

[별표 6]

배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준 (제11조  
관련)

사업장별 배출량은 정수로 보고한다. 배출활동별 배출량 세부산정 중 활동자료의 보고값은 소수점 넷째자리에서 반올림하여 셋째자리까지로 하며, 각 배출활동별 배출량 산정방법론의 단위를 따른다. 또한 활동자료를 제외한 매개변수의 수치값은 센터에서 공표하는 바에 따른다.(단 Tier 4에 해당하는 연속측정에 의한 배출량 산정에서의 수치값은 별표 15에 따른다).

사업장 고유 배출계수 개발 시, 활동자료 측정주기와 동 활동자료에 대한 조성분석주기를 기준으로 가중평균을 적용한다.

이 지침에서 석유제품의 기체연료에 대해 특별한 언급이 없으면 모든 조건은 0℃ 1기압 상태의 체적과 관련된 활동자료이고 액체연료는 15℃를 기준으로 한 체적을 적용한다. 연료의 비중 및 밀도의 자료는 공급업체 및 사업자가 자체적으로 개발한 값이 없다면 산업통상자원부 고시 「석유제품의 품질기술과 검사방법 및 수수료」 및 한국석유공사에서 발표된 자료를 인용하고 고시자료를 우선으로 인용한다.

별표6에서 세부적인 온실가스 흡수량 등의 산정방법이 제시되지 않은 많은 배출활동은 할당대상업체가 자체적으로 산정방법을 개발하여 온실가스 배출량을 산정하여야 한다.

1. 고정연소 (고체연료)	IPCC 분류체계 1A
----------------	-----------------

1. 배출활동 개요

고체연료 연소란 특정 시설에 열을 제공하고 이를 열 혹은 기계적인 일 (mechanical work)로 공정에 제공하거나 장치로부터 멀리 떨어져 이용하기 위해 설계된 장치 내에서 무연탄, 유연탄, 갈탄, 코크스와 같은 고체 화석연료의 의도적인 연소로부터 발생하는 온실가스 배출을 말한다. 동 활동에서는 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 발생한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

고체연료 연소의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 화력발전시설

석탄, 유류 등을 연소시켜 발생된 열로 물을 끓이고 이때 발생된 증기를 압축시켜 터빈을 돌려 전기를 생산하는 시설을 말한다. 터빈이란 함은 유체를 움직이는 터빈 날개에 부딪히게 하여 그 운동에너지를 회전운동으로 바꾸어 동력을 얻게 하는 회전식원동기를 말한다. 수력터빈, 증기터빈, 가스터빈 등이 있다. 여기서는 주로 증기터빈을 말한다.

### ② 열병합 발전시설

압축증기터빈을 이용하는 화력발전소는 보통 연료의 에너지 함량의 35%정도만 전력화 되며, 나머지 65%는 냉각·낭비되는데 이러한 냉각 낭비되는 에너지를 모아 별도의 시스템을 통해 공정에 재이용되거나 발전소 인근 지역의 난방 등에 사용될 수 있는 시스템으로 설계된 발전소를 말한다.

### ③ 발전용 내연기관

실린더 내에서 공기와 혼합된 연료를 폭발적으로 연소시켜 피스톤의 왕복운동에 의해 전기를 생산하는 시설을 말한다. 이때 실린더(Cylinder)라 함은 유체를 밀폐한 원통형의 용기로서 피스톤링, 피스톤, 연접봉, 크랭크, 점화플러그, 흡·배기밸브 등으로 구성되어 있으며, 이러한 실린더를 여러 개 함께 묶어 하나의 몸으로 만든 것을 실린더블록이라 한다.

㉠ 도서지방용 : 섬, 산간벽지 등 전기의 공급이 불가능한 지역에서 자체적으로 설치되어 운영되는 내연용 발전시설을 말한다.

㉡ 비상용 : 외부로부터 전기의 공급이 중단된 경우에 한하여 자체사업용으로 가동하는 발전시설을 말한다.

㉢ 수송용 : 기차, 선박 등 수송차량 등에서 자체소비를 목적으로 전기를 생산하거나 트레일러 등에 발전시설이 설치되어 장소를 이동하면서 전기를 생산하는 시설을 말한다.

#### ④ 일반보일러 시설

연료의 연소열을 물에 전달하여 증기를 발생시키는 시설을 말한다. 크게 나누어 물 및 증기를 넣는 철제용기(보일러 본체)와 연료의 연소장치 및 연소실(화로)로 이루어져 있다. 보일러는 본체의 구조형식에 따라 원통형보일러, 수관보일러, 주철형보일러로 나눌 수 있다.

㉠ 원통형보일러는 구멍이 큰 원통을 본체로 하여 그 내부에 노통화로, 연관 등을 설치한 것으로 구조가 간단하고 일반적으로 널리 쓰이고 있으나, 고압용이나 대용량에는 적합하지 않다. 종류에는 입식보일러, 노통보일러, 연관보일러, 노통연관보일러 등이 있다.

㉡ 수관식보일러는 작은 직경의 드럼과 여러 개의 수관으로 나누어져 있으며, 수관 내에서 증발이 일어나도록 되어 있다. 고압, 대용량으로 적합하다. 종류에는 자연순환식, 강제순환식, 관류식 등이 있다.

㉢ 주철형보일러는 주물계의 Section을 몇 개 전후로 짜 맞춘 보일러로서 하부는 연소실, 상부는 굴뚝으로 되어있다. 주로 난방용의 저압증기 발생용 또는 온수보일러로 사용되고 있다.

#### ⑤ 공정연소시설

공정연소시설이란 상기 제시된 화력발전시설, 열병합 발전시설, 내연기관 및 일반 보일러를 제외하고, 제품 등의 생산공정에 사용되는 특정시설에 열을 제공하거나 장치로부터 멀리 떨어져 이용하기 위해 연료를 의도적으로 연소시키는 시설을 말한다. 공정연소시설의 세부 종류는 다음과 같다.

㉠ 건조시설

전기나 연료, 기타 열풍 등을 이용하여 제품을 말리는 시설을 말한다. 일반적으로 습윤 상태에 있는 물질은 수송이나 저장이 불편하고, 제품의 응집이나 고형화가 쉽게 일어날 수 있다. 이러한 상태를 예방하고 제품이 요구하는 수준의 수분을 함유하기 위해 건조작업이 행하여진다.

건조시설은 건조에 필요한 열을 전하는 방식에 따라 열풍수열식과 전도수열식으로 대별되며, 열풍수열식은 열풍과 피건조재료가 직접 접촉함으로서 열의 전달이 이루어지며, 열풍이 재료이동방향과 같은 경우에는 병류식, 역방향인 경우에는 향류식이라 한다.

전도수열식은 일반적으로 금속벽을 통해 열원으로부터 피건조재료에 간접적으로 열의 전달이 이루어지면 열손실이 적고 건조의 효율이 높으나 금속벽의 열용량이 크므로 효과적으로 건조하는 데는 약간의 문제점이 있다. 그 외의 분류법으로 재료의 이동방법에 의한 본체회전식, 교반기식, 공기수송식, 유동층식, 벨트이동식 따위가 있다 또 이들 이동방식을 2가지 이상 조합하여 하나의 건조시설로 하는 방식도 있다.

#### ㉠ 가열시설 (열매체 가열을 포함한다)

가열시설이란 어떤 방법으로 물체의 온도를 상승시키는데 사용되는 시설을 말한다. 보일러도 일종의 가열시설로 볼 수 있으나, 일반적으로 석유화학 및 유기화학공업 등의 각종 공정에 쓰이는 관식가열로(Tubular Heater)등을 말한다. 이는 Pipe Still Heater라고도 불리우며, 피가열물체가 기체 또는 액체 등의 유체에 한정되며 거의 연속운전인 점 그리고 열원으로서 가스 또는 액체연료를 사용하며, 가열방법이 모두 직화 방식인 특징이 있다.

외관형상으로는 직립원통형, 캐빈형, 상자형으로 구분되며, 직립원통형은 전복사형(헬리컬코일 및 수직관식) 복사대류일체형, 복사·대류분리형(수직관식, 대류부수평관식) 등이 있으며, 상자형에는 수평관식-수직연소식, 수직관식-수평연소식, 수직관식-특수연소식, 수평관식-특수연소식 등으로 구별된다. 이들은 다시 스트레이트업형, 업드레프트 또는 캐빈형, 멀티체임버형, 후두트형, 바켓형, 각주형, 다운콤백손형, 테라스형, 다운파이어형, 레이디언트월형 등 다양하게

분류된다.

한편, 열매체라 함은 장치를 일정한 조작온도로 유지하기 위하여 가열 또는 냉각에 사용되는 각종 유체를 말한다. 열매체는 조작온도 내에서는 유체로서 취급될 수가 있어야 하며, 열적으로 안정되고, 단위체적당 열용량이 크며, 사용압력범위도 적당하고, 전달계수가 높아야 할 필요성이 있으며, 또한 장치에 대한 부식이 적고, 불연성이며, 값싸고 무독인 특성을 가져야 한다. 대표적으로 이용되는 열매체는 유기열매체(디페닐에트드, 디페닐 등의 혼합물), 수은, 열유, 온수유기열매체, HTS( $\text{NaOH}+\text{NaNO}_3+\text{KNO}_3$ ) 등의 액상열매체와 과열수증기, 굴뚝가스, 공기 등의 기체성 열매체가 있다.

#### ㉔ 용융·용해시설

고체상태의 물질을 가열하여 액체상태로 만드는 시설을 용융시설이라 하며, 기체, 액체, 또는 고체물질을 다른 기체, 액체 또는 고체물질과 혼합시켜, 균일한 상태의 혼합물 즉, 용체를 만드는 시설을 용해시설이라 한다. 이때 용체라 함은 균일한 상을 만들고 있는 혼합물로서 액체상태인 경우에는 용액, 고체상태인 경우에는 고용체, 기체상태일 때는 혼합기체라 한다. 여기서는 동일상태의 서로 다른 물질을 혼합시켜 원래상태의 물질이 물리·화학적 성질변화를 일으키는 경우의 시설에 적용되며, 그렇지 않고 원래상태의 물질이 물질화학적 성질의 변화가 없이 단순히 혼재되어 있는 경우의 시설은 혼합시설로 구분한다.

#### ㉕ 소둔로

열처리시설의 일종이다. 강재의 기계적 성질 또는 물질적성질을 변화시켜서 강재의 결정조직을 조정하여 내부응력을 제거하거나 가스를 제거할 목적으로 가열냉각 등의 조작을 하는 로를 말하여 보통 내부응력의 제거와 연화를 목적으로 사용한다. 내부응력의 제거 또는 연화를 목적으로 할 경우에는 적당한 온도로 가열 후 서냉하며 결정조직의 조정을 목적으로 할 경우에는  $\text{Ac}_3$  변태점(가열중에 페라이트 또는 페라이트와 시멘타이트에서 오오스티나이트 형태로 변태가 완료하는 온도)보다 약  $50^\circ\text{C}$  정도 높은 온도로 가열한 후

노냉(爐冷) 또는 탄냉(炭冷)한다.

#### ㉔ 기타로

상기 공정 연소시설에 제시되지 않는 기타 연소시설을 말한다.

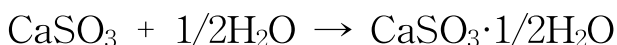
### ⑥ 대기오염물질 방지시설

#### ㉕ 배연탈황시설

배연탈황기술로서 현재 화석연료 연소공정에서 가장 널리 사용되고 있는 처리방식은 석회를 함유한 액체에 황산화물을 함유한 가스를 통과시켜 제거하는 습식탈황시설로 기술적인 완성도 및 신뢰성 면에서 가장 우수하다고 알려져 있다. 하지만 초기 투자비가 크고, 넓은 부지를 필요로 하며 폐수처리 및 장치의 부식문제가 있다.

건식법은 일반적으로 초기투자비 및 에너지소모율이 낮고, 부산물의 처리비용도 상대적으로 적은 장점이 있지만, 제거 효율이 낮고 대형시설에 대해서 아직 그 적용성이 검증되지 않았다. 또한 반건식의 경우는 건식법보다 높은 처리효율과 습식에서 발생하는 폐수처리에 대한 고려가 필요하지 않지만, 처리된 가스 중의 황산칼슘염의 점도가 높은 먼지상태로 배출되기 때문에 후단의 집진기에서 집진 효율을 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다.

대표적인 배연탈황시설의 반응은 다음과 같다.



배연탈황시설의 온실가스 배출활동은 ‘탄산염(주로 석회석)의 기타공정 사용’에서 보고되어야 하며, 벤치마크 계수 또한 해당 배출활동에서 개발되어 관리되어야 한다.

#### ㉖ 배연탈질시설

질소산화물의 저감 수단으로는 연료 중 질소성분을 탈질하는 방법, 연소단계에서 질소산화물이 적게 생기도록 공정을 개선하는 방법 및

배연탈질을 들 수 있다. 이 중 연료단계에서의 저감 대책은 아직까지 경제성 및 기술상의 어려움을 이유로 적절한 대응이 되지 못하고 있다. 연소조건의 개선방법으로는 다단계 연소법, 연료 분사노즐의 구조 변경 및 연료 공급체계의 변경 등을 들 수 있다.

배연탈질기술 중 현재 건식법이 상용화되어 있으며 이는 선택적 촉매환원법(SCR, Selective Catalytic Reduction)과 선택적 비촉매환원법(SNCR, Selective Non-Catalytic Reduction)으로 구분할 수 있다. 이중 선택적 촉매환원법(SCR)은 오염물질 처리단계에서 추가적인 에너지사용(연료연소활동) 및 온실가스 배출이 발생한다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	Tier 1	Tier 1

### 4. 배출량 산정방법론

고체연료는 연료종류 및 생산지에 따라 탄소함량, 회분함량, 수분 및 휘발분 함량 등 각각에 대해 불균질성이 있고, 특히 유연탄 등 석탄류와 같이 수분 및 휘발분을 다량 함유한 연료의 경우 채탄 후 연소 전까지 보관 기간에 따라 이들 성분이 대기 중으로 휘발되어 함량 변화가 심하기 때문에 연료의 분석이 온실가스 배출량 산정에 매우 중요하다. 또한 산화계수는 CO<sub>2</sub> 산화율에 대한 매개변수로서 CO<sub>2</sub> 배출계수와 동일한 산정등급을 사용하여야 한다.

#### ① Tier 1~3

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료(i)의 사용량(측정값, ton-연료)

$EC_i$  : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/kg-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료(i)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$f_i$  : 연료(i)의 산화계수(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 미적용)

## ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료 (연료사용량, $Q_i$ )

#### Tier 1

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

#### Tier 2

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

#### Tier 3

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.



### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 열량계수 (순 발열량, $EC_i$ )

### *Tier 1*

별표 11에 따른 IPCC 가이드라인 기본 발열량 값을 사용한다.

### *Tier 2*

별표 12에 따른 국가 고유 발열량 값을 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 발열량 값을 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ③ 배출계수( $EF_{i,j}$ )

### *Tier 1*

별표 10에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 고유 배출계수를 사용한다.

배출계수는 다음 식에 따라 개발하여 사용한다.

$$EF_{i,CO_2} = EF_{i,C} \times 3.664 \times 10^3$$

$$EF_{i,C} = C_{ar,i} \times \frac{1}{EC_i} \times 10^3$$

$EF_{i,CO_2}$  : 연료(i)에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(kgCO<sub>2</sub>/TJ-연료)

$EF_{i,C}$  : 연료(i)에 대한 탄소 배출계수(kgC/GJ-연료)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

$C_{ar,i}$  : 연료(i) 중 탄소의 질량 분율(인수식, 0에서 1사이의 소수)

$EC_i$  : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/kg-연료)

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### ④ 산화계수 ( $f_i$ )

##### *Tier 1*

산화계수( $f_i$ )는 기본값인 1.0을 적용한다.

##### *Tier 2*

발전 부문은 산화계수( $f_i$ ) 0.99를 적용하고, 기타부문은 0.98을 적용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

##### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공

한 고유 산화계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

산화계수( $f_i$ )를 자체 개발할 시에는 다음 식에 따른다 .

$$f_i = 1 - \frac{C_{a,i} \times A_{ar,i}}{(1 - C_{a,i}) \times C_{ar,i}}$$

$C_{a,i}$  : 재(灰) 중 탄소의 질량 분율(비산재와 바닥재의 가중 평균, 측정 값, 0에서 1사이의 소수)

$A_{ar,i}$  : 연료 중 재(灰)의 질량 분율(인수식, 측정 값, 0에서 1사이의 소수)

$C_{ar,i}$  : 연료 중 탄소의 질량 분율(인수식, 계산 값, 0에서 1사이의 소수)

#### ***Tier 4***

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 2. 고정연소 (기체연료)

IPCC 분류체계  
1A

### 1. 배출활동 개요

특정 시설에 열을 제공하고 이를 열 혹은 기계적인 일(mechanical work)로 공정에 제공하거나 장치로부터 멀리 떨어져 이용하기 위해 설계된 장치 내에서 LNG, LPG, 프로판, 부탄 및 기타 부생가스 등 기체연료의 의도적인 연소로부터 발생하는 온실가스 배출을 말한다. 동 활동에서는 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 발생한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

기체연료 연소의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 화력발전시설

#### ② 열병합 발전시설

#### ③ 발전용 내연기관

#### ④ 일반보일러 시설

㉠ 원통형 보일러, ㉡ 수관식 보일러, ㉢ 주철형 보일러

#### ⑤ 공정연소시설

㉠ 건조시설, ㉡ 가열시설, ㉢ 나프타 분해시설(NCC), ㉣ 폐가스 소각시설, ㉤ 용융·용해시설, ㉥ 소둔로, ㉦ 기타로

#### ⑥ 대기오염물질 방지시설

㉠ 배연탈황시설, ㉡ 배연탈질시설

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	Tier 1	Tier 1

#### 4. 배출량 산정방법론

기체연료는 연료 중에 포함된 성분의 종류, 성분별 함량, 밀도 및 표준 온도로의 환산 값 등이 온실가스 배출량 산정에 영향을 미칠 수 있으므로 이들 항목에 대한 조사가 필요하다. 또한 산화계수는 CO<sub>2</sub> 산화율에 대한 매개변수로서 CO<sub>2</sub> 배출계수와 동일한 산정등급을 사용하여야 한다.

##### ① Tier 1~3

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료(i)의 사용량(측정값, 천m<sup>3</sup>-연료)

$EC_i$  : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/m<sup>3</sup>-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료(i)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$f_i$  : 연료(i)의 산화계수(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 미적용)

##### ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### 5. 매개변수별 관리기준

##### ① 활동자료 (연료사용량, $Q_i$ )

##### Tier 1

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 2*

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 3*

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 적용한다.

## ② 열량계수 (순 발열량, $EC_i$ )

### *Tier 1*

별표 11에 따른 IPCC 가이드라인 기본 발열량 값을 사용한다.

### *Tier 2*

별표 12에 따른 국가 고유 발열량 값을 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 개발하거나, 연료공급자가 분석하여 제공한 발열량 값을 사용한다.

## *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ③ 배출계수( $EF_i$ )

## *Tier 1*

별표 10의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

## *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

## *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 고유 배출계수를 사용한다. 배출계수는 다음 식에 따라 개발하여 사용한다.

$$EF_{i,CO_2} = \frac{EF_{i,t}}{EC_i} \times D_i \times 10^3$$

$$EF_{i,t} = \sum_y \left[ \left( \frac{MW_y}{MW_{y,total}} \right) \times \left( \frac{44.010}{mw_y} \times N_y \right) \right]$$

$EF_{i,CO_2}$  : 연료( $i$ )의 CO<sub>2</sub> 배출계수(kgCO<sub>2</sub>/TJ-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(연료 순발열량, MJ/m<sup>3</sup>-연료)

$EF_{i,t}$  : 연료( $i$ )의 CO<sub>2</sub> 환산계수(kgCO<sub>2</sub>/kg-연료)

$D_i$  : 연료( $i$ )의 밀도(g-연료/m<sup>3</sup>-연료, 공급자가 제공한 값을 우선 적용)

$MW_y$  : 연료( $i$ ) 1몰에 포함된 가스성분( $y$ )별 질량(g/mol)

$mw_y$  : 연료( $i$ )의 가스성분( $y$ )의 물질량(g/mol)

$N_y$  : 연료( $i$ )의 가스성분( $y$ )의 탄소 원자수(개)

$MW_{y, total}$  :  $MW_{y, total} = \sum_y MW_y$

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### ④ 산화계수( $f$ )

##### *Tier 1*

산화계수( $f$ )는 기본값인 1.0을 적용한다.

##### *Tier 2*

산화계수( $f$ )는 0.995를 적용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

##### *Tier 3*

산화계수( $f$ )는 0.995를 적용한다.

##### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.



### 3. 고정연소 (액체연료)

IPCC 분류체계

1A

#### 1. 배출활동 개요

특정 시설에 열을 제공하고 이를 열 혹은 기계적인 일(mechanical work)로 공정에 제공하거나 장치로부터 멀리 떨어져 이용하기 위해 설계된 장치 내에서 원유, 휘발유, 등유, 경유, B-A/B/C와 같은 액체 화석연료의 의도적인 연소로부터 발생하는 온실가스 배출을 말한다. 동 활동에서는 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 발생한다.

#### 2. 보고 대상 배출시설

기체연료 연소의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

##### ① 화력발전시설

##### ② 열병합 발전시설

##### ③ 발전용 내연기관

##### ④ 일반보일러 시설

㉠ 원통형 보일러, ㉡ 수관식 보일러, ㉢ 주철형 보일러

##### ⑤ 공정연소시설

㉠ 건조시설, ㉡ 가열시설, ㉢ 나프타 분해시설(NCC), ㉣ 용융·용해시설, ㉤ 소둔로, ㉥ 기타로

##### ⑥ 대기오염물질 방지시설

㉠ 배연탈황시설, ㉡ 배연탈질시설

#### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	Tier 1	Tier 1

#### 4. 배출량 산정방법론

##### ① *Tier 1~3*

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료(i)의 사용량(측정값, KL-연료)

$EC_i$  : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료(i)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$f_i$  : 연료(i)의 산화계수(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 미적용)

##### ② *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### 5. 매개변수별 관리기준

##### ① 활동자료 (연료사용량, $Q_i$ )

###### *Tier 1*

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 2*

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 3*

사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 연료 사용량 자료를 활용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 열량계수 (순 발열량, $EC_i$ )

### *Tier 1*

별표 11에 따른 IPCC 가이드라인 기본 발열량 값을 사용한다.

### *Tier 2*

별표 12에 따른 국가 고유 발열량 값을 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 발열량 값을 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ③ 배출계수( $EF_i$ )

#### *Tier 1*

별표 10에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

#### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

#### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 고유 배출계수를 사용한다.

배출계수는 다음 식에 따라 개발하여 사용한다.

$$EF_{i,CO_2} = C_i \times \frac{D_i}{EC_i} \times 10^3 \times 3.664$$

$EF_{i,CO_2}$  : 연료(i)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(kgCO<sub>2</sub>/TJ-연료)

$C_i$  : 연료(i)중 탄소의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$D_i$  : 연료(i)의 밀도(g-연료/L-연료)

$EC_i$  : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/L-연료)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ④ 산화계수( $f_i$ )

### *Tier 1*

산화계수( $f$ )는 기본값으로 1.0을 적용한다.

### *Tier 2*

산화계수( $f$ )는 0.99를 적용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

산화계수( $f$ )는 0.99를 적용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 4. 이동연소 [항공]

IPCC 카테고리  
1A3a

### 1. 배출활동 개요

항공기 내연기관에서 제트연료(Jet Kerosene)나 항공 휘발유(Aviation Gasoline) 등의 연소에 의해 온실가스가 발생하는 배출활동으로, 항공기 엔진의 연소가스는 대략 CO<sub>2</sub> 70%, H<sub>2</sub>O 30% 이하, 기타 대기오염물질 1% 미만으로 구성되어 있다. 최신 기술이 적용된 항공기에서는 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O는 거의 배출되지 않는다.

온실가스 배출량은 항공기의 운항 횟수, 운전 조건, 엔진 효율, 비행 거리, 비행단계별 운항시간, 연료 종류 및 배출 고도 등에 따라 달라진다. 항공기 운항은 이착륙단계(LTO, Landing/Take-off)와 순항단계(Cruise)로 구분되고, 항공기에서 배출되는 오염물질의 약 10%는 공항 내에서의 운행과 이착륙 중에 발생하고, 90%가량이 높은 고도에서 발생한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

항공 부문의 보고대상 배출시설은 아래와 같다. 다만 여기에서 국제선 운항(국제병커링)에 따른 온실가스 배출량 등은 산정·보고에서 제외한다.

#### ① 국내 항공

이·착륙을 같은 나라에서 하는 민간 국내 여객 및 화물항공기(상업수송기, 개인비행기, 농업용 비행기 등)로부터의 배출이 포함된다.

#### ② 기타 항공

동일 부문의 보고대상에서 지정되지 않은 모든 항공 이동원의 연소 배출이 포함된다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2	Tier 1, 2	Tier 1, 2

### 4. 배출량 산정방법론

#### ① Tier 1

항공 휘발유를 사용하는 소형 비행기에 주로 적용되며 제트 연료 사용 항공기의 운항자료가 이용가능하지 않을 경우 사용한다. 연료사용량을 활동자료로 하고 연료사용량은 국내 항공과 국제 항공으로 구분한다.

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 지상에서 사용되는 연료사용량을 포함한 연료( $i$ )의 사용량(측정값, KL-연료). 다만, 지상에서 사용되는 연료사용량 파악이 어려울 경우에는 다음과 같이 적용한다.

$$Q_i = Q \times AF$$

$Q$  : 지상부분 연료사용량이 제외된 연료사용량

$AF$  : 연료사용량 보정계수

(“항공법 제 137조에 따라 항공기취급업을 등록한 계열회사로부터 항공기 지상조업 지원받는 경우 1.64, 그렇지 아니한 경우 2.15)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(연료 순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$f_i$  : 연료( $i$ )의 산화계수(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 미적용)

## ② Tier 2

제트연료를 사용하는 항공기에 적용되며, 이착륙과정(LTO 모드)과 순항과정(Cruise 모드)을 구분하여 산정한다. 배출량 산정 과정은 「총 연료 소비량 산정 → 이착륙과정 연료소비량 산정 → 순항과정의 연료소비량 산정 → 이착륙과 순항과정에서의 온실가스 배출량 산정」 순으로 진행한다.

$$E_{i,j} = E_{i,j,LTO} + E_{i,j,cruise}$$

$$E_{i,j,cruise} = [(Q_i \times D_i) - Q_{i,LTO}] \times EF_{i,j} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 배출량(tGHG)

$E_{i,j,LTO}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 LTO 배출량(tGHG)

( = LTO 횟수 × LTO 배출계수)

$E_{i,j,cruise}$  : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 순항과정 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 지상에서 사용되는 연료사용량을 포함한 연료(i)의 사용량(측정값, KL-연료). 다만, 지상에서 사용되는 연료사용량 파악이 어려운 경우에는 다음과 같이 적용한다.

$$Q_i = Q \times AF$$

$Q$  : 지상부분 연료사용량이 제외된 연료사용량

$AF$  : 연료사용량 보정계수

(“항공법 제 137조에 따라 항공기취급업을 등록한 계열회사로부터 항공기 지원받는 경우 1.64, 그렇지 아니한 경우 2.15)

$Q_{i,LTO}$  : 연료(i)의 LTO 사용량(kg연료)

( = LTO 횟수×(연료소비량/LTO), kg-연료)

$D_i$  : 연료(i)의 밀도(g-연료/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료(i)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgGHG/ton-연료)



## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료 ( $Q_i$ , $Q_{i,LTO}$ 등)

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 사업자 또는 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량, 이착륙 횟수 자료 등을 사용한다.

### ② 배출계수 ( $EF_i$ , $LTO$ 배출계수 등)

#### *Tier 1*

아래 <표-1>의 연료별, 온실가스별 기본 배출계수를 사용한다.

<표-1> 연료별, 온실가스별 기본 배출계수

연료	기본 배출계수(kg/TJ)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
항공용 가솔린(Aviation Gasoline)	70,000	-	-
제트용 등유(Jet Kerosene)	71,500	-	-
모든 연료	-	0.5	2

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

<표-2> 항공 순항모드 배출계수(국내선 운항)

구 분	배출계수 (kg/t-fuel)						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>
순항모드 (Cruise)	3,150	0	0.1	11	7	0.7	1.0

\* 비고 : 배출량 산정방법(Tier2)에 적용가능한 기본배출계수

<표-3> 항공 기종별 이착륙(LTO) 당 배출계수

항공기		LTO 배출계수(kg/LTO)			LTO 연료소비 (kg/LTO)
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
대형 상업 항공 기	A300	5450	0.12	0.2	1720
	A310	4760	0.63	0.2	1510
	A319	2310	0.06	0.1	730
	A320	2440	0.06	0.1	770
	A321	3020	0.14	0.1	960
	A330-200/300	7050	0.13	0.2	2230
	A340-200	5890	0.42	0.2	1860
	A340-300	6380	0.39	0.2	2020
	A340-500/600	10600	0.01	0.3	3370
	707	5890	9.75	0.2	1860
	717	2140	0.01	0.1	680
	727-100	3970	0.69	0.1	1260
	727-200	4610	0.81	0.1	1460
	737-100/200	2740	0.45	0.1	870
	737- 300/400/500	2480	0.08	0.1	780
	737-600	2280	0.10	0.1	720
	737-700	2460	0.09	0.1	780
	737-800/900	2780	0.07	0.1	880
	747-100	10140	4.84	0.3	3210
	747-200	11370	1.82	0.4	3600
	747-300	11080	0.27	0.4	3510
	747-400	10240	0.22	0.3	3240
	757-200	4320	0.02	0.1	1370
	757-300	4630	0.01	0.1	1460
	767-200	4620	0.33	0.1	1460
	767-300	5610	0.12	0.2	1780
	767-400	5520	0.10	0.2	1750
	777-200/300	8100	0.07	0.3	2560
	DC-10	7290	0.24	0.2	2310
	DC8-50/60/70	5360	0.15	0.2	1700
	DC-9	2650	0.46	0.1	840
	L-1011	7300	7.40	0.2	2310
	MD-11	7290	0.24	0.2	2310
	MD-80	3180	0.19	0.1	1010

	MD-90	2760	0.01	0.1	870
	TU-134	2930	1.80	0.1	930
	TU-154-M	5960	1.32	0.2	1890
	TU-154-B	7030	11.90	0.2	2230
단거리 제트 기	RJ-RJ85	1910	0.13	0.1	600
	BAE 146	1800	0.14	0.1	570
	CRJ-100ER	1060	0.06	0.03	330
	ERJ-145	990	0.06	0.03	310
	Fokker 100/70/28	2390	0.14	0.1	760
	BAC111	2520	0.15	0.1	800
	Dornier 328 Jet	870	0.06	0.03	280
	Gulfstream IV	2160	0.14	0.1	680
	Gulfstream V	1890	0.03	0.1	600
	YAK-42M	2880	0.25	0.1	910
제트 기	Cessna 525/560	1070	0.33	0.03	340
터보 프로 펠러 기	Beech King Air	230	0.06	0.01	70
	DHC8-100	640	0.00	0.02	200
	ATR72-500	620	0.03	0.02	200

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

\*\* 비고 : 배출량 산정방법(Tier2)에 적용가능한 기본배출계수

## Tier 2

기종별 이착륙(LTO) 당 배출계수는 위 <표-3>의 항공 기종별 이착륙(LTO) 당 배출계수의 값을 사용하며, 여기에 명시되지 않은 기종에 대한 계수는 자료출처(2006 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인)를 참조한다.

순항모드의 배출계수는 국가별 고유 계수를 개발하여 사용하며, 국가별 고유계수가 없을 경우 위 <표-2>항공 순항모드 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

5. 이동연소 (도로)	IPCC 카테고리
	1A3b

### 1. 배출활동 개요

도로차량의 연료 사용으로부터 발생하는 모든 연소 배출을 포함한다. 자동차는 내연기관에서의 화석연료 연소에 의해 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 등 온실가스가 배출된다.

건설기계, 농기계 등 비도로 차량에 의한 온실가스 배출 또한 별도의 구분 없이 이 장에서 정하는 방법에 의해 배출량을 산정한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

도로 부문의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

종류	경형	소형	중형	대형
승용 자동차	배기량이 1000cc미만으 로서 길이 3.6미터·너비 1.6미터·높이 2.0미터 이하인 것	배기량이 1,600cc미만인 것으로서 길이 4.7미터·너비 1.7미터·높이 2.0미터 이하인 것	배기량이 1,600cc이상 2,000cc미만이 거나 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하는 것	배기량이 2,000cc이상이 거나, 길이·너비·높이 모두 소형을 초과 하는 것

종류	경형	소형	중형	대형
승합 자동차	배기량이 1000cc 미만으로서 길이 3.6미터·너비 1.6미터·높이 2.0미터 이하인 것	승차정원이 15인 이하인 것으로서 길이 4.7미터·너비 1.7미터·높이 2.0미터 이하인 것	승차정원이 16인 이상 35인 이하이거나, 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하여 길이 9미터 미만인 것	승차정원이 36인 이상이거나, 길이·너비·높이 모두가 소형을 초과하여 길이 9미터 이상인 것
화물 자동차	배기량이 1000cc 미만으로서 길이 3.6미터·너비 1.6미터·높이 2.0미터 이하인 것	최대적재량이 1톤 이하인 것으로서, 총중량이 3.5톤 이하인 것	최대적재량이 1톤 초과 5톤 미만이거나, 총중량이 3.5톤 초과 10톤 미만인 것	최대적재량이 5톤 이상이거나, 총중량이 10톤 이상인 것
특수 자동차	배기량이 1,000cc 미만으 로서 길이 3.6미터·너비 1.6 미터·높이 2.0미터 이하인 것	총중량이 3.5톤 이하인 것	총중량이 3.5톤 초과 10톤 미만인 것	총중량이 10톤 이상인 것

종류	경형	소형	중형	대형
이륜 자동차		배기량이 100cc이하(정격 출력 1킬로와트 이하)인 것으로서, 최대적재량(기 타 형에 한한다)이 60킬로그램 이하인 것	배기량이 100cc초과 260cc이하(정격 출력 1킬로와트 초과 1.5킬로와트 이하) 인 것으로서, 최대적재량이 60킬로그램 초과 100킬로그램 이하인 것	배기량이 260cc(정격출 력 1.5킬로와트)를 초과하는 것
비도로 및 기타 자동차	건설기계, 농기계 등 비도로 차량 및 위에서 규정되지 않은 기타 차량			

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3

### 4. 배출량 산정방법론

#### ① Tier 1

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료( $i$ )의 사용량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$i$  : 연료 종류

## ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 연료 종류별, 차종별, 제어기술별 연료사용량을 활동자료로 하고, 국가 고유 계수를 적용하여 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = Q_{i,j,k,l} \times EC_i \times EF_{i,j,k,l} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_{i,k,l}$  : 차종( $k$ ), 제어기술( $l$ )에 따른 연료( $i$ )의 사용량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j,k,l}$  : 연료( $i$ ), 차종( $k$ ), 제어기술( $l$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수  
(kgGHG/TJ-연료)

$i$  : 연료 종류

$k$  : 차량 종류

$l$  : 제어기술 종류

## ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 차량의 주행거리를 활동자료로 하고, 차종별, 연료

별, 배출제어 기술별 고유 배출계수를 개발·적용하여 산정하는 방법이다. 다만 이 산정법은 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O에 대해서 유효하다.

$$E_{CH_4/N_2O} = Distance_{i,k,l,m} \times EF_{i,j,k,l,m} \times 10^{-6}$$

$E_{CH_4/N_2O}$  : CH<sub>4</sub> 또는 N<sub>2</sub>O 배출량(tGHG)

$Distance_{i,j,k,l,m}$  : 주행거리(km)

$EF_{i,j,k,l,m}$  : 배출계수(g/km)

$i$  : 연료 종류(예, 휘발유, 경유, LPG 등)

$j$  : 온실가스 종류(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

$k$  : 차량 종류

$l$  : 제어기술 종류(또는 차량 제작 연도)

$m$  : 운전조건(이동시 평균 차속)

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

도로 또는 비도로 차량 운행을 위해 사용된 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도 ±7.5% 이내의 연료사용량을 활용한다.

#### *Tier 2*

도로 또는 비도로 차량 운행을 위해 사용된 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도 ±5.0% 이내의 연료사용량을 활용한다.



### *Tier 3*

차량의 종류, 사용 연료, 배출제어기술 등에 따른 각각의 운행거리(주행거리)를 활동자료로 하고 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 활동자료를 활용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

아래 <표-4>에 제시된 연료별, 온실가스별 기본 배출계수를 사용한다.

<표-4> 연료별, 온실가스별 기본 배출계수

연료 종류	기본 배출계수 (kg/TJ)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
휘발유	69,300	25	8.0
경유	74,100	3.9	3.9
LPG	63,100	62	0.2
등유	71,900	-	-
윤활유	73,300	-	-
CNG	56,100	92	3
LNG	56,100	92	3

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 연료별, 온실가스별 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

아래 <표-5> 및 <표-6>에 제시된 국내 차종별 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

<표-5>자동차의 CH<sub>4</sub> 배출계수 산출식

차 종		연 료	연식구분	배출계수 산출식
승 용	휘 발 유		2000년 이전	$y = 0.3561x^{-0.7619}$
			2000~02.6년	$y = 0.2625x^{-0.817}$
			2002.7~05년	$y = 0.0859x^{-0.7655}$
			2006~2008년	$y = 0.0351x^{-0.7754}$
	LPG		2002.6년 이전	$y = 0.2324x^{-0.704}$
			2002.7~05년	$y = 0.1282x^{-0.7798}$
			2006~2008년	$y = 0.0913x^{-0.956}$
	경 유		2006~2008년	$y = 0.052x^{-0.8767}$
택 시		LPG	2002.6년 이전	$y = 0.6813x^{-0.8049}$
			2002.7~05년	$y = 0.3267x^{-0.7956}$
승 합	경형	LPG	2006~2008년	$y = 0.0305x^{-0.5298}$
	소형	경 유	2000~02.6년	$y = 0.0650x^{-0.8969}$
			2002.7~05년	$y = 0.1004x^{-1.0693}$
			2006~2008년	$y = 0.0248x^{-0.6378}$
		LPG	2000~02.6년	$y = 0.6372x^{-0.8366}$
			2002.7~05년	$y = 0.1794x^{-0.9135}$
	중형	경 유	2002.7~05년	$y = 14.669x^{-1.9562}$
	전세 버스	경 유	2000년 이전	$y = 0.173x^{-0.734}$
			2000~02.6년	$y = 2.9097x^{-1.3937}$
			2002.7~05년	$y = 1.34x^{-1.748}$
	시내 버스	경 유	2002.7 이전	$y = 0.173x^{-0.734}$
			2002.7~05년	$y = 0.1744x^{-1.0596}$
		CNG	~2005년	$y = 46.139x^{-0.6851}$
			2006~2008년	$y = 117.64x^{-1.0596}$
화 물	소형	경 유	2000~02.6년	$y = 0.0185x^{-0.3837}$
			2002.7~05년	$y = 0.0328x^{-0.5697}$
	중형	경 유	-	$y = 0.4064x^{-0.6487}$
	대형	경 유	-	$y = 0.402x^{-0.6197}$

\* (주1) : 배출계수 산출식의 Y=배출량(g/km), X=차속(km/h)

\* (주2) : 배출계수가 제시되지 않은 차종에 대해서는 차종 및 연식 등을 고려하여 유사 항목의 값을 활용한다.

