

특별강연

레미콘공장에 있어서 콘크리트용 혼화재로서 고로슬래그 미분말 사용 문제점 및 개선 방안

이 한 승

<한양대 건축학부>

1. 서 론

특수한 환경 또는 특수 용도로 사용되고 있는 고성능 콘크리트를 제조하기 위해서는 고성능 AE감수제와 함께 포졸란 반응이나 잠재수경성이 있는 혼화재료를 사용하게 되는데 그 중에서도, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, 실리카흄 등은 산업부산물의 광물성 혼화재료로서 콘크리트의 성능을 향상시키려는 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 고로슬래그 미분말은 잠재 수경성을 갖고 있기 때문에 보통 포틀랜드 시멘트와 혼합 사용한 경우, 수산화칼슘이나 황산염의 자극 작용에 의해 ① 수화열에 의한 온도상승 억제 ② 알칼리실리카반응 억제 ③ 황산염 및 해수에 대한 화학저항성 향상 ④ 염화물 이온이나 산소 침투 저항성 향상 등의 장점이 있어 해양이나 해안가 등의 과혹한 환경조건하에 있는 구조물의 축조에 있어서는 철근 보호 효과 등이 기대된다.

그러나, 콘크리트용 혼화재료로서 고로슬래그 미분말은 특수 용도로 치환율로서 30~70%를 주로 사용하며, 치환율 30% 이하에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 효과가 거의 없고 제조관리상에 문제가 있으므로 현장에서 사용되는 예는 거의 없다. 또한, 치환율 70% 이상에서는 강도발현이 매우 늦고 사용실적도 매우 적으며, 장기간에 걸친 시험 데이터도 부족하므로 일반적으로 사용하고 있지 않다. 특히, 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트는 주로 장기재령에 있어 강도발현 성장과 내구성향상을 목적으로 사용하므로 건축 구조물 보다는 토목구조물에 널리 사

용되고 있으며, 국외에서의 고로슬래그 미분말의 사용형태는 시멘트회사에서 품질성능을 확보시켜 제조한 고로슬래그 시멘트 형태로 유통되고 있는 실정이다.

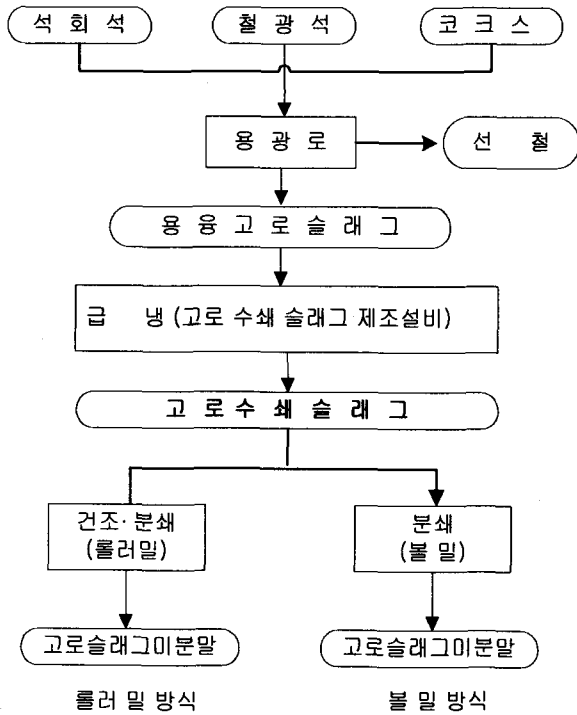
그러나, 최근 제철소 주변지역을 중심으로 한 국내의 레미콘 공장에서는 콘크리트 제조원가 절감을 목적으로 고로슬래그 미분말을 치환율 10~30% 수준에서 임의적으로 레미콘에 혼입하여 사용하고 있으며, 이러한 방법으로 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트 품질성능 저하에 관한 문제점이 각계에서 제기되고 있다.

본 고에서는 이와 같은 배경 하에, 콘크리트용 혼화재료인 고로슬래그 미분말을 대상으로 그 제조 방법 및 국내외의 활용 현황을 조사하고 실제 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 제반 물성을 실험적으로 검토함으로써 레미콘 공장에서 현재 임의적으로 사용하고 있는 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 제반 문제점을 제시하고 이의 개선 방안을 도출하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 고로슬래그 미분말의 적정 치환율 및 품질 규격

2.1 고로슬래그 미분말의 제조 방법

고로슬래그 미분말은 선철의 제련시에 부산물로서 발생하는 고온용융상태의 고로슬래그를 물로 급냉 처리한 고로수쇄슬래그를 건조 및 분쇄



<그림 1> 고로슬래그 미분말의 제조과정

하여 제조하며, 급냉시켜 유리화한 것이기 때문에 반응성이 높아 고로시멘트용 슬래그나 시멘트

트·콘크리트용 혼화재료로 사용되고 있다. <그림 1>에 고로슬래그 미분말의 제조과정을 나타낸다.

2.2 고로슬래그 미분말 활용용도 및 적정 치환율 범위

건설재료로서 고로슬래그 미분말의 장점을 살린 주요 용도를 <표 1>에 나타낸다. 고로슬래그 미분말은 주로 내구성 향상을 목적으로 한 토목구조물에 사용하고 있으며 건축구조물의 경우에는 지중에 매설되는 기초 매스콘크리트에 한정되어 사용된다. 한편, 고로슬래그 미분말의 종류는 비표면적은 4000~8000 cm²/g이 있으나 국내에서는 주로 4000급을 사용하고 있다. 그러나, 국외에서는 분쇄 기술, 설비 등의 발달로 인하여 고분말도의 고로 슬래그 분말의 생산이 가능해졌으며, 주로 고분말도의 고로 슬래그 미분말을 이용한 매스 콘크리트용 저발열 시멘트, 수중불분리성 콘크리트, 고강도 콘크리트, 고유동화 콘크리트, 그라우트재 등 특수한 제품의 제조에 이용하는 사례가 늘어나고 있다. 한편, 고로슬래그 미분말의 장점을 살리기 위한 고로슬래

<표 1> 고로슬래그 미분말의 장점을 살린 용도

목적	비표면적 (cm ² /g)	치환율 (%)	주된 용도
a. 유동성 大	6000~8000	30~70	고유동 콘크리트(품질향상, 에너지절약)
b. 응결지연효과 大	4000~8000	30~70	서중콘크리트, 대량·연속 타설 콘크리트
c. 발열성 小	4000~8000	50~70	매스콘크리트(대형구조물의 기초 등)
d. 재령28일강도 大	6000~8000	30~70	구조물의 내구성 향상
e. 장기강도 大	4000~8000	50~70	구조물의 내구성 향상
f. 고강도 大	6000~8000	30~70	고층 RC건축물, 매우 깊은 지하구조물 등
g. 수밀성 大	4000~8000	50~70	지하, 해중·수중, 수조 구조물 등
h. 염분차폐성 大	4000~8000	50~70	해안 구조물, 해상·해중 구조물 등
i. 내해수성 大	4000~8000	50~70	해상·해중 구조물 등
j. 내산성·내황산염성 大	4000~8000	50~70	화학공장, 온천지 구조물, 산성비 대책 등
k. ASR 억제효과 大	4000~8000	50~70	알칼리실리카반응(ASR) 억제대책

<표 2> 고로슬래그 미분말 사용 용도에 따른 치환율 범위

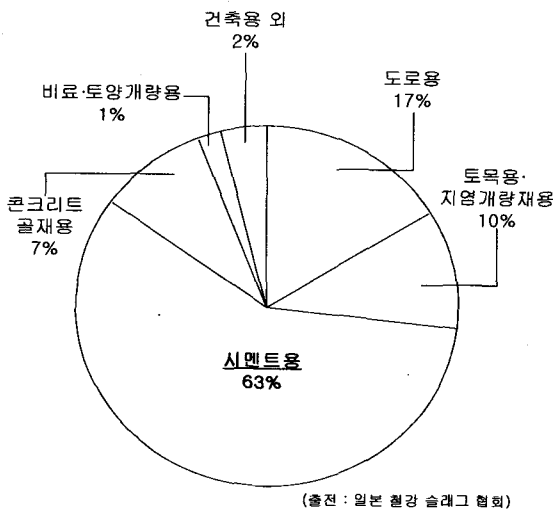
사용 목적	고로슬래그 미분말 치환율 (%)		
	분말도 4000	분말도 6000	분말도 8000
수화열에 의한 온도상승 억제	50~70	60~70	30~70
알칼리골재반응 억제	40~70	40~70	40~70
내황산염성의 향상	50~70	50~70	50~70
해수에 대한 화학저항성(염해 포함)향상	45~55	45~60	45~70
고유동화	30~70	30~70	30~60
고강도화	-	30~50	30~60

그 미분말의 치환율 범위는 <표 2>에서와 같이 주로 30~70%를 사용한다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 30% 미만의 경우에는 고로슬래그 미분말을 사용한 효과가 현저하게 나타나지 않으며 오히려 초기재령의 콘크리트 강도발현이 나쁘다는 점과 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말을 사용하는 것에 의한 사일로 증설, 계량관리, 품질관리 업무가 번잡하기 때문에 사용하지 않는 것이 일반적이다. 또한, 고로슬래그 미분말의 치환율이 70%를 넘는 경우에는 초기강도가 현저하게 작게 되고 사용실적도 거의 없으며

그 물성이 충분하게 확인되어 있지 않으므로 사용되고 있지 않다. 한편 <그림 2>는 일본에서의 고로슬래그 미분말의 활용 현황을 나타내며, 고로슬래그 미분말은 특히 시멘트 용, 즉 고로슬래그 시멘트를 제조하는데 63% 이상이 사용되는 것에 주목 할 필요가 있다.

