



제2장 탄소 인벤토리 구축 및 목표 관리제 컨설팅

9. 배출량 산정(3) - 공정배출 -



TABLE OF CONTENTS



9. 배출활동별 배출량 산정 방법론 및 배출량 산정(3)

9F. 공정배출의 이해

9G. 업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.1.1 대상설비 기초정보 파악

9G.1.2 배출원 확인

9G.1.3 배출량 산정

9G.1.4 Tier 및 매개변수 확정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정

* 공정별 하부단계 동일





한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



9F. 공정배출의 이해



9G .업종별 공정배출 산정방법론



학습과제



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



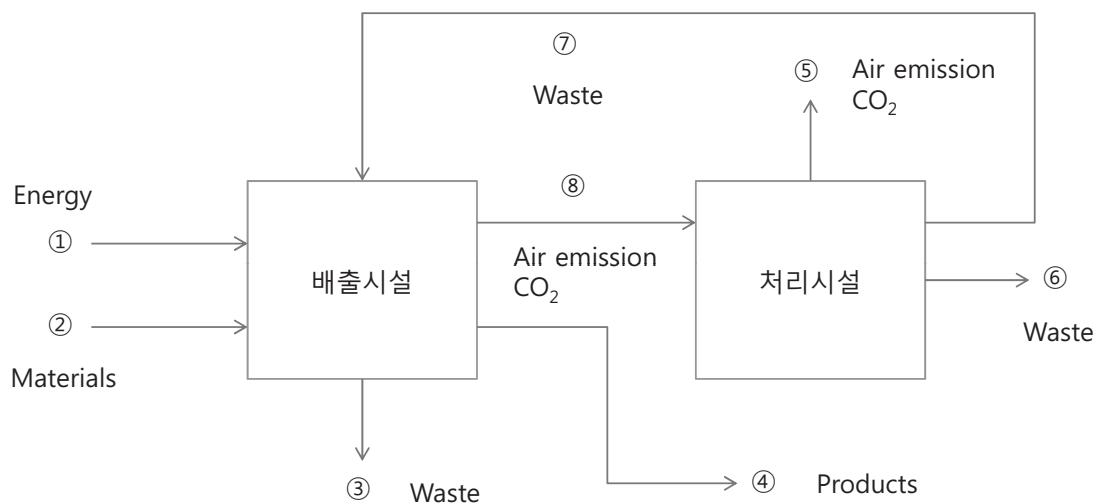
9F. 공정배출의 이해



- 산업을 이해해야 한다.
- 공정을 이해해야 한다.
- 물질수지(Mass balance)를 이해하고 정리할 수 있어야 한다.
- 화학에 대한 기본 지식이 있어야 한다.

9F.공정배출의 이해 - 물질 에너지 수지

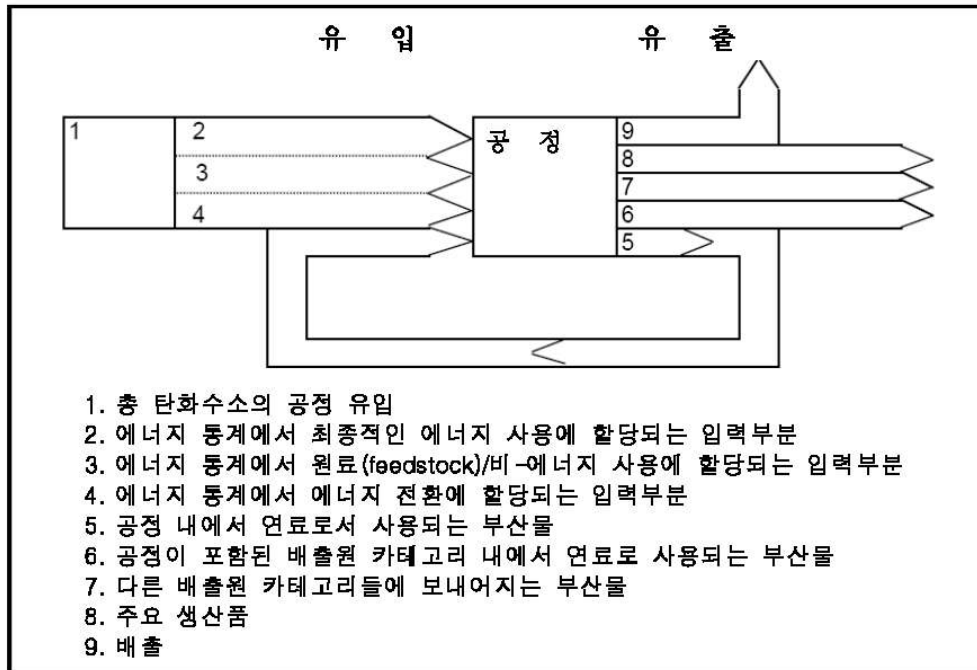
- 온실가스 배출량 산정은 물질 에너지 수지를 고려하여 산정하는 것이다.



$$\text{CO}_2 \text{ 배출량(5)} = ① + ② - ③ - ④ - ⑥$$

- IPCC가이드라인 제3권 산업공정 및 제품사용

<탄화수소 원료를 사용하는 산업의 물질수지>



- 고정연소와 이동연소는?
 - 에너지를 기준으로 한 Carbon 함유 물질 수지
 - 연료는 모두 Carbon을 함유하고 있음
 - $EF_{CO_2} = C_i / 100 * D_i / EC_i * 44/12$
 - EF_{CO_2} : 연료의 CO_2 배출계수($kgCO_2/GJ$)
 - C_i : 연료의 탄소함량(%)
 - D_i : 연료의 밀도($kg연료/kl연료$)
 - EC_i : 연료의 열량계수(GJ/kl)
- 공정배출은?
 - Carbon 함유 물질 수지와 Non- CO_2 GHG 물질 수지
 - Carbon을 함유하고 있는 물질의 CO_2 변환 여부
 - 예) $CaCO_3$ 는 열을 받으면 CO_2 를 발생시키고 CaO 로 변환됨
 - Non- CO_2 GHG 물질의 사용과 발생 여부
 - 예) 반도체 공정은 세정을 위해 PFCs 가스를 사용함

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

* 가정 : 탄산염(i)의 분자식 = $X_y(CO_3)_z$

- EF_i : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO_2 배출계수(tCO_2/t -탄산염원료)
- Mw_{CO_2} : CO_2 의 분자량 (44g/mol)
- Mw_x : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol)
- $Mw_{CO_3^{-2}}$: CO_3^{-2} 의 분자량 (60g/mol)
- Y: X의 화학양론계수(알카리토금속류 "1", 알카리금속류 "2")
- Z: CO_3^{-2} 의 화학양론계수(1)

9F. 공정배출의 이해 - 화공양론

- 화학양론계수(stoichiometric coefficients)



분자식 앞에 나오는 계수로서 위의 화학방정식을 해석하면 2mol의 고체 나트륨(Na)원자가 2mol의 액체 물(H_2O) 분자와 반응하여 2mol의 수산화나트륨(NaOH) 수용액과 1mol의 수소(H_2)기체가 생성된다는 것을 의미한다. 즉 각 화학양론계수는 물질들의 상대적 양(몰 수)을 나타낸다.

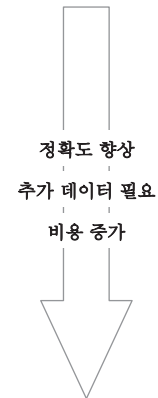
즉, H_2 에 대한 Na의 화학양론계수는 2, NaOH에 대한 Na의 화학양론계수는 1

- 예제)
 - $CaCO_3 + \text{Heat} \rightarrow CaO + CO_2$ 화학식에서 CO_2 에 대한 $CaCO_3$ 의 화학양론계수는?
 - $CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{Heat} \rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2$ 화학식에서 CO_2 에 대한 $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ 의 화학양론계수는? Ca^{+2} 의 CO_2 에 대한 화학양론계수는? CO_3^{2-} 의 CO_2 에 대한 화학양론계수는?

- 공정 배출량 산정 방법 선택 기준

방법론	설 명
Tier 1	공정의 설계치 및 공인배출계수(Default값)에 의한 배출량 산정 방법
Tier 2	물질수지(Mass Balance)에 의한 배출량 산정 방법
Tier 3	측정에 의한 배출량 산정 방법

공인배출계수법	Tier 1
설계배출계수법	
탄소수지법	Tier 2
화학양론법	
측정배출계수법	Tier 3
주기측정법	
연속측정법*	



*연속측정법은 대부분의 대기 배출량 측정에 광범위하게 적용되지만 신뢰도 높은 온실가스 배출량 측정에 직접적으로 적용되지 않을 수 있다.




한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



9F. 공정배출의 이해



9G. 업종별 공정배출 산정방법론



학습과제



ecosian
Your Green Partner



III 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



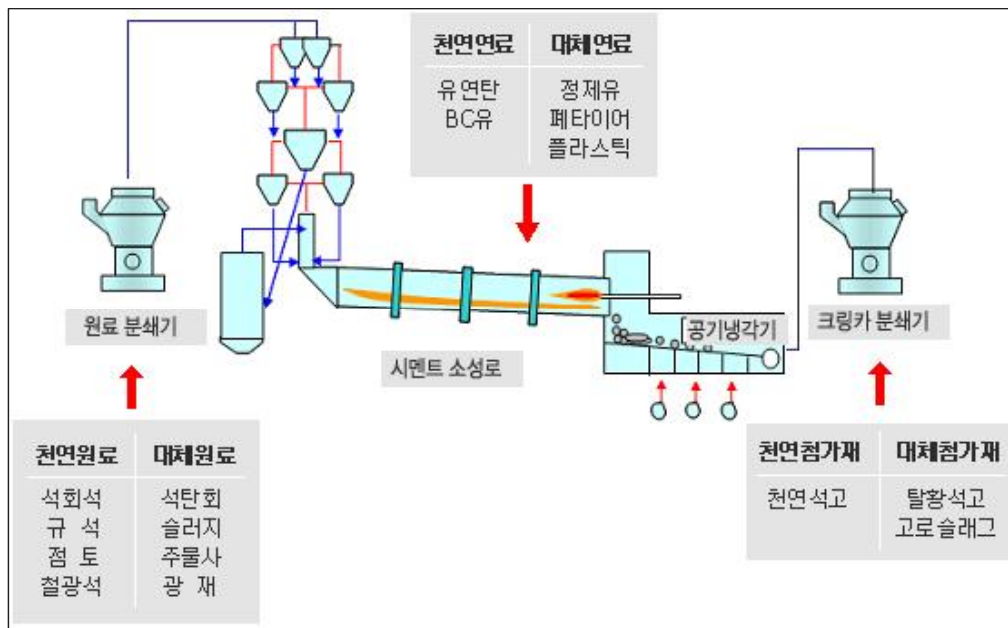
9G.1. 시멘트 생산 공정 - 대상설비 기초정보 파악

시멘트 생산 개요

- 시멘트는 주로 석회질 원료와 점토질 원료를 적당한 비율로 혼합하여(규산질 원료와 산화철 원료를 일부 첨가) 미분쇄한 후 약 1,450°C의 고온에서 소성하여 얻어지는 클링커에 약간의 석고(응결조절제)를 가하여 미분쇄하여 만든 제품이다. 시멘트의 주성분은 석회(CaO), 실리카(SiO₂), 알루미나(Al₂O₃) 및 산화철(Fe₂O₃) 등이다.

