

Consideration of Alkali-Silica Reaction of Mortar Containing Glass Abrasive Sludge

Seung-Heun Lee,[†] Hae-Jeong Hwang, Seung-Tae Lee,* and Ki-Dong Kim

Department of Material Science and Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea

*Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea

(Received August 18, 2007; Accepted September 12, 2007)

유리 연마슬러지를 혼합한 모르타르의 알칼리-실리카 반응에 관한 고찰

이승현[†] · 황해정 · 이승태* · 김기동

군산대학교 신소재전공

*군산대학교 토목공학전공

(2007년 8월 18일 접수; 2007년 9월 12일 승인)

ABSTRACT

After observing the alkali-silica reaction of the mortar that contains glass abrasive sludge, when evaluating it by a mineral or chemical point of view, it contained reactive silica (59~67%) and R_2O elements (4.3~9.8%). Also, when evaluated by the mortar bar method, an addition of 5 wt% of CRT glass abrasive sludge is judged harmless. However when adding more, there appear severe contractions, thus carefulness is needed while using. Less than 0.10% of expansion was measured when adding up to 30wt% of flat glass abrasive sludge. However, after 30 days of the measurement, more than 0.1% rate of expansion was measured when adding more than 5 wt%. Therefore, more detailed experiments are needed in case of more than 5 wt%.

Key words : Alkali silica reaction, Glass abrasive sludge, Mortar bar method

1. 서 론

산업 활동이 왕성해 짐에 따라 배출되는 산업폐기물이 증가하고 있고, 소비 증가로 인한 생활폐기물의 양도 큰 폭으로 증가하고 있는 추세이다. 쾌적하고 질 높은 생활 환경을 보존하고 인류의 건강과 복지를 증진시키기 위해서 산업 활동 및 일상생활에 의한 공해를 방지하는 것이 중요하다. 따라서 선진국에서는 유해물질 확산을 엄격하게 규제하고 있고, 산업폐기물의 처리와 처분은 오늘날 가장 중요한 과제의 하나이다.¹⁾

유리 생산은 대규모 장치산업인 동시에 높은 에너지 소비 산업이며, 제품생산 과정에서 다양한 종류의 폐기물이 발생되어 환경과 밀접한 관계가 있는 산업이다. 점차 환경에 관한 많은 제약들을 규정하려는 움직임이 일어나면서 선진국들은 보다 엄격한 환경규제를 설정하고, 이에 적합한 산업생산체제를 구축하여 경쟁력이 우위의 입장에서 다른 국가들에 대한 무역규제의 수단으로 활용하게 될 것이 예상된다.²⁾

유리 공장에서 발생하는 폐기물의 대부분은 고품폐기물로서 원료 분진류, 배기가스 집진기 분진류, 파 유리 등

이 대부분을 이루고 있다. 또한 CRT(cathode ray tube) 유리 생산 회사에서는 모니터 및 텔레비전 CRT용 bulb 유리를 생산하고 있는데, panel과 funnel glass를 연마하는 과정에서 연마슬러지를 재활용하기 위해 다각도로 노력을 기울이고 있다.^{3,4)} 그러나 유리 연마슬러지는 상당량의 알칼리를 함유하고 있기 때문에 건설자재로 활용하고자 할 때에는 알칼리-실리카 반응에 의한 유해 팽창이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.

알칼리-실리카 반응은 포틀랜드 시멘트의 알칼리와 골재내의 실리카 사이에 발생하는 화학적 작용으로 알칼리-실리카 겔의 형성을 통한 팽창은 콘크리트에 팽창성 균열을 발생시키고 이로 인해 콘크리트의 강도와 사용기간을 감소시키는 원인이 된다.^{4,6)} 따라서 본 연구에서는 국내에서 발생하는 유리 연마슬러지의 종류와 혼합율에 따른 알칼리-실리카 반응에 대한 검토를 하여 유리공업 부산물 활용에 따른 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

본 실험에서 사용한 유리 연마슬러지는 CRT 유리공장에서 panel glass와 funnel glass를 연마하는 과정에서 나

[†]Corresponding author : Seung-Heun Lee
E-mail : shlee@kunsan.ac.kr
Tel : +82-63-469-4733 Fax : +82-63-469-4731

Table 1. Mix Proportion of Glass Abrasive Sludge and Symbols

Symbol	Mix proportions		
	Ordinary Portland cement (wt%)	CRT abrasive sludge (wt%)	Flat glass abrasive sludge (wt%)
Plain	100		
SS 5%	95	5	
SS 10%	90	10	
SS 20%	80	20	
SS 30%	70	30	
BS 5%	95		5
BS 10%	90		10
BS 20%	80		20
BS 30%	70		30

오는 CRT 연마슬러지와 판유리의 면취 과정 중 발생하는 연마슬러지를 사용하였다. 연마슬러지는 건조기에서 110°C 조건에서 향량이 될 때까지 건조시켜 수분을 제거하였으며 planetary mill에서 Blaine 값이 4000 cm²/g까지 분쇄하였다. 분쇄한 연마슬러지의 특성을 조사하기 위하여 화학분석, 입도분석, 형상관찰, 광물동정을 하였다. 시멘트는 비중 3.15인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 알칼리-실리카 반응 측정에 사용한 시약은 일급을 사용하였다. 시험에 이용한 유리 연마슬러지의 치환량은 시멘트 대비 5~30 wt%로 하여 실험하였다. 각 치환 비율과 심볼을 Table 1에 표시하였다.

