



화학혼화제 고형분량 변동이 콘크리트 품질에 미치는 영향

김진철^{1)*} · 유혁진²⁾ · 김홍삼¹⁾ · 정호진²⁾

¹⁾한국도로공사 도로교통연구원 ²⁾한국SGS건설시험연구원

Influences on Concrete Quality of Residue Content Change of Chemical Admixtures

Jin-Cheol Kim,^{1)*} Hyeok-Jin Yoo,²⁾ Hong-Sam Kim,¹⁾ and Ho-Jin Jeong²⁾

¹⁾Korea Expressway Corporation, Hwaseong 445-812, Korea

²⁾SGS Korea Co., Ltd., Pyeongtaek 451-851, Korea

ABSTRACT The permitted limit, $\pm 12\%$, of the change in solid contents based on ASTM C 494 as an interim standard in Korea Expressway Corporation, can not reflect the kind of chemical admixture and the characteristics of solid content so that it differed depending on the admixture types. In this study, effect of cement concrete quality was investigated by solid changes which can be used chemical admixtures acceptance criteria. As a result of an evaluation of a change in the quality of concrete due to solid content, since Ligno-sulfonate based (LG) had a low water reducing ratio, the range of the change in solid content was great while Naphthalene sulfonated based (PNS) and Poly-carboxylate based (PC) High Range Water-reducing Admixtures (HRWR) had a high water reducing ratio, the permitted limit of the difference in solid content currently used as the acceptance criterion should be readjusted. As a result, it is found that the acceptable range must be managed within 10% and 5% when the solid contents less than 25% and more than 25%, respectively.

Keywords : chemical admixtures, acceptance criteria, solid content, ligno-sulfonate based, naphthalene sulfonated based

1. 서 론

콘크리트용 화학혼화제는 굳지않은 콘크리트의 유동성 개선, 단위수량 저감에 의한 수밀성 개선, 연행공기에 의한 동결융해 저항성 개선 등 다양한 특성을 부여하여 콘크리트의 품질을 향상시킬 목적으로 사용되는 재료이다. 콘크리트용 화학혼화제는 AE제, 감수제(표준형, 지연형, 촉진형), AE감수제(표준형, 지연형, 촉진형), 고성능 AE감수제(표준형, 지연형)의 품질 기준을 KS F 2560에서 규정하고 있다.¹⁾

국내의 화학혼화제는 감수제로서 리그닌계(lignosulfonate based), 고성능감수제로서 나프탈렌계(naphthalene sulfonated based)와 폴리칼본산계(poly-carboxylated based)로 생산되고 있다. 그러나 KS F 2560에 규정된 공장심사기준을 살펴보면 AE제는 감수제 재료의 일부로서 규정되어 있으며, 고성능 AE감수제로서 가장 많이 사용되고 있는 폴리

칼본산계 고성능감수제에 대한 심사규정은 찾아볼 수 없다.²⁾ 또한 감수율 18% 이상 발현이 곤란하며 경제성, 품질 등의 이유로 거의 생산되고 있지 않은 유기산계 유도체를 주성분으로 하는 고성능 AE감수제의 심사규정도 있어 이에 대한 개정이 필요한 상황이다. 또한 혼화제의 인수검사 관리기준에 대한 규정도 없는 문제점이 있다. ASTM, EN 등에서는 AE감수제, 고성능 AE감수제 품질 기준이 없으며, JIS에서도 2006년 고성능감수제 기준을 신설하는 등 현장 여건을 고려한 품질관리가 가능한 기반을 조성하고 있다.³⁾ 인수검사 기준에 대해서는 EN 934에서 총 11개 일반항목에 대하여, ASTM C 260 및 494에서는 pH, 모르타르 공기량, 혼화제의 고형분량 및 밀도 변동에 허용범위를 규정하고 있다.⁶⁻⁸⁾

화학혼화제에 관한 KS F 2560에서는 감수율, 응결시간, 압축강도 등 혼화제를 사용한 콘크리트의 경화전·후 성능을 표시하여 품질의 양·부를 판정하도록 하고 있으나 혼화제 자체의 품질 변동을 판단할 수 있는 기준 및 시험방법이 부재하므로 콘크리트 제조 현장에서 인수검사 시 화학혼화제 품질의 양·부를 평가할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 이 연구에서는 화학혼화제 고형분량 변동을 주요 품질 변동 요인으로 상정하여 혼화제 종류

*Corresponding author E-mail : jckim1213@naver.com

Received February 14, 2014, Revised April 21, 2014,

Accepted May 7, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

별 고형분량 변동이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 검토하였다. 이러한 결과는 향후 혼화제의 합리적 관리기준의 설정과 관련기준의 개정에 필요한 근거라 할 수 있다.