\* 출처 : 국립환경과학원

<표-6> 자동차의 N<sub>2</sub>O 배출계수 산출식

차종	연료	연식구분	배출계수 산출식
승 용	휘발유	2000년 이전	$y = 0.6459x^{-0.741}$

차종		연료	연식구분	배출계수 산출식
			2000~02.6년	$y = 0.9191x^{-0.9485}$
			2002.7~05년	$y = 0.1262x^{-0.8382}$
			2006~2008년	$y = 0.0307x^{-0.8718}$
	LPG		2002.6년 이 전	$y = 2.0024x^{-1.2053}$
			2002.7~05년	$y = 0.191x^{-0.9666}$
			2006~2008년	$y = 0.1162x^{-1.1582}$
	경유		2006~2008년	$y = 0.1479x^{-0.9224}$
택 시		LPG	2002.6년 이 전	$y = 0.4397x^{-0.7735}$
			2002.7~05년	$y = 0.6240x^{-1.0010}$
승 합	경형	LPG	2006~2008년	$y = 0.12x^{-1.1688}$
	소형	경유	2000~02.6년	$y = 0.0991x^{-0.672}$
			2002.7~05년	$y = 0.1088x^{-0.8582}$
			2006~2008년	$y = 0.2225x^{-1.0293}$
		LPG	2000~02.6년	$y = 0.4366x^{-0.9723}$
			2002.7~05년	$y = 0.2808x^{-1.2565}$
	중형	경유	2002.7~05년	$y = 0.2742x^{-0.5359}$
	전세 버스	경유	2000~02.6년	$y = 2.08x^{-0.8055}$
			2002.7~05년	$y = 1.2359x^{-0.785}$
	시내 버스	경유	2002.7~05년	$y = 0.5268x^{-0.4932}$
		CNG	~2005년	$y = 0.5438x^{-0.556}$
			2006~2008년	$y = 0.1248x^{-0.5754}$
화 물	소형	경유	2002.7~05년	$y = 0.0984x^{-0.7969}$
	중형	경유	-	$y = 0.0522x^{-0.5206}$
	대형	경유	-	$y = 2.0311x^{-0.8501}$

\* (주1) : 배출계수 산출식의 Y=배출량(g/km), X=차속(km/h)

\* 출처 : 국립환경과학원

## 6. 이동연소 (철도)

IPCC 카테고리  
1A3c

### 1. 배출활동 개요

철도 부문은 일반적으로 디젤, 전기, 증기 세 가지 중 하나를 사용하여 구동하는 철도 기관차에서 배출되는 온실가스 배출량을 산정한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

철도 부문의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

- ① 고속차량
- ② 전기기관차
- ③ 전기동차
- ④ 디젤기관차
- ⑤ 디젤동차
- ⑥ 특수차량

철도차량은 고속차량, 전기기관차, 전기동차, 디젤기관차, 디젤동차, 특수차량 등 6종류가 있다. 이 중 디젤유를 사용하는 철도차량으로는 디젤유를 연료로 사용하는 내연기관에 의해 발전한 전기동력을 이용하여 모터를 돌려 열차를 견인하는 디젤기관차와 디젤유를 연료로 하는 내연기관에 의해 철도차량을 움직이는 디젤동차, 특수차량 등이 있다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3

#### 4. 배출량 산정방법론

##### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 기본 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료( $i$ )의 사용량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(순발열량, MJ/L연-료)

$EF_{i,j}$  : 연료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$i$  : 연료 종류

##### ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 기관차 종류, 연료 종류, 엔진 종류에 따른 연료사용량을 활동자료로 하고 국가 고유 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = Q_{i,k,l} \times EC_i \times EF_{i,j,k,l} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_{i,k,l}$  : 기관차종( $k$ ), 엔진( $l$ )에 따른 연료( $i$ )의 소비량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j,k,l}$  : 연료( $i$ ), 기관차종( $k$ ), 엔진( $l$ )에 따른 온실가스 ( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$i$  : 연료 종류

$k$  : 기관차 종류

$l$  : 엔진 종류

### ③ Tier 3

CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 배출량은 기관차 종류, 엔진 종류, 부하율 등 다양한 인자에 의해 영향을 받으므로, 보다 정확한 배출량 산정을 위해서는 이러한 인자들을 모두 고려해야 한다. 이를 위해서 Tier 3 산정방법에서는 이와 같은 인자들이 고려된 고유 배출계수 개발이 요구된다.

$$E_{k,j} = N_k \times H_k \times P_k \times LF_k \times EF_k \times 10^{-6}$$

$E_{k,j}$  : CH<sub>4</sub> 또는 N<sub>2</sub>O 배출량(tGHG)

$N_k$  : 기관차(k)의 수

$H_k$  : 기관차(k)의 연간 운행시간(h)

$P_k$  : 기관차(k)의 평균 정격 출력(kW)

$LF_k$  : 기관차(k)의 전형적인 부하율(0에서 1사이의 소수)

$EF_k$  : 기관차(k)의 배출계수(g/kWh)

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료

#### Tier 1

연료종류별 연료사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

## *Tier 2*

연료 종류, 기관차 종류, 엔진 종류별 연료 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

## *Tier 3*

기관차 종류별 연간 사용시간, 정격출력, 부하율 등을 활동자료로 하고 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

Tier 1 방법을 이용하여 배출량을 산정하는 경우 아래 <표-7>의 기본 배출계수를 이용한다.

<표-7> 철도부문 기본 배출계수(kg/TJ)

구 분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
디 젤	74,100	4.15	28.6
아역청탄	96,100	2	1.5

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

기관차 종류별 연간 사용시간, 정격출력, 부하율 등을 고려하여 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

## 7. 이동연소 (선박)

IPCC 카테고리  
1A3d

### 1. 배출활동 개요

휴양용 선박에서 대형 화물 선박까지 주로 디젤 엔진 또는 증기나 가스 터빈에 의해 운항되는 모든 수상 교통(선박)에 의해 배출되는 온실가스가 포함되며, 선박의 운항에 의해 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 등 온실가스와 기타 대기오염물질이 배출된다.

### 2. 보고 대상 배출시설

선박 부문의 보고대상 배출시설은 아래와 같다. 국제 수상 운송(국제 병커링)에 의한 온실가스 배출량은 산정·보고에서 제외한다.

#### ① 수상항해 선박

#### ② 어선

#### ③ 기타 선박

배출원	적용범위
수상항해	수상 선박을 추진하기 위해 사용된 연료로부터의 모든 배출 호버크라프트(Hovercraft)와 수중익선(Hydrofoils)이 포함되며, 어선은 제외. 국제/국내 항해의 구분은 출발항만과 도착항만을 기준으로 구분
국내항해	동일 국가 내에서 출항 및 입항하는 모든 선박으로부터의 배출(어업과 군용은 제외)을 의미
어선	내륙, 연안, 심해 어업에서의 연료 연소로부터의 배출 어업은 그 나라 안에서 연료보급이 이루어진 모든 국적의 선박을 포함
기타	다른데서 지정되지 않은 모든 연료연소로부터의 수상 이동 배출

### 3. 보고 대상 온실가스



구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3

#### 4. 배출량 산정방법론

##### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 기본 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = \sum (Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times 10^{-6})$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료( $i$ )의 사용량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$i$  : 연료 종류

##### ② Tier 2~3

Tier 2 산정방법은 선박 종류, 연료 종류, 엔진 종류에 따라 배출량을 산정하며, 국가 고유 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = \sum (Q_{i,k,l} \times EC_i \times EF_{i,j,k,l} \times 10^{-6})$$

$E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_{i,k,l}$  : 선박( $k$ ), 엔진( $l$ )에 따른 연료( $i$ )의 사용량(KL-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 순발열량(MJ/L-연료)

$EF_{i,j,k,l}$  : 연료(i), 선박(k), 엔진(l)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgG  
HG/TJ)

$i$  : 연료 종류

$k$  : 선박 종류

$l$  : 엔진 종류

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

국내 수상운송, 국제 수상운송 및 어업으로 구분한 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

선박 운항에 따른 연료 종류, 선박 종류, 선박에 탑재된 엔진 종류별 연료 사용량을 활동자료로 사용하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

선박 운항에 따른 연료 종류, 선박 종류, 선박에 탑재된 엔진 종류별 연료 사용량을 활동자료로 사용하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 활동자료를 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

아래 <표-8>에 제시된 연료 종류 및 물질별 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-8> 선박부문 기본 배출계수(kg/TJ)

구 분		CO <sub>2</sub> 배출계수(kg/TJ)
휘발유		69,300
등 유		71,900
경 유		74,100
B-C유		77,400
LPG		63,100
기타유	정제가스	57,600
	파라핀왁스	73,300
	백 유	73,300
	기타석유제품	73,300
천연가스		56,100
구 분	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O(kg/TJ)
선 박	7	2

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

\*\* 상기 언급된 연료 이외에는 별표20의 배출계수를 적용한다.

## Tier 2

제15조제2항에 따라 연료 종류, 선박 종류, 엔진 종류별로 특성화된 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

## Tier 3

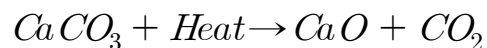
제16조 규정에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## 8. 시멘트 생산

IPCC 카테고리  
2A1

### 1. 배출활동 개요

시멘트 공정에서의 온실가스 배출원은 클링커의 제조공정인 소성 공정에서 탄산칼슘의 탈탄산 반응에 의하여 이산화탄소가 배출된다.



시멘트 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출특성은 소성시설(kiln)의 생석회 생성량과 연료사용량 및 폐기물 소각량에 의하여 영향을 받으며 그밖에 주원료인 석회석과 함께 점토 등 부원료의 사용량에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 연료 중 목재와 같은 바이오매스 재활용 연료의 경우 배출량 산정에서 제외하여야 하나 합성수지 및 페타이어 등 폐연료의 경우는 배출량 산정 시 포함되어야 한다.

참고로, 소성로에서 발생하는 비산먼지인 Cement Kiln Dust(CKD)도 온실가스 배출과 연관이 있다. CKD는 소성공정의 회수시스템에 의해 다량 회수되어 소성공정에 재사용되므로, 회수되지 못한 CKD 내 탄산염 성분은 탈탄산 반응에 포함되지 않으므로 보정이 필요하다. CKD가 완전히 소성되거나 모두가 킬른으로 회수된다면 CKD에 의한 보정은 필요 없으나 소성되지 못한 CKD를 고려하지 않을 경우 배출량이 과다 산정될 것이다.

시멘트는 수입된 클링커로부터 전적으로 생산(분쇄)될 수 있으며 이 경우 시멘트 생산 공정(소성공정)에서의 CO<sub>2</sub> 배출은 0이다. 벽돌용 시멘트(masonry cement) 생산과 관련하여서는, 벽돌용 시멘트를 생산하기 위하여 분쇄한 석회석을 포틀랜드 시멘트 혹은 클링커에 추가하여 생산되는 경우 석회에 관련된 배출은 석회 생산에서 이미 고려되었으므로 추가적인 CO<sub>2</sub> 배출은 없는 것으로 간주한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

시멘트 생산의 연소의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 소성시설(kiln)

물체를 높은 온도에서 구워내는 시설을 말하며 일종의 열처리시설에 해당된다. 소성의 목적은 소성물질의 종류에 따라 다소 다르나 보통 고온에서 안정된 조직 및 광물상으로 변화시키거나 충분한 강도를 부여함으로써 물체의 형상을 정확하게 유지시키기 위한 목적으로 이용되는 경우가 많다.

소성시설에는 원형, 각형, 통형 등의 시설이 있고, 연속소성시설에는 수직형, 회전형, 링형, 터널형 등 그 종류가 다양하다. 도기·자기·구조검토용 제품 등 특수용도에 사용되는 것 이외에는 대부분이 회전형시설을 사용하며, 회전형시설에도 그 길이에 따라 Short Kiln, Long Kiln, 등이 있고, 그 형태에 따라 Lepol Kiln, Suspension Preheater Kiln, Shaft Kiln 등 다양하게 분류된다. 대표적인 것으로 화학비료 제조 시에 사용되는 인광석 소성시설이 있다. 이것은 채광후 선별된 인광석농축물을 인산, 규산, 가성소다 또는 소금 등과 뽕뽕한 Slurry 상태로 만든 후 건조시키면서 10~20mesh의 알맹이로 뭉친 다음 소성시설에서 약 1,400~1,540℃ 정도로 구워 인광석 속의 불소를 제거하는 시설이다.

## 3. 보고대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	-	-

## 4. 배출량 산정방법론

## ① Tier 1~2

$$E_i = (EF_i + EF_{toc}) \times (Q_i + Q_{CKD} \times F_{CKD})$$

$E_i$  : 클링커( $i$ ) 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$EF_i$  : 클링커( $i$ ) 생산량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-clinker)

$EF_{toc}$  : 투입원료(탄산염, 제강슬래그 등) 중 탄산염 성분이 아닌 기타 탄소성분에 기인하는 CO<sub>2</sub> 배출계수

(기본값으로 0.010 tCO<sub>2</sub>/t-clinker를 적용한다)

$Q_i$  : 클링커( $i$ ) 생산량(ton)

$Q_{CKD}$  : 킬른에서 시멘트 킬른먼지(CKD)의 반출량(ton)

$F_{CKD}$  : 킬른에서 유실된 시멘트 킬른먼지(CKD)의 하소율(0에서 1사이의 소수)

## ② Tier 3

$$E_i = (Q_i \times EF_i) + (Q_{CKD} \times EF_{CKD}) + (Q_{toc} \times EF_{toc})$$

$E_i$  : 클링커( $i$ ) 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 클링커( $i$ ) 생산량(ton)

$EF_i$  : 클링커( $i$ ) 생산량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-clinker)

$Q_{CKD}$  : 시멘트 킬른먼지(CKD) 반출량(ton)

$EF_{CKD}$  : 시멘트 킬른먼지(CKD) 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-CKD)

$Q_{toc}$  : 원료 투입량(ton)

$EF_{toc}$  : 투입원료(탄산염, 제강슬래그 등) 중 탄산염 성분이 아닌 기타 탄소성분에 기인하는 CO<sub>2</sub> 배출계수

(기본값으로 0.0073 tCO<sub>2</sub>/t-원료를 적용한다)

### ③ *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 클링커(*i*) 생산량 등 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 클링커(*i*) 생산량 자료 등 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 클링커(*i*) 생산량 자료 및 원료 투입량(*toc*)등의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

#### ① 시멘트 생산

##### *Tier 1*

클링커 생산량 당 배출계수( $EF_i$ )는 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수를 사용한다. 시멘트 킬른먼지( $CKD$ )의 하소율( $F_{CKD}$ )은 공장 내 측정값이 있다면 측정값을 적용하고, 측정값이 없다면 1.0 (100% 하소 가정)을 적용한다.

구 분	tCO <sub>2</sub> /t-clinker
클링커 생산량 당 CO <sub>2</sub> 배출계수	0.510

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

## Tier 2

제15조제2항에 따른 클링커 생산량 당 국가 고유 배출계수를 적용한다. 다만, 동 자료가 없을 경우에는 사업자가 제16조 규정에 따라 클링커의 CaO 및 MgO 성분을 측정·분석하여 아래 식에 따라 배출계수( $EF_i$ )를 개발하여 활용한다.

시멘트킬른먼지(CKD)의 하소율( $F_{CKD}$ )은 공장 내 측정값이 있다면 측정값을 적용하고, 측정값이 없다면 1.0(100% 하소 가정)을 적용한다.

$$EF_i = F_{CaO} \times 0.785 + F_{MgO} \times 1.092$$

$F_{CaO}$  : 생산된 클링커(i) 중 CaO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$F_{MgO}$  : 생산된 클링커(i) 중 MgO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

## Tier 3

사업자가 제16조 규정에 따라 클링커의 CaO 및 MgO 성분을 측정·분석하여 아래 식에 따라 배출계수( $EF_i$ )를 개발하여 활용한다. CaO 및 MgO 성분은 산업계 최적 관행(best practice)에 따라 분석할 수 있다.

### ㉠ 클링커 배출계수( $EF_i$ )

$$EF_i = (Ci_{CaO} - Ci_{nCaO}) \times 0.785 + (Ci_{MgO} - Ci_{nMgO}) \times 1.092$$



$EF_i$  : 클링커(i) 생산량 당 배출계수( $tCO_2/t\text{-clinker}$ )

$Cli_{CaO}$  : 생산된 클링커(i)에 함유된 CaO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$Cli_{nCaO}$  :  $Cli_{미소성nCaO}$ 와  $Cli_{비탄산염nCaO}$ 를 합한 CaO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

※  $Cli_{미소성nCaO}$  :  $CaCO_3$  중 소성되지 못하고 클링커(i)에 잔존하여 분석된 CaO의 질량 분율

※  $Cli_{비탄산염nCaO}$  : 비탄산염 원료가 소성되어 클링커(i)에 함유된 CaO의 질량 분율

(소성되지 않은 CaO는  $CaCO_3$  형태로 클링커에 남아있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 클링커에 있는 CaO를 의미한다. 측정값이 없을 경우, 기본값인 '0'을 적용한다.)

$Cli_{MgO}$  : 생산된 클링커(i)에 함유된 MgO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$Cli_{nMgO}$  :  $Cli_{미소성nMgO}$ 와  $Cli_{비탄산염nMgO}$ 를 합한 MgO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

※  $Cli_{미소성nMgO}$  :  $MgCO_3$  중 소성되지 못하고 클링커(i)에 잔존하여 분석된 MgO의 질량 분율

※  $Cli_{비탄산염nMgO}$  : 비탄산염 원료가 소성되어 클링커(i)에 함유된 MgO의 질량 분율

(소성되지 않은 MgO는  $MgCO_3$  형태로 클링커에 남아있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 클링커에 있는 MgO를 의미한다. 측정값이 없을 경우, 기본값인 '0'을 적용한다.)

㉔ 시멘트 킬른먼지 배출계수( $EF_{CKD}$ )

$$EF_{CKD} = (CKD_{CaO} - CKD_{nCaO}) \times 0.785 + (CKD_{MgO} - CKD_{nMgO}) \times 1.092$$

$EF_{CKD}$  : 시멘트 킬른먼지(CKD) 배출계수( $tCO_2/t\text{-CKD}$ )

$CKD_{CaO}$  : 킬른에 재활용되지 않는 CKD의 CaO 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$CKD_{nCaO}$  :  $CKD_{미소성nCaO}$ 와  $CKD_{비탄산염nCaO}$ 를 합한 CaO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

※  $CKD_{미소성nCaO}$  : 탄산염 중 소성되지 못하고 CKD에 잔존하여 분석된 CaO의 질량 분율

※  $CKD_{비탄산염nCaO}$  : 비탄산염 원료가 소성되어 CKD에 함유된 CaO의 질량 분율

(소성되지 않은 CaO는  $CaCO_3$  형태로 CKD에 남아있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 CaO를 의미한다. 측정값이 없을 경우, 기본값인 '0'을 적용한다.)

$CKD_{MgO}$  : 킬른에 재활용되지 않는 CKD의 MgO 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$CKD_{nMgO}$  :  $CKD_{미소성nMgO}$ 와  $CKD_{비탄산염nMgO}$ 를 합한 MgO의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

※  $CKD_{미소성nMgO}$  : 탄산염 중 소성되지 못하고 CKD에 잔존하여 분석된 MgO의 질량 분율

※  $CKD_{비탄산염nMgO}$  : 비탄산염 원료가 소성되어 CKD에 함유된 MgO의 질량 분율

(소성되지 않은 MgO는  $MgCO_3$  형태로 CKD에 남아있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 MgO를 의미한다. 측정값이 없을 경우, 기본값인 '0'을 적용한다.)

#### Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 폐기물 연료

### *Tier 1*

별표 6의 「고정연소(고체연료)」 중 폐기물연료 연소에 따른 배출량을 산정할 때 시멘트 업종단위로 활용 중에 있는 <표-9>의 폐기물 연료의 기본 배출계수를 활용할 수 있다.

<표-9> 폐기물 연료(순환자원)의 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

폐기물연료	값 (kgCO <sub>2</sub> /TJ)	폐기물연료	값 (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
폐유(폐석유제품)	74,000	폐용제	74,000
페타이어/폐합성고무	85,000	폐목재/톱밥	75,000
폐플라스틱/폐합성수지	75,000	혼합된 산업폐기물	83,000
기타화석연료 기원 폐기물	80,000		

\* 출처 : WBCSD Cement Sustainability Initiative(CSI)

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 위 <표-9> 폐기물 연료의 기본 배출계수를 사용한다.

### *Tier 3*

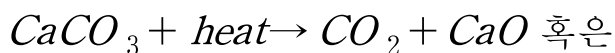
제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## 9. 석회 생산

IPCC 카테고리  
2A2

### 1. 배출활동 개요

석회 제조 공정은 시멘트 공정과 유사하게 소성 공정에서 석회석 혹은 Dolomite 등 원료의 탈탄산 반응에 의하여 온실가스 배출된다.



연수를 위한 소석회의 사용은 CO<sub>2</sub>와 석회의 반응으로 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)를 재생성하여 대기 중으로의 CO<sub>2</sub> 순배출을 발생시키지 않는다. 또한 석회의 생산 동안 석회 킬른먼지(Lime kiln dust, LKD)가 생성될 것이다 이는 배출량 산정 시 고려되어야 한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

석회 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 소성시설(kiln)

석회 생산 공정의 소성시설은 시멘트 생산공정 부문의 소성시설과 동일하다. 일반적인 석회 생산공정에서는 다양한 유형의 소성시설을 사용하는데 그 종류로는 롱킬른(Long Rotary kiln), 프리히터 로터리킬른(Preheater-Rotary kiln), 평행류 재생 킬른(Parallel flow regenerative kiln), 관통 고로(Annular Shaft kiln) 등이 있다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	-	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1

$$E_i = Q_i \times EF_i$$

$E_i$  : 석회( $i$ ) 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량 (tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 석회( $i$ ) 생산량(ton)

$EF_i$  : 석회( $i$ ) 생산량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-석회생산량)

#### ② Tier 2

$$E_i = Q_i \times r_i \times EF_i$$

$E_i$  : 석회( $i$ ) 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 석회( $i$ ) 생산량(ton)

$r_i$  : 석회( $i$ )의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 석회( $i$ ) 생산량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-석회생산량)

#### ③ Tier 3

$$E_i = (EF_i \times Q_i \times r_i \times F_i) - Q_{LKD} \times EF_{LKD} \times (1 - F_{LKD})$$

$E_i$  : 석회 생산에서 탄산염( $i$ )으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량 (tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 소성시설에 투입된 탄산염( $i$ ) 사용량(ton)

$r_i$  : 석회( $i$ )의 순도(전체 투입량 중 순수 탄산염의 비율, 0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 순수탄산염( $i$ )의 하소에 따른 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$F_i$  : 석회 소성시설에 투입된 탄산염( $i$ )의 하소율(0에서 1사이의 소수)

$Q_{LKD}$  : 석회생산시 반출된 석회킬른먼지(LKD)의 양(ton)

$EF_{LKD}$  : 석회생산시 반출된 석회킬른먼지(LKD)에 따른 CO<sub>2</sub> 배출계수 (투입 탄산염이 석회석인 경우 0.4397 tCO<sub>2</sub>/t-LKD, 백운석인 경우 0.4773 tCO<sub>2</sub>/t-LKD)

$F_{LKD}$  : 석회킬른먼지(LKD)의 하소율(0에서 1사이의 소수)

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 5. 매개변수별 관리 기준

#### ① 활동자료( $Q_i$ )

##### Tier 1

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 석회생산량( $Q_i$ ) 자료를 사용한다.

##### Tier 2

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 석회생산량( $Q_i$ ) 자료를 사용한다.

##### Tier 3

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 탄산염사용량( $Q_i$ ) 및 유실된 석회킬른먼지

( $Q_{LKD}$ ) 등 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수 ( $EF_i$ )

#### *Tier 1*

아래 <표-10>의 IPCC 가이드라인 기본계수(석회생산량 기준 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수)를 사용한다.

<표-10> 석회생산량 기준 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

구 분	생석회	경소백운석(고토석회)
CO <sub>2</sub> 배출계수(tCO <sub>2</sub> /t)	0.750	0.770

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### *Tier 2*

위<표-10>의 석회생산량 기준 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수를 사용한다.

#### *Tier 3*

사업자가 제16조 규정에 따라 석회소성시설에 투입되는 원료 및 부원료 성분을 측정·분석하여 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 활용한다.

각 탄산염의 하소율( $F_i$ ) 및 석회킬른먼지의 하소율( $F_{LKD}$ )은 사업장 측정값을 활용하며, 측정값이 없을 경우 1.0을 적용한다.

$$EF_i = \frac{Mw_{CO_2}}{(Y \times Mw_X + Z \times Mw_{CO_3^{-2}})}$$

\* 가정 : 탄산염(*i*)의 분자식 =  $X_y(CO_3)_z$

$EF_i$  : 원료로 투입된 순수 탄산염(*i*)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$Mw_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub>의 분자량 (44.010 g/mol)

$Mw_X$  : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)

$Mw_{CO_3^{-2}}$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 분자량 (60.009 g/mol)

$Y$  : X의 화학양론계수(알카리토금속류 “1”, 알카리금속류 “2”)

$Z$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 화학양론계수(1)

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.



## 10. 탄산염의 기타 공정사용

IPCC 카테고리  
2A4

### 1. 배출활동 개요

탄산염은 시멘트 및 석회 제조뿐만 아니라, 세라믹 생산, 비-야금 마그네시아 생산 및 소다회 소비 등 다수의 산업에서 사용된다. 시멘트 제조 및 석회 제조 등 앞서 설명된 활동은 중복산정을 피하기 위하여 제외되며, 세라믹 생산, 비-야금 마그네시아 생산, 소다회 소비 와 같이 탄산염을 사용하는 공정 중 설명되지 않은 활동에서의 온실가스 배출량을 산정한다. (석회질 비료의 소비와 같이 농업활동에서의 탄산염 소비 등 보고 항목이 아닌 활동은 제외한다.)

### 2. 보고 대상 배출시설

탄산염의 기타 공정 사용의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 소성시설 ('도자기·요업제품 제조시설' 중 소성시설을 말한다)

물체를 높은 온도에서 구워내는 시설을 말하며 일종의 열처리시설에 해당된다. 소성의 목적은 소성물질의 종류에 따라 다소 다르나 보통 고온에서 안정된 조직 및 광물상으로 변화시키거나 충분한 강도를 부여함으로써 물체의 형상을 정확하게 유지시키기 위한 목적으로 이용된다.

도자기·요업제품 제조공정(세라믹 생산공정)에서의 온실가스 배출은 첨가제의 첨가뿐만 아니라 점토 내 탄산염의 소성에서 발생한다. 소성시설에서는 시멘트 및 석회의 생산공정과 유사하게, 탄산염이 소성로(kiln)에서 고온으로 가열되어, 산화물과 CO<sub>2</sub>를 생산한다.

CO<sub>2</sub> 배출은 원료 (특히, 점토, 혈암, 석회석(CaCO<sub>3</sub>), 백운석(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), 및 위더이트(witherite))의 소성 및 용제로서의 석회석 사용에서 발생한다.

#### ② 용융·용해시설 ('도자기·요업제품 제조시설' 중 용융·용해시설을

말한다)

고체상태의 물질을 가열하여 액체상태로 만드는 시설을 용융시설이라 하며, 기체, 액체, 또는 고체물질을 다른 기체, 액체 또는 고체물질과 혼합시켜, 균일한 상태의 혼합물 즉, 용체를 만드는 시설을 용해시설이라 한다. 용해 공정 동안 CO<sub>2</sub>를 배출하는 주요한 유리 원료는 석회석(CaCO<sub>3</sub>), 백운석(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 및 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이다. 이러한 광물이 유리 산업에서 사용되기 위해 탄산염 광물로 채굴되는 경우에, 그들은 주된 CO<sub>2</sub> 생산을 나타내며 배출 산정에 포함되어야 한다. 수산화물(hydroxide)의 탄산염화를 통해 탄산염 광물이 생성되는 경우에, 그들은 순 CO<sub>2</sub> 배출을 초래하지 않으며 배출 산정에 포함되지 말아야 한다. CO<sub>2</sub>를 배출하는 보조 유리 원료는 탄산바륨 (BaCO<sub>3</sub>), 골회(3CaO·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + XCaCO<sub>3</sub>), 탄산칼륨(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 및 탄산스트론튬(SrCO<sub>3</sub>)이다. 녹은 유리의 환원조건을 생성하기 위해 추가적으로 분쇄한 무연탄 내지 기타 유기물이 추가되고 녹은 유리의 이용가능한 산소와 결합하여 CO<sub>2</sub>를 생산한다.

③ 약품회수시설 (‘펄프·종이 및 종이제품 제조시설’ 중 약품회수시설을 말한다)

화학펄프 제조는 나무의 섬유소(Cellulose)와 서로 결합되어 있는 목질소(lignin)를 화학약품과 열로써 용출시켜 나무로부터 셀룰로오스를 추출하는 것이다. 주로 사용되는 제조법은 크라프트법(Kraft process), 아황산염법(Sulfite process), 중성아황산반화학법(Neutral Sulfide semichemical process, NSSC), 소다법(Soda process) 등이 있으며 전 세계적으로 크라프트공법이 가장 널리 사용되고 있다.

증해기(Digester)란 열, 압력, 화학약품을 이용하여 목재칩을 찢서 펄프의 원료인 섬유소만 뽑아내는 설비를 말하며, 증해공정(Cooking)은 펄프제조를 위해 목재칩을 가성소다와 황화나트륨의 혼합액인 증해액(백액, White liquor)에 넣고 목재 속의 섬유질을 연결하고 있는 리그닌을 용출시키는 과정을 말한다. 증해는 일반적으로 온도 150~170℃, 압력 6~8kg/cm<sup>2</sup>·g 조건에서 이루어지며 공정은 단속식(Batch

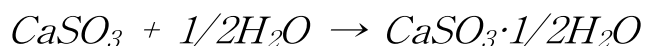
Digester)과 연속식(Continuous Digester)으로 구분된다.

#### ④ 배연탈황시설

배연탈황기술로서 현재 화석연료 연소공정에서 가장 널리 사용되고 있는 처리방식은 석회를 함유한 액체에 황산화물을 함유한 가스를 통과시켜 제거하는 습식탈황시설로 기술적인 완성도 및 신뢰성 면에서 가장 우수하다고 알려져 있다. 하지만 초기 투자비가 크고, 넓은 부지를 필요로 하며 폐수처리 및 장치의 부식문제가 있다.

건식법은 일반적으로 초기투자비 및 에너지소모율이 작고, 부산물의 처리비용도 상대적으로 작은 장점이 있지만, 제거 효율이 낮고 대형시설에 대해서 아직 그 적용성이 검증되지 않았다. 또한 반건식의 경우는 건식법보다 높은 처리효율과 습식에서 발생하는 폐수처리에 대한 고려가 필요하지 않지만, 처리된 가스 중의 황산칼슘염의 점도가 높은 먼지상태로 배출되기 때문에 후단의 집진기에서 집진 효율을 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다.

대표적인 배연탈황시설의 반응은 다음과 같다.



### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① 석회석 및 백운석 사용 등	Tier 1, 2, 3, 4	—	—
② 유리 생산	Tier 1, 2, 3, 4	—	—

### 4. 배출량 산정 방법론

① *Tier 1*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i)$$

$E_i$  : 탄산염( $i$ )의 기타 공정 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 해당 공정에서의 소비된 탄산염( $i$ )의 질량(ton)

$EF_i$  : 탄산염( $i$ ) 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

② *Tier 2*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times r_i \times EF_i)$$

$E_i$  : 탄산염( $i$ )의 기타 공정 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 해당 공정에서의 소비된 탄산염( $i$ )의 질량(ton)

$r_i$  : 탄산염( $i$ )의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 탄산염( $i$ ) 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

③ *Tier 3*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i \times r_i \times F_i)$$

$E_i$  : 탄산염( $i$ )의 소비에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 소비된 탄산염( $i$ )의 질량(ton)

$EF_i$  : 순수 탄산염( $i$ ) 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$r_i$  : 탄산염( $i$ )의 순도(전체 사용량 중 순수 탄산염의 비율, 0에서 1사이의 소수)

$F_i$  : 탄산염( $i$ )의 기타 공정사용에서 소성율(0에서 1사이의 소수)

#### ④ *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 5. 매개변수별 관리기준

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 탄산염( $i$ ) 사용량 자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 탄산염( $i$ ) 성분이 포함된 원료사용량 자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 탄산염( $i$ ) 사용량 자료를 사용한다. 탄산염의 소성비율( $F_i$ )은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 측정값이 없을 경우는 1.0(100% 소성)을 적용한다.

##### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### ② 배출계수

##### *Tier 1*

아래 <표-11>의 IPCC 가이드라인 기본계수(탄산염 사용량 당  $\text{CO}_2$

배출계수)를 사용한다.

<표-11> 탄산염 사용량당 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-탄산염)
CaCO <sub>3</sub>	석회석	0.4397 (tCO <sub>2</sub> /t-CaCO <sub>3</sub> )
MgCO <sub>3</sub>	마그네사이트	0.5220 (tCO <sub>2</sub> /t-MgCO <sub>3</sub> )
CaMg · (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	백운석	0.4773 (tCO <sub>2</sub> /t-CaMg · (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
FeCO <sub>3</sub>	능철광	0.3799 (tCO <sub>2</sub> /t-FeCO <sub>3</sub> )
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	철백운석	0.4420 (tCO <sub>2</sub> /t-철백운석)
MnCO <sub>3</sub>	망간광	0.3829 (tCO <sub>2</sub> /t-MnCO <sub>3</sub> )
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	소다회	0.4149 (tCO <sub>2</sub> /t-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인. 철백운석 배출계수는 IPCC 가이드라인 기본값(0.4082~0.4757)의 중간값인 0.4420을 사용한다.

\*\* 위 표는 100% 소성을 가정한 CO<sub>2</sub>의 배출비율을 나타낸다.

\*\*\* 탄소(C)의 배출계수는 3.664 tCO<sub>2</sub>/t으로 한다.

## Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 <표-11>탄산염 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수를 사용한다.

## Tier 3

제16조 규정에 따라 사업자가 측정·분석하거나 원료 공급자에 의해 측정·분석된 원료 성분을 활용하여 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \frac{Mw_{CO_2}}{(Y \times Mw_X + Z \times Mw_{CO_3^{-2}})}$$

\* 가정 : 탄산염(*i*)의 분자식 =  $X_y(CO_3)_z$

$EF_i$  : 원료로 투입된 순수 탄산염(*i*)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$Mw_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub>의 분자량 (44.010 g/mol)

$Mw_X$  : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)

$Mw_{CO_3^{-2}}$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 분자량 (60.009 g/mol)

$Y$  : X의 화학양론계수(알카리토금속류 “1”, 알카리금속류 “2”)

$Z$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 화학양론계수

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

유리생산 활동에서의 용해 공정 중 CO<sub>2</sub>를 배출하는 주요 원료는 석회석(CaCO<sub>3</sub>), 백운석(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 및 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이다. 또 다른 CO<sub>2</sub> 배출 유리 원료로는 탄산바륨(BaCO<sub>3</sub>), 골회(bone ash), 탄산칼륨(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 및 탄산스트론튬(SrCO<sub>3</sub>)이다. 유리의 용해에서 이러한 탄산염의 활동은 복잡한 고온의 화학적 반응이며, 생석회 내지 가열된 경소백운석(고토석회)를 생산하기 위한 탄산염의 소성과는 직접 비교되지 않는다. 배출원 카테고리에는 유리 생산 뿐만아니라 생산공정이 유사한 글래스울(glass wool) 생산으로 인한 배출도 포함된다.

유리의 제조에는 유리 원료 뿐만 아니라 재활용된 유리 파편인 컬릿(Cullet)을 일정량 사용한다. 용기 생산에서의 컬릿 비율은 40~60%이지만, 유리 품질관리 차원에서 사용이 제한되기도 한다. 절연 섬유유리는 이보다 적은 컬릿을 사용한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

유리생산의 기타 공정 사용의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 용융·용해시설 ('유리 및 유리제품 제조시설'의 용융·용해시설)

고체상태의 물질을 가열하여 액체상태로 만드는 시설을 용융시설이라 하며, 기체, 액체, 또는 고체물질을 다른 기체, 액체 또는 고체물질과 혼합시켜, 균일한 상태의 혼합물 즉, 용체를 만드는 시설을 용해시설이라 한다. 용해 공정 동안 CO<sub>2</sub>를 배출하는 주요한 유리 원료는 석회석(CaCO<sub>3</sub>), 백운석(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 및 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이다. 이러한 광물이 유리 산업에서 사용되기 위해 탄산염 광물로 채굴되는 경우에, 그들은 주된 CO<sub>2</sub> 생산을 나타내며 배출 산정에 포함되어야



한다. 수산화물(hydroxide)의 탄산염화를 통해 탄산염 광물이 생성되는 경우에, 그들은 순 CO<sub>2</sub> 배출을 초래하지 않으며 배출 산정에 포함되지 말아야 한다. CO<sub>2</sub>를 배출하는 보조 유리 원료는 탄산바륨 (BaCO<sub>3</sub>), 골회(3CaO<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + XCaCO<sub>3</sub>), 탄산칼륨(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 및 탄산스트론튬(SrCO<sub>3</sub>)이다. 녹은 유리의 환원조건을 생성하기 위해 추가적으로 분쇄한 무연탄 내지 기타 유기물이 추가되고 녹은 유리의 이용가능한 산소와 결합하여 CO<sub>2</sub>를 생산한다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2, 3, 4	-	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1, 2

$$E_i = \sum [M_{gi} \times EF_i \times (1 - CR_i)]$$

$E_i$  : 유리생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$M_{mi}$  : 용해된 유리(i)량(ton) (예, 판유리, 용기, 섬유유리 등)

$EF_i$  : 유리(i) 제조에 따른 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-용해된 유리량)

$CR_i$  : 유리(i)의 제조 공정에서의 컬릿 비율(0에서 1사이의 소수)

#### ② Tier 3

$$E_i = \sum_i (M_i \times EF_i \times r_i \times F_i)$$

$E_i$  : 유리생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$M_i$  : 유리제조공정에 사용된 탄산염(i) 사용량(ton)

$r_i$  : 탄산염( $i$ )의 순도(전체 사용량 중 순수 탄산염의 비율, 0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 순수 탄산염( $i$ )에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$F_i$  : 탄산염( $i$ )의 소성비율(0에서 1사이의 소수)

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 5. 매개변수별 관리기준

#### ① 활동자료

##### Tier 1

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 유리종류( $i$ )별 용해된 유리( $i$ )량 자료를 사용한다.

유리제조공정 중 컬릿비율( $CR_i$ )은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 값이 없으면 활용하지 않는다.

##### Tier 2

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 용해된 유리( $i$ )량 자료를 사용한다. 유리제조공정 중 컬릿비율( $CR_i$ )은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 값이 없으면 활용하지 않는다.

##### Tier 3

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 탄산염( $i$ ) 사용량 자료를 사용한다. 탄산염의 소성비율( $F_i$ )은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 측정값이 없을 경우는 1.0(100% 소성)을 적용한다.

## Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### Tier 1

아래 <표-12>에 제시된 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-12> 유리유형(*i*), 켈릿(파유리) 비율에 따른 CO<sub>2</sub> 배출계수

유리유형( <i>i</i> )	CO <sub>2</sub> 배출계수 (kg CO <sub>2</sub> /kg-유리)	켈릿 비율(%)
판유리	0.21	10 ~ 25
유리용기(납유리)	0.21	30 ~ 60
유리용기(착색유리)	0.21	30 ~ 80
유리장섬유	0.19	0 ~ 15
유리단섬유	0.25	10 ~ 50
브라운관용유리(Panel)	0.18	20 ~ 75
브라운관용유리(Funnel)	0.13	20 ~ 70
가정용 유리제품	0.10	20 ~ 60
실험용기, 약병	0.03	30 ~ 75
전등용유리	0.20	40 ~ 70

\* 산정방법(Tier 1, 2)에 적용 가능한 기본배출계수

탄산염 사용에 따른 배출량 산정방법(Tier3)에 적용 가능한 기본배출계수는 아래 <표-13>의 IPCC 가이드라인 기본계수(탄산염 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수)를 사용한다.

<표-13> 탄산염 사용량당 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-탄산염)
CaCO <sub>3</sub>	석회석	0.4397 (tCO <sub>2</sub> /t-CaCO <sub>3</sub> )
MgCO <sub>3</sub>	마그네사이트	0.5220 (tCO <sub>2</sub> /t-MgCO <sub>3</sub> )
CaMg · (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	백운석	0.4773 (tCO <sub>2</sub> /t-CaMg · (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
FeCO <sub>3</sub>	능철광	0.3799 (tCO <sub>2</sub> /t-FeCO <sub>3</sub> )
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	철백운석	0.4420 (tCO <sub>2</sub> /t-철백운석)
MnCO <sub>3</sub>	망간광	0.3829 (tCO <sub>2</sub> /t-MnCO <sub>3</sub> )
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	소다회	0.4149 (tCO <sub>2</sub> /t-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인. 철백운석 배출계수는 IPCC 가이드라인 기본값(0.4082~0.4757)의 중간값인 0.4420을 사용한다.

\*\* 위 표는 100% 소성을 가정한 CO<sub>2</sub>의 배출비율을 나타낸다.

\*\*\* 탄소(C)의 배출계수는 3.664 tCO<sub>2</sub>/t으로 한다.

