

# 초조강감수콘크리트를 사용한 공기단축 방법

An Approach to Shortening of Construction  
Period Using Ultra High Early Strength Concrete

尹 相 大

〈농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원〉

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. 서론                     | 나. 콘크리트 거푸집 개발           |
| 2. 초조강감수콘크리트              | 다. 토목구조물에 있어서 콘크리트 거푸집   |
| 가. 기본원리                   | 라. 건축물에 있어서 시멘트계 얇은 타설거푸 |
| 나. 굳지않는콘크리트 경화콘크리트의 기초적성상 | 집 공법                     |
| 다. 경화콘크리트의 성상             | 4. 공기의 단축                |
| 라. 벽체균열성상                 | 가. 초조강감수콘크리트 이용의 이점      |
| 마. 구조설계의 영향               | 나. 초조강감수콘크리트의 이용에        |
| 3. 콘크리트제 거푸집              | 다. 1층5일 시공실현             |
| 가. 개요                     | 5. 결론                    |

## 1. 서 론

최근 콘크리트 제조기술의 급속한 발전으로 고품질 고강도콘크리트의 초조강성을 이용한 콘크리트구조물의 공기단축은 토목·건축공사를 주축으로 하는 사회간접자본시설의 조기 공용성확보에 크게 기여할 것으로 기대된다.

미국을 비롯한 선진국에서는 상당히 오래전부터 슬럼프가 작은 고강도콘크리트를 사용하여 건물 한층의 시공을 5일 또는 이보다 단축하는 등 공기단축을 실용화하고 있다. 따라서 이같은 동기로 수십년전부터 조강유동화콘크리트를 개발하게되었다.

콘크리트를 초조강성으로 하고 재령의 제약을 없도록 하면 공사기간을 대폭적으로 단축하는 것은 말할 것도 없고 관련되는 시공기술을 더욱이 유발 촉진한다. 예를 들면 거푸집 동바리 등의 이용회수를 증가시켜 적은 량으로 시공이 가능하던가 단위기간내 많은 량의 시공이 가능하게 된다. 기능공은 물론 현장 노무관리에도 신속성이 부여된다. 전체적으로 공사기간 단축과 경제적인 시공이 가능하게 된다.

조강시멘트와 고성능감수제를 사용한 고유동콘크리트 (다짐이 필요없는 콘크리트)의 개발에 따라 단위시간당 시공량 시공속도면에서도 획기적인 결과를 기대할 수 있다. 고

성능감수제의 사용에 의하여 물-시멘트비를 모든 내구성(염해, 염해에 의한 철근부식방지, 동해, 중성화 등)의 제어가 가능한 35%이하로 하여도 시공성이 확보된다. 그 명칭을 초조강감수콘크리트라 부르고 사회간접자본시설의 조기 공용성 확보를 위한 공기단축에 본격적으로 이용하는 것을 검토한다.

최근 얇고 가볍고 고품질 고내구성을 가진 Pc매설형 거푸집의 개발로 이를 초조강감수콘크리트와 조합시킴으로써 공기단축은 물론 고내구성 사회간접자본시설의 구축이 가능하게 되었다. 따라서 사회간접자본시설의 부족으로 물류비용의 증가 등 국제 경쟁력약화가 문제된다는 논의나 인천 신국제공항 연락도로, 철도건설, ASEM회의시설, 월드컵관련시설, 신항만건설, 고속철도건설 등은 기본개념만 바꾸면 공기를 단축시키면서도 고내구성사회간접자본시설의 구축이 가능하다.

콘크리트는 계획설계내용에 의거 종합능력을 갖춘 전문가의 배합설계에 의하면 사회적으로 문제되고 있는 부실시공의 방지나 공기단축은 물론 경제적인 사회간접자본 구축이 가능하다.

## 2. 초조강감수콘크리트

### 가. 기본원리

일반적으로 사회간접자본시설이 거대화 대 규모화되면서 콘크리트구조물의 설계기준강도도 종보다 획기적으로 높은 강도를 요구한다. 예를 들면 고층건축물에서는 400~800kgf/cm<sup>2</sup>, 교량 고내구성연속철근콘크리트 포장 등 토목구조물에서는 400~600kgf/cm<sup>2</sup>의 높은 강도를 요구한다. 그러나 이같은 높은 강도는 기존의 고전적인 배합설계방법으로는 거의 불가능하고 가능하더라도 단위시

멘트량이 상당히 많이 되어 경화열에 의한 2차 장해를 일으키는 등 문제점이 발생된다. 이를 해결하기 위하여는 혼화재료로서 실리카흄을 사용하는 경우가 많고, 또한 물-시멘트비 감소와 시공성 확보를 위하여 고성능감수제를 사용하는데 이렇게 하면 1~3일에서 설계기준강도가 얻어진다. 특히 조강시멘트나 조강혼화제를 사용하면 적은 시멘트량으로 같은 효과를 얻을 수 있는데 그 원리는 [그림1]과 같다. [그림1(a)]는 보통시멘트를 [조강시멘트+고성능감수제 또는 고성능 AE 감수제]로 치환한 것으로 같은 가격 같은 슬럼프로 초조강화하기 위하여는 다음과 같은 연구가 되어야 된다.

#### 1) 보통시멘트를 조강시멘트로 치환시킨다

이들에 의하여 강도는 1주일에서 얻어지나 여기까지는 조강시멘트의 차액분의 가격이 상승하고 또한 초조강성만으로는 불충분하다.

2) 시멘트 가격상승분 +  $\alpha$ ( $\alpha$ : 고성능감수제 또는 고성능AE감수제의 가격상승분)에 맞추어 조강시멘트량을 감하고, 동시에 W/C를 적게 하여 강도를 크게 한다

강도증가량( $\Delta\sigma_{ck}$ )는 그림1의 (c)에 표시한 것과 같이 강도~재령곡선, 소요재령(3일 전후)에 있어서 설계기준강도를 넘도록 정한다.

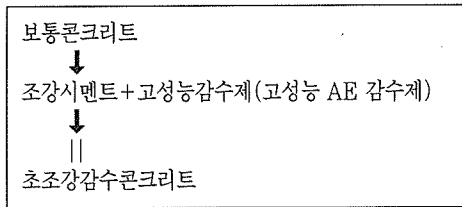
3) 고성능감수제 또는 고성능AE감수제에 의하여 유동성을 확보한다

이것은 감수효과에 따라서 물-시멘트비 감소효과와 강도증가 효과도 따르게 된다. 그림 1(d)는 콘크리트의 배합설계상의 기본적인 관계의 하나로서 단위시멘트량(c)과 물-시멘

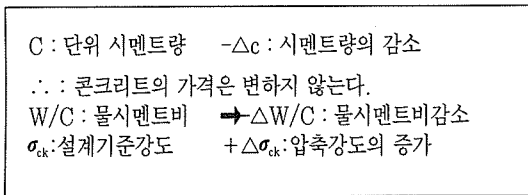
트비(W/C)와의 관계를 슬럼프값을 매개변수로 나타낸 것으로서, 이 그림으로부터 위에서 기술한 방법을 조작해보면 다음과 같은 것을 알 수 있다.

종래에는 슬럼프의 조정은 AB방향으로 강도 변화없이 연직방향으로 움직여서 C와 W를 조정하였다. 기준콘크리트에 고유동화제를 넣는 것에 의하여 이 방향의 이용이 가능하게 된다.

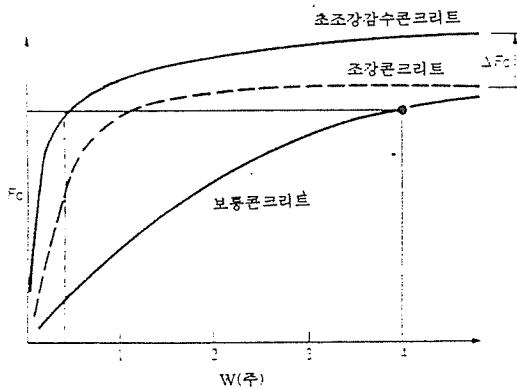
이것에 대하여 초조강감수콘크리트에서는 C도 W/C도 동시에 감소시키는 AC방향의 기술을 이용 하는 것이 된다.



(a) 초조강화 방법



(b) 초조강감수화의 방법(초조강감수콘크리트 제조방법)

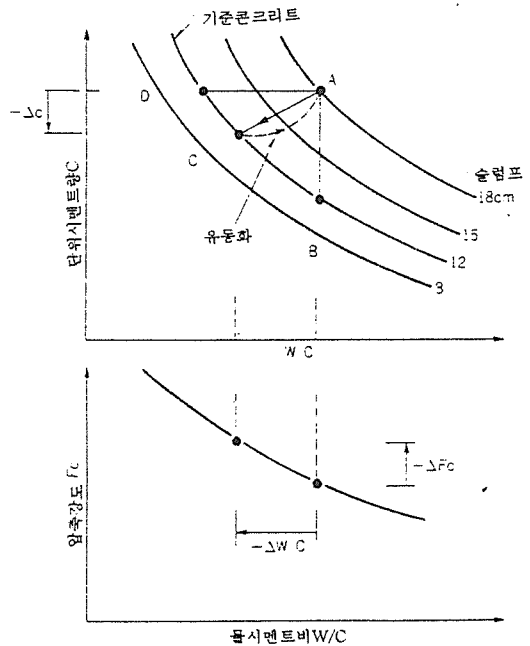


(c) 설계기준강도의 발현 모식도

이상과 같은 방법에 의하여 당초의 목적으로 하는 초조강성 콘크리트가 얻어진다. 현실적인 문제로서 슬럼프 공기량의 변화 강도발현 내구성 등 기본적 성상과 여기에 조강시멘트의 사용에 의한 균열성상 경화열 등을 조사할 필요가 있다. 결과적으로는 물시멘트비를 보통콘크리트보다 적게 하여도 소요의 특성이 용이하게 얻어지게 되고 또한 균열성상도 오히려 양호하고 안전측으로 된다.

### 나. 굳지않은콘크리트, 경화콘크리트의 기초적 성상

고품질 고성능의 시공성이 양호하고 높은 내구성콘크리트를 제조하기 위하여는 고성능 감수제의 사용이 필수적이고, 필요에 따라 고성능AE 감수제를 사용하는 경우도 있다. 고성능감수제를 사용할 경우 콘크리트의 기본



(d) 배합설계에 있어서 상호관계 모식도

(그림 1) 초조강 감수콘크리트의 원리<sup>32)</sup>

적 성질을 확인하기 위하여 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프 공기량 블리딩 응결 적산온도와 압축강도 재료분리 슬럼프의 경시변화 등을 경화콘크리트에 대하여는 압축강도, 인장강도, 휨강도, 철근의 부착강도 정탄성계수 포아손비 크리프 압축피로 등을 내구성시험으로는 내동결융해성 중성화 건조수축 수밀성 염소이온의 침투성 내마모성 열팽창을 열전달을 내열성 내화성 등에 대하여 종합적으로 검토하여야 한다.

