



팽창재와 수축저감제를 병용한 콘크리트의 건조수축 특성

한천구¹⁾ · 한민철^{1)*} · 송승현¹⁾ · 윤 섭²⁾

¹⁾청주대학교 건축공학부, ²⁾(주)삼표 기술연구소

Drying Shrinkage of Concrete Combining Expansive Additives and Shrinkage Reducing Agent

Cheon-Goo Han¹⁾, Min-Cheol Han^{1)*}, Seung-Heon Song¹⁾, and Seob Yoon²⁾

¹⁾Div. of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

²⁾Sampyo Research Institute, Kwangju, 464-080, Korea

ABSTRACT This paper investigates experimentally the effect of combined addition of expansive additive and shrinkage reducing agent(SRA) on setting time, compressive strength and drying shrinkage of concrete. An increase of EA and SRA content leads to a reduction in flowability, which causes the increase of superplasticizer dosage, while air content increases. For setting time, in spite of increased superplasticizer dosage, with the increase of EA and SRA, setting time shortens. This is due to the presence of alkali ion by SRA and the faster formation of ettringite. At dosage of 5.0% of EA, concrete has the highest compressive strength and above that dosage, compressive strength decreased. On the contrary, the increase of SRA dosage results in a decrease in compressive strength. Combined addition of EA of 5.0% and SRA of 1.0% shows a comparable strength with control concrete. For drying shrinkage, as expected, the increase of EA and SRA dosage leads to reduction of drying shrinkage markedly. Moreover, combined addition of EA and SRA has better drying shrinkage reduction effect than individual use of EA and SRA by as much as 5~16%. Optimal combination of EA and SRA is fixed at 5.0% of EA and 0.5% of SRA based on the consideration of the effect of EA and SRA on fresh state, compressive strength and shrinkage of concrete.

Keywords drying shrinkage, expansive additive (EA), shrinkage reducing agent (SRA)

1. 서 론

콘크리트는 압축강도에 비해 인장강도가 매우 작을 뿐만 아니라 인장변형률도 작기 때문에 콘크리트에 큰 인장력이 작용하게 되면 쉽게 균열이 발생하는 결점이 있다¹⁾.

그런데, 최근의 건설 구조물은 크기와 형태가 대규모화 되고 있는데 비하여 콘크리트제조용 원재료의 품질은 열악해지는 상황이고, 레미콘 시공의 경우도 작업성 향상만을 위한 단위수량 증가로 구조체 콘크리트의 건조수축은 더욱더 많이 발생하고 있는 실정이다²⁾. 이를 해결하기 위한 방안으로는 다양한 방법들이 고려될 수 있는데, 우선적으로 단위수량을 저감하는 방법³⁾이 있고, 또한 에트링자이트의 팽창성을 이용하여 저수축 또는 무수축 콘크리트를 개발하는 방법⁴⁾ 및 콘크리트 중에 잔류하는 모세관수의 표면장력을 저하시켜 콘크리트의 수축을 저감하는 수축저감제를 활용하는 방법⁵⁾ 등이 고려될 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는 국내에서 활용되고 있는 일

반적인 콘크리트 조건에서 발생하는 건조수축 균열을 효과적으로 저감시키기 위하여 단위수량 변화와 관련한 일련의 연구⁶⁾에 이어 팽창재와 수축저감제의 다양한 혼입 비율로 병용하는 콘크리트에 대하여 공학적 특성 및 수축저감특성을 분석하므로써, 최종적으로는 균열없는 콘크리트 구조물의 성취에 접근하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

즉, 배합요인으로 W/B 45%와 단위수량 170kg/m³ 1수준에 대하여 혼화재를 치환하지 않은 플레인 배합과 예비실험을 통하여 가장 양호한 성능을 발휘하며 실무 레미콘 공장에서 일반적으로 사용되고 있는 플라이애시(이하 FA)를 10% 치환한 콘크리트에 대하여 수축저감제 혼입률 0, 0.25, 0.50, 0.75%의 4수준, 팽창재 혼입률 0, 2.5, 5.0, 7.5%의 4수준으로 변화시켜 총 16배치를 실험

*Corresponding author E-mail : twhan@cju.ac.kr
 Received November 21, 2005, Accepted April 28, 2006
 ©2006 by Korea Concrete Institute

Table 1 Design of experiments

Factors considered								Items tested	
W/B (%)	Water content (kg/m ³)	Slump (mm)	Air content (%)	Super-plasticizer	FA (%)	SRA (%/C)	EA (%/C)	Fresh concrete	Hardened concrete
45	170	150±25	4.5±1.5	Polycarbonic acid	0	0	0	• Slump • Slump flow • Air content • Unit weight • Setting time	• Compressive strength (3, 7, 28 days) • Length change (1, 7, ..., 180 days)
					10	.0 .0.25 .50 .75	.0 .25 .50 .75		

