

**Flyash Concrete**

**플라이애쉬 콘크리트**

**Definition**

High volume flyash (HVFA) concrete is made using large volumes of waste flyash instead of Portland cement.

**정의**

콘크리트 배합시 포틀랜드 시멘트 대신 대량의 폐기용 플라이애쉬를 사용하여 만드는 콘크리트를 말한다.

**Building Use**

- highrise office
- lowrise office
- retail
- food service
- institutional
- arena

**Building Type**

- new
- retrofit

**Development Status**

- developing technology

**적용건물**

- 고층 사무실
- 저층 사무실
- 소규모 상점
- 음식점
- 교육기관
- 경기장

**건물종류**

- 신축
- 리트로핏

**개발단계**

- 개발중인 기술

**Description**

Concrete is a major construction material worldwide. Unfortunately, the production of Portland cement (an essential ingredient of concrete) releases large amounts of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. The need to decrease greenhouse gas emission concerns means that supplementary cementing materials be used to replace large proportions of cement in the manufacturing of concrete. One of the most readily available cementing materials is flyash, a waste product of thermal power generation.

**개요**

전세계적으로 콘크리트는 건설공사의 주된 재료로 사용된다. 그러나 불행히도 콘크리트의 필수요소인 포틀랜드 시멘트는 다량의 CO<sub>2</sub>를 대기로 방출하는 문제점을 지닌다. 온실가스 방출저감을 위하여 콘크리트 제조시 다량의 시멘트를 대체할 수 있는 결합재의 개발이 요구되고 있다. 현실적으로 가장 활용 가능한 접합제 중 하나가 화력발전의 부산물인 플라이애쉬이다.

In high volume flyash concrete, large proportions (usually 40 to 50%, sometimes up to 65%) of the Portland cement is replaced by flyash. The proportion of materials (cement, flyash, water, aggregates, chemical admixtures such as the air-entraining admixture, water-reducer and superplasticizer) can be optimized to produce a high-quality concrete for a wide range of applications. HVFA concrete can meet most technical specifications, even those for high-performance concrete, has environmental benefits and is similar in cost to conventional concrete.

하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트의 경우, 포틀랜드 시멘트의 많은 부분(대개 40~50%, 많은 경우 65%)을 플라이애쉬로 대체한다. 시멘트, 플라이애쉬, 물, 골재, 공기연행제, 혼화제, 감수제 등 재료의 배합비율은 다양한 용도에 따른 양질의 콘크리트 생산을 위해 적정화될 수 있다. 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트는 고성능 콘크리트에 사용되는 최고기술의 시방을 만족시킬 수 있고, 환경적인 이익을 얻을 수 있으면서 비용측면에서는 기존의 콘크리트와 유사하다.

HVFA concrete has advantages and limitations as compared to conventional Portland cement concrete. Due to the large proportion of cement being replaced by flyash, the strength development of HVFA concrete is somewhat slower than that of conventional concrete. In spite of this, HVFA concrete can be proportioned to achieve both early-age and later-age strengths commonly required or specified for various applications. For a given level of compressive strength at 28 days, the long-term mechanical properties and the durability of properly proportioned and cured HVFA concrete will be, in general, significantly superior to that of conventional Portland cement concrete. HVFA concrete resists sulphate attack when it is made with ASTM Class F flyash. Low permeability and excellent resistance to chloride-ion penetration makes HVFA a better performing concrete.

### Benefits

- Lowers CO<sub>2</sub> emissions
- Lowers the risk thermal cracking in large concrete elements
- Lowers drying shrinkage and creep
- Improves concrete performance due to low permeability and excellent resistance to chloride-ion penetration
- Control of expansion due to alkali-silica reaction, when properly proportioned using an adequate ASTM Class F flyash.

### Limitations

- Some retardation in setting time
- Lower early-age strength
- Reduced resistance to de-icing salt scaling
- Reduced bleeding, which may involve slightly different finishing procedures of flat surfaces.

하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트는 기존의 포틀랜드 시멘트 콘크리트와 비교하여 장단점을 가진다. 다량의 시멘트가 플라이애쉬로 대체됨에 따라 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트의 강도는 기존의 콘크리트에 비해 다소 떨어진다. 그러나 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트는 초기강도와 재령에 따른 강도측면에서 용도별 요구성능기준을 만족시킬 수 있는 배합이 가능하다. 28일 압축강도 측면에서 비교해 볼 때, 적절히 배합된 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트는 기존의 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 비하여 월등한 내구성을 보인다. ASTM의 F급 플라이애쉬로 배합된 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트는 내황산성을 가진다. 염화이온에 대한 완벽한 저항성은 하이볼륨 플라이애쉬 콘크리트를 더욱 나은 성능의 콘크리트로 발전시키게 되었다.

