

고성능 (AE) 감수제의 작용 기구와 콘크리트 적용 현황(Ⅲ)

이 중 열

〈쌍용중앙연구소, 콘크리트연구실, 실장〉

정 연 식

〈쌍용중앙연구소, 선임연구원〉

하 재 담

〈쌍용중앙연구소, 선임연구원〉

5. 국내외 화학 혼화제의 규격 및 비교 실험

혼화제에 대해서는 아직 ISO규격은 정해져 있지 않지만, 유럽표준화위원회(CEN)에서는 혼화제의 유럽규격(EN)을 제정 작업중이다. CEN과 ISO의 규격 작성 작업의 중복을 피하고 작업 효율화를 위해 양자간 협정에 의해 EN이 ISO규격에 채용될 가능성이 높다.

ISO/TC71의 분과위원회 SC1에서는 혼화제의 시험 방법에 대해서 논의되고 있고 SC3에서는 혼화제의 분류에 대해서 논의할 예정에 있기 때문에 국내에서 세계적인 추세를 따라가기 위해 충분한 이해와 대응을 할 필요가 있다. 현재 일본같은 경우에는 ISO/TC71에 대응하는 일본내 위원회(WG 1)가 활동중이다. 이와 같은 배경에서 혼화제에 관한 EN 934, EN 480에 대한 국내외 규격 및 기준을

비교 검토하였다.

5.1 혼화제에 관한 EN

혼화제에 관련된 EN은 시험 방법을 규정하는 EN 480과 품질을 규정하는 EN 934가 있고 EN 480은 13개 부분으로, EN 934는 6개 부분으로 분류되어 있다(표 18 참조).

EN 934-2에서는 혼화제의 분류, 정의 및 요구 성능에 대해 정해져 있고 상세한 것은 다음과 같다.

1) 정의

(1) 일반적 정의

① 검사 : 혼화제의 균일성, 색상, 밀도, 고형분 함량 및 pH값의 측정, IR흡수 기록에 의한 배치간의 균일성 검사.

② 성능 : 성능의 저하 영향을 주지 않고 소

정의 목적이 되는 효과를 나타내는 능력.

③ 사용량 : 혼화제의 사용량은 시멘트 질량의 %로 표시하고 표준의 요구 성능이 얻어지도록 제조업자가 정한 것. 혼화제의 사용량은 추천범위를 넘지 않은 것으로 한다.

④ 추천 사용량의 범위 : 제조업자가 현장의 경험을 바탕으로 추천하는 시멘트질량의 %로 표시하는 첨가량의 범위.

주의 : 추천 사용량이 전범위에 걸쳐 이 규격을 만족할 필요는 없다. 필요 첨가율을 구하기 위해서는 현장에서 사용하는 재료를 이용해서 시험하는 것이 좋다.

⑤ 추천하는 사용량의 최대값 : 추천 사용량 범위의 상한.

⑥ 기준 콘크리트 및 기준 모르터 : 이 규격에서 혼화제의 시험에는 기준 콘크리트 및 모르터로서 EN 480-1에서 규정된 기준으로 하는 콘크리트 또는 모르터를 이용한다.

(2) 특별한 정의

① 콘크리트용 혼화제 : 후레쉬 및 경화 콘크리트의 성질을 개선하기 위해서 콘크리트의 단위 시멘트량의 5%를 넘지 않은 양으로 콘크리트의 혼합시에 첨가하는 물질.

② 감수제 : 콘시스턴스에 영향을 미치지 않고 단위수량을 감소시키든가, 또는 단위수량에 영향을 미치지 않고 슬럼프 혹은 프로값의 증가와 동시에 양쪽의 효과를 부여하는 혼

[표 18] EN 480과 EN 934의 분류

CEN TC104/SC3	업무 항목
EN 934	Admixtures for concrete, mortar and grout
prEN 934-1	Definition and general specifications
EN 934-2	Concrete admixtures-Definitions and requirements
prEN 934-3	Admixtures for masonry mortar-Definitions, requirements and conformity
prEN 934-4	Admixtures for grout-Definitions, specifications and conformity criteria
prEN 934-5	Admixtures for sprayed concrete
prEN 934-6	Sampling, quality control, evaluation of conformity, marking labeling
EN 480	Admixtures for concrete, mortar and grout-test method
EN 480-1	Reference concrete and reference mortar for testing
EN 480-2	Determination of setting time
prEN 480-3	Determination shrinkage and expansion
EN 480-4	Determination of bleeding of concrete
EN 480-5	Determination of capillary absorption
EN 480-6	Infrared analysis
prEN 480-7	Determination of density of liquid admixtures
EN 480-8	Determination of the conventional dry material content
prEN 480-9	Determination of the pH value
EN 480-10	Determination of eater soluble chloride content
prEN 480-11	Determination of air void characteristic in hardened concrete
EN 480-12	Determination of the alkali content of admixtures
prEN 480-13	Reference masonry mortar for testing mortar admixtures

화제.

③ 고성능감수제 : 콘시텐시에 영향을 주지 않고 단위수량을 대폭 감소시키든가, 또는 단위 수량에 영향을 미치지 않고 슬럼프 혹은 플로우값의 대폭 증가와 동시에 양쪽의 효과를 부여하는 혼화제.

④ 보수제 : 불리당의 감소에 의한 수분의 발산을 감소시키는 혼화제.

⑤ AE제 : 혼합시에 첨가하고 균일하게 분산되어 미세한 공기포를 연행하고 또한 경화 후에도 특성이 유지되는 혼화제.

⑥ 응결축진제 : 가소성 상태에서 굳는 상태로 변화하기 시작하는 시간을 단축시키는 혼

화제.

⑦ 경화축진제 : 응결 시간에 영향을 주고 또는 영향을 주지 않고 콘크리트의 초기 강도의 발현을 촉진시키는 혼화제.

⑧ 응결지연제 : 가소성 상태에서 굳는 상태로 변화하기 시작하는 시간을 지연시키는 혼화제.

⑨ 방수제 : 경화 콘크리트의 모세관 흡수를 감소시키는 혼화제.

⑩ 다기능혼화제 : 1)~9)에 정의한 복수 성능에 따라 주기능의 복수 성능에 의해 fresh 및 경화 콘크리트의 기능에 다수의 특성을 부여하는 혼화제.