2. 화학혼화제 품질현황

2.1 화학혼화제 KS 인증현황

국내 화학혼화제는 42개사에서 생산중이며, 혼화제 종류별로 KS 인증현황³⁾을 정리한 것이 Table 1이다.(2013년 현재)

KS F 2560 공장심사기준에 따르면 AE제는 나프탈렌계, 리그닌계 및 유기산계 유도체의 일부자재로서 규정되어 있으며, 자재 검사항목으로는 겔모양, pH 및 점성으로 규정되어 있다.²⁾ 혼화제 종류별 세부 인증현황을 살펴보면 Table 1에서와 같이 AE제에 대하여 13개사 리그닌계, 1개사 나프탈렌계, 1개사는 리그닌계, 나프탈렌계 및 유기산계 유도체계로 KS 인증을 받은 것으로 나타났다. 감수제에 대한 인증현황을 살펴보면 리그닌계가 15개사, 나프탈렌계 2개사이다. AE감수제의 경우 리그닌계 단독 25개사, 나프탈렌계 단독 9개사, 유기산계 유도체 단독 1개사, 2개 또는 3개 주성분에 대하여 인증받은 제조사가 7개사로 나타났다. 고성능 AE감수제의 경우 나프탈렌계 25개사, 리그닌계 10개사, 유기산계 유도체 5개사로 나타났다.

KS F 2560에서는 감수제 및 고성능 AE감수제의 품질을 콘크리트의 감수율로 규정하고 있기 때문에 주성분에 의한 분류는 큰 의미가 없다. 일반적으로 리그닌계 감수제는 첨가율에 따른 감수율 증가가 크지 않기 때문에 고축합시킨 변성 리그닌계가 고성능감수제로 사용될 수 있으나 제조단가, 공정의 까다로움 때문에 국내 활용실적은 전무하다. 또한 국내 공급되는 AE제는 대부분 SLES (sodium lauryl ether sulfate)를 주성분으로 하고 있으나 전술한 바와 같이 겔모양, pH, 점도만으로 최종제품의 품질

Table 1 KS certification status of chemical admixtures

Classification	AE	WR	AEWR	HRWR-AE
L	13	15	25	10
PNS	1	2	9	25
O	-	-	1	5
L, PNS, O	1	-	7	-
Total	15	17	42	40

Remark)

AE: air entraining admixture, WR: water reducing admixtures

AEWR: water reducing admixtures with AE

HRWR-AE: high range water reducing admixtures with AE

L: lignosulfonated based

PNS: naphthalene sulfonated based

O: organic acid derivatives based

안정성을 평가하는 것은 문제가 있을 것으로 판단된다.

2.2 고형분량 변동현황

현장에 도착하는 화학혼화제의 품질변동을 즉시 평가할 수 있는 인수검사 시험방법으로 고형분량과 밀도의 차에 대한 규정이 ASTM C 494 및 EN 934-2에 규정되어 있다. 한국도로공사는 KS F 2560 품질기준을 준수한 화학혼화제에 대하여 ASTM C 494의 인수검사 시험기준을 도입하여 2010년부터 잠정기준으로 시행하고 있다.⁹⁾ Fig. 1은 2회에 걸쳐 고속도로 건설현장에 납품되는 화학혼화제의 고형분량 변동을 평가한 결과이다. 이 그림에서 2010년도 총 61개 현장시험 결과 최초 납품시 측정된 고형분량(기준값)에 대하여 $\pm 12\%$ 를 벗어나는 화학혼화제가 18개 현장으로 나타났다. 2012년도 총 47개 현장을 대상으로 실시한 결과 13개 현장이 기준범위를 벗어나는 결과를 나타내었다.

Fig. 2는 화학혼화제의 주성분별 고형분량과 밀도의 상관성을 나타낸 것이다. 고형분량과 밀도는 선형적인 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서 국내 유통 중인 37개사의 제품을 분석한 결과에서도 LG와 PNS, PC에서 선형적인 상관성을 나타내었다. 특히 고형분량 약 20%인 폴리칼본산계 혼화제의 경우 밀도 1.05를 나타

