고강도 경량골재 콘크리트의 내구성에 관한 연구

Evaluation of Durability of Highstrength Light-weight Aggregate Concretes

김광우* 이상범** 조희원** 정규동** 이석홍***

Kim, Kwang W,. Li, Xiang-Fan, Cho, Hee-Won, Jeong, Kyu-Dong, Suck-hong, Lee

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate durability of high-strength light-weight aggregate concretes which are increasingly demanded recently. Two different articial light-weight aggregates were used and two levels of high-strength concretes were made using w/c of 33% and 37% for target strength of 500kg/cm^2 and 400kg/cm^2, respectively. Cylinder specimens(Φ=10cm and h=20cm) were made and treated with freezing-and-thawing(F/T) cycle at -18℃ and 4℃. Dynamic modulus of elasticity and surface condition were evaluated with F/T cycle increase. The results showed that durability of the light-weight aggregate concretes was worse than that of conventional concrete, and the light-weight high-strength concrete with w/c=37% had the better durbility than the one with w/c=33%.

1. 서 론

근래에 와서 경량 콘크리트의 수요가 증가하면서 인공 경량골재와 천연 경량골재 등 각종 경량골재를 이용한 콘크리트의 제조가 증가하고 있고 그에 따라 경량골재가 전 세계적으로 개발되고 있다. 특히 국내에서도 인공 경량골재의 개발을 통해 경량 콘크리트의 이용이 늘어나고 있는데 이를 구조용으로 사용하려면 강도 못지 않게 내구성이 중요하게 취급된다. 따라서 본 연구의 목적은 압축강도 400kg/cm^2 이상의 고강도 경량 콘크리트를 제조하여 동결-융해에 따른 내구성의 변화를 비교・검토하는 것이다.

이를 위해 4종류 경량골재로 목표 압축강도 240kg/cm^2 이하인 일반 경량골재 콘크리트를 제조하여 그중 성능이 우수한 2종을 이용하여 목표 압축강도 400kg/cm^2 이상인 고강도 경량골재 콘크리트를 제조하였다. 또한 각 골재별로 물-시멘트비에 차이를 주었으며, 골재별, 물-시멘트별 경량골재 콘크리트의 특성 차이를 비교·분석하였다.

2. 재료 및 방법

* 정회원 강원대학교 부교수

** 강원대학교 대학원 석사과정

*** 현대건설 기술연구소 책임연구원

2.1. 재료

2.1.1. 시멘트

시멘트는 국내에서 일반적으로 많이 쓰이는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2. 골재

본 연구에서 사용된 경량골재는 4종류였으며, 최대 치수 19mm인 국내산을 AC, 최대 치수 13mm인 국내산을 K10, 최대 치수 15mm인 일본산을 JC, 최대 치수 16mm의 독일산 경량골재는 G6로 명명하였다. 비교용으로 최대 치수 19mm 일반 쇄석 골재를 한 종(편마암) 사용하였으며 이를 NC라 명명하였다. 일본산을 제외하고는 모두 구형으로 아주 입형이 좋은 편이었다. 각 골재에 대한 물리적 성질을 표 1에서 보여준다.

골재의 입도시험 결과는 표 3.2 와 같다. 잔골재는 일반적으로 많이 쓰이는 춘천산 하천 잔골재를 사용하였다.

Table 1. Physical properties of lightweight aggregates

Aggregate	Max size (mm)	SSD Gravity	Specific gravity	Unit weight (g/cm^3)	Absortion (%)
korean (AC)	19	1.16	1.00	0.595	15.5
Germen(G6)	16	1.25	1.10	0.678	13.3
Japanese(JC)	15	1.43	1.32	0.789	7.7
Korean(K10)	13	1.33	1.23	0.730	7.3
Normal(NC)	19	-	2.65	1.701	0.65