Table 2 Mixture proportion of concretes

W/B (%)	Water content (kg/m ³)	S/a (%)	SP (B×%)	AE agent (B×%)	FA (%)	SRA (%)	EA (%)	Absolute volume (l/m ³)						Unit weight (kg/m ³)					
								C*	S*	G*	FA*	SRA*	EA*	C*	S*	G*	FA*	SRA*	EA*
45	170	46	0.50	0.0050	-	-	-	120	306	359	-	-	-	378	789	941	-	-	-
			0.60	0.0080	10	0.00	0.0	108	304	356	17	0	0	340	783	934	38	0	0
			0.60	0.0080	10		2.5	105	304	356	17	0	3	331	783	934	38	0	9
			0.60	0.0080	10		5.0	102	303	356	17	0	7	321	782	933	38	0	19
			0.60	0.0080	10	7.5	99	303	356	17	0	10	311	782	933	38	0	28	
			0.60	0.0060	10	0.25	0.0	107	304	356	17	0.3	0	339	783	934	38	0.9	0
			0.60	0.0060	10		2.5	104	304	356	17	0.3	3	329	783	934	38	0.9	9
			0.60	0.0060	10		5.0	101	303	356	17	0.3	7	319	782	933	38	0.9	19
			0.65	0.0070	10	7.5	98	303	356	17	0.3	10	309	782	933	38	0.9	28	
			0.60	0.0050	10	0.50	0.0	107	304	356	17	0.6	0	338	783	934	38	1.9	0
			0.60	0.0050	10		2.5	104	304	356	17	0.6	3	328	783	934	38	1.9	9
			0.65	0.0055	10		5.0	101	303	356	17	0.6	7	319	782	933	38	1.9	19
			0.65	0.0060	10	7.5	98	303	356	17	0.6	10	308	782	933	38	1.9	28	
			0.75	0.0045	10	0.75	0.0	107	304	356	17	0.9	0	337	783	934	38	2.8	0
			0.75	0.0045	10		2.5	104	304	356	17	0.9	3	327	783	934	38	2.8	9
			0.80	0.0050	10		5.0	101	303	356	17	0.9	7	318	782	933	38	2.8	19
			0.85	0.0055	10	7.5	98	303	356	17	0.9	10	307	782	933	38	2.8	28	

*C : Cement, S : Sand, G : Gravel, FA : Fly ash, SRA : Shrinkage reducing agent, EA : Expansive additive

계획하였다⁷⁾.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 재령 3, 7, 28일에서 측정하도록 하였으며, 건조수축 길이변화율은 계획된 재령에 따라 재령 180일까지 측정하도록 실험계획 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 인천중구 항동산 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 Tables 3~4와 같다.

또한, 혼화재료로써 플라이애시는 정제된 보령 화력산을 사용하였고, 고성능 감수제는 국내산 J사의 폴리칼본산계, AE제는 빈줄계를 사용하였는데, 각 혼화재료의 물

리적 성질은 TableS 5~6과 같다. 수축저감제는 독일산 글루콜계를 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 7 및 8과 같다. 팽창재는 국내산 S사 제품인 석고계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 9와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594의 규정에 의거 실시하였다.

공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입침저항 시험법에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Φ100×200mm 원주형 공시체를 KS F 2403에 따라 제작·양성한 후 KS F 2405 규정에 의거 계획된 재령에서 1000kN U.T.M을 사

Table 3 Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Ini.	Fin.	3 days	7 days	28 days
3.15	3,265	0.15	210	300	2.20	28.9	38.9

Table 4 Physical properties of aggregates

Kinds	Density (g/cm ³)	Finess modulus	Absorption ratio (%)	Unit weight (kg/m ³)	Passing amount of 0.08 mm sieve
Sand	2.58	2.89	1.12	1,682	1.15
Gravel	2.62	6.60	0.69	1,563	0.10

Table 5 Physical properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Comp. st. ratio (%)	SiO ₂ (%)	Moisture content (%)	Ratio of water content (%)
2.22	2,850	4.2	92	67.5	0.2	100

Table 6 Physical properties of chemical admixtures

Kinds	Basis	Appearance	Density (g/cm ³)
Superplasticizer	Polycarbonic acid	White yellow/liquid	1.040
AE agent	Vinsol resin	Light yellow/liquid	1.185

Table 7 Physical properties of shrinkage reducing agent

Basis	Slouability	Color	Appearance	Density (g/cm ³)
Glycol ether	Soluable grain	White	Powder	1.01

Table 8 Chemical composition of shrinkage reducing agent

LOI (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Sum (%)	Free CaO (%)
68.82	29.42	0.17	0.10	1.39	0.06	-	0.03	99.99	0.08

Table 9 Physical properties of expansive additive

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition (%)					
		SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	F-CaO
2.49	2,980	1.64	25.57	12.15	50.31	0.06	11.10

