

Research Paper

화력발전소 회처리장 구성에 따른 환경영향 최소화를 위한 석탄회 재활용 확대방안에 관한 연구

서동환 · 맹준호

한국환경정책·평가연구원(KEI)

A Study on Expanding the Recycling of Coal Ash for Minimizing Environmental Impact Imposed by the Establishment of Thermal Power Plant Ash Ponds

Suh, Dong-Hwan · Maeng, Jun-Ho

Korea Environment Institute

요약 : 국내 석탄화력발전소에서는 매년 800만 톤 이상의 석탄회가 배출되고 있으며, 이에 대한 최종적인 처리는 현재 약 70% 수준의 재활용, 그리고 해안 회처리장을 통해 매립 처리하고 있다. 그러나 실질적으로 개별 발전시설의 회처리장마다 수년 내에 만지(포화) 시기의 도래가 예상되며, 석탄회처리장 건설로 인한 환경영향에 대한 우려로 신규 확보도 어려운 상황이다. 향후 「제7차 전력수급기본계획」을 반영하여 추가적으로 건설될 석탄화력 발전시설을 고려했을 때(2020년 기준 1,000만 톤 배출 예상), 회처리장의 신규조성이 불가피하다. 그러나 회처리장 조성으로 인해 기존의 양호한 자연해안지역이 훼손되는 문제가 우려될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 석탄회로 인한 환경영향을 최소화하기 위해, 근본적으로 추가적인 석탄화력 발전시설과 회처리장의 건설을 줄여나가고 더불어 배출된 석탄회의 유효이용 및 재활용 활성화를 위한 정책적 방안을 제시하고자 하였다.

주요어 : 화력발전소, 석탄회, 회처리장, 석탄회 재활용 및 유효이용, 자원순환사회

Abstract : More than 8M tons of coal ashes are generated from coal-fired thermal power plants every year in Korea. Excluding the recycled portion (Current recycling rate: approximately 70%), all of the generated coal ashes end up in coastal landfills. Currently, the difficulties faced in establishing new ash treatment fields are attributed to the concerns raised over the environmental impacts caused by the landfills at individual plant facilities. Given the number of coal-fired thermal power plants to be built in the future (reflected in the 7th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand), building new ash treatment fields or seeking a new treatment plan seems unavoidable. Based upon a review of coal ash and its management, this study concluded that the most effective and fundamental strategy to minimize the environmental impacts resulting from coal ash landfills is to avoid constructing new coal-fired powerplants and furthermore, suggests that the

practice of beneficial use and recycling the produced coal wastes should be encouraged.

Keywords : Thermal powerplants, Coal ash, Ash Field, Beneficial Use, A society of resource recycling

I. 서론

국내 발전연료 소비량은 2013년을 기준으로 총 104,810,000TOE¹⁾이며 다양한 발전 에너지원 가운데 석탄에너지원의 점유율은 44.7%로 매우 높다.²⁾ 특히 「제7차 전력수급기본계획」에서는 석탄화력발전의 신규확정설비를 2029년까지 21기 반영·계획하고 있다(산업통상자원부, 2015).

이러한 석탄화력 발전설비의 증가와 관련하여 우려될 수 있는 문제 중 하나는 석탄회 배출로 인한 환경영향이다. 국내 석탄화력발전소에서는 발전 부산물로 매년 800만 톤 이상의 석탄회가 배출되고 있으며, 이에 대한 최종적인 처리는 재활용되는 석탄회(현 재활용율: 70% 수준)를 제외한 나머지 부분에 대해서 해안에 회처리장을 설치하여 매립하고 있다.

석탄연소폐기물(CCW: Coal Combustion Wastes)로도 명명되고 있는 석탄회의 매립처리방식은 잠재적으로 회처리장의 건설로 인한 환경영향과 침출수로 인한 수질오염, 비산먼지 발생으로 인한 대기오염 등의 다양한 오염 유발 가능성을 내재하고 있으므로 그 환경영향에 대해서도 쉽게 간과할 수 없는 부분이다.

현재, 국내 운영 발전사의 화력발전시설마다 다소 차이가 있지만, 상당수의 회처리장이 만지상태에 이르고 있으며 석탄회의 매립 및 회처리장으로 인한 환경영향에 대한 우려 및 사회적 수용성으로 인해 회처리장의 신규 건설은 매우 어려운 상황이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 근본적으로 석탄회의 유효이용(Beneficial Use) 및 신규 수요처의 발굴이 원활히 이루어져야 하나 석탄회 재활용에 있어 제도상의 문제(기존 11개 용도로 제한되어 있으며 최근 15개 항목으로 개정³⁾)와 환경영향에 대한 우려, 사회적 수용성, 국내 토목·건설경기 등의 원인으로 그 수요처가 안정화·다양화되지 못하여 현재로서는 그 문제해결 방안이 뚜렷하지 못하다. 또한 국내의 추가적 에너지 수급 및 배출 폐기물(부산물) 처리에 대한 상황을 고려했을 때, 회처리장의 조성 및 배출 석탄회

처리를 위한 방안 모색이 반드시 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제인식을 바탕으로 근본적으로 석탄회로 인한 환경영향을 최소화하기 위해 국내 석탄회의 배출 및 그 처리·관리에 대한 현황을 바탕으로 석탄회 재활용 확대를 위한 정책적·제도적 개선 방향을 제시하고자 한다.

II. 주요 선행연구 및 연구의 방법

1. 주요 선행연구

석탄회는 석탄을 연료로 사용하여 발전 활동을 하는 화력발전소에서 대부분 배출되고 있는 상황이며, 석탄회의 종류는 공정 장소에 따라 크게 Fly Ash(비회: 전기집진기에서 포집된 석탄회로 배출량의 약 85~95%)와 Bottom Ash(저회: 보일러 하부 바닥에 떨어진 석탄회로 배출량의 약 5~15%)로 구분된다(일본 환경기술협회, 2005). 이러한 석탄회와 관련한 연구는 국내·외에서 활발히 수행되고 있으며, 석탄회를 바라보는 시각은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 먼저 석탄회로부터 중금속의 용출 가능성이 있으므로 석탄회를 일종의 폐기물, 오염물질로 보는 시각이다. 이로 말미암아 여전히 국내에서는 석탄회를 법률상에서도 폐기물⁴⁾로 분류하고 있으며, 화력발전소에서 배출되는 석탄회에 대한 사회적 인식 및 수용성은 충

1) 에너지통계연보(2014) 참조. TOE(Tonnage of Oil Equivalent)는 석유환산톤(1 TOE: ton of oil equivalent)이란 원유 1톤이 갖는 열량(1 toe = 107kcal = 41,868 GJ).

2) 발전 연료 소비량: 석탄(무연탄, 유연탄)의 점유율은 44.7% (104,810), 석유 3.5%(3,521), LNG 22.3%(22,330), 원자력 29.3%(29,283), 수력 1.8%(1,771)(에너지통계연보, 2014)

3) 「철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침」참조(2014.10.27).

4) 석탄회의 법률상 지위: 폐기물관리법 시행규칙 제2조의 2(사업장폐기물의 분류번호) 03-05-00 소각재로 '사업장 폐기물'에 해당. 폐기물관리법 제2조(정의)에서 "사업장 폐기물: 「대기환경보전법」, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 또는 「소음·진동관리법」에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물"로 분류.

분치 않은 상황이다.