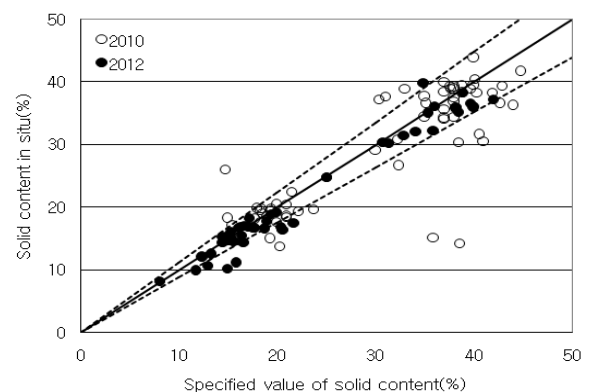


Fig. 1 Difference between specified value and test result of solid content

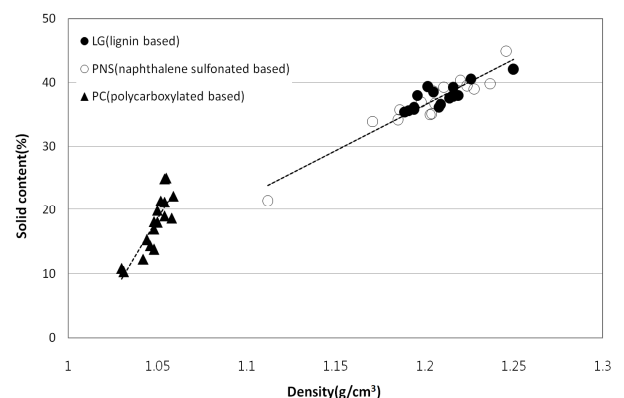


Fig. 2 Relationship between solid content and density

낸 반면, 30% 이상인 리그닌 및 나프탈렌계 혼화제의 경우 밀도가 1.2 이상으로 나타났다.

3. 고형분량에 의한 콘크리트 품질변동

3.1 시험개요

화학혼화제의 고형분량 변동이 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 KS F 2560²⁾에 의거하여 콘크리트를 제조하고 공기량, 감수율, 슬럼프 및 재령 3, 7 및 28일 압축강도를 측정하였다.

3.1.1 시험재료

사용된 시멘트는 H사 보통포틀랜드시멘트이며, 잔골재는 밀도 2.60 g/cm³의 세척사, 굵은골재는 최대치수 25 mm, 밀도 2.62 g/cm³의 부순돌을 사용하였다. 화학혼화제는 AE제, 감수제로서 리그닌계(이하 LG로 약함), 고성능감수제로서 나프탈렌계(이하 PNS로 약함) 및 폴리칼본산계(이하 PC로 약함)를 사용하였고 물리적 성질은 Table 2에 나타내었다.

3.1.2 시험변수 및 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 KS F 2560 배합규정에 따라 제조되었으며, 그 결과를 정리한 것이 Table 3이다. 이 표에서 기준배합(control mix)은 혼화제를 사용하지 않은 배합, 시험배합(AD concrete)은 제조자 추천량을 사용한 혼화제 사용배합을 의미한다. Table 4는 콘크리트의 목표슬럼프 및 화학혼화제 주성분에 따른 고형분량 변동범위를 정리

Table 2 Solid content and density of admixtures

Classification	Solid content (%)	Density (g/cm ³)
AE	29.2	1.046
LG	37.8	1.216
PNS	39.5	1.224
PC	18.0	1.050

Table 3 Mix proportions of concrete

Classification	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
			W	C	S	G	
AE	Control mix	61.4	43.0	215	350	753	1,003
	AD Control	54.9	42.0	192	350	717	994
LG	Control mix	65.0	44.0	195	300	812	1,041
	AD Control	62.0	43.0	186	300	804	1,073
PNS	Control mix	60.3	43.0	211	350	758	1,012
	AD Control	53.1	42.0	186	350	768	1,068
PC	Control mix	60.3	43.0	211	350	758	1,012
	AD Control	49.4	42.0	173	350	782	1,088

한 것이다.

AE제의 고형분량은 29.2%로서 ASTM C 494에 규정된 허용범위(±12%) 적용 시 ±3.5%이며 ±1.5, 3.0 및 4.5의 6단계로 변동범위를 정하였고, 감수제의 경우 기준 고형분량 37.8%로서 허용범위는 ±4.5%이며 ±4.5, 6.0 및 9.0%로 총 6단계로 변화시켰다. 고성능감수제의 경우 나프탈렌계 고성능감수제의 고형분량은 39.5%이었으며, ASTM C 494에 규정된 허용범위 ±4.7%에 의해 ±2.5, 5.0 및 7.5%로 총 6단계 변화시켰다.

폴리칼본산계 고성능감수제의 고형분량은 18.0%로서 변동 허용범위는 ±2.16%이며 나프탈렌계 고성능감수제보다 고형분량이 낮으면서, 감수율이 높기 때문에 고형분량의 변동범위를 ±1, 2, 3, 4%의 총 8단계로 변화시켰다. 감수제와 폴리칼본산계 고성능감수제 자체의 공기연행성이 크기 때문에 각 배합에 대하여 소포제를 혼화제 질량에 대하여 1.0% 사용하여 기준 콘크리트 공기량이 하로 제조하였다.

콘크리트를 혼합할 때 1배치량을 30 L로 정하여 각 재료를 계량하였으며 목표 슬럼프는 감수제의 경우 80±25 mm, AE제 및 고성능감수제의 경우 180±25 mm로 하였다.

