

새로운 콘크리트용 材料로 기대되는 天然제올라이트

최 재 진

〈국립천안공업전문대학 토목과 조교수〉

이 창 용

〈국립천안공업전문대학 공업화학과 조교수〉

1. 序 言

오늘날 구조물은 점차 대형화, 초고층화의 추세에 있으며 해양 구조물이나 원자력 발전소, 프리캐스트 제품 등 특수한 용도로의 사용이 많아지고 있어 용도에 따라 특수한 물성이 요구되거나 또는 고품질, 고강도의 콘크리트에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 이 때문에 여러 가지의 콘크리트용 재료와 제조방법이 개발되어 왔는데 여기서는 최근에 새로이 검토되고 있는 재료로서 천연제올라이트(natural zeolite)에 관하여 알아보려고 한다.

제올라이트는 이온교환능, 흡착능 및 분자체 효과(molecular sieving effect)를 가지기 때문에 화학공업 분야를 위시하여 요업, 제지업, 제약업, 에너지 및 환경에 이르기까지 매우 다양하게 활용되고 있다. 그러나 이때 사용되는 제올라이트는 합성제올라이트가 대부분이며 천연제올라이트는 결정성이 낮고 불순물을 함유하고 있기 때문에 일부분야에서만 한정적으로 이용되고 있는 실정이다. 따라서 천연제올라이트의 활용방안을 개발하는 측면에서 콘크리트용 재료로 사용하는 방법이 시도되고 있는데 천연

제올라이트를 소성에 의해 팽창시킴으로써 人工輕量骨材로 활용하는 방법(1,2), 천연제올라이트가 시멘트와 함께 사용될 때 水硬性을 가지는 점을 이용하여 시멘트 助材로 활용하는 방법(3-11), 제올라이트 細孔內 물과 공기를 가열 치환함으로써 기포콘크리트용 발포재로서 활용하는 방법(12) 등이 고려되고 있다.

이러한 천연제올라이트는 국내에 상당량 매장되어 있어 이를 콘크리트용 재료로 활용하기 위한 연구는 콘크리트의 성능개선 뿐 아니라 국내의 자원을 유효하게 이용한다는 측면에서 매우 의미가 있다고 생각된다.

이하에서는 천연제올라이트의 혼화재로서의 특성과 더불어 인공경량골재와 기포콘크리트용 발포재로서의 이용방안 등에 대하여 문헌을 인용하여 고찰하였다.

2. 천연제올라이트의 현황

천연제올라이트는 1756년 스웨덴의 광물학자 Cronstedt에 의하여 처음 발견된 이래 현재까지 전세계적으로 약 40종이 발견되었다. 또한 천연적으로는 존재하지 않는 구조의 합성제올라이트의 경우 1938년 Barrer가 최초로 水熱合

成(hydrothermal synthesis)에 의하여 모더나이트(mordenite)를 합성한 이후 현재까지 100여종 이상의 합성제올라이트가 보고되었다.

국내에서는 천연제올라이트가 1960년대부터 경북 영일지역에서 개발되어 왔고 1970년대 말에는 학계의 많은 연구가 이루어져 경북 영일-감포 지역에 매장된 천연제올라이트의 광물학적 특성이 보고된 바 있다.

우리나라의 천연제올라이트의 산출지는 그림-1에 나타낸 바와 같이 第三紀堆積層 지역인 포항, 감포 및 울산지역에 주로 분포되어 있다. 천연제올라이트는 成因上으로 벤토나이트(bentonite) 및 산성백토와 같이 때문에 互層을 이루고 산출되며 서로 밀접한 관계를 갖는다. 국내산 천연제올라이트 광물에서 X-선 회절법에 의하여 同定된 제올라이트는 클리노프틸로라

이트(clinoptilolite)와 모더나이트(mordenite)이며 상대적으로 클리노프틸로라이트가 모더나이트보다 양적으로 우세하다고 한다.

