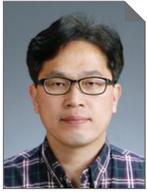


석탄회의 재활용 현황 및 건설자재로의 활용 확대 방안

Plan for Expanding the Recycling and Reuse Status of Coal Ash as Construction Materials



조도영 Do-Young Cho
한국교통대학교
건축공학과 대학원 겸임교수
E-mail : chody21@hanmail.net



이건철 Gun-Cheol Lee
한국교통대학교
건축공학과 부교수
E-mail : gcllee@ut.ac.kr



백대현 Dae-Hyun Baek
(주)한국기초소재 과장
E-mail : tim100@nate.com

1. 개요

우리나라의 경우 석탄화력 발전소에서 매년 800만톤 이상의 석탄회가 배출되고 있다. 이 중 플라이 애시의 재활용은 높은 상태를 보이지만 버팀 애시는 많은 양이 회처리장에 매립처리되고 있는 것이 현실이다.

향후 제 7차 전력수급기본계획(안)을 반영한 추가 석탄화력 발전시설이 모두 완공 시 회처리장의 신규조성 및 배출 석탄회 처리를 위한 새로운 방안 모색이 필요한 상태이다.

또한, 근본적으로는 석탄회의 유효이용 및 재활용 활성화 등을 통한 자원순환 사회를 위한 정책적 방안이 필요한 실정이다.



미분탄



버팀 애시



플라이 애시

그림 1. 미분탄과 연소 후 부산물 사례

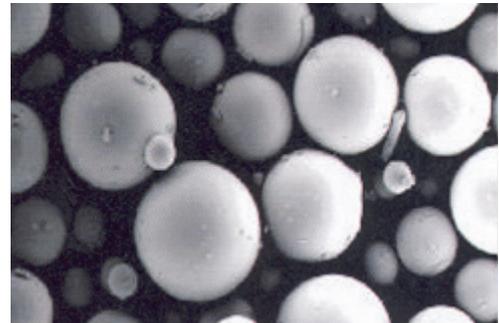
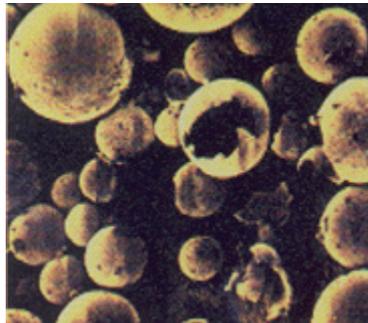


그림 2. 플라이 애시 전자 현미경 사진

[표 1] 국내 플라이 애시 정제기술 현황

기술보유 기관	기술내용	비고
한국 플라이 애시 공업(주)	Static Type 분급 기술	
보령 석탄회 공업(주)	Dynamic Type 분급 기술	
한국지질자원연구원	다중 자연낙하 공기분급에 의한 미연탄소 분리기술	FA 미연탄소 함량 2~3%
한국전력연구원	정전분리 기술	
부산대학교	정전분리 기술	500kg/hr급
조선대학교	정정유도에 의한 석탄회 정제 기술	

[표 2] 국내 버팀 애시 관련 연구 현황

제목	발행기관	연구자
소형 경량판넬의 차음성능 등급에 관한 실험 및 고찰	대한건축학회	양홍석
버팀 애시 경량패널의 차음특성에 관한 연구	대우건설연구소	정진영
Bottom Ash를 이용한 경량판넬의 특성 연구	한국소음진동공학회	이성호
Bottom Ash를 이용한 그라우팅재의 환경적 연구	대한지반공학회	도양곤
버팀 애시를 잔골재로 부분 치환한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구	대한건축학회	이동운
친환경 경량골재 개발을 통한 난연성 경량 콘크리트 패널의 내장시스템 개발 연구	한국국제대학교	문종욱

1.1 국내·외 관련 기술 및 시장 현황

1.1.1 국내 기술현황

우리나라의 경우 1980년대 초반부터 한국전력, 한전산업개발(주) 및 정부 주도하에 석탄회 관련 활발한 연구 진행을 보여 왔다.

