

# 高流動콘크리트의 凝結特性和 壓縮強度發現

## Setting and Compressive Strength Development of High Flowing Concrete

권 영 진\* 김 무 한\*\*  
Kwon, Young-Jin Kim, Moo-Ilan

### ABSTRACT

High flowing concrete has been made using a combination of different cementitious material. The use of supplementary cementitious material like ground granulated slag is not only interesting from an economical point of view but also from a mechanical and rheological point of view. In the case of high strength concrete, relation between the maturity and compressive strength development of high strength concrete is approximated by applying Gompertz curve and suggested new estimating method.

It is the aim of this study to analysis the effect of different types of mineral fine power on the setting and compressive strength development of high flowing concrete

### 1. 서 론

최근 활발히 연구가 진행되고 있는 고유동 콘크리트는 고성능(AE)감수제의 사용량이 많은 점과 아울러 단위 결합재량이 많고 사용하는 혼화재의 양도 많은 것을 특징으로서 들 수 있다. 혼화재로서 고로슬래그를 사용하는 경우는, 일반적으로 응결시간이 통상의 콘크리트보다 늦어지는 경향이 있고, 또한 고성능(AE)감수제를 다량으로 사용하는 경우에는 더욱 응결시간이 늦어진 것이 예상된다. 따라서 초기 재령에서의 압축강도의 발현이 상대적으로 적게 되므로서 고유동콘크리트의 강도증진의 경향이 보통강도 콘크리트, 또는 고강도콘크리트와 비교하여 상이하게 될 가능성이 높다.

따라서 본 연구에서는 고유동 콘크리트의 응결성상을 검토하고, 나아가 그 후의 강도증진에 관하여 적산온도방식을 사용하여 압축강도 증진 곡선을 유도하는 것을 목적으로 하고 있다.

### 2. 실험계획 및 실험방법

#### 2.1 사용재료 및 콘크리트의 배(조)합

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트와 고로시멘트B종을 사용하고, 미분말계의 혼화제로서 6000블라인급

의 고로슬래그 미분말, 석회석 분말을 사용하였다. 고성능(AE)감수제는 아미노실폰산계, 나프탈린계, 폴리카본산계를 사용하였다. 또한 무염화, 무인칼리타입의 방동성 혼화제도 일부 사용하고, 공기양조정제도 각각의 고성능감수제의 전용의 AE제, 소포제를 사용하였다. 사용재료의 물성을 표 1에 나타내었다.

배(조)합은 기보[1]에서 기술한바와 같이 고유동 콘크리트의 배합을 위한 설정방안을 참조하여 슬럼프플로우치 62~68cm, VF치 20cm이상, 공기양 4.5%를 목표로 하여 시험비법에 따라 결정하였다. 표2에는 강도증진의 검토 시리드로 사용한 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

표 1. 사용재료의 물성

	종 류	사	양
시멘트	보통 포틀랜드	비중: 3.16, 비표면적: 3320cm <sup>2</sup> /g	
	고로시멘트B종	비중: 3.05, 비표면적: 3760cm <sup>2</sup> /g	
세관재	목 사	비중: 2.68, FME: 2.43, 흡수율: 1.17%	
조관재	계 석	비중: 2.91, FME: 6.69, 흡수율: 2.82%	
혼화제	고로슬래그미분말	비중: 2.90, 비표면적: 6080cm <sup>2</sup> /g	
	석회석 분말	비중: 2.73, 비표면적: 5160cm <sup>2</sup> /g	
혼화제		폴리카본산계	
	고성능(AE)감수제	아미노실폰산계	
		나프탈린계	
	방동성혼화제	아황산화합물	