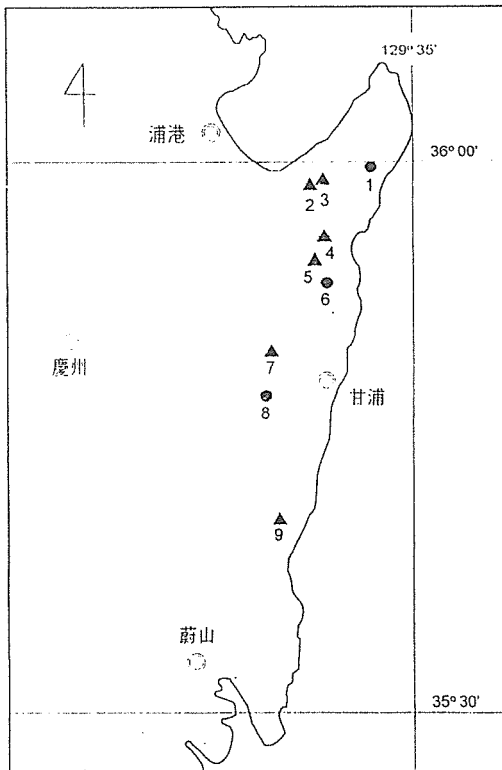
천연제올라이트를 시멘트 助材 또는 콘크리트용 혼화재료로 사용하는 경우에 있어서는 콘크리트의 강도가 증진되며 알칼리 골재반응의 억제효과가 있다고 보고되고 있으며 실제로 중국에서는 시멘트 생산량의 약 1/3에 해당하는 연간 7천만톤 정도는 천연제올라이트를 혼합한 시멘트로서 생산되고 있다.⁽¹³⁾ 그러나 국내의 경우는 양질의 천연제올라이트가 광범위하게 분포되어 있으며 매장량도 풍부한 것으로 알려져 있으나 현재 제지용 필러, 토질개량제, 사료첨가제 등으로 일부 사용하는데 그치고 있는 실정이다.

3. 천연제올라이트의 기초적 성질

3-1. 제올라이트의 구조

제올라이트는 이동 및 이온교환 그리고 가역적 탈수가 자유로운 이온과 물로 채워진 空洞(cavity)을 지닌 결정성 구조의 aluminosilicate라고 정의되기도 하는데 제올라이트 결정층의 물을 반복하여 吸脫着시켜도 구조는 거의 변화하지 않는다. 공동의 크기는 제올라이트의 종류에 따라 차이는 있으나 數Å 단위로 균일하다. 이러한 분자크기의 공동은 용액이나 가스 등의 분자의 大小를 선별하는 체의 역할을 하기 때문에 분자체(molecular sieve)라 하는 별명이 있으며 공업분야에서 이용되는 중요한 성질이다.

표-1은 질소흡착법에 의해 국내산 천연제올라이트의 비표면적, 세공용적 및 평균세공경을 측정한 예이다. 천연제올라이트 시료의 비표면적은 60-90m²/g으로서 합성 제올라이트의 비표면적과 비교하면 작지만 시멘트나 플라이애쉬와 비교하여 대단히 크다. 또한 평균세공경이 50Å 정도로 매우 작으며 세공용적이 큰 것을 알 수 있다.



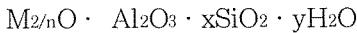
● : zeolite, ▲ : zeolite and bentonite.

<그림 1> 천연제올라이트가 확인된 지역⁽¹⁴⁾

〈표 1〉 천연제올라이트의 BET 비표면적, 세공용적 및 평균세공경^(5,6)

비교면적 (m ² /g)	세공용적 (cc/g)	평균세공경 (Å)
60 - 90	0.11	53.0

제올라이트의 구조는 [SiO₄]⁴⁻ 및 [AlO₄]⁵⁻ 배위 다면체로 구성되어 있으며 [SiO₄]⁴⁻ 및 [AlO₄]⁵⁻의 사면체는 서로 산소를 공유하며 3차원적으로 연결되어 있다. 따라서 제올라이트 격자구조는 음전하를 띠게 되며 이러한 전하의 불균형은 제올라이트에 존재하는 양이온에 의하여 보상되기 때문에 이온교환능과 흡착능을 가진다. 제올라이트는 일반적으로 다음과 같은 식으로 나타낸다.

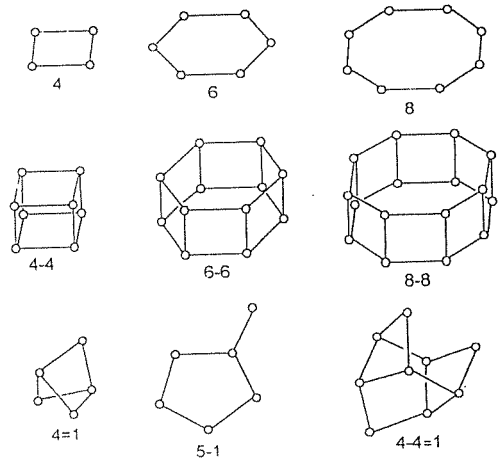


M은 제올라이트에 존재하는 양이온을 나타내는데 알칼리금속이나 알칼리토금속이온이 일반적이지만 다른 종류의 금속이나 비금속이온 그리고 NH₄⁺, TMA (tetramethylammonium) 등의 질소를 포함하는 유기 양이온과 H₃O⁺(H⁺) 등도 가능하다. n은 M의 원자가를 나타낸다.