2.3 고로슬래그 미분말 품질 규격

국내 고로슬래그 미분말에 관한 KS규격은 KS F 2563 「콘크리트용 고로슬래그 미분말」에 규정되어 있으며 <표 3>과 같이 고로슬래그 미분말의 분말도(비표면적)에 따라 고로슬래그 미분말 1종, 고로슬래그 미분말 2종, 고로슬래그 미분말 3종으로 분류하고 있다. 고로 슬래그 분말에 대한 규격을 제정한 나라는 미국, 일본, 영국, 캐나다, 이탈리아, 오스트리아 등이며 일반적으로 “고로 슬래그란 급냉 시킨 것을 사용하고 이의 염기도는 1.4이상이어야 한다.” 라고 규정하고 있다. 한편, <표 4>는 고로슬래그 미분말의 분말도에 따른 활성도 지수 및 Flow값비를 나타낸 것이다. 분말도가 클수록, 즉 미분화가 될 수록 활성도 지수 및 Flow값비는 커지는 것을 알 수 있으며, 이는 콘크리트용 혼화재료로 사용하였을 경우 고분말일 수록 압축강도 발현이 우수한 것을 나타내므로 초기강도 발현성을 높이기 위해서는 분말도가 높은 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.



<그림 2> 고로슬래그 미분말의 활용 현황 (일본)

<표 3> 콘크리트용 고로슬래그 미분말의 규격 (KS F 2563 - 1997)

종 류		고로슬래그 미분말 1종	고로슬래그 미분말 2종	고로슬래그 미분말 3종
비 중		2.80 이상	2.80 이상	2.80 이상
비표면적 (cm ² /g)		3,000~5,000	5,000~7,000	7,000~10,000
활성도지수 (%)	재령 7일	55이상(1)	75이상	95이상
	재령 28일	75이상	95이상	105이상
	재령 91일	95이상	105이상	105이상
플로우 값 (%)		95이상	95이상	90이상
산화마그네슘 (MgO) (%)		10.0 이하	10.0 이하	10.0 이하
삼산화황 (SO ₃) (%)		4.0 이하	4.0 이하	4.0 이하
강 열 감 량 (%)		3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하
염화물 이온 (%)		0.02 이하	0.02 이하	0.02 이하

<표 4> 고로슬래그 미분말의 품질

종 류	비표면적 (cm ² /g)		활성도지수 SAI (%)			Flow 값비 (%)	
	범 위	평 균	재 령	범 위	평 균	범 위	평 균
고로슬래그 분말도 4000	3,760~4,950	4,320	7일	55~96	68.2	96~116	102.7
			28일	80~127	100.8		
			91일	94~144	116.5		
고로슬래그 분말도 6000	5,290~6,880	6,160	7일	80~97	87.8	99~118	105.9
			28일	97~127	111.4		
			91일	110~133	119.5		
고로슬래그 분말도 8000	7,420~9,410	8,310	7일	90~129	107.1	93~118	102.8
			28일	110~146	127.9		
			91일	110~153	130.3		

3. 국내 레미콘 공장에서의 고로슬래그 미분말 사용 문제점

3.1 고로슬래그 미분말 혼입에 의한 일반적인 문제점

○ 국내 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말의 적용현황 및 문제점

- ① 남쪽지방을 중심으로 고로슬래그 미분말을 시멘트 대체재로서 레미콘 공장에서 혼합사용 (하절기 : 시멘트 중량의 20~25%, 동절기 : 10~15%)

- ② 고로슬래그 미분말 사용목적은 주로 원가 절감이 주 목적이며 콘크리트 품질향상이 아님
- ③ 고로슬래그미분말의 Blane값은 4000정도로 시멘트와 큰 차이가 없으며, 시멘트 대체율이 10~25%로서 고로슬래그 미분말 혼입에 의한 콘크리트 내구성향상 효과는 적음
- ④ 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용한 레미콘의 품질성능 검증이 확실히 이루어지지 않아 일부 건설 현장에서는 반입이 금지되어 있는 상태임

○ 국내 건설현장에서 고로슬래그 미분말 혼입에 의한 문제점

- ① 콘크리트 혼화제로서 고로슬래그 미분말의 품질편차 및 혼합 균질성 의구심
- ② 콘크리트 초기강도 저하문제에 따른 거푸집 탈형 시기 문제
- ③ 저온에서의 강도발현 저하 문제 (특히 10℃ 이하)
- ④ 고로슬래그 미분말 혼입에 따른 콘크리트 색차 및 콘크리트 표면 백색분말 현상 문제

○ 고로슬래그 미분말 혼입에 의한 일반적인 문제점

- ① KS F 2563의 고로슬래그 미분말 등급 : 1급 (Blane 8000), 2급 (Blane 6000), 3급 (Blane 4000)으로 시멘트 대체 효과가 있는 30~70%를 사용범위로 규정, 국내 레미콘 공장에서는 원가절감만을 위하여 10~25%를 사용하고 있는 실태로서 최근 이용이 급증하고 있어 이에 대한 명확한 검토가 요구됨
- ② 고로슬래그 미분말 종류 및 시멘트 대체율에 따라, 믹싱방법, Fresh 콘크리트성상, 수화·발열특성, 강도발현특성 및 내구성이 상이함, 혼입율이 적절하지 않으면 소요품질 확보 어려움
- ③ 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트는 일반적으로 중성화진행이 빠름
- ④ 충분한 초기 습윤양생이나 양생이 충분하지 않으면 동해를 입을 우려가 있음
- ⑤ 해양/응설제 도포 구조물 : 각종 염의 화학적 침식에 의한 Ca(OH)₂ 용출로 콘크리트 표면 취약, 고로슬래그 미분말 수화에 필요한 Ca(OH)₂ 부족, 표면박리나 Pop-out 등의 문제 발생
- ⑥ 내황산염 저항성 : 고로슬래그 미분말 혼입 50%이상에서 유효, 석고 혼입율이 적은 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 내황산염에 대한 저항성 문제 발생.

따라서, 이러한 전반적인 문제점을 분석하고 고로슬래그 미분말을 올바르게 사용하기 위해서는 국내 고로슬래그 미분말에 관한 전반적인 사항을 기술적으로 검토할 필요가 제기되고 있다.

3.2 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말 사용시 유의 사항

고로슬래그 미분말은 시멘트공장에서 시멘트에 일정량의 고로슬래그 미분말을 혼입하여 품질성을 확보한 고로슬래그 시멘트로서의 사용방법과 레미콘공장에서 사용목적에 준하여 일정량(보통 치환율이 30~70%)을 혼입하는 사용방법이 있다. 고로슬래그 시멘트에 관하여는 시멘트제조회사에서 충분한 품질검증을 통하여 유통되므로 사용목적에 맞게 사용한다면 고로슬래그 미분말의 장점을 살린 고성능 콘크리트를 제조하는 것이 가능하다. 한편, 레미콘공장에서 고로슬래그 미분말을 혼화재료로서 첨가하는 경우에는 품질관리가 매우 어렵게 되므로 특히 주의가 필요하다. 예를 들면, 고로슬래그 자체는 SO₃를 거의 함유하고 있지 않기 때문에 고로슬래그를 미분쇄하여 고로슬래그 미분말을 제조할 때에는 자극제로서 SO₃를 미량 첨가하나 제조회사 별로 품질의 차이가 발생할 수 있으며, 특히, 각기 다른 시멘트를 사용하는 레미콘공장에서 각기 다른 품질의 고로슬래그 미분말을 조합하여 사용하는 경우에는 두 재료간의 적합성에 문제가 발생할 수 있으므로 특히 주의가 필요하다. 따라서, 레미콘공장에서 고로슬래그 미분말을 혼화재료로서 사용하는 경우와 품질관리가 된 고로슬래그 시멘트를 사용하는 경우에는 동일한 성능을 가지는 콘크리트가 제조된다고 보증할 수 없으며 레미콘제품에 품질변동의 우려가 매우 많아 건설현장에서의 콘크리트 품질관리에 막대한 지장을 초래할 수 있다. 이외에도 고로슬래그 미분말은 콘크리트용 혼화재료로서 레미콘공장에서 혼입하여 사용하는 경우, 레미콘 공장에서는 다음과 같은 사항에 유의하지 않으면 안 된다.

- (1) 고로슬래그 미분말은 치환율이 30~70%인 경우에 혼화재료로서의 장점을 발휘 할 수 있고 경우에 따라서는 시멘트가 적고 고로슬래그 미분말이 주재료가 되는 경우도 있기 때문에 생산설비에 의한 혼합성능, 계량오차(보통 혼화재료는 2%이나 고로슬래그 미분말은 사용

실적이 적고 대량 사용되므로 1%로 하여 특별관리를 하는 것이 바람직함), SO₃의 품질관리(고로슬래그 미분말에 SO₃를 혼입하여 제조되는 것도 있음), 그 외의 사항에 대하여 확실한 품질관리가 이루어져야 한다.