\* 정회원 · 쌍용안선기술사업단, 보수사업팀, 과장 · 공파

\*\* 정회원 · 충남대 건축공학과, 교수 · 공파

## 2.2 고유동 콘크리트의 응결성상

응결성상 시험은 표3과 같은 5종류의 고유동 콘크리트와 비교용의 보통 콘크리트에 관하여 행하였다. 비빔온도 20℃의 모르타르 조건에서 실험을 행하고, 그 후 10℃, 20℃의 조건에서 콘크리트로의 실험을 행하였다. 또한 모르타르 실험 및 10℃ 콘크리트의 실험에서는 표4에 나타낸 바와 같은 고로시멘트 B종의 고유동 콘크리트에 관하여 응결성상에 미치는 방동성 혼화제의 효과를 조사하였다. 사용한 고유동 콘크리트의 조합 및 비빔조건은 기보[1]와 동일하다. 응결시험은 포록다 판임 저항시험에 의해 행하였다.

## 2.3 고유동콘크리트의 강도증진

실험에 사용된 고유동 콘크리트는 결합제, 고성능(AE)감수제에 따라 6종류로 하였다. 비빔온도를 20℃로 하고 타설후의 양생온도를 10℃, 20℃의 2수준으로 하였다. 공기체의 양생방법은 강도 증진 과정을 파악하기 위하여 봉함양생으로 하고, 압축강도의 측정 재형은 강도 증진곡선의 근사를 고려하여 40D·D 으로부터 2730D·D까지 범위에서 적산 온도의 대수축상으로 균등히 분포하도록 8재령으로 하였다. 표5는 실험계획을 나타낸 것이다.

콘크리트의 비빔은 강제교반형 믹서를 사용하여 6분비빔으로 하였으나, 강도 증진의 실험에서는 2축 수평 강제 비빔믹서에 의한 5분비빔으로 하였고 비빔온도는 모두 20℃를 목표로 하였다. 시험체는 10℃, 20℃의 항온항습실에서 양생하고 소정재령 직전에 탈형하고 압축강도 시험을 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 고유동 콘크리트의 응결성상

고유동 콘크리트로부터 조관제만을 제거한 모르타르에 의한 응결시험을 행한 결과를 그림 1에 나타낸다. 그림 1에 의하면, 보통 콘크리트와 비교하여 고유동 모르타르에서 평균하게 응결시간이 지연되는 경향을 볼 수 있다.

그림 2(1)은 비빔을 콘크리트로서 행하고, 그후 웨드스크린닝으로 조관제를 제거한 모르타르에 의한 결과이다. 처음부터 모르타르로 비빔 경우와 비교하여 보면, 보통 콘크리트에서는 응결시간이 늦어지는 경향이나 고유동콘크리트에서는 오히려 빨라지는 경향으로 되었다. 따라서 고유동 콘크리트

표 2. 콘크리트의 배합(강도증진)

종류	비빔 온도 (°C)	W/B (%)	원재료 (kg/m³)						조성비				
			시멘트	모래	골재	기타 혼화제	방동성 혼화제	수축보수제	3일생 AE 감수제 (%)	수축보수제 (%)	방동성 혼화제 (%)		
												시멘트	모래
GA	아미노실리카	35.9	53.1	165	207	-	207	906	789	2.0	0.004	-	
BN	나프탈렌계	35.0	53.0	161	207	-	207	919	803	1.6	0.005	-	
BP	폴리카보산계	33.7	53.0	155	207	-	207	919	803	1.4	0.005	-	
SC	폴리카보산계	32.0	53.0	152	-	475	-	919	803	1.4	0.005	-	
LB	폴리카보산계	32.6	53.1	155	-	372	-	143	909	792	1.4	0.005	-
SC	폴리카보산계	32.0	53.0	152	-	475	-	919	803	1.4	0.005	1.3	

표 3. 고유동 콘크리트의 종류·실험계획 (응결성상의 검토)

기호	콘크리트 종류	결합제비 (%)	고성능 AE 감수제	공기량 (%)	습윤 및 양생 온도 (°C)	방동성 혼화제
OP	비교용 보통콘크리트	55.0	-	-	-	-
GA	OPC·B(6000)고로 순대그	25.0	아미노실리카계	4.5	10	없음
BN		31.3	나프탈렌계			
BP		23.7	-			
SC	고로B종	32.0	폴리카보산계	-	20	-
LB	고로B종+기타 혼화제	32.6	-	-	-	-

