

레미콘 기술동향

대규모 도로건설 프로젝트에서 자재 재활용

뉴멕시코 알부쿠에르크에서 대규모 주간 인터체인지 교체작업을 하고 있는 한 건설회사는 구 인터체인지의 철거 시에 발생된 자재의 대부분을 현장에서 재활용했다. 기존도로, 교량, 사면의 철거 시에 발생된 콘크리트, 아스팔트, 암석, 기타 잡석 수십만 톤을 분쇄하여 신도로와 교량 설비용 부재료로 재활용해 왔다.

이 프로젝트는 뉴멕시코에서 발주한 가장 큰 공공 공사로서, 25번 주간 고속도로와 40번 주간 고속도로의 인터체인지인 Big-I 신규 건설에는 55개의 교량 건설, 200미터의 진흙 굴착, 기계적으로 안정화된 70만 ft²의 흙벽 건설이 필요했다. 시공기간 동안, 매일 Big-I를 이용하는 30만 대의 차량을 위해 2개 차선은 개방해야 했으며, 차량의 통제는 야간에만 가능하였다.

현장에서 발생된 콘크리트 폐재들을 분쇄하여 잡석으로 사용하기 위한 고가의 분쇄기가 설치되었다. 죠크러셔가 설치된 백호우를 이용하여, 말뚝으로부터 철근과 재활용될 수 없는 다른 자재들을 구분한 후, 나머지 잡석을 약 1ft 정도 크기의 덩어리로 만들어냈다. 이 덩어리를 분쇄기의 컨베이어 벨트로 옮기고, 그 중에서 분쇄기에 손상을 줄 수 있는 고속도로

보수용 재료들을 선별해 냈다. 선별된 덩어리는 분쇄기에서 재료를 완두콩 크기 정도로 분쇄된 후, 현장내에서 소요장소로 운반되어 재활용되었다.

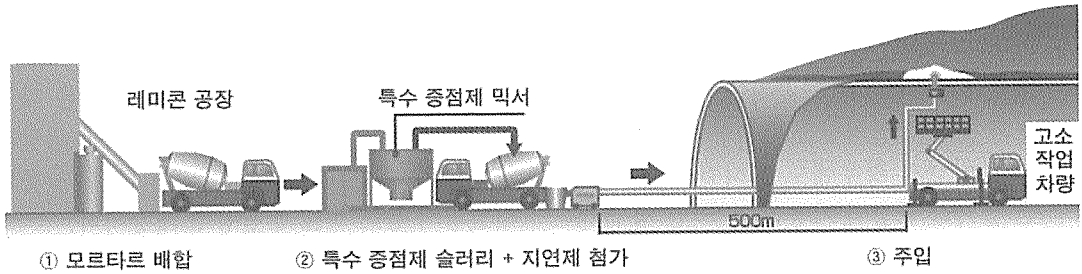
이러한 현장내에서의 재활용이 트윈 마운틴 건설 II의 계약 요구사항은 아니었으나, 주로 잡석 제거에서 비용을 절감하는 재활용 계획으로 입찰시에 경쟁업체보다도 4백만 달러 낮은 저가로 입찰할 수 있었다. 또한, 매립지 비용이 소요되지 않았고, 소요자재 자체를 생산함으로써 재료운반비가 불필요함과 동시에 프로젝트 관리가 용이하였다.

〈출처 : www.e-worldconstruction.com〉

가소성 그라우트재를 500m까지 압송

일본의 (株)大林組는 고점성의 가소성 그라우트재의 장거리 펌프 압송을 가능하게 하여, 기존 터널의 복공 배면 공극에의 그라우트 주입을 보다 효율적이면서도 저렴하게 실시할 수 있는 기술인 '스페이스 팩 공법'을 확립하였다. 이 공법은 500m의 압송을 가능케 하는데, 터널 내의 장거리 보수 공사에 적극 활용될 예정이다.

