

증기양생 온도조건에 따른 조강시멘트 콘크리트의 강도발현특성 및 내염특성

The Characteristics of the Strength Development and Chloride Attack Resistance on the Concrete using High Early Strength Cement by Steam Curing Temperature Condition

이웅중* 이원암** 엄태선*** 이종열****

Lee, Woong Jong Lee, Won Am Um, Tae Sun Lee, Jong Ryul

ABSTRACT

In this research, the characteristics of the strength development and chloride attack resistance on the concrete using high early strength cement by steam curing temperature condition were studied.

As a result, It is observed that the early strength(16hr) is increasing and the strength of 28 days is decreasing, according as the rising of the steam curing temperature without the kinds of base cement(OPC and high early strength cement).

On the other hand, it is observed that the more the contents of the unit binder(base cement + GGBF) is abundant, the more the steam curing temperature can be reduced in case of the high early strength. Also, the chloride attack resistance is improved according as the amount of GGBF is increased with the kinds of base cement(OPC and high early strength cement).

1. 서론

조강 포틀랜드 시멘트(이하 조강시멘트로 약칭)는 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC 또는 1종으로 약칭) 대비 초기 강도가 크고, 수화열도 큰 특성이 있다. 이러한 특성은 초기 탈형강도 확보, 수밀성 향상 및 동결융해 저항성 등의 내구성 증진을 위해 증기양생을 실시하는 프리캐스트 제품에 적용할 때 큰 장점으로 작용한다. 또한 초기 수화열이 높으므로 증기양생시의 양생온도를 낮추거나, 저온에서도 강도발현 특성에 유리하게 작용하는 장점이 있다. 콘크리트의 강도발현 특성은 양생온도조건에 따라 다르며, 특히, 증기양생온도 조건은 더욱 크게 다르다. 콘크리트 제품 공장에서는 생산성 향상을 위하여, 일반적으로 고온 증기양생방법을 채용하고 있으며, 콘크리트 제품 특성에 맞는 최적의 증기양생 사이클 선정도 중요한 현안으로 작용하고 있다.

한편, 해양 환경 하에서 적용되는 콘크리트 구조물의 경우, 염해에 의한 콘크리트의 내구성이 저하한다는 연구결과는 이미 잘 알려져 있고, 염소이온 침투저항성을 높이기 위해 혼화재료(슬래그 미분말 등)의 첨가에 의해 콘크리트의 내구성을 증진시키는데 유효하다고 알려져 있다^{1),2)}.

따라서, 본 연구에서는 OPC 대비 조강 시멘트를 적용한 콘크리트의 증기양생 온도조건에 따른 강도발현 특성이 양호하게 나타나는 특성을 실험실적으로 확인하였고, 또한, 염소이온 침투저항성을 높이기 위하여 사용하는 슬래그 미분말을 OPC의 일부로 치환하는 대신에 조강 시멘트의 일부로 치환하여도 동등한 품질 특성을 나타냄을 실험실적으로 확인하였다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원

*** 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

**** 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 소장

2. 실험

2.1 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 S사의 OPC(밀도: 3.15g/cm³) 및 조강 시멘트(밀도: 3.12g/cm³)를 사용하였고, 내염특성을 부여하기 위하여 혼화제로서 3종 고로슬래그 미분말(밀도: 2.85g/cm³)을 사용하였고 이의 화학성분은 표 1에 나타내었다. 골재로서 잔골재는 해사(밀도: 2.60g/cm³)를, 굵은 골재는 20mm 쇄석(밀도: 2.67)을 사용하였다. 또한, 혼화제로서 고성능AE감수제는 국내산 D사의 폴리카르본산계를 사용하였다.