표 4. 실험계획 (방동성 혼화제의 검토)

기호	콘크리트의 종류	고성능 AE 감수제	습윤 및 양생 온도 (°C)	방동성 혼화제 (l/c)	목표공기량 (%)
SC	고유동콘크리트	폴리카보산계	10	0	4.5
Y1.0				1.00	
Y1.3				1.3	
Y1.6				1.6	

\* 방동성 혼화제의 사용량은 시멘트 100kg에 대한 용적 / cement = 100kg

표 5. 실험계획 (강도증진)

콘크리트의 종류	기호	결합제	고성능 AE 감수제	공기량 (%)	양생 온도 (°C)	수직방향 (C·D·D)
고유동콘크리트	BP	OPC·6000	폴리카보산	4.5	10	20
	BN	급회	나프탈렌			
	GA	고로시멘트 비분말	아미노산			
	LB	고로B종+기타 혼화제	폴리카보산			
	SC	고로B종	폴리카보산			
고성능콘크리트의 방동성 혼화제 적용	SCA	고로B종	폴리카보산+내분제	-	-	-
보통 콘크리트	OPC	OPC만	-	-	-	2730

를 모르타르 성분만으로 비빔 경우에 보여지는 대폭적인 응결의 지연은, 콘크리트로 한 경우에는 나타나지 않고 보통 콘크리트와 고유동 콘크리트의 응결시간의 차는 크지 않은 경향으로 되었다.

그림 2(2)는 10℃로 비빔 콘크리트의 응결성상을 나타낸 것으로 (1)과 마찬가지로 보통콘크리트와 고유동 콘크리트의 차는 크게 나타나고 있지 않다. 그러나 한편으로는 10℃로 되므로써 슬럼프

결속우치는 20℃의 경우의 90%로 부터 60%정도 까지 저하하는 결과로 되었다. 또한 방동성혼화제를 첨가한 결과에서는 그림2(3)에 나타낸 바와 같이 응결시간이 촉진되었다. 저온에 의한 슬럼프플로우치의 저하는 첨가하지 않은 고유동 콘크리트와 마찬가지로 보여지나 모르타르성분만의 실험에서 보여진 상황과는 달리 방동성혼화제의 첨가량의 증가에 따른 슬럼프플로우치의 저하는 나타나지 않았다.

기왕의 연구기에서도, 콘크리트의 온도가 저하함에 따라 고유동 콘크리트의 유동성이 저하하는 것이 보고되고 있으나 모르타르로서의 실험의 결과와 콘크리트로부터 채취한 몰탈에 의한 결과에 큰 차이가 있다는 것은 보고되지 않고 있다. 고유동 콘크리트의 응결성상, 특히 온도 의존성에 관하여 심도있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.2 고유동콘크리트의 강도증진 성상

#### (1) 고성능감수제의 종류별 압축강도의 발현

3종류의 고성능감수제를 사용하고, 혼화제로서 6000급의 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 콘크리트의 압축강도 시험의 결과를 양생온도별로 그림3에 나타낸다. 또한 그림 4에는 8400시의 압축강도를 100으로 한 강도비를 양생온도별로 나타낸다. 여기에서는 기준문헌[3][4]의 보통콘크리트와 고강도콘크리트의 결과도 병기하였다.

양생온도 20℃에서는 고성능감수제의 종류에 관계없이 모든 고유동 콘크리트의 경우, 몰시멘트비 55%의 보통콘크리트의 결과에 비교하여 고강도이고, 장기재령에서는 몰시멘트비 37%의 고강도 콘크리트와 동등한 수준의 압축강도가 발현함을 알 수 있다. 일반적으로 고강도 콘크리트는 초기재령의 강도발현이 급격하고 강도발현의 경향이 보통콘크리트와는 다른 것이 이미 알려지고 있다.

