

팽창재 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성

한천구¹⁾ · 김성욱²⁾ · 고경택²⁾ · 배정렬^{1)*}

¹⁾ 청주대학교 ²⁾ 한국건설기술연구원

(2003년 3월 19일 원고접수, 2003년 9월 23일 심사완료)

Properties on the Shrinkage of High Performance Concrete Using Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent

Cheon-Goo Han¹⁾, Sung-Wook Kim²⁾, Kyoung-Taek Koh²⁾, and Zheng-Lie Pei^{1)*}

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

²⁾ Korea Institute of Construction Technology, Goyang, 411-712, Korea

(Received March 19, 2003, Accepted September 23, 2003)

ABSTRACT

This study is intended to analyze the effectiveness of expansive additive, shrinkage reducing agent and combination of the two to reduce the autogenous and drying shrinkage of high performance concrete using mineral admixture such as fly ash, blast furnace slag powder and silica fume. According to results, when expansive additive and shrinkage reducing agent are mixed within an appropriate mixing ratio, fluidity and air content are not influenced, and the enhancement of compressive strength is favorable at the age of 91 and 180days. At the mixing ratio of expansive additive of 5% and 10%, the autogenous and drying shrinkage is reduced by 32~68% and 25~49% respectively in comparison with plain concrete. And they are reduced by 18~34% and 16~26% respectively at the mixing ratio of shrinkage reducing agent of 0.5% and 1.0%, compared with plain concrete. The mixture of EA-SR combined with expansive additive and shrinkage reducing agent is most effective for reduction of shrinkage. Therefore, it is considered that the using method in combination with expansive additive and shrinkage reducing agent is effective to reduce the shrinkage of high performance concrete using mineral admixture such as fly ash, blast slag powder and silica fume.

Keywords : high performance concrete, drying shrinkage, autogenous shrinkage, expansive additive, shrinkage reducing agent

1. 서 론

현재 국내외를 막론하고 개발되고 있는 고성능 콘크리트는 다량의 시멘트만을 사용하여 제조하기에는 많은 어려움이 따르므로, 콘크리트 배합설계상 유동성 증진, 수화열 저감 등 품질향상과 경제성 성취를 목적으로 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼 등 광물질 혼화제가 필수적으로 활용되고 있다.^{1,2)} 또한, 이러한 고성능 콘크리트는 단위결합재량이 많고, 고성능 감수제의 다량 사용에 따라 수화작용이 활성화되기 때문에 자기수축 등 각종 균열이 문제시되는 경향이 있다. 이중 자기수축은 일반 콘크리트에서는 건조수축에 비하여 10% 정도로 매우 작아 균열제어 및 설계에서 고려되는 일이 없었으나, 고강

도 및 고유동 콘크리트에서는 자기수축만으로도 균열이 발생하는 일이 지적되고 있다.³⁻⁵⁾

그러므로, 본 연구에서는 결합재로 보통 포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼 등의 광물성 혼화제를 활용하는 고성능 콘크리트에 있어, 자기 및 건조수축 등 수축특성에 미치는 팽창재 및 수축저감제의 영향을 분석하되, 궁극적으로는 균열없이 고품질인 고성능 콘크리트의 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고 배합사항은 Table 2와 같다. 즉, W/B는 고강도 콘크리트인 30%, 목표 슬럼프 플로우치는 고유동 콘크리트 범위인 60±10

* Corresponding author
Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480
E-mail : peizl@chongju.ac.kr

cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%의 플레인 배합을 결정한 다음, 광물질 혼화제 및 팽창제와 수축저감제의 혼입률을 변화시키도록 실험을 계획하였다. 광물질 혼화제로서 플라이 애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼을 활용성을 고려한 혼입률로 시멘트에 대하여 치환하는 배합을 정하였고,

CSA계 팽창제 및 수축저감제도 단위시멘트량에 대한 비율로 치환하여 사용하였다. 이 때 실험항목은 굳지않은 콘크리트에서는 유동성, 재료분리 저항성, 충전성, 공기량 및 단위용적중량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도, 인장강도와 건조수축 및 자기수축 길이변화를 측정하는 것으로 하였다.

Table 1 Design of experimental factors

	Factors		Levels	
		W/B (%)	1	30
Mixing factors	Slump flow (cm)	1	60±10	
	Air content (%)	1	4.5±1.5	
	Mineral admixture (%)	9	<ul style="list-style-type: none"> · P(Plain) · FA(15, 30) · BS(30, 50) · SF(7.5, 15) · FA-SF(10-5, 20-10) 	
	Expansive additive and shrinkage reducing agent(%)	6	<ul style="list-style-type: none"> · EA(5, 10) · SR(0.5, 1.0) · EA-SR(2.5-0.25, 5-0.5) 	
	Combination (%)	6	<ul style="list-style-type: none"> · EA-FA(5-15) · EA-BS(5-30) · EA-SF(5-7.5) · SR-FA(0.5-15) · SR-BS(0.5-30) · SR-SF(0.5-7.5) 	
Experiments	Fresh concrete	6	Slump, slump flow, Washing test of coarse aggregate, U type filling test, air content, unit weight	
	Hardened concrete	4	<ul style="list-style-type: none"> · Compressive strength (7, 28, 91, 180days) · Drying shrinkage (1, 2, 3, 7..... 180days) · Autogenous shrinkage (0.5, 1, 2, 3.....days) 	