### 1) 사용재료 배합

콘크리트의 품질을 결정하는 요인은 콘크리트를 구성하는 모든 재료의 기본적인 성질과 배합비(배합요소) 시공성 환경요소 등 하나라도 부적합하면 그 성능 발휘가 안된다. 그러나 현황의 콘크리트 재료인 골재는 잔골재는 입도가 대부분 불량하고 해사의 경우 염분 제거가 어려운 실정이다. 굵은골재의 경우는 하천골재의 고갈로 부순돌골재가 사용되거나 입도가 불량하고 시공성이 좋지 않다. 또한 사회여건변화에 따라 기계화 시공이 되면서 레디믹스트콘크리트화되고 그 운반은 아지테이터트럭에 의하나 교통체증으로 운반이 지연되어 펌프시공에 의한 시공성의 확보가 어렵고 환경오염에 의한 내구성관련 인자의 다양화 중교통하중의 증가 교통량의 증가 등에 의한 도시구조물 도로구조물의 내구성 요구 해안항만구조물의 증가 등에 의한 염해에 의한 철근부식 등 내구성 문제 부순돌 사용에 의한 알칼리골재반응성의 잠재 등 일련의 콘크리트와 관련된 배합설계 개념이 이들 변화된 여건을 수용하고 강도면에서도 고강도화를 요구하는데, 배합설계 개념은 고전적인 개념을 답습하기 때문에 콘크리트품질 문제가 사회적으로 문제되고 있는 것으로 판단된다.

이들 문제점을 해결하기 위하여는 주어진

재료의 성질 계획설계내용 환경여건을 파악하여 배합설계에 반영 시켜야 문제점이 없게 된다. 그러나 이러한 문제점을 모두 수용 하는데는 아직까지 전세계적으로 해결되지 못하는 부분이 있다. 즉, 알칼리골재반응과 염분에 의한 철근의 부식 문제이다. 그러나 최근 연구결과에 의하면 염분에 의한 철근부식 문제는 고품질콘크리트에 의하여 해결할 수 있는 연구 결과가 발표되었다(콘크리트의 압축강도를 500kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서는 염해는 물론 동결융해 중성화 등이 완전하게 제어된다).

알칼리골재반응은 왕겨재를 혼화재료로 사용하므로써 방지되는 연구결과가 발표되었다.

이제 콘크리트문제는 배합설계에서 완전하게 제어할 수 있는 기틀이 마련 되었다.

현재 문제시되는 콘크리트의 품질 내구성 시공성을 해결하는 방안은 단위결합재량을 증가시키고 물시멘트비를 내구성 저해요인을 방지할 수 있는 수준까지 낮추는 것이다. 그러나 물-시멘트비를 낮추면 시공성이 확보되지 않는데 이를 해결하기 위하여는 고성능감수제의 사용이 필수적이다.

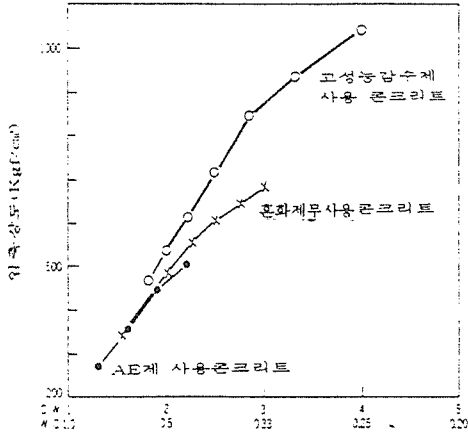
고성능감수제는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

① 첨가량의 증가에 따라 감수율을 대폭적으로 크게하는 것이 가능하다. 특히 높은 첨가량의 경우 감수성이 우수하고 낮은 물-시멘트비 범위에서도 충분한 워커빌리티를 확보하는 콘크리트를 제조할 수 있다.

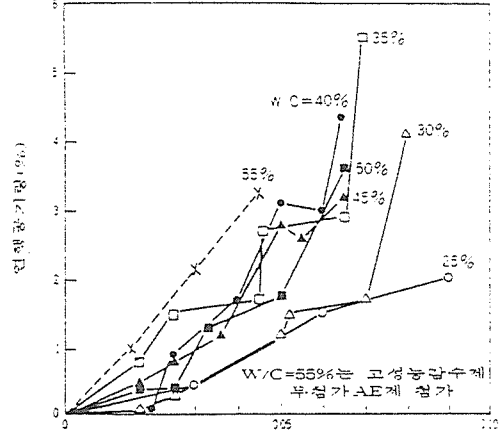
② 응결지연성이 적다.

③ 공기연행성이 적다.

고성능감수제 또는 고성능AE감수제를 사용하지 않은 콘크리트 및 종래의 AE감수제를 사용한 콘크리트에서는 낮은 물시멘트비의 경우 시멘트입자가 불록상태로 되는 미수화시멘트입자를 많이 포함하는 불균일한 시멘트플로 된다. 또한 물-시멘트비를 40%이



시멘트 몰비 또는 물시멘트비  
 (그림 2) 압축강도에 미치는 고성능감수제의 효과<sup>34)</sup>  
 (조강시멘트, 깐자갈, 하천모래, 수중양생28일 강도)



AE제 사용량(시멘트중량에 대한%)  
 (그림 3) AE 감수제의 사용량과 연행공기량의 관계<sup>34)</sup>  
 (조강시멘트, 고성능감수제: 나프탈렌계, AE제: 원솔)

하로 적게 하여도 강도의 증가는 없고 또한 워커블한 콘크리트를 제조하는 것이 불가능하게 된다.

그러나 고성능감수제는 종내 사용된 AE감수제에 비하여 대단히 높은 분산성을 가진다. 물시멘트비가 25%정도에서도 워커블한 콘크

리트를 용이하게 제조하는 것이 가능하다. 시멘트입자가 잘 분산되기 때문에 시멘트의 수화가 촉진된다. [그림2]와 같이 고강도 고품질의 콘크리트를 제조하는 것이 가능하다. 최근에는 비빈후에 슬럼프의 경시변화를 적게한 고성능AE감수제가 개발되어 고강도콘

(표 1) 콘크리트배합 및 시험결과<sup>32)</sup>

온도 (°C)	종 류	*	W/C (%)	s/a (%)	배 합					시험결과	
					단 위 량(kg/m <sup>3</sup> )					슬럼프 (cm)	공기량 (%)
					W	C	S	G	AD		
20	보통 AE감수제 (N-AE)	▲	40	40.0	208	520	604	947	1.0	18.0	4.6
			50	45.2	195	390	745	947	0.8	18.0	4.7
			60	46.9	193	322	804	947	0.6	18.0	4.4
	보통-고성능(N-HR)	●	50	46.2	180	360	792	963	2.7	18.3	4.1
		△	50	43.9	203	406	707	947	0.8	18.2	4.5
	조강-고성능 (H-HR)		40	42.8	180	450	699	979	3.4	18.6	4.5
		○	50	46.2	180	360	789	963	2.7	18.6	4.7
		60	48.5	180	300	853	947	2.7	18.5	4.0	
10	보통-AE 감수제(N-AE)		50	45.8	190	380	766	947	0.8	18.5	4.5
	보통-고성능(N-HR)		50	46.2	180	360	792	963	2.5	18.0	4.3
	조강-AE감수제(H-AE)		50	44.5	198	396	727	947	0.8	18.8	4.0
	조강 고성능 (H-HR)		40	42.8	180	450	699	957	4.3	18.0	3.9
			50	46.2	180	360	789	963	2.5	17.7	4.6
			60	48.5	180	300	853	947	2.9	17.7	3.9

\* 그림 4중의 그림에 있어서의 기호

콘크리트를 레디믹스트콘크리트 공장에서 제조하여 공사현장에 운반하여 치는 것이 가능하게 되었다.

[표 1]의 배합설계표에서 보는 바와 같이 보통시멘트와 조강시멘트의 경우를 예를 들면 동일 물-시멘트비에 대하여 비교하면, 조강시멘트의 경우 시멘트량 및 수량이 보통시멘트 보다 적게되는 것을 알 수 있다.

반드시 조강시멘트가 아니더라도 대상 구조물에 따라서 전문종합능력 전문가에 의하여 배합설계를 하면 경제적이고 내구적인 사회간접자본시설 구축이 가능하다.

배합설계의 개념은 종래에는 주로 설계기준강도만을 중요시하였으나 현대적 개념의 그것은 설계개념은 설계기준강도는 물론 계획설계 내용을 파악하여 목표강도 환경여건에 따른 목표내구성 목표시공성이 확보되도록 배합설계에 반영하여 목표품질이 확보되도록 하는 것이다.

고성능감수제의 사용으로 시공성을 확보하고 물시멘트비의 감소 조기강도의 발현으로 고품질콘크리트 제조가 가능하며 혼화재료의 사용으로 필요한 강도 내구성 시공성이 확보되는 무결점 콘크리트 제조가 가능하다.

## 2) 고성능감수제를 사용한 굳지않은콘크리트의 특성

고성능감수제를 사용한 낮은 물-시멘트비의 굳지 않은 콘크리트의 특징은 보통의 콘크리트에 비하여 다음과 같은 큰 다른 점이 있다.

### 가) 배합에 관련한 요인의 영향

낮은 물-시멘트비 콘크리트의 배합설계방법은 배합과 물리적 성질의 관계가 충분히 밝혀지지 않았고 고성능감수제에 의하여 선택의 여지가 넓은 것으로부터 현재로서는 확립

된 방법은 없으나 일련의 연구에서 밝혀진 것은 다음과 같다.

### (1) 물시멘트비와 갇힌 공기의 관계

AE제를 사용하지 않은 콘크리트의 공기량은 물시멘트비 저하에 따라서 증가하는 경향을 나타내고 물-시멘트비 40%이하에서 특히 현저하다. 이것은 내동해성을 공기량에 의하여 평가하는 경우나 보다 고강도인 콘크리트를 제조하는 경우에 중요하게 된다.

### (2) AE제의 사용량과 연행공기량의 관계

고성능감수제에 AE제를 사용한 경우의 AE제 사용량과 연행공기량과의 관계를 [그림 3]에 나타냈다. 고성능감수제를 사용하지 않은 물-시멘트비 55%에서는 적은 사용량으로 사용량에 대개 비례하여 공기가 연행되나 고성능감수제를 사용한 경우에는 AE제 사용량을 증가시키는 것이 필요하다. 이 경향은 물-시멘트비 30%이하 일때 특히 현저하다.

### (3) AE제 병용에 의한 감수효과

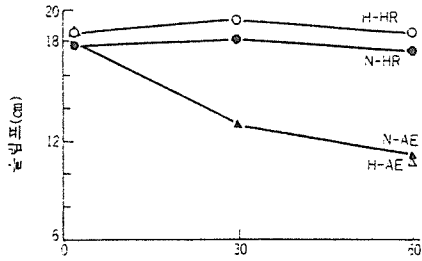
고성능감수제에 AE제를 병용하여 공기를 연행한 경우에는 보통콘크리트와 같이 감수효과가 기대된다.

### (4) 고성능감수제의 사용량과 감수율의 관계

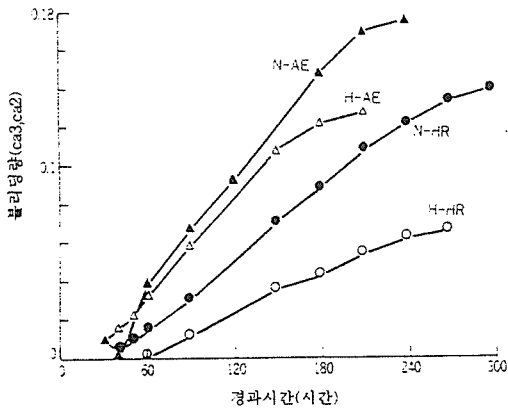
고성능감수제 사용량과 감수율의 관계는 [그림 5]와 같다. 고성능감수제 사용량의 증가에 따라 비례하여 감수율이 크게 된다. 이것이 낮은 물-시멘트비에서 워커블한(슬럼프를 21cm이상) 콘크리트를 제조하는 것이 가능하게 한다. 또한 초고강도콘크리트와 초조강감수콘크리트의 제조가 가능하다. KS F 2560(콘크리트용 화학혼화제)조건으로 실시한 고성능감수제(AE)의 감수율과 다른 화학혼화제 감수율의 비교를 [그림6]에 표시하였다.

