친환경 기능성 콘크리트에 관한 연구 방안

A study on the functional and environmentally friendly concrete

백종명 * 서문석 * * 이상용 * * *

Baek, Jong Myeong Seo, Moon Seog Lee, Sang Yong

ABSTRACT

Even in case of new materials, materials that are not only harmless for the current global environment but also have high-performance and high-function are sought-after in consideration of the global environmental problems. Moreover, in construction areas where a large amount of cement and concrete are used, the establishment of the recycling technology or transformation into resources and energy materials are being put in place. And also, in a situation where the slow and relaxed city and rural life have a high priority, the need for cement and concrete as environmentally friendly new materials that best suit the emotions in human beings is on the rise and a new way to make good use of cement and concrete as new materials in construction technology should be sought.

The recently introduced functional and environmentally friendly concrete is aimed at enhancing health through the adjustments of the body biorhythm using far-infrared. Minerals that contain a great amount of the elements with the frequent occurrence of the infrared among earth minerals and concrete are mixed to use structures or finishing materials, which will tackle the issues of smells, mold and corrosion.

1. 서 론

지구환경 문제의 현상을 고려할 때 신소재라 하더라도, 자체의 고성능·고기능만이 아닌 지구환경에 해를 끼치지 않는 재료가 요구되고 있다. 또한 대량의 시멘트와 콘크리트가 사용되는 건설 분야에 있어서도 리사이클 기술의 확립이나, 자원 및 에너지 재료로 전환하고 있는 추세이다. 그리고 여유 있는 도시 및 전원생활 환경이 중요시 되어지고 있는 흐름 속에서 인간의 감성에 적합한 친환경적 신소재로서의 시멘트·콘크리트 필요성도 높아지고 있는 경향이며, 건설기술에 신소재로서의 시멘트·콘크리트가 활용될 수 있는 새로운 관점이 모색되어져야 한다.

최근 원적외선을 이용한 인체의 바이오리듬을 조절하여 건강을 향상시키기 위한 콘크리트가 친환경 기능성 시멘트·콘크리트이다. 이는 지구 광물 중 원적외선 발생이 큰 원소의 함유량이 많은 광물질을 콘크리트와 혼합하여 구조체 혹은 마감재로 활용하므로서 그 동안 의견이 제기되었던 냄새, 곰팡이, 부식 등의 문제를 해결하는 친환경 기능성 시멘트·콘크리트이다.

* 책임저자 : 정회원 서울메트로 철도사업단, 차장 공학석사

E-mail : bjm6413@hanmail.net

TEL : (02)6110-5840 FAX:(02)6110-5839

* * 비회원 서울메트로 철도사업단, 대리

* * * 비회원 서울메트로 철도사업단, 주임

1.1 연구목적

본 연구 목적은 기능성 신소재 광물을 다양한 크기로 분쇄, 배합, 혼합하여 원적외선 방출 및 항곰팡이성을 구비하도록 함으로써 원적외선과 음이온, 미네랄산의 다량 방출 및 우수한 항곰팡이성을 통해 쾌적한 주거환경, 식생, 수질정화 등 인체에 유익한 환경을 제공할 수 있는 친환경 기능성 콘크리트 조성물과 그 제조방법 및 그로부터 이루어진 건축구조물을 제공하는 것이다.

1) 건축자재로부터 발생될 수 있는 유해성 방지 및 흡수 제거하여 쾌적한 주거환경 속에서 안전한 삶을 영위할 수 있는 친환경 기능성 콘크리트 조성물과 그 제조방법 및 그로부터 이루어진 건축구조물을 제공하는 것이다.

2) 항균, 탈취 및 항곰팡이성을 구비하는 것은 물론, 경량화를 구비하여 운반 및 시공을 용이하게 할 수 있는 친환경 기능성 콘크리트 조성물과 그 제조방법 및 그로부터 이루어진 건축구조물을 제공하는 것이다.

3) 기능성 신소재 광물과 기능성 경량재를 배합 혼합하여, 단열성, 경량화 및 방음성을 향상시킨 친환경 기능성 콘크리트 조성물과 그 제조방법 및 그로부터 이루어진 건축구조물을 제공하는 것이다.

