

플라이애시와 고로슬래그를 조합 사용한 초지연 콘크리트의 강도증진

Estimation of the Strength Development of the Super Retarding Concrete Incorporating Fly Ash and Blast Furnace Slag

한 민 철*

Han Min Cheol

Abstract

In this paper, the estimation of super retarding concrete incorporating mineral admixtures at the same time including fly ash(FA), blast furnace slag(BS) are studied based on maturity method. The setting time was retarded, as super retarding agent contents increase and curing temperature decreases. In addition, apparent activation energy by Arrhenius function was ranged from 24~35 KJ/mol with slightly difference along with mixture proportion. This value is smaller than existing value 30~50 KJ/mol. Based on strength development estimation, it exhibited comparable relativity between prediction value and measurement value. Therefore, this study provided effective strength development prediction value with super retarding agent contents and mineral admixture combination. Strength development prediction equation provided herein is possibly valid for estimating accurate strength development of the super retarding concrete at the job site.

키워드 : 겔보기 활성화 에너지, 응결시간, 강도증진, 등가재령, 초지연제

Keywords : Apparent Activation Energy, Setting Time, Strength development, Equivalent Age, Super Retarding Agent

1. 서 론

최근 건축 구조물이 대형화, 고층화 및 대규모화됨에 따라 건축 구조물 기초 매트부위에는 내력확보 차원에서 매스콘크리트 시공이 증가되는 추세에 있다.

이러한 매스콘크리트는 과도한 수화열 발생에 대한 고려가 필요하며 현재 실무에서는 수화열 저감을 위하여 시멘트량 감소, 광물질 혼화재료 사용, 파이프 쿨링 및 온도철근의 배근 등 다양한 공법 들이 적용되고 있는 상황이다. 그러나, 현재까지 개발되어 활용되고 있는 공법들은 수화열저감 효과가 미비하거나, 공기지연 및 공사비 증가 등의 문제점이 지적되어 보다 성능대비 경제성을 추구할 수 있는 공법의 개발이 요구되고 있다.

한편, 최근 설탕을 이용한 당류계 초지연제의 응결시간차를 활용하는 방법으로 수화열 저감을 성취하는 공법이 개발된 바 있었는데, 이 공법은 실무현장에서 매스콘크리트의 수화열 균열 억제 등 품질 및 시공성 개선을 위한 방안으로 그 효과가 입증되고 있다.^{1),2)}

그런데, 실무 레미콘 사에서는 콘크리트 배합시 콘크리트의 수화열 저감, 성능향상 및 경제성 확보 등의 측면에서 플라이애시(FA) 및 고로슬래그 미분말 (BS) 등의 각종 광물질 혼

화재를 치환하여 사용하고 있는데, 이 경우 초지연제와 혼합 사용 시, 예상 목표 응결지연 시간에 변동이 예상되며 이로 인한 콘크리트의 강도증진에 대한 다소의 편차가 발생할 수 있어 주의가 요망된다.

따라서, 본 연구에서는 플라이애시 및 고로슬래그 등 혼화재의 조합사용에 따른 초지연제 콘크리트의 양생온도별 응결시간 변화를 실험하고, 이의 결과를 토대로 등가재령 개념에 의한 강도증진 해석을 실시하여 혼화재료 조합사용에 따른 초지연 콘크리트의 효율적인 압축강도 품질관리에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고 배합사항은 표 2에 제시되어 있다.

먼저, 플레인 콘크리트는 W/B 50 % 1수준에 대하여 목표 슬럼프 150±25 mm, 목표공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록 하였고, 혼화재 치환 및 초지연제 혼입률을 조합한 총 44배치에 대하여 AE 감수제 사용량을 변화시켜 배합설계 하였다.

실험사항으로 응결시간 측정은 양생온도 5, 20 및 35℃ 의 3수준에 대하여 측정하도록 실험계획 하였고, 압축강도는 소요재령별로 측정하였다.

