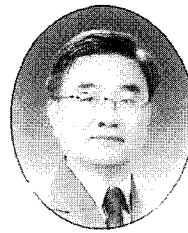


특 집

|| 최신 혼화재료 ||

콘크리트용 혼화재로서 무기계 폐기물 분체의 활용 - Utilization of Waste Mineral Powder as a Concrete Admixture -



최연왕*

Choi, Yun Wang



문대중**

Moon, Dae Joong

1. 서 론

국민생활수준 및 국가경제가 발전함에 따라 환경오염을 가중시키는 생활폐기물, 산업폐기물 등의 발생량이 급증하고 있다. 지금까지 이들 폐기물들은 소각, 해양투기 및 단순 매립 등으로 처리되고 있는 실정이지만 이에 따른 하천, 지하수 및 대지의 수질 및 환경오염뿐만 아니라 우리나라 국토여건상 매립부지의 부족현상 등이 점차적으로 사회, 환경적 문제점으로 쟁점화 되고 있다.^{1,2)}

이러한 폐기물 중 무기계 폐기물은 연간 7,000만 톤에 달하며, 대부분은 일반적인 처리가 곤란하거나 재활용이 어려운 미분말 상태의 폐기물 분체로 대기오염 및 지하수 오염 등과 같은 2차 환경오염에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 국내에서 발생하는 대표적인 폐기물 분체의 연간 배출량은 석탄회 500만 톤, 석분/석분오니 2,000만 톤, 고로/제강 슬래그 1,200만 톤 규모이며, 폐광산에 의해 발생된 폐기물인 광미가 1억 톤 정도 적치되어 있다.³⁾

이외에도 무기계 폐기물 분체로는 쓰레기 소각장에서 발생하는 소각재, 폐콘크리트를 골재로 생산하는 과정에서 발생하는 폐콘크리트 분말, 석회석 가공시 발생하는 무반응성 저급 중탄산칼슘, 슬러리 상태의 상수/하수 오니 및 레디믹스트 콘크리트의 슬러지수 등이 있으며, 앞으로 이러한 폐기물들에 대한 매립 및 해양투기를 금지하고 있어 이를 처리하는 대책이 시급한 실정이다.^{4~8)}

특히, 이들 무기계 폐기물 중 폐광산에서 발생하는 광미는 폐광된 광산의 사후조치 미비로 폐광산 주변에 폐기물 적치시설로 건설된 광미댐에 단순히 방치됨에 따라 주변 경관의 저해, 분진 발생, 유해중금속에 의한 토양, 지하수 및 하천오염 등의 환경오염원으로 대두되고 있기 때문에 광미의 새로운 처리 및 재활용 방안은 환경 보호적 차원에서 절대적으로 필요한 부분이다.^{9,10)}

또한, 최근 청계천 고가도로 철거 및 아파트 재건축 물량의 증가 등으로 그 발생량이 확대되고 있는 건설폐기물 중 90%를 차지하는 폐콘크리트를 재활용하기 위한 재생골재 제조 과정에서 발생하는 폐콘크리트 분말은 모재 콘크리트 중량의 10~20% 정도 발생되지만 국내에서는 재생골재에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있는 것에 비하여 폐콘크리트 분말에 대한 인식부족 및 이용기술이 개발되어 있지 않아 전량 매립, 폐기처분되고 실정으므로 이를 적절히 재활용하는 처리방안이 검토되어야 한다.^{11,12)}

최근 발표된 정부의 제2차 건설산업진흥 기본계획(2003년~2007년)에서 향후 건설은 자연환경을 보호함은 물론 친환경적일 것을 목표로 하고 있으므로 이들 무기계 폐기물 분체를 지반개량재, 토질안정재, 시멘트클링커 재료 및 콘크리트용 혼화재 등으로 재활용하기 위한 국내외적인 연구결과를 활용하여 환경오염 방지시스템 및 자원순환 시스템을 구축할 필요성이 절실히 요구되고 있다.^{13~19)}

이에 본고에서는 무기계 폐기물을 건설산업에 재활용하는 방안 중 하나인 콘크리트용 혼화재로서의 활용성을 중심으로 기술하고자 하며, 특히 기존에 많은 연구결과 및 활용성이 보고된 고로슬

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, (주)동양이엔씨 기술연구소

래그 미분말 및 플라이 애쉬 등과 같이 혼화제로 사용시 포졸란 반응을 하는 반응성 분체를 제외한 시멘트와의 활성반응이 거의 없는 무반응성 분체 및 중금속 이온을 함유한 분체를 중심으로 그 품질 특성 및 자기충전 콘크리트의 분체재료로 활용한 연구자료에 관하여 기술하였다.

