

## 플라이애시와 질산리튬을 사용한 시멘트 경화체의 ASTM C 1260 적용성 검토

### Application of ASTM C 1260 for Cement Matrix Mixed with FlyAsh and Lithium Nitrate

김성권	Kim, Seong Kwon	강원대학교 토목공학과 박사후과정 (E-mail: kimskwon@kangwon.ac.kr)
윤경구	Yun, Kyong Ku	정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 (E-mail: kkyun@kangwon.ac.kr)
홍승호	Hong, Seung Ho	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구전략실 책임연구원 (E-mail: hsh373@ex.co.kr)
강문식	Kang, Moon Sik	정회원 · 한국도로공사 설계처 녹색환경팀 팀장 (E-mail: kms5453@hanmail.net)

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to review application of ASTM C 1260 for cement matrix with flyash and lithium nitrate using reactive aggregate. The experimental program included the accelerated mortar bar test (AMBT: ASTM C 1260) for the slate which was evaluated as reactive aggregate by ASTM C 1260 at the previous study. The cement, which was substituted by 10, 20, 30% flyash containing less than 10% CaO, could control ASR expansion. From the experiment applying lithium nitrate to control ASR, the mortar bar containing lithium nitrate showed more than 0.1% expansion at 14 days. This is probably due to dissolution of lithium nitrate in NaOH solution during test periods. Thus, it is necessary to adopt another test method to verify the control effect of lithium nitrate against alkali-silica reaction.

#### KEYWORDS

*alkali-silica reaction(ASR), flyash, lithium nitrate, ASTM C 1260, ASR control*

#### 요지

본 논문에서는 ASTM C 1260을 이용하여 국내산 골재를 대상으로 알칼리-실리카 반응 판정 결과 반응성으로 판정된 골재를 대상으로 알칼리-실리카 반응 억제효과를 고찰하기 위하여 플라이애시와 질산리튬을 사용한 시멘트 경화체의 ASTM C 1260 적용성을 평가하였다. 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창현상이 발생하는 지역에서 CaO 함량이 낮은 플라이애시를 시멘트 중량의 10, 20, 30%를 대체하는 경우 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응 억제효과를 확인할 수 있었다. 그러나 질산리튬을 사용할 경우는 ASTM C 1260은 시편을 1N NaOH 수용액에 수침하여 80°C의 온도로 길이변화를 유도하므로 시편내에 혼입된 질산리튬 성분이 외부로 용출될 수 있기 때문에 알칼리-실리카 반응 억제효과를 도출하지 못하였다. 따라서 질산리튬의 ASR 억제효과를 확인하기 위해서는 다른 시험방법을 고려해야 한다.

#### 핵심용어

*알칼리-실리카 반응, 플라이애시, 질산리튬, ASTM C 1260, 억제효과*

#### 1. 서론

국내에서 알칼리-실리카 반응으로 발생된 피해사례는 하성호 등(1990)이 대전 근교의 콘크리트 구조물에

서 건조수축, 동결융해 그리고 알칼리-실리카 반응 등의 복합작용으로 발생된 열화 현상을 처음으로 보고하였으며 2000년대에는 홍승호 등(2006a, 2006b)이 서

해안 고속도로 일부 콘크리트 포장구간에서 알칼리-실리카 반응으로 발생한 대규모 피해사례를 보고하였다.

알칼리-실리카 반응으로 발생한 피해사례의 원인 분석을 통하여 국내 대부분의 시멘트는 등가알칼리 함량이 0.6% 이상으로 분석되어 저알칼리 시멘트 기준을 벗어나는 것으로 나타났다(홍승호, 2006). 또한 일부 선풍 골재는 KS F 2545 골재의 알칼리 잠재 반응 시험방법(화학적 방법)으로 “유해” 또는 “잠재적인 유해”로 판정되었으며 ASTM C 1260 촉진 모르타르 붕 시험방법으로는 일부 골재가 잠재 반응성 이상으로 평가되었다. 몇몇 골재는 재령 증가에 따라 알칼리-실리카 반응에 의해 유해한 팽창이 발생하는 것으로 나타났다(홍승호, 2006; 전쌍순 외, 2003). 국내에서도 국외와 마찬가지로 알칼리-실리카 반응을 억제하기 위한 방안으로 콘크리트 구조물의 건설단계에서 골재에 대한 철저한 품질관리, 등가알칼리 함량이 0.6% 이하인 저알칼리 시멘트를 이용하는 방법, CaO 함량이 10% 이하인 플라이애시로 시멘트의 일정량을 치환하는 방법 그리고 질산리튬과 같은 화학약품을 시멘트 배합 시 일정량 첨가하는 방법 등이 사용될 수 있다.

