

혼화재 사용에 따른 고강도 콘크리트의 수축에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on Shrinkage of High Strength Concrete with Mineral Admixture

이영재^{1*}
Young-Jae Lee^{1*}

<Abstract>

The effects of additive and shrinkage reducing agent on the drying and autogenous shrinkage of high strength concrete are investigated in this study. As results, when the ratio of W/B(low water to binder ratio) increase, the compressive strength is decreased. Comparing with PC(portland cement) concrete, the strength is 2.8%, 3.2% and 3.8% lower respectively than that of PC when concrete mixing ratio is 0.2%, 0.3% and 0.4% in 28 days curing. Drying shrinkage strain of PC concrete showed -650×10^{-6} in 91 days curing. When SR(shrinkage reducing agent) of 0.2%, 0.3% and 0.4% is mixed, the drying shrinkage strains are 21%, 34% and 41% lower than those of PC in 91 days curing. Autogenous shrinkage strain of PC concrete appeared -480×10^{-6} in 56 days curing. When SR of 0.2%, 0.3% and 0.4% is mixed, the autogenous drying shrinkage strain are 12.5%, 19.8% and 33.3% lower than those of PC in 56 days curing. In cases of using the mineral and shrinkage agent or only using a shrinkage reducing agent also appeared same reducing effects for drying shrinkage and autogenous shrinkage.

Keywords : *Autogenous shrinkage, Drying shrinkage, High strength concrete, Silica fume, Shrinkage reducing agen*

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 고층화, 대형화 및 원자력 발전소와 같은 특수 구조물들의 증가에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 빈번해지고 있다. 이런 고강도 콘크리트의 요구 성능을 만족시키기 위해서는 필연적으로 물-결합재비를 작게 하고, 단위 결합재를 다량으로 사용해야 한다. 그러나 이로 인해 콘크리트의 수화열, 건조수축 및 자기수축 등에 의한 균열 발생이 문제되고 있다. 따라서 고강도 콘크리트를 보다 많은 구조물에 안정적으로 적용하기 위해서는 건조수축 및 자기수축에 의해 발생하는 균열 문제를 해결할 필요가 있다.

자기수축은 이미 1940년대 초에 Davis에 의

해 보고되었다.¹⁾ 물-결합재비 (W/B)가 0.5 이상인 보통강도 콘크리트에서는 자기수축 변형률이 매우 작기 때문에 무시되어 왔지만 최근에 고강도에 대한 관심이 높아지면서 50~60 MPa 이상, 높게는 120MPa 강도의 콘크리트가 초고층 빌딩과 교량에 사용되고 있다. 또한 물-결합재비가 낮고 결합재의 양이 많은 고강도 콘크리트는 매우 큰 자기수축이 일어나 균열발생의 가능성을 높이고 있다.²⁾ 콘크리트 균열을 저감시키는 방법으로는 팽창재를 첨가하는 방법과 수축저감제를 첨가하는 방법 등이 있다.^{3~7)} 국외에서는 자기수축에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나^{8~12)}, 국내에는 이런 재료의 사용에 따른 고강도 콘크리트의 수축저감에 대한 문제점을 체계적으로 분석한 사례가 거의 없는 실정이며 김진근¹³⁾, 홍상희¹⁴⁾, 고경택⁷⁾, 이희근¹⁵⁾

¹정회원, 경북대학교 이공대학 토목공학과 교수, 工博
E-mail: yjlee01@knu.ac.kr

¹Regular member, Professor Dept. of Civil Eng, Kyungpook National University. Ph.D.

등에 의해 제한적으로 이루어졌을 뿐 아직은 자기수축에 대한 자료와 시험 결과가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 수축저감 기술을 구축하는 연구의 일환으로서 혼화제와 수축저감제 사용이 고강도 콘크리트의 건조수축 및 자기수축에 미치는 영향을 실험을 통해 측정하여 비교 분석하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(PC로 약함)이며 혼화제는 고로슬래그(SL로 약함), 플라이애쉬(FA로 약함), 실리카폼(SF로 약함)의 포졸란계로 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1, Table 2와 같다. 콘크리트의 소요 유동성을 확보하기 위해 나프탈렌계 고성능 감수제(HRWR로 약함)를 사용하였으며 그 특성은 Table 3과 같다. 소정의 공기량을 확보하기 위하여 Air Entraining agent(AE로 약함)를 첨가하였다. Table 4는 분말형 글리콜계의 수축저감제(SR로 약함)사용에 따른 각각의 특성이다. 잔골재는 비중 2.60의 세척 해사를, 굵은골재는 최대 치수 13mm의 부순돌을 사용하였으며, 잔골재와 굵은골재의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