2. 무기계 폐기물의 종류 및 품질특성

2.1 폐광산 광미

현재까지 파악된 전국의 휴·폐광산(석탄광 제외)은 모두 9백여 개중 휴광산 19개와 폐광산 108개 등의 광산에서 폐수와 폐석 유출 및 기계적·화학적 풍화작용에 노출되어 2차 오염원으로 작용할 가능성이 제기되고 있다⁹⁾. 이에 따라 환경부에서는 1997년 이후 1,500억원 규모의 오염방지 사업을 실시하였지만, 휴·폐광산에 의한 피해정도에 비하여 복원대책은 미약하므로 장기적이고 안정적인 해결방안이 강구되어야 할 실정이다.

이러한 폐광산 광미 중 본고에서는 중금속 오염의 문제가 되고 있는 금속광 광미 중 대표적인 강원도 상동지역의 텅스텐광산 광미(Tungsten Mine Tailing, 이하 TA로 약함)를 중심으로 기술하였다.

TA를 콘크리트용 혼화제로 사용할 수 있는지를 알아보기 위하여 TA의 화학성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이 <표 1>이며, 입도분석을 위하여 Particle Size Analyzer를 이용한 입도분포 곡선 및 SEM 촬영 결과는 <그림 1> 및 <사진 1>과 같다.

표 1. Chemical composition and physical properties of TA

Sample	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig.loss (%)	Specific gravity
TA	50.30	13.07	13.30	10.97	2.26	1.20	6.62	2.6

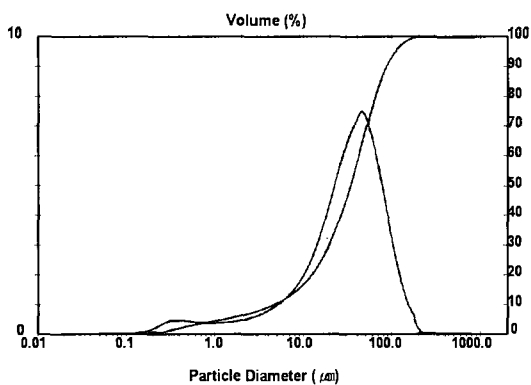


그림 1. particle size distribution of TA

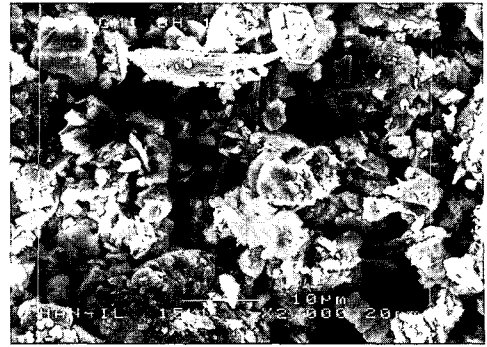


사진 1. SEM of TA

<표 1>의 분석결과 광미의 화학성분은 SiO₂ 50%, Al₂O₃와 Fe₂O₃는 각각 13% 정도였으며, 특히 CaO가 약 11% 정도 함유되어 있는 것은 사장석(plagioclase)계열인 아노르다이트(CaAl₂Si₂O₈)와 중석광의 모암인 석회석의 영향으로 방해석(CaCO₃)이 존재하기 때문으로 판단된다. 또한, 광미의 입도분석 측정결과 평균입경이 10 ~ 30 μm 정도이며, 입형은 광미가 중석원광석을 미분쇄하는 과정에서 산출되므로 입자형상이 불규칙하고 각이 많은 모양을 하고 있음을 알 수 있다.

2.2 폐콘크리트 분말

폐콘크리트 분말(CDW)은 폐콘크리트를 재활용하기 위한 재생활재 제조시 원골재와 모르타르가 파쇄되어 분말형태로 발생하는 부산물로 그 특성은 모래 콘크리트의 재령, 강도 및 외부환경 등에 영향을 받지만, 시멘트의 성분을 갖고 있으므로 시멘트클링커 원료로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있을 뿐만 아니라, 콘크리트의 유동성을 향상시키기 위한 분체로서의 활용성도 검토되고 있으며, 토질개량제, 지반개량제 등에 대해서도 연구검토가 진행되고 있다.

이와 같이 폐콘크리트 분말을 시멘트클링커 원료 및 콘크리트용 혼화제로 활용하면 시멘트 생산량이 절감되므로 CO₂ 발생량이 저감되어 환경오염을 억제할 수 있는 효과가 기대된다.

