

# 조강 시멘트를 이용한 공장제품의 적용사례

이 종 열 (쌍용양회 기술연구소 소장)  
 엄 태 선 (쌍용양회 기술연구소 실장)  
 이 원 암 (쌍용양회 기술연구소 주임연구원)  
 이 근 호 ((유)한스 사장)

## 1. 서 론

일반적으로 시멘트를 주원료로 하여 공장에서 일정 규격으로 생산하는 제품을 시멘트 2차 제품이라고 불리우고, 또한 레미콘을 사용한 현장타설 방식(습식공법)과 구분하여 공장에서 생산하여 현장으로 운반, 조립하는 방식(건식공법)의 콘크리트 제품이라고 불리우나 콘크리트표준시방서(2003년)에서는 공장제품이라 규정하고 있다.

공장제품, 즉 콘크리트 제품은 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete, PC)의 일종으로 무근 콘크리트, 철근 콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트 등으로 구분할 수 있다.

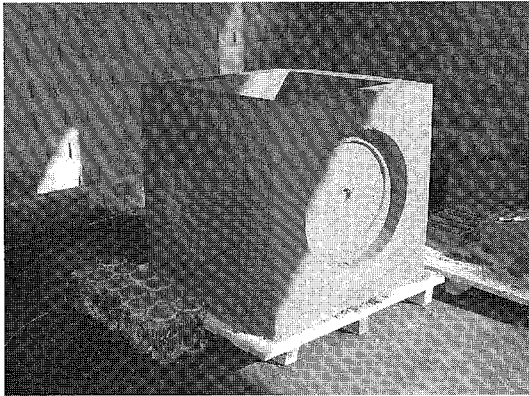
이것은 제조공정이 일관되게 관리되어 있는 공장에서, 연속적으로 제조되는 제품에 대한 것으로서 규격화된 제품의 대량생산을 의미하며 숙련된 작업원에 의하여 안정된 품질에서 상시 제조가 가능하고, 형상이나 성형법에 따라 다양한 형상의 제품을 만들 수 있는 많은 장점이 있다. 이러한 공장제품을 제조할 때는 소요의 품질 및 성능을 갖는 것을 얻을 수 있도록 사용되는 재료, 배합, 비비기, 성형 및 양생 등에 대하여 주의하여야 한다. 또한, 제품의 취

급, 운반, 조립 및 접합 등에 있어서는 공장제품의 품질과 성능이 손상되지 않도록 하여야 한다.

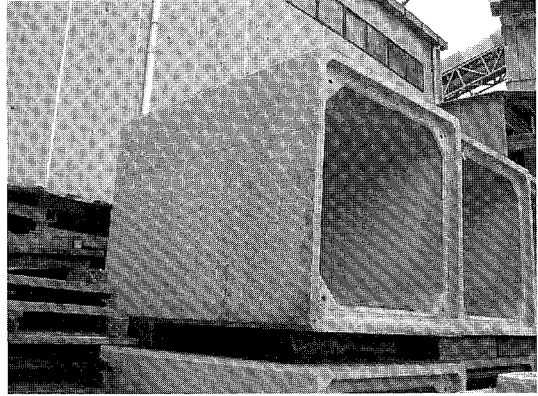
일반적으로 공장제품은 거푸집 회전을 제고나 조기출하를 위하여 물-시멘트비를 낮게 한 된 비빔 콘크리트를 공장에서 제조하여 강제 거푸집에 투입한 후, 진동테이블이나 진동다짐봉을 사용한 진동 다짐이나 원심력 다짐, 가압 다짐, 진공 다짐 등 강한 진동이나 높은 압력으로 성형하여 표면 마무리를 한 후 상압 증기양생이나 고온고압 수증기를 사용하는 오토클레이브(Autoclave) 양생과 같은 축진양생을 실시하고 있다.

공장제품에서 요구되는 콘크리트는 굳지 않은 상태에서 제품 제조공정의 특성에 적합한 작업성과 유동성을 나타내고, 경화 후에는 목표하는 물성(압축강도 외)과 장기적으로는 내구성(탄산화, 동결융해 저항성 외)을 확보하여야 한다.

