

## 저회(Bottom Ash)를 이용한 경량골재의 제조

### Manufacture of Lightweight Aggregates using Bottom Ash



김용혁 Yong-Hyok Kim  
한국남동발전(주) 영흥본부  
석탄회재활용연구센터  
E-mail : yhkim@koenergy.kr

석탄화력발전은 국내 총 발전 설비용량(98,190 MW)의 약 28%를 차지하고 있으며, 석탄의 연소과정에서 발생하는 석탄회는 연간 약 850만 톤 이상이다. 석탄회의 일부는 콘크리트 혼화재, 시멘트 원료 및 성토재 등으로 재활용되고 있으나, 그 외에 재활용 되지 못하는 석탄회는 전량 회처리장(ash pond)으로 이송되어 매립처리되고 있다.

반면 회처리장의 매립용량은 제한적이기 때문에 영구적인 석탄회의 매립처리는 불가능한 것이 현실이다. 또한 막대한 건설비용과 환경영향에 대한 우려, 사회적 수용성 문제 등으로 회처리장의 신규 건설도 어려운 상황이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 근본적으로 석탄회의 유효 자원화 및 신규 수요처 개발을 통한 석탄회 재활용 증대가 필요하다. 석탄회 중의 저회(bottom ash)를 원재료로 사용하여 경량골재를 생산·활용하는 것은 상기 언급한 문제를 해결하기 위한 방안이 될 수 있을 것이다. 이에 본 고에서는 석탄회 재활용률 증대 및 환경영향 최소화 노력의 일환인 저회를 이용한 경량골재의 제조기술과 특성에 대해 소개하고자 한다.

### 1. 국내 석탄화력발전 현황

#### 1.1 석탄화력 발전설비 운영현황

국내 발전설비는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 한 국수력원자력과 5개의 발전 공기업이 총 설비용량의 약 74%를 담당하고 나머지 26% 정도를 민간 발전사가 운영하고 있다. 2016년 1월 기준으로 발전원별 설비용량은 수입 유연탄 및 국내탄(무연탄)을 원료로 하는 석탄화력발전이 국내 총 발전 설비용량의 27.8%로 LNG에 이어 두 번째로 높은 비율을 차지하고 있다 <그림 2>.

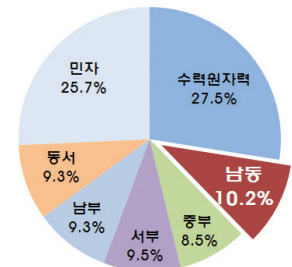


그림 1. 발전사별 설비용량 현황

또한 중부발전 보령화력, 서부발전 태안화력, 남부발전 삼척화력 등에서 1,000MW

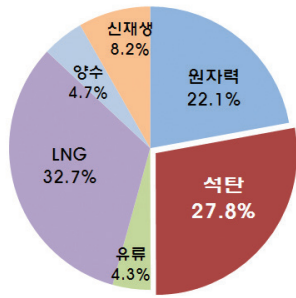


그림 2. 발전원별 설비용량 현황

석탄회 발생량은 총 발생량의 약 30%인 253만 톤이다. 한국남동발전의 석탄회 발생량이 많은 이유는 앞서 언급하였듯이 국내 석탄화력발전의 34% 정도로 타 발전사에 비해 석탄화력발전의 비율이 높은 데 기인한다. <그림 4>의 저회 처리현황을 살펴보면 발전소별로 재활용률이 큰 차이를 보이고 있는데 이는 당해 재활용률을 산정할 때 기존 회처리장에 매립된 매립회의 재활용률까지 반영하기 때문이다.

중·남부권에 위치한 화력발전소의 경우, [표 2]에서 보

급 발전소를 건설하고 있으며, 사업이 진행 중인 민자 석탄화력발전소까지 고려한다면 석탄화력발전 비중은 더욱 커질 것이며 이에 따른 석탄회 발생량도 증가될 것으로 예상된다.

발전 공기업 5개사의 석탄화력발전 현황은 [표 1]과 같이 총 설비용량은 26,273 MW이며, 이 중 34%에 해당하는 8,973 MW를 한국남동발전에서 운영하고 있어 타 발전사에 비해 석탄화력발전 비중이 높은 편이다.