폐콘크리트 분말의 화학성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이 <표 2>이다.¹²⁾

표 2. Chemical composition and physical properties of concrete dust waste

Sample	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Insol. (%)	Ig.loss (%)	Specific gravity
A	24.63	7.09	2.26	1.16	1.32	44.58	17.43	2.44
B	22.85	6.52	2.28	1.10	1.26	48.16	16.44	2.57
C	23.32	6.24	2.51	1.06	1.40	45.87	18.23	2.58
D	20.53	9.90	3.04	1.05	1.31	46.48	15.06	2.36
E	11.99	5.74	2.04	0.56	0.90	67.51	10.49	2.55
F	23.50	12.23	3.15	1.06	1.71	43.86	12.97	2.27

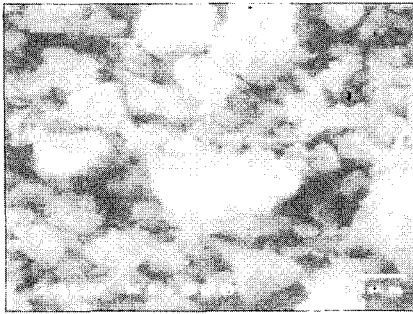


사진 2. SEM of cement

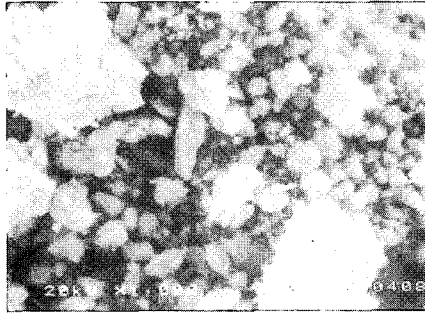


사진 3. SEM of concrete dust waste

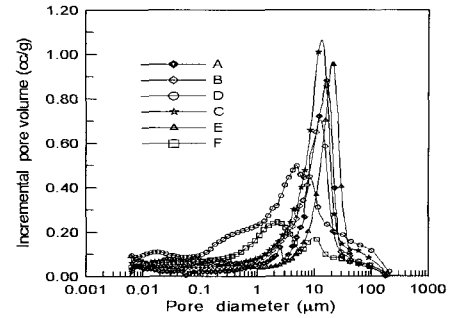


그림 2. Incremental pore volume of concrete dust waste

표 3. Chemical composition and physical properties of cement and GCC

Sample	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Specific surface area(cm ² /g)
OPC	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	3.15	3,539
GCC	2.8	0.25	0.2	52.0	3.0	-	2.70	4,000

표 4. Chemical composition and physical properties of RS

Sample	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	SO ₃ (%)	lg.loss(%)	Specific gravity	Fineness(cm ² /g)
OPC	20.68	5.16	3.02	62.42	4.71	2.42	1.36	3.15	3,438
SG	31.93	13.27	0.26	42.73	6.53	3.11	0.21	2.94	4,559
RS	39.73	13.33	5.11	36.92	2.64	2.41	18.00	2.30	4,300

〈표 2〉의 결과 폐콘크리트 분말은 모재 콘크리트를 파쇄하여 제조한 재료이므로 그 화학성분의 구성비는 시멘트의 화학성분 구성비와 유사하며, 모재 콘크리트 중에 굵은골재 및 잔골재가 포함되어 있으므로 불용해 성분이 40 % 이상, 강열감량은 10 % 이상이며, 비중은 2.2 ~ 2.6 범위로 시멘트에 비하여 작다.

시멘트 및 폐콘크리트 분말의 입형을 1,000배로 확대하여 SEM 촬영한 것이 〈사진 2〉 및 〈사진 3〉이다. 폐콘크리트 분말의 입형은 각이 진 형태로 시멘트와 유사하며, 시료표면에 Ca(OH)₂의 시멘트 수화생성물이 존재하고 있으며, 미수화생성물도 함유되어 있을 것으로 판단된다.

다음은 폐콘크리트 분말의 내부공극을 검토하기 위하여 수은압입법에 의해 공극직경 분포에 따른 공극량을 측정하여 정리한 것이 〈그림 2〉이다. 〈그림 2〉의 결과 시멘트의 내부공극은 폐콘크리트 분말의 종류에 크게 차이가 나고 있으며, 공극직경이 1 ~ 4 μm 범위의 작은 공극들과 4 ~ 100 μm 범위의 큰 공극들로 이루어져 있는 다공성 재료임을 알 수 있다.

2.3 중탄산칼슘

중탄산칼슘은 석회석 원석을 미분쇄하여 만든 초미립체로 주로 고무, 플라스틱 및 제지 등의 충전제(filler)로 사용되고 있으나, 초미립체로 분쇄시 발생하는 조립의 분체는 저급 중탄산칼슘(Ground Calcium Carbonate, 이하 GCC라 약함)으로 분리되어 활용성이 낮은 실정이다.

이러한 중탄산칼슘을 콘크리트용 혼화제로 활용할 경우 시멘트 조성광물인 C₃S의 초기수화를 촉진시키며, 칼슘알루미늄에이트와 반응함으로써 초기강도를 다소 향상시키지만 장기강도 발현에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고되어 있다¹⁷⁾, 중탄산칼슘의 화학성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이 〈표 3〉이다.¹⁹⁾

2.4 레미콘 슬러지

국내의 2001년도 레디믹스트 콘크리트의 생산량은 1억 m³를 초과하였으며 생산량이 증가하는데 따라 회수되어 폐기되는 콘크리트와 레디믹스트 콘크리트 트럭의 드럼 및 믹서의 세척수 등에서 부수적으로 발생하는 폐기물 슬러지수의 양도 증가하고 있는 실정이다. 그래서 레디믹스트 콘크리트 슬러지수는 반드시 중화처리 하거나, 폐기물 전문 처리업체에 위탁처리 해야 하므로 기업의 입장에서는 처리비용이 큰 부담요인이 되고 있으므로 콘크리트용 유효자원으로 재활용화에 대한 대책이 검토되고 있다. 레미콘 슬러지는 이러한 슬러지수의 고품분체이다.

