

# 제올라이트 콘크리트의 기초 물성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Fundamental Properties of Zeolite Concrete

조 병 완<sup>1)</sup>      최 지 선<sup>2)\*</sup>  
Jo, Byung Wan      Choi, Ji Sun

### Abstract

Since the cement industry is expected to face serious setbacks in the near future associated with environmental concerns. With the advent of new technologies and increased public awareness about global environmental issues, the cement industry is actively seeking to adopt new technologies as part of an effort to diversify its resources. This study is designed to assess the fundamental properties of zeolite cement concrete which consists mainly of natural zeolite, which is known for removal of and harmful gas, ion exchange capacity removing cation contaminant including heavy metals and ammonia, absorptive capacity and molecular sieving effect together with excellent insulation capacity as a porous material, and recently draws much attention for its possibility as an alternative material to cement. The study was conducted to show the compressive strength of concrete, slump, bleeding and air volume according to the changes of natural zeolite and alkali activator(NaOH). As a result of measuring the compressive strength of natural zeolite concrete, it was almost 40MPa and displayed similar to general concrete in the tests of slump, bleeding and air volume, with which it was considered that it may be used as a future high performance, high performance construction material.

**Keywords** : Natural Zeolite, Alkali-activator, High-performance construction material

### 1. 서론

국내 시멘트 및 콘크리트 산업은 지난 반세기 동안 국내 건설 산업에서 중추적인 역할을 담당하면서, 양적-질적으로 비약적 성장을 지속해 왔다. 그러나 시멘트나 콘크리트가 지닌 건설재료로서 여러 장점에도 불구하고 최근 건설 산업의 위축과 천연자원의 고갈 및 온실가스 배출 등의 환경문제가 대두됨에 따라 신개념의 건설자재의 개발의 필요성에 직면해 있다. 이 때문에 여러 가지의 콘크리트용 재료와 제조방법이 개발되어 왔는데 여기서는 최근에 새로이 검토되고 있는 재료로서 제올라이트에 관하여 알아보려고 한다.

제올라이트는 이온교환능, 흡착능 및 분자체효과를 가지기 때문에 화학공업 분야를 위시하여 요업, 제지업, 제약업, 에너지 및 환경에 이르기까지 매우 다양하게 활용되고 있다.

그러나 이러한 분야에서는 높은 결정성과 순도를 가진

합성제올라이트가 주로 사용되고 있으며, 천연제올라이트는 대부분 제지용 필러, 토질개량제 및 사료첨가제 등의 분야에서 사용되고 있다. 양질의 천연제올라이트를 콘크리트용 혼화재로 사용하는 경우 천연제올라이트의 포졸란 반응이 수화초기부터 시작되어 강도증진 및 투기성을 감소시키고 알칼리 골재반응의 억제효과 등 콘크리트의 물리적 성질을 개선시키는 역할을 한다고 보고되고 있다.

천연제올라이트는 1756년 스웨덴의 광물학자 Cronstedt에 의해 처음 발견된 후 지금까지 전 세계적으로 약 40종이 발견되었다. 또한 천연적으로 존재하지 않는 구조의 합성제올라이트의 경우는 1938년 Barrer가 최초로 수열합성에 의하여 모더니이트를 합성한 이후 현재까지 100여종 이상의 합성제올라이트가 보고되었다.

우리나라의 천연제올라이트의 산출지는 제3기 퇴적층 지역인 포항(구룡포), 경주(감포) 및 울산 일원에 주로 분포되어 있다. 천연제올라이트는 성인상으로 벤토나이트 및 산성백토와 같기 때문에 호층을 이루고 산출되며 서로

1) 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

2) 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, 교신저자

\* Corresponding author : opt506@naver.com 02-2220-0327

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

밀접한 관계를 갖는다. 국내산 천연제올라이트 광물에서 X-선 회절법에 의하여 동정된 제올라이트는 클리노프틸로라이트와 모더나이트이며 상대적으로 전자가 후자보다 양적으로 우세하다고 알려져 있다.

이러한 천연제올라이트는 국내에 상당량 매장되어 있어 이를 시멘트 및 콘크리트 주원료로 사용할 뿐만 아니라 신개념의 건설소재로 개발한다는 측면에서 의미가 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국내산 천연제올라이트와 알칼리 활성화제(NaOH)를 사용한 콘크리트의 강도특성과 슬럼프시험, 공기량시험 및 응결시험 등을 하였으며 그 결과를 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 제올라이트

본 실험에서는 경상북도 경주 인근지역인 감포에서 채취하여 분쇄한 천연제올라이트를 사용하였으며, 그의 비중은 2.16이고 화학조성은 Table 1에 나타났다. 입도분석기에 분쇄한 천연제올라이트의 입도분석결과 천연제올라이트 시료의 중간 입경은 5.39  $\mu\text{m}$ 이었다. 그리고 이 시료의 비표면적은 885,500  $\text{cm}^2/\text{g}$ 이었다. 제올라이트의 크기와 분말의 모양은 Fig. 1과 같다.