용하여 측정하였다. 건조수축 길이변화율은 KS F 2424의 다이얼 게이지 방법으로 계획된 재령에서 측정한 후 다음 식(1)에 의거 구하였다.

$$L = \frac{X_1 - X_2}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, L : 길이변화율(%)

X_1 : 기준으로 한 시점의 측정치

X_2 : 계획 재령 시점에서의 측정치

L_0 : 기준길이

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Table 10은 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른

굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

전반적으로, 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 유동성 및 공기량은 모두 배합설계로 결정하였으므로 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다. 단, 본 항목은 배합설계로 얻어진 결과이므로 수축저감제 및 팽창제에 의한 유동성과 공기량을 분석하는데 어려움이 있으므로, Figs. 1, 2는 수축저감제 및 팽창제량 변화에 따른 SP제 및 AE제량 변동을 분석한 것이다. 먼저, 수축저감제 및 팽창제 혼입률 변화에 따른 SP제량은 수축저감제를 무혼입한 경우, 팽창제 혼입률이 증가할수록 유동성 변동이 없었기 때문에, 목표 슬럼프를 만족하기 위한 SP제량은 동일하게 배합 설계되었다.

또한, 팽창제를 무혼입한 경우, 수축저감제 혼입률이 증가할수록 유동성이 저하하여 목표슬럼프를 만족하기 위한 SP제량이 증가하였고, 수축저감제 및 팽창제를 병용 사용할 경우에는 유동성이 크게 저하하여 SP제 사용

Table 10 Test results of fresh concrete

SRA-EA	Items	FA (%)	Slump (mm)	Slump flow (mm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Setting time (hr.)	
							Initial	Final
0.00-0.0		0	152	255	6.0	2,279	16.0	19.0
0.00-0.0		10	150	250	4.5	2,325	16.7	19.3
0.00-2.5	152		257	4.6	2,339	15.9	18.4	
0.00-5.0	156		258	5.2	2,301	15.1	17.9	
0.00-7.5	156		261	5.3	2,299	15.0	17.8	
0.25-0.0			10	147	247	4.9	2,323	16.1
0.25-2.5	137	241		4.6	2,320	16.0	19.1	
0.25-5.0	135	242		4.0	2,334	15.9	18.8	
0.25-7.5	154	252		4.7	2,352	15.8	18.9	
0.50-0.0		10	137	239	5.0	2,321	16.1	18.4
0.50-2.5	144		247	4.0	2,326	15.8	17.6	
0.50-5.0	155		261	4.7	2,321	15.8	17.7	
0.50-7.5	144		248	5.4	2,304	15.6	17.9	
0.75-0.0		10	135	237	4.9	2,328	15.8	18.4
0.75-2.5	135		240	4.0	2,337	15.8	18.5	
0.75-5.0	138		238	4.6	2,315	16.8	18.8	
0.75-7.5	147		235	4.5	2,315	16.6	18.2	

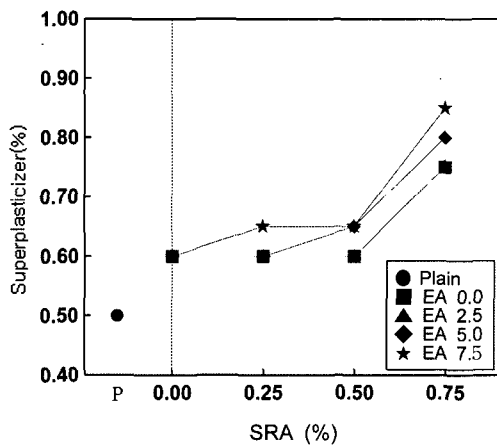


Fig. 1 Dosages of superplasticizer with contents of EA and SRA

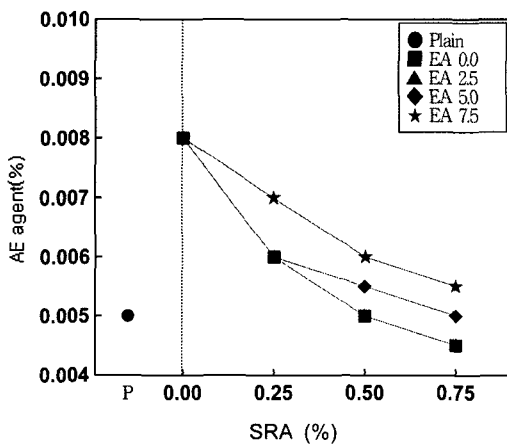


Fig. 2 Dosages of AE agent with contents of EA and SRA

량이 더욱 증가하였다. 이는 수축저감제가 휘발성이 낮고, 시멘트 입자에 흡착되지 않는 유기계 혼화제로, 콘

크리트의 점성이 작아짐에 기인한 것으로 판단된다⁸⁾.

Fig. 2는 팽창재와 수축저감제 혼입률 변화에 따른 AE제량을 나타낸 것이다.