(표 19) 일반적인 요구 성능

항 목	시 험 방 법	요 구 성 능
균일성	관찰	혼화제는 사용할 때마다 균일성을 갖을 것
색	관찰	제조자는 균일성이 있는 것을 제공한다.
유효성분	EN 480-6	적외선 흡수는 기준 시료의 대응 흡수와 같은 특성적 피크를 갖는 것.
밀도	ISO 758	$D \pm 0.03$ if $D > 1.10$ $D \pm 0.02$ if $D \leq 1.10$ 제조자의 공표값이 1.10을 넘는 경우는 그 값이 ± 0.03 1.10 이하의 경우는 그 값이 ± 0.02
고형분함량	EN 480-8 ¹⁾	$0.95T \leq X < 1.05T$ ($T \geq 20\%$) $0.90T \leq X < 1.10T$ ($T < 20\%$) 단, T : 제조업자의 공표값, X : 시험값
pH값	ISO 4316	제조자의 공표값이 ± 1 또는 제조자에 의해 공표된 범위내에 있는 것
최대 추천사 용량의 응결 효과	EN 480-2에 사용되고 있는 최대 추천 사용량단, EN 480-1에 규정의 4종류 사멘트를 사용.	제조 결과에 의함
총염소량 ²⁾	ISO 1158	제조자의 공표값을 넘지 않는 것 혹은 0.10%보다 적고 제조자의 주방에 일치할 것
수용성 염화물량(Cl ⁻)	EN 480-10	제조자의 공표값을 넘지 않는 것 혹은 0.10%보다 적고 제조자의 주방에 일치할 것
알칼리량 (Na ₂ O환산)	EN 480-12	제조자의 공표된 최대값보다 많지않는 것
부식성	3), 4)	콘크리트에 매설된 철근에 부식축진성을 표시해야함

2) 필요 조건

기준이 되는 필요 조건은 콘크리트 중에 혼화제가 균일하게 분산한다고 가정해서 지연 경화를 갖는 분말 혼화제의 분산성에 특히 주의한다.

이 규격에 정의해야 할 혼화제는 [표 19]의 일반적인 요구 성능에 준한다.

(2)의 ①~⑨중에서 정의된 혼화제는 주요한 기능 및 부차적인 추가 요구성능을 만족하는 것으로 한다. 제조자의 공표값이 요구된 항목에 대해서는 요구가 있으면 자체 제공하는 것으로 한다.

주의 : 혼화제는 경화 콘크리트의 수축 또는 팽창의 중요한 변화에 영향을 미치면 안된다. prEN 1015-13(Methods of test mortar for masonry-Part 13 : Determination of the dimensional stability of hardened mortars)에 규정된 크기 안정성의 측정에 EN 480-1에 의한 모르터를 사용할 수 있다.

1) 제조자는 만약 EN 480-8의 시험 방법이 적절하지 않으면 대신 추천해야 한다

2) 총염화물량과 수용성염화물량에 큰 차이가 없으면 염화물량만으로 되고, 그 후 시험의 혼화제에서는 수용성 염화물량만의 시험으로 확인한다.

3) 시험에 의하면 CEN 시멘트는 C_3A 량이 5%질량 이하인 것이 바람직하다

4) CEN의 표준 시험 방법은 아직 유효하지 않다.

5.2 EN 934-2와 KS F 2560, JISA 6204의 규격 비교

EN 934-2에 정해져 있는 각종 혼화제의

성능 규격을 KS, JIS와 비교한 결과 EN과 KS, JIS의 성능 규정 항목의 주요한 차이점은 아래와 같다.

1) 감수율 : EN에서는 AE제, 지연제 및 경화지연제에 규정이 설계되어 있지 않지만 KS, JIS에서는 전 종류에 대해 규정하고 있다.

2) 응결시간 : EN에서는 지연제, 응결촉진제만 있지만, KS, JIS에서는 전종류에 걸쳐 있다.

3) 블리딩 : EN에서는 재령 24시간 규정이 고성능 감수제 및 경화촉진제에, 재령 48시간에서 5°C의 규정이 경화 촉진제에 있다. EN에서는 전 종류와 함께 재령 3일의 규정이 없고 감수제와 지연제만 재령 7일의 규정이 있지만, KS, JIS에서는 전종류에 재령 3일, 7일의 규정이 있다.

5)길이변화비 : EN에는 규정 없음.

6)내동결성 : EN에서는 기포 간격계수의 규정이 있고 KS, JIS에서는 동결 용해 시험에 의한 상대 동탄성계수로 규정하고 있다.

5.3 EN 480-1에 의한 기준 콘크리트의 규정

[표 20]에 기준 콘크리트의 규정(단위 시멘트량, 슬럼프 및 플로우)을 표시했다.

5.4 EN 480-1과 KS, JIS의 재료 및 시험 방법 비교

[표 21]과 [표 22]에 KS, JIS와 EN에 사용 재료의 비교, 또한 [표 23]에 시험 순서도 비교하여 실었다.

(1) 혼합

1) 믹서 : EN에서는 강제팬형 믹서로 되어

(표 20) 기준 콘크리트의 규정(480-1)

기준콘크리트	시험혼화제의 종류	단위 시멘트량 (kg/m³)	요구 성능의 콘시스턴시	
			슬럼프(cm)	플로우(mm)
I	감수제	350±5	70±10	400±20
	고성능감수제 (동일콘시스턴시)			
	응결촉진제			
	경화촉진제			
	응결지연제			
방수제				
II	보수제	300±5	120±20	450±20
III	AE제	350±5	50±10	350±10
IV	고성능감수제(동일W/C)	350±5	30±10	350±20

(표 21) 시멘트 · 골재(KS, JIS와 EN의 비교)

	KS F 2560	JIS A 6204	EN 480-1
시멘트	보통 포틀랜드시멘트 3개 다른 제조사 같은 양 혼합	보통 포틀랜드 시멘트 3개 다른 제조사 같은 양 혼합	표준첨가량이 적은 혼화제의 경우 CEM-1 42.5 C3A 7~11% 비표면적 3,200~4,200cm²/g
골재	굵은골재 : 쇄석 최대크기 20mm 세골재 : 모래 흡수율3%이하 품질에 대해서 9개 항목규정값 절대건조비중, 흡수율 입자모양판정실적율 점도덩어리량 0.08m체통과량 유기불순물, 안전성 염화물량, 알칼리실리카반응성	KS와 동일	각국의 국가규정에 준한다. 밀도, 흡수율 2%미만의 천연 골재(쇄석도 가능) 최대 골재 크기 31.5mm

있지만, KS는 가경식(JIS 중력식)도 인정하고 있다.