1.2 연구 동향

지구환경 문제의 현상을 고려할 때 신소재라 하더라도, 자체의 고성능·고기능만이 아닌 지구환경에 해를 끼치지 않는 재료가 요구되고 있다. 또한 대량의 시멘트와 콘크리트가 사용되는 건설 분야에 있어서도 리사이클 기술의 확립이나, 자원 및 에너지 재료로의 전환을 부르짖고 있는 추세이다. 그리고 여유있는 도시 및 전원생활 환경이 중요시 되어지고 있는 흐름 속에서 인간의 감성에 적합한 신소재로서의 시멘트·콘크리트의 필요성도 높아지고 있는 경향이며, 건설기술 속에 친환경 기능성 신소재로서의 시멘트·콘크리트가 활용될 수 있는 새로운 관점이 모색되어져야 한다.

1.3 연구 방향

아래 〈표-1〉 와 같이 점차 기술이 첨단화되고 인간의 생활이 윤택해지면서 삶의 요구조건도 다양해지고 있다. 이에 대한 요구조건의 충족을 위하여 향후 미래 세대에서의 녹색 저탄소 친환경 시멘트·콘크리트에의 요구 기능을 정리해 친환경성과 물성에 대해 연구하고 져 한다.

<표-1> 신소재로서의·콘크리트에 요구되는 기술

주거환경의 향상		기능성의 향상	
•의장성	•차음·흡음성	•내력의 향상	•내충격성의 향상
•전파차단	•실내공기 오염 방지	•내피로성능의 향상	•내마모성
•대기오염 방지	•해양오염 방지	•센서기능 향상	•친환경성
•하천오염 방지	•도로 및 철도 소음 방지	•기타 특수 성능	
•에너지 절약 기능			
안전성의 향상		**작업성의 향상**	
•내화성	•내열성	•경사면 작업성	•뿜칠 작업성
•내구성	•내염성	•터널 복공 작업성	•매스 콘크리트 작업성
•내수성	•내약품성	•수밀 작업성	

2. 배 경

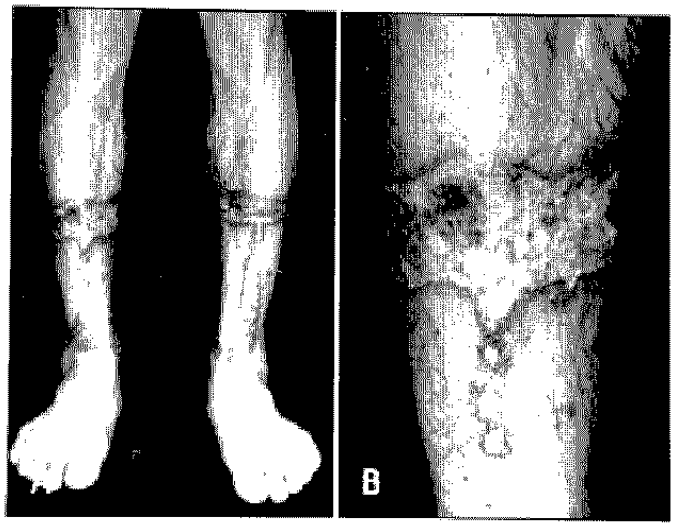
❒ 환경 문제의 관점에서 볼 때 모든 재료는 가능하면 재활용 자원을 원료로 사용하여 환경오염을 유발하지 않는 공정으로 만들 수 있으며 재료로서의 사용 중에도 환경을 저해하지 않고, 사용 후에는 재활용 할 수 있거나 무해한 형태로 자연으로 돌아갈 수 있어야 할 것이다.

2.1 일반 시멘트 콘크리트 기술의 발전과 환경

콘크리트 구조물 건설의 계획, 설계, 시공에 있어서는 오랜 기간 QCDS(품질, 가격, 공기, 안전)을 위주로 평가하였지만 근년 환경문제의 대두에 따라 여기에 E(환경)를 추가되고 있는 것으로 보인다. 완성된 구조물이 장기적으로 환경에 미칠 영향에 관해서는 아직 평가지표가 분명하게 확립되어 있지 않고 보는 입장에 따라서도 가변적이라고 생각된다.