Table 2. Gradation of lighweight aggregates

Agg.	Passing (%)				Gradation by KS
	19mm	13mm	10mm	No.4	
AC	86	5	0.1	0	N.G
	89	9	1	0.05	N.G
G6	-	96	62	0	O.K
	-	96	59	1	O.K
JC	-	89.4	68.3	16.4	N.G
	-	80.1	42.1	5.4	N.G
K10	-	98.8	68.8	0	O.K

2.1.3. 혼화재료

일반 콘크리트용 혼화제로 공기 연행 감수제(Conplast PA21, 비중 1.21)를 시멘트량에 0.2% 사용하였고, 고강도 경량콘크리트 제조를 위해서는 혼화제로 고성능 감수제(마이티150, 비중 1.2)를 시멘트량의 0.5% 사용하였다.

2.2. 시험 방법

본 연구는 두 가지 단계로 나누어져 수행되었는데 1차는 일반 경량 콘크리트를 제조하여 각종시험을 수행하였고, 그중 성능이 우수한 2종류의 경량골재를 선정해서 고강도 경량 콘크리트를 제조하여 특성시험을 수행하였다. 1차에서 제조한 일반 경량 콘크리트는 슬럼프 값을 8±2.5cm로 고정한 상태

에서 목표 28일 압축강도(σ_{ck})를 170kg/cm^2, 210kg/cm^2 및 240kg/cm^{2}으로 하고 각각에 대한 물-시멘트비(w/c)를 55%, 50%, 45%로 조정하여 배합설계를 수행하였다.

각 w/c 별, 골재별로 공시체를 7개씩 제조하여 탈형 후 재령 14일까지 25℃에서 수중 양생 후 2개는 14일 압축강도를, 2개는 동탄성계수를 측정하고 바로 동결-융해조에 넣었으며 나머지 3개는 계속 수중 양생하여 재령 28일에 압축강도를 측정하였다. 또 w/c = 45%에 대해서는 각 골재별로 7개씩 공시체를 추가로 제조하여 탈형 후 2일간 25℃에서 수중 양생 후 실온에 기건 양생을 시켰으며, 공시체는 모두 원통형으로 Φ10×20cm 몰드를 이용하여 제조하였다.

고강도 경량 콘크리트를 얻기 위해 슬럼프 값을 8±2.5cm로 고정하고 물-시멘트비(w/c)를 33%, 37%로 조정하여 배합설계를 수행하였다. 이때의 목표 압축강도는 각각 물-시멘트비 33%와 37%에서 500kg/cm^{2}과 400kg/cm^{2}으로 설정하였으며 골재는 국내산 1종과 독일산을 사용하였고, 일반골재를 비교용으로 사용하였다.

굳지 않은 콘크리트에 대해 슬럼프 시험, 공기량 시험 등을 소정의 KS 방법에 의해 수행하였으며, 시험하기 전 공시체 상단의 표면을 연마기를 이용하여 연마하였다.

동결-융해에 대한 저항 시험은 KS F 2456에 따라 한 사이클을 4시간으로 하였으며, 매 24 사이클마다 공시체를 꺼내어 그때의 공시체 표면 상태(외관)를 관찰하고 이상 징후가 있다던 가 변형이 생긴 것은 사진을 찍고 기록해 두고, 동탄성계수를 측정하고 공시체별로 동결-융해 처리 회수의 증가에 따른 동탄성계수의 변화를 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 굳지 않은 경량 콘크리트

일반 경량 콘크리트의 단위 중량은 평균 1,670~1,800kg/m^3 로 나타났다. 또한 공기량 시험결과 경량 콘크리트는 평균 7~10%, 일반 골재 콘크리트는 5.7%로 나타냈다. 한편 공시체의 파괴 양상으로부터 내부에 연행 공기에 의한 미세 기포가 많이 존재함을 알 수 있었다.

고강도 경량 골재 콘크리트의 단위 중량은 평균 1,900kg/m^3 수준으로 나타났는데 이는 단위시멘트량이 1차때보다 더 많은 결과이다. 공기량은 일반 콘크리트는 4.87%, 경량 콘크리트는 5.1%로 거의 비슷하게 나타났다.