보통시멘트(OPC), 레미콘 슬러지(RS) 및 고로슬래그 미분말(SG)의 화학성분과 물리적 특성을 측정된 결과를 〈표 4〉에 나타내었다.²⁰⁾ 레미콘 슬러지의 주요구성 재료가 시멘트와 잔골재의 미립분이기 때문에 〈표 4〉의 레미콘 슬러지의 화학성분 분석결과 시멘트와 유사하였으며, 강열감량(Ignition loss)은 18 %로서 보통 시멘트보다 높으며, 비중은 2.30으로 보통 시멘트 3.15보다 작다.

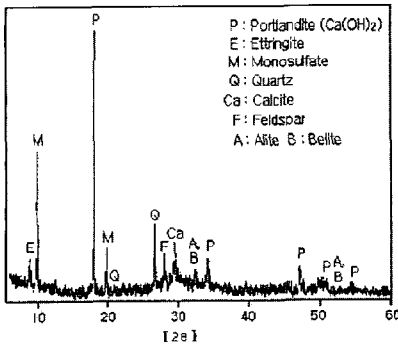


그림 3. XRD analysis of RS

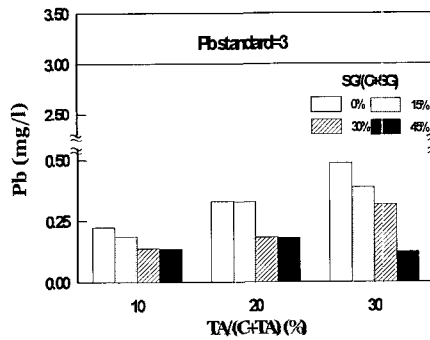


그림 4. Leaching of Pb in mortar with TA

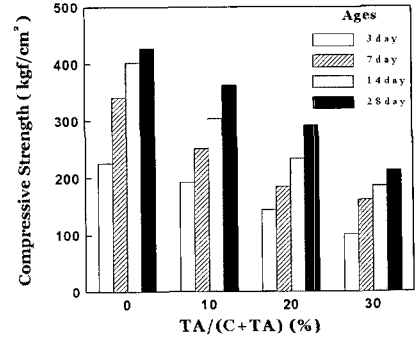


그림 5. Compressive strength of mortar with TA

레미콘 슬러지의 수화생성물을 확인하기 위한 XRD분석 결과를 나타낸 것이 <그림 3>으로서 레미콘 슬러지의 주요 조성광물 피크는 시멘트 수화생성물인 $Ca(OH)_2$ 이다. 이 이외에 시멘트의 초기강도 및 장기강도에 기여하는 엘라이트(C_3S , alite)와 벨라이트(C_2S , belite) 등과 같은 시멘트 조성광물이 남아있는 것으로 보아 레미콘 슬러지의 추가수화가 가능하다고 판단된다.

또한, 레미콘 슬러지의 입형은 분쇄에 의한 영향으로 보통 시멘트의 입형과 거의 유사한 둥근 모양으로 나타났으며, 레미콘 슬러지의 입도분포는 평균 입경이 $10.45 \mu m$ 정도로 시멘트 입자가 갖는 평균 입경 $15 \mu m$ 보다 작은 것으로 나타났다.

3. 무기계 폐기물 분체를 혼화재로 사용한 모르타르 및 콘크리트의 특성

3.1 폐광산 광미 사용 모르타르의 유동특성 및 강도특성

상동지역의 경우 대한중석이 회중석을 개발하면서 40년간 폐기하였던 광미가 약 1,200만 톤 정도 적치되어 있어 광미담의 국부적인 토사유출과 담의 북부팽창 등에 의해 담 전체의 구조적인 안정성이 문제되고 있다. 이에 대한 단기적인 대책으로 국부적으로 담을 보수하는 방법이 있지만 보다 장기적이고 안정적인 해결방법을 위해서는 광미를 재활용하는 것이 바람직하며, 특히 콘크리트에 적용함으로써 대단위의 소비와 값싼 대체 혼화재료로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

<그림 4>는 TA를 혼합한 모르타르의 중금속 용출특성을 알아보기 위하여 재령 14일에 강도 측정 후 파쇄된 공시체를 $5.0 \sim 5.5 mm$ 로 분쇄한 후, Pb의 용출량을 KSLT에 따라 분석한 결과이다. Pb의 용출량은 폐기물 관리법 시행규칙에서 제한하고 있는 유해물질 함유 기준 값보다 낮게 측정되었다. 이러한 경향은 시멘트 수화반응과 포졸란 반응에 의해 중금속 이온이 chemical fixation과 encapsulation을 일으켰기 때문인 것으로 판단되며¹⁵⁾, 또한 내부 공극이 밀실하게 채워져 중금속이 안정화 및 고정화 되었기 때문인 것으로 판단된다.

