

배합 및 재료요인에 따른 저수축 고성능 콘크리트의 품질 특성

한천구¹⁾ · 김성욱²⁾ · 고경택²⁾ · 한민철^{1)*}

¹⁾ 청주대학교 ²⁾ 한국건설기술연구원

(2004년 5월 20일 원고접수, 2004년 10월 30일 심사완료)

Property of Low Shrinkage High Performance Concrete depending on Mixture Proportions and Material Characteristics

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

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

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

(Received May 20, 2004, Accepted October 30, 2004)

ABSTRACT

In this paper, effects of mixture proportion and material condition on both fundamental properties, drying and autogenous shrinkage of high performance concrete are discussed. According to the results, for the effect of mixture proportion on the fundamental properties, decrease in W/B and unit water content results in reduction of fluidity, while air content has no variation. Compressive strength exhibits an decreasing tendency with an increase in W/B and unit water content do not remarkable affect the compressive strength. For the effect of materials on the fluidity, the fluidity of low heat portland cement(LPC) is smaller than that of ordinary portland cement(OPC). The use of Polycarbonic acid based superplasticizer(PS) has more favorable effect on enhancing fluidity than Naphtalene based superplasticizer(NS) and Melamine based superplasticizer(MS). Air content of concrete using LPC is larger than that using OPC. The effects of superplasticizer type on the air content is larger in order of MS, PS and NS. The use of LPC exhibited lower strength development at early age than OPC, whereas after 91days, similar level of compressive strength is achieved regardless of cement type. Compressive strength of concrete is not affected by SP type. For the effect of mixture proportion and materials on drying and autogenous shrinkage, an increase in W/B results in reduction of drying shrinkage and an decrease in water content leads to reduce drying shrinkage. Autogenous shrinkage is not observed until 49days with the concrete mixture with 35% of W/B and 145 kg/m³ of water content. This is due to the combination effects of expansion admixture and shrinkage reducing admixture, which causes an offset of autogenous shrinkage. The use of LPC results in a reduction in autogenous shrinkage compared with OPC. SP type has little influence on the autogenous shrinkage. It is found from the results that mixture proportioning of high performance concrete incorporating fly ash, silica fume, expansion admixture and shrinkage reducing admixture is need to focus on the increase in W/B and the reduction in water content and the use of LPC and MS is also required to use to secure the stability against shrinkage properties.

Keywords : high performance concrete with low shrinkage, mixing factors, material factors, quality properties

1. 서 론

고유동 및 고강도를 발휘하면서 고내구성을 지닌 고성능 콘크리트는 차세대의 유망 콘크리트로 각광을 받고 있다.

그런데, 실무에서 활용될 수 있는 고성능 콘크리트에는 고강도의 범위, 단위수량 변화, 시멘트 종류와 고성능 감수제간의 밸런스에 의한 품질문제 등 검토되어야 할 사항이 존재한다. 또한, 고성능 콘크리트는 보통 콘크리트보다

품질이 우수한 반면 수분증발에 의한 건조수축 및 자기수축에 의한 균열문제도 지적되고 있는데, 특히 많은 분체량 및 다량의 고성능 감수제 사용에 따른 시멘트의 수화반응 활성으로 자기수축 등 균열이 발생하기 쉬운 것으로 알려지고 있다^{1,3-6)}. 이와 관련하여 기존의 선행연구에서는 플라이애쉬(FA), 실리카폼(SF), 팽창제(EA) 및 수축저감제(SR)를 일정 비율로 병용하여 사용하면 고성능 콘크리트의 성능향상 및 수축균열 저감에 효과적인 것으로 분석된 바 있다^{1,2)}.