이와는 다른 관점에서 석탄회를 자원순환적 측면에서 폐기물로 인지하기 보다는 순환자원으로 보는 시각이 최근 두드러지고 있다(홍창오 외, 2006; 오민택, 2012; 공진영 외, 2012). 이를 반영하여 석탄회에 대하여 검증하고, 재활용 가능성에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 국립환경과학원(2011)은 국내 주요 석탄화력 발전시설의 배출 석탄회에 대하여 유해물질 용출시험을 하였으며, 전반적으로 유해물질의 유출로 인한 오염 가능성은 매우 낮다고 언급하였다. 동시에 재활용의 확대가능성에 초점을 두고 효과적인 관리를 위한 석탄회 재활용 규정에 관한 개정(안)을 제시하였다.

Saito *et al.*(2011)는 달팽이와 이매패류를 이용한 실험에서 그레놀 비산회(Granulated Fly ash)의 중금속 성분에 의한 생물영향을 조사한 결과 중금속의 생물농축은 발견되지 않으며, 일부 실험결과에서는 실험동물의 체내에서 더 낮게 나타나고 있다고 언급하였다. 그리고 Yamamoto *et al.*(2013)는 그레놀 비산회(Granulated fly ash)를 활용하여 유기물이 풍부한 굴 서식지를 대상으로 시험한 결과, 유기물 분해를 촉진하고, 효과적으로 인산염을 흡착하고 있음을 확인하였으며, 석탄회의 활용이 유기물이 풍부한 해안퇴적물을 교정할 수 있는 방안이라고 언급하고 있다(김경희, 2014 재인용).

이와 같이 석탄회와 관련하여 환경적 측면에서의 위해성을 검증하려는 연구, 친환경·자원순환적 측면을 고려하여 재활용 측면에서 석탄회의 활용 분야를 모색하려는 연구 등 다양하게 이루어져 왔으며, 특히 최근에는 석탄회의 재활용에 대한 필요성 인식과 함께 그 활용분야를 모색하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 미국 EPA에서도 최근(2014, 12) 석탄회를 'Non-Hazardous Material'로 규정하고 석탄회 관리 및 처리를 위한 연방기준을 개정하려는 움직임은 자원순환이라는 대의적 측면에서 시사하는 바가 크다 할 수 있다.

2. 연구의 방법

본 연구는 석탄회와 관련한 기초·선행연구와 석

탄회 배출·처리·재활용 관련 국내·외 제도와 지침(Guideline) 그리고 선행된 석탄회처리장 조성사업 환경영향평가서와 사후환경영향조사서를 바탕으로 국내 석탄회 배출량 및 회처리장에 대한 현황에 대한 파악하였으며, 그 영향 저감방안의 적용·이행에 대하여 검토하였다. 그리고 삼천포 및 영흥화력발전소 회처리장 조성·운영 현장을 방문, 관련 실무자와의 면담을 통해 석탄회 및 회처리장으로 인한 주요 환경영향과 그 저감방안에 대해 논의하였다.

이러한 논의와 선행된 문헌자료에 대한 검토를 바탕으로 향후 국내 석탄화력 발전시설의 증설에 따른 석탄회 배출을 고려, 수반되어야 할 석탄회의 유효이용 및 재활용 활성화를 위한 정책적·제도적 방안을 모색·제시하고자 하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 국내 석탄화력발전소 현황

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 발전 에너지원 가운데 석탄에너지원의 점유율은 매우 높으며, 전력다소비산업(제조업),⁵⁾ 이상기온으로 인한 다전력소비기기 소비⁶⁾의 증가로 인해 전력 생산량은 더욱 증가할 것으로 예측되며 석탄화력이 상당부분 역할을 할 것으로 기대된다. 「6차 전력수급기본계획」을 통해 계획된 석탄화력 중 4기가 「7차 전력수급기본계획」을 통해 철회되기는 했으나,⁷⁾ 2029년까지 20기의 석탄화력이 계획되어 있다(Table 1 참조).

석탄을 에너지원으로 하는 화력발전소에 대한 계획이 집중된 배경 하에는 후쿠시마 원전사고 이후 원전

5) 에너지의 최종소비에서 제조업(산업부문)은 1990년 32,542(1,000 TOE)에서 2013년 113,380(1,000 TOE)로 348.4% 증가하였다(에너지통계연보, 2014).

6) 냉방기기(선풍기·에어컨)의 연도별 보급대수를 살펴보면 선풍기는 1993년 15,881(천대)에서 2013년 29,694(천대)로 87% 증가한 반면, 에어컨은 1993년 971(천대)에서 2013년 13,463(천대)로 1,286.5% 증가하여 다전력소비기기의 소비가 크게 증가한 것으로 나타나고 있다(전력거래소, 2013).

7) 석탄화력 비중축소: 기 계획된 석탄화력 중 연료, 송전설비 문제로 허가받지 못한 설비 4기 철회(산업통상자원부, 2015).

Table 1. Coal-fired plants construction plan in the 7th Basic Plan

Facilities	Capacity (MW)	Facilities	Capacity (MW)
Dangjin#9,10	1,020×2	Dangjin-#1,2	580×2
Samcheok#1,2	1,022 ×2	Sinsecheon#1	1,000
Bukpyung#1,2	595×2	Gosung-hi#1,2	1,040×2
Taahn#9,10	1,050×2	G-Ahnin#1,2	1,040×2
Sinboryung#1,2	1,000×2	POS-PWR#1,2	1,050×2
Yeosoo#1	350	-	-

Source: Ministry of Trade, Industry & Energy(2015)

에 대한 국민적 우려가 높아진 점, 신·재생에너지의 보급이 제도적, 기술적, 경제적 제약으로 인해 즉각적으로 대체할 수 없는 현재적 상황, 석탄화력의 높은 경제성이 그 주요 원인으로 분석된다. 2014년 기준으로 석탄의 kWh당 거래단가는 유연탄 65.1원, 무연탄 91.1원으로 원자력 54.9원을 제외한 석유 221.2원, LNG 160.9, 수력 171.6원, 재생 129.7원과 비교하여 발전생산·거래단가가 낮은 수준에 있다(에너지통계연보, 2014).

향후 추가적으로 건설될 국내 석탄화력 발전시설들을 고려했을 때, 발전활동에 따른 석탄회의 배출량 역시 늘어날 수밖에 없으며, 나아가 석탄회 및 회처리장으로 인한 환경영향(해양·대기·경관 등)의 측면에서, 회처리장의 신규 조성 및 배출 석탄회의 처리를 위한 방안에 대해 충분한 고민이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 석탄회의 배출 및 재활용 현황

1) 국내 석탄화력발전소의 석탄회 배출

국내 석탄화력발전소를 통한 발전연료 소비량은 2013년 기준 44,666,000 TOE(점유율: 44.7%)이며, 전기생산을 위한 발전 과정에서 매년 800만톤 이상의 석탄회가 연소폐기물로 발생되고 있다(한국전력 발전부문 5개 자회사 취합자료, 2013).