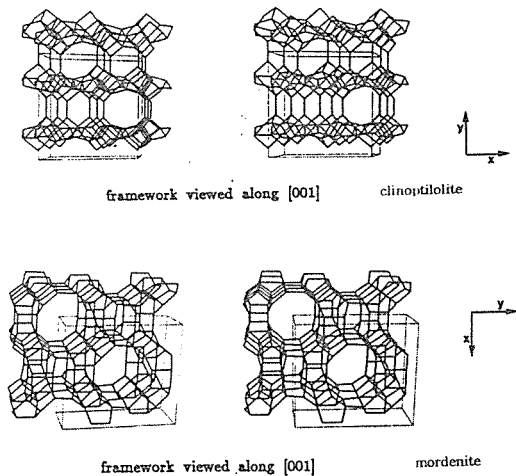
제올라이트의 분류는 통로(channel)의 형태, cage의 유무, 기공크기(pore opening) 등에 따른 분류가 간편하지만, 매우 복잡한 구조 특성을 파악하기 위해서 도입된 구조구축단위(structural building unit)에 따른 분류가 일반적이다. 구조구축단위에서 기본구축단위(primary building unit)는 [TO₄] 정사면체이며 조립구축단위(secondary building unit, SBU)는 이 사면체들의 기하학적 결합으로 구성된다. 지금까지 알려진 제올라이트의 SBU는 9가지이며 그림-2에 나타난 바와 같다.

그림-3은 천연제올라이트의 주성분이라 할 수 있는 클리노프틸로라이트와 모더나이트의 격자

구조를 나타낸 것이다. 클리노프틸로라이트 및 모더나이트의 SBU는 각각 4-4=1과 5-1로 밝혀져 있다.



〈그림 2〉 제올라이트의 구조구축단위⁽¹⁵⁾



〈그림 3〉 제올라이트의 격자구조⁽¹⁵⁾

3-2. 화학성분 및 광물조성

경상북도의 3개 광원에서 채취한 천연제올라이트의 화학성분 및 비중을 측정된 결과를 표-2에 나타내었다.

천연제올라이트는 SiO₂ 와 Al₂O₃의 함량이 각각 70% 및 13% 정도로서 이 두 주성분이 전

체의 80% 이상을 차지하며, 그밖에 각각 1-4% 정도의 Fe₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O와 소량의 MgO, TiO₂로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 비중은 2.10 - 2.32 정도로서 일반 암석과 비교할 때 가벼운 광물이다.

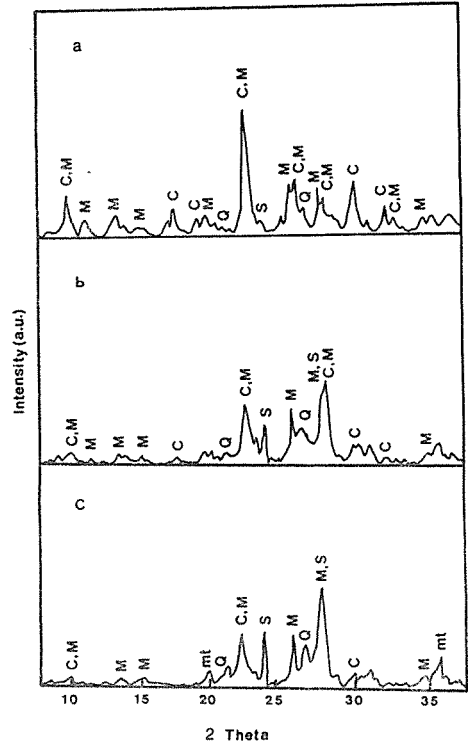
〈표 2〉 천연제올라이트 시료의 화학성분 및 비중⁽⁵⁾

시료	화학성분 (wt-%)									비중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Ig. loss	
NZ-1	66.74	12.77	2.10	2.71	0.41	2.31	4.02	0.46	8.48	2.10
NZ-2	69.68	13.54	2.37	2.32	0.78	1.99	3.83	0.60	4.87	2.16
NZ-3	72.76	13.86	1.23	2.74	0.49	1.56	4.46	0.36	2.54	2.32

그림-4는 이들 3種의 천연제올라이트 시료에 대한 X-선 회절도이다.

그림-4-a에서는 천연제올라이트인 클리노프틸로라이트(clinoptilolite) 및 모더나이트(mordenite)의 특성 피크가 지배적으로 나타나며 quartz와 장석의 피크도 나타난다. 피크들의 상대강도比를 분석해 보면 클리노프틸로라이트가 모더나이트보다 다소 우세하다. 그림-4-b에서는 클리노프틸로라이트와 모더나이트의 결정 피크의 상대강도가 앞의 그것들과 비교하여 작으며 장석 및 quartz를 나타내는 피크들의 강도는 상대적으로 증가한다.

