

해외시멘트를 사용한 콘크리트의 고강도 및 중성화 특성

Properties of High-strength and Carbonation of Concrete with Overseas Cement

이 성 복* 阿部 道彦** 이 도 현*** 지 남 용****
Lee, Sung Bok Abe, Michihico Lee, Do Heon Jee, NamYong

ABSTRACT

Recently, the importation of overseas cement has been increasing and the spot materials of different quality from Japan have to be treated in overseas construction work for technical cooperation with neighboring countries. However, a study on the quality of those overseas materials has not yet been carried out systematically, especially cement among those materials. Accordingly, in this study the properties of high-strength concrete with overseas cement imported from four countries in East Asia and South-east Asia were investigated under normal and high temperature condition, including the carbonation of normal-strength concrete under normal temperature. As a result, it is found that the required strength of high-strength concrete will be expected regardless of temperature condition when the flowability is ensured by selecting the appropriate superplasticizer and dosage of it, and the carbonation rate of normal-strength concrete with overseas cement is approximately the same as that with Japanese one under the condition of the same compressive strength.

1. 서론

최근, 일본에서는 환경보호 차원에서 콘크리트용 골재의 채취 및 시멘트의 생산을 점차적으로 감소시키고 있는 반면, 해외산 골재 및 시멘트의 수입이 증가하고 있다. 또한 해외공사의 경우, 일본산과는 전혀 다른 품질의 현지재료를 사용함에 따라 여러 가지 문제가 발생되고 있지만, 해외산 재료의 품질이나 이를 사용한 콘크리트의 성질에 대해서는 아직 정량적으로 확인이 되고 있지 않으며, 이러한 재료의 사용에 따른 판단자료가 부족한 것이 현실이다. 이에 따라 본 연구는 해외공사를 수행하는 관계자나 해외산 자재의 이용자에 구체적인 기술자료를 제공함과 더불어 일본의 콘크리트와 관련된 기술 기준의 범용성을 제고함으로써 보다 유의한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 현재까지 해외산 골재 및 시멘트를 사용한 보통 콘크리트의 기초적 성상에 대하여 검토를 하였지만, 해외산 시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 배합 및 강도발현 성상 등의 재료성과 보통강도 콘크리트의 내구성에 대해서는 아직 체계적인 연구가 수행되고 있지 않다. 따라서 동북아시아 및 동남아시아 등 주변국가에서 생산되고 있는 시멘트의 품질을 검토, 분석하고, 이를 사용한 고강도콘크리트의 배합, 유동성 및 강도발현 성상 등을 상온 및 고온환경조건에서 각각 실험적으로 검토하고자 한다. 또한 보통강도 콘크리트의

*정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원, 공학박사

**비회원, 日本 工學院大學 建築都市DESIGN學科 教授, 공학박사

***정회원, 대한주택공사 주택연구소 책임연구원, 공학박사

****정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

중성화에 대하여도 실험을 수행하여 내구성 평가를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

해외산 시멘트는 동북아시아 및 동남아시아에 위치한 4개국으로 부터 수도권역의 레미콘공장에서 일반적으로 사용하고 있는 보통포틀랜드시멘트를 대표적인(기호 K, M, H, I)것으로 선택하였다. 비교용은 일본산(기호 J)으로서 3개사의 시멘트를 등량혼합하여 사용하였으며, 각국별 시멘트의 물성과 조성화합물의 시험결과는 표 1, 표 2에서와 같다. 굵은골재 및 잔골재는 일본산으로 하고 잔골재는 육지

표 1 각국별 시멘트의 물리적 성질

국명	밀도 (g/cm ³)	비표면적 (cm ² /g)	용결			안정성	압축강도(N/mm ²)			알칼리량 (%)	Cl ⁻ (%)
			수량 (%)	초결 (h-min)	종결 (h-min)		3일	7일	28일		
J	3.16	3520	28.3	2-22	3-20	양호	33.5	49.7	65.5	0.67	0.008
K	3.16	3590	30.5	3-10	4-42	양호	33.8	42.0	51.1	0.79	0.005
M	3.16	3320	26.5	2-22	3-00	양호	27.5	42.7	49.6	0.82	0.003
H	3.13	3100	27.5	1-40	2-37	양호	32.8	48.3	60.5	0.30	0.006
I	3.14	3710	27.5	2-22	3-15	양호	31.5	40.4	56.4	0.44	0.004