따라서, 본고에서는 이러한 공장제품(4각 맨홀)의 품질개선 및 적용성을 위하여 우선적으로 콘크리트의 조강화 및 조강 시멘트의 기초특성을 소개하고, 조강 시멘트를 사용한 실험실적 배합검토, 현장 적용 및 품질 모니터링을 통하여 공장제품의 적용을 위한 활용자료를 제공하고자 한다.



건식제품(4각 맨홀)



습식제품(압거)

〈사진-1〉 공장제품 일례

## 2. 콘크리트의 조강화

### 가. 콘크리트 제품의 고기능성 요구

현재까지 개발된 콘크리트의 고성능화 고기능성 화한 제품으로는 초고강도 콘크리트, 초조강 콘크리트, 초경량 콘크리트, 고유동 콘크리트, 식생 콘크리트, 내화학성 콘크리트, 내오염성 콘크리트, 방균 콘크리트 및 전기전도성 콘크리트 등이 있다.

이중 콘크리트의 고강도화는 가장 많은 관심을 보이는 분야로서 기본적으로 조강성 시멘트를 사용하고, 가능한한 물-시멘트비를 적게 사용하며, 고성능 혼화제의 활용 및 혼화제(플라이애쉬 외)의 첨가 등으로 접근하고 있다. 또한, 시멘트 자체의 고강도화, 골재의 개선 및 골재와 시멘트 계면과의 부착력 증대 등, 다양한 방법이 함께 검토되고 있다. 그러나, 실제적으로 공장에서는 제품의 탈형시기 단축, 무증기양생 및 양생초기에 제품의 취급(운반 등)시 하자발생 저감 등의 품질개선을 요구하는 바 이를 위한 콘크리트의 조강성 발현과 아울러 재료적인 측면에서의 해결방안에 대한 검토가 필요하다.

조강화 방안으로는 초기 수화특성이 우수한 조강 시멘트를 추천하고 있는데 특히, 조강성 발현 및 무증기 양생을 위해서는 조강 시멘트의 사용이 필수적

이며, 아울러 특수 혼화제를 첨가하여 그 성능향상을 시도하고 있다. 다양한 콘크리트 제품의 등장은 건설공사 방식에도 영향을 미치고 있으며 규격화 및 표준화에 의한 공기단축으로 공사비 절감효과와 공사품질 향상에도 기여하고 있다. 향후, 공장제품은 현장타설 콘크리트와의 기술을 접목한 복합화 공법으로의 발전이 예상된다.

본고에서는 조강 시멘트를 적용하여 공장제품(4각 맨홀)의 초기출하를 위한 조강성 발현을 목표로 하였다.(<사진-1>)

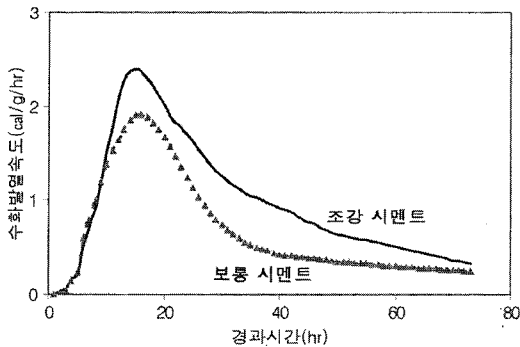
### 나. 조강 시멘트의 수화발열 특성

KSL 5201에서 보통(1종) 시멘트와 조강(3종) 시멘트의 특성을 규정하고 있는데, 조강 시멘트는 대부분 보통 시멘트와 유사한 성질을 나타내지만 비표면적, 초기·장기강도 및 초기 수화열이 큰 특징이 있어 고강도 콘크리트 및 조기 탈형 제품의 제조에 활용할 수 있다.(<표-1>)

### 다. Maturity 개념을 이용한 품질관리

일반적인 현장에서 콘크리트의 품질관리는 재령, 즉 시간만을 변수요인으로 하여 강도를 구하는 것으

〈표-1〉 시멘트별 수화발열속도



로 하고 있으나, 본고에서는 Maturity 개념을 도입한 품질관리 기법을 소개하고자 한다. 즉, 콘크리트의 강도발현은 시간변수 뿐만 아니라 타설 후 양생기간중의 내부온도 상승에 의한 영향을 크게 받는데 특히, 외기 양생을 주로 실시하는 공장제품의 제조시, 급격한 외기 변화에 따른 콘크리트의 품질편차가 심한 실정이다.