3.2 시험 결과

3.2.1 AE제 고형분량과 콘크리트 품질

Fig. 3은 AE제의 고형분량 변동에 따른 콘크리트의 슬럼프 및 공기량의 변화를 정리한 것이다. 이 그림에서 목표 슬럼프 180 mm의 경우 허용범위가 ±25 mm로서 AE제

Table 4 Test parameter of concrete

Classification	Slump (mm)	Soild content variance (%)	AF(%)
AE	180±25	±1.5, 3.0, 4.5	0
LG	80±25	±4.5, 6.0, 9.0	AD×1.0
PNS	180±25	±2.5, 5.0, 7.5	0
PC	180±25	±1.0, 2.0, 3.0, 4.0	AD×1.0

Remark) AF: anti-foaming admixtures

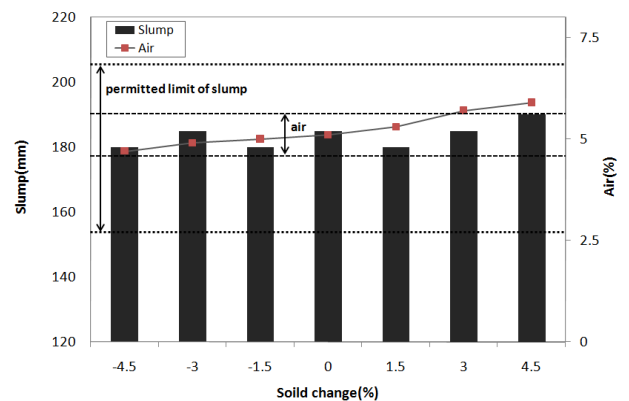


Fig. 3 Slump and air of concrete with AE solid change

의 고흡분량이 $\pm 4.5\%$ 변화한 경우에도 슬럼프의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 공기량의 경우 고흡분량 변동 3% 이상에서 KS F 2560에서 정하고 있는 공기량의 허용범위 0.5%를 벗어나는 것으로 나타내었다.

Fig. 4는 AE제 고흡분량 변동에 따른 재령별 압축강도비 및 감수율을 나타낸 것으로 재령 3일 강도비가 높고 재령 7 및 28일은 기준배합 콘크리트 강도와 거의 유사한 값을 나타내었다. 이러한 결과는 고흡분량 변동에 따른 유동성 변동이 큰 차이가 없어 거의 유사한 감수율을 나타내었기 때문으로 사료된다. 즉, 고흡분량이 -4.5% 변동된 경우 감수율 9.5%, +4.5% 변동된 경우 감수율 13%가 되는데 물-결합재비로 환산하면 고흡분량 변동에 따라서 약 2% 차이가 발생하게 된다. 따라서 감수율이 높게 나타난 +4.5%의 경우 강도가 증가해야 할 것으로 생각되지만 고흡분량 증가에 따라 공기량이 약 1% 증가하므로 이에 따른 강도감소효과로 인하여 거의 유사한 강도비를 나타낸 것으로 생각된다.

3.2.2 감수제 고흡분량과 콘크리트 품질

Fig. 5는 리그닌계 감수제의 고흡분량 변동에 따른 콘크리트의 슬럼프 변동 및 감수율을 정리한 것이다. 이 실험에 사용된 리그닌계 감수제의 기준 고흡분량은 37.8%