모래, 굵은골재는 부순돌을 사용하였다. 또한 고강도콘크리트의 목표슬럼프 및 슬럼프플로우를 확보하기 위하여 사용한 고성능AE감수제는 폴리카본산계로 콘크리트의 비빔온도 20℃의 경우는 2종류의 표준형(기호 B, E)을, 30℃의 고온조건에서는 지연형(기호 R)을 각각 사용하였다.

표 2 각국별 시멘트의 조성화합물

국명	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄
J	58	17	8	8	4
K	58	15	7	9	4
M	58	14	9	9	4
H	67	7	8	10	4
I	61	15	6	8	4

2.2 실험범위 및 측정방법

표 1, 표 2에서와 같이 각국의 시멘트의 물리적성질 및 조성화합물은 일본산과는 다소 다르지만, 우선 해외산 시멘트의 기초적인 자료를 확보하기 위하여 동일한 배합조건에서 비교실험을 행하여 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 표 3은 실험인자 및 수준, 측정항목을 나타낸 것으로 고강도콘크리트의 경우 각국의 기상조건을 고려하여 콘크리트의 성상에 미치는 온도의 영향을 검토하

표 3 실험인자 및 측정항목

실험인자	수준				측정항목		
	고강도콘크리트		보통강도콘크리트		고강도콘크리트	보통강도콘크리트	
시멘트 종류	J, K, M, H, I						
온도조건	20℃		30℃		20℃		
단위시멘트량 (kg/m ³)	170		170		206	204	
물시멘트비(%)	25	30	40	30	50	60	70
고성능AE감수제	표준형 B, E		지연형 R		-		
슬럼프(cm)	23±1.5		21±1.5		23±1.5		18±2.5
슬럼프플로우(mm)	550±75						-
공기량(%)	45±1.5				plain		
양생조건	20℃ 수중양생		30℃ 수중양생		20℃ 수중양생		

- 슬럼프
- 슬럼프플로우
- 공기량
- 단위용적중량
- 간이단열온도
- 상승
(20℃, W/C:30%)
- 압축강도(재령: 7, 28, 91일)
- 정/동탄성계수(재령: 28일)
- 슬럼프
- 슬럼프플로우
- 공기량
- 단위용적중량
- 압축강도(재령: 28일)
- 중성화깊이

기 위하여 비빔온도를 20℃, 30℃의 2수준으로 설정하였다. 온도 20℃에서는 물시멘트비 25%, 30%, 40%로 설정하고, 온도 30℃에서는 물시멘트비를 30%로 하여 그 배합과 역학적성질을 검토하였다. 각국별 시멘트의 수화반응에 의한 콘크리트의 온도상승을 파악하기 위한 간이단열 온도상승시험에서는 시료를 간이형틀($\Phi 15 \times 30\text{cm}$)에 채워넣고, 20℃의 항온실에서 두께 20cm의 발포스티로폴의 상자에 넣어 공시체중심부의 온도상승을 7일간 측정하였다. 또한 보통강도 콘크리트의 중성화시험은 물시멘트비 50%, 60%, 70%로 하고, 일본건축학회 「고내구성 철근콘크리트조 설계시공지침(안)·동해설」의 「付1.콘크리트의 촉진중성화 시험방법(안)」에 준하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고강도콘크리트