## Tier 2

제91조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 <표-12>에 제시된 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

## Tier 3

탄산염 사용에 따른 배출량 산정방법(Tier3)에 적용 가능한 배출계수로 사업자가 제92조 규정에 따라 원료 성분을 측정·분석하여 아래 식에 따라 개발된 고유 배출계수를 사용한다.

$$EF_i = \frac{Mw_{CO_2}}{(Y \times Mw_X + Z \times Mw_{CO_3^{-2}})}$$

\* 가정 : 탄산염(i)의 분자식 = X<sub>y</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>z</sub>

**EF<sub>i</sub>** : 원료로 투입된 순수 탄산염(i)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염원료)

**Mw<sub>CO2</sub>** : CO<sub>2</sub>의 분자량 (44.010 g/mol)

**Mw<sub>X</sub>** : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)

**Mw<sub>CO3<sup>-2</sup></sub>** : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 분자량 (60.009 g/mol)

$Y$  : X의 화학양론 계수(알카리토금속류 “1”, 알카리금속류 “2”)

$Z$  :  $\text{CO}_3^{-2}$ 의 화학양론 계수

#### *Tier 4*

연속측정 방법(CEM)을 사용한다.

## 12. 마그네슘 생산

IPCC 카테고리  
2C4

### 1. 배출활동 개요

마그네슘 산업에서는 다수의 잠재적인 온실가스 배출원과 온실가스가 존재한다. 마그네슘 산업에서의 온실가스 배출은 1차 마그네슘 생산 공정에서 사용되는 원료와 마그네슘 주조 및 처리공정에서 용해된 마그네슘의 산화를 방지하기 위해 사용한 표면가스(cover gas)에 따라 달라진다.

#### ① 1차 생산 공정

1차 마그네슘은 광물 자원에서 추출한 금속성 마그네슘을 의미하며 전해 공정이나 열 환원 공정 등을 통해 생산된다. 1차 마그네슘 생산 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출은 마그네슘 생산을 위해 사용되는 다양한 원료 중 돌로마이트( $\text{Ca} \cdot \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ )와 마그네사이트( $\text{MgCO}_3$ )와 같은 광물의 배소(calcination) 시 이루어진다.

#### ② 주조 공정(1차 생산 공정과 2차 생산 공정 포함)

마그네슘 주조 공정은 1차 마그네슘 생산 공정과 마그네슘 함유 스크랩에서 마그네슘을 회수하고 재활용하는 2차 마그네슘 생산 공정을 포함한다. 마그네슘 주조 공정에서 처리된 용해된 순수 마그네슘과 마그네슘 고함유 합금은 Gravity casting, Sand casting, Die casting 등의 다양한 방법으로 주조된다.

용해된 마그네슘은 대기 중 산소에 의해 자발적으로 산화된다. 이를 방지하기 위해 마그네슘의 생산, 재생, 용해 및 주조 등과 같이 용해된 마그네슘의 사용 및 처리 공정에서는 SF<sub>6</sub>와 같이 GWP 값이 높은 온실가스를 표면가스로 사용하여 산화를 방지하며, 이 때 사용된 온실가스가 대기 중으로 배출된다. 일반적으로 마그네슘 산업에서는 SF<sub>6</sub>를 표면가스로 사용하

지만 최근의 기술개발과 SF<sub>6</sub> 대체에 대한 요구에 의하여 SF<sub>6</sub>를 대체하는 표면가스를 도입하고 있다. 향후 10년 이내에 SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 대체 표면가스로는 fluorinated hydrocarbon HFC-134a나 fluorinated ketone FK 5-1-12 (C<sub>3</sub>F<sub>7</sub>C(O)C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>) 등이 있다.

## 2. 보고 대상 배출시설

마그네슘 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

- ① 배소로
- ② 소성로
- ③ 용융·용해로
- ④ 주조로
  - ㉠ 1차 잉곳 주조(Primary ingot casting)
  - ㉡ 다이캐스팅(Die casting)
  - ㉢ 중력 단조(Gravity casting)
  - ㉣ 기타 주조 방법

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	PFCs	HFCs	SF <sub>6</sub>
㉠ 1차 생산 공정	Tier 1,2,3,4	-	-	-
㉡ 주조 공정	-	Tier 1,2,3,4	Tier 1,2,3,4	Tier 1,2,3,4

## 4. 배출량 산정 방법론

## ① 1차 생산 공정

### ① *Tier 1*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i)$$

$E_i$  : 마그네슘 1차 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 마그네슘 1차 생산에 사용된 탄산염(i)의 질량(ton)

$EF_i$  : 탄산염(i)에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

### ② *Tier 2*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times r_i \times EF_i)$$

$E_i$  : 마그네슘 1차 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 마그네슘 1차 생산에 사용된 탄산염(i)의 질량(ton)

$r_i$  : 탄산염(i)의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 탄산염(i)에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

### ③ *Tier 3*

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i \times r_i \times F_i)$$

$E_i$  : 마그네슘 1차 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 마그네슘 1차 생산에 사용된 탄산염(i)의 질량(ton)

$EF_i$  : 순수 탄산염(i)에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$r_i$  : 탄산염(i)의 순도(전체 사용량 중 순수 탄산염의 비율, 0에서 1사



이의 소수)

$F_i$  : 순수 탄산염(i)의 조성비율(0에서 1사이의 소수)

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 2 주조 공정

#### ① Tier 1~2

$$E_j = \sum_j Q_j$$

$E_j$  : 가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_j$  : 가스(j)의 소비량(ton)

#### ② Tier 3

$$E_j = \sum_j [Q_j \times (1 - DR_j)] + \sum_p Q_p$$

$E_j$  : 가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_j$  : 가스(j)의 소비량(ton)

$DR_j$  : 소비된 가스(j)의 파괴율(0에서 1사이의 소수)

$Q_p$  : 2차 생성된 가스(p)의 질량(ton)

#### ③ Tier 4

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 1차 생산 공정

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 탄산염(i) 사용량 자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 탄산염(i) 성분이 포함된 원료사용량 자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 탄산염(i) 사용량 자료를 사용한다. 탄산염의 소성비율( $F_i$ )은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 측정값이 없을 경우는 1.0 (100% 소성)을 적용한다.

##### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### ② 배출계수

##### *Tier 3*

제91조 규정에 따라 사업자가 측정·분석하거나 원료 공급자에 의해 측정·분석된 원료 성분을 활용하여 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \frac{Mw_{CO_2}}{(Y \times Mw_X + Z \times Mw_{CO_3^{-2}})}$$

\* 가정 : 탄산염(i)의 분자식 =  $X_Y(CO_3)_Z$

$EF_i$  : 원료로 투입된 탄산염(i)의  $CO_2$  배출계수( $tCO_2/t$ -탄산염)

$Mw_{CO_2}$  :  $CO_2$ 의 분자량 (44.010 g/mol)

$Mw_X$  : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)

$Mw_{CO_3^{-2}}$  :  $CO_3^{-2}$ 의 분자량 (60.009 g/mol)

$Y$  : X의 화학양론계수(알카리토금속류 “1”, 알카리금속류 “2”)

$Z$  :  $CO_3^{-2}$ 의 화학양론계수

## ② 주조 공정

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 가스(j)의 소비량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 가스(j)의 소비량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 가스(j) 소비량 및 2차 생성된 가스(p)의 질량 자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

<표-11> IPCC 가이드라인 기본계수(탄산염 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수)를 사용한다.

#### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 <표-11>탄산염 사용량 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수를 사용한다.

#### *Tier 3*

제16조 규정에 따라 사업자가 파괴율(DR<sub>j</sub>)의 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$DR_j = \left( \frac{\text{주조시 투입량}}{\text{주조시 배출량}} \right) - \left( \frac{\text{냉간시 투입량}}{\text{냉간시 배출량}} \right)$$

※ DR<sub>j</sub>는 냉간조건에서의 가스(j)에 대한 투입량과 배출량의 비와 주조조건에서의 가스(j)에 대한 투입량과 배출량의 비의 차

#### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.



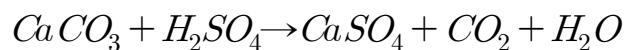
## 13. 인산 생산

IPCC 카테고리

—

### 1. 배출활동 개요

일반적으로 비료용 인산은 황산과 인광석의 분해반응에 의해 생산되는데, 이 분해반응에는 여러 가지의 복잡한 화학반응이 동시에 일어난다. 인광석 내의 불순물 중 가장 많은 부분을 차지하는 탄산칼슘은 황산과 반응하여 석고를 형성하는 것과 동시에 CO<sub>2</sub>를 배출하며, 그에 따른 배출량은 다음의 화학 반응에 기초한다. 또한, 탄산칼슘 이외의 탄산염에 의해서도 CO<sub>2</sub>가 배출될 수 있다.



### 2. 보고 대상 배출시설

인산 생산의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

① 인산 제조 시설(황인으로부터 인산을 제조하는 건식법은 제외한다.)

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2, 3, 4	—	—

### 4. 배출량 산정 방법론

① *Tier 1~2*

$$E_{CO_2} = PO \times EF$$

$E_{CO_2}$  : 인산 생산 공정에서의 CO<sub>2</sub>배출량(tCO<sub>2</sub>)

$PO$  : 사용된 인광석(phosphate ore)의 양(ton)

$EF$  : 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-인광석)

## ② Tier 3

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i \times r_i \times F_i)$$

$E_i$  : 인산 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 원료나 부원료에 포함된 탄산염( $i$ )의 질량(ton)

$EF_i$  : 순수 탄산염( $i$ )에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$r_i$  : 탄산염( $i$ )의 순도(전체 사용량 중 순수 탄산염의 비율, 0에서 1사이의 소수)

$F_i$  : 순수 탄산염( $i$ )의 반응률(0에서 1사이의 소수)

## ③ Tier 4

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 인광석(*PO*) 사용량의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 인광석(*PO*) 사용량의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 탄산염의 질량(*Qi*)의 활동자료를 사용한다. 탄산염의 반응율(*Fi*)은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 측정값이 없을 경우는 1.0(100 % 반응)을 적용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(*CEM*)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 2*

인광석의 배출계수는 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제91조 규정에 따라 사업자가 측정·분석한 원료 성분을 활용하여 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \frac{Mw_{CO_2}}{(Y \times Mw_X + Z \times Mw_{CO_3^{-2}})}$$

\* 가정 : 탄산염(*i*)의 분자식 =  $X_Y(CO_3)_Z$



$EF_i$  : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

$Mw_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub>의 분자량 (44.010 g/mol)

$Mw_X$  : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)

$Mw_{CO_3^{-2}}$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 분자량 (60.009 g/mol)

$Y$  : X의 화학양론계수(알카리토금속류 “1”, 알카리금속류 “2”)

$Z$  : CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>의 화학양론계수

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 14. 석유정제활동

IPCC 카테고리  
1A1b

### 1. 배출활동 개요

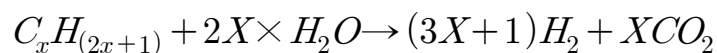
석유정제공정의 온실가스 배출은 원유 예열시설, 증류공정 등에 열을 공급하기 위한 고정연소배출과, 수소제조공정, 촉매재생공정 및 코크스 제조공정 등 공정배출원, 그 밖에 공정 중에서의 배기(venting) 및 폐가스 연소처리(flaring) 등 탈루성 배출로 구분할 수 있다.

### 2. 보고 대상 배출시설

석유정제 공정배출의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 수소제조시설

경질나프타, 부탄 또는 부생연료를 촉매 존재 하에서 수증기와의 접촉반응에 의해서 약 70% 순도의 수소를 제조하고, PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정을 거쳐 불순물을 제거함으로써 순도 99.9% 이상의 수소를 제조하는 공정이며, 이때 CO<sub>2</sub>가 배출되고, 그 양은 원료 중의 수소와 탄소의 비율에 따라 달라진다. 반응식은 다음과 같다.



#### ② 촉매재생시설

원유정제 공정 중 개질(Reforming) 공정은 저옥탄가의 나프타를 백금계 촉매 하에서 수소를 첨가, 반응시킴으로써 휘발유의 주성분인 고옥탄가의 접촉개질유(Reformate)를 생산하는 공정이다. 접촉개질유에는 방향족화합물이 다량 함유되어 있으므로 벤젠, 톨루엔, 자일렌을 생산하기 위한 방향족 추출공정의 기본원료로도 사용된다.

그러나 촉매에 촉매독으로 작용하는 Coke이 축적되어 촉매활성도가 감소하게 되는데 이를 Coke를 제거하는 공정이 바로 촉매재생 공정인

것이다. 축매 재생기에서 Coke 제거 시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 배출량은 유입공기, 점착된 Coke량, Coke 중 탄소비율, 등을 이용하여 산정한다.

### ③ 코크스 제조시설

지연코킹법에서는 고정연소배출 외에 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출은 없다. 유체코킹법과 플렉시코킹법에서는 코크스 버너에서 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 코크스 버너에 의한 CO<sub>2</sub> 배출은 코크스에 함유된 탄소가 100% 산화되는 것으로 가정한다. 만약 코크스 버너의 배출가스가 CO<sub>2</sub> 회수를 위해 보내지거나 발열량이 낮은 연료가스로 연소되는 경우에는 이를 차감해주어야 한다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① 수소제조공정	Tier 1, 2, 3, 4	-	-
② 축매재생공정	Tier 1, 3, 4	-	-
③ 코크스 제조공정	Tier 1	-	-

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① 수소제조 공정

#### ① Tier 1

$$E_{i,CO_2} = FR_i \times EF_i$$

$E_{i,CO_2}$  : 수소제조 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$FR_i$  : 경질나프타, 부탄, 부생연료 등 원료(*i*) 투입량(ton 또는 천 m<sup>3</sup>)

$EF_i$  : 원료(*i*)별 CO<sub>2</sub> 배출계수

## ② Tier 2

$$E_{CO_2} = Q_{H_2} \times \frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2} \times 1.963$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_{H_2}$  : 수소 생산량(천m<sup>3</sup>)

$\frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2}$  : 반응식 「C<sub>x</sub>H<sub>(2x+2)</sub> + 2x·H<sub>2</sub>O → (3x+1)H<sub>2</sub> + xCO<sub>2</sub>」에 따

른 수소 1몰 생산량 당 CO<sub>2</sub> 발생 몰 수

**1.963** : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/표준상태 시 몰당 CO<sub>2</sub>의 부피(22.414)

## ③ Tier 3

$$E_{i,CO_2} = FR_i \times EF_i \times 10^{-3}$$

$E_{i,CO_2}$  : 수소제조 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$FR_i$  : 수소제조 공정가스(*i*) 투입량(m<sup>3</sup>, 단 H<sub>2</sub>O는 제외)

$EF_i$  : 수소제조 공정가스(*i*)의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/천m<sup>3</sup>)

## ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 촉매재생공정

### ① Tier 1

점착된 Coke의 양을 파악할 수 없을 경우 Coke 제거를 위해 투입된 공기가 전량 연소하여 CO<sub>2</sub>를 발생한다고 가정하여 다음과 같이 산정한다.

$$E_{CO_2} = AR \times CF \times 1.963$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> 배출량(ton)

$AR$  : 공기투입량(천m<sup>3</sup>)

$CF$  : 투입공기 중 산소함량비(=0.21)

$1.963$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010) / 표준상태 시 몰당 CO<sub>2</sub>의 부피(22.414)

### ② Tier 3A

점착된 Coke의 양을 파악할 수 있으며, 연소된 Coke 중의 탄소가 모두 CO<sub>2</sub>로 배출된다고 가정하여 산정한다.

$$E_{CO_2} = CC \times EF$$

$E_{CO_2}$  : 촉매재생 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출량(ton)

$CC$  : 연소된 Coke 량(ton)

$EF$  : 연소된 Coke의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-Coke)

### ③ Tier 3B

촉매재생공정이 연속재생공정으로 운영되어 산소함량 변화 및 코크스 함량의 측정이 불가능한 경우는 배출시설의 규모와 상관없이 다음 방법론을 적용하여 배출량을 산정하도록 한다.

$$E_{CO_2} = AR \times CF \times 1.963$$

$E_{CO_2}$  : 축매재생 공정에서의  $CO_2$  배출량( $tCO_2$ )

AR : 공기투입량( $천m^3$ )

CF : 배기가스 중 CO,  $CO_2$  농도비의 합

1.963 :  $CO_2$ 의 분자량(44.010) / 표준상태 시 몰당  $CO_2$ 의 부피(22.414)

#### ④ Tier 4

축매재생시설 후단에 배기가스(Exhaust Gas) 조성을 실시간으로 분석·측정할 수 있는 측정기기를 활용하여 산정·보고할 수 있다.

### ③ 코크스 제조 공정

#### ① Tier 1

버너에서 연소되는 Coke의 양을 파악할 수 있으며, Coke 중의 탄소가 모두  $CO_2$ 로 배출된다고 가정하여 배출량을 산정한다.

$$E_{CO_2} = CC \times EF$$

$E_{CO_2}$  : 코크스 제조공정에서의  $CO_2$  배출량( $tCO_2$ )

CC : 연소된 Coke 량(ton)

EF : 연소된 Coke의 배출계수( $tCO_2/t-Coke$ )

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 수소제조 공정

#### ① 활동자료 (FR 등)

##### Tier 1

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 원료투입량(FR) 등을 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 수소 발생량( $Q_{H_2}$ )(ton 또는 천  $m^3$ ) 자료를 사용한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 수소제조 공정가스의 투입량(천  $m^3$ ) 자료를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

기본 배출계수를 사용한다. (이 경우 보수적으로 배출량을 산정하기 위하여 에탄( $C_2H_6$ ) 기준 배출계수를 적용한다)

<표-14> 수소제조공정에 따른  $CO_2$  기본 배출계수

활동자료(원료투입량) 종류	에탄 기준 배출계수 ( $tCO_2/t\text{-feed}$ )
무게(ton) 기준	$2.9\ tCO_2 / t\text{-원료}$
부피(천 $m^3$ -원료) 기준	$3.93\ tCO_2 / \text{천}m^3\text{-원료}$

### *Tier 2*

배출계수는 수소 생산 반응식 「 $C_xH_{(2x+2)} + 2x \cdot H_2O \rightarrow (3x+1)H_2 + xCO_2$ 」에 따라 수소 1몰 생산시 발생하는  $CO_2$ 양의 비율( $x/(3x+1)$ )을 사용한다.

### *Tier 3*

사업자가 제16조 규정에 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \sum_y \left[ \left( \frac{MW_y}{MW_{y, total}} \right) \times \left( \frac{44.010 \times N_y}{mw_y} \right) \right] \times D_i$$

$EF_i$  : 수소제조공정의 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/천m<sup>3</sup>)

$MW_y$  : 수소제조공정가스( $i$ )의 몰당 가스성분( $y$ )의 질량(g/mol)

$mw_y$  : 해당 가스성분( $y$ )의 물질량(g/mol)

44.010 : CO<sub>2</sub>의 물질량(g/mol)

$N_y$  : 가스성분( $y$ )의 탄소 원자수

$MW_{y, total}$  :  $MW_{y, total} = \sum_y MW_y$

$D_i$  : 해당 가스( $i$ )의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 촉매재생공정

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 공기투입량(천m<sup>3</sup>)자료를 사용한다.

#### *Tier 3A*

측정불확도 ±2.5% 이내의 연소된 Coke량을 사용한다.



### *Tier 3B*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 배기가스량(천 $m^3$ )자료를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

기본 배출계수(투입공기 중 산소함량비=0.21)를 사용한다.

### *Tier 3A*

사업자가 제16조 규정에 따라 Coke의 탄소 질량 분율을 산정 또는 측정·분석하여 고유배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수( $tCO_2/t$ )

$3.664$  :  $CO_2$ 의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 3B*

사업자가 제16조 규정에 따라 배기가스 중  $CO$ ,  $CO_2$  농도비를 측정하여 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ③ 코크스 제조 공정

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 Coke양 자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 Coke양 자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 Coke양 자료를 사용한다.

#### ② 배출계수

##### *Tier 1*

별표 10에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다. (별표 10에  
서의 석유코크스에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수와 별표 11의 기본발열량 값을 사  
용하여 탄소의 질량 분율을 구한 후, 배출계수를 산정한다.)

##### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다.

##### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 개발한 석유코크스(Coke) 중 탄소의 질량 분율

을 측정·분석하여 고유배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

## 15. 암모니아 생산

IPCC 분류체계  
2B1

### 1. 배출활동 개요

암모니아 생산공정에서 수소 제조공정과 변성공정에서 주로 CO<sub>2</sub>가 발생함에 따라 암모니아를 생산하기 위하여 천연가스 또는 석유 대신에 수소를 사용하는 공장들은 암모니아 합성과정에서 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않는다. 천연가스 산출량이 적은 우리나라나 일본에서는 납사를 가장 많이 사용한다. 일부 공장들은 연료 또는 부분적 산화과정에서 수소 공급원으로써 석유계 연료를 사용하고 있다.

### 2. 보고 대상 배출시설

암모니아 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 암모니아 생산시설 (‘화학비료 및 질소화합물 제조시설’ 중 암모니아 생산시설을 말한다)

무수암모니아는 수소와 질소가 3:1의 몰비로 반응하여 합성되는데, 이후 압축되어 33℃까지 냉각된다. 질소는 대기 중에서 얻고 반면에 수소는 천연가스(메탄) 또는 납사의 수증기 분해(촉매 변환), 염소 생산시설에서 염수의 전기분해 등으로 얻는다. 국내에서는 대부분의 합성 암모니아가 천연가스의 수증기 개질(촉매변환)에 의해 생산된다.

촉매를 활용한 수증기 개질방법으로 암모니아를 생산하는 데는 7단계의 공정을 거친다.

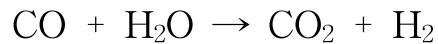
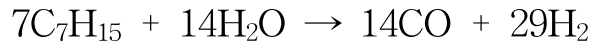
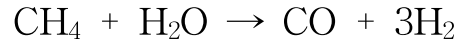
①천연가스 탈황 → ②수증기 1차 개질 → ③공기로 2차 개질 →  
④일산화탄소의 전환 → ⑤이산화탄소 제거 →  
⑥메탄화 → ⑦ 암모니아 합성

①

탈황공정 : 중질유분에 포함되어 있는 황을 촉매(Co-Mo계 촉매 또는 Co-MorP 촉매와 ZnO 촉매)를 사용하여 제거한다.

② 수증기 1차 개질 : 고온의 과열수증기와 혼합된 납사 또는

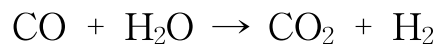
천연가스를 니켈촉매를 이용하여 분해하여 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>를 생산한다.



③ 2차 개질 : 1차 개질에 이어 고온의 공기가 주입되어 메탄을 제거한다.



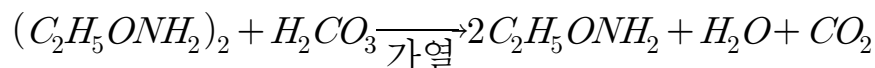
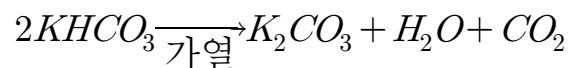
④ 일산화탄소의 전환(변성공정) : 개질공정을 거친 공정가스 중 CO는 금속촉매(Cu-Zn 계)가 포함된 스팀과 반응하여 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>를 생산한다.



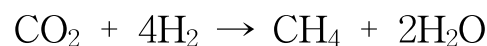
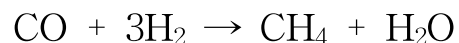
⑤ CO<sub>2</sub> 제거 및 회수 공정 : 변성공정에서 발생한 CO<sub>2</sub>를 탄산칼륨수용액(aNDEA)를 이용하여 제거한다.



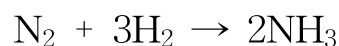
이후 탄산칼륨과 모노에탄올아민(MEA)과 같은 포화된 가스세정액 활용하여 다음 반응과 같이 수증기 스트리핑이나 가열을 함으로써 중탄산염으로부터 CO<sub>2</sub>를 제거하고 탄산칼륨 수용액은 재사용한다.



⑥ 메탄화 공정 : CO<sub>2</sub> 제거공정을 거친 가스에서 미량의 CO와 CO<sub>2</sub>는 암모니아 합성촉매에 피독작용을 하므로, 사전에 Ni촉매 하 수소와 반응시켜 메탄으로 전환시켜 제거시킨다.



⑦ 암모니아 합성공정 : 고온·고압에서 Fe 촉매를 사용하여 수소와 질소를 3:1의 비율로 맞추어 암모니아를 합성한다.



암모니아 생산시설은 모두 이 기본공정을 사용하고 있지만, 압력, 온도, 연료의 온도 및 양 등에 따라 암모니아의 수율 등이 결정된다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정 방법론	Tier 1, 2, 3, 4	-	-

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① *Tier 1~3*

$$E_{CO_2} = \sum_i (\sum_j (AP_{ij} \times AEF_{ij})) - R_{CO_2}$$

$E_{CO_2}$  : 암모니아 생산에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$AP_{ij}$  : 공정( $j$ )에서 연료( $i$ )(천연가스 및 나프타 등) 사용에 따른 암모니아 생산량(ton)

$AEF_{ij}$  : 공정( $j$ )에서 암모니아 생산량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-NH<sub>3</sub>)

$R_{CO_2}$  : 요소 등 부차적 제품생산에 의한 CO<sub>2</sub> 회수·포집·저장량(ton)

##### ④ *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### 5. 매개변수별 관리 기준

##### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 암모니아 생산량( $AP_{ij}$ ) 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 암모니아 생산량( $AP_{ij}$ ) 자료를 사용한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 암모니아 생산량( $AP_{ij}$ ) 자료를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수 ( $AEF_{ij}$ )

### *Tier 1*

아래 <표-15>에 따른 생산 공정별 기본  $CO_2$  배출계수( $AEF_i$ )를 사용한다. 필요시 연료공급자로부터 배출계수와 관련된 자료를 제공받아 활용할 수 있다.

<표-15> 암모니아 생산량 당  $CO_2$  배출계수

생산 공정( $j$ ) 구분	$CO_2$ 배출계수 ( $tCO_2/t-NH_3$ )
전통적 개질공정 (천연가스)	1.694
과잉 개질공정 (천연가스)	1.666
자열 개질공정 (천연가스)	1.694
부분산화	2.772

### *Tier 2*

암모니아 생산량 당  $CO_2$  배출계수( $AEF_{ij}$ )자료는 다음 식에 따라 자체 측정값을 사용한다.

$$AEF_{ij} = EF_{ij} \times EC_{ij} \times \frac{\text{연료사용량}}{NH_3\text{생산량}}$$

$EF_{ij}$  : 제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

$EC_{ij}$  : 별표 11에 따른 연료별 국가 고유 발열량을 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 연료별 고유 배출계수를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ③ 회수량( $R_{CO_2}$ )

### *Tier 1~4*

요소 생산 등 부차적인 제품생산에 따른  $CO_2$  회수량( $R_{CO_2}$ , 추정값)을 사용한다. 요소 생산 관련 자료가 없을 경우 회수량( $R_{CO_2}$ )은 0을 적용한다.



## 16. 질산 생산

IPCC 카테고리  
2B2

### 1. 배출활동 개요

암모니아 공정에서 형성되는  $N_2O$ 의 양은 연소 조건, 촉매 구성물과 사용 기간, 연소기의 디자인에 달려있기 때문에, 연료의 투입과  $N_2O$  형성의 정확한 관계 도출에 어려움이 따른다. 또한  $N_2O$ 의 배출은 생산 공정에서 재생된 양과 그 후의 완화 공정에서 분해된 양에 따라 차이가 있다.

$N_2O$ 는 다음의 저감 대책으로 구분된다.

- 1차 저감 대책은 암모니아 연소기에서 형성되는  $N_2O$  저감을 목적으로, 이는 암모니아의 산화 공정과 산화 촉매 변형을 포함
- 2차 저감 대책은 암모니아 전환기와 흡수 칼럼 사이에 존재하는  $NO_x$  가스로부터  $N_2O$ 를 제거
- 3차 저감 대책은  $N_2O$ 를 분해시키는 흡수 칼럼에서 배출되는 배출 가스(tail-gas)의 처리를 포함
- 4차 저감 대책은 순수 배출구 방법(pure end-of-pipe solution)으로, 배출 가스는 굴뚝으로 나가는 팽창기의 하단에서 처리

일반적으로, 산화공정은 전체적인 환원조건이  $N_2O$ 의 잠재적 배출원으로 고려되는 상황 하에서 발생되며, 질산 생산 시 매개가 되는  $NO$ 는  $NH_3$ 를 30~50℃의 온도와 높은 압력하에서  $N_2O$ 와  $NO_2$ 로 분해하게 된다.

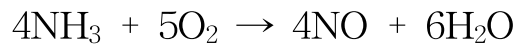
단위 공정	대상 시설	배출특성
산화공정	제1산화공정	$NH_3$ 의 촉매연소 과정에서 $N_2O$ 의 발생

### 2. 보고 대상 배출시설

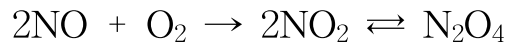
질산 제조 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같으며, 세부내용은 별표 6의 배출활동별 배출시설 개요를 참조한다.

① 질산 제조 시설 (‘기초 무기화합물 제조시설’ 중 질산제조시설을 말한다)

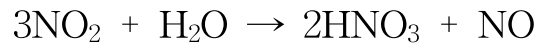
질산제조 공정은 일반적으로 3단계로 이루어져 있는데, 극 각각은 몇 개의 화학반응이 일어난다. 첫 번째로 1:9의 암모니아/공기 혼합물을 백금/로듐 촉매를 통과하면서 고온(1,380~1,470°C 또는 750~800°C에서 산화되는데, 그 반응은 다음과 같다.



공장 내의 가스가 냉각기/응축기를 통과하면서 100°F(38°C) 이하로 냉각된 후에, 산화질소는 잔류산소와 반응하여 이산화질소가 형성된다.



생성된 이산화질소는 흡수탑에 유입되어 물과 대향류로 접촉하며, 이때 일어나는 발열반응은 다음과 같다.



사용된 가스는 흡착탑 상부에서 산·연무제거를 분리기 입구까지 흐르면서 암모니아 가스에 의한 에너지흡수를 위한 열교환기를 통과하여 굴뚝으로 배출된다. 대개의 시설에서 배기가스는 대기 중으로 배출되기 전에 잔류 질소산화물을 처리하여 제거한다.

질산의 농축은 탈수탑에서 일어나는데, 강황산과 50~70% 염산을 대기압으로 충전된 탈수탑의 상부에 주입하고, 산의 혼합물은 상승하는 증기와 대향류로 흐르게 된다. 농축된 질산은 질산의 해리로부터 생성된 약간의 NO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 포함하는 98% 증기로 탑에서 배출된다. 농축된 산 증기는 탑에서 배출되어 강염산의 응축, 산소와 산화질소부산물의 분리에 영향을 주는 표백기와 향류 응축장치로 유입된다. 이후 산화질소와 공기가 혼합되어 NO<sub>2</sub>가 형성되는 흡수탑으로 유입되고 약한 질산으로써 회수된다. 반응하지 않은 가스는 흡수탑 상부에서 대기 중으로 배출된다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	-	Tier 1, 2, 3

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① *Tier 1~3*

$$E_{N_2O} = \sum_{k,h} [EF_{N_2O} \times NAP_k \times (1 - DF_h \times ASUF_h)] \times 10^{-3}$$

$E_{N_2O}$  : N<sub>2</sub>O 배출량(tN<sub>2</sub>O)

$EF_{N_2O}$  : 질산 1 ton 생산당 N<sub>2</sub>O 배출량(kgN<sub>2</sub>O/t-질산)

$NAP_k$  : 생산기술( $k$ )별 질산생산량(t-질산)

$DF_h$  : 저장기술( $h$ )별 분해계수(0에서 1사이의 소수)

$ASUF_h$  : 저장기술( $h$ )별 저장시스템 이용계수(0에서 1사이의 소수)

#### 5. 매개변수별 관리 기준

##### ① 활동자료( $NAP_i$ )

###### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 질산 생산량 자료를 사용하되, 질산농도는 100%를 기준으로 적용한다.

###### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 질산 생산량 자료를 사용한다.

###### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 질산 생산량 자료를 사용한다.

## ② 배출계수( $EF_{N_2O}$ ), 분해계수( $DF_h$ ), 이용계수( $ASUF_h$ )

### *Tier 1*

배출계수( $EF_{N_2O}$ )는 다음 <표-16>에 제시하는 기본 배출계수를 사용하되 저감시설이 별도로 없는 경우에는 가장 높은 배출계수를 사용한다.

저감기술별 분해계수( $DF_h$ ) 및 저감시스템 이용계수( $ASUF_h$ )는 활용 가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 “0”을 적용한다.

<표-16> 질산생산기술( $k$ )별 기본배출계수

생산 공정( $k$ ) 구분	$N_2O$ 배출계수 (100% Pure acid)
NSCR(비선택적 촉매환원법)을 사용하는 공장(모든공정)	2 kg $N_2O$ /t-질산
통합공정이나 배출가스 $N_2O$ 분해를 사용하는 공장	2.5 kg $N_2O$ /t-질산
대기압 공장(낮은 압력)	5 kg $N_2O$ /t-질산
중간 압력 연소 공장	7 kg $N_2O$ /t-질산
고압력 공장	9 kg $N_2O$ /t-질산

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수( $EF_{N_2O}$ )를 활용한다.

저감기술별 분해계수( $DF_h$ ) 및 저감시스템 이용계수( $ASUF_h$ )는 활용 가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 “0”을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 질산생산량 당  $N_2O$  배출계수( $EF_{N_2O}$ )를 사용한다.

저감기술별 분해계수( $DF_h$ ) 및 저감시스템 이용계수( $ASUF_h$ )는 활용 가

능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 “0”을 적용한다.

## 17. 아디프산 생산

IPCC 카테고리  
2B3

### 1. 배출활동 개요

아디프산 공정 중 온실가스( $N_2O$ )가 발생하는 시설은 산화반응이 일어나는 반응공정이다. 일반적으로 KA Oil 혼합과정에서 공정 중 질소가 고농도로 존재함에 따라 아산화질소( $N_2O$ )가 발생하게 되는 가능성이 높다. 또한 후단의 가열로 공정에서는 공정 중 발생하는  $N_2O$ 를 LNG 가열로에서 약 99% 이상을 분해하고 있으며 이 과정에서  $CO_2$ 가 발생한다(연료 연소) 일부 사업장에서는 KA 혼합공정으로 아디프산 1kg를 생산하는데 0.27kg의  $N_2O$ 가 배출되며  $N_2O$ 의 저감을 위해 가열시설을 운용하고 있다.

### 2. 보고 대상 배출시설

아디프산 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 아디프산 생산시설

아디프산( $HOOC(CH_2)_4COOH$ )은 합성섬유, 코팅, 플라스틱, 우레탄 포말, 합성윤활유의 생산에 사용되는 백색결정의 고체이다. 국내 생산되는 아디프산의 대부분은 나일론 6.6을 생산하는데 사용된다. 아디프산 생산에 사용되는 기초 원료는 시클로헥산이나 다른 공정의 부산물인 시클로헥사논을 사용하는 경우도 있다.

아디프산 생산 원료인 시클로헥산과 시클로헥사논은 반응조에 옮겨져서  $130\sim 170^\circ C$ 에서 산화되어 시클로헥사놀과 시클로헥사논 혼합물을 형성하고 2차 반응조에 옮겨져서 질산과 촉매(질산동과 바나듐 암모니아염의 혼합물)로  $70\sim 100^\circ C$ 에서 산화되어서 아디프산을 형성한다.



시클로헥산으로부터 아디프산을 합성하는 또 다른 방법(Farbon 법)은

다음의 두 가지 공기산화단계를 포함한다. 시클로헥산을 산화하여 시클로헥산올과 시클로헥사논을 만들고 시클로헥산올과 시클로헥사논을 다시 산화하여 아디프산을 만든다. 이 때 혼합된 초산 망산, 바륨을 촉매로써 사용한다. 제2반응기로부터의 생성물을 표백기로 들어가고 용존 NO<sub>x</sub>가스는 공기와 수증기로 인해 아디프산 및 질산 용액으로부터 탈기된다. 여러 가지 유기산부산물, 아세트산, 글루타린산 및 호박산 등이 형성되고 회수되어 판매된다. 아디프산 및 질산용액은 냉각되어서 결정화기로 보내져서 아디프산 결정을 만든다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	-	Tier 1, 2, 3

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1~3

$$E_{N_2O} = \sum_{k,h} [EF_k \times AAP_k \times (1 - DF_h \times ASUF_h)] \times 10^{-3}$$

$E_{N_2O}$  : N<sub>2</sub>O 배출량(tN<sub>2</sub>O)

$EF_k$  : 기술유형( $k$ )에 따른 아디프산의 N<sub>2</sub>O 배출계수 (kgN<sub>2</sub>O/t-아디프산)

$AAP_k$  : 기술유형( $k$ )에 따른 아디프산 생산량(ton)

$DF_h$  : 저감기술( $h$ )별 분해계수(0에서 1사이의 소수)

$ASUF_h$  : 저감기술( $h$ )별 저감시스템 이용계수(0에서 1사이의 소수)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 아디프산 생산량( $AAP_k$ )자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 아디프산 생산량( $AAP_k$ )자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 아디프산 생산량( $AAP_k$ )자료를 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

아래 <표-17>의 IPCC 가이드라인 기본 아디프산 생산량 당  $N_2O$  배출계수( $EF_k$ )를 사용한다.

<표-17> 아디프산 생산에 따른 IPCC 기본 배출계수

생산 공정( $k$ ) 구분	$N_2O$ 배출계수 ( $kgN_2O/t$ -아디프산)
질산 산화 공정	300 kg(저감기술 미 적용시)

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

아래 <표-18>의 저감기술별  $N_2O$  기본 분해계수( $DF_h$ ) 및 기본 이용계수( $ASUF_h$ )를 적용한다.



<표-18> 저감기술별 IPCC 기본 분해계수 및 이용계수

저감 기술( $h$ ) 유형	분해 계수( $DF_h$ )	이용 계수( $ASUF_h$ )
축매 분해	0.925	0.89
열 분해	0.985	0.97
질산으로의 재활용	0.985	0.94
아디프산 원료로의 재활용	0.940	0.89

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유  $N_2O$  배출계수를 사용한다.

저감기술별 분해계수( $DF_h$ ) 및 저감시스템 이용계수( $ASUF_h$ )는 활용 가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 “0”을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 개발한 고유  $N_2O$  배출계수를 사용한다.

저감기술별 분해계수( $DF_h$ ) 및 저감시스템 이용계수( $ASUF_h$ )는 활용 가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 “0”을 적용한다.

## 1. 배출활동 개요

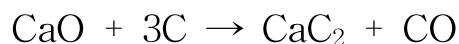
카바이드 생산 공정의 온실가스 배출은 탄화규소(SiC) 및 탄화칼슘(CaC<sub>2</sub>) 생산과 관련하여 앞의 2가지 반응식에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, SO<sub>2</sub>의 배출이 발생한다. 생산 공정에서 탄소함유원료를 사용하는 것은 CO<sub>2</sub>와 CO의 배출을 발생시키고 수소함유휘발성 화합물과 석유코크스에 있는 황은 대기 중에 CH<sub>4</sub>와 SO<sub>2</sub>의 배출을 발생시킨다.

## 2. 보고 대상 배출시설

카바이드 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 칼슘카바이드 제조 시설

칼슘카바이드(CaC<sub>2</sub>)는 전기아크로에서 200°C~2,100°C온도로 석회와 탄소혼합물을 가열해서 만들 수 있다. 해당 온도에서 석회는 다음 반응식에 따라 일산화탄소(CO)와 칼슘카바이드(CaC<sub>2</sub>)로 환원된다.



이 반응에 쓰이는 석회는 일반적으로 공장부지(Plant site) 내의 가마에서 석회석을 환원하여 만든다. 또 탄소원료로는 석유코크스(Coke) 및 무연탄 등이 쓰인다. 로(furnace) 안에서 불순물은 CaC<sub>2</sub> 생성물 내에 남아있기 때문에 석회는 마그네슘 산화물, 알루미늄 산화물, 철 산화물을 각각 0.5% 이상 포함해서는 안 되며, 인(P) 화합물을 0.004% 이상 포함해서는 안 된다. 또 코크 변화는 재와 황에서 낮게 존재하여야 한다.

카바이드 제조 시 석회석이 석회가마에서 석회로 바뀌는 동안 코크스 내 습기는 코크 건조기에서 제거된다. 코크스와 석회조각 들은 재순환되어 사용될 수 있으며 두 생성물은 전기아크로로 옮겨져 칼슘카바이드가 생성된다. 전기아크로는 여러 가지 유형이 있는데,

개방로(open furnace)에서는 과잉공기를 포함하고 있을 경우 CO를 CO2로 완전연소 시킨다. 또한 폐쇄로(Close furnace)에서 공기를 모아 다른 공정과 연소공정에 연료로 사용할 수 있다.

