J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 20, No. 2, 2011, 3-15
≫ 總　　設 ≪

無機質 廢棄物의 再活用을 통한 CDM 事業 適用事例 및 展望 - 시멘트 産業을 中心으로 -†

趙鎭相*,***·✝趙桂弘*·安芝煥*·嚴星一**·延圭錫***

*韓國石灰石新素材硏究所, **(주)에코아이, ***江原大學校 地域建設工學科

Applications and prospect of CDM project through recycling of inorganic waste†

Jin-Sang Cho*,*, Kye-Hong Cho*, Ji-Whan Ahn*, Seong-Il Um**, Kyu-Seok Yeon*****

**Korea Institute of Limestone & Advanced Materials*
***Ecoeye Co., Ltd.*
****Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University*

요 약

현재 CDM사업 등록은 대부분 에너지, 화학공정, 제조공정 분야에서 이루어지고 있다. 그러나, 무기질 자원재활용을 통한 CDM 사업 등록은 그렇게 많지 않은 실정이다. 본 논문에서는 국내 무기질 폐기물의 재자원화를 통한 CDM사업 등록 가능성을 알아보기 위하여 국내외 CDM사업 현황 분석 및 적용사례를 조사하였다. 조사결과 CDM사업 등록 사례는 대량으로 활용할 수 있는 산업 중의 하나인 시멘트산업의 원료 대체화 분야에서 다수의 등록이 이루어진 것으로 조사되었다. 우리나라에서의 CDM사업 적용 전망은 산업의 규모, 무기질 자원 활용 산업 및 온실가스 배출량을 분석하고 대량으로 활용할 수 있을 정도로 지속적으로 발생되는 무기질 폐기물의 현황 등을 면밀히 검토해야 할 것으로 판단된다.

주제어 : 청정개발체제, 무기질폐기물, 재활용, 기후변화, 온실가스, 이산화탄소, 칼슘카바이드

Abstract

Current, Registration fields of CDM projects are being conducted in a variety of parts such as mostly energy, chemical processing and manufacturing processes. However, there are not many CDM project registrations by recycling of inorganic waste. In this paper, analysis abroad CDM project and applications in order to review possibility of CDM project registration through the recycling of domestic inorganic waste were investigated. As a results, registered case of CDM project by inorganic waste recycling was researched to registrate in raw material alternative field of cement industry that inorganic waste can be used in large quantities. Application prospects of CDM project in Korea will be possible to analysis industrial scale, industry using inorganic raw materials, green house gas emissions and inorganic waste generated in large quantities.

Key words : CDM, Inorganic waste, Recycling, Climatic change, Green house gas, Carbon dioxide, Calcium carbide residue

1. 서론

환경문제가 최초로 국제적인 정책문제로 주목 받기 시작한 것은 '로마클럽'이 1972년 발간한 '성장의 한계'(The limits to Growth)[1]라는 보고서 때문이었다. 당시 보고서 내용에 대한 국제적인 공감대가 형성되고, 1972년 제1

† 2011년 3월 8일 접수, 2011년 3월 29일 1차수정
2011년 4월 15일 수리
✝ E-mail: khcho99@limestone.re.kr

[1] 성장의 한계 : 기하급수적으로 성장하는 산업에 비해 자원을 제공하는 자연환경은 유한하다는 것을 지적하여 환경이 파괴되고 나면 경제성장은 전혀 의미가 없음을 비유적으로 설명

차 세계환경회의가 스톡홀름에서 개최되어 향후 환경문제에 대한 국제적 협력의 구심점 역할을 하게 되었다. 이러한 배경을 토대로, 세계최초로 환경문제를 논의하는 유엔환경회의(UNEP; UN Environmental Program)가 창설되었다. UNEP는 기술개발 능력 및 경제력의 우위를 이용한 선진국의 규제강화와 자원무기를 이용한 개발도상국의 집단세력화로 인하여 운영상의 많은 문제점을 노출하였으나, 현재까지 그 역할을 유지하고 있다. 기후변화협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)은 1992년 채택되고 1994년 발효되었다. 협약의 주요 내용은 대기 중 온실가스의 안정화를 목표로 하고 있으며, 형평성, 공통의 차별화된 책임, 대응능력, 지속가능발전 등을 원칙으로 하고 있다.

기후변화협약을 이행하기 위한 교토의정서가 2005년 발효되었으며, 공통의 책임 원칙 및 지속가능한 발전 등을 기반으로 하여 온실가스 배출 규제를 본격화 하게 되었다. 온실가스 배출 규제는 부속서 I 국가(Annex I)를 중심으로 의무 규제를 실시하고 있으며, 비부속서 I 국가(non-Annex I)은 의무적이지는 않지만, 자율적으로 감축 노력을 계획 및 보고하는 것으로 규정하고 있다.

부속서 I 국가들은 국가별로 의무적으로 감축하기로 한, 온실가스 감축 분을 달성하기 위하여 비부속서 I 국가들로부터 온실가스 감축 분을 구매하게 된다. 비부속서 I 국가들이 보유하고 있는 온실가스 감축은 선진국의 기술 투자로 발생하게 되는 온실가스 감축 분 또는 자체 투자를 통하여 감축하게 되는 온실가스 감축 분이다. 부속서 I 국가 중 EU국가들을 온실가스 감축분에 대한 거래를 위한 논의를 본격화하여, 소위 '온실가스 배출권' 거래 시장이 급격히 성장하고 있다. 교토의정서는 2008년에 1차 의무이행 기간이 시작되었으나, EU ETS(Emission Trading Scheme)는 2005년부터 온실가스 배출권 거래 제도를 실시하여 왔다.

감축의무가 있는 선진국들은 자국의 할당된 감축목표 달성을 위해 교토의정서에 의해 도입된 공동 이행제도(JI; Joint Implementation)나 청정개발체제(CDM; Clean Development Mechanism)사업을 이용하여 온실가스 배출권 확보에 적극적으로 투자하고 있다. 2009년 12월 코펜하겐 총회를 비롯하여 과거에도 EU 및 소속국가들은 교토의정서와 관계없이 더욱 강화된 온실가스 감축목표를 발표하였고, 교토의정서를 비준하지 않았던 미국 등의 국가들도 일정이상의 감축 목표를 설정하고 자발적인 온실가스 배출권 시장을 형성하여 감축 노력에 나서고 있다.