3.1.1 고성능AE감수제의 사용량

그림 1은 물시멘트비와 고성능AE감수제의 사용량과의 관계를 나타낸 것으로 목표슬럼프 및 슬럼프 플로우를 확보하기 위한 고성능AE감수제(기호 B)의 사용량은 전반적으로 물시멘트비의 감소에 따라 증가하였다. 물시멘트비 25%의 경우, J, K, M은 혼화제 제조회사에서 지정하는 최대 사용량인 5%까지 첨가하였지만, J와 K는 소정의 슬럼프플로어를 확보할 수 없어 다른 혼화제(기호 E)를 사용하여 소요의 유동성을 확보하였다. 또한 그림 2에서와 같이 콘크리트의 온도조건별 고성능AE감수제의 사용량을 검토한 결과, 온도에 관계없이 2%이내에서 효과적으로 유동성을 확보할 수 있었지만, K의 경우는 사용량 4%에서도 소정의 슬럼프를 얻을 수 없었다. 특히 콘크리트온도 30℃에서 이와같은 현상이 현저히 나타났다.

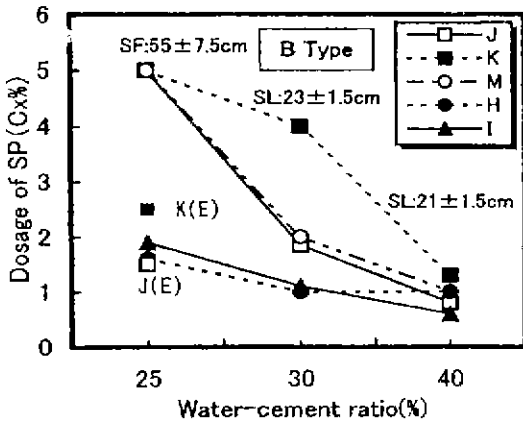


그림 1 고성능AE감수제의 사용량

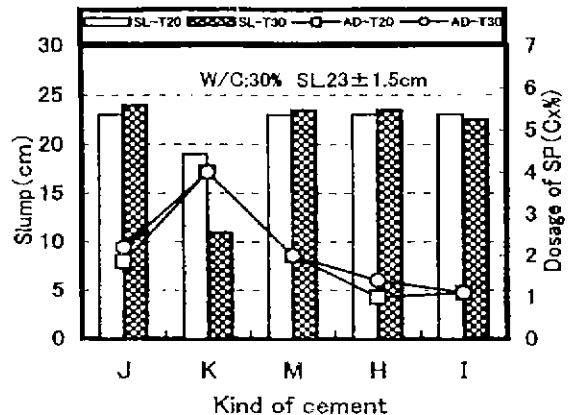


그림 2 슬럼프와 고성능AE감수제 사용량의 관계

3.1.2 시멘트의 C₂S 및 콘크리트의 간이단열온도상승

그림 3은 시멘트의 산지와 C₂S 및 콘크리트의 간이단열온도상승을 표시한 것으로 콘크리트의 간이 단열온도상승은 일반적으로 C₂S가 많아질수록 낮아진다고 할 수 있으나, 본 실험 결과에 의하면 반드시 그와같은 결과는 나타나지 않았다. 또한 그림 4는 시멘트의 전알칼리량과 고성능AE감수제의 사용량과의 관계를 표시한 것으로 알칼리량이 많을수록 고성능AE감수제의 사용량은 증가되었으며, 물시멘트비가 낮아질수록 이와같은 경향은 현저히 나타났다. 결국, 해외산시멘트를 사용하여 보다 효율적으

로 고강도콘크리트를 제조하기 위해서는 각국의 시멘트에 적합한 혼화제의 선정 및 사용량의 파악이 중요하며, 또한 산지별로 시멘트의 원료와 제조과정등의 세밀한 검토 분석이 필요하다.