최근까지도 산학연을 중심으로 석탄회 관련 연구가 진행되고 있으나 많은 연구가 경제적, 기술적인 문제로 인하여 현장 적용까지는 많은 한계를 보이고 있다.

[표 1] 및 [표 2]는 국내 플라이 애시의 정제기술 현황 및 버팀 애시 관련 연구 동향에 대하여 정리한 것이다.

1.1.2 국외 기술현황

미국의 경우 [표 3]과 같이 화력발전소에서 발생하는 석탄회는 10,975만 톤으로 재활용량은 5,188만 톤으로 보고되고 있다. 이중 플라이 애시 발생량은 약 5,210만 톤, 버팀 애시 발생량은 약 1,410만 톤으로 재활용률은 각각 44.53%와 38.78% 보이고 있다.

[표 3] 미국의 석탄회 재활용 현황(ACAA 2012) (단위 : 만톤)

구분	플라이 애시	버팀 애시	합계
전체 현황(만톤)	5,210	1,410	6,620
콘크리트 관련, 그라우트	1,177.9	73.2	1,251.1
혼합 시멘트, 클링커 원료	228.1	128.7	356.8
유동 매립재	14.1	0.9	15
구조용 매립재/채움재	308.3	171.6	479.9
도로기층/보조기층	19.3	35.2	54.5
지반개량/안정화	30.3	14.0	44.3
제설/제빙 제어	0	19.8	19.8
폭발 분말/표면보호재	1.1	1.5	2.6
광석 응용	208.6	43.7	252.3
석고판넬 제조	0	0	0
폐기물 안정화/고형화	217.7	0	218.7
농업용	2.6	0.1	2.7
골재용	0	38.1	38.1
유류 지역 관련	56.8	1.8	58.6
기타	54.3	18.2	72.5
분류에 따른 현황(만톤)	2,320.1	546.8	2,866.9
생산율에 따른 활용비율(%)	44.53	38.78	43.31

유럽의 경우(ecoba 2010) 2010년 석탄회 발생량은 4,832만 톤이며, 재활용량은 2,529만 톤이었다. 이중 플라이 애시는 3,161만 톤, 버텀 애시는 405만 톤 발생되었고 재활용률은 각각 43.60%, 46.64%로 우리나라에 비해 버텀 애시의 활용이 높은 수치를 보여 주고 있다.

2. 플라이 애시 규격 현황

2.1 관련 기술의 개발 배경

2.1.1 한국산업표준(KS) 현황

석탄회 중 플라이 애시의 경우 가장 높은 사용 부분인 콘크리트 혼화재용으로서의 사용을 들 수 있다. 우리나라의 경우 그 관리 근거를 KS L 5405에 마련하고 있으며 그 제정, 개정, 아래 [표 4]를 통하여 정리해 보았다. 특징적인 것은 2016년 기존 1종과 2종으로 관리되어 온 KS에 추가로 3종

[표 4] 플라이 애시(KS L 5405) 개정 현황

구분	고시번호	정 의
개정	2009-0669	표준사 및 시멘트 강도 시험방법이 KS L ISO 679로 개정됨에 따라 모르타르의 배합 변경, 플로시험방법 및 압축강도 시험 방법을 KS L ISO 679에 따라 개정
확인	2014-0898	5년 도래 표준으로 이해 당사자간의 개정 사항이 없음
개정	2016-0023	플라이 애시 품질을 4단계로 등급화 유리 CaO, 반응성 CaO, SO ₃ 및 안정도 시험은 석탄을 연소한 순환유동층 보일러에서 발생하는 플라이 애시(순환유동층 보일러 플라이 애시)를 포함한 경우에 실시

[표 5] 국내 석탄재 연간 배출량 및 재활용 현황

구분		'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
배출	플라이 애시	99	409	619	684	683	710	704	694
	버텀 애시	110	111	141	151	156	153	154	126
합계		509	601	76	835	839	863	858	820
재활용량	플라이 애시	354	394	472	466	462	471	502	572
	버텀 애시	33	29	40	59	245	162	171	290
합계		387	423	512	524	707	633	673	862

과 4종이 반영되어 4단계의 품질 등급화를 통해 플라이 애시를 관리하는 것을 알 수 있으며, 추가 시험을 통해 품질 안정성을 확보하려는 개정이 이루어 졌다.

