





위 두 반응기구는 알루미늄(Al)과 실리카(Si) 성분이 알칼리 활성화의 기본임을 명확히 보여준다. 이들 반응속도는 매우 빠르며 용해, 전이 및 적응 그리고 중축합의 단계로서 반응 기구가 구성될 수 있다<sup>7)</sup>. 알칼리 활성화 고로 슬래그의 초기 수화반응은 OH<sup>-</sup>와 H<sub>2</sub>O의 효과에 의한 모재 속의 알칼리와 실리카 성분들의 용해에 의해 발생하며 결과로서 [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup>, [AlO<sub>4</sub>]<sup>5-</sup>, Ca<sup>2+</sup> 및 CSH 화합물이 형성된다. 실리카 음이온의 가수분해는 초기 단계의 반응에서 OH<sup>-</sup> 음이온과 CSH gel의 생성 및 열의 흡수에 의해 특징된다. 일반적으로 알칼리 활성화 된 페이스트의 경화과정에서 발열량은 비침 후 8 ~ 10분 사이에서 최대 값을 보인다. 이는 반응속도가 빠른 CSH gel의 형성에 의한 경화기구의 한 예로 볼 수 있다<sup>8)</sup>. 즉 아직도 논란의 여지가 있지만 일반적으로 인식되는 알칼리 활성화 페이스트에서 형성되는 수화물은 나트륨 상과 비결정질의 CSH gel이다. 나트륨 상은 OPC의 수화생성물보다 낮은 용해성을 갖기 때문에 고강도 발현에 기여할 수 있다. XRD 분석과 EDS X-Ray 해석은 활성화제의 종류에 따라 활성화된 페이스트의 경화 과정에서 다양한 결정체와 화학적 구조가 발생할 수 있지만 CSH gel은 수화생성물로서 항상 존재함을 보여 준다<sup>4)</sup>. 초기 모재의 용해단계 및 CSH gel의 경화는 비교적 높은 Al/Si 비와 충분히 낮은 Ca/Si 비를 필요로 한다. 만일 모재에서 Ca 이온이 모든 Si를 소비할 수 있을 만큼 많다면 CSH gel 형성은 기대할 수 없다. 하지만 아직도 알칼리 활성화에 의한 수화생성물들의 장기 반응에 대한 Ca와 Al 등의 효과에 대해서는 확인되지 않았다.

반면 플라이애쉬를 모재로 사용한 알칼리 활성화 시멘트는 알칼리 활성화제와 실리카 및 알루미늄 전구체들과의 개별적인 응집 과정에 의한 경화 기구로 특징될 수 있다. CSH gel과 같은 수화생성물이 형성되지 않기 때문에 알칼리 활성화 슬래그 콘크리트에 비해 강도가 다소 낮을 뿐만 아니라 양생온도에 매우 민감하다. 알칼리 활성화 플라이애쉬 시멘트의 경화 과정은 지오라이트와 같이 다음 3단계로 요약될 수 있다.

1) 수산화 이온들의 합성 작용을 통한 전구체들의 형성

- 2) 알칼리-실리카의 부분적 재 구성
- 3) 무기질 구조의 형성을 위한 재 침전

알칼리 활성화 플라이애쉬 시멘트에서는 Al/Si의 비와 함께 H<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 비도 중요하다. H<sub>2</sub>O는 알루미늄과 실리카 이온들의 용해 과정에서 중요한 역할을 하기 때문이다. 하지만 알칼리 활성화 플라이애쉬 시멘트의 주요 경화기구인 지오폴리머화는 역시 아직 명확하게 밝혀지지 않은 상태이다.