그림4에 의하면 6000블레인급의 고로슬래그를 혼입한 경우, 고유동 콘크리트의 강도증진의 비율은 고성능감수제의 종류에 관계없이 몰시멘트비 32%와 37%의 고강도 콘크리트 보다는 낮은 정도이고, 55%의 보통 콘크리트와 유사한 경향인 것을 알 수 있다.

한편 10℃에서는 고유동 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트보다는 늦게 발현 되고 있지만, 고강도콘크리트에 비하여 강도의 증진율은 낮고, 20℃의 강도증진율과는 다른 경향을 보이고 있다.

따라서 결속제로서 고로슬래그 미분말을 혼입한

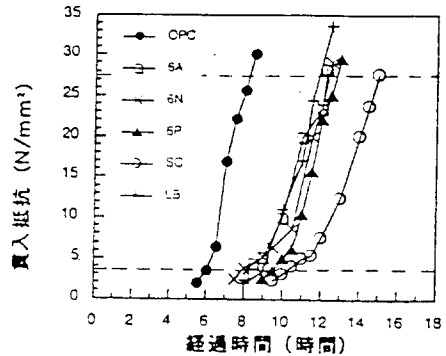


그림1. 고유동모르타르와 보통모르타르의 응결시험결과

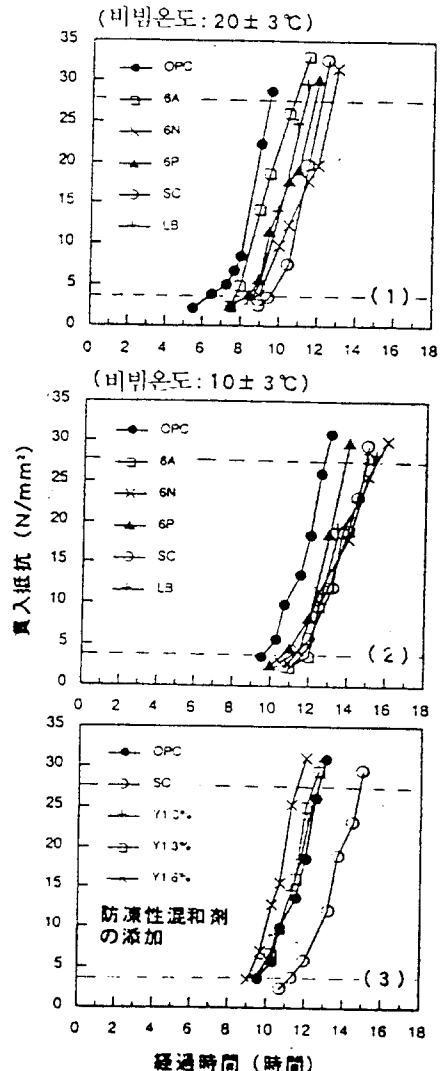


그림2. 고유동콘크리트와 보통콘크리트의 응결시험결과 (웨트스크린 행한 모르타르로 행함)

고유동 콘크리트의 경우에 압축강도 발현율에 미치는 고성능감수제의 영향은 적고 그 경향은 양생온도에 의해 다른 것을 알 수 있다.

(2) 결합재 종류별 압축강도 발현

결합재가 다른 고유동 콘크리트의 압축강도의 시험결과를 양생온도별로 그림 5에 나타낸다. 또한 8401·D시를 100으로 한 강도비를 그림 6에 나타낸다. 양생온도 20℃에는 혼화재의 종류에 관계없이 몰시멘트비 55%의 보통 콘크리트에 비하여 고강도이고, 장기재형에서의 강도의 증가도 보여지고 있다. 양생온도 10℃에서도 몰시멘트비 37%의 고강도콘크리트보다도 강도가 높게 되는 경향으로 되었으며, 특히 결합재로서 고로시멘트만을 사용한 고유동 콘크리트의 압축강도의 발현이 현저하였다.