3. 플라이 애시 재활용 현황

3.1 재활용 및 장비 현황

3.1.1 통계 자료

국내 화력발전소의 주 연료원은 유연탄을 사용하고 있으며, 무연탄의 사용량은 증가하지 않는 것으로 보고되고 있다. 또한 발전량의 증가에 따라 2010년까지 급속하게 증가하였고, 그 이후 일정한 값을 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 2016년 이후 신규 완공되는 화력발전소의 가동에 의해 석탄 사용량은 급속히 증가할 것으로 예상된다.

3.1.2 플라이 애시 공장 장비현황

가. 입도분급기 구조

플라이 애시의 정제 설비를 확인하기는 쉽지 않고 그 설비를 겉에서 육안으로 보아도 분급 구조를 이해하기는 힘든 것이 현실이다. 아래 <그림 3>을 통해 그 구조 사례를 제시해 보고자 한다.

나. 정제원리 및 흐름

정제원리는 정제방식에 따라 달라질 수 있으나 국내의 경우 아래 <그림 4>와 같은 원심분리 방식을 이용한 정제기가 가장 일반적으로 사용되어지는 것으로 보고되고 있다.

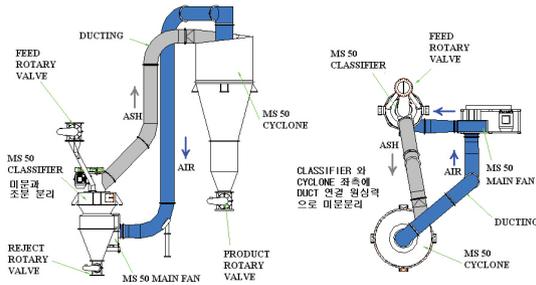


그림 3. DYNAMIC CLASSIFIER 구조 사례(입도분급)

다. 정제방식의 기술

정제 방식은 크게 4가지로 구분할 수 있을 것이다. 먼지 입도 및 비중에 의한 분급법(대용량 정제), 정전기 분리법(미연탄소+, 회분-), 부유선별법(물에 기포발생 부유선별), 연소법(원료회 가열) 등의 방법이 있으나 국내 플라이 애시는 대량 생산을 위해 대부분의 정제회사들이 입도 및 비중에 의한 분급법(원심분리 방식)을 활용하고 있는 것으로 보고되고 있다.

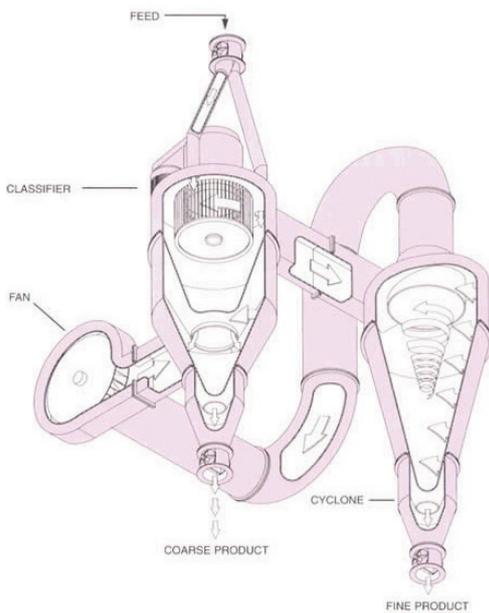


그림 4. 플라이 애시 정제기 사례

4. 플라이 애시 사용 활성화 방안

4.1 플라이 애시 사용 기준

4.1.1 표준

플라이 애시에 대한 우리나라 표준은 시멘트 원료, 콘크리트 혼화재 및 시멘트 클링커 제조원료 대체용으로서 각각 KS L 5211(플라이 애시 시멘트), KS L 5405(플라이 애시) 및 KS L 5210(포틀랜드 시멘트)에 규정하고 있다.

반면, 버텀 애시는 프리캐스트 콘크리트용 골재로서 KS F 4570(프리캐스트 콘크리트용 버텀 애시 골재)에 규정하고 있다. 석탄회의 재활용을 위한 신규 활용분야로서 인공 경량 골재, 촉매제 및 흡착제 등을 들 수 있다.

