

고분말도 광물성 혼화재를 혼입한 삼성분계 결합재의 ASR 저항성 평가

ASR Resistance of Ternary Blended Binder Adding Ultra Fine Mineral Admixture

전 성 일	Jeon, Sung IL	정회원 · 한국건설기술연구원 도로포장연구실 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : jeonsi@kict.re.kr)
안 상 혁	Ahn, Sang Hyeok	정회원 · 한국건설기술연구원 도로포장연구실 전임연구원 (E-mail : shahn@kict.re.kr)
안 지 환	An, Ji Hwan	정회원 · 한국건설기술연구원 도로포장연구실 전임연구원 (E-mail : jenix@kict.re.kr)
윤 경 구	Yun, Kyung Ku	정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 (E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)
남 정 희	Nam, Jeong-Hee	정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 공학박사 (E-mail : archnam@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to evaluate ASR(alkali silica reactivity) resistance of ternary blended binder adding ultra fine mineral admixture.

METHODS : This study analyzes ASR expansion using ASTM C 1260 and 1567.

RESULTS : This study showed that the fineness of mineral admixture had no effect on ASR expansion. The expansion of ternary blended binder(UFFA 20%+FGGBS 10%) were below 0.1%, and this binder met the ASR standard. Also when adding the CSA expansion agent, ASR expansion slightly decreased. The expansion of latex modified mixture increased by 80% comparing plain mixture.

CONCLUSIONS : Ternary blended binder met the ASR standard, and this binder is available in concrete bridge deck overlay.

Keywords

ASR(alkali-silica reactivity), ternary blended binder, mineral admixture, UFFA(ultra fine fly ash), FGGBS(finely-ground granulated blast furnace slag)

Corresponding Author : Jeon, Sung IL, Senior Researcher
Highway pavement research division, SOC research Institute,
Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro,
Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0542 E-mail : jeonsi@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

ASR(alkali silica reactivity : 알칼리실리카반응)은 시멘트의 알칼리 수산화물(alkali hydroxide)과 골재의 실리카(silica) 성분이 반응하여 팽창성 겔(gel)을 생성하는 현상으로, ASR 발생 시 내부 팽창에 의해 균열이 발생하여 콘크리트 구조물에 심각한 파손을 일으킨다.

ASR은 반응성 실리카를 함유한 골재, 높은 알칼리 성분을 함유한 재료로 구성된 콘크리트에 충분한 수분

이 공급되었을 경우 발생하게 된다. 이를 예방하기 위한 방법으로 시멘트의 일부를 광물성 혼화재(mineral admixture)로 치환하는 것이 대표적이다. 광물성 혼화재는 포졸란 반응을 통해 수산화칼슘을 소비하고, 이것이 콘크리트 내 pore에 존재하는 용액의 알칼리도를 낮추어 ASR 팽창성을 제어할 수 있는 것으로 알려져 있다. 특히 광물성 혼화재의 화학성분 중 CaO 함량이 낮고, SiO₂ 함량이 높은 것이 pore내 용액의 알칼리도를 감소시키는데 효과적이다(Table 1 참조).

Table 1. Chemical Properties of Mineral Admixture

Deleterious Constituents (promote expansion)	Beneficial Constituents (reduce expansion)
CaO (calcium oxide) Na ₂ O and K ₂ O (alkalis) MgO (magnesium oxide) SO ₃ (sulfur trioxide)	SiO ₂ (silicon dioxide) Al ₂ O ₃ (aluminum trioxide) Fe ₂ O ₃ (iron oxide)

Fournier(1997)는 시멘트에서 0.27% 팽창하는 골재에 대하여, 플라이 애시 20% 이상 치환 시 팽창률이 0.05% 이하를 나타내어 ASR을 충분히 억제하는 것으로 보고하였다. Detwiler(2002)는 시멘트에서 0.25% 팽창하는 골재에 대하여 low-CaO(8% 미만) 플라이애시 15% 이상 치환 시 팽창률 0.10% 이하를 나타내었으나, medium-CaO(8% 이상, 20% 이하) 플라이애시 25% 치환 시에도 팽창률 0.15% 이상을 나타내어 기준치(0.10% 이하)를 만족시키지 못하는 것으로 보고하였다. 이와 같이 플라이애시는 CaO 함량에 따라 ASR을 억제할 수 있는 능력이 차이가 있으며, Fournier et al(2000)는 플라이애시의 CaO 함량에 따른 치환율을 각각 다르게 하는 기준을 제안하였다. 이에 CAN/CSA-A23.2-27A 기준(2009)에서는 플라이애시의 등가알칼리 함량과 CaO 함량에 따라 플라이애시의 치환율을 각각 규정하고 있으며, UFGS-32 13 11 기준(2010)에서는 SiO₂+Al₂O₃+ Fe₂O₃ 함량에 따라 각각의 치환율을 규정하고 있다.

고로슬래그의 경우 결합재 중량대비 50% 정도를 치환할 때 콘크리트의 ASR 팽창성을 상당히 감소시킬 수 있다(Fournier, 1997; Hester et al, 2005). 실리카흙의 경우에는 8~10% 정도의 낮은 치환율에도 ASR 팽창성을 감소시킬 수 있는데, 이는 다른 광물성혼화제에 비해 SiO₂ 함량이 높고, 낮은 Ca/Si 비를 나타내고 있기 때문이다(J. Lindgard et al, 2012). 또한 고로슬래그 25%와 실리카흙 3%를 치환한 삼성분계(ternary blend) 혼합물에서 ASR 저항성이 상당히 우수한 것으로 나타났으며, 이에 결합재를 삼성분계로 할 경우 이성분계(binary blend)에 비해 좀 더 유리한 것으로 평가하였다(Bleszynski et al, 2002).

