

팽창재와 수축저감제를 조합 사용한 고성능콘크리트의 기초물성 및 수축특성

한천구¹⁾ · 김성욱²⁾ · 고경택²⁾ · 한민철^{1)*}

¹⁾ 청주대학교 ²⁾ 한국건설기술연구원

(2004년 1월 8일 원고접수, 2004년 5월 31일 심사완료)

Fundamental and Shrinkage Properties of High Performance Concrete in Combined with Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent

Cheon-Goo Han¹⁾, Sung-Wook Kim²⁾, Kyoung-Taek Koh²⁾, and Han-Min Cheol^{1)*}

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

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

(Received January 8, 2004, Accepted May 31, 2004)

ABSTRACT

This study investigated the fundamental properties and shrinkage properties of high performance concrete with water/binder ratio of 0, 30 and with combination of expansive additive and shrinkage reducing agent. According to the results, the fluidity of high performance concrete showed lower the using method in combination with expansive additive and shrinkage reducing agent than the separately using method of that, so the amount of superplasticizer increased when the adding ratio of expansive additive and shrinkage reducing agent increased. However the air content of concrete increased when used in combination with expansive additive and shrinkage reducing agent, so the amount of AE agent decreased. The compressive strength showed the highest at 5% of expansive additive, and decreased with an increase of the amount of shrinkage reducing agent. Furthermore, in order to reduce the shrinkage of high performance concrete, it was found that the using method in combination with expansive additive and shrinkage reducing agent was more effective than separately using method of that. Therefore, it analyzed that the combination of expansive additive of 5% and shrinkage reduction agent of 1% was the most suitable mixture, considering to the fluidity, strength and shrinkage under the condition of this experiment.

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

1. 서 론

최근에는 고유동, 고강도 및 고내구성을 발휘하는 고성능콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고, 또한 사용 실적도 점차 증가하는 추세에 있다¹⁾. 그러나, 이러한 고성능콘크리트는 요구 성능을 만족시키기 위하여 필연적으로 물-결합재비(이하 W/B)를 작게 하고, 단위 결합재량 및 고성능 감수제를 다량 사용하게 되는데, 이로 인해 고성능콘크리트는 수화열에 의한 온도균열, 건조 및 자기수축에 의한 수축균열 및 비경제적인 문제점이 제기되고 있다²⁾. 따라서, 최근의 고성능콘크리트는 시멘트만으로 제조하기에는 많은 어려움이 따르게 되므로, 콘크리트 배합설계상 플라이애쉬 및 실리카폼 등 광물질 혼화재를 시멘트량에 일부 치환하여 사용하는 것이 기본이 되었고^{3,4)}, 또한 건조

및 자기수축 등 균열문제를 해결하기 위해 팽창재 및 수축저감제를 효율적인 비율로 조정하여 사용하는 것도 검토할 필요성이 제기되고 있다⁵⁾. 또한 저자들은 고성능콘크리트의 수축을 저감하기 위해 팽창재와 수축저감제의 사용을 검토한 결과, 단독으로 사용하는 방법보다 두 재료를 조합하여 사용하는 방법이 더 효과적인 것으로 분석되었다^{6,7)}. 따라서, 본 연구에서는 고성능콘크리트의 건조 및 자기수축 저감을 위한 방안으로 팽창재와 수축저감제를 다양한 혼합비율로 병용하는 고성능콘크리트에 대하여 그의 기초적 물성 및 수축특성을 검토함으로써, 고성능콘크리트의 고품질화에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 배합사항은

* Corresponding author

Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480

E-mail : twhan@chongju.ac.kr

Table 1 Design of experimental factors

Item	Factors	Levels	
Mixing factors	W/B* (%)	1	30
	Slump flow (cm)	1	60±10
	Air content (%)	1	4.5±1.5
	EA contents (%)	5	0.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0
	SRA contents (%)	5	0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
Experiments	Fresh concrete	7	Slump, Slump flow, Washing test of coarse aggregate, U type filling test, Air content, Unit weight, Setting time
	Hardened concrete	4	Compressive strength (7, 28, 91, 180days) Splitting tensile strength (28days) Drying shrinkage (1, 2, 3, 7... 180days) Autogenous shrinkage (Initial set, 1, 2, 3... days)

* Binder is triple-blended cement with [C:FA:SF = 7:2:1]

플라이애쉬(FA) 20%와 실리카폼(SF) 10%를 동시에 치환한 W/B 30%의 1수준에 대하여 팽창재(EA) 혼입률을 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0%의 5수준, 수축저감제(SR) 혼입률을 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%의 5수준간에 대한 조합으로 총 25배치를 실험계획 하였다. 이때, 각 배치는 목표 슬럼프플로우 60±10cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 SP제 및 AE제량을 배합설계 하였다. 굳지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험항목은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 2 Mixture proportion of concrete

