



발전소 발생 석탄회 친환경처리 사업화 기술 상용화



이 성 기
한국남동발전 발전운영팀 차장

1. 개 황

지난해 국내 석탄화력 발전소는 연간 약 7,354만 톤의 유연탄을 수입하여 전력을 생산하였으며, 이 중 연소 후 발생하는 석탄회는 연간 841만 톤이 발생되고 있다.

그러나 비산화중 시멘트 원료 및 레미콘 혼화재 등에 이용되는 것을 제외한 나머지는 활용 용도가 없어 대부분 바다에 매립 처리되고 있는 실정이다.

발전회사 전체의 84%는 재활용되었고 16%인 132만 톤이 매립되었으며, 대부분은 발전회사의 지원으로



이루어졌다. 남동발전의 경우 석탄회 처리를 위해 톤당 약 1.5만원 수준으로 총 67억 원을 지원하였으며, 이중 폐기물로 분류된 잔사회는 재활용업체에서 별도로 가공 처리하여 레미콘 혼화재로 재활용하고 회처리장에 매립된 저회는 구릉지의 성토재 등으로 재활용되고 있다.

정부는 '철강슬래그 및 석탄재 배출자 재활용 지침'을 통해 발전회사들로 하여금 재활용 목표율을 설정하는 등 석탄재 재활용을 위해 적극 노력할 것을 요구하고 있다. 최근 국민들의 환경에 대한 인식이 높아짐에 따라 석탄회를 처리할 수 있는 회처리장 건설을 위한 공유수면 확보 자체가 어려울 뿐만 아니라 과도한 건설 비용, 환경문제, 민원발생 등이 발전회사의 최대 현안으로 대두되고 있다.

이를 해결하고자 남동발전은 영흥화력본부 내에서 발생하는 석탄회를 처리함과 동시에 정부의 석탄재 재활용 정책에 적극 동참하기 위하여 석탄재를 원료로 한 인공경량골재 제조시설을 운영함으로써 석탄재를 고부가가치의 건자재로 전환시키려고 한다.

연간 2억 루베 이상을 사용하고 있는 우리나라의 골재 부존량은 약 180억 루베로 개발 가능량은 약 120억 루베이나 채취 가능량은 약 84억 루베로서 국민 1인당 사용량이 5루베로 공기, 물 다음으로 보존해야 할 중요한 자원이다. 향후 37년간 동안의 물량밖에 되지 않아 특별 수급대책이 수립되지 않는 한 골재 자원의 고갈 현상이 더욱 심화될 것으로 보여 인공경량 골재의 사용 확대가 범정부 차원에서 이루어져야 할 것이다.

[표 1] 발전회사 석탄회 처리 현황(2010년)

