

국내 보통 포틀랜드 시멘트의 품질특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Quality Characteristics of Ordinary Portland Cement in Domestic Market

○ 배 수 호* 윤 상 대** 박 광 수*** 신 의 관***
 Bae, Su Ho Youn, Sang Dai Park, Kwang Su Shin, Eui Kyoun

ABSTRACT

Since cement is one of materials of concrete and have an important effect upon physical properties of concrete, the quality characteristics of ordinary portland cement in domestic market are evaluated in this study.

For this purpose, eight kinds of cement are selected and tested on the specific gravity, normal consistency, setting time, fineness, and compressive strength of cement mortar.

Also, compressive strength of concrete with unit weight of cement ranged from 300kg/m³ to 600kg/m³ are tested for each kind of cement.

As a result, ordinary portland cement in domestic market are satisfied with physical performance prescribed by KS L 5201(Portland Cement) and when unit weight of cement is 300~600kg/m³, the maximum compressive strength of concrete cylinder is showed to be about 440~540kgf/cm².

1. 서론

시멘트는 콘크리트를 구성하는 중요한 재료중의 하나이고, 또한 그것은 콘크리트의 물성에 큰 영향을 미치기 때문에 내구적이고 신뢰성 있는 콘크리트 구조물을 만들기 위해서는 좋은 품질의 시멘트를 사용하는 것이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 품질특성을 파악하여 고품질 콘크리트를 제조하기 위한 자료로 활용키 위하여 제조회사별(7개사, 8개공장)로 가장 최근에 제조된 시멘트를 구입, 시험하였다.

시멘트의 품질특성을 파악키 위한 것으로서, 비중, 표준주도, 응결시간, 분말도 및 시멘트모르타의 압축강도 시험을 수행하였으며, 또한 단위시멘트량을 300~600kg/m³까지 변화 시키면서 압축강도시험을 수행하여 콘크리트용 혼화제의 사용 없이 일반적인 콘크리트용재료와 고성능 감수제의 사용만으로 가능한 고강도콘크리트의 강도발현의 한계를 파악 하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

- * 농이촌진흥공사 농공기술연구소 연구원
- ** 농이촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원
- *** 농이촌진흥공사 농공기술연구소 책임연구원

2.1.1 표준사

시멘트 모르타 공시체를 제작하여 그것의 압축강도를 파악키 위하여 KS L 5100(시멘트 강도시험용 표준사)에 규정된 강원도 주문진산의 압축강도시험용 표준사를 사용하였다.

2.1.2 골재

본 시험에 사용된 골재시료로서 하천사는 남한강산(경기여주군), 부순돌은 안성산(경기)을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 표 1 및 표 2와 같다

2.1.3 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계인 고성능 감수제(표준형, K사)로서 그품질 특성은 표 3과 같다.

표 1 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비 중	흡수율 (%)	단위용적중량 (t/m ³)	200번체 통과량 (%)	조립률
하천사 (여주)	2.59	1.08	1.588	1.8	2.69

표 2 굵은골재의 물리적 성질

항목 시료	굵은골재 최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	단위용적 중 량 (t/m ³)	200번체 통 과 량 (%)	마모율 (%)
부순돌 (안성)	19	2.70	0.6	1.551	6.57	28.5

표 3 화학적 혼화제의 품질특성

비중	pH	고형분 (%)	표준사용량(%) (시멘트 중량비)	주 성분	비고
1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	액상

2.2 시험방법

2.2.1 시멘트의 물리적 성능시험

국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 성능을 파악키 위하여 가장 최근에 제조된 시멘트를 제조회사별로 구입하여 관련 규격에 따라서 비중, 표준주도, 응결시간, 분말도 및 시멘트 모르타의 압축강도를 시험하였다.

1) 비중

시멘트의 비중으로부터 그 풍화정도를 알 수 있으며, 또한 그것은 콘크리트의 배합설계에 시멘트가 차지하는 용적을 계산하는데 필요하기 때문에 KS L 5110(시멘트의 비중 시험 방법)에 따라 시멘트의 비중을 구하였다.

2) 표준주도

시멘트풀의 표준 반죽 질기를 얻는데 소요되는 물의 양을 파악키 위하여 KS L 5102(수경성 시멘트의 표준주도 시험 방법)에 따라 시멘트의 표준주도를 구하였다.

