

증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화에 관한 연구

A Study on the Drying Shrinkage and Carbonation High Flowing Concrete using Viscosity Agent

권 영 진*

Kwon, Young Jin

Abstract

This study investigated about several mix factors came up to drying shrinkage and carbonation of high flowing concrete using viscosity.

The results are as follows ;

Drying shrinkage ratio of high flowing concrete using viscosity showed higher for early age, but lower than normal concrete as long age. Also, drying shrinkage ratio and reduction ratio of mass showed higher and relative dynamic modulus of elasticity showed lower as W/C was higher generally.

And in case of high flowing concrete using viscosity, carbonation wasn't confirmed without the kinds of cement and viscosity except 50C.

키 워 드 : 고유동콘크리트, 증점제, 건조수축, 중성화,

Keywords : High Flowing concrete, Viscosity Agent, Drying Shrinkage, Carbonation

1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 대형화, 고층화, 고성능화 등으로 건설생산현장에서의 요구성능이 증가되고 있으나 건설기능노동자의 감소화와 고령화가 진행되고 있는 등 건설생산성이 저하하는 요인들이 증가되고 있어 건설생산성 측면에서 합리적이고 실용적인 방안이 시급히 요구되고 있는 실정이다^{1),2)}.

이에 따라 작업자의 숙련도와 시공방법에 좌우되지 않은 고품질 및 고내구성의 콘크리트 구조물을 구축할 수 있는 고유동콘크리트의 성능 및 품질을 지속적으로 개발하고 그 실용화에 관한 연구가 진행 중에 있다³⁾. 그러나 지금까지의 고유동콘크리트에 관한 연구는 그 제조방법과 굳지않은 콘크리트의 특성에 대해 중점적으로 연구되고 있으며, 경화콘크리트의 내구성에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

한편 보통콘크리트의 건조수축 및 중성화는 단위수량이 많고, 물시멘트비가 클수록 크게 되는 것으로 알려져 있지만 고유동콘크리트는 고성능AE감수제를 적정 첨가하여 유동성을 확보하기 때문에 단위수량이 비교적 적고, 물시멘트비도 작게 설정하는 경우가 많기 때문에 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화는 결합재의 미분말 종류, 단위결합재량, 단위수량, 공기량 등의 각종 배합요인에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다^{4),5)}.

따라서 본 연구는 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화에 미치는 각종 배합요인에 관하여 분석·검

토함으로서 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 실용화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화에 미치는 각종 배합요인에 관하여 분석·검토하기 위하여 물시멘트비 32, 42, 50%에서 시멘트 종류를 보통포틀랜드시멘트(O.P.C), 고로슬래그시멘트(B.S.C)의 2종류, 증점제 종류를 아크릴계, 셀룰로오스계의 2종류, 목표공기량을 2.0±0.5%, 4.5±0.5%의 2수준으로 설정하였다. 또한 비교용으로 물시멘트비 55%의 보통콘크리트를 사용하였다.

표 1. 실험계획

시멘트 종류*	물 시멘트비 (%)	증점제 종류	목 표 공기량 (%)	측정항목
O.P.C	32	아크릴계	2.0±0.5	· 슬럼프- 플로우 · 압축강도 · 건조수축 · 중성화
	42			
	42	셀룰로오스계		
	50			
B.S.C	32	아크릴계	4.5±0.5	
O.P.C	55	-		

* O.P.C : 보통포틀랜드시멘트, B.S.C : 고로슬래그시멘트

* 정희원, 호서대학교 소방학과 교수 · 공학박사

표 2. 사용재료의 물리적 성질

시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.16, 분말도 : 3,320cm ² /g	
	고로슬래그시멘트 비중 : 3.05, 분말도 : 3,770cm ² /g	
잔골재	제염사 비중 : 2.74,	최대치수 : 5mm 조립율 : 2.43
굵은골재	부순자갈 비중 : 2.65,	최대치수 : 25mm 조립율 : 6.69
증점제	아크릴계, 셀룰로오스계	
혼화제	폴리카르본산계 고성능AE감수제	

2.2 사용재료

표 2는 본 연구에서 사용한 사용재료의 물리적 성질을 나타낸 것으로 시멘트는 비중 3.16의 보통포틀랜드시멘트와 비중 3.05의 고로슬래그시멘트를 사용하였다. 또한 잔골재는 비중 2.74, 조립율 2.43의 제염사, 굵은골재는 비중 2.65, 조립율 6.69의 부순자갈을 사용하였으며, 증점제는 아크릴계와 셀룰로오스계, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였다.