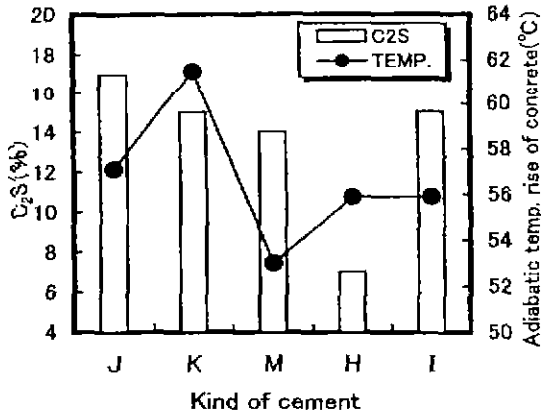


그림 3 시멘트의 C₂S와 간이단열온도상승

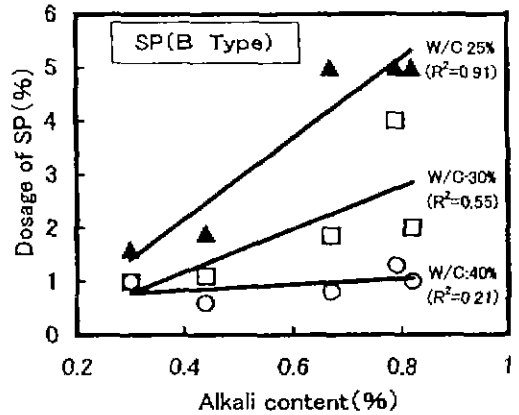


그림 4 알칼리량과 고성능AE감수제

3.1.3 압축강도 및 정탄성계수

그림 5는 시멘트종류별 온도조건과 물시멘트비에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 해외산 시멘트를 사용한 고강도콘크리트의 압축강도는 시멘트의 종류에 관계없이 전반적으로 물시멘트비의 감소에 따라 증가하였다. 물시멘트비 30%의 경우는 상온 및 고온 모두 해외산 시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도가 일본산보다 8~22%정도 감소되었으며, 물시멘트비 25%와 40%의 경우에는 일본산의 압축강도의 발현이 약간 낮고, 해외산과의 큰차는 없는 것으로 나타났다. 또한 콘크리트의 온도조건에 의한 압축강도의 변화는 나라별로 큰 차는 없었지만, M의 경우 고온조건에서의 압축강도가 상온보다 약9%정도 높게 나타났다. 그림 6은 시멘트 종류별 압축강도와 정탄성계수와의 관계를 나타낸 것으로 시멘트의 종류에 따른 정탄성계수의 차는 약간 보이지만, 전반적으로 고강도콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계를 잘 나타내고 있는 New-RC式으로 평가될 수 있다.