### 2.2 알칼리 활성화제 및 역할

일반적으로 고로슬래그에서는 물유리와 같은 용해 상태의 규산나트륨이, 플라이애쉬에서는 규산나트륨과 수산화나트륨 용액의 혼용이 최적의 활성화제로 인식되고 있다. 물유리는 주로 SiO<sub>3</sub>와 HSiO<sub>3</sub> 음이온으로 구성되는데 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O의 비가 높을수록 매우 작은 3차원의 내부 응집된 규산합성 이온의 형성속도가 증가한다. 고로슬래그는 모 재료의 알칼리 활성화와 CSH gel의 형성을 통해 규산 또는 나트륨과 같은 음이온이 활성화 된 생성물의 강도발현에 기여하게 된다. CSH gel은 Ca<sup>+</sup> 이온과의 반응을 통해 실리카 수화생성물을 형성한다. 촉매 역할을 하는 알칼리 양이온 R<sup>+</sup>는 OH<sup>-</sup> 음이온과의 평형을 유지하는 효과도 갖는다. 게다가 Na<sup>+</sup> 이온은 Ca<sup>+</sup>와 매우 비슷한 성질을 갖기 때문에 R<sup>+</sup> 이온들은 모재의 Ca<sup>+</sup>를 부분적으로 치환하면서 경화체를 형성할 수 있다. 하지만 알칼리 이온과 CSH gel 사이의 반응과 상호역할에 대해 많은 연구들이 진행되었음에도 불구하고 알칼리 활성화 시멘트의 수화 반응에 대한 알칼리 이온들이 화학적 반응에 대해서는 지속적인 연구가 필요함이 지적되고 있다<sup>4)</sup>.

## 3. 성능의 우수성

알칼리 활성화된 콘크리트의 성능은 모재의 화학적 조성, 활성화제를 위한 알칼리 재료 종류 및 첨가 양, 양생온도와 시간 및 물-결합재 등에 의해서 영향을 받기 때문에 다소 변동적이다. 그럼에도 불구하고 OPC 콘크리트에 비해 일반적으로 인정되는 알칼리 활성화 된 콘크리트 성능의 우수성을 요약하면 다음과 같다.

### 3.1 높은 압축강도 발현

일반적으로 알칼리 활성화된 콘크리트의 압축강도는 특별한 혼화제 첨가없이 150 MPa까지 얻을 수 있음이 보고 되고 있다. <표 1>에는 물유리에 의해 활성화된 고로 슬래그 콘크리트<sup>9)</sup>의 압축강도 실험 결과를 <표 2>에는 다양한 알칼리 활성화제에 의한 플라이애쉬 콘크리트<sup>10)</sup>의 초기 재령에서의 압축강도 실험 결

표 1. AAS 콘크리트의 압축강도(Pu et al.)

배합	슬랩프 (mm)	압축강도(MPa)				
		1일	3일	7일	28일	1년
JK4	10	10.7	45.1	-	82.4	91.4
JK11	30	35.0	-	63.8	77.0	109.9
JK15	10	4.6	35.2	-	80.2	92.7
JK16	80	3.3	8.8	54.3	62.5	93.1
JK26	10	24.8	41.8	-	76.7	103.7
JK30	30	56.1	71.3	-	102.3	122.4
JK31	90	60.9	80.8	-	99.0	116.0
JK32	20	61.5	79.0	-	99.0	114.4
JK33	10	68.2	96.2	-	117.0	132.2
JK103	20	12.1	45.0	-	65.3	86.5

표 2. 플라이애쉬 기반 알칼리 활성 콘크리트의 초기강도(Palomo et al.)

활성화제	양생온도 (°C)	압축강도 (MPa)					
		활성화제/플라이애쉬 = 0.25			활성화제/플라이애쉬 = 0.3		
		2시간	5시간	24시간	2시간	5시간	24시간
NaOH	65	0.0	0.0	21.2	0.0	1.8	17.3
	85	9.3	22.0	34.6	9.2	9.6	23.4
NaOH+sodium silicate	65	4.3	31.7	52.7	0.0	30.0	62.6
	85	39.8	48.2	54.5	31.6	57.4	68.7
KOH+potassium silicate	65	0.0	9.5	38.7	0.0	10.2	39.0
	85	7.7	34.3	63.0	16.0	31.6	35.9

과를 각각 나타내었다. 고로 슬래그를 이용한 알칼리 활성 콘크리트는 재령 1일 강도가 68 MPa까지 발현되며 1년 강도는 130 MPa까지 증진하였다. 또한 수산화나트륨과 규산나트륨이 동시에 알칼리 활성화제로 사용된 플라이애쉬 기반 알칼리 활성 콘크리트의 경우 2시간 강도가 40 MPa 까지 발현되며 재령 1일 강도는 17 ~ 68 MPa 이었다. Glukhovsky and Pakhomov<sup>11)</sup>는 알칼리 활성 고로 슬래그 콘크리트의 재령 10년 강도는 재령 28일 강도보다 100 ~ 200% 증가함을 보였다. 이와 같이 알칼리 활성 콘크리트는 초기 재령에서 OPC에 비해 현저하게 높은 압축강도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 장기재령의 강도 발현도 매우 우수하다.