3.2. 경량 콘크리트의 압축강도

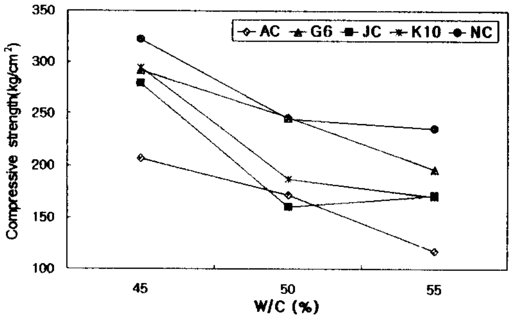

Figure 1. Compressive strength at 14days by W/C

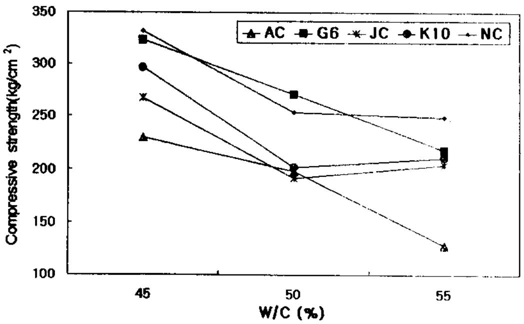

Figure 2. Compressive strength at 28days by W/C

일반 경량 콘크리트의 전반적인 압축강도를 보면 독일산 G6가 일반골재보다는 다소 낮으나 경량골재중에서는 가장 우수한 것으로 나타났고, 국내산 K10, 일본산JC, 국내산 AC 순으로 나타났다. JC, AC의 경우 w/c 45%에서는 비교적 양호하게 얻어졌으나, 50%, 55%에서는 압축강도가 설계 압축강도에 미달되었다. 이로부터 경량골재도 종류에 따라 w/c를 45% 이하로 조절하면 상당히 우수한 압축강도의 콘크리트를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

G6, K10은 w/c 45%에서 기건 양생보다 수중양생에 의해 더 높은 강도가 발현됨을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한, 이 두 골재의 수중 양생에서의 강도 값이 다른 것에 비해 제일 높다는 것에 주목할 만 하다. 반면 JC, AC는 기건 양생의 28일 압축강도가 수중 양생보다 높았다. 따라서 이 두 골재는 수중 양생보다는 대기중 양생이 더 효과적인 것으로 보인다.

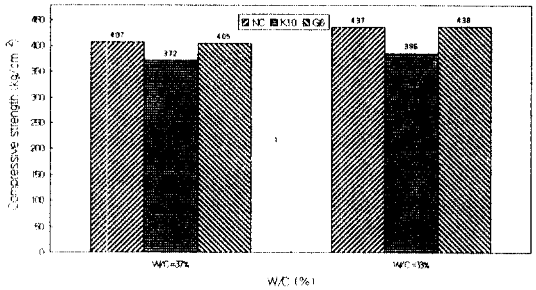

Figure 3. Compressive strength at 14 days

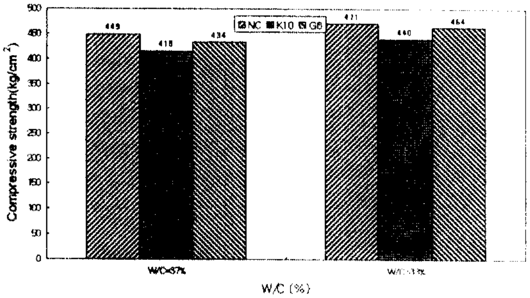

Figure 4. Compressive strength at 28days

고강도 경량 콘크리트의 경우 w/c 37%인 공시체 압축강도 시험에서 재령 28일에 목표압축강도와 유사한 비교적 우수한 강도를 얻었으나 33%인 공시체 강도 시험에서는 모두 목표 강도에 미달하는 경향을 나타냈다. 그 원인은 문헌에 제시되었듯이 경량골재 콘크리트 물-시멘트비의 한계치가 약 40%이므로 물-시멘트비를 40%보다 훨씬 낮추어도 골재 자체의 강도가 낮아 콘크리트의 강도 증가가 불가능하기 때문이라고 생각된다.