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 강모래, 굵은골재는 25mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 또한, 혼화제로서, 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말은 국내산, 실리카 폼은 노르웨이산을 사용하였고, 팽창제는 일본산 CSA계, 수축저감제는 독일산 글리콜계를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였으며, 충전성 및 재료분리 저항성 시험은 U형 충전시험 및 굵은골재 씻기시험에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2403에 따라 공시체를 제작, 양생한 다음 계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다. 건조수축 시험은 KS F 2424에 의거 수중 7일 양생 후 기중양생 하는 것으로 하였다. 또한, 자기수축 시험은 일본 콘크리

Table 2 Mixture of concrete

W/B (%)	Water content (kg/m ³)	S/a (%)	FA (%)	BS (%)	SF (%)	EA (%)	SR (%)	Super plasticizer (B×%)	AE agent (B×%)	Unit weight (kg/m ³)								
										C	S	G	FA	BS	SF	EA	SR	
30	175	45	0	0	0	0	0	1.90	0.042	583	715	847	0	0	0	0	0	
			15	0	0	0	0	0	1.80	0.055	496	701	831	87	0	0	0	0
			30	0	0	0	0	0	1.70	0.065	408	687	814	175	0	0	0	0
			0	30	0	0	0	0	1.75	0.040	408	709	841	0	175	0	0	0
			0	50	0	0	0	0	1.30	0.045	292	705	836	0	292	0	0	0
			0	0	7.5	0	0	0	2.20	0.028	540	707	839	0	0	44	0	0
			0	0	15	0	0	0	2.50	0.045	496	700	830	0	0	88	0	0
			10	0	5	0	0	0	1.90	0.038	496	700	831	58	0	29	0	0
			20	0	10	0	0	0	2.10	0.042	408	686	814	117	0	58	0	0
			0	0	0	5	0	0	1.90	0.042	554	714	846	0	0	0	29	0
			0	0	0	10	0	0	1.90	0.042	525	713	845	0	0	0	58	0
			0	0	0	0	0.5	0	2.10	0.028	580	715	847	0	0	0	0	3
0	0	0	0	1.0	0	2.20	0.025	578	715	847	0	0	0	0	6			
0	0	0	2.5	0.25	1.90	0.025	567	714	847	0	0	0	15	2				
0	0	0	5	0.50	1.90	0.020	551	714	846	0	0	0	29	3				
15	0	0	0	0	1.90	0.045	467	700	830	87	0	0	0	0				
0	30	0	0	5	1.60	0.050	379	708	840	0	175	0	29	0				
0	0	7.5	0	0	2.20	0.035	162	706	838	0	0	44	0	0				
15	0	0	0	0	1.90	0.030	493	701	831	87	0	0	0	0				
0	30	0	0	0.5	1.65	0.025	405	709	841	0	175	0	0	3				
0	0	7.5	0	0	2.20	0.020	537	707	839	0	0	44	0	0				

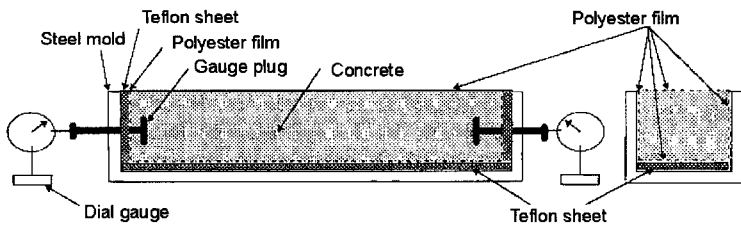


Fig. 1 Test device of autogenous shrinkage

트공학회회의 시험방법에 의거 실시하였다.³⁾

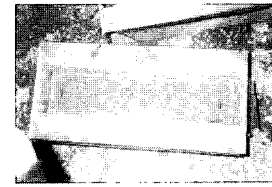
Fig. 1은 자기수축 시험체의 개요를 나타낸 것으로 즉, 그림과 같이 양단 중심에 구멍이 뚫린 100×100×400 mm의 철재 빔 몰드를 사용하고, 게이지 플러그(plug)를 몰드 측에 일치하도록 설치하여 정해진 재령에서 자기수축을 측정하였다. 또한 몰드의 바닥과 양단에는 1mm 두께의 테프론(teflon) 시트를 깔아서 공시체의 이동이 몰드에 의해 구속을 받지 않게 하였고, 콘크리트를 타설하고 표면에서의 수분 증발 및 흡수를 막기 위해 폴리에스테르 필름으로 덮었다. 시험은 온도 20±2 ℃, 상대습도 60~80%의 항온항습실에서 실시하였다. 또한, 자기수축은 수화반응의 시작과 동시에 발생하므로 본 연구에서는 초결(initial set) 시간이 도달하는 시점을 측정하여 기준점으로 하였다. 타설하여 종결 이후 몰드를 제거하고 콘크리트 공시체를 알루미늄 접착 테이프로 밀봉하여 공시체와 외부사이의 수분이동을 차단하였고, 질량감소율을 측정하여 건조수축과 구분하였다. Fig. 2는 자기수축에 관한 시험모습을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 분석

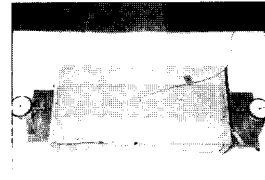
3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Table 4는 혼화재 종류 및 혼입률별 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 전반적으로, 혼화재 치환에 따라 대부분 유동성이 증가하는 것으로 나타났고, 충전성 및 재료분리저항성도 양호한 것으로 나타났는데 단, 실리카 폼의 경우만은 유동성이 감소하였다. 또한, 공기량의 경우는 모든 혼화제에서 화학혼화제의 흡착작용 및 공극 충전효과에 의해 약간 저하하는 경향이기는 하나 모두 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다.