2) 혼합 소요시간 : EN에서는 혼합을 시작해서 완료까지 390초가 소요되지만, KS의 강제 혼합 믹서의 경우 전재료 투입후 90초가 소요된다(JIS 동일).

3) 혼합 온도 : EN에서는 20±2℃, KS 및 JIS에서는 20±3℃이다.

(2)시험방법

1) 슬럼프시험 : EN에서는 같은 높이로 3층 분할하고, KS 및 JIS에서는 용적으로 3층 분할하게 되어 있다.

2) 공기량 시험 : EN에서는 공기실 압력법의 물주입방법으로, KS 및 JIS는 공기실 압력법의 물주입 혹은 무주입 및 용적방법이 있다.

3) 응결 시험 : EN에서는 몰탈의 비커침시

[표 22] 골재 입도(KS, JIS, EN의 비교)

KS F 2560										
체의 크기(mm)	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
체를 통과 한무게 백분율(%)	굵은 골재	100	90~100	55~75	25~45	0~5	0~2			
	잔골재					100	85~100	60~80	30~50	15~25
JIS A 6204(KS F 6204와 동일)										
EN 480-1										
체의 크기(mm)	31.5	16.0	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.125	0.075
체를 통과한 무게백분율(%)	100	80~95	55~75	40~50	30~40	20~30	10~20	4~8	2~4	<2

[표 23] 혼합 순서(KS, JIS와 EN의 비교)

	KS F 2560	JIS A 6204	EN 480-1
혼 합 순 서	G+S+C+W(혼화제) ↓ 혼합 시간 1.5분 또는 3분 콘크리트시험 ↓ 공시체 제작	KS와 동일	G+S+1/2 ↓ 120초 혼합 골재의 흡수시간으로 2분간 정치 C ↓ 시멘트 투입후 재차 30초 혼합 1/2W(혼화제) ↓ 본 혼합 120초 콘크리트시험 ↓ (혼합완료후 5분이내) 공시체 제작 (혼합 완료후 30분이내)

험으로, KS 및 JIS에서는 콘크리트를 스크린 한 모르타의 관입저항시험으로 한다.

이상과 같이 국내의 혼화제 규격은 KS와 JIS는 거의 같은 내용을 포함하고 있지만, EN 규격과의 정도 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 관련 규격의 내용을 근거로 일본에서 JIS와 EN의 규격에 따라 시험 한 결과를 다음 절에 나타내었다. 규격 내용은 상술한 바와 같이 KS와 JIS는 거의 같기 때문에 많은 참고가 되리라고 생각한다(단 각국의 화학 혼화제 자체 성능에 차이가 있다는 것을 염두해 두기 바란다).

5.5 콘크리트용 화학 혼화제의 JIS와 EN의 비교실험

5.5.1 실험의 목적

EN을 조사한 결과, KS 및 JIS와 큰 차이 점이 많다는 것을 알 수 있다. 이에 일본에서 시판되고 있는 콘크리트용 화학 혼화제(JIS A 6204 적합품)에 대해서 EN의 콘크리트에 의한 혼화제의 성능 평가 시험을 콘크리트용 화학혼화제협회 회원사와 공동시험을 실시했다. 실시 시험의 항목은 다음과 같다(규격 통합성 검토 목적). KS와 JIS는 거의 동일한 내

용을 포함하고 있기 때문에 비록 일본에서 시험이지만 이 결과를 통해 KS와 EN의 비교 실험도 가능하리라고 생각되어 제시하였다.

- 1) 각종혼화제의 감수율 및 압축강도비
- 2) 고성능AE감수제의 슬럼프와 경시변화
- 3) AE제의 기포간격계수와 동결융해저항성
- 4) 고성능AE감수제의 첨가시기와 슬럼프
- 5) 골재의 함수상태가 감수율에 미치는 영향
- 6) 혼합 방법이 슬럼프에 미치는 영향

1), 2), 3)의 3항목은 JIS에 적합한 혼화제를 EN의 시험 방법으로 성능 평가를 한 경우, EN에서 정한 요구성능을 만족하는가를 검토한 것이다. 4), 5), 6)의 3항목은 EN에서는 콘크리트 시험을 할 때 혼화제의 첨가시기, 골재의 함수상태, 혼합 방법이 JIS와 다르기 때문에 이들 시험 방법이 콘크리트 시험 결과에 어느 정도 영향을 미치는가를 검토했다.

5.5.2 실시시험의 개요

(1) 혼화제의 종류

실험 대상으로 한 혼화제는 [표 24]에 표시한 8종류로 했다.

[표 24] 혼화제의 종류(EN과 JIS 비교)

EN 934-2	JIS A 6204
감수제	감수제(①표준형) AE감수제(②표준형, ③지연형, ④촉진형)
고성능감수제	(⑤고성능감수제 : JIS 없음) 고성능AE감수제 : ⑥표준형, ⑦지연형)
AE제	⑧AE제

(2) 실험 내용

EN과 JIS와의 비교에 의한 규격 개요를 [표 25]에 실었다. 실험은 2가지 시리즈로 했다. 시리즈1은 JIS시험으로 목표 슬럼프는 8cm(80mm), 혼화제 사용량은 제조업체 추천량(표준사용량C×%)로 했다. 시리즈2는 EN

시험으로 실시했고 혼화제 사용량은 시리즈1의 JIS시험과 동일 사용량으로 했다. 사용 재료는 20±2℃의 항온실에 저장했다

(3) 혼화제 사용방법

EN시험에 있어서 시험 콘크리트의 공기량이 규정의 상한(기준 콘크리트+2%)을 넘는 경우, 소포제 등을 이용하여 소정의 공기량으로 조절했다. 또한 혼화제중의 수분은 혼합수의 일부로 하고 고형분은 외할로 했다.

(4) 시멘트

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 서로 다른 3개사의 동량으로 혼합해서 사용했다.