한편 도로포장 분야에서 교면포장은 고성능 콘크리트를 요구하고 있으며, 이는 교량구조물의 성능을 유지하기 위해 위로부터 침투되는 물과 이물질의 차단을 교면포장이 담당해야 하기 때문이다. 본 연구진은 기존 연구에서 고분말도 플라이애시와 슬래그를 혼합한 삼성분계 콘크리트가 강도 및 내구성 측면에서 우수한 성능을 나

타내며, 교면포장 품질기준을 충분히 만족하는 것으로 평가한 바 있다(Jeon et al, 2009; Nam et al, 2013).

본 연구에서는 이에 대한 추가 연구로 고분말도 플라이애시 UFFA(ultra fine fly ash)와 2종 고로슬래그로 분류되는 FGGBS(finely-ground granulated blast furnace slag)를 첨가한 삼성분계 혼합물에 대한 ASR 팽창성을 평가하였다.

2. 실험절차 및 방법

2.1. 실험개요

본 연구에서는 선행 연구(Jeon et al, 2009; Nam et al, 2013)에서 검토된 교면포장용 고분말도 광물성혼화제를 치환한 삼성분계 혼합물에 대한 ASR 저항성 평가를 수행하였다. 특히 일반과 고분말도 광물성혼화제, 이성분계와 삼성분계에 따른 ASR 팽창성을 평가하였으며, 콘크리트의 수축거동을 제어하기 위해 사용되는 팽창제의 첨가에 따른 ASR 팽창성을 평가하였다. 또한 삼성분계 혼합물과 비교하기 위해 교면포장용 콘크리트에 많이 적용되고 있는 라텍스와 실리카흙을 첨가하였을 때의 ASR 팽창성을 비교하였다. ASR 팽창성을 평가하기 위한 실험방법은 축진모르타르봉 방법인 ASTM C 1260, C 1567 방법을 사용하였다.

본 연구에서 적용한 배합 변수를 Table 2에 나타내었

Table 2. Variables of ASR Test

Variable Name	Replacement of Mineral Admixture, %						
	FA	UFFA	GGBS	FGGBS	E	SF	Latex
Plain							
FA10	10						
FA20	20						
UFFA10		10					
UFFA20		20					
GGBS25			25				
GGBS50			50				
FGGBS25				25			
FGGBS50				50			
UF30-E0		20		10			
UF30-E4		20		10	4		
UF30-E8		20		10	8		
UF30-E12		20		10	12		
SF6						6	
Latex15							15

FA : fly ash, UFFA : ultra fine fly ash
 GGBS : ground granulated blast furnace slag
 FGGBS : finely-ground granulated blast furnace slag
 UF : UFFA + FGGBS (ternary blend)
 E : Expansion Agent SF : silica fume

다. Table 2에서 나타난 바와 같이 이성분계에서 플라이애시는 10%, 20%, 고로슬래그는 25%, 50%로 하였으며, 삼성분계에서는 기존 연구를 토대로 UFFA 20%, FGGBS 10%로 하였고, 삼성분계에서는 추가로 팽창제 첨가율을 0~12% 변화를 주어 실험을 진행하였다. 이외에 실리카흙과 라텍스는 국내에서 적용되고 있는 첨가비율을 적용하였다.

2.2. 실험재료

2.2.1. 결합재

본 연구에서 사용된 결합재에 대한 화학성분비를 Table 3에 나타내었다. 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 광물성 혼화재 UFFA와 FGGBS는 6,000 blain 이상의 것을 사용하였다. 또한 팽창제는 D사에서 제조된 CSA계를 사용하였다.

2.2.2. 골재

본 연구에서 사용된 골재는 이미 ASR 반응성이 확인된 충남 보령인근에서 채취한 것을 사용하였다.

본 연구에서는 해당 골재에 대하여 편광현미경(polarization microscope)분석, XRD(X-ray Diffraction), XRF(X-ray Fluorescence) 분석을 실시하여 광물학적 특성을 평가하였다. 편광현미경 분석결과, 안산암질암(중성맥암)으로 판정되었으며, 석재암편으로서 화산암편(안산암), 변성암편(편암, 편마암)으로 대부분 관찰됨을 확인할 수 있었다. 구성광물은 사장석,

석영, 견운모, 녹니석, 방해석, 불투명광물로 나타났으며, 이 중에서 석영은 2차적으로 주로 석기에서 나타나고, 파동 소광(undulatory extinction)과 함께 세립의 결정으로 관찰되었다(Fig. 1 참조).

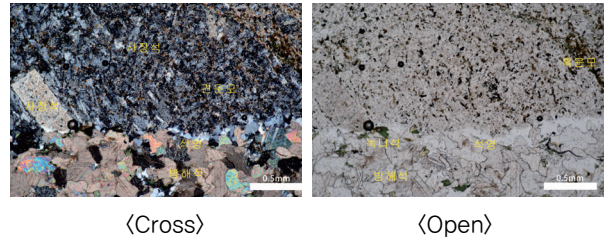


Fig. 1 The Polarization Microscope Analysis by Coarse Aggregate

해당 골재의 XRD 분석결과, 석영, 녹니석, 백운모(muscovite)가 관찰되었으며, 특히 ASR 발생에 영향을 미칠 수 있는 석영 광물이 주로 관측되었다(Fig. 2 참조).