Table 1 Physical Properties of Zeolite

Type	Size	Fineness	Specific gravity
Zeolite	5.39 $\mu\text{m}$	885,500 $\text{cm}^2/\text{g}$	2.16

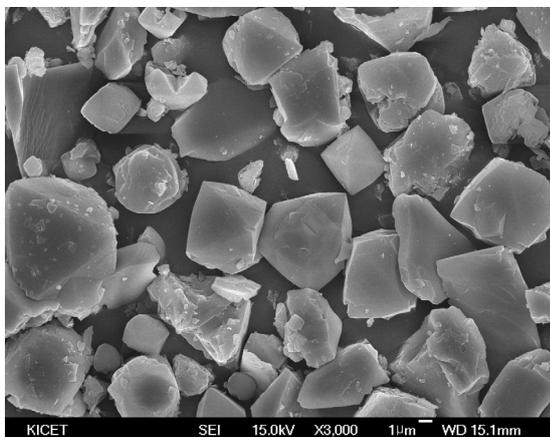


Fig. 1 FE-SEM image of zeolite

Table 2 Chemical Compositions of Natural Zeolite

Type (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O
Zeolite	66.74	12.77	2.10	2.71	0.41	4.02	0.46	2.31

Table 3 Chemical Composition of Port-land Cement

Type (%)	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>	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O
Port land Cement	20.36	5.77	2.84	64.33	2.05	2.51	1.3	0.3	0.24	-

천연 제올라이트의 화학성분 비율을 살펴보면 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO 순으로 그 함량이 많으며, 일반 포틀랜드 시멘트의 화학성분에 비하여 CaO 성분이 극히 적은 것으로 나타났다. 즉 화학성분 비율을 살펴 볼 때 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분이 주를 이루고 있으며, 이는 포졸란 활성화에 기여하는 성분으로 알려져 있다. 천연제올라이트의 화학적 구성은 Table 2이며 보통 보틀랜드 시멘트의 화학적 구성은 Table 3과 같다.

#### 2.1.2 알칼리 활성화제

소성물의 활성화 방법은 크게 두가지로 나누어진다. 하나는 CO, CO<sub>2</sub>와 같은 활성화 gas를 이용하여 비교적 고온에서 활성화를 수행하는 물리적 활성화(physical activation) 방법인데, 이는 소성물과 gas를 반응시켜 그 반응에 따라 소성물의 결정구조에 공간을 형성시켜 세공을 형성시키는 방법이다. 다른 하나는 약품활성화제를 이용하는 화학적 활성화(chemical activation) 방법으로 탈수와 산화 그리고 침식현상으로 다공성 흡착체를 형성하는 것이다. 활성화제로는 KOH, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 등과 같은 염기성의 약품과 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, ZnCl<sub>2</sub>, AlCl<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub> 등과 같은 산성의 무기산을 사용한다.

본 연구에서 제올라이트의 주요 성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로써, 화학적으로 안정한 상태를 가진 결정형 규산 알루미늄(Alumino-Silicate)으로 일정한 크기의 미세기공과 규칙적인 배열을 가진 것으로 나타났다. 이러한 실리카-알루미나 결합질이 견고하여 반응이 일어나기 위해서는 이 결합을 분해하여 내부의 반응 물질을 노출시켜야 한다. 따라서 실리카-알루미나 결합을 분해하기 위해 Table 4의 강알칼리성 물질인 NaOH를 사용하였다.

Table 4 Physical Properties of NaOH (Solution 50%)

Type	density	boiling point (°C)	melting point (°C)	pH
NaOH(50%)	1.525	145	12	13

Table 5 Physical Properties of Aggregate

Type	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Absolute volume (%)
Fine aggregate	2.57	0.95	1,512	2.48	60.5
Coarse aggregate	2.62	0.87	1,567	6.33	62.1

### 2.1.3 잔골재 및 굵은골재

본 연구에서는 잔골재로 국내 K사의 제품으로서 최대 입경이 0.6 mm 무수규사인 SiO<sub>2</sub> 성분을 가진 석영 알갱이로 된 잔골재를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 10 mm인 것을 사용하였다. 일반 포틀랜드 시멘트의 경우 압축강도, 휨강도, 크리프와 건조수축 등의 이유로 20~45 mm의 골재를 사용하나, 본 실험에서 사용한 제올라이트 분말의 크기를 고려해 볼 때 10 mm가 적합하다고 판단하였다. 사용된 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

### 2.2 실험 조건

콘크리트 슬럼프 시험은 KS L 2402(콘크리트의 슬럼프 시험)의 규정에 따라 시행하였으며, 공기량 측정에는 KS F 2401(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법)에 의한 방법으로 측정하였다. 또한 콘크리트의 응결시험은 KS F 2436(관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법)에 따라 실시하였다.