### 장 점

- CO<sub>2</sub> 방출 저감
- 대형 콘크리트 부재에서의 열적 균열위험 저감
- 건조수축 및 크리프 저감
- 완벽한 염화이온 침투방지로 콘크리트 성능 향상
- ASTM의 F급 플라이애쉬를 사용하여 적절히 배합된 경우 알칼리골재반응으로 인한 팽창 조절이 가능

### 문제점

- 경화시간의 지연
- 초기강도의 약화
- 제빙 염화물 축적에 대한 저항성 약화
- 평면에 이질의 마감재가 포함될 경우 블리딩 감소

**Application**

The HVFA concrete has been used for applications such as foundations, structural elements for small buildings (e.g. walls and columns), roller compacted concrete, massive elements, slabs on grade, and pavements.

However, it is clear from its technical limitations that its use may not always be cost-effective for structural elements of high-rise buildings, and for precast concrete when high early-age strengths are required. Also its use is not recommended for concrete such as sidewalks, exposed to de-icing salts.

**Cost**

The cost of HVFA concrete is strongly influenced by the relative cost of flyash and Portland cement and by the proportions of the concrete mixtures. It can be lower or higher than conventional Portland cement concrete. However, for specific applications, when service life is considered, the HVFA concrete will probably be more cost-effective than Portland cement concrete due to its excellent durability.

**Information Sources**

International Center for Sustainable Development of Cement and Concrete (ICON)  
CANMET, Natural Resources Canada  
405 Rochester St.  
Ottawa, Ontario  
Canada K1A 0G1  
tel 613 992 6127  
fax 613 992 9389

**적용방안**

하이블룸 플라이애쉬 콘크리트는 기초, 소형건물의 구조재(벽, 기둥), 롤러압축 콘크리트, 매스콘크리트, 지중슬래브, 포장재 등에 사용되어 왔다.

그러나 기술적인 문제점이 존재함에 따라 고층건물의 구조재로 사용될 경우와 초기강도가 높은 프리캐스트 콘크리트로 제작될 경우 비용효율 측면에서 한계를 가진다. 또한, 보도나 제빙 영화물에 노출되는 부분에서의 사용은 바람직하지 않다.

**비 용**

하이블룸 플라이애쉬 콘크리트의 가격은 플라이애쉬와 포틀랜드 시멘트의 가격 및 콘크리트 혼화제의 배합비율에 의해 크게 좌우된다. 따라서 가격은 기존의 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 비해 높아질 수도 낮아질 수도 있다. 그러나 수명이 보장되어야 하는 등의 특정시방에 있어서는 하이블룸 플라이애쉬 콘크리트의 탁월한 내구성으로 인해 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 비용 효율적이다.

**자료출처**

International Center for Sustainable Development of Cement and Concrete (ICON)  
CANMET, Natural Resources Canada  
405 Rochester St.  
Ottawa, Ontario  
Canada K1A 0G1  
tel 613 992 6127  
fax 613 992 9389

## [보충자료1] 포틀랜드시멘트 vs. 플라이애쉬

## 1. 정의 및 특성

## •포틀랜드 시멘트

포틀랜드 시멘트는 주성분인 석회, 실리카, 알루미나 및 산화철을 함유한 원료를 적당한 비율로 충분히 혼합하여 그 일부가 용융하여 소결된 클링커에 적당량의 석고를 가하여 분말로 한 것이다. 시멘트는 구조재료인 콘크리트를 이루는 주된 결합재로서 또는 건축미장용 결합재로서 건축재료 중 가장 많이 이용되고 있는 재료이다. 또한, 콘크리트를 사용하는 건설공사에 있어서 95% 이상을 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있다.

1796년 영국의 James Parker는 순도가 낮은 석회석을 소성하여 생긴 덩어리를 부수어서 수경성의 분말을 얻는 방법을 발견하였으며, 이후에 로만시멘트라고 불렸다. 1813년 프랑스의 L. J. Vicat는 순도가 낮은 석회석을 사용하는 대신 석회석에 점토를 혼합하여 구우면 수경성이 개선되는 것을 발견하였다. 이것은 천연시멘트라고 불려 현재의 포틀랜드 시멘트의 시초가 된다.