생산제품의 시간별 수화열을 계측하여 재령을 포함한 누적 값으로 콘크리트의 Maturity를 나타내었으며 실제 공시체 강도 값과의 상관성을 구하여 공장제품의 품질관리 기법으로 이용할 수 있다. 실험을 통하여 구한 신뢰성 높은 상관식으로 요구 강도발현에 필요한 최소 양생시간과 적정 양생온도에 대한 정량적인 정보를 얻을 수 있으며, 이를 공장제품의 최적제조 조건을 판단하는 중요한 자료로 활용할 수 있다.

Maturity는 콘크리트의 강도를 콘크리트 온도와 시간과의 함수로서 일반적으로 〈식-1〉로 나타낸다.

$$M = \sum_0^t (\theta + A) \Delta t \quad (\text{식-1})$$

여기서,

M : Maturity(°D·D(°C·Day, °C·hr))

θM : Δt 시간 중의 콘크리트 일평균 양생온도(°C)

A : 정수(일반적으로 10°C 사용)

Δt : 시간(일(day))

다만, θ는 가열보온양생 혹은 단열보온양생을 하

는 기간에서는 콘크리트의 예상 일평균 양생온도로 하며, 위의 보온양생을 하지 않은 기간에는 예상 일평균 기온으로 한다.

### 3. 실험실적 배합검토

#### 가. 실험개요

시멘트는 보통 시멘트, 조강 시멘트 및 조강 시멘트+플라이애쉬(치환율 약 15%)를 사용하였으며 양생비 절감을 위한 방안으로 조강 시멘트+혼화제(AC) 배합을 검토하였다.

잔골재율은 45%로 고정하였으며 혼화제는 현재 공장에서 사용중인 S사의 리그닌계 AE감수제를 입수하여 사용하였다. 공장에서 제품출하 강도를 20 MPa(3일 이내)로 관리하는 바 이를 위해 사용재료 및 배합을 검토하였다.〈표-2〉

배합설계는 설계기준강도 30MPa를 목표로 하고 변동계수 10%를 할증하였으며, 이를 기준으로 배합강도 값을 구하였다. 배합은 보통 시멘트 대비 조강성을 확보할 수 있는 범위에서 조강 시멘트의 사용량을 선정하였으며, 작업성 및 경제성을 고려한 플라이애쉬 치환 배합을 검토하였다.

조강성 발현을 검토하기 위한 시멘트 종류별로 배합설계한 결과는 〈표-3〉과 같다.

#### 나. 실험결과 분석

〈표-4〉에서와 같이 양생조건 및 시멘트 사용량에 관계없이 재령 3일내에서 목표강도 값(20MPa)에 대부분 만족하는 결과를 얻었다.

보통 시멘트를 사용한 1N-1 배합 대비 1H-4 배합의 경우, 조강 시멘트량이 적음에도 불구하고 동등 이상의 강도발현 결과를 나타내고 있다.

아래의 〈표-5〉는 초기 재령에서의 시멘트별 강도 특성을 나타낸 것으로, 조강 시멘트 및 조강 시멘트+AC 배합에서 보통 시멘트 대비 초기에 강도특성

〈표-2〉 실험조건 및 특성평가(조강성)

구분	세부내용	비고	
실험 조건	시멘트	보통(N), 조강(H)	—
	잔골재	강사, 비중 2.60	—
	굵은골재	Gmax 25mm 쇄석, 비중 2.65	—
	혼화제	리그닌계 AE감수제 표준형	S사의 N제품(AD)
	혼화재	플라이애쉬(FA), 백색분말 결정(AC)	—
	양생조건	표준, 증기(50℃) <sup>주1)</sup> , 외기	—
특성 평가	슬럼프	6 ± 2.5cm	KS F 2402
	공기량	4.5 ± 1.5%	KS F 2421
	재령별 강도	16h, 1, 3 및 28일	KS F 2405