온실가스의 적극적 감축 및 온실가스 배출권 시장의 활성화라는 흐름 속에서 감축의무를 지니지 않는 비부속서 I 국가 내에서 감축사업을 통해 달성한 온실가스 감축량을 선진국의 감축실적으로 인정받을 수 있게 한 CDM 제도는 상대적으로 낮은 비용으로 감축목표를 이행하고자 하는 선진국들에게 매력적인 감축수단으로 적극 활용되고 있다. 개발도상국들 또한 환경오염의 개선, 선진국의 감축기술 및 자본 투자를 유치할 뿐만 아니라, 경제적 이득을 위하여 자국 내에서 CDM을 적극 장려하고 있다.

2011년 2월 현재 2,786건의 프로젝트가 이미 UNFCCC에 등록을 마쳤으며 현재 등록 절차가 진행 중인 프로젝트가 223 건이 있다. CDM 프로젝트 등록 건 수는 지속적으로 증가되고 있으며, 향후 온실가스 감축 정책에 있어서 적극적인 수단으로 발전 할 것으로 예상된다.

최근 국제 기후변화 이슈는 교토의정서의 효력이 만료되는 2012년 이후의 기후변화 대응 체제인 '포스트 교토(Post-Kyoto) 체제'에 집중하고 있다. 이는 포스트 교토 체제가 어떤 감축 범위와 목표, 수단으로 구성될 것인지에 따라 탄소시장 및 이를 넘어 각국의 산업 체제에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되기 때문이다.

2009년의 15차 코펜하겐 총회, 2010년 16차 칸쿤 총회에서 우리나라는 아직 의무감축국으로 편입되지 않았기 때문에 감축의무를 부담하지 않고 있으나, 개발도상국가의 참여에 대한 국제적인 여론이 더욱 강화되어 가고 있는 상황에 비추어 볼 때, 개발도상국 입장에서 뿐만 아니라 선진국 입장에서 대응 및 대비가 필요하다.

현재 CDM사업의 대부분이 에너지, 화학산업, 제조업 분야 등을 중심으로 등록이 되어 있으며 무기질 폐기물의 재활용을 통한 CDM사업화 사례는 그렇게 많지 않은 실정이다. 무기질 폐기물 재활용을 통하여 일정량 이상의 온실가스를 감축하고 대량으로 처리할 수 있는 대표적인 산업분야로 시멘트 산업을 들 수 있으며, 주로 원료 대체, 에너지 효율향상, 대체자원화 기술 등을 통하여 약 20여개의 CDM 사업이 등록되어 있는 상태이다.

본 논문에서는 국내외 CDM사업화 동향을 분석하고 UNFCCC에 등록된 CDM사업 사례 중 시멘트 산업에서의 무기질 폐기물을 활용한 CDM사업 등록 사례를 조사하여 향후 무기질 폐기물을 활용한 CDM사업화 전망에 대해 살펴보고자 하였다.

2. 국내 · 외 CDM사업 동향

2.1 CDM 사업 현황

Table 1에 CDM 사업 진행단계별 현황을 나타내었다.

Table 1. Status by process phase of CDM project

Status of CDM projects	Number
At validation	2,863
Request for registration	64
Request for review	155
Correction requested	4
Under review	0
Total in the process of registration	223
Withdrawn	52
Rejected by EB	181
Validation negative by DOE	172
Validation terminated by DOE	829
Registered, no issuance of CERs	1,844
Registered, CERs issued	942
Total registered	2,786
Total number of projects (incl, rejected & withdrawn)	7,106

*출처 : 2011년 2월 UNEP RISO CENTRE

2004년 11월 브라질 Nova Gerar 매립지 가스 CDM 사업이 최초로 등록된 이후 DOE (Designated Operational Entity, CDM 운영기구)에 의해 부정적인 타당성 평가결과를 받은 172건, 타당성 평가에서 종결된 829건, 최종승인기구에 의해 거절된 181건, 자체적으로 철회된 52건을 포함하여 총 7,106건의 CDM 프로젝트가 존재 하였던 것으로 조사되었다. 이 중 2,786건의 프로젝트가 등록되었으며 942건의 프로젝트가 CERs(Certified Emission Reductions, 탄소배출권)이 발행된 것으로 나타났다. 현재 CDM 사업의 등록률은 실제 등록 건수인 2,786건 대비 등록되지 못한 1,234건의 CDM 사업의 건수를 비교해 보면, 아직까지는 높은 편임을 알 수 있다. 하지만, 초기 CDM사업이 시작될 때 보다 더 등록 조건이 까다로워지고 있으며, 등록완료 까지 걸리는 기간도 점점 길어지고 있다. 또한, 과거의 CDM 등록 과제 및 분야에 비해서도 현재의 CDM 사업 분야는 더욱 광범위해지고 많은 방법론이 추가적으로 개발 및 등록되고 있다.

2.2 국가별 CDM사업 동향

현재 CDM 사업의 국가별 등록 현황은 중국이 1,192건으로 가장 많은 CDM 사업을 등록하였으며, 인

Table 2. Registered status by country of CDM Project

Host country	등록건수	Host country	등록건수
Albania	1	Lao People's Democratic Republic	2
Argentina	20	Malaysia	88
Armenia	5	Mexico	125
Bangladesh	2	Mongolia	3
Bhutan	2	Morocco	5
Bolivia	4	Nepal	3
Brazil	184	Nicaragua	4
Cambodia	4	Nigeria	5
Chile	42	Pakistan	10
China	1,192	Panama	6
Colombia	26	Papua New Guinea	1
Costa Rica	6	Paraguay	2
Cuba	2	Peru	23
Cyprus	6	Philippines	48
Côte d'Ivoire	1	Qatar	1
Dominican Republic	2	Republic of Korea	51
Ecuador	16	Republic of Moldova	4
Egypt	7	Singapore	2
El Salvador	6	South Africa	18
Ethiopia	1	Sri Lanka	7
Fiji	1	Syrian Arab Republic	2
Georgia	2	Thailand	43
Guatemala	11	The former Yugoslav Republic of Macedonia	1
Guyana	1	Tunisia	2
Honduras	16	Uganda	3
India	613	United Arab Emirates	4
Indonesia	56	United Republic of Tanzania	1
Iran (Islamic Republic of)	1	Uruguay	5
Israel	18	Uzbekistan	9
Jamaica	1	Viet Nam	48
Jordan	2	Zambia	1
Kenya	3	Total	2,786

