

시멘트 제조에서의 대체연료 사용현황

Use of Alternative fuels in Cement Manufacturing



민태범 Tae-Beom Min
성신양회(주) 기술연구소 연구원
E-mail : tbmin@sscem.com



최현국 Hyun-Kuk Choi
성신양회(주) 기술연구소 연구소장
E-mail : hkchoi@sscem.com



김형철 Hyeong-Cheol Kim
성신양회(주) 기술연구소 연구원
E-mail : cemenman@sscem.com



김하영 Ha-Yeong Kim
성신양회(주) 기술연구소 연구원
E-mail : B10087@sscem.com

1. 서론

'80년대 초까지 연간생산 2천만 톤 규모에 머물러 있었던 국내 시멘트산업은 주택 2백만 호 건설 등 건축경기 활성화와 2002 월드컵, 평창동계올림픽, 최근 신도시개발 등과 각 시멘트 회사들의 대형 증설공사를 통하여 현재에는 연간생산 6,500만 톤 내외의 생산설비를 갖추게 되어 양적으로는 연평균 약 8% 정도의 비약적인 성장을 하였다. 이는 증가한 시멘트 생산량 만큼 시멘트 제조시 필수적인 열원의 사용량도 증가하였다고 할 수 있다.¹⁾

'60~70년대에는 국내 탄광에서 생산하는 유연탄을 사용하여 클링커 소성시 열원으로 사용 하였다. 하지만 계속되는 자원고갈과 인건비의 상승으로 더 이상의 유연탄은 국내에서는 생산하지 않는 상황이다. 따라서 국내 시멘트사는 수입 유연탄을 주 연료로 사용하고 있으나 이마저도 최근 가격이 증가 하면서 제조원가 상승으로 반영 되고 있다. 따라서 이런 문제들을 해결하기 위하여 국내 시멘트사 들은 순환 자원을 활용한 대체 연료 개발 및 적용을 하고 있으나 아직까지는 획기적인 해결 방법은 없는 실정이다. 따라서 시멘트산업이 지속가능한 성장을 하기 위해서는 시멘트 제조과정에서 사용되는 열원 자원을 최소화 하는 기술혁신이 필요하다.

본고에서는 시멘트 제조에서의 연료사용과 추진되었던 대체연료에 대하여 기술하고자 한다.

2. 시멘트 제조시 연료 사용 현황

2.1 연료사용 현황

<그림 1>은 시멘트 제조 공정과 열원을 필요로 하는 공정에 대하여 나타낸 그림이다. 시멘트제조 공정은 크게 원료공정, 소성공정, 제품화공정 으로 분류된다. 이중 열원은 소성 공정에서 주로 사용되고 있으며 소성공정에서 열원으로 사용하고 발생된 Hot Gas를 대기중에 방출시키지 않고 원료공정으로 보내 원료 분쇄 공정에서 원료를 건조시킴으로서 발생하는 열