본 연구에서는 알칼리-실리카 반응 억제효과를 평가하기 위하여 현장 적용성, 경제성 등을 고려하여 국내산 플라이애시로 시멘트의 일정량을 치환하는 방법과 질산리튬(LiNO<sub>3</sub>)을 일정량 첨가하는 방법으로 ASTM C 1260 촉진 모르타르 붕 방법의 적용성을 평가하였다.

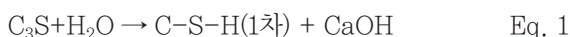
## 2. 알칼리-실리카 반응 억제효과

### 2.1. 플라이애시(FlyAsh) 특성

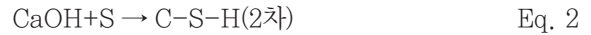
시멘트 대체 재료로 많이 활용되고 있는 플라이애시는 구형이며, 크기는 10~100 $\mu$ m 정도이다. FHWA(2003a, 2003b)에서는 플라이애시가 혼합된 시멘트는 플라이애시의 포졸란 작용에 의하여 알칼리-실리카 반응을 억제하는 효과가 있다고 보고하였다.

플라이애시에 의한 포졸란 작용은 아래와 같은 반응에 의하여 추가적으로 칼슘 실리카 수화물(C-S-H)을 생성한다. 일반 콘크리트보다 플라이애시가 혼합된 콘크리트의 공극 구조는 2차 C-S-H 수화물에 의하여 콘크리트 자체의 투수성을 감소시켜 알칼리-실리카 반응을 억제할 수 있다.

시멘트 수화 반응 :

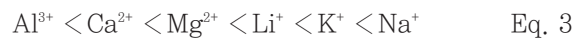


포졸란 반응 :



## 2.2. 질산리튬(LiNO<sub>3</sub>) 특성

Prezzi(1998)는 모르타르 붕 시험에서 일부 이온은 팽창을 일으키는 크기가 아래와 같다고 보고하였다. 반응성 골재가 사용된 콘크리트에 Li<sup>+</sup>성분이 가해질 경우 알칼리-실리카 반응으로 형성되는 반응생성물은 Li<sup>+</sup>성분을 포함하게 된다. 그러나 이 반응생성물은 K<sup>+</sup> 또는 Na<sup>+</sup>성분이 포함된 반응생성물이 이상 팽창을 나타내는 것과 달리 팽창하지 않는 특성이 있어 알칼리-실리카 반응을 억제할 수 있다.



## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1. 실험계획

국내산 플라이애시로 시멘트의 일정량 치환하는 방법과 질산리튬을 일정량 첨가하는 방법으로 구분하여 알칼리-실리카 반응 억제 효과를 평가하고자 ASTM C 1260 촉진 모르타르 붕 시험방법(1994)을 수행하였다.

### 3.2. 실험재료

#### 3.2.1. 시멘트

본 연구에서는 국내 A사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학성분은 Table 1과 같다. 시멘트의 등가 알칼리 함량은 0.98%로써 저알칼리 시멘트 기준 0.6% 이하를 초과하는 것으로 나타났다.

Table 1. Chemical compositions of cement and flyash (홍승호, 2006)

Composition	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>		lg.loss (%)
							K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
Cement	21.0	4.29	3.35	62.10	2.27	2.35	0.98		2.73
							0.99	0.33	
FlyAsh	70.70	17.80	3.57	1.36	0.84	0.25	1.03		3.06
							0.92	0.42	

#### 3.2.2. 플라이애시

플라이애시는 충남 당진화력발전소에서 채취된 것으로 CaO 함량이 1.36%로써 ASTM C 618 기준의 CaO 함량 10% 이하로 F등급에 해당된다. Table 1은 플라이

애시의 화학성분을 함께 나타내고 있다.