‘석탄타르피치접착제(coal tar pitch binder, CTP)’의 전극가루 반죽화합물과 무연탄은 로로 도입되기 전에 전기아크로에 의해 열로 구워진 강철 통 안으로 연속적으로 들어간다. 구워진 전극은 로 벽 안쪽(meltem), 강철 통에서 나오고 CaC<sub>2</sub> 생성공정에서 소비된다. 녹은 CaC<sub>2</sub>는 ‘로’에서 냉장차 안으로 뽑아내져 식혀서 굳어진다. 그 후 턱(jaw) 분쇄기에 의해 1차로 분쇄된 CaC<sub>2</sub>는 2차로 분쇄되어 크기 선별을 위해 체로 친다. 주위의 습기와 CaC<sub>2</sub>가 반응하여 발생하는 아세틸렌(acetylene)의 폭발을 방지하기 위해 부수는 작업과 체로 치는 작업은 CaC<sub>2</sub>가 완전히 냉각되었을 때 젖은 환경에서 실시되어야 한다.

## ② 실리콘카바이드 제조 시설

실리콘카바이드(SiC, Silicon Carbide, 탄화규소)는 실리콘(Si)과 탄소(C)로 구성된 화합물 반도체 재료이다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,4	Tier 1	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1

$$E_{i,j} = AD_i \times EF_{i,j}$$

$E_{i,j}$  : 카바이드 생산에 따른 온실가스( $j$ ) 배출량(tGHG)

$AD_i$  : 활동자료( $i$ ) 사용량(ton) (사용된 원료, 카바이드 생산량)

$EF_{ij}$  : 활동자료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ ) 배출계수(tGHG/t-카바이드, tGHG/t-사용된 원료)

<주의할 점>

탄화칼슘(칼슘 카바이드) 생산 시, 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )을 원료로 사용할 경우, 탄산칼슘을 산화칼슘( $\text{CaO}$ )으로 바꾸는 소성과정이 추가되므로, 이에 대한 배출량 산정은 <별표 6의 9. 석회 생산>을 참고하여 위 식에 의한 배출량에 추가토록 하고, 산화칼슘( $\text{CaO}$ )을 원료로 직접 사용하는 경우에는, 위 식에 의한 배출량만 산정토록 한다.

## ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동 자료

#### Tier 1

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 활동자료(사용된 원료, 카바이드 생산량)를 사용한다.

#### Tier 2

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 활동자료(사용된 원료, 카바이드 생산량)를 사용한다.

#### Tier 3

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 활동자료(사용된 원료, 카바이드 생산량)를

사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

아래 <표-19>, <표-20>의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-19> 탄화칼슘(칼슘카바이드) 생산 시 활동자료(i)별 기본 배출계수

활동자료(i) 종류		카바이드 생산량(ton) 기준	원료(산화칼슘) 소비량(ton) 기준
공정 구분			
탄화칼슘(CaC <sub>2</sub> ) 생산부문	CO <sub>2</sub>	1.09 tCO <sub>2</sub> /ton	1.70 tCO <sub>2</sub> /ton
	CH <sub>4</sub>	-	-

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

<표-20> 탄화규소(실리콘카바이드) 생산시 활동자료(i)별 기본 배출계수

활동자료(i) 종류		카바이드 생산량(ton) 기준	원료(산화규소) 소비량(ton) 기준
공정 구분			
탄화규소(SiC) 생산부문	CO <sub>2</sub>	2.62 tCO <sub>2</sub> /ton	2.30 tCO <sub>2</sub> /ton
	CH <sub>4</sub>	11.6 kgCH <sub>4</sub> /ton	10.2 kgCH <sub>4</sub> /ton

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. (공정별, 활동자료(i)별, 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)에 대한 고유 배출계수를 말한다)

### *Tier 3*

제16조에 따라 아래 식을 이용하여 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수

를 사용한다. (석유코크스 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 산정에 유효하다)

$$EF_{SiC} = 0.65 \times CCF_{SiC} \times 3.664$$

$EF_{SiC}$  : 탄화규소(SiC) 생산시 석유코크스의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

$CCF_{SiC}$  : 석유코크스의 배출계수(tC/t-Coke)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

$$EF_{CaC2} = 0.33 \times CCF_{CaC2} \times 3.664$$

$EF_{CaC2}$  : 탄화칼슘(CaC<sub>2</sub>) 생산시 석유코크스의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

$CCF_{CaC2}$  : 석유코크스의 배출계수(tC/t-Coke)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

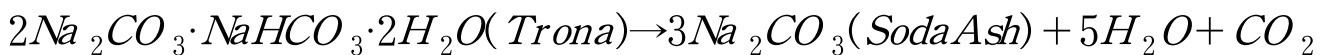
#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

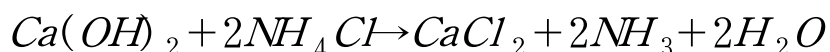
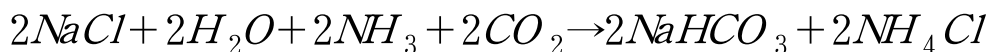
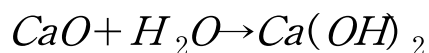
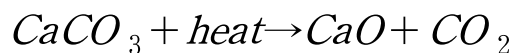
## ① 천연 소다회 생산

세계적인 생산량의 약 25%가 천연공정으로 언급되는 천연 나트륨 탄산염베어링(bearing)퇴적물을 통해 생산된다. 이 생산 공정 중에, 트로나(Trona)(천연 소다회를 만들어 내는 중요한 광석)는 로터리 킬른 속에서 소성되고, 화학적으로 천연 소다회로 변형된다. 이산화탄소와 물은 이 공정의 부산물로 생성된다. 이산화탄소 배출량은 다음 화학 반응에 기초한다.

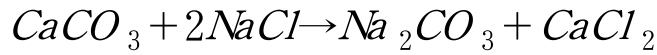


## ② 솔베이법 합성공정

세계적인 소다회 생산의 약 75%가 염화나트륨을 통해 만들어진 합성 회(ash)이다. 솔베이법에서, 염화나트륨 수용액, 석회석, 야금 코크스, 암모니아는 소다회의 생산을 유도하는 일련의 반응에 사용되는 원료이다. 그러나 암모니아는 재생되고, 아주 작은 양만 손실된다. 솔베이법과 관련된 일련의 반응들은 다음과 같이 설명된다.



위의 전체적 반응은 다음과 같이 요약될 수 있다

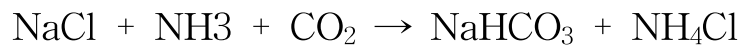


## 2. 보고 대상 배출시설

소다회 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 암모니아 소다회 제조시설 (Solvay공정)

암모니아 소다법은 소금수용액(함수)에 암모니아와 이산화탄소가스를 순서대로 흡수시켜 다음과 같은 반응으로 용해도가 작은 탄산수소나트륨을 침전시킨다.

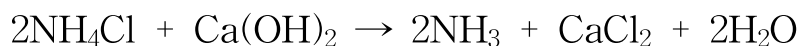


다음에 중조의 침전을 분리하고 200°C 정도에서 하소하여 다음반응에 따라 제품탄산소다를 얻는다.



또한 중조를 여과한 모액에 석회유( $Ca(OH)_2$ )용액을 첨가하고 증류하여 암모니아를 회수하고 부산물로  $CaCl_2$ 를 얻는다. 실제 Solvay법에서 중요한 공정은 원염의 정제,  $NH_3$ 의 흡수, 탄산화 및  $NH_3$  회수, 탄산가스의 제조공정 등이다.

암모니아 흡수공정에서는 흡수탑을 사용하여 정제된 함수에  $NH_3$ 가스를 흡수시켜 암모니아함수를 만든다. 흡수시킬  $NH_3$ 는 증류탑에서 다음 식과 같이  $NH_3$ 를 회수하여 순환시키지만 이것만으로는 부족하므로 부족한 만큼 합성  $NH_3$ 로 보충한다.



증류탑에서 회수한  $NH_3$ 가스에는 반드시  $CO_2$ 가스와 수증기가 포함되어 있는데 이  $CO_2$ 가스가 암모니아흡수탑 내의  $NH_3$ 와 반응하여  $(NH_4)_2CO_3$ 로 되며 이것이 함수에 존재하는  $Ca^{2+}$ 와  $Mg^{2+}$ 염을 탄산염으로 침전시켜 정제하는 역할도 한다. 암모니아 흡수에는 직경 2.5m 높이 20m 정도의 포종탑이나 충전탑을 많이 사용한다. 암모니아를 흡수할 때 발열하므로 냉각하여야 하며 60°C 이상이 되지 않게 해야 한다.



탄산화탑은 직경 2.5m, 높이 20~25m 정도의 주철제 원통을 쌓은 구조이다. 내부에 큰 접시를 거꾸로 매달은 것 같은 단(tray)이 설치되어 있다. 탄산화탑의 하부는 침전탑이며 침전반응에 의한 발열량이 크기 때문에 온도를 약 30°C 정도로 유지하기 위해 냉각관을 각 단 사이에 설치한다. 암모니아함수는 중화탑의 상부에서 아래로 각 단을 통과하여 침전탑 하부에서 충조침전과 함께 유출한다. CO<sub>2</sub> 가스는 탄산수소나트륨(중조)의 분해에서 얻은 CO<sub>2</sub>는 진하드로 침전탑의 하부로, 석회로에서 공급되는 CO<sub>2</sub>는 중화탑의 하부로 각각 분리하여 공급한다.

탄산화탑의 하부로 유출한 NaHCO<sub>3</sub>의 결정을 함유한 용액은 Oliver식 회전원통형의 진공여과기에서 모액과 분리하고 소량의 물로 세척한다. NaCl에 대한 NaHCO<sub>3</sub>의 수율은 약 75%인데 용해 평형관계 때문에 수율을 그 이상 높이는 곤란하다. NaHCO<sub>3</sub>의 하소에는 스팀튜브 건조기를 사용하며 노 내에서 발생한 CO<sub>2</sub>는 탄산화탑의 침전반응에 사용하므로 공기가 혼입되지 않게 기밀상태로 조업된다.

중조를 분리한 모액에는 대량의 NH<sub>4</sub>Cl이 용해되어 있으며 NaCl, NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> 및 NaHCO<sub>3</sub>도 용해되어 있다. 이것을 가열하면 분해되어 NH<sub>3</sub> 가스로 회수할 수 있지만 NH<sub>4</sub>Cl은 석회유를 첨가한 후에 증류해야만 NH<sub>3</sub>로 회수할 수 있다. 회수된 NH<sub>3</sub> 가스는 CO<sub>2</sub>와 수증기를 함유하고 있으며, 이 혼합가스를 암모니아 흡수탑으로 보내어 흡수시킨다.

## ② 천연소다회 생산 공정

천연소다회 제조공정은 트로나 (trona) 광석 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · Na<sub>2</sub>HCO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O)의 자연추출물에서 또는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 세스퀴탄산나트륨(Sodium Sesquicarbonate)를 함유한 소금물로부터 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>을 회수한다. 약 1세기 동안 거의 모든 탄산나트륨이 암모니아 소다회공정에 의해 생성되었으나 1960년대 중반 이후 자연적인 공정에 의해 대체되어 지금은 거의 쓰이지 않는다. 국내에서는 1개 회사가 Solvay법 사용하고 있었으나, 현재는 경제성 등의 사유로 운영되지 않고 있다.

트로나 광석은 86~95%의 세스퀴탄산나트륨과 5~12%의 맥석(점토나 불용성불순물)과 물로 이루어져 있다. 채광한 트로나 광물은 분쇄하고 체질하고, 하소하여 CO<sub>2</sub>와 물을 날려보내고 조 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 형태로 만든다. 대부분의 하소기는 회전식 가스연소식이나 신형 공장들은 석탄 연소 하소기를 사용한다. 조 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>는 용해시켜서 불용성 불순물을 분리한다. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O 같은 것은 다중효용 증발기에 의해 순수한 액체로부터 결정체를 얻고, 다음에 건조하여 물과 기타 물질을 제거하면 최종생성물을 얻을 수 있다. Rotary Steam tube, 유동상 steam tube, rotary 가스연소 건조기등이 사용된다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,4	-	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1

$$E_{CO_2} = AD \times EF$$

$E_{CO_2}$  : 소다회 생산 공정에서의 CO<sub>2</sub>배출량(tCO<sub>2</sub>)

$AD$  : 사용된 트로나(Trona) 광석의 양 또는 생산된 소다회 양(ton)

$EF$  : 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-Trona 투입량, tCO<sub>2</sub>/t-소다회 생산량)

#### ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 5. 매개변수별 관리 기준

#### ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

IPCC 가이드라인의 기본 배출계수를 사용한다.

<표-21> 소다회 생산시 활동자료별 기본 배출계수

활동자료( <i>i</i> ) 구분	CO <sub>2</sub> 배출계수
트로나 광석 사용량	0.097 tCO <sub>2</sub> /t-Trona
소다회 생산량	0.138 tCO <sub>2</sub> /t-소다회생산량

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

## *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 위 <표-22>의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

## *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

석유화학산업은 천연가스 등의 화석연료나 나프타 등의 석유정제품 등을 원료로 하여 출발하는데 국내의 경우 주로 나프타를 분해 설비(Naphtha Cracking Center, NCC)에 투입하여 에틸렌, 프로필렌 등 기초유분을 생산하고 이 과정에서 온실가스가 배출된다.

## 2. 보고 대상 배출시설

석유화학제품 생산 공정의 공정배출 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 메탄올 반응시설

대부분의 메탄올은 천연가스의 증기 개질 과정에서 생산된다. 천연가스에서 메탄올로의 생산 공정은 메탄올과 부산물인 이산화탄소, 일산화탄소, 수소 등의 합성가스를 생산한다.

### ② EDC/VCM 반응시설

EDC를 생산하는 공정은 직접 염소화와 산화염소화 반응이 있으며 이 공정을 조합한 조화형 공정이 있다. 산화염소화 공정에서 에틸렌 산화 반응의 부산물로 CO<sub>2</sub>가 발생된다. VCM 생산의 경우 EDC의 열분해에 의해 생산되는데 이때 CO<sub>2</sub>는 배출되지 않는다.

### ③ 에틸렌옥사이드(EO) 반응시설

주된 고분자의 전구체가 아니면서 가장 중요한 에틸렌 기초 화합물이 산화에틸렌(ethylene oxide, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)이다. 산화에틸렌은 촉매 상에서 에틸렌과 산소의 직접 반응에 의해 제조된다. 이 반응은 발열반응이며, 동시에 에틸렌과 산화에틸렌으로부터 부산물인 이산화탄소와 물이 생성된다.

### ④ 아크릴로니트릴(AN) 반응시설

프로필렌과 암모니아의 산화반응으로 아크릴로니트릴을 생산하는 과정에서 온실가스가 배출된다.

### ⑤ 카본블랙(CB) 반응시설

카본블랙은 대부분 로(furnace)공정으로 제조되고 있다. 미국에서 사용되는 카본블랙의 제조공정은 오일로(oil furnace) 공정과 열적(thermal) 공정이다. 오일로 공정으로의 생산은 약 90%이고, 열적 공정은 약 10% 정도이다(USEPA, 2001). 즉, 내화로 내에서 연료유를 연소시킨 고온 열풍 속에 원료유를 분사, 연속적으로 열분해시키는 방법이 주로 사용되고 있다.

### ⑥ 에틸렌 생산시설

에틸렌은 상온 상압 하에서 무색의 가스로 가연성 가스로 탄화수소 특유의 냄새를 가지고 있다. 에틸렌의 제조 공정은 석유 유분인 나프타 증기 분해를 통해 제조, 메탄이 주성분이 천연가스로부터의 제조, 석유정제 공정에서 부생되는 가스로부터의 제조 등이다.

### ⑦ 테레프탈산(TPA) 생산시설

테레프탈산은 원유로부터 정제된 파라자일렌(Para Xylene)을 주원료로 산화, 정제, 분리, 건조 공정을 거쳐 제조된다. 파라자일렌과 함께 용매(초산 등), 공기를 투입하며 산화반응기나 결정화조에서 온실가스가 배출된다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① 석유화학제품 생산	Tier 1,2,3,4	Tier 1	-
② 테레프탈산(TPA) 생산	Tier 1,2,3,4	-	-

## 4. 배출량 산정 방법론

## ① 석유화학제품 생산

### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 각 석유화학물질의 생산량을 활동자료로 하고 기본 배출계수를 활용하여 산정하는 방법이다.

$$E_{i,j} = PP_i \times EF_{i,j}$$

$E_{ij}$  : 석유화학제품( $i$ )의 생산에 따른 온실가스( $j$ ) 배출량(tGHG)

( $j = \text{CO}_2, \text{CH}_4$ )

$EF_{ij}$  : 석유화학제품( $i$ )의 온실가스( $j$ ) 배출계수(tGHG/t-제품)

$PP_i$  : 연간 석유화학제품( $i$ )의 생산량(ton)

### ② Tier 2~3

Tier 2와 3 산정방법은 원료 및 공정수준에서 탄소물질수지에 기초한 산정방법으로 각 원료소비량, 일차, 이차 생산제품의 생산량 등을 활동자료로 하고 고유 배출계수(Tier 2의 경우 국가 고유 배출계수, Tier 3의 경우 사업장 고유 배출계수)를 적용하는 방법이다.

$$E_{iCO_2} = \sum_k (FA_{i,k} \times EF_k) - \left\{ PP_i \times EF_i + \sum_j (SP_{ij} \times EF_{ij}) \right\}$$

$i$  : 1차 석유화학생산제품(반응공정의 주생산물을 의미한다)

$j$  : 2차 석유화학생산제품(반응공정의 부생산물을 의미한다)

$k$  : 원료(해당 반응공정으로 투입되는 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 합성 가스, 천연가스 등 원료를 모두 포함한다)

$E_{iCO_2}$  : 석유화학제품( $i$ ) 생산으로부터의  $\text{CO}_2$  배출량(t $\text{CO}_2$ )

$FA_{i,k}$  : 석유화학제품( $i$ ) 생산에서 사용된 원료( $k$ ) 소비량(ton)

$EF_k$  : 원료( $k$ )의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$PP_i$  : 1차 석유화학제품( $i$ ) 생산량(ton)

$EF_i$  : 1차 석유화학제품( $i$ )의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-제품( $j$ ))

$SP_{i,j}$  : 2차 석유화학제품( $j$ )의 생산량(ton)

$EF_{i,j}$  : 2차 석유화학제품( $j$ )의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-제품( $j$ ))

### ③ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 테레프탈산(TPA) 생산

### ① Tier 1~3

산화반응기 또는 결정화조 후단에서 배출되는 배기가스의 CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> 함량을 활용하여 배출량을 산정한다. 산화반응기와 결정화조가 모두 설치된 경우, 각 시설에 대한 배출량을 산정·보고하여야 한다.

$$E_{CO_2} = \frac{AR \times CF \times CF_{CO_2}}{1 - SCF} \times 1.963$$

$E_{CO_2}$  : TPA 생산 공정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$AR$  : 투입공기량(천m<sup>3</sup>)

$CF$  : 투입공기 중 질소함량비(=0.79)

$CF_{CO_2}$  : 배기가스 중 CO<sub>2</sub> 농도(0에서 1사이의 소수)

$SCF$  : 배기가스 중 CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> 농도비의 합(0에서 1사이의 소수)

$1.963$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010) / 표준상태에서 1kmol이 갖는 공기 부피(22.414)



## ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 석유화학제품 생산

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 석유화학제품 생산량 및 석유화학제품(i)의 생산계수( $SPP_i$ ) 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 공정별 원료사용량, 일차 및 이차 석유화학제품 생산량, 원료( $k$ )에 대한 이차제품의 생산계수( $SPP_{ik}$ ) 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 공정별 원료사용량, 일차 및 이차 석유화학제품 생산량, 원료( $k$ )에 대한 이차제품의 생산계수( $SPP_{ik}$ ) 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

IPCC 가이드라인의 기본 배출계수를 사용한다.

<표-22> 석유화학제품의 기본 배출계수

석유화학제품( <i>i</i> )	CO <sub>2</sub> 배출계수( $EF_{ij}$ ) (tCO <sub>2</sub> /t-제품( <i>i</i> ))	CH <sub>4</sub> 배출계수( $EF_{ij}$ ) (kgCH <sub>4</sub> /t-제품( <i>i</i> ))
메탄올(CH <sub>3</sub> OH)	0.6700	2.3000
에틸렌디클로라이드(EDC)	0.1960 <sup>1)</sup>	—
염화비닐 모노머(VCM)	0.2940 <sup>2)</sup>	—
EDC/VCM 통합공정	—	0.0226
에틸렌옥사이드(EO)	0.8630	1.7900
아크릴로니트릴(AN)	1.0000	0.1800
카본블랙(CB)	2.6200	0.0600

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

\*\* 석유화학제품 생산량 기준의 배출량 산정방법(Tier1)에 적용 가능한 기본배출계수

- 1) EDC의 배출계수에는 연소배출량이 포함되어 있으며, 해당 제품 생산에 따른 연소배출량을 별도로 산정하여 연소배출에 포함시켜 보고하는 경우, 공정배출량 산정에는 1톤당 0.0057tCO<sub>2</sub> 적용
- 2) VCM의 배출계수에는 연소배출량이 포함되어 있으며, 해당 제품 생산에 따른 연소배출량을 별도로 산정하여 연소배출에 포함시켜 보고하는 경우, 공정배출량 산정에는 1톤당 0.0086tCO<sub>2</sub> 적용

<표-23> 석유화학원료(*k*) 및 생산물(*i,j*)의 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

원료/생산물	배출계수 ( $EF_k$ 또는 $EF_{i, i,j}$ ) (tCO <sub>2</sub> /t-원료(k) 또는 생산물(i,j))
아세토니트릴(CH <sub>3</sub> CN)	2.1442
아크릴로니트릴(AN)	2.4417
부타디엔(C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	3.2536
카본블랙(CB)	3.5541
카본블랙(CB)원료	3.2976
에탄(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	3.1364
에틸렌디클로라이드(EDC)	0.8977
에틸렌글리콜(EG)	1.4180
에틸렌옥사이드(EO)	1.9969
시안화수소(HCN)	1.6283
메탄올(CH <sub>3</sub> OH)	1.3740
CH <sub>4</sub> (메탄)	2.7443
프로판	2.9935
프로필렌(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	3.1375
염화비닐 모노머(VCM)	1.4070
에틸렌	3.1364

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인(공정 원료나 제품의 해당 탄소함량에 3.664(CO<sub>2</sub>/C)를 적용하였음)

\*\* 원료 및 제품의 탄소물질수지에 기초한 배출량 산정방법(Tier2)에 적용가능한 기본 배출계수

## Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 위<표-23>의 석유화학 원료(k) 및 생산물(i,j)의 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수를 사용한다.

## Tier 3

제16조에 따라 사업자가 각각의 석유화학원료(k) 및 생산물(i,j) 등에 대하여 탄소의 질량 분율을 측정·분석하여 고유배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

3.664 : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ② 테레프탈산(TPA) 생산

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 공기투입량(천 $m^3$ ) 자료를 사용한다. 추가로 투입된  $O_2$ 량이 있을 경우 이를 제외 한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 공기투입량(천 $m^3$ ) 자료를 사용한다. 추가로 투입된  $O_2$ 량이 있을 경우 이를 제외 한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 공기투입량(천 $m^3$ ) 자료를 사용한다. 추가로 투입된  $O_2$ 량이 있을 경우 이를 제외 한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 3*

사업자가 제92조 규정에 따라 배기가스 중  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ 의 농도를 측정 분석하여 배출계수 개발에 적용한다.



## 21. 불소화합물 생산

IPCC 분류체계  
2B9

### 1. 배출활동 개요

온실가스로 규정된 불소화합물들(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)은 생산과정에서 일부 부산물로 생산되어 대기 중으로 배출된다. 주요 온실가스 배출원은 불소화합물을 생성시키는 반응시설이고, HCFC-22 생산 공정 중 극소량의 HFC-23이 반응시설에서 부수적으로 생성되어 배출되며, 기타 불소화합물 생산에서는 CFC-11 및 CFC-12 생산 공정, PFCs 물질의 할로젠 전환 공정, NF<sub>3</sub> 제조 공정, 불소비료나 마취제용 불소화합물 생산 공정들에서 불소화합물이 배출된다. 온실가스로 규정된 불소화합물들(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)은 생산과정에서 일부 부산물로 생산되어 대기 중으로 배출된다.

### 2. 보고 대상 배출시설

불소화합물 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① HCFC-22 생산시설

HCFC-22 생산 공정 중 아래의 과정에서 대부분의 HFC-23이 배출된다.

환기과정(Condenser vent)에서의 배출	HCFC-22 생산 공정 중 주요 배출지점으로 HCFC-22에서 분리된 후 공기 중으로 배출되며, 생성된 HFC-23의 약 98~99%가 이 공정에서 배출
탈루배출(Fugitive emission)	공기압축기(컴프레서), 밸브, 플랜지 등을 통해 배출
습식스크리버로부터의 액상 세정	세정액에 포함된 HFC-23의 농도의 수 ppm 정도로 미량임
HCFC-22 생산물과 함께 제거	HCFC-22 생산 제품에 극소량의 HFC-23이 포함되어 배출됨
HFC-23 회수시 저장 탱크로부터의 누출	고압 저온 하에서의 농축에 의해 누출됨

#### ② 기타 불소화합물 생산시설

기타 불소화합물 생산에서는 아래와 같은 공정들에서 불소화합물이

배출된다.

- ㉠ CFC-11 생산시설
- ㉡ CFC-12 생산시설
- ㉢ PFCs 물질의 할로겐 전환시설
- ㉣ 불소비료 및 마취제용 화합물 생산시설
- ㉤ SF<sub>6</sub> 생산시설

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	불소화합물(FCs)
산정방법론	Tier 1, 2, 3

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① *Tier 1*

Tier 1 산정방법은 HCFC-22 또는 기타 불소화합물의 생산량과 기본배출계수를 이용하여 산정하는 방법이다. 여기에서 발생된 HFC-23은 전량 대기로 배출되는 것으로 가정하기 때문에 불확도가 상당히 높다고 한다.

$$E_{HFC-23} = EF_{default} \times P_{HCFC-22} \times 10^{-3}$$

$E_{HFC-23}$  : HFC-23배출량(tGHG)

$EF_{default}$  : HFC-23 기본 배출계수(kgHFC-23 배출량/kg-HCFC-22 생산량)

$P_{HCFC-22}$  : 전체 HCFC-22 생산량(kg)

#### ② *Tier 2*

Tier 2 산정방법은 HCFC-22의 생산량과 공정효율을 이용하여 계산된 HFC-23의 배출계수를 통해 배출량을 산정하는 방법이다. 배출계수는 탄소의 효율과 불소의 효율을 이용하여 산출하는데 일반적으로는 두 계수의 평균값을 사용하거나 불확도가 낮은 한 가지를 선택하여 산출한다.

$$E_{HFC-23} = EF_{calculated} \times P_{HCFC-22} \times F_{released} \times 10^{-3}$$

$E_{HFC-23}$  : HFC-23배출량(tGHG)

$EF_{calculated}$  : 계산된 HFC-23 배출계수(kgHFC-23/kg-HCFC-22)

$P_{HCFC-22}$  : 전체 HCFC-22 생산량(kg)

$F_{released}$  : 처리되지 않은 채 대기로 연간 방출되는 비율(0에서 1사이의 소수)

### ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 사업장 개별 시설의 정보를 이용하며 배출량을 산정하는 방법이며, 활동자료의 이용가능성에 따라 Tier 3a, 3b, 3c로 구분한다. Tier 3a는 대기로 방출되는 증기의 유량과 조성을 직접적, 지속적으로 측정할 수 있을 때, Tier 3b는 배출에 관한 공정 변수들을 지속적으로 모니터링 할 수 있을 때, Tier 3c는 HFC-23이 생성되는 반응조에서 HFC-23의 농도를 지속적으로 측정할 수 있을 때에 사용할 수 있다.

#### ㉠ Tier 3A <직접법>

$$E_{HFC-23} = C \times f \times t \times 10^{-3}$$

$E_{HFC-23}$  : HFC-23배출량(tGHG)

$C$  : 실제발생하는 HFC-23의 농도 (kgHFC-23/kg-gas)

$f$  : 가스 유량의 총량(일반적으로 부피로 측정한 후 질량으로 환산하여 적용한다) (kg-gas/hour)



$t$  : 각 변수들이 측정된 시간(hour)

㉠ *Tier 3B* <프로시버>

$$E_{HFC-23} = (S \times F \times P \times t - R) \times 10^{-3}$$

$E_{HFC-23}$  : HFC-23배출량(tGHG)

$S$  : 시험 운전 시 배출가스 중 HFC-23의 표준 배출량(kg/unit)

$$S = C \times \frac{R}{P}$$

$C$  : 시험 운전 시 배출가스 중 HFC-23의 농도(kgHFC-23/kg-gas)

$R$  : 시험 운전 시 배출가스 유량(kg/hour)

$P$  : 시험 운전 시 공정 가동율

$F$  : 공정 가동율에 따른 배출율(시험 운전 시 배출율에 대한 상수)

$P$  : 가동시간 중 공정 가동율(0에서 1사이의 소수)

$t$  : 공정 가동 시간

$R$  : 회수되거나 파괴되는 HFC-23의 양(kg)

㉡ *Tier 3C* <공정 내 측정법>

$$E_{HFC-23} = (C \times P \times t - R) \times 10^{-3}$$

$E_{HFC-23}$  : HFC-23배출량(tGHG)

$C$  : 반응조 안의 HFC-23 농도(kgHFC-23/kg-HCFC-22생산량)

$P$  : HCFC-22 생산량(kg)

$t$  : HFC-23이 실제로 배기되는 시간 분율(0에서 1사이의 소수)

$R$  : 회수한 HFC-23의 양(kg)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 사업장별 HCFC-22 생산량을 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 사업장별 HCFC-22 생산량을 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 Tier 3 각 산정방법론에 제시된 활동자료를 직접 측정하여 활용한다.

㉠ Tier 3A - 배출가스 유량 및 조성 등

㉡ Tier 3B - 배출가스 유량 및 조성, 공정의 가동율 등

㉢ Tier 3C - 사업장별 HCFC-22 생산량, 반응조 안의 HFC-23 농도 등

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

IPCC 가이드라인의 생산기술별로 구분하여 HCFC-22 생산량 당 기본배출계수를 적용한다.

생산기술	배출계수 (kgHFC-23/kg-HCFC-22)
오래된 생산설비 (1940년도~1990/1995년도)	0.04
최적화된 최근의 생산설비	0.03
지구 평균 배출 (1978 - 1995)	0.02

물질 구분		배출계수 (kg-배출량/kg-생산량)
HFCs, PFCs		0.005
SF <sub>6</sub>	일반	0.002
	고순도	0.08

## Tier 2

HFC-23의 배출계수( $EF_{calculated}$ )는 아래 두 식에 의해 계산된 평균값을 사용하며, 그렇지 않은 경우 불확도가 낮은 한 가지를 선택하여 사용한다.

### ㉠ 탄소수지 효율에 의한 배출계수 계산

$$EF_{carbon\_balance} = (1 - CBE) \times F_{efficiency\ loss} \times FCC$$

$EF_{carbon\_balance}$  : 탄소수지에 의한 HFC-23 배출계수  
(kgHFC-23/kg-HCFC-22)

$CBE$  : 탄소수지 효율(0에서 1사이의 소수, 사업장 고유 자료)

$F_{efficiency\ loss}$  : HFC-23의 효율손실 계수(0에서 1사이의 소수, 사업장 고유 자료)

$FCC$  : 탄소함량 계수(= 0.81)(kgHFC-23/kg-HCFC-22)

### ㉡ 불소수지 효율에 의한 배출계수 계산

$$EF_{fluorine\_balance} = (1 - FBE) \times F_{efficiency\ loss} \times FCC$$

$EF_{\text{fluorine-balance}}$  : 불소수지 계산에 의한 HFC-23 배출계수  
(kgHFC-23/kg-HCFC-22)

$FBE$  : 불소수지 효율(0에서 1사이의 소수, 사업장 고유 자료)

$F_{\text{efficiency loss}}$  : HFC-23의 효율손실 계수(0에서 1사이의 소수, 사업장  
고유 자료)

$FCC$  : 불소함량 계수(= 0.54) (kgHFC-23/kg-HCFC-22)

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 계수를 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

카프로락탐 생산 공정은 출발 원료에 따라 싸이클로헥산, 페놀 및 톨루엔의 3가지로 대별할 수 있다. 원료별 사용 비율에 따른 전 세계 카프로락탐 생산능력은 싸이클로헥산이 70%, 페놀이 25%이고 나머지는 톨루엔이 차지하는데 우리나라의 경우 주로 싸이클로헥산을 출발 원료로 하여 카프로락탐을 생산하는 것으로 알려져있다.

카프로락탐 생산 공정에서 싸이클로헥산은 촉매 존재 하에 싸이클로헥사논과 싸이클로헥사놀로 산화된다. 이 때 생산된 산화물은 싸이클로헥사놀이 60%, 싸이클로헥사논이 40%로 구성되어 있으며, 싸이클로헥사놀은 탈수소 촉매 하에서 싸이클로헥사논으로 전환된다. 싸이클로헥사논은 하이드록실아민 설페이트 용액과의 반응을 통해 싸이클로헥사논 옥심으로 만들어지고, 반응 시 생성된 싸이클로헥사논 옥심은 다음 단계인 전위공정으로 보내진다. 카프로락탐과 분자식은 같으나 구조식이 다른 싸이클로헥사논 옥심은 발연황산의 존재 하에 BECKMAN 전위를 이루어 불순물이 함유된 카프로락탐이 생성된다. 그리고 여러 단계의 정제공정을 통해 고순도의 카프로락탐이 생산된다.

카프로락탐 생산 공정은 다양한 단위공정으로 구성되며, 온실가스를 배출하는 단위공정은 배출되는 온실가스의 종류에 따라 원료 중 탄소 성분에 의해 CO<sub>2</sub>를 배출하는 CO<sub>2</sub> 배출공정과 하이드록실아민 반응에 의해 N<sub>2</sub>O를 배출하는 N<sub>2</sub>O 배출공정으로 구분할 수 있다. CO<sub>2</sub> 배출공정 중 CO<sub>2</sub> 제조공정(CO<sub>2</sub> Generator)에서 납사를 원료로 발생된 CO<sub>2</sub>는 암모니아수(NH<sub>4</sub>OH) 및 공정 중의 질소산화물과 반응하여 아질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>)을 생성하는데 이 과정에서 대기 중으로 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 수소 제조공정은 카프로락탐 생산 시 필요한 수소를 공급하기 위하여 주원료인 납사와 스팀을 원료로 개질하여 수소를 생산하는 공정으로 수소 제조공정 내에서 발생한 CO<sub>2</sub> 등의 연소 가스는 대기 중으로 배출된다. 폐수소각시설에서는

폐수와 농축폐액 OCE(Organic Caustic Effluents)를 소각로 내에서 산화시키는 반응에 의해 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 액상 또는 고상 탄산소다를 생산하는 탄산소다 제조과정에서는 연소에 의해 발생한 CO<sub>2</sub>의 일부가 탄산소다로 전환되므로 공정 내에서 발생한 CO<sub>2</sub> 중에서 탄산소다로 전환되는 양을 제외한 나머지 CO<sub>2</sub>를 공정 배출량으로 산정한다.

N<sub>2</sub>O를 배출하는 하이드록실아민 공정은 암모니아 산화반응, 가수 분해 반응 및 아민 제조공정을 통해 대기 중으로 N<sub>2</sub>O를 배출하며 배출되는 N<sub>2</sub>O는 공정 배출량으로 산정한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

카프로락탐 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

- ① CO<sub>2</sub> 제조공정
- ② 하이드록실아민 공정
- ③ 기타 제조공정

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① CO <sub>2</sub> 배출공정	Tier 2,3,4	-	-
② N <sub>2</sub> O 배출공정	-	-	Tier 2,3,4

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① CO<sub>2</sub> 배출공정

#### ① Tier 2~3

$$E_{CO_2} = \sum_i (Q_i \times EF_i) - \sum_j (P_j \times F_j \times EF_j)$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 납사, OCE(Organic Caustic Effluents) 등 원료(i)의 사용량(ton)

$EF_i$  : 원료(i)의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$P_j$  : 액상 또는 고상 탄산소다(j)의 생산량(ton)

$DF_j$  : 액상 또는 고상 탄산소다(j)의 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

$EF_j$  : 액상 또는 고상 탄산소다(j)의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산소다)

## ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② N<sub>2</sub>O 배출공정

### ① Tier 2~3

$$E_{N_2O} = \sum_i \left\{ EF_i \times CP_i \times \sum_j [1 - (DF_j \times ASUF_j)] \right\} \times 10^{-3}$$

$E_{N_2O}$  : 하이드록실아민 공정에서의 N<sub>2</sub>O 배출량(tN<sub>2</sub>O)

$EF_i$  : 기술 유형(i)별 N<sub>2</sub>O 배출계수(kgN<sub>2</sub>O/t-카프로락탐)

$CP_i$  : 기술 유형(i)별 카프로락탐 생산량(ton)

$DF_j$  : 저감기술 유형(j)별 N<sub>2</sub>O 분해계수(0에서 1사이의 소수)

$ASUF_j$  : 저감기술 유형(j)별 저감시스템 이용계수(0에서 1사이의 소수)

## ② Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

## ① CO<sub>2</sub> 배출공정

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 원료 사용량 및 탄산소다 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 원료 사용량 및 탄산소다 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 원료 사용량 및 탄산소다 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.



### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 분석한 원료의 탄소 질량 분율을 측정·분석하여 고유배출계수를 개발한다. 필요시, 원료 공급자가 분석하여 제공하는 탄소 질량 분율 값과 관련된 자료를 사용할 수 있다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② N<sub>2</sub>O 배출공정

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 카프로락탐 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 카프로락탐 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 카프로락탐 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

#### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체개발한 고유 배출계수를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

철강공정에서의 주요 배출원은 코크스로, 소결로 및 석회 소성로에서 원료 중 탄소성분에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>로 구분할 수 있다. 이들 배출원에서 생산된 제품은 고로에 원료로써 재투입되며 연소에 의해 다시 대기 중으로 배출된다. 특히 일관제철 공정 중 코크스로, 고로 및 전로에서 발생하는 공정 부생가스는 각각 코크스 오븐가스(Cokes Oven Gas, COG), 고로가스(Blast Furnace Gas, BFG), 전로가스(Linz Donawitz converter Gas, LD G)라고 부르며 중앙관리시스템에서 회수하여 일관제철 공정 중 주요 시설에 연료로써 재공급된다. 따라서 코크스로, 고로 및 전로 시설에서 직접적으로 대기 중으로 배출되는 배기가스는 거의 없으며 이 배기가스는 연료 재순환에 의하여 다른 배출시설에서 연료 연소에 의하여 배출될 것이다. 이러한 이유로 일관제철의 경우 전기로를 제외하고는 공정특성에 의한 C O<sub>2</sub> 배출보다는 이들 공정 부생가스에 의한 배출특성이 주로 나타난다.

## 2. 보고 대상 배출시설

철강 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 일관제철시설

## ② 코크스로

야금코크스는 부상된 코크스 오븐전지에서 석탄의 분해증류에 의해 제조된다. “Coking”이라 칭하는 증류는 무산소 상태의 일련의 오븐에서 진행된다. 휘발성 물질은 석탄에서 추출되고, 각각의 오븐에 모아지고 연소성 가스와 기타 석탄부산물의 회수를 위한 인접공정에서 진행된다.

코크스는 실리카성 벽돌로 된 슬롯형태의 오븐에서 생산된다. 한 벌의 코크스오븐은 10~100개의 일련의 오븐을 갖고 있으며, 이들의 오븐쌍 사이로 가열 연도가스(flue gas)가 흐른다. 오븐은 오븐 윗부분내의

배출구를 통해 각 벌의 위를 따라 궤적으로 larry car에 의해 뿜은 석탄을 넣는다. 송기관내 버너에서의 가스 연소는 오븐사이의 프로세스를 위한 열을 제공한다. 부산물회수 공정으로부터 코크스 오븐 가스는 대부분 공정에서 가열된 오븐을 위한 일반연료이지만 통풍로 가스와 때때로 천연가스가 사용되기도 한다.