(5) 골재

①골재는 통상의 JIS시험에 이용하는 모래 및 쇄석(20mm)로 했다. 또한 EN은 굵은 골재의 최대 크기가 30mm의 쇄석을 사용했다. ②EN시험 골재 입도는 잔·굵은 골재를 혼합한 합성 입도로서 EN규정에 적합하도록 조정했다(체가름 시험은 통상의 JIS Z 8801에 규정하는 체를 이용하고 EN의 체는 이용하지 않았다). ③EN시험 골재의 흡수율은 2%미만으로 했다(잔·굵은 골재를 혼합하여 산출). ④골재의 준비는 EN시험용 및 JIS시험용의 두가지, 미리 표면 건조상태에 가까운 것을 준비하고(JIS시험용), EN시험용으로는 표면상태의 잔·굵은 골재를 공기중에 건조, 기건함수율을 흡수율의 1/2이하로 했다. ⑤EN시험에서는 골재의 기건함수율을 측정했다. 골재의 기건 함수율은 수량의 일부로 혼합수량을 조정했다.

(6) 물

혼합수는 상수도(20±2℃)를 사용했다.

[표 25] 실험의 내용

시험 종류	실험 번호	콘크리트의 종류	시멘트량 (kg/m ³)	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	감수율 (%)	압축강도비 ³⁾ (%)	기포간격 계수(mm)	
JIS 시험	J-01	기준콘크리트	300±5	80±10	< 2	-	(σ_1), σ_3 , σ_7 , σ_{28}		
	J-02	감수제 표준형			< 기준+1	≥4	$\sigma_3 \geq 115$		
	J-03	AE감수제 표준형			표준+3±0.5 ¹⁾	≥10	$\sigma_7 \geq 110$		
	J-04	AE감수제 지연형					$\sigma_{28} \geq 110$		
	J-05	AE감수제 촉진형					$\sigma_3 \geq 105$		
	J-06	고성능감수제 (JIS 없음)			-	-	-	(σ_1 , σ_3 , σ_7 , σ_{28})	
	J-07	고성능AE감수제 표준형			표준+3±0.5 ¹⁾	≥18	$\sigma_3 \geq 125$		
	J-08	고성능AE감수제 지연형					$\sigma_7 \geq 115$		
	J-09	AE제					$\sigma_{28} \geq 110$		
EN 시험	E-01	고성능감수제 (동일W/C)의 기준콘크리트	350±5	30±10	< 2	-	(σ_3), (σ_7), σ_{28}		
	E-02	AE제의 기준콘크리트		50±10					
	E-03	감수제 · 고성능감수제 (동일콘시스템)의 기준콘크리트						σ_1 , (σ_3), σ_7 , σ_{28}	
	E-04	감수제 표준형	70±10	≤기준+2 ²⁾	≥5	(σ_3), σ_7 , $\sigma_{28} \geq 110$			
	E-05	AE감수제 표준형							
	E-06	AE감수제 지연형							
	E-07	AE감수제 촉진형							
	E-08	고성능감수제 (동일콘시스템)							
	E-09	고성능AE감수제 표준형 (동일콘시스템)							
	E-10	고성능AE감수제 지연형 (동일콘시스템)							
	E-11	고성능감수제 (동일W/C : 유동화)	30±10에 서의 증대 ≥120 또한 ≥기 준첨가후 30분	-	$\sigma_{28} \geq 90$				
	E-12	고성능AE감수제 표준형 (동일W/C : 유동화)							
	E-13	고성능AE감수제 지연형 (동일W/C : 유동화)							
	E-14	AE제	50±10	≥기준+2.5 또한 4~5	-	(σ_3), (σ_7) $\sigma_{28} \geq 175$	≤0.200		

주 : 1) JIS시험의 공기량은 공기조절제를 이용하여 소요의 공기량을 조정했다.

(7) 배합

JIS시험에 있어서 배합은 JIS A 6204에 의한다. EN시험에서 기준 콘크리트배합은 다음과 같다.

① 단위시멘트량 : 단위시멘트량은 $350 \pm 5 \text{kg/m}^3$ 로 했다.

② 단위수량 : 단위수량은 3종류의 기준콘크리트에 대해서 각각 혼합후 슬럼프가 $30 \pm 10 \text{mm}$, $50 \pm 10 \text{mm}$ 및 $70 \pm 10 \text{mm}$ 가 되도록 했다.

③ 공기량 : 기준 콘크리트의 공기량은 EN규정에 따라 2%미만으로 했다.

④ 골재시멘트비 : 기준 콘크리트의 골재시멘트비는 시험으로 결정했다. 골재의 함성입도(잔골재+굵은 골재)는 EN규정의 범위내로 하고 시험 콘크리트의 골재시멘트비는 EN규정에 의해 기준 콘크리트와 동일하게 했다.

(8) 혼합

1) JIS시험의 혼합

JIS시험의 혼합은 JIS A 6204(재료를 전

부 믹서에 투입후 강제식 믹서에서 90초간 혼합)에 준했다. 각사의 상세한 재료 투입 순서 및 혼합을 [표 26]에 실었다.

2) EN시험의 혼합

EN시험의 혼합은 [표 26]과 같다.

① 재료 및 온도 : 골재는 기건 상태로 혼합개시전 재료는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 온도를 조절했다. 혼합직후 후레쉬 콘크리트의 온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 했다.

② 믹서 : 믹서는 용량 50 l 강제식 팬형 믹서를 이용하고 콘크리트의 1배치량은 30 l로 하고, 혼합 할 때에 믹서가 건조한 상태로 되면 내측을 물기가 있도록 하였다.

③ 혼합시간 : 혼합순서는 [그림 54]와 같다.

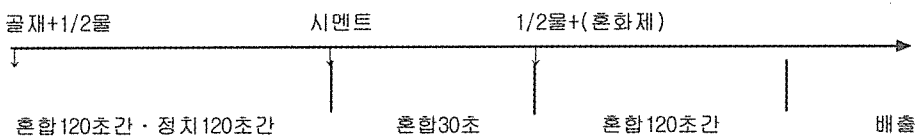
④ 측정 : 콘시스템시의 측정은 혼합 후 5분 이내에 하고 공기량의 측정 및 공시체의 제작은 30분 이내로 하였다.