## 1.2 석탄회 발생 및 재활용 현황

2015년의 각 발전사별 석탄회 발생량 <그림 3>을 보면 총 발생된 석탄회는 856만 톤이며 그 중 한국남동발전의

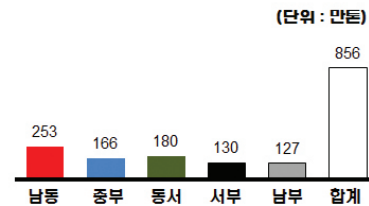


그림 3. 발전사별 석탄회 발생량('15)

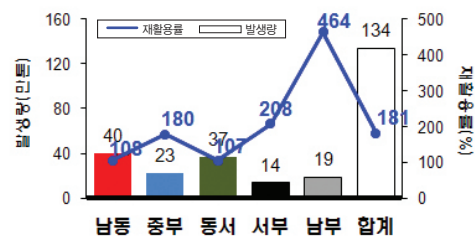


그림 4. 발전사별 저회 재활용 현황('15)

[표 1] 발전사별 석탄화력발전 현황

구분	남동발전	중부발전	동서발전	서부발전	남부발전	전체
사업소별 설비용량 (MW)	영흥 5,080 삼천포 3,240 여수 328 영동 325	보령 4,000 서천 400	당진 4,000 호남 500 동해 400	태안 4,000	하동 4,000	
계(MW)	8,973	4,400	4,900	4,000	4,000	26,273
비율(%)	34	17	19	15	15	100

[표 2] 중·남부권 매립재 재활용 현황

구분	2012년	2013년	2014년	재활용처
삼천포화력	27.5만 톤	25.4만 톤	25.3만 톤	해남기업도시
하동화력	25.6만 톤	84.1만 톤	80.6만 톤	
서천, 보령화력	12.9만 톤	82.0만 톤	32.2만 톤	새만금부지

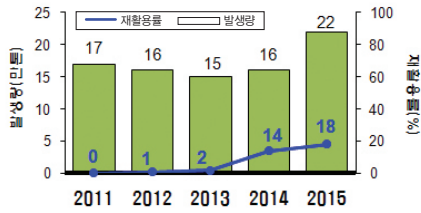


그림 5. 영흥본부 저회처리현황

듯 단지개발 시 성토재 용도로 다량의 매립회를 재활용하고 있다. 그러나 행정구역 상 인천에 위치하고 있는 영흥(한국남동발전)의 경우에는 수도권에 인접하고 매립회 사용 시 환경단체나 지역주민의 민원이 많이 발생하여 <그림 5>와 같이 매립회의 재활용이 어려워 저회 재활용률이 낮다. 또한 수도권 이외의 지역에 매립회를 적용하기에도 운송비 부담이 증가하여 쉽지 않은 상황이다.

타 발전사에 비해 석탄화력발전 비중이 높고 수도권에 인접한 화력발전소를 보유하고 있는 한국남동발전은 석탄회 재활용을 위해 보다 많은 노력을 하고 있다. 또한, 신규 석탄화력발전소의 건설은 국내 석탄회 발생량의 증가를 의미하며 결국 회처리장의 건설이 불가피하게 된다. 하지만 회처리장의 신설은 환경적 문제 뿐만 아니라 경제적으로도 큰 부담이 될 수 있기 때문에 석탄회 재활용 확대를 위한

방안마련은 전체 발전사의 중요한 현안이다.

이를 위해 한국남동발전 영흥본부는 단순히 매립회를 성토재로 적용하는 기존의 활용 용도에서 벗어나, 저회를 활용한 고부가가치의 경량골재 제조기술을 확보하고 생산설비를 구축하여 운영 중에 있다.

## 2. 저회를 이용한 경량골재 제조

### 2.1 저회 처리 방식

석탄연소 보일러에서 발생하는 회(ash)는 포집장소에 따라 크게 저회와 비회로 구분된다. 보일러 내의 고온 연소영역에서 형성된 클링커(clinker)가 자중, 급격한 출력 변화, 슈트 블로우(soot blow)에 의하여 하부로 낙하되어 포집되는 회를 저회라 하며, 처리 방식에 따라 습식과 건식으로 구분된다. 저회 처리 방식에 따른 주요 특성은 [표 3]과 같다.