그림-4-c의 X-선 회절도는 그림 4-b와 유사하지만 클리노프틸로라이트와 모더나이트의 피크의 상대강도가 그림-4-b와 비교하여 더 낮은 반면에 장석의 피크의 상대강도는 증가한다. 따라서 클리노프틸로라이트 및 모더나이트의 함량은 세 시료에서 다소 차이가 있을 수 있으며 그림-4-c에서는 粘土性 鑛物인 몬모릴로나이트(montmorillonite)의 피크도 뚜렷하게 나타나고 있어 이들을 콘크리트용 재료로 사용할 때 어느 정도의 특성차를 나타낼 것이 예상된다.



C : clinoptilolite, M : mordenite,
S : sanidine, Q : quartz,
mt : montmorillonite

〈그림 4〉 천연제올라이트 시료의 X-선 회절도⁽⁵⁾

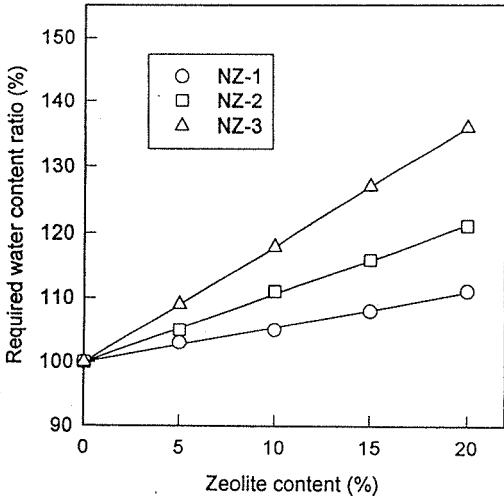
4. 콘크리트용 재료로서 천연제올라이트의 이용방안

4-1. 혼화재로서의 이용

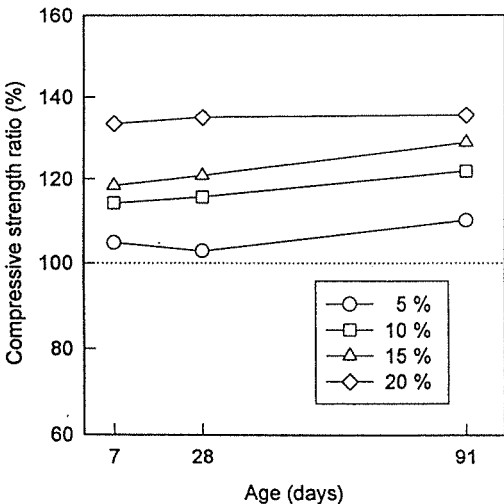
천연제올라이트를 미분쇄하여 혼화재로 사용하면 강도증진효과와 알칼리골재반응을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

필자의 실험예로서 No.200체를 통과시킨 천연제올라이트를 시멘트 중량에 대해 5-20% 첨가하고 여기에 그림-5에 나타난 바와 같이 천연

제올라이트를 첨가하지 않은 모르터(이하 control 이라 함)와 같은 플로우값을 얻기 위한 수량을 첨가하여 압축강도 시험한 결과를 그림-6 - 그림-8에 나타냈다.