### 3.2 낮은 배합 수

활성화제로 이용된 알칼리제의 표면 활성효과로 인해 OPC에 비해 낮은 물-결합재 비가 이용된다. 부가적인 감수제의 사용 없이 물-결합재비가 17 ~ 22%인 알칼리 활성 콘크리트의 초기 배합성능은 물-결합재비가 25 ~ 29%의 OPC 콘크리트와 동일함이 보여 진다<sup>4)</sup>. 하지만 알칼리 활성 콘크리트의 유동성은 활성화제의 종류와 양에 의해 매우 큰 영향을 받을 뿐만 아니라 급결 현상이 나타나는 단점이 있다.

### 3.3 내 투수성

대부분의 연구는 알칼리 활성 콘크리트의 내부 모세관 공극이 OPC 콘크리트에 비해 매우 작게 있음을 보여준다. Pu 등<sup>9)</sup>은 24시간 동안 4 MPa의 수압 하에 있는 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 투수 두께는 단지 2 ~ 6 mm로서 0.2 ~ 1.2 MPa의 불 투수성능을 갖는 OPC 콘크리트에 비해 훨씬 높게 있음을 보였다.

### 3.4 저 수화반응열

〈표 3〉에는 보통 콘크리트와 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 수화열의 비교를 나타내었다. 알칼리 활성 콘크리트의 수화열은 OPC의 약 1/3 ~ 1/2 수준이며 저발열 시멘트에 비해서도 낮다. 알칼리 활성 페이스트는 낮은 Ca/Si 비를 갖기 때문에 OPC에 비해 적은 수화에너지를 필요로 한다.

### 3.5 내 약품성

알칼리 활성 콘크리트는 〈표 4〉에 나타낸 바와 같이 여러 화학약품에 대한 저항성이 우수하다. Wu 등<sup>12)</sup>은 1.5%의 농도를 갖는 MgSO<sub>4</sub> 용액 속에서도 알칼리 활성 모르타르의 재령 1년 강도는 증가하며 HCl 또는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 같은 용액에서는 2년간 강도를 유지함을 보였다. 또한 Pu 등은 5 ~ 10%의 NaCl 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 속의 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 거동은 OPC 콘크리트에 비해 매우 뛰어난을 보였다.

OPC 콘크리트에서는 각 구성 매트릭스들의 경계면이 취약하지만 알칼리 활성 콘크리트에서는 각 매트릭스의 경계면을 취약하게 만드는 조악한 Ca(OH)<sub>2</sub>가 존재하지 않으며 알칼리 활성 화제에 의해 골재 표면의 점토질과 같은 물질들이 용해되기 때문에 보다 강한 경계면을 갖는다.

치밀한 내부조직과 함께 각 매트릭스 사이의 강한 경계요소는 알칼리 활성 콘크리트가 화학약품에 대한 높은 저항성을 갖게 한다.

표 3. 시멘트 종류에 따른 발열량 비교(Pu et al.)

시간	OPC	LHC*	알칼리 활성 콘크리트		
			NaOH	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Waterglass
1시간	-	-	-	-	1.74
1일	44.4	-	18.6 ~ 34.7	2.5 ~ 7.4	-
3일	60.4	50.67	30.1 ~ 45.8	6.8 ~ 19.3	33.9
7일	61.3	55.69	32.9 ~ 48.7	10.8 ~ 28.9	36.6

\* LHC는 저발열 시멘트를 의미함.

표 4. 화학약품에 침전된 알칼리 활성화 모르터의 휨 강도

	휨 강도 (MPa)		
	3달	6달	1년
Water	7.42	8.60	9.51
Acetic acid(ph 3)	7.77	8.10	8.10
Lactic acid(ph 3)	6.27	10.00	10.44
HCl(ph 3)	8.52	9.25	9.48
20% sugar	7.02	7.15	6.48
25% ammonia	7.80	9.95	9.88
Petrol	8.06	9.55	10.14

### 3.6 내 중성화

Byfores 등<sup>13)</sup>은 일정한 물-결합재 비에서 알칼리 활성화 슬래그 콘크리트의 중성화 속도는 OPC 콘크리트와 거의 비슷함을 보였다. 반면 Pu 등은 <표 5>에 나타낸 바와 같이 알칼리 활성화 슬래그 콘크리트의 압축강도와 중성화 거동이 밀접한 관계가 있음을 보였다. 즉, 압축강도 30 MPa 이하인 알칼리 활성화 콘크리트의 중성화 속도는 다소 빠르며 중성화 이후 약간 낮은 강도를 보이지만 50 MPa 이상의 압축강도를 갖는 알칼리 활성화 콘크리트의 중성화 속도 및 중성화 깊이는 OPC 콘크리트에 비해 매우 낮음을 보였다.