* 출처 : www.unfccc.int

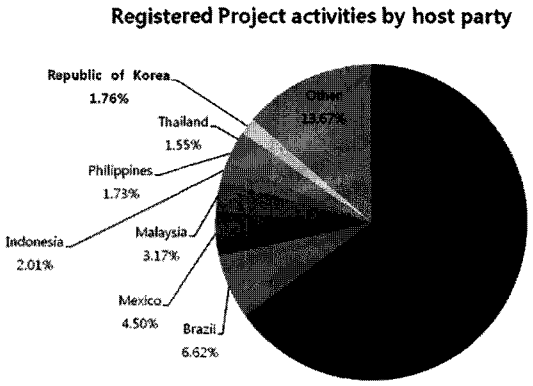

Fig. 1. Registered ratio by country of CDM project.

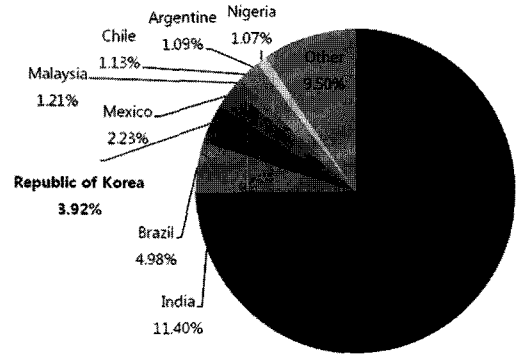

Fig. 2. Annual average reduction ratio by country of CDM project.

도가 613건, 브라질이 184건으로 그 뒤를 이었다. 우리나라도 51건으로 세계에서 7번째로 많은 등록 건수를 보유하고 있다. 우리나라 보다 CDM 사업 등록 건수가 많은 국가는 멕시코 125건, 말레이시아 88건, 인도네시아 56건이 있다. Table 2에 국가별 CDM 사업 등록현황을 나타내었으며 Fig. 1에 CDM 등록 건수가 많은 대표 국가들의 현황을 그래프로 나타내었다. 전체 등록된 사 2,786건 중 우리나라는 1.76%를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며. 전체적으로 CDM 사업 등록은 증가하는 추세이며 아시아와 남미를 중심으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

국가별 등록된 CDM 사업의 연평균 감축량은 Table 3과 같다. 등록된 감축량은 CERs로 표현 및 통용되며, 2011년 2월 까지 등록된 CDM 사업의 총 감축량은 445,673,010 tCO_2e/yr이며 중국이 가장 많은 278,861,001 tCO_2e/yr를 차지하고 있으며 그 뒤를 이어 인도가 50,081,936 tCO_2e/yr, 브라질이 21,881,195 tCO_2e/yr를 차지하고 있다. 우리나라는 17,195,547 tCO_2e/yr의 감축량을 나타내며 감축량 기준으로만 세계 4위에 해당된다. 이와 같은 내용은 우리나라가 기 등록된 CDM 사업의 단위 감축량 자체가 매우 크기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 2는 연평균 감축량이 많은 국가의 현황을 그래프로 나타낸 것이다. 전체 연평균 감축량 중 우리나라는 3.92%를 차지하고 있으며, 총감축량이 가장 많은 중국이 63.48%를 보여 가장 높은 비율을 보이고 있다.

2.3 분야별 CDM 사업 동향

Table 4와 Fig. 3은 CDM 사업의 분야별 등록 현황 및 등록 비율을 나타낸 것이다. 등록된 CDM 사업의 분야별 등록 현황을 자세히 살펴보면, 에너지 산업 분야가 가장 많은 2,212건이 등록되어 전체 CDM사업 중 65.12%를 차지하고 있으며 폐기물 취급 및 처리 분야가 518건으로 15.25%, 연료로부터의 탈루성 배출 분야가 157건으로 4.62%의 비율을 보이고 있다. 무기질 폐기물을 대량으로 활용할 수 있는 시멘트 산업을 포함하는 산업발전 분야의 CDM사업은 제조업 분야로 총 164건이 등록 되어 4.83%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 폐기물 처리 및 취급 분야에서의 폐기물의 종류는 대부분 가연성 폐기물의 연료화를 통한 것으로 실제 무기질 폐기물의 재자원화를 통한 등록 건수는 그렇게 많지 않은 것으로 조사되었다.

3. 시멘트 산업에서의 CDM사업화 사례

시멘트 산업은 온실가스를 직접적으로 배출하는 주요 산업군 중 하나이다. 특히 시멘트 생산량이 증가 할수록 온실가스 배출량도 지속적으로 증가하는 것이 현실이다. 이러한 현실을 바탕으로, 지속적인 온실가스 배출을 줄일 수 있는 에너지 고효율화 기술 및 온실가스의 주요 배출원인 석회석 사용을 줄일 수 있는 기술개발에 많은 투자를 해야 할 것으로 보이며, 보다 체계적인 계획 수립 및 효율성을 높이기 위하여 CDM 사업을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 특히, CDM 사업이 가능한 기술을 확보할 경우 해외 기술수출을 통한 제품생산 및 경영적 이익을 얻을 수 있으며, CDM 사업으로 인한 탄소배출권 확보로 배출권 거래를 통하여 수익 창출이 가능할 뿐만 아니라 향후, 부속서 I 국가로 편입 시에도 의무 부담에 대한 원활한 대처가 가능할 것으로 전망된다.