- (2) 고로슬래그 미분말은 분쇄방법에 따라서 그 특성이 변화될 수 있고 고로슬래그의 생산에서 소비까지 장시간 소요되거나(특히 레미콘 공장에서는 신선도라고 말함) 장시간 야적하게 되면 품질변동이 발생 될 수 있기 때문에 생산자 측면에서 고로슬래그 미분말의 재료 반입, 저장방법, 저장기간에 각별한 주의가 필요하다. 특히, 다른 혼화재료와 달리 고로슬래그 미분말은 잠재수경성(물과 반응하여 굳어짐)이 있으므로 시멘트와 동등한 저장시설과 관리가 필요하다고 판단된다.
- (3) 고로슬래그 미분말(보통 분말도 4000을 국내에서 사용 함)을 사용할 경우 기존 레미콘공장의 생산시스템의 믹싱 시간에서 균일한 혼합이 이루어지는 가에 대한 검토가 충분히 이루어져야 하며, 초기강도 증진을 목적으로 한 분말도 6000 및 8000을 사용하는 경우에는 반드시 믹싱 시간의 확인을 하여 콘크리트 구성 재료의 균질성을 검토해야만 한다.
- (4) 현재, 국내에서는 레미콘 공장 및 레미콘 타설 현장에서의 고로슬래그 미분말 치환율 및 혼합 균질성을 확인하기 위한 시험방법이 없으므로 이에 대한 검토가 필요하다.
- (5) 시멘트(비중 3.16정도)와 고로슬래그 미분말(비중 2.90정도)을 비중차가 있으므로 혼합시 균질성이 문제가 되며, 특히, 원심력을 이용하는 콘크리트 2차 제품에는 고로슬래그 미분말의 적용이 불가능하다. 또한, 비중차에 의하여 배합설계 및 레미콘 출하시 용적문제가 발생할 우려가 있으므로 면밀한 계산이 필요하다.
- (6) 고로슬래그 미분말은 다른 혼화재료와 달리 대량으로 혼입되는 특성을 가지므로 계량장치 고장이나 오퍼레이터의 실수에 의해 고로슬래그 미분말이 과다 혼입된 경우는 초기강도 저하뿐만 아니라 장기강도에도 악영향을 미치게 되므로 특별한 관리가 필요하다.

(7) 현재, 레미콘공장에서 레미콘 제조원가 절감을 위하여 고로슬래그 미분말을 임의적으로 치환율 10~30% 범위에서 사용되고 있는 것은 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 경우와 비교하여 품질성능이 상당히 저하되므로 반드시 구매자와의 협의를 통하여 분쟁소지를 예방하는 것이 중요하다. 따라서, 고로슬래그 미분말의 장점을 살릴 수 있는 고로슬래그 미분말 표준 사용량인 치환율 30~70%를 적용하여 특수목적으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 일본의 고로슬래그 미분말 사용 현황 조사

상기에서 언급한 제반 문제점을 이미 경험한 일본에 있어서의 고로슬래그 미분말 사용 현황 및 레미콘 공장 및 시멘트회사의 제조실태를 조사하고, 특히, 콘크리트, 시멘트, 시공분야 전반에 대한 영향 등을 파악하기 위하여 고로슬래그 미분말 사용현황을 조사한 결과는 다음과 같다.

4.1 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말 사용시 문제점

(1) 일본에서는 고로슬래그 미분말을 시멘트공장에서 고로슬래그시멘트로 유통시킴

- ① 미분말 함유량은 주로 43~45% 중량치환한 고로슬래그시멘트 B종사용
(고로슬래그시멘트 사용 : 일본 전체 시멘트량의 25% 정도 사용)
- ② 장기강도향상 및 내염해성, 내해수성이 우수하여 주로 토목에 사용
- ③ 고로슬래그 미분말을 30~70% 범위에서 사용시 효과가 있음

— 국내에서와 같이 10~30%를 레미콘 공장에서 사용하는 것은 없음

(2) 고로슬래그 미분말 사용시 품질문제

- ① 응결지연 및 초기강도가 일반적으로 낮음
(국내 공사기간 단축에 걸림됨)

- ② 미분말 사용시 건조수축이 커 균열발생 우려가 많음
- ③ 미분말 계량장치 고장에 의해 대량투입시 강도저하 문제 발생 우려
- ④ 양생이 충분하지 않으면 균열발생 및 동해 우려가 큼
- ⑤ 미분말사용시 동절기에는 강도발현이 너무 늦음 (10℃이하)
- ⑥ 미분말 사용시 콘크리트 중성화속도 빠름 (철근부식 발생하기 쉬움)
 - 공기중 노출 콘크리트에는 사용 안함 (건축에서는 거의 사용 안함)
 - 일본철도(JR)에서는 혼합시멘트를 내부적으로 사용안함
 - 건축학회 매뉴얼 (고내구성 건축물에는 혼합시멘트 사용안함)
 - 토목학회 (미분말 사용시 중성화가 빠른것에 대한 보정 필요)
 - 터널 (혼합시멘트가 중성화속도가 빨라 철근부식에 의해 콘크리트가 박락할 우려가 있으므로 미분말혼입 콘크리트는 공기중 노출시 사용 안함)
- ⑦ 고로슬래그미분말사용 콘크리트는 온도의 존성이 커 반드시 Mass 콘크리트의 온도 저감 효과가 있다고 보기 어려움
- ⑧ End User가 반드시 미분말사용에 대하여 승인서 사용해야 분쟁소지 없음

- 1995. 3 : JIS A 6206 『콘크리트용 고로슬래그 미분말』 제정
- 1996. 6 : 토목학회 『고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 시공지침』 개정
- 1996. : JIS A 5308 『레디믹스트 콘크리트』 개정시 고로슬래그 미분말을 혼화재료로서 사용할려고 하였으나 기술적 검토과제가 있어 연기
- 1998. 7 : 『고로슬래그 미분말 사용 콘크리트 제조 매뉴얼- 표준화방향』 작성
JIS 제정 전에 2년간 관련 업계 공동 연구 추진
 - ① 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 믹싱타임(균질성 문제 검토)
 - ② 다양한 고로슬래그 미분말과 시멘트와의 상성문제 검토
 - ③ 고로슬래그미분말의 온도의존성 검토
- 1998. : JIS A 5308 『레디믹스트 콘크리트』에 고로슬래그 미분말 삽입
고로슬래그 미분말 치환율 범위는 30~70%를 대상으로 함
- 현재 ~ : JIS에 고로슬래그 미분말이 삽입되었으나, 고로슬래그 미분말을 레미콘공장에서 사용하는 업체는 거의 없으며 전부 품질확보가 된 고로슬래그 시멘트 (B중)를 사용하고 있음

4.2 고로슬래그 미분말을 JIS A 5308에 반영하게 된 배경

- 1985. 3 : 토목학회 『고로슬래그 혼화재 연구소 위원회』 발족
- 1986. 10 : 토목학회 『콘크리트용 고로슬래그 미분말 규격(안)』 발행
- 1988. 1 : 토목학회 『고로슬래그미분말 사용 콘크리트 설계시공지침(안)』 제정
- 1992. 6 : 건축학회 『고로슬래그 미분말 조사 연구소 위원회』 발족
 『고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트기술 현상』 발행
- 1994. 6 : 고로슬래그 미분말 JIS 원안 작성

5. 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 특성

국외에서 고로슬래그 미분말은 대부분 품질이 확보된 고로슬래그 시멘트의 형태로 사용되며 그 치환율은 용도에 따라 30%~70%범위에서 사용하고 있다. 그러나, 국내에서와 같이 10%~25%를 사용한 경우는 거의 없으며 특히 이에 대한 연구결과는 거의 없는 실정이다. 따라서, 그동안 필자가 수행해온 연구결과와 함께 기존문헌을 참고로 하여 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 특성을 설명하기로 한다.