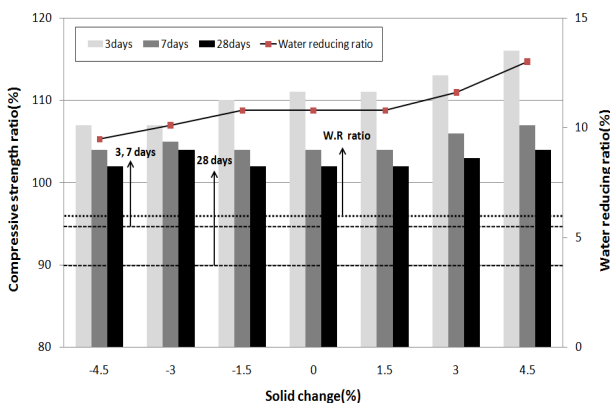


Fig. 4 Compressive strength ratio and water reducing ratio of AE concrete

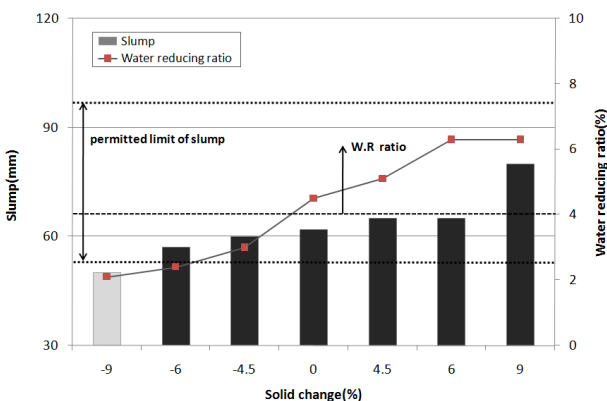


Fig. 5 Slump and water reducing ratio of lignin concrete

로서 ASTM C 494에서 규정하고 있는 고흡분량의 허용범위는 33.2~42.3%이다. 실험 결과에서 고흡분량이 증가할수록 슬럼프가 증가하였으나 증가율은 매우 낮은 것을 알 수 있다. 또한 KS F 4009⁴⁾에서 정하고 있는 슬럼프의 허용범위 ± 25 mm에 대하여 고흡분량 -9.0% 변동을 제외하면 양호한 유동성을 나타내고 있다. 그러나 고흡분량 변동 범위의 한계인 -4.5%를 넘어선 -6%(고흡분량 31.8%)의 경우에도 슬럼프의 허용범위 내에 있는 것을 알 수 있다. 결국 리그닌계 감수제의 고흡분량 변동에 따른 슬럼프 변동은 매우 미미한 것을 확인할 수 있었다.

리그닌계 감수제의 고흡분량이 변동하였을 때 동일 반죽질기에서 감수율 변동은 그림에서 보이는바와 같이 고흡분량 감소에 따라 감수율이 변동되는 것을 알 수 있으며, -4.5%에서 감수율은 3.0% 정도로서 KS F 2560에서 제시한 감수율 4% 이상을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 리그닌계 감수제 고흡분량 변동에 따른 콘크리트의 재령별 압축강도비를 정리한 것이다. 이 그림에서와 같이 고흡분량 -9%의 경우 전 재령에서 KS 기준인 재령 3일 115%, 재령 7 및 28일 110% 이상을 만족하지 못하고 있음을 알 수 있으며, 고흡분량이 증가함에 따라 단위수량이 감소하므로 압축강도비도 선형적인 증가추세를 나타내었다. 다만, 고흡분량이 기준 값에 대해서 감소하는 경우 재령별 강도비가 평균 115% 정도를 나타내었으나, 고흡분량이 기준 값에 대해서 증가하는 경우 재령 3, 7 및 28일 각각 평균 121, 122 및 115%를 나타내었다. 이러한 변화는 리그닌계 감수제 첨가에 따른 감수율이 낮기 때문에 강도증진율도 낮게 평가된 것으로 사료된다.

3.2.3 고성능감수제 고흡분량과 콘크리트 품질

KS F 2560에 규정된 AE제 및 고성능 AE감수제의 감수율은 각각 6 및 18% 이상이다. 그러나 전술한 Fig. 4와 같이 국내 시판중인 AE제 감수율이 고흡분량에 따라 10~13%인 점을 감안할 때 AE제의 기여효과를 배제할 필요가 있었다. 이 연구에서는 고성능감수제에 대한 JIS, EN, ASTM 품질기준을 참조하여^{5,7,8)} 고성능감수제의 기

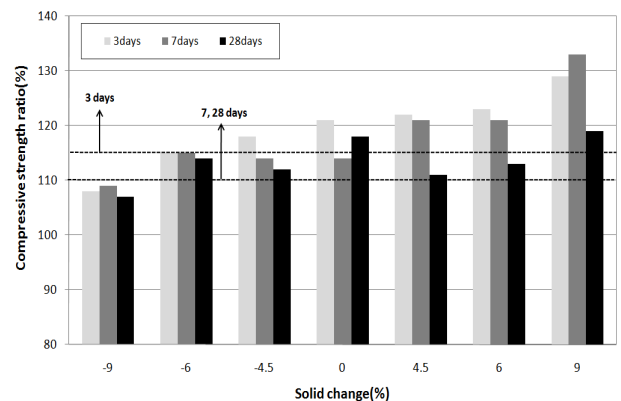


Fig. 6 Compressive strength ratio of lignin concrete

준 감수율을 12%로 결정하고 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 감수율 변동을 고찰하였다. 또한 고성능감수제의 경우에도 감수제와 동일하게 공기량 변동은 기준 콘크리트의 공기량 +1% 미만으로 정하였다.

Fig. 7은 나프탈렌계 고성능감수제의 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 슬럼프 변동 및 감수율을 나타낸 것이다. 이 실험에 사용된 혼화제의 기준 고품분량은 39.5%이며, ASTM C 494에서 규정하고 있는 허용범위는 34.1~44.2%이다. 이 그림에서 나프탈렌계 고성능감수제의 슬럼프는 고품분량 변동에 따라 완만한 상승 곡선을 나타내고 있으며, 고품분량 -2.5%(고형분량 37.0%) 이하 및 +7.5%(고형분량 47.0%)에서 슬럼프 허용범위를 벗어나고 있다. 즉 ASTM C 494에서 규정하고 있는 고품분량의 허용범위 내에 있는 37%의 경우에도 슬럼프 허용범위를 벗어나는 결과를 나타내었다. 나프탈렌계 고성능감수제의 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 감수율 변동은 나프탈렌계 고성능감수제의 고품분량 변동 -2.5% 이하에서 감수율 기준 12%를 만족하지 못하는 것을 알 수 있다. 그러나 고품분량 변동에 따라 콘크리트의 감수율은 선형적인 증감을 나타내었다.