그러므로, 본 연구에서는 선행연구를 토대로 FA, SF, EA, SR를 사용한 저수축 고성능 콘크리트를 대상으로 물

* Corresponding author

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

E-mail : twan@chongju.ac.kr

-결합재비(W/B) 및 단위수량의 배합요인과 시멘트 및 고성능감수제(SP제)의 재료요인 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 건조·자기수축 등 품질 특성에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 실험요인으로 먼저, 저수축 고성능 콘크리트는 FA 20%, SF 10%, EA 5%, SR 1%를 치환한 콘크리트를 대상으로 배합요인으로는 W/B를 20, 25, 30, 35%의 4수준, W/B 30%에서 단위수량 변화를 145, 155, 165, 175 kg/m³의 4수준으로 하였고, 재료요인은 W/B 30%, 단위수량 175 kg/m³에 대

Table 1 Design of experimental factors

Factors	Test items	Levels	
Mixture	Slump flow (mm)	1 600±100	
	Air content (%)	1 4.5±1.5	
	Mixing factors	W/B (%)	4 20, 25, 30, 35
		Water content (kg/m ³)	4 145, 155, 165, 175
	Material factors	Cement type	2 OPC, LPC
		Super plasticizer type	3 NS, MS, PS
Experimental	Fresh concrete	4 Slump, Slump flow, Air content, Unit weight	
	Hardened concrete	4 Compressive strength (7, 28, 91, 180days) Tensile strength(28days) Drying shrinkage (1, 2, 3, 7...180days) Autogenous shrinkage (0.5, 1, 2, 3...days)	

하여 시멘트 종류를 보통 포틀랜드시멘트(OPC)와 저열포틀랜드시멘트(LPC)의 2수준, SP제 종류를 나프탈렌계(NS), 멜라민계(MS) 및 폴리카본산계(PS)의 3수준으로써 중복을 피하도록 계획한 총 10배치를 실험계획 하였다. 이때, 고성능 콘크리트의 배합은 목표 슬럼프플로우를 고유 동 콘크리트의 범위인 600±100mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다. 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 OPC 및 LPC를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 충남 연기군 강모래, 굵은 골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 혼화제로써, FA는 국내 보령 화력산, SF는 노르웨이산, EA는 일본산 CSA계, SR은 독일산 글리콜계를 사용하였고, SP제는 국내산 D사의 NS, MS 및 PS를 사용하였다. 이때, 각 재료의 물리적·화학적 성질은 Table 3~10과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2403에 따라 공시체를 제작, 양생한 다음 계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였고, 건조수축 길이변화율은 KS F 2424에 의거 수중 7일 양생 후 기중 양생하는 것으로 하였다. 또한, 자기수축 길이변화율은 일본콘크리트공학협회의 시험방법³⁾에 의거 실시하였다.

Table 2 Mixture proportions of concrete

W/B (%)	Water content (kg/m ³)	Cement type	Superplasticizer type	S/a (%)	Superplasticizer (B×%)	AE agent (B×%)	Unit weight (kg/m ³)						
							C	S	G	FA	SF	EA	SR
20	175	OPC	PS	43	0.85	0.006	560	529	680	175	88	44	8.8
			NS	44	2.50	0.018	448	616	761	140	70	35	7.0
30	145	OPC	NS	45	2.50	0.025	309	761	902	97	48	24	4.8
							155	735	871	103	52	26	5.2
							165	708	839	110	55	28	5.5
	175	OPC	NS	45	2.00	0.018	373	681	808	117	58	29	5.8
							373	684	811	117	58	29	5.8
		OPC	MS PS	45	3.00 0.55	0.006 0.007	373	681	808	117	58	29	5.8
35	175	OPC	NS	46	1.90	0.018	320	734	836	100	50	25	5.0

Table 3 Physical properties of cement

Type	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	sound-ness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
				Ini.	Fin.	3days	7days	28days
OPC	3.15	3,162	0.08	221	316	24.3	30.5	38.2
LPC	3.22	3,500	0.07	350	560	12.6	17.5	36.0

Table 4 Chemical composition of cement

Type	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)
OPC	51	25	9	9
LPC	30	50	2	11