또한 석탄회로부터 추출, 제조되는 고순도 알루미늄이나 A형 및 Y형 제올라이트로 이온 교환제, 촉매제, 흡착제 및 탈수제 등의 다양한 용도로 활용이 가능하여 최근에는 제올라이트 합성이나 무기필러 제조 등의 고부가가치 재료로서 재활용을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

석탄회 관련 법규를 살펴보면 「폐기물관리법」에서는 선탄회를 폐기물 및 재활용 대상 폐기물로 규정하고 있으며 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률·시행령」에서는 지정부산물로 선탄재를 규정하고 있다.

관련 법률과 「철강 슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침」에서는 지정부산물인 석탄재를 일정비율 이상 재활용하도록 정하고 있으며, 재활용 용도를 레디믹스트 콘크리트 등 콘크리트 혼화재, 시멘트 원료, 경량골재, 시멘트 2차 제품 원료, 성토용 골재, 복토용 골재, 도로용 골재, 목재 접착제 원료, 시멘트 클링커 제조원료 대체용으로 명시하고 있다.

최근 발생 석탄회 중 재활용되지 못하고 매립 처분되고 있는 매립 석탄회는 부지조성 성토재, 도로 배수재, 연약지반 고화처리용 및 골프장 조성 성토재 등으로 재활용이 확대되고 있다. 또한, 매립 석탄회의 경제적인 대량 유효이용을 위해 저장도 고유동 경량 채움 재료 개발 활용 및

CSP(Coal ash Slurry Placing system) 공법을 개발하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.

[표 6] 석탄희의 용도별 관련 표준 및 시방서 지침

용도	표준 및 시방서 지침
시멘트 원료 (플라이 애시)	한국산업표준 KS L 5211
레디믹스트 콘크리트 등 혼화재	한국산업표준 KS L 5405
시멘트 클링커	한국산업표준 KS L 5201
제조 원료 대체용	한국산업표준 KS L 4570
프리캐스트 콘크리트용 버텀 애시 골재	한국산업표준 KS L 4201,
요업용 재료	GRE(재활용 점토 벽돌기준) 4014
도로용 골재	도로공사표준시방서(건설교통부 고시)
성토·복토용 및 배수층 골재	인허가 된 건축·토목공사의 설계시공 지침에 의한 품질기준에 적합할 것

[표 7] 플라이 애시 KS 표준

항목	종류				
	플라이 애시 1종	플라이 애시 2종	플라이 애시 3종	플라이 애시 4종	
이산화규소(%)	45.0 이상	45.0 이상	45.0 이상	45.0 이상	
수분(%)	1.0 이하	1.0 이하	1.0 이하	1.0 이하	
강열 감량(%)	3.0 이하	5.0 이하	8.0 이하	5.0 이하	
밀도(g/cm ³)	1.95 이상	1.95 이상	1.95 이상	1.95 이상	
유리 CaO(%) ^(a)	2.5 이하	2.5 이하	2.5 이하	2.5 이하	
반응성 CaO ^(a, b)	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	
SO ₃ ^(a)	3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하	
안정도 ^(a, c)	오토클레이브 팽창도(%)	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하
	르샤틀리에(Lechatelier)(mm)	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
분말도 ^(d)	45 μ m체 체잔분(망체방법)(%)	10 이하	40 이하	40 이하	70 이하
	비표면적(브레인방법)(cm ² /g)	4 500 이상	3 000 이상	2 500 이상	1 500 이상
플로값 비(%)	105 이상	95 이상	85 이상	75 이상	
활성도 지수 (%)	재령 28일	90 이상	80 이상	80 이상	60 이상
	재령 91일	100 이상	90 이상	90 이상	70 이상

(a) 유리 CaO, 반응성 CaO, SO₃ 및 안정도 시험은 석탄을 연소한 순환유동층 보일러에서 발생 하는 플라이 애시(순환유동층 보일러 플라이 애시)를 포함한 경우에 실시하여야 한다.

(b) 반응성 CaO는 총 CaO가 10% 미만일 때는 측정하지 않아도 된다.