W/B (%)	Water content (kg/m ³)	S/a (%)	Super plasticizer (B×%)	AE agent (B×%)	EA (%)	SR (%)	Unit weight (kg/m ³)												
							C	S	G	FA	SF	EA	SR						
30	175	45	1.90	0.040	0.0	0.0	408	686	814	117	58	0	0						
							405	684	812	117	58	0	3						
							403	682	809	117	58	0	6						
							400	680	806	117	58	0	9						
							397	678	804	117	58	0	12						
			2.00	0.015	2.0	3.94	686	813	117	58	15	0							
													391	684	811	117	58	15	3
													388	682	808	117	58	15	6
													385	680	806	117	58	15	9
													382	677	803	117	58	15	12
			2.10	0.010	2.5	3.94	686	813	117	58	29	0							
													391	684	811	117	58	15	3
													388	682	808	117	58	15	6
													385	680	806	117	58	15	9
													382	677	803	117	58	15	12
			2.20	0.010	5.0	3.94	686	813	117	58	29	0							
													379	686	813	117	58	29	0
													376	683	810	117	58	29	3
													373	681	808	117	58	29	6
													370	679	805	117	58	29	9
			2.30	0.012	7.5	3.94	686	813	117	58	26	12							
													367	677	803	117	58	26	12
													365	685	812	117	58	44	0
													362	683	810	117	58	44	3
													359	681	807	117	58	44	6
			2.40	0.015	10.0	3.94	686	813	117	58	44	9							
													356	679	805	117	58	44	9
													353	677	802	117	58	44	12
350	685	812											117	58	58	0			
347	682	809											117	58	58	3			
2.50	0.015	10.0	3.94	686	813	117	58	58	6										
										344	680	807	117	58	58	6			
										341	678	804	117	58	58	9			

Table 3 Physical properties of material

Materials	Sign	Principal properties
Cement	C	Type : ordinary portland cement Density : 3.15g/cm ³ Blaine : 3,413cm ² /g
Fine aggregate	S	Kind : river sand Density : 2.67g/cm ³ Fineness modulus : 2.60
Coarse aggregate	G	25mm crashed aggregate Density : 2.59g/cm ³ Fineness modulus : 6.87
Super plasticizer	SP	Type : Naphthalene
AE agent	AE	Type : negative ion
Fly ash	FA	Product : fined powder produced in Bo Ryeong Density : 2.22g/cm ³ Blaine : 3,850cm ² /g
Silica fume	SF	Density : 2.20g/cm ³ Blaine : 240,000cm ² /g
Expansive additive	EA	Density : 2.90g/cm ³ Blaine : 3,117cm ² /g
Shrinkage reducing agent	SR	Density : 1.02g/cm ³

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 강모래, 굵은골재는 25mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 혼화제로써, 플라이애쉬는 국내 보령 화력발전소산, 실리카폼은 노르웨이산, 팽창재는 일본산 CSA계, 수축저감제는 독일산 글리콜계를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입믹서를 사용하였고, 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다.

충전성 및 재료분리 저항성은 U형 충전시험 및 굽은골재 씻기 시험에 의거 실시하였으며, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 판입저항 시험방법에 의거 측정하였다. 경화 콘크리트의 압축 및 인장강도는 KS F 2403에 따라 공시체를 제작, 양생한 다음 계획된 재령에서 KS F 2405 및 2423의 규정에 따라 실시하였다. 건조수축시험은 KS F 2424에 의거 수중 7일 양생 후 기중양생하는 것으로 하였다. 또한, 자기수축 시험은 일본 콘크리트공학협회의 시험방법²⁾에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Table 4는 팽창재 및 수축저감제 병용에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

전반적으로, 팽창재 및 수축저감제 병용에 따른 유동성

Table 4 Test results of fresh concrete with expansive additive and shrinkage reducing agent

Items Kinds (EA-SR)	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air con- tent (%)	Unit weight (kg/m ³)	Filling height (cm)	Segre- gation resis- tance (%)	Setting time (min)	
							Initial	Final
0.0-0.0	26.8	65.8	4.8	2,337	33	88	22.9	24.3
0.0-0.5	26.1	59.7	4.9	2,323	30	90	22.1	23.5
0.0-1.0	26.0	59.2	5.0	2,307	30	86	20.2	22.7
0.0-1.5	26.3	59.6	5.2	2,295	29	93	20.0	21.8
0.0-2.0	25.6	53.9	4.1	2,330	26	89	17.7	19.3
2.5-0.0	26.6	65.4	5.7	2,299	31	94	18.5	20.3
2.5-0.5	26.5	64.3	6.0	2,286	30	88	17.7	19.8
2.5-1.0	25.8	58.5	5.3	2,318	29	89	16.7	19.0
2.5-1.5	25.4	52.7	4.3	2,328	26	94	14.7	16.8
2.5-2.0	25.5	56.1	3.6	2,349	27	98	13.0	15.2
5.0-0.0	27.0	67.3	4.0	2,368	32	89	18.3	22.3
5.0-0.5	26.5	60.3	5.4	2,289	30	88	17.8	19.5
5.0-1.0	26.6	60.2	4.5	2,313	30	89	17.2	19.2
5.0-1.5	25.4	54.6	4.0	2,322	29	91	16.7	18.1
5.0-2.0	25.8	55.2	3.8	2,329	28	85	19.3	23.5
7.5-0.0	26.8	64.5	5.6	2,278	31	86	18.7	21.5
7.5-0.5	26.5	62.9	4.1	2,347	30	88	17.3	20.8
7.5-1.0	26.3	60.1	4.2	2,327	30	85	16.2	19.7
7.5-1.5	25.5	53.0	3.6	2,365	26	96	16.3	20.7
7.5-2.0	25.6	56.8	4.5	2,342	27	90	17.0	21.3
10.0-0.0	27.0	65.7	4.0	2,323	31	89	13.7	15.3
10.0-0.5	25.6	58.7	3.5	2,363	29	92	11.3	14.5
10.0-1.0	26.0	59.4	4.3	2,333	30	93	10.3	13.7
10.0-1.5	24.9	51.5	3.5	2,318	25	93	10.0	13.2
10.0-2.0	25.3	52.4	3.2	2,336	25	90	15.5	18.3

