	1.62	1.82	1.70	13.28	5.07
Below 5.0mm	1.87	-	2.00	-	6.99	-

Photo 1의 (b)같이 화산암의 쇄골재인 미국산 Stalite 골재를 사용하였다. 그 특성은 다음과 같다.

(1) 화학적 성질

KS L 3128에 근거한 에코 인공경량골재의 화학적 성분은 Table 1에서 보는 바와 같이 SiO₂, Al₂O₃가 각각 45.54%, 18.59%로 주성분을 이루고 있다.⁶⁾

(2) 물리적 성질

본 실험에 사용된 국내/국외 경량골재의 KS F 2533에 따른 실험값은 Table 2와 같다.

인공경량골재의 비중은 치수가 증가함에 따라 일반적으로 낮아지는 특성을 가진다. 이는 골재가 클수록 내부의 큰 기포가 많이 형성되어 작은 골재에 비해 비중은 작아지고 흡수율은 높아지는 현상을 보이게 된다.

Table 2에서도 그러한 경향을 보이고 있다. 그리고 화산암의 쇄골재인 외국산에 비해 소성시켜 만든 국내산이

훨씬 높은 흡수율을 보이고 있음을 알 수 있다.

이러한 골재를 사용하여 콘크리트 배합설계 시 가장 문제가 되는 것은 물-시멘트 비 결정이다. 이는 배합물의 일부를 흡수율이 높은 인공경량골재가 흡수하여 콘크리트 타설에 필요한 소오 워커빌리티를 만족하지 못하게 된다. 이리하여 통상의 경우에는 인공경량골재의 배합관리에서 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 사전 침수(Pre-Wetting) 방법을 이용한다. 본 실험에서도 굵은 골재로 사용한 경량골재에 대해서는 수중에 3일간 침수시킨 후 1일간 건조하여 표면건조 상태에서 사용하였다.

2.1.2 혼화재 및 감수제

실리카흙을 콘크리트의 고강도화를 목적으로 사용할 경우 Micro Filler 효과로 인해 공극률이 감소하고 입자간의 간극을 충전하게 만들어 치밀한 조직이 되기 때문에 고강도 발현이 가능하게 된다.

특히 경량콘크리트 제조 시 실리카흙을 사용할 경우 시멘트 수화반응시 생기는 유리수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 불용성의 규소산화물을 만들어 줌으로써 수밀성이 높고, 화학적 침식저항성이 증대되어 고강도 경량콘크리트를 얻는데 유리하다.

따라서 본 실험에서도 혼화재로 실리카흙을 사용하였으며, 그 물리적 조성은 Table 3과 같다.

실리카흙의 비중은 2.2이고 단위중량은 시멘트의 약 1/2~1/4정도이다. 실리카흙은 폐가스에서 SiO₂를 포집한 형태이므로 90% 이상이 구형으로 되어 있어 플라이에 시와 같이 볼 베어링(Ball Bearing) 역할을 하므로 콘크리트의 유동성에도 좋은 영향을 미친다. 실리카흙의 입자

Table 3 Physical properties of Silica-Fume

Type	Fineness (cm ² /g)	Specific gradient	Unit weight (kg/m ³)	Below 45μm (%)	Avg. diameter (μm)
Domestic S.F	150.00~300.00	2.2	480 ~ 720	avg. 97	0.1

Table 4 Physical properties of ADVA 128

Type	Color	Ingredient	Specific gravity
Liquid	Dark brown	Sulfonated naphthalene	1.21 ± 0.02

는 95%이상이 1μm이하이고 평균입경은 0.1μm 정도이다. SiO₂의 함량은 85~97%이므로 콘크리트 내에서 활성도가 매우 높은 포졸란 재료로도 사용되고 있다.

본 실험에서는 낮은 물-결합재비에서의 감수효과와 유동성 있는 콘크리트를 제작하기 위해 G사의 ADVA 128을 사용했다. 고성능 감수제 및 유동화제 역할을 동시에 해주는 저 점착성 용액이다. 물리적 조성은 Table 4와 같다.

2.2 배합설계 및 시험방법

2.2.1 배합설계

각 Case별 배합설계는 기존 쇠골재의 배합설계표(기준 강도120MPa)를 ACI 211-91, 213R-87에서 제시한 자료를 참고로 용적법을 이용하여 Table 5와 6과 같이 결정하였다.^{8),9),11)}

Table 5, 6에서 잔골재(S)와 굵은 골재(G)의 용적량 계산은 표의 (S*)와 (G*)값에 각 비중을 곱하여 산출하였다.