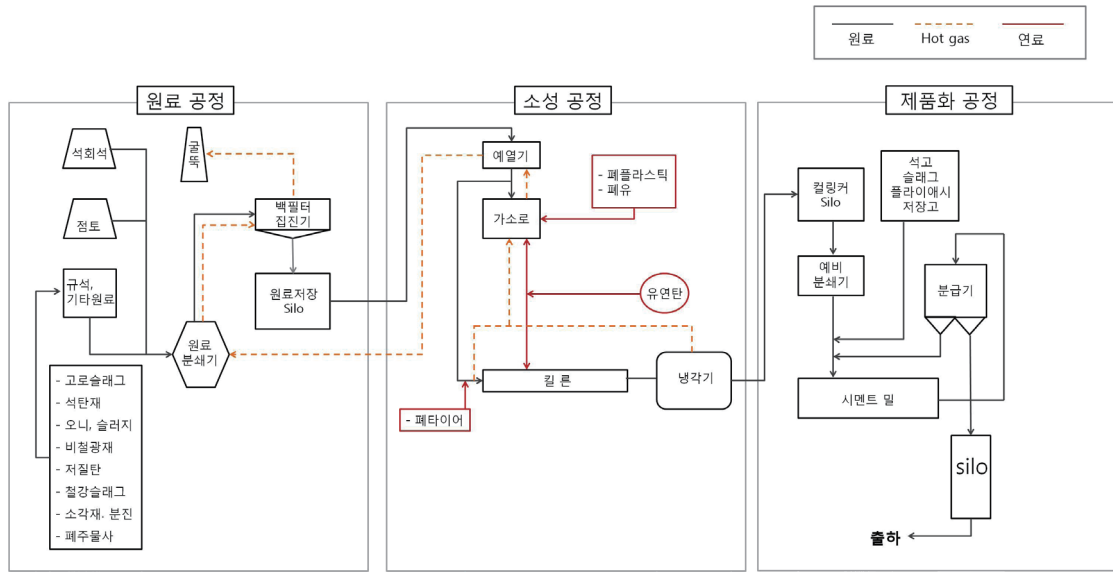


그림 1. 연료 및 원료 투입 과정 모식도

에너지를 최대한 활용한 후 전기집진기를 통하여 분진등을 포집 후 굴뚝을 통하여 나머지 가스를 배출한다.

2.2 대체연료 사용현황

대체연료는 기존의 연료(유연탄)를 페타이어와 같은 가연성 연료로 대체함으로써 시멘트 제조원가를 절감 시킬 수 있다. 시멘트 산업에서 이러한 대체연료를 효율적으로 사용할 수 있는 이유는 대체연료의 에너지 성분은 화석연료의 대응으로 사용될 수 있고 연소 후 남는 무기성분은 클링커와 일체화되기 때문이다. 시멘트 산업에서의 사용되는 전형적인 대체연료로서 전처리된 산업 및 도시형 순화자원, 페타이어, 폐유, 및 폐솔벤트, 플라스틱, 섬유, 종이잔재물 및 바이오매스 등이 있다. 이러한 대체연료의 사용은 시멘트 업계에서 별도의 큰 투자 없이 적용 할 수 있는 기술이다. 일반적으로 시멘트 산업에서 사용가능한 대체연료는 기존 연료 대비 30%까지 대체가 가능한 것으로 알려져 있다.¹⁾²⁾ 이는 클링커제조 특성상 고온으로 연소하기 때문에 유해물질이 발생하지 않으며 소성로 내부에 남는 무기물은 클링커와 일체화 되는 특성을 가지고

있기 때문이다.

<그림 2>는 연도별 소성로에서 순환자원 사용량을 나타낸 그림이다. 2013년부터 2017년 까지 순환자원의 시멘트 원료 사용량은 증가 하였으나 대체 연료사용은 증가하지 않았다. 2013년의 경우 대체연료는 약 1,195천 톤 사용되었으며 사용량은 소량 증가되어 2017년의 경우 약 1,266천 톤 사용 되었다. 소성로에서 연료용으로 사용하고 있는 대체연료는 페타이어 및 고무류, 폐플라스틱 등의 합성수지, 정제유 및 재생연료

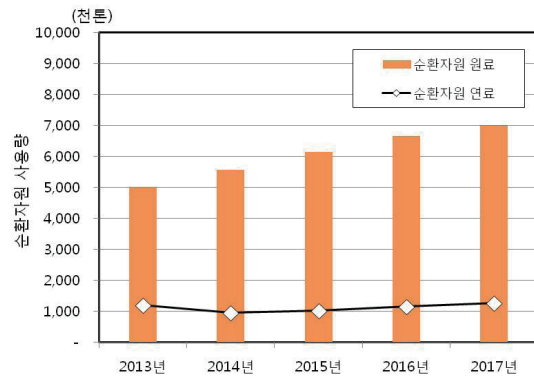


그림 2. 연도별 소성로에서의 순환자원 사용량

[표 1] 시멘트 소성로의 대체연료 사용현황

단위 : 천톤

구분	2013	2014	2015	2016	2017
페타이어	266	224	244	258	263
폐합성수지	769	680	698	784	858
고무류	49	30	39	51	115
폐목재		28	50	56	30
계	1,195	962	1,031	1,149	1,266

유 등을 사용하고 있다.