Table 3. Annual average reduction amount by country of registered CDM project

Host country	Annual average reduction amount (tCO_2e/yr)	Host country	Annual average reduction amount (tCO_2e/yr)
Albania	22,964	Lao People's Democratic Republic	3,338
Argentina	4,789,047	Malaysia	5,311,122
Armenia	223,063	Mexico	9,823,776
Bangladesh	169,259	Mongolia	71,904
Bhutan	499,522	Morocco	287,447
Bolivia	563,991	Nepal	134,418
Brazil	21,881,195	Nicaragua	577,381
Cambodia	124,356	Nigeria	4,693,552
Chile	4,957,224	Pakistan	1,724,332
China	278,861,001	Panama	291,579
Colombia	3,472,129	Papua New Guinea	278,904
Costa Rica	388,865	Paraguay	18,711
Cuba	465,397	Peru	2,521,716
Cyprus	125,899	Philippines	1,822,751
Côte d'Ivoire	71,760	Qatar	2,499,649
Dominican Republic	483,726	Republic of Korea	17,195,547
Ecuador	1,371,456	Republic of Moldova	226,585
Egypt	2,606,471	Singapore	23,858
El Salvador	619,535	South Africa	3,247,426
Ethiopia	29,343	Sri Lanka	210,168
Fiji	24,928	Syrian Arab Republic	132,927
Georgia	411,897	Thailand	2,322,864
Guatemala	864,760	The former Yugoslavs Republic of Macedonia	54,623
Guyana	44,733	Tunisia	687,573
Honduras	312,559	Uganda	92,848
India	50,081,936	United Arab Emirates	348,645
Indonesia	6,359,080	United Republic of Tanzania	202,271
Iran	463,122	Uruguay	289,894
Israel	1,959,750	Uzbekistan	3,190,435
Jamaica	52,540	Viet Nam	3,022,874
Jordan	434,074	Zambia	130,032
Kenya	456,823	계	445,673,010

* 출처 : www.unfccc.int

3.1 CDM 사업의 방법론

시멘트 산업에서 무기질 폐기물을 활용한 원료대체 측면에서의 방법론은 AM0033 방법론을 적용하고 있다. AM0033방법론은 ACM0015로 통합되어 AM0033 방법론에서 적용하고 있는 모든 산정 방법론을 포함하고 있다. Fig. 4와 같이 ACM0015의 CDM 사업에서 포함하고 있는 전체 시멘트 공정에서 볼 때 CDM 사업이 가능한 범위를 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 시멘트 산업에서 적용 가능한 CDM 사업은 그림에서와 같이 1. Raw material 대체, 2. 연료 대체, 3. 시멘트 첨가제 대체 부분으로 분류할 수 있다. 특히, 점선으로 표시 한 AM0033 방법론에 해당되는 원료 대체 공정에

Table 4. Registered status by field of CDM project

No.	Field	Number of Registered
1	Energy industries(renewable - / non-renewable sources)	2,212
2	Energy distribution	0
3	Energy demand	38
4	Manufacturing industries	164
5	Chemical industries	69
6	Construction	0
7	Transport	6
8	Mining/mineral production	41
9.	Metal production	8
10	Fugitive emissions from fuels (solid, oil and gas)	157
11	Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride	26
12	Solvent use	0
13	Waste handling and disposal	518
14	Afforestation and reforestation	21
15	Agriculture	137
	합 계	3,397

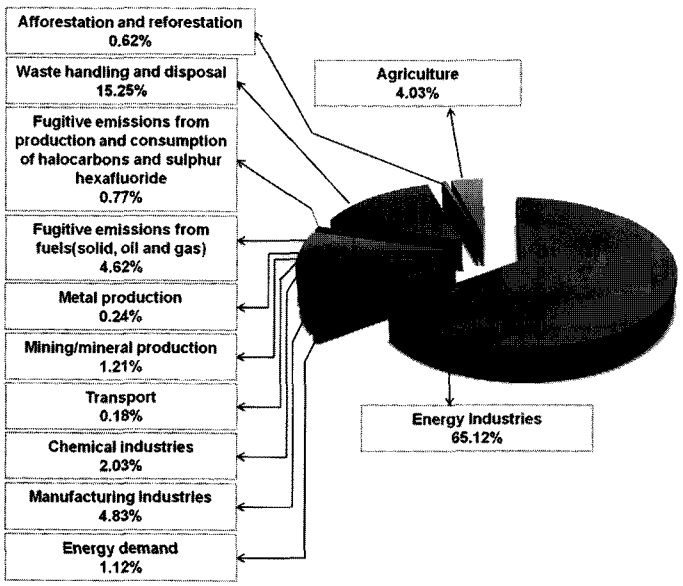

Fig. 3. Registered ratio by field of CDM project.

서 무기질 폐기물을 활용한 대체 원료화 부분이 국내 산업 현황으로 볼 때 CDM 사업으로 등록가능한 분야가 될 수 있을 것이다.

AM0033은 Lafarge Brasil과 ICF 컨설팅이 제안한 "시멘트 공정에서 원료 혼합 시 탄산염이 포함되지 않는 칼슘원료를 이용한 방법론"에 기초한다. AM0033은

Table 5. Range of AM0033[2)]

	출처	가스	포함여부	정의/설명
베이스라인	광산에서 플랜트로의 원료물질 운송	CO_2	불포함	중요하지 않음
		탈탄산 반응	불포함	관련없음
		N_2O	불포함	관련없음
	탈탄산 반응	CO_2	포함	주요 배출원
프로젝트	광산에서 플랜트로의 원료물질 운송	CO_2	불포함	중요하지 않음
		CH_4	불포함	관련없음
		N_2O	불포함	관련없음
	탈탄산 반응	CO_2	포함	주요 배출원
		CH_4	불포함	관련없음
		N_2O	불포함	관련없음