| 구분 | 사진 | 처리현황(발전사전체) | 재활용 용도 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|---|---------|-------|---------|----------|---------|------|-----|-----|-----|------|-----|----|----|------|-----|-----|------|------|------|------|----|------|-------|------|-------|-------|-----|-----|----|
| 비회 (Fly ash) |  | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 발생량 : 683.8만톤/년 ◆ 재활용량 : 462.5만톤/년 ◆ 재활용율 : 67.6% ◆ 수 익 : 131.8억 원 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 미연탄소분 5% 이하로 정제하여 시멘트, 콘크리트 등 건설재료로 재활용 ◆ KS L 5405(플라이애쉬) ◆ 미연분 5% 이상 매립처리 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 저회 (Bottom ash) |  | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 발생량 : 156.8만톤/년 ◆ 재활용량 : 156.4만톤/년 ◆ 재활용율 : 156.4% ◆ 수 익 : -61.4억 원 (처리비용지원) | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 도로기층용 성토 및 콘크리트용 골재 ◆ KS F 4570(프리캐스트 콘크리트용 바텀애시 골재) ◆ 입도, 비중, 화학성분등의 편차가 심해 대부분 매립처리 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 발전사별 처리현황 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>발생량(만톤)</th> <th>재활용량(만톤)</th> <th>재활용률(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>남동발전</td> <td>209</td> <td>259</td> <td>124</td> </tr> <tr> <td>중부발전</td> <td>169</td> <td>98</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>서부발전</td> <td>121</td> <td>106</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>남부발전</td> <td>143</td> <td>130</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>동서발전</td> <td>199</td> <td>116</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>841</td> <td>709</td> <td>84</td> </tr> </tbody> </table> | | | | 구분 | 발생량(만톤) | 재활용량(만톤) | 재활용률(%) | 남동발전 | 209 | 259 | 124 | 중부발전 | 169 | 98 | 58 | 서부발전 | 121 | 106 | 88 | 남부발전 | 143 | 130 | 91 | 동서발전 | 199 | 116 | 58 | 계 | 841 | 709 | 84 |
| | 구분 | 발생량(만톤) | 재활용량(만톤) | 재활용률(%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 남동발전 | 209 | 259 | 124 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 중부발전 | 169 | 98 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 서부발전 | 121 | 106 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 남부발전 | 143 | 130 | 91 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 동서발전 | 199 | 116 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 계 | 841 | 709 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 남동발전 석탄회 수익현황 (억 원) | <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>정제회</th> <th>잔사회</th> <th>저회</th> <th>매립회</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>판매</td> <td>41.9</td> <td>6.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>48.0</td> </tr> <tr> <td>지원</td> <td>0.5</td> <td>33.7</td> <td>1.6</td> <td>31.1</td> <td>66.9</td> </tr> <tr> <td>수익</td> <td>41.4</td> <td>-27.6</td> <td>-1.6</td> <td>-31.1</td> <td>-18.9</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | 구분 | 정제회 | 잔사회 | 저회 | 매립회 | 계 | 판매 | 41.9 | 6.1 | - | - | 48.0 | 지원 | 0.5 | 33.7 | 1.6 | 31.1 | 66.9 | 수익 | 41.4 | -27.6 | -1.6 | -31.1 | -18.9 | | | |
| | 구분 | 정제회 | 잔사회 | 저회 | 매립회 | 계 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 판매 | 41.9 | 6.1 | - | - | 48.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 지원 | 0.5 | 33.7 | 1.6 | 31.1 | 66.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 수익 | 41.4 | -27.6 | -1.6 | -31.1 | -18.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

※ 2010년도 발전회사 석탄 수입량 : 7,354만톤

2. 현황

가. 석탄회 처리기술

인공경량골재의 제조기술은 선진 외국에서 이미 100여 년 전부터 실용화되었으나, 국내에서는 인공경량골재를 제조할 수 있는 원료가 부족하고 제조원가 상승에 의한 판매가격이 천연골재에 비해 고가여서 관련시장이 활성화되지 못하고 있는 실정이었다.

하지만 인공경량골재 제조설비를 발전소 내에 설치하여 친환경 고부가가치 인공경량골재를 제조할 경우, 기존의 회처리장에 매립·투기되던 석탄회의 대량 처리가 가능해지고, 인공경량골재의 국산화가 가능해져 관련시장 및 기술에 큰 파급효과가 미칠 것으로 예상된다.

(1) 기술의 특징

① 원료수급

- 화학성분, 함수율 등의 조절과 같은 폐기물 배합기술 적용
- 발포성분을 함유한 석탄회를 원료로 사용하여 원료수급 안정성 확보 및 원재료비 절감

② 인공경량골재의 제조

- 발전소 내에 처리시설을 설치하여 환경설비에 처리시설을 연계하는 in-site 처리

- 고기능성(단열, 흡음, 조습, 내화, 경량성)의 인공경량골재 제조

- 약 1150℃에서 소성한 제품으로 유해물질이 용출되지 않는 환경적으로 안정된 제품 생산

(2) 제조공정의 설명

석탄회 활용 인공경량골재 제조공정은 석탄회와 가소성이 있는 준설토를 분쇄, 혼련하는 배합과정을 거친 후 성형하고, 건조 및 소성과정을 거쳐 제품을 생산하는 방식으로 크게는 원료의 배합 및 혼련, 성형, 소성공정으로 분류할 수 있다.