3) 응결시간

시멘트의 응결시간은 KS L 5103(길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험 방법)에 따라 측정하였다.

4) 분말도

시멘트의 분말도는 콘크리트의 성질을 좌우하는 중요한 물리적 인자로서 그것을 알면 모르타 및 콘크리트의 제 성질을 예측할 수 있기 때문에 KS L 5106(공기투과장치에 의한 포틀랜드 시멘트의 분말도 시험 방법)에 따라 시멘트의 분말도를 측정하였다.

5) 압축강도

시멘트의 품질검사를 하고 그 결과로부터 동일 시멘트를 사용하여 콘크리트를 제조할 경우에 콘크리트의 압축강도를 어느 정도 추정하기 위하여 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타

의 압축강도 시험 방법)에 따라 시멘트 모르타의 강도를 시험하였다.

2.2.2 콘크리트의 강도시험

1) 최적잔골재율 시험

잔골재와 굵은골재가 주어진 경우, 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고, 또한 단위수량이 최소가 되는 잔골재율이 존재하는데, 이와 같은 잔골재율은 잔골재 입도, 콘크리트의 공기량, 단위시멘트량, 혼화재료의 종류 등에 따라 다르게 된다.

본 시험에서는 동일한 골재와 혼화제로서 단위시멘트량별(300~600kg/m³)로 강도시험을 하였기 때문에 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고 단위수량이 최소가 되는 최적잔골재율은 단위시멘트량별로 다르게 되므로 미리 A사 시멘트를 사용한 시험 배합에 의하여 최적잔골재율을 구하였다.

2) 콘크리트의 강도시험

콘크리트용 혼화제의 사용 없이 일반적인 콘크리트용 재료와 고성능 감수제의 사용만으로 단위시멘트량을 300~600kg/m³까지 변화시켰을 때 국내 시판되는 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도발현의 한계범위를 파악키 위하여, 제조회사별로 단위시멘트량에 따른 강도시험을 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 각 재령별 ($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}$)로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 시멘트의 물리적 성능

표 4는 시멘트의 물리적 성능시험 결과를 나타낸 것으로, 제조회사별 비중, 표준주도, 응결시간, 분말도 및 압축강도 특성을 파악하였다.

표 4 시멘트의 물리적 성능시험 결과

제조회사	A	B ₁	B ₂	C	D	E	F	G	K·S 규정치	
비 중	3.14	3.13	3.13	3.11	3.16	3.14	3.09	3.09	-	
표준주도 (C×%)	26	25	26	27	27.5	27	25	27	-	
응 결 시 간	초결 (분)	228	218	217	181	168	224	165	194	60 이상
	종결 (시간)	6.15	6.0	5.53	5.10	5.0	6.14	5.15	5.5	10 이하
분말도 (㎤/g)	3,338	3,115	3,415	3,547	3,663	3,658	3,366	3,565	2,800 이상	
압 축 강 도 (㎏f/㎤ ²)	σ_3	194	187	174	210	234	222	226	221	130 이상 200
	σ_7	219	205	226	276	270	283	269	257	이상 290
	σ_{28}	308	301	314	345	338	310	342	343	이상

3.1.1 비중

KS L 5110(시멘트의 비중 시험 방법)에 따라 시멘트의 비중을 측정 한 결과, 국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 비중은 3.09~3.16으로 나타났다.

따라서 본 시험에 사용된 시멘트의 비중은 3.09이상이므로 전제품이 대체적으로 양호한 값을 나타내고 있다.

한편, 시멘트의 비중은 그 풍화의 정도를 구하는 지표가 되고, 또한 콘크리트 배합설계시 시멘트의 용적을 계산하는데 필요하다.

그러나 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 포틀랜드 시멘트의 물리적 성능 규정에 비중항목이 없기 때문에 시멘트 비중에 대한 양부판정을 할 수가 없으므로 KS L 5201의 물리적 성능 항목에 비중도 규정하여야 할 것으로 판단된다.

3.1.2 표준주도(표준 반죽절기)

시멘트의 표준주도 시험은 표준반죽절기를 얻는데 소요되는 물의 양을 파악키 위한 시험으로, 시멘트의 응결시간 측정시에도 그것을 알아야 한다.