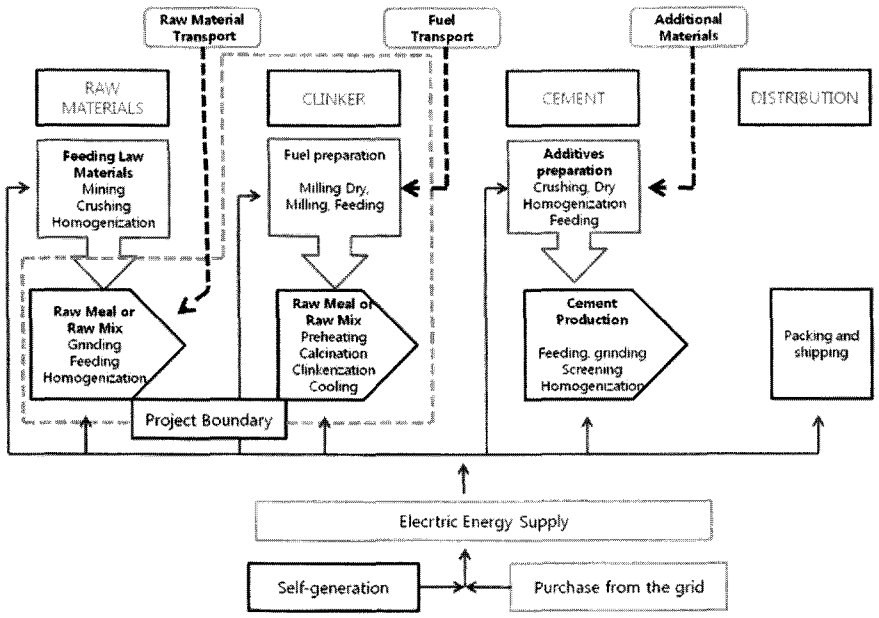

Fig. 4. Range of CDM project in cement industry.

시멘트 산업에서 클링커(Clinker) 생산에 쓰이는 석회석 원료의 일부 또는 전부를 인증 기간(crediting period) 동안 $CaCO_3$ 형태가 아닌 다른 원료로 대체하기 위한 사업 활동에 적용된다. 이 방법론은 기존의 플랜트 및 신규 설비에도 적용이 가능하며, 방법론에서 적용하는 CDM 사업 범위는 원료물질이 대체되는 클링커(Clinker)의 생산공정으로 정의하고 있다. 시멘트 사업에서의 온실가스 배출에 대한 발생원은 클링커 생산공정 중의 탈탄산 반응에 따른 이산화탄소 배출이며, CDM 사업 등록을 위해 제시한 배출원도 클링커 생산공정 중의 탈탄산 반응으로서, AM0033 방법론에서 취급되는 온실가스는 이산화탄소만 포함하게 된다(Table 5).

AM0033 방법론은 일반적으로 다음의 상황에서 적용이 가능하다.

[2)] Approved baseline methodology AM0033 "Use of non-carbonated calcium sources in the raw mix for cement processing"

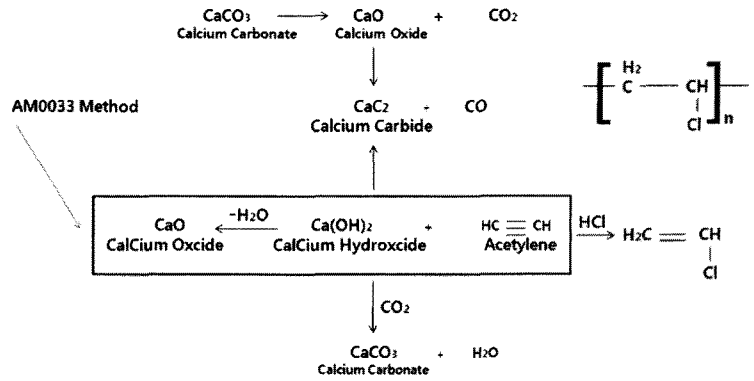

Fig. 5. Generation mechanism of CCR from industrial process.

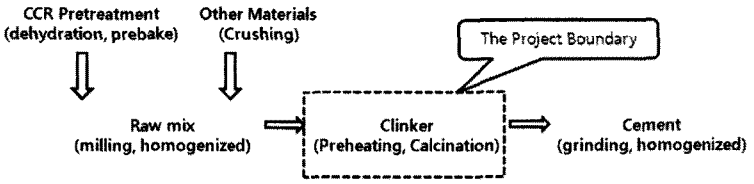

Fig. 6. Range of CDM project in Leshan city of china.

원료물질(주로 $CaCO_3$ 과 $MgCO_3$)의 탈탄산 과정에서 발생한 CO_2와 관련이 있고, 화석연료의 연소를 통해 발생한 CO_2와는 관련이 없는 CO_2 배출 저감의 형태이다.

클링커(Clinker)생산에 이용된 원료물질(석회석, 점토)이 탄산염이 포함되지 않는 원료물질로 일부 또는 전부 대체되고, 생산된 클링커(Clinker)의 품질에 변동이 없는 경우를 말한다.

탄산염이 포함되지 않은 원료물질을 다른 용도로 사용하지 않는 지역 또는 국가에서 이용 가능하다. '지역'이라 함은 사업을 수행하는 플랜트 가까이에 적어도 10개의 시멘트 공장이 있는 지역을 말한다.

3.2 CCR(Calcium carbide residue)을 이용한 시멘트 원료 대체

PVC 제조 공정은 크게 두 가지로 분류 된다. 가장 많이 사용되고 있는 공정법으로 Ethylene method가 있으며, 보통 항구가 있는 해안지역 또는 한국, 일본, 유럽, 중동 등지에서 활용하고 있으며, 두 번째 방법은 Calcium Carbide method이며 중국 내륙지역에서 활용하고 있다.

Fig. 5는 PVC 제조를 위한 Calcium Carbide methode의 공정을 나타낸 것이다. 산화칼슘(CaO)와 코크스의 반응으로부터 Calcium Carbide를 합성하고, 물을 반응시켜 Acetylene을 생성시킨다. 생성된 Acetylene에 염산을 반응시켜 Vinyl Chloride를 합성시키며, 중합반응을 통해 PVC(Poly Vinyl Chloride)를 제조할 수 있다. 이러한 제조공정으로부터 많은 양의 Calcium Carbide residue(CCR)라 불리는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$) 폐기물이 발생하게 되어 환경적으로 문제가 되었다. 그러나 PVC 제조 공장들은 부산물인 CCR을 부분 건조 공정을 통해, 일정량의 수분이 제거된 반 건조 CCR을 만들었고, 이를 석회석대신 이용하여 시멘트를 제조하게 되었다. 결론적으로 CCR을 이용한 만큼 석회석이 대체되었기 때문에 석회석을 원료로 하여 시멘트 제조 시 발생되는 이산화탄소가 직접적으로 저감 되는 효과를 얻을 수 있었다. 따라서, 이러한 무기질 폐기물을 시멘트 제조공정에서 석회석 대체물질로 활용함으로서 시멘트 산업에서 CDM 사업이 가능하게 되었다.