먼저, 수축저감제 사용에 따른 영향으로 수축저감제를 무혼입한 경우, 팽창재 혼입률 증가에 따른 AE제량은 변동이 없는 것으로 나타났으나, 수축저감제 사용량이 증가할수록 공기량이 증가하여 AE제 사용량을 감소시켜야 함을 알 수 있었고, 팽창재의 복합 첨가에 따른 영향으로는 팽창재 사용량이 증가 할수록 공기량이 감소하여 AE제량을 증가시켜 주어야 하는 것으로 나타났다.

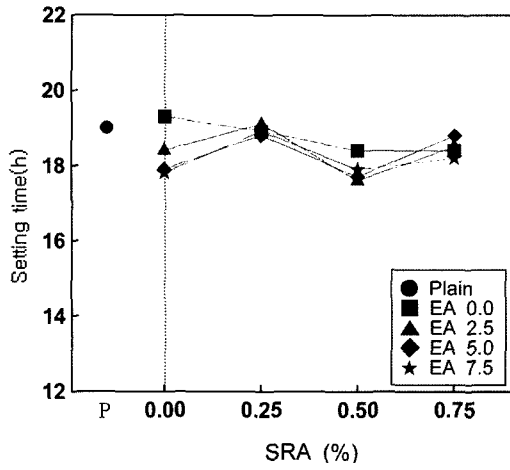
Fig. 3은 팽창재와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다.

먼저, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 응결시간은 수축저감제 혼입률이 증가할수록 유동성 확보를 위해 SP제량의 증가에도 불구하고 약간 촉진되는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제의 주성분이 글리콜 에테르계로서 글리콜에테르계는 응결 및 수화반응을 촉진시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있어 이로 인하여 응결시간이 다소 촉진된 것으로 사료된다⁸⁾. 또한 팽창재 혼입률 변화에 따른 응결시간은 팽창재 혼입률이 증가할수록 촉진되었는데, 이는 팽창재의 화학적 조성 중 CaO 성분이 수화반응 초기 포틀랜드 시멘트 성분 중 C₃A와 반응하여 에트리나이트를 생성을 촉진하므로써, 응결이 촉진된 것으로 판단된다⁹⁾.

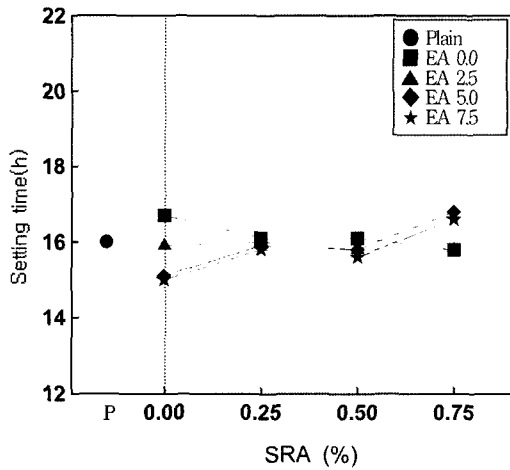
3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도 특성

Fig. 4는 팽창재 및 수축저감제 혼입률별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Fig. 5는 재령별 팽창재와



(a) Initial setting



(b) Final setting

Fig. 3 Setting time with contents of EA and SRA

수축저감제의 혼입률 변화에 따른 압축강도를 복합적으로 나타낸 것이며, Fig. 6은 팽창제 혼입률별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도(재령 28일)를 나타낸 것이다.

먼저, 팽창제를 무혼입한 경우, 수축저감제 혼입률이 증가에 따라 수축저감제의 메카니즘인 모세관 장력 완화 작용⁸⁾으로 인하여 압축강도는 저하하는 경향을 나타내었다.

수축저감제를 무혼입한 경우, 팽창제 혼입률 변화에 따른 압축강도는 혼입률 5.0%에서 가장 크게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 팽창제 성분 중 석고(CaSO_4)로 인하여 시멘트 성분 중 C_3S 의 반응을 촉진시키는 것과 경화체 조직의 형성시기에 적량의 석고가 존재하는 것으로 인하여 강도발현에 유리한 조직이 형성되는 것¹⁰⁾에 기인하는 것으로 사료된다. 하지만 혼입률 7.5%를 혼입하였을 경우는 오히려 압축강도가 플레인에 비하여 3.0% 가량 저하하였는데, 이는 에트린자이트의 과다 생성으로 인하여 콘크리트 조직이 과도하게 팽창하므로써 강도발현에 불리한 조직이 형성되는 것에 기인¹¹⁾한 것으로 분석된다. 따라서 팽창제와 수축저감제를 병용하여 사용하였을 경우 팽창제에 의한 강도 증가가 수축저감제의 강도저하를 보상시켜주어 Fig. 6에서 알 수 있듯이 팽창제 5.0%와 수축저감제 0.5%의 조합에서 플레인과 비교하여 거의 같은 압축강도를 나타내었다.