본 시험에 사용된 국내 보통 포틀랜드 시멘트의 표준 반죽절기를 얻기 위한 물의 양은 시멘트 중량의 25~27.5%로 제품간에 큰 차가 없는 것으로 나타났다.

3.1.3 응결시간

시멘트의 응결은 일반적으로 수량이 많고 또한 온도가 낮으면 느리고 분말도가 높고 또

한 C₃A가 많으면 빠르는데, 시멘트의 응결시간은 너무 빨라도, 너무 느려도 콘크리트 시공에 좋지 않다. 따라서 응결시험 시료의 혼합수는 시멘트의 표준주도 시험에서 결정된 수량으로 하고 있다.

본 시험에 사용된 시멘트의 초결은 2.8~3.8 시간, 종결은 5.0~6.2시간으로 전제품이 응결시간의 KS 규정치 (초결: 60분 이상, 종결: 10시간 이하)를 만족시키고 있다.

3.1.4 분말도

시멘트의 분말도는 콘크리트의 성질을 좌우하는 중요한 물리적 인자로서, 분말도를 알면 모르타, 콘크리트의 제성질을 예측할 수가 있다. 즉, 시멘트의 분말도가 높을수록 콘크리트의 워커빌리티가 좋고 조기강도가 커지나 반면에 수축이 커서 균열발생의 가능성이 많고 또한 시멘트가 풍화되기 쉬운 결점이 있다.

본 시험에 사용된 시멘트의 분말도는 3,115~3,663㎤/g으로 KS의 분말도 규정치(2,800㎤/g)를 모두 만족시키고 있다.

3.1.5 압축강도

시멘트의 압축강도 시험은 시멘트가 가진 강도를 알고 품질검사와 동시에 이 시험결과에서와 동일 시멘트를 사용해서 만든 콘크리트의 강도를 어느 정도 추정하기 위해서 실시하는데, 국내 보통 포틀랜드 시멘트의 재령 3일 및 7일의 강도는 각각 174~234㎏f/㎤², 205~283㎏f/㎤²로 KS의 압축강도 규정치(σ_3 : 130㎏f/㎤²이상, σ_7 : 200㎏f/㎤²이상)를 훨씬 초과하고 있으며, 재령 28일의 강도는 301~345㎏f/㎤²로 KS 규정치(σ_{28} : 290㎏f/㎤²이상)를 충족시키고 있다.

따라서 국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 압축강도는 전제품이 KS 규정치를 충족시키는 것으로 나타났다.

3.2 최적 잔골재율

잔골재와 굵은골재가 주어진 경우, 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고, 또한 단위수량이 최소가 되는 최적 잔골재율은 단위시멘트량, 혼화제 종류 등에 따라서도 크게 다르게 된다.

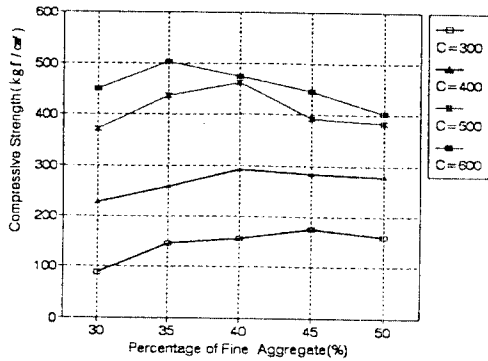


그림 1 잔골재율에 따른 압축강도

본 시험에서는 동일한 골재와 콘크리트용 혼화제인 고성능 감수제로서 단위시멘트량별로 콘크리트의 강도시험을 하였기 때문에, 콘크리트의 강도시험에 앞서 단위시멘트량별 최적잔골재율을 구하였다.

그림1은 콘크리트의 슬럼프를 $21 \pm 2\text{cm}$ 로 하였을 때 단위 시멘트량별로 잔골재율에 따른 압축강도를 나타낸 것으로, 최대 압축강도를 발현시키는 잔골재율, 즉 최적 잔골재율은 단위시멘트량이 300kg/m^3 일 때는 45%, 그것이 400kg/m^3 , 500kg/m^3 일 때는 모두 40%를 나타냈고, 그것이 600kg/m^3 일 때는 35%를 나타냈다.

따라서 동일한 재료로서 동일한 슬럼프를 확보하며 동시에 최대압축강도를 발현시키는 최적 잔골재율은 단위시멘트량이 증가함에 따라서 감소되는 경향을 나타냈다.