(c) 안정도 시험 방법은 수요자의 요구에 따라 오토클레이브 시험과 르샤틀리에 시험 중 택일하여 실시한다.

(d) 브레인 방법(공기 투과장치에 의한 분말도)에 따르되 망 체 방법은 참고 값으로 한다.

4.1.2 플라이 애시 KS 표준 이해

2016년 플라이 애시 개정을 통해 기존 KS의 내용에 3종, 4종이 추가된 부분이 있으며, 관련 업체 종사자가 아니면 관련 표준에 대한 이해의 기회가 적은 부분이라 아래와 같이 그 표준을 제시함으로써 향후 사용될 플라이 애시에 대한 이해의 기회가 될 수 있기를 바란다.

4.2 플라이 애시 활용 분야

선진국의 경우 약 50년 전부터 토목과 건축분야에 석탄회 재활용을 적극 추진하였다. 우리나라의 경우, 화학적 성질 이용 분야에서 대부분 시멘트 원료 및 콘크리트 혼화재 료로서 사용되고 있으나, 이와 비교해 유럽은 화학적 성질보다는 물리적 성질을 이용하는 분야로의 활용성을 높임으로 다양한 토목·건축용 자원으로 활용하고 있다.

이를 보다 세분화하여 시멘트, 골재, 건축, 토목, 농·수 산, 기타 분야에 사용되거나 사용될 수 있는 부분에 대하여 정리해 보았다.

[표 8] 석탄회의 유효이용 분야(시멘트)

분야	용도	활용기술 개요
시멘트	시멘트 제조용 원료	• 점토 대응으로 원료량의 4~5% 대체 가능
	시멘트 혼화재	• 플라이 애시 시멘트에 5~30% 사용 • 보통 포틀랜드 시멘트의 5% 이하 대체 가능
	콘크리트용 혼화재	• 일반 레디믹스트 콘크리트 혼화재로 약 10~15% 혼합 • 매스 콘크리트, 수리 구조물에 시멘트의 2~30% 혼합 • 주로 토목공사에 사용
	그라우트	• 플라이 애시를 혼합재로 이용(작업성 개선)
	신혼화재	• 플라이 애시가 응용되는 고온에서 재처리하여 미분말상 제조
	신경화재	• 석탄회에 황산, 석회 등을 첨가하여 새로운 시멘트 제조, 주로 비구조용으로 이용

[표 9] 석탄회의 유효이용 분야(골재)

분야	용도	활용기술 개요
골재	골재	• 경량콘크리트 골재, 콘크리트의 잔골재 대응 • 입도 조정용으로 대체
	인공경량 골재	• 팽창성 혈암 대체로 이용
	인공 골재	• 응용 냉각하여 결정질 골재 또는 유리질 골재 제조

[표 10] 석탄회의 유효이용 분야(건축)

분야	용도	활용기술 개요
건축	벽돌, 기와, 세라믹 제조	• 점토 대체
	단열재	• 중공화 특성 이용 건축재, 부력재, 경량콘크리트 등 구조재료로 이용
	애시 율	• 플라이 애시, 석회석, 돌로마이트 첨가 제조(내화)
	콘크리트 제품	• 시멘트, 골재, 석회, 플라이 애시로 벽돌, 기포콘크리트 제조
	불연 외벽재	• 경석, 석탄회

[표 11] 석탄회의 유효이용 분야(토목)

분야	용도	활용기술 개요
토목	아스팔트 필러	• 아스팔트 안정화와 골재 틈새 채움재
	포장재	• 시멘트, 콘크리트 포장의 시멘트 혼화재로 사용
	노반재	• 모래의 대체재로 이용, 석회 보완재로 사용
	노상재	• 한냉지에서 동상 억제재층 및 연약지반의 도로 건설 시 모래 대체 사용
	충진재	• 폐석 대응으로 갭내에 충진재로 사용
	지반 안정재	• 다른 재료와 배합, 흡입자 계면 물성 변화 또는 입자간 견고한 결합
매립조성	• 연약지반 개량공사 및 해안 매립	

[표 12] 석탄회의 유효이용 분야(농·수산)