이러한 결과로부터, 실험에 사용한 물결합재비 35%전후의 고유동 콘크리트의 강도 발현율은 양생온도에 관계없이 몰시멘트비 55%의 보통콘크리트 보다는 빠르고, 몰시멘트비 32%, 37%의 고강도 콘크리트 보다는 느린 것을 알 수 있다. 단, 결합재로서 고로슬라그 미분말을 사용한 경우에는 양생온도 20℃에서는 보통콘크리트와 동등한 수준이었다.

(3) 콤포레쯔 곡선에 의한 고유동 콘크리트의 강도증진과정의 유도

본 연구에서는 고유동 콘크리트의 적산온도의 대수치와 압축강도의 관계가 기왕의 연구에 적용된 콤포레쯔곡선의 경향에 유사하기때문에 이 식을 사용하여 검토를 행하였다.

강도증진 곡선식의 해석은 비선형최소2승법에 의하여 행하였고 식중의 정수는 각 측정치로부터 최소2승의 원리로 뉴턴 가우스 법에 의해 반복 계산을 행하여 결정하였다. 이 반복 계산에 의하여 얻어진 강도 증진식을 고성능감수제의 종류와 결합재 종류로 나타낸 것이 그림 7이다. 고유동 콘크리트의 압축강도와 적산온도의 관계는 상관계수 0.98이상으로 고유동 콘크리트의 강도 증진 과정은 고강도 콘크리트와 마찬가지로 콤포레쯔 곡선을 사용하여 높은 추정정도를 보이고 있어, 고유동콘크리트의 강도발현을 해석하기 위해서는 콤포레쯔의 곡선의 활용이 유효한 것으로 판단된다.