* 정회원, 청주대 건축공학과 전임강사, 공학박사

표 1. 실험계획 및 방법

구분	실험요인	실험수준		
배합 사항	W/B (%)	1	50	
	목표슬럼프 (mm)	1	150±25	
	목표공기량 (%)	1	4.5±1.5	
	혼화제 치환율 (%)	1	플레인	
		2	FA	10, 20
		2	BS	20, 40
2		FA+BS	5+10, 10+20	
초지연제 (%)	4	0, 0.1, 0.2, 0.3		
실험 사항	굳지않은 콘크리트	5	· 슬럼프, 슬럼프 플로우 · 공기량, 단위용적질량 · 응결시간(5, 20, 35℃)	
	경화 콘크리트	1	· 압축강도 (재령 3, 7, 14, 28, 91일)	

표 2. 실험계획 및 배합사항

W/B (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	혼화제 치환율 (C×%)	초지연제 혼입률 (C×%)	AE 감수제 (%)	질량배합 (kg/m³)				
						C	S	G	FA	BS
50	185	48	플레인	0 0.1 0.2 0.3	0.2	371	798	905	-	-
						0.1	334	793	900	37
			FA		0.08	296	788	895	74	-
					0.08	296	796	903	-	76
			BS		0.06	224	793	900	-	151
					0.07	315	796	903	18	38
			FA+BS		0.05	268	790	897	37	76

* FA:플라이애시 BS:고로슬래그 미분말

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 충북 청원군 옥산산 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 25mm 부순 굵은 골재를 사용하였다.

또한, 혼화제로 플라이애시는 분급 정제된 보령화력산, 고로슬래그 미분말은 국내산을 사용하였다. 혼화제로 AE감수제는 나프탈렌계를 사용하였으며, 초지연제는 당류계를 사용하였다. 각각의 물리적 성질은 표 3~표 7에 제시되어 있다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m³)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.55	2.95	1.12	1,614	1.15
굵은골재	2.67	6.9	0.8	1,526	0.3

표 5. 혼화제의 물리적 성질

혼화제 종류	주 성분	색상 및 형태	밀도 (20℃)	표준사용량(C×%)
초지연제	Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	흰색, 액상	1.20	0.1~0.4
AE감수제	나프탈렌 설펜산 포르말린 축합물	암갈색, 액상	1.15	0.1~1.5

표 6. 플라이애시의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	압축강도 비(%)	SiO₂ (%)	습도 (%)	단위 수량(%)
2.3	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 7. 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	화확성분 (%)			
		MgO	SO₃	강열 감량	염화물 이온
2.91	4,463	5.90	2.78	0.05	0.001

2.3 실험 방법

본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594에 의거 실시하였다. 공기량 및 단위용적 질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 의거 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초물성

3.1.1 유동성 및 공기량

표 8은 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것으로 초지연제와 혼화제의 조합사용에 따른 슬럼프 및 공기량은 배합설계를 실시하였음에 따라 모두 목표 슬럼프 150±25 mm 및 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하는 것으로 나타났다.

3.1.2 응결특성

표 9는 혼화제 치환 및 초지연제 혼입률 변화에 따른 양생 온도별 응결시간을 나타낸 것이다. 전반적으로 초지연제 혼입

률이 증가할수록 양생온도가 낮을수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났고, 초지연제 무혼입의 경우 혼화재 치환 콘크리트는 치환률이 많아질수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

표 8. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

혼화재	치환율 (C×%)	초지연제 (%)	슬럼프 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)
FA	10	0	155	255	4.8	2,273
		0.1	170	280	5.1	2,270
		0.2	170	280	4.2	2,307
		0.3	170	260	3.9	2,323
	20	0	150	245	4.5	2,287
		0.1	135	255	4.9	2,281
		0.2	150	255	4.4	2,290
		0.3	170	280	4.3	2,293
BS	20	0	160	270	4.8	2,271
		0.1	170	280	4.9	2,279
		0.2	175	275	4.5	2,290
		0.3	170	270	4.5	2,292
	40	0	165	285	5.5	2,297
		0.1	160	280	4.2	2,286
		0.2	155	275	4.6	2,277
		0.3	170	285	4.6	2,284
FA+BS	5+10	0	145	260	3.5	2,309
		0.1	170	280	3.7	2,283
		0.2	175	280	4.1	2,310
		0.3	175	260	3.3	2,319
	10+20	0	150	260	3.5	2,276
		0.1	160	285	4.5	2,263
		0.2	160	290	4.4	2,290
		0.3	160	285	4.4	2,271

한편, 초지연제 동일 첨가량에서 FA치환을 제외한 모든 혼화재 치환 콘크리트의 응결시간은 초지연제 혼입률이 소량일 때는 플레인 보다 지연되었지만 초지연제 혼입률이 높아질수록 단축되는 것으로 나타났다. 이는 초지연제가 혼화재에 흡착되어 응결촉진을 일으켰거나, 혹은 잠재수경성 반응에 초지연제가 소비되어 응결촉진 작용을 일으키는 등 단독 혹은 복합작용일 것으로 사료된다.