2.2 콘크리트의 배합

이 논문의 배합은 Table 6과 같으며 물-결합재비의 변수를 0.2, 0.3, 0.4의 3개 변수로 하여 Series I, Series II, Series III로 구분하여 실시하였다. Series I에서는 물-시멘트비별 수축저감제의 혼입률(0.2, 0.3, 0.4%)에 따른 효과를 검토하였다. Series II에서는 결합재로서 광물질 혼화제를 사용한 물-결합재비별 수축저감제 사용에 따른 영향을 검토하였다. Series III에서는 고강도 범위인 물-결합재비 0.4의 경우는 플라이애쉬를 20%만큼 혼합하였고 물-결합재비 0.3인 경우는 플라이애쉬 20%와 실리카폼 5%를 혼합하였으며, 물-결합재비 0.2의 경우는 플라이애쉬 20%와 실리카폼 10%를 혼합하였다. 그리고 수축저감제 혼입률을 0%, 2% 수준으로 총 6개를 배치하여 시험하였다. 여기서 수축저

감제를 사용한 경우는 E로, 수축저감제를 미사용한 경우는 O로 표기하였다.

이 때, 콘크리트 배합은 각 물-결합재비에 대하여 수축저감제를 혼합하지 않은 배합에서 목표 슬럼프 플로우 500±100mm, 목표 공기량 4.5±1.5%가 발휘되도록 단위수량, HRWR제 첨가량 및 AE제량을 결정한다 다음 이를 전 배합에 동일하게 적용 하였다.

콘크리트 제조방법은 골재와 시멘트를 먼저 투입하여 30초간 건식 비비기를 실시한 후 혼합수, 고성능감수제, 수축저감제를 투입하여 150초 동안 비비기하였다.

Table 1. Physical & Chemical Properties of Cement

Chemical composition(%)							I _g loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting time (hr:min)	
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Initial				Final	
63.09	21.35	5.50	2.64	3.97	2.07	1.39	3.16	3453	3:50	6:40	

Table 2. Physical & Chemical Properties of Fly ash and Silicafume

Items Types	Chemical composition(%)						I _g loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃			
PC	61.33	21.01	6.40	3.12	3.12	2.14	1.40	3.15	3413
FA	3.34	60.21	25.22	4.30	0.91	0.16	2.90	2.27	3654
SF	0.25	97.6	0.61	0.10	0.74	0.30	0.16	2.20	28000
SL	43.32	34.56	15.78	0.09	5.90	2.78	0.05	2.91	4463

Table 3. Physical & Chemical Properties of Superplasticizer

Items Type	Main composition	Specific gravity	Appearance	Standard dosage (C×%)
HRWR	Polycarboxylic	1.05	Transparent liquid	0.5~3.0

Table 4. Physical Properties of Shrinkage Reducing Agent

Item	Main ingredient	Specific gravity	Appearance	Standard dosage (C×%)	color	Density (t/cm ³)	Solubility in water
Shrinkage reducing agent	Polypropylene glycol	1.11	Transparent liquid	2.0~4.0	White	3.18	Soluble in water

Table 5. Physical Properties of Aggregates

Items Types	Max. size of coarse agg.	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Fineness modulus
Fine aggregate	-	2.59	0.85	1,581	2.77
Coarse aggregate	13.0	2.62	0.80	1,561	6.78

Table 6. Mix Proportions of Concrete per 1m³ (Series I)

W/B	W/C	S/a	Target Slump Flow (mm)	Target Air content (%)	HRWR (%)	SR (%)	Unit weight(kg/m ³)					AE (%)
							W	C	SR	S	G	
0.0	20	41	600±50	4.5±1.5	0.028	0.0	900	0				4.50
0.2						180	898.2	1.8		641	922	4.49
0.3						0.3	897.3	2.7				4.49
0.4						0.4	896.4	3.6				4.48
0.0	30	45	600±50	4.5±1.5	0.042	0.0	600	0				3.00
0.2						180	508.8	1.2		715	847	2.54
0.3						0.3	588.2	1.8				2.99
0.4						0.4	597.6	2.4				2.99
0.0	40	49	600±50	4.5±1.5	0.025	0.0	450	0				2.25
0.2						180	449.1	0.9		765	797	2.25
0.3						0.3	448.6	1.4				2.24
0.4						0.4	448.2	1.8				2.24

(Series II)