(9) 시험

시험항목 및 방법을 [표 27]에 실었다. 또한

[표 26] JIS 시험에서의 재료투입순서 및 혼합

회사	재료 투입순서 및 혼합
A	모래1/2+시멘트+모래1/2+물(혼화제투입) ⇒ 30초+쇄석 ⇒ 90초
B	모래1/2+시멘트+모래1/2 ⇒ 5초+물(혼화제투입) ⇒ 30초+쇄석 ⇒ 90초
C	쇄석+모래1/2+시멘트+모래1/2 ⇒ 5초+물(혼화제투입) ⇒ 90초
D	모래1/2+시멘트+모래1/2 ⇒ 10초+물(혼화제투입) ⇒ 30초+쇄석 ⇒ 90초
E	시멘트+모래+쇄석 ⇒ 10초+물(혼화제투입) ⇒ 90초
F	모래1/2+시멘트+모래1/2 ⇒ 10초+물(혼화제투입) ⇒ 30초+쇄석 ⇒ 90초
G	쇄석+모래+시멘트+물(혼화제투입) ⇒ 60초 ⇒ 90초
H	쇄석+모래1/2+시멘트+모래1/2 ⇒ 10초+물(혼화제투입) ⇒ 90초



(그림 54) 혼합 순서

(표 27) 시험 항목 및 방법

항 목	시 험 방 법
슬럼프	ISO/CD 1920-2(후레쉬 콘크리트·콘시 스텐시 측정방법·슬럼프시험)
공기량	ISO 4848(Fresh 콘크리트 공기량 측정 방법·압력법)
압축강도	JIS A 1108(콘크리트압축강도 시험방법) 공시체 크기 $\phi 100 \times 200\text{mm}$
기포간격 계수	EN 480-11(경화 콘크리트중 공극 특성의 측정방법)공시체 크기 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 또는 $150 \times 150 \times 150\text{mm}$

JIS시험은 JIS A 6204에 따라 하였고, EN 시험은 다음과 같다.

1) 콘시스턴시(슬럼프) : 슬럼프는 시료 채 움 높이를 3등분으로 콘을 들어 올리는 시간은 2~5초, 측정 위치는 콘크리트의 최상부, 수치는 5mm단위로 했다(EN에서는 10mm). 콘시스턴시의 경시변화시험의 경우, 시료를 정치고 혼화제의 첨가 시기를 기점으로 해서 30분 후에 측정했다. 시료 정치 동안 증발을 막도록 조치하였다.

2) Fresh 콘크리트의 공기량 : 공기량은 물 주입법으로 하고 측정후의 시료는 폐기하였다.

3) 압축강도 : 공시체의 크기는 JIS를 고려 해서 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 로 했다.

4) 경화 콘크리트의 기포 조직(기포간격계수) : 공시체의 양생은 재령 7일 표준 양생으로 하고 기포 간격계수는 Linear traverse 방법과 Modified point-count 방법 등에 의해 구했다.

5.5.3 각종 혼화제의 감수율 및 압축 강도비

(1) 감수율

JIS 감수율 규격에 적합한 혼화제와 동일한 사용량에서 EN 감수율의 규격(감수제 및 고성능 감수제)을 모든 혼화제(감수제, AE감수제, 고성능 감수제, 고성능AE감수제)에서 만족했다(표 28참조).

1) 감수제 : EN과 JIS의 감수율은 한 품목만 제외하고 동일 감수율을 나타내었다.

2) AE감수제 : EN감수율은 JIS의 감수율보다 4~8% 작은 결과이었다. 이것은 AE감수

(표 28) 감수율 시험결과(단위 : %)

종류	감수제		AE감수제 (표준형)		AE감수제 (지연형)		AE감수제 (촉진형)		고성능 감수제		고성능AE 감수제 (표준형)		고성능AE 감수제 (지연형)		AE제	
	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN
A	-	-	14	7	14	7	13	6	10	18	19	17	19	17	9	-
B	5	5	13	5	14	6	13	5	10	15	19	16	19	15	8	-
C	8	8	12	6	13	9	11	6	12	16	18	18	20	19	7	-
D	-	-	12	6	12	6	10	5	-	-	-	-	-	-	8	-
E	-	-	13	9	-	-	-	-	18	19	18	16	-	-	8	-
F	6	6	12	6	14	10	12	6	10	12	18	14	18	14	8	-
G	7	11	13	8	13	8	12	7	12	18	18	23	18	24	8	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	10	14	19	18	20	19	-	-
규정값	4 이상	5 이상	10 이상	-	10 이상	-	8 이상	-	-	12 이상	18 이상	-	18 이상	-	6 이상	규격 없음

[표 29] 압축강도 시험결과(단위 : %)(재령28일)

종류 회사	감수제		AE감수제 (표준형)		AE감수제 (지연형)		AE감수제 (촉진형)		고성능 감수제		고성능AE 감수제 (표준형)		고성능AE 감수제 (지연형)		AE제	
	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN	JIS	EN
A	-	-	113	112	114	114	113	111	118	133	131	135	132	136	100	84
B	117	108	115	116	110	110	117	105	126	120	137	123	136	133	96	85
C	120	116	124	110	126	114	114	111	133	128	145	131	146	140	103	85
D	-	-	119	116	120	119	116	118	-	-	-	-	-	-	102	90
E	-	-	116	112	-	-	-	-	146	146	122	122	-	-	101	93
F	111	111	112	116	115	118	114	117	114	114	132	132	135	135	107	89
G	116	123	113	114	112	114	112	111	127	127	144	144	146	146	100	91
H	-	-	-	-	-	-	-	-	131	131	129	129	137	137	-	-
규정값	110 이상	110 이상	110 이상	-	110 이상	-	110 이상	-	-	115 이상	125 이상	-	125 이상	-	90 이상	75 이상

제의 JIS는 목표 공기량을 $+3 \pm 0.5\%$ 로 한 AE콘크리트에 대해 EN은 감수제의 공기량 규정을 기준 $+2\%$ 이하로 하기 때문에 공기량의 차이가 감수율의 차이로 나타나기 때문이다.

3) 고성능감수제 : EN의 감수율은 JIS의 감수율보다도 목표 공기량이 같음에도 불구하고 어느 쪽도 큰 값을 표시했다. 이것은 혼화제의 첨가시기가 [표 10]과 같이 JIS시험에 있어서 혼합(시멘트 투입후 0~10초 이내에 물과 동시에 혼화제 첨가)이 다르다(시멘트 투입후 30초후에 혼화제 첨가)것이 주요한 요인으로 생각된다. 또한 각사에 따라 감수율의 차가 생기는 것은 고성능 감수제의 주성분 차이에 의해 첨가 시기의 영향을 받는 정도에 차이가 있는 것도 한 요인으로 생각된다. 감수제, AE감수제에서는 혼화제 첨가 시기의 차가 크게 나타나지 않지만, 이것은 주성분의 분산제가 첨가 시기와 시멘트량에는 영향을 거의 받지 않기 때문이라고 판단된다.