석탄회는 기본적으로 그 성상에 따라 크게 Fly Ash(비회)와 Bottom Ash(저회)로 구분되는데, Fly Ash는 2013년 기준 694.7만톤, Bottom Ash는 126.4만톤이 배출되었다. 그리고 석탄회 배출량은

발전설비의 용량에 비례하여 그 배출량이 결정되는데, 발전용량이 큰 보령화력(BR)(8기, 4,000MW), 당진화력(DJ)(8기, 4,000MW), 태안화력(TA)(8기, 4,000MW), 하동화력(HD)(8기, 4,000MW)에서 Fly ash/Bottom ash는 각각 117.7만톤/18.5만톤, 105.3

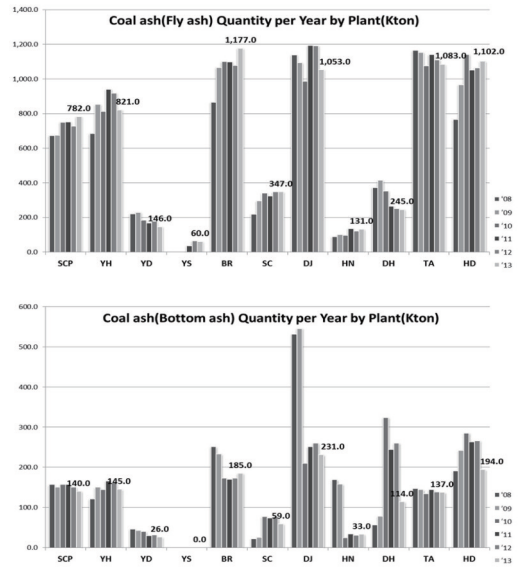


Fig. 1. Coal ash Emissions from coal-fired plants
Source: KEPCO-owned Five Generation Companies(2014)

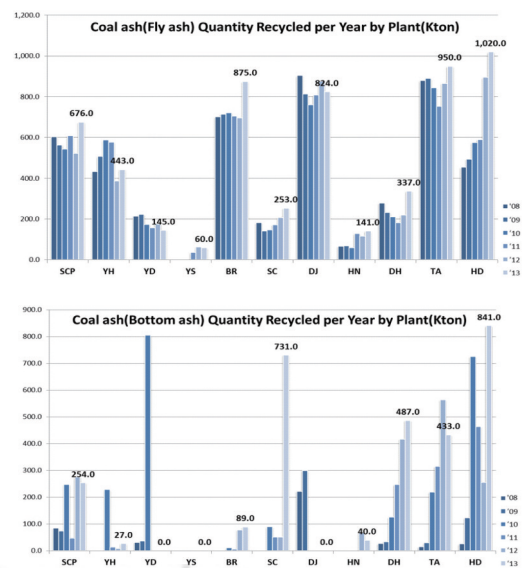


Fig. 2. Coal ash from coal-fired plants
Source: KEPCO-owned Five Generation Companies(2014)

만톤/23.1만톤, 108.3만 톤/13.7만톤, 110.2만톤 /19.4만 톤으로 나타나고 있다(Fig. 1 참조).

2) 석탄회의 재활용

석탄회의 재활용량은 Fly Ash(비회)를 기준으로 2010년 이후 500만 톤 이상 재활용되고 있으며(Fig. 2 참조), 재활용률 역시 80% 수준에 이르고 있다.

배출 석탄회에 대한 재활용률이 80%라는 지표가 높게 평가될 수도 있겠으며 동시에 기 매립된 석탄회의 재활용으로 인해 일시적으로 수백%를 넘어서는 경우도 있다. 그러나 실제 안정적으로 재활용되는 수

준은 70% 수준으로 확인되며, 나머지 석탄회에 대해서는 토목·건설 경기, 높은 지원보조금의 일본 수입 석탄회⁸⁾(Fig. 3 참조) 등 사회·경제적 요인으로 재활용되지 못하고 회처리장에 매립되고 있다.

그리고 신규 설치되는 발전시설로 인해 2020년경이 되면 석탄회는 연간 1,000만 톤 이상의 처리·매립이 필요할 것이며, 현 회처리장의 상황에 비추어 봤을 때 수년 내 또는 10년 내에 그 만지시기가 곧 도래할 것으로 예상된다.

이처럼 국내 석탄화력발전소와 이로부터 배출되는 석탄회의 처리에 대한 수요는 지속적으로 높아지고 있는데 반해, 현 회처리장의 용량 한계와 재활용량 및 안정적 수요처 개발은 정체 상태에 머물고 있으므로

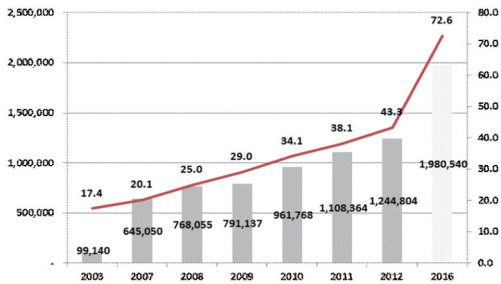


Fig. 3. Imports of Japanese Coal ashes and the grants
Source: Ministry of Environment(2013)

- 8) 일본으로부터 수입되는 석탄회의 물량은 2003년 99,140톤/년에서 2012년 1,244,804톤/년으로 매년 증가 추세에 있으며, 일본 발전사들의 지원금이 톤(ton)당 72.6\$로 증가하는 2016년에는 200만 톤에 육박할 것으로 예상된다.
- 9) 석탄회의 재활용 용도를 레미콘 콘크리트 혼화제, 시멘트 원료, 경량골재, 시멘트 2차 제품 원료, 성토용 골재, 복토용 골재, 도로용골재 등 총 11가지(「철강슬래그 및 석탄회 배출사업자의 재활용 지침」참조)를 규정하고 있다.

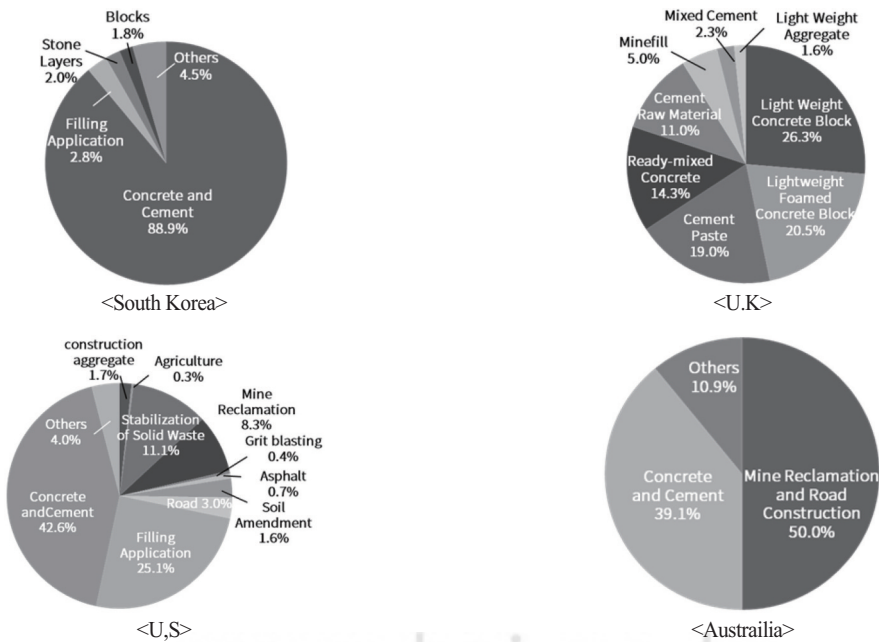


Fig. 4. World Utilization of Coal ash

Source: Dongbu Power Co.(2014)

석탄회의 처리 및 관련 환경문제의 발생이 우려된다.

또한 국내의 주요 석탄회 재활용 분야가 국외와 비교하여 시멘트 원료 부문에서 88.9%로 극단적으로 집중되어 있다(Fig. 4 참조). 현재 제도적, 사회적인 문제로 인해 안정적이고 다양한 분야로 재활용되지 못하고 있음을 고려했을 때,⁹⁾ 이에 대한 문제해결의 방안이 불투명하다.