<표 5> 국내외 고로 슬래그 미분말의 화학 성분

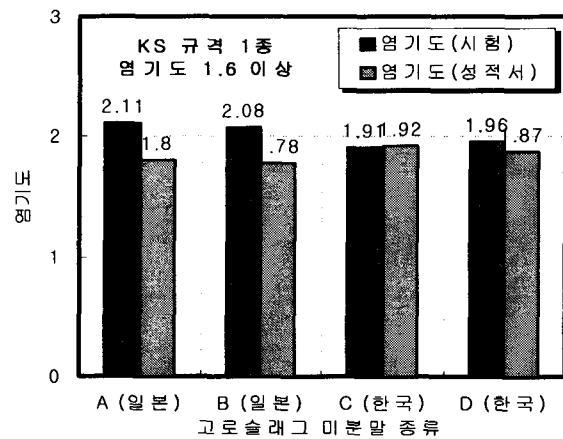
구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LL	SUM	염기도
일본 A	30.10	13.93	1.12	44.32	5.12	4.24	0.61	99.44	2.11
일본 B	30.80	14.22	0.98	44.72	5.12	4.15	0.54	100.53	2.08
국내 C	32.60	12.81	1.34	44.32	5.12	4.37	-0.98	99.58	1.91
국내 D	32.40	13.74	1.16	44.72	5.12	4.66	-0.97	100.83	1.96
A시멘트사 입고분	34.16	13.40	0.98	43.76	5.35	2.38	-0.57	99.50	1.83

5.1 고로슬래그 미분말의 화학분석 결과

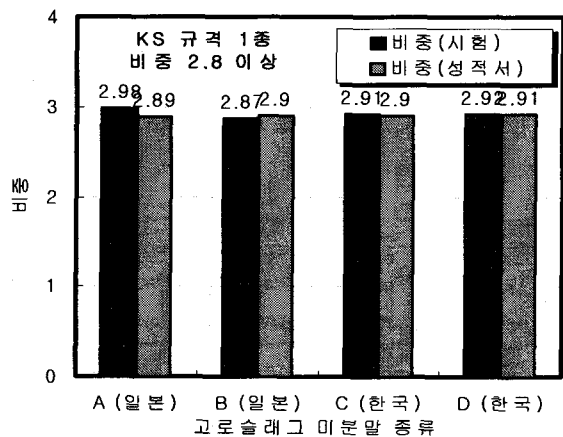
콘크리트용 혼화재로서 사용되는 고로슬래그 미분말은 급냉 고로슬래그를 미분쇄하여 제조하기 때문에 고로의 성분, 급냉 방법 및 온도, 분말도 및 석고첨가 등에 영향을 받아 화학성분 편차가 일어날 소지가 매우 많다. 이와 같이 잠재수경성을 갖는 **고로슬래그 미분말의 화학성분 차이는 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 품질에 매우 큰 영향을 미치므로 국내 2종류 및 일본 2종류의 고로슬래그 미분말을 대상으로 그 화학성분을 분석하였다.** <표 5>에 국내외 고로슬래그 미분말의 화학성분을 나타낸다. 또한, <표 6>은 물리성능을 나타낸 것이다.

<그림 3>에 국내외 고로슬래그 미분말의 염기도를, <그림 4>에 비중을 나타낸다. 염기도 및 비중은 전부 KS규격을 상회하는 것으로 나타났다. 염기도는 1.8~2.1정도의 편차를 보이고 있다. 국내의 경우 실험결과와 성적서값은 거의 일치하고 있으나 일본의 경우는 차이가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 고로

슬래그 미분말의 압축강도발현을 지배하는 염기도에 대한 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다. 한편, 비중의 경우 국내외 고로슬래그 미분말은 2.9~3.0 사이로 거의 유사한 결과를 나타내고 있다.



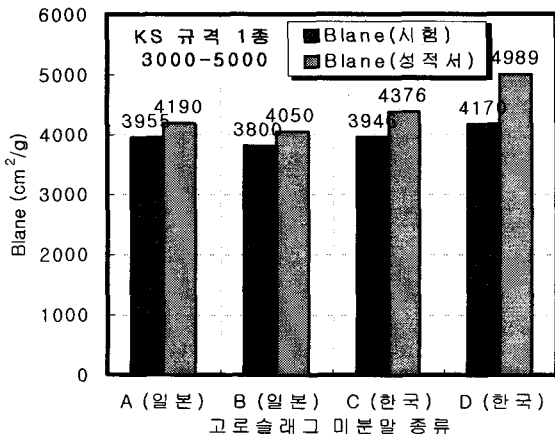
<그림 3> 국내외 고로슬래그 미분말의 염기도



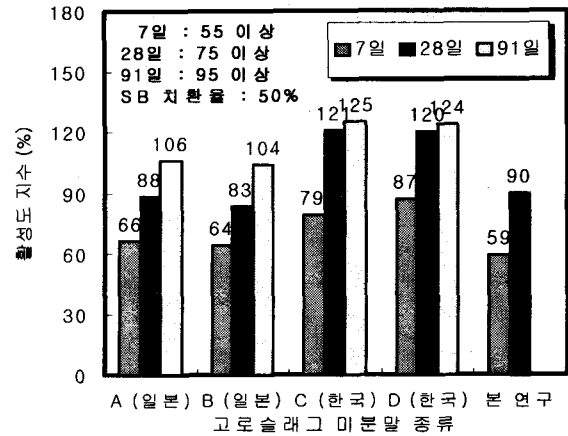
<그림 4> 국내외 고로슬래그 미분말의 비중

<표 6> 국내외 고로 슬래그 미분말의 물리 성능

구분	Blaine (cm ² /g)	44μmR%	비중	석고
일본 A	3955	1.9	2.98	석고가 4~5% 함유
일본 B	3800	2.6	2.87	
국내 C	3946	1.5	2.91	
국내 D	4170	3.2	2.92	



<그림 5> 국내의 고로슬래그 미분말 Blaine값



<그림 6> 국내의 고로슬래그 미분말 활성화지수

<그림 5>에 국내의 고로슬래그 미분말의 Blaine값을, <그림 6>에 활성화 지수를 나타낸다. Blaine값의 경우, 전부 KS규격을 만족하는 것으로 나타났다. 일본의 고로슬래그 미분말은 약 4000정도의 값을 나타내고 있고 실험값과 및 성적서값은 유사하게 나타나고 있다. 그러나, 국내의 경우 성적서값은 실험결과 보다 약 400~800정도 크게 나타나 차이가 발생하고 있다. 한편, 활성화 지수의 경우 재령별로 전부 KS규격을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 일본의 경우 JIS 규격값과 성적서 값은 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 그러나, 국내의 성적서 값은 KS규격값을 크게 상회하고 있으며, 특히 일본의 고로슬래그 미분말 보다도 매우 큰 활성화 지수를 나타내고 있어 활성화 지수가 강도발현을 나타내는 지표로서 매우 중요한 성능이므로 이에 대한 더욱 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다. 그러나, 재령 7일에서 활성화지수(BS 50% 치환의 경우)는 60~80% 정도로 낮기 때문에 건축용 콘크리트용 혼화재로서 고로슬래그 미분말을 사용하는 경우에는 콘크리트의 초기강도 저하에 관한 대책을 세울 필요가 있다고 판단된다.

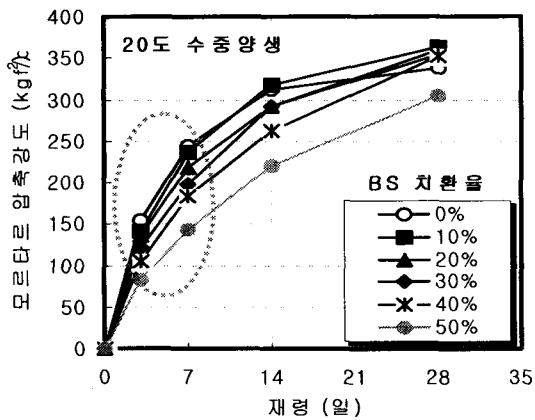
5.2 고로슬래그 미분말 혼입 모르타르의 압축강도 발현

고로슬래그 미분말 혼입 시멘트 모르타르를

대상으로 치환율, 양생방법 및 양생온도, 고로슬래그 미분말 및 시멘트의 조합을 실험인자로 하여 이들 실험인자가 시멘트모르타르의 압축강도 발현에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

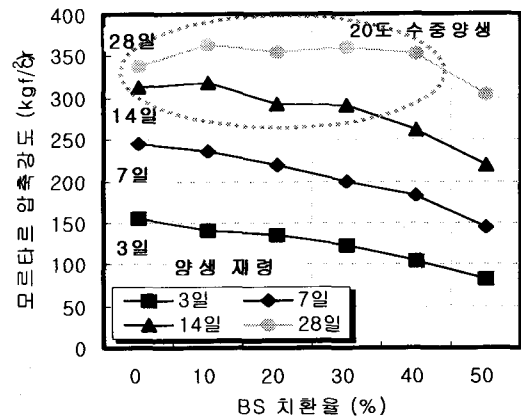
<그림 7>에 재령에 따른 각 고로슬래그 미분말 혼입율별 모르타르의 압축강도 발현을 나타낸다. 또한, <그림 8>에 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 각 재령별 모르타르의 압축강도 발현을 나타낸다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 동일 재령에서 모르타르의 압축강도는 작게 나타나고 있으며, 특히, 초기재령인 3일 및 7일에서는 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 시험체에 비하여 압축강도가 낮게 나타났다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 치환하는 경우에는 모르타르의 초기강도 저하에 유의할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응에 의한 압축강도 증진은 재령 14일 이후부터 나타나는 것을 알 수 있다.