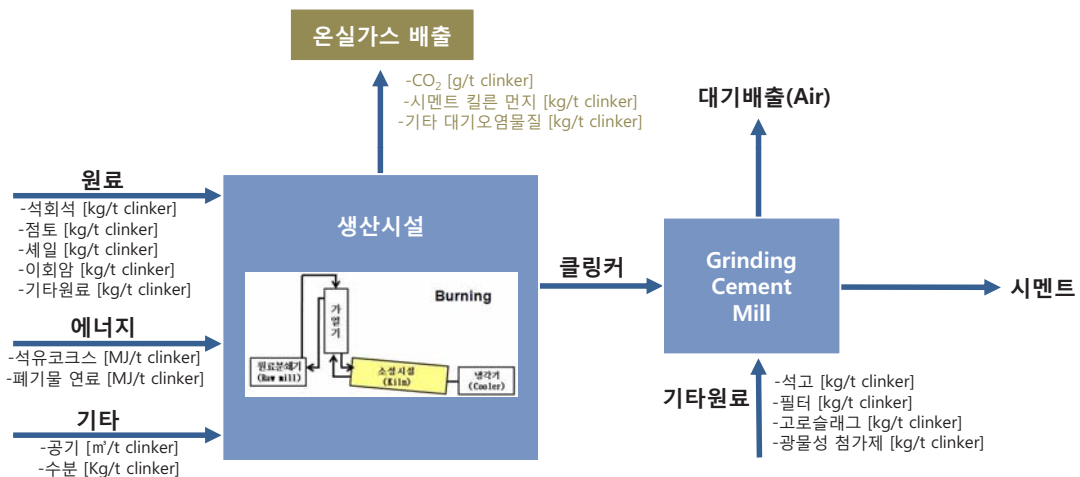
시멘트 제조 공정 개요





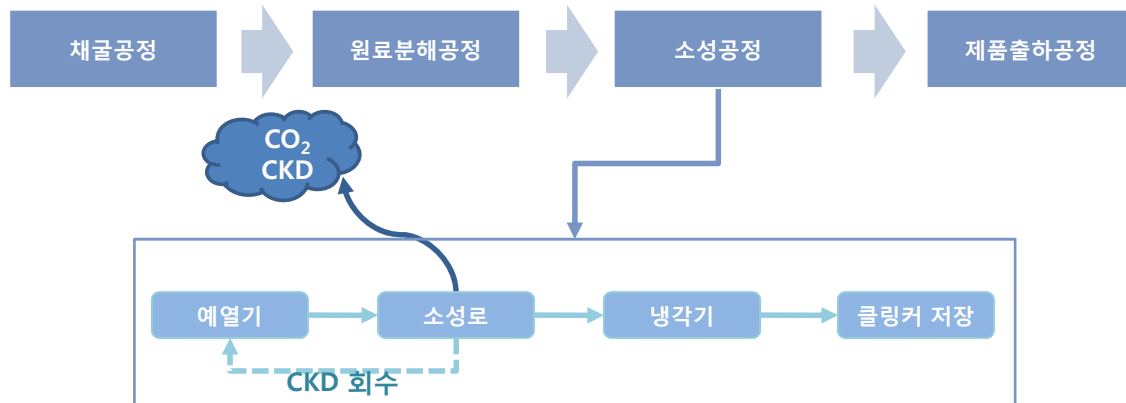
물질 에너지 수지

- 석회석, 점토, 세일, 이회암 등의 원료와 기타원료, 석유 코크스 등의 에너지가 투입
- 클링커와 시멘트 제품, 시멘트 킬른 먼지와 같은 부산물을 산출
- 온실가스는 CO₂를 배출

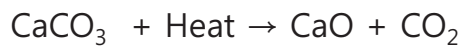


소성로(kiln)

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



- 시멘트 공정에서의 온실가스 배출원은 클링커의 제조공정인 소성 공정에서 탄산칼슘의 탈탄산 반응에 의하여 이산화탄소가 배출
- 비산먼지(Cement Kiln Dust)도 온실가스 배출과 연관이 있음. 회수시스템에 의해 다량 회수되지만 일부는 회수되지 못하고 배출



보고대상 온실가스

- 시멘트 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	-	-

배출량 산정식

① Tier 1~2

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

E_i : 클링커(i) 생산에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

EF_i : 클링커(i) 생산량 당 CO₂ 배출계수 (tCO₂/t-clinker)

EF_{toc} : 투입원료 중(탄산염, 제강 슬래그 등) 중 탄산염 성분이 아닌 기타 탄소 성분에 기인하는 CO₂ 배출계수

(기본값으로 0.010tCO₂/t-clinker를 적용한다)

Q_i : 클링커(i) 생산량(ton)

Q_{CKD} : 시멘트 킬른먼지(CKD) 생산량(ton)

F_{CKD} : 시멘트 킬른먼지(CKD)의 하소율(%)

배출량 산정식

② Tier 3

㉠ Tier 3A

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

E_i : 클링커(i) 생산에 따른 CO₂ 배출량 (tCO₂)

Q_i : 클링커(i) 생산량(ton)

EF_i : 클링커(i) 생산량 당 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-clinker)

Q_{CKD} : 시멘트 킬른먼지(CKD) 생산량(ton)

EF_{CKD} : 시멘트 킬른먼지(CKD) 배출계수(tCO₂/t-CKD)

Q_{tc} : 원료 투입량(ton)

EF_{tc} : 투입연료(탄산염, 제강슬래그 등) 중 탄산염 성분이 아닌 기타 탄소 성분에 기인하는 CO₂ 배출계수

(기본값으로 0.0073tCO₂/t-원료를 적용한다)

배출량 산정식

㉡ Tier 3B

$$E_i = (Q_i \times EF_i \times F_i) - (Q_{CKD} \times EF_{CKD} \times (1 - F_{CKD})) + (Q_{tc} \times EF_{tc})$$

E_i : 킬른에서 탄산염 원료(i)의 소성으로 인한 CO₂ 배출량 (tCO₂)

Q_i : 킬른에 투입된 순수 탄산염(i)의 소비량(ton)

EF_i : 순수 탄산염 원료(i)의 소성에 따른 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-탄산염)

F_i : 킬른에서의 순수 탄산염(i)의 하소율(%)

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

EF_{CKD} : 킬른에서 유실된 시멘트 킬른먼지(CKD)의 기본배출계수

F_{CKD} : 킬른에서 유실된 시멘트 킬른먼지(CKD)의 하소율(%)

Q_{tc} : 원료 투입량(ton)

EF_{tc} : 투입원료(탄산염, 제강슬래그 등)중 탄산염 성분이 아닌 기타 탄소성분에 기인하는 CO₂ 배출계수

(기본값으로 0.0073tCO₂/t-원료를 적용한다)

활동자료(Q) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	클링커 생산량(Q)	클링커 생산량(Q)	클링커 생산량 및 원료투입량 순수 탄산염 사용량(Q)
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

구분	tCO ₂ /t-clinker
클링커 생산량 당 CO ₂ 배출계수	0.510

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

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

F_{CaO} : 생산된 클링커(i) 중 CaO 함량 (%)
 F_{MgO} : 생산된 클링커(i) 중 MgO 함량 (%)

배출계수(EF) 관리기준

③ Tier 3

- Tier 3A: 사업자가 온실가스에너지 목표관리제 지침(이하 '지침')제47조 규정에 따라 클링커의 CaO 및 MgO 성분을 측정 분석하여 아래식에 따라 배출계수(EF_i)를 개발하여 활용한다. CaO 및 MgO 성분은 산업계 최적 관행에 따라(best practice)에 따라 분석할 수 있다.

㉠ 클링커 배출계수(EF_i)

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

EF_i : 클링커(i) 생산량 당 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-clinker)

Cl_{iCaO} : 생산된 클링커(i)에 함유된 CaO 함량(wt%)

Cl_{nCaO} : 생산된 클링커(i)에 함유된 소성되지 않은 CaO 함량(wt%)

(소성되지 않은 CaO는 CaCO₃ 형태로 클링커에 남아 있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 클링커에 있는 CaO를 의미한다)

Cl_{iMgO} : 생산된 클링커(i)에 함유된 MgO 함량(wt%)

Cl_{nMgO} : 생산된 클링커(i)에 함유된 소성되지 않은 MgO 함량(wt%)

(소성되지 않은 MgO는 MgCO₃ 형태로 클링커에 남아 있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 클링커에 있는 MgO를 의미한다)

배출계수(EF_i)
관리기준㉠ 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) 생산량 당 CO_2 배출계수(tCO_2/t -clinker) CKD_{CaO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 CaO 함량(wt%) CKD_{nCaO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 소성되지 않은 CaO 함량(wt%)
(소성되지 않은 CaO는 $CaCO_3$ 형태로 CKD에 남아 있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 CaO를 의미한다) CKD_{MgO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 MgO 함량(wt%) CKD_{nMgO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 소성되지 않은 MgO 함량(wt%)
(소성되지 않은 MgO는 $MgCO_3$ 형태로 CKD에 남아 있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 MgO를 의미한다)배출계수(EF_i)
관리기준- **Tier 3B**: 사업자가 지침 제47조 규정에 따라 원료 및 부원료의 성분을 분석하여 아래 식에 따라 순수 탄산염(i) 성분에 대한 CO_2 배출계수를 개발하여 사용한다. 순수 탄산염(i)의 분자식이 $X_y(CO_3)_z$ 으로 구성될 경우, 배출계수는 화학양론에 따라 결정한다.

$$EF_i = \frac{M w_{CO_2}}{(Y \times M w_X + Z \times M w_{CO_3}^{-2})}$$

 EF_i : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO_2 배출계수(tCO_2/t -탄산염원료) Mw_{CO_2} : CO_2 의 분자량 (44g/mol) Mw_X : X(알칼리 금속, 혹은 알칼리 토금속)의 분자량(g/mol) $Mw_{CO_3}^{-2}$: CO_3^{-2} 의 분자량 (60g/mol)

Y: X의 화학양론계수(알칼리토금속류 "1", 알칼리금속류 "2")

Z: CO_3^{-2} 의 화학양론계수[순수 탄산염 성분에 따른 CO_2 배출계수]

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO_2/t 탄산염)
$CaCO_3$	석회석	0.4397 ($tCO_2/tCaCO_3$)
$MgCO_3$	마그네사이트	0.5220 ($tCO_2/tMgCO_3$)
$CaMg \cdot (CO_3)_2$	백운석	0.4773 ($tCO_2/tCaMg \cdot (CO_3)_2$)
C	탄소	3.6640 (tCO_2/tC)

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수(EF) 관리기준

㉠ 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) 생산량 당 CO_2 배출계수($tCO_2/t\text{-clinker}$)

CKD_{CaO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 CaO 함량(wt%)

CKD_{nCaO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 소성되지 않은 CaO 함량(wt%)
(소성되지 않은 CaO는 $CaCO_3$ 형태로 CKD에 남아 있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 CaO를 의미한다)

CKD_{MgO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 MgO 함량(wt%)

CKD_{nMgO} : 킬른에 재활용되지 않는 CKD에 함유된 소성되지 않은 MgO 함량(wt%)
(소성되지 않은 MgO는 $MgCO_3$ 형태로 CKD에 남아 있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 CKD에 있는 MgO를 의미한다)

㉡ Tier 4

- 연속측정방식(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



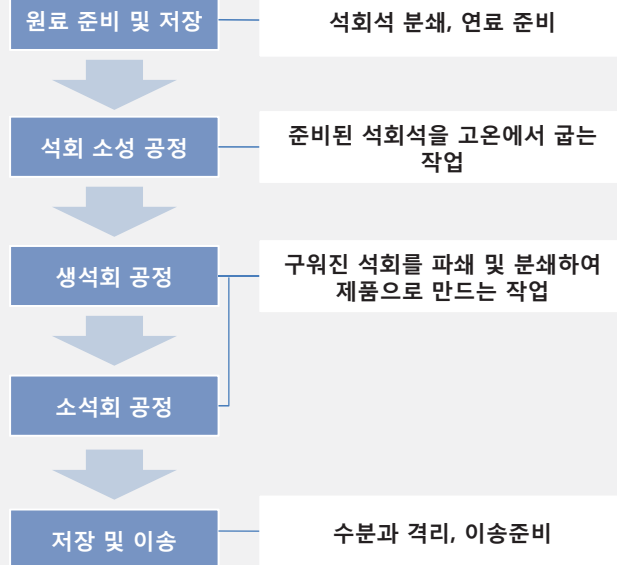
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

9G.2. 석회 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

석회 생산 개요

- 석회석은 금속(알루미늄, 강철, 구리 등) 제련, 환경(배연탈황, 연수화, pH 조절, 폐기물 처리 등), 건설(지반 안정화, 아스팔트 첨가물 등) 등에 사용
- 원료로 석회석을 주로 사용하거나 Dolomite 또는 Dolomite Limestone(석회석에 44% 이상의 탄산마그네슘이 포함된 것)을 사용하여 소성로(kiln)에서 900~1,500°C에서 석회를 생산