1824년 영국의 Joseph Aspdin은 미세하게 분쇄된 석회석분말을 소성한 다음 여기에다 미세하게 분쇄된 점토분말을 혼합하여 로(爐) 안에서 CO<sub>2</sub>가 빠져나갈 때까지 이 혼합물을 소성하였으며, 이 혼합물을 미세하게 분쇄한 후 시멘트로서 사용하였다. 포틀랜드 시멘트라는 이름은 경화시멘트의 색깔이나 외관이 영국의 포틀랜드 섬에서 산출되는 석재와 유사하였기 때문에 이러한 명칭을 붙였다<sup>1)</sup>.

## •플라이애쉬 시멘트

미분탄 연소로 내의 석탄을 미분기로 분쇄(200mesh 채로 70~80% 통과)하여 뜨거운 공기 기체와 함께 고속으로 주입하며, 석탄에 함유된 대부분 탄소는 점화점 이상인 1,500±200℃의 온도 범위에서 부유 상태로 순간적으로 연소된다. 국내탄(무연탄)의 경우는 30~50%, 석탄(유연탄)

은 10~15%정도의 회분을 함유하고 있어 이것이 보일러 내에서 연소 후 석탄회가 되며, 석탄회는 연소온도, 탄종, 분쇄도, 체류시간에 따라 여러 가지 물리, 화학적인 성질이 변화된다.

미세한 미분상태인 미분탄은 연소되어 배연가스와 함께 보일러에서 배출되어 집진기 하부에서 포집되는데 이 회를 Fly Ash(비회, 75-90%)라고 하고 보일러 하부에 낙하되는 과상 또는 입자가 큰 회를 Bottom Ash(저회, 10-25%)라 한다. Bottom Ash(B/A)는 분쇄기로 분쇄하여 Fly Ash(F/A)와 같이 혼합되어 회처리장으로 이송 후 매립된다<sup>2)</sup>.

국내 석탄화력발전소에서 생산되는 석탄회는 1996년을 기준으로 292만 톤에 이르고 있으며 지속적인 에너지 공급에 따른 석탄화력발전소의 건립으로 인해 향후 석탄회는 2005년까지 570만 톤에 이를 것으로 추정되고 있다. 현재 대부분의 석탄회는 매립되고 있는 실정이므로 장차 회처리장의 입지확보의 어려움과 환경보호차원에서 야기될 문제의 각성은 재론할 필요가 없다.

정부는 1998년부터 석탄회 재활용률을 회생산량의 35%, 2005년에는 50%로 책정하고 있으나, 아직까지 국내 소수의 회사만이 석탄회를 재활용에 관계하고 있으며, 기존 수요시장 또한 극히 제한되어 있어 장차 급증할 석탄회를 소화하기 위해서는 획기적인 시장개척이 절실하다.

이상의 플라이애쉬를 이용하여 포틀랜드 시멘트와 혼합하여 제조하는 시멘트를 플라이애쉬 시멘트라 한다. 플라이애쉬는 연소 중에 용융되어 둥근 형태로 되며 구형을 유지하고 있는 것이 현미경에 관찰된다. 플라이애쉬 시멘트를 사용한 콘크리트의 특성은 다음과 같다.

·입자가 구형이므로 유동성이 증가되어 단위수량을 감소시키므로 콘크리트의 워커빌리티의 개선, 펌핑성을 향상시킨다.

·콘크리트 수화초기시의 발열량을 감소시키고 장기적으로 시멘트의 석회와 결합하여 장기강도를 증진시키는 효과가 있다.

1) 대한건축학회, 건축재료, 건축학전서 제7권, 기문당, pp.43~92.

2) 한국 FLY-ASH 시멘트 공업(주) <http://www.flyash.co.kr/>

- 수산화칼슘과 반응함에 따라 알칼리성을 감소시켜 저알칼리시멘트의 효과를 나타낸다.
- 알칼리골재반응에 의한 팽창을 억제하고, 해수중의 황산염에 대한 저항성을 높인다.
- 공극충진효과 및 포졸란 반응으로 콘크리트의 수밀성을 향상시킨다.