Table 5 Physical properties of aggregate

Aggregate	Density (g/cm ³)	Fineness modulus	Absorption ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)
Fine agg.	2.53	2.57	1.83	1,422
Coarse agg.	2.63	6.87	0.63	1,429

Table 6 Properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Ig.loss (%)	Ratio of comp.st. (%)	SiO ₂ (%)	Absorption (%)	Ratio of water content (%)
2.22	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

Table 7 Properties of silica fume

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Ig.loss (%)
2.10	240,000	90.00	0.12	0.25	0.38	0.56	1.50

Table 8 Properties of expansive additive

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	F-CaO (%)
2.90	3,117	3.80	28.66	13.55	51.35	0.56	16.02

Table 9 Properties of shrinkage reducing agent

Density (g/cm ³)	Ingredient	Ash content (%)	Type	Color
1.02	Glycols	40	Powder	White

Table 10 Properties of chemical admixture

Admixture	Ingredient	Appearance	Color	Solid contents (%)	Density (g/cm ³)
Super-plasticizer	Naphthalene	Fluid	Dark brown	40	1.18
	Melamine	Fluid	Light brown	30	1.20
	Polycarbonic acid	Fluid	Light yellow	20	1.04
AE agent	Ngative ion	Fluid	Dark brown	-	1.05

Table 11 Test results of fresh concrete with mixture and material factors

W/B (%)	Water content (kg/m ³)	Cement type	Super-plasticizer type	Slump (mm)	Slump flow (mm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)
20	175	OPC	PS	263	568	5.9	2,295
		OPC	NS	270	650	3.9	2,326
30	145	OPC	NS	260	595	4.5	2,374
				253	571	5.3	2,324
				264	599	4.4	2,318
	175	OPC	NS	266	602	4.5	2,313
				265	597	4.8	2,309
				258	559	5.7	2,300
35	175	OPC	NS	271	653	4.2	2,319
				266	591	4.0	2,321

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Table 11은 배합 및 재료요인에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 먼저, 유동성 및 공기량은 모두 배합설계로 결정하였으므로 목표 슬럼프 플로우 600±100 mm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.

배합요인에 따른 유동성은 Table 2 및 11을 참고할 때, W/B 및 단위수량이 작을수록 저하하여 SP제 사용량이 증가되었고, 공기량은 W/B 변화에 따라 큰 차이가 없었으나, 단위수량 감소에 따라서는 감소하여 AE제 사용량을 증가시켰다.

재료요인에 따른 유동성은 LPC가 OPC보다 저하하여 SP제 사용량이 증가하였는데, 기존의 연구결과에 따르면 LPC를 사용한 경우 보통포틀랜드시멘트 보다 구형형상이고 혼화제가 먼저 흡착되는 C₃A 및 C₄AF의 함유량이 적어 유동성이 OPC를 사용한 경우보다 양호한 것으로 알려져 있으나 이와는 약간 다른 결과를 나타냈다. SP제 종류에 따라서는 PS, NS, MS의 순으로 감소효과가 우수함을 알 수 있었으며, 공기량은 LPC가 OPC보다 증가하여 AE제 사용량이 감소하였고, SP제 종류에 따라서는 NS, PS, MS의 순으로 AE제 사용량이 증가하였다.

3.2 굳은 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도 특성

Fig.1은 배합요인으로 결합재-물비(B/W) 및 단위수량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 당연한 결과이겠지만, 압축강도는 B/W가 클수록, 재량이 경과할수록 크게 나타났으나, 단위수량 변화에 따라서는 큰 차이가 없었다.