2.2 유해 중금속과 방사성 폐기물 처리에 사용되는 시멘트

특정폐기물은 폐기물 관리법에 따라 소각, 파쇄, 중화, 고형화 또는 매립 등의 방법에 의하여 안전하게 처리되는데 이 중 시멘트 콘크리트의 역할은 고형화와 매립 부분이다. 고형화란 고체형태로 고정시키는 물질과 혼합하여 고체구조내에 폐기물을 물리적으로 고정시키고(고형화), 화학적으로 안정화시켜 취급이 용이하고 폐기물의 용해도를 감소시켜(안정화) 오염물질이 자연계로 유출되지 못하게 하거나 유출되는 속도를 완화시키는 고화처리를 말한다. 이러한 고형화 재료는 대상되는 유해물질은 알킬수은, 수은, 카드뮴, 납, 유기인, 6가크롬, 비소, 시안, PCB, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 유기염소, 구리, 아연, 불소 및 이들 일부의 화합물이다. 시멘트에 의한 유해물질 무해화·고형화의 주된 원리는 난용성 수산화물에 의한 고정, 치환고용에 의한 고정 및 흡착에 의한 고정일 것이다.



본 사진은 콘크리트 작업을 하다 장화를 신었음에도 불구하고 시멘트의 강알카리로 인해 화상을 입은 환자의 모습입니다.

이번 국정감사 자료를 보면 시멘트공장들이 당연시하는 시멘트의 알칼리로 인한 피부염도 산업재해로 인정받고 있음을 알 수 있습니다.

시멘트로부터 화상을 입은 건설 근로자의 모습

그러나 폐기물 처분시설의 설계나 재료의 열화에 의한 지수능력의 저하, pH 등 화학적 요소의 경년변화 등에 대한 안전평가는 콘크리트 기술만으로 될 수 있는 것이 아니고 반드시 전문 연구기관들의 역할분담과 명확한 책임 하에서 진행시킬 것이 요구된다. 한편 시멘트 콘크리트는 적당한 골재와 함께 방사성 폐기물과 관련된 시설의 구조재나 원자로의 핵 차폐재로서도 활용된다.

2.3 물리적 구성 요인성능

❒칼륨·마그네슘·철·알루미늄·나트륨·칼륨 등을 갖가지 비율로 함유하는 수화(水和)규산염 광물의 일군(一群)의 총칭. 각섬석에 속하는 광물군을 <각섬석군(amphibole group)>이라고 부르며, 보통 단사정계(單斜晶系)에 속한다. 각섬석은 휘석과 더불어 화학조성의 변화범위가 가장 넓은 광물의 하나이

다. 빛깔은 암갈색 흑색 녹흑색 등이고 산에 녹지 않는다. 약간 긴 마름모기둥 또는 6각기둥이나 때로는 짧은 주상결정을 보이며 쌍정(雙晶)일 때도 많다. 주면(柱面)에 평행한 두 방향으로 완전한 쪼개짐이 있는데 이들 두 쪼개짐은 약 120°, 60°에서 서로 교차하므로, 이것에 의해서 90°로 교차하는 휘석과 구별할 수 있다. 주로 안산암 현무암 등 화성암의 반정(斑晶)을 이루며, 또 심성암 반심성암 결정편암 등과 함께 산출되기도 한다.

2.4 재료의 특성

2.4.1 기능성 신소재(BMS)의 특성

본 연구에 따른 기능성 신소재 광물의 항곰팡이 시험에 대한 시험성적서를, 사진2) 은 본 연구에 따른 기능성 신소재 광물의 항곰팡이 시험사진을 도시한 것으로, 본 연구의 기능성 신소재 광물은 4주후까지 시료에서 균의 성장을 인지할 수 없을 정도로 우수한 항곰팡이성을 구비하고 있음을 알 수 있다.

원적외선 방사시험에 대한 시험성적서를, 원적외선 방사에 대한 열화상 사진을 도시한 것으로, 기능성 신소재 광물은 방사율 0.917, 방사에너지 3.54×102 (W/ ㎡·㎛, 37℃)를 구비하고 있음을 알 수 있다.