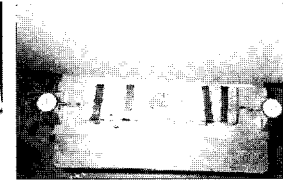
Table 5는 팽창재 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 팽창재 혼입률 증가에 따라 유동성은 약간 증가하는 경향이 있고, 수축저감제 혼입률 증가에 따라서는 감소하였다. 공기량은 모두 목표 공기량을 만족하였고 또한, 팽창재 혼입에 따라 충전성 및 재료분리저항성은 콘크리트의 점성증가로 말미암아 모두 양호한 반면, 수축저감제는 충전성이 저하하였다.



Making of specimen



Measurement before removal



Measurement after removal

Fig. 2 Test of autogenous shrinkage

Table 3 Physical properties of material

Material	Sign	Principal properties
Cement	C	Type : ordinary portland cement Specific gravity : 3.15 Blaine : 3,413cm ² /g
Fine aggregate	S	Kind : river sand Specific gravity : 2.56 Fineness modulus : 2.62
Coarse aggregate	G	25mm crashed aggregate Specific gravity : 2.63 Fineness modulus : 6.67
Super plasticizer	SP	Type : melamine
AE agent	AE	Type : negative ion
Fly ash	FA	Product : fined powder produced in Bo Ryeong Specific gravity : 2.22 Blaine : 3,850cm ² /g
Blast furnace slag powder	BS	Specific gravity : 2.91 Blaine : 4,463cm ² /g
Silica fume	SF	Specific gravity : 2.10 Blaine : 240,000cm ² /g
Expansive additive	EA	Specific gravity : 2.90 Blaine : 2,200cm ² /g
Shrinkage reducing agent	SR	Specific gravity : 3.16

Table 6은 혼화제와 팽창재 및 수축저감제의 병용에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 모두 목표 유동성 및 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났으며, 혼입한 혼화제와 팽창재 및 수축저감제의 특성에 따라 복합적으로 작용하여 증가하거나 감소하는 경향이 있다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 3은 혼화제 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

Table 4 Test results of fresh concrete with the kinds and replacing ratio of mineral admixture

Items Kinds	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Filling height (cm)	Segregation resistance (%)
P	26.0	62.5	4.5	2272	28.5	85.4
FA15	26.3	64.5	4.0	2251	30.0	88.5
FA30	27.0	70.0	4.3	2242	35.0	87.3
BS30	26.3	67.0	3.7	2285	26.7	89.5
BS50	27.0	69.5	4.4	2256	25.0	85.7
SF7.5	26.3	60.0	3.7	2284	31.5	82.3
SF15	25.3	51.5	3.2	2290	26.5	86.7
FA-SF1*	25.7	60.5	5.4	2213	31.2	92.3
FA-SF2*	25.6	58.5	3.5	2271	31.0	83.0

* FA-SF1 : 10-5%, FA-SF2 : 20-10%

Table 5 Test results of fresh concrete with the expansive additive and shrinkage reducing agent

Items Kinds	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Filling height (cm)	Segregation resistance (%)
P	26.0	62.5	4.5	2272	28.5	85.4
EA 5	26.3	65.5	4.6	2257	30.5	94.0
EA10	26.5	68.0	4.7	2251	32.7	92.0
SR0.5	26.0	62.0	5.0	2304	28.0	90.0
SR1.0	25.4	60.5	5.0	2301	25.6	92.0
EA-SR1*	27.0	68.0	4.5	2344	29.5	96.2
EA-SR2*	26.0	65.5	4.2	2348	28.0	94.7

* EA-SR1 : 2.5-0.25%, EA-SR2 : 5-0.5%

Table 6 Test results of fresh concrete with the combination

Items Kinds*	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Filling height (cm)	Segregation resistance (%)
P	26.0	62.5	4.5	2272	28.5	85.4
EA-F	26.8	69.0	3.7	2341	33.0	93.0
EA-B	26.8	69.0	5.0	2305	32.5	95.0
EA-S	25.8	60.5	4.6	2326	28.0	90.0
SR-F	26.5	64.5	4.0	2340	33.5	88.4
SR-B	27.0	67.5	3.8	2370	28.5	87.5
SR-S	25.0	53.5	4.8	2326	26.0	85.9

* Replacing : EA(5%), SR(0.5%), F(15%), B(30%), S(7.5%)