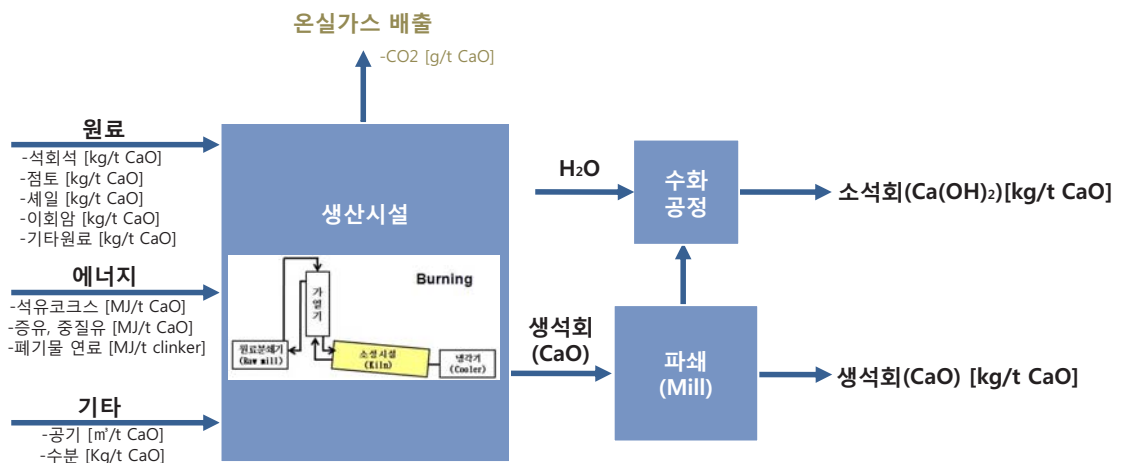
석회 생산공정 개요



9G.2. 석회 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

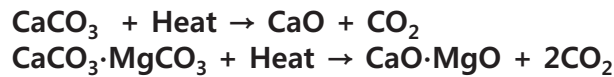
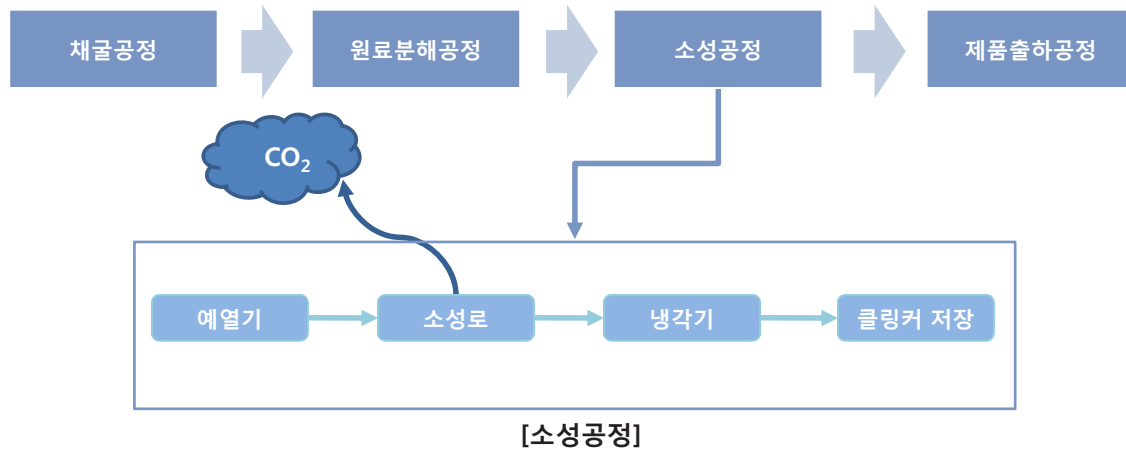
물질 에너지 수지

- 석회석, 점토, 세일, 이회암 등의 원료와 기타원료, 석유 코크스 등의 에너지가 투입
- 생석회와 생석회를 통해 소석회를 산출
- 온실가스는 CO₂를 배출

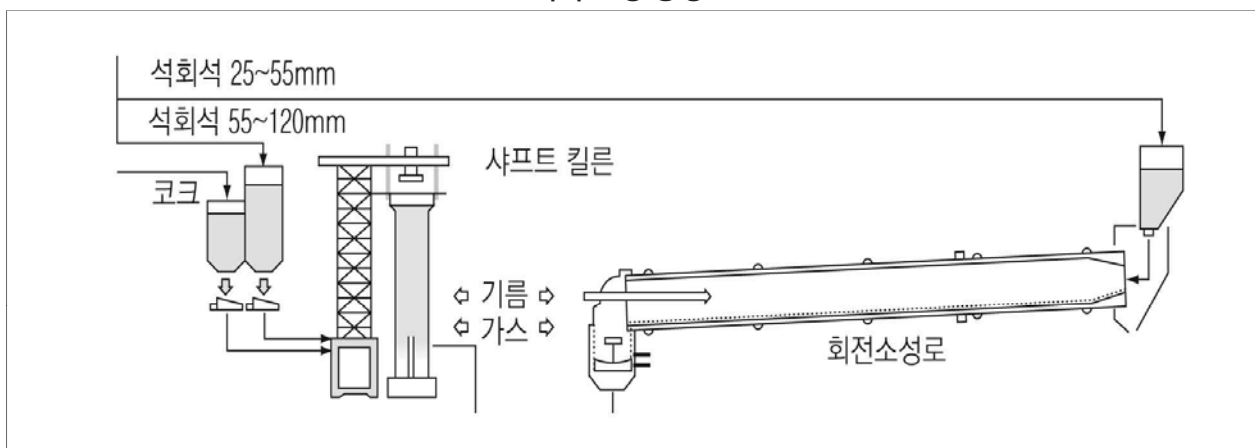


소성로(kiln)

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



<석회 소성 공정도>



[킬른 내 3단계의 열전달 과정]

- 예열 구역 : 석회석의 온도가 소성 수구역을 지난 가스에 의해 800°C로 상승
- 소성 구역 : 연료는 예열된 공기와 연소하여 900°C 이상에서 석회석(CaCO_3)을 생석회(CaO)와 CO_2 로 분해
- 냉각 구역 : 소성지역을 지난 생석회를 냉각용 공기로 냉각

보고대상 온실가스

- 석회 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	-	-

배출량 산정식

① Tier 1~2

$$E_i = Q_i \times EF_i$$

E_i : 석회(i) 생산으로 인한 CO₂ 배출량 (tCO₂)

Q_i : 석회(i) 생산량(ton)

EF_i : 석회(i) 생산량 당 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-석회생산량)

② Tier 3

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

E_i : 석회 생산에서 탄산염(i)으로 인한 CO₂ 배출량 (tCO₂)

Q_i : 소성시설에 투입된 순수 탄산염(i) 사용량(ton)

EF_i : 순수탄산염(i)의 하소에 따른 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-순수탄산염)

F_i : 석회 소성시설에 투입된 탄산염(i)의 하소율(%)

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

EF_{LKD} : 석회생산시 유실된 석회킬른먼지(LKD)에 따른 CO₂ 배출계수
(기본값으로 '0.440tCO₂/t-LKD'를 사용한다)

F_{LKD} : 석회킬른먼지(LKD)의 하소율(%)

활동자료(Q) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEMS)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	석회생산량(Q)	석회생산량(Q)	순수 탄산염 사용량(Q) 유실된 석회킬른먼지(Q _{LKD})
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

구분	tCO ₂ /t-생석회
석회 생산량 당 CO ₂ 배출계수	0.750

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

$$EF_i = F_i \times \frac{Mw_{CO_2}}{Mw_{CaO}}$$

F_i : 석회의 순도분율(%)

Mw_{CO_2} : CO₂의 분자량 (=44.01)

Mw_{CaO} : CaO의 분자량 (=56.08)

배출계수(EF) 관리기준

- ③ **Tier 3** : 석회소성시설에 투입되는 원료 및 부원료 성분을 측정·분석하여 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 활용한다.
각 탄산염의 하소율(f) 및 석회킬른먼지의 하소율(F_{LKD})은 사업장 측정값을 활용하며, 측정값이 없을 경우 1.0을 적용한다.

㉠ 순수탄산염(i)의 배출계수(EF_i)

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

•가정 : 탄산염(i)의 분자식 = $X_f(CO_3)_z$

EF_i : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO_2 배출계수(tCO_2/t -탄산염원료)(표-10 참조)

Mw_{CO_2} : CO_2 의 분자량 (44g/mol)

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

$Mw_{CO_3^{2-}}$: CO_3^{2-} 의 분자량 (60g/mol)

Y : X의 화학양론계수(알칼리토금속류 "1", 알칼리금속류 "2")

Z : CO_3^{2-} 의 화학양론계수(1)

<표-10> 순수 탄산염 성분에 따른 CO_2 배출계수

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO_2/t 탄산염)
$CaCO_3$	석회석	0.4397 ($tCO_2/tCaCO_3$)
$MgCO_3$	마그네사이트	0.5220 ($tCO_2/tMgCO_3$)
$CaMg \cdot (CO_3)_2$	백운석	0.4773 ($tCO_2/tCaMg \cdot (CO_3)_2$)
C	탄소	3.6640 (tCO_2/tC)

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수(EF) 관리기준

㉡ 석회생산시 유실된 석회킬른먼지의 배출계수(EF_{LKD})

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

EF_{LKD} : 석회생산시 유실된 석회킬른먼지(CKD)의 배출계수(tCO_2/t -LKD)

LKD_{CaO} : 킬른에 재활용되지 않는 LKD의 CaO 함량(wt%)

LKD_{nCaO} : 킬른에 재활용되지 않는 LKD의 소성되지 않은 CaO 함량(wt%)

(소성되지 않은 CaO는 $CaCO_3$ 형태로 LKD에 남아있는 CaO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 LKD에 있는 CaO를 의미한다.)

LKD_{MgO} : 킬른에 재활용되지 않는 LKD의 MgO 함량(wt%)

LKD_{nMgO} : 킬른에 재활용되지 않는 LKD의 소성되지 않은 MgO 함량(wt%)

(소성되지 않은 MgO는 $MgCO_3$ 형태로 LKD에 남아있는 MgO 및 비탄산염 종류로 킬른에 들어가서 LKD에 있는 MgO를 의미한다.)

④ Tier 4

연속측정방식(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



9G.3. 탄산염 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

1

세라믹 생산 개요

- 세라믹은 인간이 인위적으로 열을 가해서 만든 비금속 무기 재료로, 흔히 요업(窯業) 또는 요업제품으로 표현 한다.
- 세라믹은 흙을 원료로 하는 전통 세라믹의 유리, 시멘트, 도자기, 내화물 등과 최근 신소재로서 그 용도가 다양한 파인 세라믹을 만들 수 있다. 전통 세라믹은 자연 원료를 비교적 간단한 공정을 통하여 제조한 제품인 반면, 파인 세라믹은 정제된 순수한 원료를 사용하여 비교적 복잡하고 잘 제어된 공정을 통하여 얻어진다.

2

비-야금 마그네시아 생산 개요

- 마그네사이트($MgCO_3$)는 마그네시아 생산에 사용되는 주요 원료이며, 마그네시아는 크게 calcined magnesia, deadburned magnesia 및 fused magnesia로 구분된다.
- 마그네시아는 생산 공정에서는 $MgCO_3$ 가 하소되는 과정에서 CO_2 를 배출하며, calcined magnesia 생산 공정에서는 포함된 CO_2 의 96~98%가 배출된다. deadburned magnesia를 생산하기 위해 추가적으로 가열되는 동안 거의 100%의 CO_2 가 배출되며, fused magnesia 생산에서도 거의 100%의 CO_2 가 배출된다.

3

유리 생산 개요

- 유리산업은 용기, 평면(창문) 유리, 섬유 유리 및 특수 유리의 네 가지 주 카테고리로 나눌 수 있다. 상업용 유리의 대부분은 처음 두개 카테고리에 포함되며 소다-석회 유리이다. 이는 이산화규소(SiO_2), 소다(Na_2O) 및 석회(CaO)로 구성되며, 소량의 알루미나(Al_2O_3) 및 기타 알칼리 금속과 알칼리토류 등을 포함한다.
- 용해 공정 중 CO_2 를 배출하는 주요 원료는 석회석(CaCO_3), 백운석($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 및 소다회(Na_2CO_3)이다. 이러한 광물들이 유리 생산에 사용되기 위해 채굴되는 과정에서도 CO_2 가 배출된다. 또 다른 CO_2 배출 유리 원료로는 탄산바륨(BaCO_3), 골회(bone ash), 탄산칼륨(K_2CO_3) 및 탄산스트론튬(SrCO_3)이다.

4

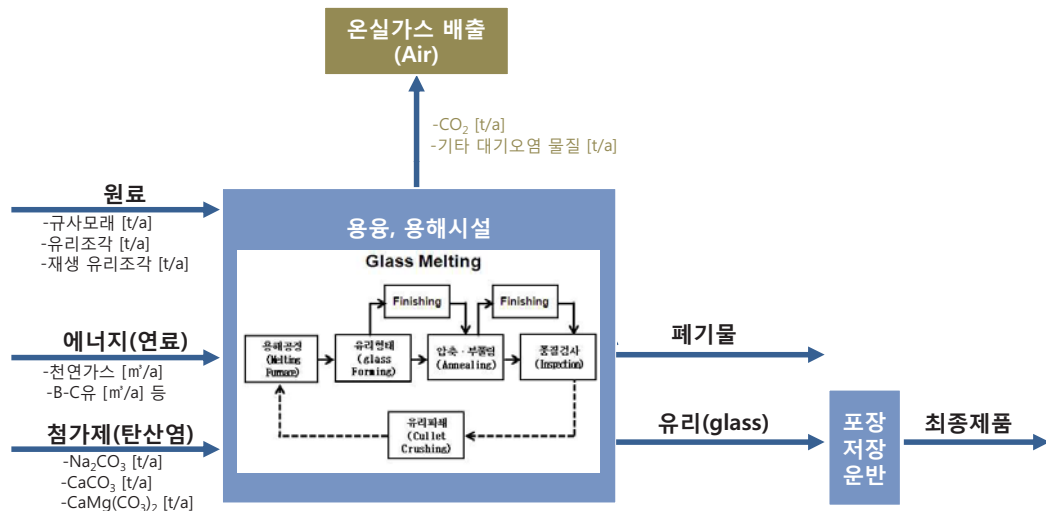
소다회의 기타 공정사용 개요

- 소다회는 유리제조, 비누 및 세제, 탈황, 세라믹, 펄프 및 종이 생산 등 다양한 활동에 사용된다. 소다회 생산 및 소비는 CO_2 를 배출하지만, 생산에서의 배출은 앞서 '소다회 생산' 항목에서 설명되었기 때문에 중복 산정을 피하기 위하여 소다회 소비에 따른 배출만 산정한다. 단, 소다회 소비에 따른 온실가스 배출이 이미 산정되었다면(예 : 유리생산 등) 제외된다.