관입저항 시험시료는 굳지않은 콘크리트를 습식체가름하여 얻어진 모르타르 Ø150×150mm의 금속용기에 넣어 다진후 시료위에 젖은 천을 덮어 수분 증발을 억제한 상태에서 6회 이상의 시험을 실시하여 관입저항이 35kgf/cm<sup>2</sup> 일 때를 초결, 관입저항이 280kgf/cm<sup>2</sup>일 때를 종결로 하여 시험 실시하였다.

블리딩 측정은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험방법)에 의해 측정하였다.

Table 6 Mix proportion of Zeolite Cement Concrete Specimens

Mixture no.	Unit Weight(g)				
	ZC	NaOH	Fine aggregate	Coarse aggregate	
1	ZC-CS1	420	400	396	924
	ZC-CS2	420	400	436	884
	ZC-CS3	420	400	474	846
	ZC-CS4	420	400	516	804
	ZC-CS5	420	400	554	766
2	ZC-CN1	420	380	500	820
	ZC-CN2	420	400	500	820
	ZC-CN3	420	420	500	820
	ZC-CN4	420	440	500	820
	ZC-CN5	420	460	500	820

### 2.3 적정 배합비 도출실험

실험 배합비 도출을 위해서 본 연구에서는 2단계의 실험과정을 수행하였다. 알칼리 활성화 제올라이트 시멘트 모르타르의 배합비를 근거로 제올라이트 시멘트의 중량 대비 알칼리 활성화제 사용량과 잔골재율을 변화시켜 가면서 적정의 압축강도를 찾는 실험을 시행하였다. 알칼리 활성화제 사용량을 380~460 kg/m<sup>3</sup>까지 20 kg/m<sup>3</sup>씩 5단계로, 잔골재율을 30~42%까지 3%씩 5단계로 증가시키며 실험하였다. 배합비는 Table 6과 같다.

실험 변수에 따라 Table 6과 같이 각각의 배합비에 대해 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 준하여 Ø10×20 cm 크기의 압축 시험용 공시체를 제작하였다. KS F 2425(시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법)를 참조하여 비빔 방법을 결정하였다. 다짐은 봉다짐과 진동 다짐기를 병행하였다. 각 배합에 따라 제작된 공시체는 3, 7, 14, 28일에 대하여 압축강도, 할렐인장강도, 정탄성 계수 측정 실험을 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지 않은 상태의 제올라이트 콘크리트 특성

#### 3.1.1 슬럼프 시험

제올라이트 콘크리트의 각 실험 변수에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 값의 변화는 Fig. 2와 같다.

슬럼프 값의 범위는 13~27 cm로 실험변수에 따라 제올라이트 분말-알칼리 활성화제비가 증가할수록 슬럼프가 증가하였으며, 잔골재율이 증가할수록 슬럼프 또한 증가하