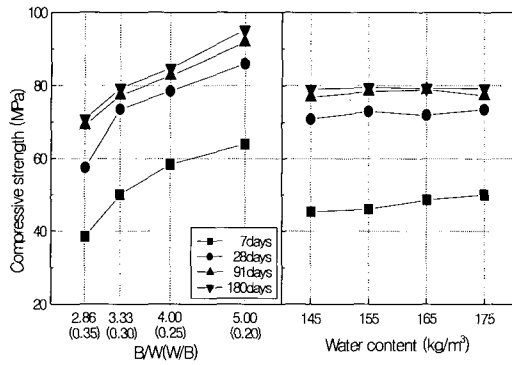


Fig. 1 Relationship between compressive strength and B/W and water content

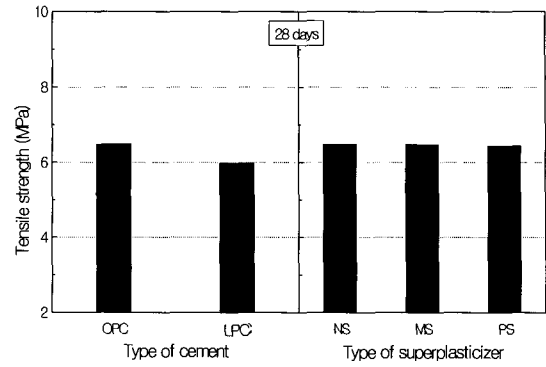


Fig. 4 Tensile strength with the cement and superplasticizer type

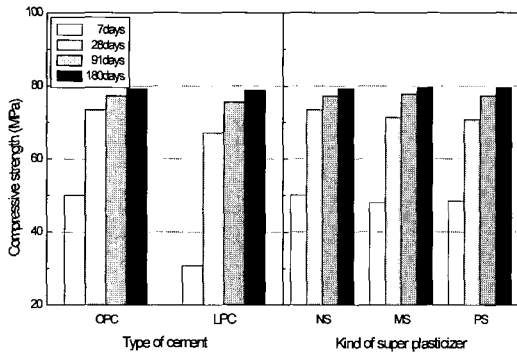


Fig. 2 Compressive strength with cement and superplasticizer type

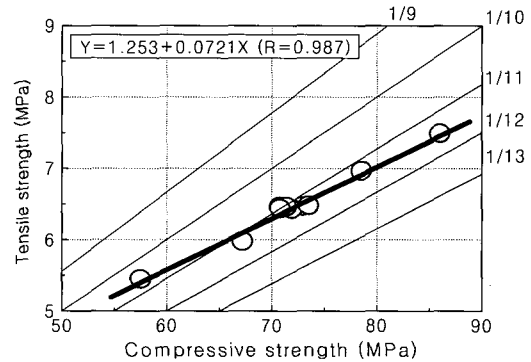


Fig. 5 Relationship between compressive strength and tensile strength

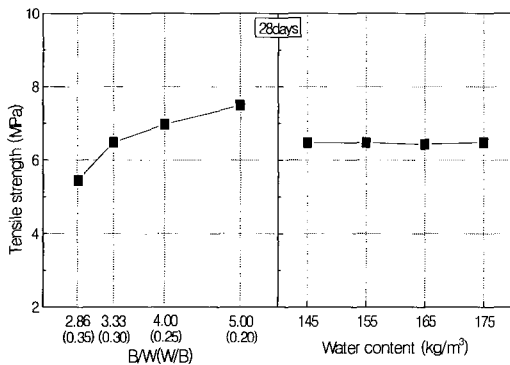


Fig. 3 Tensile strength with W/B and water content

Fig. 2는 재료요인으로 시멘트 및 SP제 종류에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 시멘트 종류에 따른 압축강도는 LPC의 경우 OPC보다 재령 28일까지는 작게 나타났으나, 그 이후 재령에서는 기존의 연구결과와 비교하였을 경우 만족할 만한 수준은 아닐지라도 OPC와 유사한 수준으로 나타났는데, 이는 LPC의 조성화합물이 OPC

보다 초기강도를 지배하는 C_3S 및 C_3A 는 적은 반면 장기강도를 지배하는 C_2S 의 양이 많은 것에 기인된 결과로 사료된다. 또한, SP제 종류에 따른 압축강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 혼화제 종류가 압축강도에 미치는 영향은 없는 것으로 분석된다.