터널 보수에서는 복공 배면에 공극이 있는 경우에 주입 재료를 충전하고 복공에 국부적



스페이스 팩 공법의 장거리 압송

으로 불균등한 하중이 걸리는 것을 막고 복공 콘크리트의 변형과 지반의 안정을 확보하는 공법이 사용된다. 터널 복공 콘크리트의 배면 공극이나 지하 공동 등의 뒷채움에 사용됐던 발포 모르타르는 유동성이 높아 이음부 등에서 누출될 수 있고, 물에 대한 분리 저항성이 높지 않다. 또, 용수에 사용되는 유기계 발포 재료는 재료비가 고가이므로, 최근에는 고점성으로 압송을 정지하면 자립하여 소요의 위치에 확실하게 주입 가능한 가소성 그라우트의 사용이 증가하고 있다.

가소성 그라우트는 상당히 점성이 높아 펌프 압송이 곤란하기 때문에 장거리라도 압송할 수 있도록 시멘트계 재료와 가소재를 각각 펌프 압송해 압송관 끝에서 혼합하는 2액 방식이 많이 채용되고 있지만, 압송 등의 기계 2종이 사용되고 선단에는 혼합 기계가 필요하므로 비용의 문제가 있었다.

이 회사가 개발한 스페이스 팩 공법은 전체 재료를 혼합한 그라우트를 1대의 펌프로 압송하는 뒷채움 주입 공법이다. 이 공법은 모르타르를 운반하는 트럭에 점성을 높이는 슬러리를 투입·혼합해 쉽게 주입재를 제조하고, 재료 및 기계를 적게 사용하여 고가 재료나 특수 기계를 사용하지 않는 저렴한 주입 공법이다.

이 회사는 동경 기계 공장에서 압송 실증 실험을 하고, 500m의 압송을 확실하게 행할 수

있음을 실증했다. 터널 복공 콘크리트 등의 주입에는 일반적으로 2인치 주입관이 사용되지만, 이 실험에서는 2인치보다도 압송 저항이 작은 3인치의 압송관으로 500m 압송하고 선단부에서 2인치가 되는 압송 방식을 사용하고, 경동 및 연동 2종류의 배합에 관해서도 실시하였다. 그 결과, 500m의 장거리라도 압송에 의한 재료의 모양 변화가 작고 충분한 성능을 확보하는 것이 확인됐다.

지금까지의 압송 실적은 200m로, 터널 연장이 긴 경우나 주입 범위가 넓은 경우에는 플랜트를 설치할 수 있는 장소에 제한됐다. 하지만, 이번 실험을 통해 장거리 압송 성능이 확인됐기 때문에 주입 부분에서 벗어난 터널의 밖 등의 장소에 플랜트를 설치하는 것이 가능해졌다. 이 공법은 터널 내의 기계를 줄이거나 압송 설비의 준비나 철거에 필요한 시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라 도로 터널에서는 차선 규제도 단축시킨다. 차량이 진입 설치할 수 없는 장소의 지하 공동의 주입도 가능하다.

스페이스 팩 공법의 장점은 다음과 같다.

1. 특수한 모래나 시멘트를 일체 사용하지 않기 때문에 저비용이다.
2. 레미콘 공장으로부터 출하된 모르타르에 특수 증점제를 투입하고, 트럭에 의해 혼합하는 간단한 제조 시스템으로 제조 후의 주입재의 운반도 쉽고, 현장에서의 제조도 가능하다.

3. 도로 터널의 경우에는 트럭을 사용해 주입 부분까지 운반 가능하고, 주입 현장의 주된 시공 설비는 일반적인 모르타르 펌프와 고소 작업차만으로 가능하다.
4. 철도 터널의 경우에도 장시간의 운반 또는 장거리 압송이 가능하고, 터널 갱구 부근이나 갱 내의 시공 설비를 최소한으로 할 수 있다.
5. 주입재료의 물성은 밀도 1.3~1.5t/m³ 정도, 모르타르 플로우 180mm, 재령 28일의 압축강도가 2N/mm² 이상이다.
6. 여름철에는 지연제를 사용함으로써 모양이 유지되고 지연제의 증량에 의한 품질의 저하는 없다.