3) 석탄회의 처리 및 재활용 규정

국내에서는 석탄회를 폐기물로 간주하고 「폐기물관리법」¹⁰⁾에 따라 처리되고 있으나, 오니 등 주요 폐기물과 비교하여 연소잔재물(석탄회)에 대해서는 특별한 처리기준을 정하고 있지는 않다. 동 법률상에서는 성토재, 보조기층재, 매립시설 복토재 등 제한적으로 처리기준을 수립하고 있으며, 보다 구체적인 용도는 「자원의 절약 및 재활용 촉진에 관한 법률」에 의거 「철강슬래그 및 석탄회 배출사업자의 재활용 지침」에서 시멘트 원료, 성토용 골재, 보조 기층재 등의 제한적 용도로 규정하고 있다. 이러한 석탄회의 처리 및 재활용 규정과 관련하여 재활용이 활성화 될 수 없었던 문제점들을 살펴보면, 먼저, 석탄회를 제도상에서 폐기물로 분류하여 유해한 물질로 보는 시각이 뚜렷하며,¹¹⁾ 폐기물재활용 용도나 방식이 유사한 철강슬래그를 수요처에서는 선호하고 있으며, 그리고 높은 보조금 지급이 이루어지는 수입 석탄회 대비 상대적으로 경쟁력 저하로 이어지고 있다. 그리고 매립처리에 따른 별도의 경제적 부담(매립세 또는 환경부담금 등)이 부재한 상황에서 현재 국내에서 배출되는 석탄회의 상당 부분은 계속해서 회처리장으로의 매립처리를 선호하는 상황이다.

우리나라와 같이 석탄화력에 대한 의존도가 높은 일본(석탄 소비량 세계 7위, 2012년)은 석탄회 처리와 관련하여, 배출량은 12,655(천톤), 유효이용률은 97.6%(최종 매립율: 2.4%)로 많은 배출량과 동시에 높은 유효이용률을 보이고 있다. 석탄회의 환경기준은 일본 환경성의 토양오염기준을 따르고 있으며, 석탄회를 직접적으로 사용하기 보다는 대부분 2차적 처리를 통해 제품의 형태로 제조·활용하기 때문에 토양오염기준을 초과하는 사례는 거의 없다. 또한 1980

년대부터 댐 건설 프로젝트, 공공건축물 건설에 대한 활용 빈도가 높으며 꾸준히 유효이용기술에 대해 노력한 결과, 1990년대부터 시멘트 원재료를 포함하여 토목, 건축, 농림, 수산 분야 등 활용범위의 확장을 가속화 해오고 있다. 이러한 일본의 석탄회 처리에 대한 문제에 대해 해결해 나가는 방식은 우리가 관심을 가지고 살펴볼 필요가 있다.

3. 석탄회처리장의 입지·조성에 따른 환경영향 분석

1) 국내 회처리장의 조성 및 입지 현황

국내에서는 연안 해안선을 회처리장 호안의 한 면으로 활용하는 방식을 대부분 채택하고 있다(Fig. 5 참조). 이는 해양에 조성하는 Island 방식과 육상의 넓은 토지를 활용하는 In-land 방식과 비교하여 호안 조성 방식이 해안선이 복잡한 국내 여건에 적용·용이하고, 무엇보다 공사비 절감에 영향이 큰 것에 기인한다.

그리고 석탄을 에너지원으로 하는 화력발전소 11개소 중 8개소의 화력발전소에서는 1개 이상의 회처리장을 운영하고 있으며, Fig. 6에서 제시된 바와 같이 우리나라의 석탄화력발전소들이 냉각수 확보를 위해 해안가에 접하여 입지함에 따라, 이에 따른 부



Fig. 5. Application of a side wall using coast shoreline for revetments block

Source: EIASS(<https://eiass.go.kr/>)

- 10) 법률 제13조(폐기물의 처리 기준 등) 및 시행령 제7조(폐기물의 처리 기준 등), 시행규칙 제14조 별표 5(폐기물의 수집·운반, 보관, 처리 기준).
- 11) 새만금 등지에서 수면 매립재로 활용을 계획하고 공사를 진행하였으나 지역주민, 환경단체의 반대 이에 부담을 느낀 해당 지자체의 미협조로 추진에 어려움을 겪기도 했다.

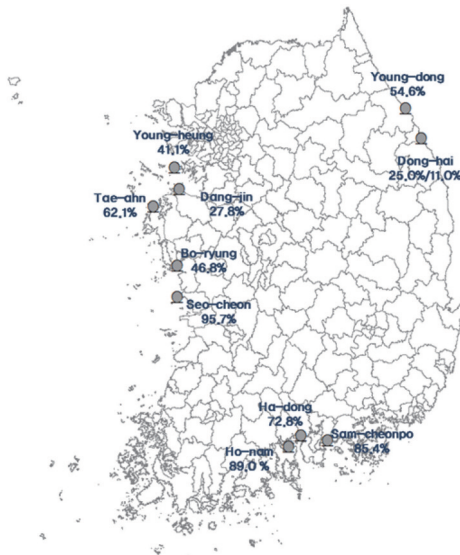


Fig. 6. The Location of coal ash sites and Consumption
Source: Maeng *et al.*(2014)



Fig. 7. Natural Coast surrounding Planned Site in landfills
Source: Maeng *et al.*(2014)

대시설 역할로 회처리장 역시 해안지역에 조성·설치하여 운영되고 있다.

이러한 이유로 인해 자연해안의 훼손이 불가피하며, 회처리장 조성 공사 시 부유토사의 확산 및 인공구조물 설치로 인한 해수유동 및 지형변화로 해양환경에 대해 부정적인 영향이 발생한다. 또한 개별 발전시설마다 차이는 있으나 전체 회처리장의 6개소에서 전체용량의 50%를 이미 초과하여 수년 내에 이들 시설의 상당수가 만지 상태에 이를 것으로 예상됨에 따라 추가적 회처리장의 건설에 대한 요구가 늘어날 것으로 예측된다.

2) 석탄회처리장 조성·운영에 따른 주요 환경영향

국내에서 운영 중인 석탄화력 발전시설들은 석탄의 연소 후 배출하는 석탄회회 처리를 위한 회처리장을 운영하고 있으며, 냉각수 취·배수를 위해 석탄화력발전소가 해안가에 입지함에 따라 회처리장 역시 이와 인접하여 입지하고 있다(맹준호 외, 2013). 그래서 회처리장은 비산먼지 등 대기오염물질에 대한 우려로 주거지역에 대해서는 일정거리 이상 이격하여 직접적 영향을 완화하고 있으나, 연안지역에 대해서는 해안경관이 수려하고 다양한 해양생물이 서식하고 있는 보전 가치가 높은 조건대나 천해역인 경우

가 많아 환경영향에 대한 불가피하다.

실제로 석탄회 대량 배출자인 발전사에서는 자구적인 노력을 통해 그리고 다양한 공학적인 보안을 통해 안전성을 확보하고 있으나, 잠재적으로 침출수에 의한 해양환경오염, 비산먼지에 의한 대기환경오염 등이 유발될 수 있음이 제기되고 있어 지역사회 및 환경단체와의 갈등 및 마찰을 야기하고 있다.

또한 2008년 발생한 미국 테네시 주(州)의 킹스턴 석탄화력발전소에서의 석탄회 슬러리 누출사고¹²⁾ 등의 사례는 석탄회에 대한 사회적 수용성을 담기에는 여전히 많은 인식개선을 위한 노력과 공학적·환경적 보안을 해야 할 부분이 있음을 시사하고 있다.