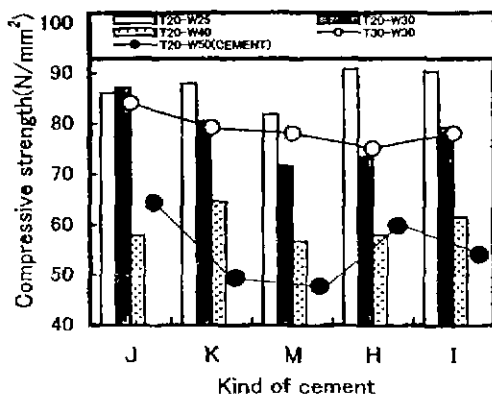


그림 5 시멘트종류별 고강도콘크리트의 압축강도

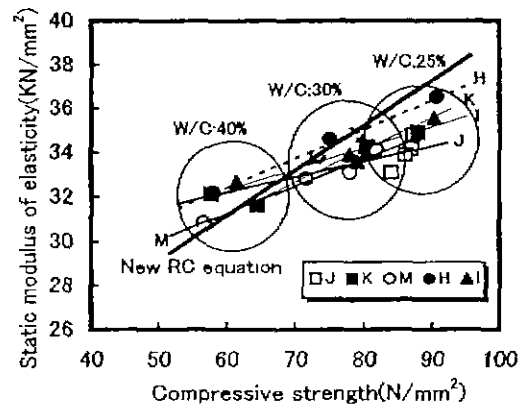


그림 6 압축강도와 정탄성계수와의 관계

3.2 중성화

그림 7은 촉진시험기간(횡축을 평균근으로 표시)과 중성화깊이와의 관계를 시멘트 산지 별로 표시한 것으로, 일반적인 연구보고에서와 같이 물시멘트비가 높아질수록 중성화는 커지는 것을 알 수 있었다. 또한 해외산 시멘트를 이용한 콘크리트의 중성화는 일본산보다 전반적으로 크게 나타났으며, 특히 물시멘트비 50%에서 이와같은 경향은 현저히 나타났다. 또한 그림 8은 일본산의 중성화속도계수를 1로 하여 다른 해외산시멘트를 이용한 콘크리트의 중성화속도계수비를 구한 것으로 그림 7에서와 같이 물시멘트비 50%

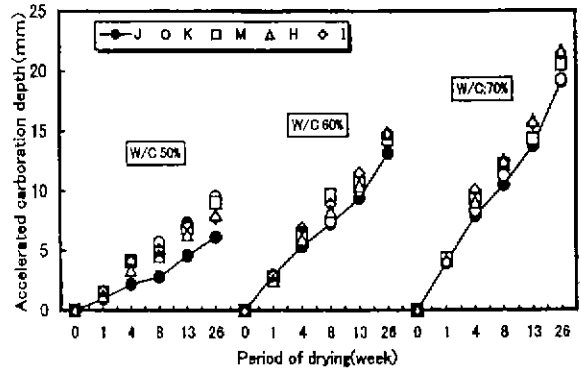


그림 7 보통강도 콘크리트의 촉진중성화 깊이

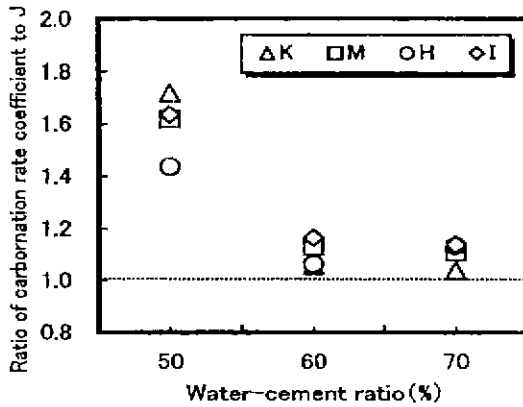


그림 8 각국별 중성화속도계수비

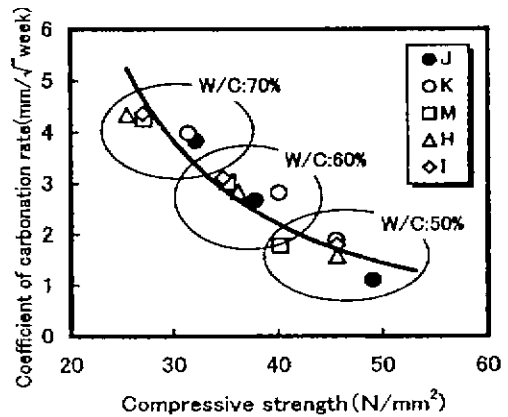


그림 9 압축강도와 중성화속도계수와의 관계

표 4 중성화 측정결과

국명	물시멘트비 (%)	압축강도 (N/mm ²)	촉진중성화 깊이(mm)					중성화속도계수 (mm/√week)
			1주	4주	8주	13주	26주	
J	50	49.1	0.97	2.18	2.81	4.56	6.14	1.10
	60	37.8	2.94	5.32	7.25	9.36	13.10	2.67
	70	32.1	3.98	7.86	10.43	13.71	19.10	3.86
K	50	45.6	1.56	3.94	5.68	7.31	9.50	1.89
	60	40.1	2.69	6.47	7.43	10.04	14.13	2.82
	70	31.4	4.04	8.28	11.23	14.28	19.23	3.98
M	50	40.2	1.46	4.15	4.80	6.86	9.01	1.78
	60	35.2	2.77	6.28	9.65	10.65	14.31	3.02
	70	27.2	4.30	9.29	12.17	14.28	20.53	4.25
H	50	45.7	1.24	3.42	4.55	6.35	8.03	1.58
	60	36.2	2.52	5.95	8.29	10.42	14.80	2.84
	70	25.5	4.16	9.01	12.48	15.83	21.62	4.34
I	50	45.7	1.62	4.08	5.07	7.24	7.74	1.80
	60	34.8	2.89	6.89	8.87	11.48	14.80	3.11
	70	27.1	3.98	10.00	12.23	15.55	21.44	4.36