(출처 : セメント コンクリト)

석탄회를 활용한 뿔칠 콘크리트 공법의 개발

일본의 中國電力(株)는 환경 문제의 일환으로 석탄 화력발전소에서 발생하는 석탄회의 재활용을 추진하여 왔고, 이번에 터널이나 사면 공사에 사용되는 뿔칠 콘크리트의 석탄회 활용 기술을 개발했다.

이번에 개발한 기술은 뿔칠 콘크리트에 사용하는 시멘트와 모래의 일부를 석탄회로 치환하여 사용하는 기술로, 장기적으로 견고한 품질이 되고 뿔칠 시의 콘크리트의 리바운드량을 대폭적으로 감소시키는 등 비용절감을 도모할 수 있다. 또한, 터널내의 분진 발생량을 억제할 수 있어, 작업환경의 개선을 도모하는 것이 가능하다.

이 기술은 飛島建設(株)과 (株)奥村組의 공동연구에 의해 개발한 것으로, 히라세 터널의 활용에 관하여 연구한 결과, 막대한 효과가 있음이 인정된 것으로 석탄회를 활용한 뿔칠 콘

크리트 공법으로서는 일본에서 처음으로 VE 제안으로서 공공공사에 본격 채용됐다. 또한, 이 기술은 석탄회의 재활용 추진은 물론 각종 공사의 비용절감, 작업환경 개선 등에 상당히 공헌할 수 있는 것이라 생각되어, 향후 공공의 터널공사 등에 폭넓게 활용될 예정이다.

뿔칠 콘크리트는 터널 굴착 시에 암반의 변형을 억제하는 목적(NATM 지보공)이나 도로사면의 붕괴방지에 일반적으로 사용되고 있는 공법으로서, 기존 공법은 다음과 같은 문제점들이 있었다. ① 공기압력으로 강제적으로 암반면에 뿔칠하므로 콘크리트가 튀어서 30% 정도가 손실되고 여분의 콘크리트를 필요로 한다. ② 뿔칠 시에 튀어나오는 콘크리트나 콘크리트에 혼합한 급결제가 분진이 되므로, 터널 내 등의 폐쇄된 장소 등에 있어 작업환경 악화에 대한 개선이 필요하다. ③ 뿔칠 시에 빨리 경화시킬 목적으로 급결제를 사용하여 콘크리트의 장기 강도가 증진되지 않으므로, 일정 수준 이상의 시멘트량(물 220kg에 대하여 시멘트 360kg)을 필요로 한다.

그러나, 석탄회를 활용하게 되면 석탄회가 미세한 구형으로 암반에 뿔칠되면서 다집되는 특성이 있고, 콘크리트의 점성도 높아지기 때문에 리바운드 양이 적고 초기의 강도 발현성이 좋아지는 성질을 갖는 동시에 분진의 발생이 대폭적으로 저하되어 작업 환경의 개선이 도모된다.

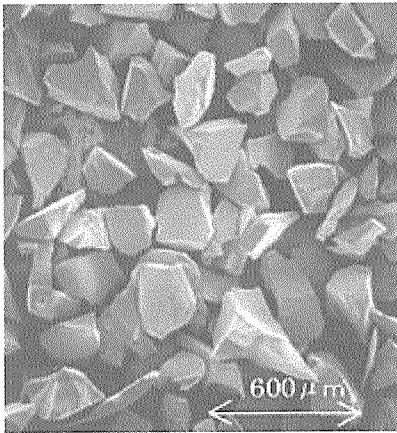
더욱이 석탄회는 장기간에 걸쳐 경화하는 특성이 있고, 급결제의 영향을 받지 않아서 보통의 콘크리트와 비교하여 강도가 높은 품질이 된다.