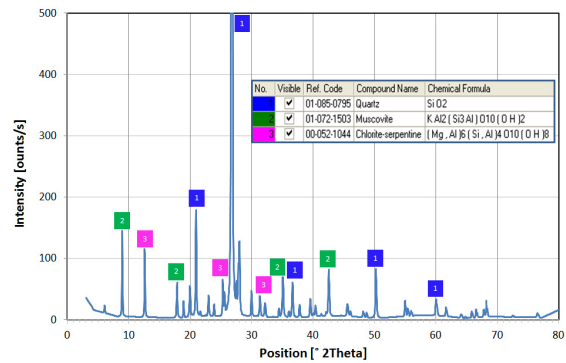


Fig. 2 XRD Result on Coarse Aggregate

Table 3. Chemical Composition of Cement and Fly Ash

	Unit	Ordinary Cement	Fly Ash	UFFA	GGBS	FGGBS	Expansion Agent	Silica Fume
SiO ₂	%	20.2	53.9	52.0	32.8	33.5	1.64	85.3
Al ₂ O ₃	%	5.7	22.9	18.8	14.4	13.8	12.0	1.5
Fe ₂ O ₃	%	2.8	7.5	5.2	0.55	0.38	0.5	2.9
CaO	%	61.7	5.7	13.9	43.7	43.3	61.1	0.69
MgO	%	3.4	2.1	1.5	5.24	4.31	1.19	1.9
SO ₃	%	2.4	0.4	2.5	1.03	2.83	20.4	0.2
fineness	cm ² /g	3,200	3,955	6,102	4,924	7,075	3,984	15,210
Specific Gravity	g/cm ³	3.15	2.37	2.50	2.92	2.85	2.85	2.85
Equivalent Alkali Content (Na ₂ O+0.658K ₂ O)	%	0.78	2.43	1.52	0.60	0.65	0.33	0.27
Loss on Ignition	%	2.7	1.5	2.1	0	0.3	1.6	3.4

[Unit: wt %]

XRF 분석에서도 석영의 주성분인 SiO₂ 함량이 가장 크게 측정되었다(Table 4 참조).

Table 4. XRF Analysis Result

Factor	Coarsse Aggregate
Al ₂ O ₃	17.8
CaO	2.05
Fe ₂ O ₃	5.26
K ₂ O	4.68
MgO	1.37
MnO	0.083
Na ₂ O	1.80
P ₂ O ₅	0.217
SiO ₂	61.4
TiO ₂	0.832
Loss on Ignition	4.12

[Unit : wt %]

2.3. 시험절차

본 연구에서는 ASTM C 1260에 준하여 ASR 시험을 진행하였으며, 시험절차는 다음과 같다(Fig. 3 참조).



Fig. 3 ASR Test Procedures

- ① 모르타르 배합 후, 25mm×5mm×285mm 모르타르 붐을 제작 및 양생(24시간, 23℃).
- ② 폴리프로필렌 저장용기의 물에 모르타르 붐을 담근 후, 항온수조에 80℃±2.0℃로 24±2시간 동안 중탕하여 시편의 초기길이를 측정함(시편 영점 측정).
- ③ 폴리프로필렌 저장용기에 1N NaOH 용액을 담금 및 밀폐시킨 후, 항온수조(80℃±2.0℃)에서 14일 저장하여 균열발생 및 길이변화를 측정함(15±5초 이내 측정).

※일부 국외기준에서 시편 영점 측정이후 28일까지 팽창률을 기준으로 하고 있어, 본 연구에서는 28일까지 팽창률을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. ASR 팽창성 평가

3.1.1. 이성분계 혼합물 특성

Fig. 4와 Fig. 5는 플라이애시와 고로슬래그 각각에 대한 팽창률 추이를 나타낸 것이며, Fig. 6과 Fig. 7은 14일과 28일에 대한 팽창률을 비교한 것이다. Plain에서는 14일에 팽창률 0.287%, 28일에 0.426%를 나타내었으며, 국내외 기준이 14일에 0.1% 이하를 만족해야 됨을 감안한다면, 해당 골재는 ASR 반응성 골재임을 알 수 있다.

일반 플라이애시인 FA를 10% 치환 시 14일 팽창률이 Plain에 비해 약 44% 감소, FA 20% 치환 시 약 88% 감소하였다. 이와 같은 결과는 플라이애시 치환 시 포졸란 반응을 통해 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 페이스트 조직이 더욱 밀실하게 되고, 페이스트 내에 존재하는 수산화칼슘을 소비하여, 콘크리트의 전체적인 알칼리도를 낮추게 되는데, 이것이 ASR 반응성을 약화시키기 때문이다. 또한 FA 10%를 치환한 혼합물에서는 기준치를 만족할 수 없었으나, FA 20%를 치환한 혼합물에서는 14일과 28일 모두 팽창률이 0.1% 이하를 나타내어, FA 20% 치환 시 ASR을 충분히 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

