

시멘트 지속가능성 이니셔티브



시멘트 산업의
CO₂•에너지 산정
및 보고 기준

2011년 5월 13일

시멘트CO₂•
에너지 프로토콜



1	도입	2
1.1	개정 프로토콜 제 3판 서문	2
1.2	목적	3
1.3	타 CO ₂ 프로토콜과의 관계	3
1.4	조직 경계 및 운영 경계의 정의	4
2	CO ₂ •에너지 프로토콜의 원칙	6
3	시멘트 제조 시의 온실가스 직접 배출	8
3.1	개요	8
3.2	원료 하소로 인한 CO ₂ 배출	10
3.3	투입량 방식 (A1) 및(A2)	12
3.4	생산량 방식 (B1) 및 (B2)	15
3.5	재래 연료로부터의 CO ₂ 배출	17
3.6	대체 연료, 혼합 연료 및 바이오매스 연료로부터의 CO ₂ 배출	18
3.7	킬른연료로부터의 CO ₂ 배출	19
3.8	비킬른연료로부터의 CO ₂ 배출	20
3.9	폐수로부터의 CO ₂ 배출	21
3.10	CO ₂ 이외의 온실가스	21
4	온실가스 간접 배출	23
5	CO ₂ 총(Gross)배출량 및 순(Net)배출량	25
5.1	개요	25
5.2	총 CO ₂ 배출량	26
5.3	폐기물의 대체 연료로의 활용에 따른 CO ₂ 순배출량과 간접적 배출량 감축	27
5.4	기타 간접적인 배출량 감축	28
6	성과 지표	31
6.1	개요	31
6.2	원단위 배출량 계산을 위한 분모	31
6.3	기타 비율 지표의 분모	32
6.4	클링커의 재고량 변동, 판매 및 구입량	33
6.5	신규 일반 성과 지표(KPIs)	33
7	조직 경계	34
7.1	조직 경계에 포함되는 배출 시설 범위	34
7.2	운영 통제력 및 소유의 기준	34
7.3	배출량과 배출권의 집계	36
7.4	클링커, 시멘트, 광물질분말(MIC)의 내부 이송	36
7.5	기준선, 인수 및 매각	37
8	인벤토리 품질 관리	38
8.1	개정 WRI/WBCSD 프로토콜의 권고사항 요약	38
8.2	불확도의 처리	40
8.3	중요성 기준	41
8.4	검증 프로그램의 도입	41

9	보고를 위한 권고사항	42
9.1	도입	42
9.2	기업의 환경 보고	42
9.3	보고의 대상기간	43
9.4	개정 WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜의 스코프(Scope)	43
10	추가 정보	45
11	참고 문헌	46
12	용어 및 약어집	47
 부록		
A1	시멘트CO ₂ ·에너지 프로토콜 스프레드시트	52
A2	시멘트 제조 시의 온실가스 배출원과 배출량 감축 방법	53
A3	‘하소에 의한 CO ₂ 배출’ 세부사항	56
A4	연료 배출계수에 대한 배경 자료	59
A5	수 접두어, 단위 및 변환 계수	61
A6	프로토콜 제 2판 대비 제 3판에서의 주요 변경 사항	63
A7	시멘트 CO ₂ ·에너지 프로토콜 제 3판의 성과지표(KPI)	66
A8	CSI CO ₂ 데이터의 보증을 위한 요구사항	73





1 도입

1.1 개정 프로토콜 제 3판 서문

WBCSD (세계 지속가능발전기업 협의회) 의 CSI (시멘트 개발 협회) 산하에서 시멘트 업체들은 온실가스 배출량의 모니터링, 보고를 위해 협력하고 있는데, 협회에서 다루는 이슈 중 하나는 바로 인위적 지구 온난화의 원인인 주요 온실 가스 중 하나인 CO₂에 대한 업계의 배출량이다.

2001년 CSI회원사들은 ‘시멘트 CO₂ 프로토콜 (Cement CO₂ Protocol)’이라는 CO₂ 배출량의 계산 및 보고를 위한 방법론에 합의했다. 이 프로토콜은 시멘트 업계의 특수 요건을 반영하면서도 WBCSD 와 WRI(세계 자원 연구소)의 공동 노력 하에 정립된 포괄적인 온실가스 프로토콜과 긴밀하게 연계되어있다. 시멘트 CO₂ 프로토콜의 개정판은 2005년 6월 발행되었는데, 이 개정판에는 전 세계의 여러 시멘트 업체들이 실제 기존 프로토콜을 폭넓게 적용하면서 제기한 수정 사항들이 반영되어 있다. 또, 이 프로토콜 개정판은 2004년 4월 발행된 ‘WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜¹ 개정판과도 다시 조화를 맞추었다.

2011년 5월에는 ‘시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜 제 3판’이 발행되어 2011년부터 데이터² 보고에 적용할 수 있도록 하였다. 제 3판에는 프로토콜 제 2판을 적용하면서 얻은 추가적인 경험과 세계 유수의 시멘트 업체들이 수행한 수 년 간의 평가 및 CSI GNR(Getting the Numbers Right) 프로젝트의 평가가 반영되었다. CO₂ 배출량 계산에서는 에너지(연료, 전력) 데이터의 보고가 가장 중요하기 때문에 프로토콜의 명칭도 ‘시멘트 CO₂ • 에너지

프로토콜(Cement CO₂ and Energy Protocol)’로 바뀌었다.

프로토콜 개정의 주 목적은 다음과 같다.

- > 핵심 성과 지표(KPI) 추가 도입 (예: 시멘트 물질(Cementitious materials) 기반의 KPI외에 시멘트 기반 KPI도 추가됨).
- > 바이오매스 및 화석계 혼합 연료 중 바이오매스 함량분에서 나오는 CO₂ 배출량은 기후 중립적인 것으로 산정.
- > 자가 발전으로 인한 CO₂ 배출량 보고를 위해 더욱 포괄적인 방법 도입
- > 킬른(Kiln) 투입량에 기반해서 하소로 인한 CO₂ 배출량을 보고하기 위한 약식 및 상세한 산정법 도입
- > 비킬른 연료(Non-kiln fuels)를 비롯해 다양한 종류의 연료 및 원료에 대한 보고 옵션 강화
- > 과거 데이터는 변경하지 않음. 즉, 제 3판의 공식이 부분 수정되었어도 재산정하지는 않음.
- > 업체나 국가 차원 등의 총계 데이터 상 원료 이송(Material transfer)에 따른 이중 산정 문제 해결
- > 사용자의 편의성이 제고되고 일차적인 품질 관리를 위한 검증 도구가 제공됨.

제 2판과 3판 간의 주요 변경사항은 부록 6, 7에 정리되어 있다.

1.2 목적

본 '시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜'은 전 세계 시멘트 업체들의 이용을 위해 제정되었고, CO₂ 배출량을 산정해 다양한 목적으로 보고할 수 있는 통일된 방법론을 제시한다. 시멘트 제조 공정 및 자가 발전과 관련된 CO₂의 모든 직접 배출원과 주요 간접 배출원에 대해 구체적 원단위 배출량뿐 아니라 절대 배출량을 다루고 있는데, 본 프로토콜의 세 가지 주요 구성 요소는 다음과 같다;

1. 본 해설서
2. 엑셀 스프레드시트. 시멘트 업체들이 자사의 CO₂ 인벤토리 작성을 위해 이용할 수 있는 실질적 도구. 스프레드시트 구조에 대한 개요는 부록 1 참조.
3. 스프레드시트 및 해설서에 대한 상세 설명 및 FAQ(자주 묻는 질문)는 인터넷 매뉴얼에 제공됨 (www.Cement-CO2-Protocol.org).

본 해설서와 스프레드시트를 합쳐서 '프로토콜'로 통칭한다.

본 해설서는 스프레드시트의 논리와 구조를 설명하고 산정 및 보고 관련 지침을 제공하는 것을 목적으로 한다. 시멘트 업종 외부 이해관계자들의 이해 상의 편의를 돕기 위해 시멘트 생산 공정에 대한 배경 정보도 부록 2에 제공된다. 그 외에도 스프레드시트의 적용 및 기타 설명이 들어간 상세 매뉴얼도 인터넷을 통해 제공된다(www.Cement-CO2-Protocol.org).

제12절에는 각종 약어에 대한 용어 사전이 제공되는데, 본 프로토콜에서는 1톤 = 1000kg 기준의 메트릭 톤을 단위로 사용하고 있음에 유의한다. 기타 단위에 대한 축약어나 수 접두어에 대해서는 부록 5를 참조한다.

1.3 타 CO₂ 프로토콜과의 관계

본 프로토콜의 기본적 산정 방법은 IPCC의 '2006 국가 온실 가스 인벤토리 가이드라인' 및 'WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜'의 내용에 준한다. 시멘트 업종의 최신 데이터가 있는 경우 외에는, 상기한 두 프로토콜에서 제시하는 기본배출계수 (Default emission factors)가 이용된다.

2006년 IPCC 가이드라인에는 원료 투입량을 기준으로 시멘트 생산으로 인한 CO₂ 배출량을 보고하는 산정등급 3(Tier 3) 방식이 도입되었다 (Vol. III, 2.2.1.1장, 식 2.3). 하지만 이 방식은 시멘트 공장의 경우 투입되는 원료의 수가 많고 또 투입 원료의 화학적 조성에 대한 지속적 모니터링을 요하기 때문에 실제로는 비실용적인 경우가 많다. 여러 원료들은 통상적으로 원료 분쇄기(Raw mill)에서의 분쇄 공정 중이나 그 이전에 균질화된다. 따라서 CSI 태스크포스는 투입량에 기반해 시멘트 공장의 원료 하소로 인한 CO₂ 배출량을 산정, 보고하는 대안적 방법을 권고하였는데, 이 방법에서는 킬른계(Kiln system)에서 소비된 조합 원료(Raw meal)의 양을 기준으로 산정한다. 시멘트 공장에서는 통상적으로 공정 및 제품 품질 관리 차원에서 균질화된 조합 원료의 질량 유량(Mass flow)에 대해 화학 분석을 포함한 모니터링을 한다. 조합 원료 소비량에 기반한 산정 방식은 여러 국가의 시멘트 공장에서 이미 성공적으로 적용되고 있는데, 2006년 IPCC가이드라인 상의 산정등급 3 방식보다 더 실용적인 것으로 보인다. 이 방식은 '시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜 제 3판'에 포함되었다(간편 투입량 방식 A1 및 상세 투입량 방식A2, 3.3절)

여러 매개변수들에 대해 제 3판에서는 두 단계로 구체화해 보고할 수 있도록 하고 있다. 가령, 회사 내부용 보고나 본 프로토콜로 처음 CO₂ 배출량 보고를 시작하는 업체들은 기본 계수를 이용한 간편 산정 방식을 이용할 수 있다. 한편 EU ETS와 같은 특정 제도 하에서 보고하거나 CO₂ 보고 경험이 오래된 기업들은 더 상세한 방식을 쓸 수도 있다.

본 프로토콜 제 2판에서 3판으로 개정되면서 변경된 사항들은 타 제도 하에서의 병행 보고 경험에 따라 이루어진 경우가 많다. 가령, 혼합(대체) 연료의 바이오매스분에서 배출되는 CO₂양에 대한 고려는 EU ETS제도 상의 유사한 방법론에 기인한 부분이고, 자가 발전으로부터의 CO₂ 배출량을 산정할 수 있도록 구체적 방법을 추가한 것은 아시아 지역(인도, 중국 등)에 공장을 운영하는 CSI 회원사들이 증가했기 때문이다.

따라서 시멘트 업체들은 제 3판을 활용해 IPCC 요구사항에 따라 자국 정부에 CO₂ 배출량을 보고할 수도 있고, 다음과 같은 다양한 제도 하에서 CO₂ 보고를 하기 위해 유연하게 활용할 수도 있다:

- > 유럽 온실가스 배출량 거래 제도(EU ETS)⁵;
- > 일본 정부의 “지구 온난화 대책 진흥법” 및 “합리적 에너지 이용법”.

또한 현재 중국에서는 새로운 시멘트 산업 CO₂ 배출량 프로토콜이 개발되고 있다. 일반적으로, 특정 자발적 또는 의무적 보고 제도의 보고 요구사항은 본 ‘시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜’의 내용과 차이가 있을 수 있다는 점은 주지해야 한다. 따라서 CO₂ 배출량 보고 업체는 항상 기준으로 삼은 프로토콜을 명시해야 한다.

1.4 조직 경계 및 운영 경계의 정의

배출량 인벤토리 작성 과정에 있어서 경계를 적절히 정의하는 것은 핵심 작업 중의 하나이다. ‘WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜(2004)’¹과 국제 표준 ‘ISO 14064-1’⁸에 따라 본 프로토콜에서는 조직 경계와 운영 경계를 구분한다:

조직 경계는 한 조직의 어느 부분들이(100% 소유 운영, 합작 기업 또는 자회사 등) 인벤토리로 커버되는지 또 이런 조직 단위들의 배출량을 어떻게 합산할 것인지를 정의한 것으로써, 본 프로토콜 제 7장에는 조직 경계에 대한 지침이 제공된다. 특히, 시멘트 회사는 자사가 소유하거나 통제하는

배출 시설의 경우 다음과 같은 활동 유형들을 본 프로토콜 하의 자발적 보고 대상으로 포함시켜야 한다:

- > 원석 채석 및 준비를 포함하는 클링커 생산;
- > 일관 시멘트 공장 및 독립적인 분쇄 설비에서 이루어지는 클링커, 첨가제, 슬래그 등 시멘트 대체물의 분쇄;
- > 자가 발전을 위한 연료의 추가 사용 및
- > 자체 설비에서 이루어지는 연료 또는 석탄회(fly ash) 준비 또는 가공
- > **운영 경계**는 인벤토리에 포함되는 유형의 배출원들을 지칭하는데, 크게 직접 배출과 간접 배출로 구분된다:
- > **직접 배출**은 보고 업체가 소유 또는 통제하는 배출원으로부터의 배출을 말한다. 가령, 시멘트 킬른에서 연료가 연소되면서 나오는 배출은 업체가 그 킬른을 소유(또는 통제)할 경우 직접 배출이다. 자가 발전을 위해 추가 연료를 사용할 시의 배출도 직접 배출에 해당된다.
- > **간접 배출**은 보고 업체의 활동으로 인해 나오긴 하지만 해당 배출원을 다른 기업이 소유 또는 통제할 경우의 배출을 일컫는다. 가령, 시멘트 회사가 국가 전력망으로부터 전력을 공급받을 경우, 해당 전기의 발전 시 배출되는 양은 간접 배출일 수 있다.

본 프로토콜의 제 3장에는 시멘트 공장에서 발생하는 다양한 직접 배출원들에 대한 상세한 지침이 제시되고, 간접 배출은 제 4장에 설명되어 있다.

운영 경계에 대해서는 개정된 WRI/WBCSD 프로토콜¹에 정의되어 있는 스코프(Scope)의 개념을 생각해 보는 것이 도움이 된다.

- > **Scope 1** 배출은 회사가 소유 또는 통제하는 배출원으로부터 발생하는 직접 배출을 말한다. 가령, 직접 소유/통제하는 보일러, 로(furnace), 차량 등에서 연소가 이루어질 때 발생하는 배출이 해당된다. 바이오매스 연소 시 발생하는 CO₂ 직접 배출량은 Scope 1에 포함시키지 말고 별도로 보고해야 한다 (예: 메모 사항).
- > **Scope 2** 배출은 업체가 전력을 구매해서 자체 소유/통제하는 설비에서 소비할 때, 해당 전기의 발전 시에 발생한 간접 배출을 말한다. 매입 전력은 회사가 구매하거나 기타 다른 방식으로 회사의 조직 경계 안으로 들어온 전력을 말한다. Scope 2 배출의 물리적 발생 장소는 발전이 이루어지는 발전 시설이다.
- > **Scope 3**은 기타 다른 모든 간접 배출을 처리하기 위한 선택적 보고 카테고리이다. Scope 3배출은 업체 활동의 결과로써 나오지만 업체가 소유/통제하지 않는 배출원으로부터 발생하는 배출을 일컫는다. 그 예로는 매입 원료의 채광 및 생산, 매입 연료의 운송, 판매된 제품 및 서비스의 이용 등으로 인한 배출을 들 수 있다. 추가 예시는 ISO14064-1⁸, Annex B에 열거되어 있다.

개정된 WRI/WBCSD 프로토콜에서는 Scope 1과 2 배출량을 따로 산정해서 보고하도록 하고 있고, 검증도 Scope 1과 2를 모두 받도록 하고 있다. ‘시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜’에서도 이러한 보고 요건을 동일하게 적용하고 있지만 일부 차이점이 있는데 이는 9.4절에 요약되어 있다.



2 '시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜'의 원칙

온실가스 배출량 산정 및 보고의 원칙은 다음과 같다:

- > **목적부합성(Relevance)** : 온실가스 인벤토리는 업체의 온실가스 배출량을 적절하게 반영하여야 하며 업체 내, 외부 사용자들의 의사 결정 상의 니즈를 충족시켜야 한다.
- > **완전성(Completeness)** : 선정된 인벤토리 경계내의 온실가스 배출원과 활동 모두에 대해 배출량을 산정/보고해야 한다. 제외 부분은 밝히고 사유를 기재해야 한다.
- > **일관성(Consistency)** : 시간의 경과에 따른 배출량 비교를 할 수 있도록 일관된 방법론을 써야 한다. 시간의 경과에 따라 데이터, 인벤토리 경계, 산정 방법이나 기타 다른 관련 요소에 있어 변경된 부분들은 모두 투명하게 기록해야 한다.
- > **투명성(Transparency)** : 분명한 감사 증거(Audit trail)에 기반하여 모든 관련 사안들을 일관되게 사실대로 처리해야 한다. 관련 가정사항 및 적용한 산정 방법론/데이터 출처에 대해서도 적절히 밝혀야 한다.
- > **정확성(Accuracy)** : 온실가스 배출량의 산정 시 최대한 실제의 배출량 이상이나 이하가 되지 않도록 체계화하고, 불확도는 실질적으로 가능한 한 최소화해야 한다. 보고된 배출량 정보의 진실성에 대해 사용자가 합리적인 확신을 가지고 의사 결정을 할 수 있도록 충분한 정확성이 확보되어야 한다.

본 프로토콜은 WRI/WBCSD 프로토콜¹ 개정판과 일치하는 상기 원칙에 입각하여 제정되었다. 또 다음의 원칙들도 지향한다:

1. 공장, 업체, 그룹, 국가 및 국제 차원에서의 이중 산정(Double-counting)은 지양한다
2. 여러 배출 요인들에 대한 구분을 가능하게 한다 (기술 개선, 내, 외적 성장)
3. 배출량 보고를 원단위 기준 뿐만이 아니라 절대량으로도 할 수 있도록 한다.
4. CO₂ 직, 간접 배출량 감축분에 대해 모두 반영될 수 있도록 한다.
5. 다음과 같은 다양한 모니터링/보고 목적 별로 각각의 필요를 충족시킬 수 있는 유연한 도구를 제공한다: 내부적 환경 성과 관리, 공개적인 기업의 환경 보고, CO₂ 과세 제도 하에서의 보고, CO₂ 규제 준수 제도(자발적/ 협의된 합의, 배출권거래 제도)하에서의 보고, 업계 벤치마킹 및 제품 라이프사이클 분석.

산정법(Calculation) vs. 측정법(Measurement)

원칙적으로 한 시설의 온실가스 배출량은 산정이나 측정으로 파악할 수 있는데, '시멘트 CO₂·에너지 프로토콜' 제 3판에서는 (제 2판에서와 동일) 산정법을

적용한다. 산정법 하에서는 측정 시스템을 통해 얻은 투입량 또는 생산량 데이터와 실험실 분석을 통해 구한 추가 매개변수(발열 계수, 탄소 함량, 바이오매스 함량 등) 및/또는 표준 계수들을 기반으로 배출량을 결정하게 된다.

측정법에서는 배연 가스 안의 관련 온실 가스 농도와 배연 가스 유량을 연속 측정 방식으로 측정하여 배출원으로부터의 배출량을 파악한다.

전체적인 불확도는 각종 매개변수 결정 방식의 정확도에 따라 달라지게 되는데, 시멘트 업계는 연료량이나 생산량에 대해서는 오랜 기간 정확한 보고를 해왔고, 발열량과 같은 기존의 매개변수들에 대한 분석도 매우 정확하게 해낼 수 있다. 따라서 산정법으로 CO₂ 배출량을 파악할 경우, 불확도에 영향을 미치는 중요 인자는 샘플의 대표성으로 볼 수 있다. 함량 측정 기법의 정확성은 오랜 기간에 걸쳐 입증되었기 때문에, 역시 대표성 있는 샘플 채취가 핵심이 된다. 측정법 적용에 있어 제한 요소는 다음과 같다:

- > 체적 유량 측정의 정확도가 낮음.
- > (배출량) 저감 조치 평가가 불가능함.
- > 산정법과 측정법에 의해 파악된 데이터에 대한 비교 경험이 제한적임.

상기한 요인들로 인해 당분간은 산정법을 이용하는 것을 더 권장한다.



3 시멘트 제조 시의 온실가스 직접 배출

3.1 개요

직접 배출은 보고 업체가 소유/통제하는 배출원에서 발생하는 배출을 의미한다. 시멘트 공장의 경우 CO₂ 직접 배출이 이루어지는 배출원은 다음과 같다:

1. 탄산염 하소 및 원료에 함유된 유기 탄소의 연소;
2. 클링커 생산과 관련된 킬른 연료의 연소(3.7절 참조)
 - a. 기존의 킬른 화석 연료의 연소
 - b. 대체 화석 킬른 연료(화석계 대체 연료, 화석계 폐기물로 지칭되기도 함) 및 생물발생적 탄소(Biogenic carbon)가 함유되어 있는 혼합 연료의 연소
 - c. 바이오매스 연료 및 바이오 연료(바이오매스 폐기물 포함)의 연소

3. 비 킬른 연료의 연소(3.8절 참조):
 - a. 기존 화석연료의 연소
 - b. 대체 화석 연료(화석계 대체 연료, 화석계 폐기물로 지칭되기도 함) 및 생물발생적 탄소가 함유된 혼합 연료의 연소
 - c. 바이오매스 연료 및 바이오연료(바이오매스 폐기물 포함의 연소)
4. 자가 발전을 위한 연료 연소
5. 폐수에 함유된 탄소의 연소

표1 : CO₂직접 배출량 계산을 위한 매개변수 및 데이터 출처 제안. 연료의 CO₂ 기본 배출계수는 프로토콜 스프레드시트 참조.

배출 구성요소	매개변수	단위	매개변수 출처 제안
원료로부터의 CO₂: 원료 투입량 기반 방식(A1,A2)			
> 클링커 생산을 위해 소비된 원료의 하소	조합원료 소비량 킬른 투입 원료량 리턴 더스트 보정 조합원료의 CO ₂ 함량 또는 강열감량 (LOI)	톤 톤 질량분율 질량분율	계산 공장 단위 계측 공장 단위 계측 공장 단위 계측
> 더스트 하소	우회 더스트(Bypass dust)를 제외한 킬른 시스템에서 반출되는 더스트 더스트의 CO ₂ 함량 또는 강열감량 (LOI)	톤 질량분율	공장 단위 계측 공장 단위 계측
상세 투입량 방식(A2)			
> 우회 더스트의 부분적 하소	킬른 시스템에서 반출되는 우회 더스트 및 우회 더스트의 CO ₂ 함량	톤 질량분율	공장 단위 계측 공장 단위 계측
> 킬른 투입 원료에 포함되지 않는 추가 원료	추가 원료 추가 원료의 CO ₂ 함량	톤 질량분율	공장 단위 계측 공장 단위 계측
원료로부터의 CO₂: 클링커 생산량 기반 방식(B1, B2)			
> 클링커 생산에 소비된 원료의 하소	클링커 생산량 클링커 배출계수	톤 kg CO ₂ / t cli	공장 단위 측정 기본값: 525 ; 또는 상세 생산량 방식(B2)에 따른 계산값
> 더스트의 하소	킬른 시스템에서 반출되는 더스트 클링커 배출 계수	톤 kg CO ₂ / t cli	공장 단위 측정 기본값: 525 ; 또는 상세 생산량 방식(B2)에 따른 계산값
> 원료 상의 유기 탄소	더스트 하소 정도 클링커 생산량 조합원료: 클링커 비율 조합원료의 TOC (유기탄소) 함량	하소 분율 톤 cli 톤 / 톤 cli 질량 분율	공장 단위 측정 공장 단위 측정 기본값 = 1.55 : 조정 가능 기본값 = 0.2% : 조정 가능
상세 생산량 방식(B2)			
> 클링커 생산에 소비된 원료의 하소	클링커 안의 CaO + MgO	질량 분율	공장 단위 측정

t = 메트릭 톤, AF = 대체연료, cli = 클링커, TOC = 총유기탄소

배출 구성요소	매개변수	단위	매개변수 출처 제안
> 클링커 배출계수의 보정	원료의 비탄산염 소스로부터의 CaO + MgO 원료 중 규산 칼슘 + 마그네슘 소스 (예: 점토 광물의 일부)	질량 분율 톤 질량 분율 톤	공장 단위 측정 공장 단위 측정 공장 단위 측정(예: Rietveld refinement 방법의 QXRD) 공장 단위 측정
킬른 및 비킬른 연료 연소로부터의 CO₂			
> 기존 (화석) 연료	연료 소비량 저위발열량 배출 계수	톤 GJ /t 연료 t CO ₂ /GJ 연료	공장 단위 측정 공장 단위 측정 IPCC/CSI기본값 또는 측정치
> 대체 화석연료 (화석 대체연료) 및 혼합연료	연료 소비량 저위발열량 배출 계수 생물발생적 탄소 함량	톤 GJ /t 연료 t CO ₂ /GJ 연료 질량 분율	공장 단위 측정 공장 단위 측정 CSI기본값 또는 측정치 CSI기본값 또는 측정치
> 바이오매스 연료 (바이오매스 대체연료)	연료 소비량 저위발열량 배출 계수	톤 GJ /t 연료 t CO ₂ /GJ 연료	공장 단위 측정 공장 단위 측정 IPCC/CSI기본값 또는 측정치
> 연소된 폐수	-	-	CO ₂ 산정 의무화되지 않음

t = metric tonne, AF = Alternative fuels, cli = clinker, TOC = Total organic carbon, QXRD = Quantitative X-Ray Diffractometry

이러한 데이터에 대한 배출 계수, 공식 및 보고 방식은 본 장의 다음 절에 제시된다. 표 7은 관련 매개변수 및 데이터를 확보하는 방법에 대한 제안을 요약한 것이다. 스프레드시트의 입력 매개변수에 대한 상세한 정보는 인터넷 매뉴얼 (www.Cement-CO2-Energy-Protocol.org)에 나와있다. 일반적으로 업체는 필요한 매개변수에 대해 공장 단위로 측정하도록 권장된다. 공장 또는 업체 단위의 데이터를 얻을 수 없을 경우에는 국제 기본 계수 권고값을 이용해야 하지만, 국제 기본 계수보다 더 신뢰할만 하고 적절한 기타 기본 계수 (예: 국가 기본 계수)들이 있는 경우에는 이를 대신 쓸 수 있다. 원재료 하소로 발생하는 CO₂ 배출량의 보고 방식 선정을 위한 지침이 아래 절에 설명되어 있다.

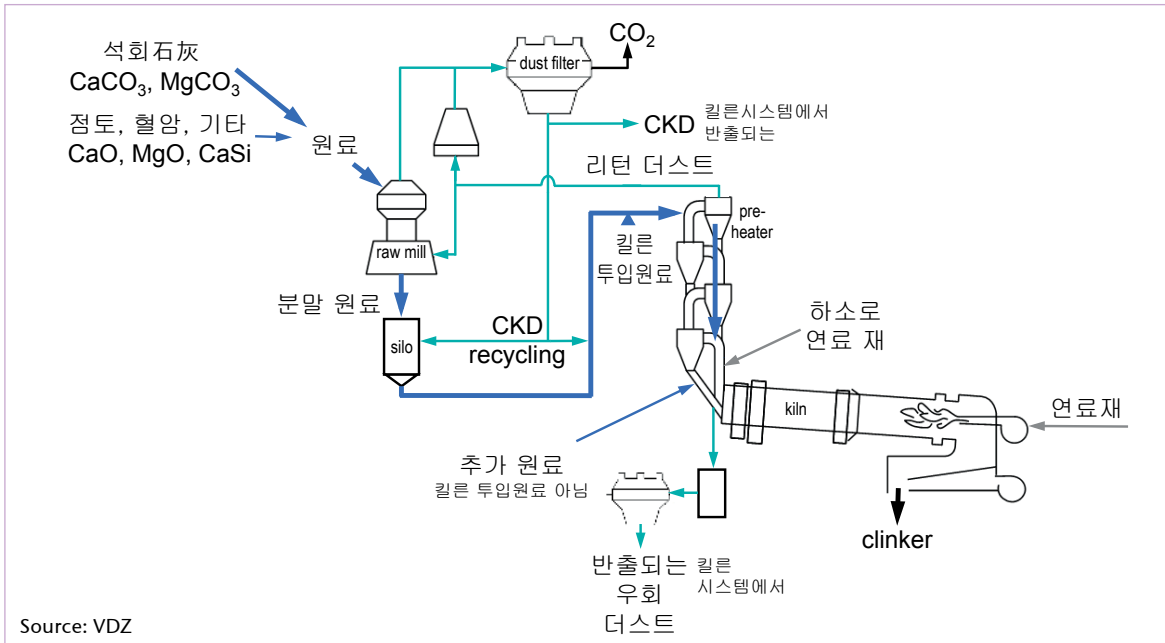
3.2 원료 하소로 인한 CO₂ 배출

하소는 분말 원료의 파이로프로세싱 (Pyroprocessing) 과정에서 탄산염으로부터 CO₂가 방출되는 현상이다. 하소 CO₂는 클링커 생산과 직접 관련된다. 또, CKD(시멘트 킬른 더스트)와 우회 더스트의 하소도 관련 CO₂ 배출원이 될 수 있는데, 이러한 더스트는 킬른 시스템에서 반출되어 판매되거나 시멘트/기타 제품에 첨가되거나 폐기물로 폐기된다.

아래 그림은 싸이클론 예열기가 있는 공장에서 주로 이루어지는 클링커 생산 공정 상의 관련 질량 흐름(Mass flow)을 보여주는 예시이다.