3.3 CCR을 이용한 CDM 사업화 사례

현재까지 CCR을 이용하여 AM0033으로 등록된 CDM 사업은 총 5건이며 모두 중국에서 등록되었다. 다음에 3건의 등록 사례에 대한 주요 내용을 설명하였다.

Table 6. Equipment contents installed from CDM project in Leshan city of china

Process	Key equipment
1) CCR dehydration & transportation	Pressure filtration / 2km conveyor
2) Grinding & Storage	HRM 2200/2800 verticla mill
3) Raw material homogenization	A 15m IBAU storeroom
4) Kiln system	HXPG-200/5 precalcining process
5) Dedust system	Sack deduster / electric deduster

Table. 7 Yearly expected CERs generation from CDM project in Leshan city of china

Years	Annual estimation of emission reductions in tonnes of CO_2e
01/03/2009 - 28/02/2010	118,548
01/03/2010 - 28,02/2011	236,320
01/03/2011 - 28/02/2012	236,320
01/03/2012 - 28/02/2013	236,320
01/03/2013 - 28/02/2014	236,320
01/03/2014 - 28/02/2015	236,320
01/03/2015 - 28/02/2016	236,320
01/03/2016 - 28/02/2017	236,320
01/03/2017 - 28/02/2018	236,320
01/03/2018 - 28/02/2019	236,320
Total estimated reductions (tonnes of CO_2e)	2,245,429
Total number of crediting years	10
Annual average over the crediting period of estimated reductions (tonnes of CO_2e)	224,543

3.3.1 Leshan시 Carbide Calcium Residues Based Cement Plant 프로젝트

본 프로젝트는 탄산염이 포함되지 않은 원료 물질인 CCR을 석회석 대신 이용하여, 시멘트를 생산하는 CDM 프로젝트이며, 2,000톤/일 용량의 클링커를 생산하는 신규 공장 건설 사업이다. 일반적으로 CCR은 폐기물 슬러지로서 전처리 공정이 필요하기 때문에 별도의 설비 투자가 필요하다(Fig.6). 본 프로젝트에서 추가된 설비투자 내역을 Table 6에 나타내었다. CCR의 수분을 제거하는 탈수 장비와 이송장비, 일정량의 크기로 조절하는 분쇄장치 및 저장 설비와 원료 물질의 균일화 장치, 킬른 시스템, 집진 장치 등이 설치되었다.

본 프로젝트에서는 약 550,000톤/년의 인근 PVC 생산 공장의 CCR을 활용하여 600,000톤의 클링커를 생산하고, 759,400톤의 온실가스 저감 시멘트 생산을 할 수 있었다. 이에 따라 온실가스 감축량은 224,543 tCO_2e/yr 이며, 10년 간 총 2,245,429 tCO_2e를 감축할 수 있을 것으로 보고 있다(Table 7).

CDM사업 등록을 위하여 기업에서 기획한 시나리오는 다음과 같다.

폐기물인 CCR을 이용함에 따라, CCR로 인한 환경오염을 피할 수 있다.

석회석 광산 및 석회석을 이용하는 지역에서의 환경에 대한 부정적인 견해를 줄일 수 있다.

석회석을 이용하여 시멘트를 생산하는 것보다 온실가스를 감소시킬 수 있다.

자국 내 시멘트 산업에서 향상된 시멘트 생산 기술의 대중화 및 발전에 원동력이 될 수 있다.

3.3.2 Quzhou시 클링커 생산 프로젝트

본 프로젝트는 중국의 Zhejiang성 Quzhou시에 위치하고 있는 Zhejiang Quzhou Jutai Building Material Co., Ltd.에서 실시한 것이다. Jutai 사는 건축자재를 전문적으로 취급하는 업체로 PVC 및 각종 합성섬유도 생산하고 있다. 본 프로젝트의 주요 내용은 천연원료물질인 석회석을 대체할 수 있는 CCR을 이용하며 403,300톤/년의 클링커를 생산할 수 있는 규모의 신규 시멘트 생산 시설을 구축하는 것이다. Jutai 사는 신규 시멘트 생산 설비의 인접한 위치에 약 20만톤/년 규모의 PVC 생산 설비를 소유하고 있다. 또한, 약 40만톤/년 CCR이 PVC 생산 설비로부터 공정부산물로 발생되어 왔으며 재활용 이전에는 매립처리를 해 왔다.

CDM 사업의 내용은 석회석을 사용하지 않기 때문에 온실가스의 배출을 저감 시킬 수 있지만 대체활용을 위

한 CCR의 전처리 및 이송 등에 이용된 전기 및 연료의 사용 부분에 의한 온실가스 배출이 증가 될 수 있다. 그러나 추가 설비에서 배출되는 온실가스 양은 전체 공정에서 배출되는 온실가스 양에 비하여 매우 적은 양이기 때문에 큰 영향을 미치지는 않는다. Table 8에 본 프로젝트에서 신규 구축된 설비에 대한 정보를 나타내었다. 이와 같은 설비 구축 및 대체 활용을 통하여 169,371 tCO_2e/yr의 온실가스를 감축할 수 있어 감축량은 169,371 tCO_2e이며, 7년 간 총 1,185,597 tCO_2e을 저감할 수 있을 것으로 보고 있다(Table 9).

CDM사업 등록을 위하여 기업에서 기획한 시나리오는 다음과 같다.

산업 폐기물인 CCR을 활용함에 따라서 기존 매립처분의 문제점을 해결할 수 있다.

재활용에 따른 추가적인 경제적 이득을 얻을 수 있다.

새로운 산업 폐기물 처리 방식에 따른 지속가능한 경영 및 산업 발전을 이룰 수 있다.

폐기물 처리 및 폐기물을 이용한 생산 증대효과로 지역 주민들의 취업기회를 늘릴 수 있다.