그림1) 기능성신소재 광물4주후 항곰팡이

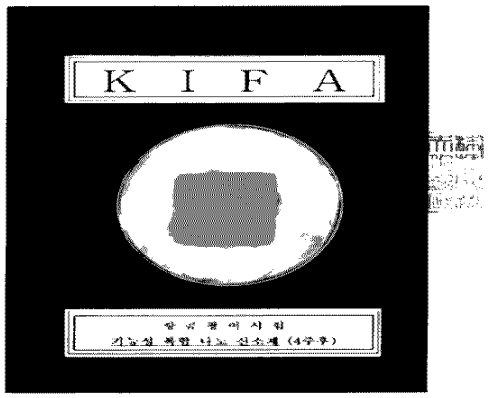
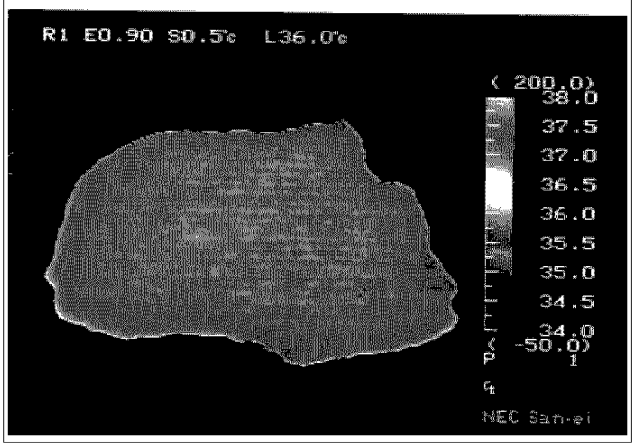


그림2)원적외선 방사에 대한 열화상 시험사진



기능성 경량재는 천연상태에서 금운모나 흑운모의 변질산 물인 함수운모로 이루 어진 광물을 700℃ 이상에서 급속 가열하여 약 10~15배 정도 소성, 팽창시킨 순수한 자연광물질로서 화학적으로는 독성이 없으며 안정되고, 또한 인체에 전혀 해가 없는 특성을 구비하고 있다.

3. 실험 계획 및 방법

❒최근에는 콘크리트의 강도에만 의존하지 않고 친환경 기능성과 내구성을 설계의 한 요소로 반영하고자 하는 노력이 꾸준히 이루어지고 있으므로, 특히, 콘크리트 시설물은 철근부식과 같은 심각한 성능저하(deterioration)의 위험에 노출되기 때문에 내구성에 대한 검토가 반드시 필요하며, 친환경성을 갖는 기능성 콘크리트의 적용이 필수적으로 요구된다.

향후 친환경 기능성 콘크리트는 이러한 강도 및 내구성 설계요건을 모두 충족시킬 수 있는 유일한 해답이 될 것이다.

3.1 실험계획 및 적용성 범위

본 시험재료 구성은 기능성 신소재 광물을 다양한 크기로 분쇄하여 첨가하되, 4㎜이하의 잔골재 크기와, 13, 19, 25, 40㎜ 등과 같이 4㎜를 초과하는 굵은골재 크기로 분쇄하여 첨가 하도록 되어 있다. 또한, 상기 잔골재 크기는 400 mesh 이상 4㎜ 이상의 분말 형태를 포함한다.

1. 슬럼프 : 2.5 - 25cm　　2. 잔골재율: 35 - 50%

3. 물.시멘트비: 25 - 60%　　4. 감수제 : 0.1 - 5.0%

5. 신소재(B.M.S)배합률: 0.1- 50% (분말. 잔골재. 굵은 골재 각각의 단위중량에 포함된 첨가 배합률)

◎ 분말 : 4mm이하 400mesh . 잔골재 : 4mm이하 . 굵은골재: 40.25.19.13 4mm이상

3.2 실험 재료

3.2.1 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 고로슬래그 미분말은 KS F2563에 규정된 것을 사용하고 이들 결합재의 화학적 성분과 물리적 성분은 각각 도표1)과 같다.

도표1) 결합재의 화학적 성분 및 물리적 성질

성 분(%)	시멘트	고로 슬래그	비 고
SiO2	20.7	32.4	
Al2O3	5.6	13.2	
Fe2O3	3.0	6.1	
CaO	62.5	42.4	
MgO	3.4	0.4	
SO3	2.5	3.2	
L.O.I	1.4	-	
분말도	3,270㎠/g	4,190㎠/g	
비 중	3.15	2.93	

3.2.2 골 재

본 실험에서 사용한 골재는 표준 입도 범위 안에 들도록 입도를 조정하였으며, 골재의 물리적 성질은 다음 도표와 같다.