여기서 사용한 잔골재(S)의 비중은 Case-1의 경우 세

Table 5 Case-1(Mixture proportions of concrete)

Mix. Type (size)	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	B		S* (ℓ)	G* (ℓ)	ADVA 128 (%)
				C (kg/m ³)	SF (kg/m ³)			
Mortar	20	35	140	630	70	211.8	-	-
	20	35	140	595	105	211.8	-	-
18mm	20	35	140	630	70	211.8	393.0	1.169
	20	35	140	595	105	211.8	393.0	1.364
12.5mm	20	35	140	630	70	211.8	393.0	1.103
	20	35	140	595	105	211.8	393.0	1.298
9.5mm	20	35	140	630	70	211.8	393.0	1.038
	20	35	140	595	105	211.8	393.0	1.104
mix	20	35	140	630	70	211.8	393.0	0.91
	20	35	140	595	105	211.8	393.0	1.038

Table 6 Cases-2 and 3(Mixture proportions of concrete)

Miix. Type (size ratio)	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	B		S* (ℓ)	G* (ℓ)			ADVA 128 (%)
				C (kg/m ³)	SF (kg/m ³)		9.5 (mm)	12.5 (mm)	18 (mm)	
Mortar	17	35	119	595	105	211.8	-	-	-	-
G(1:1:1)	17	35	119	595	105	211.8	131.03	131.03	131.03	1.36
G(1:2:3)	17	35	119	595	105	211.8	65.51	131.03	196.54	1.36
G(3:2:1)	17	35	119	595	105	211.8	196.54	131.03	65.51	1.36
G(2:3:1)	17	35	119	595	105	211.8	131.03	196.54	65.51	1.36
G(1:3:2)	17	35	119	595	105	211.8	65.51	196.54	131.03	1.36

적한 강모래(조립율:2.7,비중:2.62), Case-2 :표준사(비중:2.36), Case-3 :5mm이하 경량골재(비중:1.87)를 사용하였고, 굵은 골재(G)는 Table 2와 같은 경량골재를 사용하였다. 그리고, 보통 포틀랜드 시멘트(비중:3.15)를 사용하였다.

2.2.2 시험방법

(1) 슬럼프와 단위질량 시험은 KS F 2402와 KS F 2462에 의해 실시하였고, 생콘크리트 비빔은 강제믹서기를 이용하였다.

(2) 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2405에 준하여 Ø10 × 20 cm의 원주형 공시체를 사용, 강도 측정은 7일(1조),28일(3조),91일(1조)씩 제작하고, 재령기간별 만능 재료 시험기(UTM)를 이용하여 압축파괴시험을 실시하였다.

3. 시험결과 및 비교분석

3.1 경화 전후 실험결과 고찰

3.1.1 슬럼프 시험

KS F 2402의 시험방법에 의해 Photo 2(a)와 같이 슬럼프 시험을 수행한 결과 Table 7, 8과 같이 측정 되었다. Case-1(W/B=20%)의 경우는 8cm~10cm로 목표 슬럼프에 근접하나, Case-2 (W/B=17%)의 경우는 7.6cm~8.1cm로 Case-1 보다 적은 것은 W/B비의 차이로 생각된다.

특히 각 Case별 슬럼프 값이 비교적 적은 근본적인 이유는 초 고강도 발현을 위하여 W/B비를 17%와 20%로 일반적인 경우보다 낮은 비를 적용하였기 때문인 것으로 판단된다.



(a) Slump test

(b) Oven-dry test

Photo 2 Slump test and oven-dry test

Table 7 Slump and unit weight of case-1 (W/B=20%)

Miix. Type (size)	Agg. Name	SF (%)	Slump (cm)	Air (%)	Unit weight (kg/m ³)	
					Hardening	
					before	after
Mortar	-	10	9.2	8.4	2004.95	2000.82
		15	8.9	7.8	1998.79	1987.24
18 mm	Stalite agg.	10	8.7	7.2	1912.71	1893.36
		15	8.2	7.7	1865.44	1851.36
	Eco agg.	10	8.0	8.1	1907.26	1877.63
		15	8.2	7.9	1859.95	1835.64
12.5 mm	Stalite agg.	10	7.8	6.0	1922.18	1897.29
		15	8.1	7.9	1883.11	1855.29
	Eco agg.	10	8.0	6.7	1931.30	1905.15
		15	7.8	8.6	1892.38	1863.15
9.5 mm	Stalite agg.	10	8.6	4.5	1930.79	1924.80
		15	8.4	6.4	1892.21	1882.80
	Eco agg.	10	8.2	5.1	1938.71	1932.67
		15	8.0	7.0	1900.12	1890.67
mix	Stalite agg.	10	8.5	7.6	1962.71	1907.12
		15	8.3	8.4	1945.44	1865.12
	Eco agg.	10	8.3	7.1	1967.26	1904.76
		15	7.8	7.9	1959.95	1843.89