주1) 증기양생 조건 : 전치(1hr)→승온(2hr)→등온(3hr, 50℃)→강온

〈표-3〉 배합설계표

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					AD (B×%)	AC (B×%)	비고
			W	C	FA	S	G			
1N-1	43.2	44.7	180	417	0	764	963	1.5	0	—
1H-2	43.2			417	0	763	962	1.5	0	—
1H-3	44.9			175	390	0	779	982	1.3	0
1H-4	47.3		370		0	786	991	1.3	0	외기
1HF-5	44.9		330	60	776	979	1.0	0	—	
2H-1	47.4	45	180	380	0	764	952	1.5	0	—
2H-2	47.4			380	0	764	952	1.3	1.0	외기

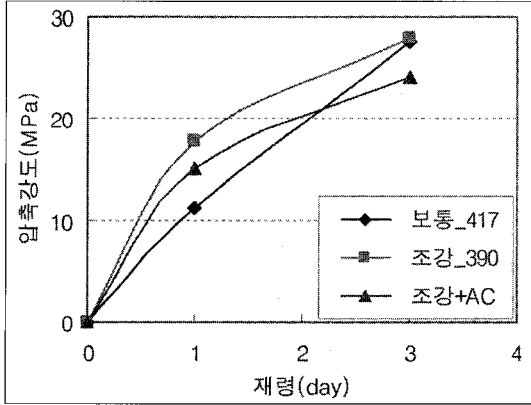
여기서, N : 보통 시멘트, H : 조강 시멘트, FA : 플라이애쉬

〈표-4〉 특성 실험결과표

구분	양생	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)				비고
					16h	1D	3D	28D	
1N-1D	표준	417	7.0	4.4	6.8	11.2	27.5	44.5	1종
1N-1M	증기				16.9	21.2	27.9	38.0	
1H-2D	표준	417	4.0	4.0	13.9	21.9	35.6	48.0	—
1H-3D	표준	390	5.0	6.0	11.1	17.8	28.0	38.9	추천
1H-4D	표준	370	3.5	3.7	10.9	19.8	32.6	47.2	—
1HF-5D	표준	330+60	5.0	5.8	5.9	13.6	25.2	37.3	—
1HF-5M	증기				16.1	19.9	23.1	31.4	
2H-1D	표준	380	8.0	6.0	5.6	9.2	21.5	36.0	—
2H-2D	표준	380	7.5	5.6	10.7	15.1	24.1	35.7	추천
2H-2R	외기				12.6	17.1	21.9	33.5	

여기서, D : 표준양생, M : 증기양생, R : 외기노출

〈표-5〉 초기 재령에서 시멘트별 강도특성(표준양생)



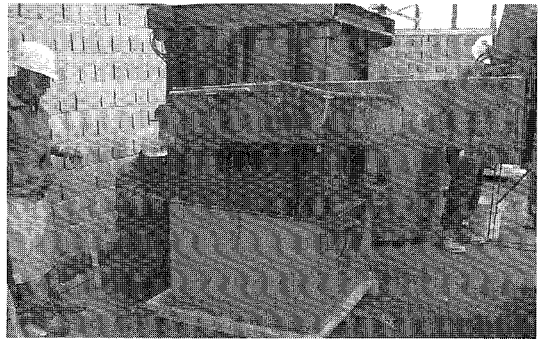
이 우수하게 발현되고 있는 것을 확인하였다.  
 이상의 분석을 종합한 결과, 조강성 발현을 위한 목표강도를 만족하는 조강 시멘트의 단위 사용량은 380~400kg/m<sup>3</sup>이다.