### 3.7 동결융해 저항성

알칼리 활성화 콘크리트는 낮은 사용 배합수와 높은 전해질 농도로 인해 OPC 콘크리트에 비해 높은 동결융해 저항성을 갖는다. 일반적으로 OPC 콘크리트는 300 사이클 이하의 동결융해 저항성을 갖지만 알칼리 활성화 콘크리트는 300 ~ 1,150 사이클의 동결융해 저항성을 갖는다<sup>11)</sup>. 또한 Kukko and Mannonen<sup>14)</sup>은 공기 연행제를 사용하지 않은 알칼리 활성화 슬래그 콘크리트의 압축강도는 100 사이클의 동결융해 이후에도 증가함을 보였다.

표 5. 알칼리 활성화된 콘크리트의 중성화(Pu et al.)  
(20±3℃, 70±5% relative humidity and 20±3% CO<sub>2</sub>)

원 강도 (MPa)	중성화 촉진 후 강도(MPa)			중성화 깊이(mm)		
	7일	14일	28일	7일	14일	28일
21.7	20.0	19.8	17.8	21.8	30.0	40.7
31.2	30.3	29.8	30.0	16.9	21.8	28.2
39.9	37.7	37.5	38.7	17.5	23.0	34.0
43.0	45.7	45.5	45.8	16.5	20.6	27.6
54.0	54.2	54.2	57.4	13.5	19.1	23.8
73.6	80.6	75.3	82.0	4.9	8.5	8.4
82.4	99.0	-	88.0	2.0	2.0	2.0

Pu 등은 압축강도 60 MPa 이상의 알칼리 활성화 콘크리트는 200 사이클의 동결융해 이후에도 균열, 중량 변화 등의 손상이 발견되지 않음을 보였다. 이로 인해 알칼리 활성화 콘크리트는 동결융해가 반복적으로 발생하는 조수 상태에서 특히 유용하다.

### 3.8 철근 보호성

콘크리트의 철근보호 성능은 구성 매트릭스들의 내 투수성 및 알칼리성에 의해 결정된다. 알칼리 활성화 콘크리트에서 Cl<sup>-</sup>와 같은 부식성 이온의 전이는 매우 어렵기 때문에 확산속도는 OPC 콘크리트에 비해 매우 낮다. 알칼리 활성화 콘크리트 속의 철근은 1년간의 인공 해수 속에서도 부식이 발생하지 않음이 보여진다<sup>14)</sup>. 또한 Pu 등의 가속 부식 실험은 48 ~ 75 사이클에서 알칼리 활성화 슬래그 콘크리트 속의 철근 중량 손실은 0.18 ~ 0.37%에 있는 반면 OPC 콘크리트 속의 철근은 45 사이클 이후 1.9%의 중량 손실이 발생함을 보였다.

### 3.9 고강도 콘크리트 제조 시 비용과 에너지 절감

압축강도 50 MPa 이하의 알칼리 활성화 콘크리트의 제조 비용은 동등한 OPC 콘크리트의 것보다 일반적으로 높다. 하지만 압축강도 70 MPa 이상의 콘크리트 제조 시 실리카폼을 치환한 OPC 콘크리트에 비해 알칼리 활성화 콘크리트는 10 ~ 40%의 비용, 60 ~ 80%의 석탄소비량 및 50%이 전기소비량이 절감될 수 있다<sup>12)</sup>. 즉 고강도 콘크리트 제조를 위해서는 OPC 보다 알칼리 활성화 시멘트가 훨씬 유리하다. 일반적으로 압축강도를 고려한 최적의 알칼리 성분의 사용량은 일반적으로 모래의 중량 대비 3.5 ~ 5.5%의 Na<sub>2</sub>O가 제시되고 있다<sup>4)</sup>. 비교적 다루기 쉬운 알칼리 활성화 제의 적절한 사용은 고강도 알칼리 활성화 콘크리트의 제조 비용을 더욱 절감시킬 수 있다.