일반적으로 12~20시간의 “coking” 시간 후에 대부분의 모든 휘발성 물질은 석탄으로부터 추출되고 코크스화가 진행된다. 코크스중심에서의 최대온도는 일반적으로 1,100~1,150°C이다. 코킹 후 전지 끝부분 트랙위에 위치한 기계류는 각각의 오븐 끝부분, 수직문으로 들어가고 긴 램(자동양수기)이 코크스를 오븐에서 레일형 급냉차로 밀어내는데, 거기에서 급냉탕으로 가서 수천갤론의 물이 코크스위로 냉각시키기 위해 뿌려진다. 차는 다음에 코크스를 더 많은 냉각과 물의 배출을 위해 장치를 따라 선창위로 코크스를 하역한다. 여기에서 코크스는 걸러지고 통풍로로 보내지거나 야외더미에 저장된다. 코킹과정동안 석탄으로부터 추출된 휘발성 물질은 오븐의 한쪽 혹은 양쪽 끝에 위치한 유통관(offtake)에 의해 수집된다. 여기에 코크스, 오븐가스는 분리되고 세정되며 오븐을 가열하기 위해 반송된다. 회수된 코크스 중 40%만이 가열에 충당되고 나머지는 제철공정에 사용된다. 다른 석탄부산물도 재사용, 판매, 혹은 처분을 위해 부산물 공정에서 회수된다.

### ③ 소결로

분체를 용점 이하 또는 그 일부에서 액상이 생길 정도로 가열하여 구우면서 단단하게 하여 어느 정도의 강도를 가진 고체로 만드는 로를 말한다. 여기에서는 주로 금속정련 특히 용광로에서 널리 사용되는 분광괴성법으로서 미세한 분 철광석을 부분 용융에 의하여 괴성광으로 만드는 데 사용되는 로를 말한다. 세계적으로 연속식인 DL이 많이 사용되고 있다. 그 과정은 철광석, 석회석, 코크스 등 각종 원료를 일정한 비율로 혼합기에서 혼합시켜 조립한 다음 이것을 로 내에 장입하고 점화로에서 그 표면에 착화시키면 원료중의 코크스가 연소되면서 1,300~1,480°C의 온도에서 소결이 진행되고 다시 냉각, 파쇄,

체질을 하여 용광로에 투입하기에 적당한 소결광으로 만들어 용광로에 보내진다. 연소용 공기는 공기 속에 포함된 각종 먼지 등 이물질들을 제거시킨 후에 소결로 옆에 붙어 있는 Wind box를 통해 공급된다.

#### ④ 용선로 또는 제선로(고로)

철광석을 용해하여 선철을 생산하는 로로서 일반적으로 고로 또는 용광로라고 한다. 본체는 원탑형으로 되어 있으며, 외체는 두꺼운 철판으로 되어 있고 내부는 내화벽돌로 두껍게 쌓여져 있다. 원료로는 철광석, 코크스, 석회석 등이 사용된다. 이들 원료는 운송장치에 의하여 자동으로 로상부에 운반되어 장입된다. 로내의 온도는 상부 200~300℃이고 하부로 내려갈수록 고온이 되어 송풍구 부분에서는 1,500~2,000℃에 달한다. 철광석은 하부에서 올라오는 고온의 코크스 연소가스에 의하여 가열되며, 가스중의 CO에 의해 간접 환원되면서 하강한다. 그 후에는 코크스의 탄소에 의하여 직접 환원되어 선철로 용해되면서 최하부의 탕류에 부분에 모이게 된다. 한편 장입원료 중 맥석 등 불순물은 대부분 용해되어 석회석과 화합하여 광재가 되고, 이것은 비중이 낮으므로 탕류부분 용선의 상층으로 부상하게 된다.

#### ⑤ 전로

용광로에서 제조된 선철(용선)을 정련하여 용강으로 만드는데 사용되며, 주로 탈탄 또는 탈인반응에 이용된다. 그 방법에는 산성전로법과 염기성전로법이 있으며, 원료로 용선과 소량의 고철을 사용한다. 산화제로는 순산소가스(순도99.5%이상)를 이용하고 용제(Flux)로는 석회석과 형석이 사용되며, 초음속의 순산소제트를 용선에 불어넣어 약 40분이내에 급속히 정련시키므로 비교적 제강시간이 짧고 고철의 사용비가 적다. 또한 생산비가 낮으며, 품질은 양호한편으로 순산소 상취전로(LD로)가 전세계 조강생산의 약 60%이상을 점유하고 있다. 최근에는 BBM (Bottom Blowing Method) 또는 Q-BOP(Quicker Refining Basic Oxygen Process)라고 하는 저취전로가 가동되고 있기도 하다.

#### ⑥ 전기아크로

전기로는 크게 나누어 아크로(Arc Furnace)와 유도로(Induction Furnace)가 있으며, 아크로는 주로 대용량의 연강(Mild Steel) 및 고합금강의 제조에 사용되고 유도로는 주로 고급특수강이나 주물을 주조하는데 사용된다. 아크로는 전기양도체인 전극(탄소봉)에 전류를 통하여 고철과 전극사이에 발생하는 Arc열을 이용하여 고철 등 내용물을 산화·정련하며, 산화정련 후 환원성의 광재로 환원정련함으로서 탈산·탈황작업을 하게 된다. 원료로는 선철이나 고철이 사용되며, 보통 1회에 2~3번의 원료투입(장입)이 이루어지는데 원료 투입 시에는 로 상부의 석회석 뚜껑이 열리고 드롭보텀 바켓(Dropbottom bucket)에 담겨진 고철 등을 기중기를 이용하여 로 상부에 투입한다. 로의 형식에 따라 고정식과 경동식이 있으며 고정식은 출강구를 통하여 경동식은 로자체를 일정한 기울기만큼 기울여 출강한다.

### ⑦ 평로

제선로(용광로)에서 만들어진 선철(용선)중의 불순물 제거, 탈탄처리, 합금원소 첨가 등 정련작업을 하여 소정 품질의 강재를 생산하는데 사용되는 로를 말한다. 얇은 직사각형의 구조를 가지는 것이 보통이며 원료로는 중유, 미분탄, 발생로 가스 등을 사용한다. 제강용로중 비교적 규모가 큰 편으로 대규모생산에 유리하나 단위생산성이 비교적 낮은 관계로 전 세계적으로 감소추세에 있다. 로 바닥에는 백운석으로 채워져 있으며, 원료로는 선철 60% 그리고 편철류(Scrap) 약 40%로 구성된다. 원료 투입 시에는 먼저 석회석과 편철류를 투입하여 편철류를 완전히 용융시킨 다음 선철을 투입한다. 로 내부의 온도가 증가하면 석회석의 분해가 이루어지면서  $\text{CO}_2$ 가 발생되고 이  $\text{CO}_2$ 는 로 내부의 물질들을 서로 교반시키는 역할을 하게 된다. 강재의 성분조성 또는 탈탄작업을 위하여 산소를 주입하기도 한다. 한공정이 끝나기까지는 대략 8~10시간 정도가 소요된다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	Tier 1	-

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① 코크스로

사업장 내에서 발생한 부생가스가 타 공정의 연료로 사용될 경우에는 고정연소 배출활동에서 보고되어야 한다.

##### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 코크스 생산량을 기준으로 한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량 산정 방법이다.

$$E_{Coke} = Q_{Coke} \times EF_{Coke}$$

$E_{Coke}$  : 코크스로에서의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) 배출량(tGHG)

$Q_{Coke}$  : 코크스 생산량(ton)

$EF_{Coke}$  : 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) 배출계수(tCO<sub>2</sub>/ton, tCH<sub>4</sub>/ton)

##### ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 코크스로에 사용된 원료 및 연료 사용량과 코크스 생산량을 활용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{Coke} = CC \times EF_{CC} + \sum (PM \times EF_{PM}) - CO \times EF_{CO} - COG \times EF_{COG} - \sum (COB \times EF_{COB})$$

$E_{Coke}$  : 코크스로부터 연간 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$CC$  : 원료탄 사용량(ton)

$PM$  : 원료탄 이외의 원료사용량(ton)

$CO$  : 코크스 생산량(ton)

$COG$  : 코크스오븐가스 발생량(ton)

$COB$  : 코크스오븐 부산물 발생량(ton)

$EF_X$  : X 물질의 배출계수( $tCO_2/t$ )

### ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 소결로(Sinter)

사업장 내에서 발생한 부생가스가 타 공정의 연료로 사용될 경우에는 고정연소 배출활동에서 보고되어야 한다.

### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 소결물 생산량을 기준으로  $CO_2$ ,  $CH_4$  배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{SI} = SI \times EF_{SI}$$

$E_{SI}$  : 소결로에서의 연간  $CO_2$  및  $CH_4$  배출량( $tGHG$ )

$SI$  : 소결물 생산량(ton)

$EF_{SI}$  :  $CO_2$  및  $CH_4$  배출계수( $tCO_2/ton$ ,  $tCH_4/ton$ )



## ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 소결물 생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 소결물 생산량, 소결가스 발생량 값을 기준으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{SI} = CBR \times EF_{CBR} + \sum (PM \times EF_{PM}) - SOG \times EF_{SOG}$$

$E_{SI}$  : 소결로에서의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$CBR$  : 코크브리즈 사용량(ton)

$PM$  : 원료탄 이외의 원료사용량(ton)

$SOG$  : 소결로 가스 발생량(ton)

$EF_X$  : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

## ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

## ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## [3] 고로(Blast Furnace)

사업장 내에서 발생한 부생가스가 타 공정의 연료로 사용될 경우에는 고정연소 배출활동에서 보고되어야 한다.

## ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 용선 생산량을 기준으로 한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량의 산정 방법이다.

$$E_{BF} = Q_{BF} \times EF_{BF}$$

$E_{BF}$  : 고로에서의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량(tGHG)

$Q_{BF}$  : 고로의 용선(pig iron) 생산량(ton)

$EF_{BF}$  : 고로의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수(tCO<sub>2</sub>/ton, tCH<sub>4</sub>/ton)

## ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 용선생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 용선 생산량 등을 기준으로 한 CO<sub>2</sub> 산정방법이다.

$$E_{BF} = CC \times EF_{CC} + \sum (COB \times EF_{COB}) + \sum (PCI \times EF_{PCI}) \\ + Car \times EF_{car} + \sum (O \times EF_O) - PI \times EF_{PI} - BFG \times EF_{BFG}$$

$E_{BF}$  : 고로에서의 선철생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$CC$  : 고로에 투입된 코크스 양(ton)

$COB$  : 고로에서 소모된 현지 코크스 오븐의 부산물 양(ton)

$PCI$  : 고로에 투입된 코크스 외 환원제 사용량(ton)

$Car$  : 고로에 투입된 탄산염물질의 양(ton)

$O$  : 고로에 투입된 기타 공정물질(소결물, 페플라스틱 등)의 양(ton)

$PI$  : 고로의 용선(pig iron) 생산량(ton)

$BFG$  : 고로의 BFG 발생량(ton)

$EF_X$  : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

## ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### 4 전로(Converter)

사업장 내에서 발생한 부생가스가 타 공정의 연료로 사용될 경우에는 고정연소 배출활동에서 보고되어야 한다.

##### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 조강 생산량을 기준으로 한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량의 산정 방법이다.

$$E_{BOF} = Q_{BOF} \times EF_{BOF}$$

$E_{BOF}$  : 전로에서의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량(tGHG)

$Q_{BOF}$  : 전로의 조강 생산량(ton)

$EF_{BOF}$  : 전로의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수(tCO<sub>2</sub>/ton, tCH<sub>4</sub>/ton)

##### ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 조강생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 조강생산량 등을 기준으로 한 CO<sub>2</sub> 산정방법이다.

$$E_{BOF} = (PI \times EF_{PI}) + (Car \times EF_{Car}) + \sum (O \times EF_O) \\ - (S \times EF_S) - (LDG \times EF_{LDG})$$

$E_{BOF}$  : 전로에서 조강생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$PI$  : 전로에 투입된 용선(pig iron)의 양(ton)

*Car* : 전로에 투입된 탄산염물질의 양(ton)

*O* : 전로에 투입된 기타 공정물질(소결물, 폐플라스틱 등)의 양(ton)

*S* : 전로의 조강생산량(ton)

*LDG* : 전로의 LDG 발생량(ton)

*EF<sub>X</sub>* : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

### ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## [5] 전기로(Electric Arc Furnace)

사업장 내에서 발생한 부생가스가 타 공정의 연료로 사용될 경우에는 고정연소 배출활동에서 보고되어야 한다.

### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 조강 생산량을 기준으로 한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량의 산정 방법이다.

$$E_{EAF} = Q_{EAF} \times EF_{EAF}$$

*E<sub>EAF</sub>* : 전기로에서의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량(tGHG)

*Q<sub>EAF</sub>* : 전기로의 조강 생산량(ton)

*EF<sub>EAF</sub>* : 전기로의 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수(tCO<sub>2</sub>/ton, tCH<sub>4</sub>/ton)

### ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 조강생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 조강생산량 등을 기준으로 한 CO<sub>2</sub> 산정방법이다.

$$E_{EAF} = (CE \times EF_{CE}) + (CA \times EF_{CA}) + \sum (O \times EF_O)$$

$E_{EAF}$  : 전기로에서 조강생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$CE$  : 전기로에서 사용된 탄소전극봉의 양(ton)

$CA$  : 전기로에 투입된 가탄제 양(ton)

$O$  : 전로에 투입된 기타 공정물질(소결물, 펄라스트릭 등)의 양(ton)

$EF_X$  : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

### ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## [6] 직접환원로(Direct Reduction Furnace)

### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 직접환원철 생산량을 기준으로 한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량 산정방법이다.

$$E_{DRI} = DRI \times EF_{DRI}$$

$E_{DRI}$  : 직접산화철 생산에 따른 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 배출량(tGHG)

$DRI$  : 직접환원철 생산량(ton)

$EF_{DRI}$  : CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/ton, tCH<sub>4</sub>/ton)

## ② Tier 2

Tier 2 산정방법은 직접환원철 생산에 사용된 원료 및 연료 사용량, 탄소함량 등을 기준으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하는 방법이다.

$$E_{DRI} = DRI_{NG} \times EF_{NG} + DRI_{BZ} \times EF_{BZ} + DRI_{CK} \times EF_{CK}$$

$E_{DRI}$  : 직접환원철 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$DRI_{NG}$  : 직접환원철 생산에 사용된 천연가스의 에너지량(GJ)

$DRI_{BZ}$  : 직접환원철 생산에 사용된 코크브리즈의 에너지량(GJ)

$DRI_{CK}$  : 직접환원철 생산에 사용된 야금코크스의 에너지량(GJ)

$EF_X$  : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/GJ)

## ③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 [7] 철강 생산 공정의 Tier 3 산정방법(물질수지법)을 적용한다.

## ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### [7] 철강 생산 공정

#### ① Tier 3 <물질수지법>

$$E_f = \Sigma(Q_i \times EF_i) - \Sigma(Q_p \times EF_p) - \Sigma(Q_e \times EF_e)$$

$E_f$  : 공정에서의 온실가스(f) 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 공정에 투입되는 각 원료(i)의 사용량(ton)

$Q_p$  : 공정에서 생산되는 각 제품(p)의 생산량(ton)

$Q_e$  : 공정에서 배출되는 각 부산물(e)의 반출량(ton)

$EF_x$  : X 물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### Tier 1

아래 <표-23>, <표-24>의 코크스 생산, 철과 강 생산에서의 기본 배출계수를 사용한다.

<표-23> 코크스 생산, 철과 강 생산에서의 CO<sub>2</sub> 배출계수

공정 과정		배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-생산물)
철	소결물 생산	0.20
	코크스 오븐	0.56
	선철(pig iron) 생산 (고로)	1.35
	직접 환원철(DRI) 생산	0.70
	펠렛 생산	0.03
강	전로(BOF)	1.46
	전기로(EAF)	0.08
	평로(OHF)	1.72
	국제 기준 값(65% BOF, 30% EAF, 5% OHF 기준) (강 1톤 생산 당 나오는 CO <sub>2</sub> 양)	1.06

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

\* 비고 : 이 표에 있는 EAF 제강에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수는 고철을 이용한 강(steel) 생산에 대한 것이며, 따라서 고로에서 용선을 생산하는 과정에서의 CO<sub>2</sub> 배출은 여기에서 고려되지 않는다. 그러므로 이 표에서 EAF에 대한 Tier 1 CO<sub>2</sub> 배출계수는 선철(pig iron)을 원료로 사용하는 EAF 에는 활용할 수 없다.

<표-24> 코크스 생산, 철과 강 생산에서의 CH<sub>4</sub> 배출계수

공정과정	CH <sub>4</sub> 배출계수
코크스생산	0.10 gCH <sub>4</sub> /t
소결물생산	0.07 gCH <sub>4</sub> /t
직접환원철(DRI) 생산	1 kg/TJ(순발열량 기준)

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인



<표-25> 철강 생산공정 원료 및 생산물의 CO2 기본 배출계수

원료 및 생산물	배출계수(tCO <sub>2</sub> /t)
고로가스(BFG)	0.6229
석탄 <sup>1)</sup>	2.4549
콜타르	2.2717
코크스(석탄)	3.0411
코크스오븐가스(COG)	1.7221
원료탄	2.6747
직접환원철(DRI)	0.0733
전기로 전극봉 <sup>2)</sup>	3.0045
전기로 가탄제 <sup>3)</sup>	3.0411
연료유 <sup>4)</sup>	3.1510
가스 코크스(가스공장 코크스)	3.0411
열간성형철(HBI)	0.0733
천연가스	2.6747
전로가스(LDG)	1.2824
석유코크스(고체)	3.1877
냉선(Purchased Pig iron 또는 Cold iron)	0.1466
스크랩선(Scrap iron)	0.1466
강(Steel)	0.0366

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인(공정 재료의 해당 탄소함량에 3.664(CO<sub>2</sub>/C)를 값을 적용하였음)

\*\* 원료 및 생산물의 탄소물질수지에 기초한 배출량 산정방법(Tier2)에 적용가능한 기본배출계수

\*\*\* 비고 : 1) 기타 역청탄(원료탄 범주에 포함되지 않는 모든 역청탄을 말함) 가정

2) 80%는 석유 코크스 그리고 20%는 콜타르

3) 코크스오븐 코크스 가정

4) 경유/디젤유 가정

## *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 <표-27> 철강생산공정 원료 및 생산물의 CO<sub>2</sub> 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

## *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 각각의 원료, 제품, 부산물 등에 대한 탄소의 질량 분율을 측정·분석하여 고유 배출계수를 사용한다.

다만, 전기로에서 주원료인 철스크랩(steel scrap)의 배출계수는 별도로 분석하지 아니하고 생산되는 강의 배출계수와 동일한 값을 적용할 수 있다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

$3.664$  : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

## *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

합금철 제조과정에서의 CO<sub>2</sub> 배출은 코크스 같은 환원제의 야금환원 (metallurgical reduction) 과정 및 전극봉 사용에 의해서 발생한다.

전기아크로는 전기양도체인 전극(탄소봉)에 전류를 통하여 충전된 물질 (철 스크랩 등)과 전극사이에 발생하는 아크열을 이용하여 충전된 내용물을 산화 정련하며, 산화정련 후 환원성의 광재로 환원정련함으로써 탈산·탈황작업을 하게 된다. 보통 1회에 2~3번의 원료투입(장입)이 이루어지는데 원료투입시에는 로 상부의 선회식 뚜껑이 열리고 드롭보텀식 바켓 (Dropbottom bucket)에 담겨진 충전물질 등을 기중기를 이용하여 로 상부에서 투입한다. 로의 형식에 따라 고정식과 경동식이 있으며 고정식은 출강구를 통하여, 경동식은 로 자체를 일정한 기울기만큼 기울여 출강한다.

EAF를 사용하는 경우 모든 합금철 생산에서 CO<sub>2</sub>가 발생하며, 실리콘 (Si)계 합금철(ferrosilicon)을 생산 할 경우에는 CH<sub>4</sub>가 발생한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

합금철 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 전로

용광로에서 제조된 선철(용선)을 정련하여 용강으로 만드는데 사용되며, 주로 탈탄 또는 탈인반응에 이용된다. 그 방법에는 산성전로법과 염기성전로법이 있으며, 원료로 용선과 소량의 고철을 사용한다. 산화제로는 순산소가스(순도99.5%이상)를 이용하고 용제(Flux)로는 석회석과 형석이 사용되며, 초음속의 순산소제트를 용선에 붙여넣어 약 40분이내에 급속히 정련시키므로 비교적 제강시간이 짧고 고철의 사용비가 적다. 또한 생산비가 낮으며, 품질은 양호한편으로 순산소 상취전로(LD로)가 전세계 조강생산의 약 60%이상을 점유하고 있다.

최근에는 BBM (Bottom Blowing Method) 또는 Q-BOP(Quicker Refining Basic Oxygen Process)라고 하는 저취전로가 가동되고 있기도 하다.

## ② 전기아크로

전기로는 크게 나누어 아크로(Arc Furnace)와 유도로(Induction Furnace)가 있으며, 아크로는 주로 대용량의 연강(Mild Steel) 및 고합금강의 제조에 사용되고 유도로는 주로 고급특수강이나 주물을 주조하는데 사용된다. 아크로는 전기양도체인 전극(탄소봉)에 전류를 통하여 고철과 전극사이에 발생하는 Arc열을 이용하여 고철 등 내용물을 산화·정련하며, 산화정련 후 환원성의 광재로 환원정련함으로서 탈산·탈황작업을 하게된다. 원료로는 선철이나 고철이 사용되며, 보통 1회에 2~3번의 원료투입(장입)이 이루어 지는데 원료투입시에는 로 상부의 선회식 뚜껑이 열리고 드롭보텀 바켓(Dropbottom bucket)에 담겨진 고철 등을 기중기를 이용하여 로 상부에 투입한다. 로의 형식에 따라 고정식과 경동식이 있으며 고정식은 출강구를 통하여 경동식은 로자체를 일정한 기울기만큼 기울여 출강한다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	Tier 1,2	-

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① Tier 1

$$E_{i,j} = Q_i \times EF_{i,j}$$

$E_{i,j}$  : 각 합금철( $i$ ) 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 합금철 제조공정에 생산된 각 합금철( $i$ )의 양(ton)

$EF_{i,j}$  : 합금철( $i$ ) 생산량 당 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-합금철, tCH<sub>4</sub>/t-합금철)

## ② Tier 2

$$E_{CO_2} = \sum(M_{ra} \times EF_{ra}) + \sum(M_{ore} \times EF_{ore}) + \sum(M_{sfm} \times EF_{sfm}) \\ - \sum(M_p \times EF_p) - \sum(M_{npos} \times EF_{npos})$$

$E_{CO_2}$  : 합금철 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$M_{ra}$  : 환원제(reducing agent)의 무게(ton)

$EF_{ra}$  : 환원제의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-환원제)

$M_{ore}$  : 원석(ore)의 무게(ton)

$EF_{ore}$  : 원석(ore)의 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-원석)

$M_{sfm}$  : 슬래그 형성물질(slag forming material)의 양(ton)

$EF_{sfm}$  : 슬래그 형성물질 내 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-슬래그형성물질)

$M_p$  : 생산제품(product)의 무게(ton)

$EF_p$  : 생산제품 내 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-제품)

$M_{npos}$  : 부산물(non-product outgoing stream)의 반출량 (ton)

$EF_{npos}$  : 부산물 중 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-비제품)

$$E_{CHA} = Q \times EF_{CHA}$$

$E_{CH_4}$  : 각 합금철(*i*) 생산에 따른 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$Q$  : 합금철 제조공정에 생산된 각 합금철(*i*)의 양(ton)

$EF_{CH_4}$  : 합금철 생산량 당 배출계수(tCH<sub>4</sub>/t-합금철)

## ③ Tier 3

$$E_{CO_2} = \sum(M_i \times EF_i) - \sum(M_p \times EF_p) - \sum(M_{npos} \times EF_{npos})$$

$E_{CO_2}$  : 합금철 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$M_i$  : 원료(i)의 투입량(ton)

$EF_i$  : 투입되는 원료(i)의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$M_p$  : 제품(p)의 생산량(ton)

$EF_p$  : 생산된 제품(p)의 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-제품)

$M_{npos}$  : 부산물(non-product outgoing stream)의 반출량(ton)

$EF_{npos}$  : 부산물의 탄소함량(tCO<sub>2</sub>/t-비제품)

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### 5. 매개변수별 관리 기준

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 합금철의 생산량 자료를 사용한다.

##### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 환원제, 원석 등의 원료사용량 및 제품생산량 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 원료(환원제, 원석, 슬래그 형성물질, 전극봉 등) 사용량, 제품 생산량, 부산물의 반출량 등의 활동자료를 사용한다.

## Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

## Tier 1

아래 <표-26>, <표-27>에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-26> 합금철 생산량 당 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

합금철 종류	CO <sub>2</sub> 배출계수(tCO <sub>2</sub> /t-합금철)
합금철(ferrosilicon) 45% Si	2.5
합금철(ferrosilicon) 65% Si	3.6
합금철(ferrosilicon) 75% Si	4.0
합금철(ferrosilicon) 90% Si	4.8
망간철(ferromanganese) (7% C)	1.3
망간철(ferromanganese) (1% C)	1.5
Silicomanganese	1.4
실리콘메탈	5.0

<표-27> 합금철 생산량 당 CH<sub>4</sub> 기본 배출계수

합금철 종류	전기로(EAF) 작동 방식 (tCH <sub>4</sub> /t-합금철)		
	회차 충전 방식 (Batch charging)	흩뿌림 충전 방식 (Sprinkle charging)	흩뿌림 충전, 750℃ 이상 (Spring charging >750℃)
Si 금속	1.5	1.2	0.7
FeSi 90	1.4	1.1	0.6
FeSi 75	1.3	1.0	0.5
FeSi 65	1.3	1.0	0.5

<표-28> 환원제별 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

환원제의 종류	배출계수(tCO <sub>2</sub> /t-환원제)
석탄	3.10
코크스	3.30
가소성 전극봉(Prebaked electrode)	3.54
전극봉 페이스트(Electrode paste)	3.40
석유코크스	3.50

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인. 코크스 배출계수는 IPCC 가이드라인 기본값(3.2~3.4)의 중간값인 3.3을 사용한다.

\*\* 연료 및 생산물의 탄소물질수지에 기초한 배출량 산정방법(Tier2)에 적용가능한 기본배출계수

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 위 <표-30>의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 각각의 원료·제품·부산물별 탄소의 질량 분율을 측정·분석하여 고유배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

**3.664** : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.



## 1. 배출활동 개요

### 1차 생산 공정

1차 아연 생산 공정은 3가지로 구분된다. 첫 번째 방법은 전열 증류법으로 불리는 야금 공정으로 배소된 광석과 2차 아연을 융합하여 생성된 sinter feed에서 할로젠 화합물, 카드뮴 및 기타 불순물이 제거된다. 그 결과 생성된 산화아연이 풍부한 소결물은 ERF(Electric Retort Furnace)에서 야금 코크와 결합하여 산화아연을 환원하며 환원 반응의 결과 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 두 번째 방법은 ISF(Imperial Smelting Furnace)를 사용하는 건식 야금 공정으로 납과 아연을 동시에 생산하는 과정에서 CO<sub>2</sub>가 배출된다. 세 번째 방법은 전해법으로 습식 제련기술이 사용된다. 이 공정에서 황화아연(ZnS)이 배소되어 생산된 산화아연은 황산에 침지되어 철 불순물, 구리 및 카드뮴 등이 제거된다. 아연은 전기분해를 이용하여 추출된다.

### 2차 생산 공정

2차 아연 생산 공정에서 소결, 제련, 정제 공정 등은 1차 아연 생산 공정과 동일한 기술이 사용되는 경우가 대부분이다. Waelz Kiln과 슬래그 환원(slag reduction) 또는 Fuming 공정 등의 농축 공정에서 탄소 함유 환원제를 사용하며 원료로부터 아연을 기화시키기 위해 고온을 사용하는 경우 CO<sub>2</sub>가 배출된다. Waelz Kiln 공정은 연진(flue dusts), 슬러지, 슬래그 및 기타 아연 함유 물질 내의 아연을 농축하는데 사용되며 환원제로 야금 코크가 사용된다. 슬래그 환원 또는 Fuming 공정은 아연 제련 공정에서의 용융 슬래그 내 아연 농축에 사용되며 환원제로서 석탄이나 다른 탄소원이 사용된다.

## 2. 보고 대상 배출시설

아연 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 배소로

광석이 용해되지 않을 정도의 온도에서 광석과 산소, 수증기, 탄소, 염화물 또는 염소 등을 상호작용시켜서 다음 제련조작에서 처리하기 쉬운 화합물로 변화시키거나 어떤 성분을 기화시켜 제거하는데 사용되는 로를 말한다. 목적물이 각각 산화물, 황산염, 염화물인 경우 각각 산화배소, 황산화배소, 염화배소라고 부르며 산화물광석을 환원하는 환원배소, 물에 가용인 나트륨염으로 하는 소-다배소 등이 있다. 종류에는 다단배소로, Rotary Kiln, 유동배소로 등이 있다.

### ② 용융·용해로

금속을 용융·용해시키는데 사용되는 각종 로를 총칭하는 것으로서 용융로는 고상인 물질이 가열되어 액상의 상태로 되는데 사용되는 로를 말하며, 용해로는 액체 또는 고체물질이 다른 액체 또는 고체물질과 혼합하여 균일한 상의 혼합물 즉 용체를 만드는데 사용되는 로를 말한다. 용융로로서 대표적인 것이 용광로, 단지(Pot)로 등이 있으며, 용해로로서는 도가니로, 반사로, 전로, 평로, 전기로, 용선로 등이 있다. 여기서는 배출시설(해당시설)에 규정되지 아니한 용융로, 정련로, 단지로 등 각종 용융·용해로를 말한다.

### ③ 전해로

전해질용액이나 용융전해질 등의 이온전도체에 전류를 통해서 화학변화를 일으키는 로를 말한다. 주로 비철금속 계통의 물질을 용융시키는데 이용되며 대표적인 것으로 알루미늄전해로가 있다. 알루미늄 전해로의 경우 빙정석이 사용되며 이는 원료인 알루미나에 대한 전해질의 역할과 로의 내면은 탄소로 입혀져 있으며 보통 직사각형의 구조를 가진 Shell 또는 Pot형으로 되어있고, 그 내부에 탄소전극봉이 꽂혀있다. 탄소전극봉에서는 양극을 제공하며 로의 내면에 코팅된 탄소는 음극을 제공함으로써 양극사이에 전류가 형성된다. 이때 용융된 빙정석은 전해질 역할을 하게되고 두극사이의 전류의 흐름으로 인해 발생하는 저항열 때문에 로 내의 온도가 유지된다.

보통 로내 온도는 950~1,000℃정도이며, 알루미늄은 음극 쪽으로 모이게 되어 옥조의 표면 바로밑에 용융된 상태로 존재한다. 탄소전극봉은 반응기간 동안에 형성된 산소와 Cell은 사용되는 양극의 형태와 배열상태에 따라 구분되며, Pot는 일반적으로 Prebaked(PB), Horizontal Stud Soderberg(HSS), Vertical Stud Soderberg(VSS)로 구분된다.

### ④ 기타제련공정(TSL 등)

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	-	-

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① Tier 1A

$$E_{CO_2} = Z_n \times EF_{default}$$

$E_{CO_2}$  : 아연 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Z_n$  : 생산된 아연의 양(t)

$EF_{default}$  : 아연 생산량 당 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-생산된 아연)

## ② Tier 1B, 2

$$E_{CO_2} = ET \times EF_{ET} + PM \times EF_{PM} + WK \times EF_{WK}$$

$E_{CO_2}$  : 아연 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$ET$  : 전기 열 증류법에 의해 생산된 아연의 양(ton)

$EF_{ET}$  : 전기 열 증류법에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 아연)

$PM$  : 건식 야금과정에 의해 생산된 아연의 양(ton)

$EF_{PM}$  : 건식 야금과정에 대한 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 아연)

$WK$  : Waelz Kiln 과정에 의해 생산된 아연의 양(ton)

$EF_{WK}$  : Waelz Kiln 과정에 대한 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 아연)

## ③ Tier 3

$$E_{CO_2} = \sum (Z_i \times EF_i) - \sum (Z_o \times EF_o)$$

$E_{CO_2}$  : 아연 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Z_i$  : 아연 생산을 위하여 투입된 원료(i)의 양(ton)

$EF_i$  : 투입된 원료의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$Z_o$  : 아연 생산에 의하여 생산된 생산물(o)의 양(ton)

$EF_o$  : 생산된 생산물의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산물)

## ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1A*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 아연 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 1B*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 아연 생산량(전기열 증류법, 건식야금, Waelz kiln 생산 등) 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 아연 생산량(전기열 증류법, 건식야금, Waelz kiln 생산 등) 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 투입된 원료와 생산된 생산물의 활동자료를 사용한다.

#### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수

### *Tier 1A, 1B*

아래 <표-29>에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

여기에서 아연 생산 공정 구분이 안 될 경우 Tier 1A의 기본계수를 사용하고, 공정별 배출계수(Tier 1B)를 적용한다.

<표-29> 아연제련 공정에서 IPCC 기본 배출계수

공정 구분	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-생산된아연)
기본 배출계수 ( $EF_{default}$ ) (공정 구분이 안 되는 경우)	1.72
Waelz Kiln ( $EF_{WK}$ )	3.66
전기 열 ( $EF_{ET}$ )	-
건식야금법 ( $EF_{PM}$ )	0.43

\*

출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 분석한 투입 원료와 배출 산물의 탄소 질량 분율을 측정·분석하여 고유 배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

**3.664** : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

## 1차 생산 공정

연정광으로부터 미가공 조연(Bullion)을 생산하는 1차 생산 공정은 2가지로 구분된다. 먼저 소결과 제련과정을 연속적으로 거치는 소결/제련 공정으로 전체 1차 납생산 공정의 약 78%를 차지한다. 두 번째는 직접 제련공정으로 소결과정이 생략되며 이 공정은 1차 납 생산 공정의 22%를 차지한다.

소결/제련 공정에서 소결 공정은 연정광을 재활용 소결물, 석회석과 실리카, 산소, 납 고함유 슬러지 등과 혼합하여 황과 휘발성 금속을 연소를 통해 제거한다. 산화납과 다른 금속 산화물을 함유한 소결물을 생산하는 공정은 이산화황( $\text{SO}_2$ )을 배출하고 납을 가열하는 천연가스로부터 에너지 관련 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 배출한다. 이 소결물은 다시 다른 금속을 포함한 원석, 공기, 용해 부산물 및 야금 코크 등과 함께 고로에 투입된다. 코크는 공기와 반응하여 연소되면서 일산화탄소( $\text{CO}$ )를 생성하고 이것은 화학 반응을 통해 산화납을 환원시킨다. 제련 공정은 일반적인 고로 또는 ISF(Imperial Smelting Furnace)를 이용하고 납산화물의 환원과정에서  $\text{CO}_2$ 가 배출된다.

직접제련 공정에서는 소결공정이 생략되고 연정광과 다른 물질들이 직접 로에 투입되어 용융되고 산화된다. 다양한 종류의 로가 직접 제련 공정에 이용되는데, Isasmelt-Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi 및 Kaldor 등이 용융제련(bath smelting)에 사용되고 Kivcet로가 플래시용련(flash smelting)에 사용된다. 석탄, 야금 코크, 천연가스 등 다양한 물질들이 공정 중 환원제로 사용되는데 로의 타입에 따라 그 사용량이 달라지며  $\text{CO}_2$ 의 배출수준이 달라진다.

## 2차 생산 공정

정제납의 2차 생산은 재활용납을 재사용하기 위한 준비과정이다. 대부분의 재활용납은 버려진 납산배터리 스크랩으로부터 얻는다. 납산배터리는 해머밀로 분쇄되어 탈황공정을 거치거나 거치지 않고 제련 공정으로 투입되기도 하고 분쇄되지 않고 통째 제련되기도 한다. 일반적인 고로, ISF, EAF, ERF, RF, IF, ASL 및 Kivcet 로 등이 모두 이 배터리와 다른 재활용 스크랩납의 제련에 사용가능하다. 배출되는 CO<sub>2</sub>는 사용하는 환원제의 종류에 양에 따라 달라진다. 일반적인 환원제로는 석탄, 천연가스, 야금 코크 등이 사용되며 ERF는 석유코크를 사용한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

납 생산 공정의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

- ① 배소로
- ② 용융·용해로
- ③ 기타제련공정(TSL 등)

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 2, 3, 4	-	-

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① Tier 1

$$E_{CO_2} = Pb \times EF_{de\ fault}$$

$E_{CO_2}$  : 납 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)



$Pb$  : 생산된 납의 양(t)

$EF_{default}$  : 납 생산량 당 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-생산된 납)

## ② Tier 2

$$E_{CO_2} = DS \times EF_{DS} + ISF \times EF_{ISF} + S \times EF_S$$

$E_{CO_2}$  : 납 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$DS$  : 직접제련에 의해 생산된 납의 양(ton)

$EF_{DS}$  : 직접제련에 대한 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 납)

$ISF$  : ISF(Imperial Smelt Furnace)에서 생산된 납의 양(ton)

$EF_{ISF}$  : ISF에 대한 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 납)

$S$  : 2차 생산 공정에서의 납 생산량(ton)

$EF_S$  : 2차 생산 공정에 대한 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산된 납)

## ③ Tier 3

$$E_{CO_2} = \sum (P_i \times EF_i) - \sum (P_o \times EF_o)$$

$E_{CO_2}$  : 납 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$P_i$  : 납 생산을 위하여 투입된 원료(i)의 양(ton)

$EF_i$  : 투입된 원료의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$P_o$  : 납 생산에 의하여 생산된 생산물(o)의 양(ton)

$EF_o$  : 생산된 생산물의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-생산물)

## ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## 5. 매개변수별 관리 기준

## ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 납 생산량 자료를 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 납 생산량 자료를 사용한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 투입된 원료와 생산된 생산물의 활동자료를 사용한다.

### *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

IPCC 가이드라인 기본 배출계수(납 생산량 당 배출계수)를 사용한다.

구 분	납 생산량 당 배출계수
CO <sub>2</sub> 배출계수(tCO <sub>2</sub> /t-생산된 납)	0.52

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

< 납제련 공정에 따른 IPCC 기본 배출계수 >

공정 구분	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-생산된 납)
IPF 공정	0.59
DS 공정	0.25
2차 생산 공정	0.20

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 다만 국가 고유 배출계수가 고시되지 않아 활용하지 못할 경우 IPCC 가이드라인 기본 배출계수(납제련 공정에 따른 IPCC 기본 배출계수)를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체적으로 분석한 투입 원료와 배출 산물의 탄소 질량 분율을 측정·분석하여 고유 배출계수를 개발한다.

$$EF_x = x\text{물질의 탄소 질량 분율} \times 3.664$$

$EF_x$  : x물질의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t)

**3.664** : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## 27. 전자산업

IPCC 카테고리

2E

### 1. 배출활동 개요

전자 산업에서는 실온에서 가스 상태인  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{c-C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{c-C}_4\text{F}_8\text{O}$ ,  $\text{C}_4\text{F}_6$ ,  $\text{C}_5\text{F}_8$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$  등의 불소화합물이 사용되며 주로 실리콘 포함 물질의 플라즈마 식각, 실리콘이 침전되어 있던 화학증착(CVD) 기구의 내벽을 세정하는데 사용된다. 그리고 생산과정에서 사용되는 불소화합물들 중 일부분은 부산물인  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ 로 전환되기도 한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

전자산업의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 식각시설

산이나 알칼리용액에 어떤 제품을 표면처리하기 위하여 담구거나 원료 및 제품을 중화시키는 시설을 말한다. 대표적인 것으로서 전자산업에서의 화학약품을 사용하여 금속표면을 부분적 또는 전면적으로 용해제거하는 부식(식각)시설이 있다.

#### ② 증착시설(CVD 등)

반도체 공정에 주로 이용되는 화학기상증착법(CVD)은 기체, 액체 혹은 고체상태의 원료화합물을 반응기 내에 공급하여 기판 표면에서의 화학적 반응을 유도함으로써 반도체 기판 위에 고체 반응생성물인 박막층을 형성하는 공정이다. CVD는 공정 중의 반응기의 진공도에 따라 대기압 화학기상증착(APCVD)과 감압 화학기상증착(LPCVD)으로 나뉜다. CVD방법을 통해 얻어지는 박막의 물리, 화학적 성질은 증착이 일어나는 기판의 종류 및 반응기의 증착조건(온도, 압력, 원료공급 속도 및 농도 등)에 의하여 결정된다. 일반적인 CVD 장치는 크게 원료수송부, 반응기, 부산물 배출구의 세부분으로 나눌 수 있다.