2.3 콘크리트 배합

증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화에 미치는 각종 배합요인에 관하여 분석·검토하기 위한 콘크리트 배합은 표 3과 같이 목표슬럼프-플로우를 65±5cm, 공기량은 목표공기량의 ±0.5% 이내를 목표로 시험비빔을 통하여 결정하였다. 목표공기량 2.0%의 콘크리트를 시험비빔하여 배합을 결정하고, 단위수량과 잔골재의 조정과 AE제 등을 이용하여 목표공기량 4.5%의 콘크리트 배합을 결정하였다.

또한 비교용 보통콘크리트는 물시멘트비를 55%로 하고, 목표슬럼프를 18cm로 하여 소정의 목표공기량이 되도록 시험비빔에 의해 결정하였다.

2.4 비빔방법

고유동콘크리트의 비빔은 용량 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 잔골재, 시멘트, 굵은골재 순으로 일괄투입하여 30초간 건비빔한 후, 물과 고성능AE감수제를 투입하여 2분 30초, 증점제를 투입하여 2분간 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 5분 소요되었다.

또한 보통콘크리트의 비빔은 잔골재, 시멘트, 굵은골재 순으로 일괄투입하여 30초간 건비빔한 후, 물을 투입하여 2분 30초간 비빔을 실시하였으며, 총 비빔시간은 3분 소요되었다.

2.5 시험방법

1) 건조수축 시험방법

콘크리트의 건조수축 시험방법은 KS F 2424 및 JIS A 1129의 규준에 준하여 실시하였으며, 건조수축 측정용 시험체는 10×10×40cm의 각형 공시체를 사용하였다. 양생조건은 시험체 탈형 후 재령 7일까지 표준수중양생을 실시한 후 20℃RH 60%의 항온항습실에 존치하면서, 건조재령 1, 2, 4, 8, 13주에서 길이, 중량, 동탄성계수를 각각 측정하였으며 식 (1), (2), (3)에 의해 길이변화율, 중량감소율, 상대동탄성계수를 구하였다.

표 3. 콘크리트의 배합

콘크리트 종류	기호※)	목표 공기량 (%)	W/C (%)	고성능 AE 감수제 (%)	잔 골 재 율 (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	절대용적 (kg/m ³)				단위중량 (kg/m ³)				
							시멘트	증점제	잔골재	굵은골재	시멘트	증점제	잔골재	굵은골재	
고유동 콘크리트	O.P.C + 아크릴	30A-2	2.0	32	1.5	52	175	173	-	329	303	547	3.00	900	804
		30A-4	4.5		1.5	50	173	171	-	305	305	541	3.00	837	809
	40A-2	2.0	42	1.8	55	180	136	-	365	299	429	5.00	1001	792	
		4.5		1.8	53	175	132	-	344	305	417	5.00	941	807	
O.P.C + 셀룰로오스	40C-2	2.0	42	1.5	52	175	132	-	350	323	417	0.30	959	856	
		4.5		1.5	50	165	124	-	333	333	393	0.30	912	882	
	50C-2	2.0	50	1.5	53	180	114	-	364	332	360	0.35	996	855	
		4.5		1.5	51	175	111	-	341	328	350	0.35	935	869	
B.S.C + 아크릴	3BA-2	2.0	32	1.5	52	170	175	-	331	305	531	3.00	906	809	
	3BA-4	4.5		1.5	50	165	169	-	310	310	516	3.00	851	823	
보통콘크리트	55O-2	2.0	55	-	45	185	106	-	310	379	336	-	849	1004	
	55O-4	4.0		-	44	183	105	-	293	373	333	-	804	989	