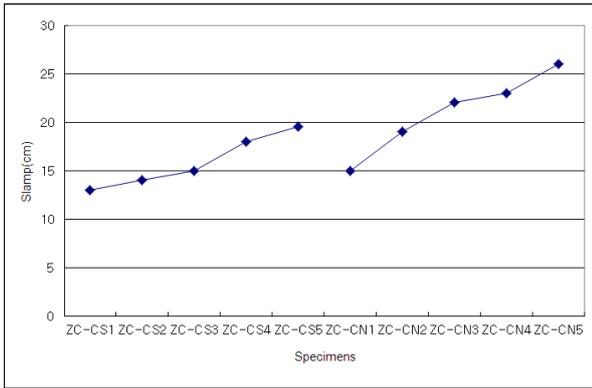


Fig. 2 Result of Slump Test

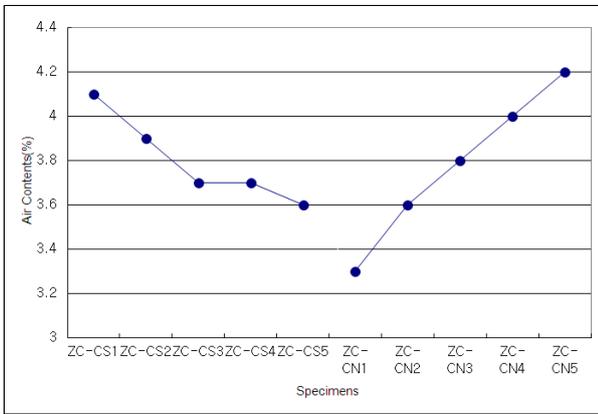


Fig. 3 Air Contents of Alkali Activated Zeolite-cement

는 것을 확인하였다. 특히 알칼리 활성화제로 사용한 NaOH의 증가 폭에 따른 슬럼프의 증가폭은 감소하는 데 이것은 NaOH수용액에 들어있는 수분에 의한 영향보다 NaOH의 점성에 의해 슬럼프가 감소되어지는 영향이 더욱 크게 미치기 때문이라고 판단되어진다. 그리고 잔골재율에 따른 슬럼프의 변화는 NaOH의 첨가량 변화에 따른 변화량 보다는 적게 작용하는 것으로 판단되어진다. 제올라이트 분말의 모양은 불규칙한 형상의 입자도 있으나 대부분 크기가 다른 구형 입자를 가지며 제올라이트 분말 입자의 최대 및 최소크기의 치수 차이가 작아져 입경이 균등하게 일정함을 알 수 있다. 또한 제올라이트 분말은 구형의 형상을 가져 골재와의 접촉면에서 마찰저항이 감소하여 유동성 증진에 영향을 미쳐 전체적으로 양호한 슬럼프를 가지는 것으로 판단되어진다.

### 3.1.2 공기량 시험

각 변수별 알칼리 활성화 제올라이트 콘크리트의 공기량 변화는 Fig. 3과 같이 나타났으며, 전체적인 공기량의

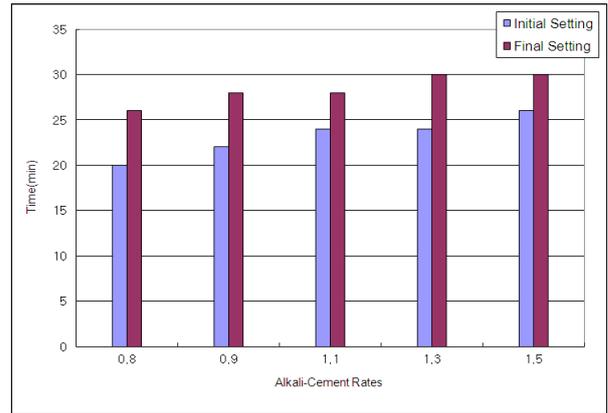


Fig. 4 Initial and Final Setting Time with Alkali-Cement Concrete Ratios

범위는 3.2~4.2%의 범위로 제올라이트 분말-알칼리 활성화제의 증가에 따라 증가하는 추이를 나타내고 있으며, 잔골재율이 증가할수록 공기량이 감소하는 것으로 나타나고 있다. 공기량이 적당히 분포하고 있어 워커빌리티 등 작업성과 강도면에서도 적당하다고 판단되어진다.

알칼리 활성화제의 양이 증가할수록 공기량이 증가하는 것은 알칼리 활성화제로 쓰인 NaOH수용액의 점성에 의해 골재와 골재사이 및 골재와 제올라이트 분말 사이에 막을 형성하여 콘크리트 비빔과정에서 갇힌 공기가 증가한 것으로 판단되어진다. 또한 잔골재율이 증가할수록 입자사이의 공극이 감소하여 콘크리트 속의 공기량이 감소하는 원인이 되는 것으로 판단되어진다.

### 3.1.3 응결시험

각 실험 변수에 따른 제올라이트 콘크리트의 초결 및 종결 도달시간은 Fig. 4에 나타나있다.

제올라이트 분말-알칼리 활성화제 비에 따라 차이가 발생하는 것으로 판단되어진다.

### 3.1.4 블리딩 시험

Fig. 5는 각 실험 변수별 블리딩량을 나타낸 것이다. 각 배합은 알칼리 활성화제만을 사용하여 NaOH수용액 상태의 수분이외에 첨가되어지는 것이 없기 때문에 자유수가 적고 블리딩도 적게 나타났다. 먼저, 제올라이트 분말-알칼리 활성화제비 변화에 따른 블리딩 특성은 알칼리 활성화제의 양이 증가 할수록 많이 발생하는 것을 알 수 있었고, 특히 초기에 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 초기에 알칼리 활성화제에 포함된 알칼리 이온만이 결정질을 녹이