공장 단위의 하소 CO₂ 배출량의 계산은 기본적으로 두가지 방식으로 이루어진다. 소비된 분말 원료의 양(Volume) 및 탄산염 함량을 기준으로 하거나 (**투입량 방식**) 클링커 생산량, 조성 성분(**생산량 방식**) 및 킬른 시스템에서 반출되는 더스트를 기반으로 하는 방식이다. 클링커 기반 방식은

그림1 : Cyclone 예열기와 로터리 킬른이 있는 공장에서의 클링커 생산시 공정 상의 질량 흐름 예시



Source: VDZ

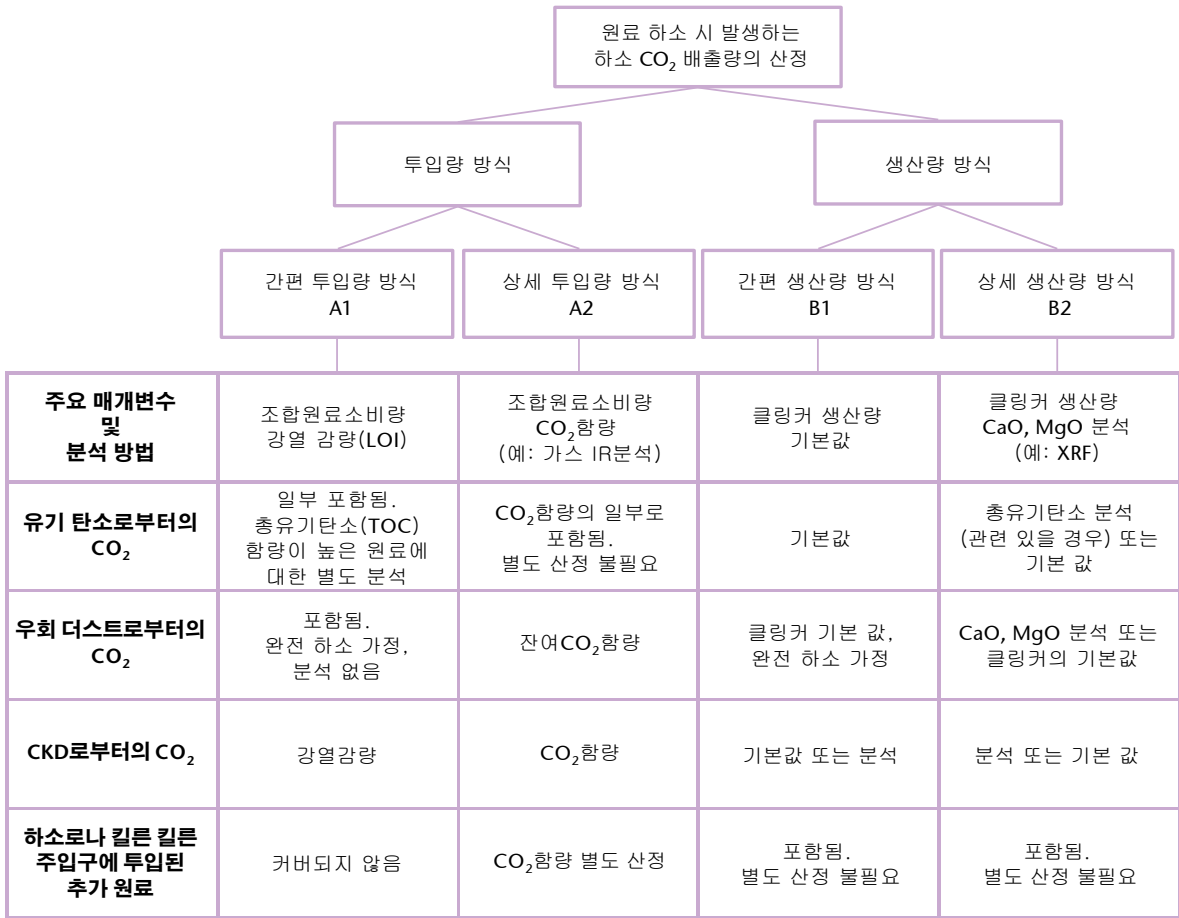
유럽에서 많이 쓰인다. 투입량 및 생산량 방식 둘 다 ‘2006년 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인⁴⁾(생산량 방식 Tier 1, 2 및 투입량 방식 Tier 3⁹⁾과 EU ETS의 ‘온실가스 배출량 모니터링 및 보고 가이드라인(MRG)⁵⁾(EU-DTS, 투입량 방식 A, 생산량 방식 B)에 포함되어 있다.

투입량, 생산량 방식은 이론 상 같다. WBCSD/CSI도 프로토콜 제 3판의 스프레드시트에 두 방식을 모두 포함시키기로 결정했고, 업체들은 조합원료 기반의 투입량 방식이나 클링커 기반 생산량 방식 중 선택해서 적용할 수 있다. 이 때 결정은 해당 데이터의 확보 가능 여부 및 질량 흐름(mass flows)의 계측 여부에 따라 해야 한다. 또, 스프레드시트를 보면 각 방식 별로 간편법과 상세법을 적용할 수 있게 되어있는데, 보고하는 배출량의 용도 및 데이터의 확보 가능 여부에 따라 결정하면 된다. 상세법은 필요 데이터에 대해 실질적으로 충분한 정확도를 가진 자료를 확보할 수 있는 경우 선호된다. 반면, 간편법은 CO_2 보고를 처음 시작하는 업체들을 위한 것으로서, 몇 년 동안 이 방식을 적용하면서 CO_2 배출량 보고, 적절한 계측, 측정치에 대한 품질 관리 등의 경험을 쌓은 후에는 가능한 한 모든 공장에서 상세법을 쓰는 것이 좋다. 어떤 방식을 쓰건 탄산염 함유 물질을 킬른에 직접 추가하거나, 더스트를 내부 재활용(recycling)하거나, 킬른

시스템에서 반출되는 더스트의 불완전 하소 시 발생할 수 있는 잠재적 예러 요인은 계산 시 잘 반영해야 한다. 스프레드시트 상의 질량 흐름, 조합원료 매개변수들, 킬른 투입 원료, CKD, 우회 더스트 및 클링커의 양은 모두 (습도 1% a미만의) 건조 상태를 기준으로 한다. 킬른 시스템 공정에서 측정 시 이러한 물질들의 잔여 수분은 통상적으로 미미한 수준이긴 하다.

연료 CO_2 배출량 보고시에는 킬른 시스템에 추가되는 연료 재(Fuel ashes)에 포함된 소량의 탄산염이 하소되면서 배출되는 CO_2 도 완전하게 반영되도록 해야 한다. 이를 위해 일반적으로 총 유기 탄소(TOC) 및 무기 탄소(TIC)를 포함하는 연료의 총 탄소량을 기준으로 연료의 CO_2 배출 계수를 결정한다. 총유기탄소 및 무기 탄소 함량이 모두 높은 물질들(예: 도시 하수 슬러지)은 연료 및/또는 원재료로 간주할 수 있는데, 그 어떤 경우에도 이들의 사용으로 인한 CO_2 배출량은 빠짐없이 계산되어야 한다.

그림2 : 원재료 하소로 인한 CO₂ 배출량 산정 방식 개요



3.3 투입량 방식(Input method) (A1) 및 (A2)

투입량 방식은 킬른 투입 원료량을 리턴 더스트로 보정하여 클링커 제조를 위한 조합원료 소비량을 산정하는 것이 기준이 된다. 두 방식(간편 투입량 방식A1 및 상세 투입량 방식 A2) 모두 다음을 산정한다.

- > 클링커 제조를 위한 원료 하소 시 나오는 CO₂ 배출량
- > 킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트 및 CKD 하소에 따른 CO₂ 배출량

스프레드시트 중 공장 시트와는 별도의 부속 시트에서 위에 필요한 계산을 할 수 있는데, 'CalcA1'이나 'CalcA2'시트 중 한 시트의 결과가 공장 시트의 입력값이 된다.

(1) **조합원료 소비량:** 킬른 시스템에서 배출되는 하소된 우회 더스트를 비롯하여 킬른에서 클링커 제조에 소비된 조합원료의 양은 공장 단위로 측정된 **킬른 원료 투입량**을 기준으로 산정한다. 투입량 방식에서는 킬른 투입 원료의 중량 측정이 주된 측정치가 되며, 보고 배출량의 최종 정확도를 결정하는 주 요인이 된다.

킬른 원료 투입량의 보정은 부속 시트CalcA1 이나 CalcA2에서 이루어진다. 가령 예열기에서 리턴되어 킬른 원료나 조합 원료 사일로(silo)에 재투입되거나, 킬른 시스템에서 배출되는 CKD 로써 폐기되는 더스트의 양을 차감하여 보정한다. 질량 흐름의 개념은 그림 1에서 설명하고 있다. 더스트 리턴율로 킬른 원료 투입량을 보정하면 재활용된 더스트가 이중 산정되지 않는다. 이 개념에 따라 킬른시스템에서 배출되는 CKD의 양 또한 리턴된 더스트의 일부로 산정해서 킬른 원료 투입량에서 빼주어야 한다. 원칙적으로 투입량 방식에서는 (해당될 경우) 킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트를 비롯하여 클링커 제조에 소비된 조합원료의 양을 계산한다.

킬른 투입 원료에 대한 더스트 리턴율은 공장 단위로 파악한다. 이를 위해 여러 방식을 적용할 수 있는데 통상적으로 쓰이는 두 가지 방식은 다음과 같다

- > 리턴된 더스트 양을 직접 계측(중량 측정)
- > 킬른 질량 수지(Mass balance)를 통해 더스트 리턴을 파악. 킬른 투입 원료 및 연료 재의 인풋 질량과 생산된 클링커 생산량, 조합원료의 강열감량, 킬른 시스템에서 배출되는 더스트(우회 더스트 등)로 계산한 아웃풋 질량을 비교하여 특정 기간 동안 더스트 싸이클로 리턴된 더스트의 질량을 산정할 수 있다. 이 방법의 예시는 인터넷에서 스프레드쉬트 이용 방법을 설명하는 매뉴얼에 제시되어 있다 (www.Cement-CO2-Protocol.org).

적용 방법이 무엇이건 충분히 정확한 더스트 리턴율 값을 얻어야 한다. 특정 기간 동안의 측정치를 사용할 경우, 해당 측정치는 그 기간 동안의 킬른 운전에 대한 대표성이 있어야 한다. 이러한 대표성을 확보하기 위해서는 통상적으로 해당 기간 동안의 시간의 경과에 따른 또는 킬른 운전 모드의 변경에 따른 더스트 리턴율의 변동을 반영할 수 있도록 여러 차례 측정을 반복해야 한다.

소비된 조합원료의 하소 시 **배출되는 CO₂량은 하소되지 않은 조합원료에 함유된 CO₂의 중량비를 곱하거나(상세 투입량 방식 A2) 강열감량(LOI)을(간편 투입량 방식 A1) 곱해서 산정한다.** 조합원료에 대한 해당 매개변수는 공장 단위로 정기적으로 측정해야 한다.

차이가 미미하고 조합원료에 대한 정기적 분석이 어려울 경우, 조합원료 매개변수 대신 킬른 투입 원료 샘플을 분석한 각종 매개 변수를 활용할 수도 있다. 예열기에서 리턴된 더스트의 하소율이 매우 낮거나(통상적으로 건식 공정과 싸이클론 예열기가 있는 킬른 시스템인 경우) 예열기에서 리턴되어 킬른 투입 원료로 재활용되는 양이 미량일 경우 이러한 차이가 미미하다.

- > 간편 투입량 방식(A1)에서 이렇게 매개변수를 대체 사용하기 위해서는 조합 원료 매개변수 대비 킬른 투입 원료로 계산한 매개변수의

차이가 1% 이하여야 하고 예열기로부터 리턴되는 더스트의 하소율(d)도 5% 이하여야 한다.

- > 상세 투입량 방식(A2)에서 매개변수를 대체 사용하려면 두 변수 간의 차이를 분석해서 CO₂ 배출량 보고가 완전하고 정확성과 실용성 측면에서 조합원료나 킬른 투입 원료 샘플로 파악된 매개변수를 사용 시 시스템적인 차이가 없음을 입증해야 한다.

클링커 생산에 쓰이는 원료에는 무기 탄산염 외에도 대개 소량의 유기 탄소가 포함되어 있어서 조합원료의 파이로프로세싱 (Pyroprocessing) 과정에서 대부분 CO₂로 전환된다. 이렇게 총 유기탄소 함량에서 배출되는 CO₂의 양도 투입량 방식에 따른 CO₂ 배출량 보고서 매개변수로 고려해야 한다.

상세 투입량 방식(A2)에서는 CO₂ 함량 측정을 통해 조합 원료와 기타 다른 추가 원료로부터 배출되는 CO₂의 양을 완전하게 파악해야 한다. 즉, 해당 물질들에 함유된 무기 탄소 및 유기 탄소로부터의 배출되는 CO₂를 모두 포함시켜야 한다는 의미이다. 가열로 완전 산화되는 샘플에서 방출되는 가스에 대한 총 탄소 분석이나 CO₂ IR분석을 실시하면 측정할 수 있다.

간편 투입량 방식(A1)에서는 **강열감량(LOI)**의 중량비로 탄산염의 하소에 따른 모든 CO₂배출량을 산정할 수 있다. 유기탄소 함량으로부터의 CO₂ 배출량은 보통 상대적으로 적는데, 이 또한 강열감량을 통해 부분적으로 파악할 수 있다. 반면 TOC(유기탄소함량)와 TOC에서 배출되는 탄소 및 이산화탄소 간의 질량 차이는 가열 단계에서 수증기로 배출되는 조합원료 샘플 안의 소량의 수분 중량보다 작은 경우가 많다. 이러한 중량 감소도 강열감량(LOI)으로 설명할 수 있다. 따라서 간편 투입량 방식으로 강열감량에 기반하여 배출량을 보고하면 대부분의 경우 소비된 조합원료의 하소 및 파이로프로세싱으로 인해 배출되는 CO₂의 총량을 비교적 정확하게 추산할 수 있다. 유기탄소 함량이 높은 원료가 사용되는 경우는 강열감량 측정 대신 상세 투입량 방식(A2)에서와 같이 총 유기탄소함량 (TOC)으로부터의 CO₂ 배출량을 포함하는 CO₂ 함량을 이용해야 한다. 이러한 방식은 가령

공장에서 유기탄소함량이 높은 혈암이나 석탄회 (Fly ash)를 킬른 투입 원료로 상당량 소비할 경우 필요할 수 있다. 또 어떤 경우에는 그러한 원료의 총 유기탄소함량을 별도의 '가상' 연료 성분으로 취급하는 것이 타당할 때도 있다. 즉, 원료를 원료 부분(광물/탄산염 부분)과 연료 부분(총유기탄소 함량 기준)으로 (하소 별로) 구별하게 된다는 의미이다.

(2) 킬른 시스템에서 반출되는 CKD (CKD leaving the kiln system)는 킬른 투입 원료로 다시 활용되지 않는 모든 더스트를 가리키는 것으로서, 직접 판매되거나 시멘트나 기타 제품에 첨가되거나 폐기물로 폐기된다. 본 시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜에서는 킬른 시스템에서 반출되는 CKD를 별도로 다루어지는 '우회 더스트(Bypass dust)'는 포함하지 않는 것으로 정의한다. 조합원료 소비량 산정 개념에 따라(상기 참조), 킬른 시스템에서 반출되는 CKD의 양은 리턴된 더스트의 일부로써 킬른 투입 원료 측정량에서 빼준다. 따라서 킬른 시스템에서 반출되는 CKD는 별도로 고려해야 한다. 건식 공정에서 CKD는 하소되지 않는 경우가 많지만, 반건식(semi-dry), 반습식(semi-wet) 및 습식 공정에서는 보통 부분 하소된 CKD가 반출되기 때문에 이에 따른 CO₂ 배출량도 산정해야 한다. 우회 더스트를 형성하게 되는 조합원료의 하소에 따른 CO₂ 배출량은 조합원료 소비량에 기준하소 CO₂

배출량으로 이미 산정된다. 따라서 킬른 시스템에서 반출되는 CKD로부터의 CO₂배출량은 해당 더스트의 양 및 공장 단위로 측정된 CKD의 CO₂ 함량이나 강열감량을 기준으로 산정한다. CKD와 미하소 분말원료의 CO₂함량이나 강열감량에 기반하여 CO₂배출 계수(EF_{CKD})를 투입량 방식A1, A2에 따라 다음과 같이 부속 시트에서 계산할 수 있는데, 해당 식은 다음과 같다:

$$\text{식 1 : } EF_{CKD} = \frac{fCO2_{RM} \times d}{1 - fCO2_{RM} \times d}$$

$$\text{식 2 : } d = 1 - \frac{fCO2_{CKD} \times (1 - fCO2_{RM})}{(1 - fCO2_{CKD}) \times fCO2_{RM}}$$

EF_{CKD} = 부분 하소된 CKD의 배출 계수 (t CO₂/t CKD)

$fCO2_{RM}$ = 조합 원료안의 탄산염 CO₂의 중량비

d = CKD 하소율(조합원료 안의 총 탄산염 CO₂대비 배출된 CO₂의 비율)

$fCO2_{CKD}$ = CKD안의 탄산염 CO₂의 중량비

간편 투입량 방식(A1)에서는 변수 $fCO2_{RM}$, $fCO2_{CKD}$ 가 각각 LOI_{RM} 및 LOI_{CKD} 로 대체된다(강열 감량의 중량비). CKD의 하소율 (d)은 가급적 각 공장별 데이터에 기반하는 것이 좋다. 해당 데이터가 없고 건식 킬른일 경우는 보통 공정 중에 CKD가 하소되지 않거나 하소되어도 미미한 양이기 때문에 0을 기본값으로 한다. 킬른이 그 외 종류일 경우 (반건식, 반습식 또는 습식) 하소율이 상당할 수 있다. 측정 데이터가 없을 경우, 이러한 유형의 킬른에 대해서는 기본값을 1로 한다. 이렇게 하면 대부분의 경우 CKD관련 배출량이 과대 계상되기 때문에 보수적인 접근이 된다. 식1과 식5는 각각 조합원료 분석 및 클링커의 CO₂ 배출 계수를 기반으로 하는데, 두 식 모두 계산 결과는 동일해진다. 식1,2,5에 대한 세부 사항은 부록3을 참조한다.

더스트 양에 대한 공장별 데이터가 없을 경우 폐기 더스트에서 배출되는 CO₂양에 대한 IPCC 기본값 (클링커 CO₂의 2%, 부록 4 참조)을 써야한다. 하지만 해당 양의 더스트가 킬른 시스템에서 반출되는 경우는 이 기본값이 너무 낮다는 점은 명심해야 한다. 따라서 당연히 공장이나 업체 고유의 데이터를 사용하는 것이 선호된다.

(3) 우회 더스트의 부분 하소: 일반적으로 킬른시스템에서 추출되는 우회 더스트는 모두 하소되고, 간편 투입량 방식(A1)에서도 이를 가정하고 있다. 하지만 특정 시설 유형에서는 우회 더스트가 부분 하소되기도 한다. 우회 더스트의 반출량과 하소율에 따라 원료 하소에 따른 배출량을 정확히 보고하기 위해서는 이러한 부분 하소도 고려해야 할 수 있다. 이 경우 상세 투입량 방식(A2)이 우선시되어야 하고, 킬른 시스템에서 반출되는 우회 더스트와 해당 더스트의 CO₂함량은 공장별로 측정해야 한다. 그 다음 킬른 시스템에서 반출되는 우회 더스트의 질량 흐름에 잔류하는 CO₂량을 소비된 조합원료 하소 시의 CO₂ 배출량에서 빼주면 우회 더스트의 미하소 분에 대한 보정이 이루어진다.

(4) 킬른투입 원료에 포함되지 않은 추가 원료: 추가 원료 고려를 위한 옵션은 상세 투입량 방식(A2)에 제시된다. 킬른 투입 원료에 포함되지 않은 원료를 (로터리 킬른 투입구에 직접 투입하는 등의 형태로) 추가하는 경우 단순 투입량 방식은 쓸 수 없다. 각 원료 별로 그 양과 CO₂ 함량(유기탄소 함량으로부터의 CO₂ 배출량을 포함)을 공장 별로 측정해야 한다. 이러한 원료의 유기탄소 함량이 높아서 배출계수로 연료분의 배출량을 추가로 보고했을 경우, 추가 원료에 대한 CO₂ 배출량 산정시 무기탄소 함량분에 한해 산정한다(TIC, 3.6절과 비교).

부속 시트 CalcA1 에 구현된 간편 투입량 방식(A1)에 따른 식:

식3 : 원료 CO₂ 배출량 =
 킬른원료 투입량 x(1- 리턴 더스트 보정)x LOI_{RM}
 + 킬른 시스템에서 배출되는CKD x EF_{CKD}

부속 시트 CalcA2에 구현된 상세 투입량 방식 (A2)에 따른 식:

식4 : 원료 CO₂ 배출량 = 킬른원료 투입량 x
 (1- dust return correction)x fCO_{2RM}
 + 킬른 시스템에서 배출되는 CKD x EF_{CKD}
 - 킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트
 x fCO_{2BypassD} + Σi (ARMi x fCO_{2ARMi})

식3, 4의 경우
 원료 CO₂ 배출량 = 원료로부터의 총 CO₂량 (t CO₂/yr), 공장 시트 39행 킬른원료 투입량 = 공장 별로 측정된 킬른 원료 투입량 (t/yr)
 리턴 더스트 보정 = 킬른원료 투입량 대비 리턴된 더스트의 비율

LOI_{RM} = 조합원료의 강열감량 중량 비율

fCO_{2RM} = 조합원료의 CO₂ 함량 중량 비율 (총유기탄소로부터의 CO₂ 배출량 포함)

킬른 시스템에서 배출되는 CKD: 킬른 시스템에서 배출되는 CKD의 양(t/yr)

EF_{CKD} = 부분 하소된 CKD의 CO₂ 배출 계수 (tCO₂/ t CKD)

킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트 = 킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트의 양 (t/yr)

fCO_{2RM} = 우회 더스트 안의 CO₂ 함량 중량 비율

ARMi = 킬른 투입 원료에 포함되지 않은 추가 원료의 양(t/yr)

fCO_{2ARM,i} = 추가 원료 i의 CO₂ 함량 중량 비율

투입량 방식 개념의 조정: 공장 내의 특정 물질의 흐름을 반영하거나 이에 대한 정확한 계상이 이루어지도록 하기 위해 투입량 방식의 개념을 조정해야 하는 특수한 경우도 있을 수 있다. 이 경우, 해당 조정은 공장 시트가 아닌 맞춤형 부속 시트에서 해야 하고, 조정 사항에 대해서는 설명과 관련된 물질 흐름들에 대한 개요를 제공해야 한다. 또한, 조정된 방법을 적용했을 때 원료의 완전/부분 하소 및 유기탄소 함량으로부터의 CO₂ 배출량에 대해 더 완전하고 정확하게 산정할 수 있음을 제시해야 한다.

3.4 생산량 방식 (B1) 및(B2)

클링커를 기준으로 생산량 방식을 적용하기 위해서는 다음과 같은 공장 고유 데이터를 사용해야 한다:

(1) 클링커 : 하소로 인한 CO₂ 배출량은 클링커 생산량과 클링커 1톤 당 배출 계수에 기반해 산출한다. 배출 계수는 클링커의 CaO 및 MgO 함량 측정치에 기반해 산정하는데, 클링커 안의 CaO 및 MgO중 탄산염에서 유래하지 않는 양에 대해서는 보정을 해준다. 규산 칼슘이나 석탄회가 킬른 투입 원료로 사용되는 경우 등이 해당된다.

클링커에 대한 배출 계수의 산정은 명료하게 문서화되어야 하는데, 스프레드시트에는 이를 위한 부속 시트가 포함되어 있다 (**상세 생산량 방식 B2, 부속 시트 CalcB2**). 상세 생산량 방식에서는 클링커의 CaO 및 MgO에 대한 분석과 그 중 탄산염 유래가 아닌 부분에 대한 보정을 통해 배출계수를 산정한다.

더 나은 데이터가 없을 경우, 525kg CO₂/클링커의 기본값을 사용한다 (**간편 생산량 방식B1**). 이 값은 IPCC 기본계수(510kg CO₂/t)를 전형적인 클링커의 MgO함량치로 보정한 값이다. 기본 배출계수에 대한 세부 사항은 부록 3을 참조하도록 한다. 간편 생산량 방식(B1)에 따른 **계산은 별도의 시트 없이** 공장 시트에서 할 수 있다.

(2) 더스트: 킬른 시스템에서 반출되는 우회 더스트나 CKD로부터 나오는 CO₂ 배출량은 해당 더스트의 양과 배출 계수를 기준으로 산정해야 한다. 이 때 더스트가 판매되는지, 시멘트에 첨가되는 지 혹은 폐기되는 지의 여부에 관계 없이 킬른 시스템에서 반출되는 전체 더스트의 양에 대해 산정이 이루어져야 한다.

우회 더스트는 대개 완전히 하소되기 때문에, 우회 더스트와 관련된 배출량은 클링커의 배출계수를 사용해 산정해야 한다.

우회 더스트와 달리 CKD는 대개 완전 하소되지 않는다. 따라서 CKD의 배출 계수는 식5에 따라 클링커의 배출 계수와 CKD의 하소율을 기반으로 결정한다. 이 식은 스프레드시트에 반영되어 있다.

$$\text{식 5: } EF_{CKD} = \frac{\frac{EF_{Cli}}{1 + EF_{Cli}} \times d}{1 - \frac{EF_{Cli}}{1 + EF_{Cli}} \times d}$$

EF_{CKD} = 부분 하소된 CKD의 배출 계수 (t CO₂/t CKD)

EF_{Cli} = 공장 고유의 클링커 배출 계수 (t CO₂/t 클링커)

d = CKD 하소율(조합원료 안의 총 탄산염 CO₂ 대비 배출된 CO₂의 분율)

CKD의 하소율(d)은 공장 고유 데이터를 기반으로 하는 것이 바람직하다. 고유 데이터가 없고 건식 공정일 경우에는 통상적으로 CKD가 하소되지 않거나 미미한 양만 하소되기 때문에 d 의 기본 값을 0으로 한다. 타 공정의 경우(반건식, 반습식 또는 습식)는 하소율이 상당할 수 있다. 공장 고유값이 없을 경우 d 의 기본값은 1로 해야 하는데, 이 경우

대부분 CKD관련 배출량이 과대 계상되고 따라서 1은 보수적인 값이라 할 수 있다. 식 7은 조합원료 분석에, 식 5는 클링커의 CO₂배출계수에 기반하고 있는데, 두 식에 따른 산정값은 동일해진다. 하소율 d 와 식 1,2,5에 대한 세부 사항은 부록 3을 참조하도록 한다.

해당 공장의 더스트 양 데이터가 없는 경우는 폐기 더스트로부터의 CO₂양에 대한 IPCC기본값(클링커 CO₂의 2%, 부록 3 참조)을 사용한다. 단, 해당량의 더스트가 킬른 시스템에서 반출되는 경우는 이 기본값이 너무 낮다는 점에는 유의해야 한다. 따라서 공장이나 회사 고유의 데이터를 쓰는 것이 바람직하다.

(3) 원료 중의 유기탄소로부터의 CO₂ 배출: 클링커 제조에 사용되는 원료는 무기 탄산염외에 통상적으로 소량의 유기 탄소를 포함하고있는데, 이러한 유기 탄소는 대부분 조합원료의파이로프로세싱 공정에서 CO₂로 전환된다. 원료의 총 유기탄소 함량은 장소나 사용 원료의 종류에 따라 상당한 차이가 날 수 있다.

CSI 태스크포스가 정리한 데이터에 의하면 조합원료의 전형적인 유기탄소함유율은 약0.1 - 0.3% (건조 중량 기준)이다. 이 수치는 클링커 1톤당 약 10kg의 CO₂ 배출량에 상응하는 것으로, 원료의 하소와 킬른 연료의 연소에 따른 CO₂ 배출량을 합산한 통상적인 배출량의 약 1%에 해당된다¹⁰.

원료중의 유기탄소로부터 배출되는 CO₂양은 인벤토리의 완전성을 확보하기 위해 산정해서 보고해야 한다(8.3절 「중요성 기준」 참조). 하지만 전체 배출량에서 차지하는 비중은 작기 때문에 스프레드시트 상에서 클링커 생산량에다음의 기본값들을 곱해서 계산하는 간편식이 구현되어 있다:

- > 조합원료/클링커 비율 기본값: 1.55
- > 조합원료의 유기탄소 함량 기본값: 2 kg / 조합원료1톤 (건조 중량, 0.2%에 상응)

총 유기탄소(TOC) 함량 기본 계수는 전 세계 시멘트 공장의 다양한 원료들에 대해 100회 이상

분석한 결과를 수집, 종합해 검토되었고, CSI의 ‘기후 보호 태스크포스’는 데이터의 분석을 통해 0.2%의 기본 계수를 확정하였다.

유기 탄소로부터의 배출이 특히 중요한 상황의 업체가 아닌 한, 일반적인 시멘트 업체에 대해서는 유기탄소로부터의 배출량에 대한 추가 분석이 요구되지 않는다. 하지만 가령 총 유기탄소 함량이 높은 혈암이나 석탄회를 킬른 투입 원료로 많이 쓰는 업체의 경우는 추가 분석이 필요할 수도 있다. 또한 킬른 시스템에서 배출되는 더스트의 양이 이 기본값 산정에 자동 반영되지는 않는다는 점은 유의해야 한다.

상당량의 더스트를 만들어내는 업체가 유기탄소 관련 배출량을 더 자세히 분석하고자 한다면, 공장 고유의 분말원료/클링커 비율을 입력해야 한다. 공장 고유의 분말원료/클링커 비율에는 사용된 연료의 재(ash) 함량은 제외해야 이중 계산을 막을 수 있다. 가령, 탄소 함량이 높은 석탄회에 대해 연료로써 산정할 경우(발열량 또는 CO₂배출계수 할당) 그 안의 재 함량은 조합원료에 함유된 총유기탄소로부터의 배출량 산정을 위해 사용하는 분말원료/클링커 비율에는 포함시키지 말아야 한다.

공장 시트에 구현된 생산량 방식 B1, B2의 산정식:
 식 6: 원료 CO₂ = 클링커 생산량 × EF_{cli} / 1000 + 킬른시스템에서 배출되는 우회 더스트 × EF_{cli} / 1000 + 킬른 시스템에서 배출되는 CKD × EF_{CKD} + 조합원료 소비량 × fTOC_{RM} × 3,664

조합원료 소비량은 다음 식으로 산정한다.
 식 7: 조합원료 소비량 = 클링커양 × 조합원료/클링커 비율
 식 6,7의 경우:

원료 CO₂ = 원료로부터의 총 CO₂ 배출량(CO₂ t/년), 공장 시트 39행

클링커 = 공장 별로 측정된 클링커 생산량(t/yr)

EF_{cli} = 클링커의 CO₂ 배출 계수(kg-CO₂/클링커 t);
 간편 생산량 방식(B1) : 기본값 = 525 kg-CO₂/클링커 t
 상세 생산량 방식(B2) : 부속 시트 CalcB2로 산정

킬른시스템에서 배출되는 우회 더스트 = 킬른 시스템에서 배출되는 우회 더스트의 양(t/yr)

킬른시스템에서 배출되는 CKD = 킬른 시스템에서 배출되는 CKD의 양 (t/yr)

EF_{CKD} = 식5에 따라 산정된 부분하소된 CKD의 CO₂ 배출 계수 (t-CO₂/CKD t)

조합원료 소비량 = 클링커 제조와 우회 더스트를 위해 소비된 조합원료의 양 (t/yr)

fTOC_{RM} = 조합원료 안의 총 유기탄소의 중량 분율; 기본값 = 0.2%

조합원료/클링커 비율 = 조합원료/클링커의 질량비 (클링커 생산 당 조합원료 소비량), 연료 회분(Fuel ashes) 및 킬른시스템에서 배출되는 더스트의 추가 여부를 파악해 산정해야 함. 기본값 = 1.55

3.5 재래 연료로부터의 CO₂ 배출

재래 연료는 석탄, 석유코크스(Petcoke), 연료유, 천연가스 등의 화석연료를 말한다. 화석 연료로부터의 CO₂배출량 산정에 선호되는 방식은(대체 연료나 비킬른 연료에 대해서도 마찬가지임. 3.6, 3.8절 참조) 연료 사용량, 저위발열량 및 각 연료의 CO₂배출 계수를 기반으로 하는 방식이다.