및 공기량은 모두 배합설계로 결정하였으므로 고유동콘크리트의 범위인 목표 슬럼프플로우 60±10cm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.

U형 충전높이는 비교적 양호한 충전성을 나타내었고, 재료분리 저항률은 모두 85% 이상으로 양호하게 나타났다. 단, 본 항목은 배합설계 하여 얻어진 결과로써, 팽창재 및 수축저감제와 관련하여 분석하기에는 어려움이 있어, Fig. 1, 2는 SP제 및 AE제량 배합사항을 분석한 것이다. 즉, Fig. 1은 팽창재와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 SP제량을 나타낸 것이다. 먼저, 팽창재를 무혼입한 경우 수축저감제 혼입률 변화에 따른 SP제량은 수축저감제 혼입률이 증가할수록 유동성이 저하하여 동일 유동성으로 배합설계 하기 위해 SP제량이 증가하였다.

또한, 수축저감제를 무혼입한 경우는 팽창재 혼입률 변화에 따라 유동성이 유사하게 나타나 SP제량을 동일하게 사용하는 것으로 배합설계 되었으나, 팽창재 및 수축저감제를 병용한 경우는 유동성이 많이 저하하여 SP제 사용량이 크게 증가하였다.

Fig. 2는 팽창재와 수축저감제 혼입률 변화에 따른 AE제량을 나타낸 것이다. 팽창재를 무혼입한 경우, AE제량은 수축저감제 혼입률이 증가할수록 공기량 증가로 감소시켜주는 것으로 배합설계 되었다. 단, 수축저감제를 무혼입한 경우 팽창재 혼입률 변화에 따라 공기량은 큰 영향이 없는 것으로 나타나 AE제량을 동일하게 사용하는 것으로 배합설계 하였으나, 팽창재 및 수축저감제를 병용한 경우는 공기량이 증가하여 AE제의 사용량을 감소시켜주어야 할 필요가 있었다.

Fig. 3은 팽창재와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 초결 및 종결의 응결시간을 나타낸 것이다. 전반적으로, 팽창재 및 수축저감제 혼입률 증가에 따라 응결시간은 플레인과 비교하여 촉진되는 것으로 나타났는데, 단 팽창재 혼입률 5.0, 7.5 및 10.0%에서 수축저감제를 2.0% 혼입할 경우는 응결이 오히려 지연되는 역전경향도 나타났다.

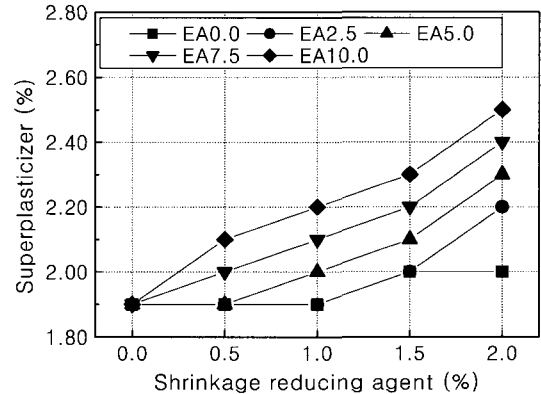


Fig. 1 Amount of superplasticizer with contents expansive additive and shrinkage reducing agent