3.1.2 경화 전후 단위중량 시험

단위중량 시험은 경화 전 KS F 2409에 맞춰 실시하였

Table 8 Slumps and unit weights of cases-2 and 3 (W/B=17%)

Mix. Type (size ratio)	Fine agg.	SF (%)	Slump (cm)	Air (%)	Unit weight (kg/m ³)	
					Hardening	
					before	after
S-Mortar	S.sand	15	7.3	5.1	1998.2	1993.2
L-Mortar	L.Agg.	15	6.5	6.3	1913.4	1908.8
S-G(1:1:1)	St. sand	15	7.6	7.1	1839.9	1826.8
S-G(1:2:3)		15	8.1	7.9	1838.4	1826.1
S-G(3:2:1)		15	7.9	7.2	1856.2	1844.1
S-G(2:3:1)		15	8.0	7.4	1847.5	1837.2
S-G(1:3:2)		15	8.1	7.4	1841.0	1830.5
L-G(1:1:1)		Lightweight aggregate (below 5mm)	15	7.2	7.9	1798.0
L-G(1:2:3)	15		7.3	8.2	1781.4	1773.9
L-G(3:2:1)	15		7.2	7.7	1794.9	1782.1
L-G(2:3:1)	15		6.9	8.0	1797.0	1786.4
L-G(1:3:2)	15		6.9	7.8	1789.1	1777.7

고, 경화 후 시험은 KS F 2462에 의해 Photo 2(b)와 같이 실시한 결과 KS 기준(1700~2000 kg/m³)내에 있음을 확인 할 수 있었다. 실험결과는 Table 7, 8과 같다.

본 실험의 결과, 경화 전 단위중량과 경화 후 단위중량의 값이 보통콘크리트보다 작은 차이를 보이는 가장 큰 원인은 W/B비를 17%와 20%로 낮은 W/B비를 적용하였기 때문이다. 그리고 Table 7, 8에서 보는 바와 같이 노건조 단위중량 시험과정에서 일부 측정오차가 있었으나 전반적인 경향분석에는 영향이 없는 것으로 생각된다. 실리카흙의 치환율 15%가 10%인 경우보다 단위중량이 더 적은 이유는 실리카흙의 비중이 시멘트 비중보다 더 작기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 본 시험에서는 보통 콘크리트에 비해 단위중량이 15~25%가 감소되었다.

3.1.3 경량골재의 종류에 따른 파괴특성

Photo 3은 국내의 경량골재와 국외의 경량골재중 강도가 가장 높게 나온 경우의 경량콘크리트의 파괴형상으로, Photo 3(a)의 파괴시편은 골재의 단면이 매끈하게 절단된 것을 관찰할 수 있어서 경량골재의 파괴가 모르타르보다 먼저 파괴점에 도달하였음을 알 수 있다. 또한, Photo 3(b)의 경우는 파괴 시 상당한 폭발음을 내며 주변으로 파편이 흩어 졌으며, 이러한 현상은 콘크리트의 강도가 클수록 나타나는 현상이다.

3.1.4 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405에 의하여 재령기간별 강도시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음의



(a) Eco aggregate (b) Stalite aggregate

Photo 3 Failure mode of test specimens

Table 9 Compressive strength of case-1 considering aging effects (W/B=20%)

Mix. Type (size)	Agg. Name	SF (%)	7-Day (MPa)	28-Day (MPa)	91-Day (MPa)
Mortar	-	10	57.65	64.55	66.25
		15	65.72	70.18	73.05
18 mm	Stalite agg.	10	44.66	53.29	59.29
		15	48.82	54.77	60.43
	Eco agg.	10	36.06	43.38	48.38
		15	37.20	45.32	51.00
12.5 mm	Stalite agg.	10	56.71	62.36	65.65
		15	57.85	64.99	71.79
	Eco agg.	10	37.78	45.46	51.05
		15	38.81	47.89	54.07
9.5 mm	Stalite agg.	10	63.74	70.65	74.28
		15	66.42	72.42	76.18
	Eco agg.	10	44.92	51.98	58.35
		15	47.60	53.60	60.30
mix	Stalite agg.	10	62.80	66.73	70.72
		15	64.46	67.83	72.10
	Eco agg.	10	38.98	47.20	54.93
		15	42.98	50.23	56.57

Table 9, 10과 같다.