<그림 5>는 TA를 시멘트 중량에 0, 10, 20 및 30%의 4수

준으로 변화시켜 제조한 모르타르의 재령 3, 7, 14 및 28일 압축강도를 정리한 것이다. TA의 혼합률이 증가함에 따라 TA를 혼합하지 않은 기준모르타르에 비해 초기재령 및 기준재령일 모두 강도저하현상이 나타났으며, TA를 최대 30% 혼합한 경우 약 50% 정도의 강도저하현상이 나타남을 알 수 있다. 즉, 폐광산 광미를 사용한 모르타르의 재령 28일에 대한 재령 3일 및 7일 강도비는 시멘트만을 사용한 모르타르에 비하여 작으므로 시멘트 수화생성물과의 반응이 거의 없다고 판단된다.

3.2 페콘크리트 분말 사용 모르타르의 성질

페콘크리트 분말의 혼합률이 모르타르의 강도특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 혼합률에 따른 모르타르의 압축강도를 정리한 것이 <그림 6>이다. <그림 6>에서 페콘크리트 분말의 종류와 재령에 관계없이 페콘크리트 분말의 혼합률이 증가할수록 모르타르의 압축강도는 선형적으로 감소하였으며, 재령 28일에서 페콘크리트 분말의 혼합률이 30%일 때 혼합률 0%에 대한 B 및 C의 압축강도 감소율은 각각 약 33% 및 31%로 나타났다.

이와 같이 페콘크리트 분말의 특성은 모재 콘크리트의 강도, 환경조건 및 재령에 영향을 받으므로 축조된지 10년 이상이 경과한 콘크리트 구조물에서 발생하는 페콘크리트의 분말은 반응성이 거의 없기 때문에 모르타르의 강도발현에 큰 영향을 미치지 않는다.¹⁶⁾

페콘크리트 분말을 잔골재에 대체하여 제조한 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이 <그림 7>이다. 페콘크리트 분말 C를 사용한 모르타르의 압축강도는 잔골재 표준상태 보상수량(controlling water)을 고려하지 않은 경우, 시멘트만을 사용한 콘크리트보다 약 10%의 강도증가가 있었으나, 보상수량을 고려할 경우 모르타르의 압축강도는 페콘크리트 분말의 혼합률이 증가할수록 감소하는 경향이 있다.

3.3 중탄산칼슘 사용 콘크리트의 강도특성

중탄산칼슘이 콘크리트의 강도 및 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 GCC 혼합률을 0%, 15%, 30%, 45% 및 60

의 5수준으로 변화시켜 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도 및 고성능감수제 사용량을 정리한 것이 <그림 8> 및 <그림 9>이다.

<그림 8>의 결과 GCC 혼합률이 증가함에 따라 재령 28일에 대한 재령 3일 및 7일 압축강도비율이 감소함을 알 수 있다. 즉, 大門正機의 연구결과¹⁷⁾와는 달리 GCC를 혼합함에 따른 초기강도발현이 거의 나타나지 않으므로 시멘트 수화 생성물과의 활성반응이 없다고 판단된다. 또한, <그림 9>의 결과 GCC 혼합률이 증가함에 따라 목표 슬럼프 플로우를 만족시키는 고성능감수제 사용량이 감소하므로 GCC를 혼합함으로써 워커빌리티가 향상될 것으로 판단된다. 즉, GCC 혼합률이 증가할수록 고성능감수제 사용량이 감소하는 효과는 고성능감수제가 주로 시멘트의 분산작용에 영향을 미치므로 GCC를 혼합함에 따라 단위시멘트량이 작아졌기 때문으로 판단된다.

3.4 레미콘 슬러지 사용 콘크리트의 성질

레미콘 슬러지를 보통 콘크리트에 단독으로 혼합을 하게 될 경우 슬럼프 손실률이 크게 나타나 시공성의 저하가 우려되지만 고로슬래그를 대체한 콘크리트에 혼합하여 사용할 경우는 유동성을 보상받을 수 있다.²⁰⁾

고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트에 레미콘 슬러지를 혼합함으로써 콘크리트의 초기강도가 향상된 원인은 레미콘 슬러지의 분쇄 과정에서 외부 수화생성물의 층이 파괴되며 내부에 남아있던 시멘트의 미수화물이 표면에 노출되어 추가 수화작용이 일어남으로써 콘크리트의 초기강도 발현을 촉진하는데 기여한 것으로 판단된다. 또한 레미콘 슬러지에 존재해 있는 알칼리성분으로 인해 고로슬래그의 잠재수경성을 촉진시켰기 때문에 압축강도가 증가하며, 알칼리저극제와 같은 화학활성제의 사용에 의해 고로슬래그의 잠재수경성이 촉진되어 강도가 향상된 것으로 판단된다.