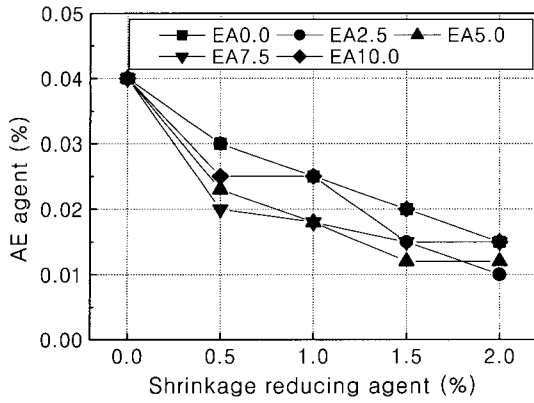
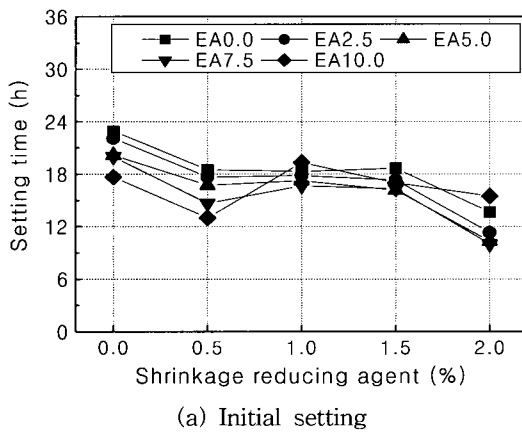
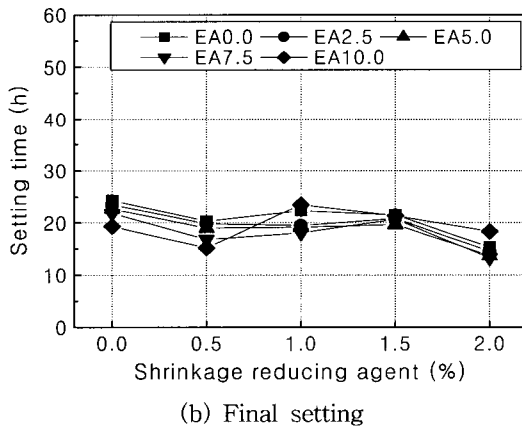


Fig. 2 Amount of AE agent with contents expansive additive and shrinkage reducing agent



(a) Initial setting



(b) Final setting

Fig. 3 Setting time with contents expansive additive and shrinkage reducing agent

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도 특성

Fig. 4는 재령별 팽창제와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 압축강도를 복합적으로 나타낸 것이다. 전반적으로, 팽창제와 수축저감제의 혼입률에 상관없이 비교적 고강도 나타내었으며, 재령 28일의 경우는 모두 50 MPa 이상

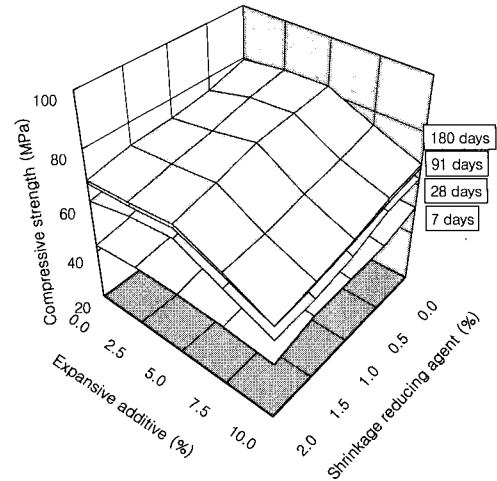


Fig. 4 Compressive strength with the combination of expansive additive and shrinkage reducing agent

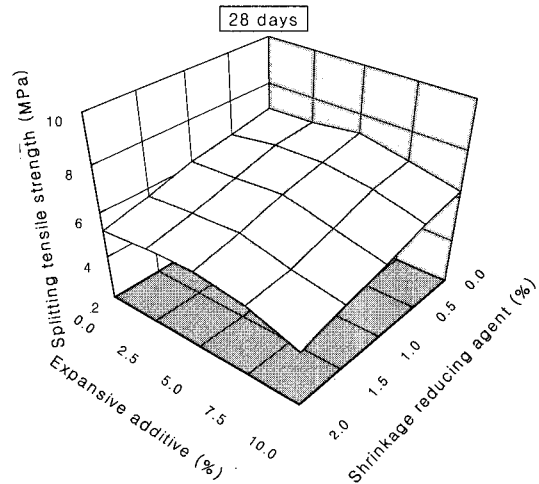


Fig. 5 Splitting tensile strength with the combination of expansive additive and shrinkage reducing agent

의 고강도를 발휘하였다. 수축저감제 혼입률 증가에 따른 압축강도는 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제에 의한 모세관장력의 감소에 기인한 것으로 분석된다.⁵⁾ 또한, 팽창제 혼입률 증가에 따라서는 혼입률 5.0%에서 가장 크게 나타났고, 그 이상인 경우에는 전반적으로 저하하는 경향이었는데, 이는 팽창제 과다 첨가에 따른 콘크리트 조직의 이완에 기인한 것으로 분석된다.⁹⁾

이상과 같이, 고성능콘크리트의 수축을 저감시키기 위해 사용되는 팽창제와 수축저감제는 압축강도에 미치는 영향은 크므로 이에 대한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

3.2.2 쪼갬인장강도 특성

Fig. 5는 재령 28일에서의 팽창제 혼입률과 수축저감제

혼입률 변화에 따른 쪼갬인장강도를 복합적으로 나타낸 것이다. 인장강도는 팽창제 및 수축저감제 병용에 따라 4~7MPa 정도의 범위에서 전체적으로 압축강도 증진과 유사한 경향으로 나타났다.