Table 9는 Case-1의 시험결과로, 국외 경량골재를 사용한 경량콘크리트 강도가 국내 인공골재를 사용한 경우보다 강도가 큰 것은 화산암을 쇄석화한 것으로 미국 등에서 구조용으로 사용되고 있는 경량골재이다.

이는 모르타르의 강도는 일정하지만 경량골재의 특성차이에 따라 국외 경량골재의 강도가 국내의 것보다 높은 강도를 가져서 나온 결과로 생각되며, Table 10은 Case-2, 3의 결과로, 두 케이스의 차이는 잔골재로 표준사를 사용

Table 10 Compressive strengths of cases-2 and 3 considering aging effects (W/B=17%)

Mix. Type (size ratio)	Fine agg.	SF (%)	7-Day (MPa)	28-Day (MPa)	91-Day (MPa)
S-Mortar	St. sand	15	72.65	83.73	86.71
S-G(1:1:1)		15	57.30	64.15	65.98
S-G(1:2:3)		15	49.70	54.56	56.33
S-G(3:2:1)		15	58.83	65.95	67.12
S-G(2:3:1)		15	58.10	64.62	66.58
S-G(1:3:2)		15	53.09	58.37	60.68
L-Mortar	Lightweight aggregate (below 5mm)	15	54.91	63.31	67.50
L-G(1:1:1)		15	51.85	56.01	58.22
L-G(1:2:3)		15	43.94	48.24	50.98
L-G(3:2:1)		15	52.59	57.64	60.40
L-G(2:3:1)		15	51.22	56.12	59.10
L-G(1:3:2)		15	47.02	51.52	55.17

한 경우와 5mm이하의 경량골재를 사용한 것으로 경량 콘크리트의 강도는 모르타르의 강도저하로 큰 차이를 보인다는 것을 알 수 있다.

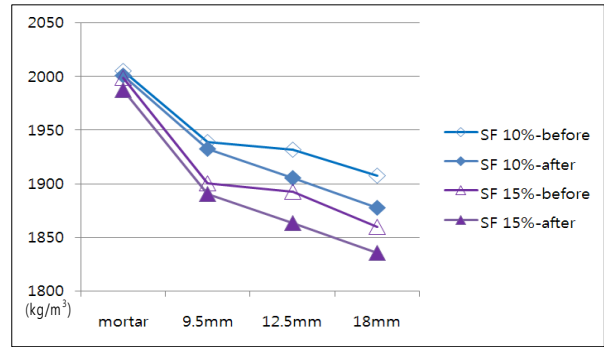
특히, 입도별 경량콘크리트의 강도특성을 보면, 경량골재의 치수가 작을수록 강도가 커지고, 치수별 혼합에 대한 강도변화도 적은 치수의 골재비가 클수록 강도는 증가함을 나타내고 있다.

3.2 경량골재 입도별 콘크리트의 단위중량

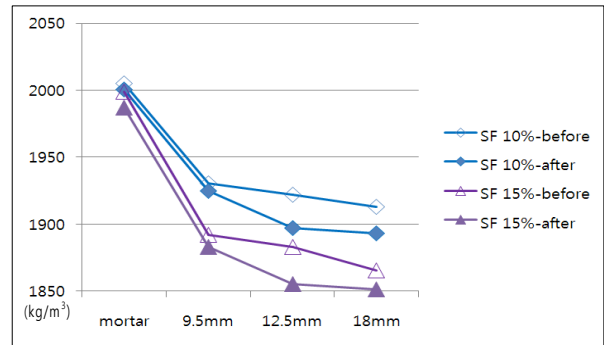
3.2.1 경화 전후 단위중량 변화

(1) Fig. 1(a)(b)에서 보는 바와 같이 골재의 입도에 따른 콘크리트의 단위중량은 골재치수가 클수록 적어지는 경향을 보이고 있어 소성화 시 작은 치수의 골재 보다 큰 치수의 골재 내에 공극이 더 많이 생긴다는 것을 추측케 한다. 또한 Fig. 2에서도 큰 치수의 골재비가 클수록 단위중량은 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