히라세 터널 공사에서는 석탄회를 시멘트 중량의 30%로 치환하여 사용함으로써, 재료비를 절감할 수 있었고 뿔칠 공사비를 5% 정도(히라세 터널의 절감 실적 : 1,000엔/m³)를 절감할 수 있었다.

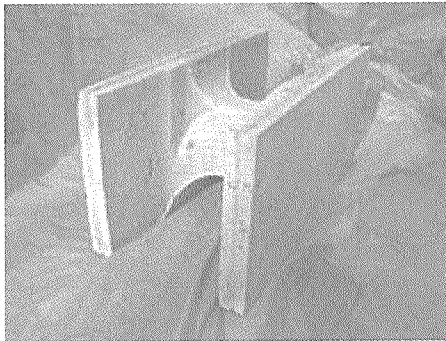
소각재 용융 슬래그를 건물 구조재료에 이용

일본의 竹中工務店은 쓰레기 처리장에서 발생하는 슬래그를 건물의 구조 재료에 적용하기 위한 조사 연구를 진행해 왔으며, 이번에 내구성, 강도 등 건물의 구조 재료에 요구되는 수준을 만족시키는 거푸집상의 콘크리트 블록 유닛의 적용이 가능하다는 것을 검증했다.

기존에는 포장용 골재 등의 비구조재로 밖에 적용될 수 없었던 소각재 용융 슬래그의 적



소각재 용융슬래그



표준 콘크리트 블록 유닛

용 영역이 처음으로 본격적인 건축 구조재료로 사용되어, 소각재 용융 슬래그의 재이용이 촉진될 것으로 기대된다. 또한, 이번 성과는 일본자전거진흥회(재)의 보조를 받았던 엔지니어링 진흥협회로부터 위탁받고 실시됐다. 이번 성과는 2001년도 「환경 조화를 고려한 쓰레기 소각재 용융 슬래그의 건축구조재료에의 활용에 관한 조사 연구」에 의한 것으로, 조사 연구에 있어서는 관련 업계의 전문가로 구성된 연구회를 편성하여 실시하였다.

현재, 소각재 용융 슬래그는 아스팔트 포장용 골재, 노반 노상재, 보도블록, 보도판 등의 토목자재나 건축자재로서 재이용되고 있다. 그러나, 비구조 재료로만 이용되고 있기 때문에 그 이용량은 전국의 슬래그 발생량의 약 30% 정도에 그치고 있다. 전국의 소각재 용융 슬래그 발생량은 1999년에 약 12만6천 톤, 2014년에는 8배인 약 99만8천 톤에 이를 것으로 예측된다.

쓰레기를 소각한 후에 발생한 소각재는 최종 처리장에 운반되어 처분됐지만, 최종 처리장이 점점 더 부족하게 되어 소각재의 처리방법이 문제가 되고 있다. 또한, 다이옥신의 발생으로 인해 고온에서 쓰레기를 태우는 소각장이 잇따라 건설되고 있어, 용융 슬래그는 매년 증가하고 있다. 그래서, 소각재를 1200도 이상의 고온에서 용융하고 슬래그화 해서 자원으로 재이용하는 방법이 검토되기 시작했다.

소각재 용융 슬래그는 재 용융과 가스화 용융의 2방식으로 크게 나눌 수 있고, 20종류로 세분류 할 수 있다. 이번의 연구는 재 용해로에 의한 것(전기가열방식으로 3타입, 연료 연소 방식으로 1타입) 및 열분해 가스화 용해로에 의한 것(가스화·용융 일체형로 1타입, 가스화·용융 분리형로 2타입, 가스화 개질 용해로 1타입)등의 대표적인 소각재 용융 슬래그를 대상

으로 하였다. 또한, 소각재 용융 슬래그가 건축구조재료의 잔골재 대체재로서 적용될 수 있는지 화학분석, 골재시험, 성능평가지험 등을 통해 평가했다.