고분말도 플라이애시인 UFFA를 10% 치환 시 14일 팽창률이 Plain에 비해 약 30% 감소, UFFA 20% 치환 시 약 60% 감소하였다. 그러나 FA와 비교 시 상대적으로 감소율이 작게 나타났다. 또한 UFFA 20%를 치환한 경우 팽창률이 기준치에 근접하기는 하였으나, 기준은 만족시키지 못하였다. Slanicka(1991), Liu et

al(2000)은 플라이애시의 분말도가 클수록, 즉 입자가 작을수록 콘크리트의 강도가 증진된다고 하였으며, Obla et al(2003)은 UFFA(ultra fine fly ash)의 첨가 시 더 큰 포졸란 반응을 일으켜 내구성능이 크게 향상되며 실리카흄과 동일한 성능을 나타낼 수 있다고 보고한 바 있다. 특히 Obla et al(2003)는 축진모르타르 붕 방법을 이용하여 ASR 평가시험을 한 결과 FA 보다 UFFA가 더 우수한 ASR 억제능력을 나타내었으며, UFFA를 12~16% 정도 치환 시 ASR을 충분히 억제할 수 있다고 하였다. Obla et al(2003)가 사용한 FA와 UFFA의 화학성분비는 거의 유사한 것이었으며, UFFA의 SiO₂함량은 50.7%, CaO함량은 11.8%로 Medium-CaO급으로 분류되는 것을 사용하였다.

본 연구에서는 Table 1에 나타난 것과 같이 FA는 CaO함량이 5.7%로 Low-CaO급, UFFA는 13.9%로 Medium-CaO급으로 분류되는 것을 사용하였다. 본 연구결과, FA가 UFFA에 비해 ASR 팽창성에 대한 억제능력이 상대적으로 우수하게 나타난 것은 화학성분 중 CaO 함량이 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 서론에서 언급한 바와 같이 플라이애시의 화학성분비가 ASR 억제능력에 상당한 영향을 미치며, 기존 문헌과 상반되게 분말도의 증가에 따른 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 특히 Obla et al(2003)는 UFFA를 12~16% 치환 시 기준치를 충분히 만족시킬 수 있는 것으로 보고하였으나, 본 연구에서는 20%를 치환하여도 기준치를 만족시키지 못하였다. 물론 UFFA 특성에 약간의 차이가 있을 수 있으며, 이와 관련한 추가적인 보완연구가 필요할 것으로 사료된다.

3종 고로슬래그로 분류되는 GGBS 25% 치환 시 14일 팽창률이 Plain에 비해 약 36% 감소, GGBS 50% 치환 시 약 89% 감소하였다. 또한 2종 고로슬래그로 분류되는 FGGBS 25% 치환 시 14일 팽창률이 Plain에 비해 약 29% 감소, FGGBS 50% 치환 시 약 93% 감소하였다. 이 두 종류 고로슬래그 혼합물의 팽창률 추이가 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 25% 치환 시 모두 기준치를 만족하지 못하였고, 50% 치환 시 모두 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 GGBS와 FGGBS의 화학성분비가 유사한 특성을 나타내는 것을 볼 때, 고로슬래그의 분말도 증가가 ASR 팽창성에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. Lindgard(2012)는 광물성 혼화제의 분말도가 증가하면 포졸란 반응을 더 크게 하여 ASR 억제능력도 증가할 것으로 보고 하였으나,

본 연구결과에서는 광물성 혼화제의 분말도가 ASR 반응성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