[표 1]에는 국내 시멘트사업계의 대체연료 사용 현황을 나타낸 표이다. 2017년의 경우 대체연료 사용량은 페타이어 및 고무류 378천 톤, 폐플라스틱 등 합성수지 858천 톤, 폐목재 및 재생 연료유 30천 톤 등 총 1166천 톤을 사용 하였으며 2013년의 사용량에 비해 크게 증가되지는 않았다. 이는 정부 정책과 사용자들의 유해물질 발생 여론에 따라 나타나는 현상이며 향후 이러한 인식들이 개선되어야지만 폐기물의 소각/매립처리로 발생할 수 있는 2차 환경오염을 감소하고 시멘트 산업이 발전할 수 있다.

그러나 해외의 시멘트 산업에서는 국내보다 많이 순환자원이 재활용 되고 있다. <그림 3>은 국가별 순환자원 시멘트 소성연료 대체율을 나타낸 그림이다. 그림에서 나타나듯 미국 및

유럽에서는 이미 2000년도 초반에 이미 순환자원 연료 대체율은 20% 이상 이용 되고 있었다. 일본의 경우 폐기물 처리시설의 신설이 어려워지자 정부, 지자체가 공동으로 시멘트 산업에서 폐기물 재활용화를 추진하고 있으며 폐선박의 FRP등을 시멘트 소성연료로 사용하고 있다. 독일의 경우 세계적으로 대체연료 재활용이 가장 활발한 국가이며 시멘트 소성로에 사용되는 전체 연료의 65%를 순환자원으로 재활용하고 있다. 미국은 국내시멘트 산업에서 사용되고 있는 대체연료 이외에도 다양한 순환자원을 대체연료로 재활용 하고 있다. 사용되는 대체연료는 페타이어, 플라스틱, 솔벤트, 페인트 슬러지, 피혁등이 있다. 중국의 경우는 급격한 도시화에 따른 폐기물 처리문제로 인하여 시멘트 산업에서의 대체연료 사용으로 재활용을 확대 하는 추세이며 2013년에는 시멘트 공장에서 10% 이상 자원재활용을 할 수 있는 시설구축을 의무화 조치하였다. 그러나 국내 시멘트 산업은 위에서 언급하였듯이 정책과 사용자들의 여론에 의하여 20% 가량 재활용 되고 있으며 해외 시멘트업계보다 낮은 실정이다.

이를 해결하기 위해서는 향후 국내의 폐기물 재활용 정책의 변화가 필요하다. 특히 전처리 과정에 따라서 중금속 함유여부가 민감하게 변화하는 가연성 대체연료를 적용할 경우에는 환경유해성에 대한 공감대 형성을 통하여 순환자원을 안정적으로 활용할 수 있는 기반을 조성하는 것과 아울러 정부정책의 일관성을 유지하여 소모적인 논란을 최소화 하는 것이 필요하며 더불어 시멘트 산업에서의 재활용 연료화 기술이 더욱 발전 되면 국가적 환경적 문제와 시멘트 업계의 성장을 이룰 수 있을 것이다.