표 1. 사용재료의 화학성분

시료명	밀도 (g/cm ³)	비표면적 (cm ² /g)	화학조성(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Type I	3.15	3,240	20.54	5.71	3.29	61.67	3.14	2.14
Type III	3.12	4,580	19.84	4.74	3.16	61.80	3.12	4.25
GGBF	2.85	4,380	35.10	15.10	0.47	42.30	5.65	0.62

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서는 증기양생 온도조건하에서의 슬래그 미분말 50%를 베이스 시멘트(1종 및 3종)에 각각 50%치환한 조건하(증기양생온도 45℃, 50℃, 55℃, 60℃)에서 검토하였고, 내염특성을 검토하기 위하여 슬래그 미분말 40%, 45%, 50%, 60%로 각각 치환한 조건하(양생온도 60℃)에서 검토하였고, 이의 콘크리트 배합 및 증기 양생온도는 표 2에 나타내었다. 강도발현 특성 및 내염특성을 검토하기 위한 굳지 않은 콘크리트의 성질로서 슬럼프(KS F 2402)는 18±2.5%, 공기량(KS F 2421)은 4.5±1.5%가 되도록 고성능 AE감수제를 약 0.7%첨가하여 콘크리트 믹싱을 실시하였다.

표 2. 콘크리트 배합 및 양생온도

구분	배합명	W/B (%)	S/a (%)	치환율 (B×%)	단위량(kg/m ³)				증기 양생온도(℃)				
					W	B		G	S	45	50	55	60
						C	GGBF						
강도발현 특성 분석	O-516(S50)	32	44	50	165	258	258	707	923	○	○		○
	O-464(S50)			50	150	232	232	744	972	○	○		
	H-516(S50)			50	165	258	258	706	922	○	○		○
	H-464(S50)			50	150	232	232	743	971	○	○	○	○
내염특성 검토	H-516(S40)	32	44	40	165	310	206	707	925				○
	H-516(S45)			45	165	284	232	707	923				○
	H-516(S60)			60	165	206	310	704	920				○

주)O-516(S50)의 기호: O는 보통 포틀랜드 시멘트, 516는 단위결합재량, S50는 슬래그미분말 치환율
H-464(S40)의 기호: H는 조강 포틀랜드 시멘트, 464는 단위결합재량, S40는 슬래그미분말 치환율

2.3 실험방법

증기양생 사이클은 전치시간(3hr)→승온(2hr)→등온(6hr)→강온(3hr)→자연양생(2hr)으로 총 16hr으로 실시하였다. 증기양생 실시 후 곧바로 압축강도(Ø10×20cm)를 측정(16hr 강도)하였고, 측정재령(7일, 28일)까지 수중양생을 실시하였다. 한편, 콘크리트의 내염특성 평가는 ASTM C1202 시험방법을 적용하였다. 시험체는 수중양생을 실시하였고, 재령별(7일 및 28일)로 직경 10cm의 콘크리트 시편을 5cm두께로 절단하여 시험을 수행하였으며, 염소이온 침투저항성의 판정기준(ASTM C1202)은 표 3과 같다.

표 3. 염소이온 침투저항성 판정기준

Charge	Permeability
< 100	negligible
100 to 1000	very low
1000 to 2000	low
2000 to 4000	moderate
> 4000	high

3. 실험결과 및 분석

3.1 재령별 압축강도 및 염소이온 총통과전하량 측정결과

표 4. 재령별 압축강도 및 총 통과전하량(Coulomb) 측정결과

배합명	증기양생	압축강도(MPa)			총통과전하량		배합명	증기양생	압축강도(MPa)			총통과전하량	
		16hr	7D	28D	7D	28D			16hr	7D	28D	7D	28D
O-516(S50)	45℃	31.1	49.3	56.5	1476	972	H-464(S50)	45℃	29.4	53.8	65.7	2068	1348
O-516(S50)	50℃	32.7	45.2	53.6	1482	1089	H-464(S50)	50℃	37.5	54.8	62.5	1707	1069
O-516(S50)	60℃	36.3	42.3	47.9	1217	1184	H-464(S50)	55℃	34.7	48.3	54.8	1227	891
O-464(S50)	45℃	28.0	47.0	57.5	1691	1064	H-464(S50)	60℃	39.9	49.5	54.9	1536	1007
O-464(S50)	50℃	33.7	48.3	58.5	1229	988	H-516(S40)	60℃	36.5	47.4	50.4	1868	1597
H-516(S50)	45℃	33.2	56.1	68.1	1527	1029	H-516(S45)		35.9	45.0	51.2	1379	1107
H-516(S50)	50℃	39.0	55.6	62.4	1263	1016	H-516(S60)		45.7	47.1	49.7	817	797
H-516(S50)	60℃	36.1	44.7	47.9	1314	1108	-	-	-	-	-	-	