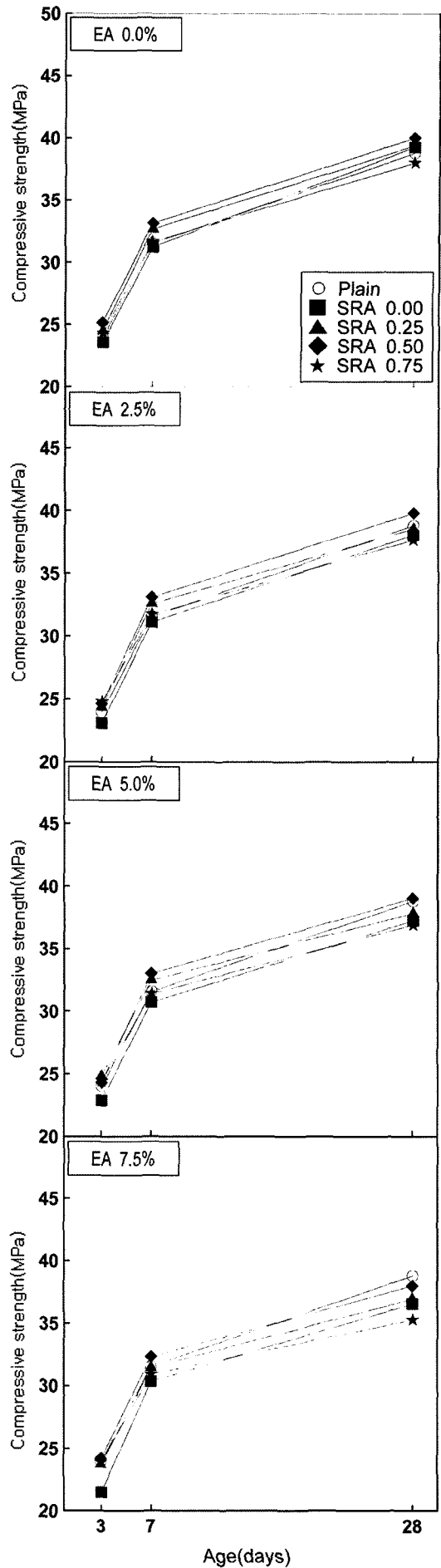


Fig. 4 Compressive strength with age

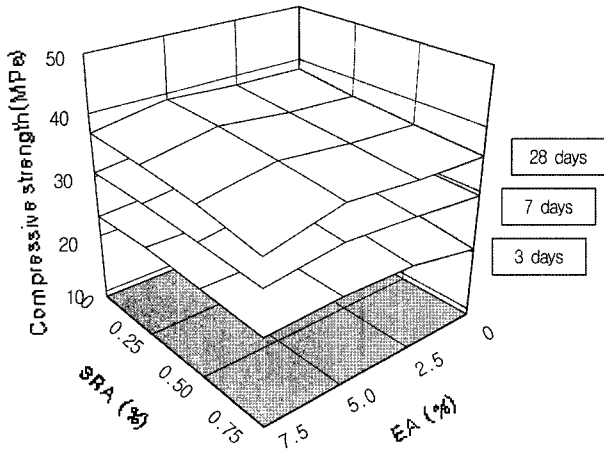


Fig. 5 The relationship between compressive strength and the dosage of SRA along with EA

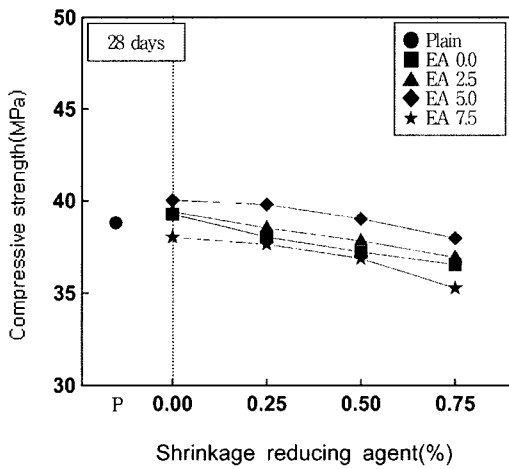


Fig. 6 Compressive strength depending on EA and SRA dosages

3.2.2 건조수축 특성

Fig. 7은 팽창제 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이고, Fig. 8은 재령별 팽창제와 수축저감제 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 복합적으로 나타낸 것이며, Fig. 9는 팽창제 혼입률별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 길이변화율(재령 180일)을 나타낸 것이다.

전반적으로 건조수축 길이변화율은 재령 초기 급격히 증가하였고, 이후 재령이 경화함에 따라 완만한 경향으로 나타났다. 또한, 팽창제를 무혼입한 경우 수축저감제 혼입률 증가에 따라 건조수축은 감소되는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제가 물에 용해되어 물의 표면장력을 어느정도 저감시키므로써, 경화 후 건조시에도 모세관 장력의 감소에 기인하여 건조수축이 감소⁸⁾되는 것으로 분석된다.