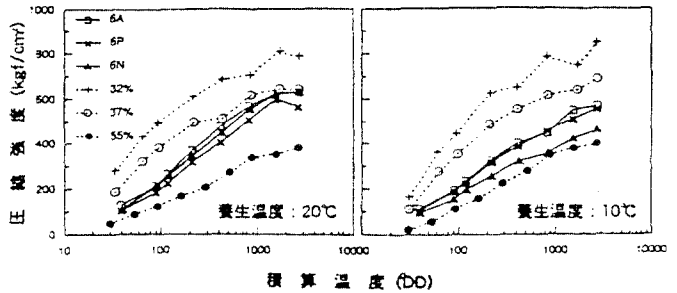


그림 3. 고성능 AE감수제 종류별 적산온도와 압축강도의 관계

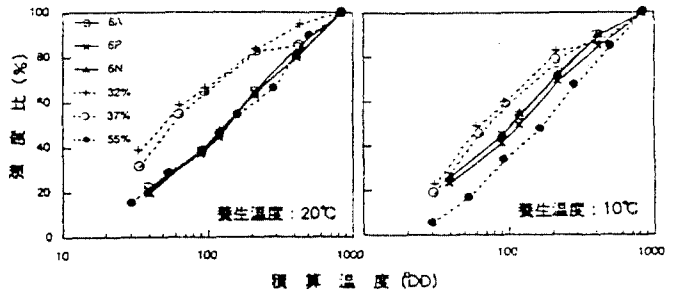


그림 4. 고성능AE감수제 종류별 적산온도와 압축강도비의 관계

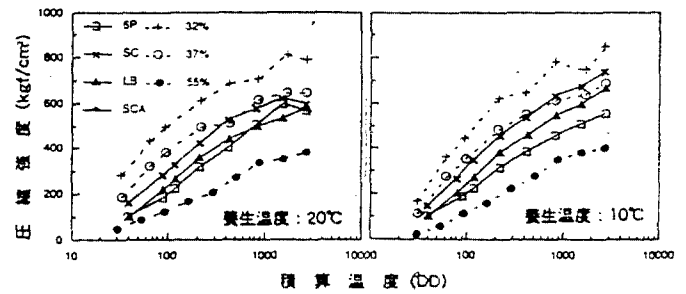


그림 5. 결합재 종류별 적산온도와 압축강도의 관계

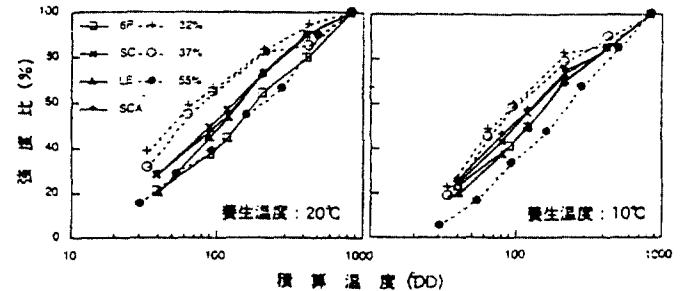


그림 6. 결합재 종류별 적산온도와 강도비의 관계

고유동 콘크리트의 경우에 압축강도 발현율에 미치는 고성능감수제의 영향은 적고 그 경향은 양생온도에 의해 다른 것을 알 수 있다.

(2) 결합제 종류별 압축강도 발현

결합제가 다른 고유동 콘크리트의 압축강도의 시험결과를 양생온도별로 그림 5에 나타낸다. 또한 8401·D시를 100으로 한 강도비를 그림 6에 나타낸다. 양생온도 20℃에는 혼화제의 종류에 관계없이 몰시멘트비 55%의 보통 콘크리트에 비하여 고강도이고, 장기제랑에서의 강도의 증가도 보여지고 있다. 양생온도 10℃에서도 몰시멘트비 37%의 고강도 콘크리트보다도 강도가 높게 되는 경향으로 되었으며, 특히 결합제로서 고로시멘트만을 사용한 고유동 콘크리트의 압축강도의 발현이 현저하였다.

이러한 결과로부터, 실험에 사용한 물결합제비 35%전후의 고유동 콘크리트의 강도 발현율은 양생온도에 관계없이 몰시멘트비 55%의 보통 콘크리트 보다는 빠르고, 몰시멘트비 32%, 37%의 고강도 콘크리트 보다는 느린 것을 알 수 있다. 단, 결합제로서 고로슬라그 미분말을 사용한 경우에는 양생온도 20℃에서는 보통콘크리트와 동등한 수준이었다.

(3) 고펜르쯔 곡선에 의한 고유동 콘크리트의 강도증진과정의 유도

본 연구에서는 고유동 콘크리트의 적산온도의 대수치와 압축강도의 관계가 기왕의 연구에 적용된 고펜르쯔곡선의 경향에 유사하기때문에 이 식을 사용하여 검토를 행하였다.

강도증진 곡선식의 해석은 비선형최소2승법에 의하여 행하였고 식중의 정수는 각 측정치로부터 최소2승의 원리로 뉴턴 가우스 법에 의해 반복 계산을 행하여 결정하였다. 이 반복 계산에 의하여 얻어진 강도 증진식을 고성능감수제의 종류와 결합제 종류로 나타낸 것이 그림 7이다. 고유동 콘크리트의 압축강도와 적산온도의 관계는 상관계수 0.98이상으로 고유동 콘크리트의 강도 증진 과정은 고강도 콘크리트와 마찬가지로 고펜르쯔 곡선을 사용하여 높은 추정 정도를 보이고 있어, 고유동 콘크리트의 강도발현을 해석하기 위해서는 고펜르쯔의 곡선의 활용이 유효할 것으로 판단된다.