### 3.10 내화성능

일반적으로 OPC 콘크리트는 500℃ 이하에서 구조적 성능이 저하되지만 알칼리 활성화 콘크리트는 약 700℃에서도 그 성능을 유지할 수 있다<sup>11)</sup>. 특히 Tailing and Brandstetr<sup>15)</sup>은 유리섬유가 6% 첨가된 알칼리 활성화 콘크리트는 800 ~ 1000℃의 가열 이후에도 압축강도가 증가함을 보였다

### 3.11 낮은 비탄성 변형

Hardjito 등<sup>5)</sup>은 규산나트륨과 수산화나트륨이 활성화제로 이용된 플라이에쉬 콘크리트의 건조수축과 크리프는 OPC 콘크리

트의 것이 비해 낮게 있음을 보였다. 또한 많은 연구<sup>4)</sup>들은 물유리를 사용하지 않은 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 건조수축은 OPC 콘크리트와 동등하거나 낮은 수준임을 보였다. 특히 고로 슬래그나 플라이애쉬와 같은 모재의 분말도가 낮을수록, 알칼리 활성화제의 첨가량이 작을수록 그리고 골재양이 많을수록 알칼리 활성 콘크리트의 건조수축 변형률은 낮게 제어될 수 있다.

### 3.12 기타

알칼리 활성 시멘트는 사용 골재의 품질에 덜 민감하다. 알칼리 활성 콘크리트는 사용 골재들이 약 20% 정도의 점토 또는 이물질 함유하여도 강도의 감소를 보이지 않는다<sup>11)</sup>. 이는 알칼리 활성화제들이 골재 표면의 점토를 용해 및 분산시킬 수 있기 때문이다.

## 4. 실용적 문제점 및 대안

알칼리 활성 시멘트 및 콘크리트는 많은 장점을 갖고 있지만 현실적 적용을 위해 개선 및 보완되어야 할 문제점도 있다. 이들 문제점들에 대한 원인 및 개선 방향에 대해 실험 결과와 함께 비교하면서 다음에 요약하였다.

### 4.1 빠른 유동성 손실

알칼리 활성화 제와 모재의 초기 반응속도는 매우 빠르다. 일반적으로 이용되는 활성화제인 물유리를 사용할 경우 15분 내에 경화가 시작된다. 모재로 이용되는 고로 슬래그 및 플라이애쉬는 OPC와는 달리 C<sub>3</sub>A와 C<sub>3</sub>S를 함유하지 않기 때문에 OPC와는 다른 경화기구를 갖는다. 알칼리 활성화제는 분말형보다는 액상에서 이용될 때 강도발현에 유리하지만 유동성 손실이 매우 급격하다. 일반적으로 압축강도 60 MPa 이하의 알칼리 활성 콘크리트는 분말형의 활성화제를 이용하는 것이 다루기도 쉬울 뿐만 아니라 유동성 손실을 늦출 수 있다. 붕산염 또는 인산염이 알칼리 활성 콘크리트의 경화를 지연시키는데 매우 효과적이지만 고강도 콘크리트에서는 그 효과가 매우 떨어진다. 소석회도 경화지연에 효율적이지만 장기강도의 심각한 저하를 유발할 수 있다<sup>9)</sup>. OPC 콘크리트에서 규산 2칼슘은 수화반응 속도를 늦출 수 있으며 장기강도 발현에 유리하다. 규산 2칼슘의 특성을 알칼리 활성 모르타르의 경화지연에 이용하기 위해 수행된 실험 결과를 <표 6>에 나타내었다. 알칼리 활성 시멘트는 Na<sub>2</sub>O/결합재 비가 2.5%로 있을 수 있도록 분말형의 규산나트륨과 수산화나트륨이 첨가된 고로슬래그이다. 물/결합재비는 50%이며 혼화제는 첨가되지 않았다. 규산 2칼슘의 첨가는 초기

유동성뿐만 아니라 시간 경과에 따른 유동성 손실 제어에 매우 효과적이었다. 또한 초기 압축강도 저하에 거의 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라 28일 강도에도 중요한 영향을 미치지 않았다. 규산 2칼슘의 첨가 양이 2%일 때 28일 압축강도는 0.5% 첨가량에 비해 약 8%의 압축강도 감소를 보였다.