석탄회처리장 조성에 따른 주요 환경영향은 다음과 같이 제시될 수 있다. 첫째, 회처리장 조성지역이 대부분 해양생물의 주요 서식처 및 산란지역인 자연해안지역인 경우가 많으며, 이는 회처리장 조성으로 인해 이들 자연해안지역이 불가피하게 훼손되는 것이다. 특히 자연해안지역이 육상이 산림으로 이루어진 조상대지역과 암반 및 갯벌로 이루어진 조간대지역 그리고 해중림이 분포하는 조하대지역이 생태적으로 상호연결되어 있는 지역의 경우 회처리장 조성으로

12) <http://www.tva.com/kingston/index.htm>

인한 해안환경에 미치는 환경영향은 매우 크다. 둘째, 대기질과 관련하여 회처리장 조성과정에서 건설용 중장비의 오염물질 배출, 착암(Rock Drilling)·골재가공·운반과정에서의 미세먼지 발생이 우려된다. 또한 조성 후, 배출 석탄회 매립을 위해 Pipe-line을 통한 이송·매립과정에서 집중투기로 인한 석탄회의 비산먼지가 다량 발생할 수 있다.

이에 회처리장 조성·건설과정에서 운송차량 덮개 설치, 중장비차량의 운행속도 조정, 살수차량운영 등의 방안을 수립하여 이행하고 있으나, 그 저감효과에 대해서는 불완전성이 존재한다. 셋째, 회처리장의 설치에 따른 지형 변화 및 인공 구조물로 인한 경관의 변화를 예상할 수 있다(Fig. 7 참조). 다수의 회처리장 입지 대상지는 우수 경관을 담고 있는 지역이므로 경관적 변화가 우려되며 이에 환경영향평가 협의과정에서 자연경관 훼손에 대한 방안 강구 및 제척(Exclusion)에 대한 검토의견을 받기도 한다.

4. 국내 석탄회의 재활용 및 유효이용의 저해요인

발전사업자 및 각계 전문가들은 회처리장의 추가 건설 문제와 이로 인한 환경문제를 개선하기 위해서는 근본적으로 석탄화력에 대한 의존도를 단계적으로 줄여나가야 하며, 이와 더불어 대량 배출되는 석탄회의 재활용과 유효이용을 확대해야 한다고 의견을 모으고 있다. 그러나 이러한 합치된 의견에도 불구하고 석탄회의 재활용과 유효이용이 활성화되지 못하고 회처리장 건설문제와 이로 인한 환경문제가 대두되는 것은 다음과 같은 현실적 문제들이 산적하고 있기 때문이다.

첫째, 석탄회 재활용의 방안 및 재활용의 안정적 수요처가 시멘트 원자재 부문에 단편화되어 있어 그 활용 용도가 매우 제한적이다. 또한 이러한 문제를 사회적 논의, 법·제도적 개선을 통해 환경성을 확보함과 동시에 수요처의 개발·확대가 필요함에도 불구하고 이러한 논의가 나아가지 못하고 정체되어 있다. 둘째, 국내 석탄회의 안정적인 수요처가 부족한 상황에서 일본으로부터 석탄회가 높은 보조금과 함께 수입되고 있으며, 배출 석탄회에 대한 이력제

(Traceability)나 하역 단계에서의 충분한 환경성 검사 및 정기적 정보공개 시스템은 부재하다. 또한 이를 민간기업인 시멘트 회사들이 높은 영업이익을 위해 수입 석탄회를 선호하고 있다. 셋째, 국내 발전사들이 석탄회 처리와 관련하여 금전적 지원이나 처리 비용에 있어서 부담을 느끼고 기술적 투자나 배출 부담금에 대해 소극적이므로 석탄회 재활용 시장이 성장하지 못하고 있다. 넷째, 미국을 포함한 서구권 등 국외에서는 석탄회를 폐기물로 보기보다는 부산물로 보고 친환경적 재활용을 권장하거나 그러한 움직임이 이루어지고 있음에도 불구하고, 여전히 국내에서는 불식되지 않은 부정적 인식으로 인해 지역사회, 환경단체 그리고 이에 부담을 느끼는 해당 지자체의 비협조로 석탄회 재활용은 쉽지 않다.

이러한 문제점들은 석탄회의 유효이용 및 재활용 활성화에 있어서 장애물로 작용하고 있으므로 추가적인 석탄화력 발전시설의 건설·계획을 즉각적으로 중단하거나 감소시킬 수 없는 상황에서 회처리장의 추가적 건설 계획을 막지 못하는 결과로 귀결된다.

5. 석탄회 유효이용 및 재활용 활성화를 위한 방안

1) 제도적 개선의 이행

최근 일부 개정된(2014.10.27) 「철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용 지침」(환경부고시 제 2014-193호)에서는 기존 석탄회의 11가지 재활용 용도에서 15가지로 확대하였다. 유효이용 및 재활용 활성화라는 측면에서 개선의 움직임이 있다는 부분에 대해서는 환영할 부분이다. 그러나 고무·플라스틱 충전재, 도료·연마재·단열재 원료, 제철계강 원료(금속회수), 상토비료원료(바닥재에 한함)의 수요처가 연간 배출량이 800만톤 이상인 석탄회를 처리하기 위한 안정적인 수요처가 될 수 있는가에 대해서는 여전히 의문점을 갖지 않을 수 없다.

예를 들어 '공유수면 매립재'로 활용에 있어서 해당 지침에서는 철강슬래그에 대해서는 가능토록하고 있으나, 석탄회의 경우에는 그 활용에 있어서 제외하고 있으므로 실질적 재활용의 확대 적용은 어려울 것으로 판단된다.

또한 「폐기물관리법일부개정법률(안) 입법예고」(2014.06.12)에서도 「다. 성·복토 등 폐기물이 토양·지하수·지표수 등과 직접 접촉하는 재활용에 대하여 환경성검토를 실시하여 재활용을 인정하는 체계 도입(안 제13조의2제4항부터 제6항까지, 제25조의2 신설 등)」을 언급하고 있으나, 해양(해수)에서 재활용하는 부분이나 국외에서 활발히 이루어지고 있는 광해복구 사업부문에서의 활용이 빠져 있어, 석탄회의 안정적이고 유효이용 및 재활용측면에서는 아쉬운 부분이 아닐 수 없다.

따라서 석탄회 유효이용의 환경성 확보를 위한 논의와 더불어 안정적이고 대량의 재활용이 가능한 직접적 유효이용분야의 확대(해안개발사업에서의 활용이나 광산복구사업에서의 활용 등)를 위한 추가적 논의가 이루어질 필요가 있다.

2) 폐기물 유해성 검증체계의 개선

현재의 유해성을 포함하고 있는 폐기물의 여부를 판정하는 기준에 대해서도 새로운 접근이 필요하다. 실제로 미국 및 EU 등 서구 사회에서는 폐기물 판정과 관련하여 위해성평가를 제도화하고 있는데, 폐기물 분류체계에서 유해폐기물을 분류·판정하는 기준은 목록 기준과 물리·화학적 특성에 의한 기준을 두고 있다. 목록 기준은 현재 우리나라와 같이 특정 폐기물이 관련부처에서 해당 목록에 포함되어 있으면, 유해성 폐기물로 간주하는 것을 의미하며, 물리·화학적 특성에 의한 일정한 유해성 기준을 설정하여 해당 폐기물이 그 기준을 초과하는 경우 유해폐기물로 판정하는 것이다(환경부, 2012). 이러한 이원화(Two-Track)된 방식이 관련부처에서 정하는 목록 기준 또한 일정 유해성 기준을 참고한다는 측면에서 대동소이해보이기도 하지만, 유해성이 높은 폐기물에 대해서는 엄격한 관리의 잣대를 내미는 동시에 폐기물의 자원순환이라는 측면에서는 이후 다룰 재활용 활성화의 촉진제로 작용할 수 있으므로, 현재의 목록기준 방식의 기초를 유지할 것인가에 대해 추가적 논의가 필요하다.