4. 자기충전 콘크리트에 무기계 폐기물 분체의 활용

자기충전 콘크리트는 콘크리트 타설 시 인력에 의한 다짐이 필요 없는 고성능 콘크리트로서 인건비 절약, 다짐에 의한 에너지를 줄일 수 있는 장점이 있으며, 철근이 과밀하게 배근되거나 고품질을 요구하는 LNG 저장탱크의 지하연속벽 등에 이용될 수

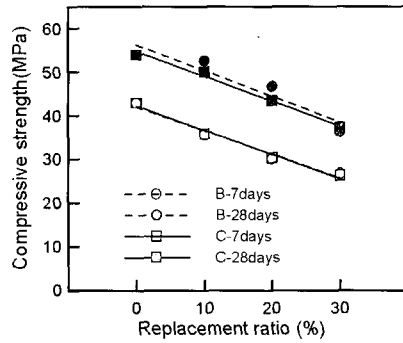


그림 6. Compressive strength of mortar with CDW(cement)

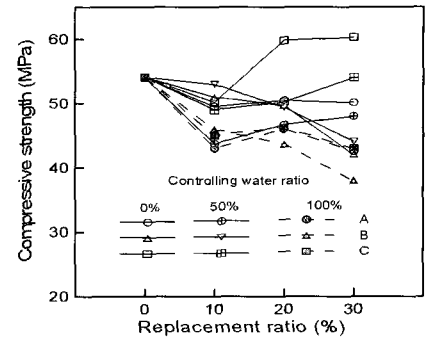


그림 7. Compressive strength of mortar with CDW(fine aggregate)

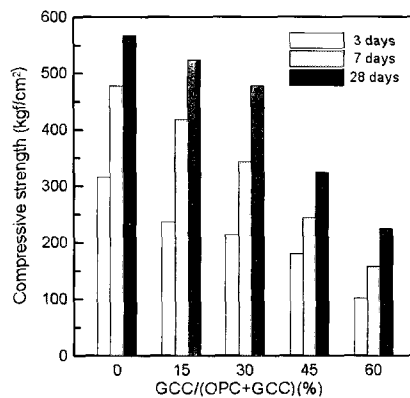


그림 8. Compressive strength of concrete with GCC

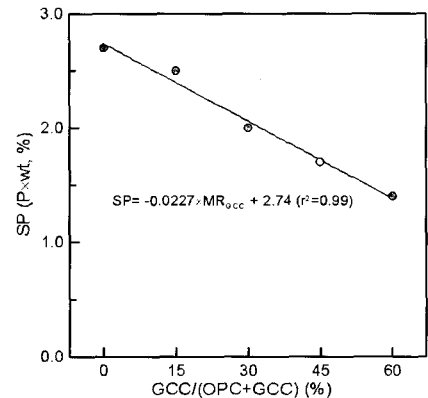


그림 9. SP Dosage of concrete with GCC

있는 고성능 콘크리트로 알려져 있다.¹⁸⁾

그러나, 자기충전 콘크리트는 유동성과 점성을 동시에 확보해야만 충전성을 만족시키기 때문에 지금까지는 점성을 확보하기 위하여 다량의 시멘트 및 포졸란계(고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬 등)분체를 사용함에 따라 국내의 연구 및 활용은 대부분 50.0 MPa 이상의 고강도 콘크리트 영역에서 연구가 진행되어 그 사용범위가 크게 확대되지 않고 있지만 무반응성 분체를 사용하여 점성을 확보할 경우 21.4 ~ 30.6 MPa 정도의 보통강도 자기충전 콘크리트를 제조할 수 있기 때문에 적용범위 및 사용량이 크게 증가될 것으로 예상된다.

본고에서는 무반응성 무기계 분체를 자기충전 콘크리트에 적용한 국내 연구결과를 기술하였으며¹⁹⁾, 이러한 연구결과를 통하여 다양한 무기계 폐기물 분체를 콘크리트용 혼화제로 활용할 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

4.1 중탄산칼슘의 활용

중탄산칼슘(GCC)을 자기충전형 콘크리트의 혼화제로 사용하기 위하여 GCC 혼합률 0%, 15%, 30% 및 60%에 대한 콘크리트의 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 정리한 것이 <그림 10>이며, GCC와 고로슬래그 미분말(SG)을 혼합한 자기충전 콘크리트의 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 정리한

것이 <그림 11>이다.