### 2.2 저회를 활용한 경량골재의 제조

경량골재는 KS F 2534에서 크게 인공경량골재, 바텀

[표 3] 저회 처리 방식에 따른 특성

구분	습식		건식
	간헐수류식	연속기계식	
저회 냉각매체	해수 또는 공업용수	해수 또는 공업용수	공기
저회 이송방법	Hydro ejector	Conveyor	Conveyor
적용발전소	표준 500 MW급	영흥 #1, 2, 호남, 당진	영흥 #3~6, 태안, 보령, 하동, 당진
특기사항	동력, 회처리수 과다소요	설치구성 복잡	회처리용수 불필요

[표 4] 경량골재의 구분(KS F 2534)

구분	정의	
인공경량골재	굵은 골재	고로슬래그, 점토, 규조토암, 석탄회, 점판암과 같은 것을 팽창, 소성, 소괴하여 생산되는 골재
	잔골재	
저회경량골재	잔골재	화력발전소에서 부산되는 바텀애시를 가공한 골재
천연경량골재	굵은 골재	경석, 화산암, 응회암과 같은 천연 재료를 가공한 골재
	잔골재	

애시 경량골재(저회경량골재) 및 천연경량골재로 분류하고 있다. 한국남동발전 영흥본부에서 생산하고 있는 경량골재는 저회경량골재와 인공경량골재이다. 저회경량골재는 건식처리된 저회를 파쇄하고 규격에 맞는 크기로 선별하여 생산된다. 인공경량골재는 크게 분쇄·혼합, 성형, 소성, 선별의 공정을 거치게 된다. 저회 및 준설토를 혼합하여 성형기에서 골재형상 및 크기에 맞게 성형하고 킬른에서 1,200℃의 고온에 소성하여 적정 크기별로 분류된다. <그림 6>은 영흥본부 경량골재의 대략적인 제조공정을 보여준다.

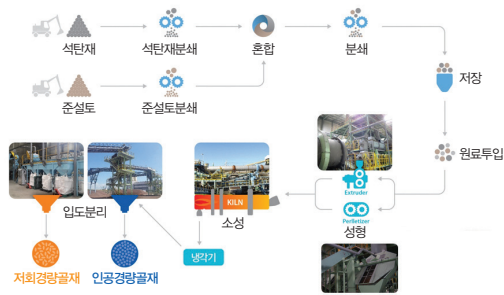


그림 6. 경량골재의 제조공정

### 2.2.1 저회경량골재

저회경량골재는 건식처리 방식에 의해 발생된 저회를 파쇄하여 1mm 이하, 1~3mm, 3~6mm의 크기로 선별되며, 단위용적질량이 약 600~800 kg/m<sup>3</sup>으로 다공질의 각진 형상을 가지고 있다[표 5][표 6]. 또한 영흥본부의 저회경량골재는 유해성분 분석결과 유해물질이 전혀 검출되지 않으며 이러한 특성을 바탕으로 2015년 11월에는 환경표지인증을 획득하였다.

현재 저회경량골재는 건축용 인조석, 방음벽, 투수블럭, 인공토양, 경량패널의 필러재 등의 용도로 활용되고 있다.

### 2.2.2 인공경량골재

저회를 기반으로 한 영흥본부의 인공경량골재는 고온소성을 통해 제조된다. 고온소성으로 제조되는 인공경량골재의 발포기구는 크게 성형체 내부 수분의 증발, 준설토에 존재하는 유기물의 산화, 산화철의 환원반응에 의해 이루어진다. 즉, 인공경량골재의 품질을 지속적으로 확보하기 위해서는 준설토의 유기물 함량, 저회의 미연탄소량과 이들

[표 5] 영흥 저회경량골재 제품규격

제품명	단면형상	저회경량골재 제품규격		
		1mm 이하	1~3mm	3~6mm
NDlite-BA				

[표 6] 영흥 저회경량골재의 특성

항 목	KS F 2534	영흥 인공경량골재		
		1mm 이하	1~3mm	3~6mm
강열감량(%)	5 이하	1.1	1.8	2.1
단위용적질량(kg/m <sup>3</sup> )	1,200 이하	816	691	650
표건밀도(g/cm <sup>3</sup> )	-	1.97	1.91	1.66
절건밀도(g/cm <sup>3</sup> )	-	1.91	1.83	1.42
흡수율(%)	-	2.73	4.03	17.46
점토덩어리(%)	2.0 이하	-	0.23	0.11
0.08mm체 통과량(%)	5.0	4.0	0.4	0.3