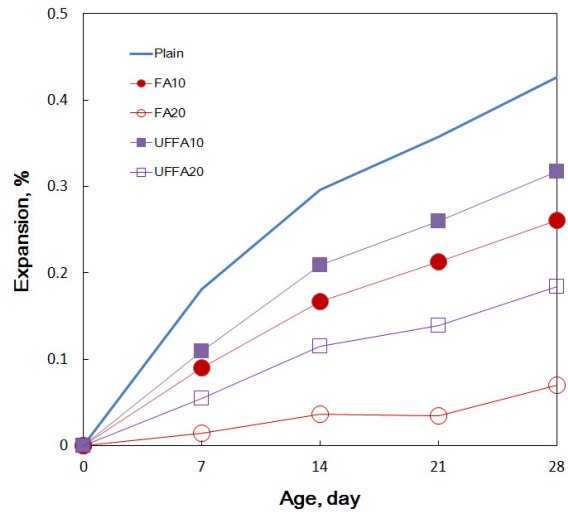


Fig. 4 Expansion on Fly Ash Type and Replacement

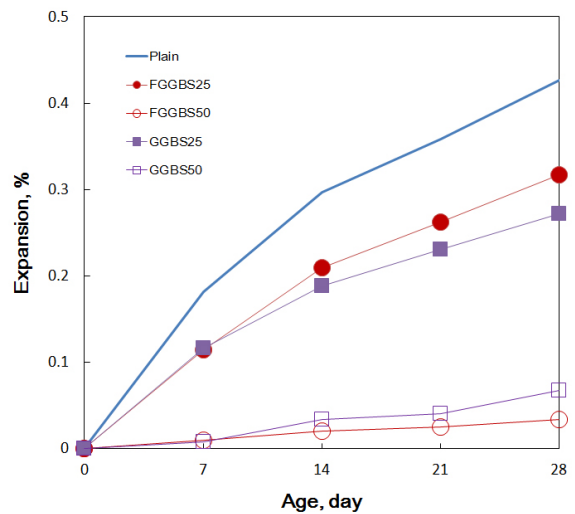


Fig. 5 Expansion on Slag Type and Replacement

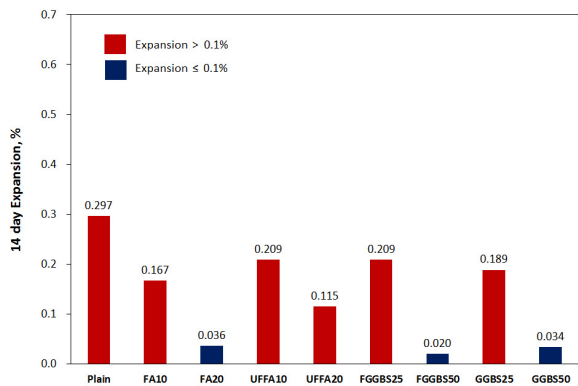


Fig. 6 Comparison of 14 day Expansion on Binary Blended Mixture

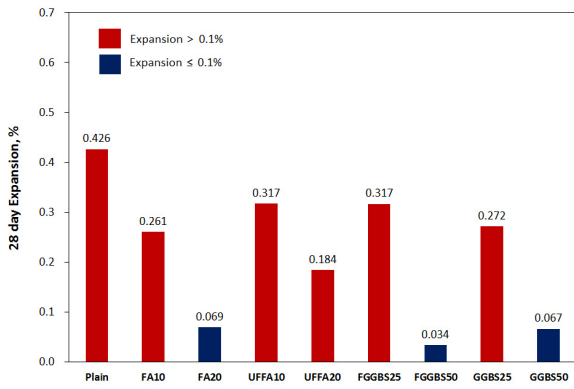


Fig. 7 Comparison of 28 day Expansion on Binary Blended Mixture

3.1.2. 삼성분계 혼합물 특성

Fig. 8은 UFFA 20%와 FGGBS 10%를 치환한 삼성분계 결합재에 팽창률 치환율에 따른 팽창률 추이를 나타내고 있으며, Fig. 9는 이와 비교하기 위하여 실리카 함을 첨가한 혼합물과 라텍스를 첨가한 혼합물의 팽창률 추이를 나타내고 있다. 또한 Fig. 10과 Fig. 11은 이 혼합물들의 14일과 28에 대한 팽창률을 비교한 것이다.

팽창제를 치환하지 않은 삼성분계 혼합물의 14일 팽창률이 Plain에 비해 약 76% 감소, 28일에 약 71% 감소하는 것으로 나타났으며, UFFA 20%와 비교하면 14일에 팽창률이 약 38% 감소, 28일에 약 32% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 14일 팽창률이 0.071%를 나타내어 기준치를 만족하였으며, UFFA와 FGGBS를 치환한 삼성분계 결합재가 충분한 ASR 억제능력을 가지고 있다고 평가할 수 있다.