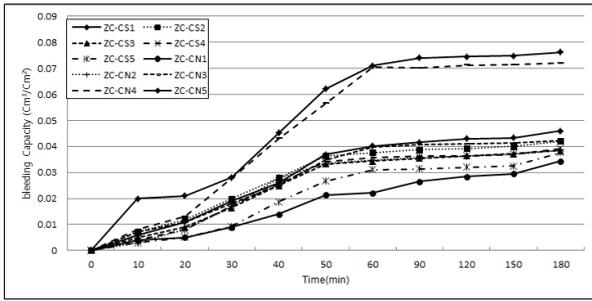


Fig. 5 Bleeding Capacity with Time

Table 7 Result of Compressive Strength

Specimens	Compressive Strength(MPa)			
	3Days	7Days	14Days	28Days
ZC-CS1	21.55	34.70	35.25	35.00
ZC-CS2	22.41	38.10	39.75	39.35
ZC-CS3	22.84	40.37	41.73	43.22
ZC-CS4	22.86	40.42	42.10	43.24
ZC-CS5	22.89	39.14	40.64	41.53
ZC-CN1	22.10	38.10	39.97	40.89
ZC-CN2	22.64	39.50	41.12	42.05
ZC-CN3	22.64	40.20	41.58	42.97
ZC-CN4	22.87	40.43	41.81	43.20
ZC-CN5	23.93	38.05	40.20	43.10

는 데 사용되어지고 나머지 잉여수는 초기에는 빠르고 쉽게 올라와 블리딩이 많이 증가되어지나 후에 수화물을 구성하면서 수분의 사용량이 급증하므로 블리딩이 감소되는 것으로 판단되어진다. 또한 잔골재의 양에 따라 블리딩의 변화가 관찰되지 않는 것으로 보아 블리딩과의 관계는 없는 것으로 파악되어진다.

제올라이트 콘크리트의 블리딩량은 기존 시멘트 블리딩 값의 10~20%수준에도 미치지 못하는 아주 작은 양이며, 이에 알칼리 경화 제올라이트 콘크리트는 재료 분리의 저항성이 크며 우수한 건설재료로서 활용방안이 넓은 것으로 판단되어진다.

### 3.2 경화 상태에서의 제올라이트 콘크리트 특성

#### 3.2.1 압축강도

재령 28일에서 모든 배합비에 대해 압축강도를 측정한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7에서 대부분의 실험체들은 40 MPa 이상으로 보이고 있어 구조용 부재로의 실용 가능한 수준으로 나타났다. 실험결과에서 나타나듯이 잔골재량이 적정수준에

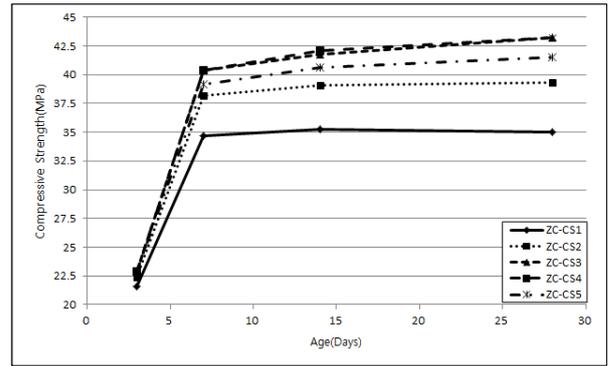


Fig. 6 Compressive Strength with Aggregate for Age

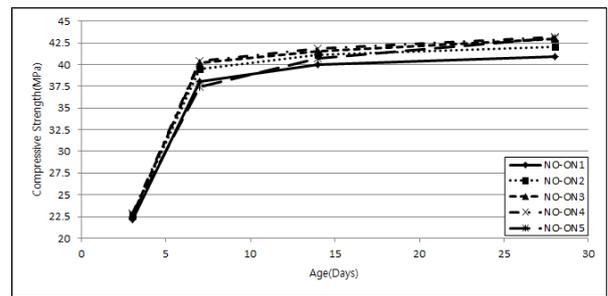


Fig. 7 Compressive Strength with NaOH Ratios for Age

도달하였을 경우 가장 큰 압축강도를 나타내는 것으로 보아 제올라이트 입자들이 굵은 골재와의 접합보다는 잔골재와의 결합력이 더 우수한 것으로 파악되어지며, 적정수준이상으로 잔골재의 양이 많아 질 경우에는 제올라이트 분말의 양이 감소하여 골재와 골재사이를 결합해주는 기능이 약화되는 것으로 파악된다. 또한 대체적으로 알칼리 활성화제의 양이 증가할수록 강도 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 적정 알칼리 활성화제 이상을 사용할 경우 오히려 강도 감소가 나타나고 있다. 이것은 알칼리 활성화제가 알칼리 경화에 가장 중요한 요소로 작용하며, 많은 알칼리 이온들이 증가하여 알칼리 반응을 촉진하므로 강도가 증가하지만, 경화 후 경화하고 남은 알칼리 이온들이 구조체 표면으로 올라와 시멘트의 백화현상과 비슷한 현상이 발생할 뿐만 아니라 알칼리 활성화제 자체가 구조체 속에서 남아서 공극을 형성하므로 적정량 이상을 사용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단되어진다.