3.2.3 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

Fig. 6은 재령 28일에서의 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계를 나타낸 것이다. 고성능콘크리트의 압축강도와 쪼갬인장강도는 비례적으로 증가하였는데, 쪼갬인장강도는 압축강도와 비교하여 대략 1/10~1/12 정도로 나타났다. 이때 회귀식은 Fig. 6과 같고, 상관계수는 0.878로 비교적 양호하였다.

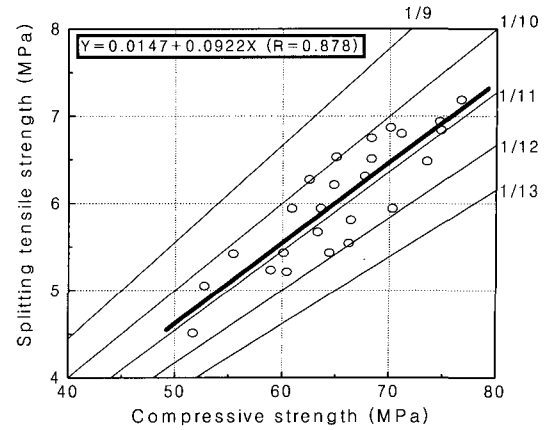


Fig. 6 Relation between compressive strength and splitting tensile strength

3.3 수축 특성

3.3.1 건조수축 특성

Table 5는 팽창제와 수축저감제를 조합한 고성능콘크리트의 수축저감상승효과분석을 나타낸 것이고, Fig. 7은 팽창제 및 수축저감제 혼입률별 재령경과에 따른 건조수축 길이 변화율을 나타낸 것이며, Fig. 8은 재령별 팽창제와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이 변화율을 복합적으로 나타낸 것이다. 건조수축 시험체는 초기 수중양생기간에서 팽창하였고, 재령 7일 후 기중양생에서 건조에 의한 수축이 발생하였는데, 초기재령일수록 수축경향

이 큰 것으로 나타났고, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향을 보였다. 재령 180일에서, 플레인의 건조수축은 6.15×10^{-4} 으로 나타났는데, 수축저감제 혼입률 증가에 따라 플레인에 비해 Table 5와 같이 4~22% 정도 저감하는 것으로 나타났다. 이는 수축저감제 혼입에 따른 모세관장력의 감소에 기인한 것으로 분석된다⁸⁾. 팽창제 혼입률 증가에 따라서는 플레인에 비해 6~35% 정도로 저감되었는데, 이는 팽창제의 에트리사이트 생성에 의한 수축보상 작용에 기인한 것으로 분석된다⁹⁾.

Table 5 Analysis of shrinkage reducing effects of high performance concrete with combination of expensive additive and shrinkage reducing agent

Items Kinds (EA-SR)	Drying shrinkage (180 days)						Autogenous shrinkage (49 days)					
	Measured value(A)		Calculated value(B)		Combined effect(B-A)		Measured value(A)		Calculated value(B)		Combined effect(B-A)	
	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)	Strain ($\times 10^{-4}$)	Perctale (%)
0.0-0.0	-6.15	100	-6.15	100	-	-	-2.98	100	-2.98	100	-	-
0.0-0.5	-5.88	96	-5.88	96	-	-	-2.62	88	-2.62	88	-	-
0.0-1.0	-5.55	90	-5.55	90	-	-	-2.28	77	-2.28	77	-	-
0.0-1.5	-5.15	84	-5.15	84	-	-	-1.82	61	-1.82	61	-	-
0.0-2.0	-4.80	78	-4.80	78	-	-	-1.43	48	-1.43	48	-	-
2.5-0.0	-5.78	94	-5.78	94	-	-	-2.39	80	-2.39	80	-	-
2.5-0.5	-5.32	87	-5.51	90	0.19	3	-2.02	68	-2.03	68	0.01	0
2.5-1.0	-5.02	82	-5.18	84	0.16	2	-1.74	58	-1.69	57	-0.05	-1
2.5-1.5	-4.50	73	-4.78	78	0.28	5	-1.28	43	-1.23	41	-0.05	-2
2.5-2.0	-3.98	65	-4.43	72	0.45	7	-0.84	28	-0.84	28	0.00	0
5.0-0.0	-5.26	86	-5.26	86	-	-	-1.86	62	-1.86	62	-	-
5.0-0.5	-4.77	78	-4.99	81	0.22	3	-1.48	50	-1.50	50	0.02	0
5.0-1.0	-4.28	70	-4.66	76	0.38	6	-1.02	34	-1.16	39	0.14	5
5.0-1.5	-3.64	59	-4.22	69	0.58	10	-0.62	21	-0.70	23	0.08	2
5.0-2.0	-3.12	51	-3.91	64	0.79	13	-0.16	5	-0.31	10	0.15	5
7.5-0.0	-4.85	79	-4.85	79	-	-	-1.34	45	-1.34	45	-	-
7.5-0.5	-4.23	69	-4.58	74	0.35	5	-0.94	32	-0.98	33	0.04	1
7.5-1.0	-3.56	58	-4.25	69	0.69	11	-0.45	15	-0.64	21	0.19	6
7.5-1.5	-2.92	47	-3.85	63	0.93	16	0.00	0	-0.18	6	0.18	6
7.5-2.0	-2.35	38	-3.50	57	1.25	19	0.58	-19	0.21	-7	0.37	12
10.0-0.0	-3.98	65	-3.98	65	-	-	-0.78	26	-0.78	26	-	-
10.0-0.5	-3.25	53	-3.71	60	0.46	7	-0.36	12	-0.42	14	0.06	2
10.0-1.0	-2.56	42	-3.38	55	0.82	13	0.17	-6	-0.08	3	0.25	9
10.0-1.5	-1.82	30	-2.98	48	1.16	18	0.70	-23	0.38	-13	0.32	10
10.0-2.0	-0.96	16	-2.63	43	1.67	27	1.10	-37	0.77	-26	0.33	11