(5) 굵은골재의 종류가 반축질기에 미치는 영향

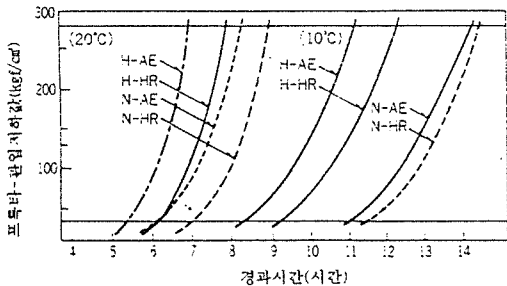
고강도가 요구되는 콘크리트에서는 다음에



(a) 슬럼프의 경시변화(W/C=50%, 20℃)



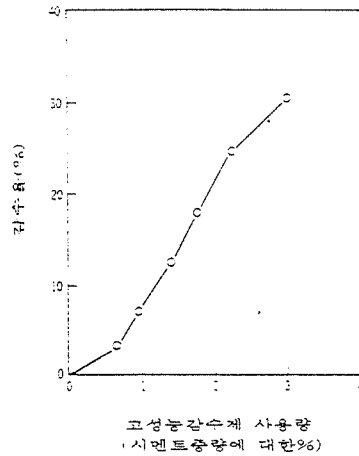
(b) 블리딩량(W/C)=50%, 20℃



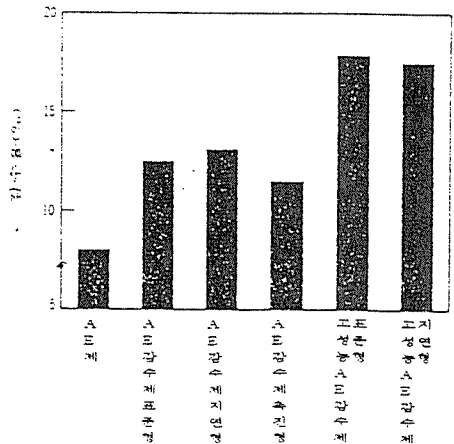
(c) 응결시험 결과

(그림 4) 굳지않은 콘크리트의 성질<sup>32)</sup>

서 기술하는 것과 같이 부순돌이나 바순모래 등 입자모양이 각이 있는 골재가 유리하나 고강도를 필요로하는 내구성이 우수한 콘크리트가 필요한 경우에는 단위수량이 적게되는 골재를 선정하는 것이 유리하다. 동일배합조건에서 제조한 콘크리트 시험결과에 의하면 보통콘크리트와 같이 실적율이나 조립율이 큰 굵은골재를 사용한 쪽이 반축질기가 크게 되는 경향이 있다.



(그림 5) 고성능감수제의 사용량과 감수율의 관계<sup>34)</sup>  
(조강시멘트, 나프탈렌계 고성능감수제, nonAE콘크리트)



(그림 6) 화학혼화제의 종류와 감수율의 관계<sup>34)</sup>  
(KSF 2560에 의한 시험:단위시멘트량 320kg/m<sup>3</sup>, 슬럼프18cm)

(6) 시멘트의 종류와 고성능감수제 사용량과의 관계

같은 반축질기를 얻기 위하여 필요한 고성능감수제 사용량을 구해보면 물-시멘트비 35%이상에서는 보통시멘트와 조강시멘트는 별차이가 없으나 물-시멘트비 30%이하의 경우에는 큰차이가 나타난다.

(7) 단위시멘트량과 물시멘트비의 관계

고성능감수제를 다량 사용하는 것에 의해 단위시멘트량이 적어도 낮은 물-시멘트비의 콘크리트를 제조하는 것이 가능하다. 그러나 단위시멘트량이 많은 경우가 필요한 반축질기를 얻는데 유리하다. 사용하는 재료에 따라서 그 양은 다르나 물-시멘트비에 따른 적절한 단위시멘트량이 존재하게 되며, 물-시멘트비가 어느 한계치보다 작게 되면 오히려 압축강도가 감소하게 된다.

(8) 단위용적중량

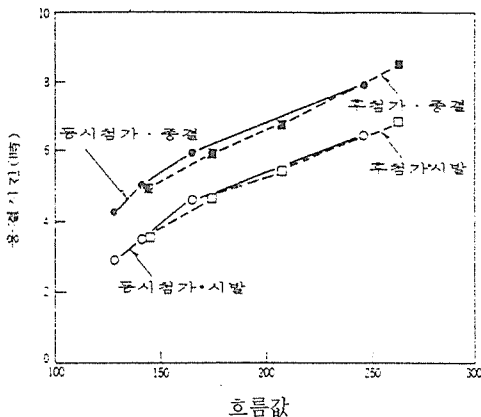
고성능감수제를 사용한 낮은 물-시멘트의 콘크리트는 시멘트풀의 비중이 크기 때문에

단위용적중량이 크게 된다. 물-시멘트비 25%와 물-시멘트비 55%의 차는 굳지않은 콘크리트 100kgf/m<sup>3</sup>, 기건상태에서는 150 kgf/m<sup>3</sup>정도이다.

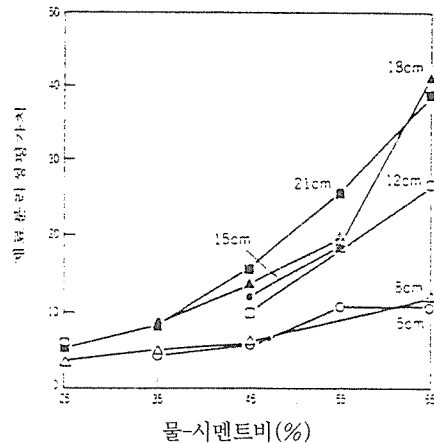
나) 응결, 불리딩

(1) 응결

고성능감수제는 응결지연성이 적은 것이 특징이나 이점을 밝힌 보고서는 별로 없다. 나프탈렌계 고성능감수제를 사용, 혼합수에 동시첨가한 모르터와 미리 모르터를 비빈후에 첨가한 경우 응결시간과 슬럼프흐름값의 관계를 [그림 7]에 나타냈다. 동일 슬럼프흐름값의 경우에는 고성능감수제 사용량이 달라도 응결시간은 거의 동일하다. 고성능감수제 자신에 지연성이 있으면 같은 흐름값의 경우 응결시간이 다르게 된다. 이것으로부터 고성능감수제 자신에 지연성이 없는 것으로 밝혀졌다. 그러나 모르터량을 적게 하여 고성능감수제를 다량으로 사용, 슬럼프를 동일하게 한 경우는 모르터의 흐름값이 크게 되기 때문에



(그림 7) 모르터의 흐름값과 응결시간과의 관계<sup>34)</sup>  
(W/C=25%모르터, 조강시멘트, 고성능감수제: 나프탈렌계)



(그림 8) 재료분리성 시험결과(평균값과의 차의 적분에 의한 방법)<sup>34)</sup>  
(보통시멘트nonAE 콘크리트, W/C=55% 및 65%는 고성능감수제 무첨가)



응결시간이 길게 될 우려가 있으나 일반적으로는 물-시멘트비에 의한 차이는 거의 인정되지 않는다. 그러나 고성능AE감수제의 경우에는 응결지연성이 있기 때문에 주의를 요한다.

(2)블리딩

고성능감수제를 사용한 낮은 물시멘트비 콘크리트는 자유수가 적기 때문에 블리딩량은 감소하여 물-시멘트비 35%이하에서는 블리딩량은 인정되지 않는다.

다)재료분리

고성능감수제를 사용한 낮은 물-시멘트비 콘크리트에서는 동일배합 콘크리트에 비하면 점성은 적게 되나 보통의 콘크리트에 비하면 대단히 크게 된다. 이 때문에 굵은골재의 이동은 없으며, 균질의콘크리트가 얻어지는 것이 가능하다.

[그림8]은 물-시멘트비 및 슬럼프를 변화시킨 콘크리트의 재료분리성을 조사한 결과이다. 이 결과에 의하면 물-시멘트비 35%이하에서 슬럼프 5cm 콘크리트보다 재료분리가 적다는 것을 나타내고 있다.

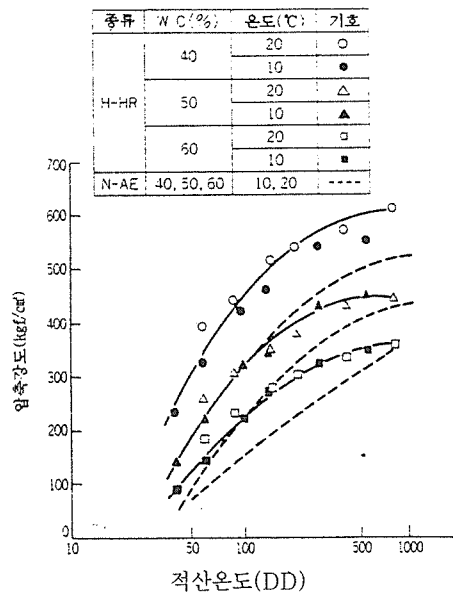
라) 슬럼프의 시간에 따른 변화

고성능감수제를 사용하면 시멘트 개개입자도 분산되기 때문에 그후 시간의 경과에 따라 응집이 빠르고, 콘크리트로 된 경우 슬럼프의 시간에 따라 저하되는 양을 억제하는 효과를 가지는 고성능AE감수제 사용량에 의해서도 크게 달라진다. 비빈후 이지테이터의 회전수나 시료의 양은 시험해보면 실험실의 결과와 실제 플랜트의 결과가 서로 다르므로 사용조건을 고려하여 소정의 성능을 가지도록 하는 것이 대단히 중요하다.

한편 공기량의 감소와 슬럼프 저하량과의 사이에는 특히 명확한 상관관계가 인정되지 않는다. 이것은 슬럼프의 시간적인 변화가 고성능AE감수제의 시간적 변화에 의하여 영향을 받는 것을 나타낸다.

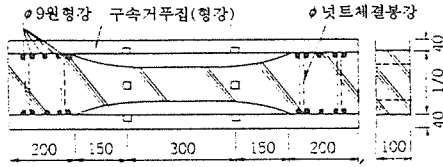
다. 경화콘크리트의 성상

초조강성 콘크리트로서는 강도발현상황이 또한 조강시멘트를 사용하는 것으로부터 균열성상이 중요한 포인트로 된다. [그림 9]에 적산온도와 압축강도와의 관계를 나타냈다. 물-시멘트비가 40~50%이면 20℃의 온도에서 2~3일에서 쉽게 설계기준강도 210kgf/cm<sup>2</sup>가 얻어진다.

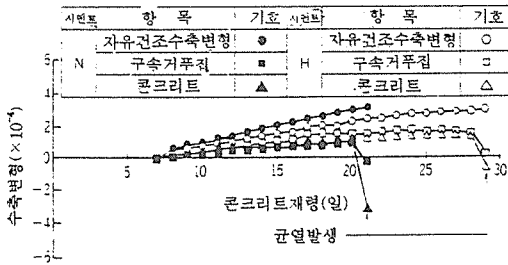


(그림 9) 적산온도와 압축강도와의 관계(DD)<sup>32)</sup>

[그림 10]은 구조체콘크리트의 균열발생 경향을 조사하기 위하여 (a)와 같이 시험체의 양단을 량형강에 의하여 구속한 틀로 완전하게 고정시켜 시험체의 건조수축을 탄성구속하고 (b)와 같이 균열발생까지의 변형성상



(a) 일축구속 균열시험체



(b) 변형의 경시변화와 균열발생

(그림 10) 일축 구속 균열시험체의 변형 경시변화<sup>32)</sup>

을 조사한 것이다. 이 실험에서는 타설후 7일간 습윤포로 양생을 하여 그 후는 20℃, RH=60%의 항온실에 보존시켜 변형을 측정하였다. 제성상을 비교하면 [표 2]와 같다. 이 표로부터 초조강감수콘크리트는 건조수축량이 적은 것, 균열성상은 보통콘크리트보다도 상당히 유리한 것으로 추측된다.