W/B	W/C	S/a	Target Slump Flow (mm)	Target Air content (%)	HRWR (%)	SR (%)	Unit weight(kg/m ³)							AE (%)	
							W	B				SR	S		G
							C	FA	SL	SF					
0.0	20	41	600±50	4.5±1.5	0.028	0.0	900	0	0	0	0			4.50	
0.2						180	765	135	0	0	1.8		641	922	3.83
0.3						0.3	630	0	270	0	2.7				3.15
0.4						0.4	832.5	0	0	67.5	3.6				4.16
0.0	30	45	600±50	4.5±1.5	0.042	0.0	600	0	0	0	0			3.00	
0.2						180	510	90	0	0	1.2		715	847	2.55
0.3						0.3	420	0	180	0	1.8				2.10
0.4						0.4	555	0	0	45	2.4				2.78
0.0	40	49	600±50	4.5±1.5	0.025	0.0	450	0	0	0	0			2.25	
0.2						180	382.5	67.5	0	0	0.9		765	797	1.91
0.3						0.3	315	0	135	0	1.4				1.58
0.4						0.4	416.2	0	0	33.8	1.8				1.88

(Series III)

No.	W/B	Binder content (kg/m ³)	FA (%)	SL (%)	SF (%)	S/a (%)	HRWR (%)	AE (%)	SR (%)	Unit weight(kg/m ³)						
										W	C	FA	B/S	SF	S	G
EO2	0.2	881	20	0	10	39	1.5	2.88	0.0	163	571	163	65	82	508	803
EO2	0.2	881	20	10	5	39	1.5	2.88	2.0	163	571	163	65	82	508	803
EO3	0.3	667	20	0	5	39	0.9	2.28	0.0	182	453	121	61	30	567	898
EO3	0.3	667	20	10	0	39	0.9	2.28	2.0	182	453	121	61	30	567	898
EO4	0.4	538	20	0	0	39	0.75	1.92	0.0	192	384	96	58	0	605	958
EO4	0.4	538	20	10	0	39	0.75	1.92	2.0	192	384	96	58	0	605	958

2.3 실험 방법

1) 슬럼프, 플로우, 공기량

굳지 않은 콘크리트의 성질들을 알아보기 위해, 공기량(KS F2421) 시험과 콘크리트 배합 직후부터 1시간까지 30분 간격으로 슬럼프 및 플로우(KS F2402) 시험을 실시하여 시간에 따른 변화를 조사하였다.

2) 압축강도

모르타르는 KSL 5105 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 의하여 실시하였으며 콘크리트는 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 원주공시체를 제작하여 1일후 탈형하고 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 수중에서 표준양생을 실시한 다음, 제령 3일, 7일, 28일 압축강도를 KSF 2405에 의하여 측정하였다. 압축강도의

값은 콘크리트 공시체 3개의 평균값이다. 이 때 압축강도용 시험기는 2000kN 만능시험기를 사용하였으며, 고강도콘크리트의 응결시간 측정은 KSF 2436의 관입저항침에 의한 콘크리트 응결 시간 시험방법에 따라 측정하였다. 고강도 콘크리트의 공극률 측정은 ASTM C642-97 (Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete)의 시험 방법에 따라 측정하였다.

3) 건조수축

콘크리트의 건조수축은 KSF 2424에 준하여 다이얼 게이지로 측정하였다. 건조수축에 의한 길이변화 측정용 공시체는 $150 \times 150 \times 550\text{mm}$ 의 몰드를 이용하여 시편의 양단에 길이변화 측정용 게이지를 설치하여 제작하고 항온항습기($10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$)와 기건상태에 노출시켜 측정하였다.

제령 7일까지의 길이변화 측정은 콘크리트 시편을 수중에서 꺼내어 표면에 있는 수분을 신속하게 제거한 후 길이변화를 측정한다. 후 시편을 곧바로 다시 수중에 넣었다. 건조수축 변형률은 콘크리트의 시편 3개의 평균값이다.

4) 자기수축

콘크리트의 자기수축에 관한 특별한 규정이 우리나라에는 아직 없으므로 일본 콘크리트 공학협회의 자기수축 위원회⁴⁾에서 제안한 방법을 참고하여 측정하였다. Fig. 1은 자기수축용 콘크리트 공시체 및 시험장치 개요를 나타낸 것이다. 길이변화 측정용 공시체는 $100 \times 100 \times 500\text{mm}$ 철재몰드를 사용하였으며 몰드 중앙부에 게이지 거치를 위한 삼발이를 설치한 후 매립형 게이지를 매설하였다. 몰드 내부 면에 몰드와 시험편의 부착을 최소화하기 위해 테프론시트를 부착하였으며, 오일을 면 전체에 도포하였다. 길이변화 시험은 기건양생(온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$)한 경우와 수중양생을 행하지 않고 전 기간 기중양생을 한 경우에 대해서 실시하였다.