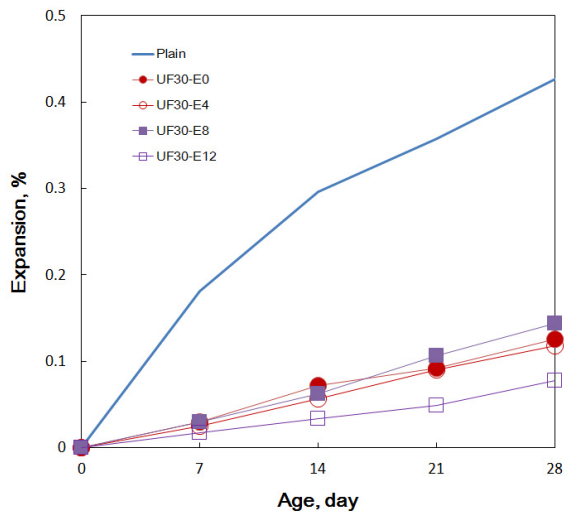


Fig. 8 Expansion on Ternary Blended Mixture on Expansion Agent Replacement

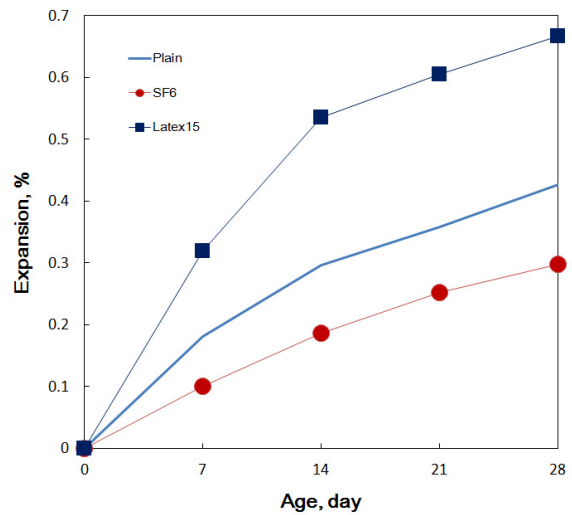


Fig. 9 Expansion of SF and Latex Mixture

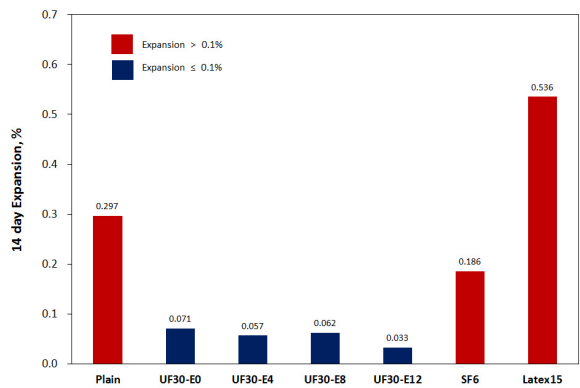


Fig. 10 Comparison of 14 day Expansion on Ternary Blended Mixture

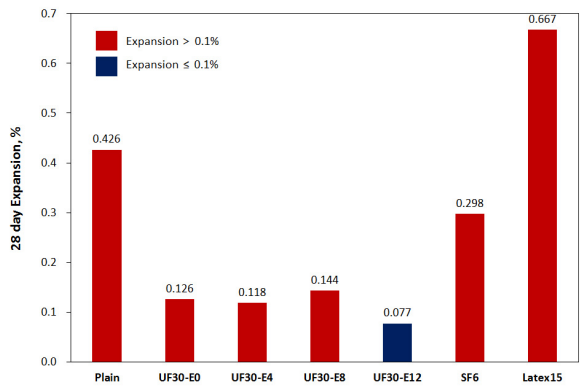


Fig. 11 Comparison of 28 day Expansion on Ternary Blended Mixture

본 연구에서는 삼성분계의 효과를 평가하기 위하여, 이성분계 결과를 바탕으로 팽창률 감소분을 누적한 값과 삼성분계 실험값을 비교하였다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 이성분계 실험결과에 대한 회귀분석을 실시하

고 이 회귀식을 이용하여 UFFA 20%, FGGBS 10% 각각의 팽창률을 계산하고, 이것을 Plain의 팽창률과 비교하여 팽창률 감소분을 산정하였다. 이를 통해 삼성분계 결합재의 팽창률을 추정하여 보았는데, 그 결과 14일에 추정값 0.077%, 실험값 0.071%를, 28일에 추정값 0.138%, 실험값 0.126%를 나타내었다. 이와 같이 추정값과 실험값이 큰 차이를 나타내지 않았는데, 이는 삼성분계 적용이 ASR 저항능력을 좀 더 증폭시키는 효과는 나타내지 못한다는 것을 의미하는 것이며, 팽창률 감소효과는 단순히 혼화재 치환양의 증가에 의한 효과로 판단되어진다. 실제로 기존의 많은 문헌에서 삼성분계 결합재의 명확한 매커니즘을 설명하지는 못하면서도 내구성능에 대한 효과가 극대화 됨을 보고한 바 있는데, 본 연구결과 ASR 측면에서는 이 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

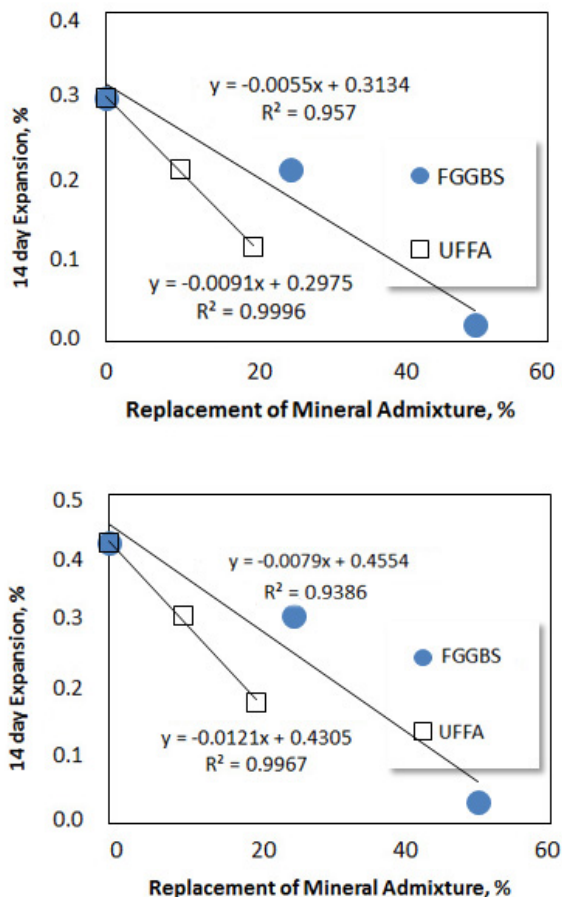


Fig. 12 Relationship of Expansion and Admixture Content on Binary Mixture

삼성분계 결합재에 CSA계 팽창제 첨가 시 팽창제 첨가율이 증가함에 따라 팽창률이 소폭 감소하는 추이를 나타내었는데, 이는 팽창제가 반응하여 형성된 에트리징

이트가 페이스트 내에 pore 공간을 매워서, 페이스트 조직을 더욱 밀실하게 만들었기 때문인 것으로 판단된다.

실리카흙을 6% 치환한 배합의 경우 14일 팽창률이 0.186%를 나타내어, Plain에 비해 팽창률이 감소하였지만, 기준치를 만족시키지는 못하였다. 이와 같은 결과를 볼 때, 전체 결합재에서 실리카흙을 6% 정도 치환 시 팽창률을 일정부분 감소시키지만, ASR을 억제시킬 정도의 저감능력은 발휘하지 못하는 것으로 판단된다. Lindgard(2012)는 ASR을 억제시키기 위한 실리카흙의 적정 치환율을 최소 8~10%로 보고하였다. 물론 본 연구에서는 삼성분계 혼합물과 비교하기 위하여 교면포장용 콘크리트 혼합물에서 통상 적용되고 있는 실리카흙의 치환율을 적용한 것이다.