Fig. 6과 Fig. 7은 잔골재율과 제올라이트 분말-알칼리 활성화제의 비율에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 6과 Fig. 7에서와 같이 제올라이트 콘크리트는 초기에 강도변화가 크게 나타나고 있는데 이는 알칼리 활성화제의 반응성이 매우 커서 초기에 거의 대부분의 강도를 발현

하는 것으로 파악되어진다. 또한 Fig. 7에서와 같이 NaOH 량이 증가할수록 초기의 강도증가폭은 줄어드는 것을 확인할 수 있는데 이는 잉여 NaOH들이 초기에 이온화되어 지지 못하고 입자와 입자 사이에 머물며 강도증진에 저해가 되지만 소비되어지는 이온을 보충해주는 역할을 하며 장기 강도에서 다소 증가폭이 커지는 것으로 판단되어진다.

### 3.2.2 활렬인장강도

본 연구에서는 모든 배합비에 대하여 활렬인장강도 공시체를 각각 3개씩 제작하여 재령 28일에 활렬인장강도를 측정된 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 모든 배합비에 대한 공시체의 활렬인장강도가 3.45~4.98 MPa의 값을 보이고 있다. 본 연구에서 실행하였던 압축강도 측정값을 이용하여 압축강도와 활렬인장강도의 비를 계산한 결과 8.47~10.16의 분포를 나타냈다. 일반적인 콘크리트의 활렬인장강도는 압축강도의 1/9~1/13 수준이며, 알칼리 경화 제올라이트 콘크리트의 활렬인장강도는 일반 콘크리트의 활렬인장강도와 유사한 결과를 나타내어 인장력에 취약한 특성을 알 수 있었다.

Fig. 9는 압축강도와 활렬인장강도의 실험결과를 나타낸 것이다. 보통 콘크리트의 경우 압축강도의 1/9~1/13정 이이며, 압축강도와 활렬인장강도의 관계가 비례관계가 성립되어진다. 하지만 제올라이트 콘크리트의 경우 비례 관계가 아닌 특정강도에서 최고 활렬인장강도가 나타나는 2차식의 회귀분석곡선이 나타난다.