※ 30A-2 (물시멘트비, 시멘트종류, 증점제 종류-목표공기량)

$$R = \frac{(L_o - L_x)}{L_o} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, R: 길이변화율
 L_o: 최초 시험체의 측정길이 (기준길이)
 L_x: 건조재령에서의 시험체 측정길이

$$W(\%) = \frac{(W_o - W_x)}{W_o} \times 100 \quad \text{식 (2)}$$

여기서, W: 중량감소율 (%)
 W_o: 시험체 초기중량 (g)
 W_x: 건조재령에서의 시험체 중량 (g)

$$E(\%) = \frac{W_x \times F_x}{W_o \times F_o} \times 100 \quad \text{식 (3)}$$

여기서, E: 상대동탄성계수 (%)
 F_x: 건조재령에서의 일차 공진진동수(Hz)
 F_o: 시험체의 초기 일차 공진진동수(Hz)
 W_x: 건조재령에서의 시험체 중량 (g)
 W_o: 시험체의 초기중량 (g)

2) 중성화 시험방법

콘크리트의 중성화 시험은 재령 4주까지 항온항습실에서 표준수중양생을 실시한 후, 중성화 촉진시험의 전양생으로서 중량이 일정해질 때까지 1주간 기건양생을 실시하였으며, 측정면을 제외하고 에폭시코팅을 한 후 중성화 시험을 실시하였다. 중성화 시험조건은 온도 20℃, 습도 50%, CO₂ 농도 5%의 조건에서 실시하였으며, 시험개시후 재령 1, 4, 8주에서 중성화 깊이를 측정하였다.

중성화 깊이 측정은 압축강도 시험기를 이용하여 시험체를 소정의 두께로 할렬한 후 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 시험체의 표면으로부터 발생되는 부분까지의 거리를 중성화 깊이로 측정하였다.

표 4. 굳지않은 콘크리트의 측정결과

기 호	고성능AE감수제 첨가율 (%)	공기량 (%)	슬럼프-플로우 (cm)
30A-2	1.5	2.3	61×60
30A-4	1.5	4.9	64×64
3BA-2	1.5	1.5	69×67
3BA-4	1.5	4.5	65×65
40A-2	1.8	1.5	66×61
40A-4	1.8	3.5	66×65
40C-2	1.5	2.5	68×65
40C-4	1.5	4.0	69×66
50C-2	1.5	1.3	65×65
50C-4	1.5	6.0	64×64
50-2	-	1.2	(16)
50-4	-	4.9	(18)