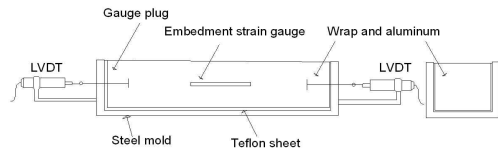


Fig. 1. Experimental setup for measuring length change of concrete.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

고강도 콘크리트인 40MPa에서는 슬럼프가 초기에 PC 210mm, FA 200mm이며 60MPa에서는 슬럼프가 초기에 PC 190mm, FA 175mm이며 80MPa에서는 슬럼프 초기에 PC 170mm FA 155mm로 다소 높게 나타났으며 공기량도 다소 감소하였다. 1시간 경과한 40MPa 콘크리트의 슬럼프 값은 PC 195mm, FA 20은 195mm이며, 60MPa 콘크리트는 PC 170mm, FA20은 165mm이며 80MPa 콘크리트는 PC155mm, FA20은 150mm으로 나타났다.

슬럼프, 플로우 및 공기량 등 굳지 않은 콘크리트 성질을 나타낸 Table 7에서 보듯이 PC 40MPa인 경우는 초기 슬럼프는 210mm, 공기량은 5.1%이었으며 배합후 1시간이 경과한 후의 슬럼프는 195mm로 150mm의 슬럼프 손실이 발생하였다. 60MPa인 경우의 결과를 보면 초기 슬럼프는 190mm, 공기량은 4.8%이었으며 배합 후 1시간 경과한 후의 슬럼프는 170mm로 20mm의 슬럼프 손실이 발생하였다. 80MPa인 경우의 결과를 보면 초기 슬럼프는 170mm, 공기량은 4.3%이었으며 배합후 1시간이 경과한 후의 슬럼프는 155mm로 15mm의 슬럼프 손실이 발생하였다.

한편 시멘트의 중량의 20%를 플라이애쉬로 대체한 FA의 경우 PC보다 슬럼프와 플로우는 감소하였고 공기량도 다소 감소하는 것으로 나타났다. 또한 슬럼프와 플로우의 손실이 이보다 적게 나타났다. 이는 플라이애쉬의 사용에 따른 위커빌리티 향상과 고성능 감수제의 지연효과 때문인 것으로 판단된다. 시간이 지나면서 PC의 경우 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 고강도 콘크리트를 제조할 때 FA를 사용하면 초기 유동성 측면에서 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 사료된다.

재령별 압축강도 시험결과를 보면 28일에서 강도 수준에 따라서 물·결합재 비가 0.4, 0.3, 0.2에 대해서 각각 39.5, 71.2, 88.0MPa로 PC에서 볼 수 있으며, FA 20의 경우 각각 38, 68.9, 85.5MPa로 설계 배합강도를 초과하는 강도를 나타내었다.

재령 28일에서의 PC강도 수준을 보면 초기에

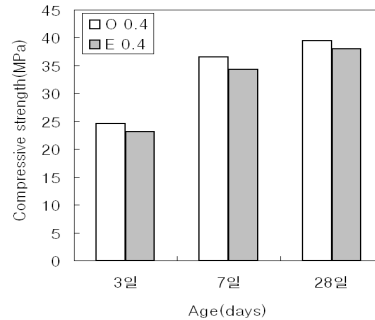
는 다소 낮은 강도를 나타내었으나 각각 39.5, 71.2, 88.0MPa로 FA시리즈보다 높은 경향을 보였다. 그러나 FA를 사용하여 장기적인 재령으로 간다면 강도는 역전되는 경향을 보일 것으로 사료되며 현장 여건에 적합한 고강도 콘크리트 제조가 가능하다고 판단된다.

Table 7. Properties of Fresh and Hardened Concrete

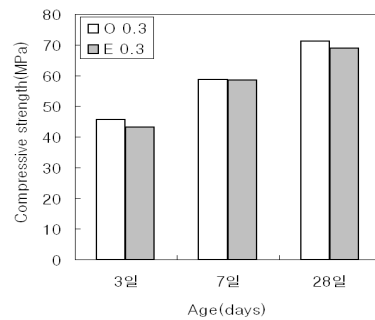
W/B	Mix type(%)	Slump Flow (mm)			Air(%)			Temp(°C)		f_{cu} (MPa)			
		Initial	30min	60min	Initial	30min	60min	Amb.	Con'c	1	3	7	28
0.4	PC	210	205	195	5.1	5.0	5.0	18.0	19.2	20.9	24.6	36.5	39.5
	FA20+SF0	200	200	195	4.5	4.2	4.1	17.8	18.5	19.2	23.1	34.3	38
0.3	PC	190	180	170	4.8	4.6	4.4	19.3	19.8	29.1	45.6	58.6	71.2
	FA20+SF5	175	170	165	4.0	4.0	3.9	19.6	20.0	28.4	43.2	58.5	68.9
0.2	PC	170	160	155	4.3	4.3	4.0	21.7	22.3	39.8	50.2	78.6	88.0
	FA20+SF10	155	155	150	3.7	3.6	3.5	21.0	21.5	36.7	51.2	63.2	85.5

3.2 압축강도

Fig. 2는 SR의 혼입률이 압축강도에 미치는 영향이다. SR을 사용한 콘크리트는 혼입률이 증가함에 따라 압축강도가 저하되며, 재령 28일에서 수축저감제를 사용하지 않은 PC 콘크리트에 비해 수축저감제를 사용한 콘크리트의 압축강도는 혼입률 0.3%, 0.2%에서 각각 3.2% 3.8%가 저하되는 것으로 나타났다.