연료 소비량과 연료의 저위발열량(LHV혹은 순발열량 NCV)은 각 공장에서 정기적으로 측정된다. 산정 시 적용하는 발열량 값은 항상 연료의 상태를 반영하는 값이어야 한다(특히, 중량 측정 시의 정확한 수분 함량 등(원탄 또는 건조 석탄 여부 등)). 대개 저위발열량은 건조 상태의 샘플로 결정한다. 따라서 수분 함량에 대한 보정을 해서 건조 상태 샘플의 질량 값을 소비 또는 계량 시점의 원래 연료내 수분 함량을 반영하도록 보정한다.

또, CO₂ 배출 계수도 정확한 값을 기준으로 해야 한다. 이 때 저위발열량(LHV)에 따른 열량이 기준이 되어야 하는데, 고위발열량(HHV 또는 GCV)을 저위발열량으로 변환하기 위해서는 2006 IPCC 가이드라인 4 (Vol. II, Section 1.4.1.2, Box 1.1)에 제시된 식을 적용할 수 있다.

저발열량GJ당 기본 배출계수는 프로토콜 스프레드시트에 제시되어 있는데, 석탄, 연료유, 천연 가스의 기본배출계수는 1996년 IPCC에 근거한다. 따라서 2006 IPCC 가이드라인 (Vol. II, Section 1.4.2.1, Table 1.4, Section 2.3)의 기본배출계수와는 약간의 차이가 있다. 1996년 IPCC의 기본계수에 기반한 과거 데이터는 재산정하지 말고 2011년 보고부터는 2006년 IPCC의 기본계수를 적용해야 하는데, 모두 스프레드시트에 제시되어 있다. 석유 코크스에 대한 기본배출계수는 CSI태스크 포스가 정리한 분석에 기반한다(세부 사항은 부록 4 참조).

신뢰성있는 데이터가 있다면 업체는 해당 공장 또는 국가 고유의 배출 계수를 쓰도록 권장된다. 연료의 배출 계수는 총탄소함량에 기반해야 한다. 무기탄소(TIC)가 상당량 함유된 연료에 대해 총 유기탄소 함량(TOC)에 기반한 보고를 하려면, 무기탄소 함량으로부터의 CO₂ 배출량을 원료 하소에 따른 CO₂ 배출로 추가 보고해야 한다. 연료 소비량(톤)과 연료의 탄소 함량(%)을 기준으로 직접 배출량을 산정할 수도 있는데, 이 경우 연료의 조성 편차와 특히 수분 함유량에 대한 적절한 고려가 이루어진다는 전제가 있어야 한다.

일반적으로 IPCC에서는 화석 연료의 불완전 연소 부분도 고려할 것을 권장하고 있다. 하지만 탄소는 통상 99% ~ 100% 산화가 이루어진다¹¹. 시멘트 킬른에서는 고온의 연소 온도와 긴 체류 시간으로 인해 불완전 산화는 미미한 수준이고, 클링커에 남는 잔류 탄소는 없거나 아주 미량이다. 따라서 킬른 연료 안의 탄소는 완전 산화되는 것으로 간주한다. 연료의 CO₂ 배출 계수는 항상 총탄소함량(TC)에 기반해 결정해야 한다.

3.6 대체 연료, 혼합 연료 및 바이오매스 연료로부터의 CO₂ 배출

시멘트 업계는 점점 더 다양한 대체 연료(AF)를 이용하고 있는데, 이러한 연료들은 대개 폐기물에서 유래한 것들로서, 연료로 이용되지 않을 경우 매립이나 소각 등의 방법으로 처분하게 되는 것들이다. 대체 연료는 재래 화석 연료를 대체하게 되고 폐유, 폐플라스틱 등의 화석연료계 대체

연료와 폐목재, 하수 슬러지 등의 바이오매스계 대체 연료로 구분된다.

1996년 및 2006년 IPCC 가이드라인에서는 국가 온실가스 인벤토리 작성 시 다음 사항을 요구하고 있다:

- > **바이오매스 연료로부터의 CO₂ 배출**은 단기간에 바이오매스의 재생장으로 보상받을 수 있기 때문에 기후중립적인 것으로 간주한다. 배출원이 바이오매스 연료인 경우 '메모 사항 (Memo item)'으로 보고해야 하지만 국가 총 배출량에서는 제한다. 바이오매스는 지속적인 수확이 이루어져야만 진정한 의미의 기후중립이 되는데, 이는 국가 인벤토리의 「토지 이용의 변경과 삼림관리」에서 삼림 고갈로 인한 CO₂ 배출량을 보고하는 부분에 반영되어 있다.
- > **반면, 화석연료계 폐기물로부터의 CO₂ (대체 화석 연료 또는 화석 대체연료로도 지칭됨)**는 기후중립적인 것으로 연역되지는 않는다. IPCC 가이드라인에 따르면 산업 폐기물의 에너지 전환으로 인한 온실가스 배출량은 국가 인벤토리에서 '에너지' 배출원의 배출 항목에 보고되고, 기존 폐기물 처리(매립, 소각)로 인한 온실가스 배출량은 '폐기물 관리' 항목으로 보고된다.
- > **바이오매스와 화석 부분이 섞인 혼합 연료로부터의 CO₂**: 바이오연료가 화석 연료와 함께 연소될 경우 (전처리된 산업 및/또는 생활 폐기물 등) 연료의 화석 부분과 비화석 부분을 구분해서 각각 적절한 배출계수를 적용해야 한다(IPCC 2006, Vol. II, Section 2.3.3.4).

IPCC나 WRI/WBCSD의 가이드 라인과의 일관성을 위해서는 시멘트 공장에서 대체 연료 연소로 인해 직접 발생하는 CO₂ 배출량을 투명하게 보고할 필요가 있다. 따라서, 본 프로토콜에서는 다음과 같은 보고를 요구하고 있다:

- > 바이오매스(바이오매스 연료, 바이오매스 폐기물, 혼합 연료 중 바이오매스 부분)의 연소로 인한 CO₂ 직접 배출량은 「메모 사항」으로 보고하되 총 배출량에서는 제해야 한다.

기타 신뢰할 수 있는 배출 계수가 없을 경우¹². IPCC의 고품 바이오매스에 대한 기본 배출 계수(110 kg CO₂/ GJ)를 이용한다. 이 값은 여러 고품 바이오연료들의 배출계수 값 범위에 속하는 수치로써, IPCC 2006(Vol. II, Section 1.4.2.1)에서 기본 배출계수로 정하고 있다.

- > 화석 대체 연료와 혼합 연료 중 화석 연료 부분의 연소로 인한 직접 CO₂ 배출량은 산정해서 CO₂ 직접배출량('총 배출량' 및 '자가 발전으로 인한 CO₂ 배출량을 포함하는 총 배출량')에 포함시켜야 한다. CO₂배출 계수는 사용된 대체 연료나 혼합 연료의 종류에 따라 달라지므로, 가능하면 공장 단위의 수치를 쓰는 것이 좋다. 하지만 공장 또는 업체 고유의 데이터가 없을 경우 스프레드시트에 제시된 기본 배출계수를 써야 하는데, 이 기본 계수는 CSI 태스크포스가 측정, 추산치를 종합해서 정한 것이다.
- > 대체 연료의 사용으로 인한 간접적인 온실가스 배출량 감소분은 본 프로토콜에서는 '순 배출량'에 반영된다. 순 배출량의 정의가 프로토콜 2판에서 3판으로 개정되면서 변경되었는데, 해당 용어의 정의는 제5장에 기술되어 있다. 제 3판에서 순배출량의 정의는 1판 때의 원래 정의로 되돌아갔다.
- > 기타 간접적인 온실가스 절감분 또는 배출권 획득으로 인한 수치(balance)는 별도로 산정한다. 이 부분과 관련하여 제 2판에 제시되었던 옵션은 제 3판에서는 삭제되었다.

일반적으로 모든 연료의 CO₂배출 계수는 총탄소함량(TC)을 기반으로 해당 연료의 사용으로 인한 전체 CO₂ 배출량을 나타낼 수 있는 것이어야 한다.

페타이어, 함침 톱밥과 같은 일부 대체 연료의 경우 화석과 바이오매스 탄소를 모두 포함하고 있다. 이러한 연료들은 혼합 연료로 간주하여 화석 부분과 바이오 부분의 CO₂ 배출량을 구분해야 한다. 이를 위해서는 국제 기준(예를 들면 EN15440)에 따라 연료의 전체 탄소 함량에서 생물발생적 탄소(Biogenic carbon)의 비중을 파악해야 한다.

일부 유형의 연료에서는 이 비중을 측정하기가 어렵고 비용이 많이 들 뿐 아니라 일정하지 않을 수 있다. 이 경우, 업체들은 생물발생적 탄소 함량을 보수적으로 보는 것이 좋는데 이는 결국 그 양을 과대평가하지 말아야 한다는 뜻이다. 생물발생적 탄소 함량에 대해 신뢰할만한 정보가 없을 경우, 정확한 데이터를 얻기 전까지는 화석 탄소 함량을 100%로 가정해야 한다.

함유된 회분이 클링커 질량에 상당 부분 기여하고 총 무기탄소 함량이 높은 연료의 경우도 총 유기탄소함량(TOC)에 기반한 CO₂ 배출계수를 적용해 연료로써 보고할 수 있다. 이 경우와 투입량에 기반해 원료로부터의 CO₂ 배출량을 보고할 때에는(3.3절), 총무기탄소 함량으로부터의 CO₂ 배출량을 추가로 보고해야 한다⁹. 그러기 위해서는 상세 투입량 방식(A2)과 킬른투입원료에 포함되지 않는 추가 원료에 대한 보고 옵션을 이용해야 한다. 원료의 유기탄소로부터 나오는 CO₂ 배출량이 이미 연료로써 보고되는 경우, 추가 원료에 대한 CO₂ 함량은 남아있는 무기탄소 함유량 부분만을 반영하여 총 탄소함량으로부터의 CO₂ 배출량이 보고되도록 해야 한다(3.3 (4)절과 비교).

3.7 킬른 연료(Kiln fuels)로부터의 CO₂

본 프로토콜에서 언급하는 킬른 연료는 킬른 시스템에 투입되는 모든 연료와 원료의 건조 및 가공에 사용되는 연료 또는 기타 킬른 연료들을 통칭한다. 본 정의에는 킬른의 주 연소 시스템에 투입되는 연료, 하소로에 추가되거나 킬른 주입구로 직접 주입되는 연료가 포함된다. 본 프로토콜은 이러한 연료들에 대해 잠재적인 폐열 발전 여부에 관계 없이 모두 킬른 연료로 간주한다. 또한 연료 가열(클링커 제조에 사용되는 중유의 가열 등)에 쓰이는 연료도 킬른 연료로써 보고해야 한다. 시멘트 분쇄에 사용되는 광물질 분말(MIC: Mineral components)의 건조에 쓰이는 연료와 킬른 시스템과는 별도의 설비에서 발전에 쓰이는 연료는 비킬른 연료(Non-kiln fuels)로써 보고해야 한다.

클링커 제조에 따른 CO₂ 배출 및 에너지 소비 원단위는 원료 및 연료 준비용을 포함하는 킬른

연료의 사용량에 따라 결정된다. 프로토콜 제 2 판에서는 원료 건조와 광물질 분말용으로 사용된 연료는 모두 '비킬른 연료' 항목으로 보고되었다. 하지만, 한편으로는 연료를 쓰면서도 원료 건조 및 연료용으로 폐열도 쓰는 공장들과의 공평한 비교를 위하여, 제 3판에서는 이러한 연료들도 '킬른 연료'로 구분하였다. 이러한 변화로 인해 제2판에서 제 3판으로 넘어가면서 성과 지표(KPI, 제6장과 부록 9)가 갑자기 바뀌게 되는데, 대부분의 공장에서는 그 영향이 크지 않다.

3.8 비킬른 연료(Non-kiln fuels)로부터의 CO₂

개요

비킬른 연료는 킬른 연료의 정의(3.7절)에 포함되지 않는 모든 연료를 지칭한다.

예를 들어 다음 용도의 연료들이 포함된다.

- > 장 및 채석장 차량용
- > 내 난방용
- > 시멘트 분쇄에 쓰이는 광물질분말의 준비에 쓰이는 열처리 장비용(드라이어 등)

> 도의 자가발전 시설용

시멘트 업체는 현장에서 연소되는 비킬른 연료로부터의 CO₂ 배출량을 완전하게 보고해야 하는데, 이러한 배출량은 스프레드시트에서 다음과 같이 산정한다:

- > 비킬른연료로부터의 CO₂배출량은 배출량 집계 상의 유연성을 확보하기 위해 용도 별로 구분해서 보고한다. 스프레드시트에서는 용도를 다음과 같이 구별한다:

- 기기 및 현장 차량용
- 실내 난방용
- 슬래그, 화산회(Pozzolana) 등의 광물질 분말 건조용
- 별도 보일러에서의 자가 발전용

클링커 제조용 원료 및 킬른 연료의 건조에 쓰이는 연료를 '킬른 연료' 항목으로 다루는 것에 주의한다.

- > 회사 소유 차량에 의한 장외 수송으로 발생하는 CO₂는 현재 스프레드시트에 포함되어있지 않다 (세부 사항은 하단 참조)
- > 비킬른연료 안의 탄소는 완전 산화되는 것으로 가정하고 가령 매연이나 재에 잔존하는 탄소에 대해서는 고려하지 않는데, 이로 인해 과대 계상되는 배출량은 통상적으로 미량에 불과하다 (약 1% 정도)¹¹. 비킬른연료 안의 탄소 중 불완전 산화 부분도 파악하고자 하는 업체는 WRI/WBCSD 의 연료 고정 연소를 위한 틀에 따라 산정해야 한다.

또한 본 프로토콜에 따른 완전한 보고를 위해 반드시 커버해야 하는 절차 단계가 나와있는 9.2 절의 표8을 참조한다.

실측한 공장 고유의 저위발열량이 있을 경우반드시 그 값을 사용하고, 없는 경우는 IPCC나CSI의 기본값을 적용할 수 있다. 같은 연료가 킬른 연료, 비킬른 연료로 모두 사용될 경우 보고를 위해 적용하는 CO₂ 배출 계수는 동일한 값이어야 하고, 아니면 해당 공장에 대해 측정된 배출 계수를 사용해야 한다. 이에 대한 대안으로 IPCC나 CSI의 기본계수를 적용할 수도 있다.

수송(Transport)에 의한 CO₂배출

타 제조업과 마찬가지로, 시멘트 제조업에서도 원료나 연료의 공급 및 제품(클링커, 시멘트, 콘크리트)의 유통을 위해서는 수송이 필요하다. 클링커를 타 사업장에 옮겨서 분쇄하는 경우도 있다. 운송 형태에는 컨베이어 벨트, 철도, 선박 및 도로 수송 등이 있는데, 이러한 수송을 제 3의 독립 업체가 행할 경우 수송으로 인한 배출량은 간접배출로 간주할 수 있다. 간접 배출에 대한 세부 사항은 제 4장을 참조한다.

그림3은 시멘트 제조에 관련되는 수송 유형 분류를 제시하고 있다. 본 프로토콜에서는 업체들에 대해 자사 차량(리스 차량 포함)으로 이루어진 장내 수송의 에너지 사용량 및 관련 배출량을 산정하도록 요구하고 있다. 채석장 차량의 연료 사용이나 컨베이어 벨트의 전력 사용 등을 그 예로 들 수 있다. 자가 발전된 전력일 경우를 제외하고, 전력 소비와 관련된 배출은 간접 배출로 다루게 됨에 유의하도록 한다.

한편, 본 프로토콜에서는 다음의 수송 유형으로 인한 배출량에 대해서는 산정을 요하지 않는다:

- > 제 3자에 의한 장내 수송(보고 업체가 소유 또는 관리하지 않는 차량에 의한 수송 등)
- > 회사 소유 차량 또는 제 3차 차량에 의한 것인지의 여부에 관계 없이 사업장 외에서의 모든 수송(연료, 중간제품, 완제품 등의 수송).

하지만, 장외 수송에 의한 배출량을 완전히 배제하게 되면 WRI/WBCSD가 정한 소유 또는 통제하는 모든 배출원으로부터의 배출량 보고 요건에는 부합되지 않는다는 점은 유의해야 한다. WRI / WBCSD의 요구사항을 준수하고자 하는 업체는 자사가 소유, 관리하는 차량에 의한 수송일 경우 장내, 장외 수송 여부에 관계없이 모두 배출량을 보고해야 한다.

3.9 폐수로부터의 CO₂ 배출

시멘트 공장에 따라 질소 산화물을 억제하기 위해 감열소염제로 폐수를 킬른에 투입하는 경우도 있는데, 폐수에 포함된 탄소는 CO₂로 배출된다. 그러나 폐수 이용과 관련된 CO₂ 배출량은 대개 소량이고 계량이 어렵기 때문에 본 프로토콜에서는 보고를 요하지 않고 있다:

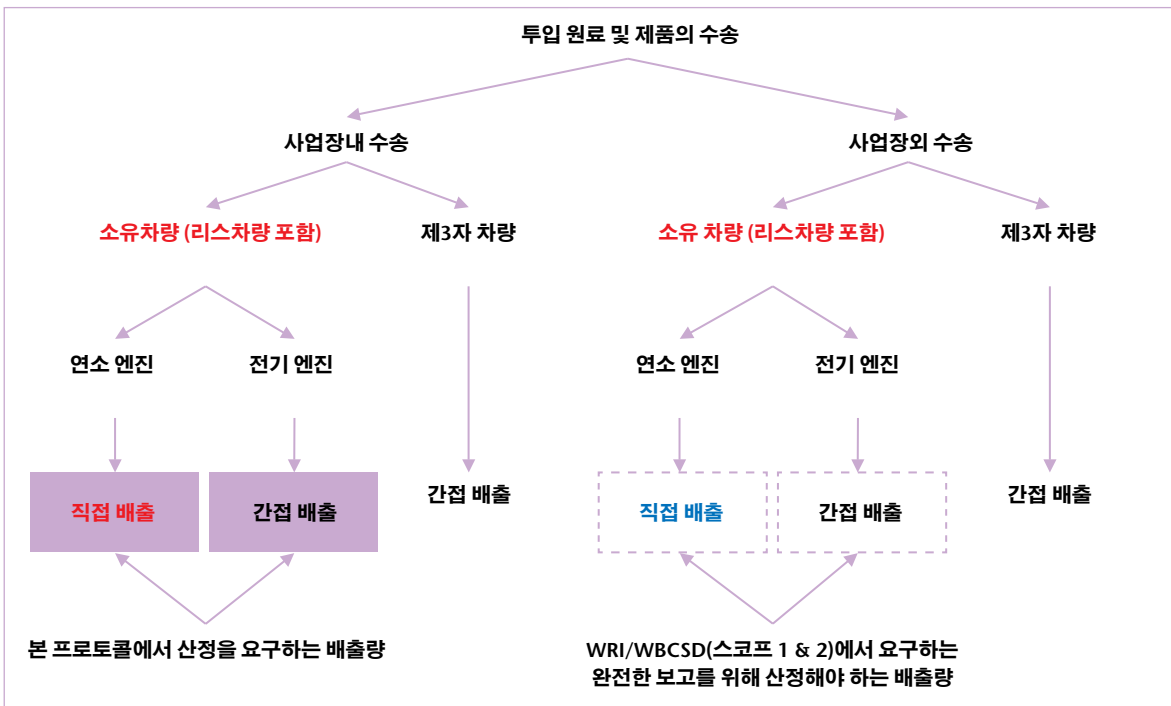
- > 대부분의 시멘트 공장에서는 폐수를 이용하지 않는다;
- > 폐수를 사용하는 공장의 경우도 폐수에 함유된 탄소에 의한 배출량은 대개 공장 전체 CO₂ 배출량의 1% 미만이다;¹³
- > 또한 폐수에 포함된 탄소는 바이오매스계(하수등)일 수 있는데, 이 경우 '메모 사항'에만 해당된다.

이 부분을 보고하지 않더라도 업체는 폐수 이용이 자사의 전체 CO₂ 배출량에 미치는 영향이 중대하지 않음을 제시할 대비는 하고 있어야 한다.

3.10 CO₂이외의 온실가스

킬른 내의 연소 온도는 고온이기 때문에 시멘트 킬른에서 배출되는 메탄(CH₄)의 양은 매우 적다. 일반적으로 CH₄의 배출량은 CO₂환산 기준으로 킬른 CO₂ 배출량의 약0.01%이다¹⁴. 마찬가지로 CSI 태스크포스가 종합한 데이터에 따르면 시멘트 킬른에서 나오는 질소산화물(N₂O) 배출량도 대개 소량에 불과한데 이 데이터는 현재 그 범위가 한정적이어서 일반화된 결론을 도출할 수는

표3 : 유형 및 본 프로토콜에서의 해당 범위에 따른 수송 분류



없다¹⁵. 교토 의정서의 대상인 다른 온실가스(CFC, HFC, SF₆)는 시멘트 제조업에서는 해당되지 않는 것으로 밝혀졌다.

본 프로토콜에서는 시멘트 업체에 CO₂ 외에 킬른에서 나오는 타 온실가스의 배출량에 대해서는 산정을 요하지 않고 있다. 시멘트 제조에 있어서는 이러한 가스들이 상대적으로 미량일 뿐 아니라, 주된 이유는 현재 시멘트 산업에 적용되는 대부분의 자발적, 의무적 보고 제도들이 CO₂만을 보고하도록 하고 있기 때문이다.

하지만 비킬른연료(건조기, 자가 발전 등)의 고정 연소로 인해 CH₄와 N₂O가 배출될 수 있다. 요구될 경우, 해당 배출량은 WRI/WBCSD의 연료 고정 연소를 위한 산정 틀을 이용해 보고해야 한다 (www.ghgprotocol.org 참조)



4 온실가스 간접배출

온실가스 간접배출은 보고 업체의 활동의 결과이지만 타 업체가 소유 또는 통제하는 배출원에서 발생한 배출을 의미한다. 시멘트 제조와 관련된 간접 배출은 다양한 배출원에서 발생한다. 다음 배출원으로부터의 CO₂배출을 주된 예로 들 수 있다:

- > 시멘트 제조사가 소비하는 전력의 외부에서의 발전;
- > 자체 생산분과 함께 분쇄되는 타사에서 구매된 클링커의 제조;
- > 제 3자에 의한 재래/대체 연료의 생산 및 가공;
- > 제 3자에 의한 투입물(원료, 연료) 및 생산물(시멘트, 클링커)의 수송

간접 배출량 데이터는 한 산업 전체의 탄소 풋프린트를 평가하는데 유용하다. 이를 위해 시멘트 업체들은 상기한 4종류의 간접배출 중 2가지에 대해서는 산정, 보고해야 한다:

- > **업체 외부에서의 발전으로 인한 CO₂ 배출량은** 공급받은 전력량 측정치와 (가급적) 전력 공급자로부터 입수한 배출 계수에 근거해 산정하는 것이 바람직하다. 이 배출 계수를 얻을 수 없을 때에는 국가 전력망에 대한 정부 데이터를 이용하는 것이 좋다. 두 가지 데이터가 다 없는 경우, 해당 국가의 평균 배출 계수를 쓸 수도 있다. 이러한 계수는 매년 업데이트되는 국제에너지기구(IEA) 데이터에

기반한다(최신판은 www.ghgprotocol.org/standard/tools.Htm 참조). WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜 개정판에서는 (제4장 및 부록A) 송배전 과정에서 손실된 전기(송배전 손실)와 관련된 배출량은 산정에 포함하지 않는 것으로 하고 있다. 제3판에서는 전력의 사용, 폐열 회수나 별도 발전설비를 통한 자가 발전, 전력 구매 및 판매 과정 등에서 발생하는 배출량 및 배출권(Credits)에 대해 보다 상세하게 보고할 수 있도록 하고 있다. 즉, '전력 수지(Power balance)'절이 포함되어 전력의 소스(매입 전력, 자가 발전)와 전력 사용 경로 - 시멘트 제조용, 발전 부대시설의 전력 소비(발전소의 총발전량과 순발전량 간의 차이), 외판 전력 - 에 따른 구분을 하고 있다. 시멘트 제조 설비 외의 공장 내부 설비에 공급되는 전력은 외판 전력과 동일하게 취급해야 한다.

- > 구매 클링커의 제조 시 발생하는 CO₂ 배출량은 보고 업체의 클링커 순 이송량(클링커 구매량 - 클링커 판매량 + 클링커 내부 이송량)과 클링커의 배출계수를 기반으로 산정해야 한다. 업체 내에서 공장 간 클링커 이송이 이루어질 경우는 보내는 공장의 실제 배출계수를 적용해야 한다. 클링커를 외부에서 구매하는 경우 통상적으로 실제 배출계수를 구할 수 없는데, 이 경우에는 GNR 웹사이트의 기본계수를 적용한다(<http://wbcscement.org/>, Getting Numbers Right, GNR 참조). 사이트의 기본계수는 CSI가 정기적으로 업데이트한다. 일차적으로 해당 국가나 지역의 기본값이 있을 경우 그 값을 우선 사용해야 하고, 차선책으로는 세계 평균값을 사용할 수도 있다.

제3판에서는 (제2판과 다름) 클링커 이송(시멘트 및 광물질 분말의 이송도 마찬가지로)의 이송산정이 자동적으로 고려된다(업체 내부 이송 관련 세부사항은 7.4절을 참조). 기본배출계수 865kg CO₂/클링커t은 클링커 순구매량으로부터의 간접배출량 산정에만 적용해야 하는 점에 유의한다. 클링커 구매량보다 판매량이 더 많은 업체의 경우, 클링커 구입 수지와 이에 따른 배출량은 (-)값이 되는데, 이는 결국 해당 업체의 클링커 판매가 간접적으로 타 시멘트 공장에서의 배출량 감소에

도움이 되었다는 의미이다. 위의 기본배출계수는 보고업체의 총/순 직접 배출량 산정에는 적용하지 말아야 한다.

이러한 형태의 간접 배출량 산정법은 표 2에 정리되어 있다. 본 트로토콜에서는 기타 간접 배출량의 산정은 요구하지 않고있다. 특히 수송 관련 간접 배출의 경우도 산정 보고가 필요하지 않다 (세부 사항은 3.8절 참조)。

표2 : 본 프로토콜에 따라 보고해야 하는 CO₂ 간접 배출량 산정을 위한 매개변수 및 데이터 소스

배출원	매개변수	단위	매개변수 출처
업체 외부에서의 발전으로 발생하는 CO ₂ 배출량 (간접배출)	외부 전력망의로터의 전력 구매량 송배전 로스를 제외한 배출 계수	GWh t CO ₂ /GWh	공장 단위로 측정 전력 공급업체 고유값 또는 국가 전력망에 대한 계수
구매 클링커로부터의 CO ₂ 배출량 (간접 배출)	클링커 순구매량 배출 계수	t cli t CO ₂ /t cli	공장 단위로 측정(클링커 구매량 - 클링커 판매량 + 클링커 내부 이송량) 기본 계수(GNR 데이터베이스)

클링커나 시멘트를 대체하는 광물질분말의 생산으로 인한 CO₂ 배출량은 타 산업 공정으로 인한 배출일 경우, 시멘트 업종의 간접 배출량으로

간주되지 않는다. 특히, 철강 산업에서 만들어지는 슬래그와 발전소에서 만들어지는 석탄회가 이에 해당한다.



5 CO₂ 총(Gross) 배출량 및 순(Net) 배출량

5.1 개요

2001년 발행된 시멘트 CO₂프로토콜 제 1판에서는 총 배출량(대체 화석연료 포함) 및 순배출량(대체 화석연료 제외)을 각각 보고하도록 해서 대체 연료 및 원료의 사용을 통한 간접적인 온실가스 배출 감축으로 얻은 배출권(credit)에 대해서도 보고할 수 있도록 하였다.

제2판에서는 ‘총배출량’과 ‘순배출량’의 정의가 바뀌었다: ‘배출 오프셋분(Emission offsets)’이나 ‘배출권(Emission rights)’을 ‘순배출’로써 뺀 ‘배출 수지(Emission balance)’값을 보고할 수 있는 옵션이 포함되었다. 하지만, 제2판 운용 결과 CSI업체 대부분은 배출 수지 개념을 사용하지 않았고, 따라서 제 1판의 ‘순배출량’의 개념이 다시 복원되게 되었다.

시멘트 제조에서는 재래 화석 연료나 광물 대신 폐기물을 쓸 수 있다. 회수된 폐기물은 대체 연료 및 원료가 되는데, 폐기물을 사용하면 재래 연료로부터의 CO₂ 직접 배출량은 줄지만 동시에 폐기물(폐기물의 에너지로의 전환)에서 CO₂ 직접배출이 발생한다. 폐기물 연소에 따른 CO₂ 직접배출량은 대체된 배출량보다 많을 수도 적을 수도 있는데, 이는 해당 연료의 배출계수에 따라 달라진다. 또 폐기물 자체도 화석 유래일 수도 바이오매스계일 수도 있다.

이러한 직접적 영향 외에도 대체 연료/원료를 사용하게 되면 원래대로 폐기물이 매립지 및 소각장에서 처분되었을 경우의 배출이 이루어지지 않기 때문에 간접적으로도 배출량을 줄이는 효과가 있다. 지역 상황에 따라 다르지만 (폐기물의 종류, 폐기 경로 등) 이렇게 감축되는 양은 시멘트

공장에서의 폐기물 연소에 따른 CO₂ 직접 배출량을 부분적으로 또는 완전히 혹은 그 이상 상쇄시킬 수도 있다.

따라서 본 프로토콜에서는 다음 지표들을 정의하고 있다:

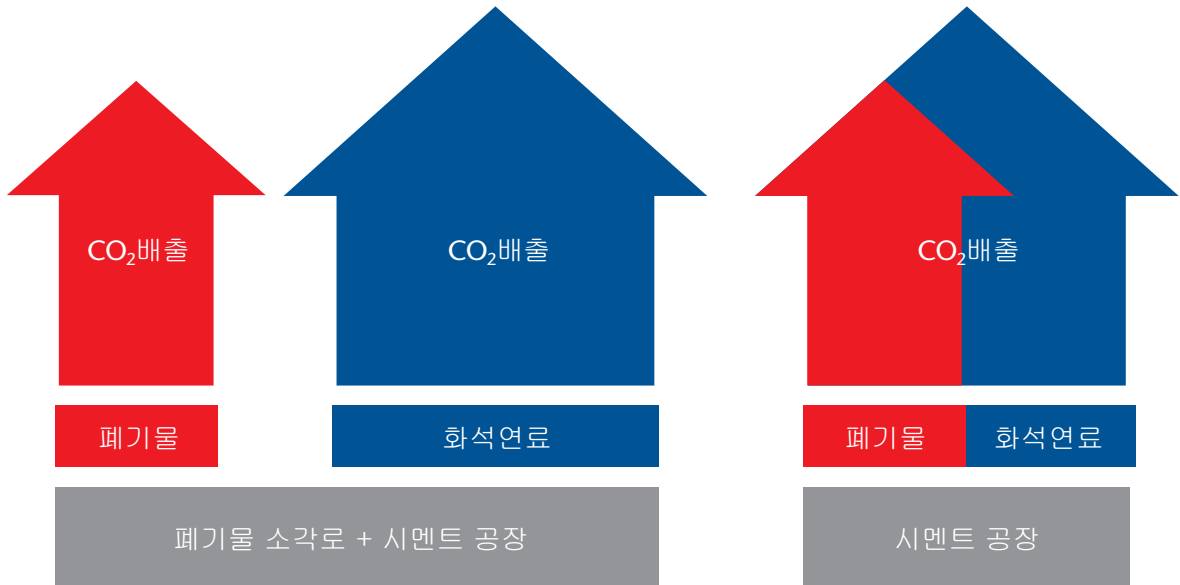
총배출량(Gross Emissions)은 화석계 폐기물로부터의 CO₂배출을 포함하여(메모 사항으로 다루어지는 바이오매스계 폐기물로부터의 CO₂ 배출량은 제외) 시멘트 공장이나 업체에서 발생하는 총 CO₂ 직접 배출량을 말한다. 간접적인 온실가스 절감으로 발생하는 배출권(Credits)은 대체연료/원료의 이용에 따른 폐기물 처리장에서의 온실가스 감축분을 반영한다. 실제 감축량은 대개 정확한 파악이 어렵기 때문에 배출권 부여 대상 절감분에 대해서는 ‘정확한’ 온실가스 영향 평가보다는 어느 정도는 관례에 따라 합의되어야 할 것이다.