도표2) 골재의 물리적 성질

골재 종류	굵은골재 최대치수(mm)	조 립 율 (F.M)	표건 비중	흡수율 (%)	비 고
굵은 골재	25	6.85	2.68	1.41	쇄 석
잔 골 재	5	2.85	2.57	2.33	강모래

3.2.3 기능성 신소재(B.M.S)

도표3) 화학적 성분 및 물리적 성질

구 분	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	Ig.loss
중량(%)	55-60	7-19	6-7	3-4	5-7	4-5	2-3	2-1.2
분말도	4,000㎠/g							
비 중	3.1 - 3.3							

3.3 실험체 제작

3.3.1 실험체의 재료 구성 범위

본 실험을 좀더 구체적으로 설명하면, 본 기능성 신소재 광물을 다양한 크기로 분쇄하는 분쇄단계(S100)와, 상기 분쇄된 기능성 신소재 광물을 잔골재, 굵은 골재, 물 및, 시멘트를 단위잔골재량 400～600 시멘트, 물, 굵은골재, 잔골재 및 기능성 신소재 광물을 배합하되, 단위수량 160～190 kg/㎥, 단위시멘트량 300～500 kg/㎥, 단위잔골재량 400～600 kg/㎥, 단위굵은골재량 900～1,000 kg/㎥, 기능성 신소재 광물 250～400 kg/㎥를 포함하도록 조성되고, 물시멘트비는 25～60중량%를, 잔골재는 전체 골재에 대하여 35～50중량%를 구비하도록 배합하여 혼합되도록 되어 있다.

도표4) 시험인자 및 평가 항목

인 자	수 준	평 가 항 목
W/C (%)	35. 45. 55	압축강도시험 원적외선 방사율 항균성 시험(4주)
기능성 신소재	15. 20	
기능성 경량재	5	

3.3.2 콘크리트의 시험 배합표

본 시험계획 및 방법 에서는 굵은골재 최대치수와 설계기준 강도의 범용성을 고려하여 콘크리트의 친환경 기능성 콘크리트의 강도 및 내구성을 분석하고 아울러, 친환경기능성 콘크리트의 경제성을 고찰하여 향후 적용성 방안과 시험체 제작은 콘크리트의 시험 배합강도 표 및 결과 내용이 아래표와 같다.

가. 25-180-12 시험 배합강도

설계기준 강 도 Mpa	굵은골재 최대치수 (m/m)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	절 대 잔골재율 (%)	물/시 멘트비	단위 재료량(kg/m3)						표준 AE 감수제
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재	25 (mm)	13 (mm)	신소재 (BM)	
18	25	12	4.5	49	59.3	181	305	514	532	392	352	0.915

※시험결과

□ 압축강도 시험값 (fck28일) : 3회평균 20.2Mpa

나. 25-210-12 시험 배합강도

설계기준 강 도 Mpa	굵은골재 최대치수 (m/m)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	절 대 잔골재율 (%)	물/시 멘트비	단위 재료량(kg/m3)						표준 AE 감수제
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재	25 (mm)	13 (mm)	신소재 (BM)	
21	25	12	4.5	48	54.6	178	326	500	540	397	343	0.978

※시험결과

□ 압축강도 시험값 (fck28일) : 3회평균 23.2Mpa

다. 25-240-12 시험 배합강도

설계기준 강 도 Mpa	굵은골재 최대치수 (m/m)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	절 대 잔골재율 (%)	물/시 멘트비	단위 재료량(kg/m3)						표준 AE 감수제
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재	25 (mm)	13 (mm)	신소재 (BM)	
24	25	12	4.5	47	49.8	176	353	485	545	401	332	1.059

※시험결과

□ 압축강도 시험값 (fck28일) : 3회평균 26.2Mpa

라. 25-270-12 시험 배합강도

설계기준 강 도 Mpa	굵은골재 최대치수 (m/m)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	절 대 잔골재율 (%)	물/시 멘트비	단위 재료량(kg/m3)						표준 A E 감수제
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재	25 (mm)	13 (mm)	신소재 (BM)	
27	25	12	4.5	46.4	46.8	179	382	470	541	398	322	1.146