3.3 콘크리트의 강도특성

표 5 콘크리트의 강도시험 결과

단위시멘트량 (kg/m³)	σ ₁															σ ₂															σ ₂₈														
	A					B					C					A					B					C					A					B					C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
300	125	137	137	135	138	143	143	143	143	143	146	151	146	146	146	178	178	178	178	178	185	187	185	185	185	193	193	193	193	193	204	204	204	204	204										
400	209	146	145	148	149	200	200	200	200	200	241	168	158	158	213	222	228	228	228	228	272	268	228	240	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228					
500	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209	224	209	209	209	209	228	228	228	228	228	269	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268					
600	213	209	209	209	209	209	209	209	209	209	221	209	177	197	209	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228					

표 5는 콘크리트용 혼화제의 사용 없이 일반적인 콘크리트용 재료와 고성능 감수제의 사용만으로 단위시멘트량을 $300 \sim 600\text{kg/m}^3$ 까지 변화시켰을 때 국내 시판되는 시멘트의 강도 발현의 한계범위를 파악키 위하여 단위시멘트량에 따른 강도시험 결과를 나타낸 것이다.

보통강도 콘크리트에 사용되는 단위시멘트량의 범위인 $300 \sim 400\text{kg/m}^3$ 에서는 재령 28일의 압축강도가 약 $160 \sim 330\text{kgf/cm}^2$ 로 나타났고, 고강도 콘크리트의 제조에 사용되는 단위시멘트량의 범위인 $500 \sim 600\text{kg/m}^3$ 에서는 재령 28일의 압축강도가 약 $300 \sim 600\text{kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

따라서 콘크리트의 시공성을 고려(slump : $21 \pm 2\text{cm}$)하여 단위시멘트량을 $300 \sim 600\text{kg/m}^3$ 까지 변화시켰을 때, 국내 시판되는 시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도 범위는 $160 \sim 540\text{kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

한편, 시멘트 제조회사별 최대 압축강도는 단위시멘트량 600kg/m^3 에서 발현되었으며, 그 값은 약 $440 \sim 540\text{kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

4. 결론

국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 품질특성에 관한 실험연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 성능으로서 비중, 표준주도, 응결시간, 분말도 및 압축강도를 시험한 결과, 시험에 사용된 전제품이 KS 규정치를 만족시켰으므로 국내 시멘트의 물리적 성능은 양호한 것으로 나타났다.

2) 하천사 및 부순돌과 A사 시멘트를 사용한 단위시멘트량에 따른 최적 잔골재율은 단위시멘트량이 300kg/m^3 일 때는 45%, 400kg/m^3 , 500kg/m^3 에서는 40%, 600kg/m^3 에서는 그것이 35%로 나타났다.

따라서 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고, 단위수량이 최소가 되는 최적 잔골재율은 단위시멘트량이 증가함에 따라서 감소되는 경향을 나타냈다.

3) 콘크리트의 시공성을 고려(slump : $21 \pm 2\text{cm}$)하여 단위시멘트량을 $300 \sim 600\text{kg/m}^3$ 까지 변

화시켰을 때, 국내 시판되는 시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도 범위는 160~540kgf/cm²로 나타났다.

시멘트 제조회사별 최대압축강도는 단위시멘트량 600kg/m³에서 발현되었으며, 그 값은 약 440~540kgf/cm²로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 한국공업표준협회 : "KS L 5110", "KS L 5102", "KS L 5103", "KS L 5105", "KS L 5106", "KS L 5201"
2. 건설부편: "콘크리트 표준시방서", 1988. 12
3. ASTM : "ASTM C 1017(Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete)", 1992
4. 飛坂基夫 : "高性能(AE)減水劑を用いた高强度・高品質コンクリートの諸性質", セメント・コンクリート, No. 548, pp. 9~18, 1992. 10
5. 飛坂基夫 : "高性能(AE)減水劑を用いた高强度・高品質コンクリートの諸性質", セメント・コンクリート, No.549 ,pp. 9~18, 1992. 11
6. 井上和政 外 5人 : "超ワーカブルコンクリートの實用化", セメン・コンクリート, No. 547, pp. 49~56, 1992. 9
7. 박 승범 : "최신 토목재료실험", 문운당, 1992.