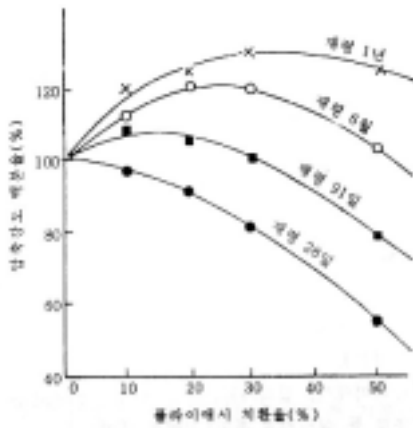


그림1. 플라이애쉬 치환율과 압축강도의 관계

2. 제조공정

·포틀랜드 시멘트

포틀랜드 시멘트 1톤을 제조하는 원료의 평균치는 대략적으로 주원료인 석회석이 1,156kg, 점토 238kg, 규석 기타 65kg, 철광석, 32kg, 응결조절을 위한 석고 37kg이다. 즉, 포틀랜드 시멘트에는 석회석에 점토, 규석, 기타원료를 소정의 화학성분이 되도록 첨가하여 미세하게 분쇄한 후 이것을 1,450℃ 전후의 고온에서 소성하여 시멘트 클링커라 부르는 덩어리를 만든 다음 여기에 석고 기타 첨가물을 더하여 미분쇄하여 만든다. 시멘트의 제조공정은 원료, 소성, 마감의 3공정으로 크게 나누며, 제조방법에는 원료처리공정에 따라 습식과 건식이 있다.

·원료공정

원료공정은 원료를 건조, 분쇄하여 균일하게 배합, 혼합하는 공정이다. 포틀랜드 시멘트의 주성분인 산화칼슘은 석회석에서 공급되며, 이산화규소, 산화알루미늄, 산화제이철은 주로 점토로부터 공급된다. 이산화규소와 산화제이철의 부족한 양을 보충하기 위하여 규석과 산화철 원료를 사용

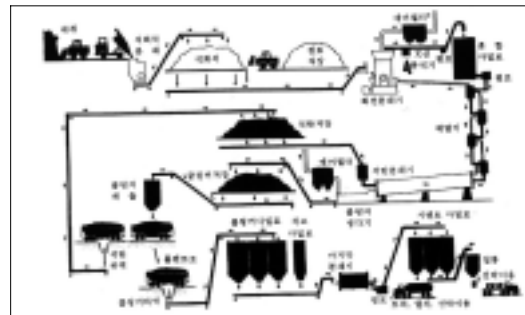
한다. 원료공정은 크게 습식법과 건식법으로 나누어지며, 습식법은 원료에 물을 가한 후 분쇄하여 반죽상태의 슬러리로서 성분조정을 하며, 균일하게 혼합한 다음 소성공정으로 보낸다. 습식공정은 재료의 혼합은 용이하나 수분을 증발시키기 위하여 많은 열을 소요하므로 경비가 증가된다. 건식법은 원료를 건조, 분쇄하여 미분말로 만들어 혼합사일로에서 균일하게 혼합된다.

·소성공정

미분쇄된 배합원료는 회전로(킬른)에서 1,400 ~ 1,500℃의 온도에서 소성되어 반응용상태가 되며, 클링커가 되어 킬른으로부터 배출되어 냉각된 후 마감공정으로 보내진다. 습식법에서는 슬러리를 직접 킬른으로 흘러 넣는 방식과 필터에서 탈수하여 케익상으로 보내는 방식이 있다. 건식법에서는 원료분말을 그대로 킬른으로 보내는 것과 예열기에서 킬른의 배기가스와 열교환시킨 후 킬른으로 보내는 경우가 있다.

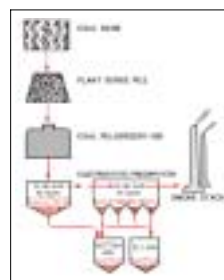
·마감공정

클링커에 산화칼슘, 산화알루미늄의 순간적인 경화를 방지하기 위하여 3~4%의 석고를 첨가하며 마감볼밀에서 미세분쇄하면 시멘트가 된다.