Fig. 8은 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도비를 고품분량 변동에 따라 정리한 것이다. 재령에 따른 압축강도비는 고품분량 변동에 따라 재령 3, 7 및 28일 각각 141~165, 123~145 및 115~

137%의 압축강도비를 나타내었으며, 이 값은 KS F 2560의 고성능 AE감수제의 압축강도비 품질기준을 크게 상회하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 폴리칼본산계 고성능감수제의 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 슬럼프 변동 및 감수율을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 폴리칼본산계 고성능감수제의 기준 고품분량은 18%로서 허용 변동범위는 15.8~20.2%이다.

이 그림에서 혼화제의 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 슬럼프 변동이 거의 선형적인 변화를 나타내고 있으며, 허용범위에 있는 ±2% 변동(고형분량 16 및 20%)에서도 나프탈렌계 고성능감수제와 동일하게 고품분량 허용범위 내에서 슬럼프 허용범위를 벗어나는 결과를 얻을 수 있었다. 결국 감수율이 큰 고성능감수제의 경우 고품분량의 미소한 변동이 슬럼프를 크게 변동시키게 되므로 슬럼프 허용범위에 적합한 고품분량의 허용 변동범위를 재설정해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 또한 이 그림에서 기준 고품분량(변동 0%)의 경우 18%의 높은 감수율을 나타내었으며, 고품분량 감소에 따라 감수율도 감소하는 경향을 나타내었다. 폴리칼본산계 고성능감수제의 고품분량 -4.0%의 경우 기준 감수율인 12% 미만을 나타내어 품질기준을 만족하지 못하는 결과를 나타내었다.

Fig. 10은 폴리칼본산계 고성능감수제의 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 재령별 압축강도비를 정리한 것이다. 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우와 동일한