4. 현장적용, 품질모니터링 및 특성 분석

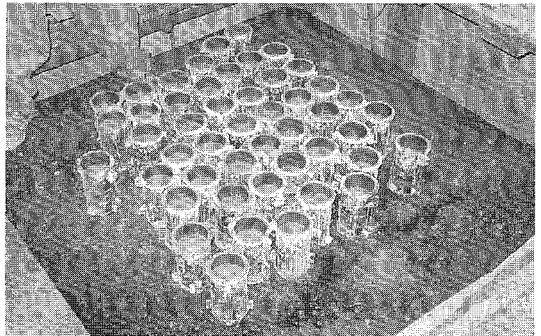
가. 제품(4각 맨홀) 적용 및 품질모니터링

(1) 현장적용을 위한 실험조건

〈표-6〉과 같이, 각 시멘트 조건에 따른 양생별 제품을 각각 제작, 총 9개 제품에 적용하였으며 동일



①제품(4각 맨홀) 즉시 탈형



②진동다짐(테이블) 공시체 제작

〈사진-2〉 제품(4각 맨홀) 탈형 및 공시체 제작 전경

조건으로 공시체를 제작하였고 표준양생 조건을 추가하여 비교 검토하였다.〈표-7〉, 〈사진-2〉  
 조강성 발현을 위한 실험실적 검토를 토대로 보통

〈표-6〉 제품 적용 주요조건

제 품	혼 화 제	시 멘 트	단위량(kg/m <sup>3</sup> )	양 생 방 법	공 시 체	특 성 평 가
4각 맨홀	S사 N제품	보 통	322	증기, 실내, 외기, 표준	48개	슬럼프, 공기량, 적산온도, 압축강도
		조 강	300		48개	
		조강+AC	300		48개	

〈표-7〉 제품 적용 시방배합

시 멘 트	W/B (%)	S/a (%)	단 위 량(kg/m <sup>3</sup> )					AD (B×%)	AC (B×%)	비 고
			W	C	S	G1	G2			
보 통	51.7	49	167	322	926	478	486	1.5	진동다짐 (테이블)	
조 강	53.3		160	300	943	485	499	1.5		
조강+AC								1.5		2.0

단, 시료배합은 0.9m<sup>3</sup> 기준(제품은 약 0.8m<sup>3</sup> 소요예상, 0.1m<sup>3</sup>로 공시체 제작)

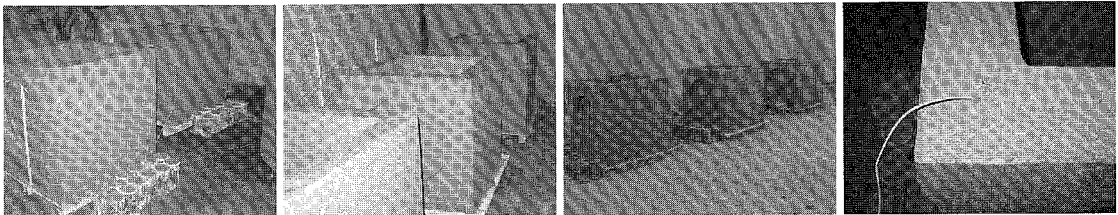
〈표-8〉 건식제품 단위 재료량 및 양생조건

제품	시멘트	단위량(kg/m <sup>3</sup> )	제작시간	외기양생	비고
4각 맨홀	보통	322	11:00	비닐덮개 후 노출	- 실내 <sup>주1)</sup> : 비닐덮개 - 증기 <sup>주2)</sup> , - 외기 <sup>주3)</sup>
	조강	300	15:00	노출	
	조강+AC	300	16:30	노출	

주1) 제품 공장내부 거치 및 통기조건

주2) 양생실 내부보온 조건, 단 통기차단 및 75°C 증기양생 18:00~20:00(2시간 공급)

주3) 공장외부 거치, 단 보통 시멘트의 경우 비닐덮개 설치(수분증발 방지)



① 실내양생(공장내부 거치) 조건

② 양생실(증기양생 2h) 내부 조건

③ 외기양생(노출) 조건

④ 온도센서에 의한 수화열 계측

〈사진-3〉 제품(4각 맨홀) 공장적용 전경

시멘트 대비 단위 재료량을 감소하여 조강 시멘트 배합을 선정하였으며 그 세부내용은 〈표-8〉, 〈사진-3〉과 같다.