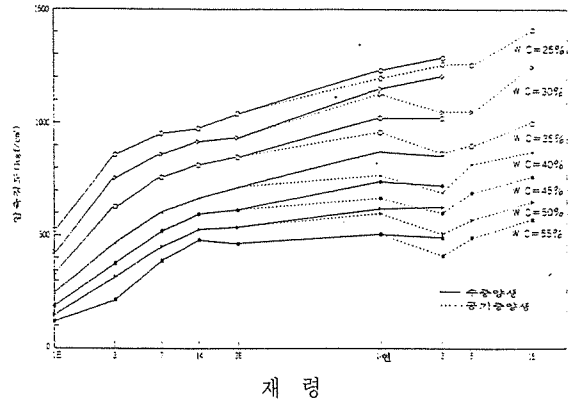
[표 2] 균열제성상의 비교

구 분	보통콘크리트	초조강감수콘크리트
자유건조 수축비	1.0	0.90
균열발생재령(건조재령)	21일(14일)	29일(22일)
균열발생시 균열폭	0.2mm	0.12mm

고성능감수제는 [그림 2]에 나타낸 것과같이 고강도콘크리트는 물론 초조강감수콘크리트 제조에 필수불가결한 요소이다. 고성능감수제가 가지는 우수한 역학적특성을 이용한 것이 대부분으로 그 특징은 다음과 같다.

### 1) 압축강도

종래의 고성능감수제를 사용하지 않은 콘크리트로는 공기단축은 고려할 수 없으나 고



(그림 11) 재령과 압축강도와의 관계  
(고성능감수제: 나프탈렌계, 조강시멘트사용)<sup>34)</sup>

성능감수제를 사용한 고성능·고강도콘크리트는 공기단축이 가능하다. 재령1일부터 15년까지 압축강도 시험결과를 [그림 11]에 나타냈다.

고성능감수제를 사용한 낮은 물-시멘트비로 높은 시공성을 가지는 콘크리트는 재령28일 압축강도가 큰 것뿐만 아니라 초기압축강도도 크고 장기적으로도 안정되어 있다. 물-시멘트비 35% 정도의 콘크리트는 1일 압축강도가 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상이고 28일 압축강도는 600 kgf/cm<sup>2</sup> 이상으로 내구성에서도 동결융해, 중성화, 염해에 의한 철근의 부식 등이 거의 완벽하게 방지된다는 연구결과가 발표되었다.

단지 내구성에서 문제로 되는 알칼리골재 반응이 문제로 되나 최근의 연구결과에 의하면 적정량의 왕겨재혼입으로 완벽하게 그것을 방지할 수 있다.

### 가) 초기압축강도

초기압축강도는 물-시멘트비 시멘트종류 양생온도 양생방법 고성능감수제의 종류 혼화재의 종류 등에 의하여 다르나 적절한 조건을 정하는 것에 의하여 재령24시간에서 600 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 얻는 것이 가능하다.

배합 및 양생조건을 달리했을 때 콘크리트의 압축강도가 1, 100, 200, 300, 400 및 500kgf/cm<sup>2</sup>에 달하는 재령을 [표 3]에 표시하였다.

1kgf/cm<sup>2</sup> 압축강도에 달하는 재령은 배합 및 양생조건에 의하여 3~4시간으로 일정해지나 100~500kgf/cm<sup>2</sup>에 달하는 재령은 조건에 따라 크게 다르다.

촉진양생을 하지않고 프리캐스트제품의 거푸집 제거시에 요구되는 100kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 6시간에 프리스트레스콘크리트의 응력도입시에 요구되는 300kgf/cm<sup>2</sup> 압축강도를 8시간에 얻는 것도 가능하다. 이들 콘크리트는 최종압

축강도도 크고 고품질의 제품으로 된다.

고성능AE감수제를 사용한 경우에는 지연 효과에 의해 응결시간이 늦어지기 때문에 소정의 초기압축강도를 얻는데 필요한 재령이 커지므로 주의가 필요하다.

이는 계획설계 내용에 따라 설계내용을 파악하여 목표강도 목표내구성 목표시공성을 확보할 수 있도록 시공여건 환경조건 공기 공사비 등을 고려한 전문가에 의하여 배합설계가 이루어져야 가능하다. 현재의 배합설계 기술수준은 설계자가 요구하는 조건을 거의 충족시킬 수 있다.

[표 3] 소정의 압축강도가 얻어지는 재령<sup>34)</sup>

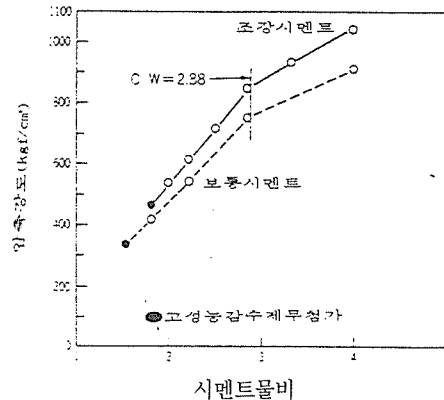
양생 방법	배합기호	소정의 압축강도가 얻어지는 재령(시간)				
		1kgf/cm <sup>2</sup>	100kgf/cm <sup>2</sup>	300kgf/cm <sup>2</sup>	400kgf/cm <sup>2</sup>	500kgf/cm <sup>2</sup>
공기중 양생	N-30-20	4	11	24	-	-
	N-35-5	4	-	-	-	-
	N-35-20	4	14	-	-	-
	N-35-35	3	8	24	-	-
	N-40-20	4	18	-	-	-
	H-30-20	3	9	12	16	23
	H-35-5	5	-	-	-	-
	H-35-20	3	10	16	23	-
	H-35-35	3	6	9	17	-
	H-40-20	4	12	-	-	-
	UH-30-20	3	9	11	13	15
	UH-35-5	3	20	-	-	-
	UH-35-20	3	9	14	18	-
	UH-35-35	3	6	8	11	-
UH-40-20	3	10	15	-	-	
간이 단열 양생	N-30-20	4	10	20	-	-
	N-35-5	4	19	-	-	-
	N-35-20	4	12	-	-	-
	N-35-35	3	9	19	-	-
	N-40-20	4	15	-	-	-
	H-30-20	3	8	10	12	17
	H-35-5	4	18	-	-	-
	H-35-20	3	9	12	18	-
	H-35-35	3	7	12	17	-
	H-40-20	3	10	18	-	-
	UH-30-20	3	8	9	10	12
	UH-36-5	3	11	16	21	-
	UH-35-20	3	8	11	13	18
	UH-35-35	3	7	8	10	-
UH-40-20	3	8	12	18	-	

[주] \* 시멘트의 종류 -물 시멘트비 -양생온도순서

#### 나) 재령1일~28일 압축강도

##### (1)시멘트물비와 압축강도의 관계

고성능감수제와 조강시멘트를 사용, AE제를 사용하지 않은(non AE콘크리트) 콘크리트의 압축강도 평균치와 시멘트-물비와의 관계를 [그림 12]에 나타냈다. 이 그림중에는 보통콘크리트를 사용한 콘크리트의 결과도 같이 나타냈다.



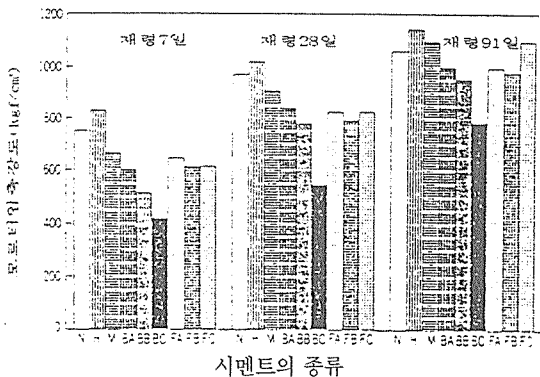
(그림 12) 시멘트와 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
(nonAE콘크리트, 수중양생,재령28일)

시멘트물비 2.5정도까지의 보통콘크리트에 서는 시멘트-물비와 압축강도 관계는 직선적으로 변화하는 것으로 나타난다 그러나 시멘

트-물비의 크기 범위를 포함하면 하나의 직선으로 표시하는 것은 불가능하다. 조강 및 보통시멘트를 사용한 콘크리트로도 시멘트물비 2.88(W/C=35%)을 경계로 하는 2가지 절선으로 표시된다.

### (2)시멘트종류의 영향

시멘트종류가 압축강도에 미치는 영향은 [그림 12]에 나타낸 바와 같이 조강시멘트쪽이 보통시멘트 보다 압축강도가 크다. 여기서 각종 시멘트를 사용하여 모르터에 의한 시험을 실시하여 그 결과를 [그림 13]에 나타냈다.

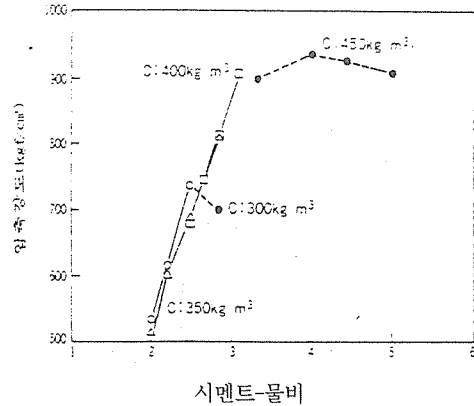


(그림 13) 시멘트의 종류와 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
(W/C=25%, c:s=1:1.6, 5×10cm, 수중양생)

그 결과에 의하면 조강시멘트를 사용한 경우가 압축강도가 가장 높고, 고로시멘트 C종에서도 높은 압축강도가 얻어지며 중용열시멘트나 플라이애쉬 C종에서도 높은 압축강도가 얻어나 보통의 콘크리트와는 다른 경향이 나타난다. 또한 시멘트의 상품명에 의한 차이가 나타나는 경우와 나타나지 않는 경우가 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

### (3)단위시멘트량의 영향

단위시멘트량을 일정하게 하고 고성능감수



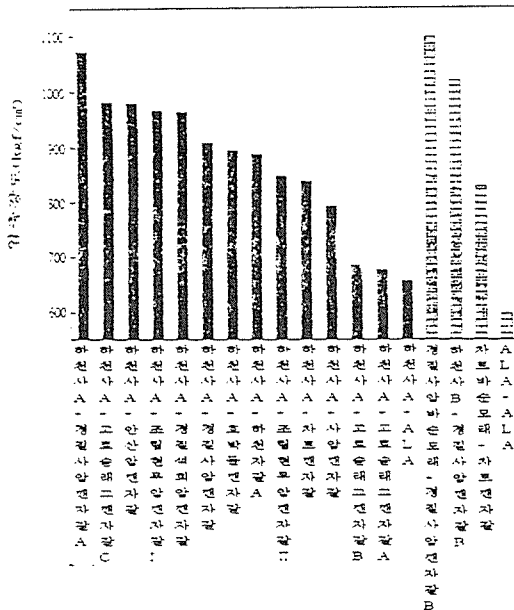
(그림 14) 단위시멘트량과 시멘트-물비의 영향<sup>34)</sup>  
(조강시멘트, nonAE콘크리트, 고성능감수제:나프탈렌계)

제 사용량에 의하여 물-시멘트비를 변화시킨 콘크리트 압축강도 시험결과를 [그림 14]에 나타냈다. 이 그림에 의하면 고성능감수제를 다량 사용하여 물-시멘트비를 저하시켜도 압축강도가 증가하지 않는 경우가 인정된다. 이것으로부터 물-시멘트비에 따른 적절한 단위시멘트량과 각각 최적물-시멘트비가 존재하는 것이 판명되었다.