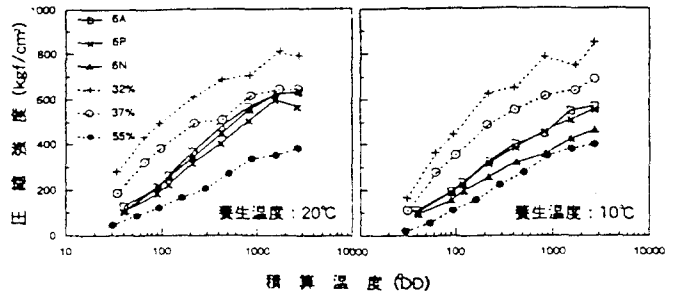


그림 3. 고성능 AE감수제 종류별 적산온도와 압축강도의 관계

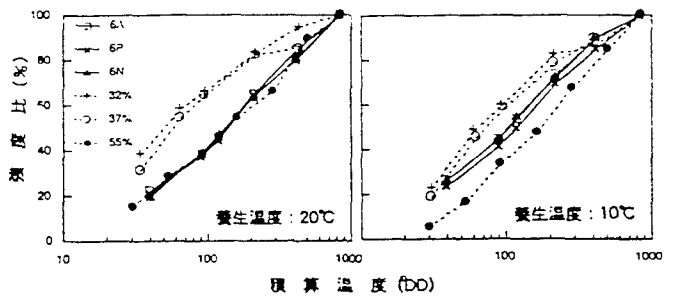


그림 4. 고성능AE감수제 종류별 적산온도와 압축강도비의 관계

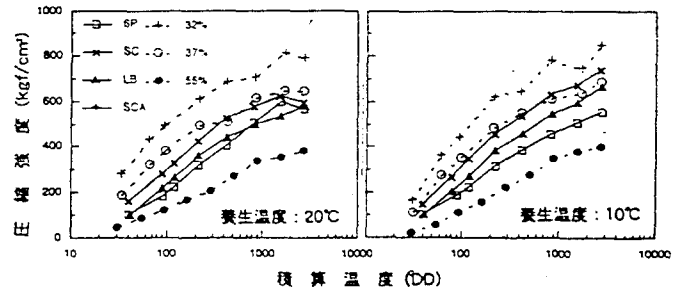


그림 5. 결합제 종류별 적산온도와 압축강도의 관계

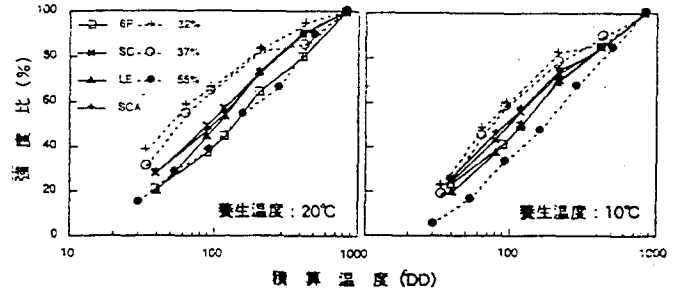


그림 6. 결합제 종류별 적산온도와 강도비의 관계

#### 4. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 고유동 콘크리트에서는 고로슬레그미분말의 혼입과 아울러 고성능(AE)감수제의 다량 사용에 의해, 보통 콘크리트에 비교하여 응결시간은 늦어지나, 실용적으로 문제가 되는 정도는 아닌 것으로 판단된다. 또한 응결지연에 관하여 모르타르로서의 시험의 결과와 콘크리트로부터 스크린한 모르타르에 의한 결과와는 대폭적인 차이가 보였다.
- 2) 10℃로 비빈 경우에 있어서도 보통 콘크리트와 고유동 콘크리트에서 응결시간의 차이는 적은 것으로 부터, 응결시간의 온도 의존성도 실용적으로 장애로 되는 정도는 아닌 것으로 판단된다. 그러나 한편으로는 고유동 콘크리트의 종류에 따라 차이가 있으나 비빔온도 10℃로 되므로서 고유동 콘크리트의 슬럼프플로우치가 20℃의 경우의 90%로부터 60%정도로 되는 결과로 되었다.
- 3) 지온환경에서의 방동성 혼화제의 혼입은 고유동 콘크리트의 응결지연 혹은 초기강도대책으로서 유효한 방법으로서 될 것으로 생각된다.
- 4) 고유동 콘크리트의 압축강도의 발현은 양생온도에 관계없이 물시멘트비 55%의 보통 콘크리트보다는 빠르고, 물시멘트비 37%의 고강도콘크리트보다는 늦은 경향이다.
- 5) 고로슬레그미분말을 사용한 고유동 콘크리트의 강도증진과정은 폼페르츠곡선을 사용한 적산온도 함수를 사용하지 않으므로 나타낼 수 있다.