■ 공정개요

배합(석탄회+준설토) → 성형 → 구상화 → 소성 (로타리킬른) → 분급 → 제품

① 원료의 배합 및 혼련

석탄회와 준설토의 배합은 곧바로 제품의 품질에 영향을 미치기 때문에 원료의 함수율, 입도, 화학성 등의 지속적인 관리가 요구된다. 입도의 관리를 위해서는 석별기에서 원재료가 가지고 있는 돌과 이물질 등을 분리해내고, 분쇄기를 통해 성형에 적합한 입도로 원재료를 분쇄하고, 분쇄된 원료의 혼합은 혼련기를 통해 다시 한번 원료를 반죽해주는데 이때 혼련된 원료의

[표 2] 도자기 삼성분계를 이용한 폐기물 종류별 그룹화

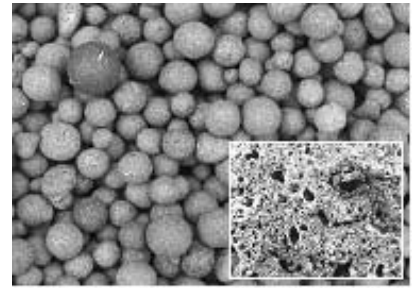
| 도자기삼성분계 그룹 | R ₂ O / RO | R ₂ O ₃ | RO ₂ |
|------------|--|---|---|
| 역할 | 응제 | 가소제 | 망목제 |
| | 응점강하 강도감소 | 강도증진 소지원성 | 고융점(1720℃) |
| 폐기물 종류 | <ul style="list-style-type: none"> • 저회(석탄회) • EAF DUST • 쓰레기 조각재 • 하수슬러지 • 열연슬러지 • 정수슬러지 • 폐수슬러지 | <ul style="list-style-type: none"> • 준설토 • 종이재 • 유산반토 • 폐백토 • 산성백토 | <ul style="list-style-type: none"> • 잔사회(석탄회) • 폐주물사 • 냉연슬러지 • 적니 • 소결강 DUST |



성형과정 및 성형체



소성과정 및 소성로



내부인공경량골재

균질성과 점성이 증가하게 된다. 다음은 석탄회를 인공경량골재화 하는데 핵심기술이 되는 배합기술에 대해 간략하게 살펴본다.

일반적으로 요업제품의 소지는 각 소지를 구성하고 있는 화학성분에 따라 크게 R2O/RO(용제), R₂O₃(가소제), RO₂(망목제) 그룹으로 구분하고 도자기 삼성분계로서 표시할 수 있다. 천연원료 뿐만 아니라 각종 산업폐기물들도 이와 같은 구분법에 의해 그룹화가 가능하다. 용제는 소성시 주로 소지의 온도를 낮춰주는 역할을 하고, 망목제는 SiO₂를 근간으로 하며 소성중 골재로서의 역할을 하며 함유된 부산물의 종류에 따라 소지의 백색도와 소성시의 물성에 크게 영향을 미친다. 또한, 가소제는 성형시 필요한 가소성과 강도를 유지해주는 역할을 한다.

상기의 구분법을 석탄회활용 인공경량골재를 제조 하는데 적용하면 화학성분 분석결과에 의해 저회는 용제, 준설토는 가소제, 잔사회는 망목제의 역할을 하는 것으로 구분할 수 있다. 이렇게 적용된 기술은 향후 인공경량골재의 소성 시 다공성을 확보하여 골재의 경량화와 물성을 확보하는데 중요한 기반이 된다고 할 수 있다.

② 성형

성형의 방식은 수분을 함유하고 있는 원료를 진공 압출 성형기를 이용해 몰드를 통해 밀어내어 일정

크기로 제품을 절단하여 성형하는 방식과 디스크판에 성형원료를 투입하여 회전시키면서 구형의 입자를 성형하는 방식으로 크게 나눌 수 있다. 전자는 10mm 이상의 굵은 입자 성형과 고강도를 요하는 골재의 제조에 적합한 방식이며, 후자는 2~10mm 정도의 입자를 성형하거나 압출성형보다 높은 생산성을 추구할 때 알맞은 방식이다.