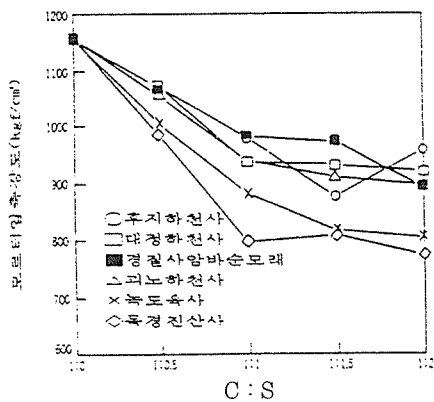
### (4)골재종류의 영향

골재종류를 변화시킨 동일배합 콘크리트 압축강도 시험결과를 [그림 15]에 나타냈다. 인공경량골재 및 고로슬래그 굵은골재를 제외한 보통 굵은골재사이에서 약300kgf/cm<sup>2</sup>, 잔골재의 종류에 의하여도 약200kgf/cm<sup>2</sup>의 차이가 인정된다.

고강도콘크리트용 골재로서 요구되는 품질로서는 골재 자체의 강도 및 시멘트풀과 골재와의 사이에 부착성이 중요하다. 이것을 골재 시험에서 판정하는 것은 곤란하다. 시멘트와 잔골재의 비를 변화시킨 모르터의 압축강도와 모르터중에 굵은골재를 가한 콘크리트의 압축강도는 각각 [그림 16] 및 [그림 17]과 같고, 이 시험결과로부터 잔골재는 시멘트:잔

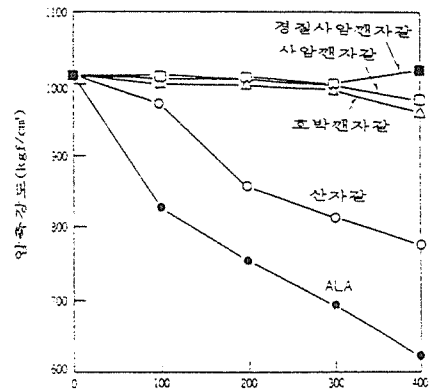


(그림 15) 골재의 종류가 압축강도에 미치는 영향<sup>34)</sup>  
(조강시멘트, W/C=25%, nonAE콘크리트, 고성능감수제: 나프탈렌계)



(그림 16) 골재의 종류와 모르타르 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
(W/C=25%, 보통시멘트, 고성능감수제: 나프탈렌계 재령28일)

골재비를 1:1.5로 한 물-시멘트비가 일정한 모르타르 압축강도로, 이 모르타르에 단위꺾은골재량 350 l를 가한 콘크리트의 압축강도를 비교하므로써 골재의 품질을 판정하였다.

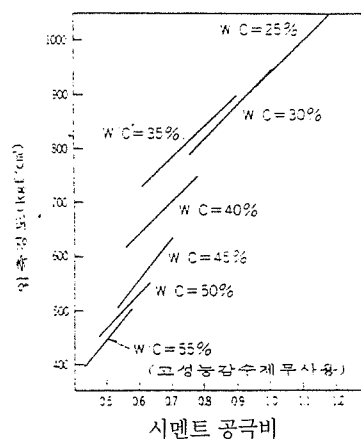


단위꺾은 골재가용적 ( $l/m^3$ )  
(그림 17) 꺾은골재량과 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
(W/C=25%, 조강시멘트, nonAE콘크리트계, 재령28일, 고성능감수제: 나프탈렌계)

### (5) 공기량의 영향

공기를 연행하면 동일 물-시멘트비에서는 압축강도가 저하한다. 고강도콘크리트는 일반적으로 nonAE콘크리트로 제조된다. 공기량이 압축강도에 미치는 영향을 검토하였다.

일반적으로 동결융해작용을 받는 콘크리트에서는 공기를 연행시키나 최근의 연구결과에 의하면 압축강도 500kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서는 동결융해작용에도 완벽한 내구성을 확보한다. (그림 18)은 물-시멘트비별 시멘트공극비를 나타낸 것이다.



(그림 18) 시멘트공극비와 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
(조강시멘트, 고성능감수제: 나프탈렌계)

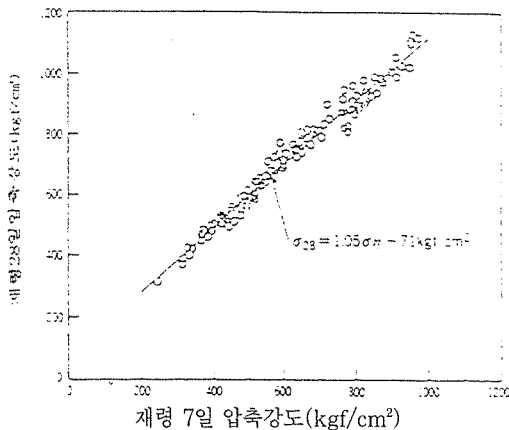
여기서는 공기량의 영향을 시멘트공극비 [시멘트의체적/(물+공기)의 체적]로서 표시하였다. 이 결과를 보면 시멘트공극비가 크게 됨에 따라서 압축강도도 크게 되고, 따라서 공기량이 적으면 압축강도도 크게된다. 시멘트공극비와 압축강도의 관계를 나타내는 직선기울기가 물-시멘트비에 따라서 대개 일정한 값을 나타낸다. 공기량이 압축강도에 미치는 영향을 시멘트공극비에 의하여 평가하는 것이 가능하다.

(6) 양생방법의 영향

양생방법이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 수중양생에 대한 비로 표시하면 막양생 0.83~1.01, 공기중양생 0.58~0.94의 범위이다. 이 비는 물-시멘트비가 적게되면 크게 되는 경향이 있다. 따라서 고품질·고강도 콘크리트일수록 양생에 주의하여야 한다.

(7) 각 재령간의 압축강도관계

재령3일 및 7일의 압축강도와 재령28일 압축강도 사이에는 보통의 콘크리트와 같이 [그림 19]에 표시한바와 같이 좋은 상관관계가 인정된다.



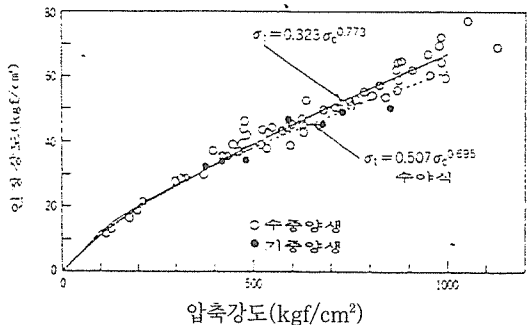
(그림 19) 재령7일강도와 재령28일강도의 관계<sup>34)</sup>  
[조강시멘트, 수중양생, 고성능감수제:나프탈렌계]

(8) 반죽질기의 영향

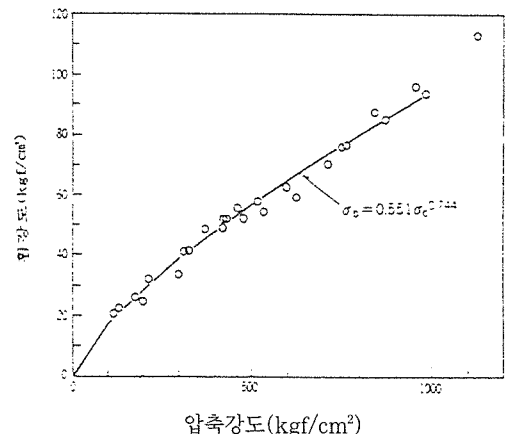
동일 물-시멘트비 콘크리트에서 슬럼프 10cm와 21cm사이의 압축강도의 차이는 인정되지 않는다.

다) 장기압축강도

장기재령 압축강도를 재령15년까지 측정한 결과 장기재령 압축강도를 재령28일 압축강도에 대한 비로 표시하면 물-시멘트비에 따라서 대개 일정하다. 낮은 물-시멘트비 콘크리트가 장기간에 걸쳐 안정되는 것이 확인되었다.



(그림 20) 인장강도와 압축강도의 관계<sup>34)</sup>  
[조강시멘트, nonAE콘크리트 고성능감수제:나프탈렌계, 재령1~28]



(그림 21) 휨강도와 압축강도의관계<sup>34)</sup>  
[고성능감수제:나프탈렌계, 재령1~28조강시멘트, nonAE콘크리트, 수중양생]

## 2) 인장강도 · 휨강도

인장강도 및 휨강도와 압축강도와의 관계를 [그림 20] 및 [그림 21]에 도시하였다.

## 3) 철근과의 부착강도

철근과의 부착강도 시험결과를 [표 4]에 표시하였다. 미끄러짐량이 철근직경의 0.02 배때의 부착강도는 압축강도의 15% 정도로 일정하여 최대부착강도는 물-시멘트비가 작을수록 크게 되는 경향으로 나타났다.

[표 4] 부착강도 시험결과<sup>34)</sup>

W/C (%)	미끄러짐량 0.002D 시의 부착강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			최대부착강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	수직	수평상단	수평하단	수직	수평상단	수평하단
25	212	128	220	331	308	336
30	125	100	208	319	282	330
35	87	113	188	312	288	323
40	62	88	140	281	277	297
45	60	108	143	271	258	286
50	37	85	123	246	227	267
55	52	67	103	233	182	238

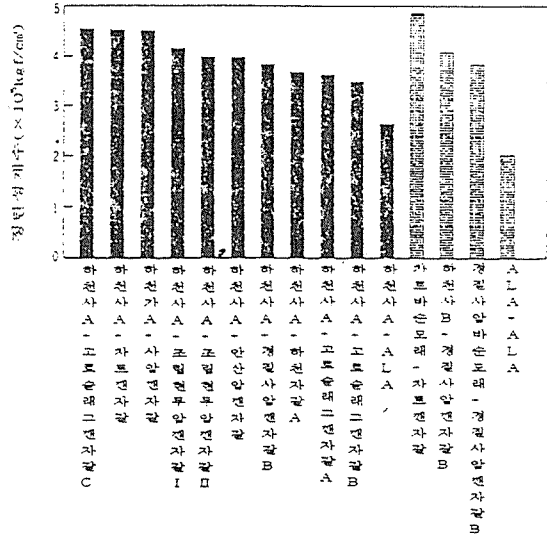
## 4) 정탄성계수, 포아슨비

### 가) 정탄성계수

낮은 물-시멘트비 콘크리트를 포함한 정탄성계수는 보통의 콘크리트와 같이 압축강도의 0.5승에 비례하여 증가하는 경향이 인정된다. 공시체가 건조하면 적게 된다. 그러나 [그림 22]에 도시한바와 같이 사용 골재의 영향이 크다. 높은 정탄성계수를 필요로 하는 경우에는 압축강도와 같이 골재의 선정이 중요하다. 일반적으로 높은 정탄성계수가 얻어지는 골재이면 압축강도가 크게 되는 경향으로 양자를 잘 고려하여 선정하는 것이 중요하다.

### 나) 응력-변형곡선

응력-변형곡선은 낮은 물-시멘트비로 되면



[그림 22] 정탄성계수에 미치는 골재종류의 영향<sup>34)</sup>

(고성능감수제: 나프탈렌계, W/C=25%, 조강시멘트 절대용적배합 일정)

직선에 가깝게 된다. 압축강도 90%에 있어 변형량은 [표 5]에 표시한것과 같이 낮은 물-시멘트비로 되면 크게 된다.