순배출량(Net Emissions)은 총 배출량에서 간접적 온실가스 감축에 따른 배출권을 뺀 개념이다. 가능한 한 대체연료/원료 사용에 따른 배출권 보고 시에는 지역 상황(국가적 합의, 현지 대체 연료/원료 사용에 대한 라이프 사이클 분석 등)을 최대한 고려해야 한다. 제 3자에 보고 시에는 배출권에 대한 근거자료를 제공하고 적절한 검증을 받아야 한다. 본 프로토콜에서는 기본적으로 간접적 절감에 따른 배출권은 화석계 대체 연료/원료로부터의 CO₂ 직접 배출량과 동일하다고 가정한다. 본 프로토콜에서 제시하는 위 방법은 대체연료/원료 이슈를 단순화한 것이긴 하다. 하지만 중기적으로 볼 때 총/순 배출량의 공개를 통해 투명성을 달성하면서도 가장 덜 부담스럽고 실용적인 방식이기도 하다.

대체연료/원료에 대한 더 자세한 취급 방식은 아직 국제적으로 합의되지 않았다. 본 프로토콜의 주목적은 시멘트 업체들이 자사 조직 경계 내에서의 활동에 따른 직접 배출 및 화석계 CO₂ 배출량을 완전하게 보고하도록 하는데 있다. 세계적으로 자가 발전을 하는 시멘트 공장이 증가하고 있는데(특히 아시아 지역), 총 배출량 및 순 배출량의 정의에는 이러한 현황도 반영되어야 한다. 한편으로는 기본 원칙으로써 발전에 따른 배출 등을 포함한 모든

배출원으로부터의 절대적 배출량이 보고되어야 한다. 하지만 또 한편 자가 발전을 하는 시멘트 공장과 하지 않는 공장을 공정하게 비교하기 위해서는 (별도의) 발전으로부터의 배출량을 제외해야만 가능하다. 따라서 원칙적 수치로서의 직접 배출량은 '자가 발전에 따른 CO₂를 포함한 총 CO₂ 절대 배출량'이 된다. 또한, 특정 성과 지표의 도출을 위한 기준으로써의 '총 CO₂ 절대 배출량 (Absolute Gross CO₂)'은 자가 발전에 따른 CO₂

표4: 시멘트 공장에서 폐기물을 대체 연료로 사용함에 따른 간접적인 CO₂ 배출 감축분



배출량을 제하는 것으로 조정한다. 따라서, 원단위 지표는 시멘트 제조에 국한된 부분만을 나타낸다.

총 CO₂ 절대 배출량 및 순 CO₂ 절대 배출량의 정의를 위한 틀은 아래 부분에 제시된다.

5.2 총 CO₂ 배출량

자가 발전에 따른 CO₂를 포함하는 총 CO₂ 절대 배출량은 해당 기간 동안 시멘트 공장이나 업체에서 발생하는 총 화석 및 직접 CO₂ 배출량을 말한다. 총 배출량에는 대체 화석 연료로부터의 CO₂ 배출량은 포함되지만 바이오매스 연료와 혼합 연료의 바이오매스분으로부터의 CO₂ 배출은 기후중립적인 것으로 간주되기 때문에 포함되지 않는다. 바이오매스로부터의 CO₂ 배출과 간접배출은 배출 보고서에서 통상적으로 「메모 사항」으로 다뤄진다.

표3: “자가 발전에 따른 CO₂를 포함하는 총 배출량”으로 보고되어야 하는 배출원

배출원

원료로부터의 CO₂
 + 재래 화석연료로부터의 CO₂
 + 대체 화석연료(화석 폐기물)로부터의 CO₂
 + 혼합 (대체) 연료의 화석계 탄소로부터의 CO₂ 배출(모든 킬른 연료 및 자가 발전으로부터의 CO₂를 포함하는 모든 비킬른 연료를 커버함)

= 총 직접배출량

메모 사항

바이오매스 연료로부터의 CO₂
 혼합(대체) 연료의 생물발생적 탄소로부터의 CO₂

간접 CO₂ 배출량(구매 전력 및 클링커)

‘총 CO₂ 절대 배출량(Absolute gross CO₂ emissions)’은 시멘트 공장이나 업체에서 해당 기간 동안 배출되는 화석 및 직접 CO₂배출량(자가 발전 부분 제외)을 말한다. 총 배출량에는 대체 화석 연료로부터의 CO₂배출량은 포함되지만 바이오매스 연료와 혼합연료의 바이오매스 함량에서 발생하는 CO₂는 기후 중립적인 것으로 간주되기 때문에 포함되지 않는다. 킬른 시스템이 아닌 별도의 시설에서 킬른시스템에서 나온 폐열외의 다른 연료 에너지를 이용해 자가 발전을 하는 경우 배출되는 CO₂도 총 배출량에는 포함되지 않는데, 이는 대부분의 시멘트 공장에서는 외부로부터 전력을 들여오고 이는 간접배출과 관련되기 때문이다. 바이오매스로부터의 CO₂배출 및 간접 배출은 배출 보고서에서 ‘메모 사항’으로 다루어진다.

표4 : “총 배출량”항목에 포함되어 보고되어야 하는 배출원

배출원
원료로부터의 CO ₂ + 재래 화석 킬른 연료로부터의 CO ₂ + 대체 화석 킬른 연료로부터의 (화석계 폐기물) CO ₂ + 혼합(대체) 킬른 연료 및 비킬른 연료(자가 발전 제외)의 화석계 탄소로부터의 CO ₂ + 자가발전으로부터의 CO ₂ 를 제외한 비킬른 연료로부터의 CO ₂
= 총 CO₂ 배출량 = (자가발전으로부터의 CO₂를 제외한) 직접 배출량

메모 사항
바이오매스 연료로부터의 CO ₂ 혼합(대체)연료의 생물발생적 탄소로부터의 CO ₂
CO ₂ 간접 배출(구매 전력 및 클링커)

프로토콜 제3판에서 메모 사항으로 보고되는 CO₂ 간접배출량에는 자가발전으로부터의 CO₂ 직접 배출량은 포함되지 않는 점에 주의해야 한다.

연료에 함유된 바이오매스로부터의 CO₂ 배출량 산정

시멘트 CO₂ 프로토콜 제 2판에서는 순수 화석 연료 또는 순수 바이오매스 연료에 대한 보고

만이 가능했다. 혼합 산업 폐기물이나 페타이어 등 바이오매스 및 화석 탄소가 다 포함되어 있는 연료에 대해서는 분리해서 산정할 수 없었다. 제3판에서는 혼합 연료에 함유된 생물발생적 탄소에서 나오는 CO₂ 배출은 총 배출량에 포함시키지 않는다. 따라서 제 3판의 스프레드시트에는 혼합 연료의 바이오매스 부분에 대한 보고를 할 수 있는 추가 부분이 제공된다. 이러한 연료의 바이오매스 부분에서 배출되는 CO₂는 순수 바이오매스 연료로부터의 CO₂와 합산되어 메모 사항으로 보고되고, 총 CO₂ 배출량의 산정 시에는 차감된다. 이러한 연료의 바이오매스 함량에 대한 기본값은 페타이어(27%)에 대해서만 제시되고있다. ‘기후 보호’ 태스크포스의 타 폐기물 연료에 대한 평가에 따르면, 바이오매스 함량은 변동폭이 너무 크기 때문에 대표성있는 기본값을 제시할 수 없다고 한다.

5.3 폐기물의 대체 연료로의 활용에 따른 CO₂ 순배출량 및 간접 배출량의 감축

시멘트 산업에서는 연료 및/또는 원료로 사용하기 위해 폐기물 물질들을 대량 회수한다. 이렇게 회수된 폐기물도 본 프로토콜에서는 ‘대체 연료(AF)’로 지칭하는데, 이러한 대체 연료를 활용해 시멘트 업체들은 기존 화석 연료의 소비량을 줄이고 동시에 폐기물에 대한 매립이나 소각 처리가 일어나지 않도록 도울 수 있다.

대체 연료의 사용을 늘이면 시멘트 업체의 CO₂ 직접 배출량이 달라질 수 있는데, 이는 대체연료의 배출계수와 대체된 연료의 배출계수가 다를 수 있기 때문이다. 또한, 대체 연료 안의 탄소는 화석 유래일 수도 바이오매스 유래일 수도 있다. 전술한 바와 같이 시멘트 산업의 대체 연료 사용은 매립이나 소각으로 인한 온실가스 배출을 줄여주는 경우가 많다. 대체 연료를 화석 연료 대신 사용하는 것은 직접 배출량에 영향을 미치고 간접적으로 배출량을 감축시키며 자원 효율을 향상시키기 때문에 세계의 온실가스 배출량을 줄이는 효과적인 방법이 된다(IEA1998, CSI/ECRA2009 and WBCSD/IEA2009 등 참조).

화석 연료 기반의 대체 연료(‘화석계 대체연료’ 또는 ‘대체 화석연료’로도 지칭됨)에서 나오는

CO₂배출량의 보고 관련 요구사항은 제도에 따라 상당한 차이가 있다. 5.1절에 제시된 수지 계산법 (Balance sheet approach)을 따르면 여러 제도 하에서 완전하고 철저하며 투명한 보고를 할 수 있다.

- > 화석계 대체연료의 연소로 인한 CO₂직접 배출량은 3.6절에 따라 항상 업체의 총 배출량에 포함되어야 한다.

본 프로토콜에는 아래 소개한 개념에 따라 대체 연료 사용에 의해 간접적으로 감축된 배출량을 보고할 수 있는 틀이 제공된다:

- > 매립지나 소각장에서의 간접적 온실가스 배출 감축량은 대체 연료의 화석유래분으로부터의 CO₂ 배출량을 차감하여 산정한다.
- > 도출되는 순배출량(총 배출량 - 대체 화석연료로부터의 배출량)은 본 보고 제도의 규정에 따른 배출량을 반영한다.

‘시멘트 CO₂ · 에너지 프로토콜’ 제 3판에서는 업체의 CO₂ 순배출량 지표로 다음과 같이 정의한다:

순 배출량은 총 배출량에서 대체 화석 연료로부터의 CO₂ 배출량을 뺀 것이다.

$$CO_2\text{순배출량} = CO_2\text{총배출량} - \text{대체 연료의 화석유래분 } CO_2 \text{ 배출량}$$

여기에 정의된 순배출량은 업체의 ‘순 탄소 풋프린트’를 나타내는 것으로, 자사의 직접 배출량과 폐기물 소각이나 매립의 필요가 없어짐에 따른 간접적인 배출 감축량을 반영하는 수치이다. 5.1절에 언급된 바 대로, 이 방법에서 화석계 대체 연료로부터의 CO₂ 배출량만큼 차감하는 것은 차선적인 방법으로, 실제(알려지지 않음) 감축분은 이보다 더 높거나 낮을 수 있다. 순배출량 보고 요건은 9.2절을 참조한다.

세계 일부 시멘트 업체들은 대체 화석 연료 사용이 세계적으로 배출량 감소에 기여한다는 전제 하에 (가령, 화석계 및 바이오매스계 대체 연료로부터의 CO₂는 사실상 기후중립적인 것으로 간주) 그룹 차원의 자발적 CO₂ 감축 목표를 정하고 있기도

하다. 이러한 업체들은 CO₂ 순배출량과 총 배출량을 비교해서 화석계 대체연료로부터의 CO₂ 배출량에 상응하는 배출권(credit)을 산정할 수 있다. 이 업체들은 총배출량과 순배출량을 다 보고하기 때문에 정보의 투명성은 완전하게 확보된다.

마지막 예와 관련하여 WBCSD/CSI는 화석계 대체연료의 사용에 대한 ‘기본(default)’ 배출권은 업체의 자발적 환경 보고 목적으로만 적용할 것을 강조하고 있다. 법제화된 제도 하에 보고 시에는, 대체 연료와 관련된 해당 제도의 조항을 따라야 한다. 자발적 환경 보고에 대한 상세한 지침은 9장에 제시된다.

5.4 기타 간접적인 배출량 감축

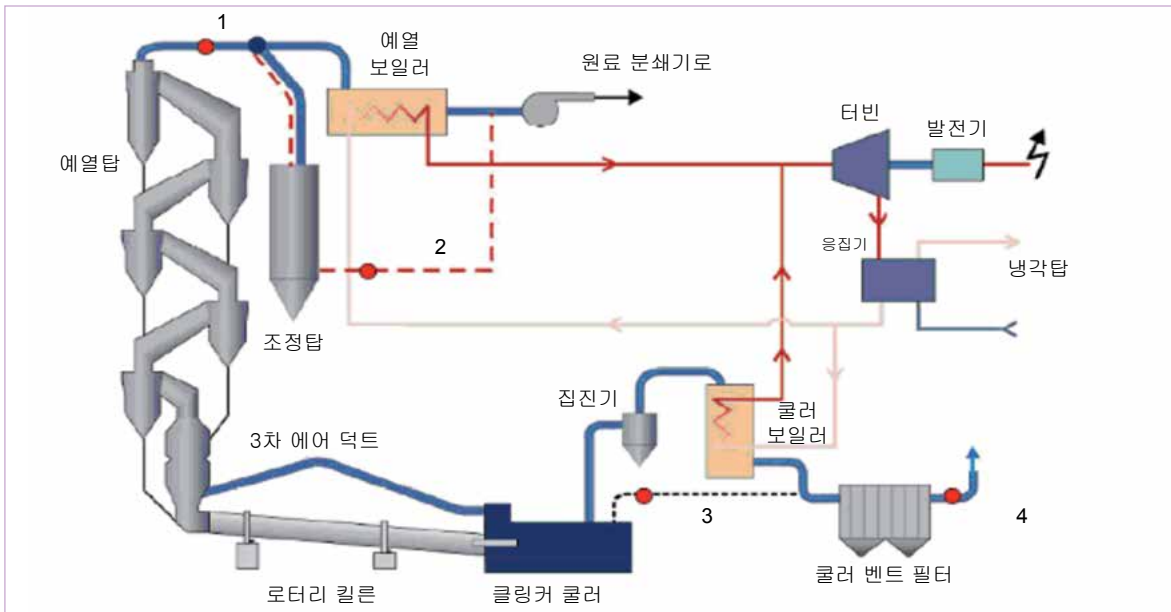
폐 에너지 이용

일부 시멘트 공장에서는 기존 에너지원의 대체를 위해 폐열을 외부 소비자에 공급한다. 대체 연료 사용에 따른 간접적 효과와 마찬가지로, 시멘트 업체는 폐열 공급에 따른 간접적인 온실가스 배출 감축량을 프로토콜 범주 밖의 별도 계산을 통해 산정할 수도 있는데, 이는 해당 보고 제도의 규정상 인정될 경우에 한한다. 폐열 공급에 따른 배출권은 업체의 CO₂ 순배출량이나 총 배출량에 영향을 미쳐서는 안되는데, 본 프로토콜상 이러한 배출량은 열의 생산과 관련된 CO₂ 직접 배출량 (자가발전 포함 경우와 제외 경우 모두)을 반영하는 것으로 정의된다.

비슷한 배출권을 다른 형태의 폐 에너지 이용에 적용할 수도 있는데, 이에 따라 제 3판에서는 공장 내에서의 폐열 활용(원료나 슬래그의 건조 활용)을 자발적으로 보고할 수 있도록 하여 폐열을 외부 공급하는 공장과 내부에서 활용하는 공장들 간의 공정한 비교를 가능케하였다. 이러한 계산은 프로토콜의 스프레드시트와는 별도로 해야 하며 GJ/a단위의 총 에너지 양을 넣을 수 있는데, 보고는 자발적으로 하게 된다.

한편, 프로토콜 제 3판에서는 킬른시스템에서 나오는 폐열을 이용하여 발전할 때 (그림 5), 킬른시스템에서 추가로 사용되는 연료는 킬른연료로 간주하고 해당 배출량을 킬른 시스템으로부터의 CO₂ 직접 배출량으로 산정한다. 보다 상세한

표5 : 시멘트 공장에서의 폐열 회수 및 발전 개념도 1 예열기로부터의 가스, 2 예열 보일러 우회(Bypass), 3 쿨러 보일러 우회, 4 쿨러 에어



정보를 위해 제 3판에서는 폐열 회수와 자가발전을 구분하고 있는데, 어떤 경우에 있어서도 자발적 보고로 이러한 배출권(Credits)을 적용할 때에는 이러한 활동들이 실제 세계의 온실가스 감축에 기여하는 것인지 아니면 단순히 배출량이 업체들 사이에서 이동되는 것인지를 고려해야 한다. 예를 들어, 만약 시멘트 업체가 화석 연료(폐열이 아님)로 자가발전을 했을 경우, 발전 기술이 크게 다르지 않은 이상 동일량의 전력을 외부에서 조달했을 경우와 비교해서 세계 배출량에 미치는 영향은 실질적으로 같을 것이다. 따라서 이 경우는 시멘트 업체의 발전에 대한 배출권 설정이 적절한 것인지 의문시된다.

CO₂ 흡수원(CO₂ Sink)으로써의 시멘트 재탄산화

콘크리트는 타설 후 양생 과정에서 대기로부터 CO₂를 재흡수하지만, 흡수되는 양은 시멘트 생산 과정에서 배출된 양에 비하면 적다16. CO₂ 흡수는 콘크리트 제품의 수명 기간 동안 더 이루어지지만 그 속도는 매우 느리다. 콘크리트의 재탄산화에 관해 발표된 문헌을 정리한 최근의 연구(ECRA 2008)에 따르면:

CO₂ 흡수량은 콘크리트의 적용 방식 및 재탄산화 화학 반응에 영향을 미치는 매개변수들에 따라 달라진다. 단일한 하나의 결과를 도출하기는 어렵지만, 대략 다음 사항은 일반적으로 해당된다.

- > 콘크리트의 재탄산화는 불가피하지만 콘크리트 건물은 적절한 기술 규정에 따라 건설되기 때문에 재탄산화가 위험요인이 되지 않는다.
- > 건물 전체에서 콘크리트의 표면 면적이 얼마되지 않고 확산(Diffusion) 과정에 따라 재탄산화의 속도가 달라지기 때문에, 콘크리트의 내구 수명 기간인 50~70년 동안 재탄산화에 따른 CO₂ 흡수량은 제한적이다. 하지만 궁극적으로는 시멘트 1톤 당 60~100kg의 CO₂가 흡수되는데 이는 시멘트 제조 시 배출된 CO₂량의 약10% 수준이다.
- > 내구 수명 이후의 기간에는(해체 후의 기간) 파쇄되어 콘크리트의 표면적이 크게 증가하기 때문에 재탄산화 능력이 증가한다. 해체와 재활용율의 증가는 긍정적인 영향을 미치는데, 시멘트 제조로 인한 CO₂ 배출량의 적어도 10 ~15%에 해당하는 양이 재탄산화로 추가 흡수되기 때문이다.
- > 따라서 시멘트 제조에 따른 CO₂ 배출량의 20~25%는 콘크리트의 라이프 사이클을 통해서 재탄산화에 의해 다시 고정된다.
- > 해체한 콘크리트의 가공 후 저장 기간을 갖고 설치하는 경우 추가적으로 CO₂를 고정시킬 수

있다. 잘게 파쇄된 콘크리트에 의해 활발한 탄산화가 이루어지면서 전체 탄산화 능력이 늘어날 수 있지만 이 부분에 대한 실제 경험치는 부족한 상태이다.

현재는 정확하게 정량화할 수 있는 데이터가 부재하기 때문에 본 프로토콜에서는 시멘트와 콘크리트의 재탄산화 부분은 다루지 않고 있지만 향후에는 바뀔 수 있다.

탄소 포집 및 저장(CCS)

탄소 포집 저장(CCS)은 설비의 배연가스류에서 이산화탄소를 분리해서 순화, 액화한 후 격리 장소로 보내고 최종적으로 지하의 장기 저장소로 보내는 것을 말한다. 이렇게 엄청난 양의 압축 액화 가스를 분리하는 데 따른 위험을 피하고자, 포집한 CO₂를 유용한 제품으로 전환시키는 하는 다른 기술들도 있다. 현재 정책은 전력 부문에 주안점을 두고 있는데, 이는 전력 업계에서 단연코 최대의 CO₂배출원들이 가동되고 있기 때문이다. 한편 CCS는 철강이나 시멘트 공장과 같이 대량 배출원을 가동하는 산업계에서도 점점 더 많이 논의되는 추세이다.

CO₂포집 기술에는 연소전 포집(Pre-combustion) (가스화 및 화석 연료로부터의 탄소 분리), 연소후 포집(Post-combustion) (흡수 또는 흡착 기술), 순산소 연소(Oxyfuel) 기술이 있다. 이러한 기술들은 모두 엄청난 양의 에너지를 필요로 하므로(흡수제의 탈착이나 공기 분리를 통한 산소 발생용 등) 상당량의 에너지 소비(energy penalty)가 발생한다. 최근 연구 결과에 따르면 클링커 하소 공정에 순산소 연소 기술 적용 시 전력 소비량이 2배가 되고 아민 스크러빙의 경우는 전력과 연료 소비량이 모두 2배가 되는 것으로 나타나고 있다 (CSI/ECRA 2009, ECRA 2009).

따라서 적용 기술에 따라 다르겠지만 CCS를 도입하면 소비 전력이 증가할 뿐 아니라 (CO₂ 직접 및 간접 배출 추가 유발) 연료 에너지 사용량도 증가한다(CO₂ 직접 배출 추가 발생). 전체적인 CO₂량을 줄이기 위해서는 이렇게 추가 발생하는 CO₂도 포집해야 한다. 따라서 “CO₂ 포집량”(포집 설비에서 처리된 전체 CO₂)과 “CO₂ 감축량”(CO₂ 포집 없었을 경우 시설에서 배출되는 CO₂ 대비 감소된 양)은 구별해야 한다.

지금까지 세계적으로 통일된 산정 기준은 정해지지 않았다. 예를 들어 EU-ETS에서는 CO₂포집 시설에 대한 추가 배출권 부여 계획은 없다. 왜냐하면 CO₂ 배출량의 감축은 기존 시설(발전소 등)로 달성해야 하고, 그렇지 못할 경우 배출허용량(Allowances)을 매입해야 한다고 믿기 때문이다. 즉 EU-ETS에서는 ‘CO₂ 저감량(CO₂ abated)’을 기준으로 하게 되고 저감에 따른 효익은 기존 시설 가동 업체에 귀속된다.

본 시멘트 CO₂ • 에너지 프로토콜에서는 CCS 기술의 산업계 적용이 아직은 먼 일이기 때문에 CCS로 인한 배출권 보고의 가능성은 제시하지 않고 있다. 포집 기술(파일럿 또는 데모 프로젝트 등) 구현 시 해당 배출권(credits)은 각 산정 제도에 따라 (별도로) 보고해야 하는데, 실제로 CO₂ 저장이 안전하고 장기적으로 이루어지는 경우에 국한해서 보고해야 한다.

이러한 입장은 시멘트 산업에서 CCS가 좀 더 실행성이 생기면 변할 수 있다.



6 성과 지표

6.1 개요

본 CO₂ · 에너지 프로토콜은 CO₂ 배출량에 대한 모니터링과 보고를 유연하게 할 수 있는 기반을 제공하고자 한다. 위에 언급된 바대로 각각의 배출 요소에 대한 산정은 간단하게 할 수 있다. 그러나 총 배출량과 비율 지표의 정의는 국가 인벤토리에의 보고, CO₂ 규제 제도, 배출권 거래 제도, 산업 벤치마킹 등의 보고 맥락 및 목적에 따라 달라진다. 또 이러한 보고를 위한 시스템 경계는 과학적 논거보다는 관례와 실질적인 요구사항에 따라 크게 달라진다.

이 점을 고려해서 본 프로토콜 스프레드시트에는 성과 지표에 대한 부분이 추가되었는데, 현재의 비즈니스와 정책 환경 및 관련 보고 요구사항들에 비추어 볼 때 가장 유용하다고 간주되는 지표들이 포함되어 있다. 일반적으로 성과 지표에 대한 부분은 업체들이 자사 차원에서 필요로 하는 추가적인 매개변수들(다른 배출 총량(소계) 등)을 보고할 수 있는 유연한 도구로 간주된다.

제 2판에 비해 3판에는 여러 개의 KPI가 추가되었는데, 추가된 이유는 다양하다. 회사의 내부 보고에 도움이 되어 예전에 많은 업체들이 이미 별도로 계산해오던 지표들도 있고, 법적 구속력이 있는 제도(EU ETS 등)에 규정되어 있거나 관습(GNR 제도 등)상의 요구사항에 기반한 지표들도 있다. 제 3판의 성과 지표에 대한 정의 요약본은 제 2판에서의 내용과 비교하여 부록 7에 제시되어 있다.

6.2 원단위 배출량(Specific, unit-based emissions) 계산을 위한 분모

지속가능한 개발과 비즈니스의 관점에서는 CO₂ 효율(원단위 배출량)의 보고가 CO₂ 절대 배출량 보고만큼이나 중요하다. 따라서 원단위 배출량의 분모를 어떻게 정할 것인가에 대한 질문을 제기할 수 있는데, 시멘트 산업에서는 다음의 3개 분모가 적절하다고 볼 수 있다:

1. 클링커
2. 시멘트 (등량)
3. 시멘트질 제품

위의 각 분모에 따라 CO₂ 성과에 다른 가중치가 적용된다.

> 클링커

본 프로토콜에서 클링커는 그레이 혹은 백색 시멘트 제조에 사용되는 그레이 및 백색 클링커를 말한다. 클링커 제조 공정은 시멘트 제조에 있어서 주요 CO₂ 배출원이다.

> 시멘트 (등량)

시멘트 (등량)은 공장 고유의 클링커/시멘트 비율을 적용해 해당 공장에서의 클링커 생산량을 기준으로 계산한 시멘트 양이다. 따라서 이 등량은 생산된 클링커 전량이 같은 공장에서 시멘트 제조에 모두 쓰인다는 가정 하에 실제 해당 공장의 고유 클링커/시멘트 계수를 적용한 가상의 시멘트 생산량이다.

> **시멘트질 제품:**

시멘트질 제품은 보고 업체가 시멘트 제조나 판매용으로 생산한 모든 클링커와 혼합 시 소비되는 석고, 석회석, CKD¹⁷ 및 모든 클링커 대체물 그리고 모든 시멘트 대체물들로 이루어진다. 이 분모는 클링커와 광물질분말의 합을 일컫기 때문에 ‘시멘트질 제품’ 또는 ‘결합제’라는 용어를 쓴다. 시멘트 제조를 위해 제 3의 업체로부터 구매한 클링커량은 그 외부 업체의 인벤토리에 포함되기 때문에 이 분모에는 포함시키지 않는다¹⁸. 본 분모에서 제외되는 사항은 다음과 같다:

- > 시멘트 제조용으로 구매한 클링커 ;
- > 속성 변경(분쇄 또는 열 처리 등)없이 타 업체로 저장 또는 판매되는 석탄 화력 발전소에서 나오는 입상 슬래그 및 석탄회

> 가공 없이 거래되는 시멘트의 양

WBCSD/CSI는 업체들이 원단위 배출량을 다음 방식에 따라 산정하도록 결정했다(그림 6, 7 참조):

식8 : 원단위 CO₂ 배출량의 정의: 공장에서 생산한 클링커 전량을 해당 현장에서의 시멘트 제조에 쓴다는 가정 하에 클링커 생산량이 분모가 된다. 클링커/시멘트(등량)비율의 정의는 6.3절을 참조.

$$\text{시멘트(등량) 톤 당 원단위 CO}_2 \text{ 배출량} = \frac{\text{시멘트 제조로 인한 CO}_2 \text{ 직접 배출량}}{\text{자체 클링커 생산량}} \times \text{클링커/시멘트(등량) 비율}$$

$$= \frac{\text{자체 클링커 소비량} + \text{자사 클링커 판매량}}{\text{자체 클링커 생산량}}$$

그림 6 : 원단위 CO₂배출량의 정의: 분모는 클링커 생산량을 기준으로 하기 때문에, 클링커 판매량은 포함되고 구매량은 제외되며 시멘트질 제품은 포함된다. 클링커 재고 변동에 대한 지침은 6.4절 참조

$$\text{시멘트질 제품 톤 당 원단위 CO}_2 \text{ 배출량} = \frac{\text{시멘트 제조로 인한 CO}_2 \text{ 직접 배출량}}{\text{자체 클링커 생산량}}$$

$$= \frac{\text{자체 클링커 소비량} + \text{자체 클링커 판매량} + \text{혼합에 쓰이는 석고, 석회석, CKD 및 클링커 대체물} + \text{시멘트 대체물 생산량} + \text{구매한 클링커 소비량}}{\text{자체 클링커 생산량}}$$

6.3 기타 비율 지표의 분모

CO₂배출량을 분자로 하지 않는 일부 비율 지표의 경우 분모에 클링커 구매량은 포함시키고 판매량은 제하는 것이 적절한 경우도 있는데, 다음 사항에 해당된다:

- > 구매 클링커의 분쇄를 고려해야 하는 시멘트질 제품 톤 당 원단위 전력 소비량
- > 클링커/시멘트 비율은 시멘트 또는 시멘트질 제품 총 생산량 대비 클링커 총 소비량의 비율을

나타낸다. 두 가지 비율 산정 모두 프로토콜 스프레드시트 ‘클링커/시멘트(등량) 비율’에 구현되어 있다.

클링커/시멘트(등량) 비율

6.2절에 기술된 바 대로 시멘트(등량)는 클링커 생산량을 클링커/시멘트(등량) 비율로 나누어 구할 수 있다. 이 때 이 비율은 클링커 총 소비량/(자체 클링커 소비량 + 혼합에 쓰인 석고, 석회석, CKD 및 클링커 대체물의 소비량 + 구매해 소비한 클링커 양)으로 구한다. 제시된 클링커/시멘트(등량) 비율은 그림 7에 제시된다.

그림7 : 클링커/시멘트(등량) 비율의 정의. 클링커 소비량에 기반하는 비율로써, 분모에는 클링커 판매량은 제외되고 구매량은 포함된다. 시멘트 대체물은 제외된다. 재고 변동에 대한 지침은 6.4절을 참조.

$$\text{클링커/시멘트(등량) 비율} = \frac{\text{클링커 소비량}}{\text{자체 클링커 소비량} + \cancel{\text{자체 클링커 판매량}} + \text{혼합에 쓰인 석고, 석회석, CKD 및 클링커 대체물 소비량} + \cancel{\text{시멘트 대체물 생산량}} + \text{구매해 소비한 클링커양}}$$

= 자체 클링커 생산량

클링커/시멘트질제품 비율

클링커/시멘트질제품 비율은 그림 8에 제시되어있다.