(2) 혼화재의 치환율에 따른 국내외 콘크리트 단위중량은 Fig. 1(a)(b)에서 보는 바와 같이 실리카흙을 10%, 15% 치환한 경우 경화 전의 단위중량 차이는 실리카흙의 단위중량이 시멘트 단위중량의 1/2~1/4정도이므로 치환율에 따라 감소되어 약간의 차이를 보이는 것으로 판단되며, 경화 후의 차이는 수화작용에 필요한 물 이외의 물이 증발함으로써 생기는 차이이다. 국내외 골재 공히 같은 현상을 보이고 있다.



(a) Eco aggregate



(b) Stalite aggregate

Fig. 1 Percentage changes in unit weight for case-1 (SF=10%, 15%)

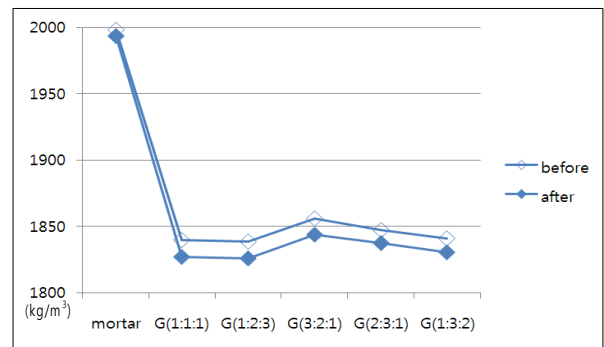


Fig. 2 Percentage changes in unit weight for case-2 (SF=15%)

3.3 입도별 압축강도 비교분석

3.3.1 모르타르의 압축강도 비교

(1) 실리카흙의 치환율에 따라 모르타르의 압축강도 변화는 Fig. 3에서 15% 치환한 경우가 10% 치환한 경우보다 압축강도는 평균 11.0% 더 크게 나타났다. 이 현상은 실리카흙을 5% 더 치환하므로 인해서 생기는 강도증진 효과이다.

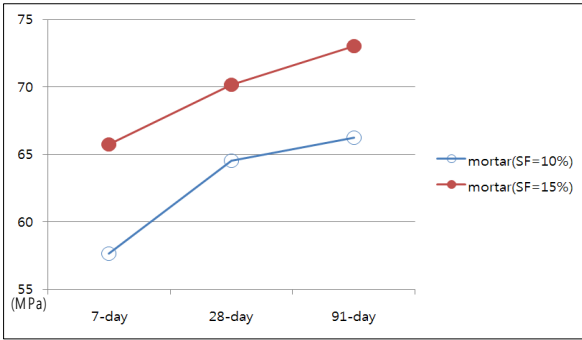


Fig. 3 Mortar compressive strength of case-1 (SF=10%, 15%)

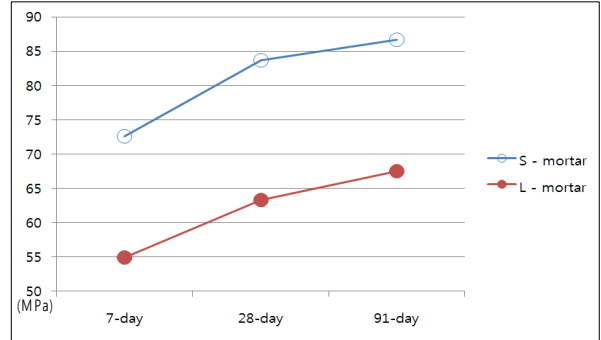
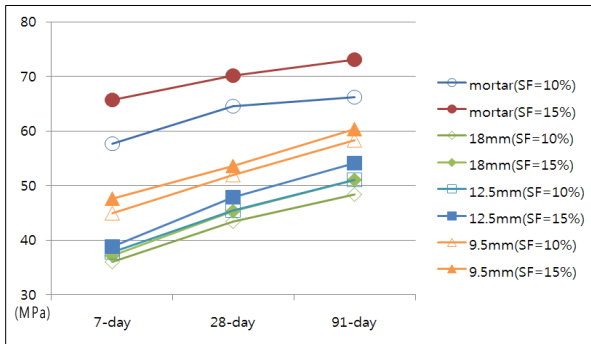
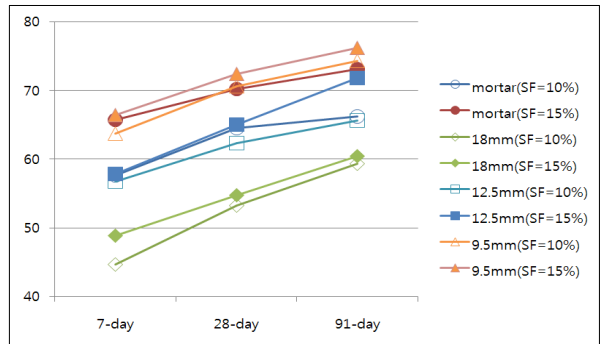