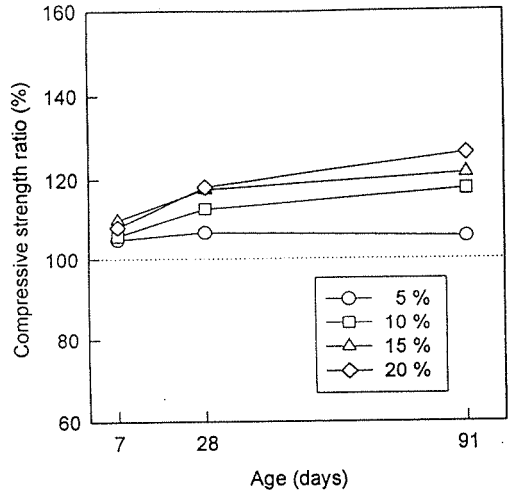


〈그림 5〉 천연제올라이트 첨가량에 따른 소요수량비⁽⁵⁾

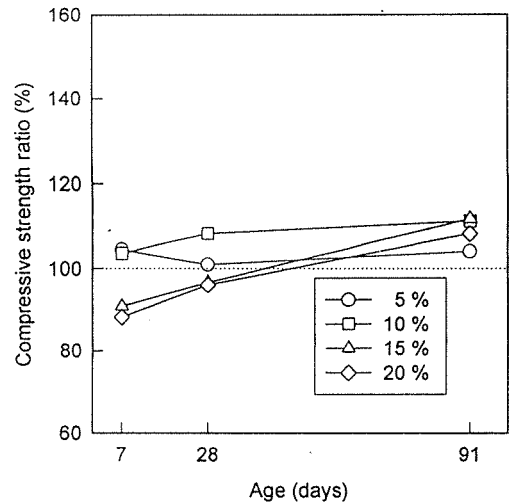


〈그림 6〉 천연제올라이트 (NZ-1)의 첨가량에 따른 모르터의 압축강도비⁽⁵⁾

그림-5는 control 과 동일한 플로우값을 얻기 위한 소요수량비를 나타낸 것으로 천연제올라이트의 첨가량에 따른 소요수량이 선형적으로 증



〈그림 7〉 천연제올라이트 (NZ-2)의 첨가량에 따른 모르터의 압축강도비⁽⁵⁾



〈그림 8〉 천연제올라이트 (NZ-3)의 첨가량에 따른 모르터의 압축강도비⁽⁵⁾

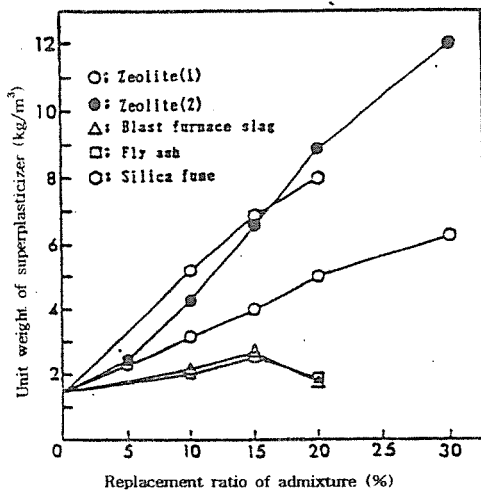
가한다. 또한 소요수량은 천연제올라이트의 산지에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

그림-6, 7 및 8은 3개 시료의 각각에 대하여 재령(7일, 28일, 91일)에 따른 압축강도를 control의 압축강도의 대한 비로 나타낸 것이다. 그림-6의 경우 전재령에서 강도 증진효과가 나타나며 첨가량에 따라 강도 증진도 커지고 있다. 그림-7의 경우도 강도 증진효과가 있음을 보

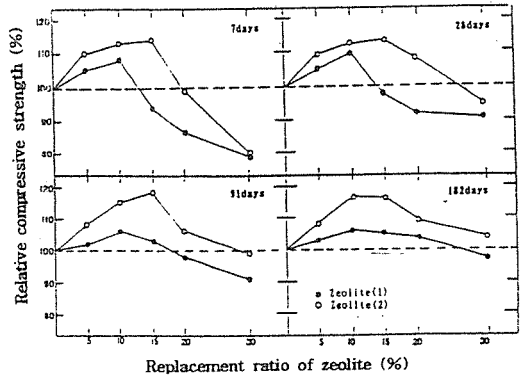
여준다. 그러나 동일한 반죽질기를 얻기 위한 소요수량이 가장 많은 천연제올라이트(그림-8)의 경우에는 초기강도 증진이 첨가량 5%와 10%에서 미미하게 나타나며 첨가량 15%와 20%에서는 초기강도가 control보다 낮게 나타난다. 그러나 첨가량 15%와 20%의 경우 장기재령에서 강도 증진이 나타나는 경향을 보여준다.

그림-9와 그림-10은 천연제올라이트를 콘크리트용 혼화제로서 사용한 경우의 王宗玉 등에 의한 실험결과이다. 그림-10은 강도시험결과로서 같은 반죽질기를 얻기 위해 단위수량을 증가시키지 않고 고성능감수제의 양을 그림-9와 같이 증가시켜 물시멘트비를 일정하게 하고 시멘트는 천연제올라이트의 양 만큼 감소시켜 실험한 결과이다. 이 그림에서 천연제올라이트의 대체량이 증가함에 따라 유동화제의 소요량이 증가하며 천연제올라이트의 대체율 10-20% 정도에서 無混入의 경우보다 높은 강도가 얻어지는 것을 보여준다.

천연제올라이트를 사용한 경우의 강도증진기구는 다음과 같이 설명할 수 있을 것이다. 결정성 aluminosilicate 인 제올라이트는 구조적으로 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 와 $[\text{AlO}_4]^{5-}$ 의 사면체가 서로 산소



〈그림 9〉 혼화제의 대체량에 따른 유동화제의 소요량(10)



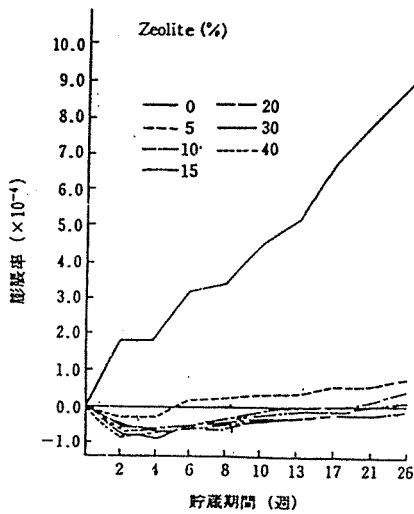
〈그림-10〉 천연제올라이트의 대체량에 따른 콘크리트의 압축강도비(10)