3.1.3 압축강도 특성

그림 1~4는 초지연제 혼입률별 재령경과에 따른 압축강도를 혼화재 종류별로 나타낸 것이다. 전반적으로 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하였다. 또한 초지연제가 혼입된 경우 초지연제가 혼입되지 않은 콘크리트보다 압축강도가 약 1~10 MPa 정도 증진되는 것으로 나타났다.

혼화재 종류별로는 먼저, 플라이애시 치환에 따른 압축강도는 초기 강도가 다소 작게 나타났지만 포졸란 반응에 기인하

표 9. 양생온도별 응결시간

구분	양생온도 및 혼입률 (%)	5℃				20℃				35℃			
		0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.2	0.3
플레인	초결	10.9	31.5	36.1	50.5	5.3	13.2	21.5	33.8	4.9	9.5	14.9	21.0
	종결	17.8	36.5	49.6	76.8	8.6	16.2	24.8	36.7	6.4	11.4	16.8	26.2
FA-10	초결	19.4	34.3	50.4	63.3	8.0	14.3	20.5	34.4	5.9	9.5	11.8	20.5
	종결	27.8	42.8	62.2	90.1	11.4	17.9	25.5	39.0	8.6	11.6	13.9	22.9
FA-20	초결	20.9	39.4	50.9	75.1	9.1	15.8	21.0	32.6	6.5	10.2	14.1	24.5
	종결	31.1	49.3	62.1	92.7	12.7	19.4	23.8	38.2	8.5	12.2	15.7	26.5
BS-20	초결	14.4	29.5	32.0	57.5	7.2	12.0	15.7	31.9	4.8	8.5	13.7	21.6
	종결	23.1	40.3	43.7	69.9	10.5	14.6	24.8	35.9	7.4	10.4	15.8	24.9
BS-40	초결	16.3	19.1	26.2	47.2	6.2	10.0	18.6	25.3	5.1	7.4	11.9	18.2
	종결	26.9	39.2	42.3	63.4	10.2	15.7	23.9	29.1	7.4	9.6	14.7	23.2
FA+BS 5+10	초결	15.2	35.3	40.5	59.5	7.9	13.3	22.5	33.2	5.5	9.7	14.4	23.4
	종결	24.7	43.6	50.3	71.6	11.1	19.9	26.0	36.9	7.7	11.1	18.2	26.2
FA+BS 10+20	초결	19.2	20.0	36.7	42.3	6.9	12.6	20.5	30.1	5.8	9.0	13.4	21.8
	종결	29.9	33.5	48.9	65.4	13.7	18.6	25.5	33.8	8.2	11.3	17.2	23.9

여 장기재령에서 플레인과 거의 같은 수준에 도달하였으며, 지속적으로 강도증가의 양상을 나타내었다.

고로슬래그 미분말 치환의 경우는 20%치환에서는 플레인과 같거나 다소 높게 나타났는데 이는 재령경과에 따른 고로슬래그 미분말의 잠재수경성 반응에 기인한 것으로 분석된다. 40%치환에서는 치환율이 다소 높은 영향으로 초기강도발현이 둔화되어 플레인 보다 약 7.7 MPa정도 저하되는 것으로 나타났으나, 재령증가에 따라 높은 강도증진을 나타내어 재령 28일 및 91일에서는 플레인과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

플라이애시와 고로슬래그 미분말 복합 치환의 경우 치환율이 높아질수록 초기강도는 저하하는 것으로 나타났고 장기재령으로 갈수록 플레인과 큰 차이가 없는 경향으로 나타났다. 이는 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 경우 포졸란 및 잠재수경성 반응에 의하여 장기재령에서도 반응이 활발히 이루어지기 때문으로 판단된다.

3.2 등가재령을 이용한 콘크리트 압축강도 증진 해석

3.2.1 응결시간을 이용한 겔보기 활성화 에너지 산정

등가재령에 의한 강도증진해석을 위하여는 배합조건에 따른 겔보기 활성화 에너지를 산정해야 하는데, 본 연구에서는 응결시간을 이용하여 산정하는 방법을 적용하였다.