<그림 10>에서 모든 GCC 혼합물에서 목표 V-Lot 유하시간을 만족하였으나, 충전성은 GCC 혼합물 45%인 경우만 만족하고 있어 자기충전 콘크리트에 적합한 GCC 혼합물은 45%임을 알 수 있다. 또한 <그림 11>의 결과 모든 배합에서 목표 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 동시에 만족하고 있어 고로슬래그 미분말을 GCC와 함께 혼합할 경우 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다. 즉, 고로슬래그 미분말을 혼합함으로써 자기충전 콘크리트의 단위시멘트량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, GCC만을 혼합한 콘크리트보다 점성 및 충전성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4.2 석분 슬러지의 활용

국내의 경우 풍부한 석재자원을 보유하고 있지만, 무분별한 석재를 채취함에 따라 자연환경이 심하게 훼손되고 있으며, 또한 석재 가공시 연간 수백만 톤씩 폐석이나, 석분슬러지가 발생되어 환경오염의 원인이 되고 있다. 따라서 환경오염의 방지 및 천연 석재자원의 보전차원에서 석분 슬러지에 대한 재활용 방안 연구는 불가피한 당면과제이며, 환경적인 측면과 자원 재활용의 측면을 동시에 충족시킬 수 있을 것이다.⁷⁾

다음은 석분 슬러지를 자기충전 콘크리트의 혼화재로 활용하기 위한 방안으로 콘크리트의 유동성 및 충전성에 대하여 검토한 내용이다.

<그림 12> 및 <그림 13>은 석분 슬러지(RP)를 활용한 자기충전 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 V-lot 유하시간과 U-Box 충전높이차를 나타낸 것으로 일본토목학회 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”²¹⁾의 유동성과 충전성을 만족하는 결과임을 보이고 있다.

5. 결 론

우리의 일상 주변 및 산업현장에서 발생하는 무기계 폐기물 중 콘크리트용 혼화재로 사용 시 시멘트와의 활성반응이 거의 없거나 미비한 무반응성 분체 및 중금속 이온을 함유한 분체인 폐광미, 폐콘크리트 분말, 중탄산칼슘 및 레미콘 슬러지를 중심으로 그 품질특성 및 콘크리트용 혼화재로 사용가능성을 정리하면 다

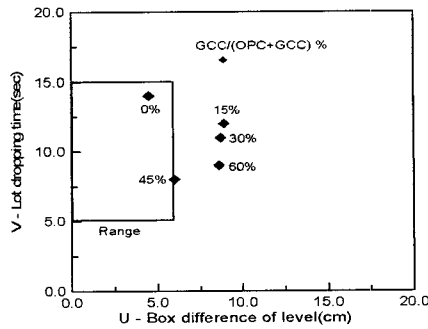


그림 10. V-Lot dropping time and U-Box difference level of concrete with GCC

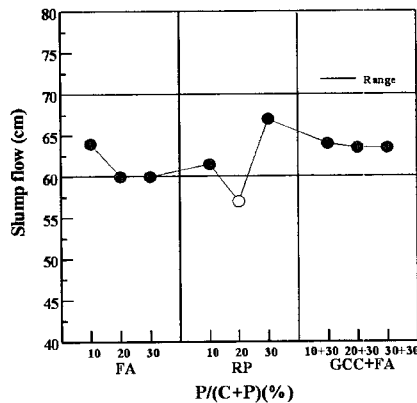


그림 12. Slump flow of concrete with RP

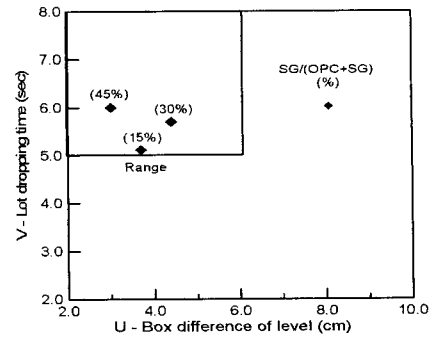


그림 11. V-Lot dropping time and U-Box difference level of concrete with GCC and SG

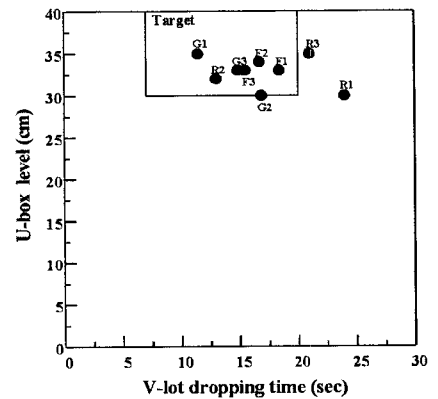


그림 13 V-Lot dropping time and U-Box difference level of concrete with RP

음과 같다.

폐콘크리트 분말, 중탄산칼슘 및 레미콘 슬러지 등의 특성은 시멘트의 물성과 유사하며 유해성분을 함유하고 있지 않으므로 시멘트에 대체하여 활용할 수 있으나, 시멘트 수화반응을 활성화하지 못하므로 강도발현에는 큰 효과가 나타나지 않았다. 또한, 폐광미 중에는 중금속 이온들이 함유되어 있으나 시멘트 고화체에 적용함으로써 안정화 및 고정화되어 중금속 함유량을 크게 낮출 수 있어 혼화재로서 활용성이 기대된다.