그림8 : 클링커/시멘트질제품 비율의 정의. 이 비율은 클링커 소비량에 기반하므로 분모에 클링커 판매량은 제외되고 구매량은 포함된다. 또, 시멘트 대체물도 포함된다. 재고 변동에 대한 지침은 6.4절 참조.

$$\text{클링커/시멘트 비율} = \frac{\text{클링커 소비량}}{\text{자체 클링커 소비량} + \cancel{\text{자체 클링커 판매량}} + \text{혼합에 쓰인 석고, 석회석, CKD 및 클링커 대체물} + \text{시멘트 대체물 생산량} + \text{구매해 소비한 클링커양}}$$

= 자체 클링커 생산량

6.4 클링커의 재고량 변동, 판매 및 구매량

클링커 제조로 인한 CO₂ 직접 배출량은 배출이 발생한 해당 연도에 대해 보고해야 한다. 시멘트질 제품 1톤당 원단위 배출량의 경우, 제조된 클링커의 자체 소비, 판매, 재고 보관 여부에 관계없이 해당 연도의 총 클링커 제조량을 기준으로 산정해야 왜곡을 피할 수 있다.

한편 원단위 전력 소비량이나 클링커/시멘트 비율 등 기타 지표의 경우, 반대로 클링커가 당해 연도에 제조된 것인지 구매한 것인지 또는 재고에서 꺼낸 것인지의 여부에 관계없이 실제 클링커(+ 석고 및 광물질분말) 소비량을 기준으로 산정한다. 클링커 소비량을 기준으로 생산량을 계산하거나 생산량을 기준으로 소비량을 계산할 때에는 클링커의 판매량, 구매량뿐 아니라 클링커의 재고 변동량도 고려해야 한다(원료 이송(Material transfer)에 대한 부분은 7.4절 참조)

6.5 신규 일반 성과 지표 (KPIs)

제2판의 적용 경험을 기반으로 몇 가지 새로운 성과지표들이 추가되었다:

- > 킬른 연료 믹스(kiln fuel mix)에 대한 CO₂ 배출 계수(CO₂/GJ)
- > 공장 단위의 총 재래 화석 연료 비율(%)
- > 공장 단위의 총 대체 화석 연료 비율(%)
- > 공장 단위의 총 바이오매스 연료 비율(%)
- > 클링커 제조 시의 원단위 전력소비량(kWh/t 클링커)

상기한 지표에 대한 정의는 부록 7에 정리되어 있다.



7 조직 경계

7.1 조직 경계에 포함되는 배출시설 범위

CO₂는 킬른의 운전 과정은 물론 상공정과 하공정에서 특히 채석과 (간접적으로) 시멘트 분쇄 과정에서도 배출된다. 그런데 이러한 시설들은 서로 상당 거리 떨어져 있을 수 있다. 또 채석장, 킬른, 분쇄장을 서로 다른 업체가 운영하는 경우도 있다. 이 경우 한 업체의 인벤토리 작성 시 조직 경계를 어떻게 정할 것인가?

EU배출권거래 제도와 같이 외부에서 적용되는 제도 하에서 보고할 때에는 해당 제도의 규정에 따라 시설에 대한 경계를 정하게 된다.

하지만 본 프로토콜에 따른 자발적 보고 시에는 제 3장과 4장에서 요구하고 있고 스프레드시트에 제시된 바 대로 시멘트 제조와 관련된 주요 CO₂ 직접 배출 및 간접 배출을 커버해야 한다. 이러한 주요 배출에는 상공정과 하공정에서의 연료 및 전력 소비에 따른 배출이 포함된다. 특히, 본 프로토콜에 따른 자발적 보고 시에는 7.2절에 따라 자사가 소유 또는 통제하는 각 시설에 대해 다음의 활동에 따른 배출을 포함시켜야 한다:

- > 원석 채석과 준비를 포함하는 클링커 제조;
- > 시멘트 공장 및 독립된 분쇄장에서의 클링커, 첨가제 및 시멘트 대체물의 분쇄;
- > 자가 발전을 위한 연료의 추가적 사용

- > 자체 설비에서의 연료 또는 석탄회(Fly ash)의 준비 또는 가공

개별 시설들에 대해서는 지리적으로 떨어져있거나 다른 업체가 운영하는 경우 등 경우에 따라 별도의 인벤토리를 작성할 수 있다¹⁹. 이렇게 구분해서 작성된 인벤토리도 업체 또는 그룹 차원에서 배출량을 통합하게 되면 그 구분은 없어지게 된다 (업체내 클링커 이송에 대한 사항은 7.4절 참조). 9.2절에서는 자발적 환경 보고에 대해 더 자세한 지침을 제시하고 있다.

7.2 운영 통제력과 소유의 기준

WRI/WBCSD프로토콜 개정판에서는 업체가 자사의 배출량을 집계하는 방법으로 지분율 방식과 통제력 (Control)기준 방식을 구분하고 있고, 후자는 다시 재무적 통제력과 운영 통제력으로 세분화된다.

이 방식들에 대한 개요가 아래에 제시되어 있고 그림 9에도 설명되어 있다. 이탤릭체 부분은 WRI/WBCSD 프로토콜에서 인용한 부분을 나타낸다. 각 방식의 세부 사항 및 예시는 WRI/WBCSD 문서의 제 3장을 참조하도록 한다¹.

- > **지분율(Equity share) 방식:** 이 방식에서는 업체의 각 오퍼레이션(Operation)에 대한 보유 지분율에 따라(그에 비례해서) 온실가스 배출량을 통합한다(즉, 소유권이 기준). 예외로는 고정자산 투자가 있는데, 총 지분 대비 보유 지분이 아주 적고 어떤 영향력이나 재무적인 통제력이 없는 경우는 해당

오퍼레이션의 배출량을 합산하지 않는다. 각 사업간의 관계에 있어서의 경제적 실질로 인한 기타 예외도 있을 수 있다 (세부 사항은 WRI/WBCSD 프로토콜 개정판 참조).

- > **재무적 통제력**은 업체가 한 사업의 활동으로부터 경제적 이익을 얻을 목적으로 그 사업의 재무 및 운영 정책을 지시할 수 있는 능력을 말한다. 업체가 해당 사업의 효익 대부분을 누릴 권리를 갖고있거나, 사업 자산의 소유에 따른 대부분의 위험과 보상을 갖는 경우 통상적으로 그 업체는 재무적 통제력을 갖는다.

이 방식의 경우, 업체는 자사가 재무적 통제력을 갖는 오퍼레이션에 대해서는 배출량을 100% 통합한다. 예외로서 파트너와 공동으로 재무 통제권을 갖게되는 합작기업(JV)의 경우는 지분율에 따라 통합해야 한다.

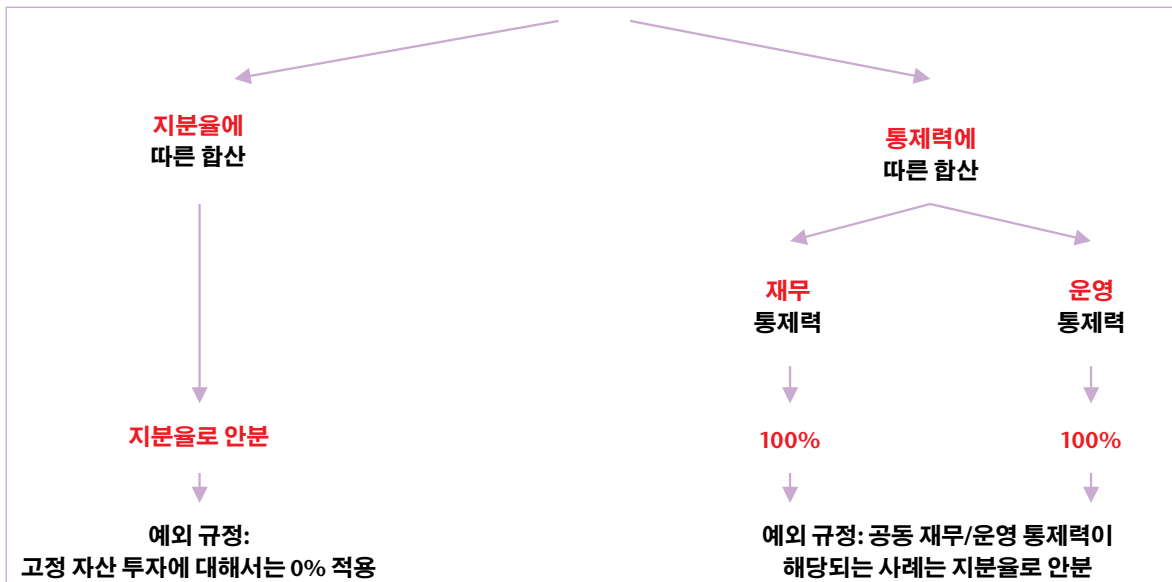
- > **운영 통제력**은 업체가 한 사업에 대해 자신의 운영 정책을 도입해 실행할 수 있는 전적인 권한을 말한다. 통상적으로 업체가 해당 사업 시설의 운영자일 경우가 해당되는데, 가령

사업 허가(Operating license)를 보유하고 있는 경우 등이다. 이 기준에서 업체는 자사가 운영 통제력을 가지고 있는 사업으로부터의 배출량은 100% 통합한다. 예외로서 파트너와 공동으로 운영 통제권을 가지고 있는 경우는 지분율에 따른 통합이 필요하다²⁰.

온실가스 배출량 산정을 위한 통제력을 정의할 때 업체들은 재무 보고 시의 기존 규칙과 관행을 따르는 것이 좋다. 마찬가지로 WRI/WBCSD 개정판에서도 공동 운영 시에는 배출에 대한 소유권이나 배출 및 관련 리스크에 대한 관리 책임에 대해 명시적으로 정한 계약 조항이 있을 경우 이를 보고할 것을 권고하고 있다.

WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에서는 자발적인 온실가스 배출량 보고 시 그 근거를 지분율이나 기타 2개의 통제력 기준 방식 중 어떤 것으로 해야한다는 제언은 하지 않고 있다. 대신 지분율 기준과 통제력 기준은 별개로 적용할 것을 권하면서, 자사의 사업 활동과 온실가스 산정 및 보고 요구사항에 가장 적합한 방식을 정해야 한다고 적고 있다.

그림9 : WRI/WBCSD의 배출량 합산 방식 권고안



업계의 특징을 반영하여 CSI태스크포스는 시멘트 업체는 일차적으로는 운영 통제력 기준으로 연결하고 운영 통제력이 한 업체에 명확히 주어지지 않은 경우는 부차적으로 지분을 기준으로 집계하도록 정했다. 이 방식은 표 5에 정리되어 있다. 이러한 집계 기준에 대해 구체적인 지침과 예시는 WRI/WBCS 프로토콜 개정판을 참조하도록 한다.

표5 : WBCSD/CSI가 채택한 시멘트 업체의 전사적 온실가스 배출량 통합(연결)의 요지

집계 기준	보고 업체가 통합시켜야 하는 온실가스 비중(%)
1차 기준: 운영 통제력	
보고 업체에 운영 통제력이 있을 경우	100%
타 업체에 운영 통제력이 있을 경우	0%
운영 통제력이 한 주주업체에 분명히 주어지지 않은 경우 (공동 운영 통제권)	지분율에 비례 (하단 참조)
2차 기준: 소유 지분율	
0% - 100% 지분율	지분율에 따른 비율

업체는 적합하다고 판단되는 경우 본 가이드라인을 따르게 되는데 이 경우 ‘데이터는 CSI 가이드라인에 따라 보고하였음’을 명기해야 한다. 업체의 배출량 집계 방식이 CSI 지침과 다를 경우는 실제 사용한 방법을 명료하게 기술하여 가이드라인과의 차이점을 이해관계자들이 파악할 수 있도록 해야 한다.

7.3 배출량과 배출권(Emission rights)의 집계

본 프로토콜 3판에서는 제 2판에 포함되었던 배출량과 배출권 집계 방식 옵션이 삭제되었다. 하지만 필요 시 업체는 별도로 그러한 집계를 할 수 있다. 배출권을 집계하고자 하는 업체는 배출량을 집계한 방식과 동일하게 진행하면 된다.

배출권을 총계할 경우 합산 범위 전 부문에 걸쳐 반드시 동일한 규칙에 근거해 각 공장의 배출권을 계산하는 것이 중요하다.

7.4 클링커, 시멘트, 광물질분말(MIC)의 내부 이송(Internal transfer)

내부 공장간 분쇄장 간에 클링커, 시멘트, 슬래그나 석탄회 같은 광물질분말들에 대한 내부 이송이 이루어지는 업체들이 많다. 이렇게 이송된 원료들은 저클링커 시멘트 등의 타 제품으로 추가 가공되고, 이송받은 공장의 클링커/시멘트 비율에 영향을 미친다. 이 경우 이중 산정의 위험이 있다. 프로토콜 제 2 판을 사용하는 업체는 이 부분을 고려해 공장 및 업체 단위의 보고 수치를 조정해야 했는데, 이에 대한 방향성은 제시되나 통일된 방법론이 제시되거나 사용되지는 않았다. 따라서 제 3판에서는 업체 시트(Company sheet)뿐 아니라 공장 시트도 아래의 보고 방법에 맞게 조정되었다(세부 사항은 CSI 내부 매뉴얼 참조):

공장 단위의 경우 클링커 내부 이송은 보고되어야 한다(동일 업체 내에서의 이송. 받은 클링커량은 더하고 보낸 양은 제함). 클링커를 시멘트 원료로서 내부 이송하는 경우는 해당 공장이 같은 회사 내의 타 공장으로부터 시멘트를 받고 추가 가공으로 다른 종류의 시멘트를 제조하여 자신의 배출량으로 보고할 경우에 한해 보고한다. 클링커의 양은 이송된 시멘트의 클링커/시멘트비율 등에 기반해 산정한다. 타 업체로부터 시멘트 원료용으로 클링커를 구매해(클링커 외부 이송) 혼합에 사용할 경우 ‘클링커 구매량’으로 보고해야 한다. 총 클링커 소비량은 다음과 같이 산정된다:

$$\text{총 클링커 소비량} = \text{클링커 생산량} + \text{클링커 구매량} - \text{클링커 판매량} - \text{클링커 재고 변동량} + \text{클링커 내부 이송량} + \text{시멘트 이송에 따른 클링커 이송량}$$

조직 내부에서의 클링커 이송량은 확인 차원에서 다 합산되는데, 업체 차원에서의 합은 0이어야 한다. 시멘트 내부 이송에 따른 클링커 이송량은 모든 공장의 합계로써 보고한다. 총 클링커 소비량은 다음과 같다:

총 클링커 소비량(업체 단위) = 클링커 생산량 + 클링커 구매량 - 클링커 판매량 - 클링커 재고 변동량 + 클링커 내부 이송량 - 시멘트 이송에 따른 클링커 이송량

조직 내 광물질분말의 이송에 관해서는 내용을 분명히 하기 위해 제 2판 대비 많은 행의 명칭이 변경되었다. 공장 단위에서 시멘트 원료용으로 내부 이송되는 광물질분말의 양을 보고하는 경우는, 해당 공장이 동일 업체의 타 공장에서 받은 경우에 한한다. 총 광물질분말 내부 이송량은 별도의 행에 정리되는데, 해당 공장이 광물질분말을 같은 회사내의 타 공장에 판매할 경우에 한하여 기입해야 한다. 그 양은 항상 (-)값이어야 하는데, 이는 그 공장이 판매나 반출을 하고 있다는 의미이다. 이 데이터는 공장 단위의 산정에는 사용되지 않는다. 보고 목적에 있어서는 판매/반출된 광물질분말이 시멘트나 콘크리트 제조에 사용되는지의 여부는 관계가 없다.

업체 차원에서 보면 ‘공장 단위’과 같이 일부 행의 명칭이 (명확화를 위해) 변경되었다. 총 광물질분말 이송량은 모든 공장의 합계가 된다(음의 값이 됨). 19행에서는 별도 산정, 보고되는 시멘트 대체물로 사용되는 순수 광물질분말 제품의 합을 구할 수 있다.

즉, 제3판에서는 클링커, 시멘트, 광물질분말의 내부 이송량을 자동 산정하도록 되어있는데, 이러한 내부이송량의 산정은 공장 차원의 CO₂ 성과 지표 분석을 위해 필요하다.

7.5 기준선(Baselines), 인수 및 매각

CO₂배출 실적은 과거의 기준 연도(기준 연도)와 비교해 측정하는 경우가 많다. 기본적으로는 ‘교토 의정서 기준 연도’인 1990년을 기준으로 삼을 수 있다. 그러나 신뢰할 수 있는 정확한 과거 데이터의 부재로 인해 특히 규정 준수나 배출권 거래에 관해서는 더 최근 연도를 기준으로 삼는 경우도 많다. 기준 연도는 해당 국가의 규정에 따라 정해지기도 한다.

공장의 개설과 폐쇄뿐 아니라 인수 및 매각도 업체의 연결 기준 배출 실적(절대량 및 원단위 배출량)에 영향을 미친다. 기준선(Baseline)의 일관성을 확보하기 위해(기준 연도 및 이후의 배출량) 업체들은 다음과 같이 일관성 있게 룰을 적용해야 한다:

> **인수 및 매각에 따른 변화에 대해 기준선 조정:** 과거 연도에 대해 보고된 연결 기준 배출량이라 하더라도 항상 현재 기준의 보유 지분을 반영하는 수치가 되도록 해야 한다. 가령, 업체를 인수한 경우 그 업체의 과거 배출량은 보고 업체의 연결기준 배출량에 포함되어야 한다. 이러한 조정 작업은 기준 연도나 피인수 업체의 설립 연도 중 더 최근 연도를 기준으로 이루어진다. 한 업체를 매각한 경우 그 업체의 과거 배출량은 연결 기준 배출량에서 제외해야 한다. 이러한 조정 작업은 배출량 통합연결 규정을 따라야 한다(7.2절 참조)

> **“유기적” 변화에 대해서는 기준선 조정하지 않음:** 신규 설비 투자, 생산 능력 확대나 설비가동을 증가로 인한 유기적인 생산량 증가 시에는 기준선을 조정하지 말아야 한다. 마찬가지로 유기적으로 생산량이 준 경우에도 기준선은 조정하지 않는다: 따라서 킬른의 폐쇄나 생산량 감소 시 기준선은 변경되지 않는다.

기준 연도의 선정과 기준선 조정에 대한 예시는 WRI / WBCSD 프로토콜 개정판을 참조한다.





8 인벤토리 품질 관리

8.1 WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에서의 권고사항 개요

WRI/WBCSD의 프로토콜에서는 인벤토리 품질 관리에 대해 폭넓은 지침을 제공하고 있다. 일부 핵심 사항은 8.2절에 제시되어 있고, 세부사항은 WRI/WBCSD의 문서를 참조하도록 한다.

인벤토리 프로그램 시행

기업의 온실가스 인벤토리에 대한 설계, 업데이트, 개선 작업은 포괄적, 체계적인 인벤토리 프로그램 하에서 지속적으로 이루어져야 하는 일이다. 인벤토리 프로그램에서는 기업 인벤토리의 4가지 기본 구성요소를 다루는 것을 목적으로 한다:

- > **기법:** 기업 인벤토리 작성의 근간이 되는 기술적, 과학적 접근방식을 말한다. 본 프로토콜은 시멘트 업체의 인벤토리 작성을 위해 통일된 강력한 기법들을 제시하고 있다. 하지만 업체들은 이러한 방법이 자사 고유의 요구사항에 적절한지의 여부를 검증하는 것이 좋다. 또한 방법을 자체적으로 고안해 적용할 경우는 자사 배출원들의 특성이 정확하게 반영되도록 해야 한다.
- > **데이터:** 활동 수준, 배출 계수, 공정 및 오퍼레이션에 대한 기본 정보를 의미한다. 기업 인벤토리 프로그램을 통해 고품질의 데이터를 수집할 수 있는 절차를 마련하고 이러한 절차가 시간이 경과해도 적절히 유지, 개선되도록 해야 한다.

> **프로세스 및 시스템:** 온실가스 인벤토리 작성을 위한 제도, 관리 및 기술 차원의 절차를 말한다. 이에는 양질의 인벤토리를 작성하고 업데이트하는 역할을 맡은 팀과 프로세스도 포함된다. 이러한 프로세스를 회사의 다른 데이터 관리 프로세스와 통합하는 것이 적절하다고 판단되면 그렇게 할 수도 있다.

> **문서화:** 문서화는 인벤토리 작성에 사용되는 기법, 데이터, 프로세스, 시스템, 가정사항 및 추정치들에 대한 기록이다. 온실가스 배출량 산정은 본질적으로 기술적이기 때문에 문서화의 품질과 투명성은 신뢰성 확보에 특히 중요하다.

인벤토리 품질 관리 시스템(Inventory Quality Management System)의 시행

인벤토리 품질 관리 시스템은 기업 인벤토리의 4가지 기본 구성요소 - 기법, 데이터, 프로세스 및 시스템, 문서화 -의 품질을 개선시키기 위한 것이다. WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에서는 인벤토리 품질 관리를 위해 다음의 7가지 단계를 따를 것을 권고하고 있다:

1. **인벤토리 품질관리팀의 설치:** 이 팀은 품질관리 시스템을 시행하고 지속적인 품질 향상을 담당해야 한다. 또한 관련 사업부, 시설 및 정부 기관이나 검증기관 등의 외부 조직간의 상호 작용 시 조정 역할을 한다.
2. **품질관리 계획 수립:** 이 계획은 품질 관리 시스템을 시행하기 위해 밟아야 하는 단계들을 기술한 것으로, 인벤토리 프로그램에 처음부터

반영되어야 한다. 물론 특정 절차의 엄밀함이나 커버하는 범위는 시간이 지나면서 단계적으로 확대될 수 있다. 이 계획에는 일차적인 데이터 수집부터 최종 보고에 이르기까지 모든 조직 단계 및 인벤토리 개발 프로세스가 포함되어야 한다. 효율성과 포괄성을 위해서는 ISO 절차 등의 기존 품질 시스템들을 통합해서(적절할 경우 확대해서) 온실가스 관리까지 커버되도록 해야한다. 또 이 계획에서 상당 부분은 아래 제시된 3단계와 4단계에 기술된 실질적인 조치들에 주안점을 두어야 한다.

3. 일반적인 품질 확인 실시: 인벤토리 전체에 걸쳐 데이터 및 프로세스에 대해 품질 확인을 실시하되, 데이터 처리, 문서화 및 배출량 산정 활동에 주안점을 둔다. 일반적인 품질 확인 조치들은 아래 표 6에 제시되어 있다.

4. 배출원별 품질 확인 실시: 시멘트 공장에서 사용된 각 연료와 관련 배출량 등 특정 배출원 카테고리별로 경계, 가정사항 및 산정에 대한 보다 엄밀한 조사가 포함된다. 또 배출원 카테고리 별로 배출량 산정치의 불확도에 대한 정성적 및/또는 정량적 평가도 포함된다(불확도에 대한 세부 사항은 아래 8.2절 참조).

5. 최종 인벤토리 산정값 및 보고서 검토: 인벤토리 작성 후에는 공학적, 과학적 및 기타 기술적 측면에 대해 주안점을 두고 내부 기술 검토 (Internal technical review)를 실시해야 한다. 그 이후 내부 경영진 검토(Internal managerial review)를 통해 인벤토리에 대한 회사의 공식 승인을 확보하게 된다. 세 번째 검토는 외부 검증기관에 의한 검증이다. 독립된 3자의 검증에 관한 세부 사항은 WRI/WBCSD프로토콜 개정판 및 부록 8의 CSI CO₂데이터 보증을 위한 요구사항을 참조하도록 한다.

6. 공식적 피드백 사이클의 제도화: 업체의 품질 관리 시스템 상의 기타 구성 요소들에 따른 결과와 위 5단계에서의 검토 결과는 공식적인 피드백 절차를 통해 1단계에 언급된 품질관리 팀과 인벤토리 작성 담당자에 전달되어야 한다.

7. 보고· 문서화· 보관 절차의 수립: 품질 관리 시스템에는 어떠한 정보를 내부용으로 문서화하고 어떻게 그러한 정보를 보관하며 어떤 정보를 외부 이해관계자에 보고할 지 등을 명시하는 기록 관리 절차가 포함되어야 한다.

표6 : 일반적 품질 확인 조치 예시.

데이터 수집, 입력, 처리 활동	
>	입력 데이터 샘플에 대해 필사 오류 확인
>	스프레드시트 상에서 추가적인 품질 관리나 확인을 가능케 하기 위해 변경할 부분 파악
>	전자 파일에 대한 적절한 버전 관리 절차가 시행되고 있는 지 확인
데이터 문서화	
>	모든 1차 데이터에 대해 스프레드시트에 서지 정보가 포함되어 있는 지 확인
>	인용된 참조문헌 사본이 보관되고 있는 지 확인
>	경계, 기준 연도, 기법, 활동 자료, 배출 계수 및 기타 매개변수의 선정 기준 및 가정사항들이 문서화 되는 지 확인
>	데이터나 기법의 변경 사항이 문서화되고 있는 지 확인
배출량 계산	
>	단위, 매개변수 및 전환 계수들이 적절히 표시되고 있는 지 확인
>	전환 계수가 정확한 지 확인
>	스프레드시트 상의 데이터 처리 단계(방정식 등) 확인
>	스프레드시트에서 입력 데이터와 계산된 데이터가 분명히 구분되는 지 확인
>	대표성 있는 계산 샘플에 대해 수작업 또는 전자적으로 확인
>	검산(근사치 계산 등)으로 일부 계산에 대해 확인
>	배출원 카테고리 및 사업부 등에 걸친 데이터 합산 확인
>	시계열 입력 및 계산 결과의 일관성 확인

출처: WRI / WBCSD 2004, p.51

8.2 불확도(Uncertainty)의 처리

온실가스 배출량 산정에 필요한 연료사용량, 저위발열량, 배출계수 등의 매개변수는 과학적으로 정확한 단일 추정값이 아니라 불확도 범위나 신뢰구간으로 표현되는 불확실성을 포함하고 있다. 예를 들어 CSI 태스크포스가 종합한 361개 샘플의 화학 분석 결과에 따르면, 석유 코크스에 대한 최선의 배출 계수는 신뢰구간으로 92.8kg CO₂/GJ이다. 이는 분석된 석유 코크스 샘플에 대한 배출 계수의 참값이 92.8±0.2 kg CO₂/GJ의 구간에 속할 확률이 95%라는 의미이다.

공장이나 업체의 배출량 산정값의 총 불확도는 산정 기준이 되는 매개변수 각각의 불확도에 따라 달라진다. WRI/WBCSD는 이러한 불확도 평가에 도움이 되는 툴과 가이드를 제공하고 있다(세부 사항은 www.ghgprotocol.org 참조).

매개변수의 불확도를 정량화하는 것은 데이터 및 절차 상 까다로운 작업이다. 따라서 배출량 추산치에 대한 총 불확도는 본질적으로 불확실하며 주관적 요소가 포함되는 경우가 많다²². 하지만

불확도를 평가하고 최소화하기 위한 동인은 분명히 있다:

- > 업체들은 인벤토리의 품질 개선 시 우선 주력 분야를 파악하기 위해 인벤토리 상의 불확도 요인(source)들에 대한 순위를 정하고 싶어할 수 있다;
- > EU 배출권거래 제도의 모니터링 가이드라인 등 일부 온실가스 보고 제도에서는 시멘트 공장의 배출량 산정에 사용되는 핵심 매개변수에 대해 정량적인 불확도 한도를 정하고 있다.
- > 온실가스 배출량에 금전적인 가치가 부여될 경우, 배출량 추산치의 불확도는 재무적인 영향을 미치게 된다.

이러한 점에 비추어 CSI 태스크포스는 온실가스 인벤토리의 불확도를 주목해야 하는 장기적 과제로 인식하고 있다. 표7에서는 시멘트 업체에 있어 가장 유관성이 높은 불확도의 요인과 이를 최소화하기 위한 대책들이 제시되어 있다.

표7 : 시멘트업 CO₂ 인벤토리의 전형적인 불확도 요인 및 불확도 최소화 대책

매개변수	매개변수 불확도 최소화 대책
클링커 생산량(t/년)	<ul style="list-style-type: none"> > 대안적 산정 방식을 이용해 클링커 양을 대조 확인: <ul style="list-style-type: none"> - 조합원료 소비량 및 조합원료: 클링커 비율을 기준으로 - 시멘트 생산량 및 클링커/시멘트 비율을 기준으로 하되, 클링커 판매량, 구매량 및 클링커 재고 변동량으로 조정 - (적용가능할 경우) 직접적인 클링커 중량 측정에 기반
조합원료 소비량(t/년)*	<ul style="list-style-type: none"> > 중량 계측 기기로 재활용된 더스트의 이중 계상 부분 파악
하소 배출 계수 (kg CO ₂ /클링커 t)	<ul style="list-style-type: none"> > 기본 계수 대신 계측한 클링커 조성성분(CaO 및 MgO 함량)을 기준으로 공장 고유의 배출계수를 산정 > 슬래그, 석탄회 등을 통해 하소된 원료의 킬른 추가량 산정
하소 배출 계수 (kg CO ₂ /조합원료 t)	<ul style="list-style-type: none"> > 조합원료의 조성성분(탄산염 함량) 계측에 기반하여 공장 고유의 배출 계수 산출. > 시간의 경과에 따른 조합원료의 탄산염 함량 변화 반영 (하소된 원료의 첨가 등)
연료 소비량(t/년)	<ul style="list-style-type: none"> > 다른 방법으로 연료사용량을 대조 확인한다: <ul style="list-style-type: none"> - 납품 시의 중량 계측 또는 연료 청구서에 기반; 재고 변동 고려 - (적용가능할 경우) 중량 계량식 투입 장치(weigh feeders) 데이터에 기반
연료의 저위발열량 (GJ/t)	<ul style="list-style-type: none"> > 연료량과 저위발열량이 동일한 수분 함량에 기반한 것인지 확인

매개변수	매개변수 불확도 최소화 대책
연료의 배출 계수(kgCO ₂ /GJ)	<ul style="list-style-type: none"> > (석탄과 석유 코크스 믹스 등) 혼합 연료 사용 시에는 혼합된 각 연료를 분리해서 각각의 연료 배출계수를 적용하거나 가중 배출 계수를 적용한다. > 특정 종류의 석탄을 사용할 경우, 상응하는 배출 계수를 적용한다(스프레드시트의 “연료배출계수” 워크시트의 코멘트란 참조) > 기본 계수가 대표성이 없는 것으로 생각될 경우, 연료의 배출계수를 측정한다. > 폐타이어나 함침 톱밥 등의 바이오매스계 탄소를 반영한다. > 가능하다면, 전처리된 산업/생활 폐기물과 같은 이종의(heterogeneous) 대체 혼합 연료의 바이오매스 함량에 대해서는 분석 데이터를 활용한다.

* 별표가 표시된 매개변수들은 원료 하소로 인한 CO₂배출량 산정 시 조합원료 기준의 방법을 사용한 경우에만 해당됨.

8.3 중요성 기준(Materiality threshold)

중요성 기준은 주로 독립적 검증기관의 온실가스 인벤토리 검증 과정에서 적용된다. 예를 들어 검증심사원은 사전에 정해진 5%의 한도값을 적용해 인벤토리의 단일 오차 또는 총 오차로 인해 중요한 허위기재가 발생했는지를 판단할 수 있다. 이러한 한도값의 수준은 인벤토리 데이터의 이용 목적에 따라 달라진다. 검증에 있어 중요성 개념에 대한 세부 사항은 WRI/WBCSD GHG프로토콜 개정판의 제 10장을 참조하도록 한다.

중요성 기준은 업체가 자사의 인벤토리에서 뺄 수 있는 허용 배출량으로 해석되어서는 안된다. 예를 들어 시멘트 공장의 총 배출량에서 1% 미만을 차지하는 모든 배출원을 제외한다면, 이는 인벤토리는 완전해야 한다는 가이드라인 원칙에 맞지 않는 체계적 편파(Systematic bias)가 생기는 셈이다. 한편, 업체가 온실가스 인벤토리 작성에 투입할 수 있는 자원은 항상 한정되어 있기 때문에 업체는 자사의 주요 배출원의 불확도를 줄이는 데 주력해야 한다는 점을 인식하는 것도 중요하다.