1

유리 용융·용해시설

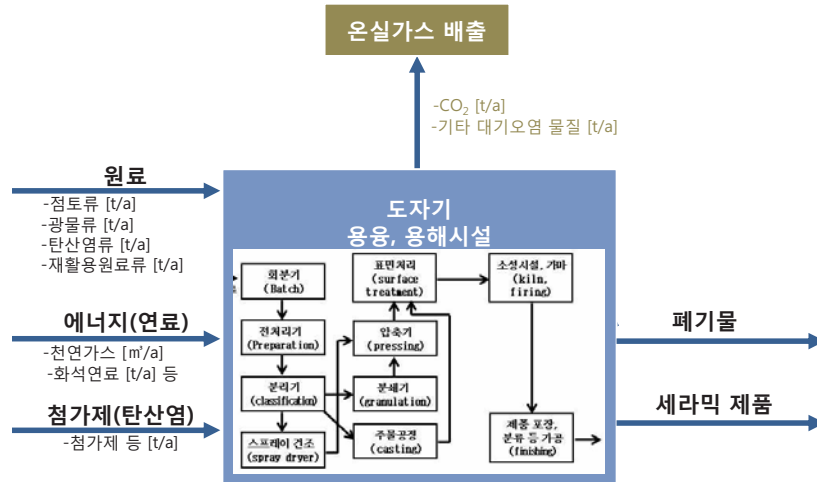
- 규사모래, (재생)유리조각 등의 원료와 천연가스, B-C유 등의 에너지, 그리고 탄산염의 첨가제가 투입
- 첨가제(탄산염)으로 Na_2CO_3 , CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 등이 투입
- 온실가스로 CO_2 를 배출하며, 기타 대기오염물질이 배출



2

도자기·요업제품 용융·용해시설

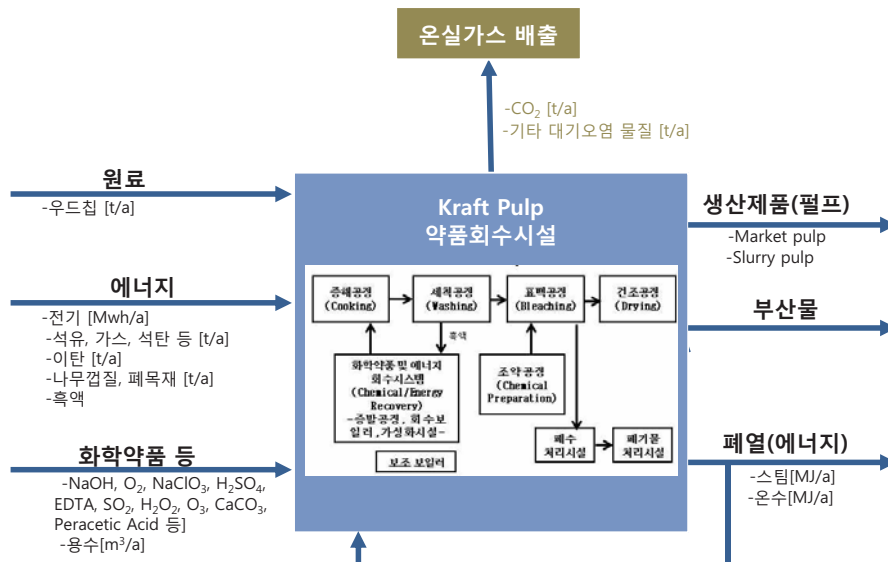
- 점토, 광물, 탄산염, 재활용원료 등의 원료와 천연가스, 화석연료 등의 에너지, 그리고 탄산염의 첨가제가 투입
- 온실가스로 CO₂를 배출하며, 기타 대기오염물질(NOx, 먼지 등)이 배출



3

약품회수시설¹⁾

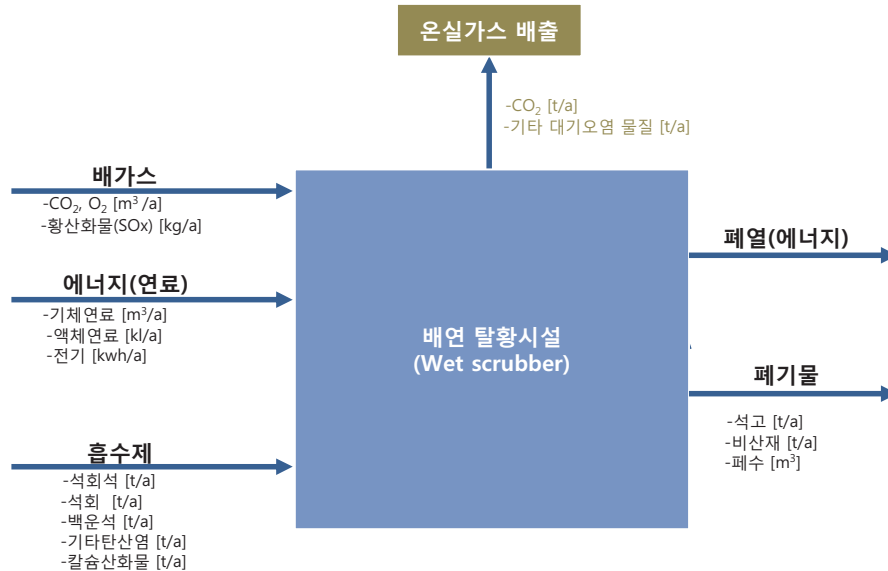
- 원료로 우드칩과 기체, 액체연료, 전기 등의 에너지, 석회석, 석회, 백운석, 기타 탄산염, 칼슘산화물 등의 화학약품이 투입
- 온실가스로 CO₂를 배출하며, 기타 대기오염물질(NOx, 먼지 등)이 배출



4

배연탈황시설 (스크러버)

- CO₂, O₂, 황산화물 등의 배가스와 기체, 액체연료, 전기 등의 에너지, 그리고 석회석, 석회, 백운석, 기타 탄산염, 칼슘산화물 등의 흡수제가 투입
- 온실가스로 CO₂를 배출하며, 기타 대기오염물질(NO_x, 먼지 등)이 배출



9G.3. 탄산염 생산 공정 – 배출원 확인

1

유리 용융·용해시설¹⁾

- CO₂를 배출하는 주요 유리 원료 : 석회석(CaCO₃), 백운석(Ca,Mg(CO₃)₂), 소다회(Na₂CO₃)
 ** 이 경우, 이러한 탄산염 광물이 채굴되는 과정에서도 CO₂ 발생하며, 이를 배출량 산정에 포함시켜야 한다. 단, 수산화물(hydroxide)의 탄산염화를 통해 탄산염 광물이 생성되는 경우에는 순 CO₂ 배출을 초래하지 않으며 배출 산정에 포함되지 말아야 한다.
- CO₂를 배출하는 보조 유리 원료 : 탄산바륨 (BaCO₃), 골회(3CaO₂P₂O₅ + XCaCO₃), 탄산칼륨(K₂CO₃), 탄산스트론튬 (SrCO₃)

2

도자기·요업제품 용융·용해시설 소성시설

- 시멘트 및 석회의 생산공정과 유사하게, 탄산염이 킬른에서 고온으로 가열되어, 산화물과 CO₂를 생산한다. CO₂의 배출은 원료(특히, 점토, 혈암, 석회석, 백운석, 및 위더라이트(witherite))의 소성 및 용제로서의 석회석 사용에서 발생

주1) 용융시설 : 고체상태의 물질을 가열하여 액체상태로 만드는 시설

용해시설 : 기체, 액체, 또는 고체물질을 다른 기체, 액체 또는 고체물질과 혼합시켜, 균일한 상태의 혼합물 즉, 용체를 만드는 시설

3

약품회수시설²⁾

- 화학펄프 제조는 셀룰로오스 섬유를 서로 결합하고 있는 목질소(lignin)를 녹임으로써 나무로부터 셀룰로오스를 추출하는 것이다. 화학적인 펄프제정에 주로 이용되는 네가지 공정은 크라프트(Kraft), 아황산염(Sulfate), Neutral Sulfide semichemical(NSSC), 소다 등이다. 국내에서는 이 중 크라프트 펄프제조 공정을 사용하고 있다.

4

배연탈황시설 (스크러버)

- 배연탈황기술로서 현재 화석연료 연소공정에서 가장 널리 사용화되어 있는 처리방식은 석회를 함유한 액체에 황산화물을 함유한 가스를 통과시켜 제거하는 습식탈황시설
- 대표적인 배연탈황시설의 반응은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 \\ \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3 &\rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \\ \text{CaSO}_3 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{석고}) \\ \text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{석고}) + \text{CO}_2 \\ \text{CaSO}_3 + 1/2\text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$

주2) '펄프·종이 및 종이제품 제조시설' 중 약품회수시설을 말함

보고대상 온실가스

- 탄산염의 기타공정 시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	-	-

배출량 산정식

I. 석회석 및 백운석의 사용 등

① Tier 1

$$E_i = Q_i \times (0.85 \times EF_{fs} + 0.15 \times EF_d)$$

E_i : 탄산염(i)의 기타 공정 사용에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

Q_i : 해당 공정에서의 소비된 탄산염(i)의 질량(ton)

EF_{fs} : 소성과정에서 석회석(fs)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-석회석)

EF_d : 소성과정에서 백운석(d)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-백운석)

배출량 산정식

② Tier 2

$$E_i = (M_{ls} \times EF_{ls}) + (M_d \times EF_d)$$

E_i : 탄산염(i)의 기타 공정 사용에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

M_{ls} : 해당 공정에서의 소비된 석회석(ls)의 질량(ton)

M_d : 해당 공정에서의 소비된 백운석(d)의 질량(ton)

EF_{ls} : 소성과정에서 석회석(ls)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-석회석)

EF_d : 소성과정에서 백운석(d)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-백운석)

③ Tier 3

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

E_i : 탄산염(i)의 소비에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

Q_i : 소비된 탄산염(i)의 질량(ton)

EF_i : 탄산염(i) 사용량 당 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-탄산염)

F_i : 탄산염(i)의 기타 공정사용에서 소성비율(%)

배출량 산정식

II. 유리 생산

① Tier 1, 2

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

E_i : 유리생산으로 인한 CO₂ 배출량(tCO₂)

M_{gi} : 유리(i)의 용해된 유리의 질량(ton)(예, 용기, 섬유유리 등)

EF_i : 유리(i)의 제조의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-유리용해량)

CR_i : 유리(i)의 유리제조공정에서의 컬릿 비율 (%)

② Tier 3

$$E_i = \sum (M_i \times EF_i \times F_i)$$

E_i : 유리생산으로 인한 CO₂ 배출량(tCO₂)

M_i : 유리제조공정에 사용된 탄산염(i) 사용량(ton)

EF_i : 탄산염(i)에 대한 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-탄산염)

F_i : 탄산염(i)의 소성비율(%)

활동자료(Q)
관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

I. 석회석 및 백운석의 사용 등

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	탄산염(i) 사용량 자료	탄산염(i) 성분이 포함된 원료사용량 자료	탄산염(i) 사용량 자료
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

II. 유리 생산

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	컬릿비율(CRI)은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 값이 없으면 활용안함	컬릿비율(CRI)은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고, 값이 없으면 활용안함	탄산염의 소성비율(F)은 측정값이 있을 경우 이를 적용하고 측정값이 없다면 1.0(100% 소성)을 적용
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF)
관리기준
I. 석회석 및 백운석의 사용 등
① Tier 1

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO ₂ /t탄산염)
CaCO ₃	석회석	0.4397 (tCO ₂ /tCaCO ₃)
CaMg. (CO ₃) ₂	백운석	0.4773 (tCO ₂ /tCaMg. (CO ₃) ₂)

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수(탄산염 사용량 당 CO₂ 배출계수)

배출계수(EF) 관리기준

③ Tier 3

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

- 가정 : 탄산염(i)의 분자식 = $X_y(CO_3)_z$

EF_i : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-탄산염원료)

MwCO₂ : CO₂의 분자량 (44g/mol)

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

MwCO₃₋₂ : CO₃-2의 분자량 (60g/mol)

Y : X의 화학양론계수(알칼리토금속류 "1", 알칼리금속류 "2")

Z : CO₃-2의 화학양론계수

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO ₂ /t탄산염)
CaCO ₃	석회석	0.4397 (tCO ₂ /tCaCO ₃)
MgCO ₃	마그네사이트	0.5220 (tCO ₂ /tMgCO ₃)
CaMg. (CO ₃) ₂	백운석	0.4773 (tCO ₂ /tCaMg. (CO ₃) ₂)
FeCO ₃	능철광	0.3799 (tCO ₂ /tFeCO ₃)
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	철백운석	0.4082 ~ 0.4757 (tCO ₂ /t철백운석)
MnCO ₃	망간광	0.3827 (tCO ₂ /tMnCO ₃)
Na ₂ CO ₃	소다회	0.4149 (tCO ₂ /tNa ₂ CO ₃)
C	탄소	3.6640 (tCO ₂ /tC)