또한, 중탄산칼슘 및 석분슬러지를 자기충전 콘크리트용 혼화재로 활용한 경우 일본토목학회 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”의 유동성과 충전성을 만족하는 결과를 나타내고 있어 분말도 및 입도가 유사한 폐광미 및 폐콘크리트 분말도 자기충전 콘크리트의 점성을 확보하기 위한 분체계의 일부로 사용할 수 있는 가능성을 얻었다.

따라서, 이러한 무기계 폐기물들은 기존의 콘크리트용 혼화재의 개념인 유동성향상 및 강도증진의 목적으로 사용하기보다는 자기충전 콘크리트의 점성확보를 통한 충전성향상 목적 및 강도조절용 혼화재로 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 통하여 궁극적으로는 환경오염 방지시스템 및 자원순환 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다. □

참고문헌

1. 진효택, "토양오염조사 및 광해방지 시스템연구", 광진 96~4, 대한광업진흥공사, 1996.
2. 강병옥, "건설공사의 환경관리", 재생골재 활용기술 및 제도개선을 위한 대토론회, 2001. 12, pp.156~164.
3. 이형식, 김혜태, "우리나라의 재활용 실태 및 정책방향", 제4회 폐기물 처리 및 재활용 워크샵, 한국자원연구소, pp.15~48.
4. 이수구, "도시 폐기물 소각재 처리현황 및 관리방안", 서울산업대, 1999.
5. 류필조, "석회석 및 석회 활용의 최근 동향", 한국석회석 가공업 협동조합 여름호, 1998, pp.42~53.
6. X. Xiong, K. van Breugel, "Effect of Limestone Powder and Temperature on Cement Hydration Processes," International Conference on Performance of Construction Materials in The New Millennium, A New ERA of Building Vol.1, 2003. 2, pp.231~240.
7. 佐藤道生, 佐伯龍彦, 井下一郎, "濕式にて捕集した碎石スラッジ混和材としての特性", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.24, No.1, 2002, pp.1335~1340.
8. 丸山九一 外 2名, "下水汚泥焼却灰の再資源化に關する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.24, No.1, 2002, pp.1383~1388.
9. 박용하, "휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리대책", 한국 환경기술 개발원, 1994, pp.4.
10. 최연왕, 정문영, "중석광 폐광미를 활용한 콘크리트의 특성에 관한 연구", 한국자원공학회지, 1998, 제35권, pp.90~95.
11. Kasai, Y., Yuasa N., "Effective Use of Concrete Powder By-Produced from Recycled Aggregate," International Seminar on Recycled Concrete, 2000. 9.29, pp.107~114.
12. Dae-Joong Moon, Han-Young Moon, Yang-Bae Kim, "Recycling of Waste Concrete Fineness for Cement Material", Egypt, 2003. 2, pp.887~892.
13. 嘉門雅史, "地盤改良材への利用," 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.53~56.
14. 横山 滋, "セメント原料への利用," 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.49~52.
15. 임남웅, "유해성 산업폐기물의 고품화에 있어서 시멘트의 효과", 한국폐기물학회지, 제18권 제 6호, 2001, pp.39~50.
16. 李琮揆, 坂井悦郎, 大門正機, 長瀧重義, "再生微粉末の水和性と吸着特性", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.21, No.1, 1999, pp.193~198.
17. 大門正機, 榊田佳寛, 十河茂幸, 坂井悦郎, "石灰石微粉末研究委員會報告", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998, pp.49~58.
18. C. Aguilar and H. Barrera, "Impact of Type and Amount of Fines of Fines on Self-Compacting Concrete Properties," International Conference on Performance of Construction Materials in The New Millennium, A New ERA of Building, Vol.1, 2003. 2, pp.179~188.
19. 최연왕, 정문영, 임흥빈, 황윤태, "중탄산칼슘을 이용한 자기충전형 콘크리트의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제14권 1호, 2002, pp.73~78.
20. 신화철, "고로슬래그 미분말 대체 콘크리트의 물성개선을 위한 Ready Mixed Concrete 슬러지수의 재활용", 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 2002. 8.
21. JSCE, "高流動コンクリート施工指針", 2000.

"콘크리트 표준시방서"

◆ 소 개

본 서는 각종 콘크리트구조물의 공사와 관련된 시공 전반에 대한 기본적인 표준을 규정한 것이다. 이번에 개정된 「콘크리트표준시방서」는 배합강도 산정식, 경량 콘크리트 설계기준 강도 범위 등 부족한 일부 내용을 다듬고, 염화물 이온함, 내구성 강화를 위한 공기량 규정 등을 추가하여 일선에서 건설기술자들이 유용하게 활용할 수 있도록 하였다.

- 제 목 : 콘크리트표준시방서
- 지 자 : 사단법인 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 출판일 : 2003년 5월
- 페이지 : 304쪽(B5)
- 정 가 : 15,000원