() 슬럼프 값

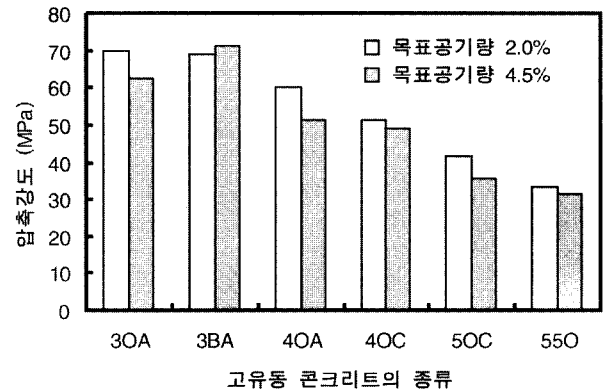


그림 1. 압축강도의 변화

표 5. 경화콘크리트의 측정결과

기 호	압축강도 ¹⁾ (MPa)	건조수축율 (%)					질량감소율 (%)					상대동탄성계수(%)					중성화깊이 (mm)		
		D1주	D2주	D4주	D8주	D13주	D1주	D2주	D4주	D8주	D13주	D1주	D2주	D4주	D8주	D13주	1주	4주	8주
30A-2	70	0.023	0.037	0.043	0.057	0.061	-0.46	-0.55	-0.65	-0.84	-0.98	100.3	99.5	99.4	97.8	97.7	0.0	0.0	0.0
30A-4	63	0.026	0.037	0.046	0.060	0.061	-0.55	-0.65	-0.77	-0.97	-1.12	101.0	101.2	101.0	99.5	98.6	0.0	0.0	0.0
3BA-2	69	0.037	0.047	0.053	0.061	0.066	-0.53	-0.64	-0.76	-0.95	-1.08	103.9	105.2	105.5	105.8	102.5	0.0	0.0	0.0
3BA-4	71	0.037	0.051	0.057	0.066	0.073	-0.67	-0.74	-0.88	-1.06	-1.17	101.5	101.6	105.0	101.9	100.8	0.0	0.0	0.0
40A-2	60	0.034	0.047	0.059	0.076	0.081	-0.84	-1.03	-1.21	-1.47	-1.65	98.0	97.2	97.0	96.9	95.5	0.0	0.0	0.0
40A-4	51	0.031	0.053	0.064	0.081	0.089	-0.99	-1.21	-1.41	-1.69	-1.87	96.7	96.1	95.0	93.5	92.1	0.0	0.0	0.0
40C-2	51	0.031	0.039	0.060	0.076	0.070	-1.00	-1.19	-1.39	-1.67	-1.81	98.7	98.2	98.0	96.3	95.3	0.0	0.0	0.0
40C-4	49	0.034	0.044	0.061	0.069	0.071	-1.10	-1.30	-1.48	-1.77	-1.90	98.7	99.0	99.1	97.4	95.8	0.0	3.0	3.9
50C-2	42	0.030	0.041	0.060	0.073	0.076	-1.48	-1.75	-2.04	-2.33	-2.47	98.6	99.2	98.2	96.1	94.4	0.0	8.4	8.0
50C-4	35	0.029	0.044	0.064	0.076	0.079	-1.62	-1.89	-2.16	-2.45	-2.54	93.2	93.4	93.2	88.2	89.1	0.0	10.0	10.1
550-2	33	0.024	0.037	0.049	0.071	0.083	-1.85	-2.24	-2.59	-2.95	-3.13	69.6	70.0	69.1	69.4	68.9	5.5	9.3	9.2
550-4	32	0.023	0.034	0.053	0.073	0.086	-1.85	-2.26	-2.63	-2.99	-3.20	81.4	81.8	81.3	81.2	79.8	6.2	10.4	10.9

1) 재령 4주 압축강도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트 특성 검토

본 실험의 굳지않은 콘크리트의 측정결과를 표 4에 나타내었다.

3.2 경화콘크리트 특성 검토

본 실험의 경화콘크리트의 측정결과를 표 5에 나타내었다.

1) 압축강도

그림 1은 고유동콘크리트 종류에 따른 재령 4주 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 물시멘트비가 낮을수록 압축강도가 높게 나타났으며, 고로시멘트를 사용한 고유동콘크리트의 경우가 가장 높은 압축강도를 보이고 있다.

또한 셀룰로오스계가 아크릴계보다 압축강도가 낮게 나타났으며, 고로시멘트를 사용한 고유동콘크리트를 제외하고는 공기량의 증가에 따라 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.

