

시멘트와 콘크리트 물성의 실험적 상관성 연구

송용순 · 박기서* · 전길성 · 이근성

<동양시멘트>

1. 서 론

콘크리트는 시멘트를 결합재로서 사용하여 물, 골재 및 혼화제와 혼합되어 슬럼프와 공기량의 특성을 나타내며, 시간이 경과함에 따라 응결·경화가 진행되어 강도를 발휘하게 된다. 시멘트의 물리화학적 물성은 응결, 경화의 수화반응과 직접적으로 관련이 있어, 시멘트의 물성 대부분이 콘크리트의 물성과 직접 관련이 있는 것으로 알려져 있지만, 콘크리트의 사용재료의 종류 및 특성에 따라 콘크리트의 공기량이 변화하기 때문에 시멘트의 물성과 콘크리트의 압축강도와의 상관성은 낮아지게 된다.

특히 최근 고강도 및 고기능성 물성의 콘크리트 수요가 증가함에 따라, 콘크리트의 성능을 극대화 시키는 노력이 활발하며, 이를 위해서 적은 단위수량으로 높은 유동성을 가진 콘크리트가 요구됨에 따라 혼화제를 사용한 시멘트 페이스트의 유동성에 대한 관심이 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 2004년 하반기 국내에서 유통되고 있는 각사 시멘트를 대상으로 시멘트 및 콘크리트 물성 시험을 실시하여, 시멘트 및 콘크리트 물성의 실험적 상관성을 비교 분석하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

시멘트는 국내 8개사의 포장시멘트를 시중 구입하여 사용하였으며, 굵은 골재는 25mm 쇄석

<표 1> 시험 사용재료

구 분	Type	산지	비중	비고
시멘트	1종	8개사	3.15	
사용수	상수도	삼척	1.00	
모 래	강사	삼척	2.60	
자 갈	25mm 쇄석	삼척	2.70	
감수제	0.5%	K사		
AE제	0.0055%	K사		20배 희석

을 세척하여 석분을 제거한 후 표면건조 포화상태로 맞추었고, 잔골재는 5mm 체로 선별한 후 함수율 1.7%조건에서 사용하였다. 감수제는 K사의 0.5% 타입 제품을 사용하였으며, AE제는 사용량이 작아 20배 희석하여 사용하였다. 본 시험에 사용된 사용재료는 <표 1>에 나타내었다.

2.2 시험방법

1) 시멘트 시험

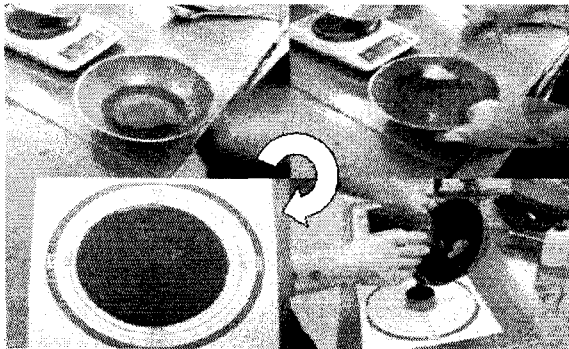
시멘트의 물리·화학적 특성을 확인하기 위하여 XRF(ARL-8680S)에 의한 화학분석 외에 Blaine, 주도, flow, 입도분석(Granulometer, CILAS), 응결, 44 μ m 잔사, K 강도 시험을 실시하였다.

2) 간이 flow시험

본 연구에서는 일정비율 (C×1.5%)의 고성능 혼화제를 사용한 간이 flow 시험을 시멘트페이스트의 유동성 평가 판단 기준으로 실시하였다. 시험방법은 <표 2>의 배합으로 <그림 1>과

<표 2> 간이 flow 시험 배합

시멘트	물	혼화제
300g	90g	4.5g
- 혼화제 : 시멘트의 1.5% 사용 - 물 드 : 원추형 몰드(주도시험용) - 혼합시간 : 2분 - 혼화제는 물과 20:1로 사전 희석하여 사용		



<그림 1> 간이 flow 시험 사진

<표 3> 콘크리트 배합

W/C (%)	S/A (%)	사용재료량(kg/m ³)					
		C	W	S	G	AD	AE
57.32	44.32	320	183	790	1,030	1.598	0.018

같이 용기에 물과 혼화제 (사전희석) 를 넣고 시멘트 주입 후, 주격으로 2분간 균일하게 혼합 후 원추형 몰드에 넘치지 않도록 완전히 채운 즉시 몰드를 들어올려 페이스트의 퍼짐 정도를 대각선 방향으로 2곳에서 측정하여 평균값을 간이 flow 값으로 하였다.