한편, <그림 9>는 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 모르타르의 활성화 지수를 나타낸다. 여기서, 활성화 지수는 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 각 재령에서의 압축강도에 대한 고로슬래그 미분말 혼입 모르타르의 압축강도비를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록 동일재령에서 모르타르의 활성화 지수가 작게 나타나고 있다. 특히, 재령 초기인 3일 및 7일에서는 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 활성화 지수가 매우 작게 나타나고 있



<그림 7> 재령에 따른 모르타르 압축강도 발현

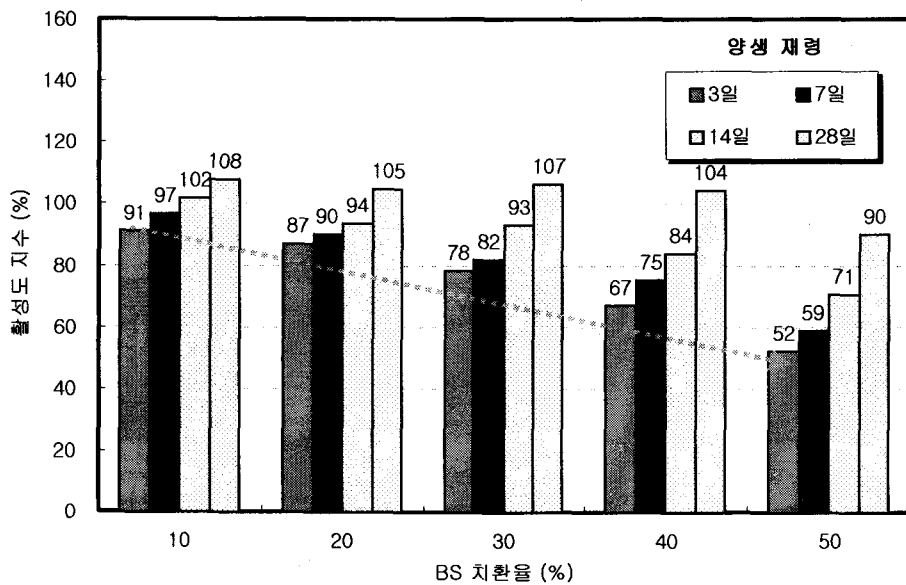
어 고로슬래그 미분말 혼입에 따른 초기재령의 모르타르 압축강도 저하에 유의할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응으로 활성도지수가 약 100%를 넘는 재령은 고로슬래그 미분말 치환율 10~30% 정도의 범위에서는 재령 14일 이후로 평가된다. 한편, 고로슬래그 미분말을 혼입한 모르타르의 활성도지수는 고로슬래그 미분말의 Blaine값 및 염기도에 크게 좌우되므로 고로슬래그 미분말 혼입 모르타르의 초기 압축강도를 향상시키기 위해서는



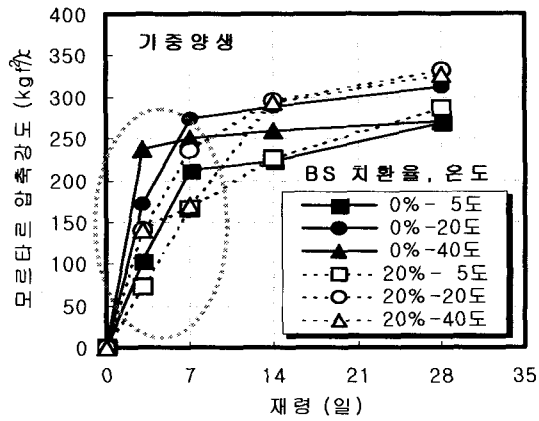
<그림 8> 치환율에 따른 모르타르 압축강도 발현

기존의 Blaine값이 4000정도인 고로슬래그 미분말 보다 더욱더 Blaine값을 높인 6000 또는 8000 급의 고로슬래그 미분말의 사용 검토가 요청된다고 사료된다.

고로슬래그 미분말은 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하는 포졸란 반응에 의하여 압축강도를 향상시키므로 시멘트 수화반응에 크게 영향을 미치는 양생온도에 크게 영향을 받는다. <그림 10>은 고로슬래그 미분말 치환율 20%의 경우, 양생온도별 재령에 따른 모르타르의 압축

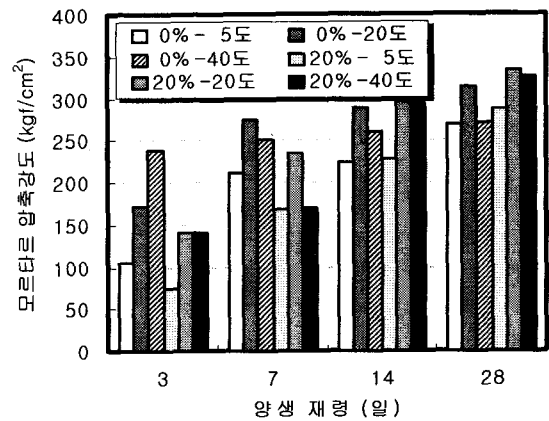


<그림 9> 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 활성도 지수



<그림 10> 재령에 따른 모르타르 압축강도 발현

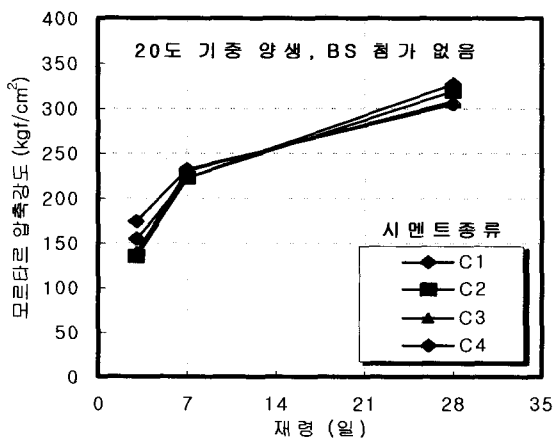
강도 발현을 나타낸다. 또한, <그림 11>은 각 양생재령에 있어서 양생온도별 모르타르의 압축강도를 나타낸다. 재령 3일에서는 양생온도가 높을수록 고로슬래그 미분말의 치환율에 관계없이 모르타르의 압축강도는 높게 나타나고 있다. 그러나, 5°C 저온 양생에서는 고로슬래그 미분말을 20% 혼입한 경우 초기재령인 3일 및 7일에서 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 경우와 비교하여 압축강도가 20°C보다 약 20%정도 강도저하를 나타내고 있어 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우에는 초기 저온양생에 의한 압축강도 저하에 특히 유의하여야 한다고 판단된다. 그러나, 5°C 저온 양생의 경우에도 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우 재령 14일 이후 부터는



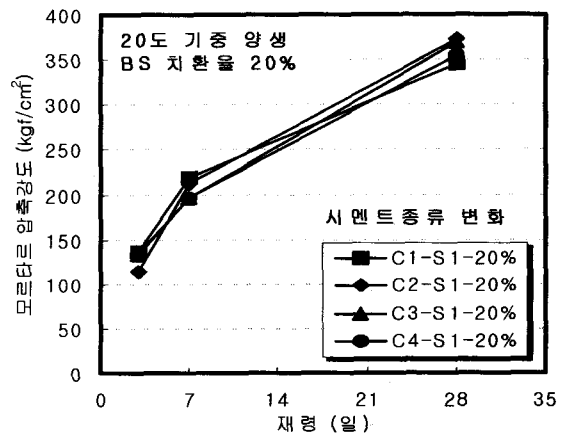
<그림 11> 양생온도별 모르타르 압축강도

포졸란 반응에 의한 압축강도 증진효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, 40°C 고온 양생의 경우에는 재령에 관계없이, 20°C 양생과 비교하여 압축강도 발현이 높은 경향을 나타내고 있으며 이는 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우에도 유사한 경향을 나타내 고로슬래그 미분말을 사용한 경우의 초기강도를 높이기 위한 방법으로서 고온양생의 가능성도 검토될 수 있다고 판단된다.

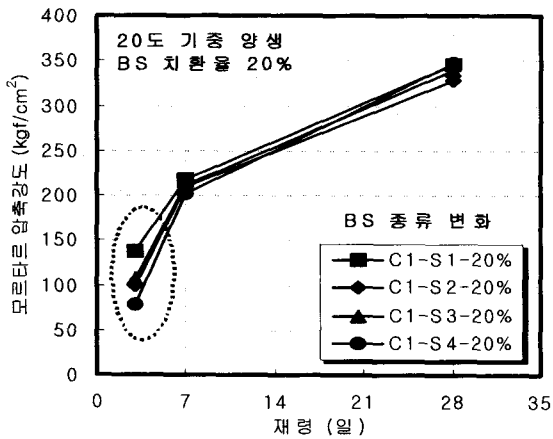
<그림 12>는 기중양생의 경우 국내 4개 시멘트 회사의 각 재령별 모르타르 압축강도 발현을 나타내고 있다. 동일 재령에 있어서 모르타르의 압축강도에는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 한편, 13은 고로슬래그 미분말을 1종류로 고정시



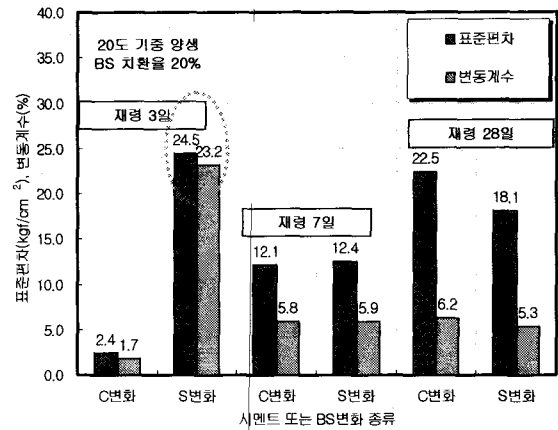
<그림 12> 재령별 모르타르 압축강도 (국내 4개 시멘트사만 사용)



<그림 13> 재령별 모르타르 압축강도 (BS 고정, 시멘트 4종류 변화)