※시험결과

❒ 압축강도 시험값 (fck28일) : 3회평균 31.2Mpa

마. 19-350-15 시험 배합강도

설계기준 강 도 Mpa	굵은골재 최대치수 (m/m)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	절 대 잔골재율 (%)	물/시 멘트비	단위 재료량(kg/m3)						고성능 A E 감수제
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재	19 (mm)	13 (mm)	신소재 (BM)	
35	19	15	4.5	43.2	39.6	173	437	426	507	468	299	4.37

※시험결과

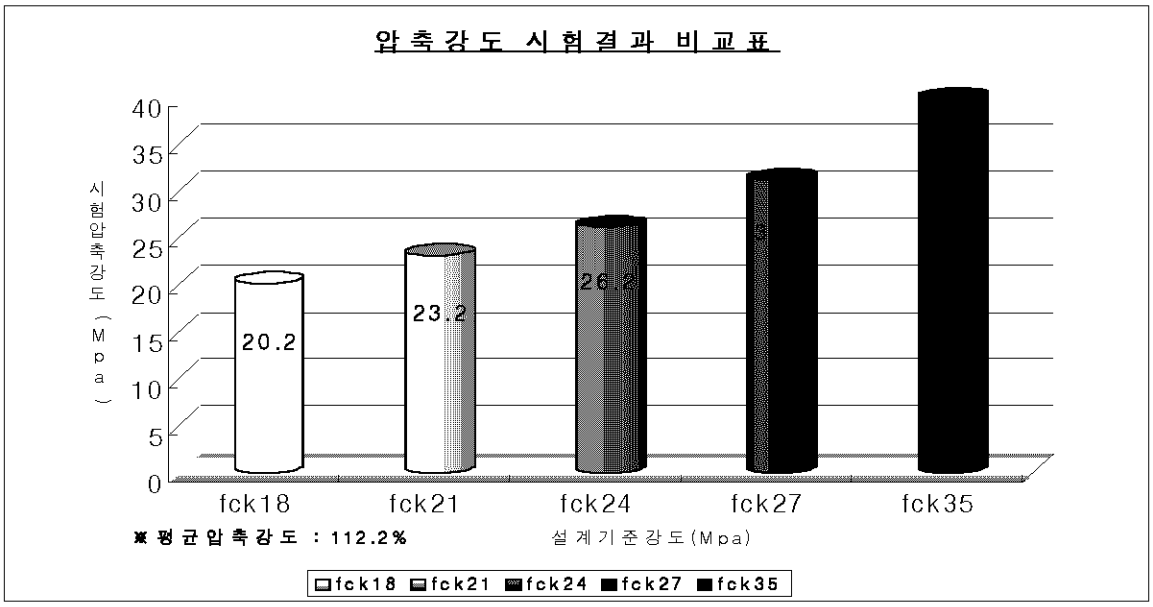
❒ 압축강도 시험값 (fck28일) : 3회평균 39.8Mpa

4. 실험결과 및 고찰

4.1 친환경기능성 콘크리트의 실험 결과

4.1.1 물리적 내구성 실험 방법

배합된 시험체의 압축강도 시험값(재령28일)은 3회 평균 20.2 ㎫ 을 구비하였다. 이때, 콘크리트의 압축강도는 ø100 ×200㎜ 와 ø150 ×200㎜ 원주형 시험체를 제작하여 KSF2405에 따라, 20±2℃에서 28일간 수중양생한 후 3회 측정하여 그 평균값을 구하였으며, 그 결과는 아래 도표와 같다



4.2 친환경 기능성 콘크리트의 실험결과 분석

기능성 콘크리트에서 구조물의 내구성을 충분히 확보하기 위해서는 시멘트 종류, 압축강도(물-결합비), 혼화재 종류, 공기연행제량등을 변수로 하여 유동성, 강도 및 내구성 시험을 통해 고성능 콘크리트를 배합하여 시험한 결과 분석이다.