3.3. 내구성

표 3은 동결-융해 사이클의 증가에 따른 고강도 콘크리트의 상태변화를 보여준다. 각 조건에 따라 공시체는 2개를 사용하여 총 12개의 공시체가 시험되었다. 이중 48 사이클 후 2개, 72 사이클 후 4개, 100 사이클 후 6개, 144 사이클 후 8개의 공시체가 완전히 절단 파괴되었고 168 사이클 이후까지 남은 것은 3개의 일반 콘크리트와 경량콘크리트는 K10 한 개만이어서 고강도라도 일반 콘크리트의 동결-융해 저항성이 경량 콘크리트보다 우수함을 알 수 있다. 또한 168 사이클 이후 동탄성계수는 모두 초기치의 60% 이하가 되었다.

한편 특이한 것은 경량골재의 경우 물-시멘트비가 37%인 것보다 33%인 것들이 더 빨리 파괴되었는데 이는 일반적인 개념을 벗어나는 것이다. 즉, 앞의 일반 경량 콘크리트에서처럼 물-시멘트비가 낮고 압축강도가 더 높은 공시체가 동결-융해에 강하리라는 상식이 경량골재 콘크리트에서는 맞지 않았는데 이는 아마도 내부에 기포가 큰 경량골재의 어떤 역할 때문인 것으로 보여진다. 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

3.4. 동탄성계수의 변화

일반골재 고강도 콘크리트에 비해 경량골재인 K10이나 G6 고강도 콘크리트는 모두 초기 동탄성계수가 낮았다. 또한 w/c 37% 일 때의 동탄성계수는 w/c 33% 일 때와 거의 유사하게 나타났다.

Table 3. Results of condition evaluation by freezing and thawing cycle

cycle	Condeition \ Aggregate w/c	NC		K10		G6		accum total
		37	33	37	33	37	33	
24	scaling	2		1				
48	minor cracks				1	1		
	full breakage						②	
sub total at 50 cycle							②	2
72	scaling					1		
	full breakage				②			
96	full breakage					②		
sub total at 100 cycle					②	②	②	6
120	full breakage		①					
144	full breakage			①				
168	scaling		1					
192	scaling			1				
240	full breakage	①						
total		①	①	①	②	②	②	8

한편 w/c 33%와 w/c 37% 일 때의 동탄성계수의 변화를 비교해 보면 일반골재(NC)는 비슷하지만 w/c 37% 일 때의 K10과 G6 공시체는 동탄성계수의 변화가 각각 약 100사이클과 50 사이클까지 거의 변화 없이 초기 값과 유사한 값을 유지 한데 비해 w/c 33%에서는 초기값이 사이클이 진행되기 시작하면서 이내 급격히 떨어지는 현상을 보였다. 한편 동탄성계수의 변화를 골재별로 보면 일반골재(NC)가 역시 가장 강하게 나타났고, K10이 G6보다는 더 우수한 것으로 나타났다.

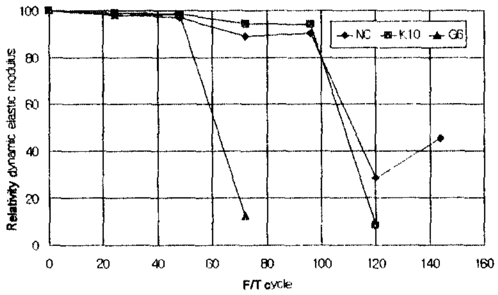

Fig. 5 Change of relativity dynamic modulus (w/c=37%)