프로젝트 수행으로 온실가스 감축 활동이 이루어 진다.

석회석의 CCR 대체 기술은 수행 프로젝트의 지역내에서 최초로 진행된다는 것을 증명할 수 있다.

Table 8. Equipment contents installed from CDM project of Zhejiang Quzhou Jutai building material Co., Ltd.

Process	Key equipment	Type & performance	Number
CCR drying	dryer	3.6*36m, G=45ht/h	2
Raw material grinding	Vertical mill	HRM2200/2800, G=11t/h	1
Coal powder preparation	Coal breaker	2.8*(5+3)m, G=11th/h	1
Clinker burning system	Rotary Kiln	3.8*58m, G=2000ht/h	1
	Five-stage recalcining system	HXPG-5/20D	
	Cooler, etc	HCFG-2000	

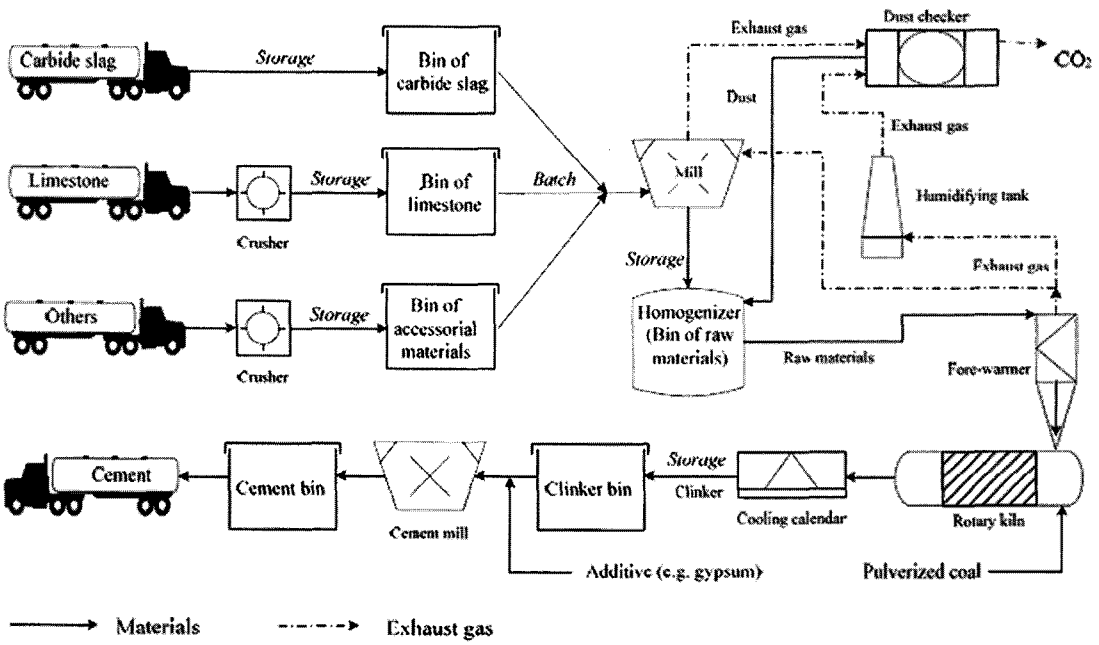

Fig. 7. Schematic of project process.

Table 9. Yearly expected CERs generation from CDM project of Zhejiang Quzhou Jutai building material Co., Ltd.

Years	Annual estimation of emission reductions in tonnes of CO_2e
2009(5) - 2010(4)	169,371
2010(5) - 2011(4)	169,371
2011(5) - 2012(4)	169,371
2012(5) - 2013(4)	169,371
2013(5) - 2014(4)	169,371
2014(5) - 2015(4)	169,371
2015(5) - 2016(4)	169,371
Total estimated reductions (tonnes CO_2e)(7years)	1,185,597
Total number of crediting years	7
Annual average estimated reductions over the crediting Period (tonnes of CO_2e)	169,371

3.3.3 Shizuo사 Cement Production Renovation 프로젝트

Shizuo사는 1998년부터 하루 1,200톤을 생산 할 수 있는 새로운 건식법을 적용한 시멘트 클링커 생산설비를 갖추고 있다. 본 프로젝트의 목적은 시멘트 원료의 일부를 탄산염이 포함되어 있지 않은 원료를 사용하여 대체한다는 것이다. Shizuo사는 기존의 시멘트 클링커 생산 라인에 원료 대체를 위해 필요한 기술이 어느 정도 확보 되어 있기 때문에 설비 교체 및 개발이라는 부담이 타 프로젝트보다는 작았으며, 운전 효율성 확보 등을 통한 기술공정 개발을 통해서 생산량을 확보 할 수 있었다. Fig. 7에 Shizuo 사의 프로젝트 공정도를 나타내었다. 외부로부터 공급받은 CCR, 석회석, 기타 첨가물을 미분쇄하여 균일한 입자로 만든 후, 예열기를 통해 수분을 제거하고 로터리 킬른에서 소성하게 된다. 소성 공정 후 냉각 공정을 거쳐서 석고와 같은 첨가제를 혼합 후 출하 하게 된다.

Shizuo사의 년 간 클링커 생산량은 372,000톤 이며 시멘트 생산량은 473,400톤이다. 대체 원료는 Nanning Chemical Industry Co., Ltd.의 PVC 공장으로부터 생성되는 폐기물인 CCR을 공급받아이용하였으며, PVC 공장에서는 약 32만톤/년의 CCR 공급이 가능하다. Nanning사는 PVC, PVA, PVAc 제품을 생산하는 업체로서 공정 부산물로서 CCR이 지속적으로 배출되므로 대체 원료의 안정적인 공급이 가능하며 이러한 안정적 원료수급은 CDM 사업의 승인에 있어서 매우 중요한 부분이다.