이를 위하여 먼저, 초결과 종결의 시점에서 시멘트 수화 반응에 의한 미세구조가 어느 정도 생성된다고 가정하여 구하게 된다.³⁾

즉, a_1 를 초결에서의 수화도라고 표현하고, a_2 를 종결에서의

수화도라고 하면, 다음과 같은 가정을 한다.

1) 초결 t_i 에 소요되는 시간은 a_i 에 도달하는 시간과 같다.

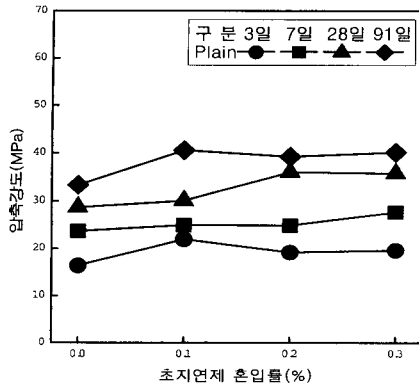


그림 1. 초지연제 혼입률에 따른 압축강도(플레인)

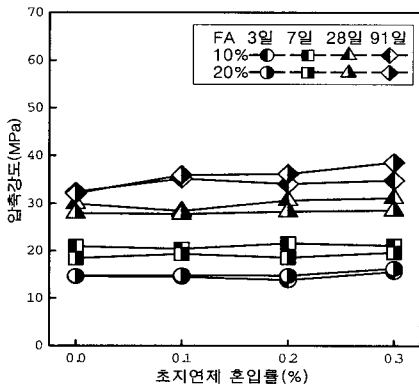


그림 2. 초지연제 혼입률에 따른 압축강도(FA)

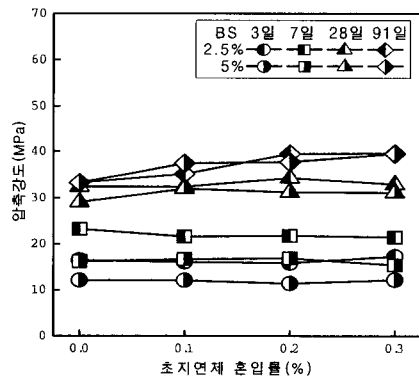


그림 3. 초지연제 혼입률에 따른 압축강도(BS)

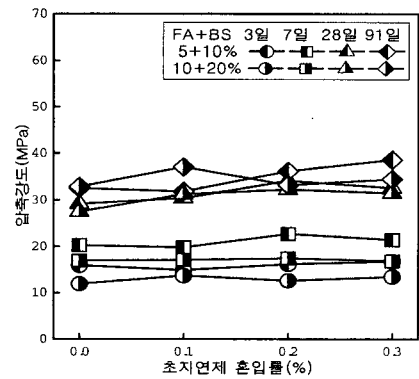


그림 4. 초지연제 혼입률에 따른 압축강도(BS+FA)

표 10. 혼화제 치환율 및 초지연제 혼입률별 Arrhenius

구분	초지연제 혼입률 (%)	회귀분석 결과			Ea (KJ/mol)
		$\ln\left(\frac{1}{t_i}\right) = \ln A - B \cdot \frac{1}{T}$			
		lnA	B(Ea/R)	결정 계수	
플레인	0	7.64	2908.6	0.952	24.3
	0.1	8.40	3318.5	0.962	27.7
	0.2	7.25	3090.9	0.982	25.8
	0.3	6.79	3077.8	0.966	25.7
FA 10	0	8.89	3371.7	0.935	28.1
	0.1	9.77	3745.3	0.974	31.2
	0.2	11.32	4286.6	0.994	35.8
	0.3	9.63	3918.8	0.990	32.7
FA 20	0	9.98	3712.6	0.965	31.0
	0.1	10.51	3989.2	0.973	33.3
	0.2	10.12	3940.1	0.962	32.9
	0.3	8.47	3593.0	0.959	30.0
BS 20	0	8.69	3274.4	0.966	27.3
	0.1	10.34	3876.3	0.936	32.3
	0.2	6.65	2897.1	0.998	24.2
	0.3	6.41	2951.4	0.981	24.6
BS 40	0	10.10	3698.3	0.938	30.8
	0.1	10.83	4015.3	0.980	33.5
	0.2	7.07	3006.3	0.999	25.1
	0.3	6.31	2887.3	0.925	24.1
FA+BS 5+10	0	8.84	3332.2	0.968	27.8
	0.1	10.3	3908.6	0.997	32.6
	0.2	6.60	2913.4	0.980	24.3
	0.3	6.13	2880.0	0.977	24.0
FA+BS 10+20	0	9.96	3704.7	0.993	31.0
	0.1	7.59	3086.1	0.999	25.7
	0.2	6.90	2990.6	0.988	25.0
	0.3	6.21	2876.4	0.978	24.0