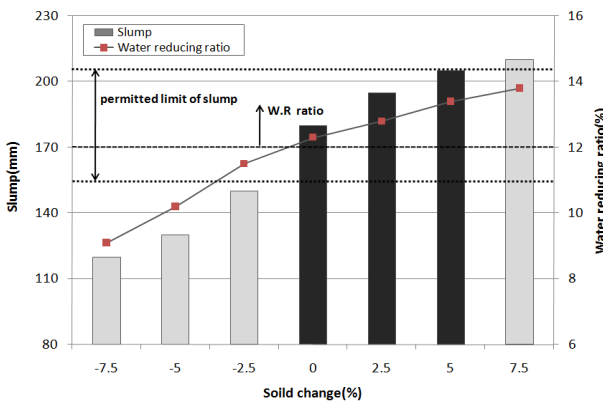


Fig. 7 Slump and water reducing ratio of PNS concrete

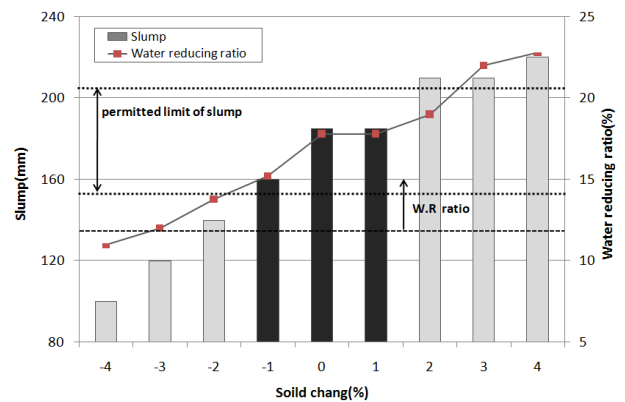


Fig. 9 Slump and water reducing ratio of PC concrete

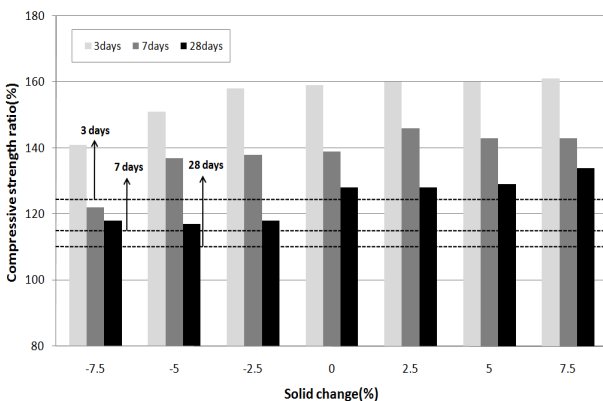


Fig. 8 Compressive strength ratio of PNS concrete

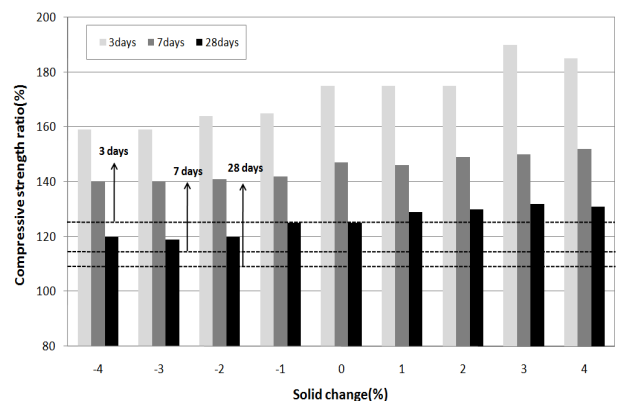


Fig. 10 Compressive strength ratio of PC concrete

평가기준을 적용하였을 때 재령 3, 7 및 28일 압축강도비는 각각 145~195, 129~162 및 123~144%로서 나프탈렌계 고성능감수제보다 더 높은 강도비를 나타내었다. 이러한 결과는 폴리칼본산계 고성능감수제의 감수효과가 뛰어나기 때문에 콘크리트의 단위수량을 대폭적으로 감소시켜 강도에 직접적인 영향을 미치는 물-결합재비 감소효과가 크게 나타났기 때문이다. 또한 나프탈렌계 고성능감수제의 감수율과 비교한 결과 폴리칼본산계 고성능감수제 사용에 따라 감수율은 약 6% 증가하였으며, 재령 3일 강도비는 16% 정도 증가하는 결과를 나타내었다. 탁월한 감수효과에 의한 물-결합재비 감소가 콘크리트의

압축강도를 증가시켜 재령 28일의 경우에도 나프탈렌계 고성능감수제에 비하여 약 10% 높은 강도를 얻을 수 있었다.

이상의 결과로부터 화학혼화제 종류별 고형분량 변동이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 종합적으로 정리한 것이 Table 5이다. 이 표에서 판정기준은 KS F 2560에 규정된 품질기준, 예를 들어 감수제의 경우 감수율 4%, 재령 3일 압축강도비 115% 이상과 KS F 4009에서 규정하고 있는 슬럼프 허용변동범위(80 mm 이상의 경우 ± 25 mm)에 적합한지 여부를 종합적으로 고찰하였다.

AE제는 감수율, 압축강도비, 슬럼프의 경우 ASTM C 494에서 규정하고 있는 $\pm 12\%$ (고형분량 변동 $\pm 3.5\%$)를 만족하지만 공기량 측정 시 고형분량 변동 +3.0% 이상에서 허용 범위를 벗어나는 결과를 나타내었다. 결국 공기량을 감안하였을 때 AE제의 고형분량 변동범위는 $\pm 1.5\%$ 내외로 제시할 수 있다.

리그네티계 감수제는 고형분량 변동범위의 한계인 -4.5% 이하에서 KS F 2560에서 제시한 감수율 4% 이상을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 고형분량 변동 -4.5%인 경우 감수율 3.0%를 나타내 감수율 4% 이상을 만족하기 위해선 고형분량 변동 범위가 $\pm 2.0\%$ 내외에서 제시되어야 할 것으로 판단된다.

나프탈렌계 고성능감수제는 고형분량 변동 -2.5%에서 슬럼프 허용범위를 벗어나는 결과를 나타내었다. 그러나 이때 슬럼프가 150 mm로서 허용범위와 5 mm의 차이가 발생되었다. 따라서 감수율을 감안하였을 때 고형분량의 변동범위는 $\pm 2.0\%$ 를 제시할 수 있다.

폴리칼본산계 고성능감수제는 슬럼프 변동범위를 벗어난 +2.0~+4.0의 경우 슬럼프가 190 mm 이상으로 콘크리트 배합설계 시 단위수량을 더욱 감소시켰다면 감수율이 증가하면서 슬럼프도 허용범위에 들어오게 된다. 다만, -4.0%의 경우 슬럼프 허용범위 뿐만 아니라 감수율도 만족하지 못하고 있으므로 적정 고형분량 변동범위는 $\pm 2.0\%$ 를 제시할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 화학혼화제 고형분량이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 통하여 인수검사기준으로 활용중인 고형분량의 허용범위 재조정을 제시하였으며, 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) AE제의 경우 고형분 변동에 의한 슬럼프의 변화는 거의 없었으며 감수율의 유동성 변동이 큰 차이를 보이지 않았다. 공기량은 고형분량 변동 +3.0% 이상에서 KS에서 정하고 있는 허용범위를 벗어나는 결과를 나타내었다.
- 2) 감수제의 경우 고형분 변동에 따른 슬럼프 변동은 매우 미미하였으며 -4.5%에서 감수율 3.0%로 KS기준을 만족하지 못하였다. 또한 고형분량 -9.0%의 경