<그림 14> 재령별 모르타르 압축강도 (시멘트 고정, BS 4종류 변화)



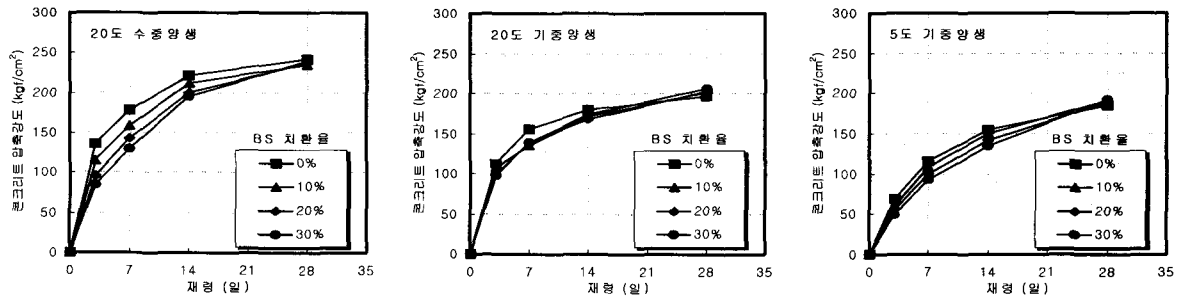
<그림 15> 재령별 모르타르 압축강도의 표준편차 및 변동계수

키고 시멘트를 4종류로 바꾼 경우의 모르타르 압축강도 발현을 나타내고 있다. 이 경우도 각 재령에서 모르타르의 압축강도에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서, 국내의 시멘트는 압축강도 발현 측면에서는 품질편차가 크게 나타나고 있지 않다고 판단된다. 한편, <그림 14>는 시멘트를 1종류로 고정시키고 고로슬래그 미분말을 4종류로 바꾼 경우의 모르타르 압축강도를 나타내고 있다. 또한, <그림 15>는 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 조합에 따른 각 재령별 모르타르의 압축강도 표준편차 및 변동계수를 나타낸다. 재령이 클수록 압축강도도 증가하므로 표준편차 및 변동계수도 증가하는 것을 알 수 있다. 한편, 재령 초기인 3일 및 7일에서는 고로슬래그 미분말을 고정하고 시멘트를 변화시킨 경우에 있어서 표준편차 및 변동계수는 적으나, 시멘트를 고정시키고 고로슬래그 미분말의 종류를 바꾼 경우에는 특히, 재령 3일에서 표준편차 및 변동계수가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리특성이 다른 것이 고로슬래그 미분말 혼입 모르타르의 초기 재령 압축강도 발현에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로서 사용하는 경우에는 품질 확보가 된 고로슬래그 시멘트를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말을 사용하는 경우에는

최소한 동일 시멘트에 동일 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 바람직하며 반드시 사전 실험에 의하여 이를 확인하는 것이 중요하다.

5.3 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도 발현

고로슬래그 미분말은 치환율, 양생방법 및 양생온도에 따라 압축강도 발현이 각기 다르다. 따라서, 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도를 명확히 규명하기 위해서는 시공현장을 고려한 양생방법 및 양생온도에 따른 검토가 필요하다. <그림 16>은 각각 20°C 수중양생, 20°C 기중양생, 5°C 기중양생의 경우 재령에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도를 나타낸다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록 동일재령에서 콘크리트의 압축강도가 작게 나타나며 특히 초기재령인 재령 3일 및 7일에서 이러한 현상이 현저하다. 한편, 20°C 기중양생보다 20°C 수중양생의 경우가 동일재령에서 압축강도가 높으며, 5°C 기중양생보다 20°C 기중양생이 동일재령에서 콘크리트 압축강도가 낮게 나타나 동일 콘크리트라도 양생방법 및 양생온도에 따라 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도 발현이 다른 것을 알 수 있다. 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도는 20°C 수중양생 > 20°C 기중양생 > 5°C 기중양생의

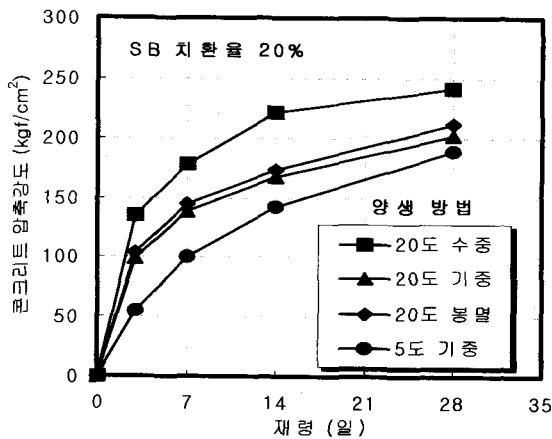


(a) 20°C 수중양생 (b) 20°C 기중양생 (c) 5°C 기중양생
<그림 16> 재령에 따른 콘크리트 압축강도 발현

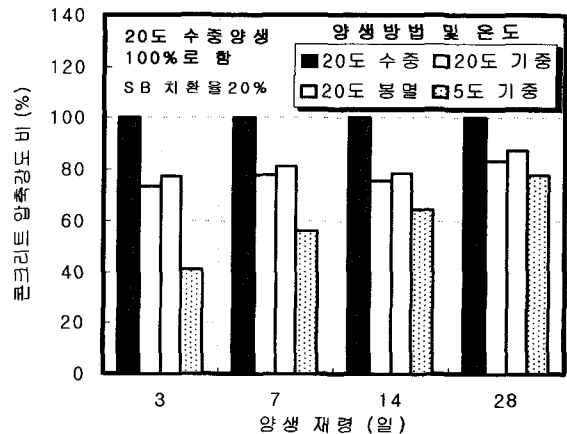
순으로 크게 나타났다. 한편, <그림 17> 및 <그림 18>은 양생방법에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 20°C 동일 온도라도 양생방법이 수중, 기중, 봉렬로 다른 경우 수중양생이 동일재령에서 압축강도가 가장 높고 기중 및 봉렬양생은 거의 비슷한 강도발현을 나타내고 있다. 한편, 온도가 5°C로 낮은 경우에 있어서는 특히 초기 재령(재령 3일 및 7일)에 있어 강도발현이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 20°C 수중양생의 압축강도를 100%로 한 경우 재령 3일 및 7일에서는 약 40~60%정도 밖에 강도발현이 되지 않아 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우에는 저온양생에 의한 초기재령의 강도발현이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 따라서, 콘크리트의 경우 20°C 수중양생을 기본으로 하여 품질관리를 실시하나, 실제 현장 콘크리트는 기중양생에 가깝고 우리나라와

같이 동절기가 약 5개월 정도 되는 나라에 있어서는 초기강도 발현이 낮은 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 현장 적용에 있어서는 세심한 주의가 필요하다.

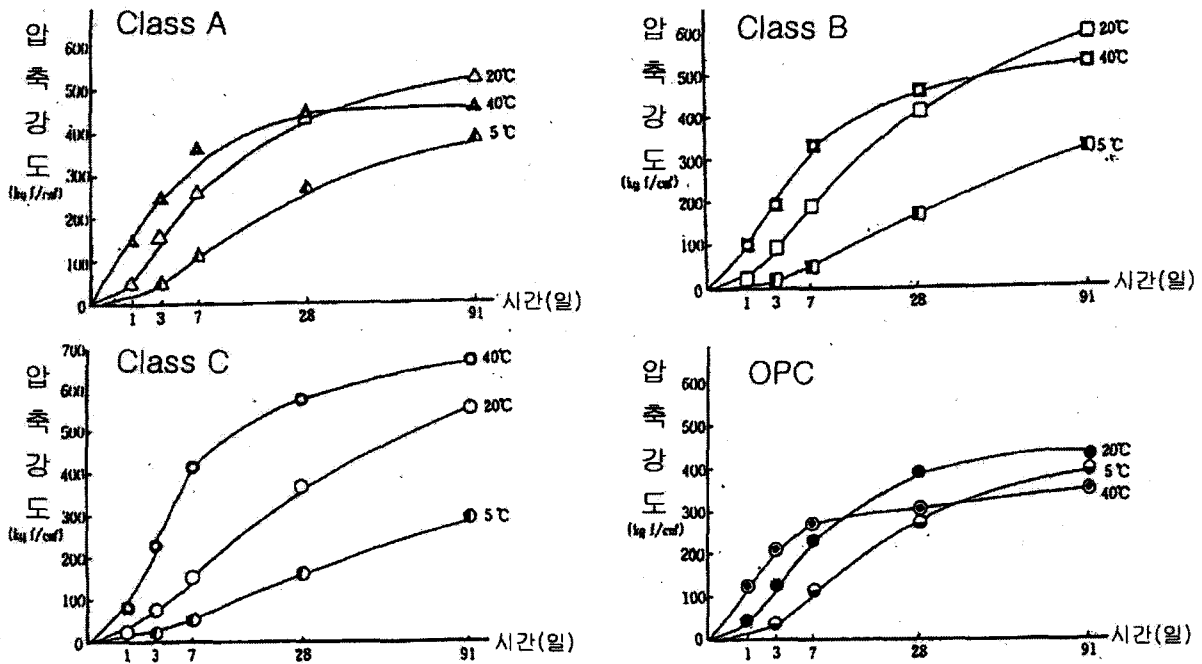
또한, 기존의 연구결과에 따르면 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 타설 온도나 양생 온도가 낮은 경우에는 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 강도발현성이 현저하게 저하한다. 예를 들면, 치환율 50%, 물-결합재비 55%의 콘크리트를 사용한 양생온도 5°C의 경우, 무혼입 콘크리트와 비교하여 7일에서 약 40%, 28일에서 50~60%를 나타낸다. 한편, 동일 배합 조건에 있어서 양생온도가 30°C의 경우에는 7일에서 약 85%, 28일에서 100~110이며 고온시에는 강도발현성이 향상하고 있다. <그림 19>에 저온 및 고온 양생한 고로슬래그 시멘트의 강도 발현을 나타낸다. 보통 포틀랜드시멘트(OPC)는