순수 탄산염 성분에 따른 CO₂ 기본 배출계수

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

** 위 표는 100% 소성을 가정한 CO₂의 배출비율을 나타낸다.

배출계수(EF) 관리기준

II. 유리 생산

- ① Tier 1 : 아래 표에 제시된 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용

유리제품종류(i)	CO ₂ 배출계수 (kg CO ₂ /kg 유리)	컬릿 비율(%)
Float	0.21	10 ~ 25
Container (Flint)	0.21	30 ~ 60
Container(Amber/Green)	0.21	30 ~ 80
Fiberglass (E-glass)	0.19	0 ~ 15
Fiberglass (Insulation)	0.25	10 ~ 50
Specialty (TV Panel)	0.18	20 ~ 75
Specialty (TV Funnel)	0.13	20 ~ 70
Specialty (Tableware)	0.10	20 ~ 60
Specialty (Lab/Pharma)	0.03	30 ~ 75
Specialty (Lighting)	0.20	40 ~ 70

- ② Tier 2 : 지침 제46조 제2항에 따른 유리종류(i)별 국가 고유 배출계수를 사용

배출계수(EF)
관리기준

③ Tier 3

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

• 가정 : 탄산염(i)의 분자식 = $X_y(CO_3)_z$

EFi : 원료로 투입된 탄산염(i)의 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-탄산염원료)

MwCO₂ : CO₂의 분자량 (44g/mol)

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

MwCO₃₋₂ : CO₃-2의 분자량 (60g/mol)

Y : X의 화학양론계수(알칼리토금속류 "1", 알칼리금속류 "2")

Z : CO₃-2의 화학양론계수

탄산염(i)	광물 이름	배출계수 (tCO ₂ /t탄산염)
CaCO ₃	석회석	0.4397 (tCO ₂ /tCaCO ₃)
MgCO ₃	마그네사이트	0.5220 (tCO ₂ /tMgCO ₃)
CaMg. (CO ₃) ₂	백운석	0.4773 (tCO ₂ /tCaMg. (CO ₃) ₂)
FeCO ₃	능철광	0.3799 (tCO ₂ /tFeCO ₃)
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	철백운석	0.4082 ~ 0.4757 (tCO ₂ /t철백운석)
MnCO ₃	망간광	0.3827 (tCO ₂ /tMnCO ₃)
Na ₂ CO ₃	소다회	0.4149 (tCO ₂ /tNa ₂ CO ₃)
C	탄소	3.6640 (tCO ₂ /tC)

순수

탄산염 성분에 따른 CO₂ 기본 배출계수

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

** 위 표는 100% 소성을 가정한 CO₂의 배출비율을 나타낸다.



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



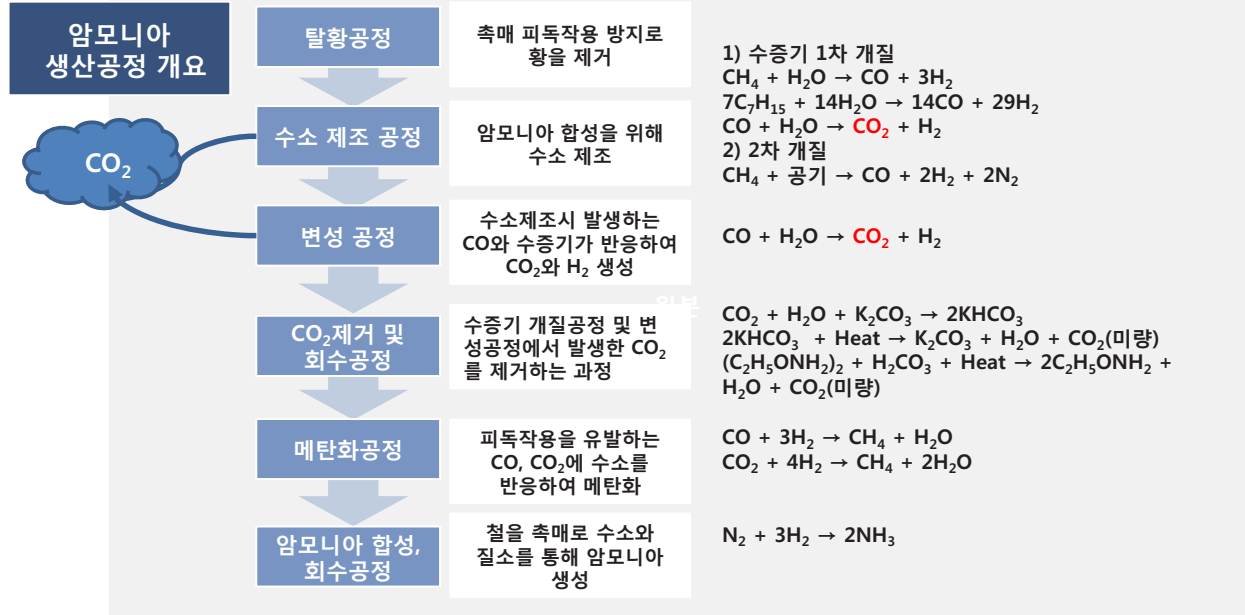
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



9G.4. 암모니아 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

암모니아 생산 개요

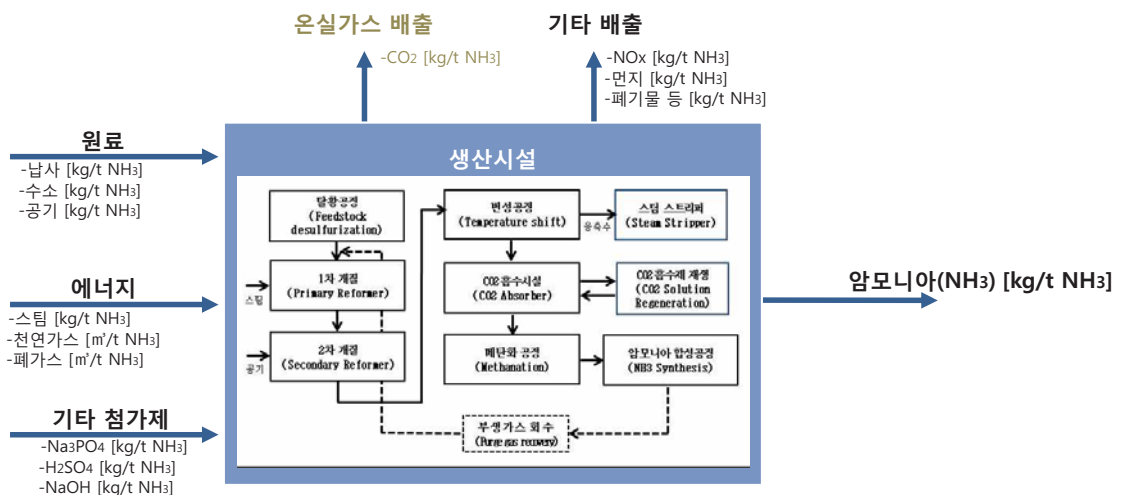
- 암모니아는 비료제조, 요소생산, 열처리, 종이 펄프화, 질산과 질산염의 제조, 니트로 화합물 제조 등 각종 무기화학 생산공정에서 사용되는 물질의 공급원으로 제조
- 암모니아 생산공정은 납사와 부탄, 산소, 천연가스 등의 원료를 개질하여 CO, CO₂, H₂를 생산하며, 질소와 수소의 결합으로 암모니아를 생산



9G.4. 암모니아 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

- 납사, 수소, 공기 등의 원료, 스팀, 천연가스, 폐가스 등의 에너지, 그리고 기타 첨가제가 투입
- 암모니아와 기타물질이 배출되며, 공정 중 에너지가 회수되어 재투입
- 온실가스는 CO₂를 배출



9G.4. 암모니아 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 암모니아 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	-	-

배출량 산정식

① Tier 1~3

$$E_{CO_2} = \sum_i \left(\sum_j (AP_{ij} \times FR_{ij}) \times CCF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \right) - R_{CO_2}$$

E_{CO_2} : 암모니아 생산량 당 CO₂의 배출량(ton-CO₂/ton-암모니아)

AP_{ij} : 공정(j)에서 연료(i)(CH₄ 및 나프타 등) 사용에 따른 암모니아 생산량(ton)

FR_{ij} : 공정(j)에서 암모니아 생산량 당 연료(i) 사용량(TJ/t-NH₃)

CCF_i : 연료(i)의 탄소함유계수 (ton C/TJ)

COF_i : 연료(i)의 탄소산화계수 (%)

R_{CO_2} : 요소 등 부차적 제품생산에 의한 CO₂ 회수·포집·저장량(ton)

9G.4. 암모니아 생산 공정 – Tier 및 매개변수 확정

활동자료(AP_{ij}) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	암모니아생산량(AP_{ij})	암모니아생산량(AP_{ij})	암모니아생산량(AP_{ij})
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내
암모니아 생산량 당 연료생산량(FR_{ij}) 산정기준	$FR_{ij} = EC_{ij} \times \frac{\text{연료사용량}}{\text{NH}_3\text{생산량}}$	자체 측정값	자체 측정값

•Tier1 암모니아 암모니아 생산량 당 연료생산량(FR_{ij}) 기준

- EC_{ij} : 온실가스에너지 목표관리제 별표 18에 따른 IPCC 가이드라인 기본 발열량을 사용
- 연료사용량/NH₃생산량 : 아래 표의 기본계수를 따름

[암모니아 생산량 당 필요한 연료량 기본계수]

생산공정(j) 구분	NH ₃ 생산량당 연료사용량 (GJ/t-NH ₃)	CO ₂ 배출계수 (t-CO ₂ /t-NH ₃)
전통적 개질공정(천연가스)	30.2	1.694
과잉 개질공정(천연가스)	29.7	1.666
자열 개질공정(천연가스)	30.2	1.694
부분산화	36	2.772

* 순발열량(Net Calorific Value) 기준

배출계수
관리기준

① Tier 1

생산공정	탄소함량계수 (CCF) (kg/GJ)	탄소산화계수 (COF) (%)
전통적 개질공정 (천연가스)	19.3	1.0
과잉 개질공정 (천연가스)	19.3	1.0
자열 개질공정 (천연가스)	19.3	1.0
부분산화	21.0	1.0

* 순발열량(Net Calorific Value) 기준

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 연료별 탄소함량계수를 사용
- 산화계수는 1.0을 적용

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체 개발하거나 연료공급자가 분석하여 제공한 연료별 고유 배출계수를 사용

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

회수량(R_{CO_2})

Tier 1~4

- 요소 생산 등 부차적인 제품생산에 따른 CO_2 회수량(R_{CO_2} 측정값)을 사용
- 요소 생산 관련 자료가 없을 경우 회수량(R_{CO_2})은 0을 적용



9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

ecosian Your Green Partner

9G.9. 질산 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

질산 생산 개요

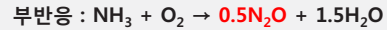
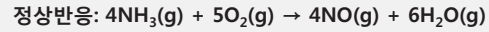
- 질산은 백금을 촉매로 하여 암모니아를 산화시키는 과정에서 생산됨
- 제 1산화 공정 과정에서 온실가스(N₂O)를 배출

질산 생산공정 개요

N₂O
NH₃의 촉매연소과정에서
N₂O의 발생

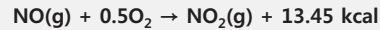
제 1산화 공정 (촉매연소)

백금 촉매로
암모니아를
산화시켜
일산화질소
생산



제 2산화 공정

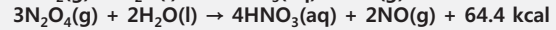
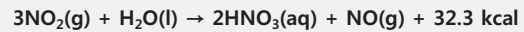
일산화 질소를
산화시켜
이산화질소
생산