성형 시 특히 성형원료의 함수율 관리가 철저하게 이루어져야 좋은 제품을 성형할 수 있으며, 생산성 향상에도 도움이 된다.

③ 소성

소성 공정은 제품을 결정하는 최종 작업으로서, 제품의 경량화를 위해서는 발포공정이 반드시 필요하다. 이를 위해서는 온도가 1100~1200℃ 정도로 유지되고, 경량골재 성형체가 소성로 안쪽으로 이동될 때, 정지된 화염에 의해 소성로(Rotary kiln)가 회전하면서 제품이 제조된다.

④ 발포 메커니즘

소성중 성형체에 온도가 가해지면 소지 중 일부 성분의 용융이 시작되며, 성형체의 표면이 액상에 의해 둘러싸이게 된다. 동시에 일부 성분으로부터 가스가 발생하여 온도 상승에 따라 가스의 압력은 증가하게 된다. 이때 입자 외피의 액상으로 된 점성은 감소하여 소성되고, 내부는 부풀게 되어 다공성을 갖는 경량골재

[표 3] 인공경량골재 상용화 제품의 물성시험 분석 결과

| 구 분 | 입도(mm) | 단위용적 질량(kg/L) | 강열 감량(%) | 유기 불순물(%) | 점토 덩어리(%) | 흡수율 (%) | 유해물질 용출량(mg/L) |
|----------------|---------------|---------------|----------|-----------|-----------|---------|----------------|
| 기준 (KS F 2534) | 표준입도 | 0.880이하 | 5이하 | 표준용액 보다연함 | 2이하 | - | - |
| 인공경량골재 상용화제품 | 표준입도 (10~2.5) | 0.818 | 0.53 | 표준용액 보다연함 | 0.53 | 17.10 | Pb,Cd외 6종 검출없음 |

가 된다. 석탄회를 함유한 인공경량골재의 경량화 메커니즘은 다음과 같다.

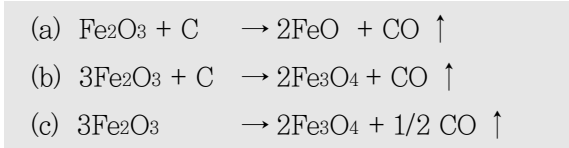


표 3은 상기의 공정을 거쳐 제조된 인공경량골재와 그 물성에 대한 시험결과를 나타내었으며, 단위용적질량 800~900 kg/m³, 흡수율 10~20%의 범위로 각각 분석되었고 그 밖의 강열감량, 유기불순물, 점토 덩어리 등의 항목도 KS기준(KS F 2534 구조용 경량골재)을 모두 만족하고 있는 것을 확인하였다.

나. 사업화 현황

(1) 상용화사업 현황

한국남동발전 영흥화력본부(인천시 옹진군 소재)에서는 석탄회를 활용한 인공경량골재 제조설비 설치사업이 진행중에 있다. 2011년 5월말 공장이 준공되면 석탄회를 연간 16만톤 처리하고, 연간 최대 20만m³의 인공경량골재가 생산되어 국내 건설 및 토목시장에 판매될 예정이다. 이번 사업은 기존의 연구수준에 머물러 있었던 인공경량골재 제조기술을 경제성을 갖춘 상용화단계로 진입시킨 기술로서 전 세계적으로도 그 유례를 찾기 어렵다.

■ 영흥화력본부 인공경량골재 사업 개요

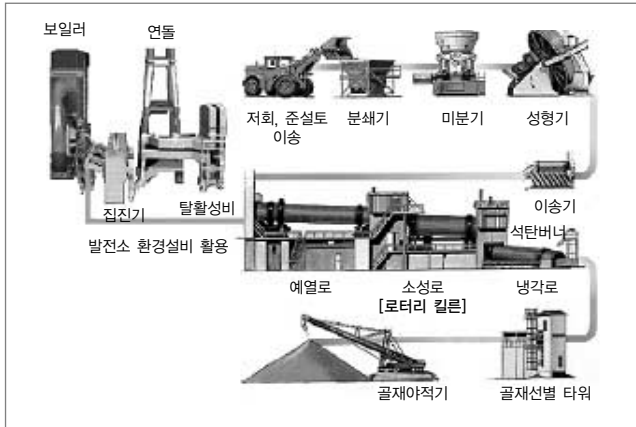
- 목 적 : 석탄회를 활용한 인공경량골재 생산 실증설비의 연구개발로 회처리장 신축 또는 증축비용의 절감.
- 기 간 : 2010년 3월 ~ 2011년 5월 (15개월)
- 위 치 : 영흥화력본부 내