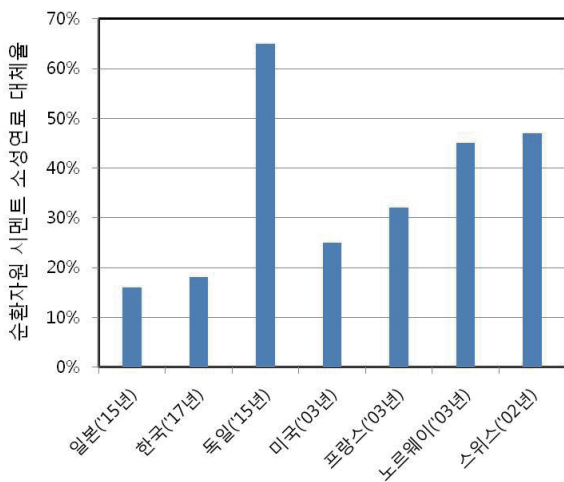


그림 3. 국가별 순환자원 시멘트 소성연료 대체율

3. 대체연료 사용시 고려사항 및 향후 전망

3.1 대체연료 적용에 따른 고려사항

이미 언급한바와 같이 시멘트 제조에서 플라스틱과 같은 가연성 순환자원을 대체연료로 유용하게 활용함으로써 원가 절감을 실현할 수 있다. 그러나 플라스틱과 같은 가연성 대체연료의 종류와 성상이 다양하기 때문에 시멘트 제조공정에서 요구하는 품질관리와 소성공정의 관리조건 및 환경안정성을 만족하기 위해서는 이에 준하는 적정 투입기술의 개발과 아울러 시멘트 제조공정 최적화 및 생산 클링커의 품질에 미치는 영향 평가가 선행되어야 한다. 대체연료에 함유되어 있는 Cl, 알칼리, 중금속 등의 유해물 성분에 의한 공정 불안정/품질저하 문제뿐만 아니라 환경유해성 문제가 야기될 수 있다. 따라서 순환자원을 시멘트 소성대체연료로 리사이클링 시멘트 공정, 품질, 환경안정성, 경제성 등을 고려한 리사이클링 기준 확립이 필요하며 시멘트 회사에서 적용하고 있는 대체연료의 리사이클링 전제조건은 다음과 같다.³⁾

- 시멘트 품질 및 공정에서의 영향이 없어야 한다.
- 리사이클링 자원의 사용을 통한 새로운 오염 발생이 없어야 한다.
- 안정된 공급이 지속적으로 이루어져야 한다.
- 경제성이 있어야 한다.

- 사용하기 편해야 한다. (수분, 접착성)
- 염소, 유황, 알칼리, 중금속등 시멘트 유해물질 성분이 적어야 한다.
- 품질, 물성 편차가 적어야 한다.

[표 2]는 플라스틱과 같은 순환자원을 가연성 대체연료로 적용할 경우 시멘트 킬른의 운전과 관련된 검토항목과 예상문제점에 대하여 나타낸 표이다.

3.2 대체연료 적용에 따른 한계

시멘트 산업에서 순환자원의 대체연료 적용에 있어 한계점도 있다. 기술적으로는 시멘트 소성 공정에서 대체연료를 100%까지 사용할 수 있지만 현실적으로는 한계가 있다. 대부분의 대체연료들은 기존의 연료와는 물리화학적 특성이 매우 다르다. 페타이어나 일부 플라스틱 물질은 시멘트 산업에서 쉽게 사용이 가능하지만 그 외의 대체연료는 성분, 형상 및 균일성등의 문제점으로 인하여 대체연료로 사용이 불가능한 것들도 있다. 예를 들자면 낮은 발열량, 높은 수분, 염소등 기타 미량성분 농도 같은 것들이 바로 그것이다. 예를 들어 휘발성 금속(수은, 카드뮴, 탈륨)이 포함되어 있는 물질은 매우 조심스럽게 관리되어야 하며 킬른 시스템으로부터 시멘트 킬른 더스트를 적절히 제거하여야 한다. 하지만 대체연료 사용에 걸림돌이 되는 것은 기술적인 문제보다 정치적, 법적인 측면이 더욱 크다고 할 수 있다.⁴⁾