Table 5 Quality change compare depending on solid change

Types	Solid change (%)	Air	Water reducing ratio	Compressive strength ratio			Slump
				3day	7day	28day	
AE	-4.5	●	●	●	●	●	●
	-3.0	●	●	●	●	●	●
	-1.5	●	●	●	●	●	●
	0	●	●	●	●	●	●
	+1.5	●	●	●	●	●	●
	+3.0	X	●	●	●	●	●
	+4.5	X	●	●	●	●	●
LG	-9.0	●	X	X	X	X	X
	-6.0	●	X	●	●	●	●
	-4.5	●	X	●	●	●	●
	0	●	●	●	●	●	●
	+4.5	●	●	●	●	●	●
	+6.0	●	●	●	●	●	●
	+9.0	●	●	●	●	●	●
PNS	-7.5	●	X	●	●	●	X
	-5.0	●	X	●	●	●	X
	-2.5	●	X	●	●	●	X
	0	●	●	●	●	●	●
	+2.5	●	●	●	●	●	●
	+5.0	●	●	●	●	●	●
	+7.5	●	●	●	●	●	X
PC	-4.0	●	X	●	●	●	X
	-3.0	●	●	●	●	●	X
	-2.0	●	●	●	●	●	X
	-1.0	●	●	●	●	●	●
	0	●	●	●	●	●	●
	+1.0	●	●	●	●	●	●
	+2.0	●	●	●	●	●	X
	+3.0	●	●	●	●	●	X
	+4.0	●	●	●	●	●	X

Remark) X: N.G. for specification, ●: O.K. for specification

우 압축강도비가 전 재령에서 KS 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

- 3) 나프탈렌계 고성능감수제는 고품분량 -2.5% 이하 및 +7.5%에서 슬럼프 허용범위를 벗어났으며, 고품분량 변동 -2.5% 이하에서 감수율 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 재령별 압축강도비는 품질기준을 크게 상회하는 것으로 나타났다.
- 4) 폴리칼본산계 고성능감수제는 품질기준 안에 있는 고품분량 $\pm 2\%$ 변동에서도 슬럼프가 허용범위를 상회하는 결과를 나타내었으며, 고품분량 -4.0%의 경우 기준 감수율인 12% 미만을 나타내어 품질기준을 만족하지 못하였다. 압축강도비의 경우 나프탈렌계 고성능감수제보다 더 높은 강도비를 나타내었다.

References

1. KS F 2560, "Chemical Admixtures for Concrete," Korean Agency for Technology and Standards, 2007. pp. 1-3.
2. Korean Agency for Technology and Standards, "Examination Standard for Certification of KS Mark(KS F 2560)," KATS, 2013.12, pp. 4-7.
3. www.ksmark.or.kr, KS certificate search results.
4. KS F 4009, "Ready-Mixed Concrete," Korean Agency for Technology and Standards, 2007, 3 pp.
5. JIS Handbook, "JIS A 6204, Chemical Admixtures for Concrete," Japanese Standards Association, 2006, 250 pp.
6. ASTM C 260, "Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete," ASTM International, 2006, pp. 1-2.
7. ASTM C 494, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, 2010, 4 pp.
8. EN 934-2, "Admixtures for Concrete, Mortar and Grout : Part 2. Concrete Admixtures - Definitions, Requirements, Conformity, Marking and Labelling," European Standard, 2009, 5, pp. 8-12.
9. Korea Expressway Corporation, "Interim Standard for Chemical Admixtures for Concrete," 2010. 5, pp. 4-7.

요 약 이 연구는 화학혼화제 인수검사 기준으로 활용할 수 있는 고품분량 변동이 콘크리트 품질에 미치는 영향에 대해 살펴 보는데 그 목적을 두었다. 현재 한국도로공사의 잠정기준으로 운용 중인 ASTM C 494 기반의 고품분량 변동범위 $\pm 12\%$ 는 혼화제의 종류 및 고품분량의 특성을 반영하지 못해 혼화제 종류에 따라 상이하게 나타났다. 고품분량 변동에 따른 콘크리트의 품질 변동을 평가한 결과 리그닌은 감수율이 낮은 관계로 고품분량의 변동범위가 큰 반면 나프탈렌계 및 폴리칼본산계 고성능감수제는 높은 감수율로 인하여 인수검사 기준으로 활용 중인 고품분량의 차이에 대한 허용범위 재조정이 요구되었다.

핵심용어 : 화학혼화제, 인수검사, 고품분량, 리그닌계, 나프탈렌계