(2) 적용제품의 압축강도 특성 분석

〈표-9〉에서와 같이, 조강 시멘트를 적용하여 보통 시멘트 대비 약 30% 이상의 조강성(재령 3일 조건)을 나타내었고, 열악한 양생조건에도 불구하고 본 적용의 목표인 조강성 발현(재령 3일 20MPa강도 기준)을 달성하였다.

실험실적 배합에서 검토한 결과와 마찬가지로 상기 그림에서와 같이 현장적용 배합에 따른 초기 강도특성이 보통〈조강〈조강+AC배합 순으로 크게 나타나고 있다. 특히, 재령 1일에서 보통 시멘트 대비 조강 시멘트를 사용한 배합이 뛰어난 조강성을 발현하므로 4각 맨홀을 취급하는데 유리할 것으로 판단된다.(〈표-10〉)

(3) 비파괴 시험(반발 경도법)에 의한 압축강도 추정

콘크리트의 압축강도를 조사하는 방법은 파괴검

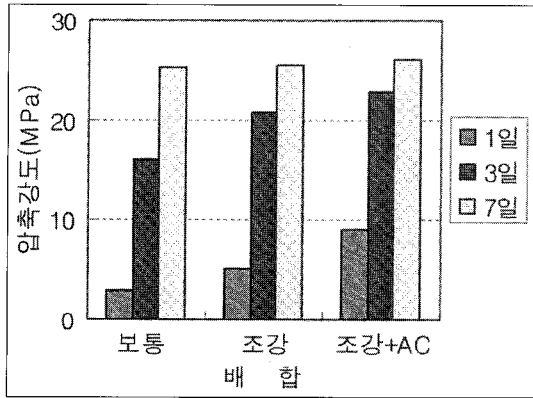
사법과 비파괴검사법으로 크게 구분할 수 있다.

파괴검사법은 기존의 콘크리트 부재에서 코어를 채취하여 강도와 기타 물성을 조사하는 것으로서 신뢰성 있는 값을 얻을 수 있으나 이를 위한 비용 및 시간이 필요하다.

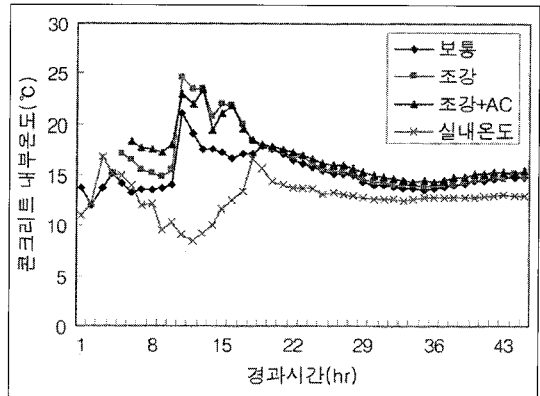
〈표-9〉 적용제품의 압축강도비 분석

구분	양생	압축강도비			
		1D	3D	7D	28D
보통	표준	100%	100%	100%	100%
	증기	100%	100%	100%	100%
	실내	100%	100%	100%	100%
	외기	100%	100%	100%	100%
조강	표준	176%	130%	101%	87%
	증기	165%	132%	111%	91%
	실내	211%	141%	122%	92%
	외기	177%	120%	116%	97%
조강 + AC	표준	310%	143%	103%	83%
	증기	168%	134%	109%	93%
	실내	278%	155%	134%	85%
	외기	223%	148%	112%	102%

〈표-10〉 현장적용 배합에 따른 초기 강도특성 (표준양생)



〈표-12〉 배합별 콘크리트 내부온도 변화 (실내양생 조건)



비파괴검사법은 구조물에 손상을 주지 않고 소정의 물성을 얻는 것으로, 간단하게 현장에서 활용하고 있으며, 대표적으로 반발경도법, 초음파법, 적외선촬영법 및 페놀프탈레인법 등 그 종류가 다양하다. 본고에서는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)를 사용한 반발 경도법을 이용, 경화 콘크리트의 압축강도를 추정하고 실제 공시체에서 얻은 값과의 비교 분석을 실시하였다.