·플라이애쉬

·발생

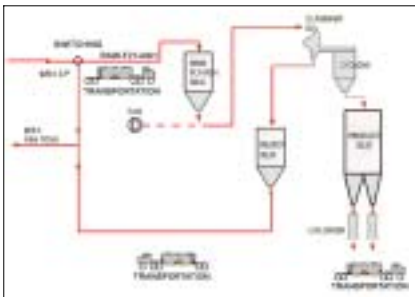


·변화

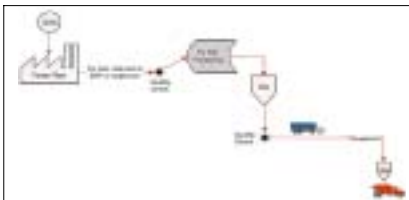


·처리

- ① 원료반입 : 발전소 FLY-ASH 저장 Silo에서 공장반입
- ② 원료저장 : 반입된 FLY-ASH를 원료저장 Silo에 저장
- ③ 원료투입 : 원료 Silo에 저장되어 있는 FLY-ASH를 원료투입 공정에 정량 투입
- ④ 원료이송 : 정량 투입된 원료 FLY-ASH를 정제 (원심분급) 공정으로 이송
- ⑤ 정제(원심분급) : 이송된 원료 FLY-ASH가 원심분급기(Classifier)를 통과
- ⑥ 포집 : 정제된 FLY-ASH를 Cyclone으로 포집
- ⑦ 생산저장 : Cyclone을 이용하여 포집한 FLY-ASH를 제품저장 Silo에 저장
- ⑧ 제품출하 : 제품저장 silo에서 각 거래처로 운반



·공급



[보충자료2] 시멘트와 콘크리트의 환경영향<sup>3)</sup>

•시멘트와 콘크리트의 생산

시멘트는 콘크리트 제품의 핵심요소로 모래나 골재를 견고하게 접합하는 재료로 사용되며, 약 95%의 북미 현장에서 포틀랜드 시멘트를 사용한다. 시멘트 생산에는 칼슘과 규소 및 보오크사이트와 철광석 등이 필요하게 되며, 이들 원자재는 잘게 분쇄되어 혼합된 후 회전형 시멘트 킬른으로 유입된다. 킬른은 길고 경사진 원통형의 로이며, 내부에서는 1,480℃까지 온도가 상승된다. 킬른은 천천히 회전하면서 내부의 물질을 혼합하게 되며, 이 때 수화작용을 거쳐 원자재의 복합적인 화학적, 물리적인 반응이 일어난다. 미국의 약 70%에 달하는 시멘트 업체는 대부분 건식 킬른을 사용한다.

시멘트 생산단계에서의 첫 번째 반응은 석회가루를 석회성분(산화칼슘)과 CO<sub>2</sub>로 분리하는 것이며, 이는 약 900℃의 저온환경에서 일어난다. 두 번째 반응은 산화칼슘과 규소를 합성하는 것이며, 이는 고온에서 일어난다. 합성된 새로운 물질은 이후 냉각, 고형화되어 클링커의 형태로 얻어진다. 클링커는 미세한 가루로 분쇄되어 소량의 석고성분을 첨가한 후 최종적인 시멘트가 포장되어 현장이나 레미콘 공장으로 이송된다.

콘크리트는 시멘트와 골재, 물 및 소량의 다양한 혼화제로 구성된다. 콘크리트의 특성은 사용된 시멘트, 혼화제 및 골재와 물의 배합비율에 의해 결정된다.

•원자재 사용

시멘트 산업에 사용되는 원자재 중 석회는 석회석, 이회토, 백악 등으로부터 얻어지며, 규소는 점토, 모래, 혈암으로부터 얻어진다. 플라이애쉬와 같은 특정 폐기물에서도 규소를 얻을 수 있다. 철과 알루미늄은 철광석과 보오크사이트에서 얻을 수 있으나, 재활용 자재 역시 사용가능하다.

3) Cement and Concrete: Environmental Considerations From EBN Volume 2, No. 2, March/April 1993.

<http://www.buildinggreen.com/features/cem/cementc onc.html>

또한, 시멘트 양의 약 5%는 석고성분으로 칼슘과 황을 가지고 있는 광물에서 채취된다. 최종 제품 형태의 시멘트 1톤을 생산하는 데에는 3,200 ~ 3,500파운드(1.5 ~ 1.6톤)의 원자재가 사용된다<sup>4)</sup>.