4) 고성능AE감수제 : EN감수율은 JIS의 감수율 보다도 한나만 제외하고 1~4%작은 값이었다.

이것은 AE감수제의 경우와 같이 목표 공기량이 다르다는 것과 혼화제 첨가 시기의 차이에 영향을 받는다고 생각된다.

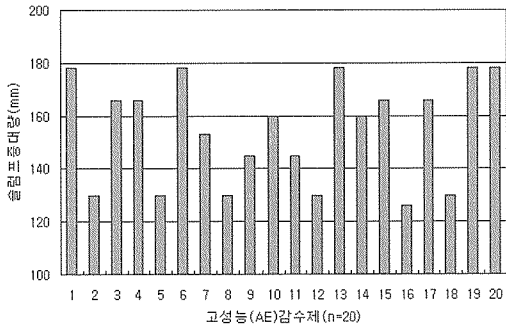
5) AE제 : EN에서는 감수율의 규정이 없기 때문에 JIS와의 비교는 곤란하다. EN시험에서 목표 공기량을 얻는 AE제의 사용량은 JIS 시험의 1~2배이었다. 이 사용량의 차는 슬럼프가 적을수록 시멘트량이 클수록 각각 AE제의 사용량이 증대한다고 하는 일반적인 경향과 같다.

(2) 압축강도비

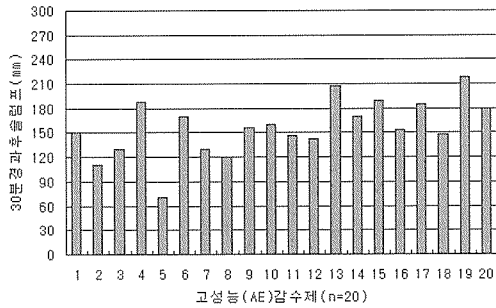
EN시험의 압축 강도비는 감수제(재령 7일 및 재령 28일 110%이상)에 대해서는 일부를 제외하면 규격에 만족한다. 고성능감수제(재령 1일 140%이상, 재령 28일 115% 이상)에 대해서는 규격을 어느 쪽도 만족했다(표 29참조)

5.5.4 고성능(AE)감수제의 슬럼프 증대량과 경시변화

EN의 고성능감수제의 요구 특성에 대해서



A. 슬럼프 증대량, 고성능 감수제 $\geq 120\text{mm}$

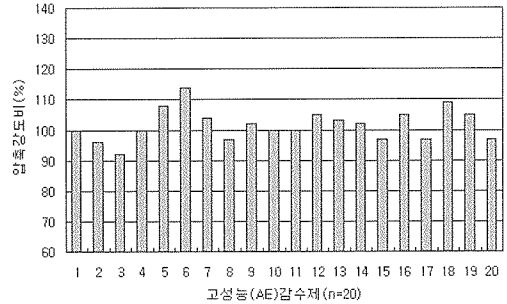


B. 30분후 경시슬럼프, 고성능감수제 $\geq 30\text{mm}$

시험한 결과를 [표 30] 및 [그림 55]에 실었다. 슬럼프 증대량, 경시변화량 및 압축 강도 어느 쪽도 EN에 적합했다.

5.5.5 AE제의 기포간격 계수와 동결 용해 저항성

EN에서는 AE제를 사용한 콘크리트의 공기량은 4~6%의 범위에서 기포 간격 계수가 0.200mm이하, 압축 강도비(재령 28일)이



C. 압축강도비(재령28일), 고성능감수제 $\geq 90\%$

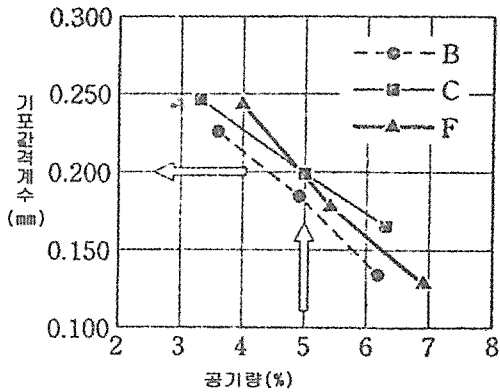
(그림 55) EN에 의한 시험 결과(동일 물시멘트비 : 슬럼프증대량, 경시변화)

[표 30] EN에 의한 고성능(AE)감수제의 시험 결과

종류 회사	기준콘크리트		고성능 감수제		고성능AE감수제 (표준형)			고성능AE감수제 (지연형)			
	직후 슬럼프 (mm)	재령 28 일압축 강도 (N/mm ²)	슬럼프 (mm)		재령 28 일압축 강도비 (%)	슬럼프 (mm)		재령 28 일압축 강도비 (%)	슬럼프 (mm)		재령 28 일압축 강도비 (%)
			증대량	30분후		증대량	30분후		증대량	30분후	
A	30	59.1	175	150	100	130	120	98	165	190	98
B	35	57.8	130	110	96	145	155	101	125	155	105
C	30	57.0	165	130	93	160	160	100	165	185	99
E	30	54.2	165	185	100	145	145	100	-	-	-
F	30	52.4	130	70	107	130	140	105	130	145	109
G	35	52.6	180	170	114	190	205	102	195	220	105
H	30	53.4	135	130	104	160	170	101	175	180	98
규정값	30 \pm 10	규정 없음	120 이상	기준 이상	90 이상	-	-	-	-	-	-

[표 31] AE제의 기포간격계수와 동결 융해 저항성과의 관계

회사	No.	콘크리트의 종류	단위 수량 (kg/m ³)	슬럼프 (mm)	공기량(%)		기포간격 계수 (mm)	압축 강도비 (%)	상대동탄성계수(%)	
					Fresh	경화			200사이클	300사이클
B	1	기준콘크리트	195	45	1.7	-	-	100	-	-
	2	공기량 중심	185	45	4.9	3.8	0.185	83	97	-
	3	공기량 +1.5%	185	50	6.2	5.0	0.134	73	95	-
	4	공기량 -1.5%	185	40	3.6	3.4	0.226	87	95	-
C	1	기준콘크리트	193	50	1.8	-	-	100	-	-
	2	공기량 중심	189	50	5.0	4.4	0.199	85	93	90
	3	공기량 +1.5%	189	55	6.3	5.9	0.165	81	94	91
	4	공기량 -1.5%	189	60	3.3	3.0	0.240	89	90	86
F	1	기준콘크리트	200	45	1.9	-	-	100	-	-
	2	공기량 중심	196	45	5.4	4.2	0.180	81	98	97
	3	공기량 +1.5%	194	50	6.9	5.8	0.131	69	99	98
	4	공기량 -1.5%	198	45	4.0	3.3	0.245	89	98	97



[그림 56] 공기량과 기포간격계수와의 관계

75%이상으로 되어 있다.