3.2.2 쪼갬 인장강도 특성

Fig. 3은 배합요인으로 B/W 및 단위수량 변화에 따른 재령 28일에서의 인장강도를 나타낸 것이고, Fig. 4는 재료요인으로 시멘트 및 SP제 종류에 따른 재령 28일 인장강도를 나타낸 것이다. 인장강도는 5~8MPa 정도의 범위에서 전체적으로 압축강도 증진과 유사한 경향으로 나타났다.

3.2.3 압축강도와 인장강도의 관계

Fig. 5는 재령 28일에서의 압축강도와 인장강도의 관계를 산점도로 나타낸 것이다. 고성능 콘크리트의 인장강도는 압축강도와 비례적으로 증가하였는데, 그 비율은 대략 1/10 ~ 1/12 정도로 나타났다. 이때 회귀식은 Fig. 6과 같고, 상관계수는 0.98 이상으로 양호하였다.

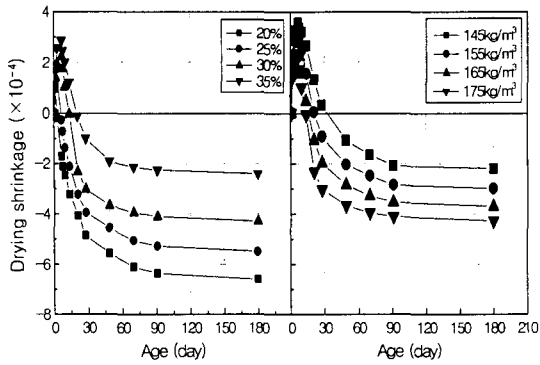


Fig. 6 Drying shrinkage with W/B and water content

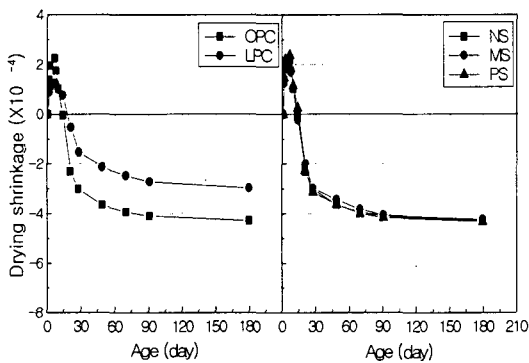


Fig. 7 Drying shrinkage with cement and superplasticizer type

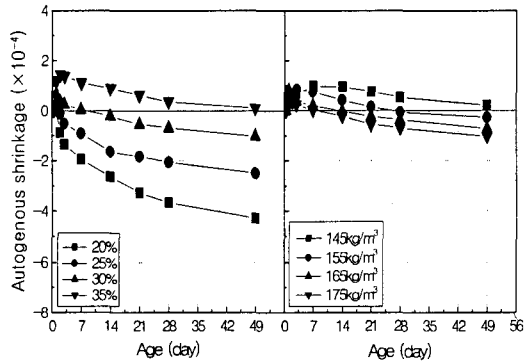


Fig. 8 Autogenous shrinkage with W/B and water content

3.3 수축특성

3.3.1 건조수축 특성

Fig. 6은 배합요인으로 W/B 및 단위수량별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로,

건조수축 길이변화율은 초기 7일 수중양생동안은 팽창하였으나, 이후 기중양생에서는 초기에 급격히 수축한 후 재령이 경과함에 따라 완만한 수축경향을 나타내었다.