2.2. 페이스트 및 모르타르의 물리적 성질 측정

유리 연마슬러지를 혼합한 페이스트에 대해서는 KS 측정방법에 의하여 표준주도(KS L 5102)와 응결시간(KS L 5108)을 측정하였으며, 모르타르에 대해서는 플로우 시험(KS L 5111), 압축강도(KS L 5105) 및 길이변화(KS F 2424)를 측정하였다.

2.3. 알칼리-실리카 반응시험

광물학적 방법은 ASTM C 295에 의거한 콘크리트용 골재의 암석학적 시험방법으로 측정하였다. XRD로 광물 동정과 화학분석을 통한 화학조성으로 평가하였다.¹⁰⁾

모르타르 붕 시험방법(일반법)은 시멘트와 골재의 조합에 의한 잠재적 알칼리 반응성에 대한 시험법으로 ASTM C 227에 의거하여 실험하였다. 이 실험 방법은 모르타르 붕의 길이변화를 측정하여 시멘트와 골재의 배합이 나트륨이나 칼륨과 같은 알칼리와 수산기 이온의 반응에 의한 팽창을 측정하는 것이다. 시멘트와 모래의 비를 1:2.25로 하여 흐름시험에 의하여 물량을 결정하여 모르타르를 만들고 23°C 습기함에서 24시간 동안 물드를 제거하지 않고 양생한 후 탈형하여 초기의 길이를 측정하였다. 38°C로 설

정된 수조에서 공시체를 침적하여 14일간 양생한 후, 저장 수조에서 꺼내어 길이를 측정하였다. 재령 14일에서 시험을 한 후 38°C 저장상태로 공시체를 복귀시킨 후 재령 6개월까지 측정하였다. 알칼리-실리카 반응성 판정 기준은 재령 6개월 팽창에서 0.1% 이상 이며, 간이적으로는 3개월에서 0.05% 이상 팽창으로 평가한다.^{7,9)}

모르타르 붕 시험방법(측진법)은 ASTM C 1260에 의거하여 실험하였다. 물/시멘트=0.47, 모래/시멘트=2.25로 모르타르를 제작하고, 24시간 표준양생과 24시간 80°C의 물에 저장한 후 시료들은 밀폐된 1 N NaOH 수용액 안에 저장하였다. 길이변화의 측정은 재령 30일까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유리 연마슬러지의 특성평가

본 실험에서 사용한 연마슬러지는 TV 유리공장에서 배출하는 CRT 연마슬러지와 판유리 가공업체에서 배출하는 판유리 면취 과정에서 배출되는 연마슬러지를 사용하였다. CRT(cathode ray tube) 유리 생산 회사에서는 모니터 및 텔레비전 CRT용 bulb 유리를 생산하고 있으며, panel과 funnel glass를 연마하는 과정에서 연마슬러지를 배출한다. panel sludge는 monitor 앞면을 평활 하게 연마하는 과정에서 나오는 슬러지로 원심분리기에서 탈수 후 배출된다. Funnel 슬러지는 monitor 뒷면 유리인 funnel을 연마하는 과정에서 나오는 슬러지이다.⁵⁾ 판유리 가공업체는 판유리 원판을 가공해서 강화유리나 인테리어용 유리를 제조하는 업체로서 유리를 절단한 후 모서리 부분을 면취하는 과정에서 연마슬러지가 발생한다. 이들 연마슬러지는 연간 약 20~30톤 정도 발생하고 있으며 현재까지는 전량 폐기되고 있다. 이같이 유리를 가공하는 업체가 200여개 업체 이상이기 때문에 이들의 발생량을 모두 합치면 수천 톤의 양이 되므로 적지 않은 양이 배출된다. 본 실험에 사용한 연마슬러지는 105°C 24시간 건조하여 Blaine 4000 cm²/g으로 분쇄한 분말을 사용하였다.