[표 5] 압축강도 90%의 응력에 있어서 변형측정결과<sup>34)</sup>

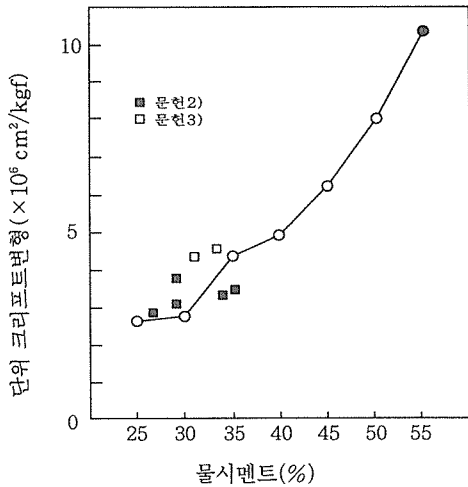
양생방법	물-시멘트비 (%)						
	25	30	35	40	45	50	55
수중양생	2427	2444	2402	2222	2042	1838	1680
봉합양생	-	-	2508	2278	2008	-	1718
공기중 양생	2681	2537	2329	2128	1980	2010	1713

### 다) 포아슨비

형변형은 물-시멘트비가 적게되면 크게되나 포아슨비는 물-시멘트비에 관계없이 0.2 전후의 값을 나타낸다.

## 5) 크리프(CREEP)

물-시멘트비별 재하기간 1년의 단위크리프 변형 관계를 [그림 23]에 도시하였다. 낮은 물-시멘트비로 되면 단위크리프 변형은 적게 된다.



[그림 23] 단위 크리프변형<sup>34)</sup>  
 (고성능감수제:나프탈렌계, W/C=55%는 고성능감수제 무사용, 조강시멘트, nonAE콘크리트, 재하기간1년)

## 6) 압축피로

공기중에서 200만회 피로수명은 물-시멘트비 65% 전후에서 대개 일정하나 물-시멘트비 25%의 경우에는 압축한계의 특이한 상황이 인정된다. 해수중에서 200만회 피로수명은 공기중보다 적은 40~45%정도로, 물-시멘트비에 의한 차는 인정되지 않는다. ø 5 × 10cm의 공시체수명은 ø 7.5 × 15cm 공시체보다 크게 되는 경향이 인정된다.

## 라. 벽체균열성상

일반적으로는 보통콘크리트보다도 조강콘크리트쪽이 시멘트입자 분말도가 높고 건조수축량이 큰것으로부터 실구조체에서 균열발생이 일어나기 쉽다. 또한 고강도·고품질을 요구하기 때문에 단위 시멘트량이 많고 구조물의 대형화 대단면화에 따라서 매스콘크리트가 되는 경우가 많다. 따라서 경화열에 의한 균열도 예상된다. 그리고 균열에 관한 분쟁도 많을 것으로 생각된다. 조강시멘트를 사

용하는 초조강감수콘크리트도 균열성상은 좋지 않은 것은 아닌가 하는 염려때문에 실물크기의 1/2크기의 벽체에 의한 비교시험 결과를 검토하였다.

## 1) 사용재료와 배합

[표 6]에 3종류의 콘크리트배합표를 표시하였다. 물-시멘트비는 모두 50%이나 초조강감수콘크리트(H-SP)에서는 시멘트량C도 단위수량W도 적게 된다. 굵은골재 최대치수 20mm 감수제는 3종류를 사용하였다.

고품질콘크리트 제조에서는 단위시멘트량의 조절과 고성능감수제의 사용 혼화재료의 적정배합에 의하면 초고강도의 물-시멘트비 35%이하의 고품질 고내구성의 무결점콘크리트제조도 가능하다.

## 2) 공시체

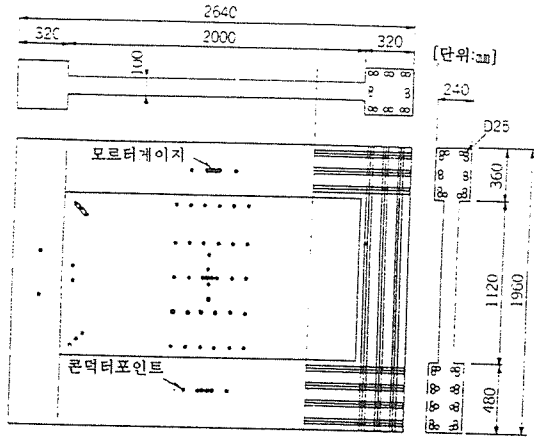
[그림 24]의 주변에 프레임을 한 벽두께 10cm의 벽시험체의 형상 치수 주변프레임의 배근상황 (벽은무근) 변형측정위치 등을 표시하였다. 시험체수는 [표 6]의 각 배합마다 1개씩 3개이다. 주변 프레임 배근량은 각각 보에 16-D25(철근비9.39%), 기둥16-D25(철근비7.92%) 기초보24-D25(철근비10.56%)로 벽의 수축구속 비율이 크게 되어 있다. 이 벽 시험체와 병행하여 [표 6]에 의한 그림 10(a)에 도시한 1축구속 균열시험도 시행하였다. 이들 시험체는 온습도 변화가 적은 지하비트에 보존 하였다.

[표 6] 콘크리트 배합설계표<sup>32)</sup>

콘크리트의 종류	시멘트의 종류	W/C (%)	s/a (%)	단위량kg/m <sup>3</sup>					슬럼프 (cm)
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제	
N-AE	보통	50	45.2	195	390	745	947	0.20%	18.5
H-AE	조강	50	43.9	203	406	707	947	0.20%	18.0
H-SP	조강	50	46.2	180	360	789	963	0.75%	18.5

\* 주: 혼화제: 리그닌계AE감수제(N-AE, H-AE), 포리칼폰산고성능AE감수제(H-SP)

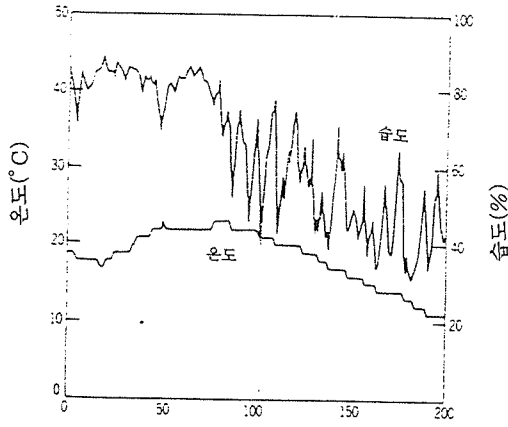




(그림 24) 벽공사체<sup>32)</sup>

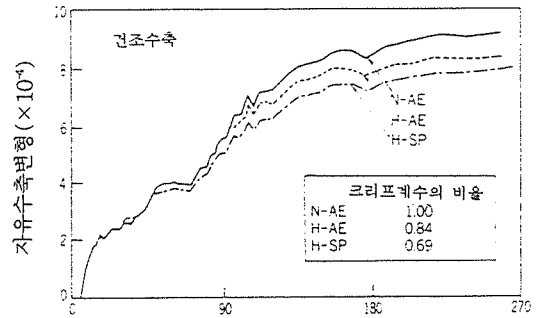
### 3) 기본적 시험자료

일축시험에 관하여 [그림 25]는 시험체보관장소의 온습도 변화상황을 [그림 26]은 각 배합의 자유수축변형과 크리프계수의 비를 [그림 27]은 균열발생후의 균열폭 추이상황을 도시하였다.

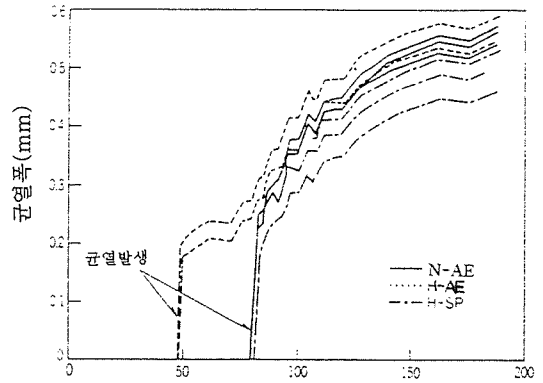


콘크리트재령(일)  
(그림 25) 시험체보관장소의 온습도<sup>32)</sup>

초조강감수콘크리트인 H-SP시험체는 균열폭도 항상 가장 적은 값을 나타내는데, 이는 고성능감수제에 의한 단위수량 및 단위시멘트량의 감소로 소정의 압축강도를 얻을수



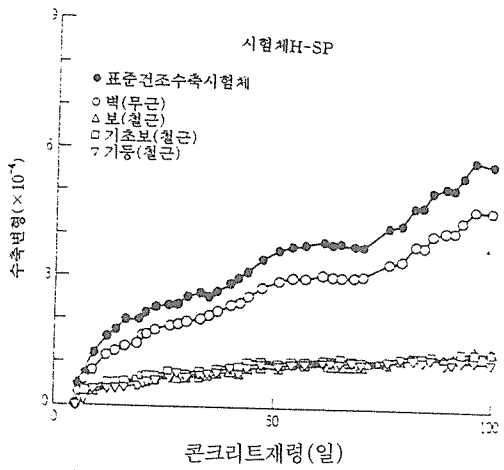
콘크리트재령(일)  
(그림 26) 자유건조수축변형과 크리프계수<sup>32)</sup>



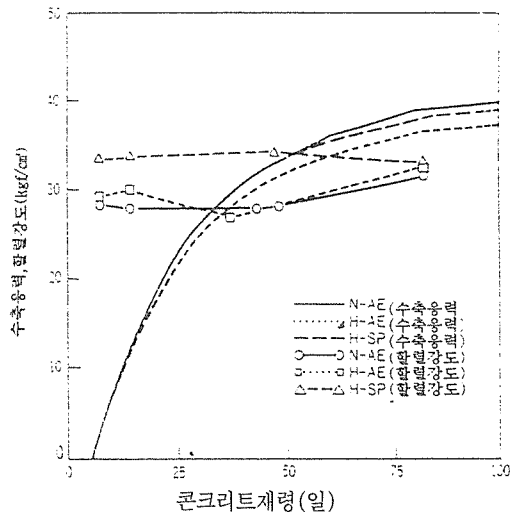
콘크리트재령(일)  
(그림 27) 일축구속 균열시험의 균열폭<sup>32)</sup>

있고 따라서 단위용적당 공극량을 최소화할 수 있기 때문이다. 일본의 다니가와 박사는 콘크리트의 주역이 고성능감수제 등 화학혼화제로 교체되었다고까지 주장한다. 현재콘크리트 배합설계기술은 사회적으로 요구되는 강도 시공성(작업성·속도·간편성), 내구성(중성화·동결융해·염해·철근부식억제·알칼리골재반응억제 등)을 요구에 맞추어 해결할 수 있다.

벽시험체에 대하여는 H-SP시험체 각부의 자유건조수축상황을 [그림 28]에 도시하였다. 이 결과에 의하면 주변프레임의 수축량은 무근벽의 약1/3로 되어있다. 이 수축차에 의하여 벽에는 2차원적인장응력에 의한 균열이



(그림 28) 벽시험체 각부위의 자유건조수축변형<sup>32)</sup>



(그림 29) 콘크리트응력과 팽창인장강도<sup>32)</sup>

발생하게 된다.