분야	용도	활용기술 개요
농·수산	비료	• 규산비료 원료로 사용
	토양 개량재	• 하수오니, 축분 등을 첨가하여 제조
	인공 어초	• 플라이 애시를 수지, 모래와 함께 성형 또는 탈황석고, 시멘트 등으로 경화

[표 13] 석탄회의 유효이용 분야(기타)

분야	용도	활용기술 개요
기타	수처리제	• 흡착, 응집작용에 의해 유기물 제거
	배연탈황재	• 배연 탈황장치 흡수액으로 이용
	소화재	• 슬러리화하여 소화재로 이용
	고화재	• 석회, 석고 등과 혼합하여 폐기물 고형화
	고무용 충진재	• 석탄회를 가공하여 고무의 강화, 증점제로 이용

4.1.2 탄소저감 건설재료의 필요성

플라이 애시의 활용성 확대는 발생 부산물의 사용 확대와 함께 저탄소 녹색기술이라는 시대적 필요성에도 연결되는 항목이 매우 크다.

최근 녹색성장은 온실가스와 환경오염을 줄이는 지속가능한 성장을 의미하며, 신성장 동력과 일자리 창출이라는 신국가발전의 패러다임이기도 하다.

관련하여 녹색 성장의 3대 요소를 통해 그 가치를 새롭게 평가해 볼 필요가 있을 것이다.

앞으로의 시대는 자원과 환경 위기에 도래로 기존과 같은 다량의 화석에너지를 투입에 의한 성장이 한계에 도달하였으며, 기후변화에 적극적인 대응이 필요한 시점이다. 이에 산업 전반의 녹색변화 전략을 통하여 에너지 환경 위

기에 대응할 필요가 있을 것이다.

따라서 화석연료의 부산물이 석탄회의 재활용은 시멘트 대체 재료로의 가치와 함께 골재 등 자연자원의 사용 절감 등 향후 지속적인 연구를 통해 다양한 활용처를 찾는 것은 매우 중요한 과제라 할 것이다.

[표 14] 녹색 성장의 3대 요소

① 신성장 동력 개발	② 건실한 성장을 하되, 에너지·자원 사용량은 최소화	③ 동일한 에너지·자원을 사용하되, CO ₂ 배출 등 환경부하를 최소화
<ul style="list-style-type: none"> • 녹색기술에 대한 R&D 투자 • 신재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출산업화 • 세계시장 선점 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 저소비형 산업구조 개편 (지식서비스업 중심) • 에너지 소비절약/사용의 효율화 • 생태효율성 제고 	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생 에너지 보급확대 • 원자력 등 청정에너지 개발 • CO₂ 배출 규제 • 저탄소·친환경 인프라 구축 • 소비자 녹색제품 구매 활성화

담당 편집위원 : 이건철(한국고통대학교)

● 학회지 원고모집 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학회, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 회원 여러분의 많은 원고 투고 부탁드립니다.

- 1. 원고 종류 :** 논문, 특집기사, 기술기사, 공사기사, 해외 기술정보 및 번역기사(뉴스), 현장탐방(국내외 연구소 및 국제학술대회 참가), 우리 회사소개, 신기술 또는 신제품 소개 등
- 2. 원고 분량 :** 글씨크기 11pt, 줄 간격 160%
 - 1) 특집기사, 기술 및 공사기사 : A4용지 10매 이내
 - 2) 해외 정보소개, 현장탐방 및 우리회사 소개기사 : A4용지 8매 내외
- 3. 원고 작성**
 - 1) 원고의 모든 내용(사진, 그림 등 기타 부속물 포함)은 한글 작성이 원칙임. 단, 의미 전달이 모호할 우려가 있는 경우에는 그 원어를 괄호 안에 표기함.
 - 2) 제목의 작성 : 제목은 가급적 10자 이내로 정하며 영문 제목도 동시에 표기함.
 - 3) 저자의 소개 : 성명, 소속, 직위, 전공분야/관심분야, 연락처, e-mail 주소, 저자 사진(컬러)
 - 4) 제출 마감일 : 발행일 30일 전까지(발행일: 3, 6, 9, 12월)
- 4. 제출할 곳 :** 한국건설순환자원학회 오경숙 과장(E-mail : rcr@rcr.or.kr)