### 3.2.3 탄성계수

탄성계수는 구조설계나 해석시 중요한 요소로서 부재

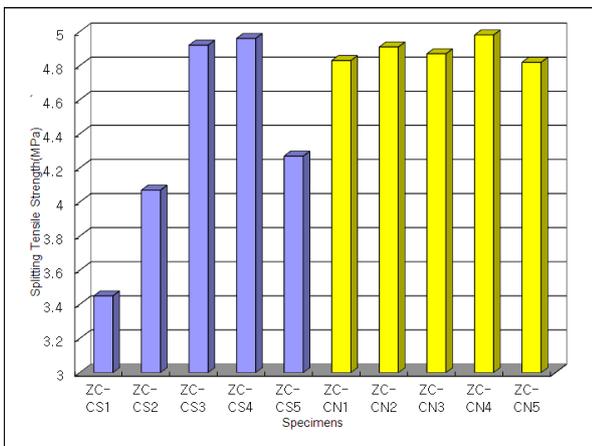


Fig. 8 Slitting Tensile Strengths for 28Days

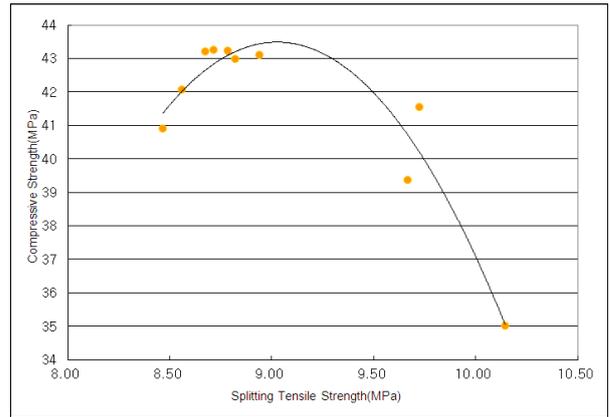


Fig. 9 Compressive Strength with Splitting Tensile Strength

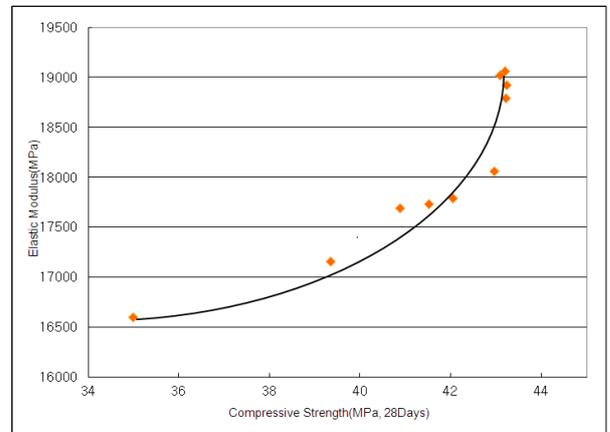


Fig. 10 Elastic Modulus for 28days Compressive Strength

의 변형성을 예측하는데 있어서나 응력-변형률 곡선을 모델링하기 위해 압축강도와 함께 필수적인 요소이다. Fig. 10에서는 각 배합별 28일 강도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 것이다.

일반 시멘트 콘크리트에서 압축강도로부터 탄성계수를 추정할 수 있는 것과 같이 알칼리 경화 제올라이트 콘크리트의 탄성계수도 압축강도가 증가할수록 증가하지만, 알칼리 활성제의 종류 및 제올라이트 분말의 성질에 의해서 탄성계수가 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되어지기 때문에 그에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되어진다.

### 3.2.4 건조수축

본 연구에서 제시한 배합표에서 ZC-CN2를 사용하였으며, 건조수축 변형률 측정용 콘크리트 공시체를 제작한 후 건조수축 변형률 다이얼 게이지를 사용하여 측정된 것을 Fig. 11에 나타냈다.

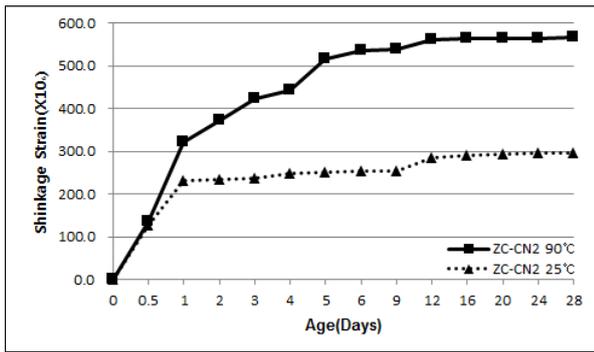


Fig. 11 Shrinkage Strain with Age(At 25°C and 90°C Cure Temperature)

Fig. 11에서와 같이 알칼리 경화 제올라이트 콘크리트의 건조수축 변형률은  $297\sim 597 \times 10^6$ 으로 나타났으며, 일반 콘크리트의 건조수축 변형률은  $400\sim 700 \times 10^6$ 이고 모르타르는 이 값의 약 3배, 시멘트 페이스트는 수배로 증가하며, 제올라이트 콘크리트와 비교했을 때 일반 콘크리트의 건조수축 변형률과 비슷한 변형률을 나타내는 것을 알 수 있다.

90°C의 건조로에 있었던 공시체의 경우 25°C에 보관했던 공시체보다 건조수축 변형률이 2배 이상 증가하였으며, 5일 안에 28일 건조수축 변형률의 91%의 수준을 보여주고 있어 초기의 변형이 매우 빠르게 일어나는 것으로 판단되어진다. 또한 25°C일 경우 5일 안에 85%가 10일에 28일 건조수축 변형률의 91%를 나타내어진다. 이는 25°C일 때가 90°C일 때보다 초기 변형률의 증가폭이 작은 적을 나타내고 있으며 이것으로 보아 온도가 높을수록 콘크리트 안에 있는 수분이 빨리 빠져나가 건조수축이 빨리 일어나는 것으로 파악되어진다.

#### 4. 결론

천연제올라이트를 이용하여 수화반응이 아닌 알칼리 활성화 반응으로 경화시킨 후 굳지 않은 상태와 경화된 제올라이트 콘크리트의 기초물성에 대해 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 슬럼프 값의 범위는 13~27 cm로 실험변수에 따라 제올라이트 분말-알칼리 활성화제비와 잔골재율이 증가할수록 슬럼프가 증가하였다. 제올라이트 분말은 구형의 형상을 가져 골재와의 접촉면에서 마찰저항이 감소하고 유동성이 증진하여 양호한

슬럼프를 가지는 것으로 판단되어진다.