콘크리트 제조시의 물, 모래, 골재 역시 대량의 원자재가 사용된다. 이러한 모든 원자재의 사용과 함께 자재의 운송에너지, 골재세척용수, 분진발생 등의 형태로 영향을 미치게 된다. 또한, 콘크리트에 사용되는 일부 골재가 라돈가스의 방출원이라고 밝혀진 바도 있다. 최악의 문제는 콘크리트 골재로 우라늄 폐석을 사용하는 경우에 발생한다. 그러나 일부 자연석에서도 라돈은 방출되므로 측정이 필요할 수도 있다.

표1. 일반적인 콘크리트의 배합비(중량비)<sup>5)</sup>

요소	중량비(%)
포틀랜드 시멘트	12
모래	34
자갈	48
물	6

화력발전의 부산물인 플라이애쉬의 사용은 두 가지 측면에서 바람직하다. 첫째, 플라이애쉬는 고품 폐기물 문제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있으며, 둘째 에너지 사용량을 절감할 수 있다. 플라이애쉬가 시멘트 산업에서 규모의 원자재로 사용되지만 대부분 콘크리트의 혼화제로 사용된다. EPA에 따르면 플라이애쉬는 콘크리트 배합시 시멘트의 15 ~ 35%까지 대체될 수 있으며, 일부의 경우 70%까지도 사용될 수 있다. 1991년 5천백만 톤의 플라이애쉬 생산량 중 7백7십만 톤이 시멘트와 콘크리트 제조에 사용되었다<sup>6)</sup>. 최근에는 플라이애쉬가 콘크리트 제조시 시멘트 혼화제로 약 9%를 점유하고 있다.

플라이애쉬는 콘크리트의 강도를 상승시키고 내황산성을 높이며 침투성을 저감시키게 되어 물 사용량을 줄이게 되며, 펌핑성과 워커빌리티를 개선하게 된다. 고로슬래그, 화산재 등 기타 산업 폐기물도 콘크리트 제조시 대체골재가 될 수 있

다. 재활용 콘크리트 역시 골재로 분쇄되어 재사용될 수 있다.

•에너지

시멘트와 콘크리트 생산시 가장 큰 문제점이 되고 있는 것이 에너지 소비량이다. 시멘트 생산은 모든 산업제조공정에서 가장 에너지 소비적인 특성을 가지는 것 중의 하나이다. 자원채취와 원자재 운송시의 직접적인 연료 사용을 포함하여 시멘트 생산에는 1톤당 약 6백만Btu(백5십만kcal)의 열량이 필요하다.

표2. 시멘트와 콘크리트 생산시의 내재에너지

	중량비 (%)	톤당 소요열량 (Btus/ton)		콘크리트 소요열량 (Btus/yd)	에너지 (%)
		자원채취	자재운송		
시멘트	12	5,792,000	504,000	1,574,000	94
모래	34	5,000	37,000	29,000	1.7
자갈	48	46,670	53,000	100,000	5.9
물	6	0	0	0	0
콘크리트	100	817,600		1,700,000	100

\* Portland Cement Association의 1990년 자료  
 ·시멘트의 레미콘 공장까지 운송거리는 50마일  
 ·골재 공장까지 운송거리는 10마일  
 ·레미콘 차량의 건설현장까지의 운송거리는 5마일  
 ·레미콘의 구성 : 시멘트 500lbs/yd, 모래 1,400lbs/yd, 자갈 2,000lbs/yd, 물 260lbs/yd

시멘트 제조공정상 가장 많은 에너지를 소비하는 요소는 회전형 킬른이다. 건식 공법은 수분을 제거할 필요가 없기 때문에 에너지 효율적이며, 최근에는 버너의 폐열을 회수하여 사용하는 예열히터가 사용되기도 한다. 건식은 습식에 비하여 50%까지 에너지를 절약할 수 있다.

한편, 시멘트 제조공정이 에너지 소비적이기는 하나 초고온을 사용함에 따라 유독성 폐기물을 연료로 사용할 수 있다. 킬른에는 모터 오일, 페 솔벤트유, 프린터 잉크, 페인트 찌꺼기, 페타이어 등의 유독성 폐기물을 연료로 사용할 수 있으며, 극한 고온조건하에서 완전연소가 가능함에 따라 오염물질 방출이 적어진다.

4) Environmental Research Group at the University of British Columbia (UBC).