원분

흡수 공정

이산화 질소를
물에 흡수시켜
질산 생성

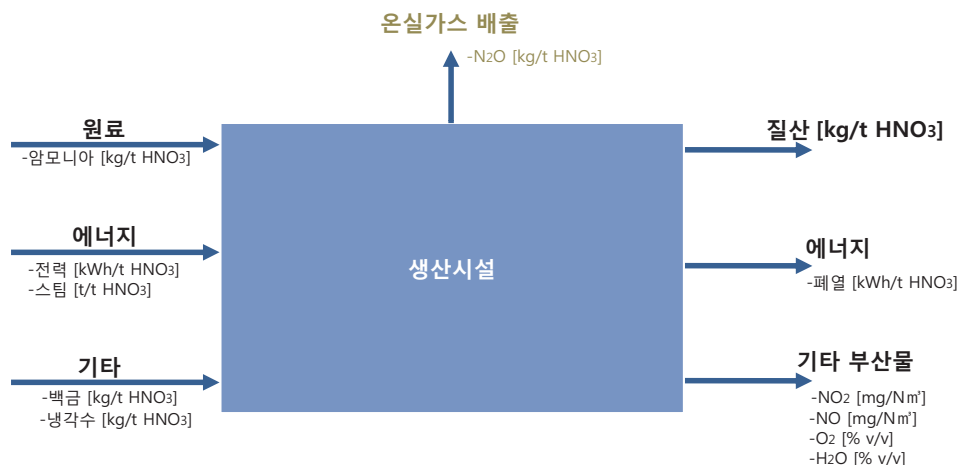


질산 생산

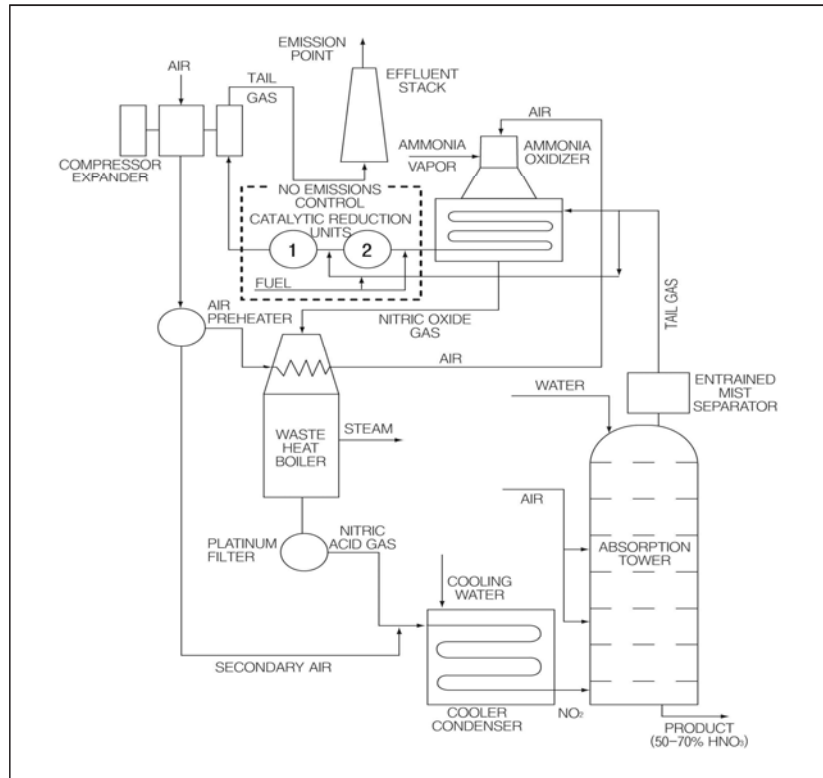
9G.9. 질산 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

- 원료로 암모니아, 백금, 냉각수의 기타원료, 전력, 스팀 등의 에너지가 투입
- 제품인 질산과 기타부산물, 폐열 등의 에너지가 산출
- 온실가스는 N₂O를 배출



<질산 생산공정>



9G.9. 질산 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상
온실가스

▪ 질산 생산시설은 온실가스로 N₂O를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	-	-	Tier1,2,3

배출량 산정식

① Tier 1

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

E_{N_2O} : N₂O 배출량 (kgN₂O)

EF_{N_2O} : 질산 1ton 생산당 N₂O 배출량(kg-N₂O/ton-질산생산량)

NAP_k : 생산기술(j)별 질산생산량(ton-질산)

DF_h : 감축기술(j)별 감축계수 (%)

$ASUF_h$: 감축기술(j)별 감축 시스템 활용계수 (%)

$F_{eq,j}$: 온실가스 (j)의 CO₂ 등가계수(N₂O=310)

활동자료(NAP_k) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	질산 생산량(NAP_k)	질산 생산량(NAP_k)	질산 생산량(NAP_k)
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF_{N_2O}) 분해계수(DF_h) 이용계수($AUSF_h$) 관리기준

① Tier 1

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

② Tier 2

- 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수(EF_{N_2O})를 활용
- 감축기술별 분해계수(DF_h) 및 저감시스템 이용계수($AUSF_h$)는 활용가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 "0"을 적용

③ Tier 3

- 제47조에 따라 사업자가 자체 개발한 질산생산량 당 N_2O 배출계수(EF_{N_2O})를 사용
- 감축기술별 분해계수(DF_h) 및 저감시스템 이용계수($AUSF_h$)는 활용가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 "0"을 적용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론



9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

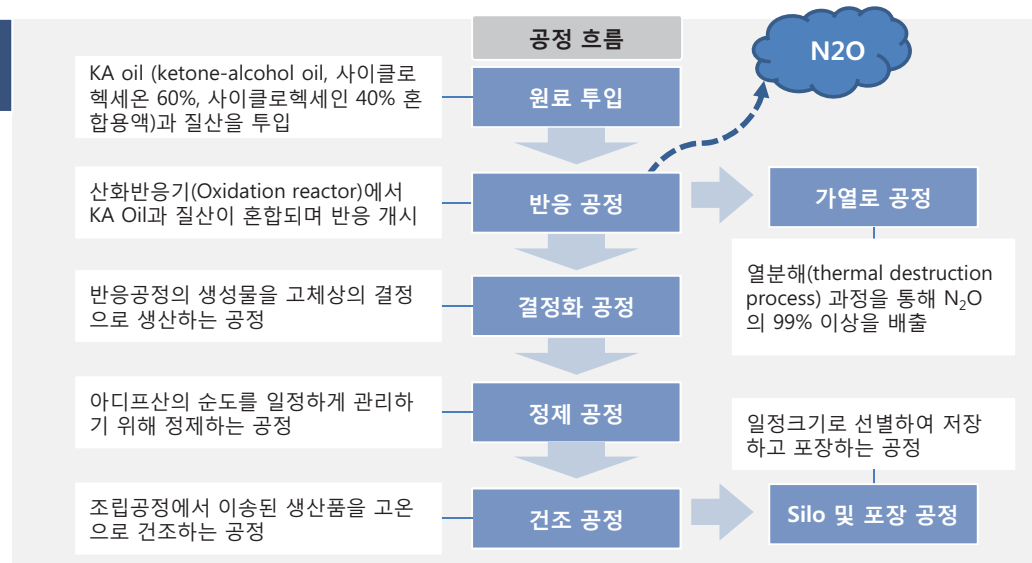
9G.16 전자산업 생산 공정



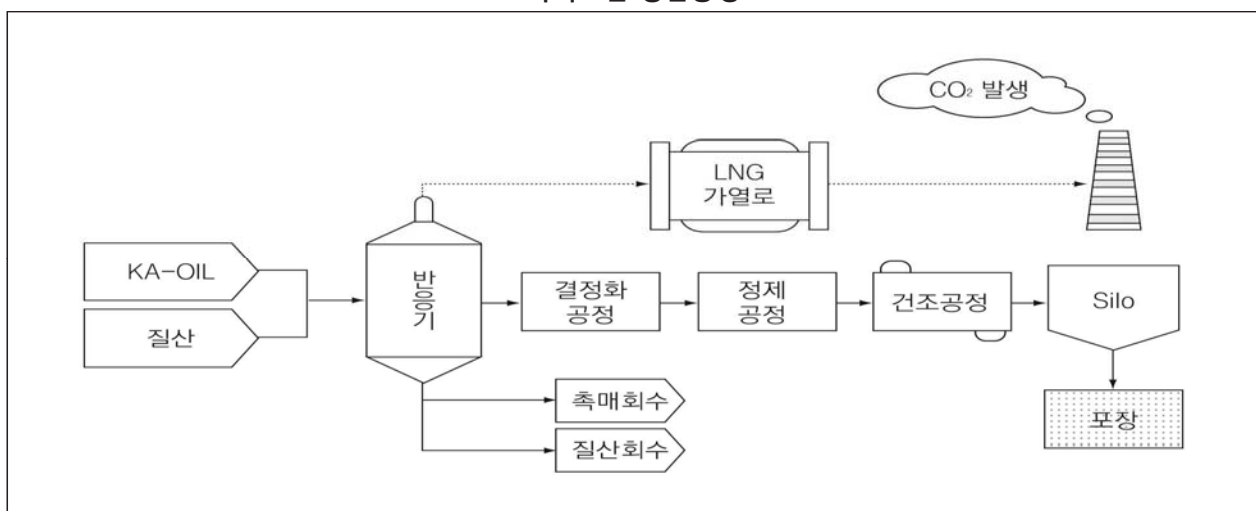
아디프산 생산 개요

- 아디프산은 유기산의 하나로 유화제, 안정제, pH 조정제, 향료 고정제로 사용되며 나일론, 폴리우레탄, 가소제 등 화학제품의 기초 원료
- 아디프산은 ketone-Alcohol Oil (cyclohexanone : Cyclohexanol = 6:4)을 질산과 반응시킨 후 결정 및 정제, 건조 공정을 통해서 생산

아디프산 제조 공정 개요



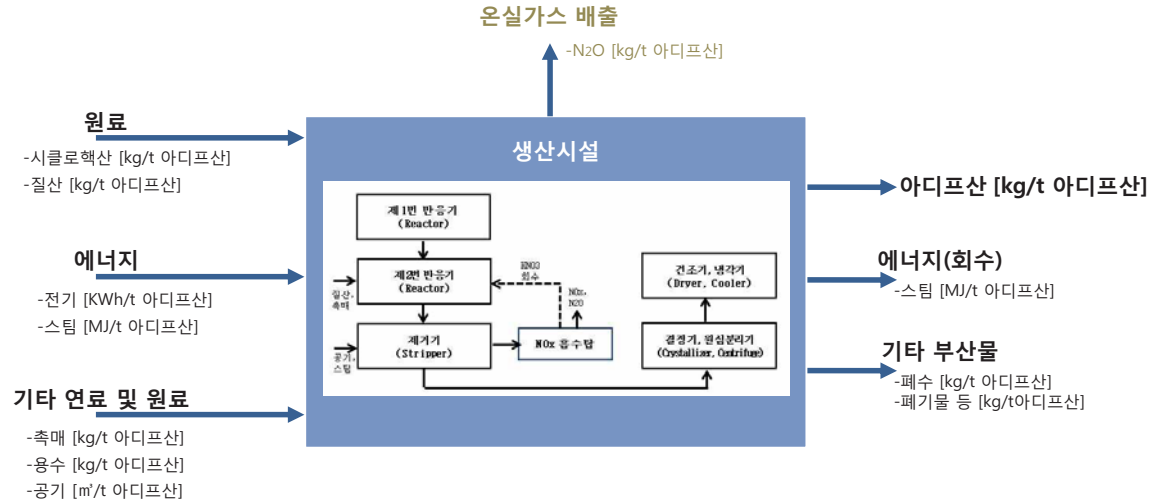
<아디프산 생산공정>



9G.6. 아디프산 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

- 원료로 시클로헥산과 질산, 촉매, 용수, 공기 등의 기타원료, 전력, 스팀 등의 에너지가 투입
- 제품인 아디프산과 폐수, 폐기물 등의 기타부산물, 스팀 등의 에너지가 산출
- 온실가스는 N₂O를 배출



9G.6. 아디프산 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 소다회 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	-	-	Tier1,2,3

배출량 산정식

① Tier 1~3

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

E_{N_2O} : N₂O 배출량(kg)

EF_{N_2O} : 기술유형(k)에 따른 아디프산의 N₂O 배출계수 (kg-N₂O/ t-아디프산)

AAP_k : 기술유형(k)에 따른 아디프산 생산량(ton)

DF_h : 저감기술(h)별 분해계수(%)

$ASUF_h$: 저감기술(h)별 저감시스템 이용계수(%)

$F_{eq,j}$: 온실가스 (j)의 CO₂ 등가계수(N₂O=310)

활동자료(AAP_k) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	아디프산 생산량(AAP_k)	아디프산 생산량(AAP_k)	아디프산 생산량(AAP_k)
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF_k) 관리기준

① Tier 1

생산공정(k) 구분	N ₂ O 배출계수 (kgN ₂ O/t-아디프산)
질산 산화 공정	300 kg(저감기술 미 적용시)

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

[저감기술별 IPCC 기본 분해계수 및 이용계수]

저감 기술(h) 유형	분해 계수(DF_h)	이용 계수($AUSF_h$)
축매 분해	92.5 %	89 %
열 분해	98.5 %	97 %
질산으로의 재활용	98.5 %	94 %
아디프산 원료로의 재활용	94.0 %	89 %

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수(EF_k) 관리기준

② Tier 2

- 제46조 제2항에 따른 국가 고유 N₂O 배출계수를 사용
- 감축기술별 분해계수(DF_h) 및 저감시스템 이용계수($AUSF_h$)는 활용가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 "0"을 적용

③ Tier 3

- 제47조에 따라 사업자가 개발한 고유 N₂O 배출계수를 사용
- 감축기술별 분해계수(DF_h) 및 저감시스템 이용계수($AUSF_h$)는 활용가능한 값이 있으면 적용하되 값이 없으면 각각 "0"을 적용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정