의 경우, 중성화속도는 일본산과 비교하여 해외산시멘트를 사용한 콘크리트가 현저히 빠르게 나타난 반면, 나라별 중성화속도의 큰 차는 없었다. 이와같이 해외산 시멘트가 일본산보다 중성화속도가 다소 빠른 경향을 보인 이유는 해외산 시멘트 및 콘크리트의 압축강도가 일본산보다 전반적으로 낮고, 콘크리트의 내부조직의 치밀성과도 밀접한 관계가 있다고 판단되나, 이에 대한 보다 세밀한 검토가 요구된다. 그림 9는 압축강도와 중성화속도와와의 관계를 표시한 것으로 동일한 압축강도에서 해외산 시멘트를 사용한 콘크리트의 중성화속도는 일본산시멘트와 거의 동등한 것을 알 수 있었다.

4. 결론

동북아시아 및 동남아시아의 시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 배합 및 강도발현성상과 보통강도 콘크리트의 중성화에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

- (1) 목표슬럼프 및 슬럼프플로어 등 고강도콘크리트의 유동성을 확보하기 위한 고성능AE감수제의 사용량은 동일한 시멘트의 조성화합물에서도 나라별로 다르게 나타난 반면, K국의 시멘트를 제외하면 온도조건에 관계없이 혼화제 사용량 2%이내에서 효과적으로 유동성을 확보할 수 있다.
- (2) 고강도콘크리트의 압축강도는 물시멘트비 30%의 경우, 상온 및 고온 모두 해외산시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도가 일본산보다 8~22%정도 낮아졌지만, 전반적으로 소요의 유동성이 확보된다면 온도조건에 관계없이 적절한 물시멘트비의 설정에 따라 소요의 압축강도 및 탄성계수의 발현을 기대할 수 있다.
- (3) 보통강도 콘크리트의 중성화는 동일 압축강도상에서 비교하면 해외산 시멘트와 일본산시멘트간의 큰 차는 없지만, 동일 물시멘트비로 비교하면 물시멘트비에 관계없이 해외산시멘트가 일본산보다 전반적으로 크게 나타나 내구성에 대한 보다 세밀한 검토가 필요하다.
- (4) 결국 해외산 시멘트를 사용하여 고강도콘크리트를 제조하기 위해서는 우선 유동성 및 시공성의 확보측면에서 각국의 시멘트에 적합한 혼화제의 선정 및 사용량의 파악이 중요하며, 또한 시멘트산 지별로 시멘트의 제조공정과 생산실태 등의 상세한 검토, 분석이 필요하다.

(※ 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)과 일한산업기술협력재단(JKF)의 지원하에 일본 건설성 건축연구소에서 수행되었음)

참고문헌

- 1) 阿部道彦, 海外産骨材を用いたコンクリートの性質, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.766~771, 1997
- 2) 阿部道彦, 海外産材料を用いたコンクリートの諸性狀質に関する實驗, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.916~921, 1998
- 3) 日本建築學會, 建築工事標準任様書・同解説, JASS 5 鐵筋コンクリート工事, 1997
- 4) 黃光律 他3名, フライアッシュを外割混合使用したコンクリートの中性化特性, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.127~132, 1998
- 5) 阿部道彦 他5名, 콘크리트の促進中性化實驗法の評價に関する研究, 日本建築學會構造系論文報告書 第409號, pp.1~10, 1990
- 6) 日本建築學會, 高性能AE減水劑コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説, 1999