이에 준하여, 본 프로토콜에서는 특정 배출량 이하일 경우 해당 배출원을 ‘중요하지 않다(immaterial)’고 간주하는 최소값은 정하지 않고 있다. 대신 소량 CO₂ 배출원으로부터의 배출 산정에는 단순화된 방법을 적용하도록 권하고 있는데, 원료의 유기탄소로부터의 CO₂배출량 산정 등이 그 예가 될 수 있다 (3.2, 3.3, 3.4절을 참조).

이러한 맥락에서 본 프로토콜에서 왜 다음의

온실가스 직접 배출원에 대해서는 배출량 산정을 요구하지 않고 있는지를 다시 한 번 설명하고자 한다:

- > 투입 원료나 제품의 사업장 외에서의 수송으로 배출되는 CO₂(3.8절 참조)는 대개 소량이기도 하지만, 이러한 수송은 제 3자에 의해 행해지는 경우가 많기 때문에 일관된 정량화가 어렵다.
- > 폐수 연소시의 CO₂배출(3.9절 참조)은 소량이고 비교적 소수의 공장에서만 이루어지며 탄소원이 바이오매스일 수도 있다.
- > 킬른에서 발생하는 CH₄ 및 N₂O배출량(3.10절 참조)은 아주 소량에 불과하다.

따라서 이러한 배출원을 제외하는 것은 단지 중요성 기준 뿐만이 아니라 위의 여러가지 이유에 기인한 것이다.

8.4 검증 프로그램(Validation tool)의 도입

CSI의 GNR프로젝트의 경우, 보고 데이터를 웹사이트에 올리면 타당성 확인을 위한 검증 프로그램이 사용된다. 이 과정을 간소화하기 위해 본 프로토콜 3판에서는 스프레드시트 자체에 이러한 검증 프로그램을 구현하였다. 따라서 사용자는 평가를 위해 GNR 프로젝트에 넘기기(업로드하기) 전에 입력 데이터 및 계산에 대한 1차적인 타당성 확인을 할 수 있다. 검증 프로그램의 세부 내용은 인터넷 메뉴얼(www.Cement-CO₂-Protocol.org)을 참조하도록 한다.



9 보고를 위한 권고사항

9.1 도입

CO₂배출량의 모니터링 및 보고는 환경 성과의 내부 관리, 공개적 환경 보고, 과세 제도 하의 보고, 자발적/합의된 합의의 준수 및 배출권 거래 등 다양한 목적으로 이루어진다. 또한 성과 벤치마킹이나 제품 라이프사이클 평가와 같은 목적도 있을 수 있다.

본 프로토콜은 제 2장에 언급된 조건들을 충족시키면서도 이러한 다양한 보고 목적에 대응할 수 있는 유연한 틀로써 고안되었다. 다양한 보고 범위에 따라 종합하거나 분리할 수 있는 구조로 정보가 구성되게 된다. 예시는 다음과 같다:

- > 온실가스 국가 인벤토리를 위한 보고는 IPCC 가이드라인에 부합해야 한다. 따라서 화석계 폐기물로부터의 CO₂를 비롯한 모든 CO₂ 직접 배출량이 포함되어야 하고, 바이오매스 연료로부터의 CO₂배출은 메모 사항으로 보고해야 한다.
- > CO₂배출량 규제 제도나 과세 제도 상의 보고는 현지 규정에 따른 다양한 보고 요건이 있게 된다. 본 프로토콜은 경우에 따라 총 배출량, 순배출량 및 간접 배출량을 적절히 보고할 수 있도록 하고 있다.

본 프로토콜에서는 ‘중요하지 않은’ 배출원을 제외하기 위한 기준값은 제시하지 않고 있는데, 그 이유는 이미 8.3절에 설명된 바 있다. 실질적으로 특정 배출원에 대한 포함 또는 제외에 관한 결정은 각각의 보고 프레임워크의 요건에 따라 달라진다. 자발적 환경 보고에 관해서는 본 프로토콜의 다음 섹션에서 구체적인 경계가 제시된다.

9.2 기업의 환경 보고

자발적 환경 보고의 목표는 기업의 환경 풋프린트에 대해 충분히 정확한 현황을 제공하는 데 있다. 즉, 시멘트 기업의 보고는 관련된 모든 배출원들을 포괄해야 한다는 의미이다:

- > 보고 기업의 총 CO₂ 직접배출량(하소, 재래 킬른 연료, 대체 킬른 연료, 비킬른 연료로부터의 배출량. 바이오매스 CO₂배출량은 메모 사항으로 보고);
- > 순배출량(해당될 경우)은 총 배출량에서 대체 연료의 사용으로 인한 배출량을 뺀 수치;
- > 주요 간접 배출량(구매 전력 및 클링커의 소비)

배출량 보고는 절대량(MtCO₂/년)과 원단위 배출량(kg CO₂/시멘트질제품 t)으로 해야한다. 총배출량은 생략하고 순배출량만 보고하는 것은 허용되지 않는다.

- > 보고의 완전성을 위해서는 표8에 제시된 여러 공정에서 배출되는 CO₂양(구매 전력 소비에 따른 CO₂간접 배출 및 자가 발전에 대한 산정 포함)이 포함되어야 한다

자발적 배출량 보고를 위한 추가적인 요구사항은 다음과 같다:

- > 인벤토리에서 CO₂ 배출원을 제외시킬 때에는 이를 명시해야 한다. 이를 위해 프로토콜 스프레드시트에 업체들이 자사 인벤토리의 경계를 기재하도록 하고 있다.

- > 업체는 본 시멘트 CO₂ •에너지 프로토콜 제 3판에 따라 보고함을 명기하고, 기준에서 벗어나는 '중요'사항에 대해서도 기재해야 한다.

9.3 보고의 대상 기간

온실가스 배출량은 역년보다는 회계 년도를 기준으로 보고하는 것이 비용상 경제적이다. 장기적으로 갭이나 중복되는 부분 없이 일관되게 이루어진다면, 회계 년도를 기준으로 해도 온실가스 보고의 관점에서 문제될 것은 없다. 보고 연도 상의 변경 사항이 있을 경우 명시해야 하고, 관련 국가 규정이 있으면 이를 고려해야 한다.

9.4 개정 WRI/WBCSD 온실가스 프로토콜의 스코프(Scope)

WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에서는 스코프에 따라 배출을 분류한다. 표 9는 본 프로토콜에서 논의되는 배출원들이 어떻게 WRI/WBCSD 프로토콜 상에서 분류되는 지를 제시하고 있다.

WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에서는 업체가 스코프 1과 스코프 2에 대해 별도로 산정, 보고하도록 하고 있다. 본 시멘트 CO₂ 프로토콜은 자사보유 차량의 사업장 외에서의 수송으로 배출되는 CO₂, 폐수 연소에 의한 CO₂와 CH₄, N₂O 배출량을 제외하고는 WRI/WBCSD에서 요구하는 대로 완전한 보고를 할 수 있는 기반을 제공한다. 8.3절에 설명된 여러 이유로 위에 열거된 배출원들이 기본적으로는 보고에서 제외되지만, 필요 시 포함시킬 수도 있다.

표 8 : 자발적 CO₂ 배출량 보고를 위한 인벤토리 경계 권고안

공정	의무적 CO ₂ 보고 여부	주
원료 공급(채석, 채광, 분쇄)	'해당없음'이 아닐 경우는 예	외주로 원료 공급이 이루어질 경우, 외주업체와의 배출량 통합(Consolidation)이 필요할 수도 있음. 세부 사항은 7.1절 참조.
원료, 연료, 첨가제의 사전준비	'해당없음'이 아닐 경우는 예	--
킬른 운전(파이로 프로세싱)	'해당없음'이 아닐 경우는 예	--
시멘트 분쇄, 혼합	'해당없음'이 아닐 경우는 예	--
사업장 내(내부) 운송	'해당없음'이 아닐 경우는 예	자사 보유 차량으로부터의 CO ₂ (리스 차량 포함, 자가운전자 차량 제외) 배출량은 보고해야 한다. 제3자에 의한 운송: 해당 없음.
사업장 외 운송	No	의무보고 사항은 아님. 보고 시에는 CO ₂ 직접배출(리스 차량 포함한 자사 차량)과 간접 배출(제3자 차량)을 구분해야 함.
자가 발전	'해당없음'이 아닐 경우는 예	간헐적 발전의 경우에도 CO ₂ 배출량 보고.
실내 냉난방	'해당없음'이 아닐 경우는 예	--

n.a. = 해당 없음.

표9 : WRI / WBCSD의 보고 스코프 및 본 프로토콜 상의 해당 부분

WRI / WBCSD 의 분류	본 프로토콜 상의 해당 부분
스코프 1: 온실가스 직접 배출 (자사가 배출원을 소유 또는 통제할 경우에 한함)	
> 공정 배출	3.2절 : 원료 하소로 인한 CO ₂ 3.2절: 원료 중 유기 탄소로부터의 CO ₂
> 고정 연소 배출원	3.5, 3.6, 3.7절 : 킬른 연료로부터의 CO ₂ 3.8절: 비킬른연료로부터의 CO ₂ 3.9절: 폐수 이용으로 인한 CO ₂ 배출
> 이동연소 배출원	3.8절 : 비킬른 연료로부터의 CO ₂
> CO ₂ 외의 온실 가스	3.10절: CO ₂ 외의 온실 가스
스코프 2: 구매 전력으로부터의 온실가스 간접 배출	4절: 전력망 전기로부터의 간접 배출
스코프 3: 기타 간접 배출	4절: 구매 클링커로부터의 간접 배출

10 추가 정보

부록 1에는 본 프로토콜의 스프레드시트가 설명되어 있다. 스프레드시트에는 메인 워크시트의 각 행에 대한 간략한 설명이 담긴 “코멘트” 시트와 스프레드시트의 각 부분에 대한 질문 및 답이 제시되는 “FAQ” 섹션이 포함되어 있다.

본 프로토콜에 대한 추가 질문, 정보 및 코멘트에 대해서는 인터넷 매뉴얼(www.Cement-CO2-Protocol.Org)을 참조하도록 한다.

11 참고 문헌

CIF 1998, Cement Industry Federation of Australia. *Greenhouse Energy Management System (GEMS) Guidelines*. CIF-GEMS-001, Revision 1, October

CSI / ECRA 2009. *Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead. CSI/ECRA-Technology Papers*. Düsseldorf, Geneva, June 2009. <http://www.wbcscement.org/technology>

Ellis Jane 2000. *Potential and Implications for Multi-Project Emission Baselines. Cement Case Study*. OECD, Paris

IEA 1998, International Energy Agency, Greenhouse Gas R&D Program. *Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry*. By C.A. Hendriks, E Worrell, D. de Jager, K. Blok, and P. Riemer. <http://www.wbcscd.org/web/projects/cement/tf1/prghgt42.pdf>

EC 2007, Commission of the European Communities. *Commission Decision 2007/589/EC of 18 July 2007. Establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council*. As amended on 17 December 2008, 16 April 2009 and 8 June 2010. http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring_monitoring_en.htm

ECRA 2008, ECRA. Release and uptake of carbon dioxide in the life cycle of cement. TF-ECRA 1004/2008

ECRA 2009, ECRA CCS Project-Report about Phase II, TR-ECRA 106/2009 (see <http://www.ecra-online.org>)

IPCC 1996, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes I, II and III*. IPCC, Bracknell UK

IPCC 2000, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC / IGES, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>

IPCC 2006, *2006 IPCC Guidelines for National*

Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>

ISO 14064-1: 2006-03. *Greenhouse gases. Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. International Organization for Standardization, Switzerland.

Lang, Th. & F. Lamproye 1996. *Sources and Reduction of CO₂-Emissions*. 2nd „Holderbank“ Course on Environment, September 2 to 13, 1996, Holderbank, Switzerland. CEA 96/7024/E.

WBCSD / WRI 2004, World Business Council for Sustainable Development & World Resources Institute. *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition*. <http://www.ghgprotocol.org>

WBCSD / IEA 2009. *Cement Technology Roadmap 2009. Carbon emissions reductions up to 2050*. http://www.iea.org/papers/2009/Cement_Roadmap.pdf.

Zunzer, Ute (2002). *Umsetzung der organischen Bestandteile des Rohmaterials beim Klinkerbrennprozess*. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 63/2002

12 용어 및 약어집

WRI / WBCSD 프로토콜(2004) 용어집에서 인용한 부분은 별표 하나(*), 2006 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인 용어집에서 인용한 부분은 별표 두개(**)로 표시하였다. 더 많은 용어를 보려면 WRI/WBCSD 프로토콜과 2006 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인을 참조한다.

Absolute emission 절대 배출량:

온실가스 절대 배출량은 연간 CO₂톤(CO₂ 톤/년) 등의 질량 유량(Mass stream)으로 표시된다.

AF 대체 연료

Alternative Fuels의 약자

AFR 대체 연료 및 원료

대체 연료 및 원료. 이 용어는 유기물이 상당량 함유된 대체 원료도 포함하는 것으로 정의된다.

Allowance* 배출 허용량

온실가스 배출허용량은 보유자에 특정 양의 온실가스를 배출할 권리가 주어지는 개념이다(온실가스 허용량은 보통 규제 당국이 총량 규제 및 거래 제도(Cap & trade)의 대상인 배출업체에 할당한다).

Alternative fuels 대체 연료

열 에너지원으로 사용되면서 재래 연료로 분류되지 않는 연료 물질이나 제품. 시멘트 산업에서는 플라스틱, 용제, 폐유, 폐타이어 등의 산업 폐기물과 다양한 종류의 혼합 연료 또는 순수 바이오매스 연료가 사용된다.

Annex I 부속서 I

UNFCCC의 부속서 I에는 협약의 목표 달성을 위해 특별한 감축 의무를 지는 선진국 당사국들이 기재되어 있다. 여기에는 OECD국가들(멕시코와 한국은 제외)과 동유럽 국가들, 러시아, EU가 포함된다. 교토 의정서에서 부속서 1 국가들은 2008년 ~2012년의 기간 동안 배출량 상한 또는 감축에 대한 약속을 수용하였다.

ARM 추가 원료

Additional raw materials의 약자. 킬른투입원료의 일부로써가 아니라 하소로나 킬른 투입구에 직접 추가되는 원료. 통상 예열기에 투입되는 균질화된 질량 유량임.

Baseline 기준선

기준이 되는 배출량. 이 용어는 아래와 같이 맥락에 따라 다른 의미로 사용된다:

- 업체의 과거 기준 연도의 배출량
- 업체가 추가적인 감축 조치를 취하지 않을 경우 (Business as usual 시나리오) 예상되는 미래의 배출량
- 온실가스 감축 프로젝트의 기후 변화에 대한 효익을 계산할 때, 비교 대상이 되는 가상의 배출량

Biogenic carbon 생물발생적 탄소**

화석탄소를 제외하는 생물 유래의(식물이나 동물) 탄소. 토탄은 다시 토탄이 형성되기까지 너무나 오랜 기간이 소요되기 때문에 본 가이드라인에서는 화석 탄소를 취급한다.

Biomass 바이오매스**

토탄을 제외하고 생물 유기체(특히 연료로 간주되는)로 구성되거나 그에서 최근에 유래된 유기물질. 생물 유기체에서 유래한 제품, 부산물과 폐기물이 포함된다.

Bypass dust 우회 더스트

서스펜션 예열기, 예비가소기(Precalciner) 및 그레잇 예열 킬른(Grate preheater kiln)의 우회시스템 먼지제거 유닛(Dedusting unit)에서 배출된 더스트로써, 대개 킬른 투입 원료로 이루어지고 완전히 하소되거나 적어도 상당 부분 하소되어 배출됨.

Cap and trade 총량 규제 및 거래 제도*

배출 총량의 상한을 정한 후 참가자에 배출 허용량(Allowances)을 할당하고, 참가자 상호 간에 할당받은 허용량 및 배출권(credits)의 거래를 허용하는 제도.

Cement 시멘트

클링커를 다양한 광물(석고, 석회석, 용광로 슬래그, 석탄회, 화산재 등)과 함께 분쇄해서 만드는 건축 자재. 콘크리트 제조 시 모래, 자갈, 쇄석, 물과 섞으면 결합제의 역할을 한다. 시멘트 품질은 국가 규격으로 정해지지만, 세계적으로 통일된 정의나 규격은 없다. WBCSD-CSI 프로토콜과 GNR(Getting the Numbers Right) DB에서 ‘시멘트’는 최종 소비자에 제공되는 모든 수경성 결합제, 즉 모든 종류의 포틀랜드 시멘트, 복합 시멘트 및 혼합 시멘트를 포함한다. 하지만 직판되는 순수 클링커는 포함되지 않는다. 6.3절 참조.

Cement(eq) 시멘트 (등량)

시멘트 (등량)는 해당 공장의 클링커/시멘트비를 이용해 사업장에서 생산된 클링커 양을 기준으로 구한 시멘트 생산량 값이다. 따라서, 한 공장에서 클링커를 제조해 전량을 시멘트 생산에 소비한다는 가정 하에 실제 해당 공장 고유의 클링커/시멘트비를 적용해 계산한 가상의 시멘트 생산량이다.

Cementitious products 시멘트질 제품

보고 업체가 시멘트 제조나 직판을 위해 생산한 모든 클링커, 혼합에 쓰이는 석고, 석회석, CKD와 모든 클링커 대체물과 시멘트 대체물들을 말한다. 이 분모에 대해서는 ‘시멘트질 제품’ 또는 ‘결합제’라는 용어가 쓰이는데, 클링커와 광물질분말의 합을 일컫기 때문이다. 시멘트 제조를 위해 제3자로부터 구매한 클링커는 제외되는데, 이미 해당 클링커는 제3자의 인벤토리에 산정되기 때문이다.

cem eq 시멘트 등량

Cement (eq.)의 약식 표기.

cem prod 시멘트질 제품

Cementitious products의 약식 표기

Climate-neutral 기후 중립

기후중립적 연료는 연소해도 해당 기간 동안 대기중의 온실가스 축적량이 증가하지 않는다. 대체 연료에 포함된 재생가능 바이오매스로부터의 CO₂ 배출은 기후중립적인데 이는 동량이 식물에 의해 흡수되어 상쇄되기 때문이다.

Clinker 클링커

시멘트 제조 과정 상 중간제품이자 시멘트의 주 성분. 클링커는 킬른에서 석회석의 하소와 연소를 통해 이루어지는 일련의 반응 작용에 따른 결과물이다.

CKD CKD(시멘트 킬른 더스트)

Cement kiln dust의 약자. CO₂배출량의 완전한 보고를 위해 산정해야 하는 CKD는 특히 킬른시스템에서 나오는 부분 하소된 CKD로써, 롱드라이 및 습식 킬른 시스템 먼지제거 유닛에서 부분 하소된 상태로 배출되는 킬른 투입원료 등이 해당된다. 특히 저알칼리 클링커 제조의 경우, CKD와 우회 먼지를 추출해 제거하면 지나친 투입 요소의 순환(알칼리, 유황, 염소)을 통제할 수 있다. ‘CKD’는 우회 시스템 등을 포함하여 시멘트 킬른에서 배출되는 모든 더스트를 지칭하기도 한다.

cli 클링커

Clinker의 약식 표기.

Credit 배출권*

외부 부과 목표를 달성하기 위해 온실가스 오프셋을 배출권(크레딧)으로 전환할 수 있다. 온실가스 배출권은 대개 온실가스 프로그램에서 부여하는 전환 및 이전이 가능한 단위이다.

CSI 시멘트 지속가능성 이니셔티브

Cement Sustainability Initiative의 약자. CSI는 100개국 이상에서 사업을 하고 있는 24개 주요 시멘트 제조업체들이 지속가능한 개발을 추구하기 위해 추진하는 세계적인 이니셔티브이다. 거대 다국적기업으로부터 소규모 국내 제조업체까지 다양한 규모의 업체들로 구성되며 세계 시멘트 생산량의 약 1/3을 차지한다. <http://www.wbcscement.org>

Direct emissions 직접 배출

보고 업체가 소유 또는 통제하는 배출원에서 나오는 온실가스 직접 배출량. 시멘트 킬른, 회사 보유 차량, 채굴 설비 등으로부터의 배출이 포함된다.

Dust return 리턴 더스트

킬른 투입원료 중 클링커 제조에 쓰이거나 우회 더스트가 되지않고 더스트 사이클로 다시 환류되는 부분. 더스트 사이클에는 원료 분쇄기(raw mill)와 더스트 필터 시스템이 포함되는 경우가 많다. 킬른 시스템에서 배출되는 CKD중 비교적 소량만이 이러한 더스트 사이클과 리턴 더스트에 기인한다.

EF 배출 계수

Emission factor. 여기서는 보통 원료의 단위 질량이나 연료의 단위 열량 당 CO₂ 배출 계수를 말한다.

EU ETS EU 배출권 거래 제도

2005년에 출범한 European Union Emissions Trading Scheme 의 약자. EU ETS는 가장 주요한 산업 배출원으로부터의 CO₂ 배출을 대상으로 한다. 2013년부터는 다른 온실가스도 대상으로 포함된다. 추가 사항은 http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm 참조.

Fossil carbon 화석 탄소

화석 연료나 다른 화석원에서 유래한 탄소.

GCV 총 발열량

Gross calorific value (=고위발열량, HHV)

GHG 온실가스

Green House Gases. 교토 의정서의 부속서A에 정해진 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 산화질소(N₂O), 수소화불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화유황(SF₆)이다.

GNR

“Getting the Numbers Right”프로젝트. 세계적으로 800군데 이상의 CSI회원사 소속 공장들을 커버하는 CSI의 글로벌 시멘트 DB.

Gross CO₂ emissions 총 CO₂ 배출량

화석 탄소로부터 발생하는 총 CO₂직접배출량. (자가발전 제외).바이오매스로부터의 CO₂배출은 기후중립적이기 때문에 제외된다. 본 프로토콜 제 3판에서는 혼합 연료에 포함된 생물발생적 탄소로부터의 CO₂ 배출은 산정하지 않는다.

GWP 지구온난화지수**

Global Warming Potentials의 약자로서, CO₂ 1kg 으로부터의 복사강제력(Radiative forcing) 대비 대기중으로 배출된 온실가스 1kg의 복사강제력의 시간의 경과에 따른(예를 들어 100년 등)비율.

HHV 고위발열량

Higher Heat Value(=총 발열량, GCV)의 약자로 통상적으로 연료 1톤 당 GJ로 표시한다. 고위발열량에는 수증기를 응축해 액체 상태로 만들 때 수증기에서 나오는 잠열이 포함된다. 2006 IPCC Guideline4, Vol. II, Section 1.4.1.2.참조.

Indirect emissions 간접배출

온실가스 간접 배출은 보고 업체 오퍼레이션 (Operation)의 결과이지만 타 업체가 소유하거나 관리하는 배출원에서 발생하는 배출을 말한다. 예를 들어, 구매 전력, 직원의 이동, 보고 업체가 소유 또는 통제하지 않는 차량에 의한 제품 운송 시의 배출과 보고 업체의 생산 제품 사용 중에 발생하는 배출 등이 포함된다.

Inventory 인벤토리

조직의 온실가스 배출량과 배출원에 대해 정량화한 목록.

IPCC 기후변화에 관한 정부간 패널

Intergovernmental Panel on Climate Change의 약자. 기후변동 학자의 국제조직으로써, 인위적 기후 변화 위험 파악과 관련된 과학적, 기술적, 사회경제적 정보를 평가하는 역할을 한다. (www.ipcc.ch).

KF 킬른 투입원료

Kiln Feed의 약자.

Kiln 킬른

클링커 제조에 사용되는 관모양의 가열 장치(2006 IPCC 가이드라인 “시멘트 제조”). 하소 반응은 킬른 자체에서 이루어질 수도 있고, 장비에 따라 킬른 전 단계인 예열기 및/또는 예비가소에서 부분적으로 또는 완전히 이루어질 수도 있다.

Kiln feed 킬른 투입원료

주로 조합원료로 가공되어 예열기나 킬른에 직접 투입되는 원료. 킬른 투입 원료에는 대개 예열기나 킬른 시스템에서 리턴되는 특정 양의 재활용 더스트가 포함된다 (“리턴 더스트” 참조할 것).

Kiln fuel 킬른 연료

킬른 시스템에 투입되는 연료와 클링커 제조 및 킬른 연료의 준비를 위한 원료의 건조/ 가공에 사용되는 연료. (3.7절 참조).

KPI 핵심 성과 지표

Key Performance Indicator의 약자로 성과의 지표 유형을 지칭하기 위해 업계에서 사용하는 용어. KPI는 일반적으로 조직의 성공 여부나 조직이 행한 특정 활동의 성공 여부를 평가하기 위해 사용된다.

LHV 저위발열량

Lower Heat Value(=순발열량, NCV)의 약자로 보통 연료 1톤당 GJ로 표시한다. 저위발열량에는 수증기의 잠열은 제외된다. 2006 IPCC Guideline4, Vol. II, Section 1.4.1.2 참조.

LOI 강열감량

Loss on Ignition의 약자로 무기물 화학 분석, 특히 광물 분석에 사용되는 시험법이다. 실험 재료 샘플을 대상으로 휘발 성분이 빠져나가 질량 변화가 없을 때까지 일정 온도로 강하게 가열(“발화”)하는 방법이다.

MIC 광물질분말

Mineral Inorganic Components. 클링커나 시멘트 대체물로 사용되는 천연 또는 인공 광물질을 지칭한다(용광로 슬래그, 석탄회, 화산회 등). IPCC 가이드라인 “시멘트 제조”.

Mixed Fuels 혼합 연료

바이오매스와 화석 연료가 섞인 연료를 지칭하기 위해 본 해설서에서 사용하는 용어. 생물발생적 탄소가 함유된 연료 등의 예가 있다.

Net CO₂ emissions CO₂순배출량

CO₂ 총배출량에서 대체 화석 연료로부터의 CO₂ 배출량을 제한 값. 이 정의는 본 프로토콜의 제1판에서의 정의와 같다. 프로토콜 제 2판의 정의에

따라 구입한 배출권(Emission rights)을 차감하고 순배출량을 보고하는 안은 거의 활용되지 않았다.

Non-kiln fuel 비킬른 연료

업체가 사용한 킬른 연료의 정의에 포함되지 않는 연료. 공장 및 채석 차량, 실내 난방, 시멘트 분쇄를 위한 광물질 준비를 위한 열 처리 설비(건조기 등) 또는 킬른과는 별도의 자가발전 시설에서 사용되는 연료 등이 있다. (3.8절 참조)

Nm³ 노멀 입방 미터

Normal cubic meter(1013hPa, 0°C 기준)

NCV 순발열량

Net Calorific Value(=저위발열량, LHV). 보통 연료1 톤 당 GJ로 표시는데, 수증기 안의 잠열은 포함되지 않는다.

Offset 오프셋(상쇄)*

온실가스 상쇄는 가령 자발적/의무적 온실 가스 감축 목표나 총량(Cap)의 달성을 위해 온실가스 배출 감축량을 다른 곳에서의 배출을 상쇄하기 위해 사용하는 개념이다. 오프셋은 감축 프로그램이 없다고 가정했을 경우의 배출량을 기준선으로 해서 계산한다. 특정 목표나 총량 한도 달성을 위해 오프셋을 사용하고자 할 때, 그 오프셋은 해당 목표나 총량한도에 포함되지 않는 배출원이나 흡수원(sink)에서 발생한 것으로 해야 이중 산정을 피할 수 있다.

OPC 보통 포틀랜드 시멘트

‘CSI시멘트CO₂·에너지 프로토콜’에서 OPC는 90% 이상의 크링커 분쇄물과 약 5%의 석고로 구성된 크링커 함유율이 높은 시멘트 종류를 말한다. 그런데 시멘트 종류의 명칭과 정의는 국가 규격마다 다르다는 점에 유의해야 한다. OPC는 유럽 규격 EN 197-1:2007에서는 ‘포틀랜드 시멘트’나 ‘CEM I’으로, 중국 규격 GB175-2007에서는 ‘P·I’, ‘P·II’로, 미국 규격 ASTM C 150에서는 ‘포틀랜드 시멘트 Types I - V’로, 2006 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인에서는 ‘포틀랜드’ 또는 ‘PC’로 지칭된다. 중국 규격GB175-2007의 경우, 보통 포틀랜드 시멘트인 ‘P·O’와 복합 포틀랜드 시멘트인 ‘P·C’는 클링커 함유율이 훨씬 낮은 시멘트를 가리킬 수 있다.

Petcoke 석유 코크스

석유정제 공정부터 발생하는 탄소 기반의 고체.

Pozzolana 화산회

수산화 칼슘과 결합하여 시멘트 성질을 띠는 물질.

Process emissions 공정 배출**

연소 이외의 화학적 전환이 이루어지는 산업 공정부터의 배출

Protocol 프로토콜

온실가스의 계산, 모니터링, 보고를 위한 방법론

Raw material preparation 원료 준비

원료를 조합원료로 전환하기 위해 적용되는 공정(분쇄, 균질화, 건조 등)

Raw meal 조합원료

조합원료는 분쇄된 원료로 이루어진다. 원료가공 과정에는 건조나 물의 첨가가 있을 수 있다. 조합원료의 성분은 관리되어 대개 매우 안정되어 있는데, 이는 클링커를 태울 때에는 정해진 일정 화학 성분의 킬른 투입 연료가 필요하기 때문이다.

Raw material 원료

건조 등 열처리 전의 석회석, 철광석, 모래 등 조합원료 준비에 사용되는 재료.

Raw meal consumed 조합원료 소비량

클링커 제조 및 하소된 우회 먼지의 형성에 소비되는 조합원료의 양. 킬른 투입 원료와 달리, 조합원료 소비량에는 재활용된 더스트("리턴 더스트" 참조)는 포함되지 않는다.

RM 조합원료

Raw Meal의 약자.

Specific emissions 원단위 배출량

원단위 배출량은 아웃풋 단위 당 배출량으로써 가령 'kg-CO₂/t-cement' 등으로 표시된다.

TC 총 탄소

Total Carbon. 총 유기 및 무기 탄소의 합.

TIC 총 무기탄소

Total Inorganic Carbon. 대부분 재료의 광물질에 포함되어 있음(연료 재(Ash)안의 탄산염 등)

TOC 총 유기탄소

Total Organic Carbon의 약자.

Traditional fuels 전통적 연료

기후 변화에 관한정부간패널(IPCC)의 가이드라인에 정의되는 화석 연료로써, 주로 석탄, 석유 코크스, 갈탄, 혈암, 석유제품과 천연 가스가 포함된다.

UNFCCC 유엔 기후변화 협약

United Nations Framework Convention on Climate Change의 약자. UNFCCC 당사국은 협약에 서명한 국가들이다.

WBCSD 세계 지속가능발전 기업 협의회

World Business Council for Sustainable Development의 약자. WBCSD는 CEO 주도로 세계 약 200개 기업들이 비즈니스 및 지속가능한 개발 문제에 매진하고 있는 협의회이다. 협의회는 기업들이 지속가능한 개발을 모색하고 지식, 경험, 베트스 프랙티스를 공유하기 위한 틀을 제공하고, 정부, 비정부기구 및 정부간 조직들과 함께 일하며 다양한 포럼에서 이러한 이슈들에 대한 기업계의 입장을 대변한다. 20개 주요 산업 부문에 걸쳐 30여 개 국가의 기업들이 회원으로 참여하고 있다. WBCSD는 또한 약 60여 개의 국가 및 지역 기업 협의회 와 지역 파트너들과 글로벌 네트워크를 형성해 도움을 받고 있다. <http://www.wbcsd.org>

WRI 세계 자원 연구소

World Resources Institute. WRI는 1982년에 미국 워싱턴DC를 소재로 설립된 환경 연구기관이다. WRI는 약 100여 명의 과학자, 경제학자, 정책 전문가, 비즈니스 분석가, 통계 분석가, 지도제작자, 커뮤니케이션 담당자들로 구성된 독립적이고 초당적 비영리 기구로써, 지구를 보호하고 인류 생활 개선을 위한 정책의 개발과 보급을 목적으로 한다.