CVD법에 의한 화학반응의 종류로는 이종반응(heterogeneous reaction)이 대표적인데, 이것은 반응이 기판표면에서 일어나 양질의 박막을 얻기 위한 필수적인 반응이다. 물질의 확산에 의해 기판으로 공급되는 반응물은 기판 표면에 흡착하게 되어 초기 핵형성(nucleation)이 진행되기 시작하며 핵의 크기가 임계크기 이상이 되는 조건에서 핵이 점차 성장하기 시작하여 박막이 형성되기 시작한다. 표면반응으로 인해 생길 수 있는 부생성물은 기판 표면으로부터 탈착하여 경계층 밖으로 확산이 되면서 제거된다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	불소화합물(FCs)
① 반도체/LCD/PV 생산부문	Tier 1, 2, 3
② 열전도 유체 부문	Tier 2

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① 반도체/LCD/PV 생산 부문

#### ① Tier 1

Tier 1 산정방법은 사업장 자료가 없을 경우에만 적용하는 방법으로 가장 정확성이 떨어지는 방법이다. 여러 가지 불소계 온실가스가 동시에 배출되므로 이를 따로 산정하기는 어렵고 배출되는 여러 가지 불소계 온실가스를 한 세트로 구성하여 산정한다. 따라서 전체 공정 배출량을 산정할 때는 모든 종류의 FC 가스의 배출량을 계산하여 합산한다.

$$FC_{gas} = Q_i \times EF_{FC} \times 10^{-3}$$

$FC_{gas}$  : FC 가스(j)의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 제품생산 실적 ( $m^2$ )

$EF_{FC}$  : 배출계수, 제품생산실적  $m^2$ 당 사용되는 가스량(kg/ $m^2$ )

#### ② Tier 2a

Tier2a는 가스 소비량과 배출제어 기술 등 사업장별 데이터를 기반으로 사용된 각각의 FCs 배출량을 계산하는 방법이다. 적용된 변수들은 반도체나 TFT-FPD 제조 공정에서 사용된 가스량, 사용 후에 Bombe에 잔류하는 가스량 등이다. 배출량 산정은 공정중 사용되는 가스 및  $CF_4$ ,  $C_2F_6$ ,  $CHF_3$ ,  $C_3F_8$  등의 부생가스 까지 합산해야 한다. Tier2a 방법론은 식각·증착공정의 구분을 할 수 없거나 단일시설(식각 또는 증착)로 구성된 경우 적용할 수 있다. 배출제어 기술에 따른 공정별 가스제거 비율을 적용할 경우 “배출제어기술 적용에 따른 FC가스 저감효율”의 주석을 참고한다.

### ㉠ 반도체/LCD/PV 생산 부문 산정식 - Tier 2a

$$FC_{gas} = (1-h) \times FC_j \times (1-U_j) \times (1-a_j \times d_j) \times 10^{-3}$$

$FC_{gas}$  : FC 가스(j)의 배출량(tGHG)

$FC_j$  : 가스(j)의 소비량(kg)

$h$  : 가스 Bombe 내의 잔류비율(0에서 1사이의 소수, 기본값은 0.10)

$U_j$  : 가스(j)의 사용비율(0에서 1사이의 소수, 공정 중 파괴되거나 변환된 비율)

$a_j$  : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스(j)의 파괴 비율(0에서 1사이의 소수)

$d_j$  : 배출제어기술에 의한 가스(j)의 저감효율(0에서 1사이의 소수)

## ㉠ 부생가스 배출량 산정식 - Tier 2a

$$BPE_{i,j} = (1-h) \times \sum_j (B_{i,j} \times FC_j \times (1-a_j \times d_i) \times 10^{-3})$$

$BPE_{i,j}$  : FC 가스(j)의 사용에 따른 부생가스(i)의 배출량(tGHG)

$h$  : 가스 Bombe 내의 가스(j)의 잔류 비율(0에서 1사이의 소수)

$B_{i,j}$  : 배출계수, 부생가스(i)의 발생량(kg)/가스(j)의 사용량(kg)

$FC_j$  : 가스(j)의 소비량(kg)

$a_j$  : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스(j)의 파괴 비율(0에서 1사이의 소수)

$d_i$  : 배출제어기술에 의한 부생가스(i)의 저감 효율(0에서 1사이의 소수)

## ㉡ Tier 2b

Tier 2b는 크게 식각과 CVD 세정 공정으로 구분하여 계수를 사용한다. 배출제어 기술에 따른 공정별 가스제거 비율을 적용할 경우 “배출제어

기술 적용에 따른 FC가스 저감효율”의 주석을 참고한다.

㉠ 반도체/LCD/PV 생산 부문 산정식 - Tier 2b

$$FC_{gas} = (1-h) \times \sum_j [FC_{j,p} \times (1-U_{j,p}) \times (1-a_{j,p} \times d_{j,p})] \times 10^{-3}$$

$FC_{gas}$  : FC 가스(j)의 배출량(tGHG)

$p$  : 공정 종류(식각 또는 CVD 세척)

$FC_{j,p}$  : 공정  $p$ 에 주입되는 가스(j)의 질량(kg)

$h$  : 가스 Bombe 내의 가스(j)의 잔류 비율(0에서 1사이의 소수)

$U_{j,p}$  : 공정  $p$ 에서의 각 가스(j)의 사용 비율(0에서 1사이의 소수)

$a_{j,p}$  : 배출제어기술이 있는 공정  $p$ 에서의 가스(j)의 부피 비율(0에서 1사이의 소수)

$d_{j,p}$  : 배출제어기술에 의한 공정  $p$ 에서의 가스(j)의 저감 효율(0에서 1사이의 소수)

\* 제어기술이 하나 이상일 때에는 제어기술들에 의한 가중 평균된 저감 효율 이용

㉡ 부생가스 배출량 산정식 - Tier 2b

$$BPE_{i,j} = (1-h) \times \sum_p [B_{i,j,p} \times FC_{j,p} \times (1-a_{j,p} \times d_{i,p})] \times 10^{-3}$$

$BPE_{i,j}$  : FC 가스 j의 사용에 따른 부생가스(i)의 배출량(tGHG)

$h$  : 가스 Bombe 내의 가스(j)의 잔류비율(0에서 1사이의 소수)

$B_{i,j,p}$  : 배출계수, 공정(p)에서 가스(j)의 사용에 따른 부생가스(i)의 배출량, 부생가스(i) 생산량(kg)/가스(j) 사용량(kg)

$FC_{j,p}$  : 공정(p)에 주입되는 가스(j)의 질량(kg)



$a_{j,p}$  : 배출제어기술이 있는 공정(p) 중의 가스(j)의 부피 분율(0에서 1 사이의 소수)

$d_{i,p}$  : 공정(p)에서 배출제어기술에 의한 부생가스(i)의 파괴율(0에서 1 사이의 소수)

### ③ Tier 3

Tier 3도 Tier 2b와 마찬가지로 공정별 고유 계수를 이용하는 방법이나 공장이나 시설의 고유값을 사용한다는 점에서 Tier 2b와 구별된다. 소규모 단위 공정마다 개별적으로 고유 계수를 적용하는 방법이다. Tier 2b와 동일한 산정식을 사용하나 Tier 2b에서의 (p)변수가 Tier 3에서는 특정 공정에 대한 사업장 고유 계수로 대체된다.

## ② 열전도 유체 부문

### ① Tier 2

열전도 유체로 쓰이는 불소계 온실가스의 배출량을 산정하는 Tier 2 방법은 연간 액체 불소화합물의 사용량을 이용하여 산정한다. 사업장별 자료가 이용 가능할 때 적용된다.

$$FC_j = \rho_j \times [ I_{j,t-1}(l) + P_{j,t}(l) - N_{j,t}(l) + R_{j,t}(l) - I_{j,t}(l) - D_{j,t}(l) ] \times 10^{-3}$$

$FC_j$  : FC 액체(j)의 배출량(tGHG)

$\rho_j$  : 액체(j)의 밀도(kg/L)

$I_{j,t-1}$  : 산정기간 전 액체(j)의 인벤토리 총량(L)

$P_{j,t}$  : 산정기간 중 액체(j)의 구매량과 회수량의 총합(L)

$N_{j,t}$  : 산정기간 중 신설된 설비의 총 충전량(L)

$R_{j,t}$  : 산정기간 중 퇴출된 설비와 판매된 설비 충전량의 총합(L)

$I_{j,t}$  : 산정기간 말 액체(j)의 인벤토리 총량(L)

$D_{j,t}$  : 산정기간 중 퇴출된 설비잔류로 인해 방출된 액체(j)의 총량

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 반도체/LCD/PV 생산 부문

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 사업장별 제품 생산량 등 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 2a, 2b*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 사업장별 FC 가스 사용량 등의 활동자료를 사용한다.

##### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 사업장별 FC 가스 사용량 등의 활동자료를 사용한다.

#### ② 배출계수

##### *Tier 1*

<Tier 1 산정방법론의 기본 배출계수(기판의 단위면적 당 질량)>

전자산업	배출계수 (기판의 단위면적 당 질량)					
	CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	SF <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub> (PFC-51-14)
반도체, kg/m <sup>2</sup>	0.9	1.0	0.04	0.05	0.2	NA
TFT-FPDs, g/m <sup>2</sup>	0.5	NA	NA	NA	4.0	NA
PV-cells, g/m <sup>2</sup>	5	0.2	NA	NA	NA	NA

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### <반도체 제조 공정의 Tier 2a 산정방법론의 기본 배출계수>

전자산업		배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
		CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-16)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-18)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
1-Ui		0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	0.2	0.07	0.08	0.1	0.1	NA	0.3	0.1	0.1
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	0.2	0.04	NA
	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### <LCD 제조 공정의 Tier 2a 산정방법론의 기본 배출계수>

전자산업		배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
		CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
1-Ui		0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.6	NA	NA	NA
부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	CHF <sub>3</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### <PV 제조 공정의 Tier 2a 산정방법론의 기본 배출계수>

전자산업		배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
		CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
1-Ui		0.7	0.6	0.4	NA	0.4	0.2	0.4	NA	NA	NA
부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	NA	NA	NA
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA
	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### <배출제어기술 적용에 따른 FC가스 저감효율>

배출제어기술	CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>
분해(Destruction)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
회수/재생 (Capture/Recovery)	0.75	0.9	0.9	NT	NT	0.9

NT : Not Tested

\* CF<sub>4</sub>의 저감효율 값이 85%이상, 그 외 가스의 저감효율 값이 90%이상인 근거를 제시할 수 있는 경우 기본계수를 적용가능

\*\* 위 표에 제시되지 않은 가스의 저감효율을 적용하고자 하는 경우 이에 대한 근거를 제시하여야 함

\*\*\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### <반도체 제조 공정의 Tier 2b 산정방법론의 기본 배출계수 >

전자산업		배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
		CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-16)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
식각 공정	1-U <sub>i</sub>	0.7	0.4	0.4	0.06	NA	0.2	0.2	0.1	0.2	NA
	부생가스배출계수 CF <sub>4</sub>	NA	0.4	0.07	0.08	NA	0.2	NA	0.3	0.2	NA
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA	0.2	0.2	NA
증착 공정 (CVD)	1-U <sub>i</sub>	0.9	0.6	NA	NA	0.4	0.1	NA	NA	0.1	0.1
	부생가스배출계수 CF <sub>4</sub>	NA	0.1	NA	NA	0.1	0.1	NA	NA	0.1	0.1
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### <LCD 제조 공정의 Tier 2b 산정방법론의 기본 배출계수>

전자산업			배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
			CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
식각 공정	1-U <sub>i</sub>		0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.3	NA	NA	NA
	부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA
		CHF <sub>3</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA
		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
증착 공정 (CVD)	1-U <sub>i</sub>		NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.9	NA	NA	NA
	부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

## <PV 제조 공정의 Tier 2b 산정방법론의 기본 배출계수>

전자산업			배출계수(kg-부생가스/kg-투입가스)									
			CF <sub>4</sub> (PFC-14)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> (PFC-116)	CHF <sub>3</sub> (HFC-23)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (HFC-33)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> (PFC-218)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> (PFC-318)	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> O
식각 공정	1-Ui		0.7	0.4	0.4	NA	NA	0.2	0.4	NA	NA	NA
	부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	0.2	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA
		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA
증착 공정 (CVD)	1-Ui		NA	0.6	NA	NA	0.1	0.1	0.4	NA	NA	NA
	부생가스 배출계수	CF <sub>4</sub>	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	NA	NA	NA
		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA : Not Applicable

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2a*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수(FC가스 사용비율, 부생가스 배출계수 등)을 사용한다. 다만 국가 고유 계수를 사용하지 못할 경우에는 위 표에 제시된 각 제조 공정별 Tier 2a 산정방법론의 기본 배출계수를 사용한다. 배출제어기술 적용에 따른 FC가스 저감효율은 위 표 <배출제어기술 적용에 따른 FC가스 저감효율의 Tier 2a/Tier2b 산정방법론 기본배출계수>를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 2b*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수(FC가스 사용비율, 부생가스 배출계수 등)을 사용한다. 다만 국가 고유 계수를 사용하지 못할 경우에는 위 표에 제시된 각 제조 공정별 Tier 2b 산정방법론의 기본 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수(공정별 FC가스 사용 비율, 부생가스 배출계수, 배출저감기술 적용에 따른 저감 효율 등)를 사용한다.

## ② 열전도 유체 부문

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 사업장별 액체 불소화합물 사용량 등의 활동 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 사업장별 액체 불소화합물 사용량 등의 활동 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 사업장별 액체 불소화합물 사용량 등의 활동 자료를 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 2*

열전도 유체의 증발로 발생하는 배출량 산정식의 Tier 2 방법에 해당하는 배출계수는 존재하지 아니한다.



## 28. 연료전지

IPCC 카테고리

—

### 1. 배출활동 개요

연료전지는 외부에서 수소와 산소를 공급받아 수용액에서 전자를 교환하는 산화·환원 반응을 하며, 해당 반응에서 생성된 화학적 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 발전장치이다. 물을 전기 분해하면 전극에서 산소와 수소가 발생하는데, 연료전지는 그에 대한 역반응으로 수소와 산소로부터 전기와 물을 생산한다. 수소를 생산하기 위하여 연료전지 앞단에서 탄화수소와 물을 반응시키고 이 과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생된다.

### 2. 보고 대상 배출시설

연료전지 공정배출의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 연료전지

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1,2,3,4	—	—

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① *Tier 1~3*

$$E_{i,CO_2} = FR_i \times EF_i$$

$E_{i,CO_2}$  : 연료전지 공정에서의 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$FR_i$  : 원료(*i*) 투입량(ton)

$EF_i$  : 원료(*i*)별 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-원료)

##### ② *Tier 4*

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

#### 5. 매개변수별 관리 기준

##### ① 활동자료 (FR<sub>i</sub>)

###### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 원료투입량( $FR_i$ ) 자료를 사용한다.

###### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 원료투입량( $FR_i$ ) 자료를 사용한다.

###### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 원료투입량( $FR_i$ ) 자료를 사용한다.

## Tier 4

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

### ② 배출계수 ( $EF_i$ )

## Tier 1

IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

구분	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-원료)
LNG	2.6928 tCO <sub>2</sub> /t-LNG
LPG	2.9846 tCO <sub>2</sub> /t-LPG
바이오가스(메탄)	2.7518 tCO <sub>2</sub> /t-바이오가스(메탄)

## Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

구분	배출계수 (tCO <sub>2</sub> /t-원료)
LNG	2.7657 tCO <sub>2</sub> /t-LNG
LPG	2.9864 tCO <sub>2</sub> /t-LPG

## Tier 3

제16조에 따라 사업자가 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \sum_y \left[ \left( \frac{MW_y}{MW_{y, total}} \right) \times \left( \frac{44.01 \times N_y}{mw_y} \right) \right]$$

$EF_i$  : 투입 원료( $i$ )의 CO<sub>2</sub> 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$MW_y$  : 투입 원료( $i$ )의 몰당 해당 가스성분( $y$ )의 질량 (g/mol)

$MW_{y, total}$  : 투입 원료( $i$ )의 몰당 모든 가스성분( $y$ )의 질량 (g/mol)

*44.01* : CO<sub>2</sub>의 물질량 (g/mol)

$N_y$  : 가스성분( $y$ )의 탄소 원자수

$mw_y$  : 해당 가스성분( $y$ )의 물질량 (g/mol)

#### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## 29. 오존파괴물질(ODS)의 대체물질 사용

IPCC 카테고리  
2F

### 1. 오존파괴 물질 대체물질 사용 개요

불소계 온실가스는 화학 산업이나 전자 산업 등에서 제품 생산 공정 중에 사용되기도 하지만 생산된 설비의 충전물 등 다양한 용도로 소비되기도 한다. 이 장에서 정의하는 오존대체물질은 제품 제작단계에서 주입 또는 사용되는 양을 별도 보고 대상으로 하며, 전기 설비를 제외한 사용단계에서의 탈루성 배출은 보고대상으로 하지 않는다.

#### ① 비에어로졸 용매

불소계 온실가스 중에서 HFCs가 몬트리올 의정서에 의해 규제물질로 지정된 CFC-113을 대체하여 용매로 사용되고 있으며 정밀세척, 전자세척, 금속세척, 탈착 시에 주로 사용된다. 이 중 흔히 쓰는 용매는 HFC-43-10mee이며 HFC-365mfc, HFC-245fa와 같이 이용된다. 일반적으로 PFCs는 GWP가 높고 비활성으로 기름을 용해하는 능력이 없어 세척용으로는 거의 사용되지 않는다. 용매는 제품 안에 충전하여 사용하므로 배출과 제품의 수명은 밀접한 관계가 있다.

#### ② 에어로졸

에어로졸은 추진제와 용매로 사용되며 즉각 배출로 간주되는데 초기 충전량이 제조 후 1-2년 안에 모두 배출되며 대부분은 판매 후 6개월 안에 모두 배출되기 때문이다. 그러므로 배출량 산정을 위해서는 에어로졸의 초기 충전량을 알아야 한다. 에어로졸 중 추진제로 사용되는 물질은 HFC-134a, HFC-227ea, HFC-152 등이 있고 HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-43-10mee는 용매로 사용된다.

#### ③ 발포제

기존에는 발포제로 대부분 CFCs를 사용해왔으나 몬트리올 의정서에 의해 CFCs가 규제된 이후 현재는 대체물로 주로 HFCs가 사용되고 있다. HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a, HFC-152a 등의 물질이 주로 이용된다. 발포제는 불소계 온실가스가 배출되는 과정에 따라 개방형 기포(open-cell)과 폐쇄형 기포(closed-cell)로 구분하는데 HFCs가 제조 과정이나 제조된 직후에 배출되는 것을 개방형 기포, 그렇지 않고 사용 중에 배출되는 것을 폐쇄형 기포로 구분한다. 개방형 기포 발포제는 매트리스, 자동차 시트, 사무용 가구처럼 틀에 넣어 만들어진 제품에 사용되며 폐쇄형 기포 발포제는 다른 제품의 사용 중 절연 용도로 주로 사용된다. 발포 산업에서 사용되는 HFCs는 아래와 같다.

<표-30> 발포산업에서 사용되는 HFCs 종류

Cell Type	Sub-application	HFC Foam Blowing Agent Alternatives			
		HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc (+HFC-227ea)
OPEN	PU Flexible Foam				
	PU Flexible Moulded Foam				
	Pu Integral Skin Foam	✓		✓	
	PU One Component Foam	✓	✓		
CLOSED	PU continuous Panel	✓		✓	✓
	PU Discontinuous Panel	✓		✓	✓
	PU Appliance Foam	✓		✓	✓
	PU Injected Foam	✓		✓	✓
	PU Continuous Block			✓	✓
	PU Discontinuous Block			✓	✓
	PU Continuous Laminate			✓	✓
	PU Spray Foam			✓	✓
	PU Pipe-in-Pipe	✓		✓	✓
	Extruded Polystyrene	✓	✓		
	Phenolic Block			✓	✓
	Phenolic Laminate			✓	✓

\*PU는 Polyurethane의 약자

#### ④ 냉동 및 냉방

기존에 냉장고와 에어컨의 생산 공정 시 냉매 충전물로 사용되어 오던 CFCs와 HCFCs를 대체하여 현재는 주로 HFCs가 사용되고 있다. 냉동과 냉방 시스템은 아래와 같이 세부적으로 6개의 하위용도 영역으로 분류된다.

## <냉동 및 냉방 부문의 6가지 하위 용도>

- ㉠ 가정용(즉, 가계용) 냉동장치
- ㉡ 자동판매기, 슈퍼마켓의 중앙 냉동장치 등 다양한 설비의 공업용 냉동장치
- ㉢ 냉각 장치, 냉동 저장, 식품에 사용되는 산업 열펌프, 석유화학 및 기타 산업을 포함하는 산업공정
- ㉣ 냉동 트럭, 저장고, 대형냉장차, 트럭에 사용되는 설비 및 시스템을 포함하는 산업공정
- ㉤ 건설 및 거주 용도에 대한 공기 대 공기시스템(air-to-air systems), 열펌프, 그리고 냉각장치를 포함하는 고정 냉방장치
- ㉥ 자동차와 트럭, 버스, 기차에 사용되는 이동식 냉방장치

냉각, 고압 냉각장치와 자동차의 에어컨시스템은 기존에 사용되던 CFC-12를 대체하여 HFC-134a가 사용되고 있으며 고정식 에어컨은 R-407, R-410A등 HFC 혼합물이 기존의 HCFC-22를 대체하여 사용되고 있다. 상업용 냉각시스템에서도 R-404A, R-507A, R-502와 같은 냉매혼합물이 HCFC-22를 대체하고 있다. 참고로 냉매 혼합물의 구성은 아래 <표-31>와 같다.

<표-31> 냉매 혼합물 및 구성물 현황

혼합물	혼합물 구성물	구성비율(%)
R-400	CFC-12/CFC-114	Should be specified <sup>1)</sup>
R-401A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(53.0/13.0/34.0)
R-401B	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(61.0/11.0/28.0)
R-401C	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(33.0/15.0/52.0)
R-402A	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(60.0/2.0/38.0)
R-402B	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(38.0/2.0/60.0)
R-403A	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5.0/75.0/20.0)
R-403B	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5.0/56.0/39.0)
R-404A	HFC-125/HFC-143a/HFC-134a	(44.0/52.0/4.0)
R-405A	HCFC-22/ HFC-152a/ HCFC-142b/PFC-318	(45.0/7.0/5.5/42.5)
R-406A	HCFC-22/HC-600a/HCFC-142b	(55.0/14.0/41.0)
R-407A	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(20.0/40.0/40.0)

R-407B	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(10.0/70.0/20.0)
R-407C	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(23.0/25.0/52.0)
R-407D	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(15.0/15.0/70.0)
R-407E	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(25.0/15.0/60.0)
R-408A	HFC-125/HFC-143a/HCFC-22	(7.0/46.0/47.0)
R-409A	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(60.0/25.0/15.0)
R-409B	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(65.0/25.0/10.0)
R-410A	HFC-32/HFC-125	(50.0/50.0)
R-410B	HFC-32/HFC-125	(45.0/55.0)
R-411A	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(1.5/87.5/11.0)
R-411B	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(3.0/94.0/3.0)
R-411C	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(3.0/95.5/1.5)
R-412A	HCFC-22/PFC-218/HCFC-142b	(70.0/5.0/25.0)
R-413A	PFC-218/HFC-134a/HC-600a	(9.0/88.0/3.0)
R-414A	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(51.0/28.5/4.0/16.5)
R-414B	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(50.0/39.0/1.5/9.5)
R-415A	HCFC-22/HFC-152a	(82.0/18.0)
R-415B	HCFC-22/HFC-152a	(25.0/75.0)
R-416A	HFC-134a/HCFC-124/HC-600	(59.0/39.5/1.5)
R-417A	HFC-125/HFC-134a/HC-600	(46.6/50.0/3)
R-418A	HC-290/HCFC-22/HFC-152a	(1.5/96.0/2.5)
R-419A	HFC-125/HFC-134a/HE-E170	(77.0/19.0/4.0)
R-420A	HFC-134a/HCFC-142b	(88.0/12.0)
R-421A	HFC-125/HFC-134a	(58.0/42.0)
R-421B	HFC-125/HFC-134a	(85.0/15.0)
R-422A	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(85.1/11.5/3.4)
R-422B	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(55.0/42.0/3.0)
R-422C	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(82.0/15.0/3.0)
R-500	CFC-12/HFC-152a	(73.8/26.2)
R-501	HCFC-22/CFC-12	(75.0/25.0)
R-502	HCFC-22/CFC-115	(48.8/51.2)
R-503	HFC-23/CFC-13	(40.1/59.9)
R-504	HFC-32/CFC-115	(48.2/51.8)
R-505	CFC-12/HCFC-31	(78.0/22.0)
R-506	CFC-31/CFC-114	(55.1/44.9)
R-507A	HFC-125/HFC-143a	(50.0/50.0)
R-508	A HFC-23/PFC-116	(39.0/61.0)
R-508B	HFC-23/PFC-116	(46.0/54.0)
R-509A	HCFC-22/PFC-218	(44.0/56.0)

<sup>1)</sup>R-400은 다양한 구성비를 가지고 있으므로 따로 표시해야 함.

## **5 소방부문**

소방 부문에서는 할론에 대한 부분적인 대체물로 HFCs와 PFCs가 사용되며 이동식 설비와 고정식 설비가 있다. 이 부문에서 불소계 온실가스는 전기의 공급원에서 공기조절 시 화재발생원을 관리하기 위해서도 사용되고 실질적인 화재 방재용 설비의 충전물로도 사용되며, 발생하는 온실가스



의 종류는 지역적 국가적으로 또는 시기적으로 다르다. 왜냐하면 화재 지압시의 실제 배출량은 상당히 소량일 것으로 예측하는 반면 비상용 소방설비의 사용이 증가함에 따라 미래의 잠재적 배출에 대한 뱅크가 축적되기 때문이다. 따라서 소방 부문에서의 온실가스 배출량은 사용된 온실가스의 종류를 확인한 후 사용 및 보관에 따른 배출량도 고려하여 산정해야 한다.

## ⑥ 전기 설비

전기 설비에는 주로 SF<sub>6</sub>와 PFCs가 사용되며 송전과 배전 중 전기 설비에서 전기 절연체와 전류 차단제로 사용된다. 전기 설비 부문의 불소계 온실가스는 생산, 설치, 사용, 유지관리, 폐기의 전 공정에 걸쳐서 배출되므로 배출량 산정 시에는 설비 설치나 SF<sub>6</sub> 소비량에만 국한되지 않고 생산 공정과 생산품 유지 관리, 폐기까지 즉각 배출에서 bank까지 고려하여 산정해야 한다. 그리고 불소계 온실가스가 절연체로서 설비 안에 충전 되기 때문에 전기 설비의 수출입에 따라 지역 및 국가 간 이동이 빈번하므로 배출량 산정 경계를 명확히 해야 할 필요가 있다.

## ⑦ 기타 사용

이외에도 기타 오존파괴물질(ODS) 대체물로 사용되는 HFCs, PFCs 들이 많은데 이러한 부문의 불소계 온실가스 배출은 현재와 전년도에 불소계 온실가스의 판매량을 이용하여 산정하며 정의에 따라 2년 이상의 배출량은 100%가 되어야 한다.

## 2. 배출량 산정방법론

### ① 비에어로졸 용매

#### ① Tier 1

보통 용매는 초기 충전량의 100%가 제품을 사용하기 시작한 후 1-2년 내에 모두 배출되므로 즉각 배출로 간주한다. 용매를 충전하는 제품의 수명을 2년으로 가정하고 제품을 사용하기 시작한 첫해에 배출되는 양과 마지막 년도인 2년째에 배출될 것을 모두 고려한 배출계수를 적용한다. 이것이 Tier 1 방법이며 여기에서는 초기량의 50%를 기본 배출계수로 사용하는 것이 타당하다. 기본 배출계수 외에 HFC나 PFC의 연간 용매로서의 구매량을 알아야 배출량을 산정할 수 있다.

$$Emissions_t = S_t \times EF + S_{t-1} \times (1 - EF) - D_{t-1}$$

$Emissions_t$  : t년도에 배출된 양(kg)

$S_t$  : t년도에 구매한 용매의 양(kg)

$S_{t-1}$  : t-1년도에 구매한 용매의 양(kg)

$EF$  : 배출 계수(구매한 첫 해의 배출율 = 0.5, 향후 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.)

$D_{t-1}$  : 조직경계 내부에서 처리하거나 조직경계 외부로 반출한 양(kg)

#### <유의사항>

제품 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당 항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

## ② 에어로졸

### ① Tier 1

에어로졸 제품의 수명이 2년 이하로 가정되기 때문에 초기 충전량의 50%를 기본 배출계수로 사용한다. 그러나 구매 시점을 정의하는데 유의해야 한다. 그리고 에어로졸은 용매와 달리 제품 사용 시점을 최종 사용자에게 공급되는 시기로 정의하지 않으므로 회수나 재활용, 파기 등을 고려하

지 않는다.

$$Emissions_t = S_t \times EF + S_{t-1} \times (1 - EF)$$

$Emissions$  : 연간 배출량 (kg)

$S_t$  : t년도에 구매한 에어로졸 제품에 포함된 HFC와 PFC의 양(kg)

$S_{t-1}$  : t-1년도에 구매한 에어로졸 제품에 포함된 HFC와 PFC의 양(kg)

$EF$  : 배출계수 (사용한 첫 해의 배출율 = 0.5, 향후 센터에서 별도의 계수를 공포할 경우 그 값을 적용한다.)

#### <유의사항>

제품 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당 항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

### ③ 발포제

#### ① Tier 1 (폐쇄형 기포(closed-cell) 발포제)

폐쇄형 기포 발포제에 의한 온실가스 배출량을 산정할 때는 연간 발포제 생산에 사용된 총 HFC의 양과 첫해의 손실계수 및 연간 손실 계수, 폐기 시 발생량을 고려하고 회수와 파기에 의해 제거되는 양도 제외해주어야 한다. 그리고 발포제 생산과정에서 제품수명과 현재 사이에 사용된 불소계 온실가스의 양( $Bank$ )도 포함해야한다.

$$Emissions_t = M_t \times EF_{FYL} + Bank_t \times EF_{AL} + DL_t - RD_t$$

$Emissions$  : t년도의 연간 closed-cell 발포제 의한 배출량(kg/yr)

$M_t$  : t년도에 closed-cell 발포제 생산에 사용된 총 HFC의 양(kg/yr)

$EF_{FYL}$  : 첫 해의 손실 배출계수(0에서 1사이의 소수, 향후 센터에 서

국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

$B_{n,t}$  : closed-cell 발포제 생산과정에서 t-n과 t년 사이의 HFC 몰입량(kg)

$\alpha$  : 연간 손실 배출계수(0에서 1사이의 소수, 향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

$M_t$  : t년도의 폐기 손실량(kg), 즉, 수명이 다한 제품을 폐기할 때 그 안에 남아있는 불소계 온실가스의 양

$W_t$  : t년도의 회수나 파기에 의한 HFC 배출 방지량(kg)

$n$  : 폐쇄형 기포 발포제의 수명

$t$  : 발포제 안에서 HFC가 존재하고 있는 총 기간

#### <유의사항>

제품/제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당 항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

#### <표-32> 폐쇄형 발포제의 기본배출계수

배출계수	초기값
제품수명	$n = 20 \text{ years}$
첫 해의 손실율	10% 순수한 HFC 사용/year (생산 공정 중 재활용 사용에 따라 5%로 떨어지기도 함)
연간 손실율	순수한 HFC는 4.5% charge/year

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### ② Tier 1 (개방형 기포(open-cell) 발포제)

개방형 발포제에서는 첫 해의 손실 배출계수( $\alpha$ )가 100% 이므로 위의 폐쇄형 발포제의 산정식은 아래와 같이 단순화된다.

$$Emissions_t = M_t$$

$Emissions$  : t년도에 open-cell 발포제 생산에 따른 배출량(kg)

1 : t년도에 open-cell 발포제 생산에 사용된 총 HFC의 양(kg)

<유의사항>

제10호 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당 항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

#### 4 냉동 및 냉방

##### ① Tier 1~2

Tier 1~2 방법은 배출계수법으로서 하위용도별 냉동 및 냉방설비에 냉매를 주입하기 위해 저장 보관하는 용기에서의 탈루, 신규 설비의 냉매 초기 주입(신규 냉동 및 냉방설비 제조) 과정에서의 탈루, 설비의 사용(유지 보수 포함) 및 폐기시점에서의 탈루를 반영한 배출계수를 각각 적용해야 한다.

$$E_{total,t} = E_{containers,t} + E_{charge,t} + E_{lifetime,t} + E_{end-of-life,t}$$

$E_{total,t}$  : t년도의 냉동 및 냉방 부문의 총 배출량(kg)

##### ㉠ 보관단계

$$E_{containers,t} = RM_t \times \frac{c}{100}$$

$E_{containers,t}$  : t년도의 HFC 용기(container)에서의 총 배출량(kg)

$RM_t$  : t년도의 저장용기에 보관하고 있는 온실가스 규모(kg)

$c$  : 현재 냉동 시장의 HFC 용기에 대한 배출계수(%) (IPCC 기본계수의 중간값인 6% 적용, 향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

㉠ 충전단계

$$E_{charge,t} = M_t \times \frac{k}{100}$$

$E_{charge,t}$  : t년도의 냉동 및 냉방설비 제조 및 조립 시 발생하는 탈루 배출량(kg)

$M_t$  : t년도의 새 설비에 충전하는 HFC의 양(kg)

$k$  : t년도의 새 설비를 생산할 때 손실되는 HFC에 대한 배출계수 (%)  
(향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

㉡ 사용단계

$$E_{lifetime,t} = B_t \times \frac{x}{100}$$

$E_{lifetime,t}$  : t년도의 냉동 및 냉방설비 사용과정에서의 HFC 배출량(kg)

$B_t$  : t년도의 냉동 및 냉방설비 안에 존재하는 HFC의 bank양(kg)

$B_t$  = 냉매용량 - 과거 보고된 배출량의누적값

$x$  : t년도에 냉동 및 냉방설비를 사용하는 과정에서 탈루, 유지 보수 시 발생하는 손실 및 누출되는 HFC의 연간 누출율(%) (향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

㉢ 폐기단계

$$E_{end-of-life} = M_{t-d} \times \frac{p}{100} \times (1 - \frac{\eta_{rec,d}}{100})$$

$E_{end-of-life}$  : t년도의 냉동 및 냉방설비 폐기 시의 HFC 배출량 (kg)

$M_{t-d}$  : t-d년도에 새 냉동 및 냉방설비 설치 시 처음 충전한 HFC의 양(kg)

$p$  : 충전 총량 대비 폐기 시 설비 안에 남은 HFC의 양의 비율(% , 향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.)

$n_{rec,d}$  : 폐기 시 회수율 (%)

※ 회수율은 시설 폐기 시 재활용 또는 파괴목적으로 회수한 가스량과 잔여량의 비율(회수량/잔여량)을 사업장에서 산정하여 사용한다. 단, 회수율은 100%를 초과할 수 없다.

<표-33> 냉동 및 냉방 시스템의 충전량, 수명, 배출계수 추정치

하위 용도	배출계수 (초기충진율%/year)		수명이 다한 후 최종배출량 (%)
	(k)	(x)	(p)
	최초 배출량	운전 중 배출량	초기 충전 잔량
가정용 냉장고	0.6	0.3	40
상업용 독립형	1.75	8	40
상업용 중대형 냉장고	1.75	22.5	75
수송용 냉장고	0.6	32.5	25
식품가공 및 보관용 산업 냉장고	1.75	16	75
냉각장치	0.6	8.5	90
주거 및 상업용 에어컨(열펌프 포함)	0.6	5.5	40
차량용 에어컨	0.35	15	25

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

## ② Tier 3

Tier 3 배출량 산정 방법은 아래와 같이 물질수지 접근법을 이용한다. CO<sub>2</sub> 등가량으로 보고할 경우 온실가스별 지구온난화지수(GWP)를 적용하여 환산한다. 다수의 온실가스가 배출될 경우 각 온실가스별로 배출량을 산정한 후 지구온난화지수를 적용하여 합산한 총 온실가스 배출량을 보고한다. 감축노력을 통하여 누출율 등을 개선한 경우 기본 배출계수를 사용하는 Tier 1~2 방법론으로는 감축량을 반영할 수 없기 때문에 물질수지법을 사용하여 배출량을 보고 할 수 있다. 단, 물

질수지법을 사용하여 사용단계의 배출량을 산정하는 경우에는 유지보수 단계에서 점검한 시설과 미점검 시설을 구분하여 배출량을 산정해야 한다. 인벤토리의 완전성을 확보하기 위해서 물질수지법을 사용하지 않은 미점검 시설의 배출량을 배출계수법을 사용하여 산정해야 한다. 폐기단계 배출량을 물질수지법으로 산정하는 경우 최종 사용단계에서 보고된 배출량이 중복 산정될 수 있다. 따라서 폐기단계 배출량을 물질수지로 산정하는 경우에는 배출계수법을 사용하여 과거 보고한 최종사용단계 배출량을 차감한 후 배출량을 산정해야 한다.

#### ㉠ 보관단계

$Emissions_{containers}$  = 구매한 총 온실가스(kg) - 충전에 사용한 총 온실가스(kg)

#### ㉡ 충전단계

$Emissions_{charge}$  = 냉동·냉방 설비 제작에 사용된 총 온실가스(HFC) 소비량(kg) - 제작된 냉동·냉방 설비의 총 온실가스 정격용량(온실가스가 충전된 상태로 판매되는 전기 설비만 포함)(kg)

#### ㉢ 사용단계

$Emissions_{use}$  = 냉동·냉방 설비의 온실가스(HFC) 잔여량(kg) × 누출계수(0에서 1사이의 소수) or 누출량 실측값

#### ㉣ 폐기단계

$$E_{end-of-life} = M_{t-d} \times \frac{p}{100} \times \left(1 - \frac{\eta_{rec,d}}{100}\right)$$

$E_{end-of-life}$  : t년도의 냉동 및 냉방설비 폐기 시의 HFC 배출량 (kg)

$M_{t-d}$  : t-d년도에 새 냉동 및 냉방설비 설치 시 처음 충전한 HF



C의 양(kg)

$p$  : 충전 총량 대비 폐기 시 설비 안에 남은 HFC의 양의 비율 (%)  
실측값)

$\eta_{rec,d}$  : 폐기 시 회수율(%)

※ 회수율은 시설 폐기시 재활용 또는 파괴목적으로 회수한 가스량과 잔여량의 비율(회수량/잔여량)을 사업장에서 산정하여 사용한다.  
단, 회수율은 100%를 초과할 수 없다.

#### <유의사항>

제품 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

### 5 소방

#### ① Tier 1

$$Emissions_t = Bank_t \times EF + RRL_t$$

$$Bank_t = \sum_{i=t_0}^t (Production_i + Imports_i - Exports_i - Destruction_i - Emissions_{i-1}) - RRL_t$$

$Emissions_t$  : t 년도의 소방 설비로부터의 불소계 온실가스 배출량(kg)

$Bank_t$  : t 년도에 소방 설비로부터의 불소계 온실가스 bank(kg)

$EF$  : 매년 소방 설비에서 배출되는 불소계 온실가스의 비율

(고정설비 IPCC 기본값은 2%, 휴대장비의 IPCC 기본값은 4% 적용, 향후 센터에서 국가 배출계수를 공표하면 그 값을 적용한다.  
단위 없음)

$RRL_t$  : 회수, 재활용, 폐기시의 배출량(kg)

$Production_t$  : t년간 소방 설비 사용을 위해 새로 제공된(재활용된) 약품량(kg)

$Imports_t$  : 소방 설비의 약품 수입량(kg)

$Exports_t$  : 소방 설비의 약품 수출량(kg)

$Destruction_t$  : 소방 설비 폐기에 의해 수집 및 파기된 약품의 양(kg)

<유의사항>

제품 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

## ⑥ 전기 설비

### <배출량 산정 방법론>

#### ① Tier 1~2

설비의 정격용량(nameplate capacity)등에 따른 SF<sub>6</sub>와 PFCs의 소비량을 추정하여 기본배출계수를 적용한다. 전기 설비의 제조단계에서 온실가스(SF<sub>6</sub>, PFC 등)를 충전한 뒤 밀봉 할 경우 설치단계는 제외될 수 있다. 만약 제작단계에서 점검 및 테스트 과정을 위해 온실가스를 충전한 뒤 회수하고, 사용 현장 설치단계에서 온실가스를 별도 충전할 경우 제작단계 및 설치단계 배출량을 구분하여 각각 산정해야 한다. CO<sub>2</sub> 등가량으로 보고할 경우 온실가스별 지구온난화지수(GWP)를 적용하여 환산한다. 다수의 온실가스가 배출될 경우 각 온실가스별로 배출량을 산정한 후 지구온난화지수를 적용하여 합산한 총 온실가스 배출량을 보고한다.

$$\begin{aligned} Emissions_{total} &= Emissions_{manufacturing} + Emissions_{installation} \\ &+ Emissions_{use} + Emissions_{disposal} \end{aligned}$$

$Emissions_{total}$  : 전기 설비 부문에서 발생하는 총 배출량(kg)

### ㉠ 제작단계

$Emissions_{manufacturing}$  : 제작단계 배출계수 × 전기 설비 제작에 사용된 총 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 PFCs) 소비량(kg)

### ㉡ 설치단계

$Emissions_{installation}$  : 설치단계 배출계수 × 사용 현장에 신규로 설치된 전기 설비의 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 PFCs) 정격용량(nameplate capacity)(kg)

### ㉢ 사용단계

$Emissions_{use}$  : 사용단계 배출계수 × 사용 중인 전기설비의 총 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 PFCs) 정격용량(kg)

### ㉣ 폐기단계

$Emissions_{disposal}$  : 폐기 전기설비의 총 온실가스 정격용량(kg) × 폐기 전기 설비의 온실가스 잔여율(fraction) × (1 - 재활용 또는 파괴 목적의 온실가스 회수율(fraction))

※ 회수율은 시설 폐기시 재활용 또는 파괴목적으로 회수한 가스량과 잔여량의 비율(회수량/잔여량)을 사업장에서 산정하여 사용한다. 단, 회수율은 1을 초과할 수 없다.