3.2 증기양생 온도조건에 따른 강도발현 특성 검토결과

초기강도(16hr)는 베이스 시멘트에 관계없이 증기양생 온도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 나타냈고, 장기강도는 반대로 감소하는 경향을 나타냈다. 한편, 증기양생 온도조건별 압축강도는 조강 시멘트를 사용한 것이 재령에 관계없이 우수한 것을 알 수 있으며, 이것은 조강시멘트의 장점으로 볼 수 있다. 한편 베이스 시멘트로서 조강시멘트를 적용한 경우, 증기양생온도를 60℃로 설정할 경우는 단위결합재량을 10%로 감소시킨 H-464(S50%)의 조건이 초기 및 장기 강도가 우수하고, 증기양생온도 45℃로 설정할 경우에는 H-516(S50%)의 조건이 강도 특성이 우수한 것으로 나타났다. 조강시멘트를 유용하게 사용하려면 적용 배합별로 적정의 증기양생조건 설정이 중요하다고 판단된다.

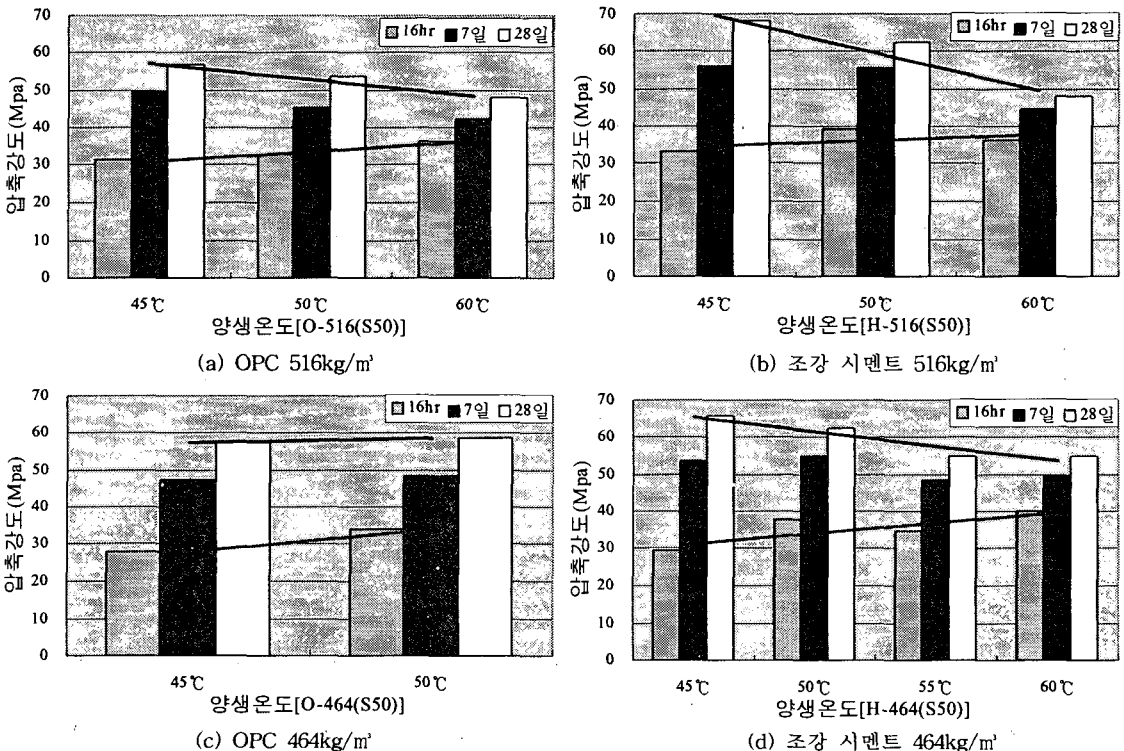


그림 1 증기 양생온도 조건에 따른 압축강도 발현특성

3.3 내염 특성 분석결과

증기양생온도를 변화시켜도 염소이온투과저항성에는 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 나타났다(그림 2 참조), 베이스 시멘트를 OPC에서 조강 시멘트로 변경시켜도 염소이온 침투저항성에 큰 차이가 발생하지 않았다(그림 3참조). 그러나 슬래그 미분말의 치환율을 증가시키에 따라 염소이온 침투저항성은 현저히 감소하는 현상을 확인할 수 있었다(그림 4 참조, 베이스 시멘트는 조강시멘트).

