

물-시멘트비 및 염화물이 고온에 노출된 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

The Effect of W/C Ratio and Chloride on Compressive Strength of Concrete Exposed to High-temperature

태 순 호* · 이 병 곤**

Soon-Ho Tae · Byung-Kon Lee

(1998년 9월 26일 접수, 1999년 1월 7일 채택)

ABSTRACT

Product background of cement, sand and coarse aggregate differ from country to country, so that thermal behaviour of concrete make a difference in high temperature.

To cope with demand, this paper is a study on compressive strength for W/C 45%, 55% and 65% by using domestic portland cement, Han-river sand, sea sand and crushed-coarse aggregate. As a result, it is shown that it is estimating to the mechanical properties of heated concrete specimens under various W/C ratio.

1. 서 론

콘크리트가 화재 등과 같은 고온에 노출되면 강도 및 탄성계수는 감소한다. 이것은 콘크리트를 구성하는 각 성분의 열특성 때문이며, 그 변화는 단순하지가 않지만 주로 콘크리트 내부의 탈수로 인한 시멘트 페이스트의 수축과 골재의 팽창에 의해 생기는 내부균열이 콘크리트의 역학적 성질에 크게 영향을 주기 때문이다¹⁻⁵⁾. 콘

크리트구조물의 화재 등으로 인한 고온에서의 성상은 시멘트의 종류, 골재의 성질, 배합비, 함수율, 재령, 등에 의해 다르다. 일반적으로 연구·보고된 자료에 의하면, 상온의 보통 콘크리트는 물-시멘트비가 높을수록 압축강도는 높으며, 또한 염화물 함유량이 높을수록 수화반응의 촉진으로 단기강도는 증가한다. 강자갈을 이용한 콘크리트의 고온노출실험에서 약 400°C 이하의 온도에서는 물-시멘트비가 큰 경우 높은 압축강

* 서울산업대학교 안전공학과

** 충북대학교 안전공학과

도를 나타내고, 그 이상의 온도에서는 강도차이가 없다고 보고하였다⁶⁻⁸⁾. 따라서 본 연구에서는 물-시멘트비와 염화물 이온이 압축강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 국내에서 생산되고 있는 보통 포틀랜드시멘트, 한강모래, 바다모래 및 쇄석으로 물-시멘트비 45, 55 및 65%로 실험하였다.

2. 실험방법

2.1 시험체 제작 및 시험방법

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트, 잔골재는 한강모래 및 굵은골재는 포천 송우리산 쇄석을 사용하였으며, 시험에 사용한 시멘트 및 골재의 물리적인 성질은 Table 1, 2와 같다. 강도시험용 시험체는 Table 3의 배합비로 하고 양생조건은 공기중에 24시간 습윤양생을 시킨 후 탈형하여 재령 28일간 수온 20±3℃에서 수중양생 하였다. 28일간 수중양생한 시험체는 캡핑을 하고, 각

시험체를 동일조건에서 실험하기 위하여 100℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후 전기 가열로에서 100~900℃까지 100℃ 간격으로 온도상승률 5℃/min.로 하였으며, 가열지속시간은 60분으로 하였다. 압축 및 휨강도시험은 KS F 2405와 KS F 2408을 따랐다.

2.2 염화물 함유량시험

염화물 함유량시험은 최근의 대형공사 등 많은 건설공사로 인한 강모래의 고갈로 현재 많이 사용되고 있는 바다모래의 염화물이 고온에서 콘크리트 강도에 미치는 영향을 알기 위하여 실험하였다. 콘크리트에 염분 함유량이 많아지면(보통 0.1~0.3%) 수화반응시간이 빨라지고, 수화반응량도 많아져서 응결 및 경화가 촉진된다^{9,10)}. 이것은 염화칼슘(CaCl₂)을 한중 콘크리트 타설 때 경화 촉진제로 사용하는 것으로도 알 수 있다.