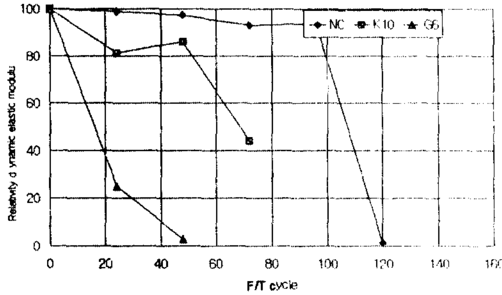

Fig. 6 Change of relativity dynamic modulusby (w/c=33%)

결과적으로 물-시멘트별로 보면 일반 골재는 거의 차이가 없으나 경량골재 콘크리트의 경우 w/c가 높은 37% 때가 33% 때보다 동결-융해에 대한 저항성이 더 좋음을 알 수 있었다. 이는 앞서 일반 경량 콘크리트에서 물-시멘트가 낮아야 동결-융해 저항성이 더 크게 나타났던 점과 비교하면 서로 상반되는 결과이어서 주목할 만 하다.

또한 두 경량골재를 비교하면 같은 물-시멘트비에서는 K10으로 제조한 경량 콘크리트가 보다 더 동결-융해에 저항성이 좋음을 알 수 있었다. 그런데 K10 경량골재 콘크리트의 압축강도는 재령 14일이나 28일에 모두 G6에 비해 다소 낮음에도 불구하고 이러한 결과가 얻어진 것은 다시 한번 주목할 만한 점이다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내산 2종과 외국산 2종의 경량골재중 일반 강도 콘크리트를 제조하여 우수한 두 종류를 선정하여 고강도 경량 콘크리트를 제조하여 이에 대한 압축강도와 동결-융해 처리에 따른 동탄성계수의 변화를 고찰하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 일반 경량골재 콘크리트의 압축강도는 비교용 일반골재 콘크리트에 비해 다소 또는 크게 낮게 나타났는데 그중 G6과 K10이 매우 양호한 강도를 나타내어 이들을 고강도용으로 사용하였다.
2. 고강도 경량 콘크리트의 경우 w/c 37%에서는 목표 압축강도 400kg/cm^2 이상이 얻어졌으나 w/c 33%에서의 목표 압축강도 500kg/cm^{2}까지는 미치지 못하였다. 따라서 w/c를 크게 낮추어도 경량 콘크리트의 경우 강도 증진 효과가 일정 한도 이상은 어려운 것으로 판단되었다.
3. 고강도 경량콘크리트의 동결-융해 저항성을 동탄성계수의 변화를 통해 본 결과 w/c가 높은 37% 때가 33%때보다 동결-융해에 대한 저항성이 더 좋았다. 이는 일반적으로 물-시멘트비가 낮은 것이 동결-융해에 저항성이 더 크다는 점과 비교하면 서로 상반되는 결과이다.
4. 또한 고강도 경량콘크리트에 사용된 두 경량골재를·비교하면 K10 경량 콘크리트가 G6 보다 동결-융해에 저항성이 더 좋음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김광우, 이상범, 정규동, 조희원, 1996, "경량골재 콘크리트의 동결-융해 저항 특성", 최종보고서, 현대건설기술연구소
2. 김성완, 성찬용, 민정기, 정현정, 1995, "경량콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구", 한국농공학회지, 제37권 5호, pp. 90-100.
3. 류택동 등, 1993, "혼화재를 첨가한 인공경량콘크리트의 강도특성에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제9권 6호, pp. 177-185.
4. 성찬용, 김성완, 민정기, 1993, "양생조건이 경량골재 콘크리트의 ASR에 미치는 영향", 한국농공학회지, 제35권 4호, pp. 38-46.
5. Andrej Czuryzkiewicz, 1973, "The effect of aggregate shape upon the strength of structual lightweight-aggregate concrete, Magazine of Concrete Research", Vol. 25. No. 83, pp. 81-86.
6. Mitsuru Salito, 1984, "Tensile fatigue strength of lightweight concrete, Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete", Vol. 6, No. 3, pp. 143-149.
7. Wilson, H. S. and Malhotra, V. M., 1988, "Development of high strength lightweigt concrete for structural applications, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete", Vol. 10, No. 2, pp. 79-90.