3) 콘크리트 시험

콘크리트 시험은 <표 3> 과 같은 배합으로 강제식 믹서를 사용하여 시험하였으며, 혼합방식은 사용수 및 혼화제를 제외한 전재료를 투입하여 30초간 건비빔한 다음 혼화제를 물에 혼합한 후 투입하여 1분 30초간 혼합하는 방법을 채택하였다.

콘크리트 배합은 수차례의 예비시험을 실시하여 설정된 콘크리트의 배합을 기준으로 동일배합조건에서 굳지않은 콘크리트에서의 슬럼프 및 공기량 시험을 하였으며, 슬럼프와 공기량이 일정하도록 모래 표면수 및 AE제 사용량을 조정하여 압축강도를 측정하였다.

3. 시험결과

3.1 시멘트 화학분석 결과

시멘트 화학분석결과, 각 제품별로 원재료 및

<표 4> 시멘트 화학분석 결과

구분	화학적성분(%)			비율(%)과 계수			Bogue 식에 의한 광물 조성(%)				
	SO ₃	T.A	F-CaO	HM	SM	IM	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ A/C ₄ AF
A	2.24	0.80	1.29	2.14	2.48	1.57	50.96	20.50	7.98	9.83	0.81
B	2.25	0.85	1.14	2.12	2.35	1.61	49.42	21.31	8.54	10.16	0.84
C	2.14	0.98	1.07	2.09	2.48	1.39	46.26	24.95	7.00	10.71	0.65
D	2.43	1.16	1.09	2.12	2.44	1.72	46.91	23.24	8.85	9.37	0.94
E	2.19	0.90	1.11	2.04	2.36	1.60	40.25	30.05	8.77	10.47	0.84
F	2.00	0.96	1.03	2.03	2.42	1.54	40.58	31.15	8.35	10.67	0.78
G	2.49	0.87	1.13	2.09	2.44	1.33	46.58	24.67	6.72	11.16	0.60
H	2.40	0.81	1.61	2.03	2.27	1.34	42.41	28.25	7.29	12.06	0.60

* 비고 : 본시험은 2004년 하반기 매월 시중 구입한 시멘트의 평균값임.

생산설비의 차이에 따라 화학성분의 차이(SO₃ : 2.0~2.49 , TA: 0.80~1.16, F-CaO: 1.03~1.61)가 있었으며, 또한 시멘트 계수치도 각각 다르게 관리 되고 있는 것으로 나타났다.

3.2 시멘트 물리분석 결과

8종류의 시멘트에 대한 시멘트 물리분석결과 <표 5> 와 같이 각 제품별로 Blaine 값은 최저 3,197cm²/g 에서 최고 3,694cm²/g 으로 나타났으며, 시멘트 28일 K 강도는 최저 357 kgf/cm² 에서 최고 404 kgf/cm² 까지 약 47 kgf/cm² 의 차이가 있는 것으로 나타났다. 시멘트의 유동성 평가 판단 기준인 간이 flow 시험결과 D사 제품이 가장 낮은 149mm를 나타낸 것을 제외하고 모든 제품이 190mm 이상으로 유동성이 양호한 것으로 나타났다.

3.3 콘크리트 시험결과

시중에서 구입한 포장시멘트를 사용하여 동일한 골재, 사용수, 혼화제를 사용하여 시험한 결과 <표 6> 과 같이 각 제품별로 슬럼프는 15.7cm 에서 18.5cm 까지 약 2.8cm 의 차이를 보였으며, 공기량은 3.9%에서 5.8%까지 1.9% 의

<표 6> 콘크리트 시험결과

구분	slump (cm)	air (%)	보정 압축강도(kgf/cm ²)		
			3일	7일	28일
A	16.3	4.3	142	210	285
B	16.9	4.4	152	215	275
C	18.5	4.4	141	210	271
D	15.7	5.8	158	227	287
E	15.8	3.9	153	215	291
F	16.0	3.9	149	210	291
G	17.5	4.5	163	218	285
H	15.8	3.9	147	218	295

* 비교 : 본시험은 2004년 하반기 매월 시중 구입한 시멘트의 평균값임.
보정 압축강도의 슬럼프는 16±1cm, 공기량은 4.5±0.5%

차이가 있었다. 콘크리트 압축강도는 슬럼프와 공기량이 일정하도록 모래 표면수 및 AE제 사용량을 보정하여 측정된 결과, 271 kgf/cm²에서 295 kgf/cm² 로 24 kgf/cm² 의 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. 상관성 분석시험결과