Fig. 4 Mortar compressive strengths of cases-2 and 3 (SF=15%)



(a) Eco aggregate (SF=10%, 15%)



(b) Stalite aggregate (SF=10%, 15%)

Fig. 5 Compressive strength according to grain-size for case-1

(2) 혼합 잔골재 종류별 모르타르의 압축강도

Fig. 4에서 보는 바와 같이 잔골재로 표준사를 사용 시 모르타르의 28일 강도는 83.73MPa이고, 5mm이하의 경량 잔골재를 사용한 경우 모르타르의 28일 강도는 63.31MPa로, 표준사를 사용한 모르타르의 압축강도 보다 24.38% 감소하였고, 91일 강도는 22.15%로 28일 강도보다 저감하는 경향을 보여 장기강도 발현에는 이점이 있을 것으로 생각된다.

3.3.2 경량콘크리트의 압축강도 변화

(1) Case-1의 경우, 골재치수별 국내외 콘크리트 강도는 Fig. 5(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 국내외 공히 골재치수가 작을수록 강도는 높아지는 경향을 보이고 있다. 또한, SF=15%의 국외의 골재치수가 9.5mm인 경우를 제외하고는 콘크리트의 강도가 모르타르의 강도 보다 낮다. 그 원인은 콘크리트내의 굵은 골재의 강도가 낮아 콘크리트 강도가 모르타르의 강도 보다 낮은 경우이다. 치수별 강도 감소율을 산정해 보면, 국내 인공골재 9.5mm의 경우 23.6%, 12.5mm ; 31.8%, 18mm ; 39.7%가

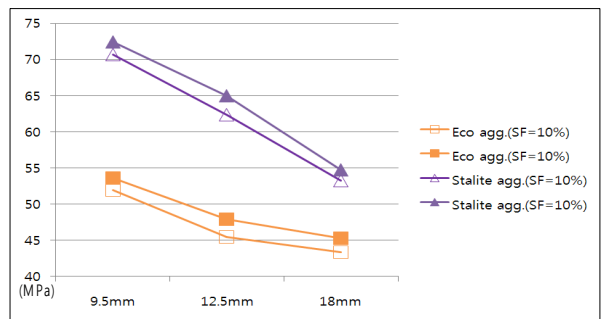


Fig. 6 28-day compressive strength (SF=10%, 15%)

감소되어 골재치수가 작은 순으로 강도 감소율은 작아졌다. 즉, 골재치수가 작을수록 콘크리트 강도는 높아진다는 것을 알 수 있다.

(2) 또한, 혼화제의 치환율에 따른 국내외 경량콘크리트의 압축강도는 Fig. 6과 같다. 실리카흄을 15% 치환한 경우 국내산 인공경량골재로 제작한 콘크리트 압축강도가 국외산보다 강도 증진율이 더 크게 분석되었다. 그리고 골재치수가 작은 골재 보다 큰 골재일수록 강도 증진 효과가 더 있는 것으로 나타났다.

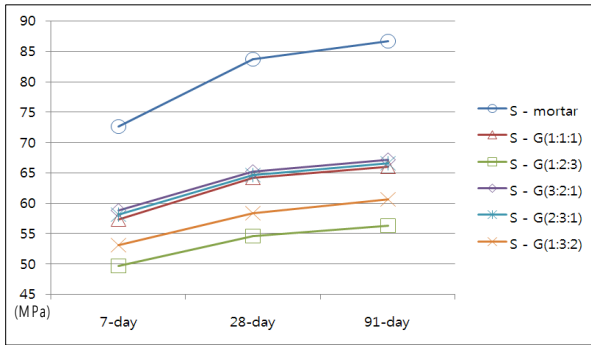


Fig. 7 Compressive strength according to grain-size for case-2

(3) Case-2, 3에 있어서 굵은 골재 입도비에 따른 압축강도는 국외의 시판규격에 맞추어 골재의 직경을 3종류(9.5mm : 12.5mm : 18mm)로 구분하여 Figs. 7, 8과 같이 나타내었다.