플라이애쉬 치환율 증가에 따라 초기재령에서는 플레인보다 작게 나타났으나, 재령 91일 및 180일에서는 포졸란 반응에 의거 거의 같은 수준에 도달하였다. 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼의 경우는 초기 및 다량 치환하는 경우를 제외하고는 증가하는 것으로 나타났고, 플라이애쉬 및 실리카 폼을 병용한 경우는 모든 배합에서 가장 우수한 경향으로 나타났다. 이는 플라이애쉬와 실리카 폼의 포졸란 반응 및 공극충전 효과에 기인한 것으로 분석된다. Fig. 4는 팽창제 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

팽창제 혼입률 5%의 재령 91일 및 180일에서 플레인과

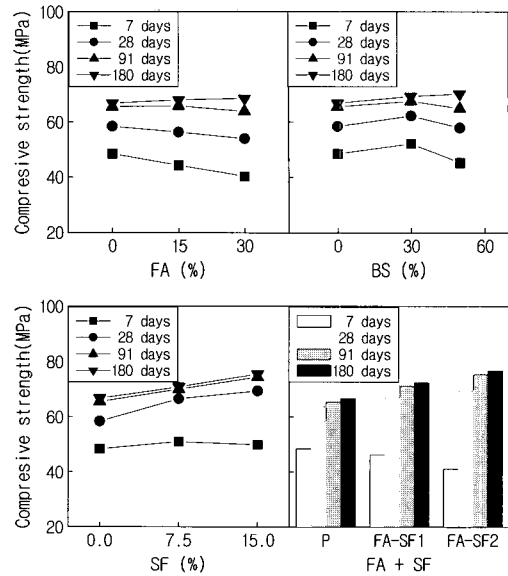


Fig. 3 Compressive strength with replacing ratio of mineral admixture

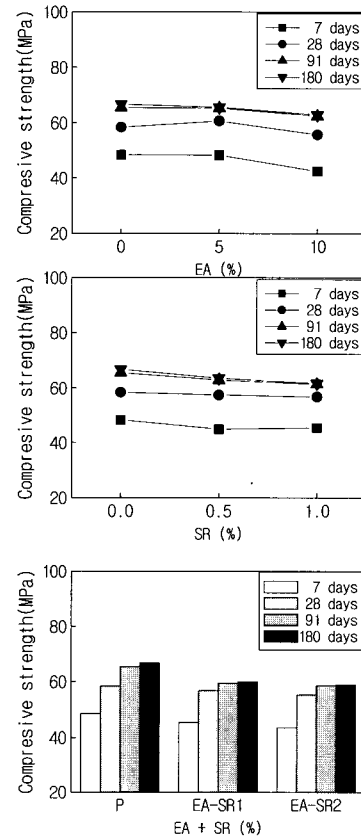


Fig. 4 Compressive strength with replacing ratio of expansive additive and shrinkage reducing agent

같거나 약간 높게 나타난 반면, 혼입률 10%의 경우는 지나친 팽창에 따른 조직의 이완으로 저하하는 경향이 있다. 수축저감제는 혼입률이 증가할수록 감소하였고, 또한 팽창제 및 수축저감제를 병용한 경우(EA-SR1, 2) 역시 플레인에 비하여 9~11% 감소하였다.

Fig. 5는 팽창재 및 수축저감제와 혼화제의 병용에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 혼화제의 특성에 따라 변화하였는데, 플레인과 비교하여 플라이애쉬 혼입의 경우는 작게, 고로슬래그 미분말의 경우는 모두 크게 나타났고, 팽창재 및 수축저감제에 실리카 폼을 각각 병용한 경우는 가장 우수한 값을 나타내었다.

3.3 수축특성

3.3.1 건조수축 특성

Fig. 6은 혼화제 종류 및 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 건조수축 시험체는 초기 수중양생기간 팽창하였고, 재령 7일 후 기중양생에서 건조에 의한 수축이 발생하였는데, 초기재령일수록 수축경향이 큰 것으로 나타났고, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향을 나타냈다. 먼저, 플레인의 건조수축은 재령 180일에서 6.25×10^{-4} 정도로 나타났는데, 플라이애쉬의 경우는 혼입률 증가에 따라 증가하였고, 고로슬래그 미분말의 경우는

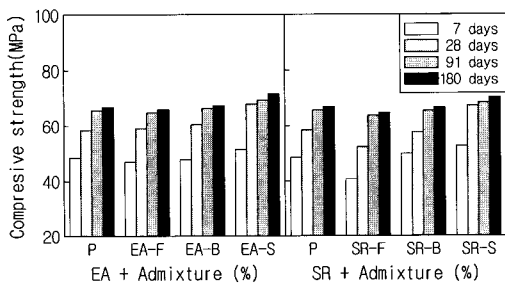


Fig. 5 Compressive strength along with SR, EA and mineral admixture

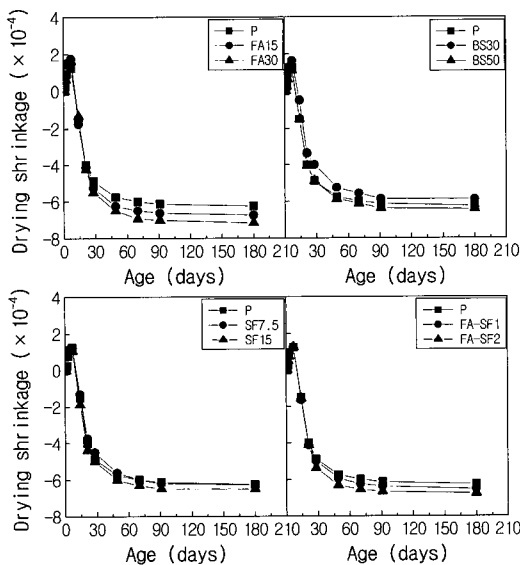


Fig. 6 Drying shrinkage with replacing ratio of mineral admixture

증가 및 감소가 공존하여 비슷한 경향이였으며, 실리카 폼의 경우는 약간 증가하는 경향이였다. 또한, 플라이애쉬와 실리카 폼을 병용한 경우는 플레인보다 약간 증가하는 경향이 있다.