Table 2에 연마슬러지의 화학조성을 나타냈다. CRT 연마슬러지와 판유리 연마슬러지는 화학조성에서 차이를 보이는데, 이것은 유리조성의 차이에 의한 것으로 보인다. TV 유리 연마슬러지 분말은 판유리 연마슬러지 분말에 비해 RO와 R₂O 성분의 양이 매우 적은 유리이므로, 슬러지 조성에서도 보듯이 CRT 연마슬러지는 판유리 연마슬러지보다 알칼리 및 알칼리토류 산화물의 양이 매우 적었다. 그리고 CRT 연마슬러지의 조성은 Al₂O₃ 성분의 양은 11.70 wt%로 TV 유리 조성 1.14 wt%보다 훨씬 많았다. 이것은 연마제로서 garnet를 사용하기 때문에 슬러지 성분에 연마재 구성 성분인 Al₂O₃ 성분이 포함되어 있어 판유리 연마슬러지보다 많은 것으로 생각된다. 강열감량은 CRT 연마슬러지는 6.70 wt%로 상당히 큰 값을 나타냈

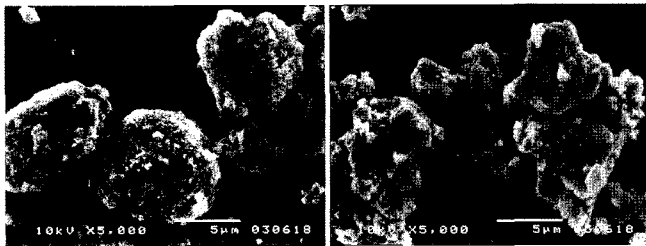
Table 2. Chemical Composition of Glass Abrasive Sludge (wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	Ig. loss
TV glass	59.10	11.70	0.30	1.32	1.40	2.25	2.13	0.20	0.00	6.70
Flat glass	66.90	1.14	0.16	7.38	3.82	0.28	9.49	0.18	0.06	-

며, 응집제로서 고분자인 PAC(poly aluminum chloride)를 사용하기 때문에 강열감량이 큰 것으로 생각된다. 판유리 연마슬러지는 시험 중에 용해가 발생되어 측정을 할 수가 없었다. 판유리 연마슬러지는 일반 판유리를 가공하면서 발생하는 슬러지이기 때문에 그 조성은 Table 2에서

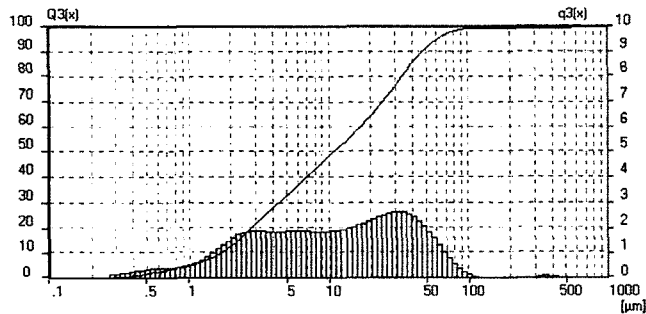
Table 3. Physical Properties of Glass Abrasive Sludge

	Specific gravity	Free water content (wt%)
CRT glass	2.95	34.9
Flat glass	2.51	29.2

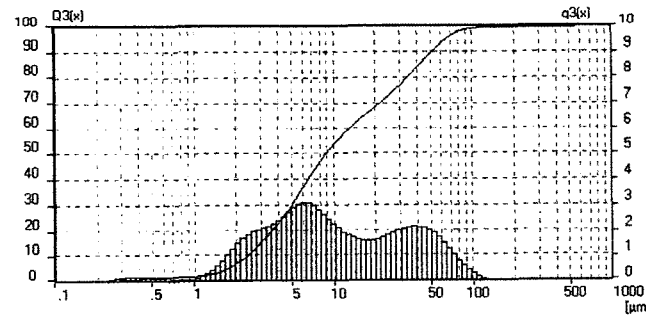


(a) CRT glass abrasive sludge

(b) Flat glass abrasive sludge

Fig. 1. SEM image of glass abrasive sludge.

(a) CRT glass abrasive sludge



(b) Flat glass abrasive sludge

Fig. 2. Particle size distribution of glass abrasive sludge.

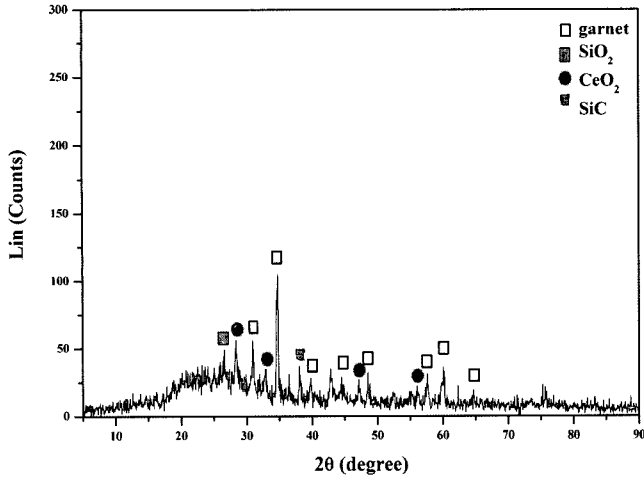
보듯이 거의 일반 판유리와 동일한 sodalime glass이다. 본 판유리 연마슬러지를 입수한 공장은 슬러리 상태를 약품의 사용 없이 필터 프레스를 이용해서 단순히 수분을 제거하는 공정을 이용하고 있으므로 판유리 조성의 슬러지의 조성은 거의 유사하다.