〈표-11〉에서와 같이 조강 시멘트의 경우, 실측값과의 신뢰성 있는 결과를 나타내며, 슈미트 해머(Schmidt Hammer)를 이용한 품질관리가 가능할

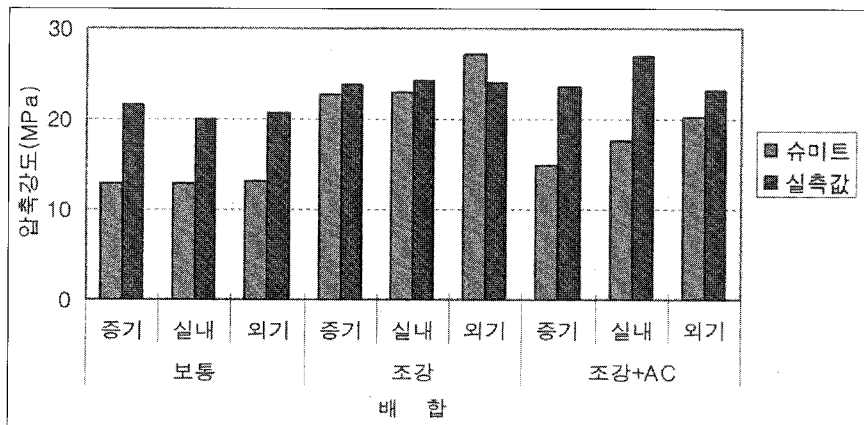
것으로 판단된다.

(4) 실내양생 조건에서 Maturity 해석을 통한 강도 상관성 분석

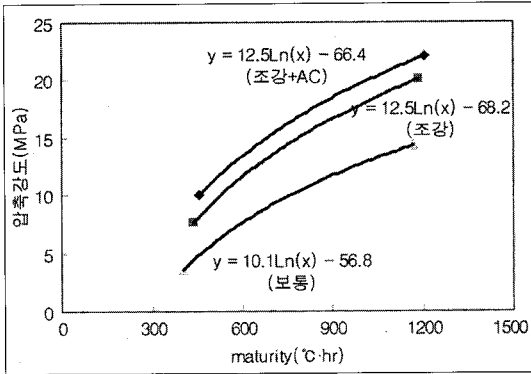
건식제품인 4각 맨홀에 적용한 조강 시멘트 배합에서는 수화열로 인한 초기 강도발현이 우수하게 나타났으며, 공장내부에 존치한 콘크리트 초기의 내부온도는 다음 〈표-12〉와 같다.

동일 강도를 얻기 위한 Maturity 값은 보통 시멘트가 크므로, 제품의 양생 및 야적장 존치에 더욱 많은 시간이 필요하다. 다양한 실험을 통한 상기와 같

〈표-11〉 건식제품의 현장적용 배합별 슈미트 해머 및 실측값 비교



〈표-13〉 Maturity와 압축강도 상관성 (실내양생 조건)



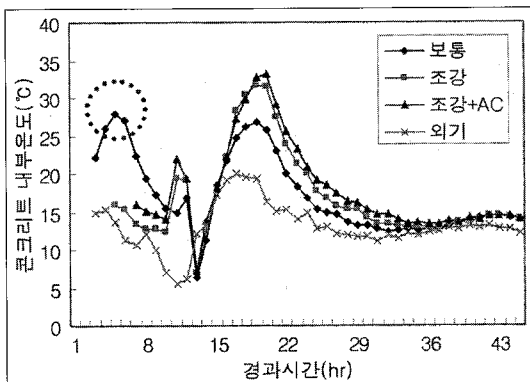
은 Maturity 및 압축강도 상관성을 도출한다면 양생조건(시간, 방법)에 따른 품질관리가 용이할 것이다. (〈표-13〉)

(5) 외기양생 조건에서 Maturity 해석을 통한 강도 상관성 분석

다음 〈표-14〉에서 보통 시멘트를 사용한 제품의 경우, 수분증발을 방지하고자 비닐덮개를 사용하였기 때문에 초기 콘크리트 내부 온도값이 높게 나타나고 있으나, 이로 인한 초기 강도발현에는 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

제품생산 후 2일째의 외기온도가 올라감에 따라

〈표-14〉 배합별 콘크리트 내부온도 변화 (외기양생 조건)