Fig. 7은 팽창재 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 팽창재 혼입률 증가에 따른 건조수축은 플레인에 비하여 현저하게 감소하였는데 혼입률 5% 및 10%에서 각각 25% 및 49% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 팽창재의 에트린 사이트 생성에 의한 수축보상 작용에 기인한 것으로 분석된다. 수축저감제 혼입률 증가에 따른 건조수축도 콘크리트 조직내 모세관 공극의 수축응력 감소로 크게 저하하였는데, 혼입률 0.5% 및 1.0%에서 각각 16% 및 26% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창재 및 수축저감제를 병용한 경우에는 복합된 상승작용으로 말미암아 더욱 크게 감소하여 각각 32% 및 70% 저감하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 혼화제, 팽창재 및 수축저감제 병용에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 팽창재의 경우 혼화제 혼입시 플레인과 비교하여 22~35% 정도 감소하는 것으로 나타났고, 수축저감제의 경우도 혼화제 혼입시 플레인과 비교하여 14~29% 정도까지 저감하는 것으로 나타났는데, 특히 고로슬래그 미분말일 경우 양호하였다.

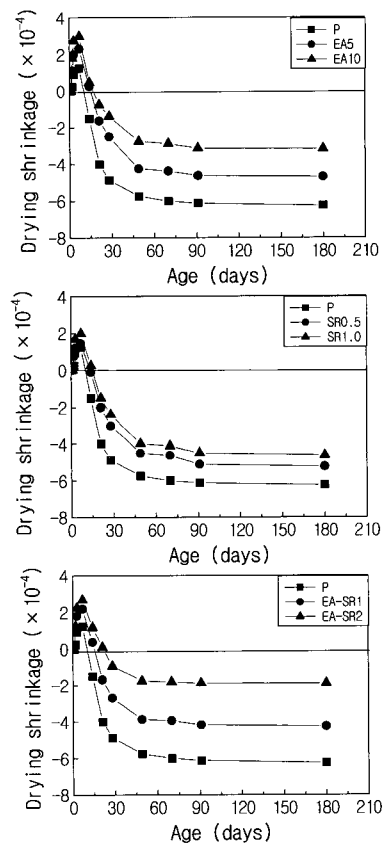


Fig. 7 Drying shrinkage with replacing ratio of expansive additive and shrinkage reducing agent

3.3.2 자기수축 특성

Fig. 9는 혼화제 종류 및 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 재령 49일에서 플레인의 자기수축은 3.5×10^{-4} 으로서 동일 재령 건조수축량의 약 60%를 차지하였다. 이 때, 플라이애쉬 치환의 경우는 혼입률 증가에 따라 자기수축이 감소하는 경향으로 나타났는데 이는 플라이애쉬의 초기 수화반응 지연에 기인한 것으로 사료된다. 단, 고로슬래그 미분말의 경우는 혼입률 증가에 따라 잠재수경성 반응으로 크게 증가하였고, 실리카 폼의 경우는 포졸란 반응에 따른 높은 수화활성으로 대량 생성된 겔 공극량으로 인해 수축응력이 발생된 것으로 분석된다. 플라이애쉬 및 실리카 폼을 병용한 경우는 플레인과 비교하여 약간 감소하는 경향으로 나타났는데, 이는 플라이애쉬와 실리카 폼의 복합적인 작용으로 사료된다.

Fig. 10은 팽창제 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 자기수축은 팽창제 및 수축저감제 혼입에 따라 현저하게 감소하였다. 즉, 팽

창제의 경우는 에트린자이트의 생성으로 팽창의 경향을 나타낸 후 서서히 수축하는 것으로 나타났고, 수축저감제의 경우는 공극내 수축응력의 이완작용으로 수축량은 감소하였다. 수축저감량으로서, 팽창제의 경우는 혼입률 5%, 10%에서 각각 32%, 68% 저감하는 것으로, 수축저감제의 경우는 혼입률 0.5%, 1.0%에서 각각 18%, 34% 저감하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창제 및 수축저감제를 병용한 경우는 더욱 크게 저감되어 EA-SRI, 2에서 각각 50%, 80%까지 저감되는 것으로 나타나 우수한 수축저감의 효과를 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 팽창제 및 수축저감제와 혼화제 병용에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 팽창제 및 수축저감제 혼입에 따라 자기수축은 현저히 감소하였는데, 플라이애쉬, 실리카 폼 및 고로슬래그 미분말의 순으로 작게 나타났다. 이 때, 플라이애쉬의 경우는 플레인과 비교하여 팽창제와 병용시 52% 정도 저감되었고, 수축저감제와 병용시에는 28% 정도 저감하는 것으로 나타났다. 고로슬래그 미분말의 경우는 팽창제와 병용시 팽창제 주성분인 아우인($\text{Haayne} : 3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$)이 고로슬래그 미분