연마슬러지의 물리적 성질을 Table 3에 나타냈다. 비중을 보면 CRT 연마슬러지는 2.96으로 CRT 유리 2.6~2.7보다 큰 값을 나타냈다. 이것은 연마재로 사용된 garnet의 비중이 CRT 유리보다 큰 값이기 때문에 비중이 증가한 것으로 생각된다. 판유리 연마슬러지는 2.52의 값을 나타내어 판유리의 비중 2.50과 유사한 값을 나타냈다. 연마슬러지는 배출되는 과정에서 필터프레스로 수분을 제거하지만 어느 정도의 수분을 가지고 있다. 배출된 상태에서의 수분 함유량은 CRT 연마슬러지는 35.0 wt%, 판유리 연마슬러지는 29.2 wt%를 나타냈다.

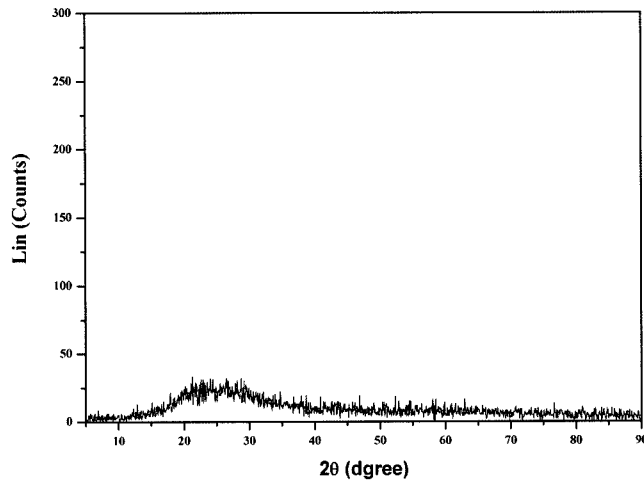
Fig. 1은 연마슬러지의 주사전자현미경 사진이다. CRT 연마슬러지는 표면이 거칠고 모서리가 둥근 형태를 취하고 있으나, 판유리 연마슬러지는 표면이 매끄럽고 각진 형태를 취하고 있다. 연마슬러지의 입도분포곡선을 Fig. 2에 나타냈다. 연마슬러지는 자유수분을 다량으로 함유하고 있기 때문에 105°C에서 24시간 건조하고 Blaine 4000 cm²/g으로 분쇄한 분말의 입도분포를 측정하였다. CRT 연마슬러지는 평균입경은 11.0 μm이고, 0.5~100 μm의 입도범위에서 균일한 입자크기 분포로 존재하였다. 판유리 연마슬러지는 평균입경이 8.8 μm이고 입경분포 범위는 1~100 μm정도로 bimodal 형태를 취하고 있다. Fig. 3은 연마슬러지의 XRD 결과이다. 유리질 특유의 halo가 나타나고 있으나, CRT 연마슬러지는 연마제인 garnet과 CeO₂의 피크가 보여 졌다.

3.2. 페이스트 및 모르타르의 물리적 특성

유리산업 부산물의 시멘트 치환에 따른 표준 주도 변화를 Fig. 4에 나타냈다. 유리 연마슬러지의 혼합량이 증가할수록 주도는 증가하는 경향을 나타냈다. 증가폭은 무첨가에 비해 5 wt% 첨가 시 0.1, 10 wt% 첨가 시 0.2, 20 wt% 첨가 시 0.3~0.4, 30 wt% 첨가 시 0.5이었다. 그러나 유리질로 구성된 고로 슬래그, 플라이 애시는 시멘트에 치환 시 표준주도가 약간 감소하는 경향을 나타내나, 연마슬러지는 그러한 경향이 없었다. 응결시간 측정 결과, 연마슬러지의 종류에 관계없이 응결시간이 약간씩 지연되는 경향을 나타냈다. 유리 연마슬러지는 시멘트와 치환 시 시멘트에 비해 수화반응 속도가 늦으므로 응결



(a) TV glass abrasive sludge



(b) Flat glass abrasive sludge

Fig. 3. XRD patterns of glass abrasive sludge.