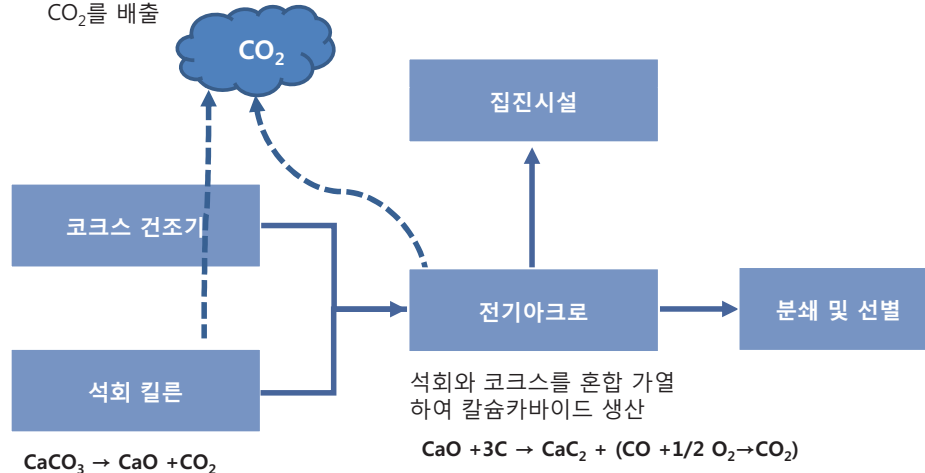


9G.7. 카바이트 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

카바이트 생산 개요

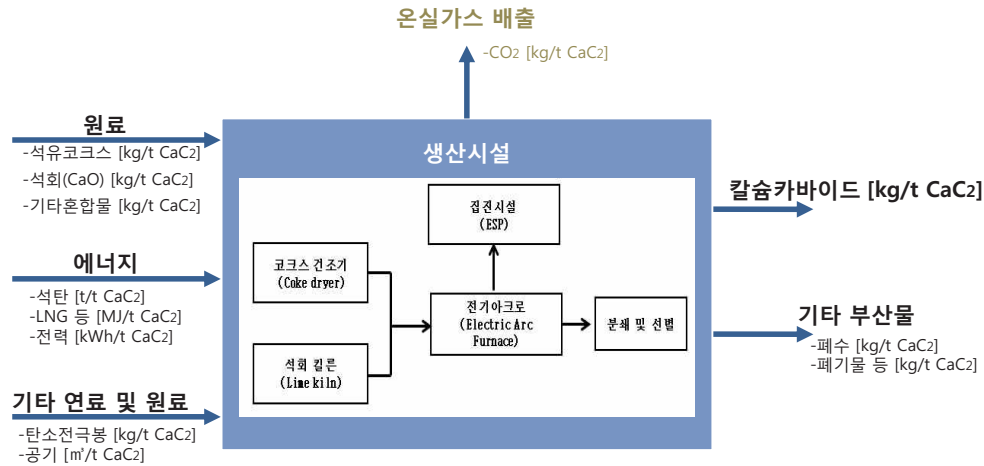
- 카바이드는 일반적으로 칼슘의 탄소화합물인 탄화칼슘(CaC_2)이라하며, 공업적으로 생석회나 코크스, 무연탄 등의 탄소를 전기로 속에서 가열하여 제조하며 아세틸렌의 원료로 사용

탄화칼슘(CaC_2)은 탄산칼슘(CaCO_3)에 열을 가한 후 석유코크스와 함께 CaO 를 환원시키면서 생산되는데, 각각의 과정은 모두 CO_2 를 배출



물질 에너지 수지

- 석유 코크스, 석회 등의 원료와 탄소전극봉, 공기 등의 기타연료 및 원료, 석탄, LNG, 전력 등의 에너지가 투입
- 제품인 칼슘카바이드와 폐수, 폐기물 등의 기타부산물 산출
- 온실가스는 CO₂를 배출



9G.7. 카바이드 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 카바이드 생산시설은 온실가스로 CO₂와 CH₄를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2, 3, 4	Tier1,2	-

배출량 산정식

① Tier 1

$$E_{ij} = AD_i \times EF_{ij} \times F_{eq,j}$$

E_{ij} : 카바이드 생산에 따른 온실가스(j) 배출량(tCO₂eq)

AD_i : 활동자료(i) 사용량(ton) (카바이드 생산량, 석유코크스 소비량)

EF_{ij} : 활동자료(i)에 따른 온실가스(j) 배출계수(tCO₂eq/t-카바이드, tCO₂eq/t-석유코크스소비량)

$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)별 등가계수 (CO₂ = 1, CH₄ = 21)

<주의할점>

탄화칼슘(칼슘 카바이드) 생산시, 탄산칼슘(CaCO₃)을 원료로 사용할 경우, 탄산칼슘을 산화칼슘(CaO)으로 바꾸는 소성과정이 추가되므로, 이에 대한 배출량 산정은 <지침 별표. 14 석회 생산>을 참고하여 위 식에 의한 배출량에 추가토록 하고, 산화칼슘(CaO)을 원료로 직접 사용하는 경우에는, 위 식에 의한 배출량만 산정토록 한다.

활동자료(AD) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	카바이트 생산량, 석유코크스 소비량(AD)	카바이트 생산량, 석유코크스 소비량(AD)	카바이트 생산량, 석유코크스 소비량(AD)
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내

배출계수(EF_{ij}) 관리기준

① Tier 1 : IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용

공정 구분		카바이트 생산량(ton) 기준	원료(산화칼슘) 소비량(ton) 기준
탄화칼슘(CaC ₂) 생산부문	CO ₂	1.10 tCO ₂ /ton	1.70 tCO ₂ /ton
	CH ₄	-	-
탄화규소(SiC) 생산부문	CO ₂	2.62 tCO ₂ /ton	2.30 tCO ₂ /ton
	CH ₄	11.6 kgCH ₄ /ton	10.2 kgCH ₄ /ton

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용
(공정별, 활동자료(AD)별, 온실가스(CO₂, CH₄)에 대한 고유 배출계수를 말함)

배출계수(EF_{ij}) 관리기준

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 아래 식에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용
(석유코크스 사용에 따른 CO₂ 배출량 산정에 유효)

$$EF_{SiC} = 0.65 \times CCF_{SiC} \times COF_{SiC} \times \frac{44}{12}$$

EF_{SiC}: 탄화규소(SiC) 생산시 석유코크스의 배출계수(tCO₂/t)

CCF_{SiC}: 석유코크스의 탄소함량계수(kgC/GJ)

COF_{SiC}: 석유코크스의 산화계수 (%)

$$EF_{CaC_2} = 0.33 \times CCF_{CaC_2} \times COF_{CaC_2} \times \frac{44}{12}$$

EF_{SiC}: 탄화칼슘(CaC₂) 생산시 석유코크스의 배출계수(tCO₂/t)

CCF_{SiC}: 석유코크스의 탄소함량계수(kgC/GJ)

COF_{SiC}: 석유코크스의 산화계수 (%)

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



9G.8. 소다회 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

소다회 생산 개요

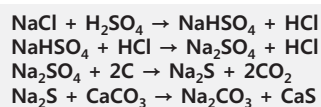
- 소다회는 일반적으로 소금을 원료로 하여 합성하는 합성 소다회와 천연에 존재하는 탄산소다염을 정제하여 얻는 천연 소다회 등이 있음
- 소다회 전체 공정 중 합성 소다회는 75%, 천연 소다회는 25%의 비중을 차지

소다회 제조 공정 개요

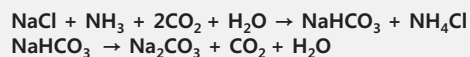


합성소다회

르블랑 법



암모니아 소다법
(솔베이법)

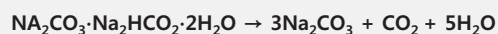


염안 소다법

원분

천연소다회

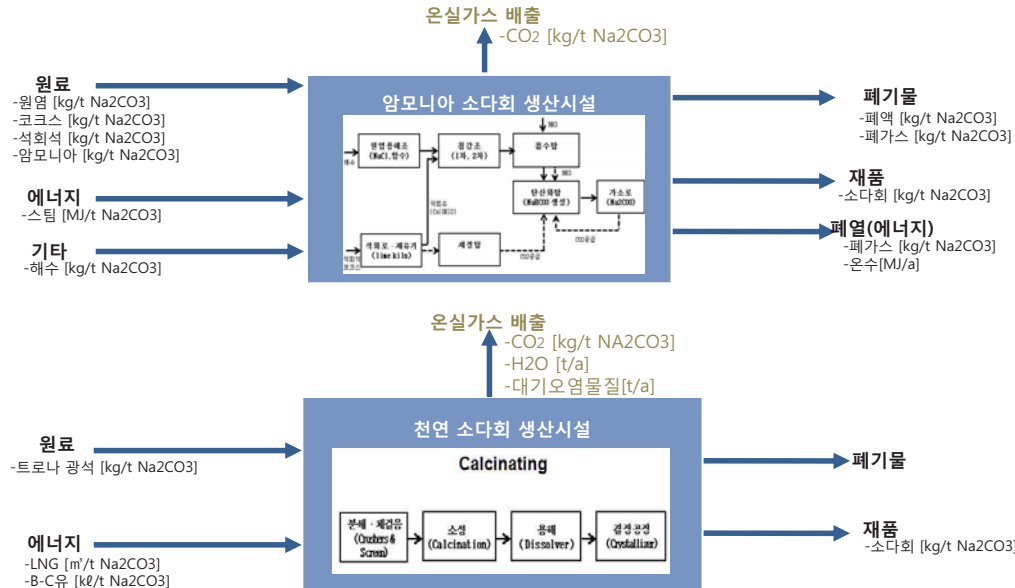
천연소다회
정제법



9G.8. 소다회 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

- 암모니아 소다회 공정은 원염, 코크스, 석회석 등의 원료, 해수 및 에너지를 투입하여 소다회와 폐기물 등을 산출
- 천연소다회 공정은 트로나 광석 연료 및 에너지를 투입하여 소다회를 산출
- 온실가스는 암모니아 및 천연 소다회 생산시설 모두 CO₂를 배출



9G.8. 소다회 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 소다회 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	-	-

배출량 산정식

① Tier 1

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

공식을 써라

E_{CO_2} : 소다회 생산 공정에서의 CO₂배출량 (ton)

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

EF : 배출계수(tCO₂/t-Trona 투입량, tCO₂/t-소다회 생산량)

활동자료 (AD) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량(AD)	트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량(AD)	트로나(Trona) 광석 사용량 또는 소다회 생산량(AD)
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

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

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수를 사용

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정

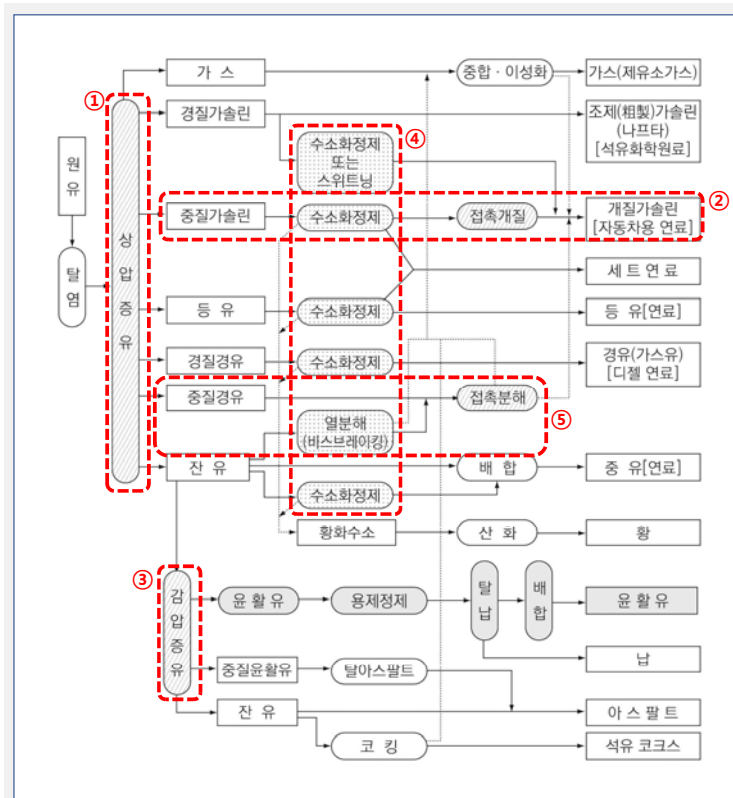
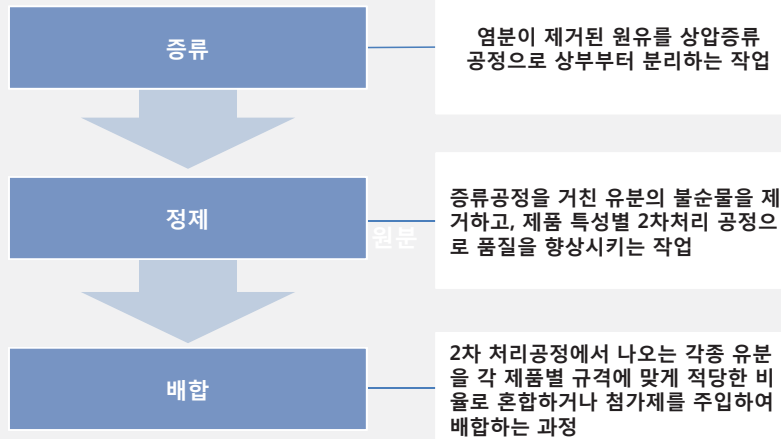