반면 Hardjito 등<sup>5)</sup>은 상업적으로 이용되는 나트탈렌 기반 응결 지연제의 적절한 사용도 알칼리 활성 플라이애쉬 콘크리트의 압축강도 저하에 영향을 미치지 않으면서 유동성 손실 방지에 효율적임을 보였다. 알칼리 활성 페이스트의 경화기구에 대한 명확한 이론정립이 아직 이루어지지 않았지만 응결지연 효과를 갖는 규산 2칼슘 또는 상업적으로 이용가능한 응결지연제 등의 첨가를 통하여 알칼리 활성 콘크리트의 급격한 유동성 손실은 개선될 수 있다.

### 4.2 알칼리 골재 반응

알칼리 활성 시멘트에는 OPC와 달리 Ca(OH)<sub>2</sub>가 존재하지 않는다. 일반적으로 고로 슬래그 또는 플라이애쉬는 OPC 콘크리트에서 알칼리 골재반응 제어에 효과적이라고 알려져 있다. 또한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 무존재도 알칼리 골재 반응을 감소시키는데 유리하다. 하지만 알칼리 활성 시멘트에서 Na<sub>2</sub>O는 일반적으로 3% 이상으로서 0.8%인 OPC에 비해 현저히 증가하므로 알칼리 골재 반응이 일어날 가능성이 있다. 비록 몇몇 연구<sup>15)</sup>들은 알칼리 활성 시멘트에서 약 80%의 알칼리가 수화생성물에 의해 구속되기 때문에 알칼리 골재 반응은 거의 발견되지 않음이 보고 되고 있지만 이들 구속기구에 의한 알칼리 골재 반응의 제어에 대해서는 명확한 이론적, 실험적 확인이 아직 이루어지지 않았다.

만일 알칼리 활성 콘크리트에서 사용된 골재에서 실리카 양이 3~4%보다 높다면 알칼리 골재 반응이 일어날 가능성이 높기 때문에 골재의 적절한 선택에 의해 알칼리 골재 반응을 제어할 수 있음이 Pu 등에 의해 제시되고 있다.

### 4.3 백화

콘크리트에서 백화의 주요 원인은 내부 수분의 증발과 함께 알칼리 성분들이 표면으로 스며 나와 공기 중의 CO<sub>2</sub>와의 반응

표 6. 규산 2칼슘이 혼입된 알칼리 활성 모르타르의 플로우 및 압축강도

C <sub>2</sub> S/결합재 (%)	플로우(mm)			압축강도(MPa)		
	초기	30분	60분	1일	7일	28일
0.5	213.5	181	177.5	5.03	19.77	28.9
1	217.5	184	186	4.58	18.94	27.9
2	192.5	184	177.5	4.86	17.56	26.6

에 의한 것이다. 백화는 장기적인 고온 다습 조건에서 주로 발생하므로 초기 양생에서 95% 이상의 상대습도를 유지하면서 단기적인 수화 반응을 유도하면 백화를 상당히 줄일 수 있다. 하지만 현장 적용을 고려할 때 알칼리 활성 콘크리트에서 백화 현상을 아주 피할 수는 없다.

#### 4.4 강도 변화

알칼리 활성 콘크리트의 강도 발현은 모재인 고로 슬래그 또는 플라이애쉬의 화학적 조성, 활성화제 종류 및 첨가량 그리고 양생온도에 의해 영향을 받기 때문에 OPC 콘크리트에 비해 제어가 다소 어렵다. 일반적으로 알칼리 활성 콘크리트의 강도발현을 위한 최적의 활성화제는 모재의 화학적 조성에 의해 결정된다. 뿐만 아니라 양생온도가 강도 발현에 미치는 영향도 사용 모재 및 활성화제에 의해 영향을 받는다.