<그림 17> 양생방법에 따른 콘크리트 압축강도



<그림 18> 양생방법에 따른 콘크리트 압축강도비



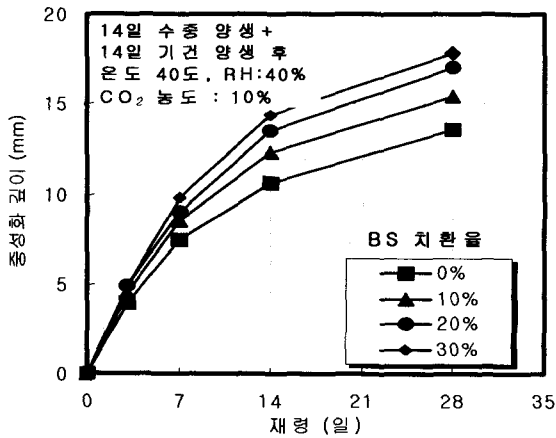
<그림 19> 저온 및 고온 양생한 고로슬래그 시멘트의 강도발현

온도가 낮은 경우 재령 3일 및 7일의 초기재령에서 압축강도가 작게 나타나나, 온도 5°C~40°C에서 재령 28일 압축강도는 거의 같다. 그러나, 고로슬래그 미분말의 함유량이 많은 순서로 Class A(치환율 5~30), Class B(치환율 30~60), Class C(치환율 60~70)의 경우 저온일 수록 초기재령에서 강도발현이 더욱더 작아지며, 특히, 5°C에서 양생한 시험체의 재령 28일 압축강도는 가장 낮게 나타나 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트는 양생온도에 의한 영향을 매우 크게 받는 것으로 나타났다. 특히 Class B 및 Class C의 경우는 저온(5°C)에서 초기강도발현이 매우 낮음으로 주의가 요구된다. 따라서, 슬래브, 벽 등의 얇은 부재의 경우에는 타설시 콘크리트 온도가 낮으면 초기강도뿐만 아니라 장기강도 발현에 크게 영향을 미치므로 한랭 시에는 콘크리트 온도저하에도 유의해야 한다.

5.4 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 중성화 특성

고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 경우,

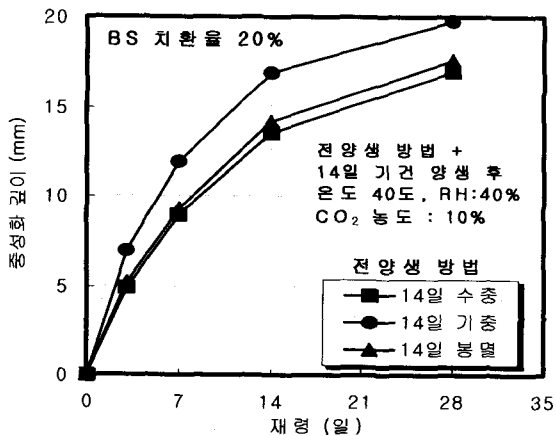
단위 보통포틀랜드 시멘트의 양이 작아 알칼리성이 낮아지며, 특히 고로슬래그 미분말이 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 포졸란 반응을 일으켜 자체적으로 pH가 떨어지는 자기 중성화 현상이 있다. 또한, 초기재령에서의 양생(전양생)이 부적절한 경우에는 중성화 저항성이 크게 떨어질 우려가 있다. <그림 20>에 전양생을 20°C 수중에서 14일 하고, 20°C기중에서 14일 건조시킨 후 촉진 중성화 시험을 실시한 경우의, 고로슬래그 미분말 치환율별 재령에 따른 콘크리트의 중성화 깊이를 나타낸다. 또한, <그림 21>에 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 콘크리트의 중성화 깊이를 1로 한 경우 각 재령에서 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 중성화 비율을 나타낸다. 동일재령이라도 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 중성화 깊이는 크게 나타나 중성화 저항성이 작은 것을 알 수 있다. 한편, 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 콘크리트의 중성화 깊이를 1로 한 경우에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 치환율은 치환율 10%에서는 약 1.12배, 20%에서는 1.22배, 30%에서는 1.34배로 고로슬래그 미분말의 치환



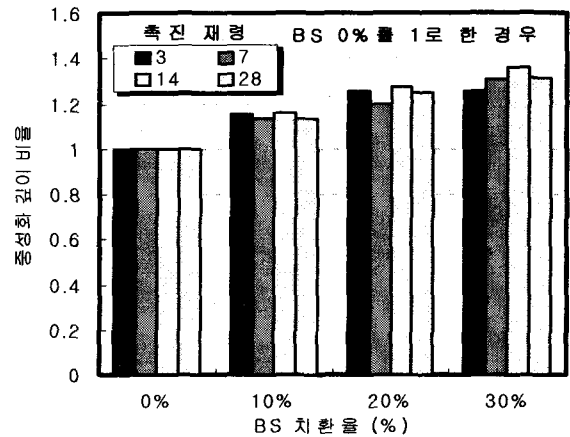
<그림 20> 재령별 콘크리트 중성화 깊이

율이 커질수록 중성화 깊이가 크게 나타났다. 이것은, 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 소비하는 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘의 양이 많아 자체 중성화 한 것과 고로슬래그 미분말의 혼입에 따라 충분히 포졸란 반응이 일어나지 않아 콘크리트의 조직이 치밀하지 않기 때문에 이산화탄소의 침입이 더욱 용이하기 때문으로 판단된다.

한편, <그림 22>는 전양생 방법이 20℃ 14일 수중양생, 기중양생, 봉말양생인 경우에 있어서 재령별 콘크리트의 중성화 깊이를 나타낸다. 또한, <그림 23>은 전양생 방법으로서 20℃ 수중양생을 실시한 콘크리트의 중성화 깊이를 1로 한 경우에 있어 양생방법에 따른 중성화 깊이

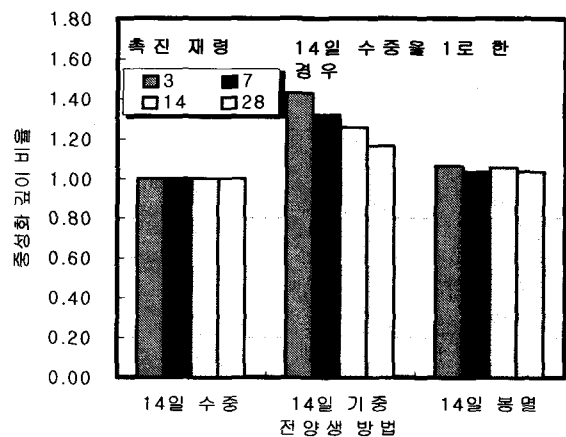


<그림 22> 전양생 방법에 따른 고로슬래그 미분말 혼입콘크리트의 중성화 깊이

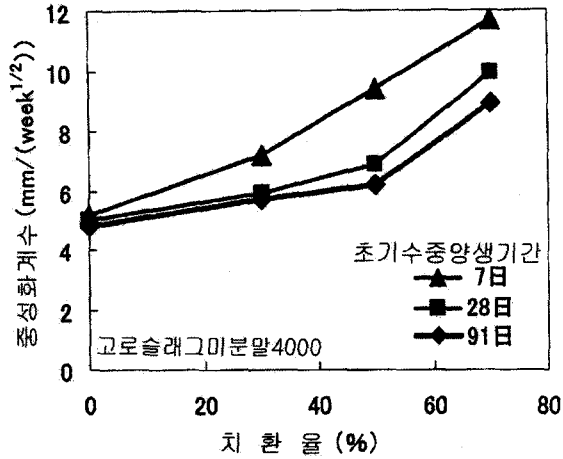


<그림 21> 고로슬래그 미분말 치환율과 중성화 깊이 비

비율을 나타낸 것이다. 20℃ 수중양생 및 봉말양생의 경우, 중성화 깊이 차이는 별로 크게 나타나지 않으나 기중양생의 경우에는 동일재령에서 현저하게 크게 나타났다. 한편, 양생 방법으로서 20℃ 수중양생을 실시한 콘크리트의 중성화 깊이를 1로 한 경우는 기중양생에서는 재령 3일에서 약 1.4배, 재령 7일에서 1.3배, 재령 14일에서 1.25배, 재령 28일에서 1.18배로 크게 나타났다으나 촉진 재령이 길어지면서 중성화 깊이 비는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 경우, 동일재령이라도 초기 양생 방법이 다르면 콘크리트의 강도 및 조직의 치밀도가 다르기 때문에 중성화가 더욱 촉진되는 것을 알 수 있다.