- (2) 전체적인 공기량의 범위는 3.2~4.2%의 범위로 제올라이트 분말-알칼리 활성화제비의 증가에 따라 증가하는고 잔골재량이 증가할수록 공기량이 감소하는 것으로 나타났다.
- (3) 블리딩 특성은 알칼리 활성화제의 양이 증가 할수록 많이 발생하였다. 특히 초기에 급격하게 증가하는 것은 초기에 알칼리 활성화제에 포함된 알칼리 이온만이 결정질을 녹이는데 사용되고 나머지 잉여수는 초기에는 빠르고 쉽게 올라와 블리딩이 많이 증가되어지나 후에 지오폴리머 결합에서 수분의 사량이 급증하므로 블리딩이 감소되는 것으로 판단되어진다.
- (4) 제올라이트 콘크리트의 압축강도는 알칼리 활성화제의 반응성이 커서 초기에 거의 대부분의 강도를 발현하는 것으로 파악되어지며, 알칼리 활성화제 양이 증가할수록 초기의 강도증가폭은 감소하였다.
- (5) 건조수축 변형률은  $297\sim 597 \times 10^6$ 으로 나타났으며, 90°C의 건조로 공시체의 경우 25°C의 공시체보다 건조수축 변형률이 2배 이상 증가하였으며, 5일 안에 28일 건조수축 변형률의 91%의 수준을 보여주고 있어 초기의 변형이 매우 빠르게 일어나는 것으로 판단되어진다.

#### 참고문헌

1. 김태섭, 제올라이트를 사용한 高强度 輕量콘크리트에 관한 實驗的 研究, 한양대학교 대학원 박사학위논문, 1993년 12월.
2. 김화중, "A Study on Investigation for Effectiveness of Natural Minerals with Silica-component as Admixture for Concrete", 한국콘크리트학회논문집, 제6권 3호, 1994년 6월, pp.201-214.
3. 이장용, 한재영, 최재진, "천연제올라이트를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제17권 1-6호, 1997년 11월, pp.855-865.
4. 최재진, "A Study on the Properties of Concrete Using Zeolite", 한국콘크리트학회논문집, 제10권 5호, 1998, pp.205-216.
5. 한재영, 천연제올라이트를 混和材料로 사용한 콘크리트의 물성에 관한 研究, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1995.
6. Feng Naiqian, Ma Changchen and Ji Xihuang, "Natural Zeolite for Preventing Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction", Cement Concrete Aggregates, vol. 12, No. 2, 1992, pp.93-96.
7. W. M. Meier and D. H. Olson, "Atlas of Zeolite Structure Types", Butter-worths, 1987, pp.5-103.
8. Wang Hong and Gillot, Jack E., "Effect of Three Zeolite-containing Natural Pozzolan Materials on

---

Alkali-Silica Reaction”, Cement Concrete Aggregates, vol. 15, No. 1, 1993, pp.24-30.

9. Y. C. Park, T. G. Kim and S. S. Youn, “Treatment method of waste water used quartz porphyry”, 10-1996-0046001, October 15(1996).
10. Y. Kasai, K. Tobinai, E. Asakura, and N. Feng “Comparative Study of Natural Zeolites and Other Inorganic Admixtures in Terms of Characterization and Properties of Mortars”, CANMET/ACI 4th Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI-132, 1992, pp.615-634.

(접수일자 : 2011년 4월 8일)

(수정일자 : 2011년 8월 22일)

(심사완료일자 : 2011년 9월 2일)

---

## 요 지

오늘날 첨단산업의 발전과 지구환경 문제의 심각성에 대한 인식이 증가하여 시멘트 산업에서도 다각화 측면에서 다양한 종류의 기술들이 활성화되고 있는 시점이다. 본 연구에서는 최근에 새로이 검토되고 있는 시멘트 대체 재료로서 천연제올라이트를 주 원료로 사용한 제올라이트 시멘트 콘크리트에 관한 기초 물성에 대해 분석하는데 목적이 있으며, 약취 및 유독가스 제거기능이 우수하며 중금속, 암모니아와 같은 양이온성 오염물질을 제거하는 이온교환능, 흡착능, 분자체효과를 가지며 또한 다공성 물질이라 보온능력이 좋은 것으로 알려진 천연제올라이트와 알칼리 활성화제(NaOH)의 양에 따라 콘크리트의 압축강도, 슬럼프, 블리딩 및 공기량 등을 실험하였다. 천연제올라이트 콘크리트의 압축강도 측정결과 거의 40MPa정도로 측정되었으며 슬럼프, 블리딩, 공기량 시험에서도 일반 콘크리트와 비슷한 성능을 나타내어 향후 고성능, 고기능성 건설재료로 사용 가능하다고 판단되어진다.

**핵심 용어** : 천연제올라이트, 알칼리 활성화제, 고기능성 건설소재

---