〈표 7〉에는 알칼리 활성 콘크리트의 양생 조건에 의한 28일 강도 변화를 나타내었다. 활성화제로서 규산나트륨만 사용한 경우에는 양생온도가 높을수록 강도가 저하하였다. 특히 양생온도가 85℃인 경우 심각한 강도 저하가 나타났다. 반면 규산나트륨과 수산화나트륨이 동시에 활성화제로 이용된 경우에는 양생온도와 양생시간의 영향을 거의 받지 않았다. Hardjito 등<sup>5)</sup>은 플라이애쉬를 규산나트륨과 수산화나트륨에 의해 활성화 시킨 콘크리트에서 양생온도가 60℃일 때 30℃의 온도일 때에 비해 압축강도가 약 2배 이상 상승함을 보였다. 또한 양생온도 60℃일 때 100시간의 양생온도는 20시간에 비해 2배의 압축강도가 상승할 수 있음을 지적하였다. 따라서 알칼리 활성 콘크리트의 압축강도 조절을 위한 배합 및 양생조건은 OPC 콘크리트에 비해 많은 예비 실험과 주의가 요구된다.

표 7. 양생조건에 따른 알칼리 활성 콘크리트의 28일 압축강도

양생조건		활성화제	
온도(℃)	시간(hrs)	규산나트륨	규산나트륨 + 수산화나트륨
21	-	52.4	53.1
	12	50.1	46.2
55	18	48.2	48.1
	24	48.8	48.9
85	12	35.7	53.6
	18	18.4	53.4
	24	19.1	47.7

#### 5. 적용 예

〈표 8〉에는 현재 알칼리 활성 콘크리트가 일반적으로 적용되고 있는 분야를 나타내었다. 이전의 소련에서는 22층의 건물을 포함하여 1989년도까지 3백만 m<sup>3</sup> 이상의 알칼리 활성 슬래그 콘크리트가 사용되었다. 우크라이나 공화국의 Kiev 시멘트 공장은 100 MPa 이상의 알칼리 활성 콘크리트를 생산하여 구조체에 적용하였다. 미국에서는 Blue Circle America and Shell Oil 사에 의해 알칼리 활성 콘크리트가 기름 저장탱크에 부분적으로 사용되기 시작하였다. 약 70여 기름 저장탱크에 부분 사용된 이들 알칼리 활성 콘크리트는 약 \$3,500만의 이득을 주었기 때문에 일부 전문가들은 10년 내에 기름 저장탱크에 사용되는 콘크리트의 50% 이상이 알칼리 활성 콘크리트로 대체될 것을 예견하고 있다. 중국에서는 급결과 높은 초기강도가 요구되는 공항, 염해 피해가 우려되는 항구 및 호수, 내산성이 요구되는 화학공학 및 토목공학 등의 인프라 시설물들에 알칼리 활성 콘크리트를 적극 이용하고 있다. 루마니아, 불가리아, 핀란드 및 폴란드에서는 15~25년 전부터 도로, 터널 및 건축물 등에 알칼리 활성 콘크리트를 적용하고 있다.

알칼리 활성 콘크리트는 미래가 요구하는 대표적인 친환경 콘크리트로서 역학적 성능들도 OPC에 비해 뛰어날 뿐만 아니라 비용 절감 효과도 크기 때문에 그 적용 범위는 계속 증가될 것이다. 특히 OPC 콘크리트에 비해 고온에서 현저히 빠르고 높은 초기 강도 발현 성능은 프리캐스트 콘크리트 적용에 매우 유리할 수 있다<sup>3)</sup>.

#### 6. 결론

알칼리 활성 콘크리트의 속성 및 적용 사례로부터 알칼리 활성 콘크리트는 OPC의 대체재보다는 새로운 콘크리트 재료로서 평가되어야 할 것이다. 미래가 요구하는 친환경성과 우수한 구조적 성능은 알칼리 활성 콘크리트의 적용성이 증가할 수 있는 필요충분조건이다. 알칼리 활성 콘크리트의 적용이 지속적으로 증가하는 미국, 유럽 및 중국의 상황을 고려할 때 알칼리 활성 콘크리트 개발에 대한 우리의 관심과 노력이 필요한 때이다. 국내의 여건에 부합하는 성능이 개선된 알칼리 활성 콘크리트의 개발 및 실용적 적용을 위한 정부와 산업계의 의식전환과 연구자들의 능동적 참여를 기대한다. □

표 8. 알칼리 활성 콘크리트의 적용분야(Roy<sup>®</sup>)