### 3.2.3. 질산리튬

일본 Junsei사의 순도 98%의 고형물을 사용하였다.

### 3.2.4. 골재

ASTM C 1260 촉진 모르타르 봉 시험방법 결과 알칼리-실리카 반응이 크게 발생되어 반응성 골재로 판정된 충남 보령의 점판암 골재를 사용하였다. Table 2는 사용된 골재인 점판암의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 특성을 나타낸 것이다(홍승호, 2006).

Table 2. Expansion result for slate by ASTM C 1260 test (홍승호, 2006)

Type of Rock	Expansion Rate (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Slate	0.182	0.303	0.381	0.417

## 3.3. 실험방법

### 3.3.1. 플라이애시 혼입 실험방법

플라이애시의 함량에 따른 알칼리-실리카 반응성 실험은 ASTM C 1260에 의하여 수행하였다. 플라이애시 혼입은 Table 3과 같이 시멘트의 중량에 대하여 5, 10, 20, 30%를 대체하였다.

Table 3. Flyash replacement ratio for ASTM C 1260

Type	FlyAsh replacement (%)				
	0%	5%	10%	20%	30%
Cement(g)	440	418	396	352	308
FlyAsh(g)	0	22	44	88	132

### 3.3.2. 질산리튬 혼입 실험방법

질산리튬 함량에 따른 알칼리-실리카 반응성 실험은 ASTM C 1260에서 제시한 배합으로 수행하였다. 질산리튬 혼입은 실험에 사용된 시멘트의 등가알칼리 함량인 0.9%에 해당되는 4g과 2배의 등가알칼리 함량에 해당되는 8g을 첨가하였다.

### 3.3.3. ASTM C 1260 촉진 모르타르 봉 시험방법

ASTM C 1260(1994)은 시편 제작 후 16일 후 길이 변화를 측정하여 0.1% 이상 0.2% 미만이면 알칼리-실리카 반응의 잠재성이 있는 것으로 판정하고, 0.2% 이

상이면 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 판정하고 있다. 본 시험방법은 골재를 Table 4와 같이 분쇄하여 사용한다.

Table 4. Requirement of aggregate grading for ASTM C 1260 Test (ASTM C 1260, 1994)

Sieve Size		Mass (%)
Passing	Retained on	
4.75mm(No.4)	2.36mm(No.8)	10
2.36mm(No.8)	1.18mm(No.16)	25
1.18mm(No.16)	600 $\mu$ m(No.30)	25
600 $\mu$ m(No.30)	300 $\mu$ m(No.50)	25
300 $\mu$ m(No.50)	150 $\mu$ m(No.100)	15

시험에 사용되는 모르타르 봉의 배합은 시멘트 440g, 혼합골재 990g 및 물 206.8g이다. 배합에 사용된 물-시멘트 비는 0.47이다. 모르타르 봉은 25.4×25.4×285mm 규격으로 3개/조로 제작하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에는 길이 변화 측정을 위한 스티드를 설치하였다.

모르타르 봉 제작은 몰드에 모르타르를 타설한 후 23℃가 유지되는 항온-항습기에서 몰드 상태로 24시간 동안 양생하였다. 1일 양생된 모르타르를 몰드에서 시편을 분리하여 모르타르의 길이를 버니어 캘리퍼스로 0.01mm까지 측정하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에 설치된 스티드까지의 길이를 Fig. 1과 같이 0.01mm 정밀도의 다이얼게이지가 설치된 길이변화 측정기로 습윤 양생 전 길이를 측정하였다.



Fig. 1. Comparator length reading

초기 측정이 완료된 시편은 폴리프로필렌 밀폐 용기에 시편이 완전히 잠기도록 물을 채워 밀폐시킨 후 80℃가 유지되는 항온기에서 24시간 수중 양생을 하였다. 24시간 경과 후 영점 길이변화 측정을 위하여 밀폐 용기에서

꺼낸 후 즉시(15초 내 측정완료) 물기를 제거하고 초기 길이가 변화를 측정하였다.