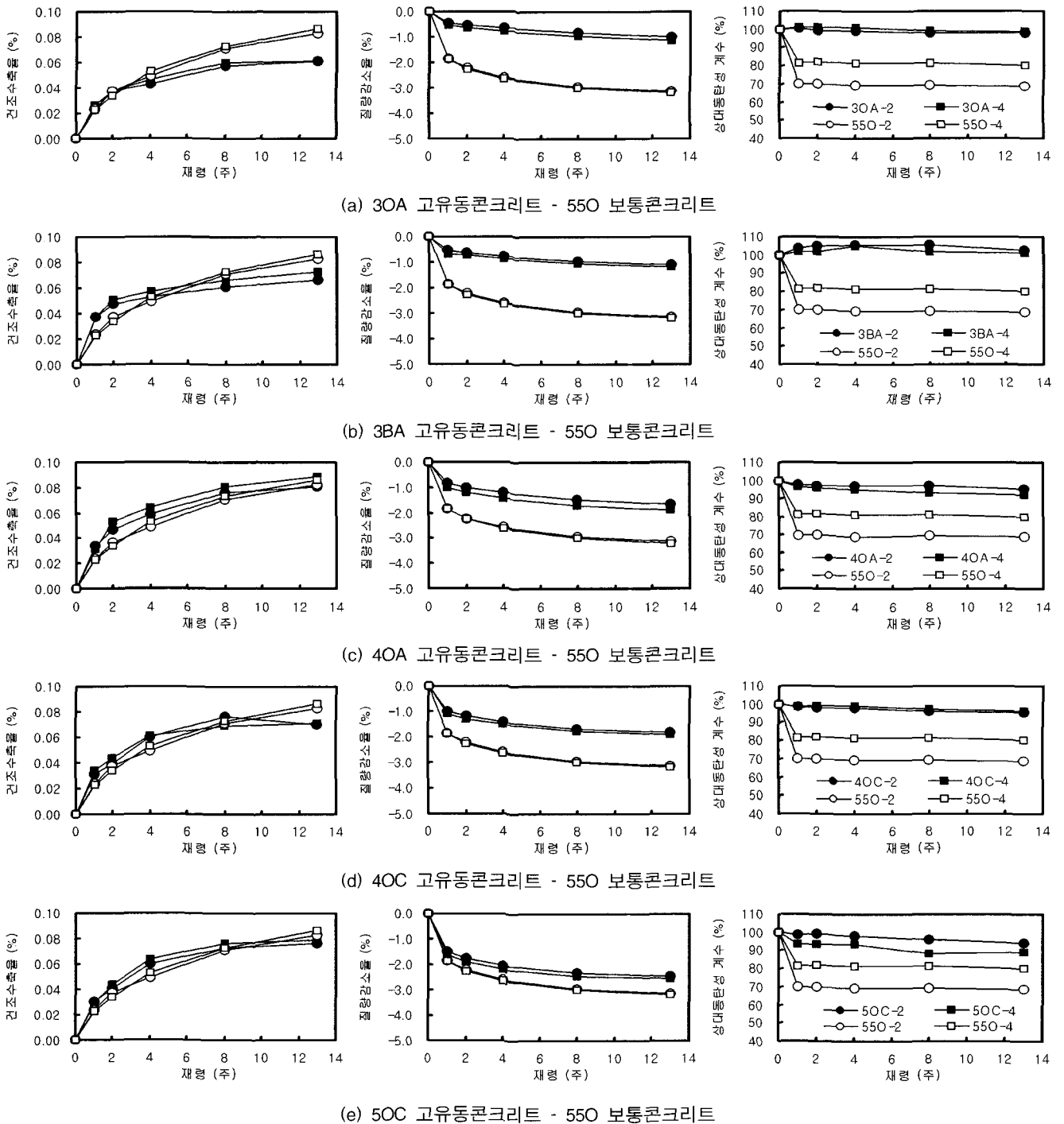


그림 2. 건조재령에 따른 건조수축율, 질량감소율 및 상대팽창률 계수의 변화

2) 건조수축

그림 2는 건조재령에 따른 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축율, 질량감소율, 상대동탄성 계수의 변화를 보통콘크리트(550)와 비교하여 나타낸 것으로 초기재령에서는 보통콘크리트보다 건조수축율이 크게 나타나고 있지만, 장기재령으로 갈수록 보통콘크리트보다 건조수축율이 작게 나타나고 있다.

또한, 질량감소율은 증점제를 사용한 고유동콘크리트가 보통콘크리트에 비해 작게 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 경우 100% 전후의 상대동탄성 계수를 보이고 있지만 보통콘크리트는 68.9~81.8% 수준으로 고유동콘크리트에 비해 20~30% 정도 상대동탄성 계수가 저하하는 것으로 나타났다.

그림 3은 건조재령 13주에서의 고유동콘크리트 종류에 따른 건조수축율, 질량감소율, 상대동탄성 계수의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 물시멘트비가 높을수록 건조수축 및 질량감소율이 크게 나타났으며, 상대동탄성계수는 작게 나타나고 있다.

고로시멘트를 사용한 3BA가 30A보다 건조수축 및 질량감소율이 크게 나타났다. 또한, 아크릴계 증점제를 사용한 40A는 셀룰로오스계 증점제를 사용한 40C에 비해 건조수축율은 크게 나타났으나, 질량감소율 및 상대동탄성계수 경우 증점제에 의한 차이는 유의할 만한 경향을 보이고 있지 않다. 또한, 공기량이 클수록 건조수축, 질량감소가 크게 되는 경향을 보이고 있다.