염화물 함유량시험은 시험규격 KS F 2515(염

Table 1 Physical properties of ordinary portland cement

Type of cement	Specific gravity	Fineness (g/cm ³)	Setting time		Soundness (%)	Mortar compressive strength (kgf/cm ²)			Mortar tensile strength (kgf/cm ²)		
			Initial (min.)	Final (min.)		3 day	7 day	28 day	3 day	7 day	28 day
Ordinary portland cement	3.15	3230	190	320	0.08	173	208	321	15	26	45

Table 2 Physical properties of aggregate

Classification		Specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)	Porosity (%)
Fine	standard	2.50~2.65	1.5~3.5	2.3~3.1	1500~1850	30~45
	experiment	2.53	3.0	2.3	1531	40.7
Coarse	standard	2.50~2.70	2.0 >	6~8	1550~1700	35~40
	experiment	2.61	1.5	6.8	1744	33.2

Table 3 Mixing design of concrete

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight (kgf/m ³)					Slump (cm)	Air (%)	σ _{c, 28} (kgf/cm ²)	σ _{t, 28} (kgf/cm ²)
			W	C	G	S	AE				
20	45	44	156	346	1004	783	0.85	2	4.0	439	
	55		190					8	5.0	221	48
	65		225					14	6.0	208	

화물 함유량 시험방법)과 ASTM C 114(Chemical Analysis of Hydraulic Cement)을 따랐으며, 5회 시험한 값을 평균하여 구한 염화물 함유량은 한강산 모래의 경우 0.0005%, 강화산 바다모래는 0.4%이었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물-시멘트비의 영향

Table 4와 Fig. 1은 Table 3의 배합조건에 따라 제작된 시험체로 물-시멘트비가 압축강도에 미치는 영향을 알기 위하여 각 조건별로 상온시의 강도와 비교하여 잔존압축강도비로 나타낸 것이다. 압축강도 시험체의 물-시멘트비는 45, 55 및 65%로 하고, 가열온도 범위는 상온에서 900℃까지 온도상승률은 5℃/min 및 가열지속시간은 60분으로 하였다.

실험결과에서 물-시멘트비 45%일 때 상온시 압축강도는 439 kgf/cm²로 고강도 콘크리트(400~600 kgf/cm²)를 나타내고, 55%일 때는 221 kgf/cm² 및 65%일 때는 208 kgf/cm²로 나타났다. 상온에서는 물-시멘트비가 낮을수록 압축강도가 높으며, 물-시멘트비 45%는 100℃에서 상온시 압축강도의 약 2/3로 가장 많이 감소하였고, 그 이후 400℃까지는 거의 변화가 없었다. 물-시멘트비 55%는 가열온도 300℃까지 65%는 400℃까지 압축강도가 상온시 보다 높게 나타났다. 가열온도 400℃까지는 물-시멘트비가 높을수록 잔존압축강도비가 높게 나타났다. 또한 가열온도 400℃ 이후는 물시멘트비에 상관없이 강도가 급격히 감소하였다.

따라서 물-시멘트비 45%의 경우 100℃에서 상온시 강도보다 급격히 저하된 것은 비등으로 인한 증기는 수밀한 조직의 콘크리트에 가해진 내부압력 때문에 강도가 손실되고, 다른 물-시멘트비의 콘크리트보다 조기에 열에 의한 조직 변화가 생긴 때문으로 사료되나, 이 부분은 미세조직 실험 등 추후 더 많은 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 물-시멘트비 55% 및 65%의 경우 200℃까지의 압축강도가 상온시보다 증가한 이유는, 시험체를 건조시켰지만 내부에는 일부 수분이 잔존하여 증기압에 의한 강도손실보

다 고온양생으로 인한 수화작용의 가속화로 강도 이득이 더 많았기 때문으로 추정된다¹¹⁾.