라텍스를 15% 첨가한 배합의 경우 14일에 팽창률이 0.536%를 나타내어, Plain에 비해 약 80% 정도 더 증가하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 많은 연구자들이 폴리머 개질 콘크리트가 ITZ(interfacial transition zone)의 개선, Ca(OH)₂ 양 감소로 ASR 팽창성을 잠재적으로 감소시킨다고 본다(Feiteira and Ribeiro, 2013). 그러나 Feiteira and Ribeiro(2013)의 결과에 의하면 일반 모르타르에 비해 폴리머 개질 모르타르에서 더 많은 ASR gel이 발생되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 폴리머 개질 모르타르의 흡수율이 일반에 비해 더 낮지만, ASR 실험에서 NaOH 수용액의 흡수량이 더 높기 때문인 것으로 보고하였으며, 이를 뒷받침하는 것이 ASR 실험 후의 모르타르 흡수율 증가폭이 일반 모르타르는 크지 않은 것에 반해, 폴리머 개질 모르타르는 그 증가폭이 큰 것으로 나타났기 때문이다. Feiteira and Ribeiro(2013)는 ASR gel의 발생량과 다르게, 실제 발생된 microcrack의 양은 폴리머 개질 모르타르가 더 적게 발생하였다고 하였다. 이는 폴리머 개질 모르타르가 일반에 비해 높은 인장강도와 연성(ductility)을 가지고 있기 때문이라고 보고하였다.

라텍스 개질 혼합물에 대한 ASR 관련 연구는 좀 더 추가적인 보완연구를 통해 명확한 매커니즘, 콘크리트 구조체에서의 균열발생 가능성 여부 등을 규명할 필요가 있다.

3.2. Chemical Index 평가

Lindgard(2012)는 기존 문헌의 모르타르 붕 방법에 의해 측정된 결과를 이용하여 결합재의 chemical index $\left(\frac{[(Na_2O_{eq})^{0.33} \times CaO]}{(SiO_2)^2}\right)$ 와 2년에 팽창률과

의 관계를 분석하였으며, 일정한 상관성이 존재함을 확인하였다. 이것은 결합재의 화학성분이 팽창률에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 본 연구진의 기존 연구결과를 포함하여 촉진 모르타르 붕 방법에 의해 측정된 ASR 실험결과를 이용하여, chemical index와 14일, 28일의 팽창률을 비교하였다. Fig. 13과 Fig. 14는 분석된 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 chemical index와 팽창률은 비례관계를 나타내고 있으며, 결합재의 구성에 따라 약간의 차이를 보이고 있어 데이터가 넓게 분포하는 경향을 나타내었다. Chemical index 식을 보면 SiO₂에 가장 큰 가중치를, 그 다음 CaO, 가장 낮은 영향으로 고려된 것은 등가알칼리 함량이며, CaO와 알칼리성분은 팽창률과 비례관계, SiO₂는 반비례관계를 나타내고 있다. 이와 같이 chemical index는 서론에서 언급했던 ASR에 영향을 미치는 성분이 반영되었으며, 각 성분별에 대한 가중치를 더함으로써 좀 더 합리적인 지수인 것으로 판단된다. 그러나 CSA 팽창제를 첨가한 삼성분계 혼합물의 경우에 chemical index를 산정하여 보면, 약 0.9~2.0(팽창제 4%~12%)으로 지나치게 큰 값을 산정하였고, 라텍스를 첨가한 경우에는 팽창률이 Plain 보다 크게 나와, 이 혼합물들에 대해서는 chemical index를 사용하여 평가하기는 어려울 것으로 판단된다. 특히 팽창제의 경우 CaO 함량이 높고 SiO₂는 상당히 작은 양을 차지하고 있어 index가 지나치게 큰 값을 나타낸 것이다.

본 연구결과 분말도, 화학성분비와 상관없이 일반시멘트, 플라이애시, 고로슬래그, 실리카흄에 대한 ASR 평가를 수행할 때 chemical index가 간접적 지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

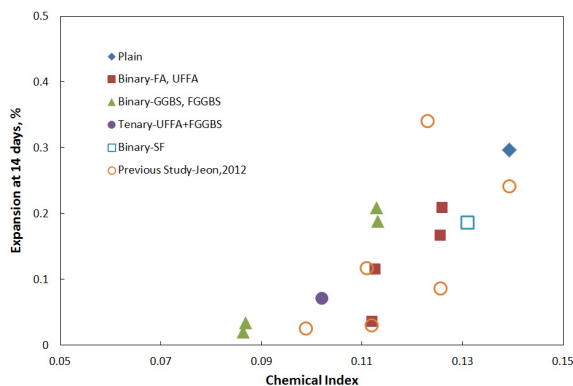


Fig. 13 Effect of Binder Composition on the Expansion at 14 days

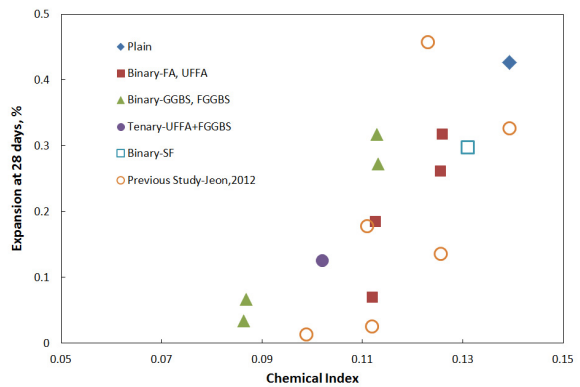


Fig. 14 Effect of Binder Composition on the Expansion at 28 days

4. 결론

본 연구의 목적은 교면포장용으로 활용하기 위한 고분말도 광물성 혼화재를 치환한 삼성분계 혼합물에 대하여 ASR 저항성 평가를 수행하기 위함이다. 이와 함께 전반적인 광물성 혼화재에 대한 평가를 위해서, 일반과 고분말도 광물성 혼화재, 이성분계와 삼성분계에 따른 ASR 팽창성을 비교·평가하였으며, 콘크리트의 수축 거동을 제어하기 위해 사용되는 CSA계 팽창제의 첨가에 따른 ASR 팽창성을 평가하였다. 또한 교면포장에서 많이 활용되는 실리카흄과 라텍스를 첨가한 혼합물에 대한 ASR 팽창성을 평가하였다.