Roads	Agriculture	Industrial	Residential	Mining	Hydraulic
Heavy-duty pavements cast in situ and pre-cast: reinforced	Cast in situ and pre-cast concrete: storage	Acid-resistant buildings: garages; floor slabs; foundations	Pre-cast and in situ concrete buildings: foundations	Oil well grouts: ties; sealing; prevent water penetrations	Irrigations systems: break waters

## 참고문헌

1. Mehta, P. K., "Reducing the Environmental Impact of Concrete", *Concrete International*, Vol. 23, No. 10, 2001. 10, pp. 61 ~ 66.
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트 혼화재료", 기문당, 1997.
3. Glukhovskiy, V. D., *Soil Silicates*, Gosstroizdat, Kiev, 1959.
4. Wang, S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., and Pratt, P. L. "Alkali-Activated Slag Cement and Concrete: a Review of Properties and Problems", *Advances in Cement Research*, No. 27, 1995, pp. 93 ~ 102.
5. Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., and Rangan, B. V., "On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", *ACI Materials Journal*, Vol. 101, No. 6, 2004, pp. 467 ~ 472.
6. Xu, H. and Van Deventer, J. S. J., "The Geopolymerisation of Alumino-Silicate Minerals", *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 59, 2000, pp. 247 ~ 266.
7. Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer, J.S.J., and Lorenzen, L., "The Potential use of Geopolymeric Materials to Immobilize Toxic Metals: Part I", *Theory and Applications in Mineral Engineering*, Vol. 10, 1997, pp. 659 ~ 669.
8. Liao, X. and Gu, J., "A calorimetry Study of Alkali Activated Slag", *Chinese Ceramic Society*, Vol. 9, 1990, pp. 20 ~ 25.
9. Pu, X. C., *Summary Reports of Research on Alkali-Activated Slag Cement and Concrete*, *Chongqing Institute of Architecture and Engineering*, 1988.
10. Palomo, A., Grutzeck M. W., and Blanco, M. T., "Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 1323 ~ 1329.
11. Glukhovskiy, V. D. and Pakhomov, V. A., "Slag-Alkali Cements and Concrete", *Budivelnik*, 1978.
12. Wu, C. et al., "Properties and Application of Alkali-Slag Cement", *Journal of China Ceramic Society*, Vol. 21, 1993, pp. 176 ~ 181.
13. Byfores, K. et al., "Durability of Concrete Made with Alkali-Activated Slag", 3rd International Conference on Fly Ash, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, SP 114-70, 1989, pp. 1429 ~ 1466.
14. Kukko, H. and Mannonen, R., "Chemical and Mechanical properties of Alkali-Activated Blast Furnace Slag", *Concrete Research*, 1982, pp. 16.1 ~ 16.16.
15. Tailing, B., and Brandstetr, J., "Present State and Future of Alkali-Activated Slag Concrete," 3rd International Conference on Fly Ash, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, SP 114-74, 1989, pp. 1519 ~ 1546.
16. Roy, D. M., "Alkali-Activated Cements: Opportunities and Challenges", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 249 ~ 254.

## 원고 모집 안내

[한국콘크리트학회지]는 콘크리트 관련 학문과 기술에 대한 정보를 제공하기 위해 발행되고 있습니다. 본 학회지를 통해서 자신의 연구 결과, 경험한 사례 등을 콘크리트 관련 기술자들과 함께 나누길 원하시는 분께서는 다음과 같은 형태로 참여하실 수 있습니다. 여러분의 옥고를 기다리겠습니다.

- 원고 주제 : 포토에세이(사진, 서예, 시 등), 특집기사, 기술기사, 공사기사, 원로와의 대화, 해외번역기사, 해외연구소 소개, 국제학술대회 참가기, 현장탐방, 논단, 우리회사소개\* 등
- 원고 분량 : 4매 ~ 6매 내외(A4용지 기준)
- 제출처 : TEL : (02)568-5985~7 FAX : (02)568-1918 E-mail : kke@kci.or.kr

## 우리회사소개\* 원고 모집

우리회사소개 코너는 우리 학회의 6,000여 회원 및 단체에게 회사를 홍보할 수 있는 기회입니다. 우리회사소개란에 소개하고자 하는 회사나 단체, 연구소, 벤처기업 등은 아래와 같이 원고를 투고하실 수 있습니다.(단, 지난 5년 동안 우리회사소개나 벤처기업소개란에 소개되었던 회사는 제외하오며, 학회 특별회원사에게 우선권을 부여 합니다.)