<표 5> 시멘트 물리분석 결과

구분	N값	M.S	Blaine (cm ² /g)	44µmR (%)	초결	종결	주도 (%)	Flow (%)	간이flow (mm)	K강도(Kgf/cm ²)		
										3일	7일	28일
A	0.94	18.99	3580	10.1	4:00	6:17	24.6	105	205	214	284	384
B	0.96	19.63	3312	11.4	3:55	5:54	24.4	102	198	232	308	404
C	0.96	20.72	3197	9.7	4:33	6:47	24.5	110	222	211	277	367
D	0.99	18.71	3511	7.8	3:36	5:52	25.8	101	149	221	285	357
E	0.98	18.24	3442	6.1	4:15	6:42	25.5	108	193	224	295	400
F	0.99	18.41	3282	8.2	4:42	7:14	25.0	104	211	207	286	401
G	0.98	17.73	3452	6.9	4:36	6:59	25.0	109	217	244	295	395
H	0.95	18.82	3694	8.5	5:00	7:25	24.6	101	209	225	302	398

* 비교 : 본시험은 2004년 하반기 매월 시중 구입한 시멘트의 평균값임.

<표 7> 시멘트 물성과 간이 flow 와의 상관계수

C ₄ AF	C ₂ S	M.S	F-CaO	SM	C ₃ S	Blaine	HM	SO ₃	N값	T.A.	C ₃ A	C ₃ A/ C ₄ AF	IM
0.66	0.20	0.19	0.15	0.02	-0.10	-0.28	-0.31	-0.33	-0.41	-0.67	-0.72	-0.79	-0.80

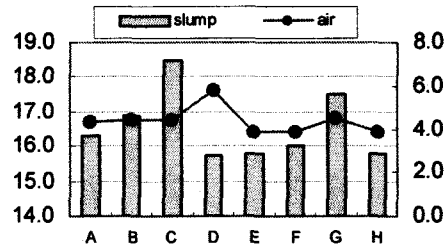
상관계수: IM > C₃A/C₄AF > C₃A > TA > C₄AF

4.1 시멘트의 유동성 (간이 flow)

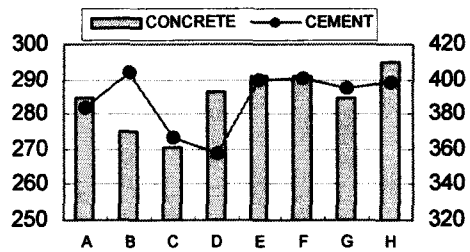
시멘트 중의 수용성 알카리 함량, 석고의 종류 및 첨가량, 시멘트 입도분포 등의 차이에 따라 혼화제의 분산 특성이나 분산성 유지 특성에 영향을 미친다고 한다. 시판 시멘트 종류에 따라 K 사 혼화제를 사용한 시멘트 페이스트의 간이 flow 를 분석한 결과 <그림 2> 과 같이 유동성은 IM치와 상관성이 높으며 IM 이 낮을수록 간이 flow 는 높은 값을 나타내고 있다.

4.2 시멘트 K강도와 콘크리트 강도

<그림 3> 에서 볼 수 있듯이 콘크리트에서 공기량 및 슬럼프의 차이가 있는 것으로 나타났다, 또한 <그림 4> 에서 알 수 있듯이 시멘트 28일 K 강도의 영향성이 없이 콘크리트 압축강도 발현은 다르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. B사 제품의 경우 시멘트 모르타르 강도는 높으나 콘크리트 강도는 낮게 나타났으며, D사 제품은 시멘트 모르타르 강도는 낮으나 콘크리트 강도는 높게 나타나는 결과가 일어졌다. 이와 같이 각 시멘트의 K 강도와 콘크리트 강도와의 직접적인 상관성은 매우 낮은 것으로 판단된다.