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 일반 시멘트에서 14일 팽창률 0.287%를 나타내는 골재에 대하여, 일반 플라이애시 FA 20%, 또는 3종 고로슬래그 GGBS 50% 정도를 치환 시 ASR을 억제시킬 수 있는 것으로 나타났다.
2. 광물성 혼화재의 분말도가 ASR 팽창률에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 기존 문헌결과와 상반되는 결과로 추가적인 보완연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.
3. UFFA 20%와 FGGBS 10%를 치환한 삼성분계 결합재에서는 14일에 팽창률 0.1% 이하를 나타내어 기준치를 만족하였다. 일반적으로 삼성분계 결합재를 사용할 경우 내구성능 증진효과가 극대화되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구결과 ASR 측면에서는 단순히 광물성 혼화재의 치환율 증가에 따른 효과인 것으로 나타났다.
4. 삼성분계 결합재에 CSA계 팽창제 첨가 시 팽창제

- 첨가율이 증가함에 따라 팽창률이 소폭 감소하는 추이를 나타내었는데, 이는 팽창제가 반응하여 형성된 에트링자이트가 페이스트 조직을 더욱 밀실하게 만들었기 때문인 것으로 판단된다.
5. 교면포장에 삼성분계 결합재+CSA계 팽창제 혼합물을 적용할 경우, ASR을 억제할 수 있는 충분한 성능이 발휘될 것으로 판단된다.
 6. 본 연구에서는 삼성분계 결합재의 결과와 비교하기 위하여 실리카흙과 라텍스를 첨가한 혼합물에 대하여 평가를 진행하였다. 실험결과, 실리카흙을 6% 치환한 경우, ASR 팽창률을 저감시키는 효과를 나타내었으나, 국내외 기준을 만족시키지는 못하였다.
 7. 라텍스를 15% 첨가한 경우, Plain에 비해 오히려 약 80% 정도 팽창률이 더 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 폴리머 개질 모르타르의 흡수율이 일반에 비해 더 낮지만, ASR 실험에서 NaOH 수용액의 흡수량이 더 높기 때문인 것으로 알려져 있다. 일부 연구에서 폴리머 개질 모르타르가 일반에 비해 높은 인장강도와 연성(ductility)을 가지고 있기 때문에 실제 균열저항성은 라텍스 개질 혼합물이 더 우수한 것으로 보고하였으나, 좀 더 추가적인 보완연구가 필요할 것으로 사료된다.
 8. 결합재의 화학성분비에 대한 가중치를 고려하여 정의된 chemical index는 ASR 팽창률을 평가하는데 간접적 지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 CSA계 팽창제, 라텍스가 첨가된 혼합물의 경우에는 사용될 수 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업(2013-0101-1-1) 재원으로 수행되었습니다.

References

Canadian Standards Association(2009), "Standard Practice to Identify Potential for Alkali Reactivity of Aggregates and

Measures to Avoid Deleterious Expansion in Concrete", CAN/CSA-A23.2-27A.

Detwiler, Rachel J.(2002), "Documentation of Procedures for PCA's ASR Guide Specification", SN 2407, Portland Cement Association.

D. Hester, C. McNally, M. Richardson(2005), "A study of the influence of slag alkali level on the alkali-silica reactivity of slag concrete", Constr. Build. Master. 19, pp661~665.

Fournier, B.(1997), "CANMET/Industry Joint Research Program on Alkali-Aggregate Reaction?Fourth Progress Report", Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa.

Fournier, Benoit, Berube, M. A., and Rogers, C.A.(2000), "Proposed Guidelines for the Prevention of Alkali-Silica Reaction in New Concrete Structures." *Transportation Research Record 1668*, pp48~53.

J. Lindgard et al(2012), "Alkali-silica reactions(ASR) : Literature review on parameters influencing laboratory performance testing", *Cement and Concrete Research 42*, pp223~243.

Karthik H. Obla et al(2003), "Properties of Concrete Containing Ultra-Fine Fly Ash", *ACI Materials Journal*, Vol.100, No.5, pp426~433.

Nam et al(2003), "Development of Ternary Blend Concrete Mixture Using Finely-Ground Supplementary Cementitious Materials for Bridge Deck Pavement", KICT 2013-002.

R. Bleszynski, R.D. Hooton, M.D.A Tomas, C.A. Rogers(2002), "Durability of ternary blend concrete with silica fume and blast-furnace slag: laboratory and outdoor exposure site studies", *ACI Materials Journal*, pp499~508.

Slanicka, S. (1991). "Influence of fly ash fineness on the strength of concrete", *Cem. Concr. Res.*, 21(4), 285~296.

Sung-IL Jeon, Jeong-Hee Nam, Jin-Beom Lee, Soo-Ahn Kwon(2009), "Physical Property of Ternary Blend Concrete Using Finely-Ground Fly Ash and Finely-Ground Granulated Blast Furnace Slag", *13th REEAA Conference*.

Unified Facilities Guide Specifications(2010), "Concrete Pavement for Airfields and Other Heavy-Duty Pavements", UFGS-32 13 11

(접수일 : 2013. 9. 3 / 심사일 : 2013. 9. 4 / 심사완료일 : 2013. 10. 7)