를 공유하며 3차원적으로 연결되어 있으며 구조내空洞과 channel을 가지고 있다. 그런데 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 와는 달리 $[\text{AlO}_4]^{5-}$ 은 양이온으로부터電荷의 불균형을 보상받기 때문에 熱이나 steam 또는 酸, 鹽, 알칼리등에 의하여 격자로부터 脫알루미늄이 비교적 쉽게 일어난다. 따라서 시멘트의 수화에 따른 높은 알칼리성 액상에서는 제올라이트로의 脫알루미늄이 일어날 수 있다. 이와 비슷한 경우로서 천연제올라이트를 알칼리 용액과 반응시키면 제올라이트의 再結晶化가 일어나는데 이 과정에서도 脫알루미늄이 일어날 수 있다.

결국 제올라이트를 사용한 경우에 모르타의 강도가 비교적 초기재령부터 높게 되는 것은 제올라이트로부터 추출된 알루미늄 즉 가용성 Al_2O_3 가 시멘트 수화시 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응(포졸란 반응)하여 수화 및 결정화가 빠르고 용해도가 큰 칼슘알루미늄에이트 수화물을 생성함으로써 단기에 강도가 발현하는 것으로 사료된다. 이와 같은 과정에서는 시멘트의 수화시 생성되는 OH^- 가 제올라이트의 脫알루미늄 및 포졸란 반응에 상당량 소모되기 때문에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성은 상당히 억제되며 시멘트질의 알칼리도가 낮아지는 결과가 초래된다.

한편 王宗玉 등의 연구에 의하면 천연제올라이트는 알칼리 함유량이 포틀랜드시멘트보다 높

은데도 불구하고 알칼리 골재반응에 대한 억제 효과가 있다고 한다. 천연제올라이트의 알칼리 골재반응 억제효과는 시멘트와의 치환율의 증대에 따라 커지지만 치환율 5%에서도 충분한 억제효과가 있다고 한다.(그림-11 참고) 또한 혼화재의 치환율 5-40%의 범위에서 천연제올라이트의 알칼리 골재반응 억제효과는 고로슬래그에 비해 크며 플라이애쉬와 실리카흄과 거의 동등하다고 한다.



〈그림 11〉 천연제올라이트의 사용량에 따른 모르타르 바의 팽창량(11)

4-2. 인공경량골재로서의 이용

中國 清華大學의 馮乃謙 교수 등은 1979년경부터 제올라이트 경량골재에 관한 연구를 시작하였으며 그의 시험결과를(2) 기술한다.

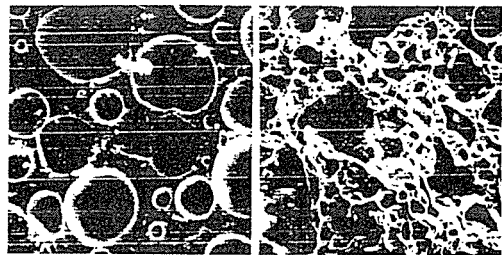
일반적으로 경량골재에는 造粒型和 非造粒型이 있는데 표-3은 非造粒型的 천연제올라이트(원석의 크기5-15mm)를 회전로에서 약 1,250℃로 소성한 것을 다른 종류의 인공경량골재의 성질과 비교하여 나타낸 것이다.

제올라이트 경량골재의 특징은 강도가 비교적 높으며, 골재 표면에 유리질화된 치밀한 층이

있어서 그것이 강도에 어떠한 영향을 미치고 흡수율이 적으며 흡수시간이 짧은 점 등 콘크리트용 골재로서 양호한 성질을 갖는다고 한다. 한편 제올라이트 경량골재의 흡수량이 적은 것은 그림-12의 전자현미경 사진에도 나타난 바와 같이 다른 경량골재와 달리 독립된 공극이 많은데 기인할 수 있다고 설명하고 있다.

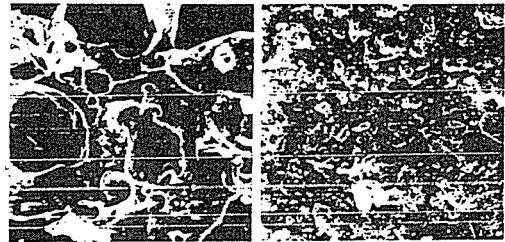
표-3. 각종 인공경량골재의 성질(2)

골재의 종류		절대건조 비중	단위중량 (kg/m ³)	골재의 크기(mm)	30분간의 흡수율 (%)	24시간의 흡수율 (%)
굵은 골재	팽창혈암(非造粒型)	1.28	710	20-5	3.7	7.2
	팽창점토(造粒型)	1.05	620	20-5	6.0	11.0
	제올라이트(非造粒型)	1.05	620	20-5	1.3	1.6
잔골재	석탄회(造粒型)	1.30	750	15-5	16	22.0
	제올라이트 경량골재를 분쇄	1.25	700	5-	7.1	9.1