(a) W/B=0.4



(b) W/B=0.3

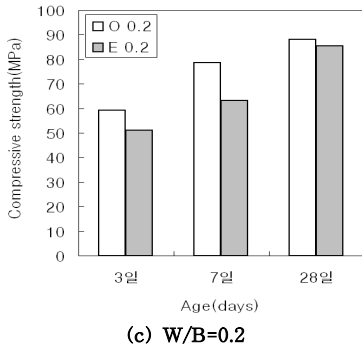


Fig. 2. Compressive Strength with a mixed Shrinkage Reducing Agent.

Fig. 3은 수축저감제 혼합에 따른 재령 28일 콘크리트 압축강도의 공극률 시험결과(ASTM C 642-97)를 정리한 것이다. 수축저감제를 혼합함에 따른 공극률의 차이는 물-결합재비에 따라 상이함을 보였다.

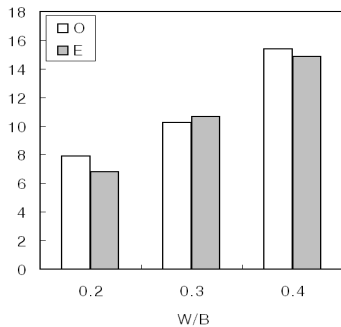


Fig. 3. Percentage of Air Void with a mixed Shrinkage Reducing Agent(ASTM C 642).

3.3 콘크리트의 건조수축 특성

Fig. 4는 SR의 혼입률이 건조수축에 미치는 영향이다. SR을 사용하지 않은 PC 콘크리트의 건조수축 변형률은 재령 91일에서 약 -650×10^{-6} 로 비교적 크게 수축이 발생하는 것으로 나타났다. SR을 혼입한 콘크리트는 탈형 후 수중양생 기간 동안에 PC 콘크리트와 마찬가지로 수분흡수에 의해 콘크리트가 팽창하는 것으로 나타났다. 재령 7일후의 기건상태에서 건조되더라도 PC 콘크리트에 비해 건조수축 변형률이 감소하였다. 이것은 SR을 사용함으로써 콘크리트 경화체 공극 내부에 존재하는 수분의 표면장력을 자하시키는 작용 때문으로 분석된다.⁶⁾ 재령

91일에서 SR을 혼입한 콘크리트의 건조수축 변형률은 PC 콘크리트에 비해 혼입률 0.2%에서 약 21%, 혼입률 0.3%에서 약 34%, 혼입률 0.4%에서 약 41%가 저감되었다. 고강도 콘크리트에서 수축저감제를 혼합함에 따라 건조수축률이 크게 감소하는 경향을 보였으며 이는 다른 연구결과와 일치한다.^{7),15)} 또한 고강도 콘크리트를 전기간 기건양생했을 경우, 7일 수중양생 후 기건양생했을 경우보다 전반적으로 건조수축률의 감소가 나타났다. 이상과 같이 고강도 콘크리트의 건조수축을 저감하기 위해 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 건조수축의 저감효과에 기인한다고 판단된다.

Fig. 5는 광물질 혼화제와 SR의 병용사용이 콘크리트의 건조수축에 미치는 영향이다. FA를 사용한 콘크리트의 건조수축은 PC 콘크리트에 비해 약간 증가하였으나 SL와 SF를 사용한 콘크리트는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 광물질 혼화제와 SR을 병용하여 사용한 경우, 혼화제 종류와 상관없이 건조수축 변형률이 크게 감소하였으며 SR을 단독으로 사용한 경우와 재령에 따라 다른 경향을 나타내지만, 재령 91일에서의 건조수축 변형률은 거의 동일한 것으로 나타났다.

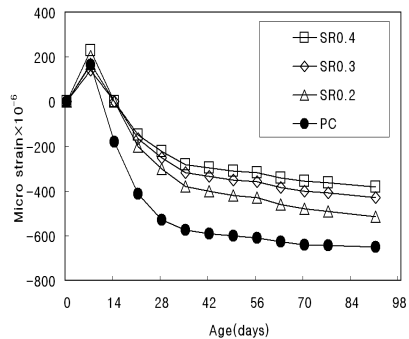


Fig. 4. SR Effect of drying shrinkage of concrete.