공기량을 변화시킨 실험 결과에서 공기량이 5%이상이면 기포간격 계수가 0.200mm이하로 된다는 것을 알 수 있었다(표 31, 그림 56참조).

또한 기포 간격 계수가 0.250mm정도 이어도 동결 융해 실험에 있어서 상대 동탄성 계수가 충분히 만족한 결과가 얻어졌다.

5.5.6 고성능(AE)감수제의 첨가 시기와 슬럼프

[그림 57]에 혼화제의 첨가시기와 슬럼프와의 관계를 표시했다. JIS의 혼합 방법의 슬럼프와 EN의 혼합 방법(첨가 시간 0~60초)에서는 주성분 및 제품에 따라 슬럼프에 차가 생겼다.

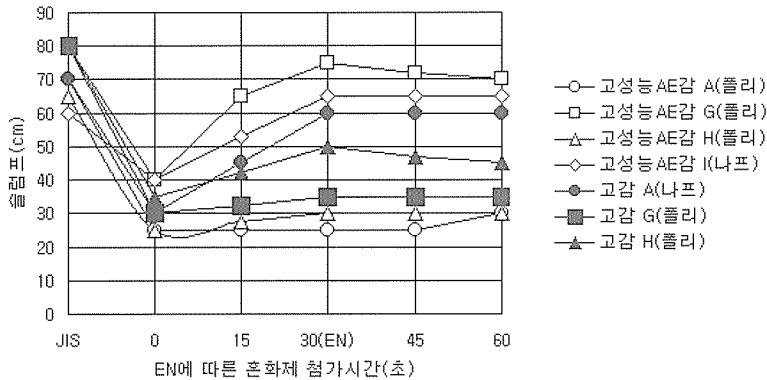
EN의 첨가 시간에서는 폴리카본산계(고성능AE감수제I, 고성능감수제A)는 첨가 시기가 15초를 넘으면 슬럼프는 커지고 그 후 30초 이후에서는 JIS의 혼합 방법의 슬럼프와 같은 정도이었다.

5.5.7 골재의 함수 상태가 감수율에 미치는 영향

골재의 함수 상태가 감수율에 미치는 영향은 절건(기건)상태와 표건상태에서는 동등의 감수율이 되는 것을 알 수 있었다(표 32참조). 따라서 골재 준비 시간 등을 생각하면 통상의 JIS 시험과 같이 골재의 함수상태에 대해서는 특히 규정할 필요는 없다고 생각한다.

[표 32] 골재의 기건상태와 표건상태에서의 감수효과차이 검토

회사	No	콘크리트의 종류	골재 상태	단위수량 (kg/m ³)	슬럼프 (mm)	공기량(%)	감수율(%)
A	5	기준 콘크리트	기건	204	65	1.8	-
	6	고성능감수제		168	80	1.8	18
	12	기준 콘크리트	표건	204	70	0.9	-
	13	고성능감수제		168	80	1.3	18
H	5	기준 콘크리트	기건	195	65	1.5	-
	6	고성능감수제		168	80	1.3	14
	12	기준 콘크리트	표건	195	60	1.3	-
	13	고성능감수제		168	75	1.2	14



(그림 57) 혼화제의 첨가시기와 첨가시간(초)

5.5.8 혼합 방법과 슬럼프에 미치는 영향

콘크리트의 혼합 방법과 슬럼프와의 관계를 [표 33]에 실었다. 시험은 혼화제의 영향을 제외시키기 위해 기준 콘크리트에 대해서 실행했다.

콘크리트 슬럼프와 혼합 방법에 따라 다르다. 본 실험의 범위에서는 EN시험에 비해 JIS에 의한 혼합 방법의 슬럼프가 크다. 또한 EN의 경우 동일 슬럼프를 얻기 위해 단위 수량은 JIS에 비해서 증가하는 것을 알 수 있다.

5.6 국제 규격과의 통합화를 전제로한 새로운 JIS의 체계화

콘크리트용 화학 혼화제와 관련하여 EN을

조사한 결과 혼화제의 분류, 시험 방법, 성능 항목등에 대해서 JIS와 많은 차이점이 있었다. 금후 JIS와의 통합화를 위 참고가 되는 실험 결과를 축적할 필요가 있기 때문에 우선 JIS에 적합한 혼화제가 EN에 의한 시험 방법으로 평가한 경우, EN에 요구되는 성능의 만족 여부를 콘크리트 실험을 통해 검토했다. 또한 그결과에서 EN의 시험 방법에 있어서의 과제에 대해 정리했다.

(1) 콘크리트 실험에 의한 성능 평가 실험 결과

실험에 제공된 혼화제는 JIS A 6204에 적합한 AE제, 감수제, AE감수제, 고성능AE감수제 및 고성능감수제로서 시판되고 있는 5종

[표 33] 콘크리트의 혼합 방법과 슬럼프와의 관계

No	혼 합 방 법	혼합 완료까지의 시간(초)	슬럼프(mm)
1	모래1/2+시멘트+모래1/2+쇄석+물→120초	120	65
2(JIS)	모래1/2+시멘트+모래1/2→10초+물→30초+쇄석→90초	130	70
3	모래+쇄석+물1/2+시멘트→30초+물1/2→120초	150	70
4	모래+쇄석+물1/2→120초(120초 정치)+시멘트→30초+물1/2→60초	330	55
5(EN)	모래+쇄석+물1/2→120초(120초 정치)+시멘트→30초+물1/2→120초	390	50

류로서 혼화제의 사용량은 JIS 시험과 동량으로 했다.