(a)제올라이트

(b)혈 암



(c)팽창점토

(d)석탄회

그림-12. 각종 인공경량골재의 전자현미경 사진(150배) (2)

非造粒型 제올라이트 경량골재를 사용한 콘크

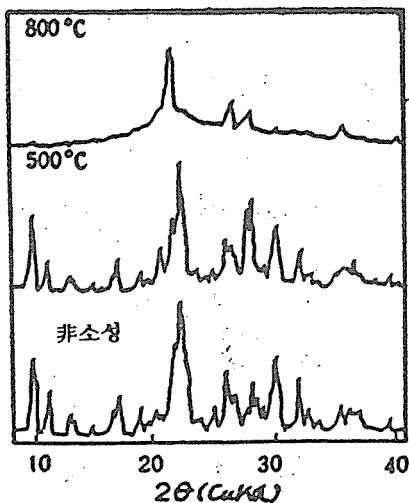
리트의 압축강도는 다른 인공경량골재를 사용한 콘크리트의 압축강도보다 약 35% 정도 높은 값을 얻었다고 하며 이러한 강도증가는 제올라이트 경량골재 자체의 강도가 높고 흡수율이 낮아 데 기인된 것으로 추정되었다.

4-3. 발포재로서의 이용

천연제올라이트는 화학조성상으로 알칼리 또는 알칼리土類의 아미노규산염으로서 물분자를 포함하는 물질로 정의되는데 이 천연제올라이트는 結晶構造를 변화시키지 않고 加熱脫水할 수 있는 특성이 있으며 가열탈수 후 급냉하여 공기를 흡착시킨 것을 물과 접하게 하면 흡착된 공기를 방출하는 성질을 갖는다. 이 때문에 천연제올라이트는 기포콘크리트용 發泡材로서의 이용가능성이 있다.

그림-13은 소성온도 500℃ 및 800℃로 처리한 천연제올라이트의 X-선 회절분석결과를 나타낸 것이다.

소성온도 500℃ 이하에서는 각 회절은 소성

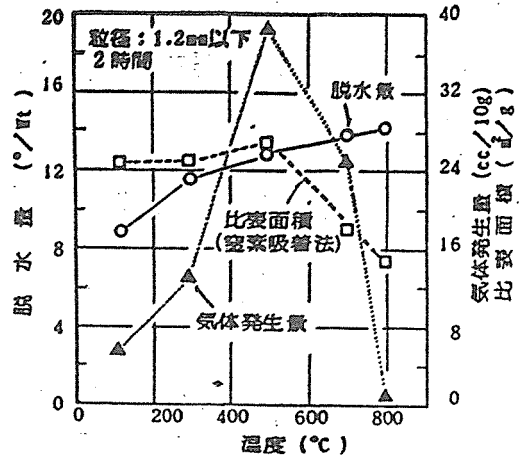


〈그림 13〉 소성한 천연제올라이트의 X-선 회절도(12)

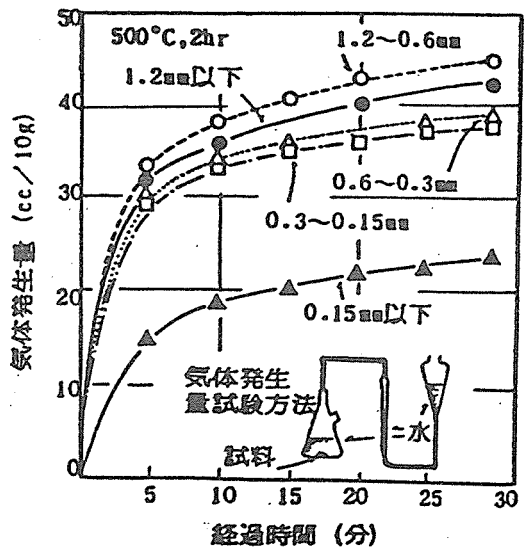
시키지 않은 경우와 일치하며 소성에 따른 광물 조성의 변화는 보이지 않는다. 한편 소성온도 800℃의 경우는 조성광물의 많은 양이 유리질화되어 X-선 회절 피크가 적게 나타난다.

그림-14는 소성온도와 기체발생량의 관계를 나타낸 것이다.