3) 석탄회의 유효이용 분야의 모색

석탄회의 유해물질 특성에 대한 국립환경과학원

(2011)의 시험결과와 일본 석탄에너지센터(2011)의 용출시험 및 생물학적 검정법(Microtox)에 의한 평가 결과가 기준 이하로 나타나고 있음은 석탄회의 유효이용(Beneficial Use)에 높은 잠재성을 내재하고 있다. 일본의 경우 연안재생사업의 시행에 있어 석탄회를 활용하기도 하는데, 일본 내 해안개발에 따른 폐쇄성으로 인한 해역의 부영양화로 인해 수질개선 대책이 요구되었다. 그래서 석탄회를 활용한 제올라이트 블록을 활용하였으며, 그 결과 잘피의 발아 및 생육촉진에 효과 및 해수 정화에 있어서 효과가 있는 것으로 확인되었다.

그리고 미국·독일·호주 등에서는 광해복구사업을 통해 석탄회를 안정적으로 재활용하고 있는데, 현재 국내에서는 제도상의 이유로 연구목적으로만 가능하다. 2013년을 기준으로 300개소 이상 폐쇄된 국내 광산에서 발생하는 산성의 갭내수 및 적치된 폐석에서 유출되는 침출수를 처리하기 위해 석탄회를 활용할 수 있다면 이 또한 대량 배출되는 석탄회의 안정적인 처리 측면에서 광해방지분야 활용은 효과적인 대안이 될 수 있다. 이처럼 석탄회의 2차적 처리를 포함한 환경성 확보를 바탕으로 다양한 유효이용 분야 모색을 위해 꾸준한 연구개발과 이를 지원하고 길을 열어줄 수 있는 제도적 개선·보완을 할 필요가 있다.

4) 석탄회 재활용 활성화를 위한 인식의 개선

실제로 많은 발전사들이 석탄회의 처리를 위해 다양한 수요처를 모색하고 있지만 2008년 전 세계적 금융 위기 이후 부동산 및 건설 경기의 위축으로 인해 안정적인 석탄회의 재활용이 쉽지 않다. 또한 정부차원에서 그동안 재활용 제품의 이용을 촉진하기 위하여 다양한 정책(친환경인증제도, 친환경건축물 인증제도, 우선구매제도)을 시행하고 있으나, 이러한 인증제품에 대한 건설·토목업계의 선호도는 낮은 편이다.

앞서 언급한바와 같이, 석탄회 재활용에 있어 우리나라보다 선행적이고 활성화되어 있는 일본의 경우 유사한 역사적 경험을 갖고 있는데, 공공기관 건설공사에서 적극적으로 활용토록 하면서 이러한 안전성에 대한 우려를 불식시켰다. 특히 행정적 지원을 통

해 석탄회의 재활용을 촉진에 기여한 사례는 인식개선을 위해 선제적이고 적극적인 방안의 모색이 얼마나 중요한가를 말해주고 있다. 여전히 석탄회를 폐기물로 바라보고 다양한 용도로의 재활용에 대해 부정적 의견도 존재하지만 재활용을 위한 일정수준의 품질 확보와 동시에 환경성에 대한 홍보와 교육을 통해 개선해야 한다.

5) 석탄회 유효이용 및 재활용 활성화를 위한 협력체계 구축

석탄회 재활용 및 유효이용의 확대 나아가 친환경적 국토관리, 자원순환사회의 구현이라는 대의적 목표를 달성하기 위해서는 정부부처나 석탄회 대량배출사업자인 발전사의 개별적 노력만으로는 달성할 수 없다.

발전사는 지금까지도 자구적으로 기술개발 등 많은 노력을 하고 있다고 자평할 수 있으나 석탄회 관련 산업표준은 현재 6종¹³⁾에 불과하다. 그리고 향후 환경세, 매립세 등의 도입·시행, 일본으로부터 연간 100만 톤 수준의 석탄회가 5~7만원/톤의 높은 보조금(운송비+처리비용)과 함께 수입됨¹⁴⁾을 고려했을 때, 국내 발전사의 회처리에 대한 직·간접적 부담 증가가 예상된다.

이러한 측면에서 발전사들이 현 상황을 적극적으로 개선하지 못한다면 결국 발전기업의 재산성 악화로 이어질 수밖에 없을 것으로 예상된다. 따라서 석탄회의 유효이용 및 재활용을 촉진하기 위해서는 발전사의 배출에 대한 책임 있는 의식과 역할이 더욱 중요하며 이를 위한 기술개발 및 실용화 연구, 석탄회 품질의 균일화, 보조금 확대 등 개선 방안을 수립 추진해야 할 것이다. 그리고 석탄회의 유효이용에 있어서 발전사가 주도적인 역할을 해야 함은 분명하나 이는 제한적일 수 있으므로 정부 및 관련 공공기관에서는 안정적 수요처 확대를 위한 논의 및 가시적 성과의 확보 그리고 석탄회에 대한 환경성·유해성(중금속, 방사능 등을 포함)과 관련된 신뢰성 높은 검증·정보공개·이력제 실시 등의 제도적 체계 개선, 교육·홍보 활동을 통해 석탄회에 대한 부정적 인식 개선 등의 방안을 통해 석탄회의 유효이용 및 재활용

활성화, 나아가 자원순환사회를 위해 함께 노력해야 할 것이다.

IV. 결론

본 연구에서는 석탄화력발전소에서 배출되는 석탄회 및 회처리장 조성·운영으로 인한 환경영향, 특히, 입지특성상 연안지역에 입지하는 회처리장에 따른 환경영향에 대해 살펴보고, 근본적·장기적 측면에서 배출 석탄회의 처리 및 추가적 회처리장 건설의 최소화를 위한 정책적·제도적 개선 방안을 모색·제시하고자 하였다.

석탄회의 유효이용(Beneficial Use) 및 재활용 활성화라는 과제가 자원순환사회의 구현이라는 측면에서 공감을 이끌어 내고 있으나 여전히 풀어야 할 숙제가 산적해 있으며, 배출 석탄회의 안정적이고 다양한 수요처 개발을 위해 추가적인 제도의 개선이 반드시 필요하다.

석탄회의 유효이용이라는 측면에서, 기존의 「철강슬래그 및 석탄회 배출사업자의 재활용 지침」에서 15가지 재활용 용도에 한해 제한하는 목록 기준화된 방식은 장애물로 작용할 수 있다. 따라서 재활용 용도를 규제·한정하여 제한하기보다는 해수와의 직·간접적 접촉을 허용하는 재활용(연안재생사업 등), 농업(간척지 재염화 방지) 및 광해복구 분야에서의 활용 등을 포함하여 환경성 검증·심사를 통한 석탄회의 유효이용(Beneficial Use)의 길을 열어주는 제도 개선에 대한 논의도 고려해볼 수 있을 것이다.

또한 석탄회의 유효이용 확대를 위한 협력적 관계의 구축이라는 측면에서 관계 정부부처와 대량배출사업자 간의 전향적인 자세와 협력적인 관계를 구축하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 선제적으로

13) 석탄회와 관련한 산업표준: KS L 5405, KS L 5211, KS F 4569, KS F 4570, KS L 5508, KS F 2534 이상 6종.