(1) 굳지 않은 콘크리트의 특성

기능성 콘크리트의 굳지 않은 특성을 표2에 나타냈다. 슬럼프는 대체로 배합직후 18cm 이상, 1시

간 경과 후 10cm 내외로 매우 우수한 유동성을 나타냈으며, 심각한 재료분리는 관찰되지 않았다. 그러나 재료분리와 블리딩에 대해서는 고성능 감수제의 종류에 따라 다소 차이를 나타낼 수 있으므로, 반드시 사전에 고성능 감수제의 적합성에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 공기량은 목표 공기량인 4% 내외로 나타났으며, 단위중량은 대체로 보통콘크리트와 큰 차이를 나타내지 않았다.

(2) 압축강도

압축강도는 N5-<N1-<H1-의 순으로 나타냈다. 모든 경우에 대해 기능성 재료 10%를 사용한 배합의 강도가 가장 우수하게 나타났다.

(3) 염소이온투과성(chloride permeability)

콘크리트의 투과성은 앞서 서술한 바와 같이 내구성의 가장 기본적인 척도가 된다. 이를 측정하는 방법으로 water permeability를 측정하는 방법1, gas permeability1를 측정하는 방법 등이 있으나, 두 방법 모두 오랜 시간이 소요될 뿐 아니라 기능성 콘크리트의 경우 침투량이 매우 적기 때문에 소요의 기간에 투과성을 측정하기는 매우 어렵다. 반면, 염소이온을 전기적으로 촉진 침투시키는 방법(RCP, rapid chloride permeability test)은 상대적으로 이런 단점을 극복할 수 있다.

다만, 이 실험방법으로 측정된 전하량으로 부 압축강도의 결과와 유사하게 기능성 재료 10%를 사용한 배합(기능성재료 10% + 플라이애쉬 15%)과 사용한 배합이 가장 낮은 전하량을 나타냈으며, 모든 배합이'moderate'이하의 투과성을 보이고 있어 양호 또는 매우 우수한 내구성능을 확보할 수 있음을 보여주고 있다.

(4) 부식 저항성과 동결융해 저항성

부식 저항성과 동결융해 저항성에 대체로 우수한 효과를 보여주고 있으며, 기능성 재료 배합의 경우 매우 우수한 내구성을 보이고 있다.

(5) 황산염해 저항성(resistance to sulphate attack)

기능성 콘크리트의 황산염해 저항성 실험결과, 모든 배합이 6개월 이상의 침지 이후에도 이렇다 할 만한 부피변화를 나타내지 않아 매우 우수한 황산염해 저항성을 보여주고 있다.

4.3 경제성 분석

개발된 기능성 콘크리트의 경제성을 간략히 분석한 자료를 살펴보면 기능성 콘크리트의 적용 은 약 2.5배까지의 콘크리트 재료비의 증가를 가져오지만 이는 초기 건설비용의 대체로 5%이하의 증가에 그친다고 보고 있다. 그러나 이러한 건설비용의 증가는 구조물의 내구수명의 증대로 인해 유지보수비용의 상당한 수준까지 줄일 수 있을 것으로 기대되므로 구조물의 총 비용의 측면에서 볼 때는 결국 훨씬 더 경제적인 구조물의 시공 및 관리가 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

5.1 기능성 콘크리트의 향후 이용방안 및 전망

친환경콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위해서는 기능성 콘크리트의 적용이 반드시 필요하며, 따라서 현재의 설계기준에서도 콘크리트의 물-결합비를 45%이하로 규정되는 등 이러한 요구를 이미 반영하고 있다. 뿐만 아니라 앞으로 내구성 설계기준이 확립된다면 내구성에 대한 요건이 점차 더 강화될 것으로 예상되며, 따라서 기능성 콘크리트의 적용이 더욱 가속화될 것으로 보인다.

5.2 내구성 설계기준이 확립

5.2.1 기능성 콘크리트 구조물의 내구성 확보를 위해

1) 내구성 설계 및 해석기법 확립,

2) 내구성 평가기법

3) 내구성을 고려한설계기준의 정립 등을 비롯하여 아직도 해결해야할 과제는 많이 남아 있으며, 앞으로 이를 위해 더 많은 노력을 해야 할 것이다.

참고문헌

1. (사)한국 콘크리트 협회(2006년 콘크리트 표준시방서) 기문당
2. (사)한국 콘크리트 협회(2006년 콘크리트 구조설계기준) 기문당
3. 환경부, 2001년 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2002