프로젝트의 지속성은 CDM사업에서 매우 중요한 평가요소가 되며, 원활한 원료 공급과 기술성이 보장된 공정기술을 통한 지속적인 생산을 할 수 있어야 한다. 이러한 조건은 지속적인 온실가스 감축이라는 목표와 일치되기 때문이다. CDM 사업을 위한 프로젝트 진행 시 CDM 등록뿐만 아니라 온실가스 배출 모니터링으로 감축량에 대한 신뢰성 확보로 CERs 발급 까지도 가능하게 된다. 만약 대체 원료 물질인 CCR의 공급률 저하에 따른 전체 온실가스 감출량이 감소된다면 이에 따른 CER도 줄어들게 될 것이다. 따라서, 원활한 원료 확보가 가능한 본 프로젝트는 매우 유용한 사례로 볼 수 있으며, 본 프로젝트를 통하여 년간 184,130 tCO_2e를 감축할 수 있으며 7년 간 총 1,288,910 tCO_2e를 감축할 수 있다.(Table 10)

CDM사업에서는 폐기물로 버려지는 물질을 통하여 온실가스 배출을 감소시키는 것에 대해 매우 중요하게 생각한다. 이 프로젝트에서는 CCR이 단순 매립 되었을 때 환경오염의 주요 원인이 되는 것으로 인식하고 프로젝트 시나리오를 계획하였다. 현재 까지 CCR은 정제공정을 통한 폐기물 처리를 하기 보다는 토지에 매립하는 것이 보편적이었다. 따라서, 폐기물 처리 및 자원 재활용 개선 사업으로 제안된 이 CDM 프로젝트는 중국의 지속적인 발전에 기여하는 측면에서 매우 높이 평가되었다.

프로젝트 수행을 위하여 다음과 같은 시나리오를 작

Table 10. Yearly expected CERs generation from CDM project of Nanning Shizuo building materials Co., Ltd.

Years	Annual estimation of emission reductions in tonnes of CO_2e
2009	184,130
2010	184,130
2011	184,130
2012	184,130
2013	184,130
2014	184,130
2015	184,130
Total estimated reductions of first credit period(tonnes of CO_2e)	1,288,910
Total number of the first crediting period	7
Annual average over the crediting period of estimated reductions (tonnes of CO_2e)	184,130

성하였다.

년간 43만2천 톤에 해당되는 석회석 자원을 대체함으로서 광물자원 절약 효과 및 석회석을 이용하지 않음으로서 시멘트 제조 시 온실가스 배출을 저감시킬 수 있다. 또한, 석회석 분쇄공정에서 발생되는 분진으로 인한 환경오염도 줄어들게 된다.

CCR의 단순 매립처분을 하지 않아 토양 및 수질 오염을 방지 할 수 있으며, 시멘트 생산에 이용함으로서 온실가스 감축 활동 및 시멘트 생산 단가에 영향을 줄 수 있다.

본 프로젝트의 제안 지역인 Guangxi Zhuangzu에는 295개의 시멘트 플랜트가 존재하며, 보다 범위를 축소한 Nanning 지역에는 63개의 플랜트가 있다. 따라서, 이러한 여러 형태의 시멘트 공장에 본 프로젝트 기술이 적용 될 수 있도록 기술개발이 필요하고 또한 프로젝트를 통하여 폐기물 재활용에 대한 기술 혁신과 기술개발이 활발하게 진행될 수 있다.

온실가스 배출 감소를 통해 지구 기후 변화의 완화에 기여 할 수 있고 환경적인 의미에서 큰 이익을 얻을 수 있다.

4. 결 론

(1) CDM 사업에서 가장 많은 등록 건수를 차지하는 분야는 태양광, 풍력 등과 같은 신재생에너지에 관련된 프로젝트와 에너지 효율 향상 프로젝트이다. 그러나, 이러한 에너지 생성 또는 이용에 관한 프로젝트는 감축량에 따른 CERs의 확보가 매우 적은 편이다. 그러므로 보다 많은 CERs 확보와 동시에 보다 많은 온실가스 감축을 위해서는 산업 발전 분야의 CDM 사업이 활발하게 이루어져야 한다. 특히, 산업국가인 우리나라의 현실에서도 부속서 I 국가로 편입되기 전에 CDM 사업을 통해 최대한의 CERs 확보가 필요 할 뿐만 아니라, 현재 CDM 사업이 가능한 기술을 개발하여 개발도상국 및 후진국으로 기술수출을 통한 CERs 확보 전략이 필요하다.

(2) 산업발전 분야에서도 특히 시멘트 부분은 원료 및 연료의 대체, 첨가제의 함량 등에 따라서 다양하게 CDM 사업에 대한 적용이 가능하다. 본 논문에서 전반적으로 원료의 대체 부분에 주안점을 둔 이유는 연료 대체 또는 에너지 효율측면이나 첨가제의 함량 등에 비하여 원료 자체를 대체하는 것이 이산화탄소 감축률이 매우 크기 때문이다. 따라서 현재 기술개발에도 원료 대체에 주안점을 두고 추진하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

(3) CCR과 같은 폐기물 위주의 대체 원료 사용에 따른 경제적 이득 및 친환경적 견해도 매우 중요하므로 CDM 사업을 진행하기 위한 여러 가지 전략이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 환경부에서 시행한 차세대 핵심 환경기술 개발사업에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 류수호, 2009: 효율적인 자원순환사회 형성을 위한 자원재활용 정책 고찰, 한국자원리싸이클링학회, 18(2), pp.3-15

2. S. Subbarao and B. Lloyd, 2011: Can the Clean Development Mechanism (CDM) deliver?, Energy Policy, 39, pp. 1600-1611

3. UN Framework Convention on Climate Change: http://CDM.unfccc.int/, Accessed on March 2011.

趙 鎭 相

- 현재 한국석회석신소재연구소 연구개발실 선임연구원
- 당 학회지 제19권 3호 참조

趙 桂 弘

- 현재 한국석회석신소재연구소 연구개발실 실장
- 당 학회지 제19권 3호 참조

安 芝 煥

- 현재 한국석회석신소재연구소 소장
- 당 학회지 제10권 4호 참조

嚴 星 一

- 1997년 한서대학교 화학과 이학사
- 1999년 한양대학교 화학과 이학석사
- 2005년 한양대학교 화학과 이학박사
- 현재 (주)에코아이 기후변화전략본부 본부장

延 圭 錫

- 현재 강원대학교 지역건설공학과 정교수
- 당 학회지 제19권 3호 참조