수축저감제를 무혼입한 경우, 팽창제 혼입률 증가에 따라 건조수축은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 팽창제의 주요성분인 CaSO_4 와 C_3A 의 수화반응으로 에트린자이트의 생성으로 팽창을 일으킴에 기인한 것으로 사료된다¹¹⁾.

특히, 팽창제와 수축저감제를 병용하여 사용하였을 경

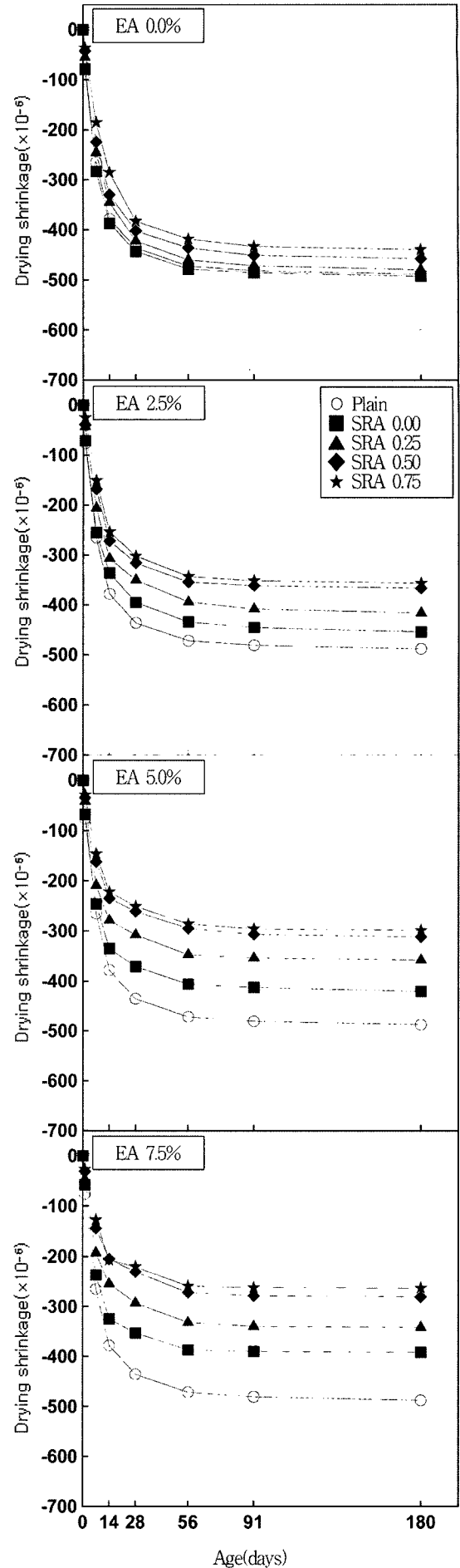


Fig. 7 Drying shrinkage with age

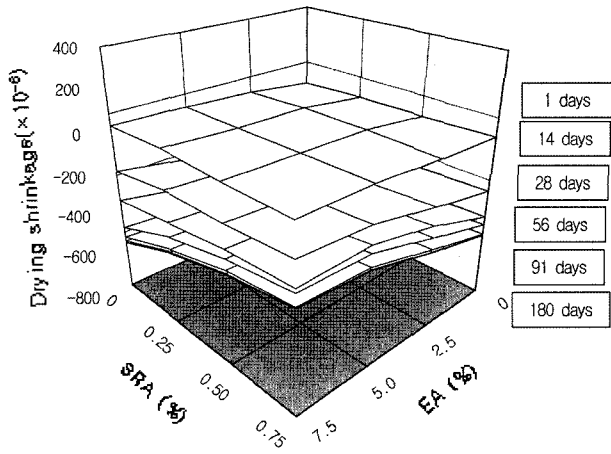


Fig. 8 Multi-relationship between drying shrinkage and dosage of SRA along with EA

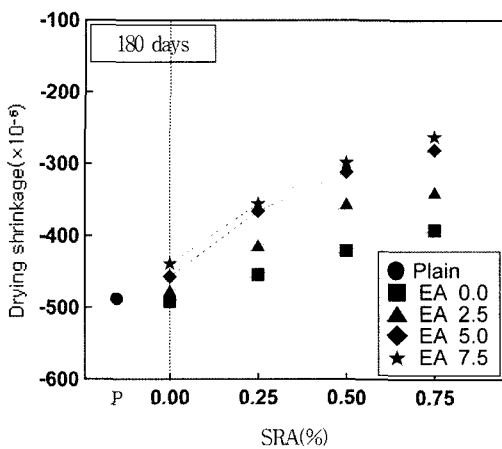


Fig. 9 Drying shrinkage depending on EA and SRA dosages

우, 팽창재와 수축저감제의 건조수축 저감 메커니즘이 서로 다르므로 두가지 효과가 복합되게 나타남으로써, 건조수축은 더욱 크게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Table 11은 팽창재와 수축저감제의 병용과 단독사용시의 건조수축 저감효과에 대하여 나타낸 것이다. Table 11에서 A는 팽창재와 수축저감제를 병용 사용한 경우 측정된 수축량을 나타낸 것이고 B는 팽창재와 수축저감제를 단독 사용시 각각의 수축량을 합하여 계산한 값을 의미한다.