Table 4 Comparison of residual compressive strength ratio according to W/C and fine aggregate condition in electric furnace

Fine aggregate	Temperature (°C)	Residual compressive strength ratio (%)						
		Room	100	200	400	600	800	900
sand	45	100	66	65	64	33	14	6
	55		118	113	91	42	15	8
	65		130	117	113	59	18	10
sea sand	55		205	211	241	133	32	13

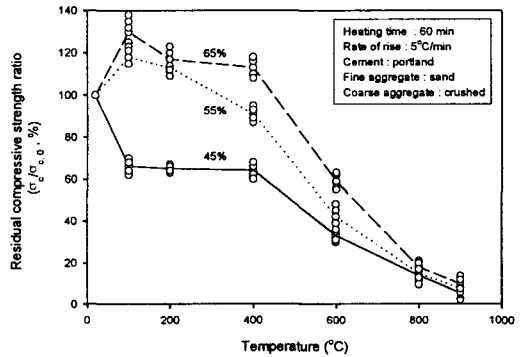


Fig. 1 Comparison of heating temperature versus residual compressive strength ratio according to W/C condition in electric furnace

3.2 염화물의 영향

Table 4와 Fig. 2는 바다모래의 염화물이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 알기 위하여 물-시멘트비를 55%로 하고, 각 해당온도에서 60분간 가열한 결과를 잔존압축강도비로 나타낸 것이다. 잔골재로서 강모래와 바다모래를 사용하고, 온도조건은 상온에서 900℃까지 가열하였으며, 온도상승률은 5℃/min으로 실험하였다. 바다모래를 사용한 시험체의 상온시 압축강도는 238 kgf/cm²로서 동일 물-시멘트비의 강모래를 사용한 시험체의 압축강도보다 약 10%정도 높았다. 그러나 가열온도 400℃까지는 강모래를 사용한 콘크리트와는 다르게 온도가 상승할수록 압축강도는 크게 증가하였다. 특히 가열

온도 400°C의 압축강도는 약 573 kgf/cm²로 상온시 압축강도의 2.4배나 되었으며, 그 이후 압축강도는 급격히 감소하였다.

고찰결과에서 해사를 사용한 콘크리트의 압축강도가 증가한 이유는 염화물이 많아지면 수화반응 시간이 빨라지고, 수화 반응량도 많아져서 응결 및 경화가 촉진됨과 동시에 고온에서의 토버머라이트 조직의 치밀화 등 수화작용의 가속화로 인한 양생효과가 극대화된 것으로 추정된다¹²⁾.

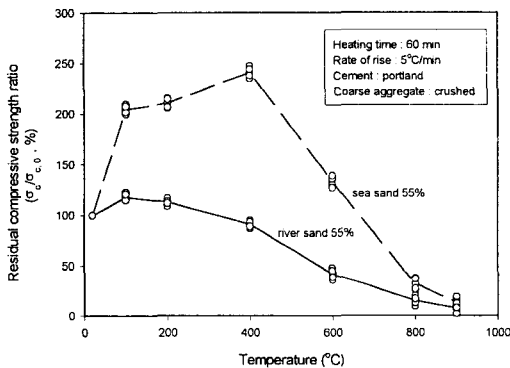


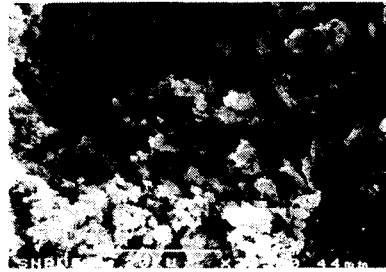
Fig. 2 Comparison of heating temperature versus residual compressive strength ratio according to sand condition in electric furnace

3.3 미세조직

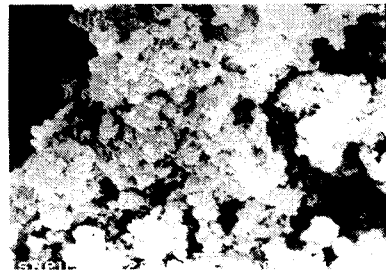
Fig. 3(a)와 (b)는 강모래를 사용한 콘크리트의 가열온도 100°C와 200°C의 사진으로 수많은 시멘트 수화물이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3(c)는 해사를 사용한 콘크리트의 100°C에서 건조된 시료의 사진으로 무수한 토버머라이트 수화물이 겔 상태에서 결정으로 성장하여 규칙적으로 배열되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 한강모래를 사용한 시험체에서는 볼 수 없었으나 해사의 염화물이 토버머라이트 수화물 형성을 촉진시킨 것으로 보이며, 토버머라이트 결정의 성장으로 조직이 치밀화되어 강도를 증가시키는 원인이 된 것으로 추정된다.