## ② Tier 3

Tier 3 배출량 산정 방법은 아래와 같이 물질수지 접근법을 이용한다. 감축노력을 통하여 누출을 등을 개선한 경우 기본 배출계수를 사용하는 Tier 1 ~ 2 방법론으로는 감축량을 반영할 수 없기 때문에 물질

수지법을 사용하여 배출량을 보고 할 수 있다. 단, 물질수지법을 사용하여 사용단계의 배출량을 산정하는 경우에는 유지보수 단계에서 점검한 시설과 미점검 시설을 구분하여 배출량을 산정해야 한다. 인벤토리의 완전성을 확보하기 위해서 물질수지법을 사용하지 않은 미점검 시설의 배출량을 배출계수법을 사용하여 산정해야 한다. 폐기단계 배출량을 물질수지법으로 산정하는 경우 최종 사용단계에서 보고된 배출량이 중복 산정될 수 있다. 따라서 폐기단계 배출량을 물질수지로 산정하는 경우에는 배출계수법을 사용하여 과거 보고한 최종사용단계 배출량을 차감한 후 배출량을 산정해야 한다.

#### ㉠ 제작단계

$Emissions_{manufacturing}$  = 전기 설비 제작에 사용된 총 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 PFCs) 소비량(kg) - 제작된 전기 설비의 총 온실가스 정격용량(온실가스가 충전된 상태로 판매되는 전기 설비만 포함)(kg)

#### ㉡ 설치단계

$Emissions_{installation}$  = 신규로 설치된 전기 설비의 충진에 사용된 총 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 HFCs) 소비량(kg) - 설치된 전기 설비의 온실가스 정격용량(현장에서 온실가스가 충전되는 전기 설비만 포함)(kg)

#### ㉢ 사용단계

$Emissions_{use}$  = (전기 설비의 유지·보수 단계에서의 온실가스(SF<sub>6</sub> 또는 HFCs) 총 재충진량(kg) - 전기 설비의 유지·보수 단계에서의 온실가스 회수량(재충진에 사용된 회수량만 포함, kg) / 사용기간(과거 재충진한 이후 현재까지 설비를 사용한 기간, 연)

※ 유지보수에 포함되지 않은 설비는 배출계수법을 통하여 배출량을 산정·보고한다.

## ㉔ 폐기단계

$Emissions_{disposal}$  = 폐기 전기 설비의 총 온실가스 정격용량(kg)- 재활용 또는 파괴 목적의 온실가스 회수량(kg) - 최종사용단계 배출량(kg)

※ 최종사용단계(마지막 가스 주입 이후 폐기까지의 기간) 배출량을 배출계수법으로 과거에 산정·보고했을 경우 해당 배출량을 차감하고 폐기단계 배출량을 보고한다.

## <매개변수별 관리 기준>

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 설비별 충전용량을 활동자료로 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 설비별 충전용량을 활동자료로 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도는  $\pm 2.5\%$  이내의 재충전량과 회수량을 활동자료로 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

아래의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-34> SF<sub>6</sub>가 들어있는 가스 절연체의 기본배출계수

조건 지역	생 산 (제조업자의 SF <sub>6</sub> 소비율)	사 용 (누출, 파손/아크, 결점, 유지 손실 포함) (설치된 설비의 연간 정격용량 대비 비율)	폐 기 (폐기 설비의 정격 용량 비율)	
			수명 (년)	폐기 시 충전물 잔류율 <sup>a)</sup>
일본	0.29	0.007	Not reported	0.95

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

<표-35> SF<sub>6</sub>가 들어있는 폐쇄 압력 전기 설비(HV개폐기)의 기본배출계수

조건 지역	생 산 (제조업자의 SF <sub>6</sub> 소비율)	사 용 (누출, 파손/아크 결점, 유지 손실 포함) (설치된 설비의 연간 정격용량 대비 비율)	폐 기 (폐기 설비의 정격 용량 비율)	
			수명 (년)	폐기 시 충전물 잔류율 <sup>b)</sup>
일본	0.29 <sup>b)</sup>	0.007	Not reported	0.95

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

## Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### <유의사항>

제품(전기설비) 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

제품(전기설비) 사용자 중 전기사업자\*는 위 배출량 산정식 중 사용에 따른 배출량(Emission use)을 계산하여 총 배출량에 포함, 보고하여야 한다.

\* 전기사업자란 전기사업법 제2조(정의)에 따른 발전사업자·송전사업자·배전사업자·전기 판매사업자 및 구역 전기사업자를 말한다.

## 7 기타 사용

### ① Tier 1

$$Emissions_t = S_t + EF \times S_{t-1} \times (1 - EF)$$

$Emissions_t$  = t년도의 배출량(kg)

$S_t$  = t년도에 구매한 HFC와 PFC의 양(kg)

$S_{t-1}$  = t-1년도에 구매한 HFC와 PFC의 양(kg)

$EF$  = 제조 후 첫 해에 배출된 불소계 온실가스의 비율

#### <유의사항>

제품 제작자는 위 배출량 산정식에서의 보고항목 중 해당항목을 별지 제10호 서식에 따라 보고한다. 단 여기에서 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

## 30. 기타 온실가스 배출

IPCC 분류체계  
2G

### ① 기타 온실가스 배출

자동차 생산 공정의 용접설비에 의한 CO<sub>2</sub> 배출(CO<sub>2</sub> 용접, 에틸렌 절단, 아세틸렌 용접, LPG 용접 등), 황연제거설비 등 대기오염방지시설의 탄화수소류 등의 사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출, 동제련 공정 중 환원제, 전극봉, 석회석 등의 사용으로 인한 공정배출 등 PCB 생산 공정에서의 CO<sub>2</sub>사용에 따른 배출량, 요소수 사용 등 탄산염 이외의 배연탈황 및 배연탈질시설에 의한 배출량, 식각·증착 공정에서의 불소화합물(FCs) 외 N<sub>2</sub>O등 기타 온실가스 사용에 따른 배출량 등 이 지침에서 산정방법 등이 제시되지 않은 기타 온실가스 배출에 대해서는 관리업체가 산정방법론을 스스로 제시하여 검증기관의 검증을 거쳐 배출량을 산정하여야 한다(물질수지법 방식 활용 가능). 환경부장관은 이 지침에 제시되지 않은 기타 온실가스 배출활동의 세부 산정방법론 및 매개변수별 관리기준 등을 고시한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

기타 온실가스 배출의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

- ① 대기오염방지시설
- ② 식각시설, 증착시설
- ③ 기타



### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① 요소수 사용에 따른 온실가스 배출	Tier 1, 2, 3	-	-
② 아세틸렌 사용에 따른 온실가스 배출	Tier 1, 2, 3	-	-
③ 황연제거설비의 탄화수소류 사용에 따른 온실가스 배출	Tier 1, 2, 3	-	-
④ 식각·증착 시설에서의 N <sub>2</sub> O 등 non-FC 가스 사용에 따른 온실가스 배출	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3	Tier 1, 2, 3

### 4. 배출량 산정방법론

#### ① 요소수 사용에 따른 온실가스 배출

##### ① Tier 1~3

$$E_{CO_2} = Q_i \times r_i \times EF_i$$

$E_{CO_2}$  : 요소수(i)의 반응에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 요소수(i)의 사용량(ton-요소수)

$r_i$  : 요소수(i)의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 요소수(i)에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-요소수)

#### ② 아세틸렌 사용에 따른 온실가스 배출

##### ① Tier 1~3

$$E_{CO_2} = Q_i \times r_i \times EF_i$$

$E_{CO_2}$  : 아세틸렌(i)의 반응에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 아세틸렌(i)의 사용량(ton-아세틸렌)

$r_i$  : 아세틸렌(i)의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 아세틸렌(i)에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-아세틸렌)

### ③ 황연제거설비의 탄화수소류 사용에 따른 온실가스 배출

#### ① Tier 1~3

$$E_{CO_2} = [Q_i \times r_i \times EF_i \times X_{ie}] + [Q_j \times r_j \times EF_j \times Y_{je}]$$

$E_{CO_2}$  : 탄화수소(i),(j)의 혼합에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 탄화수소(i)의 사용량(ton-탄화수소)

$r_i$  : 탄화수소(i)의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 탄화수소(i)에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄화수소)

$X_{ie}$  : 탄화수소(i)의 혼합비(0에서 1사이의 소수)

$Q_j$  : 탄화수소(j)의 사용량(ton-탄화수소)

$r_j$  : 탄화수소(j)의 순도(0에서 1사이의 소수)

$EF_j$  : 탄화수소(j)에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄화수소)

$Y_{je}$  : 탄화수소(j)의 비율(0에서 1사이의 소수)

### ④ 식각·증착 시설에서의 N<sub>2</sub>O 등 non-FC 가스 사용에 따른 온실가스 배출

#### ① Tier 1~3

$$non-FC_{gas} = (1-h) \times non-FC_j \times (1-U_j) \times (1-a_j \times d_j) \times 10^{-3}$$

$non-FC_{gas}$  : N<sub>2</sub>O 등 non-FC 가스(j)의 배출량(tGHG)

$non-FC_j$  : N<sub>2</sub>O 등 non-FC 가스(j)의 소비량(kg)

$h$  : 가스 Bombe 내의 잔류비율(0에서 1사이의 소수, 기본값은 0.10)

$U_j$  : 가스(j)의 사용비율(0에서 1사이의 소수, 공정 중 파기되거나 변환된 비율)

$a_j$  : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스(j)의 부피 비율(0에서 1 사이의 소수)

$d_j$  : 배출제어기술에 의한 가스(j)의 저감효율(0에서 1사이의 소수)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 요소수 사용에 따른 온실가스 배출

#### ① 활동자료

##### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 요소수(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 요소수의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

##### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 요소수(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 요소수의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

### *Tier 3*

측정불확도는  $\pm 2.5\%$  이내의 요소수(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 요소수의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

기본 배출계수(요소수의 탄소 질량 분율 =  $0.7328 \text{ tCO}_2/\text{t-요소수}$ )를 사용한다.

$$\begin{aligned} EF_i &= \text{CO}_2 \text{ 1몰의 분자량} / \text{요소수 1몰의 분자량} \\ &= 44.010 / 60.056 = 0.7328 \text{ tCO}_2/\text{t-요소수} \end{aligned}$$

\* 요소수 반응식 :  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{NO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

\*  $\text{CO}_2$ , 요소수의 분자량은 소수 셋째자리 까지 반영하여 계산하고 배출계수는 넷째자리까지 반영한다.

## ② 아세틸렌 사용에 따른 온실가스 배출

### ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 아세틸렌(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 아세틸렌의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

## *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 아세틸렌(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 아세틸렌의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

## *Tier 3*

측정불확도는  $\pm 2.5\%$  이내의 아세틸렌(i) 사용량과 순도를 활동자료로 사용한다. 이때 아세틸렌의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

기본 배출계수(아세틸렌의 탄소 질량 분율 =  $3.3804 \text{ tCO}_2/\text{t-아세틸렌}$ )를 사용한다.

$$\begin{aligned} EF_i &= \text{CO}_2 \text{ 2몰의 분자량} / \text{아세틸렌 1몰의 분자량} \\ &= 88.020 / 26.038 = 3.3804 \text{ tCO}_2/\text{t-아세틸렌} \end{aligned}$$

\* 아세틸렌 반응식 :  $\text{C}_2\text{H}_2 + 5/2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

\*  $\text{CO}_2$ , 아세틸렌의 분자량은 소수 셋째자리 까지 반영하여 계산하고 배출계수는 넷째자리까지 반영한다.

## ③ 황연제거설비의 탄화수소류 사용에 따른 온실가스 배출

## ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 탄화수소(i),(j) 사용량과 각각의 순도를 활동자료로 사용한다. 탄화수소(i),(j)의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 탄화수소(i),(j) 사용량과 각각의 순도를 활동자료로 사용한다. 탄화수소(i),(j)의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

### *Tier 3*

측정불확도는  $\pm 2.5\%$  이내의 탄화수소(i),(j) 사용량과 각각의 순도를 활동자료로 사용한다. 탄화수소(i),(j)의 사용량과 순도는 분리 보고해야 하며, 순도의 증빙이 불가능할 경우는 1.0(100% 사용)을 적용한다. 이때 순도의 증빙자료는 원료 공급자가 분석하여 제공하는 값을 사용할 수 있다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

아래 <표-50>의 기본 배출계수를 사용한다.

<표-50> 탄화수소(i),(j)의 사용에 따른 CO<sub>2</sub>의 기본 배출계수

탄화수소(i),(j)	반응식	CO <sub>2</sub> 2몰 분자량	탄화수소(i),(j) 1몰 분자량	$EF_{i,j}$ (tCO <sub>2</sub> /탄화수소(i),(j))
에탄올 (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH + 3 O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 3 H <sub>2</sub> O	88.020	46.069	1.9106
에틸렌글리콜 (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> )	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 5/2 O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	88.020	62.068	1.4181

\*CO<sub>2</sub>, 탄화수소류의 분자량은 소수 셋째자리 까지 반영하여 계산하고 배출계수는 넷째자리까지 반영한다.

#### ④ 식각·증착 시설에서의 N<sub>2</sub>O 등 non-FC 가스 사용에 따른 온실가스 배출

##### ① 활동자료

###### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 non-FC 가스 사용량 등의 활동자료를 사용한다.

###### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 non-FC 가스 사용량 등의 활동자료를 사용한다.

###### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 non-FC 가스 사용량 등의 활동자료를 사용한다.

##### ② 배출계수

###### *Tier 1~2*

<표-51> non-FC 가스 사용에 따른 배출계수

non-FC 가스	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
1-Ui	1.0	1.0	1.0

\* 출처 : EPA(TECHNICAL SUPPORT DOCUMENT FOR PROCESS EMISSIONS FROM ELECTRONICS MANUFACTURE)

### ***Tier 3***

제92조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수(공정별 non-FC 가스 사용비율, 부생가스 배출계수, 배출저감기술 적용에 따른 저감 효율 등)를 사용한다.



## 31. 기타 온실가스 사용

IPCC 분류체계  
2G

### 1. 배출활동 개요

「오존층파괴물질(ODS)의 대체물질의 사용」부분의 산정방법론과 매개변수 관리기준에 따라 제품의 제작단계에서 보고되는 오존층파괴물질(ODS) 대체물질을 제외한, 온실가스의 기타 사용량은 이 배출활동에서 보고되어야 한다. 예를 들면 냉각·냉동설비 및 소화설비에서의 냉매나 소화제의 충전량(기기 사용에 따른 재충진량을 포함한다, 이하 같다), 치환용 CO<sub>2</sub> 구입양 등을 명세서에 포함하여 별도로 산정 및 보고하여야 한다. 세부적인 명세서의 보고양식은 「별지 제 서식」을 따른다. 단 여기에서의 보고되는 항목은 관리업체의 온실가스 총 배출량에는 합산하지 않는다.

### 1. 배출활동 개요

생활, 사업장 및 기타 고형 폐기물의 매립은 상당량의 메탄( $\text{CH}_4$ )이 발생한다. 메탄은 매립된 폐기물 중 분해 가능한 유기탄소가 수십년에 걸쳐 서서히 혐기성 분해되며 발생하게 된다. 일정한 조건 하에 메탄 생성은 전적으로 잔존하는 탄소량에 의존하며, 이에 따라 매립 초기에 배출량이 가장 크며, 이후 분해 박테리아에 의해 분해 가능한 탄소가 소비되면서 점차 감소하게 된다. 이러한 분해 과정은 1차 반응을 따른다는 가정을 적용하였으며, 2006 IPCC에 제시된 1차 반응모델(FOD ; First Order Decay)을 통하여 고형폐기물 매립시설에서의 메탄 배출량을 산정한다. 또한 1차 반응모델을 적용하기 위해서는 폐기물 성상별 다양한 반감기를 반영해야 하므로, 매립 개시년도부터의 성상별 매립량 자료를 통한 단계적 산정이 필요하며, 과거 자료가 누락되었을 경우에는 타당한 방법론을 통해 누락된 자료를 확보해야 한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

고형폐기물 매립의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 차단형 매립시설

차단형 매립시설은 주변의 지하수나 빗물의 유입으로부터 폐기물을 안전하게 저류하기 위한 시설로서 보통 콘크리트 구조물을 설치하고 그 내·외부를 방수 처리하는 것이 일반적이다.

특히 차단형 매립시설에 매립하는 폐기물은 추가적인 분해가 필요 없는 무기성 폐기물만을 매립하여야 하며, 가능한 한 폐기물 내에 수분이 없도록 건조시킬 필요가 있다. 또한 차단형 매립시설은 폐기물 처리용량에 비하여 설치공사가 많이 소요되는 단점과 폐기물 발생량이 많은 경우에는 경제성이 결여되어 처리에 한계가 있으므로 무기성

폐기물로서 발생량이 적고 설치부지가 협소한 경우 등과 같은 특수한 경우가 아니면 설치하지 않는 것이 바람직하다.

## ② 관리형 매립시설

관리형 매립시설은 침출수가 매립시설에서 흘러 나가는 것을 방지하기 위해 매립시설의 바닥과 측면을 폐기물의 성질·상태, 매립 높이, 지형조건 등을 고려하여 점토류 라이너 및 토목합성수지 라이너 등의 재질로 이뤄진 차수시설을 설치·운영하는 매립시설을 일컫는다. 주요시설에는 기초지반, 저류구조물, 차수시설, 우수집배수시설, 침출수집배수시설, 침출수처리시설, 매립가스처리시설 등이 있다.

## ③ 비관리형 매립시설

관리형 매립시설의 설치기준에 적합하지 않은 시설을 일컫는다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	Tier 1	-

## 4. 배출량 산정 방법론

### ① Tier 1

$$CH_4Emissions_T = \left[ \sum_x CH_4generated_{x,T} - R_T \right] \times (1 - OX)$$

$$CH_4generated_{x,T} = DDOCM_{decomp_T} \times F \times 1.336$$

$$DDOCM_{decomp_T} = DDOCM_{a_{T-1}} \times (1 - e^{-k})$$

$$DDOCM_{a_{T-1}} = DDOCM_{d_{T-1}} + (DDOCM_{a_{T-2}} \times e^{-k})$$

$$DDOCM_{d_{T-1}} = W_{T-1} \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

$CH_4Emissions_T$  : T년도 메탄 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$CH_4generated_T$  : T년도 발생 가능한 최대 메탄배출량(tCH<sub>4</sub>)

$R_T$  : T년도에 회수된 메탄량(tCH<sub>4</sub>)

$OX$  : 매립지 표면에서의 산화율

$DDOCm,decomp_T$  : T년도에 혐기적으로 분해된 유기탄소(tC)

$F$  : 발생 매립가스에 대한 메탄 부피비

$1.336$  : CH<sub>4</sub>의 분자량(16.043)/C의 원자량(12.011)

$DDOCma_{T-1}$  : T-1년도 말까지 누적된 유기탄소(tC)

$k$  : 메탄 발생 속도상수

$DDOCmd_{T-1}$  : T-1년도에 매립된 혐기적 분해가능한 유기탄소(tC)

$W$  : 폐기물 매립량(t-Waste)

$DOC$  : 분해 가능한 유기탄소 비율(tC/t-Waste)

$DOC_f$  : 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율

$MCF$  : 호기성 분해에 대한 메탄 보정계수

$T$  : 산정년도

$x$  : 폐기물 성상

다만,

㉠  $\frac{R_T}{CH_4generated_T} \leq 0.75$  인 경우에는 Tier 1 산정방법에 따라 발생량 및 배출량을 산정한다.

㉡  $\frac{R_T}{CH_4generated_T} > 0.75$  인 경우에는 배출량은 다음과 같이 적용한다.

$$CH_4 \text{ 발생량}(CH_4generated_T) = R_T \times (1/0.75)$$

$R_T$ (메탄 회수량, tCH<sub>4</sub>) = 연간 바이오가스 회수량(m<sup>3</sup> Bio-gas) × 바이오가스의 연평균 메탄농도(% , V/V) × γ(0°C, 1기압에서의 CH<sub>4</sub>의

$m^3$ 과  $t$ 의 환산계수,  $0.7156 \times 10^{-3}$ )

이 경우,  $CH_4Emissions = [CH_4 \text{ 발생량} - R_T(\text{회수량})] \times (1 - OX)$

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료 (폐기물성상별 매립양, $W$ )

활동자료는 1981년 1월 1일 이후 매립된 폐기물에 대해서만 수집한다.

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 활동자료(반입폐기물의 양)를 사용한다.

폐기물 성상분석을 위한 시료의 채취, 전처리, 시료 분석 방법 등은 「폐기물관리법」 제12조에 따른 「폐기물공정시험기준(환경부고시 제 2014-31호)」에 따라 분기별 1회(각 3, 6, 9, 12월) 이상 실시한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 활동자료(반입폐기물의 양)를 사용한다.

폐기물 성상분석을 위한 시료의 채취, 전처리, 시료 분석 방법 등은 「폐기물관리법」 제12조에 따른 「폐기물공정시험기준(환경부고시 제 2014-31호)」에 따라 분기별 1회(각 3, 6, 9, 12월) 이상 실시한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 활동자료(반입폐기물의 양)를 사용한다.

폐기물 성상분석을 위한 시료의 채취, 전처리, 시료 분석 방법 등은 「폐기물관리법」 제12조에 따른 「폐기물공정시험기준(환경부고시 제 2014-31호)」에 따라 분기별 1회(각 3, 6, 9, 12월) 이상 실시한다.

## ㉠ 과거 매립실적자료 추정방법

과거 매립실적자료를 보유하고 있지 않은 생활폐기물 매립장은 ‘전국 폐기물 발생 및 처리현황’ 등 관련 자료를 먼저 확인한 후 해당 자료가 없을 시, 다음 3가지 방법 중 시설의 조건 및 매립 이력 등을 기준으로 가장 적합한 방법을 해당 관장기관과 협의 하여 결정하도록 한다.

- 1) 추정년도(과거 매립량 자료가 없는 년도)의 폐기물 매립량은 매년 동일하다고 가정한다. (예, 과거 매립총량을 기준으로 추정)
- 2) 추정년도에 대해, 매년 해당 매립지의 관리 인구, 전국 평균 1인당 폐기물 발생량, 해당 지자체의 매년 폐기물 매립비율(또는 보유자료 중 가장 오래된 년도의 매립비율을 추정년도에 동일 적용)을 다음 식에 따라 계산한다.

$$W_x = POP_x \times WGR_x \times \frac{\%SWDS_x}{100\%}$$

$W_x$  : x년도에 매립된 폐기물 양 (톤, 습량기준)

$POP_x$  : x년도에, 지자체 인구 중 매립지의 관리 인구

$WGR_x$  : x년도에 전국 평균 1인당 폐기물 발생량 (톤/인/년, 습량기준)

$\%SWDS_x$  : x년도에, 해당 지자체의 폐기물 매립 비율 (또는 보유자료 중 가장 오래된 년도의 매립비율을 추정년도와 동일하다고 가정

- 3) 해당 매립지의 이용 가능한 기간의 자료를 근거로 평균 매립량을 산출하여 추정년도에 매년 동일하게 적용한다. (예, 최초 매립에서 매립자료를 이용할 수 없는 최근년도까지의 연간 매립량을 동일하게 적용)

$$WAR = \frac{LFC}{(YrData - YrOpen + 1)}$$

**WAR** : 연평균 폐기물 매립 량 (톤/년)

**LFC** : 자료가 이용 가능한 기간의 총 매립량 (톤)

**YrData** : 자료가 이용 가능한 기간의 최근 년도

**YrOpen** : 자료가 이용 가능한 기간의 가장 오래된 년도

(단, 폐쇄된 매립지의 경우 **YrOpen**을 산정할 수 있는 자료를 이용할 수 없을 시, 매립지 운영기간을 기본 값으로 30년 사용가능)

※ 주의) 과거 추정된 매립 량의 경우, 혼합 폐기물에 관련된 입력변수 (DOC, k값 등)를 사용하고, 자료 보유년도는 성상별 입력변수 및 활동 자료를 사용하여 배출량을 산정하도록 한다.

## ② 활동자료 (메탄 회수량, $R_T$ )

### **Tier 1**

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 LFG 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값  $R_T$ 는 0으로 처리한다.

### **Tier 2**

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 LFG 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값  $R_T$ 는 0으로 처리한다.

### **Tier 3**

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 LFG 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값  $R_T$ 는 0으로 처리한다.

### ③ 배출계수

#### *Tier 1*

IPCC 가이드라인 등 기본 배출계수를 사용한다.

#### ㉔ DOC(분해가능한 유기탄소 비율) 및 k(메탄 발생 속도상수)

아래 <표-36>의 폐기물 종류 및 성상별 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다.

<표-36> 폐기물 종류 및 성상별 기본 배출계수

생활폐기물			사업장 폐기물		
폐기물 성상	DOC	k	폐기물 성상	DOC	k
혼합 폐기물(bulk) <sup>1)</sup>	0.14	0.09	혼합 폐기물(bulk) <sup>1)</sup>	0.15	0.09
종이류	0.40	0.06	음식물류(음식, 음료 및 담배)	0.15	0.185
섬유류	0.24	0.06	폐섬유류	0.24	0.06
음식물류	0.15	0.185	폐목재류	0.43	0.03
나무류	0.43	0.03	폐지류	0.40	0.06
정원 및 공원 폐기물류	0.20	0.1	석유제품류, 용매, 플라스틱류	0.00	0
기저귀	0.24	0.06	폐합성고무	0.39	0.03
고무 피혁류	0.39	0.03	건설 및 파쇄 잔재물	0.04	0.1
플라스틱류	0.00	0	기타 사업장 폐기물 <sup>2)</sup>	0.01	0.1
금속류	0.00	0	폐수 슬러지(오니)	0.09	0.185
유리류	0.00	0	하수 슬러지(오니)	0.05	0.185
기타 생활폐기물	0.00	0	-	-	-

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

주1) : ‘혼합폐기물(bulk)’ 기본값은, 과거 매립량 자료의 추정으로 인해 성상확인이 불가능한 경우와 같이 특수한 경우에만 적용 가능하며, 일반적인 경우 성상분석을 통한 폐기물 성상별 기본값을 적용해야 한다.



주2) : 사업장 폐기물 생산에 대한 자료가 없는 경우, 모든 제조업의 총 기타 폐기물에 대한 기본값으로 적용할 수 있다.

#### ㉔ DOCf(메탄으로 전환가능한 DOC 비율)

IPCC 가이드라인 기본값인 0.5를 적용한다.

#### ㉕ MCF(메탄 보정계수)

아래 <표-37>의 IPCC 가이드라인 기본값을 적용한다.

<표-37> 매립시설 유형별 메탄 보정계수

매립시설 유형	MCF 기본값
관리형 매립지 - 혐기성	1.0
관리형 매립지 - 준호기성	0.5
비관리형 매립지 - 매립고 5m 이상	0.8
비관리형 매립지 - 매립고 5m 미만	0.4
기타	0.6

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### ㉖ OX(산화율)

IPCC 가이드라인 기본계수를 사용한다.

<표-38> 매립시설 유형별 산화계수

매립시설 유형	OX
토양, 퇴비 등으로 복토되는 매립지	0.1
기타	0

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

#### ㉗ F(메탄 부피비)

LFG 중 메탄 함량에 대한 실측 자료가 있을 경우 실측값을 우선으로 적용하고, 실측 자료가 없을 경우 IPCC 가이드라인 기본값인 0.5를 적용한다.

### ***Tier 2***

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### ***Tier 3***

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

### 1. 배출활동 개요

폐기물의 부피감소, 폐기물의 안정화, 폐기물의 병원균 사멸, 바이오 가스 생산 등을 목적으로 이루어지는 유기 고형폐기물의 생물학적 처리에 의해 온실가스가 발생하는 활동을 말한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

고형폐기물의 생물학적 처리의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

#### ① 사료화 · 퇴비화 · 소멸화 · 부숙토생산 시설

이 시설은 폐기물을 선별 · 파쇄 · 혼합 · 발효 · 건조 · 소멸 · 소화 등의 공정을 거쳐 물리적 · 생물학적으로 안정된 상태의 물질로 만드는 시설을 갖추어야 한다.

사료화 시설은 배합사료, 보조사료, 단미사료제조업의 기준에 적합한 시설을 갖추어야 하고, 시설에는 공장건물, 저장시설, 분쇄시설, 배합시설, 계량시설, 정선시설, 먼지제거시설, 포장시설, 수송장치, 작업공장 등이 있다. 퇴비화 시설은 검량포장장치(포장하여 판매하는 경우에 한함)와 발효시설 등 생산시설을 갖추어야 한다. 그리고 부숙토 생산시설은 제품명 및 원료 등을 표시하고 제품의 제조에 관한 기록을 보존하여야 한다.

#### ② 혐기성 분해시설

호기성 · 혐기성 분해시설은 미생물을 이용하여 생물학적으로 안정된 물질을 만드는 시설로 분해과정에서 발생하는 가스를 처리하는 시설을 갖추어야 한다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	Tier 1	Tier 1

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① Tier 1

$$CH_4Emissions = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

***CH<sub>4</sub>Emissions*** : 고형폐기물의 생물학적처리 과정에서 배출되는 온실가스(tCH<sub>4</sub>)

***M<sub>i</sub>*** : 생물학적 처리 유형 i에 의해 처리된 유기폐기물량(t-Waste)

***EF<sub>i</sub>*** : 처리유형 i에 대한 배출계수(gCH<sub>4</sub>/kg-Waste)

***i*** : 퇴비화, 혐기성 소화 등 처리유형

***R*** : 메탄 회수량(tCH<sub>4</sub>)

다만,

㉠  $\frac{R}{M_i \times EF_i \times 10^{-3}} \leq 0.75$  인 경우에는 Tier 1 산정방법에 따라 발생량 및 배출량을 산정한다.

㉡  $\frac{R}{M_i \times EF_i \times 10^{-3}} > 0.75$  인 경우에는 배출량은 다음과 같이 적용한다.

$$CH_4 \text{ 발생량} = R \times (1/0.75)$$

R(메탄 회수량, tCH<sub>4</sub>) = 연간 바이오가스 회수량(m<sup>3</sup> Bio-gas) × 바이오가스의 연평균 메탄농도(% , V/V) × γ(0°C, 1기압에서의 CH<sub>4</sub>의 m<sup>3</sup>

과 t의 환산계수,  $0.7156 \times 10^{-3}$ )

이 경우,  $CH_4Emissions = CH_4발생량 - R(회수량)$

$$N_2OEmissions = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

$N_2OEmissions$  : 고형폐기물의 생물학적처리 과정에서 배출되는 온실가스( $tN_2O$ )

$M_i$  : 생물학적 처리 유형 i에 의해 처리된 유기폐기물량( $t$ -Waste)

$EF_i$  : 처리유형 i에 대한 배출계수( $gN_2O/kg$ -Waste)

$i$  : 퇴비화, 혐기성 소화 등 처리유형

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료 (처리된 유기폐기물의 양, $M_i$ )

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 처리된 유기폐기물량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 처리된 유기폐기물량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 처리된 유기폐기물량 자료를 사용한다.

### ② 활동자료 (메탄 회수량, $R$ )

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 퇴비·소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값 R은 0으로 처리한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 퇴비·소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값 R은 0으로 처리한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 퇴비·소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 기본값 R은 0으로 처리한다.

## ③ 배출계수 ( $EF_i$ )

### *Tier 1*

아래 <표-37>에 따른 처리유형별 IPCC 기본 배출계수를 사용한다.

<표-37> 생물학적 처리유형에 따른  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  기본 배출계수

생물학적 처리 유형(i)	CH <sub>4</sub> (gCH <sub>4</sub> /kg-waste)		N <sub>2</sub> O (gN <sub>2</sub> O/kg-waste)	
	건량 기준	습량 기준	건량 기준	습량 기준
퇴비화	10	4	0.6	0.3
혐기성 소화	2	1	0	0

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

하 · 폐수는 현장에서 처리되거나, 중앙 집중화된 시설을 통해 처리되며, 처리 과정에서  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$ 를 배출한다. 하 · 폐수로부터 배출되는  $\text{CO}_2$ 는 생물 기원으로 배출량 산정 시 제외하도록 한다. 하 · 폐수 처리에서의  $\text{CH}_4$ 는 유기물이 분해되는 과정에서 배출되며, 기본적으로 폐수내의 분해 가능한 유기물질, 온도, 처리시스템의 유형에 따라 배출량이 변한다.  $\text{N}_2\text{O}$ 의 경우에는 폐수가 아닌 질소성분(요소, 질산염, 단백질)을 포함한 하수 처리 과정에서 배출되며, 질산화 및 탈질화 작용을 통해 발생하게 된다.

## 2. 보고 대상 배출시설

하폐수 처리 및 배출의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 가축분뇨공공처리시설

가축분뇨공공처리시설은 소 · 돼지 · 말 · 닭과 같은 가축이 배설하는 분뇨 및 가축사육 과정에서 사용된 물 등이 분뇨에 섞여서 배출되는 것을 자원화 또는 정화하기 위해 지방자치단체의 장이 설치하는 시설을 말한다.

## ② 폐수종말처리시설

폐수종말처리시설은 수질오염이 악화되어 환경기준의 유지가 곤란하거나 수질보전에 필요하다고 인정되는 지역 안의 각 사업장에서 배출되는 수질오염물질을 공동으로 처리하여 공공수역에 배출하게 하기 위하여 국가·지방자치단체 등이 설치하는 시설이다.

## ③ 공공하수처리시설

공공하수처리시설은 사람의 생활이나 경제활동으로 인하여 액체성 또는 고체성의 물질이 섞이어 오염된 물과 건물·도로 그 밖의 시설물의 부지로부터 하수도로 유입되는 빗물·지하수를 처리하여 하천·바다 그 밖의



공유수면에 방류하기 위하여 지방자치단체가 설치 또는 관리하는 처리 시설과 이를 보완하는 시설을 말한다. 여기에는 기존에 처리용량(500m<sup>3</sup>/일) 기준으로 나누던 하수종말처리시설과 마을하수도가 포함된다.

#### ④ 분뇨처리시설

분뇨처리시설은 분뇨를 침전·분해 등의 방법으로 처리하는 시설을 말한다.

#### ⑤ 기타 하·폐수처리시설

분뇨처리시설은 분뇨를 침전·분해 등의 방법으로 처리하는 시설을 말한다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
① 하수처리	-	Tier 1	Tier 1
② 폐수처리	-	Tier 1	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① 하수 처리 (폐수 유입 시 하수처리에 포함한다.)

##### ① Tier 1

$$CH_4Emissions = (BOD_{in} \times Q_{in} - BOD_{out} \times Q_{out} - BOD_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-6} \times EF - R$$

**CH<sub>4</sub>Emissions** : 하수처리에서 배출되는 CH<sub>4</sub>배출량(tCH<sub>4</sub>)

**BOD<sub>in</sub>** : 유입수의 BOD<sub>5</sub>농도, (mg-BOD/L)

**BOD<sub>out</sub>** : 방류수의 BOD<sub>5</sub>농도, (mg-BOD/L)

**BOD<sub>sl</sub>** : 반출 슬러지의 BOD<sub>5</sub>농도, (mg-BOD/L)

$Q_{in}$  : 유입수의 유량( $m^3$ )

$Q_{out}$  : 방류수의 유량( $m^3$ )

$Q_{sl}$  : 슬러지의 반출량( $m^3$ )

$EF$  : 배출계수( $kgCH_4/kg-BOD$ )

$R$  : 메탄 회수량( $tCH_4$ )

다만,

$$\textcircled{㉠} \frac{R}{(BOD_{in} \times Q_{in} - BOD_{out} \times Q_{out} - BOD_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-6} \times EF_i} \leq 0.75 \text{ 인}$$

경우에는 Tier 1 산정방법에 따라 발생량 및 배출량을 산정한다.

$$\textcircled{㉡} \frac{R}{(BOD_{in} \times Q_{in} - BOD_{out} \times Q_{out} - BOD_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-6} \times EF_i} > 0.75 \text{ 인}$$

경우에는 배출량은 다음과 같이 적용한다.

$$CH_4 \text{ 발생량} = R \times (1/0.75)$$

$R$ (메탄 회수량,  $tCH_4$ ) = 연간 바이오가스 회수량( $m^3$  Bio-gas)  $\times$  바이오가스의 연평균 메탄농도(% , V/V)  $\times$   $y$ ( $0^\circ C$ , 1기압에서의  $CH_4$ 의  $m^3$ 과 t의 환산계수,  $0.7156 \times 10^{-3}$ )

이 경우,  $CH_4 Emissions = CH_4 \text{발생량} - R(\text{회수량})$

$$N_2OEmissions = (TN_{in} \times Q_{in} - TN_{out} \times Q_{out} - TN_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-6} \\ \times EF \times 1.571$$

$N_2OEmissions$  : 하수처리에서 배출되는  $N_2O$ 배출량( $tN_2O$ )

$TN_{in}$  : 유입수의 총 질소농도, (mg-T-N/L)

$TN_{out}$  : 방류수의 총 질소농도, (mg-T-N/L)

$TN_{sl}$  : 반출 슬러지의 총 질소농도, (mg-T-N/L)

$Q_{in}$  : 유입수의 유량( $m^3$ )

$Q_{out}$  : 방류수의 유량( $m^3$ )

$Q_{sl}$  : 슬러지의 반출량( $m^3$ )

$EF$  : 아산화질소 배출계수( $kgN_2O-N/kg-T-N$ )

$1.571$  :  $N_2O$ 의 분자량( $44.013$ )/ $N_2$ 의 분자량( $28.013$ )

## ② 폐수 처리 (하수 유입 시 폐수처리에 포함한다.)

### ① Tier 1

$$CH_4Emissions = (COD_{in} \times Q_{in} - COD_{out} \times Q_{out} - COD_{sl} \times Q_{sl}) \times EF \times 10^{-6} - R$$

$CH_4Emissions$  : 폐수처리에서 배출되는 온실가스( $tCH_4$ )

$COD_{in}$  : 유입수의 COD 농도, ( $mg-COD/L$ )

$COD_{out}$  : 방류수의 COD 농도, ( $mg-COD/L$ )

$COD_{sl}$  : 반출 슬러지의 COD 농도, ( $mg-COD/L$ )

$Q_{in}$  : 유입수의 유량 ( $m^3$ )

$Q_{out}$  : 방류수의 유량 ( $m^3$ )

$Q_{sl}$  : 슬러지의 반출량 ( $m^3$ )

$EF$  : 배출계수 ( $kgCH_4/kg-COD$ )

$R$  : 메탄 회수량 ( $tCH_4$ )

다만.

$$\textcircled{1} \frac{R}{(COD_{in} \times Q_{in} - COD_{out} \times Q_{out} - COD_{sl} \times Q_{sl}) \times EF_i \times 10^{-6}} \leq 0.75 \text{ 인}$$

경우에는 Tier 1 산정방법에 따라 발생량 및 배출량을 산정한다.

$$\textcircled{L} \quad \frac{R}{(COD_{in} \times Q_{in} - COD_{out} \times Q_{out} - COD_{sl} \times Q_{sl}) \times EF_i \times 10^{-6}} > 0.75 \quad \text{인}$$

경우에는 배출량은 다음과 같이 적용한다.

$$CH_4 \text{ 발생량} = R \times (1/0.75)$$

R(메탄 회수량, tCH<sub>4</sub>) = 연간 바이오가스 회수량(m<sup>3</sup> Bio-gas) × 바이오가스의 연평균 메탄농도(%, V/V) × γ(0°C, 1기압에서의 CH<sub>4</sub>의 m<sup>3</sup>과 t의 환산계수, 0.7156 × 10<sup>-3</sup>)

이 경우, CH<sub>4</sub>Emissions = CH<sub>4</sub>발생량 - R(회수량)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 하수 처리

#### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 또한, 슬러지 반출량의 자료가 있을 경우에는 산정방법에 반드시 포함시켜야 한다.(1차 침전 후 by-pass되는 하수에 대하여 하수처리시설의 구조적 여건상 by-pass관을 최종방류구(방류수 측정지점 전단)에 연결할 수 없는 경우에는 by-pass의 유량과 농도를 측정한 자료가 있을 시, 배출량 산정에 포함함)

측정불확도 ±7.5% 이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 R=0으로 처리한다.