A1 시멘트CO₂ 에너지 프로토콜 스프레드시트

본 프로토콜의 스프레드시트는 MS 엑셀 문서로서 다음의 워크시트를 포함한다:

1. Read Me 해설 시트:

이 시트에는 워크시트에 사용된 여러가지 색의 의미와 사용자를 위한 추가 지침이 설명되어 있다. 자주 묻는 질문과 이에 대한 답이 제공되는 FAQ 부분이 제 3판에 추가되었다.

2. Comments 주석 시트

이 시트에는 공장 워크시트의 각 행에 대한 간략한 설명이 들어있다.

상세한 설명은 CSI 웹사이트 (www.wbcscement.org)의 인터넷 매뉴얼 (www.Cement-CO2-Protocol.org)에 제공된다.

3. Plants 공장 시트

공장 당 1개의 워크시트를 사용한다.

4. CalcA1 시트

간편 투입량 방식(A1)의 부속 시트로 원료 하소로 인한 CO₂ 배출량 산정에 사용된다(킬른 운전이 있는 공장에 대해서 작성할 수 있음).

5. CalcA2 시트

상세 투입량 방식(A2)의 부속 시트로 원료 하소로 인한 CO₂배출량 산정에 사용된다(킬른 운전이 있는 공장에 대해 작성할 수 있음).

6. CalcB2 시트

상세 생산량 방식 (B2)의 부속 시트로 보정된 클링커 CO₂ 배출 계수 산정에 사용된다(킬른 운전이 있는 공장에 대해 작성할 수 있음).

7. Company 업체 시트

각 공장의 데이터를 업체 기준으로 통합(연결)하기 위한 시트.

8. Validation 검증 시트

입력 데이터의 품질 관리를 위한 검증 프로그램.

9. Control Plant 공장 관리 시트

업체에 대한 상세한 검증 프로그램 보고서

10. Fuel CO₂ factors 연료 CO₂ 배출계수

시멘트 공장에서 사용된 연료에 대한 CO₂ 배출 계수 기본값.

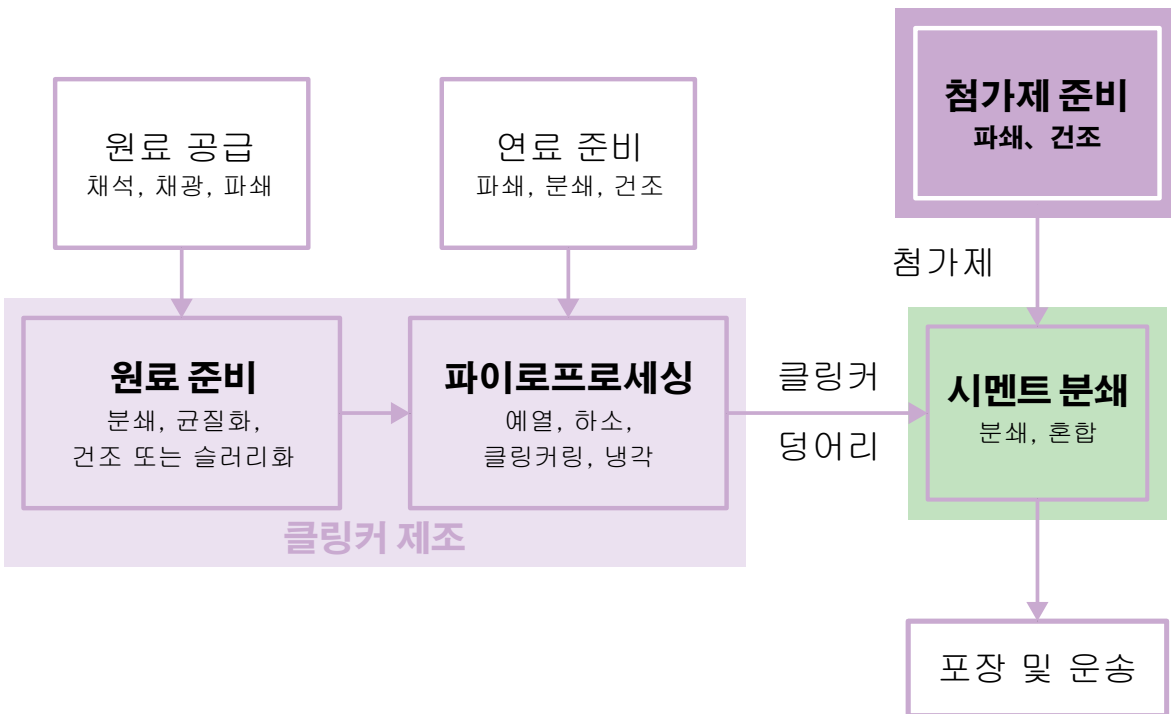
A2 시멘트 제조 시의 온실가스 배출원과 배출량 감축 방법

시멘트 제조 공정 개요

시멘트 제조의 3대 주요 공정은 다음과 같다 (그림 A2-1 참조):

1. 원료의 준비
2. 원료의 파이로프로세싱(Pyroprocessing)을 통해 중간제품인 클링커 제조
3. 시멘트 생산을 위해 클링커를 다른 제품들 (광물질분말)과 함께 분쇄 및 혼합.

그림A2-1 : 시멘트 제조 단계별 공정.



출처: Ellis 2000, Ruth et al. 2000 기반.

제조 공정에서 CO₂ 직접 배출의 2대 주요 배출원은 파이로프로세싱 단계에서의 원료 하소와 킬른 연료의 연소 공정이다. 이2개 배출원에 대한 세부 사항은 아래에 설명된다. 기타 CO₂ 배출원으로는 비킬른연료(건조기, 실내 난방, 장내 수송 등)로부터의 직접 배출, 장비에서의 발전이나 수송으로 인한 간접 배출 등이 있다. 교토 의정서에서 규정하고 있는 CO₂이외의 온실가스는 시멘트업에서는 직접 배출량이 미미하기 때문에 유관하지 않다.

원료 하소로 인한 CO₂ 배출

클링커 소결(burning) 공정에서는 (석회석 등에 있는) 탄산 칼슘이 생석회로 화학 분해되면서 CO₂가 배출된다:



이 과정을 ‘하소(Calcing 또는 Calcination)라고 하고, 킬른 굴뚝을 통해 CO₂가 직접 배출된다. 하소에 따른 CO₂배출을 고려할 때에는 2개 요소를 구별해야 한다:

- > 클링커 생산에 실제 사용된 원료에서 배출되는 CO₂. 이 원료들은 클링커 제조 공정에서 완전히 하소된다.
- > 부분 하소 상태의 CKD(시멘트 킬른 더스트)나 대개 완전 하소 상태의 우회 더스트 형태로 킬른 시스템에서 배출되는 원료에서 나오는 CO₂

실제 클링커 제조로 인한 CO₂배출량은 클링커의 석회 함량²⁴에 비례하는데, 이 함량은 시점이나 시멘트 공장 간에 큰 차이가 없다. 따라서 클링커 톤 당 CO₂ 배출 계수는 상당히 안정적이다(IPCC 기본값: 510 kgCO₂/클링커t, CSI 기본값: 525 kgCO₂/클링커 t).

킬른시스템에서 배출되는 킬른 더스트의 양은 킬른 종류 및 시멘트 품질 규격에 따라 클링커 톤 당 0부터 100kg이상에 이르기까지 다양하다. 국가나 배출시설에 따라 이와 관련된 배출을 고려해야 하는 경우가 있다.

원료 하소로 인한 CO₂ 배출량의 계산 방법에는 원칙적으로 등가로 계산되게 되는 2가지가 있다: 하나는 제품(클링커와 킬른시스템에서 배출되는 더스트, 생산량 방식 B1 및 B2)의 양과 화학적 조성에 기반한 계산법이고, 두번째 방법은 킬른에 투입되는 원료의 투입량 및 조성에 기반한 계산법이다. (투입량 방식 A1 및 A2). 세부 사항은 3.2, 3.3, 3.4절과 부록 참조.

원료 안의 유기 탄소로부터의 CO₂

클링커 제조에 사용되는 원료에는 대개 소량의 유기탄소가 포함되어 있는데, 이를 총 유기탄소 함량으로 표시할 수 있다. 조합원료 중의 유기탄소는 파이로프로세싱 공정에서 CO₂로 전환되는데, 대개 그 양이 시멘트 공장 전체 CO₂ 배출량에서 차지하는 비중은 아주 작다(약 1% 이하). 하지만 원료의 유기 탄소 함량은 지역 및 사용하는 원료의 종류에 따라 상당한 차이가 난다. 예를 들어, 한 업체가 특정 종류의 석탄회나 혈암을 대량으로 킬른 투입원료로 사용할 경우 상응하는 배출량은 계산할 필요가 있을 수 있다.

킬른 운전용 연료로부터의 CO₂

시멘트 업계는 킬른 운전을 위해 석탄, 석유 코크스, 연료유, 천연가스 등의 다양한 화석 연료를 사용한다. 최근에는 폐기물에서 유래한 연료들이 중요한 대체 연료로 쓰이기도 한다. 이러한 대체 연료에는 폐유, 플라스틱등의 화석계와 폐목재, 폐수처리장의 탈수 슬러지 등 바이오매스계의 연료가 있다. 또한 (플라스틱, 섬유, 제지 등을 포함하는) 전처리된 산업 폐기물이나 (천연 또는 합성 고무를 포함하는) 페타이어 등의 화석계와 바이오 유래의 성분이 다 포함된 연료의 사용도 증가 추세에 있다.

이러한 기존의 재래 연료 및 대체 연료는 모두 킬른 굴뚝으로 CO₂를 직접 배출시킨다. 하지만, 바이오매스 연료는 IPCC의 정의에 따라 ‘기후 중립적’인 것으로 간주된다. 또 대체 연료(바이오 매스 또는 화석 유래)를 사용하면 추가로 소각장이나 매립지 등 다른 곳에서의 배출량이 감소되는 효과가 있다.

CO₂감축 옵션

시멘트 산업에서 CO₂배출을 감축시키는 방법은 여러 가지가 있다. CO₂감축 방법은 다음의 카테고리리 정리할 수 있다:

- > 클링커 대신 광물질분말을 사용.
- > 연료 대체: 석탄 대신 천연가스나 (바이오매스를 함유하는) 대체 연료를 사용.

- > 이미 (일부) 탈탄산화된 원료를 사용.
- > 에너지 효율 개선: 클링커 또는 시멘트의 단위 생산량당 소비 연료 및 전력량을 줄이기 위한 기술적, 운전(Operation)상의 조치 강구.
- > 킬른 시스템에서 배출되는 더스트(CKD, 우회 먼지)가 상당량일 경우, 해당 더스트의 양을 감축.

광물질분말은 수경성이 잠재되어 있는 천연 및 인공 광물 재료이다. 그 예로는 천연 화산회, 용광로 슬래그, 석탄회 등이 있다. 광물질분말은 혼합 시멘트 생산을 위해 클링커에 첨가되는데, 때로는 레디믹스 (Ready-mix) 회사나 건설사가 직접 콘크리트에 순수 광물질분말을 추가하기도 한다. 광물질분말을 사용하면 해당량 만큼의 클링커 제조 시 배출되었을 하소와 연료 연소에 따른 CO₂직접 배출량을 줄일 수 있다. 인공 광물질분말은 철강, 석탄 화력 발전 등과 같은 다른 생산 공정에서 나오는 폐기물들이다. 그에 관련된 온실가스 배출량은 각각의 해당 산업 부문에서 모니터링, 보고되고 있다. 광물질분말을 클링커나 시멘트를 대체해서 사용한다고 해서 시멘트 제조 사업장에서 온실가스 배출량이 늘어나는 것은 아니다. 따라서, 이러한 간접 배출량은 시멘트 생산 인벤토리에 포함시켜서는 안된다.

A3 '하소에 의한 CO₂ 배출' 세부사항

클링커 생산량에 근거한 원료 하소로 인한 CO₂ 배출량의 보고 IPCC와 CSI의 권고사항 및 클링커 기본 배출계수

IPCC(2006)에서는 생산된 클링커의 CaO 함량에 근거해 하소에 의한 CO₂ 배출량을 산정할 것을 권고하고 있다(클링커의 CaO 함량 x 0.785 t CO₂/t CaO). 클링커의 CaO 함유율 기본값은 65%가 권장되는데, 이는 510kg CO₂/클링커t에 상당한다.

IPCC에 의하면 폐기되는 킬른 더스트로부터의 CO₂는 그 하소율을 고려하여 별도로 산정되어야 한다. 정확한 데이터가 없을 경우 IPCC는 기본값으로 클링커 CO₂ 배출량에 2%를 더해서 폐기된 더스트에 대한 부분도 산정해 줄 것을 권장한다. IPCC에서는 우회 더스트와 CKD를 구분하지는 않는다. 또한 IPCC 기본값에는 탄산 마그네슘(클링커의 MgO 함량은 보통 2%임)의 분해로 인한 CO₂ 배출량은 고려되지 않는다²⁵.

CSI에서는 클링커 하소에 대한 배출 계수를 각각의 공장에 대해 결정할 것을 권장한다. 이를 위해 본 프로토콜 스프레드시트에는 상세 생산량 방식(B2) 워크시트가 포함되어 있는데, 이를 사용해 공장의 클링커 안의 CaO 및 MgO 함량뿐 아니라 규산 칼슘, 조합원료에 첨가되는 석탄회 등 탄산염 유래가 아닌 CaO와 MgO에 대해서도 고려할 수 있다. 공장 실측 데이터가 없을 경우, CSI는 '525 kg CO₂/클링커 t'의 기본 배출 계수로 간편 생산량 방식(B1)을 적용할 것을 권장하는데, 이 계수는 IPCC 기본값을 탄산 마그네슘에 대해 보정하는 것이다.

CSI는 현재 GNR 데이터베이스에 근거하여 지역별 또는 국별 계수를 보고할 수 있도록 할 지에 대한 논의를 진행 중이다. 앞으로는 기본값과 함께 이러한 수치들도 사용할 수 있을 것이다. CaO 및 MgO 함량을 기준으로 정한 클링커의 CO₂ 배출 계수는 킬른시스템에서 반출되는 CKD로부터의 CO₂와 원료의 유기탄소함량(TOC)에 기인하는 CO₂ 배출분은 고려하지 않는다. 따라서 이러한

배출분은 클링커 제조 시의 원료 하소로 인한 CO₂ 배출량에 추가로 산정되게 된다. 이렇게 추가 산정하는 부분은 공장 시트(3.4절 참조)의 생산량 방식(B1 및 B2)에 구현되어 있다.

CKD(시멘트 킬른 더스트)로부터의 CO₂: 산정식 도출

CKD는 통상적으로 완전 하소되지 않는다. 따라서 CKD의 CO₂ 배출 계수는 CKD, 조합원료 및 배출된 CO₂간의 질량 수치(Mass balance)에 근거해 도출할 수 있다.

식 1:

$$CKD = RawMeal - CO2_{RM} \times d$$

CKD = 생산된 CKD의 양 (t)

RawMeal = 소비되어 CKD로 변환된 건조 조합원료의 양 (t)

CO₂_{RM} = 조합원료에 포함된 탄산염 CO₂ 총량 (t)

d = CKD 하소율(조합원료 안의 총 탄산염 CO₂ 대비 배출된 CO₂의 비율)

CKD에 대한 CO₂ 배출 계수:

식 2:

$$EF_{CKD} = \frac{CO2_{RM} \times d}{CKD} = \frac{CO2_{RM} \times d}{RawMeal - CO2_{RM} \times d}$$

EF_{CKD} = CKD에 대한 배출 계수(t CO₂/t CKD)

CO₂_{RM}은 조합원료의 양에 비례하므로 식2는 아래와 같이 다시 성립될 수 있다:

식 3:

$$EF_{CKD} = \frac{fCO2_{RM} \times d}{1 - fCO2_{RM} \times d}$$

fCO₂_{RM} = 조합원료 안의 탄산염 CO₂의 중량 비율

조합원료가 완전히 하소되면($d=1$), EF_{CKD} 가 클링커의 배출계수가 된다:

식 4:

$$EF_{Cl_i} = \frac{fCO2_{RM}}{1 - fCO2_{RM}}$$

아래와 같이 재정의할 수도 있다:

식 5:

$$fCO2_{RM} = \frac{EF_{Cl_i}}{1 + EF_{Cl_i}}$$

EF_{Cl_i} = 클링커에 대한 배출 계수(t CO₂/클링커t)

식 5에 기반하여 식 3은 다음과 같이 표현될 수 있다:

식 6:

$$EF_{CKD} = \frac{\frac{EF_{Cl_i}}{1 + EF_{Cl_i}} \times d}{1 - \frac{EF_{Cl_i}}{1 + EF_{Cl_i}} \times d}$$

식 6은 스프레드시트에 반영되어 있는데, 이 식으로

(i)클링커의 배출 계수와 (ii) CKD의 하소율에 기반하여 CKD의 배출 계수를 산정할 수 있다. 그림 A3-1은 하소율의 영향을 나타낸 것이다. 사선은 CKD 하소율과 CKD 배출 계수 간에 선형 의존 관계가 있다는 가정 하에, 최대 50% (낮은 하소율에서) 또는 55kg CO₂/CKD t까지 배출량 과대 산정이 이루어짐을 보여준다.

CKD 하소율 산정

CKD 의 하소율 (d)는 식 7에 따라 CKD와 조합원료에 각각 포함된 탄산염 CO₂의 중량 비율을 기반으로 산정한다. $fCO2_{CKD}$ 와 $fCO2_{RM}$ 의 2개 입력 변수값은 화학 분석으로 측정해야 하는데, 가능한 분석법으로는 강열감량(LOI), 적정(Titration), 적외선(IR) 검출에 의한 CO₂ 배출량 분석이 있다.

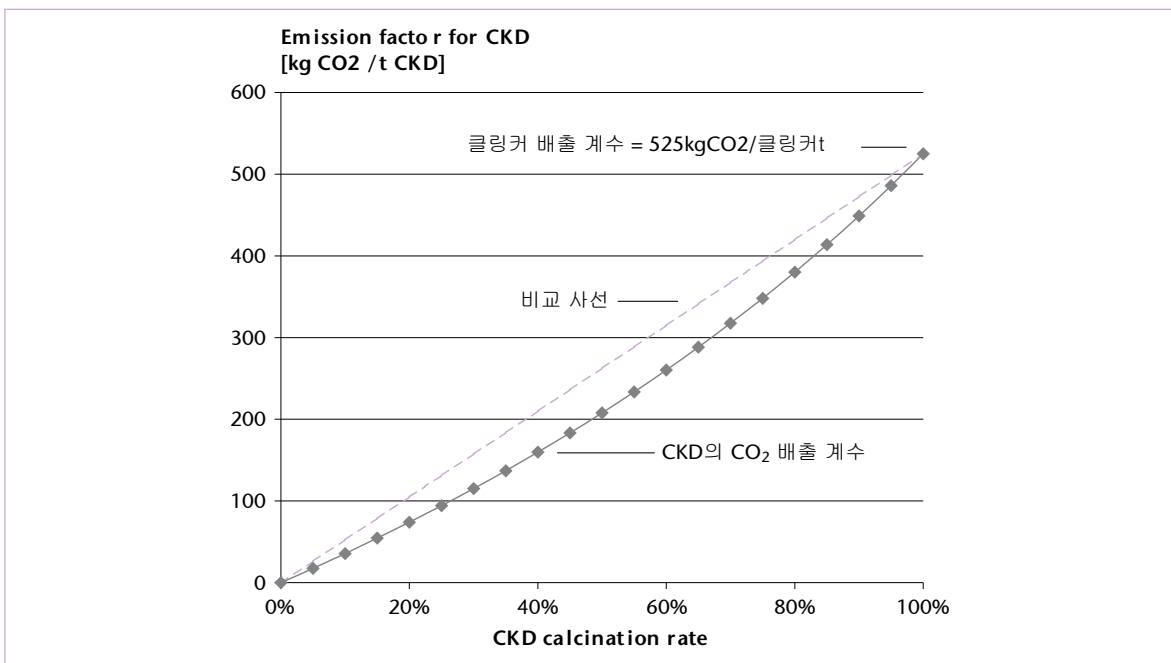
식 7:

$$d = 1 - \frac{fCO2_{CKD} \times (1 - fCO2_{RM})}{(1 - fCO2_{CKD}) \times fCO2_{RM}}$$

$fCO2_{CKD}$ = CKD안의 탄산염 CO₂의 중량 비율 (-)

$fCO2_{RM}$ = 조합원료 안의 탄산염 CO₂의 중량 비율 (-)

그림 A3-1: CKD 하소율이 CKD의 CO₂ 배출계수에 미치는 영향. 예시에서는 클링커 기본 배출계수 (525 kg CO₂/클링커t)를 사용.



CKD의 구성 성분에 대한 측정 데이터가 없을 경우, 하소율 d 는 기본값 1로 한다. 1은 보수적인 값으로써, CKD는 통상적으로 완전 하소되지는 않기 때문에 대부분의 경우 CKD관련 배출량이 과대 산정되게 된다.

CO₂ 함량 분석으로 CKD의 CO₂배출 계수를 직접 산정하는 방법

CKD의 CO₂ 배출 계수를 직접 구하기 위해 식 3과 7을 조합하면 식 8이 된다.

식 8:

$$EF_{CKD} = \frac{fCO2_{RM} - \frac{fCO2_{CKD} \times (1 - fCO2_{RM})}{(1 - fCO2_{CKD})}}{(1 - fCO2_{RM}) + \frac{fCO2_{CKD} \times (1 - fCO2_{RM})}{(1 - fCO2_{CKD})}}$$

식 8은 식 9로 보완하여 단순화할 수 있다.

식 9:

$$\frac{\frac{(1 - fCO2_{CKD})}{(1 - fCO2_{RM})}}{\frac{(1 - fCO2_{CKD})}{(1 - fCO2_{RM})}} = 1$$

따라서 CKD의 CO₂ 배출 계수는 아래의 식으로 직접 산정할 수 있다:

식 10:

$$EF_{CKD} = fCO2_{RM} \times \frac{(1 - fCO2_{CKD})}{(1 - fCO2_{RM})} - fCO2_{CKD}$$

식 10의 괄호 부분은 미하소 조합원료 샘플로 파악한 CO₂ 함량($fCO2_{RM}$)의 질량값을 부분 하소되었을 수도 있는 CKD의 질량값으로 보정해준다. CKD의 CO₂ 배출 계수인 EF_{CKD} 는 CKD가 부분 하소된 상태에서의 CO₂ 함량과 미하소 상태로 가정되었을 때의 CO₂ 함량 간의 차이에 근거해 산정한다.

A4 연료 배출계수에 대한 배경 자료

본 부록에는 CSI 태스크포스가 수집한 연료 배출계수에 대한 배경 정보가 정리되어 있다.

표A4-1 : 석유 코크스 샘플의 지역별 분포 (샘플 수)

남미	캐나다 / 미국	유럽	아시아	아프리카	합계
40	1	291	20	9	361

샘플은 대부분 1999 - 2003년에 수집된 것들로 유럽을 중심으로 세계 여러 지역에서 수집되었다(표A4-1 참조). 샘플의 평균값 92.8 kg/GJ 은 시멘트 CO₂ 프로토콜 초판에서 예비 추산치를 기준으로 제시되었던 기본값 100 CO₂/GJ을 대체하게 되었다. 이 값은 2006 IPCC 국가 온실가스 인벤토리

석유 코크스

CSI태스크포스는 2003년에 회원사들이 사용하는 고유황 석유 코크스의 배출 계수 데이터를 종합했는데, 결과는 다음과 같다:

평균값: 92.8 kg CO₂/GJ
 표준편차: 2.08 kg/GJ
 샘플수: 361

가이드라인의 기본값(97.5 kg CO₂/GJ)과도 차이가 난다⁴.

대체 연료

CSI 태스크포스는 2003-04년에 걸쳐 회원사들의 대체연료 배출계수 데이터를 수집하였는데, 그 결과는 표A4-2에 정리되어 있다.

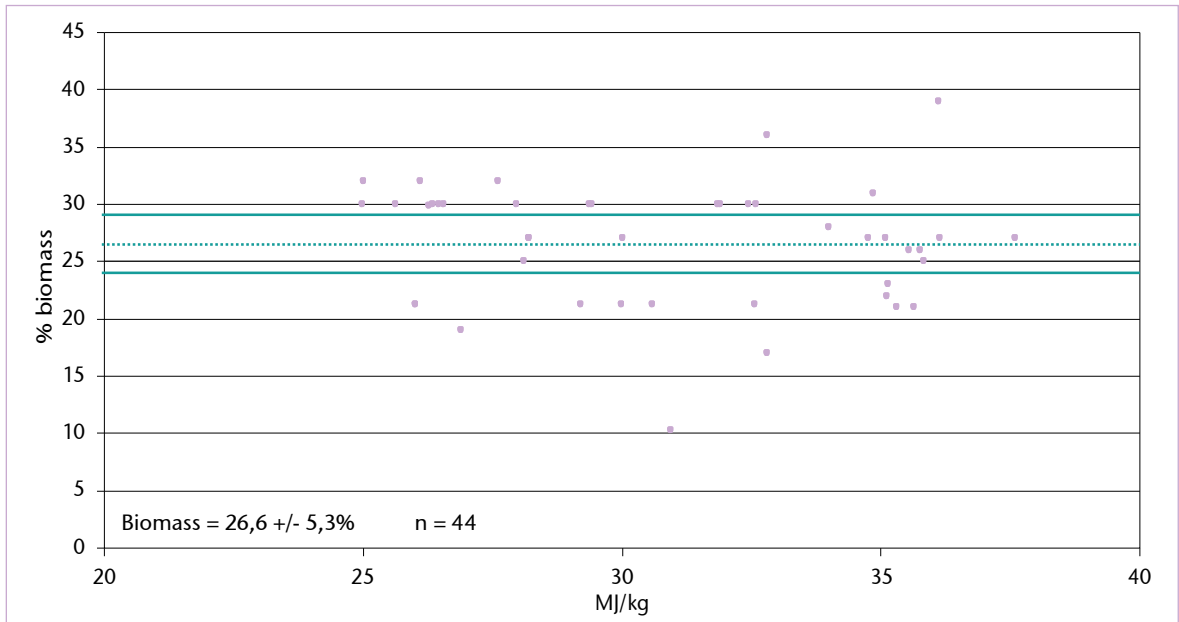
표A4-2 : CSI태스크포스가 정리한 대체연료에 관한 분석 데이터. CO₂ 배출계수는 스프레드시트에서는 두 자리 수로 반올림되어 있다.

연료	샘플 수	CO ₂ 배출 계수 평균값 (kg /GJ)	표준 편차 (kg /GJ)
화석 기반 대체 연료			
폐유	90	74.2	5.6
용제	116	73.8	14.9
바이오매스 연료			
동물사료	116	89.2	6.5

2008/2009년에 CSI태스크포스는 적절한 기본값이 스프레드시트에 반영될 수 있는 지 파악하기 위해 여러 대체연료의 바이오매스 함량에 대한 데이터를 수집하였다. 그 결과 페타이어(shredded tires 포함)에 대해서만 충분히 일관성이 있는 데이터베이스를

파악할 수 있었고(그림 A4-1참조) 바이오매스 함량 기준치를 27%로 반영할 수 있었다. 이 값은 EU 배출권 거래 제도 하에서 보고를 위해 오스트리아나 독일 등의 유럽 국가들이 설정한 기본값과 동일하다.

그림A4-1: CSI태스크포스가 정리한 페타이어(재단물 포함한다)의 바이오매스 함량과 발열량의 관계에 대한 분석 데이터



A5 수 접두어, 단위 및 변환 계수

접두어 및 증배율 (Multiplication factor)			
증배율	지수 표기	접두어	기호
1 000 000 000 000 000	10^{15}	페타	P
1 000 000 000 000	10^{12}	테라	T
1 000 000 000	10^9	기가	G
1 000 000	10^6	메가	M
1 000	10^3	킬로	k
100	10^2	헥토	h
10	10^1	데카	da
0.1	10^{-1}	데시	d
0.01	10^{-2}	센티	c
0.001	10^{-3}	밀리	m
0.000 001	10^{-6}	마이크로	m

화학물질 기호		단위 표기	
CH ₄	메탄	입방미터	m ³
N ₂ O	이산화질소	헥타르	ha
CO ₂	이산화탄소	그램	g
CO	일산화탄소	톤	t
NO _x	질소산화물	줄	J
NMVOc	메탄 이외의 휘발성 유기화합물	도씨	°C
NH ₃	암모니아	칼로리	cal
CFCs	염화불화탄소	년	yr
HFCs	수소화불화탄소	인(人)	cap
PFCs	과불화탄소	갤론	gal
SO ₂	이산화황	건조 질량	dm
SF ₆	육불화황		
CCl ₄	사염화탄소		
C ₂ F ₆	헥사플로오로에탄		

출처: IPCC 1996년, 1996년 IPCC국가 온실가스(GHG)인벤토리 가이드라인 및 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인 2006년 판.

전환 계수

To convert from	To	Multipl y by
grams (g)	metric tons (t)	1×10^{-6}
kilograms (kg)	metric tons (t)	1×10^{-3}
megagrams	metric tons (t)	1
gigagrams	metric tons (t)	1×10^3
pounds (lb)	metric tons (t)	4.5359×10^{-4}
tons (long)	metric tons (t)	1.016
tons (short)	metric tons (t)	0.9072
barrels (petroleum, US)	cubic metres (m ³)	0.15898
cubic feet (ft ³)	cubic metres (m ³)	0.028317
litres	cubic metres (m ³)	1×10^{-3}
cubic yards	cubic meters (m ³)	0.76455
gallons (liquid, US)	cubic meters (m ³)	3.7854×10^{-3}
imperial gallon	cubic meters (m ³)	4.54626×10^{-3}
joule	gigajoules (GJ)	1×10^{-9}
kilojoule	gigajoules (GJ)	1×10^{-6}
megajoule	gigajoules (GJ)	1×10^{-3}
terajoule (TJ)	gigajoules (GJ)	1×10^{-3}
Btu	gigajoules (GJ)	1.05506×10^{-6}
calories, kg (mean)	gigajoules (GJ)	4.187×10^{-6}
tonne oil equivalent (toe)	gigajoules (GJ)	41.86
kWh	gigajoules (GJ)	3.6×10^{-3}
Btu / ft ³	GJ / m ³	3.72589×10^{-5}
Btu / lb	GJ / metric tons	2.326×10^{-3}
lb / ft ³	metric tons / m ³	1.60185×10^{-2}
psi	bar	0.0689476
kgf / cm ³ (tech atm)	bar	0.980665
atm	bar	1.01325
mile (statue)	kilometer	1.6093
ton CH ₄	ton CO ₂ equivalent	21
ton N ₂ O	ton CO ₂ equivalent	310
ton carbon	ton CO ₂ equivalent	3.664

Sources: International Energy Annual, 1998; <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/convheat.html>
BP Group Reporting Guidelines, 2000

Source: WRI / WBCSD GHG Protocol, Guideline for Stationary Fuel Combustion www.ghgprotocol.org

A6 프로토콜 제 2판 대비 제 3판에서의 주요 변경 사항

시멘트CO₂•에너지 프로토콜의 개정은 세계 여러 시멘트 업체들이 수 년 동안 제 2판을 적용해 본 경험과 평가에 기반하여 이루어졌다. 제 3판의 주요 개정 사항은 아래와 같다:

- > 시멘트 생산 등량에 기반한 KPI 등 핵심성과지표 (KPI)들이 추가됨 (부록7참조)
- > 킬른 연료의 정의 변경
- > 혼합 연료의 바이오매스 함량으로 인한 기후중립적 CO₂ 배출량 고려
- > 원료 하소에 따른 CO₂ 배출량 보고 방법으로 간편방식, 상세방식, 투입량 방식, 생산량 방식 중 선택할 수 있게 됨
- > 자가발전으로 인한 CO₂ 배출의 (선택적) 보고가 더 자세해짐('전력 수지')
- > 클링커, 시멘트, 광물질분말의 내부 이송으로 인한 이중 계상을 피하기 위해 통일된 규칙이 추가되고, 공장 레벨 배출량을 업체 전체로 연결함.
- > 순배출량 및 총배출량의 정의 변경(제 1판의 정의와 동일).