(1) 30A 고유동콘크리트와 550 보통콘크리트의 비교

그림 2(a)는 30A와 550의 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수를 비교하여 나타낸 것으로 건조수축율은 건조재령 2주까지는 거의 유사한 수준을 보이고 있으나 장기재령으로 갈수록 550보다 건조수축율이 작게 나타나고 있다. 또한, 질량감소율은 30A가 550보다 1.5~2.0%정도 작은 것으로 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 550의 경우 건조재령 1주에서 급격하게 저하하고 있지만 30A는 100% 전후를 보이고 있다.

(2) 3BA 고유동콘크리트와 550 보통콘크리트의 비교

그림 2(b)는 3BA와 550의 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수를 비교하여 나타낸 것으로 건조수축율은 초기재령에서는 550보다 30A가 크게 나타나고 있으나, 장기재령으로 갈수록 30A의 건조수축율이 작게 나타나고 있다. 또한, 질량감소율은 3BA가 550보다 약 2.0%정도 작은 것으로 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 3BA의 경우 100.8~105.8% 수준으로 550와 비교하여 20~30%정도의 차이를 보이고 있다.

(3) 40A 고유동콘크리트와 550 보통콘크리트의 비교

그림 2(c)는 40A와 550의 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수를 비교하여 나타낸 것으로 건조수축율은 초기재령에서는 550보다 40A가 크게 나타나고 있으나, 장기재령으로 갈수록 유사한 수준을 보이고 있다. 또한, 질량감소율은 40A가 550보다 약 1.5%정도 작은 것으로 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 40A의 경우 92.5~98.0% 수준을 보이고 있다.

(4) 40C 고유동콘크리트와 550 보통콘크리트의 비교

그림 2(d)는 40C와 550의 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수를 비교하여 나타낸 것으로 건조수축율은 초기재령에서는 550보다 40C가 크게 나타나고 있으나, 장기재령으로 갈수록 550보다 작게 나타나고 있다. 또한, 질량감소율은 40C가 550보다 1.0~1.5%정도 작은 것으로 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 40C의 경우 95.3~99.0% 수준을 보이고 있다.

(5) 50C 고유동콘크리트와 550 보통콘크리트의 비교

그림 2(e)는 50C와 550의 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수를 비교하여 나타낸 것으로 건조수축율은 초기재령에서는 550보다 50C가 크게 나타나고 있으나, 장기재령으로 갈수록 유사한 수준을 보이고 있다. 또한, 질량감소율은 50C가 550보다 약 1.0%정도 작은 것으로 나타나고 있으며, 상대동탄성 계수는 50C의 경우 89.1~99.2% 수준을 보이고 있다.

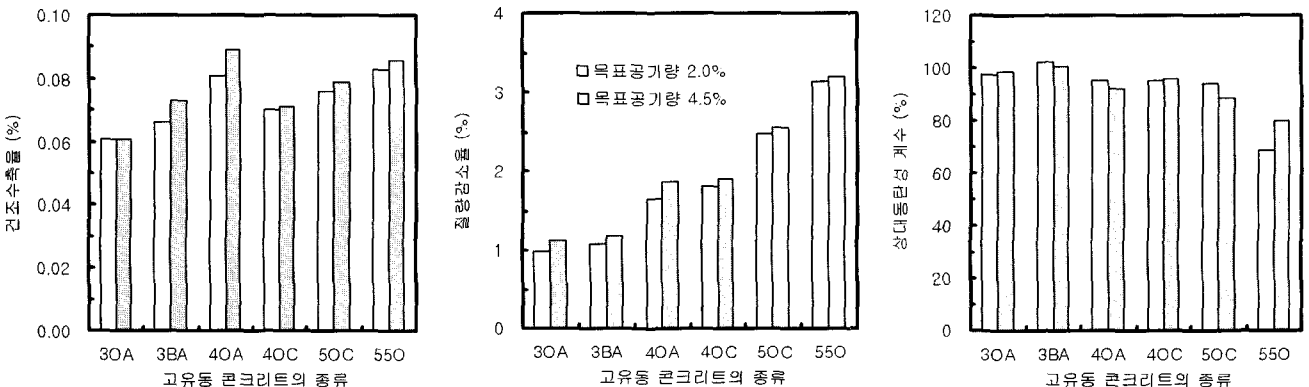


그림 3. 고유동콘크리트 종류에 따른 건조수축율, 질량감소율 및 상대동탄성 계수의 변화 (건조재령 13주)