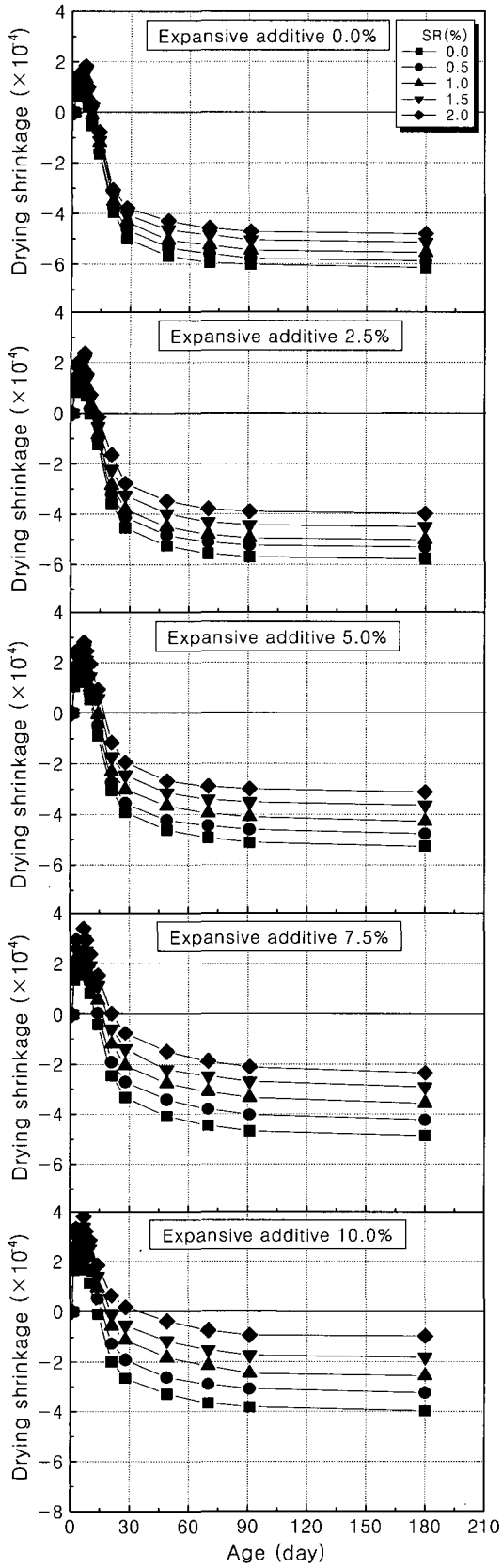


Fig. 7 Drying shrinkage with age

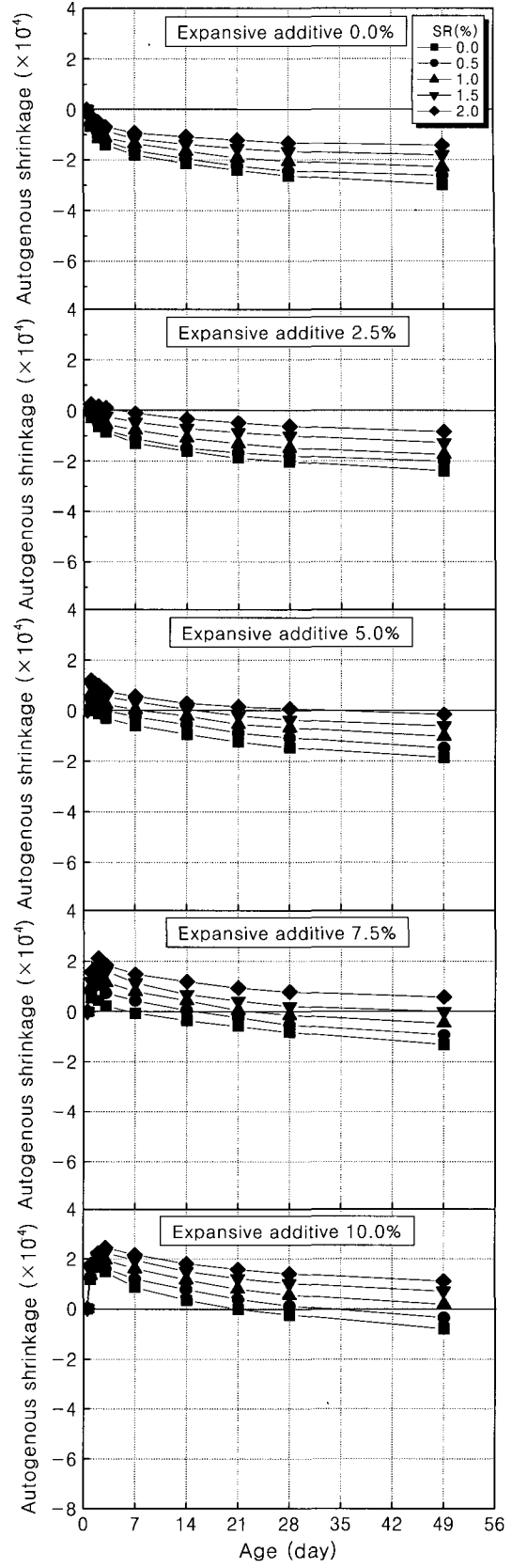


Fig. 9 Autogenous shrinkage with age

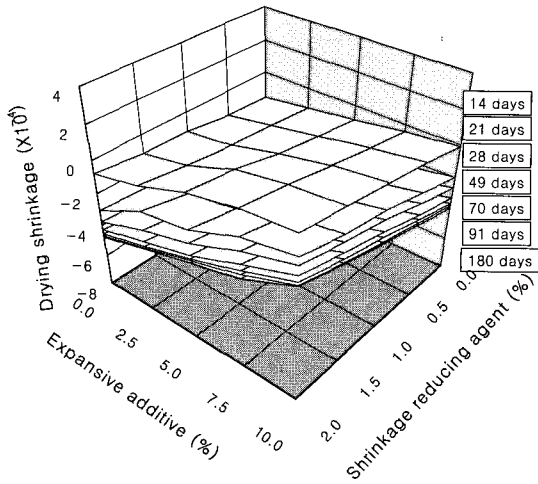


Fig. 8 Drying shrinkage with combination of expansive additive and shrinkage reducing agent

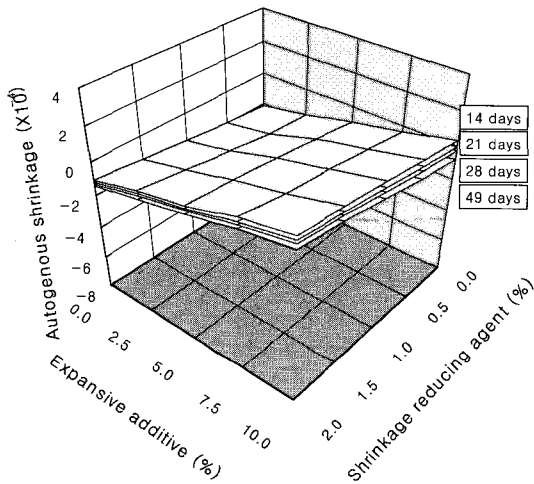


Fig. 10 Autogenous shrinkage with combination of expansive additive and shrinkage reducing agent

또한, 팽창제를 2.5, 5.0, 7.5 및 10.0% 혼입하면서 수축저감제 혼입률을 변화시키는 경우는 두 혼화재료의 중첩 효과로 Table 5와 같이 각각 6~35%, 14~49%, 21~62% 및 35~84% 정도로 크게 저감되었는데, 계산값과 비교한 순수복합상승효과는 2~27%로 우수하게 나타났다⁵⁾.

3.3.2 자기수축 특성

Fig. 9는 팽창제 및 수축저감제 혼입률별 재령경과에 따른 자기수축 길이 변화율을 나타낸 것이고, Fig. 10은 재령별 팽창제와 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이 변화율을 복합적으로 나타낸 것이다. 수축저감제 혼입률 증가에 따른 재령 49일의 자기수축은 플레인과 비교하여 12~52% 정도 저감하였고, 팽창제 혼입률 증가에 따라서는 20~74% 정도 저감하였다. 단, 팽창제와 수