〈표-15〉 재령에 따른 적산온도 및 강도 값 (외기양생 조건)

구 분		실 측 값	
		1D	3D
보 통	적산온도(°C·hr)	418.4	1212.5
	압축강도(MPa)	4.8	15.3
조 강	적산온도(°C·hr)	420.9	1196.9
	압축강도(MPa)	8.5	18.4
조강+AC	적산온도(°C·hr)	464.6	1254.4
	압축강도(MPa)	10.7	22.7

콘크리트의 내부온도도 비례적으로 상승하고 있으며, 특히, 조강 시멘트 배합 조건의 경우, 우수한 수화특성으로 보통 시멘트 대비 콘크리트의 내부온도가 높게 측정되고 있다. (〈표-15〉)

5. 경제성 분석

보통 시멘트를 사용한 배합의 증기양생 조건의 압축강도와 조강 시멘트를 사용한 배합의 실외양생 조건의 압축강도가 재령에 따라 거의 비슷한 수준으로 나타나고 있는 바 경제성을 분석하기 위해 두 배합의 재료원가를 다음 〈표-16〉과 같이 비교하였고 재료단가는 일반적인 단가를 적용하였다.

이와 같이 재료단가면에서만 살펴볼 경우 조강 시멘트가 보통 시멘트보다 약 5%의 원가상승이 존재하였다.

그러나, 양생조건은 다르나 유사한 품질을 발현하였던 조건에 대한 비교가 설득력이 있는 바, 다음 〈표-17〉에서와 같이 조강 시멘트를 사용할 경우, 경제성을 확보할 수 있는 가능성을 확인하였다. 즉, 조

〈표-16〉 적용제품의 시방배합 및 순수재료비 비교

시멘트	단 위 량(kg/m³)					순수재료 금액비(%)
	W	C	S	G1	G2	
보 통	167	322	926	478	486	100
조 강	160	300	943	485	499	105



〈표-17〉 적용제품의 품질특성 및 제비용 비교

시멘트	양 생	압축강도비(%)		제 조 비(%)		총 제조 금액비* (%)
		1D	3D	재료비	양생비	
보 통	증 기	100	100	100	100	100
조 강	실 외	105	115	105	0	87

\* 단, 운송비 별도 조건

〈표-18〉 제품별 추천배합

구 분	시멘트	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량(kg/m <sup>3</sup> )		AD (B×%)	AC (B×%)
				W	C		
건 식 (4각 맨홀)	보 통	52	49	160~170	310~330	1~1.5	0~2
	조 강	53	49	155~165	290~310		

강 시멘트의 특성을 활용하여 양생비를 절감하여 궁극적으로는 전체 제조비용을 낮출 수 있으므로 공장 제품에 있어 조강 시멘트의 선택은 조기 품질확보 및 경제성을 동시에 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

조강 시멘트를 이용한 공장제품(4각 맨홀)의 품질개선 및 적용성 검증을 위하여 다양한 실험실적 시방배합 검토, 현장적용 및 품질 모니터링을 실시한 결과는 다음과 같다.

### 가. 실험실적 배합검토 및 시방배합 추천

시멘트 2차제품 공장에서 생산되고 있는 대형제품의 조강성 발현(건식제품, 4각 맨홀)을 위한 다양한 조건에서의 실험실적 배합을 검토한 결과, 단위 재료량을 감소한 조강 시멘트의 배합을 선정하여,

이에 대한 콘크리트 특성을 확인하였다.

결론적으로 〈표-18〉과 같이 조강 시멘트 적용한 시방배합을 추천하였다.

### 나. 건식제품(4각 맨홀)의 적용 및 품질 모니터링

조강 시멘트를 적용한 배합이 초기 재령(3일)조건에서 보통 시멘트 대비 약 30% 이상의 조강성이 발현됨을 확인할 수 있었고, 보통 시멘트 7일 강도 값을 재령 3일에 발현하는 우수한 조강 특성을 나타내었다.

### 다. 경제성 분석

공장제품에 적용에 있어 조강 시멘트의 선택으로 조기 품질확보와 경제성을 동시에 만족할 수 있는 가능성을 확인하였다. ▲