2) 종결 t_f 에 소요되는 시간은 a_f 에 도달하는 시간과 같다.

여기서, 수화반응이 빨리 일어날수록 초결과 종결시간은 짧아지기 때문에 초결과 종결에 도달하는 시점은 수화반응속도 상수(rate constant : k_T)와 반비례한다고 할 수 있다($k_T \propto 1/t_i$).

상기의 조건과 가정하에서 Arrhenius 함수에 의한 초결과 종결시점에서의 겔보기 활성화 에너지를 구할 수 있는데, ASTM C 1074에서 제안하고 있는 방법을 이용하여, $\ln(k_T)$ 대신 $\ln(1/t_i)$ 로 대체하고, 이를 절대온도(T)의 역수와의 함수관계식을 구하고 이를 회귀 분석하여 초결과 종결에서의 겔보기 활성화 에너지를 구하게 된다.

표 10은 Arrhenius 함수에 의한 선형 회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 이 회귀식의 기울기 값은 Ea/R 값으로 기울기 값에 기체상수(R)를 곱하여 겔보기 활성화 에너지(Ea)를 구한다. 대체적으로 겔보기 활성화 에너지는 24~35 KJ/mol의 범위로 나타났는데, 이는 일반적인 조건에서 알려진 겔보기 활성화 에너지 값의 범위인 30~50 KJ/mol의 범위보다 작은

값으로서 이는 초지연제의 사용에 따른 원인으로 판단된다.

3.2.2 등가재령에 의한 강도증진 해석

본 연구에서 적용한 적산온도식은 Freisleben-Hansen에 의한 Arrhenius 화학반응속도 식을 이용한 등가재령 식(1)이 고강도증진 해석 모델은 Carino⁴⁾의 쌍곡선 함수 회귀모델을 사용하였는데, 이는 식 (2)와 같고 이 식에서 강도증진은 t_0 에서 시작되며 응결기간 동안의 점진적인 강도증진은 고려되지 않는다. 여기서 S_u , k_r , t_0 는 최소제곱법에 의한 회귀분석을 통하여 구할 수 있다.

$$t_e = \int_0^t \exp \frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) dt \quad (1)$$

여기서,

- E_a : 겔보기 활성화 에너지(KJ/mol)
- R : 기체 상수(8.341J/mol · K)
- t_e : 등가재령
- T_r : 20°C에서의 절대온도(293K)
- T : 양생온도(t+273K)

$$S = \frac{S_u k_r (t - t_0)}{1 + k_r (t - t_0)} \quad (2)$$

여기서, S : 재령 t에서의 강도

S_u : 한계강도

k_r : 반응율 상수(rate constant)

t : 재령

t_0 : 강도증진이 시작되는 재령

표 11은 Carino 모델을 이용하여 강도증진해석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 플라이애시나 고로슬래그 치환률이 증가함에 따라 S_u 값은 약간 증가하는 경향을 보였으며 초지연제 혼입률이 증가함에 따라 역시 약간 증가함을 나타냈다. 한편, 혼화제 종류별 겔보기 활성화 에너지의 경우 초지연제 치환률별로 큰 차이가 없는 것으로 나타나 이들의 평균값을 혼화제 종류별 대표 값으로 사용하였는데, 플라이애시를 사용한 경우가 31.9 KJ/mol로 가장 크게 나타났으며, 고로슬래그를 사용한 경우가 그다음으로 높게 나타남을 알 수 있었다. 결국 혼화제를 사용할 경우 기존의 연구결과와 같이 수화반응 속도의 차이에 의해 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우보다 겔보기 활성화 에너지 값이 크게 나타나고 있었다.