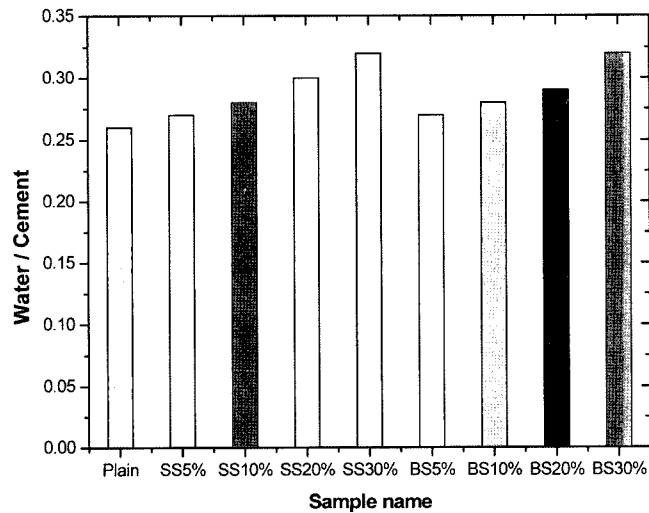


Fig. 4. Consistency of cement paste with glass abrasive sludge.

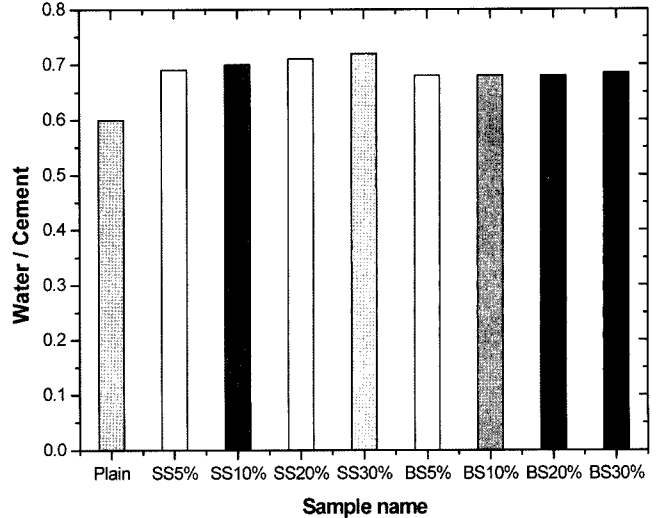


Fig. 5. Flow value of mortar with glass abrasive sludge.

Table 4. Compressive Strength Ratio at 28 Days

Sample	Compressive strength ratio
Plain	100 (Standard)
SS 5%	99.6
SS 10%	70.1
SS 20%	73.8
SS 30%	76.8
BS 5%	71.0
BS 10%	64.3
BS 20%	58.4
BS 30%	48.4

시간이 지연되는 것으로 해석할 수 있다.

모르타르의 플로우 시험결과를 Fig. 5에 나타냈다. 연마슬러지가 첨가되면 물량은 증가하는 경향을 나타냈으나, 첨가량에 따른 물량 변화는 CRT 연마슬러지 경우에는 약간 증가하는 경향이 있었으나 판유리 연마슬러지는 큰 변화는 없었다. 플로우 시험에 의해 구한 물/결합재 비를 이용하여 모르타르의 압축강도를 구했고, 그 결과를 무혼합일 때와 비교하여 Table 4에 나타냈다. 압축강도는 유리 부산물 첨가에 따라 저하하는 현상을 나타냈다. 이것은 물량 증가에 따른 기공의 증가 등에 의한 영향으로 압축강도가 저하한 것으로 생각된다. CRT 연마슬러지는 판유리 연마슬러지에 비해 강도의 저하 현상이 컸다. CRT 연마슬러지는 일정한 플로우를 유지하기 위해 첨가되는 물량이 커서, 이러한 현상이 반영되어 강도가 저하한 것으로 추측된다. 활성도 지수 평가(KS L 5405의 플라이 애쉬의 활성도 지수 평가 방법)에 의하면 28일 강도에서 강도비는 60 이상이 되어야 한다. 이 기준을 적용하면 CRT 연마슬러지를 20 wt% 첨가 시에는 이 기준에 벗어나 강

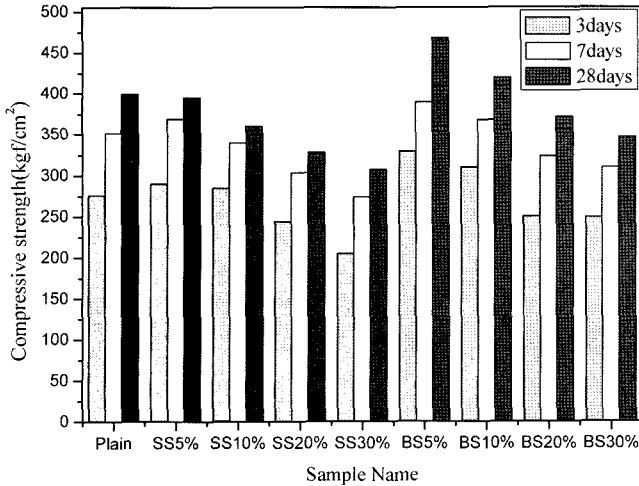


Fig. 6. Compressive strength of mortar with glass abrasive sludge at constant water/binder ratio.

도 발현성에 문제가 된다.