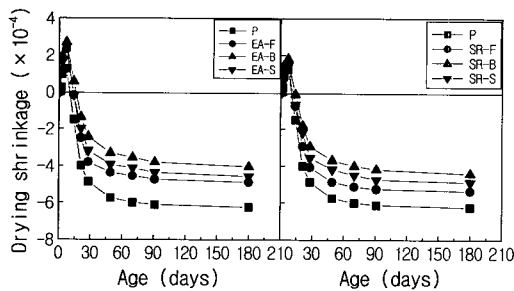


Fig. 8 Drying shrinkage along with EA, SR and mineral admixture

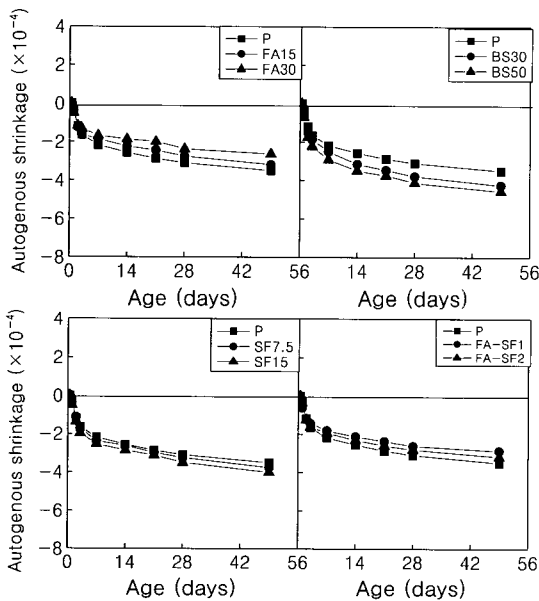


Fig. 9 Autogenous shrinkage with replacing ratio of mineral admixture

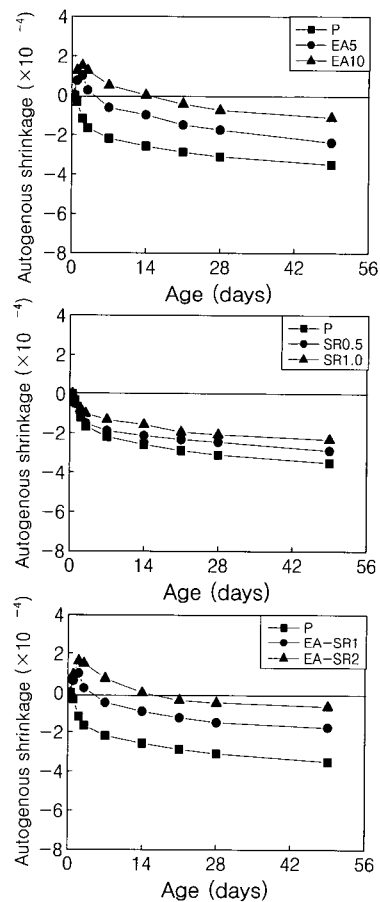


Fig. 10 Autogenous shrinkage with the replacing ratio of expansive additive and shrinkage reducing agent

말의 잠재수경성반응에 자극제 작용으로 소모되므로써 팽창재의 수축보상효과는 저하되어 자기수축이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축 시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일 까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 모두 0.032~0.046%의 범위로서 일본 콘크리트공학회에서의 자기수축 측정방법에서 제안한 범위인 0.05% 이하의 규정치를 모두 만족하는 값을 나타내었다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 49일 이후의 자기수축 결과분석은 생략하였다.

3.3.3 자기 및 건조수축 비교

Fig. 12는 혼화제 종류 및 혼입률 변화에 따른 재령 49일의 자기 및 건조수축량을 비교하여 나타낸 것이다. 재령 49일에서 플레인의 자기수축량은 건조수축량의 약 60%를 차지하였는데, 플라이애쉬의 경우는 혼입률 증가에

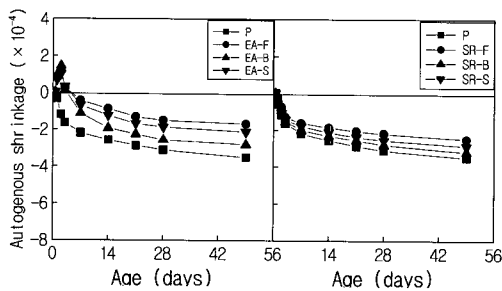


Fig. 11 Autogenous shrinkage with the combination of shrinkage reducing agent and mineral admixture