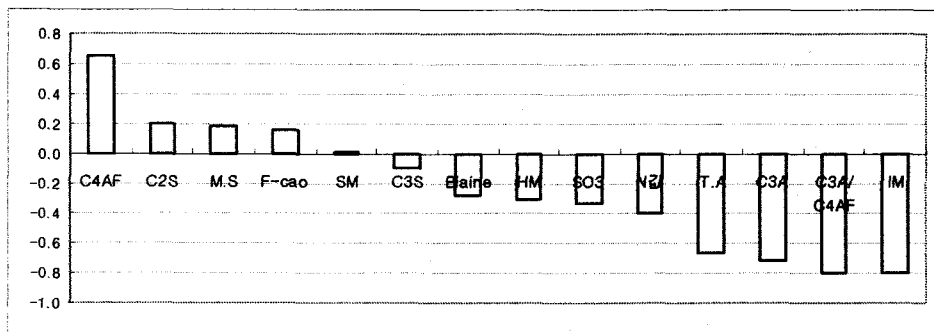


<그림 3> 시멘트 제품별 공기량과 슬럼프

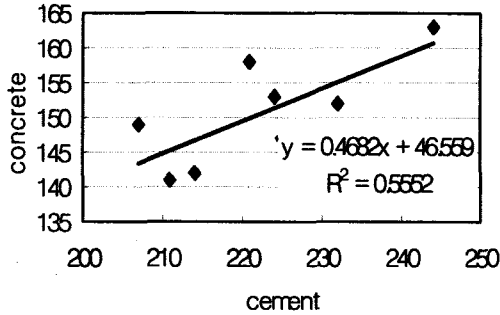


<그림 4> 시멘트와 콘크리트의 압축강도 관계

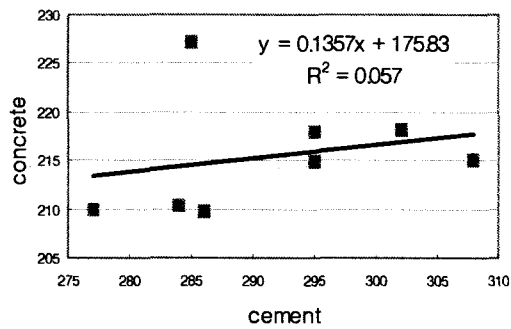
한편, 시멘트 K강도와 콘크리트의 강도발현과의 상관관계를 알아보기 위하여 3일, 7일, 28일 재령에 대해서 시멘트 및 콘크리트 강도간의 상관관계를 분석하였다. <그림 5> 와 같이 시멘트의 K강도와 콘크리트의 압축강도와의 상관식은 다음과 같이 나타난다.



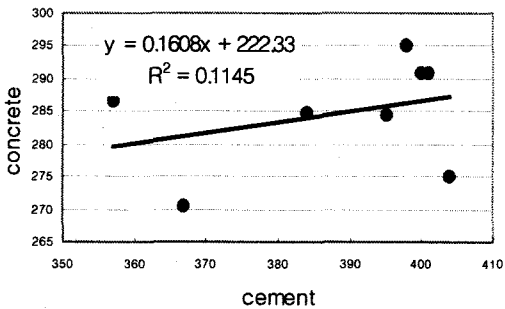
<그림 2> 시멘트 물성과 간이 flow 와의 상관관계 그래프



(a) 3일 재령



(b) 7일 재령



(c) 28일 재령

<그림 5> 시멘트 K강도와 콘크리트 압축강도와의 상관성

3일 강도 : $F3 = 0.4682x + 46.559$ ($R=0.745$)
 7일 강도 : $F7 = 0.1357x + 175.83$ ($R=0.239$)
 28일 강도 : $F28 = 0.1608x + 222.33$ ($R=0.338$)

초기 3일 강도에서는 상관성이 높은 것으로 나타나, 재령이 증가함에 따라 시멘트와 콘크리트 강도 사이에는 상관성이 떨어지며, 28일 재령의 경우 시멘트 K 강도와 콘크리트 강도의 상관성은 거의 없는 것으로 나타난다. 이것은 콘크리트 배합시 콘크리트의 공기량 및 slump 유동성 영향이 시멘트 K 강도 영향보다 크기 때문이다.

5. 결 론

시멘트와 콘크리트 물성의 상관성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시멘트 유동성을 표현하는 간이 flow 는 IM 값에 따른 상관성이 가장 높으며 IM 이 낮을수록 간이 flow 는 높은 값을 나타냄을 알 수 있었다.
- 2) 시멘트 K 강도와 콘크리트 압축강도와의 상관성은 초기 재령에서는 어느 정도의 상관성을 보이나, 재령이 증가할수록 상관성은 매우 낮게 나타나며, 이것은 콘크리트의 공기량 및 유동성의 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다.

< 참 고 문 헌 >

1. 한국콘크리트학회 : '모르타르의 압축강도에 미치는 시멘트 강도의 영향에 관한 실험적 연구', 2004년도 봄 학술발표회 논문, pp 220~223
2. 名和豊春, '혼화제를 사용한 모르타르의 유동성에 미치는 시멘트 특성의 영향'