또한 본실험에서 시멘트는 EN에서 정한 시멘트(CEMI class 42.5)를 수입하지 않고 일본산 보통포틀랜드 시멘트를 사용했다. 골재는 절건상태가 아닌 기건상태의 것을 사용했다.

시험 항목과 결과는 다음과 같다.

- 1) 감수율 : EN의 감수율에 적합하다.
- 2) 슬럼프증대량과 경시변화 : EN에 적합하다.
- 3) 압축강도비 : 감수제 1품목(재령 28일)을 제외하고 EN에 적합하다.
- 4) AE제의 기포간격계수 : 공기량이 5%이상이면 EN(공기량이 4~6%에서 기포간격계수 0.2mm이하)에 적합하다. 또한 기포간격계수가 0.25mm정도이어도 JIS에서 규정되어 있는 동결 용해 시험에 의한 200사이클의 상대동탄성 계수가 80%이상을 충분히 만족한다.
- 5) 고성능(AE)감수제의 첨가시기가 슬럼프(감수율)에 미치는 영향 : EN에 의한 혼화제의 첨가 방법(시멘트 투입 30초 후에 첨가)은 감수율을 평가하는 경우에 혼화제의 제조사, 주성분의 차이 영향을 받기 쉽다.
- 6) 골재의 함수 상태가 감수율에 미치는 영향 : 감수율에 변화는 없다고 생각한다.
- 7) 혼합 시간의 영향 : EN은 혼합 완료까지의 시간이 JIS에 비해 길기 때문에 기준 콘크리트의 슬럼프가 2.5cm작아진다.

(2) EN에 의한 실험을 행한 경우의 과제

- 1) 시험용 시멘트 : CEM I에 해당하는 시멘트를 입수하기가 어렵고, 혼화제의 성능이 사용하는 시멘트에 따라 달라진다는 것이 예상된다.
- 2) 시험용 골재 : 절건상태의 골재를 준비하는 데에는 시간 등이 걸린다. 건조설비를 설치하는 비용, 골재 입수 및 혼합시 분진의 발생이 있다. 최대 크기가 다르기 때문에 폐기하는 골재도 많이 발생한다.
- 3) 배합 : EN의 입도 범위에 적합한 골재를 사용하면, 적절한 작업성의 선정이 어렵다. 적절한 잔골재율을 선정하는 JIS의 배합 설계 방법이 타당하다고 생각된다. EN에서는 표준 배합에 대해 시험 배합에서는 수량 혹은 공기량에 의한 콘크리트의 배합 보정은 하지 않는다.
- 4) 혼합 방법 : 혼합 완료 시간까지는 390초 걸린다. JIS의 방법에서는 130초 정도이다. 고성능(AE)감수제의 감수성은 제조사, 주성분의 영향을 받기 쉽다.

6. 결론

이상과 같이 시멘트·콘크리트용 고성능 AE감수제에 대한 종류 및 작용 기구, 적용 현황, 규격 비교 등의 전반적이면서 깊이 있게 살펴 보았다.

콘크리트 재료 중에서 반응을 일으켜 초기 상태부터 장기 거동까지 영향을 미치는 것은

시멘트이다. 이 시멘트를 더욱더 활성화 시킬 수 있는 것이 혼화제의 작용으로 얻어 질수 있으며 따라서 시멘트와 유기 혼화제와의 적합성은 상당히 중요한 문제로 나타나고 있다. 기존의 연구들을 통한 작용 기구는 역시 시멘트 내의 조성 광물에 따라 콘크리트에 미치는 정도가 달라진다. 현재 국내 연구에서는 이러한 기초적인 연구가 상당히 부족한 것을 알 수 있었다. 특히 국내 광물의 조성 및 그에 따른 시멘트의 결정도 달라지고 또한 미량 성분의 정도도 달라짐으로 그 작용 기구 또한 외국의 것과 차이가 있다고 생각한다. 그러나 국내의 경우 단순히 외국의 연구 논문을 그대로 따르고 있는 실정이다. 따라서 건설 재료 분야에 있는 분들은 시급히 이에 대한 기초 연구가 필요하다고 생각된다. 또한 이러한 시멘트 및 콘크리트와의 적합성 연구 개발과 더불어 현재 전량 수입되고 있는 폴리카르본산계 고성능 AE 감수제의 국산화를 통한 가격 현실화 및 나프탈렌계 고성능 AE 감수제의 슬럼프 손실 현상 등을 보완하는 연구도 필요할 것이다.

콘크리트 구조물에 대한 설계가 기존의 강도 설계 위주에서 내구성설계로 바뀌어지는 추세에 따라 단위 수량이 감소하고 수도권을 비롯하여 대도시를 중심으로 발생되고 있는 강사의 고갈로 인하여 부순 모래를 일부 대체하여 사용하고 있으며 앞으로 부순 모래의 사

용은 점차 확대될 것이고, 콘크리트의 고기능화를 부여하기 위해서도 유기 혼화제 사용은 필연적이고 급속히 증가하는 추세이다.

한편 유기 혼화제를 적용시킨 콘크리트의 경우 상기와 같은 기초 연구가 부족함에도 차분히 현장 적용을 하고 있고 이미 상당한 수준에 도달하고 있는 것으로 알고 있다. 그러나 기초 연구없이 제대로 된 고성능, 고기능의 콘크리트가 얻어질 수 없으며 설사 기능의 효과가 나타난다고 해도 콘크리트 재료량의 소모가 많을 수 밖에 없을 것이다. 그야말로 고비용 저효율의 콘크리트 구조물이 탄생되는 것이다. 따라서 기초 연구가 충분히 이루어지면 저비용 고효율의 적용이 가능해져 양질의 경제적인 콘크리트 구조물 및 2차 제품이 이용되리라 생각한다.

또한 기초 연구에서 응용 연구가 완벽하게 이루어졌다 하여도 그것이 규격화 또는 세계 무대에 견줄만한 것이 되지 못한다면 역시 국제화 시대에 국내의 우수한 기술이 사장될 염려가 있다.

이상과 같이 차세대에 물려줄 사회 간접 자본을 기초부터 응용까지 총체적으로 다루지 못한다면 우리가 열심히 쌓아온 기술은 무용지물이 될 것이다. 끝으로 본 자료가 건설 관련 종사자들에게 조금이나마 참고 자료가 되기를 바란다.