Fig. 3(d)는 200°C로 가열된 압축시험용 콘크리트의 사진으로 토버머라이트 수화물 사이로 무



(a) exposure to 100°C concrete using river sand



(b) exposure to 200°C concrete using river sand



(c) exposure to 100°C concrete using sea sand



(d) exposure to 200°C concrete using sea sand

Fig. 3 SEM photograph of compressive concrete samples: (cement: portland cement, fine aggregate: river sand, coarse aggregate: crushed aggregate, W/C: 55%, wet curing: 28 day and rate of rise: 5°C/min.)

수한 미세 겔 공극이 보인다. 이것은 약 200℃ 이상의 온도에서 화학적 결합수가 이탈되어 생긴 것으로 보인다.

4. 결 론

물-시멘트비와 염화물 이온이 압축강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 국내에서 생산되고 있는 보통 포틀랜드시멘트, 한강모래, 바다모래 및 쇄석으로 물-시멘트비 45, 55 및 65%로 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물-시멘트비 45%의 상온시 압축강도는 439 kgf/cm², 55%는 221 kgf/cm² 및 65%는 208 kgf/cm²로 45%의 경우가 다른 조건과 비교하여 약 2배 이상의 높은 강도를 보였으며, 또한 45%의 경우 100℃에서는 상온강도의 2/3로 가장 많이 감소하여 물-시멘트비가 낮을수록 열에는 취약하였다.
- 2) 물-시멘트비 55%의 강모래 및 바다모래를 사용한 경우의 압축강도는 거의 유사하였으나, 온도가 증가할수록 바다모래를 사용한 콘크리트의 압축강도는 증가하여 400℃의 경우 약 573 kgf/cm²으로 상온시 강도의 2.4배나 되었다.
- 3) 물-시멘트비 55~65% 사이 압축 콘크리트의 온도상승에 따른 잔존압축강도를 예측할 수 있는 식을 제시하였다.
- 4) 바다모래를 사용한 경우 염화물이 토버머라이트 결정 성장을 촉진하여 조직이 치밀화됨으로써 온도 400℃까지는 압축강도가 증가하였다.

참 고 문 헌

- 1) 태순호, 이병곤, "콘크리트의 고온에서의 거동", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 140~145, 1997.

- 2) 태순호, 이병곤, "고온가열 콘크리트의 강도 특성과 현상", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 132~138, 1997.
- 3) 田中弘文, "セメントコンクリート硬化の耐熱性", 콘크리트工學, Vol. 18, No. 9, 1978.
- 4) 阪本好史, "セメントコンクリートの高温度に對する抵抗性", 콘크리트工學, Vol. 17, No. 11, pp. 10~14, November, 1979.
- 5) 太全福男, 伊藤尙之, "火害コンクリートの強度特性に關する研究", セメント技術年報, No. 307, 1972.
- 6) 吳昌熙, "鐵筋コンクリート造火災建物の火害とその補修に關する研究", 東京工業大學校博士論文, pp. 65~70, July, 1985.
- 7) Sarshar, Khoury, "Material and environmental-factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high-temperature", Magazine of Concrete Research, Vol. 45, Iss 162, pp. 51~61, 1993.
- 8) 趙在悅, "高溫에 露出된 콘크리트의 殘留壓縮強度 特性에 關한 研究", 서울大學校 碩士論文, pp. 61~68, September, 1994.
- 9) 石川, 松下, 葛城, "コンクリート用骨材としての海沙の問題點", 콘크리트ジャーナル, Vol. 11, No. 10, pp. 93~103, 1973.
- 10) 朴鍾協, "海砂 및 河川砂를 利用한 高強度 콘크리트의 物性實驗 研究", 中央大學校 碩士學位論文, 1995.
- 11) Malhotra H.L., "The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol. 8, No. 23, p. 84, 1956.
- 12) 森永 繁, 山崎庸行, 林 章二, 콘크리트의 熱的性質, (技報堂出版, 清水建設 研究所), 1983.