(2) 제품의 활용계획

최근 국내 건축시장은 초고층 빌딩과 재건축·리모델링 사업이 활성화돼 인공경량골재에 대한 대규모 잠재수요가 예상되며 위축된 국내 건축시장의 활성화에도 긍정적인 효과가 있을 것으로 기대된다. 또한 경량벽체, 이중 바닥재, 방음벽, 고강도 콘크리트용 내열판넬 등의 다양한 고부가가치 2차제품의 제조에 사용되고 있는 고가의 수입 인공경량골재를 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

현재 정부가 추진하고 있는 100년 동안 사용가능한 라멘구조의 아파트에 인공경량골재가 적용된다면 슬라브 무게를 가볍게 할 수 있어 건축비용의 절감도 도모할 수 있으며, 이미 1100~1200℃ 소성된 인공경량골재로 방과 세대 간의 경량벽체를 적용할 경우 화재에 대응할 수 있어 경제성 있는 고급아파트의 건축이 가능할 것이다.

특히, 인공경량골재 상용화시 즉시 판매가 가능한 콘크리트제품의 시험결과는 공시체의 기건밀도는 약 1.6~1.7톤/m³의 범위의 분석치를 나타내고 있다.



인공 경량골재 공정 개략도



기기 배치도

[표 4] 경량골재콘크리트 배합 및 실험 결과

| 구 분 | 경화 콘크리트 | |
|------------------|------------|------------|
| | 기건밀도(톤/m³) | 28일강도(MPa) |
| 인공경량골재 활용 경량콘크리트 | 1.65~1.70 | 23.4~33.1 |

이는 국내 콘크리트 시방서 등에서 규정하고 있는 2.0 톤/m³ 이하의 기준을 충분히 만족하고 있어서, 향후 마케팅 및 시장 전망은 상당히 긍정적으로 보여진다.

의 재활용등에 의해 온실가스 저감에 상당부분 기여 할 것으로 예상된다.

다. 기대효과

(1) 무 폰드(NO POND) 화력발전소 건설 가능

궁극적으로 석탄회 재활용 100% 달성이 가능해짐으로써 발전소의 석탄회 처리문제를 근본적으로 해결하여 발전소 건설시 환경부하 경감과 민원문제 등을 원천적으로 차단할 수 있다.

(2) 온실가스 저감

매립처리 되고 있는 석탄회를 인공경량골재화 하여 건축물 등에 적용하게 되면, 자중 감소에 의한 건물의 투입 자재량(콘크리트, 철근, 철골 등) 감소, 인공경량골재의 단열효과에 의한 에너지절약형 건축물의 건설, 석탄회를 이용한 인공경량골재제조에 의한 유효자원

3. 전 망

석탄회 친환경처리 사업화 기술은 기존에 재활용되지 못하고 회사장에 매립 처리되고 있는 화력발전소의 저회, 잔사회 등의 석탄회를 인공경량골재로 제품화함으로써, 단순 매립처리에 의해 막대한 투자비가 소요되던 수동적 방식에서 경제적이며 대량처리가 가능한 친환경제품으로 재활용하는 적극적인 방식으로 전환하여 세계적으로 환경보전을 우선시하는 시대흐름에 부합하는 상용화 기술을 제시하고 있다. 또한 궁극적으로는 석탄화력 발전소의 석탄회 재활용률을 증가시켜 회사장 없는 화력발전소 건립이 가능하도록 하는 기술로서 각광 받을 것으로 기대된다. KEA