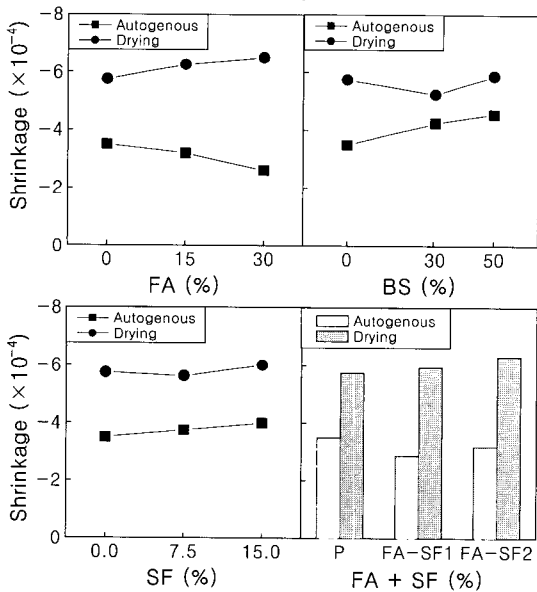


Fig. 12 Comparison of shrinkage with the kinds and replacing ratio of mineral admixture

따라 자기수축이 차지하는 비율이 크게 감소하는 경향이었고, 고로슬래그 미분말은 자기수축의 비율이 증가하는 경향이 있으며, 실리카 폼은 자기 및 건조수축이 모두 증가하였으나, 자기수축의 비율은 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 플라이애쉬 및 실리카 폼을 병용한 경우는 자기수축비율이 더욱 작게 나타났다.

Fig. 13은 재령 49일에서의 팽창재 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 자기 및 건조수축을 비교하여 나타낸 것이다. 재령 49일에서 플레인의 자기 및 건조수축은 각각 3.5×10^{-4} 및 5.75×10^{-4} 이었는데, 팽창재 및 수축저감제 치환에 따라 자기 및 건조수축은 모두 크게 감소하는 것으로 나타났다. 팽창재의 경우, 혼입률 5%, 10%에서 건조수축은 35%, 55% 감소하고 자기수축은 35%, 65%까지 감소하는 것으로 팽창재의 수축보상 작용에 의한 우수한 수축저감 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 수축저감제의 경우 혼입률 0.5%, 1.0%에서 건조수축은 21%, 30% 저감하였고, 자기수축은 17%, 34% 저감하는 것으로 나타났다. 특히, 팽창재 및 수축저감제를 병용한 EA-SR1, 2의 경우는 여타의 경우보다 자기 및 건조수축은 가장 작게 나타났는데, 수축저감제의 중첩효과로 분석된다.

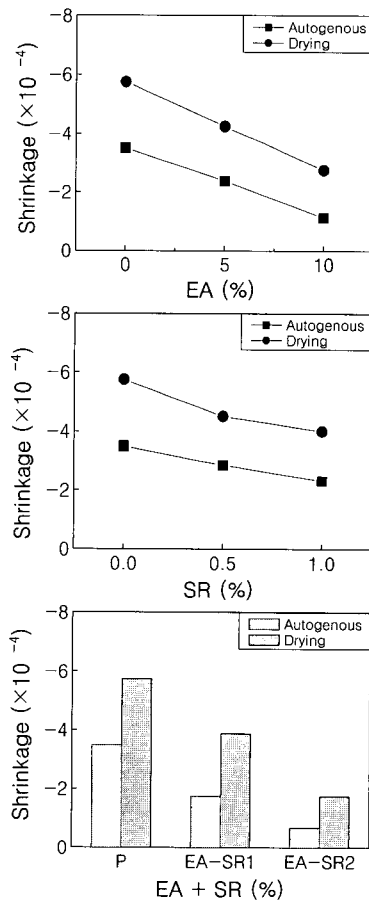


Fig. 13 Comparison of shrinkage with replacing ratio of expansive additive and shrinkage reducing agent

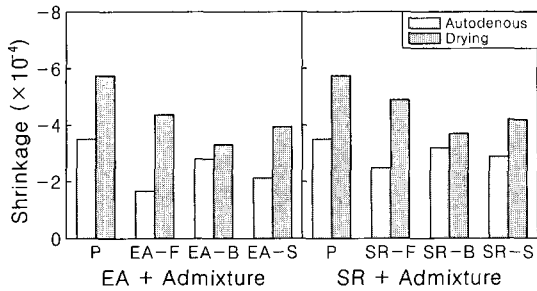


Fig. 14 Comparison of shrinkage with the combination of shrinkage reducing agent and mineral admixture

Fig. 14는 혼화제, 팽창제 및 수축저감제 병용에 따른 자기 및 건조수축량을 재령 49일에서 비교하여 나타낸 것이다. 혼화제 치환에 따라서 자기수축의 비율은 큰 차이를 나타내었는데 모두 플라이애쉬, 실리카 폼 및 고로슬래그 미분말의 순으로 작게 나타났다. 또한, 혼화제별 수축량은 자기수축의 경우 플라이애쉬가, 건조수축의 경우는 고로슬래그 미분말이 가장 작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼을 사용하는 고성능 콘크리트의 자기 및 건조수축 등 수축특성에 미치는 팽창제 및 수축저감제의 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고성능 콘크리트의 유동성은 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말의 경우 치환율 증가에 따라 증가하는 반면, 실리카 폼은 감소하는 것으로 나타났고, 공기량의 경우는 화학혼화제의 흡착작용 및 미립자의 공극충전효과로 감소하였다. 팽창제는 혼입률 증가에 따라 유동성이 약간 증가하였으나 수축저감제는 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 압축강도는 실리카 폼의 경우 포졸란반응 및 공극충전효과, 고로슬래그 미분말의 경우는 잠재수경성 반응에 기인하여 어느 정도의 치환량에서는 플레인보다 증가하였으나, 플라이애쉬의 경우는 치환율 15%의 재령 91일 및 180일에서 플레인과 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 또한, 팽창제는 혼입률 5%에서는 플레인보다 크거나 거의 비슷한 수준인 반면, 10%에서는 조직이완에 기인하여 감소하였고, 수축저감제는 혼입률 증가에 따라 모두 저하하였다.
- 3) 혼화제 종류별 건조수축은 고로슬래그 미분말, 실리카 폼 및 플라이애쉬의 순으로 작게 나타났고, 팽창제 및 수축저감제 혼입률 증가에 따라서는 크게 감소하였는데, 혼화제와 팽창제 및 수축저감제 병용시에는 두 혼화재료의 상승작용에 따라 플레인과 비교하여 14~35%정도 저감하는 것으로 나타났다.