블록 거푸집 재료 및 구조의 적용성을 검토하기 위해 가스화 용융 방식, 재 용융 방식의 용융 방식별로 실험을 실시하고, 배합, 생산성, 품질에 관해 적용성을 평가했다. 특히, 품질, 정밀도면은 JIS기준치의 적합성을 엄밀하게 평가했다.

거푸집상의 콘크리트 블록 유닛을 거푸집으로 이용하고 공동부분에 철근을 배치하고 콘크리트를 충전한 것으로 철근 콘크리트와 거푸집을 일체화하고 내력벽을 구성해 철근 5층의 건축물이 시공될 수 있는 건축 구조, 건설비용은 운반 등의 조건을 고려하지 않는다면 RC 구조와 같다.

소각재 용융 슬래그는 일본 콘크리트공학협회 「일반폐기물과 하수 오니를 기원으로 하는 용융 슬래그 골재의 JCI 규격」의 잔골재 기준을 만족시킨다. 소각재 용융 슬래그를 잔골재와 대체한 거푸집상의 콘크리트 블록 유닛의 품질은 JIS기준치를 만족시키고 내구성에 문제는 없었다.

〈출처 : www.takenaka.co.jp〉

에코 시멘트로 배수성 포장

2001년 12월 21일, 일본의 千葉縣 主要地方道 成田小見川 鹿島港線の 栗源町澤에서, 에코 시멘트를 사용한 배수성 콘크리트 포장의 시험시공이 실시되었다. 현장은 縣道 44호의 신설 우회도로로서 폭 7.3m × 연장 100m의 규모이다. 시공주는 千葉縣 香取土木事務所, 시공은 일본도로(주), 에코 시멘트와 무기



에코시멘트를 사용한 포러스콘크리트 포설



포러스 콘크리트 포장면

혼화재료는 태평양시멘트(주)가 공급하였다.

포장구조는 아래쪽에서부터 ① 시멘트 안정처리 노반($t=20\text{cm}$), ② As 중간층($t=4\text{cm}$), ③ 5mm top의 배수성 콘크리트 포장(20cm)으로, ②의 편단부에 배수구를 따라서 $\phi 20\text{mm}$ 의 플렉시블 호스를 설치한다. ③의 배수성 포러스 콘크리트 포장은 더블 텀퍼형 As 피니셔로 20cm 두께를 1층으로 부설 다짐하는 타입이다. 그 후, 보조적으로 소형 고무 롤러로 표면 골재의 들뜸을 누르는 정도의 전압을 실시하는 것이 기본 패턴이다. 횡줄눈은 skew 줄눈으로 구배 1:6의 경사줄눈, 간격은 4m이다. 종줄눈은 재령 7일에 차선 중앙부에 커터로 만든다. ③의 후에 양생제를 산포하여 농업용 비닐시트, 양생매트로 덮는다.

콘크리트의 배합은 단위량으로 배합수 76, 에코 시멘트 347, 잔골재 186, 굵은골재 1446, 혼화재 25(kg/m³), Gmax 5mm, 물결합재비 20%이고, 재령 28일 휨강도 4.5N/mm², 투수계수 0.01cm/sec 이상, 공극률 18%를 목표로 하고 있다.

에코 시멘트를 사용한 것을 제외하면, 이미 다른 3개 지역에서의 실적이 있는 공법이지만, 이번 시험시공에서는 배수성능 주행소음 저감 성능 마모저항성 내구성 등의 성능을 검증하고 있다.