따라서 증기양생온도 조건이 염소이온 통과 저항성에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되고, OPC 및 조강시멘트의 차이에 의한 염소이온 침투저항성 역시 미미한 것으로 나타났다. 베이스 시멘트를 조강시멘트할 경우의 염소이온침투저항성은 슬래그미분말의 치환량을 증가시키는 만큼 우수한 것으로 나타났다.

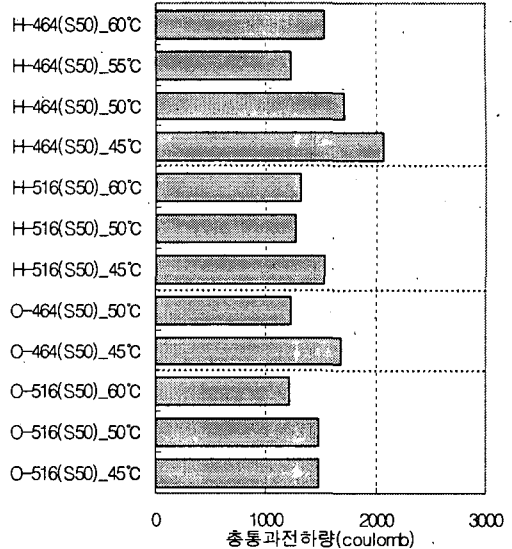


그림 2. 증기양생온도와 염소이온침투저항성(7D)

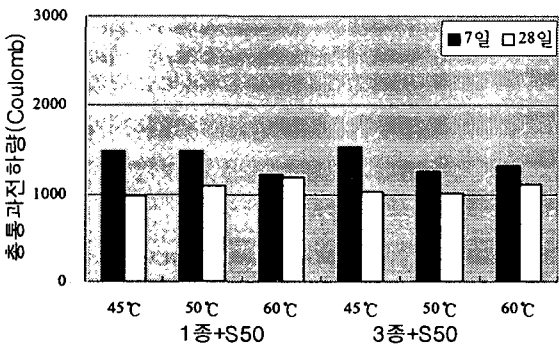


그림 3. 시멘트종류별 염소이온 침투저항성

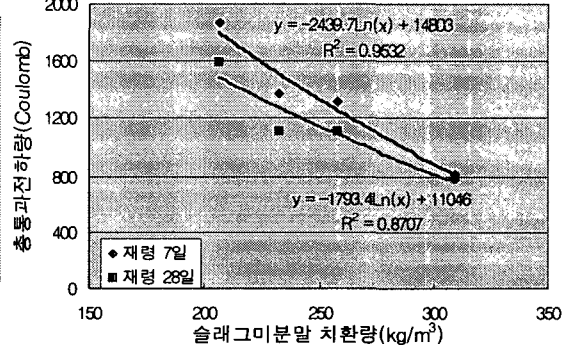


그림 4. 슬래그미분말치환량과 염소이온침투저항성

4. 결론

증기양생 온도조건에 따른 조강시멘트 콘크리트의 강도발현 특성 및 내염특성 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 베이스 시멘트 종류(1종 및 3종)에 관계없이 증기양생 온도가 상승함에 따라 조기강도(16hr)는 증가하는 경향을 나타내지만, 장기강도(28일)는 반대로 감소하는 경향을 나타냈다. 한편, 베이스 시멘트로서 조강시멘트를 사용하는 경우, 단위결합재량이 많을수록 증기양생온도를 낮추어도 강도특성이 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 시멘트 종류별, 양생온도별 및 슬래그 미분말치환율에 따른 염소이온 침투저항성을 살펴본 결과, 증기양생온도 및 시멘트 종류에 의한 영향은 미미하였고, 염소이온 침투저항성은 슬래그 미분말 치환율을 증가시키는 만큼 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 문한영, 김홍삼, 김진철, 최두선, “고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산특성”, 한국콘크리트학회, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2001.
2. 김동석외 5인, “침적시험에 의한 콘크리트의 염소이온 확산계수 평가”, 한국콘크리트학회, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2003.