3.4 콘크리트의 자기수축 특성

Fig. 6은 SR이 자기수축에 영향을 미치는 것을 측정한 결과이다. PC 콘크리트의 자기수축 변형률은 56일에서 -480×10^{-6} 로 비교적 큰 것으로 나타났으며, 대부분 재령 10일 이내에 수축이 발생하여 그 이후에는 점점 수축량이 감소하였다.

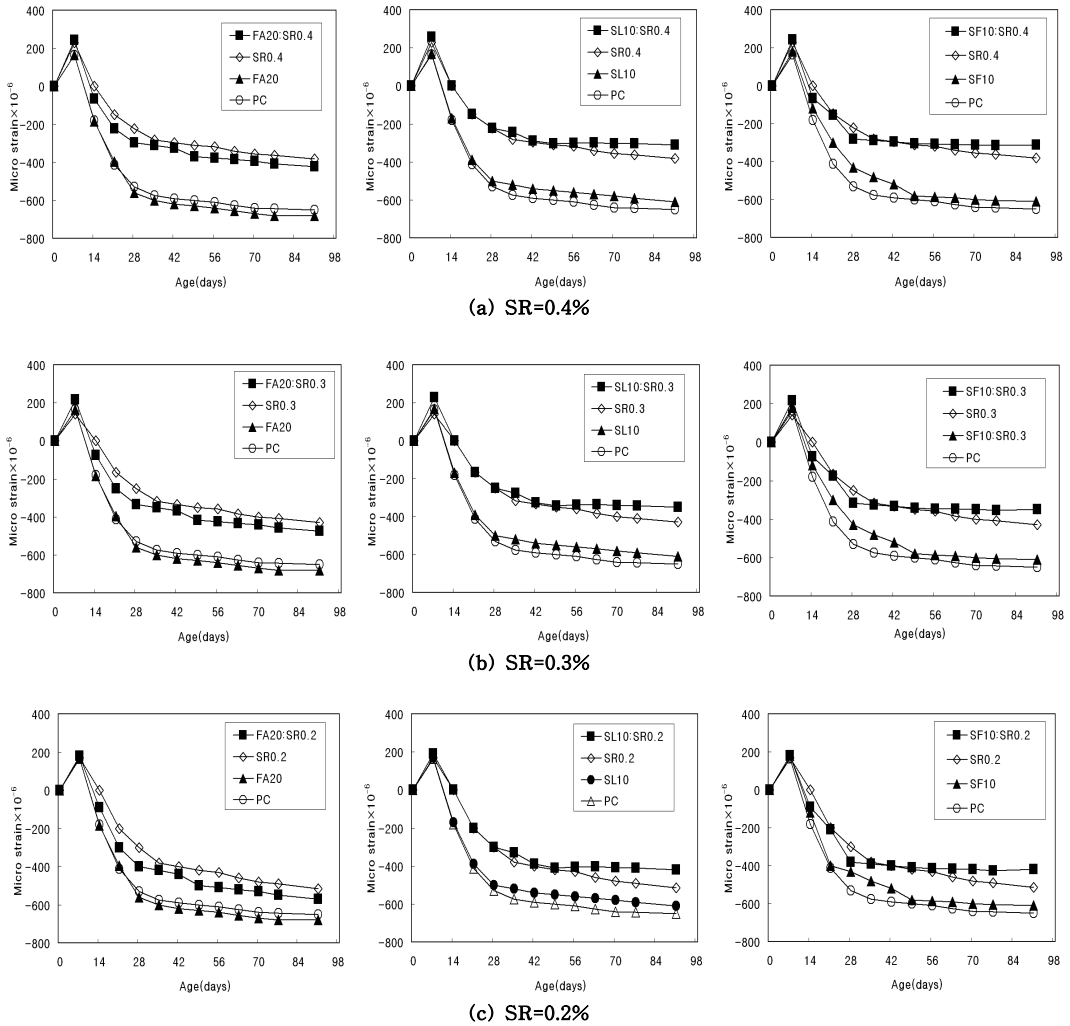


Fig. 5. Effect of admixtures and SR use for dring shrinkage.