물량을 결합재에 대해 48.5 wt%로 일정하게 첨가했을 때의 압축강도를 Fig. 6에 나타냈다. 유리 연마슬러지의 첨가량이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈다. 무첨가와 비교했을 때, CRT 연마슬러지는 강도 발현이 나빴으나, 판유리 연마슬러지는 10 wt% 첨가까지는 강도발현이 양호하였다. 20 wt% 이상 첨가에서는 무첨가보다 강도가 낮은 경향을 나타냈다. 전반적으로 판유리 연마슬러지가 CRT 연마슬러지보다 포졸란 반응성이 우수한 것으로 평가되었다.

3.3. 알칼리-실리카 반응 평가

3.3.1. 광물학적인 방법에 의한 알칼리-실리카 반응 평가

이 방법은 반응성 광물의 종류와 함유량을 구하나 유해, 무해를 판정하지는 않는 것으로 되어 있다. 골재 내에서 발견된 알칼리-실리카 반응을 일으키는 성분은 다음과 같다. 단백석, 크리스토팔라이트, 트리디마이트, 규소 성분 함유 화산재 각암, 크립토 크리스털린 은정질 산성 화성암, 규소질 화산재, 점판암 필라이트, 천매암 변성 경사암, 경사암, 천매암, 편암 편마암, 화강암, 맥상 석영, 석영, 사암 같은 심한 변성 석영 등이 함유된 암석이다.⁴⁾ 이러한 광물을 알아내기 위해서 광학 성질 또는 XRD 등을 이용하는 것으로 되어 있다. Table 2의 화학조성에서 보듯이 CRT 연마슬러지는 aluminosilicate glass로서 R₂O 성분이 4.4% 함유되어 있고, 판유리 연마슬러지는 sodalime glass로 R₂O 성분이 9.7% 함유되어 있으며, SiO₂ 성분은 59~67%로 정도 함유되어 있다. Fig. 3의 XRD 결과를 보면, CRT 연마슬러지는 연마재의 피크가 보여지나, 대부분 유리질임을 나타내고 있으며, 판유리 연마슬러지는 전형적인 유리의 피크를 나타내고 있다. 유리질은 결정질보다 반응성이 좋으므로 광물학적인 방법으로 알칼리-실리

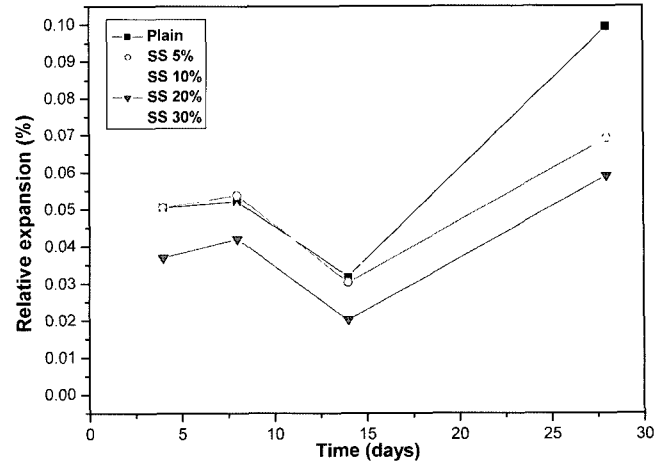


Fig. 7. Expansion time histories of mortar bar with CRT glass abrasive sludge.

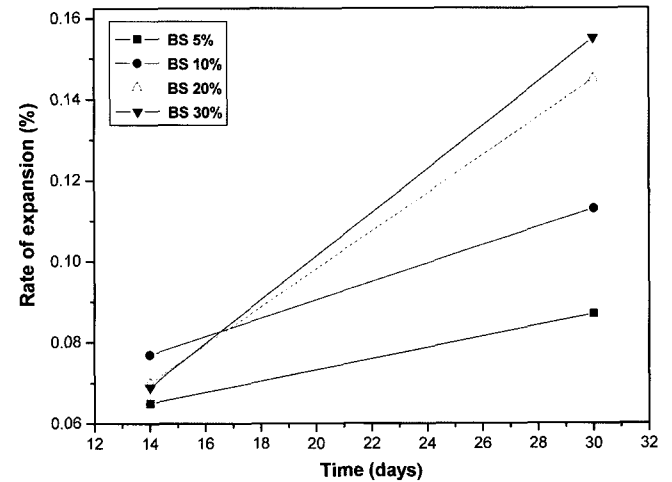


Fig. 8. Expansion time histories of mortar bar with Flat glass abrasive sludge.

카 반응을 평가하여 보면, 유리 연마슬러지는 알칼리-실리카 반응에 대해 주의할 필요가 있는 것으로 나타났다.