[표 2] 순환자원의 대체연료 적용에 따른 예상문제점⁵⁾

검토항목	예상 문제점
킬른 공정에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> · 순환자원 내에 Cl, 알칼리 등 순환물질이 많을 경우, 킬른내부의 순환물질 함량 증가로 예열실 적분 및 코팅형성 · 가연성 순환자원이 적정량 이상 투입되거나, 부적정 위치에 투입될 경우, 킬른 후단부의 온도 상승 및 CO₂ 발생 등으로 킬른 운전성 저해
클링커 품질에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> · 순환자원 자체의 연소성 저하, 불균질 및 정량투입이 불가능할 경우 킬른의 불안정성 유발 · 대체연료의 연소특성이 불량할 경우, 환원분위기 형성으로 품질에 악영향을 미침 · 연소성이 상이한 폐기물 연소시 킬른내 전열형태 변화로 클링커링 반응을 저해시킬 수 있음 · 대체연료내에 중금속, 알칼리등 클링커링 반응 및 수화반응 저해물질이 존재할 경우 시멘트 품질이 저하됨
유해성 문제	<ul style="list-style-type: none"> · 분해에 필요한 연소조건을 만족하지 못하거나, 부적정 위치로 가연성 폐기물을 투입할 경우 유해물질이 분해되지 않고 대기로 배출됨 · 폐기물중 중금속이 많을 경우, 클링커중 함량증가 및 경화체에서 일부 용출될 가능성이 있음.

3.3 대체연료 사용의 향후 전망

1999년 폐기물 관리법에서 시멘트 소성로를 폐기물 처리시설의 중간처리시설 중 소각시설로 분류하여 재활용 신고로 폐기물을 시멘트 부원료 및 보조연료로 사용이 가능하도록 하면서 대체연료의 리사이클링이 본격화되기 시작하였다. 하지만 순환자원의 대체연료화 과정에서 환경안정성에 대한 연구부족 및 자료를 충분히 확보하지 못하였으며 지역사회 및 관련 단체와의 공감대 형성부족으로 2000년대 중반부터 대체연료 사용에 따른 유해성 논란이 제기되었다. 이러한 논란의 결과로써 2009년 3월 “시멘트 소성로 폐기물 사용·관리기준” 발표에 따라 2009년 말부터 시멘트 소성로에 사용되는 연료의 사용기준이 시멘트 업체마다 적용되기 시작하였다. 하지만 시멘트 자원화 관리기준 설정, 근거있는 연구결과 및 일정한 기준에 의해서 정해진 것이 아니라 일부 항목이 가연성 순화자원의 RDF사용 기준과 차이가 있어 향후에 환경안정성 및 정

책 일관성 측면에서 다소 논란의 소지를 야기함으로써 이를 해결할 필요성이 있다.

4. 맺음말

시멘트 업계에서는 순환자원을 대체연료로 사용하는 기술은 선택의 문제가 아니라 지속적으로 추진해야 하는 필수과제이다. 지속가능발전 시멘트 개발협회 및 시멘트 업계는 제조원가 및 환경적인 문제를 해결하기 위해 지금까지 대체연료 개발 및 대체연료 대량 사용에 대해 많은 연구를 진행하고 있다. 그러나 순환자원을 대체연료로서 100% 사용하기에는 기술적 한계점이 있다. 이를 극복하기 위해서는 시멘트 업계에서의 대체연료 사용을 증가 시킬 수 있는 혁신적인 녹색기술 개발이 이루어져야 하며 이를 위한 정부의 정책적인 지원과 국제적인 협력도 요구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Kown, W.T., Kim, Y.H., Kmm, S.S. (2011). Green technology in the cement industry, The Korean Ceramic Society, 14(2), 41–57 [in korean].
2. Choi, W.J., Park W.K., Park, K.W. (2010). Environmental Impact Analysis on Cement Manufacturing Process with Waste Utilization, Magazine of the Korea Concrete Institute, 22(3), 36–40 [in korean].
3. Lee, J.K. (2016). Cement industry and latest research trend, The Korean Ceramic Society, 19(2), 59–63 [in korean].
4. Park, S.O., Kang, Y.Y., Hwang, D.G. (2017). Correlation Analysis of Co-processing Waste Materials and Heavy Metal Contents in Cement Products, Journal of Material Cycles and Waste Management, 34(5), 449–457 [in korean].
5. Hong, C.S. (1999). New energy and environmental strategy in cement industry, The Korean Ceramic Society, 2(2), 29–35 [in korean].

담당 편집위원 : 민태범(성신양회(주))