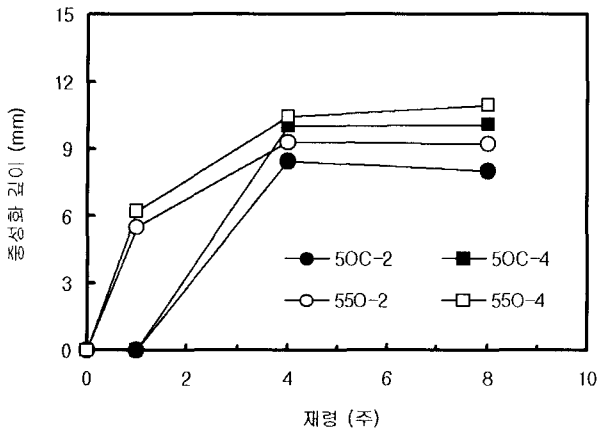


그림 4. 재령에 따른 중성화 깊이의 변화

3) 중성화 깊이

그림 4는 재령에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것으로 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 경우 50C를 제외하고는 시멘트 및 증점제 종류에 관계없이 중성화가 확인되지 않았다. 또한, 물시멘트비 50%인 셀룰로오스계 증점제를 사용한 50C의 경우 보통콘크리트인 550에 비해 중성화 깊이가 작게 나타났으며, 공기량이 클수록 중성화 깊이는 크게 나타났다.

4. 결 론

증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축 및 중성화에 관하여 분석·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도는 물시멘트비가 낮을수록 높게 나타났으며, 고로시멘트를 사용한 고유동콘크리트의 경우 압축강도가 가장 높게 나타났다. 또한 셀룰로오스계가 아크릴계보다 압축강도가 낮게 나타났으며, 고로시멘트를 사용한 고유동콘크리트를 제외하고는 공기량의 증가에 따라 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.
- 2) 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 건조수축율은 물시멘트비가 높을수록, 공기량이 클수록 크게 나타났다. 또한, 초기 재령에서는 보통콘크리트보다 건조수축율이 크게 나타나고 있지만, 장기재령으로 갈수록 보통콘크리트보다 작게 나타났다.
- 3) 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 질량감소율은 보통콘크리트에 비해 작게 나타났으며, 물시멘트비가 높을수록, 공기량이 클수록 크게 나타났다.
- 4) 상대동탄성 계수는 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 경우 100% 전후의 상대동탄성 계수를 보이고 있지만 보통콘크리트는 68.9~81.8% 수준으로 고유동콘크리트에 비해 20~30% 정도 상대동탄성 계수가 저하하는 것으로 나타났다.

- 5) 증점제를 사용한 고유동콘크리트의 경우 50C를 제외하고는 시멘트 및 증점제 종류에 관계없이 중성화가 확인되지 않았다.

참 고 문 헌

1. 岡村 甫, “新しいコンクリート材料への期待”, セメント・コンクリート, No. 475, 1986.9
2. 日本コンクリート工学協会, “超流動コンクリート研究委員会報告書(I)”, 1993.5
3. 김무한 외, “고유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제13권, 제5호, 1997. 5, pp.279~2881.
4. 김무한 외, “고유동콘크리트의 건조수축 및 동결융해에 대한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제18권, 제2호, 1998. 10, pp. 521~526
5. 김무한 외, “증점제를 사용한 고유동콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회, Vol.20 No.1, 2000.04, pp.387~390
6. 竹下 治之 外, “増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性に関する基礎的研究”, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.1003~1008
7. 谷口 円 外, “微粉末系高流動コンクリートの耐凍害性に関する研究”, 北海道大学工学部建築工学科論文集, 1994. 12
8. 伝法谷 篤昌, “微粉末系高流動コンクリートの耐久性に関する研究”, 北海道大学工学部建築工学科論文集, 1993. 12
9. 依田 彰彦, “高炉セメントを用いた鉄筋コンクリート構造物の耐久性”, セメント・コンクリート, No. 599, 1993. 9,
10. 김무한 외, “물시멘트비에 따른 콘크리트의 중성화 진행 예측에 관한 연구” 한국구조물진단학회 봄학술발표대회논문집, Vol. 6, No. 1, 2002.5, pp.305~310