Fig. 7에서 모르타르의 압축강도에 대한 입도비별 콘크리트 강도의 감소율은 G(3:2:1);21.23%, G(2:3:1);22.82%, G(1:1:1);23.38%, G(1:3:2);30.29%, G(1:2:3);34.84%의 순으로 골재 중 가장 큰 치수인 18 mm의 혼합비가 2 이상인 경우는 현저하게 강도감소율이 커짐을 알 수 있고, 1의 경우는 큰 차이를 보이지 않으나 골재의 조립율을 고려한다면 고강도 발현을 위한 최적의 혼합비는 G(3:2:1)가 가장 적정하다고 판단된다.

Fig. 8은 Case-2의 표준사 대신 인공경량 잔골재를 사용한 Case-3의 경우로, 잔골재로 표준사를 사용한 Case-2의 모르타르 강도 보다 24.38%가 감소하고, 또한 콘크리트 강도는 11.58~13.15%정도 감소함을 보였다.

Figs. 7, 8에서 보는 바와 같이 골재의 입도비별 강도 감소율의 경향은 Case-2와 같이 L(3:2:1), L(2:3:1), L(1:1:1), L(1:3:2), L(1:2:3)의 순으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 인공경량골재의 치수별 또는 치수별 혼합비에 따라 콘크리트의 단위중량 및 압축강도 변화에 대한 실험적 연구로 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 실리카 흡과 고성능 감수제를 병용해 사용한 결과, 콘크리트의 유동성이 좋아 W/C비를 줄일 수 있고, 단위중량은 시멘트의 약 1/2-1/4정도로 치환량에 따라 콘크리트 단위중량을 감소시킬 수 있었다. 또한 평균입경은 0.1 μ m 정도로 SiO₂의 함량이 많아 콘크

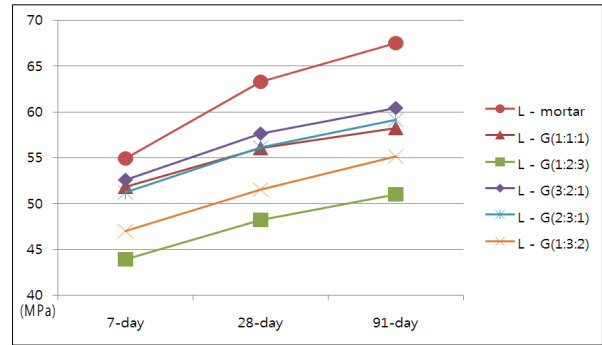


Fig. 8 Compressive strength according to grain-size for case-3

리트 내에서 활성도가 매우 높아 경량골재에 포집되어 공극을 메워 어느 정도의 경량콘크리트 강도를 증진시키는 효과가 있는 것으로 확인 되었다.

- (2) 인공경량골재의 3가지(9.5, 12.5, 18mm)치수 중에서 치수가 작은 순서로 콘크리트의 단위중량과 압축강도는 커지며, 이들의 혼합비에 대해서는 작은 치수의 비가 클수록 강도는 좋아지고 큰 골재치수의 비는 높을수록 강도가 현저하게 떨어지는 것으로 나타났다.

따라서 경량콘크리트의 고강도 발현을 위해서는 인공경량골재의 최대치수 크기를 제한하는 것이 필요할 것으로 사료되며, 제시된 골재의 입도비 중에 최적 입도비는 최소치수: 중간치수: 최대치수의 3:2:1로 제안하고, 차후 보다 많은 변수에 대하여도 연구 검토 되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 경기대학교 내부 연구비 지원으로 수행되었으며, 감사드립니다.

참고문헌

1. 김영익, "인공경량 굵은골재를 사용한 고강도 경량콘크리트의 개발", 한국농공학회 학술발표 논문집, 2001, pp.189-192.
2. 김성완 외 3명, "경량콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구", 한국농공학회, 제37권 제5호, 1995, pp.90-100.
3. 김성철, 이동건, "인공경량골재를 사용한 고강도 경량콘크리트의 강도향상에 관한 실험적 연구", 경기대학교 산업기술종합연구소 논문집, 38집, 2010, pp.69-89.
4. 서치호 외 5명, "경량골재 종류 변화에 따른 경량콘크리트의 특성 연구", 한국건축시공학회 학술발표 논문집, 2007, pp.67-70.
5. 신성우, "고강도-경량콘크리트의 실용화를 위한 기초적 실험연구", 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 1997, pp.393-400.
6. 전해진, 김유택, "저회 및 준설토를 이용한 예코인공경량골재의 제조에 관한 연구", 한국결정성장학회지, 2007, pp.133-137.