여기서 B-A는 팽창재와 수축저감제 단독 사용시 계산된 수축량에서 팽창재와 수축저감제 병용사용시의 수축량의 차이로서 이는 팽창재와 수축저감제 병용사용시 단독사용에 비하여 얼마만큼 수축량이 저감되는지에 대한 차이를 확인할 수 있는 지표가 된다.

즉, 팽창재 혼입률만을 증가시킬 경우, 플레인에 비해 3~10% 정도로 수축이 저감되었고, 수축저감제 혼입률만을 증가시킬 경우, 플레인에 비해 8~20% 정도로 수축이 저감되는 것으로 나타났다. 반면에 수축저감제를 0.25, 0.50, 0.75% 혼입하면서 팽창재 혼입률을 변화시키는 경우는 두 혼화재료의 중첩효과로 단독사용시 보다 각각 8~28%, 15~39% 및 20~46% 정도로 크게 저감되었는데, 계산값과 비교한 순수 복합상승효과는 5~16%정도 만큼 추가되어 우수하게 나타났다.

단, 본 연구에서는 플라이애시를 10%치환한 콘크리트의 팽창재 및 수축저감제의 사용에 따른 제반 물성을 평가하였으나, 실무조건에서의 콘크리트 배합은 플라이애시의 다양한 치환률 변화가 존재하므로 이들이 팽창재 및 수축저감제의 성능에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 11 Shrinkage reducing effect due to the combination method of EA and SRA

Items	Drying shrinkage (180 days)					
	Measured shrinkage strain due to combined use of EA-SRA (A)		Calculated shrinkage strain due to individual use of EA and SRA (B)		Shrinkage reducing effect due to combined use of EA and SRA (B-A)	
	Strain ($\times 10^{-6}$)	Perce-ntage (%)	Strain ($\times 10^{-6}$)	Perce-ntage (%)	Strain ($\times 10^{-6}$)	Perce-ntage (%)
0.00-0.0	-485	100	-485	100	0	0
0.00-2.5	-471	97	-471	97	0	0
0.00-5.0	-451	93	-451	93	0	0
0.00-7.5	-433	89	-433	89	0	0
0.25-0.0	-445	92	-445	92	0	0
0.25-2.5	-408	84	-431	89	-23	5
0.25-5.0	-361	74	-411	85	-5	10
0.25-7.5	-351	72	-393	81	-42	9
0.50-0.0	-413	85	-413	85	0	0
0.50-2.5	-354	73	-399	82	-45	9
0.50-5.0	-307	63	-379	78	-72	15
0.50-7.5	-296	61	-361	74	-65	13
0.75-0.0	-390	80	-390	80	0	0
0.75-2.5	-340	70	-376	78	-36	7
0.75-5.0	-279	58	-356	73	-77	16
0.75-7.5	-262	54	-338	70	-76	16

4. 결 론

본 연구에서는 보통콘크리트의 건조수축균열을 저감시키기 위하여 팽창재와 수축저감제를 병용 사용한 콘크리트의 배합 특성, 응결시간, 압축강도 및 건조수축 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 배합특성으로 유동성은 팽창재 혼입률이 증가할수록 거의 차이가 없는 것으로 나타나 SP제량은 동일하였으나, 수축저감제 혼입률 증가에 따라서는 저하하여 SP제량을 증가시켜주어야 하는 것으로 나타났다. 단 수축저감제와 팽창재를 병용 사용한 콘크리트의 경우는 유동성이 크게 저하는 것으로 나타나 SP제량을 더욱 크게 증가시켜주어야 함을 알 수 있었다. 공기량은 팽창재 혼입률 변화에 따라서는 거의 변화가 없었으나, 수축저감제 혼입률이 증가할수록 증가하는 것으로 나타나, AE제량을 감소시켰다. 팽창재와 수축저감제를 병용하여 사용할 경우는 공기량이 증가하여 AE제량을 감소시켜 주어야 함을 알 수 있었다.
- 2) 응결특성으로는 팽창재와 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 SP제량의 증가됨에도 불구하고 플레인보다 약간 촉진되는 것으로 나타났다.
- 3) 압축강도 특성으로는 팽창재 혼입률이 증가할수록 혼입률 5.0%까지는 증가하는 것으로 나타났으나 그 이상의 혼입률에서는 저하하는 것으로 나타났다. 또한, 수축저감제 혼입률이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났다. 단 팽창재와 수축저감제를 병용 사용할 경우, 팽창재 혼입률 5.0%, 수축저감제 0.5%인 경우는 팽창재 혼입률 증가에 따른 강도 증가가 수축저감제에 의한 강도저하를 보상하여 플레인과 거의 같은 수준의 강도를 발휘하였다.
- 4) 건조수축 길이변화 특성으로 팽창재 및 수축저감제 혼입률 증가에 따라 모두 감소하는 것으로 나타났는데, 이를 병용할 경우 서로 상이한 건조수축 제어 메커니즘에 복합효과에 의해 단독사용시 보다