W/B 변화에 따른 건조수축은 W/B가 작을수록 크게 증가하였는데, 이는 실험방법의 특수성상 건조수축의 경우 자기수축을 포함함에 따라 W/B가 작을수록 단위 결합재량의 증가에 따른 자기수축의 영향으로 건조수축이 증가한 결과로 분석된다. 단, W/B 20 및 25%에서는 수중양생 2일부터 수축하는 경향이었는데, 이는 시멘트의 수화반응에 의한 자기수축이 팽창제 및 수축저감제의 복합작용에 의한 팽창 및 수축 완화능력보다 크게 발생한 것에 기인된 결과로 사료된다. 또한, 단위수량 변화에 따른 건조수축은 단위수량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 단위수량 증가에 따라 건조과정에 발생하는 모세관장력이 커진 것 및 단위 시멘트량 증가에 따라 자기수축이 크게 발생한 것에 기인된 것으로 분석된다. 이때, 단위수량 변화에 따른 건조수축은 단위수량 10 kg/m³ 증가 시 -0.8×10^{-4} 정도 증가하는 경향이였다.

Fig. 7은 재료요인으로 시멘트 및 SP제 종류별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 시멘트 종류에 따른 건조수축은 LPC가 OPC보다 45% 전후로 작게 나타났는데, 이는 田澤 등⁶⁾의 연구에서 지적한 바와 같이 수화반응시 수화수축이 작은 C₃S의 량이 OPC보다 많이 함유됨에 기인된 것과 또한, 시멘트조성의 C₃A나 C₄AF로 된 간극층이 자기수축에 크게 영향을 미친다는 宮·澤 등⁶⁾의 지적에서 OPC보다 그 함량이 작음에 기인된 것으로 분석된다. SP제 종류에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타나, SP제의 화학조성이 건조수축에 미치는 영향은 없는 것으로 분석된다.

3.3.2 자기수축 특성

Fig. 8은 배합요인으로 W/B 및 단위수량별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 먼저, W/B 변화에 따른 자기수축은 W/B가 작을수록 크게 발생하였는데, 이는 W/B가 작아짐에 따라 단위결합재량이 많아져 시멘트 경화체의 수화반응을 촉진시킴으로써 수화에 의한 자기수축이 많이 발생한 것으로 분석된다. 단위수량 변화에 따라서는 건조수축과 마찬가지로 단위수량이 작을수록 작게 나타났는데, 이는 단위수량 감소에 따른 단위 시멘트량의 감소로 수화에 의한 수축이 적게 발생한 것에서 기인된 것으로 사료된다. 단, W/B 35% 및 단위수량 145 kg/m³인 경우는 49일까지 자기수축이 거의 발생하지 않았는데, 이는 팽창제와 수축저감제의 중첩효과에 의해 자기수축이 상쇄된 것으로 분석된다.