축저감제를 병용한 경우는 더욱 크게 저감하여, 일예로 팽창제 10.0%에 수축저감제를 1.0% 혼입한 경우는 오히려 체적이 팽창하는 것으로 나타났다. 따라서, 팽창제와 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 당연히 자기수축은 작아지는데, 특히 수축저감 메커니즘이 서로 다른 팽창제와 수축저감제를 병용할 경우 그 효과는 더욱 커서, Table 5와 같이 계산값과 비교한 순수복합상승효과는 5% 전후가 될 수 있었다. 또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 모두 0.042~0.048%의 범위로서 일본 콘크리트공학협회의 자기수축측정방법에서 제안한 범위인 0.05%이하의 규정치를 모두 만족하는 값을 나타내었다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 49일 이후의 자기수축은 생략하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 고성능콘크리트의 기초적 물성과 건조 및 자기수축 특성에 미치는 팽창제 및 수축저감제를 병용하여 사용시의 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로, 유동성은 수축저감제 혼입률 증가에 따라 저하하여 SP제량이 증가하였고, 팽창제 혼입률 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타나 SP제량은 동일하였으나, 단 팽창제와 수축저감제를 병용한 경우는 혼입률 증가에 따라 유동성이 크게 저하하여 SP제량을 다량으로 증가시키는 것으로 나타났다. 공기량은 수축저감제 혼입률 증가에 따라 증가하여 AE제량이 감소되었고, 팽창제 혼입률 변화에 따라서는 큰 차이가 없었으나, 단 팽창제와 수축저감제를 병용한 경우는 혼입률 증가에 따라서 공기량이 크게 증가하여 AE제량이 많이 감소되었다.
- 2) 압축 및 인장강도는 수축저감제 혼입률 증가에 따라 저하하는 것으로 나타났고, 팽창제 혼입률 증가에 따라서는 혼입률 5.0%에서 가장 크게 나타났고, 그 이상인 경우는 전반적으로 저하하였으며, 팽창제 및 수축저감제를 병용한 경우는 서로 평균적인 경향이였다.
- 3) 건조 및 자기수축 길이변화율은 팽창제 및 수축저감제 혼입률 증가에 따라 모두 감소하는 것으로 나타났는데, 단 팽창제 및 수축저감제를 병용할 경우에는 복합된 상승작용으로 더욱 크게 감소하였다.

이상을 종합하여 볼 때, 먼저 팽창제는 전재령에서 5.0% 사용량일 때 압축강도가 최대가 되고, 또한 굳지 않

은 콘크리트의 물성, 건조 및 자기수축 특성도 우수하여 최적 사용량으로 사료된다. 그리고, 수축저감제의 경우는 사용량이 증가할수록 건조 및 자기수축은 감소하지만 유동성 및 압축강도 등은 저하하여 적정점을 하나의 관점에서 정하기는 곤란하지만 전체적인 흐름에서 1.0% 정도를 결정하면 콘크리트의 제반물성에서 특별한 결함없이 양호하게 저수축·저균열을 성취할 수 있어 적정 혼입률로 분석된다.

참고문헌

- 한천구, 반호용, 윤기원, 이정희, 조병영, “고성능콘크리트의 특성에 미치는 배합요인의 영향”, 대한건축학회논문집, Vol.11, No.11, 1995, pp.293~301.
- 日本コンクリート工學協會, “自己收縮研究委員會報告書”, 日本コンクリート工學協會, 1996, pp.1~111.
- 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희, “CSA계 팽창제 및 무기질 혼화제를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 콘크리트학회지, Vol.11, No.1, 1999, pp.141~148.
- 近松龜一, 竹田宣典, 鎌田文男, 十河茂幸, “結合材の種類がコンクリートの硬化收縮に及ぼす影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993, pp.543~548.
- 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.
- 한천구, 김성욱, 고정택, 배정렬, “팽창제 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성”, 콘크리트학회 논문집, Vol.15, No.6, 2003, pp.785~793.
- 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상기술 개발”, 한국건설기술연구원, 2002, pp.94~113.
- 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演梗概集, 1998, pp.1085~1086.
- 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.
- 閑田徹志, 鈴木康範, 小田部裕一, 櫻本文敏, “ひび割れ低減コンクリートの開發”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2003, pp.109~110.

요 약

본 연구에서는 W/B 30%의 고성능 콘크리트에서 팽창제와 수축저감제 병용 사용에 따른 콘크리트의 기초적 특성 및 수축특성에 대하여 분석하였다. 실험결과, 고성능 콘크리트의 유동성은 팽창제와 수축저감제를 단독사용보다 병용사용일 때 더 크게 저하하여 고성능 감수제의 사용량이 증가되었고, 공기량은 증가하여 AE제의 사용량이 감소되었다. 또한, 압축강도는 팽창제량의 혼입률 5.0%를 사용한 경우가 최대가 되고, 수축저감제는 사용량 증가에 따라 저하되는 것으로 나타났다. 고성능콘크리트의 건조수축 및 자기수축을 저감시키기 위해서는 팽창제와 수축저감제를 혼합하여 사용할 때 가장 양호한 결과가 나타났다. 따라서 유동성, 강도 및 수축특성을 종합적으로 고려한 결과, 본 연구실험 조건에서는 팽창제 5.0%, 수축저감제 1.0%의 조합이 최적배합으로 분석되었다.

핵심용어 : 고성능콘크리트, 건조수축, 자기수축, 팽창제, 수축저감제