유입수의 BOD<sub>5</sub>농도(BOD<sub>in</sub>), 방류수의 BOD<sub>5</sub>농도(BOD<sub>out</sub>), 반출 슬러지의 BOD<sub>5</sub>농도(BOD<sub>sl</sub>), 유입수의 총질소농도(T-N<sub>in</sub>) 및 방류수의 총질소농도(T-N<sub>out</sub>), 반출 슬러지의 총질소농도(T-N<sub>sl</sub>) 등의 활동자료는 「환경분야 시험·검사에 관한 법률」 제6조에 따른 「수질오염공정시험기준」에 따라 측정하여 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

IPCC 가이드라인 등 기본 배출계수를 사용한다.

CH <sub>4</sub> 배출계수 (kgCH <sub>4</sub> /kgBOD)		N <sub>2</sub> O 배출계수 (IPCC 가이드라인)
혐기적 처리공정이 없을 경우 ('02 환경부)	혐기적 처리공정이 있을 경우 (IPCC가이드라인)	
0.01532	0.48	0.005 kgN <sub>2</sub> O-N/kg-T-N

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## ② 폐수 처리

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 또한, 슬러지 반출량의 자료가 있을 경우에는 산정방법에 반드시 포함시켜야 한다.

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 다만, 회수된 메탄가스가 외부 공급/판매, 자체 연료 사용 및 Flaring 등으로 처리되기 위한 별도의 측정이 없을 경우는 R=0으로 처리한다.

유입수의 COD(COD<sub>in</sub>), 방류수의 COD(COD<sub>out</sub>), 반출 슬러지의 COD(C

OD<sub>sl</sub>)는 「환경분야 시험·검사에 관한 법률」 제6조에 따른 「수질오염 공정시험기준」에 따라 측정하여 사용한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 유입수·방류수의 유량을 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 메탄 회수량(회수한 소화가스 중 순수메탄만을 회수량으로 활용한다) 자료를 사용한다. 이하, Tier 1과 동일.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

아래 <표-38>의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 적용한다.

<표-38> 처리유형별 폐수처리 분야 CH<sub>4</sub> 배출계수

처리 유형	EF (tCH <sub>4</sub> /t-COD)
슬러지의 혐기성 소화조	0.2
혐기성 반응조	0.2
혐기성 라군(2m 이하)	0.05
혐기성 라군(2m 초과)	0.2

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도

의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.



## 1. 배출활동 개요

폐기물 소각시설에서는 고형 및 액상폐기물의 연소로 인해  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$ 가 배출되며, 소각되는 폐기물 유형은 도시고형폐기물, 사업장폐기물, 지정폐기물, 하수 슬러지 등이다. 단, 바이오매스 폐기물(음식물, 목재 등)의 소각으로 인한  $\text{CO}_2$ 배출은 생물학적 배출량이므로 배출량 산정 시 제외되어야 하며, 화석연료로 인한 폐기물(플라스틱, 합성 섬유, 폐유 등)의 소각으로 인한  $\text{CO}_2$ 만 배출량에 포함되어야 한다. 이러한 이유로 폐기물 소각으로 인한  $\text{CO}_2$  배출은 mass-balance 또는 측정방법에 따라 폐기물의 화석탄소함량을 기준으로 산정되며, 그 밖의 non- $\text{CO}_2$ ( $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$ )의 경우에는 제시된 배출계수 또는 측정을 통하여 배출량을 산정한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

폐기물 소각의 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 소각보일러

폐기물 등을 소각시켜 발생하는 열을 회수하여 보일러는 가동하고 이때 생산되는 증기나 열을 작업공정이나 난방 등에 재이용할 목적으로 보일러 등 열회수장치가 설치된 소각시설을 말한다.

## ② 특정폐기물 소각시설

특별히 고안된 폐쇄구조에서 특정폐기물을 연소시켜 그 양을 감소하든지 재이용할 수 있게 하는 시설을 말한다. 소각시설 구조에 따라 크게 나누어 단실소각시설, 다실소각시설, 이동다실소각시설로 나뉘어진다.

단실소각시설은 점화, 연소, 연소찌꺼기의 제거 등이 모두 동일한 방에서 이루어지는 것을 말한다.

다실소각시설은 2개 이상의 내화벽돌로 설치된 연소실이 병렬로 연결된 형태로서 각 실은 내화벽으로 구분되어 있으며 연소가스 통로는 서

로 연결되어 있고 폐기물의 연소효율을 최대로 하기 위한 모든 장치가 설치된 시설을 말한다. 이동다실소각시설은 연소실 내부의 화상을 가벼운 자재를 사용하고 바퀴가 있어 유동이 가능하게 만든 시설로서 유동층 소각시설이라고도 한다.

이외에도 최근에는 소각물질을 직접 연소하지 아니하고 소각물질을 건류시키거나 소각물질에 포함된 유기화합물을 열분해 시킴으로서 발생하는 가스를 소각시키는 건류 또는 열분해소각시설이 개발되고 있다.

### ③ 일반폐기물 소각시설

특별히 고안된 폐쇄구조에서 일반폐기물을 연소시켜 그 양을 감소하든지 재이용할 수 있게 하는 시설을 말한다. 소각시설의 구조에 따라 크게 나누어 단실소각시설, 다실소각시설, 이동다실소각시설로 나뉘어진다.

단실소각시설은 2개 이상의 내화벽돌로 설치된 연소실이 병렬로 연결된 형태로서 각 실은 내화벽으로 구분되어 있으며, 연소가스의 통로는 서로 연결되어 있고 폐기물 연소효율을 최대로 하기 위한 모든 장치가 설치된 시설을 말한다.

이동다실소각시설은 연소실내부의 화상을 가벼운 자재를 사용하고 바퀴가 있어 유동이 가능하게 만든 시설로서 유동층 소각시설이라고도 한다. 이외에도 최근에는 소각물질을 직접 연소하지 아니하고 소각물질을 건류시키거나 소각물질에 포함된 유기화합물을 열분해시킴으로서 발생하는 가스를 소각시키는 건류 또는 열분해소각시설이 개발되고 있다.

### ④ 폐가스소각시설

제조과정 중에 발생하는 각종 휘발성유기물질이나 가연성가스 또는 냄새가 심하게 나는 물질들을 모아 산화시키는 시설을 말한다. 크게 나누어 직접연소시설, 촉매산화시설 등이 있다.

직접 연소시설은 내화물질로 구성된 연소시설과 한 개 내지 둘 이상의 연소장치, 온도조정장치, 안전장치 그리고 열교환기와 같은 연회수장치들로 구성되어 있다. 가스는 연소실 상부에서 화염과 혼합되어 산화되며 연소실내의 연도를 따라 밖으로 배출된다. 연소실의 형태는 보통 원

형이나 각형으로 되어있고 내부는 내화물질로 되어 있으며 외부는 강철로 되어 있다.

촉매산화연소시설은 주로 직접연소의 효율이 떨어지는 가스상 물질을 촉매층을 통과시켜 연소하기 쉬운 물질로 만든 후에 산화시키는 시설이다. 이것은 직접연소법에 비하여 비교적 내부온도가 낮은 상태에서도 산화가 잘 이루어질 수 있다. 예열연소장치와 촉매층이 부착된 연소실, 주연소시설, 온도조정장치, 안전장치, 그리고 열회수 장치로 이루어져 있다. 예열연소장치는 가스를 촉매층을 통과시키기 전에 일정한 온도를 유지시켜 줌으로서 산화와 연소가 비교적 쉽게 일어나게 하기 위한 시설이다. 이외에 석유화학 계통에서 많이 설치되는 플레어 스택(배출가스 연소탑, Flare Stack)등이 있다.

### ⑤ 적출물 소각시설

의료법 규정에 의한 병원 적출물(피, 고름이 묻은 탈지면, 붕대, 일회용주사기, 수액세트 등)을 처리하기 위한 시설로서 다습성 적출물과 수지계적출물로 구분한다. 다습성 적출물은 수분함량이 높고 발열량이 낮아 자체의 열량으로 연소가 불가하므로 보조열원(버너)를 사용하는 2단 연소 소각로가 적합하며, 적출물중 일회용 주사기, 수액세트 등의 수지계 적출물은 수분함량이 낮고 고분자화합물로서 다량의 대기오염물질이 배출될 가능성이 있으므로 건류식 또는 수냉식의 2단연소 소각로를 적용하는 것이 적합한 것으로 알려져 있다.

### ⑥ 폐수소각시설

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1, 4	Tier 1	Tier 1

## 4. 배출량 산정 방법론

## ① 폐기물 소각분야 CO<sub>2</sub> 배출

### ① Tier 1

#### ㉠ 고상 폐기물

$$CO_2Emissions = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 3.664$$

*CO<sub>2</sub> Emissions* : 폐기물 소각에서 발생하는 온실가스 양(tCO<sub>2</sub>)

*SW<sub>i</sub>* : 폐기물 성상(*i*)별 소각량(t-Waste)

*dm<sub>i</sub>* : 폐기물 성상(*i*)별 건조물질 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

*CF<sub>i</sub>* : 폐기물 성상(*i*)별 탄소 함량(tC/t-Waste)

*FCF<sub>i</sub>* : 화석탄소 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

*OF<sub>i</sub>* : 산화계수(소각효율, 0에서 1사이의 소수)

*3.664* : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

#### ㉡ 액상 폐기물

$$CO_2Emissions = \sum_i (AL_i \times CL_i \times OF_i) \times 3.664$$

*CO<sub>2</sub> Emissions* : 폐기물 소각에서 발생하는 온실가스 양(tCO<sub>2</sub>)

*AL<sub>i</sub>* : 액상폐기물의 성상(*i*)별 소각량(t-Waste)

*CL<sub>i</sub>* : 폐기물 성상(*i*)별 탄소 함량(tC/t-Waste)

*OF<sub>i</sub>* : 산화계수(소각효율, 0에서 1사이의 소수)

*3.664* : CO<sub>2</sub>의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

#### ㉢ 기상 폐기물

$$CO_2Emissions = \sum_i (GW_i \times EF_i \times OF_i)$$

$CO_2Emissions$  : 폐기물 소각에서 발생하는 온실가스 양(tCO<sub>2</sub>)

$GW_i$  : 기상폐기물의 소각량(t-Waste)

$CL_i$  : 기상폐기물( $i$ )별 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-Waste)

$OF_i$  : 산화계수(소각효율, 0에서 1사이의 소수)

#### ④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용한다.

## ② 폐기물 소각분야 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출

### ① Tier 1

$$CH_4Emissions = IW \times EF \times 10^{-3}$$

$$N_2OEmissions = IW \times EF \times 10^{-3}$$

$CH_4Emissions$  : 폐기물 소각에서의 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$N_2OEmissions$  : 폐기물 소각에서의 N<sub>2</sub>O 배출량(tN<sub>2</sub>O)

$IW$  : 총 폐기물 소각량(ton)

$EF$  : 배출계수(kgCH<sub>4</sub>/t-waste, kgN<sub>2</sub>O/t-waste)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 폐기물성상별 소각량( $SW_i$ ,  $AL_i$ ), 총 폐기물 소각량( $IW$ ), 폐가스 소각량( $GW_i$ ) 등의 활동자료를 사용한다. 폐기물 성상분석을 위한 시료채취, 전처리, 시료의 분석은 매월 1회 이상 실시한다.

### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 폐기물성상별 소각량( $SW_i$ ,  $AL_i$ ), 총 폐기물 소각량( $IW$ ), 폐가스 소각량( $GW_i$ ) 등의 활동자료를 사용한다. 폐기물 성상분석을 위한 시료채취, 전처리, 시료의 분석은 매월 1회 이상 실시한다.

### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 폐기물성상별 소각량( $SW_i$ ,  $AL_i$ ), 총 폐기물 소각량( $IW$ ), 폐가스 소각량( $GW_i$ ) 등의 활동자료를 사용한다. 폐기물 성상분석을 위한 시료채취, 전처리, 시료의 분석은 매월 1회이상 실시한다.

### *Tier 4*

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ② 배출계수

### ① 폐기물 소각분야 CO<sub>2</sub> 배출

#### *Tier 1*

IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다. 산화계수는 1.0을 적용한다.

## ㉠ 고상 폐기물

<표-39> 고상 폐기물소각 분야 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수 ( $dm$ ,  $CF$ ,  $FCF$ )

생활폐기물				사업장 폐기물			
폐기물 성상	$dm$	$CF$	$FCF$	폐기물 성상	$dm$	$CF$	$FCF$
종이류	0.9	0.46	0.01	음식물류(음식, 음료 및 담배)	0.4	0.15	0
섬유류	0.8	0.5	0.2	폐섬유류	0.8	0.4	0.16
음식물류	0.4	0.38	0	폐목재류	0.85	0.43	0
나무류	0.85	0.5	0	폐지류	0.9	0.41	0.01
정원 및 공원 폐기물류	0.4	0.49	0	석유제품, 용매, 플라스틱류	1	0.8	0.8
기저귀	0.4	0.7	0.1	폐합성고무	0.84	0.56	0.17
고무 피혁류	0.84	0.67	0.2	건설 및 파쇄 잔재물	1	0.24	0.2
플라스틱류	1	0.75	1	기타 사업장 폐기물 <sup>1)</sup>	0.9	0.04	0.03
금속류	1	-	-	하수 슬러지(오니)	0.1	0.45	0
유리류	1	-	-	폐수 슬러지(오니)	0.35	0.45	0
기타 생활폐기물	0.9	0.03	1	의료폐기물	0.65	0.4	0.25

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

주1) 사업장 폐기물 생산에 대한 자료가 없는 경우, 모든 제조업의 총 기타 폐기물에 대한 기본값으로 적용할 수 있다.

## ㉡ 액상 폐기물

액상 폐기물의 성상별 탄소함량값( $CL_i$ )은 0.8을 사용한다. 단, 액상폐기물은 폐유, 폐유기용제 등 화석탄소 계열의 폐기물 중 법적으로 액상으로 분류된 것을 말한다.

## ㉔ 기상 폐기물

<표-40> 폐기물소각 분야 CO<sub>2</sub> 기본 배출계수

기상폐기물 종류	기본 배출계수(tCO <sub>2</sub> /t-Waste)
폐가스	2.8512
바이오가스(메탄)	2.7518

\* 출처 : 별표 10, 11의 기본 배출계수와 열량계수

### Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

### Tier 3

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

기상 폐기물의 경우 제16조에 따라 사업자가 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$EF_i = \sum_y \left[ \left( \frac{MW_y}{MW_{y, total}} \right) \times \left( \frac{44.010 \times N_y}{mw_y} \right) \right]$$

$EF_i$  : 기상폐기물( $i$ )의 CO<sub>2</sub> 배출계수 (tCO<sub>2</sub>/t-원료)

$MW_y$  : 기상폐기물( $i$ )의 몰당 해당 가스성분( $y$ )의 질량 (g/mol)

$mw_y$  : 해당 가스성분( $y$ )의 물질량 (g/mol)

$N_y$  : 가스성분( $y$ )의 탄소 원자수

$mw_y$  : 해당 가스성분( $y$ )의 물질량 (g/mol)

$MW_{y, total}$  :  $MW_{y, total} = \sum_y MW_y$



## Tier 4

연속측정방법(CEM)을 사용한다.

## ② 폐기물 소각분야 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출

### Tier 1

<표-41> 폐기물소각 분야 기본 CH<sub>4</sub> 배출계수

소각 기술		CH <sub>4</sub> 배출계수 (kgCH <sub>4</sub> /t-Waste)
연속식	고정상	0.0002
	유동상	0
준연속식	고정상	0.006
	유동상	0.188
회분식(배치형)	고정상	0.06
	유동상	0.237

기상폐기물 종류	CH <sub>4</sub> 배출계수 (kgCH <sub>4</sub> /t-Waste)
폐가스	0.1935
바이오가스(메탄)	0.252

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### Tier 2

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표할 경우 그 값을 적용한다.

<표-43> 폐기물소각 분야 Tier 2 CH<sub>4</sub> 배출계수

폐기물 형태	CH <sub>4</sub> 배출계수(gCH <sub>4</sub> /t-Waste)
생활폐기물	6.10
사업장폐기물	13.9
하수슬러지	76.3

\* 출처 : 국가온실가스 통계 관리위원회 심의/확정 배출계수, 2013

\* 사업장폐기물은 사업장배출시설계폐기물, 지정폐기물, 건설폐기물을 포함

<표-44> 폐기물소각 분야 Tier 2 N<sub>2</sub>O 배출계수

폐기물 형태	N <sub>2</sub> O 배출계수(gN <sub>2</sub> O/t-Waste)
생활폐기물	52.1
사업장폐기물	129.7
하수슬러지	595.0

기상폐기물 종류	N <sub>2</sub> O 배출계수(gN <sub>2</sub> O/t-Waste)
폐가스	3.87
바이오가스(메탄)	5.04

\* 폐기물 형태별 출처 : 국가온실가스 통계 관리위원회 심의/확정 배출계수

\* 기상폐기물 종류별 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

\* 사업장폐기물은 사업장배출시설계폐기물, 지정폐기물, 건설폐기물을 포함

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

석탄의 지질학적 형성과정은 지층가스(seam gas)인 메탄( $\text{CH}_4$ )을 생성하며, 메탄( $\text{CH}_4$ )은 석탄을 채굴하기 전까지 석탄층에 잡혀 있다가 석탄을 채굴 및 처리하는 과정에서 대기로 배출된다.

석탄을 채굴 및 처리하는 탄광은 석탄을 경제적으로 채굴·선별한 후 상품으로 시장에 공급하는 사업소, 또는 석탄을 채굴하는 광산을 의미하며, 채굴 광산의 형태에 따라 지하탄광과 노천탄광으로 구분한다. 우리나라의 탄광은 모두 석탄층까지 땅 속으로 터널을 뚫어 각종 장비를 이용하여 석탄을 생산하는 지하탄광으로, 노천탄광은 존재하지 않는다.

지하 및 노천탄광 모두에서 석탄을 채굴하는 동안 탄층 및 주변 지층이 분쇄되는 동안 석탄층에 잡혀 있는 메탄이 배출되며, 일부는 채굴한 석탄을 파쇄, 가공하는 동안 배출된다. 또한 채굴이 중단된 이후에도 폐쇄탄광에서는 미량의 메탄이 지속적으로 배출되지만, 그 양은 극히 미미한 것으로 알려져 있다.

## 2. 보고 대상 배출시설

석탄채굴 및 처리활동에서의 탈루성 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

### ① 지하탄광

### ② 처리 및 저장에 의한 탈루배출 시설

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2\text{O}$
산정방법론	-	Tier 1, 2, 3	-

#### 4. 배출량 산정 방법론

##### ① Tier 1~2

$$E_{total} = E_{mining} + E_{postmining}$$

$E_{total}$  : 석탄채굴에 따른 온실가스 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$E_{mining}$  : 석탄채굴 과정에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$E_{postmining}$  : 석탄채굴 후 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$$E_{mining} = Q_{coal\ P} \times EF_{mining} \times D_{CH_4}$$

$E_{mining}$  : 석탄 채굴 시 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$Q_{coal,P}$  : 연간 석탄 생산량(ton)

$EF_{mining}$  : 석탄 채굴 시 온실가스(CH<sub>4</sub>) 배출계수(m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ton-생산량)

$D_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub>의 밀도(20℃, 1기압에서 0.6669×10<sup>-3</sup> ton/m<sup>3</sup>)

$$E_{postmining} = Q_{coal\ P} \times EF_{postmining} \times D_{CH_4}$$

$E_{postmining}$  : 석탄 채굴 후 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$Q_{coal,P}$  : 연간 석탄 생산량(ton)

$EF_{postmining}$  : 석탄 채굴 후 온실가스(CH<sub>4</sub>) 배출계수(m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ton-생산량)

$D_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub>의 밀도(20℃, 1기압에서 0.6669×10<sup>-3</sup> ton/m<sup>3</sup>)

##### ② Tier 3

탄광에서 발생하는 누출가스의 유량 및 가스 중 CH<sub>4</sub> 농도를 측정하는 경우에 적용한다.

$$E_{CH_4,i} = V_i \times C_i \times D_{CH_4} \times Time_i$$

$E_{CH_4,i}$  : 탄광의 시설 i로부터 누출되는 CH<sub>4</sub>의 양(tCH<sub>4</sub>)

$V_i$  : 탄광의 시설 i로부터 누출되는 가스 유량(m<sup>3</sup>/min)

$C_i$  : 누출시설 i의 배출가스 중 CH<sub>4</sub>의 부피분율(0에서 1사이의 소수)

$D_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub>의 밀도(20℃, 1기압에서 0.6669×10<sup>-3</sup> ton/m<sup>3</sup>)

$Time_i$  : 탄광의 CH<sub>4</sub> 누출시설 i의 연간 가동시간(min)

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도 ±7.5% 이내의 석탄 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도 ±5.0% 이내의 석탄 생산량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도 ±2.5% 이내의 탄광에서의 누출가스 유량 및 가스 중 CH<sub>4</sub> 농도 등 측정 자료를 사용한다.

### ② 배출계수

### *Tier 1*

배출계수는 IPCC에서 제공되는 지하탄광 기본 배출계수를 사용한다.

<표-45> 지하 탄광에 대한 CH<sub>4</sub> 배출계수

탄광의 평균 채굴 깊이(A)	지하탄광에 대한 CH <sub>4</sub> 배출계수 (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton-석탄 생산량)	
	채굴 시	채굴 후
A < 200m	10	0.9
200m ≤ A ≤ 400m	18	2.5
400m < A	25	4.0

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

제16조 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 활용한다.

## 37. 석유 산업에서의 탈루 배출

IPCC 분류체계  
1B2a

### 1. 배출활동 개요

석유산업은 석유를 탐사·개발 및 채굴·수송·정제·판매하는 산업으로 석유를 채취하여 최종 소비자에게 공급하기까지 아래와 같이 크게 4단계로 구분한다. 우리나라는 원유생산 단계 없이 원유를 직접 수입하여 정제, 판매하고 있다.

○ 원유생산: 석유를 발견하기 위한 탐광시추·유전개발·석유채취 등

○ 원유정제: 원유를 휘발유·등유 등으로 분류하는 일

○ 제품판매: 공장도판매·도매·소매를 포함하며, 제품을 정유공장에서 대수요처·주유소 등에 공급하는 과정

○ 원유 및 제품 수송: 원유생산과 석유정제, 또는 석유정제와 제품판매를 연결시키는 과정

일반적으로 원유가 매장되어 있는 유전(Oil Field)에서는 원유와 함께 가스가 산출되며, 산출된 가스에는 미량의 메탄( $\text{CH}_4$ )이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 단, 원유에 함유된 메탄( $\text{CH}_4$ )은 원유생산 및 수송단계에서 대부분 배출되고, 정제활동에 의하여 생산된 석유제품(휘발유, 등유 등)에는 메탄이 함유되어있지 않은 것으로 알려져 있다. 이에 석유 산업에서의 탈루 배출이라 함은 원유를 탐사, 생산, 수송, 처리(정제), 분배하는 과정에서 원유에 함유되어있는 온실가스가 배관 시스템(벨브, 플렌지, 커넥터 등)을 통하여 누출(leak)되거나, 저장시설 등을 통하여 증발배출(원유생산 단계에서의 저장시설인 "Flashing lose"를 의미) 되고, 공정 중에서 발생하는 배기(Venting)가스에서 온실가스가 배출되는 것을 모두 포함한다.

### 2. 보고 대상 배출시설

석유 산업에서의 탈루성 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

① 원유 저장시설

② 원유 입하시설

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	Tier 1, 2, 3	-

### 4. 배출량 산정 방법론

#### ① Tier 1~3

$$E_{total} = E_{refining} + E_{venting}$$

$E_{total}$  : 석유 산업에서의 온실가스(CH<sub>4</sub>) 탈루 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$E_{refining}$  : 정제 과정에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$E_{venting}$  : Venting 과정에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$$E_{refining} = A \times EF$$

$E_{refining}$  : 원유 정제활동의 탈루성 온실가스 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$A$  : 원유 정제량(m<sup>3</sup>)

$EF$  : 원유 정제활동의 탈루성 온실가스(CH<sub>4</sub>)의 배출계수(tCH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>)

$$E_{venting} = \sum Q_v \times C_v \times D_{CHA}$$

$E_{venting}$  : Venting 과정에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$Q_v$  : Venting 가스량(m<sup>3</sup>, 15°C, 1기압)

$C_v$  : Venting 가스 중 CH<sub>4</sub>의 부피분율(0에서 1사이의 소수)



$D_{CH_4}$  : CH<sub>4</sub>의 밀도(15℃, 1기압에서  $0.6785 \times 10^{-3}$  ton/m<sup>3</sup>)

## 5. 매개변수별 관리 기준

석유 산업에서 발생하는 탈루성 온실가스 배출량 산정에 대하여 적용한다.

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 원유 정제량 및 Venting 가스량 자료를 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 원유 정제량 및 Venting 가스량 자료를 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 원유 정제량 및 Venting 가스량 자료를 사용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 1*

IPCC에서 제공하는 기본 배출계수를 적용한다. 배출량을 보수적으로 산정하기 위하여 최대값을 적용한다.

<표-46> 석유 산업의 탈루성 온실가스 배출계수

CH <sub>4</sub> 배출계수	단위
$4.1 \times 10^{-5}$	ton/m <sup>3</sup> 원유 정제량

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다.

### *Tier 3*

제16조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용한다.

## 1. 배출활동 개요

천연가스 산업은 크게 천연가스를 탐사하는 단계, 생산단계(처리 시설까지 연결지점 및 전송 시스템과의 연결지점까지를 포함), 처리단계(수분 및 황 제거 등), 공급(판매) 지점으로 이송 및 저장하는 단계, 천연가스를 공급 및 판매하는 분배단계로 구분할 수 있다.

천연가스 산업에서의 탈루 배출이라 함은 천연가스를 탐사, 생산, 처리, 전송 및 저장, 분배하는 과정에서 천연가스에 함유된 온실가스(메탄)가 배관 시스템(벨브, 플렌지, 커넥터 등)을 통하여 누출되거나, 저장시설에서의 손실, 천연가스 탐사 및 생산단계에서 주로 발생하는 파이프라인 파손 및 유정 파열(well blowouts)등에 따른 기타 venting되는 것과 공정 중 발생하는 가스의 flaring에 따른 온실가스 배출을 모두 포함한다.

## 2. 보고 대상 배출시설

천연가스 산업에서의 탈루성 보고대상 배출시설은 아래와 같다.

## ① 저장시설

## ② 공급시설

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	-	Tier 1, 2, 3	-

## 4. 배출량 산정 방법론

## ① Tier 1~2

$$E_{total} = E_{저장} + E_{공급} + E_{venting}$$

$E_{total}$  : 천연가스 산업에서의 온실가스( $CH_4$ ) 탈루 배출량( $tCH_4$ )

$E_{저장}$  : 저장 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$E_{공급}$  : 공급 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$E_{venting}$  : Venting 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$$E_{저장} = Q_{저장} \times EF_{저장} \times 10^{-3}$$

$E_{저장}$  : 저장 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$Q_{저장}$  : 천연가스 저장량( $m^3$ ,  $15^\circ C$ , 1기압)

$EF_{저장}$  : 천연가스 저장량에 따른 온실가스( $CH_4$ ) 배출계수( $Gg/10^6 m^3$ )

$$E_{공급} = Q_{공급} \times EF_{공급} \times 10^{-3}$$

$E_{공급}$  : 공급 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$Q_{공급}$  : 천연가스 공급량( $m^3$ ,  $15^\circ C$ , 1기압)

$EF_{공급}$  : 천연가스 공급량에 따른 온실가스( $CH_4$ ) 배출계수( $Gg/10^6 m^3$ )

$$E_{venting} = \sum Q_v \times C_v \times D_{CH_4}$$

$E_{venting}$  : Venting 과정에서 배출되는  $CH_4$  배출량( $tCH_4$ )

$Q_v$  : 천연가스 Venting량( $m^3$ ,  $15^\circ C$ , 1기압)

$C_v$  : 천연가스 중  $CH_4$ 의 부피분율(0에서 1사이의 소수)

$D_{CH_4}$  :  $CH_4$ 의 밀도( $15^\circ C$ , 1기압에서  $0.6785 \times 10^{-3} \text{ ton}/m^3$ )

## ② Tier 3

$$E_i = \sum (N_i \times EF_i \times C_i \times T_i)$$

$$EF_i = a \times C^b$$

$E_i$  : 천연가스 산업의 온실가스 탈루 배출량(tCH<sub>4</sub>)

$N_i$  : 배관시설 장치종류(i)의 개수

$C_i$  : 대상장치(i) 내 메탄의 부피 분율(0에서 1사이의 소수)

$EF_i$  : 장치(i)별 배출계수 상관관계식(kg/hr-source)

$T_i$  : 대상 장치(i)의 연간 가동시간(hr)

$C$  : 대상장치(i)에서의 메탄 누출농도(ppmv)

$a$  : 상관관계식 상수

$b$  : 상관관계식 지수

## 5. 매개변수별 관리 기준

### ① 활동자료

#### *Tier 1*

측정불확도  $\pm 7.5\%$  이내의 천연가스 양을 자료로 사용한다.

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 천연가스 양을 자료로 사용한다.

#### *Tier 3*

측정불확도  $\pm 2.5\%$  이내의 대상장치 내 메탄(CH<sub>4</sub>) 누출 농도 자료를 사용한다.

## ② 배출계수

### *Tier 1*

천연가스 산업의 탈루성 온실가스 배출량 산정을 위하여 IPCC에서 제공하는 기본 배출계수를 적용한다.

공급 부문에서의 계수는 배관망에서 관리되는 압력에 따라 이송(0.8 MPa 이상) 및 분배(0.8 MPa 미만)로 나뉘며 그 값은 다음과 같다.

<표-47> 천연가스 산업부문별 기본 배출계수

CH <sub>4</sub> 배출계수	단위
$2.5 \times 10^{-5}$	Gg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> 가스 저장량
$2.7 \times 10^{-4}$	Gg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> 가스 이송량
$1.1 \times 10^{-3}$	Gg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> 가스 분배량

\* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인(선진국 수준)

### *Tier 2*

제15조제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 활용한다. 단, 센터에서 별도의 계수를 공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

### *Tier 3*

배출계수 상관관계식을 적용한다.

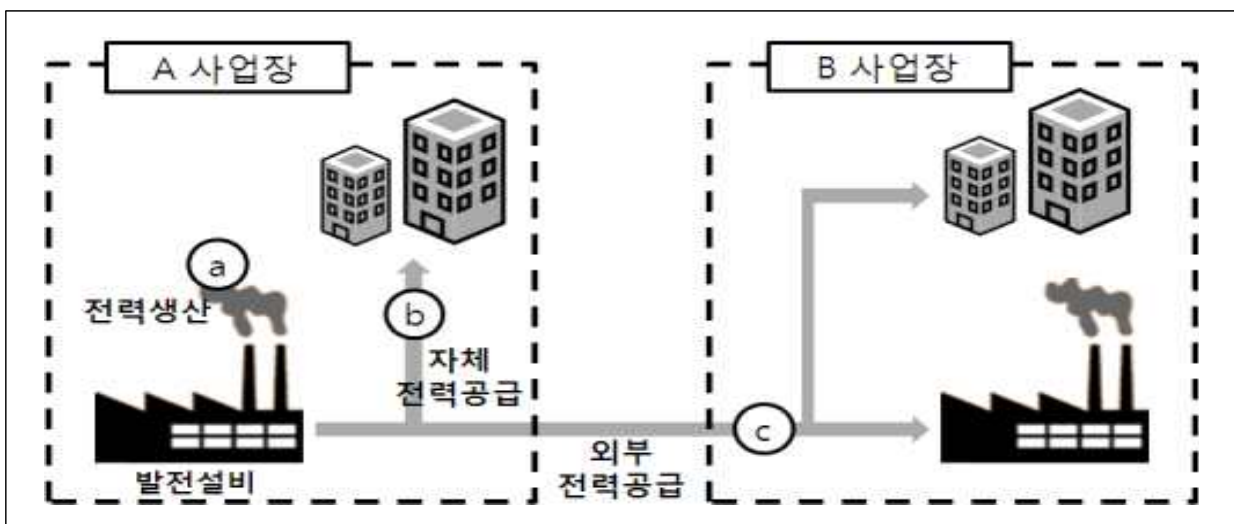
<표-48> 석유정제업종을 제외한 모든 업종에 대한 배출계수 상관관계식

장치종류	사용	상관관계식 (kg/hr-source)	영점배출량 (kg/hr-source)
밸브	기체	$1.87 \times 10^{-6} C^{0.873}$	$6.56 \times 10^{-7}$
	경질유	$6.41 \times 10^{-6} C^{0.797}$	$4.85 \times 10^{-7}$
펌프봉인	경질유	$1.90 \times 10^{-5} C^{0.824}$	$7.49 \times 10^{-6}$
커넥터(플랜지포함)	기체	$3.05 \times 10^{-6} C^{0.885}$	$6.12 \times 10^{-7}$

- 펌프봉인부위 배출계수는 압축기봉인, 압력안전밸브, 교반기봉인, 중질유펌프, 개방식라인, 샘플링연결부, 공정배수구의 경우에도 이용할 수 있음
- 검지기의 실제농도(측정농도-배경농도)를 배출계수 상관관계식에 입력하여 해당배출원의 배출계수를 구함
- 검지기의 실제농도가 “0”일 경우 배출계수는 영점배출량을 이용
- 배출계수는 메탄, 에탄올 포함한 유기화합물질을 기준으로 한 값임

## 1. 배출활동 개요

관리업체가 소유 및 통제하는 설비와 사업활동에 의한 전력사용으로 인해 발생하는 간접적 온실가스 배출은 연료연소, 원료사용 등으로 인한 직접적 온실가스 배출과 함께 관리업체의 온실가스 배출량에 포함되어야 한다. 대부분의 관리업체에 있어서 구입전력은 큰 비중을 차지하는 온실가스 배출원 중 하나이며, 동시에 감축목표 달성을 위한 기회요소이기도 하다. 또한 직접적 온실가스 배출뿐만 아니라, 간접적 온실가스 배출을 산정하는 것은 이러한 정보가 향후 온실가스과 관련된 다양한 프로그램에 적용될 수 있기 때문이다. 단, 관리업체의 조직경계 내에 발전설비가 위치하여 생산된 전력을 자체적으로 사용할 경우에는 간접적 온실가스 배출량 산정에서 제외하도록 한다. 이는 발전설비에서 전력 생산으로 인해 배출된 직접적 온실가스가 해당 관리업체의 배출량으로 이미 산정되었기 때문이며, 자체 생산한 전력의 자체 사용에 따른 간접적 온실가스 배출량을 포함할 경우 직접적 온실가스 배출량과 함께 중복산정을 초래하기 때문이다.



<그림-46> 전력 사용에 따른 간접 온실가스 배출경로



- ㉠ : A 사업장 내에 위치한 발전설비에서의 전력생산에 따른 직접 온실가스 배출량(A 사업장의 직접적 온실가스 배출량으로서 보고)
- ㉡ : A 사업장에서 생산한 전력을 A사업장 내에서 자체적으로 공급한 경우 (전력사용에 따른 간접적 온실가스 배출량산정에서 제외)
- ㉢ : A 사업장에서 생산한 전력을 B 사업장에 공급한 경우(B 사업장의 간접적 온실가스 배출량으로서 보고)

## 2. 보고 대상 배출시설

외부에서 공급된 전기 사용에 따른 간접배출량의 산정·보고 범위는 배출시설 단위가 아닌 사업장 단위로 정한다. 다만, 제품생산 용도가 아닌 업무용 건물, 폐기물처리시설, 전력 다소비 시설인 전기로에 대해서는 전기사용량과 이에 따른 간접배출량을 구분하여 산정·보고하여야 한다. 기타 전력량계(법정계량기 및 내부관리용 계량기를 포함한다)가 부착되어 있는 배출시설의 경우 배출시설별로 전기사용량 등을 구분하여 보고할 수 있으며 이 경우 각 배출시설별 전력사용량의 합계는 사업장 단위 총 사용량과 일치하여야 한다.

## 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1	Tier 1	Tier 1

## 4. 배출량 산정방법론

### ① Tier 1

$$GHG\ Emissions = Q \times EF_j$$

*GHG Emissions* : 전력사용에 따른 온실가스(j)별 배출량(tGHG)

*Q* : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

*EF<sub>j</sub>* : 전력 배출계수(tGHG/MWh)

*j* : 배출 온실가스 종류

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료

#### *Tier 2*

전력량계 등 법정계량기로 측정된 사업장별 총량 단위의 전력 사용량을 활용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 2*

전력배출계수는 아래 <표-51>에서 제시된 기준연도에 해당하는 2개년도('07~'08년) 평균값을 적용한다. ~~배출계수는 3년간 고정하여 적용하며,~~ 향후 한국전력거래소에서 제공하는 전력배출계수를 센터에서 확인하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용한다.

<표-49> 국가 고유 전력배출계수('07~'08년 평균)

구 분	CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /MWh)	CH <sub>4</sub> (kgCH <sub>4</sub> /MWh)	N <sub>2</sub> O (kgN <sub>2</sub> O/MWh)
2개년 평균('07~'08)	0.4653	0.0054	0.0027

## 40. 외부에서 공급된 열(스팀)의 사용

IPCC 카테고리

—

### 1. 배출활동 개요

관리업체가 소유 및 통제하는 설비와 사업활동에 의한 열(스팀)사용으로 인해 발생하는 간접적 온실가스 배출은 연료연소, 원료사용 등으로 인한 직접적 온실가스 배출과 함께 관리업체의 온실가스 배출량에 포함되어야 한다. 열(스팀) 사용으로 인해 발생하는 배출량은 열(스팀) 공급자로부터 배출계수를 제공받아 활용하며, 배출계수를 제공받지 못한 경우 관련근거 자료를 제공받아 ‘별표 17’ 또는 ‘별표 18’에 따라 개발하여 활용할 수 있다. 다만 열(스팀)을 생산하여 외부로 공급하는 업체가 자체적으로 열(스팀) 배출계수 및 관련근거를 제공할 수 없는 경우에는 센터가 확인하여 지침에 수록된 열(스팀) 배출계수 등을 활용할 수 있다.

### 2. 보고 대상 배출시설

외부에서 공급된 열(스팀) 사용에 대한 간접배출량의 산정·보고범위는 관리업체 사업장 단위로 정한다.

### 3. 보고 대상 온실가스

구분	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
산정방법론	Tier 1	Tier 1	Tier 1

### 4. 배출량 산정방법론

#### ① Tier 1

$$GHG\ Emissions = Q \times EF_j$$

*GHG Emissions* : 열(스팀)사용에 따른 온실가스(j)별 배출량 (tGHG)

*Q* : 외부에서 공급받은 열(스팀) 사용량(TJ)

*EF<sub>j</sub>* : 열(스팀) 배출계수(tGHG/TJ)

*j* : 배출 온실가스

## 5. 매개변수별 관리기준

### ① 활동자료

#### *Tier 2*

측정불확도  $\pm 5.0\%$  이내의 배출시설별로 사용된 열(스팀) 공급량 또는 사용량 자료를 활용한다.

### ② 배출계수

#### *Tier 2*

열(스팀)을 생산하여 외부로 공급하는 업체가 자체적으로 열(스팀) 배출계수를 제공할 수 없는 경우에 한하여 센터가 확인하여 지침에 수록된 열(스팀) 배출계수를 사용할 수 있다.

<표-67> 열(스팀)배출계수

구 분	시설종류	배출계수	단위
열(스팀) 배출계수	열전용	56,452	kgCO <sub>2</sub> -eq/TJ
	열병합	60,974	kgCO <sub>2</sub> -eq/TJ
	평균	59,685	kgCO <sub>2</sub> -eq/TJ

\* 출처 : 온실가스종합정보센터 홈페이지 정책자료

\*\* 열(스팀) 사용량을 열전용, 열병합으로 구분할 수 없는 경우 평균값을 사용

### *Tier 3*

열(스팀) 공급자가 개발하여 제공한 열(스팀)배출계수를 사용한다.

열(스팀) 공급자가 간접배출계수 또는 이와 관련된 자료를 관리업체에게 제공할 수 없는 경우에는 센터가 확인하여 지침에 수록된 열(스팀)배출계수를 사용할 수 있다.