Fig. 9는 재료요인으로 시멘트 및 SP제 종류별 재령경

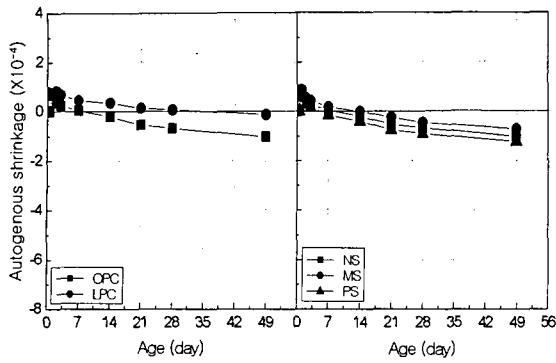


Fig. 9 Autogenous shrinkage with the cement and superplasticizer type

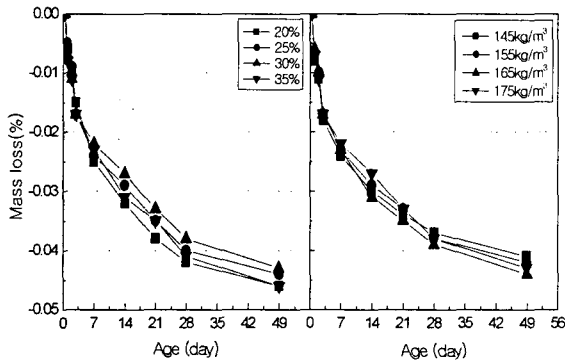


Fig. 10 Mass loss with W/B and water content

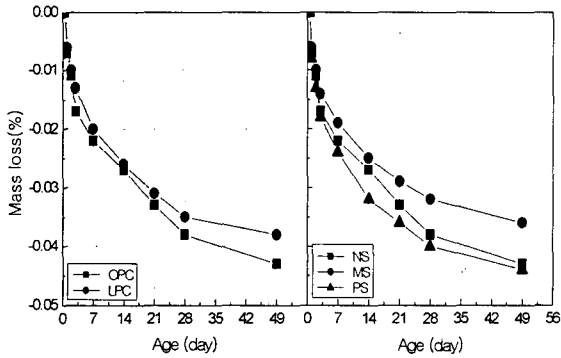


Fig. 11 Mass loss with the cement and superplasticizer type

과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 시멘트 종류에 따른 자기수축은 LPC가 OPC보다 작게 나타났는데, 이는 건조수축의 원인분석에서와 같이 LPC가 OPC보다 수화반응 후 체적변화가 작은 C_2S 함유율이 많고, 체적변화가 큰 C_3A 및 C_4AF 이 작기 때문인 것으로 분석된다. 그리고 SP제 종류에 따라서는 PS, NS, MS의 순으로 크게 나타났지만, 큰 차이는 아닌 것으로 분석된다.

3.3.3 질량감소율

Fig. 10, 11은 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 재령경과에 따른 질량감소율을 나타낸 것이다. 전반적으로 재령이 경과함에 따라 질량은 감소하는 것으로 나타났는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 모두 0.036~0.046%의 범위로써 일본 콘크리트 공학협회의 자기수축 측정방법에서 제안한 범위인 0.05% 이하의 규정치³⁾를 모두 만족하는 값을 나타내었다.

단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 있었다.

4. 결 론

본 연구는 FA, SF, EA, SR을 일정비율로 혼합한 저수축 고성능 콘크리트를 기본으로 배합 및 재료요인에 따른 콘크리트의 기초적 물성 및 건조·자기수축 등 품질 특성에 대하여 검토한 것으로써, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 배합요인에 따른 유동성은 W/B 및 단위수량이 작을수록 크게 감소하여 SP제량이 증가하였고, 공기량은 W/B 변화에 따라서는 큰 차이가 없었으나, 단위수량 증가에 따라서는 증가하여 AE제 사용량이 감소되었다. 재료요인으로 시멘트 종류에 따른 유동성은 LPC가 OPC보다 작게 나타났고, SP제 종류에 따라서는 PS, NS, MS의 순으로 크게 나타났으며, 공기량은 LPC가 OPC보다 크게 나타나 AE제 사용량이 감소하였고, SP제 종류에 따라서는 MS, PS, NS의 순으로 많게 나타났다.
- 2) 배합요인에 따른 압축 및 인장강도는 W/B가 작을수록 크게 나타났고, 단위수량 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 재료요인으로 시멘트 종류에 따라서는 LPC가 OPC보다 초기재령에서는 작게 나타났지만, 91일 이후에는 유사한 경향을 보였고, SP제 종류는 압축 및 인장강도에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.
- 3) 건조수축 길이변화율은 배합요인으로 W/B가 작을수록 증가하였고, 단위수량이 많을수록 크게 나타났다. 재료요인으로 시멘트 종류는 LPC가 OPC보다 작게 나타났고, SP제 종류는 건조수축에 주목할 만한 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.
- 4) 자기수축은 배합요인으로 W/B가 클수록, 단위수량이 작을수록 이에 따른 단위결합재량의 감소로 작게 나타나 W/B 35% 및 단위수량 145kg/m^3 에서는 재령 49일까지 자기수축이 발생하지 않았는데, 이는 팽창재와 수축저감제의 중첩효과에 의해 자기수축이 상쇄된 것으로 분석된다. 또한, 재료요인에 따른 자기수축은 LPC가 OPC보다 작게 나타났고, SP제 종류에 따라서는 PS, NS, MS의 순으로 크게 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 주목할 만한 차이는 아닌 것으로 분석된다.