건조수축 저감효과가 더욱 크게 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때, 건조수축은 팽창재 및 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 크게 저감되었지만, 굳지 않은 콘크리트의 경우 이들의 혼입률 증가에 따른 유동성 저하로 인해 SP제량을 증가시켜야 하였고, 팽창재와 수축저감제의 과다침가는 압축강도의 저하를 초래하는 요인으로 작용하므로 유동성에 큰 영향을 미치지 않고, 강도저하가 발생하지 않으며, 건조수축을 최대로 저감할 수 있는 효율적인 혼합 비율은 팽창재 5.0%, 수축저감제 0.5%인 것으로 분석된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트의 혼화재료”, 한국콘크리트 학회, 1997, pp. 234~245.
2. 한천구, 황인성, 김광화, 김영득, “단위수량이 굳지않은 콘크리트의 특성 및 내구성에 미치는 영향”, 대한건축학회 구조계 논문집, Vol.19, No.4, 2004, 4, pp.129~136.
3. 대한건축학회 “건축공사표준시방서”, 대한건축학회, 1999, pp.240~255.
4. 五味秀明, “膨脹材”, コンクリート工學, Vol.26, No.4, 1998, 4, pp.1~15.
5. 山善秀ほか, “收縮低減劑を用いたコンクリートの引張諸特性に関する基礎研究”, 第7回コンクリート工學工學年次講演論文集, 1985, pp.56~63.
6. 황인성, 한민철, 한천구, “단위수량 및 수축저감제 혼입률변화에 따른 콘크리트의 건조수축 특성”, 대한건축학회 논문집 구조계, Vol.20, No.6, 2004, 6, pp.76~82.
7. 한국건설기술연구원, “콘크리트교량의 내구성 향상기술 개발”, 한국건설기술연구원, 2003, pp.39~162.
8. 長隴重義, 富田六限, “膨脹材と收縮低減劑”, セメント・コンクリート工學, Vol.24, No.2, 1986, 2.
9. 牧隆輝, 下山善秀, 榮川裕之, “收縮低減劑を用いたコンクリートのひび割れ調査”, 日本建築學會大會學術講義概集, 1998, pp.1085~1086.
10. Cement and Concrete, セメント協會, Cement and Concrete, 1998, pp.50~51.
11. 加藤淳司, 津崎淳一, “發泡劑および膨脹材を用いたコンクリートの膨脹性能および強度特性について”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2001, pp.203~204.

요 약 본 연구에서는 콘크리트의 건조수축 저감을 위해 사용되는 팽창재와 수축저감제를 병용한 콘크리트의 배합 특성, 응결시간, 압축강도 및 건조수축특성에 대하여 분석하였다. 실험결과, 팽창재와 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 유동성은 저하하여 SP제량을 증가시켜 주어야 하는 것으로 나타났고, 반면에 공기량은 증가하여 AE제 사용량이 감소하는 것으로 나타났다. 응결시간은 SP제량의 사용량의 증가에도 불구하고 약간 촉진되는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제의 알칼리 성분 및 팽창재의 에트린자이트 생성 촉진 효과에 기인한 것으로 사료된다. 또한 압축강도는 팽창재 혼입률 5.0%를 사용한 경우에서 최대가 되었고 그 이상의 혼입률에서 저하하였으며, 수축저감제는 혼입률 증가에 따라 저하하였는데, 팽창재와 수축저감제 혼입률이 각각 5.0%, 0.5%에서 플레인과 거의 같은 수준 강도를 나타내었다. 건조수축 특성으로는 팽창재와 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 건조수축을 크게 저감할 수 있는 것으로 나타났는데, 특히 팽창재 및 수축저감제를 병용할 경우 복합상승 효과에 기인하여 이들을 단독으로 사용할 경우 보다 약 5~16%정도 건조수축이 추가적으로 저감함을 알 수 있었다. 따라서 유동성, 강도 및 수축특성 등을 종합적으로 고려할 때, 본 연구의 실험 조건에서는 팽창재 5.0%, 수축저감제 0.5%인 조합이 최적의 혼입률인 것으로 분석되었다.

핵심용어 건조수축, 팽창재, 수축저감제