7. 정상진 외 5명, "혼화재료를 이용한 경량콘크리트 2차 제품의 제작을 위한 기초적 물성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 2003, pp.775-780.
8. ACI Committee 211, "Private Communication Draft Revision of Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete <ACI 613A-59>".
9. ACI Committee 211, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete", ACI 2112-69.
10. Bremner, T. W. and Newman, J. B., "Microstructure of Low Density Concrete aggregate", Proceedings of Ninth Congress of the Federation Internationale de la Precontrainte, vol. 3 Stockholm, June 1982, FIP, Slough, England.
11. FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete, 2nd ed., Surrey University Press Glasgow and London, 1983, p.259.
12. Holm, T. A., "Performance of Structural Lightweight Concrete Marine Environment", ACI, Publication, SP-65, August 1980, pp.589-608.
13. Muller-Rochholz, J., "Investigation of the Absorption of Water by Lightweight Aggregate from Cement Paste", Journal of Lightweight Concrete, vol. 1, No. 1, 1979, pp.39-41.
14. Raithby, K. D. and Lydon, F. D., Lightweight concrete in highway bridges, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, vol. 2, No. 3, 1981, pp.133-146.
15. Slate, F. O., Nilson, A. H. and Martinez. S., "Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete", ACI Journal, vol. 83, No. 4, July-August 1986, pp.606-613.
16. Swamy, R. N. and Lambert, G. H., "Microstructure of Lytag Aggregate", Journal of Cement Composite and Lightweight Concrete, vol. 3, No. 4, Nov 1981, pp.273-282.
17. Wilson, H. S. and Malhotra, V. M., Development of high strength lightweight concrete for structural applications, The International journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, vol. 10, No. 2, 1988, pp.79-90.
18. Zhang, M. H. and Gjord, Odd E., "Development of High Strength Lightweight Concrete", Proceedings, Second International Symposium on Utilization of High-Strength Concrete, Berkeley, May 1990, pp.20-23.
19. Zhang, M. H. and Gjord, O. D., "Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Aggregates Concrete", ACI Materials Journal, vol. 88, No. 3, May-June 1991, pp.240-247.
20. Zhang, M. H. and Gjord, Odd E., "Backscattered Electron Imaging Studies on the Interfacial Zone between High Strength Lightweight Aggregate and Cement Paste", Journal of Advances in Cement Research, vol. 2, No. 8, Oct. 1989, pp.1-6.
21. Zhang, M. H. and Gjord, Odd E., "Development of High Strength Lightweight Concrete", Proceedings Second International Symposium on Utilization of High-Strength Concrete, Berkeley, May 1990, pp.20-23.

(접수일자 : 2011년 5월 24일)
 (1차 수정일자 : 2011년 7월 25일)
 (2차 수정일자 : 2011년 8월 31일)
 (심사완료일자 : 2011년 9월 2일)

요 지

최근 구조물들이 대형화됨으로써 보통 콘크리트를 사용할 경우 강도 및 내구성에 비하여 중량이 크다는 결점으로 인해 콘크리트 구조물의 설계 및 시공의 안정에 제약을 주게 된다. 이러한 결점을 개선하기 위해서는 자중이 작고 강도가 큰 경량콘크리트가 요구되나, 국내에서는 실용화를 위한 연구가 아직 미비한 실정에 있다.

일반적으로 고온에서 소성시켜 제조된 인공골재는 골재가 팽창되어 내부에 무수한 기포를 가지게 된다. 따라서 골재의 크기에 따라 이들의 기포가 경량콘크리트 비중과 강도에 미치는 영향 연구가 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 화력발전소 폐기물과 점토를 고온에서 소성, 팽창시켜 만든 인공경량골재의 입도별 배합설계를 실시하고 실험을 통하여 경량콘크리트의 비중 및 강도변화를 비교 고찰했다. 또한 경량콘크리트의 고강도 발현을 위한 인공경량골재의 최적 입도비를 제안하였다.

핵심 용어 : 인공경량골재, 고강도 경량콘크리트