이상의 결과를 종합하면, FA, SF, EA, SR를 혼입한 저수축 고성능 콘크리트에서 W/B는 가능한 범위내에서 크게, 단위수량은 적게 되도록 배합설계 하고, 시멘트는 LPC, SP제는 MS를 사용할 때 고성능 콘크리트의 건조 및 자기수축특성이 우수해짐을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬, “팽창제 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성”, 콘크리트학회 논문집, Vol.15, No.5, 2003, pp.785~793.
2. 한천구, 김성욱, 고경택, 문학룡, “팽창제 및 수축저감제를 조합 사용한 고성능 콘크리트의 수축특성”, 콘크리트학회논문집, Vol.16, No.5, 2004, pp.605~612.
3. 自己收縮研究委員會, “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.191~201.
4. 田澤榮一, 宮澤伸吾, “セメント系材料の自己收縮に及ぼす結合材および配合の影響”, 土木學會論文集, Vol.25, No.502, 1994, pp.43~45.
5. 田澤榮一, “水和反應によるセメントペーストの自己收縮”, セメント・コンクリート論文集 No.565, 1994, pp.35~44.
6. 田澤榮一, 宮澤伸吾, 佐藤剛, “自己收縮に及ぼすセメントの化學組成の影響”, セメント・コンクリート論文集 No.47, 1993, pp.528~533.
7. 宮澤伸吾, 三浦智哉, 田澤榮一, 谷愼太郎, “セメントペーストの自己收縮に及ぼすC₃Aの影響”, 土木學會 第49回學術講演會概要集 第5部, 1994, pp.700~701.
8. 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상기술 개발”, 한국건설기술연구원, 2003, pp.64~141.
9. 今本啓一, 大谷 博, “高強度・超高強度コンクリートの收縮性狀に關する研究”, コンクリート工學年次論文報告集 Vol.17, No.1, 1995, pp.1061~1066.
10. H. F. W, Taylor, “Cement Chemistry,” Academic Press Limited, 1990, pp.45~63.

요 약

본 연구는 배합 및 재료요인에 따른 저수축 고성능 콘크리트의 기초적 특성 및 건조·자기수축 등 품질 특성에 대하여 검토한 것이다. 실험결과, 고성능 콘크리트의 기초적 물성으로 배합요인에 따른 유동성은 W/B 및 단위수량이 작을수록 크게 감소하였고, 공기량은 W/B 변화에 따라 큰 차이가 없었으나, 단위수량 증가에 따라서는 증가하였다. 또한, 압축강도는 W/B가 클수록 크게 나타났고, 단위수량 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 재료요인에 따른 유동성은 시멘트의 경우 LPC가 OPC보다 작게 나타났고, SP제는 PS, NS, MS의 순으로 크게 나타났으며, 공기량은 OPC가 LPC보다 많게 나타났고, SP제는 MS, PS, NS의 순으로 크게 나타났다. 또한, 압축강도는 LPC가 OPC보다 초기재령에서는 작게 나타났지만, 91일 이후에는 유사하게 나타났고, SP제 종류에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 건조 및 자기수축은 배합요인에서 W/B가 클수록, 단위수량이 작을수록 작게 나타났다. 단, W/B 35% 및 단위수량 145 kg/m³에서는 재령 49일까지 자기수축이 발생하지 않았는데, 이는 팽창제와 수축저감제의 중첩효과에 의해 자기수축이 상쇄된 것으로 분석된다. 재료요인에서 시멘트는 LPC가 OPC보다 작게 나타났고, SP제의 종류는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서, FA, SF, EA, SR를 혼입한 저수축 고성능 콘크리트에서 W/B는 가능한 범위내에서 크게, 단위수량은 적게 되도록 배합설계 하고, 시멘트는 LPC, SP제는 MS를 사용할 때 수축특성이 우수해짐을 알 수 있었다.

핵심용어 : 저수축 고성능 콘크리트, 배합요인, 재료요인, 품질 특성