5) from the Ready Mix Concrete Association

6) from the American Coal Ash Association

표3. 시멘트 생산의 연료 소비량

연료	시멘트 1톤당 열량 (1,000Btus/ton)	비율(%)
석유제품 (디젤, 가솔린, LPG)	63	1.1
천연가스	476	8.2
석탄	3,524	60.8
폐연료	286	4.9
전력	1,443	24.9
계	5,792	100

\* 폐연료는 사용한 모터오일, 페 솔벤트, 페타이어 등을 의미

\* 전력은 1차 에너지 환산값

\* 자료출처 : Portland Cement Association, U.S. Cement Industry Fact Sheet, 1990, p.15.

•CO<sub>2</sub> 방출

시멘트 생산업체에서는 두 가지의 CO<sub>2</sub> 발생원을 가진다. 킬른을 가동하기 위한 화석연료의 연소가 가장 큰 방출원으로 시멘트 1톤당 약 3/4톤의 CO<sub>2</sub>를 방출한다. 또한, 시멘트 킬른 내에서의 석회 분해과정의 화학처리과정(CaCO<sub>3</sub> --> CaO + CO<sub>2</sub>)에서도 CO<sub>2</sub>를 방출하게 되며, 시멘트 1톤당 1/2톤의 CO와 CO<sub>2</sub>를 발생시킨다(Oak Ridge National Laboratory). 이러한 두 가지 발생원을 조합해 보면 시멘트 생산 1톤당 1.25톤의 CO<sub>2</sub>가 방출된다는 결과를 얻게 된다.

표4. 시멘트와 콘크리트 생산시의 CO<sub>2</sub> 방출량

	시멘트 1톤당 CO <sub>2</sub> 방출량 (lbs)	콘크리트 1yd <sup>3</sup> 당 CO <sub>2</sub> 방출량 (lbs)	총 CO <sub>2</sub> 방출비율( %)
에너지사용에 따른 CO <sub>2</sub> 방출	1,410	381	60
석회분해과정 의 CO <sub>2</sub> 방출	997	250	40
총 CO <sub>2</sub> 방출량	2,410	631	100

\* 에너지사용량은 표2의 자료를 기준으로 계산

\* 연료별 방출량은 1991년 ACEEE Consumer Guide to Home Energy Savings의 자료로 계산

\* 석회분해과정의 방출량은 Richard Griffin, Cement Production 1950-1985, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Assoc. Universities, 8/87의 자료를 기준으로 계산

•기타 오염물질 방출

CO<sub>2</sub> 외에도 시멘트와 콘크리트 생산에는 다량의 오염물질이 방출된다. 분진이 가장 대표적인 오염물질이며, 미국 EPA에서는 시멘트 1톤당 360파운드의 분진이 발생하며, 이는 대부분 시멘트 킬른에서 비롯된다고 보고하였다. 다른 분진 발생원은 원자재 운반, 시멘트 클링커 분쇄 및 최종 시멘트 제품의 포장단계가 될 수 있으며, 분진의 직경은 1/25,000인치정도로 작다.

시멘트 제조시 분진을 처리하는 가장 좋은 방법은 분진을 모아서 공정상으로 다시 되돌리는 것이다. 이는 기계적 포집과 전기집진 및 섬유필터를 사용함으로써 이루어질 수 있다.

분진은 콘크리트 생산과 운송시에도 발생하며, 대부분은 모래와 골재채취, 자재운송, 저장단계에서 발생한다. 분진방출은 물분무, 밀폐, 후드, 커튼 등으로 제어가 가능하다.

화석연료 사용과 운송에너지 사용으로 인한 시멘트와 콘크리트 생산 공정에서 발생하는 또 다른 오염물질은 이산화황(SO<sub>2</sub>)과 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이다.

•수자원 오염

시멘트와 콘크리트 생산단계에서 일어나는 또 다른 환경적인 문제점은 수자원의 오염에 관한 것이다. 레미콘 업계의 환경문제는 레미콘 차량 청소소에 사용된 물이 높은 pH값을 가진다는 점이다. 캐나다의 경우 레미콘 트럭 1대당 약 500갤런의 물을 사용하는 데 이 물의 알칼리도는 pH 12에 이른다. 높은 알칼리수는 어류와 해양 생태계에 독성을 보인다.

배치 플랜트에서 장비청소에 사용된 용수는 하천으로 유입되어 고형 폐기물로 형성된다. 대부분의 법규에서는 공장 자체에 정화공정을 채택하도록 함으로써 이를 제한하고 있다. 최근의 도심지 현장의 경우, 현장에서 발생하는 레미콘 청소용수는 다시 모아져서 공장으로 되돌아오며 이후 처리 혹은 제거된다.