한편, 해석의 상관성은 전체적으로 결정계수가 0.90 이상의 양호한 값을 보이고 있었으나, 일부 초지연제 치환률이 높은 경우 결정계수가 0.70정도로 낮게 나타났는데, 이는 초지

연제 혼입률이 증가함에 따라 비정상적으로 수화반응이 지연되고, 이후 응결이 시작된 다음에는 급속하게 수화반응을 일으켜 통상적인 수화반응과는 다른 경향을 보임에 따라 기존의 Arrhenius 함수에 의한 해석이 이러한 타입의 반응을 양호하게 반영하지 못하기 때문에 사료된다.

그림 5는 표 11을 토대로 등가재령에 의한 강도증진 해석 결과를 나타낸 것으로 전반적으로 초기재령에서는 해석치가 측정치를 양호하게 추정함을 알 수 있었다. 반면에 재령 91일의 경우 초지연제 혼입률이 증가함에 따라 해석치가 측정치를 과소하게 평가하는 것으로 나타났는데, 이는 전술한 바와 같이 초지연제 치환률이 증가함에 따라 비정상적인 수화반응을 보여 통상적인 수화반응에 적합하도록 되어 있는 Carino 모델과 등가재령식이 이를 반영하지 못해 나타난 결과로 사료된다.

그림 6은 강도증진 해석치와 측정치를 상호 비교한 것으로 전반적으로 초기강도에서는 해석치와 측정치가 큰 차이를 보이지 않으나, 재령이 경과하여 강도가 높아질수록 해석치와 측정치간의 차이가 커짐을 확인할 수 있었다.

표 11. 강도증진의 회귀분석 결과

구분	초지연제 혼입률 (%)	회귀계수				R ²
		S_u	k_r	t_0	E_a	
플레인	0	32.8	0.36	0.40	25.8	0.971
	0.1	35.7	0.48	0.77		0.964
	0.2	39.4	0.39	1.12		0.951
	0.3	38.4	0.65	1.72		0.933
FA 10	0	33.5	0.29	0.57	31.9	0.992
	0.1	34.3	0.26	0.84		0.942
	0.2	34.6	0.31	1.13		0.990
	0.3	33.7	0.48	1.75		0.906
FA 20	0	32.3	0.26	0.61	31.8	0.953
	0.1	34.8	0.23	0.79		0.906
	0.2	34.9	0.24	1.16		0.884
	0.3	34.1	0.40	1.86		0.713
BS 20	0	35.0	0.34	0.50	27.1	0.984
	0.1	36.2	0.29	0.75		0.973
	0.2	40.1	0.25	1.05		0.962
	0.3	37.7	0.37	1.62		0.856
BS 40	0	35.4	0.16	0.52	28.4	0.972
	0.1	40.3	0.14	0.73		0.971
	0.2	39.9	0.14	1.00		0.976
	0.3	41.4	0.14	1.44		0.932
FA+BS 5+10	0	32.7	0.31	0.53	27.2	0.963
	0.1	33.1	0.32	0.86		0.964
	0.2	37.1	0.35	1.17		0.970
	0.3	36.7	0.39	1.68		0.868
FA+BS 10+20	0	34.0	0.18	0.61	26.4	0.979
	0.1	38.7	0.17	0.78		0.950
	0.2	35.8	0.23	1.13		0.942
	0.3	35.7	0.25	1.54		0.908