3.3.2. 모르타르 붕 방법(축진법)에 의한 팽창특성 평가

유리 부산물을 재활용하기 위한 시험으로 알칼리-실리카 반응에 대한 영향을 평가하기 위하여 ASTM C 1260에 대한 평가를 실시하였다. 높은 알칼리의 NaOH 수용액과 높은 온도의 시험조건 때문에 상대적으로 엄격한 조건이나 실제의 사용 조건과는 거리가 있다. 그러나 연구시간의 단축과 엄격한 시험 조건이라는 측면에서 관심이 고조되고 있는 시험 방법이다. 팽창특성 곡선을 Fig. 7과 Fig. 8에 나타냈다.

ASTM C 1260에 의하면 시편 제조 후 16일(1N NaOH 양생 14일)에서 팽창율에 대해 다음과 같은 평가를 내렸다. 0.10% 보다 팽창이 작으면 대부분의 경우에 무해하다. 0.20% 보다 팽창이 크면 잠재적으로 유해한 팽창을 나

타낸다.

0.10~0.20% 사이의 팽창은 무해와 유해를 포함하고 있기 때문에 충분한 데이터를 가지고 평가해야 한다.

CRT 연마슬러지 5 wt% 첨가 시 팽창율은 14일에서 0.05%, 30일에서 0.07% 정도로 매우 낮아 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창에 무해한 것으로 생각된다. 그러나 10 wt% 첨가 시에는 상당량의 수축이 발생되어 14일에서 0.35%의 수축율을 나타냈으며 재령이 경과함에 따라 수축율은 감소하는 경향을 나타냈다. CRT 연마슬러지 20 wt%, 30 wt% 첨가 시에는 몰드를 제거하지 않은 상태에서 수축으로 인한 균열이 발생하여 공시체를 제조할 수 없었다. Fig. 8에 도시한 판유리 연마슬러지의 팽창율을 보면 14일에서의 팽창율은 30 wt%까지의 혼합율에서 0.08% 미만만을 나타냈다. 재령 30일에서는 5 wt%, 10 wt%, 20 wt% 첨가시 0.1% 이상의 팽창을 나타내었다.

ASTM C 1260에 근거하여 판단할 때 CRT 연마슬러지는 5 wt% 첨가 시는 무해한 것으로 판정할 수 있고, 그 이상의 첨가율에서는 수축현상이 심하게 발생하여 사용에는 주의가 필요한 것으로 나타났다. 판유리 연마슬러지는 30 wt%까지의 첨가율에서 0.10% 미만의 팽창율을 나타냈다. 그러나 재령 30일에서 첨가율 5 wt% 이상에서는 0.1% 이상의 팽창율을 나타내어, 첨가량이 5 wt% 이상일 경우에는 좀더 세밀한 실험이 필요하다.

3.3.2. 모르타르 붕 방법(일반법)에 의한 팽창특성 평가

ASTM C 227의 의거하여 실험하였다. 이 방법은 재령 6개월에서 팽창율이 0.1% 또는 보조적으로 재령 3개월에서 0.05% 이상이면 잠재적 알칼리-실리카 반응성이 있고, 그 이하이면 잠재적 유해의 가능성이 낮다는 것을 제시하고 있다. 그러나 이 방법은 ASTM 1260에 비해 일반적으로 알칼리-실리카 반응에 관대한 것으로 평가되고 있고 물/시멘트 비는 ASTM 1260과 다르게 플로우 시험에 의해

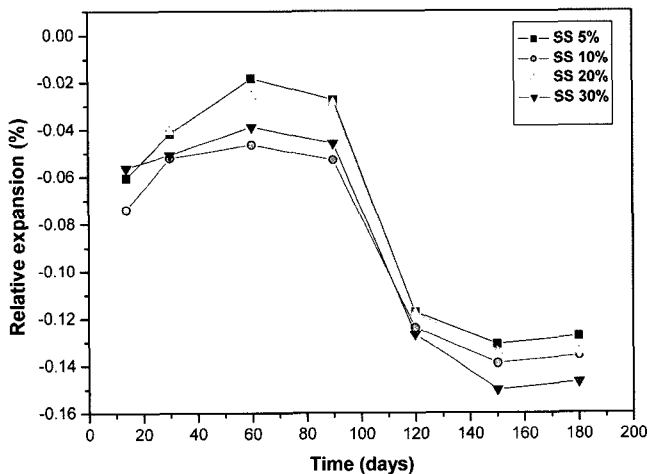


Fig. 9. Changes in length of mortar bar with CRT glass abrasive sludge.