- 4) 혼화제 종류별 자기수축은 플라이애쉬의 경우 플레인에 비하여 감소한 반면, 실리카 폼 및 고로슬래그 미분말의 경우는 증가하는 경향을 나타내었다. 팽창제 5~10% 치환에 따른 자기수축은 플레인에 비하여 약 32~68%, 수축저감제 혼입률 0.5~1.0%에서는 18~34% 저감하는 것으로 나타났으며, 팽창제 및 수축저감제를 병용한 경우는 플레인에 비하여 두 혼화재료의 상승작용에 따라 50~80%까지 저감할 수 있었다.

이상을 종합하여 볼 때, 혼화제를 사용하는 고성능 콘크리트에서 플라이애쉬 혹은 고로슬래그 미분말을 사용하고, 팽창제 5%, 수축저감제 0.5%를 병용하게 되면 유동성 및 강도에 큰 영향을 미치지 않는 동시에 수축에 의한 균열억제에도 큰 효과가 있는 것으로 판단되어 궁극적으로는 균열없이 고품질인 고성능 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 今本啓一, 大谷 博, “高強度・超高強度コンクリートの収縮性状に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.1061~1066.
2. 한천구, 반호용, 조병영, 윤기원, 이정희, “고성능 콘크리트의 특성에 미치는 배합요인의 영향”, 대한건축학회논문집, 11권, 11호, 1995, pp.293~301.
3. 日本コンクリート工學協會, “自己収縮研究委員會報告書”, 日本, 1996.
4. Davis, H. E. “Autogenous Volume Change of Concrete,” *Proc. ASTM* 40, 1940, pp.1103~1110.
5. 田澤榮一, 宮澤伸吾, “水中養生中に生じるセメントペーストの自己収縮,” 第43回 土木學會中四國支部研究發表會講演概要集, 1991, pp.570~571.
6. 홍상희, 전병채, 송명신, 한천구, 반호용, “CSA계 팽창제를 이용한 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 연구”, 한국건축학회 학술발표논문집, 18권 2호, 1998, pp.493~498.
7. 홍상희, 전병채, 한천구, 반호용, “CSA계 팽창제 및 무기질 혼화제를 이용한 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 10권, 2호, 1998, pp.386~391.
8. 이선우, 김남호, “CSA 팽창제의 콘크리트에 사용”, 콘크리트학회지, 8권, 6호, 1996, pp.59~66.
9. 田中敏嗣, 杉山彰徳, 小川鑑, 富田六郎, “混和材料を組合せて使用したコンクリートの諸特性”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.157~162.
10. 三浦智哉, 田澤榮一, 宮澤伸吾, 保利彰宏, “コンクリートの自己収縮に及ぼす高爐スラグ微分末の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.359~364.

11. 田澤榮一, 宮澤伸吾, 佐藤剛, 橋本聖三, “高爐スラグ微分末を用いたセメントペーストの自己収縮”, セメント・コンクリート研究討論會論文報告集, No.19, 1992, pp.23~28.

12. Hua, C., Acker, P. and Ehlacher, A., “Analyses and Models of the Autogeneous Shrinkage of Hardening Cement paste,” *Cement and Concrete Research*, Vol.25, No.7, 1995, pp.1457~1468.

요 약

본 연구에서는 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼 등 광물질 혼화제를 사용하는 고성능 콘크리트에서 자기 및 건조수축을 저감하기 위한 방안으로 팽창재, 수축저감제 및 팽창재와 수축저감제를 병용 사용하는 것에 대하여 분석하였다. 실험결과, 팽창재 및 수축저감제 혼입은 적정 혼입률 범위내에서 유동성 및 공기량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었으며 재령 91, 180일의 강도발현도 양호한 것으로 나타났다. 또한, 팽창재 5%, 10%에서는 플레인 콘크리트와 비교하여 자기수축을 32~68%, 건조수축은 25~49% 감소하는 것으로 나타났고, 수축저감제 혼입률 0.5%, 1.0%에서는 플레인 콘크리트와 비교하여 자기수축은 18~34% 및 건조수축은 16~26% 저감하는 것으로 나타났다. 특히, 팽창재와 수축저감제를 병용한 경우의 EA-SR배합에서는 수축저감의 효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 폼 등 광물질 혼화제를 사용한 고성능 콘크리트의 수축을 저감시키기 위해서는 팽창재와 수축저감제를 병용 사용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 고성능 콘크리트, 건조수축, 자기수축, 팽창재, 수축저감제