14) 국내 수입되는 일본산 석탄회는 '09년 76만 톤, '10년 96만 톤, '11년 111만 톤, '12년 124만 톤, '13년 138만 톤으로 그 수입량이 지난 5년간 연평균 17.1% 씩 증가 추세를 보이고 있다.

대량배출 사업자가 석탄회의 유효이용 확대를 위해 환경성과 경제성 개선을 위한 기술개발과 배출·처리에 대한 적정 비용 부담에 대해 적극적이고 전향적 자세를 갖추는 것이 필요하다. 그리고 반쪽짜리 역할로는 석탄회의 재활용 및 유효이용 확대 그리고 한 단계 더 나아가 우리사회의 자원순환사회 구축이라는 최상위의 목표를 달성할 수 없으므로 관계부처에서는 유효이용 및 재활용을 위한 제도적 지원체계, 환경성 확보를 위한 검증체계 개선과 더불어 석탄회이용을 위한 홍보체계의 구축을 통하여 지역사회, 환경단체의 이해를 돕고 지원하는 선순환적이고 협력적인 관계를 이루어야 할 것이다. 또한 전력수급기본계획 등에서 추가적인 석탄화력발전소의 건설을 점진적으로 줄여나가, 석탄회의 배출자체를 근본적으로 차단해나가는 방안 역시 '친환경적 국토관리'라는 측면에서 고려되어야 한다. 또한 국내 시멘트 기업들에게 높은 지원 보조금과 함께 수입되고 있는 일본산 석탄회(연간 약 100만톤 이상)와 관련하여서는 유해성 우려되는 수입폐기물에 대한 관세체계의 개선 및 환경부담금 명목의 가산세 부과 등을 통해 수입을 점진적으로 줄여야 할 것이다.

그리고 국내 발전사 등의 석탄회 대량배출자는 무조건적인 경제성 판단에 따른 신규 회처리장 조성보다는 '배출자 부담원칙(Polluters-Pay Principle)' 측면에서의 처리 부담금 및 보조금의 증액 지원 역시 필요하며, 이를 바탕으로 국내 배출 석탄회의 재활용이 활성화 될 수 있도록 유도해야 할 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ 010475042015)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝히며, 업무지원에 감사드립니다.

인용문헌

공진영, 정희상, 조삼덕, 김주형, 현재혁, 천병식. 2012. 석탄회를 활용한 저장도고유동화재의 공유수면매립현장에 대한 적용성 평가, 한

- 국지반공학회논문집, 28(12), 27-39.
- 국립환경과학원, 환경부. 2011. 석탄재와 토사류 혼합에 관한 환경성 조사 연구.
- 김경희 외. 2014. 연안 저질 개선을 위한 석탄회 조립물의 활용, 한국해양환경·에너지학회지, 17(1), 1-7.
- 동부발전(주). 2014. 동부그린발전 회처리설비 구성 및 석탄회 재활용 방안 검토.
- 박성제. 2014. 친환경적 석탄회 관리와 재활용을 위한 제도 개선 및 정책적 제안.
- 맹준호 외. 2005. 해양 매립사업으로 인한 환경 영향의 효율적인 저감 방안에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 맹준호, 조광우, 변성수. 2010. 공유수면 매립 기본계획 사전환경성검토의 합리적인 대안비교에 관한 연구, 한국환경영향평가학회, 19(6), 563-571.
- 맹준호, 김태운, 서동환. 2013. 발전소 냉각수 배출에 따른 해양환경 영향 예측 및 최소화 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 맹준호, 김태운, 서동환. 2014. 화력발전소 회처리에 따른 환경영향 최소화 방안 연구(I), 한국환경정책·평가연구원.
- 산업통상자원부, 에너지경제연구원. 2011. 2011년도 에너지 총조사 보고서.
- 산업통상자원부, 에너지경제연구원. 2014. 2013 에너지통계연보.
- 산업통상자원부, 에너지경제연구원. 2015. 2014 에너지통계연보.
- 산업통상자원부. 2008. 제1차 국가에너지기본계획.
- 산업통상자원부. 2013. 제6차 전력수급기본계획.
- 산업통상자원부. 2014. 제2차 국가에너지기본계획.
- 산업통상자원부. 2015. 제7차 전력수급기본계획.
- 오민택, 성용주. 2012. 무기충전제로서 저회의 적용 특성 평가, 한국펄프·종이공학회지, 44(5), 80-86.
- 일본 환경기술협회 외. 2005. Coal Ash Handbook, 한국남동발전. 2003. 영흥화력 3·4호기 건설사업 환경영향평가서.

- 한국남동발전. 2009. 삼천포화력발전소 제2,3회처리장 증축사업(재협약).
- 한국남동발전. 2007. 영흥화력 5·6호기 건설사업 환경영향평가서.
- 한국남동발전. 2013. 광해 방지 분야(석탄광산) 매립 석탄회 재활용 기술 개발.
- 한국남동발전. 2013. 삼천포화력 제4회처리장 건설사업(재협약).
- 한국전력거래소. 2013. 가전기기 보급률 및 가정용 전력소비행태조사.
- 한국전력공사. 1995. 보령화력 남부회처리장 건설사업.
- 한국전력공사. 1997. 삼천포화력발전소 제1회처리장 증축사업.
- 홍창오, 이창훈, 이협, 이용복, 김필주. 2006. 논토양에서 석탄회시용에 따른 중금속 축적가능성평가, 한국환경농학회, 25(4), 331-338.
- 환경부. 2012. 사업장폐기물 관리정책 개선 방안 마련 연구.
- _____. 2014. 폐기물관리법 일부개정법률(안)입법예고(환경부 공고, 제2014-391).
- _____. 2013. 환경통계연감.
- 환경부, 지식경제부. 2009. 철강 슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용 지침.
- 환경부, 지식경제부. 2012. 철강 슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침(환경부 고시 제2012-209호, 지식경제부 고시 제2012-258호).
- 환경부, 지식경제부. 2014. 철강 슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침(환경부 고시 제2014-193호, 산업통상자원부 고시 제2014-205호).
- ECOBA. 2009. Statistics on Production and Utilisation of CCPs in Europe(EU 15).
- European Commission. 2006. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants.
- Steven T, Moon JD. 2013.04.22. Regulatory and Legal Applications: Fly Ash Use in Cement and Cementitious Products, Paper presented at 2013 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, Kentucky, pp.1-19.
- Saito T, Yamamoto T, Hibino T, Kuwabara T, Hanaoka K. 2011. Safety assessment of granulated fly ash on benthic animals, Annual Journal of Coastal Engineering, 67(2), 1111-1115. (in Japanese with English abstract)
- Yamamoto T, Harada K, Kim KH, Asaoka S, Yoshioka I. 2013. Suppression of phosphate release from coastal sediments using granulated coal ash. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 116, 41-49.
- Coal Energy Center. 2011. 'Effective use of coal fly ash mixed material in port construction'.

[웹사이트]

- 국가에너지통계종합정보시스템. <http://www.kesis.net/flexapp/KesisFlexApp.jsp>.
- 전력통계정보시스템. <http://epsis.kpx.or.kr/epsis/servlet/epsis/EKHI/EKHIController>.
- 전력통계_전력통계속보. http://cyber.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do;TKEPCO_ID=nnMnJLwMYYMTLqjLXjRRvpb14QhwJXrhmmNwGYCsTx8gTn1CSnj2!-678412193!2013737979?boardCd=BRD_00097&menuCd=FN05030101.
- 환경부 환경통계포털. <http://stat.me.go.kr/nesis/index.jsp>.
- 환경영향평가 정보지원시스템(EIASS). <http://www.eiass.go.kr/>
- ACAA(The American Coal Ash Association). <http://www.aaa-usa.org/>.
- ECOBA(European Coal Combustion Products Association). <http://www.ecoba.com/index>.