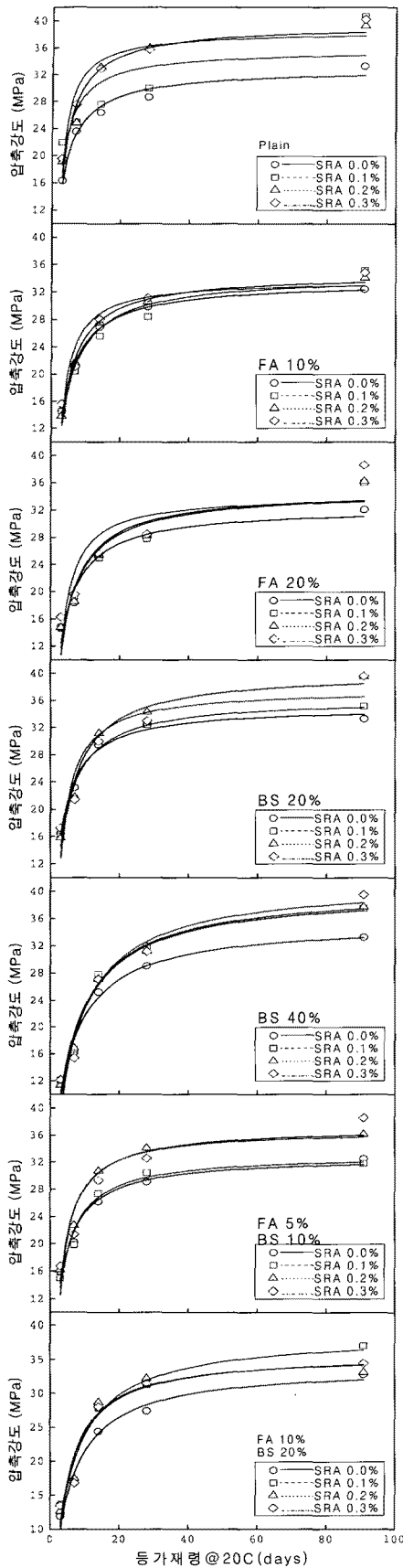


그림 5. 강도증진해석 결과

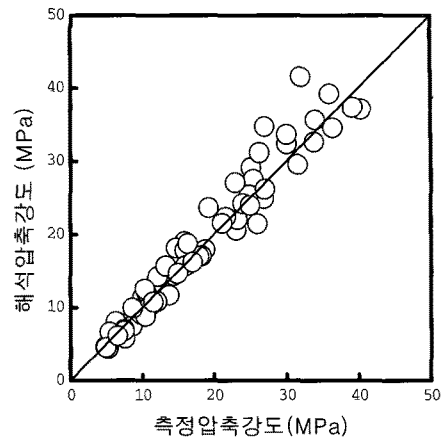


그림 6. 측정치와 해석치의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 적산온도방법에 의해 혼화재를 조합하여 사용한 초지연 콘크리트의 압축강도증진 실험 및 해석을 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플라이애시 및 고로슬래그를 조합사용한 초지연제 혼입률 변화에 따른 양생온도별 응결시간은 혼화재 치환률이 증가할수록, 초지연제 혼입률이 증가할수록 양생온도가 낮을수록 지연됨을 알 수 있었다.
- 2) 강도증진해석을 위한 Arrhenius의 함수에 의한 결보기 활성화 에너지는 배합별로 약간의 차이는 존재하지만 24~35 KJ/mol의 범위로 나타났는데, 플라이애시를 사용한 경우가 가장 높은 것으로 나타났다.
- 3) 강도증진 해석결과 해석치와 측정치는 양호한 상관성을 보임을 알 수 있었으나, 재령이 경과하여 강도가 상승할수록 갈수록 정밀도는 저하함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 혼화재 조합 사용에 따른 초지연 콘크리트의 강도증진 해석을 진행하였는데, 본 연구 결과를 실무의 초지연제 활용 매스 콘크리트 현장에서 콘크리트의 강도추정에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한민철, 초지연제 및 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트의 응결 시간 예측, 한국 콘크리트 학회 논문집, Vol.18, No.6, 2006,12, pp.759~767
2. 한천구, 윤치환, 보통 및 초지연의 부어넣기 방법변화에 따른 매스콘크리트의 수화열 특성, 대한건축학회연합논문집,

Vol.4, No.3, pp.35~42, 2002.8

3. 한천구, 한민철, 윤치환, 심보길, 당분류의 초지연제를 이용한 콘크리트의 응결 및 역학적 특성, 한국콘크리트학회논문집, Vol.14, No.4, pp.589~597, 2002.8
4. Carino, N. J., The Maturity Method, CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press., pp.101~146, 1991
5. Freislenben Hansen, Pederson, J., Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete Strength, Nordisk Betong, 1977, pp.19 ~34
6. Roberto C. A. Pinto, Kenneth C. Hover, Application of Maturity Approach to Setting Times, ACI Materials Journal, Vol.96, No.6 pp.686~691, 1999
7. Schindler, A. K., Concrete Hydration, Temperature Development, and Setting at Early Ages, Ph.D. Dissertation, The university of Texas at Austin, 2002
8. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, ASTM C 1074-93

(접수 2008. 9. 12, 심사 2008. 9. 30, 게재확정 2008. 10. 7)