이와 같이 자기수축이 크게 발생하는 콘크리트의 SR을 혼입한 결과, 콘크리트의 자기수축이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

PC 콘크리트에 비해 SR 혼입률이 0.2%인 경우 12.5%, 혼입률이 0.3%인 경우 약 19.8%, 혼입률이 0.4%인 경우 약 33.3%의 수축을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 SR을 사용함으로써 자기수축이 감소하는 것은 콘크리트 경화체 공극 내부에 존재하는 수분의 표면장력을 저하시키는 작용 때문으로 판단된다.^{6),16)}

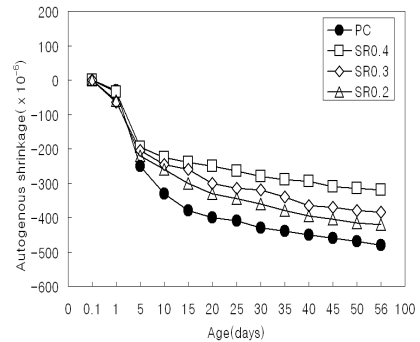


Fig. 6. SR effect of autogenous shrinkage.

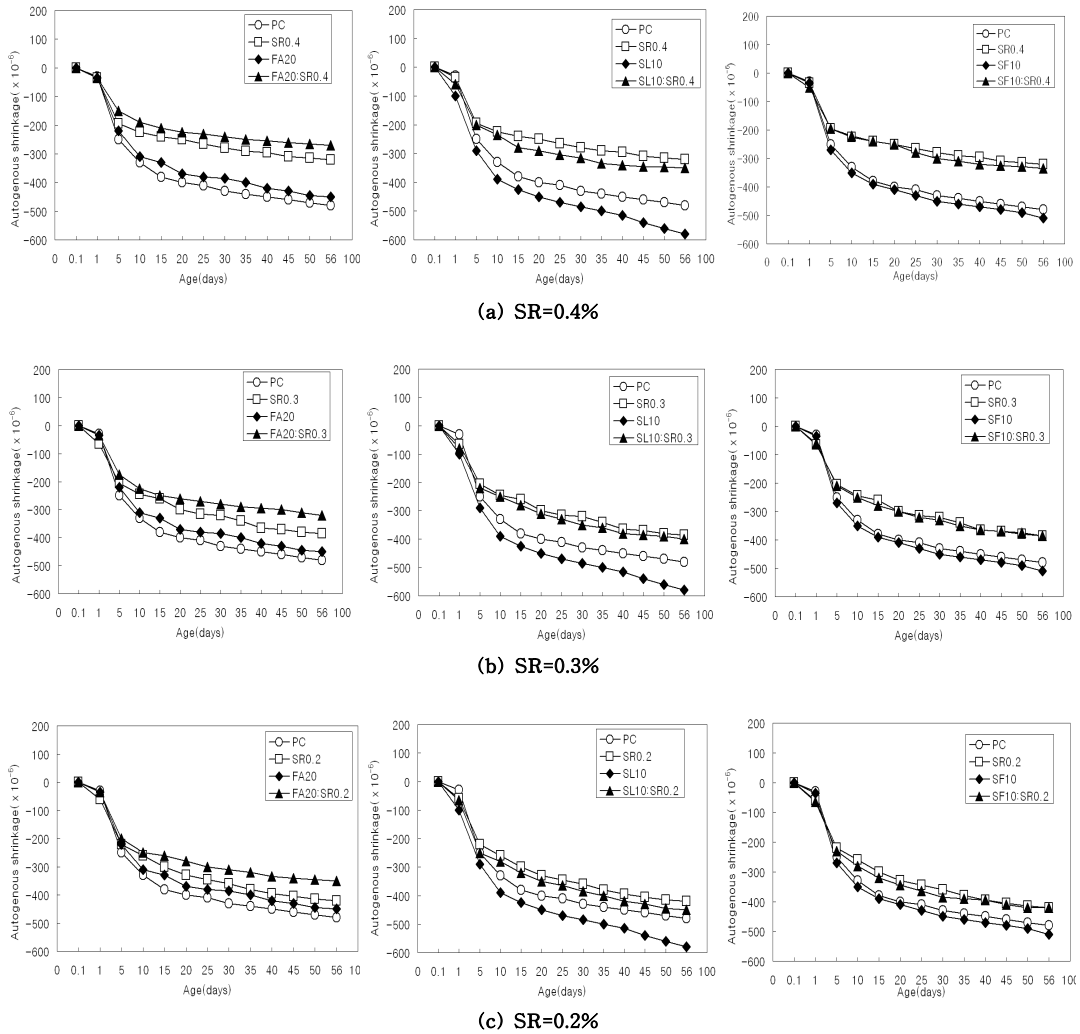


Fig. 7. Effect of admixtures and SR use for autogenous shrinkage.