이것에 의하면 소성온도 500℃ 이하에서는 온도의 증가에 따라 기체발생량은 증가하며 500℃



〈그림 14〉 소성한 천연제올라이트의 기체발생량(12)



〈그림 15〉 소성한 천연제올라이트의 입경별 기체발생량(12)

이상에서는 역으로 감소한다. 즉, 500℃로 소성시킨 천연제올라이트 분말은 광물조성과 비표면적, 집합조직을 대폭적으로 변화시키는 일 없이 탈수되어 공기를 置換吸收할 수가 있기 때문에 물과 접촉한 경우 흡수된 다량의 공기를 방출하여 시멘트 풀 속에 기포를 도입하는 일이 가능한 것으로 보인다. 한편 기체발생량은 천연제올라이트의 입자크기에 따라서도 큰 영향을 받는데 그림-15에 나타난 바와 같이 입경 0.15mm 이하의 잔입자의 경우는 1.2-0.15mm의 조립자에 비해 기체의 발생량이 크게 저하함을 알 수 있다.

5. 맺는말

천연제올라이트를 콘크리트용 재료 즉, 혼화재, 인공경량골재 및 발포재료의 이용 방법에 대하여 고찰하였다. 이 중에서도 혼화재로서의 이용가치가 가장 높다고 볼 수 있는데 중국의 경우 여러가지 혼화재 가운데 천연제올라이트가 가장 많이 사용되고 있다.

우리나라에서는 콘크리트용 혼화재로서 실리카흙, 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말 등이 사용되고 있다. 그러나 이러한 혼화재료들은 국내의 경우 가격이 높거나 품질이 안정되어 있지 못한 점 등 문제점이 있어 이들을 대체할 수 있는 새로운 혼화재의 개발이 요구된다.

천연제올라이트의 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 콘크리트의 강도를 증진시키며 알칼리 골재반응을 억제하는 효과가 있음이 밝혀져 있다. 그러나 천연광물로 존재하는 것이기 때문에 산지에 따른 특성차가 고려되어야 한다. 또한 천연제올라이트를 혼화재로 사용하는 경우의 문제점으로 생각할 수 있는 건조수축의 증대, 중성화 속도의 촉진 등의 우려 등 실용화에 앞서서 몇가지 추가로 검토해야 할 사항이 남아있다.

참고문헌

1. 向井 毅, 馮 乃謙, “大谷石を原料とした人工

輕量骨材およびそれを用いたコンクリートの諸性狀に關する研究”, 日本建築學會論文報告集, 第377號, 昭和62年 7月.

2. 馮 乃謙, “ゼオライト輕量骨材コンクリートの性質”, セメントコンクリート No. 528, 1991年 2月, pp.42-47.

3. 김 태섭, “제올라이트를 사용한 高强度 輕量 콘크리트에 관한 實驗的 研究”, 한양대학교 대학원 박사학위논문, 1993년 12월.

4. 김 화중, “A Study on Investigation for Effectiveness of Natural Minerals with Silica-Component as Admixture for Concrete”, 한국콘크리트학회논문집, 제6권 제3호, 1994년 6월 pp.201-214.

5. 최 재진, 엄 명헌, 이 창용, “천연제올라이트를 混和材料로 사용한 모르타의 特性 研究”, 대한토목학회논문집, 제15권 제5호, 1995년 9월, pp.1213-1223.

6. 최 재진, 이 경환, 이 창용, “천연제올라이트와 플라이애쉬의 혼화재 특성 연구”, 대한토목학회논문집(심의중)

7. Feng Naiqian, Li Guizhi and Zang Xuanwu, “High Strength and Flowing Concrete with a Zeolitic Mineral Admixture”, Cement Concrete Aggregates, Vol.12, No.2, 1990, pp.61-69.

8. Feng Naiqian, Ma Changchen and Ji Xihuang, “Natural Zeolite for Preventing Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction”, Cement Concrete Aggregates, Vol.14, No.2, 1992, pp.93-96.

9. 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.

10. 王 宗玉外 3人, “天然ゼオライトを用いた

- 콘크리트의強度特性に關する研究”, セメントコンクリート論文集, No.44, 1990年, pp.210-215.
11. 王宗玉外 3人, “天然ゼオライトのアルカリ骨材反應に關する研究”, セメントコンクリート論文集, No.44, 1990年, pp.470-475.
12. 馮乃謙, 向井毅, 江原恭二, “天然ゼオライト粉末の氣泡コンクリート用混和材料としての利用に關する基礎的研究”, セメント技術年報 38, 昭和59年, pp.142-145.
13. 吳中偉, 馮乃謙, “中國におけるセメントコンクリートの過去, 現在, 未來”, セメントコンクリート No.510, 1989.
14. 이 하영外 7人, “韓國의 지질과 광물자원”, 연세대학교 지질학과 동문회, 1982, pp.357-360.
15. W.M.Meier and D.H.Olson, “Atlas of Zeolite Structure Types”, Butterworths, 1987, pp.5-103.

공사현장에서의 레미콘에 대한 물타기(加水)는 콘크리트 강도, 내구성, 수밀성을 현저하게 저하시키므로 절대 금지한다.



그렇게 물을 많이 사용하면 배탈이 난다