〈출처 : 세멘트 콘크리트〉

פורס 콘크리트로 하천 호안공사

일본의 奈良縣 大和郡山市 秋篠川에서는 일본내 최초로 에코 베이스 공법에 의한 하천 호안 시공이 실시되었다. 이 공법은 식생 호안용 포러스 콘크리트를 이용하여, 특수 포장기계로 직접 시공하는 자연형 하천 호안공법으로, ① 환경배려형으로 하천의 생물이 적응하기 쉽고, ② 콘크리트 제품을 이용한 공법에 비해서 비용면에서 저렴하고, ③ 기계화 시공에 의해 품질의 변동이 적고, ④ 공기는 기존의 1/4정도 등이라는 장점이 있다.

현장은 폭 4m × 연장 64m × 두께 20cm, 면적은 271m² 규모이고, 호안의 구배는 1:2이었다. 이번의 시공에서는 ① 법면 정형 후에 레일을 가설하여, 실린더 피니셔와 슬로프 컨베이어를 설치, ② 거푸집, 줄눈의 설치 후, 레미콘 품질을 확인하여 에코 베이스를 균등하게 부설한다, ③ 이것을 실린더 피니셔, 또는 단부 바이브레이터로 다짐하면서 호안을 구축한다.

콘크리트의 배합은 고로 B종 시멘트, 쇄석,

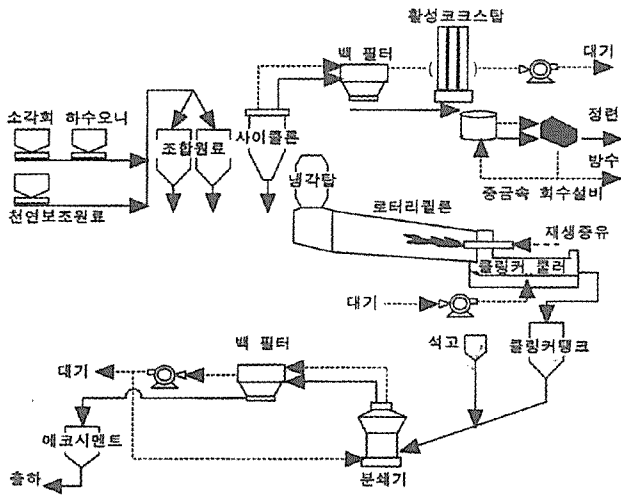
고성능감수제, 특수첨가제 등을 사용하여, 압축강도 10N/mm² 이상, 공극률 21~30% 등을 목표로 한다.

〈출처 : 세멘트 콘크리트〉

에코 시멘트

일본의 千葉縣 市原市의 市原에코시멘트(주)에서는 2001년 4월경부터 세계 최초로 에코 시멘트를 상업화하여 연간 약 11만톤의 에코 시멘트가 제조될 예정이다. 도시 쓰레기 소각회를 주원료로 하는 이 신종 시멘트는 도시 쓰레기의 리사이클과 중금속이나 다이옥신이라는 유해물질의 안전화라는 두가지 특징이 있다. 일본에서는 연간 5000만톤 이상의 도시 쓰레기가 배출되고 있고 그 중 대부분은 소각 후에 매립되고 있지만, 도시지역에서는 최종처리장의 잔여년수가 부족하게 되어 매립을 계속하기 위해서는 최종처분장의 신설이 필요하다. 그러나, 유해물질이나 환경파괴의 문제 때문에 도시근교에 최종처분장의 신설은 극히 곤란하다. 따라서, 에코 시멘트 제조와 같은 도시 쓰레기 소각회의 재자원화는 앞으로 zero-emission 사회로 향한 새로운 일보로서 매우 유효하며, 일본의 각 자치단체를 시작으로 다방면에서 주목되고 있다.