초기길이 변화가 측정된 모르타르 봉 시편은 1N NaOH 수용액이 담겨 있는 밀폐용기에 넣어 80℃가 유지되는 항온기에서 길이 변화를 유도하였다. 영점길이 변화 측정 후 시편의 길이 변화는 7일, 14일, 21일 및 28일까지 측정하였으며 모르타르 봉의 변화상태 및 균열 발생 여부를 육안으로 확인하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1. 플라이애시 혼입 시험결과

Table 5 및 Fig.2는 플라이애시를 혼입한 모르타르 시편의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 특성을 나타낸 것이다. 플라이애시가 포함되지 않은 점판암 골재는 재령 14일에 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 것으로 나타났으며, 재령이 경과함에 따라 재령 28일에서는 0.417%까지 팽창이 발생한 것으로 나타났다.

시멘트 중량의 5%를 플라이애시로 치환한 모르타르 시편은 알칼리-실리카 반응에 의한 길이 팽창 특성은 재령 7일에 0.074%의 팽창이 발생하였고, 재령 14일에는 0.131%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났다. 재령이 경과함에 따라 재령 21일에는 0.147%까지 팽창하여 반응에 의한 팽창이 진행 중인 것으로 나타났다.

시멘트 중량의 10%를 플라이애시로 대체한 모르타르 시편은 재령 14일에서 0.056%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응을 억제하는 것으로 나타났다. 재령이 경과함에 따라 재령 21일에서도 팽창은 증가되지 않는 것으로 나타났다.

시멘트 중량의 20%를 플라이애시로 대체한 모르타르 시편은 재령 14일에 0.014%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응을 크게 억제하는 것으로 나타났으며, 재령 21일에서도 팽창이 증가되지 않는 것으로 나타났다.

시멘트 중량의 30%를 플라이애시로 대체한 모르타르 시편은 재령 14일에 0.017%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응을 억제하는 것으로 나타났으며, 재령 21일에서도 0.003%로 팽창이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

시멘트 중량의 5%를 플라이애시로 치환한 경우를 제외하고 10, 20, 30%로 치환한 경우에는 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응성 억제효과 및 플라이애시의 치환량이 증가할수록 팽창이 저감하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5. Expansion results by ASTM C 1260 with flyash replacement percent

Specimen and flyash content	Expansion Rate(%)			
	1 day	7 days	14 days	21 days
Control (0%)	0.000	0.182	0.303	0.381
FA-5 (5%)	0.000	0.074	0.131	0.147
FA-10 (10%)	0.000	0.025	0.056	0.052
FA-20 (20%)	0.000	0.002	0.014	0.010
FA-30 (30%)	0.000	0.000	0.017	0.003

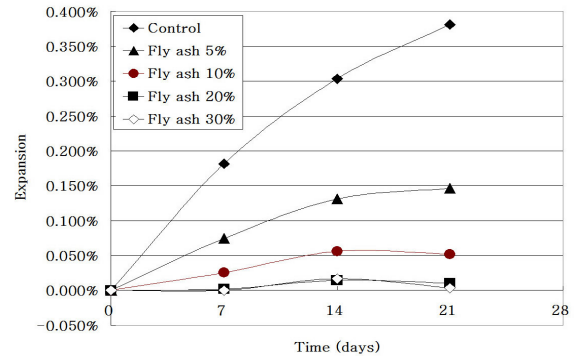


Fig. 2. Expansion results of slate mortar bar with flyash replacement percent

### 4.2. 플라이애시 혼입 ASR 미세구조 조사 및 평가

플라이애시의 함량 변화에 의한 알칼리-실리카 반응 실험 후에 시편의 표면에 나타난 균열 특성을 분석하였다. 시멘트 중량의 5%를 플라이애시로 대체한 시편은 Fig. 2와 같이 14일에 0.131%의 팽창이 발생하였고, Fig. 3과 같이 공극부에 균열이 발생되어 있는 것으로 관찰되었다. 또한, 5% 플라이애시 대체 시편의 공극부에는 폭이 큰 균열과 백색의 생성물이 관찰되었다. 플라이애시 10%를 대체한 시편에서는 Fig. 4와 같이 공극부와 공극부 사이에서 미세한 균열이 관찰되었다. 플라이애시 20%를 대체한 시편에서는 Fig. 5와 같이 공극부에 균열 발생이 없는 것으로 나타났다. 또한, 플라이애시 30%를 대체한 시편에서도 공극부에 균열 발생이 없는 것으로 나타났다.