Fig. 7은 광물질 혼화재와 SR의 병용사용이 콘크리트의 자기수축에 미치는 영향이다. 광물질 혼화재와 SR을 병용하여 사용한 콘크리트는 광물질 혼화재를 단독으로 사용한 콘크리트 또는 PC 콘크리트에 비해 자기수축 변형률이 작게 발생하며, SR을 단독으로 사용한 경우와 거의 동일한 수준으로 자기수축을 저감하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 W/B가 0.3 이하인 고강도 콘크리트의 자기수축은 W/B가 낮을수록 크게 증가하였으며, 대부분의 자기수축이 콘크리트 타설 후 수일 이내에 발생하여 초기 균열을 일으키는 원인이 될 수 있는 것으로 판단된다.

그리고 고강도 콘크리트의 경우, 자기수축량의 약 82% 이상이 재령이 4일 이내에 발생하였다. 또한 W/B가 낮을수록 보다 이른 재령에서 자기수축량이 많이 발생하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 기존의 연구 결과와 일치한다.¹⁵⁾ 고강도 콘크리트의 자기수축은 콘크리트 타설 후 수일 이내에 발생하기 때문에 고강도 콘크리트의 초기재령에 품질관리가 중요함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수축저감제의 사용에 따른

고강도 콘크리트의 수축에 미치는 영향을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수축저감제를 사용한 고강도 콘크리트는 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 저하되며, 재령 28일에서 PC 콘크리트에 비해 수축저감제를 사용한 콘크리트의 압축강도는 혼입률 0.2%일때 2.8%, 0.3%일때 3.2%, 0.4%일때 3.8%가 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 건조수축은 PC콘크리트의 경우 재령 91일에서 -650×10^{-6} 로 크게 수축이 나타났다. 재령 91일에서 SR을 혼입한 콘크리트의 건조수축변형률은 PC콘크리트에 비해 혼입률 0.2%일때 21% 0.3%일때 34%, 0.4일때 41%가 감소하였다. 자기수축변형률은 PC콘크리트의 경우 재령56일에서 -480×10^{-6} 로 나타났으며 PC 콘크리트에 비해 SR의 혼입률이 0.2%일때 12.5% 0.3%일 때 19.8%, 0.4일 때 33.3%가 감소하였다.
- 3) 수축저감제는 고강도 콘크리트의 건조수축 및 자기수축을 저감하는데 효과가 뛰어나며, 팽물질 혼화제와 수축저감제를 사용한 경우에도 수축저감제를 단독으로 사용한 경우와 동일한 수준으로 건조수축 및 자기수축을 저감하는 효과가 있었다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 경북대학교 학술 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Davis, H. E. Autogenous Volume Change in conerete, *Proceedings of ASTM*, No. 40, pp. 1103-1110, (1940)
- 2) Tazawa, E. and Miyazawa, S Autogenous Shrinkage of Concrete and Its Importance in Concrete Technology, *Proceedings of the Fifth International Rilem Symposium, Barcelona*, pp. 159-168 , (1993)
- 3) 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬, *한국콘크리트학회 논문집* **15, 6**, 785, (2003)
- 4) 自己收縮研究委員, *コンクリートの自己收縮研究委員會報告書*, 日本コンクリート工學協會, (2002)
- 5) 谷村充, 兵頭彦次後, 佐藤達三, 佐藤良一, *コンクリート工學年次論文集* **22, 2**, (2000)
- 6) Shah, S.P., Karaguler, M.E. and Sarigaphuti, M. *ACI Materials Journal*, **89, 3**, (1992)
- 7) 고경택, 박정준, 김성욱, 이장화, *대한토목학회 논문집*, 501, (2004)
- 8) 田澤榮一, 宮澤伸吾, *土木學會論文集* **571, 36**, (1997)
- 9) ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, "Committee Report ACI 209, *American Concrete Institute*. (2003)
- 10) Nisbet, E. G. and Maitland, S. T., *Can. J. Civil Eng.* **3, 47**, (1976)
- 11) RILEM TC 119-TCE Avoidance of Theral Cracking in Con-crete at Early Age-Recommendations, *Materials and Structures*, Vol. 30, No. 202, pp. 451-464, (1997)
- 12) Tazawa, E., "Autogenous Shrinkage of Concrete", *London:E&FN Spon*, (1999)
- 13) 김진근, 이종대, *대한토목학회 논문집*, 제 **14, 4**, 771, (1994)
- 14) 홍상희, 전병채, 송명신, 한천구, 반호용, *콘크리트 학회 가을학술 발표회*, **10, 2**, 386, (1998)
- 15) 이희근, 이광명, 김병기, *한국콘크리트학회 논문집* **14, 2**, 249, (2002)
- 16) Berke, N.S., Dallarire, M.P., Hicks,,M.C and Kerkar, A."New development in shrinkage-reducing admixtures", *Proceedings of Fifth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Rome, Italy*, ACI SP-173, pp.971-998 (1997)

(접수:2010.03.10, 수정:2010.04.22, 게재 확정:2010.05.20)