- html.
- JCOAL Japan Coal Energy Center. <http://www.jcoal.or.jp/eng/>
- US EPA Coal Combustion Residuals - Proposed Rule. <http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/industrial/special/fossil/ccr-rule/index.htm>.
- US EPA Fossil Fuel Combustion waste. <http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/industrial/special/fossil/index.htm>.
- US EPA Recycling and Reuse: Industrial By-Products: European Union Communication. <http://www.epa.gov/oswer/international/factsheets/byproducts-guidance-053007.htm>
- ## References
- Dongbu Power Co. 2014. the Construction of Ash Disposal facilities in Dongbu Green Pwr and the Review for Coal ash Recycling.
- Gong JY, Jung HS, Cho SD, Kim JH, Hyun JH, Chun BS. 2012. Evaluation on Field Application of Controlled Low-Strength Materials Made of Coal Ash in Reclamation Site, Journal of Korean Geotechnical Society, 28(12), 27-39.
- Hong CH, Lee CH, Lee H, Lee YB, Kim PJ. 2006. Evaluating Possibility of Heavy Metal Accumulation by Fly Ash Application in Rice Paddy Soils, Korean Journal of Environmental Agriculture, 34(2), 331-338.
- Kim KH, Lee IC, Ryu SH, Saito T, Hibino T. 2014. Application of Granulated Coal Ash for Remediation of Coastal Sediment, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, 17(1), 1-7.
- Kong JH, Jung HS, Cho SD, Kim JH, Hyun JH, Chun BS. 2012. Evaluation on Field Application of Controlled Low-Strength Materials Made of Coal Ash in Reclamation Site, Journal of the Korean geotechnical society, 28(12), 27-39.
- Oh MT, Sung YJ. 2012. Evaluation of Applicability of Bottom Ash as Inorganic Filler, 44(5), 80-86.
- Park SJ. 2014. Institutional Improvement and Policy Suggestions for Environment-friendly management and Recycling. National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment. 2011. A study on the Environmental Evaluation for the mixing of Coal ash and Soil.
- Maeng JH *et al.* 2005. A study on effective mitigation measures for environmental impacts of oceanic reclamation projects, Korea Environment Institute.
- Maeng JH, Cho KW, Byun SS. 2010. A Study on Rational Alternative Comparison of Prior Review on Environmental Conditions for Basic Plan of Public Waters Reclamation, Korean Society of Environment Impact Assessment, 19(6), 563-571.
- Maeng JH, Kim TY, Suh DH. 2013. A study on Measures to Predict and Mitigate Marine Environmental Impacts of CWD from Power Plants, Korea Environment Institute.
- Maeng JH, Kim TY, Suh DH. 2014. Minimizing Environmental Impact in Accordance with the TPP Ash Management(I), Korea Environment Institute.
- Ministry of Trade, Industry & Energy · Korea Energy Economics Institute. 2011. 2011 Energy Consumption Survey.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2014. 2013 Yearbook of Energy Statistics.

- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2015. 2014 Yearbook of Energy Statistics.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2008. the 1st National Energy Master Plan.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2013. the 6th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2014. the 2nd National Energy Master Plan.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2015. the 7th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand.
- KOSEP. 2003. EIS of Youngheung TTP no.3 · 4 Construction Project.
- KOSEP. 2009. EIS of Samcheonpo TTP ash pond no.2 · 3 Construction Project (Renegotiation).
- KOSEP. 2007. EIS of Youngheung TTP no.5 · 6 Construction Project.
- KOSEP. 2013. The Coal ash Recycling Technology Development in Minefill.
- KOSEP. 2013. EIS of Samcheonpo TTP no.4 Construction Project(Renegotiation).
- KEPCO. 1995. EIS of Boryung TTP South Ash pond Construction Project.
- KEPCO. 1997. EIS of Samchenpo TTP Ash pond no.1 Construction Project.
- KOREA POWER EXCHANG. 2013. Survey on Electricity Consumption Characteristics of Appliance.
- Ministry of Environment. 2012. The research for Improvement of Industrial Waste Management Policy.
- Ministry of Environment. 2014. the Act of Waste management(Amendment)(Ministry of Environment Notice, No. 2014-391).
- Ministry of Environment. 2013. Environment Statistics Yearbook.
- Ministry of Environment, Ministry of Trade, Industry & Energy. 2009. the Guideline to Recycling for Steel Slag and Coal ash Discharger.
- Ministry of Environment. 2012. the Guideline to Recycling for Steel Slag and Coal ash Discharger(Ministry of Environment Notification, No.2012-209, Ministry of Trade, Industry & Energy Notification, No.2012-258).
- Ministry of Environment. 2014. the Guideline to Recycling for Steel Slag and Coal ash Discharger(Ministry of Environment Notification, No.2014-193, Ministry of Trade, Industry & Energy Notification, No.2014-205).
- ECOBA. 2009. Statistics on Production and Utilisation of CCPs in Europe(EU 15).
- European Commission. 2006. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants.
- Steven T, Moon JD. 2013.04.22. Regulatory and Legal Applications: Fly Ash Use in Cement and Cementitious Products, Paper presented at 2013 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, Kentucky, pp.1-19.
- Saito T, Yamamoto T, Hibino T, Kuwabara T, Hanaoka K. 2011. Safety assessment of granulated fly ash on benthic animals, Annual Journal of Coastal Engineering, 67(2), 1111-1115. (in Japanese with English abstract)
- Yamamoto T, Harda K, Kim KH, Asaoka S, Yoshioka I. 2013. Suppression of phosphate release from coastal sediments using granulated coal ash. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 116, 41-49.
- Coal Energy Center. 2011. 'Effective use of coal

fly ash mixed material in port construction?.

[Website]

JCOAL Japan Coal Energy Center. <http://www.jcoal.or.jp/eng/>

Korea Energy Statistics Information System. <http://www.kesis.net/flexapp/KesisFlexApp.jsp>.

KEPCO Electricity Statistics Information System. <http://epsis.kpx.or.kr/epsis/servlet/epsis/EKHI/EKHIController>.

KEPCO Electricity Statistics Prompt Report. http://cyber.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do;TKEPCO_ID=nnMnJLwMYMTLqjLXjRRvpb14QhwjXrhmmNwGYCsTx8gTn1CSnj2!-678412193!2013737979?boardCd=BRD_000097&menuCd=FN05030101.

Ministry of Environment, Environment Statistics

Portal. <http://stat.me.go.kr/nesis/index.jsp>.

Environmental Impact Assessment Support System(EIASS). [http://www.eiass.go.kr/ACAA\(The American Coal Ash Association\).http://www.aaa-usa.org/](http://www.eiass.go.kr/ACAA(The American Coal Ash Association).http://www.aaa-usa.org/).

ECOBAs(European Coal Combustion Products Association). <http://www.ecoba.com/index.html>.

US EPA Coal Combustion Residuals - Proposed Rule. <http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/industrial/special/fossil/ccr-rule/index.htm>.

US EPA Fossil Fuel Combustion waste. <http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/industrial/special/fossil/index.htm>.

US EPA Recycling and Reuse: Industrial By-Products: European Union Communication. <http://www.epa.gov/oswer/international/factsheets/byproducts-guidance-053007.htm>