### •고형 폐기물

시멘트와 콘크리트 업계는 시멘트 킬른 연료로 유독성 폐기물을 사용하거나, 콘크리트 혼화제로의 플라이애쉬를 사용하는 등으로 고형 폐기물 문제를 저감하는 데 도움을 줄 수 있다. 시공과정과 철거과정에서 콘크리트가 현실적으로 가장 큰 폐기물이라는 점을 간과해서는 안 된다. Environmental Resource Guide에 따르면 시공과 철거과정에서 발생하는 폐기물 중 전체 중량의 67%(체적의 53%)가 콘크리트이며 이 중 재활용되는 것은 5%에 불과한 것으로 알려지고 있다. 콘크리트는 고속도로 포장재나 건물 주위의 채움재로 재활용된다.

콘크리트 폐기물은 신축현장에서도 발생된다. 특히 레미콘 차량 내에 부분적으로 남는 콘크리트는 커다란 문제점이었다. 최근 이러한 폐기물을 저감시키는 획기적인 기법이 개발되었다. 콘크리트 혼화제를 적절히 사용함으로써 경화시간을 지연시키고 부분적인 폐기물은 레미콘 공장으로 다시 되돌아와 재사용될 수 있다.

프리캐스트 콘크리트의 개발은 폐기물의 측면에서 많은 이익을 가져왔다. 물량은 더욱 정확히 산출 가능해졌으며 주의 깊은 배합은 더 적은 재료로 더 높은 강도를 발현할 수 있다. 또한 프리캐스트 공장에서의 주의 깊은 제어는 현장시공에 비해 폐수의 양을 현저히 줄였다.

최근에 관심이 대두되는 폐기물 저감방안으로는 재사용가능한 콘크리트 유닛의 생산에 관한 것이다. National Concrete Masonry Association에서는 Formwall이라 불리는 재사용가능한 투수성 블록에 관한 연구를 진행해 오고 있다. 아직 시장에는 나타나지 않았지만 이러한 형태의 사고는 커다란 진보의 움직임이 될 수 있다.

### •건강에의 악영향

콘크리트와 관련된 작업에는 높은 알칼리도로 인하여 피부를 보호해야 하는 등의 주의가 요구되므로 보호용 피복을 착용하는 등의 주의를 필요로 한다.

콘크리트는 경화된 이후에는 매우 안전하다. 그러

나 기술의 발전에 따라 시공성, 강도, 색채, 물의 양 등을 개선하기 위해 다양한 혼화제가 사용되며, 이러한 혼화제에는 여러 가지의 화학물질이 첨가되며, 여기에서 인체의 건강에 문제를 일으킬 수 있게 된다.

이러한 문제점에 따라 최근에는 콘크리트에 포름알데히드와 다른 화학물질을 실내로 방출하는 혼화제를 사용하지 못하도록 하고 있다. 그러나 제조업체에서 실제로 이러한 물질을 사용하는지를 확인할 수 있는 것은 매우 어렵다. 따라서 예민한 사람들은 콘크리트를 기밀하게 다시 마감하는 것을 시방서에 언급하고 있다.

마지막으로 콘크리트 바닥과 벽체는 습기에 대한 문제점을 가짐에 따라 곰팡이와 세균의 성장을 가져오게 되며, 이 또한 인체에 악영향을 주게 된다. 습기의 원인에는 두 가지가 있다. 주위 토양으로부터 콘크리트를 통하여 스며드는 습기와, 건물 내의 콘크리트 표면에서 발생하는 결로가 그것이다. 전자를 해결하기 위해서는 기초 주위의 배수로를 적절히 설계하여야 하며, 방습성 재료를 기초 주위와 바닥 하부에 시공하여야 한다. 벽체의 결로를 해결하기 위해서는 단열시공을 철저히 하여야 한다. 기초와 바닥 하부에 단열시공을 연결되게 하면 결로로 인한 문제는 저감될 수 있다. 또한 내부 기초에는 방습층을 설치하는 것이 바람직하다.

### •Using Concrete Wisely : A Checklist for Builders and Designers

- Reduce waste.
- Consider alternative foundation systems.
- Consider pre-cast concrete systems.
- Specify minimal admixture use.
- Specify fly ash.
- Avoid on-site environmental damage.
- Control washwater run-off.
- Use concrete waste as fill.