보통 에코 시멘트의 제조공정은 그림과 같고, 수거된 도시 쓰레기 소각회 중, 수분을 많이 포함한 것은 건조 후에 분쇄하고, 수분을 거의 포함하지 않은 것은 그대로 원료로 사용한다. 이러한 도시 쓰레기 소각회에 천연원료인 석회석 등을 가하여 보통 에코 시멘트의 화학조성에 맞도록 배합을 실시한다. 균제화 탱크에서 배합된 원료는 로터리 킬른에서 1,300℃ 이상의 고온에서 소성되고, 클링커 클러에서



에코시멘트의 제조과정

냉각 후에 클링커로 된다. 이 보통 에코 시멘트 클링커에 석고를 혼합하여, 마무리 밀에서 비 표면적 4,200cm²/g 정도로 분쇄되어 보통 에코 시멘트가 된다.

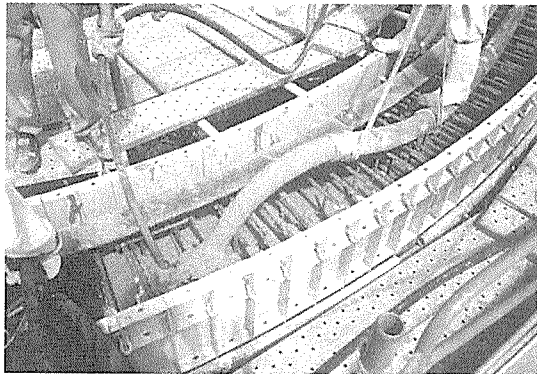
보통 에코 시멘트의 원료인 도시쓰레기 소각회의 화학조성은 천연원료에 비해서 변동이 크다. 그래서, 에코 시멘트 공장에서는 균제화 탱크를 이용하여 배치 방식으로 배합을 실시한다. 배치 방식을 사용하는 것으로서 미세한 성분조정이 가능하게 되므로, 안정하게 목표

조성의 배합원료를 만드는 것이 가능하다. 또한, 시멘트 품질의 변동율은 보통 포틀랜드 시멘트와 동일한 정도이다.

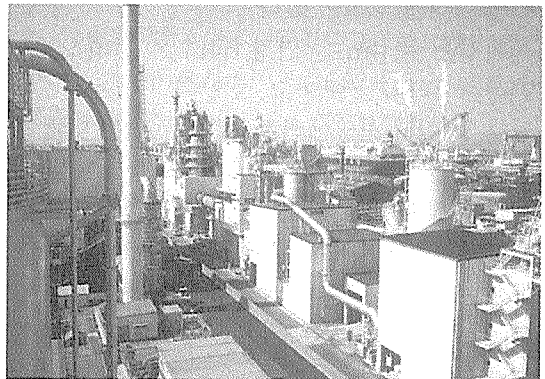
(재)일본건축센터 내구성평정위원회의 심사를 거쳐 사용성을 검증한 후, 약 5000m³의 에코 시멘트 콘크리트를 市原에코 시멘트 공장건설에 적용하였다.

에코 시멘트를 사용한 콘크리트는 동일 슬럼프의 보통시멘트 콘크리트와 비교하여 약간 점성이 높은 경향이 있지만 콘크리트의 제조, 운반, 타설은 유사한 것으로 나타났으며, 또한 콘크리트의 품질도 표준값에 충분히 만족하였다.

무근콘크리트 제품으로 토목용 콘크리트 블록과 도로 측구, 경계블럭 등의 프리캐스트 제품을 대상으로 일본 토목연구소와 공동연구의 일환으로 시험시공을 실시하였다. 에코 시멘트 콘크리트의 배합은 보통시멘트를 사용한 경우의 단위시멘트량, 단위수량, W/C를 변경하지 않고 동등의 굳지 않은 성상을 갖는 콘크리트가 얻어지며, 에코 시멘트 콘크리트의 강도는 보통시멘트를 사용한 경우와 비해 공시체



에코 시멘트 콘크리트 타설상황



市原 에코 시멘트 공장

압축강도, 제품의 휨강도에서 약간 저하하지만
만 규격치는 만족하는 것으로 나타났다. 또한,
시공성에 있어서도 보통시멘트와 유사한 것으

로 나타났다.

〈출처 : 建築技術〉