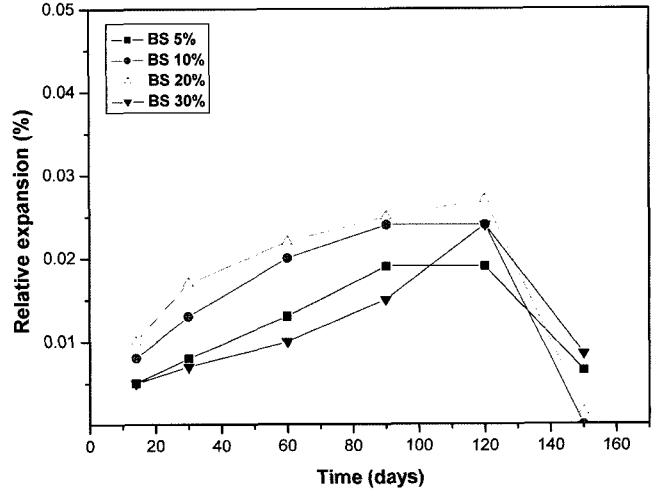


Fig. 10. Changes in length of mortar bar with Flat glass abrasive sludge.

결정한다.

Fig. 9의 CRT 연마슬러지 첨가 모르타르를 보면 슬러지 첨가량이 증가할수록 팽창보다는 수축현상이 일어났다. 이것은 앞서 설명했듯이 첨가되는 물량이 플로우 시험에 의해 결정되므로 CRT 연마슬러지의 첨가량이 많아 질수록 물량이 증가되므로 물량 증가로 인한 수축현상으로 생각된다. 따라서 이 방법으로 알칼리-실리카 반응의 평가는 적합하지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 10의 판유리 연마슬러지는 슬러지 첨가량이 증가하여도 물량 변화는 거의 없고 무첨가와 유사하기 때문에 CRT 연마슬러지와는 다르게 팽창 특성을 나타내었다. 팽창율은 재령 120일까지는 팽창하였으나, 그 이후에는 감소하는 경향을 나타냈다. 팽창율은 최대가 0.025%로 기준값 0.1%보다 적은 값을 나타내었다.

4. 결 론

유리 연마슬러지를 혼합한 모르타르의 알칼리-실리카 반응의 특성을 중심으로 고찰한 결과, 광물학적 관점 또는 화학조성으로 평가하여 보면 반응성 실리카(59~67 wt%)와 R₂O성분(4.3~9.8 wt%)을 함유하고 있어 알칼리-실리카 반응의 위험성이 있다. 그리고 모르타르 붕 방법으로 평가하면 TV 유리 연마슬러지는 5 wt% 첨가 시는 무해한 것으로 판정할 수 있고, 그 이상의 첨가율에서는 수축현상이 심하게 발생하여 사용에는 주의가 필요한 것으로 나타났다. 판유리 연마슬러지는 30 wt%까지의 첨가율에서 0.10% 미만의 팽창율을 나타냈다. 그러나 재령 30일에서 첨가율 5 wt% 이상에서는 0.1% 이상의 팽창율을 나타내어, 첨가량이 5 wt% 이상일 경우에는 좀더 세밀한 실험이 필요하다.

REFERENCE

1. M. C. Shin, "Technology of Eco-materials," *Ceramist*, **9** [2] 12-7 (2006).
2. V. Ducman, A. Mladenovic, and J. S. Suput, "Lightweight Aggregate Based on Waste glass and Its Alkali-Silica Reactivity," *Cement and Concrete Research*, **32** [2] 223-26 (2002).
3. P. J. M. Monteiro, K. Wang, and G. Sposito, "Influence of Mineral Admixtures on the AAR," *Cement and Concrete Research*, **27** [12] 1899-909 (1997).
4. C. K. Yi and C. P. Ostertag, "Mechanical Approach in Mitigating Alkali-silica Reaction," *Cement and Concrete Research*, **35** [1] 67-75 (2005).
5. M. Thomas, B. Fournier, K. Folliard, J. Ideker, and M. Shehata, "Test Methods for Evaluating Preventive Measures for Controlling Expansion due to Alkali-silica Reaction in Concrete," *Cement and Concrete Research*, **36** [10] 1842-56 (2006).
6. S.-B. Park, B.-C. Lee, and H.-J. kwon, "Alkali-Silica Reaction of Mortar Containing Waste Glass Aggregates," *J. Concrete Institute*, **13** [3] 213-20 (2001).
7. R. Helmuth, "Alkali Aggregate Reactivity: An Overview of Research," National Research Council, Strategic Highway Research Program, SHRP-C-3342 (1993).
8. K. Asaga, K. Kanai, H. Kuga, S. Hirose, and M. Daimon, "Hydration of Portland Cement in Addition of Waste Bottle Glass Powder," *Inorganic Materials*, **4** [9] 423-30 (1997).
9. Saccani, V. Bonora, and P. Monari, "Laboratory Short-term Evaluation of ASR A Contribution," *Cement and Concrete Research*, **31** [5] 739-42 (2001).
10. J. Verstraete, L. Khouchaf, D. Bulteel, E. Garcia-Diaz, A. M. Flank, and M. H. Tuilier, "Amorphisation Mechanism of a Flint Aggregate during the Alkali-silica Reaction: X-ray Diffraction and X-ray Absorption XANES Contributions" *Cement and Concrete Research*, **34** [4] 581-86 (2004).