#### 4) 벽체의 균열 발생상황

균열 발생에 관계되는 벽내의 인장응력(크리프를 고려한 해석치)과 팽창강도의 추이를 [그림 29]에 도시하였다. H-SP시험체의 경우는 인장응력이 높고(건조수축이 적어도 크리프계수가 적다) 팽창강도가 충분히 크기 때문에 균열발생은 낮게 나타나는데 이 실험결과를 [그림 30]에 도시하였다. [그림 30]에

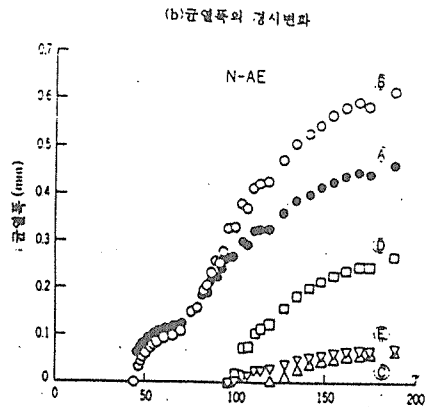
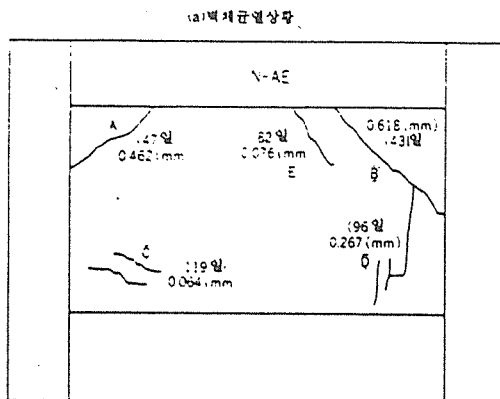
서는 각 공시체의 벽면내에서 균열발생 상황 및 벽면내에서 각점의 균열폭 추이상황이 도시되어있다. 그 결과는

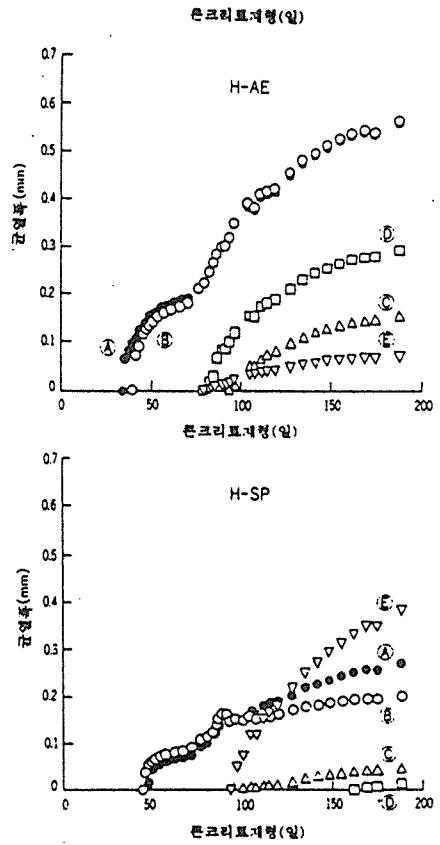
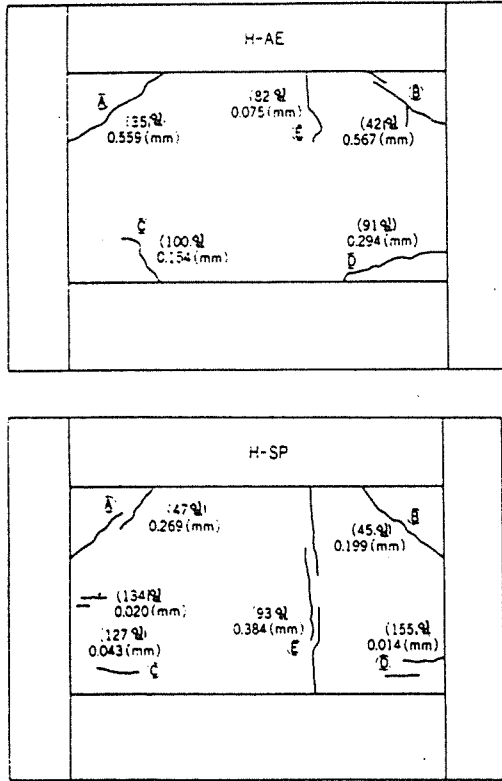
##### ① 균열발생일

조강C(35) < 보통 초조강 C(47일)

##### ② 균열폭

조강·보통C > 초조강C(1:0.89)로 정리된다. 이것은 일축구속시험결과로도 안정적으로 일치되는 것이 이해되었다.





(그림 30) 벽체균열상황 및 균열폭의 경시변화<sup>32)</sup>

따라서 초조강감수콘크리트는 크리프계수 및 건조수축량이 보다 적고, 인장강도가 충분히 높은 것 등에 의하여 염려되는 균열성상에 대하여는 보통콘크리트나 조강콘크리트와 동등하거나 오히려 그 이상 우수한 것이 밝혀졌다.

#### 다. 구조설계에의 영향

초조강감수콘크리트는 원리에서도 기술한 바와 같이 설계기준강도가 재령1~3일의 초기재령에서 얻어지도록 배합강도를 높인다. 설계기준강도보다 실제 높은 콘크리트를 사용하는 것은 구조설계상 어떠한 영향이 있는가를 검토해보면 보통의 철근콘크리트부재에

서 설계기준강도 200~300kgf/cm<sup>2</sup>에 대하여 초조강감수콘크리트의 강도는 400~500kgf/cm<sup>2</sup>정도로 되므로 2배정도의 강도를 상정하는 것으로 된다.

#### 1) 장기설계에 대한 것

##### 가) 장기설계에 대한 것

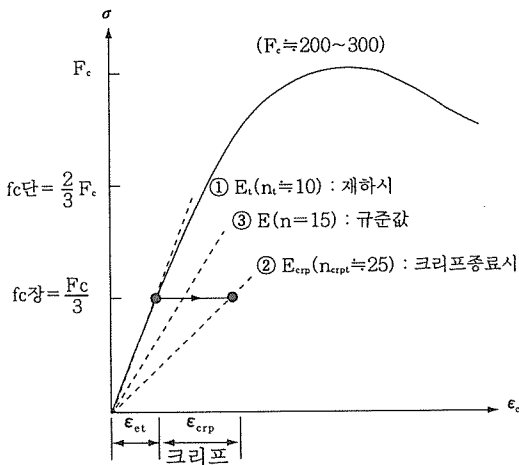
##### (1) 콘크리트와 철근의 응력

축방향압축 철근콘크리트기둥단면을 고려하면 하중(P), 철근과 콘크리트의 압축응력도( $\sigma_s$ ,  $\sigma_c$ ) 및 이들단면적 ( $A_s$ ,  $A_c$ )와의 사이에는

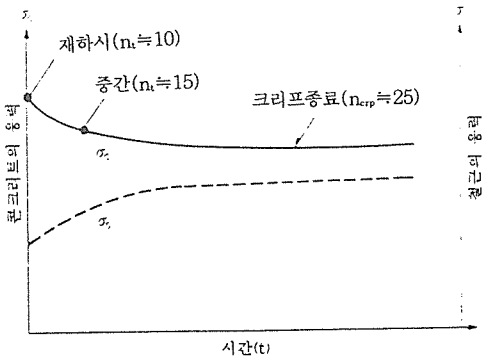
$$P = \sigma_c(A_c + nA_s) \dots \dots \dots (1)$$

의 관계가 성립된다. 여기서 n는 철근과 콘크리트의 탄성계수비로 콘크리트 표준시방서에

는 6이상 정수를 설계기준강도에 따라 사용하도록 규정되어 있고 도로교표준시방서 등에는 설계기준강도에 따라 계산하여 정수로 사용토록 규정되어 있다. 경년변화에 따른 콘크리트강도의 저하에 따른 개념은 명시되어 있지 않다. 그러나 일본 건축학회 철근콘크리트규준에는 장기 단기  $n=15$ 가 규정되어 있다. 이는 허용응력으로  $n$ 값을 계산하기 때문이다. 일본의 규준을 가지고 설명하면 탄성계수는 [그림 31]에 도시한것과 같이 재하직후를 최대로 하여 그후 크리프변형에 의하여 감소하므로 기울기 (등가탄성계수)는 그림에서



(그림 31) 콘크리트의 크리프와 탄성계수(E), 탄성계수비(n)<sup>32)</sup>



(그림 32) 콘크리트의 크리프에 의한 콘크리트( $\sigma_c$ )와 철근

①부터 ②까지 변화한다. 따라서  $n$ 의 값은 보통콘크리트의 경우 10정도부터 25까지 변화한다. 식(1)에 있어서 “P, Ac, As, =일정”으로 되는 조건을 전제로 하면  $n:10 \rightarrow 25$ 의 변화에 의하여  $\sigma_c$ 는 대 $\rightarrow$ 소의 변화를 한다. 이 모양을 [그림 32]에 도시하였다. 한편 압축철근의 응력은  $\sigma_s = n\sigma_c$ 로 주어진다. 콘크리트단면이 부담해야 하는 감소된 부분을 철근이 부담하는 것으로 되므로  $\sigma_s$ 는  $\sigma_c$ 의 저하와 함께 증가한다.  $n=15$ 는 크리프의 중간점을 파악하는 것으로 되어 있는 동시에 [그림 31]로부터도 추측되는 것과 같이 단기하중시의 기울기에 대응하는 것으로 된다.

크리프계수  $\phi$ 는  $\phi = \epsilon_{cp} / \epsilon_{el}$ , (그림31참조)로 주어지므로

$$E_i (= E_c) = (1 + \phi) E_{cp} \dots \dots \dots (2)$$

$$\therefore n_{cp} = (1 + \phi) n_i \dots \dots \dots (3)$$

의 관계가 성립된다. 여기서 첨자  $i$ 는 재하직후의 값을 첨자  $cp$ 는 크리프상태시의 값을 의미 한다. 콘크리트표준시방서에서 콘크리트강도 ( $\sigma_c$ )와 탄성계수( $E_c$ )와의 관계는 보통콘크리트의 경우 ( $\gamma=2.3$ )의 경우 다음식으로 표시된다.

$$E_c = W_c^{1.5} \times 4,270 \sqrt{\sigma_{ck}} \text{ (kgf / cm}^2\text{)}$$

또는  $E_c = 15,000 \sqrt{\sigma_{ck}} \dots \dots \dots (4)$  이  $E_c$ 는 [그림 31]의 기울기①을 나타낸다. 식(3), 식(4)를 사용한 여러 가지  $\sigma_{ck}$ 값에 대응한  $E, n$ 의 값을 구하면 [표 7]과 같다. 이  $n$ 값에 의하여 식(1)로부터 철근비(P)1%, 4%,  $\sigma_{ck}$  200kgf/cm<sup>2</sup>와 400kgf/cm<sup>2</sup> 경우  $\sigma_c, \sigma_s$ 등을 구하면 [표 8]과 같다.

여기서 구조설계기준상 우리나라 콘크리트표준시방서와 일본건축학회 철근콘크리트규준의 차이는 우리나라 콘크리트 표준시방서에서는 설계기준강도를 기준으로 하고 일본

[표 7] 압축강도 및 크리프와  $n_{값}^{32)}$

$\sigma_{ck}$	$E_c$ ( $\times 10^5$ )	크리프계수 $\varphi$		
		0	0.5	1.5
		$n_i$	$n$	$n_{crp}$
180	2.01	10.14	15.21	25.35
210	2.17	9.40	14.10	23.50
240	2.32	8.79	13.18	21.97
270	2.46	8.29	12.44	20.73
300	2.59	7.87	11.81	19.68
330	2.72	7.50	11.25	18.75
360	2.84	7.18	10.77	17.95
400	3.00	6.80	10.20	17.00
450	3.18	6.41	9.61	16.02
500	3.35	6.09	9.13	15.22

건축학회 철근콘크리트규준에서는 허용응력을 기준으로  $n_{값}$ 을 산정하는 규준상의 차가 있다. 여기서 실구조물에 작용하는 응력은 재하직후에는 같은 응력이 작용하지만 그후 크리프변형에 의하여 철근이 부담하는 응력이 크게 된다. 결과적으로 일본의 규준은 구조계산에서부터  $n_{값}$ 을 허용응력으로 산정하기 때문에 같은 설계기준강도를 기준으로 하더라도  $n_{값}$ 은 한국은 10, 일본은 15로 계산되어 구조설계상 큰차가 있고 실제로 콘크리트의 노후화에 따른 기능은 상당한 차가 있다. 다시 말하면 한국의 경우는 재하직후부터 구조상 기능이 저하되는 반면 일본의 경우는 크리프변형이 진행되어 내구년한이 지날 때까지 안전축에 들어 크리프계수가 1.5이하일 때 가서야 기능이 저하 하게 된다.