을 혼합한 배합토의 함수량, 골재 표면에 적절한 액상을 형성하는 용제(flux oxide) 및  $Fe_2O_3$ 의 양 등 매우 다양한 요인들에 의해 품질에 영향을 받기 때문에 생산설비를 운영함에 있어 매우 고도의 기술이 필요하다. 일반적인 인공경량골재의 발포메커니즘은 <그림 7>과 같다.

영흥 인공경량골재는 주로 경량콘크리트에 적용되는 5~20 mm와 그 외 비구조용으로 5 mm 이하, 5~8 mm, 8~13 mm, 13~20 mm의 규격으로 구매자의 요구에 맞게 적절한 입도조정을 거쳐 판매되고 있다. 영흥 인공경량골재의 특성은 입도에 따라 차이가 있지만 단위용적질량은 750~950  $kg/m^3$ , 흡수율은 최대 13% 수준으로 생산된다.

현재 영흥 인공경량골재의 주요 적용처로는 5~20 mm 크기의 인공경량골재는 주로 경량콘크리트용 경량골재, 담체, 인공토양 등에 사용되고 있으며, 5 mm 이하의 인공경량골재는 선박이나 차량 바닥의 심재, 수족관 바닥재, 원예

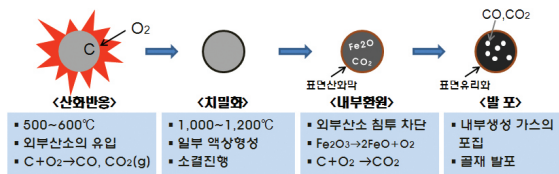


그림 7. 인공경량골재의 발포 메커니즘

[표 7] 영흥 인공경량골재 제품규격

제품명	단면형상
NDlite-LWA	
인공경량골재 제품규격	
5 mm 이하	5~8 mm
8~13 mm	13~20 mm

[표 8] 영흥 인공경량골재의 특성

항 목	KS F 2534		영흥 인공경량골재	
	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
강열감량(%)	5 이하		1.6	1.3
단위용적질량 ( $kg/m^3$ )	880 이하	1,120 이하	750	950
	1,040 이하			
표건밀도( $g/cm^3$ )	-		1.38	1.74
절건밀도( $g/cm^3$ )	-		1.23	1.59
흡수율(%)	-		12.32	9.64
점토당어리(%)	2.0 이하		0.19	0.37

용 멀칭재 등 다양한 용도로 활용되고 있다.

### 3. 맺음말

석탄화력발전에서 석탄회의 발생은 필연적인 것이며 석탄회 재활용은 발전사들에게 있어 필수불가결한 과제이다. 저회를 이용한 경량골재의 제조는 버려지는 부산물을 유효 자원으로 탈바꿈 시키고, 지금까지 수입에 의존한 경량골재 시장에 국내 기술의 경량골재를 생산·판매한다는 점에서 기존의 석탄회 재활용 분야에 진일보한 변화를 주었다고 생각한다. 다만 아직까지 국내에서는 경량골재가 보편화되지 않아 적용실적이 미미하여 관련 업계에서 소극적으로 접근하고 있는 것이 현실이다. 이러한 점을 감안하면 발전사와 학계, 연구기관 및 업계가 상호 필요성에 의해 네트워크를 형성하고 실용적 연구를 수행하는 등 자원순환 및 건설기술 다변화를 위한 적극적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 김유택, 장창섭, "인공경량골재의 생산기술 및 골재 특성과 적용분야", 콘크리트학회지, 제23권, 5호, pp.14~17, 2011.
- 서동환, 맹준호, "화력발전소 회처리장 조성에 따른 환경영향 최소화화를 위한 석탄회 재활용 확대방안에 관한 연구", 환경영향평가, Vol. 24, No. 5, pp. 472~486, 2015.
- 전력거래소, 전력계통 운영실적 집계('16년 1월), 2016.

담당 편집위원 : 류동우(대진대학교)