#### 參考文獻

- [1] 權外, 微粉末系の高流動コンクリートの氣泡組織と耐凍害性に関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No.1, PP.207-212, 1994
- [2] 山川外, 高流動コンクリートの諸性狀におよぼす溫度の影響, 日本建築學會, 高流動コンクリート札幌シンポジウム, PP.33-38
- [3] 鎌田外, 콘크리트의 壓縮強度增進의 傾向, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1990
- [4] 鎌田外, 高強度콘크리트 壓縮強度增進性狀に関する研究, 日本建築學會學術講演梗概集, 1992

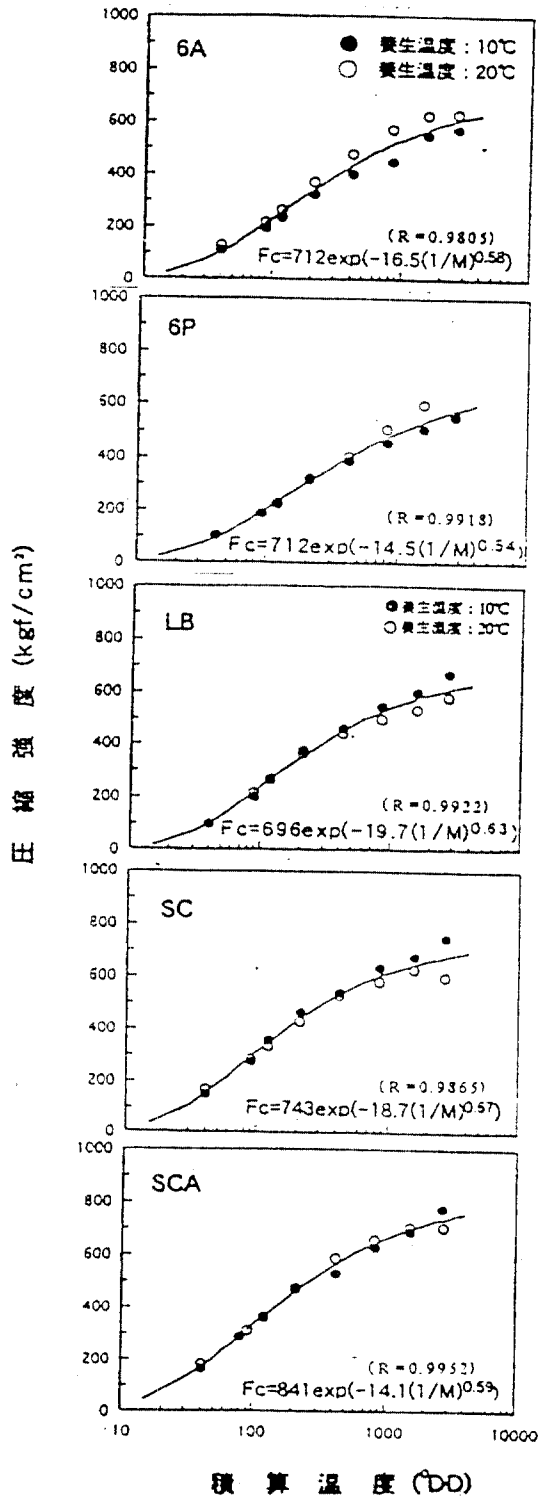


그림 7. 폼페르츠 곡선에 의한 압축강도 증진의 검토