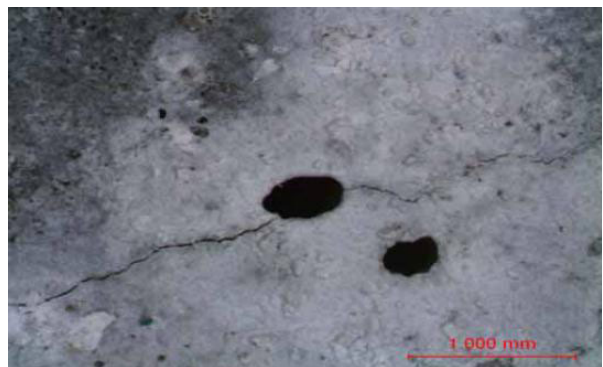


Fig. 3. Cracking on slate mortar bar with 5% flyash



Fig. 4. Cracking on slate mortar bar with 10% flyash

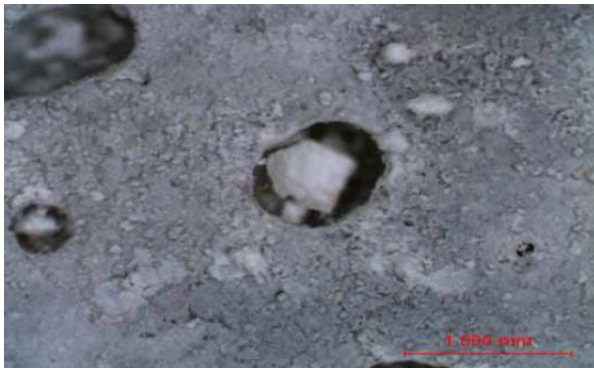


Fig. 5. Cracking on slate mortar bar with 20% flyash

### 4.3. 질산리튬 혼입 시험결과

질산리튬 성분 함량에 따른 알칼리-실리카 반응 억제효과는 Table 6과 Fig. 6과 같다. 질산리튬이 포함되지 않은 시편은 재령 14일에 0.303%의 팽창이 발생하였다. 본 실험에서 재령 7일에 질산리튬 성분이 4g 혼입된 시편에서는 0.159%의 팽창이 발생하였으나, 8g이 혼입된 시편에서는 0.089%의 팽창이 발생하였다. 재령 14일에서는 4g 혼입된 시편에서는 0.202%의 팽창이 발생하였으며, 8g 혼입된 시편에서는 0.145%의 팽창이 발생하였다.

질산리튬 성분 함량 4g과 8g을 각각 혼입한 경우에는 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응성 억제효과를 확인할 수 없었다.

Table 6. Expansion results tested by ASTM C 1260 with lithium nitrate content

Specimen and lithium nitrate	Expansion rate (%)			
	1 day	7 days	14 days	21 days
Control	0.000	0.182	0.303	0.381
LiNO <sub>3</sub> 4g	0.000	0.159	0.202	0.238
LiNO <sub>3</sub> 8g	0.000	0.089	0.145	0.185

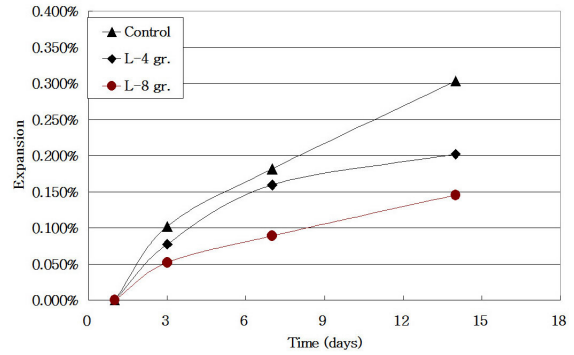


Fig. 6. Expansion results tested by ASTM C 1260 with LiNO<sub>3</sub> content

## 4.4. 실험결과에 대한 고찰

### 4.4.1. 플라이애시 혼입결과 고찰

시멘트 중량의 일정량을 플라이애시로 대체한 실험에서 Fig. 2와 같이 시멘트 중량의 10, 20, 30%로 각각 대체할 경우 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창현상을 현저하게 감소시키는 것을 확인할 수 있다.