일부 사소한 형태상의 변경 사항도 있었다:

- > 배출시설(installatioin)에 대한 추가적인 일반 정보를 스프레드시트에 포함시킴.
- > 검증 프로그램(툴)의 포함
- > 배출권(Emission rights)에 관한 부분 삭제.
- > 자가 발전을 위한 대체 연료의 사용이나 채석 차량에 대한 바이오 디젤 이용 등 다양한 연료 종류에 대해 보고할 수 있는 유연성이 증가됨.

- > 구매 클링커에 대한 기본 배출 계수 업데이트.
- > 국가전력망으로부터의 전력에 대한 배출계수 가이드 업데이트.
- > 자가발전용 등 '내부적으로 이용되는 폐열'의 보고 옵션 제공.

KPI (핵심성과지표)

본 프로토콜 개정의 목표 중 하나는 제 2판의 KPI가 가능한 한 제 3판에도 변경 없이 유지되어 KPI에 따른 기간별 비교가 가급적 단절되지 않도록 하는 것이었고, 대부분 이 목표는 달성되었다.

CSI에 (특히) 아시아로부터 자가발전 시설을 많이 갖춘 신규 회원사들이 가입하면서 전력수지(Power balance)의 개념이 포함되게 되었다. 따라서 동시에 CO₂ 총배출량의 정의도 조정이 필요해졌다.

총 CO₂ 직접 배출량을 보고하는 원래의 KPI와 그 정의는 변경되지 않았다. 하지만, 그 명칭은 “자가발전에 따른 CO₂를 포함하는 총 CO₂ 절대 배출량”으로 바뀌었다.

두번 째 신규 KPI는 클링커와 시멘트 제조에 대한 주요 KPI를 비교 가능케 하기 위해 정해졌다. 명칭은 “총CO₂ 절대 배출량”으로써, 자가발전에 따른 CO₂를 제외한 원료, 킬른 연료 및 비킬른 연료로부터의 직접 배출량을 지칭한다. 이에 맞추어 해당 연료 부분의 정의도 조정되었다. 또한 원단위 KPI는 모두 재정의된 “총 CO₂ 절대 배출량”에 기반해 정의되었다.

자가발전을 하지 않는 공장에서는 이 두 KPI의 결과값이 같아지지만 (총 CO₂ 직접 배출량 (Scope 1), 제 3판의 “총 CO₂ 절대 배출량 (자가 발전으로부터의 CO₂ 배출 제외)”)을 사용하면 자가발전이 있는 공장과 없는 공장 간 원단위 CO₂ 배출량을 더 잘 비교할 수 있게 된다. 자가발전이 없을 경우, 발전으로 인한 CO₂ 배출은 해당 공장의 경계 밖에서 구매한 전기로부터의 간접 배출 (스코프2)형태로 발생한다.

다음 경미한 조정은 보다 명확한 의미 전달을 위해 이루어진 것으로, 아래 사항 외에는 KPI에 영향을 미치지 않는다. 원료와 연료의 건조에 쓰이는 연료가 킬른 연료로 간주되게 되었다. 이러한 조정에 따른 영향은 킬른의 열 소비에 관한 몇몇 일반적인 KPI에 국한되는데, 대부분의 공장에 있어 그 영향은 별로 크지 않다. 총 열 소비량 및 킬른 연료와 비킬른 연료로부터의 CO₂ 직접 배출량에 관한 KPI에는 영향을 미치지 않는다.

시멘트CO₂ • 에너지 프로토콜 제 3판 해설서 상의 주요 개정 사항은 표 A6-1에 정리되어 있다. 표에는 각 추가/ 변경 사항에 대한 세부 설명 정보를 프로토콜의 어느 부분에서 찾을 수 있는 지도 표시되어 있다.

표 A6-1 : 제 2판 대비 제 3판에서의 변경사항

변경 / 항목	해설서의 해당 장	스프레드시트
프로토콜 제 3판 개요	1.1	
참고자료 업데이트	1.1, 1.2, 1.3, 1.4	
조직 경계 및 운영 경계 및 배출량 보고 스코프 설명 수정: 자가발전으로부터의 배출량 포함	1.4	
자가발전으로부터의 CO ₂ 배출량 보고(자가 발전)	4, 5.2	
혼합 연료의 바이오매스 함량으로부터의 기후중립적 CO ₂ 배출량의 산정	3.5, 5.2	Lines 50, 83, 96, 200a-200h
프로토콜 제 1판에 상응하는 CO ₂ 순배출량의 재정의. 제 3판에서는 프로토콜에서의 배출 수지(balance) 및 배출권에 대한 보고 옵션이 사라짐.	5.3	Lines 71-77
CO ₂ 총 배출량의 정의를 자가발전으로부터의 CO ₂ 를 제외한 CO ₂ 직접배출로 조정	5.1, 5.2, 5.3, Appendix 6	Line 59c
배출권에 대한 절 삭제	5	Lines 64a-65a
인터넷 매뉴얼 웹 주소 참조 제시	10	
참조자료 업데이트	11	
용어집 수정 및 변경	12	
순배출량 및 총 배출량의 정의	12	Lines, 59, 59c, 71
원료의 하소에 따른 CO ₂ 배출량 보고의 새로운 방법 도입: a) 간편 혹은 상세법, b) 투입량 또는 생산량 방식 중 선택해 산정할 수 있다. 산정법에 대한 상세 설명과 식도 제시됨.	3.1, 3.2, 3.3, 3.4,	Lines 7n, 34d-39
프로토콜 제2판의 하소 시트가 확장된 새로운/수정된 부속 시트가 추가됨.	Appendix 1	Sheets CalcA1, CalcA2, CalcB2
원료 하소로 인한 CO ₂ 산정 방법 및 식에 대한 설명 수정	Appendix 3	

변경 / 항목	해설서의 해당 장	스프레드시트
CO ₂ 함량 분석에 기반해 CKD의 CO ₂ 배출계수를 직접 구할 수 있는 방정식 추가	Appendix 3	
일부 대체 연료의 기본배출계수 업데이트	Appendix 4	Sheet Fuel CO ₂ Factors
제 3판 주요 변경사항 설명	Appendix 6 and 7	
스프레드시트에 배출시설에 관한 일반정보 추가로 포함시킴.	Appendix 6	Lines 6a, 6b, 7aa
원료 및 연료 건조에 쓰이는 연료를 비킬른연료가 아닌 킬른 연료로 구분 변경	3.7, 3.8, Appendix 6	Lines 25, 25a, 40-43, 94-96a, 124-126a, 154-156a,
시멘트 CO ₂ • 에너지 프로토콜 제 3판의 KPI에 대한 개요 및 제 2판과의 비교	Appendix 7	--
시멘트 생산 등량에 기반한 KPI 등 신규 KPI 및 제 2판과의 비교	Appendix 7	Lines 59c, 60a, 60b, 63- 63b, 75, 82c, 83a, 92a, 96a-96d, 98-98c
자가 발전용 대체 연료나 채석장 트럭용 바이오디젤 등 다양한 종류의 연료에 대한 보고 유연성 증가	3.5, 3.6, 3.7, 3.8	Lines 124-126a, 154-156a, 192a, 192b, 199a, 200a-200h, 301ba, 301d, 302c, 303k-303j, 304i-304h, 311ba-311d, 313k-313j, 314i, 314g, 312c
구매 클링커에 대한 기본배출계수	4	Line 49b
클링커, 시멘트, 광물질분말의 내부 이송에 대한 이중 계상 방지	7.4	Plant sheet: Lines 9, 10b, 10c, 11, 17a, 19, 19a, 19b, 19c
공장별 배출량을 업체 기준으로 연결/통합		Company Sheet
국가전력망으로부터의 전력에 대한 배출계수 가이드 업데이트	4	
자가발전용 등 ‘폐열의 내부 사용’에 대한 보고 옵션 제공	5.4	
검증 틀의 추가	8.4	Sheets Validation, ControlPlant

A7 시멘트 CO₂ 에너지 프로토콜 제 3판의 성과지표(KPI)

프로토콜 제 3판의 성과지표 (행번호, 명칭, 비교 및 정의)			제 2판과 3판의 비교	
신규 또는 수정된 KPI의 행 번호 및 명칭은 굵은 글씨로 표기됨. 제 2판 및 3판의 상세 비교는 우측을 참조할 것.			KPI를 정의하는 식에서 행 번호는 '행'이라는 접두어 없이 표시되었고, 단위 변환이 필요한 경우 괄호 []안에 표시하였다. 예: [1000 kg/t]	
CO ₂ 직접 배출 절대량			순변의 변경	
59	자기발전에 따른 CO ₂ 를 포함하는 총 CO ₂ 절대 배출량 [t CO ₂ /yr]	자기발전에 따른 CO ₂ 를 포함하는 원료, 킬른 연료 및 비킬른연료로부터의 총 직접배출량	$= 39 + 43 + 46$	KPI 명칭 조정 $= 39 + 43 + 46$
총 CO ₂ 배출량(=자기발전에 따른 CO ₂ 를 제외한 CO ₂ 직접 배출량)			자기발전에 따른 CO ₂ 를 제외하는 총 CO ₂ 배출량으로 정의 조정	
59c	총 CO ₂ 절대 배출량 [t CO ₂ /yr]	자기발전에 따른 CO ₂ 를 제외한 원료, 킬른연료 및 비킬른연료로부터의 총 직접 배출량	$= 59 - 45c$	KPI 재정의
59a	- 하소 부분 [t CO ₂ /yr]	원료로부터의 직접 배출량	$= 39$	
59b	- 연료 부분 [t CO ₂ /yr]	자기발전에 따른 CO ₂ 를 제외한 킬른 연료 및 비킬른연료로부터의 직접 배출량	$= 43 + 44 + 45a + 45b$ $= 43 + 46 - 45c$	59c에 따라 조정c $= 43 + 46$
CO ₂ 순배출량 (=CO ₂ 총배출량 - 대체 화석연료 CO ₂ , 자기발전에 따른 CO ₂ 는 제외)			CO ₂ 순배출량 개념 변경	

71	CO ₂ 순배출 절대량	[t CO ₂ /yr]	자가발전으로부터의 CO ₂ 를 제외한 원료, 킬른연료 및 비킬른연료로부터의 총 직접 배출량에서 대체화석연료분을 차감한 양.	= 59c - 41	59c에 따라 정의 변경	= 59 - 65a
절대값으로 변경						
83a	바이오매스 배출원으로부터의 CO ₂ 절대량 (혼합 연료에 함유된 바이오매스 포함)	[t CO ₂ /yr]		= 50	새로운 KPI 혼합 연료의 절대값 및 바이오매스 함량 포함	KPI 83 = 50 / 21a
클링커 생산량 당 원단위 총 CO₂배출량 및 순배출량						
60	클링커 생산량 1톤당 원단위 총 CO ₂ 배출량	[kg CO ₂ /t cli]	자가발전전에 따른 CO ₂ 를 제외한 총 직접배출량을 자체 클링커 생산량으로 나눔.	= 59c / 8 * [1000 kg/t]	59c에 따름	= 59 / 8
60a	- 하소 부분	[kg CO ₂ /t cli]	원료로부터의 직접 배출량을 자체 클링커 생산량으로 나눔	= 59a / 8 * [1000 kg/t]	신규 KPI	X
60b	- 연료부분	[kg CO ₂ /t cli]	자가발전전에 따른 CO ₂ 를 제외한 킬른 연료 및 비킬른연료로부터의 직접 배출량을 자체 클링커 생산량으로 나눔	= 59b / 8 * [1000 kg/t]	신규 KPI	X

73	클링커 생산량 톤 당 원단위 CO ₂ 순배출량	[kg CO ₂ /t clt]	자가발전으로부터의 CO ₂ 를 제외한 원료, 킬른연료 및 비킬른연료로부터의 순 배출량을 자체 클링커 생산량으로 나눈 값.	= 71 / 8 * [1000 kg/t]	71행에 준함.	
시멘트(등량) 당 원단위 총 CO₂ 배출량 및 순 배출량						
63	시멘트(등량) 톤 당 원단위 총 CO₂ 배출량	[kg CO ₂ /t cem eq.]	총 직접 배출량 (자가발전으로 인한 CO ₂ 제외)을 총 시멘트 양(등량) 으로 나눈 것	= 59c / 21b * [1000 kg/t]	신규 KPI	
63a	- 하소 부분	[kg CO ₂ /t cem eq.]	원료로부터의 직접 배출량을 총 시멘트 양 (등량)으로 나눈 것	= 59a / 21b * [1000 kg/t]	신규 KPI	
63b	- 연료 부분	[kg CO ₂ /t cem eq.]	킬른연료 및 비킬른연료로부터의 직접 배출량 (자가발전으로부터의 CO ₂ 제외)을 총 시멘트 양(등량) 으로 나눈 것	= 59b / 21b * [1000 kg/t]	신규 KPI	
75	시멘트(등량) 톤당 원단위 CO₂ 순배출량	[kg CO ₂ /t cem eq.]	원료, 킬른연료 및 비킬른연료(자가발전에 따른 CO ₂ 제외)로부터의 순 배출량을 자체 생산 시멘트 양(등량)으로 나눈 것	= 71 / 21b * [1000 kg/t]	신규 KPI	

시멘트(등량) 당 원단위 총 CO ₂ 배출량 및 순배출량			원단위 CO ₂ 에 대한 신규 KPI 및 순번		
62	시멘트질 제품 톤 당 원단위 총 CO ₂ 배출량	[kg CO ₂ /t cem prod]	총 직접 배출량(자가발전에 따른 CO ₂ 제외)을 자체 생산 시멘트질 제품량 (시멘트 중 구입한 클링커 제외)으로 나눈 것.	= 59c / 21a * [1000 kg/t]	59c행에 따름 = 59 / 21a
62a	- 하소 부분	[kg CO ₂ /t cem prod]	원료 하소에 의한 직접 배출량을 자체 생산 시멘트질 제품량으로 나눈 것	= 59a / 21a * [1000 kg/t]	변동 없음
62b	- 연료 부분	[kg CO ₂ /t cem prod]	킬른연료 및 비킬른연료로부터의 직접 배출량 (자가발전으로부터의 CO ₂ 제외)을 자체 생산 시멘트질 제품량으로 나눈 것	= 59b / 21a * [1000 kg/t]	59b행에 따름
74	시멘트질 제품 톤 당	[kg CO ₂ /t cem prod]	원료, 킬른연료 및 비킬른연료로부터의 순 배출량(자가발전에 따른 CO ₂ 제외)을 자체 생산 시멘트질 제품량으로 나눈 것	= 71 / 21a * [1000 kg/t]	71행에 따름
77	개선율 ~시멘트질제품 톤 당 순 CO ₂ 배출량	[% relative to base yr]	기준 연도 대비 원단위 순배출량 감축율(기본 기준연도: 1990)	= (74 year n - 74 year 1990) / 74 year 1990 * [100%]	74행에 따름

원단위 CO ₂ 간접배출량			신규 추가 KPI	
82c	시멘트(등량) 톤 당 외부 발전으로 인한 원단위 CO ₂ 간접배출량	[kg CO ₂ /t cem eq.]	= 49a / 21b * [1000 kg/t]	신규 KPI
82a	시멘트질 제품 톤 당 외부 발전에 따른 원단위 CO ₂ 간접배출량	[kg CO ₂ /t cem prod]	= 49a / 21a * [1000 kg/t]	변동 없음
82b	시멘트질 제품 톤당 순 클링커 반입(+)/반출(-)에 따른 원단위 CO ₂ 간접배출량	[kg CO ₂ /t cem prod]	= 49c / 21a * [1000 kg/t]	변동 없음
일반 성과 지표			KPI 신규 추가, 킬른 연료 정의 조정	
91	클링커 순소비량 당 클링커 순 반출량	[%]	= (10 - 9 - 10b - 10c) / 11	변동 없음
92a	클링커/시멘트(등량) 비*1	[%]	= 11 / 20	신규 KPI
92	클링커/시멘트질제품 비*2	[%]	= 11 / 21	KPI 명칭 조정
93	생산 클링커 톤 당 원단위 열사용량	[MJ/t cli]	= 25 * [10^6 MJ/T] / 8	킬른연료 정의 수정

94	화석연료비율(킬른 연료)	[%]	화석연료 소비량을 킬른의 총 열소비량으로 나눈 것	= 26 / 25	킬른연료 정의 수정	
95	대체화석연료비 (킬른 연료)	[%]	대체화석연료 소비량을 킬른의 총 열소비량으로 나눈 것	= 27 / 25	킬른연료 정의 변경	
96	바이오매스연료를 (킬른 연료)	[%]	바이오매스 연료 및 혼합 연료에 함유된 바이오매스 소비량을 킬른의 총 열소비량으로 나눈 것	= 28 / 25	킬른연료의 정의가 혼합연료에 포함된 바이오매스도 포함하는 것으로 변경됨.	
96a	킬른연료 믹스에 대한 CO ₂ 배출 계수	[kg CO ₂ /G]	화석기반 킬른연료로부터의 총 CO ₂ 배출량을 킬른의 총 열소비량으로 나눈 것	= 43 / 25a	신규 KPI	
96b	공장별 총 화석연료를	[%]	공장 전체의 총 화석연료 에너지 사용량을 총 연료에너지 사용량으로 나눈 비율	= (26 + 321 + (321c * (1 - 200g))) + 322 + 323k + 324aa) / (25 + 321 + 321c + 322 + 323k + 323g + 323i + 324aa + 324f + 324h)	신규 KPI	
96c	공장별 총 대체화석연료를	[%]	공장 전체의 총 대체 화석연료 에너지 사용량을 총 연료에너지 사용량으로 나눈 비율	= (27 + 323g + 324f) / (25 + 321 + 321c + 322 + 323k + 323g + 323i + 324aa + 324f + 324h)	신규 KPI	
96d	공장별 총 바이오매스 연료를	[%]	공장 전체의 총 바이오매스 연료 에너지 사용량을 총 연료 에너지 사용량으로 나눈 비율	= (28 + (321c * 200g) + 323i + 324h) / (25 + 321 + 321c + 322 + 323k + 323g + 323i + 324aa + 324f + 324h)	신규 KPI	

일반 성과 지표		KPI 신규 추가		
97	원단위 전력 소비량*3	[kWh/t cem prod]	공장의 총 전력소비량을 총 시멘트 생산량으로 나눈 것 = 33 * [1000 kWh/MWh] / 21	변동 없음
98	클링커 생산 시의 원단위 전력소비량	[kWh/t clinker]	클링커 제조 단계까지의 전력 소비량(클링커 제조 단계 포함)을 클링커 생산량으로 나눈 것 = 33e * [1000 kWh/MWh] / 8	신규 KPI
98c	시멘트 생산 시의 원단위 전력소비량*3	[kWh/t cem prod]	시멘트 생산에 소비된 전력량(소비된 클링커의 제조에 사용된 전력량 포함)을 시멘트 생산량으로 나눈 것 = (98 * 92) + (33 - 33e) * 1000 / 21	신규 KPI
98a	국가 에너지 전환 계수	[MJ/kWh]	선택적(Optional) 매개변수 input	신규 KPI
98b	클링커 생산의 총 에너지 원단위 (연료 및 전력)	[MJ/t cli]	선택적(보충적) 결과값 = 98 * 98a + 93	신규 KPI

*1 클링커/시멘트 (등량)비: 클링커/시멘트 (등량)비의 정의는 다음과 같다: 총 클링커 소비량/(자체 클링커 소비량 + 석고, 석회석, CKD + 혼합에 사용된 클링커 대체물+구매해서 소비한 클링커). 프로토콜 해설서 제 3판의 6.3절에 클링커/시멘트 (등량)비의 정의가 제시되었다. 이 비율은 클링커 소비량을 기준으로 하기 때문에 분모에 클링커 판매량은 제외되고 클링커 구매량은 포함된다. 시멘트 대체물은 제외된다. 5열의 신장식 참조.

*2 클링커/시멘트질제품 비: 프로토콜 해설서 제 3판의 6.3절에 제시된 클링커/시멘트질제품 비의 정의. 이 비율은 클링커 소비량을 기준으로 한다. 따라서 분모에 클링커 판매량은 제외되고 구매량은 포함되며 시멘트 대체물도 포함된다. 5열의 신장식 참조.

*3 원단위 전력소비량: 본 KPI의 경우, 전력 소비량은 시멘트질제품의 가공과 관련된 전력을 말한다. 따라서, 시멘트 및 대체물 생산량에 준거한다. 분모에는 클링커 판매량은 제외되고 구매량은 포함된다. 신장식은 5열 21행을 참조. 주: 참조는 정의와 다른데 프로토콜 제3판 6.2절에 제시된 시멘트질제품 톤 당 원단위 CO₂ 배출량 보고에 활용된다.

A8 CSI CO₂ 데이터의 보증을 위한 요구사항

CO₂배출량과 다른 기후 변화 KPI들을 이해관계자들에 보고함에 있어서 표준적 보증 방법을 정립하고 데이터의 투명성, 신뢰성 및 정확성을 확보하기 위해서는 다음 요건에 따른 독립적인 보증이 이루어져야 한다.

Item	Requirement
보증 수준	보증 수준은 적어도 업체에 대한 '한정적 보증(Limited Assurance)' 이상이어야 한다.
보증자의 평판	보증자는 인정받는 독립적 제 3의 보증자이어야 한다.
보증받는 데이터 범위	보증에는 합의된 CSI CO ₂ 에너지 프로토콜의 모든 KPI가 포함되어야 한다.
보증의 빈도	업체에 대한 보증은 최소 2년에 한 번씩 받아야하고, 2개 년도의 데이터 모두에 대해 보증을 받아야 한다.
사업장 포함 범위	보증인은 대표성있는 원천 데이터에 기반해 정확성과 품질을 확인할 수 있도록 방문하고자 하는 사업장 수와 위치를 결정해야 한다.
샘플링 계획	타 제도(EU ETS 등)에서 보증을 받은 공장은 CSI CO ₂ 보증 시의 샘플로 간주하여 이중 산정을 예방한다.
보증 표준	보증은 CSI CO ₂ 에너지 프로토콜 및 ISAE 3000, ISO 14064-3 또는 유사 표준의 가이드라인에 따라 이루어져야 한다.
중요성 기준	CO ₂ 인벤토리 KPI중 한 개 이상에서 파악된 차이/불일치가 5% 미만일 경우 데이터는 중요한(Material) 것으로 간주된다.
보증서	보증인은 CSI 회원사에 CO ₂ 인벤토리 KPI에 대한 결론, CSI CO ₂ • 에너지 프로토콜 가이드라인의 사용 여부, 방문 조사한 사업장 수 및 그에 상응하는 업체 CO ₂ 배출량에서 차지하는 비율이 기재된 보증서를 제공해야 한다.
기한	데이터는 검증 및 보고가 이루어져야 한다: <ul style="list-style-type: none"> > 기존 공장/신규 공장/인수 - 2년 내에 보고 > 신규 CIS 회원사 - 4년 안에 보고

Endnotes

- 1 WRI / WBCSD 2004, 세계 지속가능발전기업 협의회(WBCSD) 및 세계 자원 연구소(WRI). 온실가스 프로토콜. 기업 산정 및 보고 기준. 개정판. <http://www.ghgprotocol.org>
- 2 본 프로토콜 및 관련 활동들을 수행함에 있어 관련 법적 요건들은 모두 준수해야 한다. 이에는 정보 교환이나 기타 경쟁법 상의 요구사항, 가이드라인/관행과 관련된 경쟁법 및 규제사항 등이 포함된다.
- 3 절대 배출량은 CO₂ 톤 단위로, 원단위 배출량 (Specific emissions)는 제품 단위 당 CO₂ 킬로그램으로 표시한다.
- 4 IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- 5 EU- ETS(EC 2007)의 모니터링 및 보고 가이드라인(MRG) 참조, http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/mrg_en.htm
- 6 “지구온난화 대책 진흥법” 참조. <http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/manual/chpt2.pdf>
- 7 “합리적 에너지 이용에 관한 법” <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080801/kinyuyouryou.pdf>
- 8 ISO 14064-1: 2006-03. 온실 가스. Part 1: 온실가스 배출량 및 제거의 계량화 및 보고를 위한 조직 지침서. 스위스 국제 표준화 기구.
- 9 IPCC 2006, Vol. III, 2.2.1.1 참조
- 10 유기탄소는 모두 CO₂로 전환된다는 가정하에 1.55 t 조합원료 1.55 t/클링커 1톤 x 2 kg 탄소/조합원료1t x 3.664 kg CO₂/kg C = 11 kg CO₂/클링커 t. 유기탄소의 일부는 통상 VOC나 CO로 배출되므로 위 가정은 보수적인 가정이다. 유기탄소함량 기본값인 2kg/조합원료t은 유럽과 북아프리카의 CSI회원사들이 작성한 43개 측정값을 기반으로 결정되었고, 최근에 전세계의 시멘트 공장의 다양한 원료들에 대한 100회 이상의 분석을 통해 확인되었다.
- 11 IPCC 2006, Vol. II, Section 1.4.2.1 과 IPCC 1996, Vol. III, p.1.29를 비교해 볼 것: 기본 탄소 산화 계수: 석탄- 98%, 석유- 99%, 천연가스- 99.5%
- 12 IPCC 1996, Vol. III, p.1.13 참조
- 13 공장에서 폐수를 사용할 경우, 통상적으로 폐수 사용량은 클링커 1t 당 약 10kg이다. 일반적으로 폐수의 탄소 함유량은 중량 기준으로 5%인데, 이는 클링커 t당 약 2kg의 CO₂ 배출량 또는 공장의 전체 CO₂ 배출량의 약 0.2%에 해당된다 (CSI 회원사들이 제공한 데이터에 기반한 값임).
- 14 PCC (1996, Table I-17)에서는 시멘트 킬른에 대해 약 1g CH₄/GJ의 배출 계수를 제시하고 있는데 이는 1GJ 연료 사용 시 총 CO₂ 환산 배출량의 약 0.01%에 해당한다. 가정 사항: 시멘트 공장으로부터의 CO₂ 직접배출량은 연료 연소로 인한 배출량(56-100kgCO₂/GJ)에 원료 하소로 인한 배출량 (130-170 kg CO₂/GJ)을 더한 총 186-270 kg CO₂/GJ임. 한편, 100년을 기준으로 1g CH₄/GJ은 21g CO₂ e/GJ에 상응함. IPCC 기본값은 CSI 태스크 포크가 종합한 소량의 업체 데이터를 통해 확인됨.
15. 시멘트 킬른의 N₂O 배출량에 대한 IPCC 기본값은 현재 없는 상태이다. CSI 태스크 포스가 종합한 제한적 데이터에 따르면 킬른 배연가스(flue gas)안의 N₂O 농도는 대개 10mg/

- Nm³이다. 제한된 경험치에 따르면 질소산화물 저감을 위해 SNCR 기술을 이용할 때에도 이 값은 동일한 것으로 나타난다. 이는 7kg CO₂e/클링커t 또는 클링커 제조와 관련된 일반적인 CO₂배출량의 약 0.8%에 해당된다.
- 16 IPCC 1996, Vol. III, p.2.5 참조
- 17 킬른시스템에서 배출되어 최종적으로 시멘트질 제품에 포함되게 되는 더스트는 모두 분모에 포함시켜야 한다. 가령, 시멘트 밀(Cement mill)에 추가되는 CKD와 결합제로 판매되는 CKD 등이 포함된다. 프로토콜 스프레드시트 상 이러한 더스트의 양은 혼합용 또는 시멘트 대체용 광물질분말로 계산해야 한다. 반면, 매립지 더스트양은 분모에서 빼야한다.
- 18 이 분모는 본 프로토콜의 과거 버전에서 배출량 모니터링 및 시멘트산업 국가 벤치마크 산정에 있어 가장 적합한 것으로 간주된 바 있다.
- 19 EU의 IPPC Directive에 따라 시설을 정의할 경우 요구될 수 있다.
- 20 공동 운영 통제(Joint operational control) 사례는 WRI/WBCSD 프로토콜 개정판에 명시적으로 다루어지고 있지 않지만, 여기에서는 공동 재무 통제의 사례와 유사한 사례로 유추한다.
- 21 일부 경제전환국에 속하는 부속서 1 국가들은 기준 연도 또는 기준 기간으로 1990년이 아닌 다른 연도를 선택했다(예: 불가리아, 로마니아:1989년, 폴란드: 1988년, 헝가리: 1985-87년). 또한 부속서 1 국가들은 모두 CFH, PFC, SF에 대한 기준 연도를 1995년으로 정할 수 있다.
- 22 매개변수 외에도 추산 배출량의 불확도에 영향을 미치는 다른 에러원(error source)들도 있다. 가령 수학적 모델이 얼마나 정확하게 특정 맥락을 반영하느냐 등의 모델 불확도와
- 23 Methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), sulfur hexafluoride (SF₆), and fluorinated hydrocarbons (PFCs, HFCs)
- 24 A second, but much smaller factor is the CaO- and MgO content of the raw materials and additives used.
- 25 Sources: PCC recommendation: IPCC 2000, pp. 3.9ff; GNR average: Cement Sustainability Initiative. Global Cement Database on CO₂ and Energy Information (<http://www.wbcscement.org>)

About the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

The WBCSD is a CEO-led, global coalition of some 200 companies advocating for progress on sustainable development. Its mission is to be a catalyst for innovation and sustainable growth in a world where resources are increasingly limited. The Council provides a platform for companies to share experiences and best practices on sustainable development issues and advocate for their implementation, working with governments, non-governmental and intergovernmental organizations. The membership has annual revenues of USD 7 trillion, spans more than 35 countries and represents 20 major industrial sectors. The Council also benefits from a network of 60 national and regional business councils and partner organizations, a majority of which are based in developing countries.

www.wbcsd.org

Disclaimer

This publication is released in the name of the WBCSD. Like other WBCSD publications, it is the result of a collaborative effort by members of the secretariat and senior executives from member companies. A wide range of members reviewed drafts, thereby ensuring that the document broadly represents the majority view of the WBCSD membership. It does not mean, however, that every member company agrees with every word.



World Business Council for Sustainable Development

4, chemin de Conches, CH-1231 Conches-Geneva, Switzerland, Tel: +41 (0)22 839 31 00, E-mail: info@wbczd.org
1500 K Street NW, Suite 850, Washington, DC 20005, US, Tel: +1 202 383 9505, E-mail: washington@wbczd.org

www.wbczd.org