<그림 23> 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 중성화 깊이 비율



<그림 24> 고로슬래그 미분말 치환율과 중성화계수

기존의 연구결과에 의하면 <그림 24>와 같이 고로슬래그 미분말 치환율과 중성화계수와의 관계를 나타낸다. 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 중성화 속도계수는 증가하고 있으며, 특히, 초기 수중양생이 작은 경우 동일 치환율이라도 중성화계수가 큰 점에서 고로슬래그 미분말의 경우 초기 양생이 매우 중요함을 알 수 있다. 또한, <표 7>에 자연폭로에 의한 고로시멘트 사용 콘크리트의 중성화시험결과를 나타낸다. 동일 물시멘트비에서는 무혼입 콘크리트와 비교하여 실내, 실외의 어느 경우라도 중성화 깊이는 크게 나타났다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 경우에서도 중성화속도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 물-결합재비, 고로슬래그 미분말의 치환율이 큰 경우도 중성화 속도는 크게 되는 것을 알 수 있다.

<표 7> 자연폭로에 의한 고로시멘트용 콘크리트의 중성화시험결과

시멘트 종류		물시멘트비 (%)	폭로 상황*	중성화 깊이 (mm)						참고:철근부식 상황(30년)	
기호	고로슬래그 미분말 혼입량			폭로 기간 (년)						결량 (%)	면적 (%)
				1	3	10	20	25	30		
N	0	60	실내	1.9	3.7	8.9	11.9	13.7	14.9	1.2	4.9
			옥외	1.8	3.0	6.0	8.5	10.1	13.2	1.5	9.2
		70	실내	2.8	4.8	10.3	16.7	19.4	21.7	1.5	13.4
			옥외	2.7	4.3	10.2	14.5	18.2	18.9	2.0	15.5
BA	27	60	실내	2.8	4.3	9.9	14.8	16.1	18.1	1.3	5.1
			옥외	2.0	4.1	7.5	10.7	14.7	15.6	1.9	9.7
		70	실내	3.7	6.5	12.0	20.8	21.3	24.0	2.2	14.9
			옥외	2.8	5.3	10.5	16.9	20.8	21.9	2.3	17.1
BB	57	55	실내	2.3	4.4	7.6	11.7	14.2	15.1	1.1	4.9
			옥외	1.9	3.4	6.5	8.7	10.7	13.1	2.1	9.2
		65	실내	2.8	5.1	11.3	17.2	20.3	22.4	1.5	14.6
			옥외	2.2	4.5	9.7	14.8	18.4	20.2	2.6	15.5
BC	67	55	실내	2.9	5.3	9.5	15.4	17.5	18.0	1.3	5.3
			옥외	1.9	4.3	7.6	9.9	14.6	15.0	2.3	9.6
		65	실내	3.9	7.1	14.4	20.5	22.7	23.9	2.0	14.9
			옥외	2.8	5.7	10.5	17.2	20.4	21.8	2.8	16.2

* 실내 : 온도 10~30℃, 상대습도 40~70%, CO₂ 농도 약 1000ppm

옥외 : 기온 -10~37.5℃, 상대습도 19~100%, CO₂ 농도 약 300ppm, 연간강우량 1,303mm

한편, 촉진 중성화의 결과는 재령 및 탈형 시기에 따라 변화가 현저하게 나타났는데 몰드 탈형 재령 1일에 촉진중성화를 시킨 경우, 보통 포틀랜드콘크리트보다 BFC45 및 BFC60의 중성화 깊이가 깊게 나타났다. 반면에 몰드 탈형 재령 3일에 28일간 수중양생을 시킨 경우 보통 포틀랜드콘크리트에 비하여 중성화 깊이가 적게 나타났다. 따라서 거푸집의 탈형 시기 및 양생기간이 중성화에 영향을 미치는 것으로 판단되어 초기의 충분한 양생이 필요한 것으로 판단된다.

6. 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말의 사용 방안

이상에서 살펴본 바와 같이 국내 레미콘 공장에서 고로슬래그 미분말을 임의적으로 혼입하여 사용하는 것은 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 본래 장점을 살리는 것이 아니라 오히려 콘크리트의 품질저하에 따른 구조물의 내구성저하를 초래할 수 있으므로(표 8 참조) 다음과 같이 콘크리트용 혼화제로서 사용되는 고로슬래그 미분말은 반드시 콘크리트의 품질향상을 위한 적합한 용도로 사용되어야 하며 이를 위한 사용 전제 조건 및 사용 방안을 제안한다.

① 국내 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 품질 검증 및 시험방법 필요

- 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트는 특수 용도(고강도, 고유동, 내구성향상 등)로 사용되어야 하며 일반 강도 콘크리트에 사용하는 데에는 문제가 있음

- 고로슬래그 미분말을 레미콘 공장에서 혼입시 품질문제 검증 필요
(믹싱 균일성, 미분말과 시멘트 상성문제, 온도의존성 문제 등)
- 레미콘공장에서 10~25% 사용하는 것은 국외에서 예가 없으므로 검증 필요
- 미분말 사용시 보통포틀랜드 시멘트 100% 사용한 것 보다 품질이 저하됨
(초기강도 저하, 균열발생 많음, 온도의존성 큼, 철근부식 발생 큼)
- 초기강도향상을 위해서는 분말도 6000 또는 8000급의 미분말 사용 검토 필요
- 현장에서 간편하게 고로슬래그 미분말의 치환율을 평가할 수 있는 시험방법의 제정이 필요함

② 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트에 관한 매뉴얼 및 지침서 작성을 위한 공동 연구 필요

- JIS 레미콘에 혼화제로서 고로슬래그 미분말을 삽입하기 전에 매뉴얼, 지침서를 먼저 작성하여 사용에 따른 문제점을 최소화 하고 있음
- 1996년 JIS 레미콘 개정시 고로슬래그 미분말의 문제점을 충분히 검토하기 위하여 관련 업체간에 2년간 공동 연구를 추진하고 2년 후인 1998년 JIS 레미콘에 고로슬래그 미분말을 삽입한 전례가 있으며 정부에서는 일부 업체의 이익이 아닌 콘크리트 구조물의 품질향상 및 고로슬래그 미분말의 올바른 사용을 위한 관리감독의 책임을 다함

<표 8> 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트 기본물성 (보통 포틀랜드시멘트만을 사용한 경우와 비교)

초기성상	장점	단위수량이 작아 블리딩이 적게 됨
	단점	응결이 지연 됨
발열성상	장점	수화열이 낮음
	단점	단열온도상승은 반드시 낮지 않음(최대로 되는 치환율이 있음)
강도	장점	장기강도가 높음
	단점	초기강도 저하가 현저함, 온도 의존성이 큼
내구성	장점	내염해성이 높음
	단점	중성화하기 쉬움, 건조수축이 큼, 철근부식 발생 위험성 많음

- 국내에서도 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 올바른 사용을 위한 매뉴얼 및 지침서의 작성을 위한 충분한 연구가 필요함

* 본 원고는 2003년도 1월 15일 개최된 『건설 산업 경쟁력 강화와 콘크리트 품질향상을 위한 국제 세미나』에서 발표된 내용임을 밝혀드립니다.

③ 고로슬래그 미분말 사용시 사용자 승인제도 실시

- JIS A 5308에 고로슬래그 미분말 사용시 반드시 사용자 승인을 받도록 함 (특수용도의 콘크리트에 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트 사용 필요)
- 국내에서 고로슬래그 미분말을 사용하는 것은 레미콘공장의 원가절감 방안이지 품질향상 방안이 아님
- 고로슬래그미분말 사용에 따른 이익은 수요자인 건설인에게 돌아가야 함

④ 품질성능이 확보된 고로슬래그시멘트로의 사용

- 고로슬래그 미분말을 레미콘공장에서 사용시 품질균일성 문제와 함께 분쟁발생시 책임 소재가 불분명함
- 고로슬래그미분말의 종류에 따라 시멘트와의 상성이 달라 문제발생이 있음
- 품질보증이 가능한 고로슬래그 시멘트로의 사용이 추천 됨
- 고로슬래그 시멘트는 KS규격 제품으로 고로슬래그 미분말의 품질 및 치환율에 관한 의구심이 없어 사용자가 안전하고 사용할 수 있음
- 고로슬래그 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 경제적임으로 건설 산업 경쟁력을 향상 시킬 수 있음

< 참고 문헌 >

1. 日本建築學會、高爐スラグ微粉末を使用するコンクリートの調合設計/施工指針/同解説、2001. 7
2. 日本土木學會、高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、1996
3. 日本建築學會、"高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状", 築學會, 1992.6
4. シーエムシ, "新コンクリート用混和材料-高爐スラグ微粉末", pp.180-198, 1988.6
5. 신성우, 고로슬래그 미분말을 사용한 고성능 콘크리트의 개발에 관한 연구, 한양대학교 건설연구소, 2000. 1
6. 한국전자재시험연구원, 고로슬래그 미분말을 활용한 시멘트/콘크리트 생산기술 개발, 2001. 2
7. 한국양회공업협회, 고로슬래그미분말 사용실태 조사 및 성능평가 종합연구, 2002