시멘트 콘크리트 구조물에서 알칼리-실리카 반응을 억제하기 위하여 플라이애시를 시멘트 중량의 일정량을 치환할 때 반드시 고려해야 될 사항은 플라이애시의 포졸란 작용에 의한 효과를 높이기 위하여 CaO 함량이 10% 이하인지를 확인해야 한다. 플라이애시의 CaO 함량이 적을수록 시멘트 중량 대비 적은 양의 플라이애시 대체로도 알칼리-실리카 반응을 억제하는 효과가 있는 것으로 보고되었다(FHWA, 2003). 또한, 플라이애시로 시멘트 중량의 일정량을 대체하여 알칼리-실리카 반응을 억제하고자 할 때 플라이애시의 패서멈 현상을 피하기 위하여 사전에 실험을 반드시 수행해야 한다.

시멘트 중량의 일부를 플라이애시로 대체하여 알칼리-실리카 반응을 억제하기 위한 실험에서 시편의 표면에 나타난 특성은 플라이애시 5, 10% 대체한 시편에서는 공극부에 균열이 발생되어 있는 것으로 나타났으며, 플라이애시 함량이 5%에서 10%로 증가하는 경우 균열 폭이 감소하는 경향이 나타났다. 플라이애시로 시멘트 중량의 20%와 30%를 대체한 시편의 경우 표면 공극부에서 균열이 관찰되지 않아 재령별 길이 팽창 실험에서 변화가 크지 않는 시편에서는 균열 발생이 적은 것을 알 수 있다.

본 연구에서 검토된 국내산 플라이애시는 Table 7과 같이 CaO 함량이 1.36%부터 9.74%임을 알 수 있으며, 미국 ASTM C 618 기준의 CaO 함량 10% 이하를 만족하는 F 등급에 해당되어 국내산 플라이애시는 시멘트

콘크리트 구조물에서 알칼리-실리카 반응을 억제하는데 우수한 효과가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에 사용된 충남 보령 점판암 골재의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창이 발생하는 지역에서는 CaO 함량이 낮은 플라이애시를 시멘트 중량의 10, 20, 30%로 각각 대체하는 경우 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창현상을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 7. Chemical analysis of flyash in Korea

Year	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	Reference.
2005	54.70	2.90	0.93	0.49	1.10	2
	70.70	1.36	0.92	0.42	1.03	
	55.00	9.74	1.22	0.65	1.45	
	58.20	2.77	0.98	0.46	1.10	
	53.10	5.82	1.05	0.57	1.26	
2005	51.83	6.51	1.08	0.49	1.20	6
2005	58.12	2.59	1.42	0.31	1.24	11
2003	61.75	3.41	1.11	0.50	1.23	11
Aver.	57.93	4.39	1.09	0.49	1.20	

#### 4.4.2. 질산리튬 혼입결과 고찰

알칼리-실리카 반응에 의한 팽창현상이 발생된 반응성 골재를 대상으로 억제효과를 평가하기 위하여 LiNO<sub>3</sub>을 혼입하여 ASTM C 1260으로 평가한 결과 재령이 경과함에 따라 LiNO<sub>3</sub>을 혼입한 시편의 팽창이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 질산리튬 고형물을 4g 혼입한 시편보다 8g을 혼입한 시편에서 팽창이 적게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에 적용된 질산리튬의 함량으로 팽창이 저감되는 것으로 나타났으나 ASTM C 1260 시험방법에서의 평가기준인 재령 14일에 0.1% 미만을 만족하지는 못하는 것으로 나타났다.

축진 모르타르 봉 실험은 시편을 1N NaOH 용액에 수침시켜 80℃의 온도로 길이변화를 유도하기 때문에 시편 내에 혼입된 질산리튬이 리튬성분을 포함한 반응 생성물을 형성하기 이전에 외부로 용출될 수 있으므로 ASTM C 1260의 판정기준인 재령 14일에 0.1% 미만의 팽창 억제효과를 도출하지 못하는 것으로 판단된다. FHWA(2003) 연구에서 검토된 리튬 성분의 화학첨가제를 사용한 실험방법으로 ASTM C 227, Autoclave test, ASTM C 1260 및 ASTM C 1293 방법이 적용되었다고 보고하였다. 국내에서는 리튬 화학첨가제의 알칼리-실리카 반응 억제효과를 검증하기 위한 실험법으로 KS F 2546 또는 ASTM C 1293과 같은 항온항습 상태에서 장기간 실시하는 실험이 질산리튬의 알칼리-