[표 8] 콘크리트와 철근의 응력에 대한 강도와 탄성계수비의 영향(축방향압축기둥)에

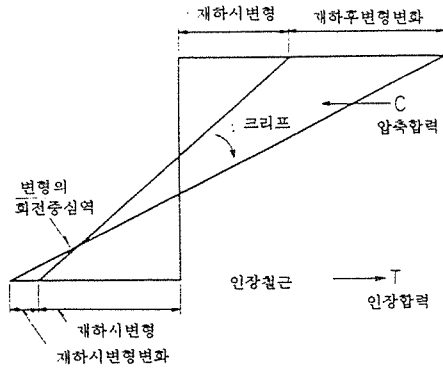
구 분		$\varphi = 0$ (재하시)		$\varphi = 0.5$ (중간기)		$\varphi = 1.5$ ( $t = \infty$ )	
		P=1%	P=1%	P=1%	P=1%	P=1%	P=4%
$\sigma_{ck} = 210$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) [ $\sigma_c = 70$ ] (kgf/cm <sup>2</sup> )	콘크리트의 $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) 철근의 $\sigma_{sc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	n=10		n=15		n=25	
		73.2	80	70	70	64.4	56
		732	800	1050	1050	1610	1400
$\sigma_{ck} = 400$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) [ $\sigma_c = 133$ ] (kgf/cm <sup>2</sup> )	콘크리트의 $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) 철근의 $\sigma_{sc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	n=7		n=11		n=18	
		75.	86.7	72.5	77.8	68.2	65.1
		548	633	798	856	1228	1172

[표 7]로부터 일본의 기준으로 설명하면  $n=15$ 는  $\sigma_{ck}:180\sim 270$ kgf/cm<sup>2</sup>에 대하여  $\varphi=0.5$ , 그리고 크리프 도중값에 대응하는 것이 된다. [표 8]은  $\sigma_{ck} 210$ kgf/cm<sup>2</sup>으로 설계된 부재콘크리트가 실제에는 400kgf/cm<sup>2</sup>로 되는 것으로 하면 그  $\sigma_c, \sigma_s$ 는 어느 정도의 값을 나타내는가를 표시한 것이다. 재료안전율에도 어느 허용압축응력도는  $\sigma_{ck}:210\sim 400$ kgf/cm<sup>2</sup>에 의하여 허용압축응력도는  $\sigma_c:70\rightarrow 133$ kgf/cm<sup>2</sup>로 비례증가하는데 대하여 응력차가 가장 큰  $\varphi=0$ 에 있어서도  $\sigma_c:80\rightarrow 86.7$ kgf/cm<sup>2</sup>( $p=4\%$ 의 경우)로 증가량은 약간이다. 또한  $\sigma_s$ 는  $800\rightarrow 633$ kgf/cm<sup>2</sup>로 대폭 감소한다.

그렇지만  $\sigma_c$ 는 허용압축응력도의 증가율 정도로는 증가하지 않는다. 이것은 허용응력도  $\sigma_c \propto \sigma_{ck}$ 로 되어있는데 대하여  $\sigma_s$ 는  $E_c \propto \sqrt{\sigma_{ck}}$ 와 같이 변화가 적다.  $E_c$ 와 식(1)과 같은 관계로 되어 있다.

이상은 보통콘크리트의 경우이다. 초조강 감수콘크리트와 같이 조강시멘트를 사용한 경우의 크리프변형은 보통시멘트 경우의 60~70%정도로 되므로 [표 8]에 있어서 응력도는  $\varphi$ 가 적은축의 수치에 낙착된다.

다음으로 휨재에 대하여는 [그림 33]에 도시한 것과 같이 휨압축축의 콘크리트가 크리프변형을 일으키므로 중립축이 아래로 내려와 압축연응력  $\sigma_c$ 는 [그림 32]와 같은 과정을 거쳐 감소된다. 이때 단면의 변형분포 회전중



(그림 33) 크리프에 의한 단면변형분포의 변화<sup>32)</sup>

심은 인장철근 위치 보다 윗면에 있다. 인장 철근응력은 재하초기에 조금 증가하여 그후 거의 일정치를 보지 n=10으로 된다. 단면설 계에 있어서 탄성계수비 n가 가지는 의미에 대하여는 구조물에 작용하는 하중의 상태 콘 크리트의 크리프변형 콘크리트노후화에 따른 구조물의 내구년한 동안의 건전도 등이 관련 된다.

이상과 같이 콘크리트의 실강도가 설계기준 강도 보다도 대폭 크게 되어도 철근 및 콘크리 트의 응력관점으로부터는 안전측으로 된다.

## (2) 균열폭

균열폭 산정식에 대하여 고려하면

$$W_{\max} = 1.5W_{av} = 1.5l_{av} \cdot \epsilon_{t,av} \dots\dots(5)$$

$$l_{av} = 2\left(C + \frac{S}{10}\right) + \frac{\chi\phi}{P_e} \dots\dots(6)$$

$$\epsilon_{t,av} = \frac{1}{E_s} \left( \sigma_t k_1 k_2 \frac{\sigma_t}{P_e} \right) \dots\dots(7)$$

$$k_1 k_2 = \frac{1}{2 \times 10^3 \epsilon_t \cdot av + 0.8} \dots\dots(8)$$

여기서  $W_{\max}, W_{av}$  : 최대 및 평균 균열폭(mm),  
 $l_{av}$  : 평균균열 간격,  $\epsilon_{t,av}$  : 평균철근변형,  
 $C$  : 피복두께,  $S$  : 철근간격,  $\phi$  : 철근직 경,  $P_e$  : 인장철근의 콘크리트인장단면적비

( $a_t / A_{ce}$ ),  $E_s$  : 철근의 탄성계수,  $\sigma_t$  : 콘크리 트의 인장강도,  $\chi$  : 정수

이들식에 의해 콘크리트의 강도가 관계되 는 식(7)의  $\sigma_t$ 가 관계된다.  $k_1, k_2$ 의 항은 식 (8)에서와 같이  $\epsilon_{t,av}$ 가 포함되어 있다.  $k_1, k_2$  를 일정으로 가정하면

$\sigma_t \rightarrow$  큼  $\Rightarrow$  식(7)  $\epsilon_{t,av} \rightarrow$  작음  $\Rightarrow$  식(5)  $W \rightarrow$  작음  $\dots\dots(9)$

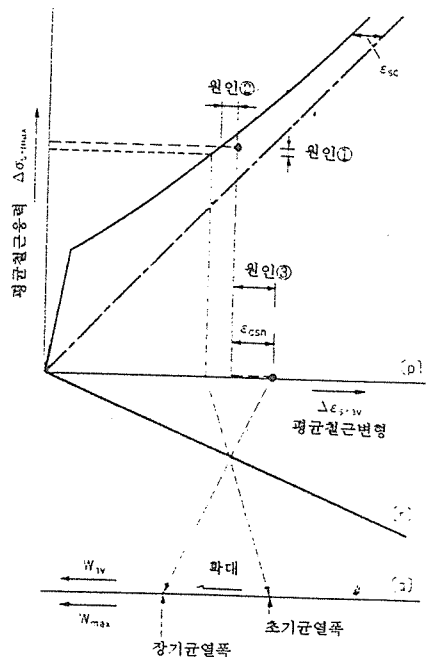
로된다. 식(8)에서

$\epsilon_{t,av} \rightarrow$  작음  $\Rightarrow k_1, k_2 \rightarrow$  큼  $\Rightarrow$  식(7)  $\epsilon_{t,av} \rightarrow$  작 음  $\dots\dots(10)$

일정으로 가정된  $k_1, k_2$ 는 실제로는 크게 되므 로  $W$ 는 한층 적게 된다.

한편 재하후의 크리프, 건조수축에 의하여 [그림 34]에 도시한 것과 같이 균열폭  $W$ 는 증대한다([그림 34]아래쪽 [q] 축부참조). 그러나 3가지 증대원인,

- ① 압축측 콘크리트의 크리프
- ② 인장철근과 콘크리트의 부착상실



(그림 34) 재하후의 균열폭의 확대와 제원인

③ 균열사이 콘크리트의 건조수축  
 은 콘크리트강도가 크게 되면 적게 되므로 재  
 하후의 균열폭 증가량도 압축강도 증가에 의  
 하여 억제되는 것으로 된다.

(3) 처짐

재하시 처짐 및 장기처짐은 콘크리트의 강  
 도증가에 의하여 탄성계수의 증대 크리프의  
 감소 건조수축량의 감소 균열폭감소 등에 의  
 해 감소 한다.

나) 종곡시에 대한 것

(1) 종곡 휨모멘트

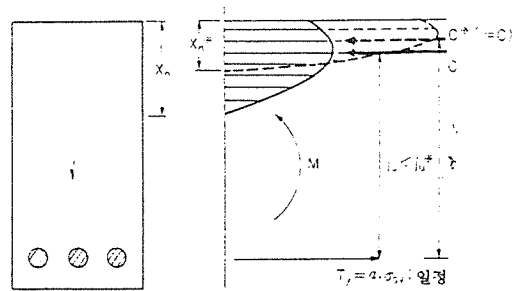
보부재에 대하여 생각해보면 [그림 35]에  
 도시한 것과 같이 인장철근은 항복되므로 철  
 근인장합력  $T = T_y$  : 일정으로 가정하면 강도  
 증가에 의하여 중립축이 올라가 응력중심거  
 리가  $j_u$ 로부터  $j_u^*$ 로 증대하므로 종곡휨모멘  
 트는 이것만큼 증가한다.

(2) 단면신성

이것을 철근계수

$$q = P_t \cdot \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}} = \frac{a_i}{b_d} \cdot \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}} \dots \dots \dots (11)$$

와 같이  $\sigma_{ck}$ 가 크게 되면  $q$ 는 작게 된다. 신성



- 항상  $C = T_y (=일정) = C^*$
- ∴ 압축스트레스분포면적은 불변( $C = C^*$ )
- ∴  $j_u < j_u^*$ 로 된다
- ∴  $M_u = C j_u < C j_u^* = M_u^*$

[그림 35] 콘크리트의 고강도화와 종곡 휨모멘트의 증  
 은 증가하므로 안전측으로 된다.

다) 구조물의 진동성상

이것에 대하여는 구조물의 고유주기가 어  
 떻게 되는가  $E_c \propto \sqrt{\sigma_{ck}}$ 의 관계에서  $E_c$ 가 크  
 게 된다. 따라서 구조물의 강성이 증가하여  
 고유주기는 짧게 된다. 고유주기가 작게되는  
 것이 내진상 유리하게 되는가 불리하게 되는  
 가는 지반의 진동특성, 기초의 종류 등의 제  
 조건에 의한 것으로 일반적으로 결론질 수는  
 없다.

<다음호에 계속>