실리카 반응 억제효과를 검증하는데 알맞은 방법이라고 판단된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응성 골재로 판정된 충남 보령의 점판암을 대상으로 알칼리-실리카 반응 억제효과를 평가하기 위하여 국내산 플라이애시로 시멘트의 일정량을 치환하는 방법과 질산리튬(LiNO<sub>3</sub>)을 일정량 첨가하는 방법으로 ASTM C 1260의 적용성을 평가하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 알칼리-실리카 반응으로 팽창현상이 발생하는 골재를 대상으로 CaO 함량이 1.36%인 국내산 플라이애시로 시멘트 중량의 10, 20, 30%를 각각 대체하는 경우 ASTM C 1260으로 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창현상이 억제되는 것을 확인할 수 있었다.
2. 국내산 플라이애시는 CaO 함량이 1.36%에서 9.74%로 나타났으며 미국 ASTM C 618 기준으로 F 등급에 해당되어 시멘트 콘크리트 구조물에서 알칼리-실리카 반응을 억제하는데 우수한 효과가 있을 것으로 판단된다.
3. 알칼리-실리카 반응으로 팽창현상이 발생하는 골재를 대상으로 질산리튬 4g과 8g을 각각 혼입하여 ASTM C 1260으로 억제효과를 평가한 경우는 팽창이 저감되는 것으로 나타났으나 ASTM C 1260 시험방법의 평가기준인 재령 14일에 0.1% 미만을 만족하지는 못하는 것으로 나타났다.
4. ASTM C 1260은 시편을 1N NaOH 용액에 수침시켜 80℃의 온도로 길이변화를 유도하기 때문에 시편 내에 혼입된 질산리튬이 리튬성분을 포함한 반응 생성물을 형성하기 이전에 외부로 용출될 수 있으므로 팽창 억제효과를 도출하지 못하는 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- 김정은, 전쌍순, 서기영, 진치섭, "플라이애쉬 치환에 따른 알칼리-실리카 반응의 팽창저감 효과", *한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집*, 2004, pp.5
- 원종필, 서정민, 이창수, 박해균, 이명섭, "통계적 방법에 의한 교면포장용 고성능 콘크리트의 최적배합비 도출", *한국콘크리트학회 논문집*, 제17권 4호(통권 88호) 2005년 8월, pp.561
- 전쌍순, 이효민, 진치섭, 황진연, 이진성, "ASTM C 227과

- ASTM C 1260에 따른 쉐석 골재의 알칼리-골재 반응성”, *한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집*, 2003, pp.13-18
- 전쌍순, 이호민, 서기영, 황진연, 진치섭, “쉐석 골재의 알칼리-실리카 반응 방지 대책”, *한국콘크리트학회 논문집*, 제17권 1호, 2005, pp.129-137
- 하성호, 김경수, 김무한, 정지곤, “콘크리트 골재용 각종 암석의 알칼리-골재 반응에 대한 연구”, *한국광물학회지*, 3-1, 1990, pp.18-33.
- 홍승호, “국내 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 조사 및 억제방안”, 2006, 박사학위논문, 강원대학교 대학원
- 홍승호, 한승환, 윤경구, “알칼리-실리카 반응에 의한 시멘트 콘크리트 포장 파손사례”, *한국콘크리트학회 논문집*, Vol.18, No.3, pp.355-360, June 2006.
- FHWA, “*Guidelines for The Use of Lithium to Mitigate or Prevent ASR*”, PUBLICATION NO. FHWA-RD-03-047, 2003
- FHWA, “*Fly Ash Facts for Highway Engineering*”, FHWA-IF-03-019, American Coal Ash Association, 2003
- Prezzi, M.; Monteriro, P.J.M.; and Sposito, G., “Alkali-Silica Reaction - Part2 : The Effect of Chemical Additives”, *ACI Materials Journal*, 1998. 95, pp.1,3-10.
- ASTM C 1260, “*Standard Test Method for Potentially Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*”, American Society for Testing and Materials, 1994
- (접수일 : 2010. 7. 28 / 심사일 : 2010. 7. 31 / 심사완료일 : 2012. 5. 16)