한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



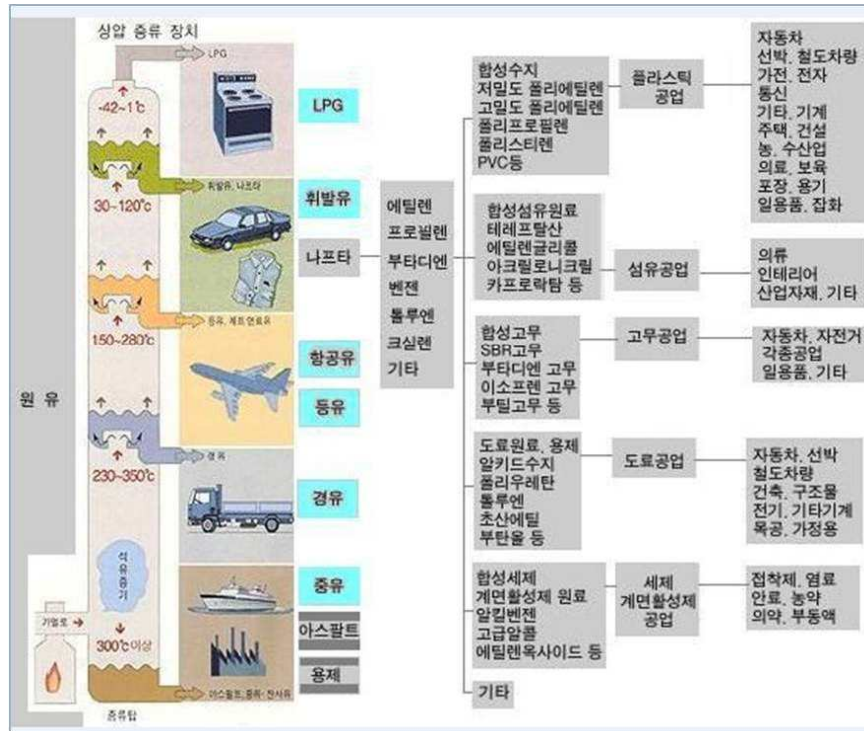
석유정제 공정 개요

- 석유 정제 공정은 가열, 냉각을 통해 원유를 분류하는 과정임
- 정제 공정은 크게 증류, 정제, 배합의 3단계로 구분함



[정유시설대표공정]

- ① 상압증류 공정 (Atmospheric Distillation Unit)
- ② 접촉 개질공정 (Plat forming Unit)
- ③ 감압증류공정 (VDU, Vacuum Distillation Unit)
- ④ 수소제조공정 (HP, Hydrogen Plant)
- ⑤ 중질유 유동상 촉매 분해공정 (RFCC)



9G.9. 석유정제 공정 – 배출원 확인

배출시설 종류

- 석유 정제 공정 중 수소제조시설, 촉매 재생시설, 코크스 제조시설에서 온실가스를 배출

수소제조시설	촉매재생시설	코크스 제조시설
- 경질나프타, 부탄 또는 부생연료를 촉매 존재하에서 수증기와 흡착반응에 의해서 약 70% 순도의 수소를 제조 - PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정을 거쳐 불순물을 제거함으로써 순도 99.9% 이상의 수소를 제조하며, 이 과정에서 CO₂ 발생 $C_xH_{(2x+1)} + 2X \cdot H_2O \rightarrow (3X+1)H_2 + XCO_2$	- 원유 정제 공정 중 저옥탄가의 나프타를 백금계 촉매를 이용해 고옥탄가의 접촉개질유 (Reformate) 를 생산하는 공정 - 촉매 재생기를 통해 촉매활성도를 떨어뜨리는 Coke를 제거하면서 CO₂ 발생	- 중질유를 고온으로 열분해 하여 코크스를 생산 - 자연코킹법과 유체코킹법 - 원유 정제 공정 중 코크스 버너에서 CO₂가 배출

석유 정제 공정 온실가스 배출시설

보고대상
온실가스

■ 석유정제시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
수소 제조 공정	Tier1, 2, 3, 4	-	-
촉매 재생 공정	Tier1, 3, 4	-	-
코크스 제조 공정	Tier1	-	-

배출량 산정식
(수소 제조 공정)

① Tier 1

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

E_{i,CO_2} : 수소제조 공정에서의 CO₂ 배출량(tCO₂)

FR_i : 경질나프타, 부탄, 부생연료 등 원료(i) 투입량
(ton 또는 천 m³)

EF_i : 원료(i)별 CO₂ 배출계수

② Tier 2

$$E_{CO_2} = Q_{H_2} \times \frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2} \times \frac{44}{22.4}$$

공식을 써라

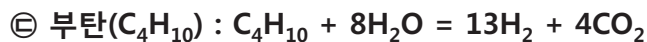
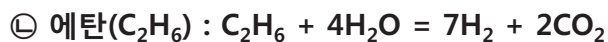
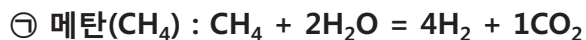
E_{CO_2} : CO₂ 배출량(tCO₂)

Q_{H_2} : 수소생산량(천-m³)

$\frac{x \text{ mole } CO_2}{(3x+1) \text{ mole } H_2}$: 반응식 「C_xH_(2x+2) + 2x·H₂O → (3x+1)H₂ + xCO₂」에 따른
수소 1몰 생산량 당 CO₂ 발생 몰 수

[예시]

1ton의 원료 중 메탄이 85%, 에탄이 8%, 부탄이 3% 포함되어 있다고 가정할 경우, 아래 반응식에 따라 원료조성에 따른 CO₂ 발생비율을 산정하라



성분	CO ₂ 몰수 ㉠	H ₂ 몰수 ㉡	함유비 (Mole 비) ㉢	Moles CO ₂ (=㉠×㉢)	Moles H ₂ (=㉡×㉢)
메탄(CH ₄)	1	4	0.85	0.85	3.40
에탄(C ₂ H ₆)	2	7	0.08	0.16	0.56
부탄(C ₄ H ₁₀)	4	13	0.03	0.12	0.39
				1.13	4.35

⇒ CO₂와 H₂의 비율이 각각 1.13, 4.35이므로 원료조성에 따른 CO₂발생비는
0.26(=1.13/4.35)임

배출량 산정식
(수소 제조 공정)

③ Tier 3

$$E_{i,CO_2} = FR_i \times CF_i \times \frac{44}{12}$$

$$CF_i = \sum_{j=1}^n (W_j \times WtC_j)$$

$$W_j = Mole_j \times \frac{MW_j}{MW_{mean}}$$

$$WtC_j = \frac{N_{jC} \times 12}{MW_j}$$

 E_{i,CO_2} : 수소제조 공정에서의 CO₂ 배출량(tCO₂)

 FR_i : 원료(i) 투입량(천-m³)

 CF_i : 투입원료(i)의 탄소함량비(ton-C/천 m³)

 W_j : 원료(i) 중 성분(j)의 무게비,

 WtC_j : 원료(i) 중 성분(j)의 탄소함량,

 $Mole_j$: 원료(i) 중 성분(j)의 함유비(몰 비)

 MW_j : 원료(i) 중 성분(j)의 분자량

 MW_{mean} : 투입 원료(i)의 평균 분자량

 N_{iC} : 성분(j)의 탄소 수

[예시]

앞 페이지의 원료 함량과 반응식을 이용하여 총 탄소 함유비 및 평균분자량을 산정하시오.

조성명칭	함유비 (Mole H)	분자량 (MW)	무게비 (Wt)	탄소함량 (WtC)	탄소함량비 (CF)
메탄(CH ₄)	0.85	16	0.77	0.75	0.578
에탄(C ₂ H ₆)	0.08	30	0.13	0.80	0.104
부탄(C ₄ H ₁₀)	0.03	58	0.10	0.62	0.062
	1.00	17.74 (MWmean)	1.00		0.744

배출량 산정식
(촉매 재생 공정)

- ① Tier 1: 점착된 Coke의 양을 파악할 수 없을 경우 Coke 제거를 위해 투입된 공기가 전량 연소하여 CO₂를 발생한다고 가정하여 다음과 같이 산정

$$E_{CO_2} = AR \times CF \times \frac{44}{22.4}$$

 E_{CO_2} : CO₂ 배출량(ton)

 AR : 공기투입량(천 m³)

 CF : 투입공기 중 산소함량비(=0.21)

- ② Tier 3: 점착된 Coke의 양을 파악할 수 있으며, Coke 중의 탄소가 모두 CO₂로 배출된다고 가정하여 산정

$$E_{CO_2} = CC \times CF \times \frac{44}{12}$$

 E_{CO_2} : CO₂ 배출량(ton)

 CC : Coke 량(ton)

 CF : Coke 중 탄소함량비(ton-C/ton-coke)
배출량 산정식
(코크스 제조 공정)

- ① Tier 1: 버너에서 연소되는 Coke의 양을 파악할 수 있으며, Coke 중의 탄소가 모두 CO₂로 배출된다고 가정하여 배출량을 산정

$$E_{CO_2} = CC \times CF \times \frac{44}{12}$$

 E_{CO_2} : CO₂ 배출량(ton)

 CC : Coke 량(ton)

 CF : Coke 중 탄소함량비(ton-C/ton-coke)

활동자료(FR) 관리기준 (수소 제조 공정)

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리 데이터	원료투입량(FR)	수소 발생량(Q_{H_2}) (ton 또는 천 m ³)	원료투입량(FR)
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF_{ij}) 관리기준 (수소 제조 공정)

① Tier 1

활동자료(원료투입량) 종류	에탄 기준 배출계수 (tCO ₂ / t-feed)
무게(ton) 기준	2.9 tCO ₂ / t-원료
부피(천m ³ -원료) 기준	3.93 tCO ₂ / 천m ³ -원료

② Tier 2

- 수소 생산 반응식 $C_xH_{(2x+2)} + 2xH_2O \rightarrow (3x+1)H_2 + xCO_2$ 에 따라 수소 1몰 생산시 발생되는 CO₂양의 비율($x/(3x+1)$)을 사용

③ Tier 3

- 사업자가 지침 제47조 규정에 아래 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용한다.

$$CF_i: \text{투입원료}(i) \text{의 탄소함량비(ton-C/천 m}^3\text{)}, \quad CF_i = \sum_{j=1}^n (Wt_j \times WtC_j)$$

$$Wt_j: \text{원료}(j) \text{ 중 성분}(j) \text{의 무게비}, \quad Wt_j = \text{Mole}_j \times \frac{MW_j}{MW_{mean}}$$

$$WtC_j: \text{원료}(j) \text{ 중 성분}(j) \text{의 탄소함량}, \quad WtC_j = \frac{N_{iC} \times 12}{MW_j}$$

$$\text{Mole}_j: \text{원료}(j) \text{ 중 성분}(j) \text{의 함유비(몰 비)}$$

$$MW_j: \text{원료}(j) \text{ 중 성분}(j) \text{의 분자량}$$

$$MW_{mean}: \text{투입 원료}(i) \text{의 평균 분자량}$$

$$N_{iC}: \text{성분}(j) \text{의 탄소 수}$$

활동자료(FR) 관리기준 (촉매 재생 공정)

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리 데이터	공기투입량(천·m ³)	-	촉매에 붙어있는 Coke량
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	-	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내

배출계수(EF_{ij}) 관리기준 (촉매 재생 공정)

① Tier 1

- 기본 배출계수(투입공기중 산소함량비=0.21)를 사용

② Tier 3

- 사업자가 지침 제47조 규정에 따라 Coke 중 탄소함량비(CF)를 측정·개발하여 사용

③ Tier 4

- 연속측정방식(CEM)을 사용

활동자료(FR)
관리기준
(코크스 제조 공정)

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리 데이터	Coke양	Coke양	Coke량
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF_{ij})
관리기준
(코크스 제조 공정)

- ① **Tier 1**
 - 지침 별표 17에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용한다. (지침 별표 17에서의 석유코크스에 대한 CO₂ 배출계수와 별표 18의 기본발열량 값을 사용하여 탄소함량을 구하여 사용한다.)
- ② **Tier 2**
 - 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용
- ③ **Tier 3**
 - 지침 제47조에 따라 사업자가 개발한 석유코크스(Coke) 중 탄소함량비(CF) 자료를 사용
- ④ **Tier 4**
 - 연속측정방식(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

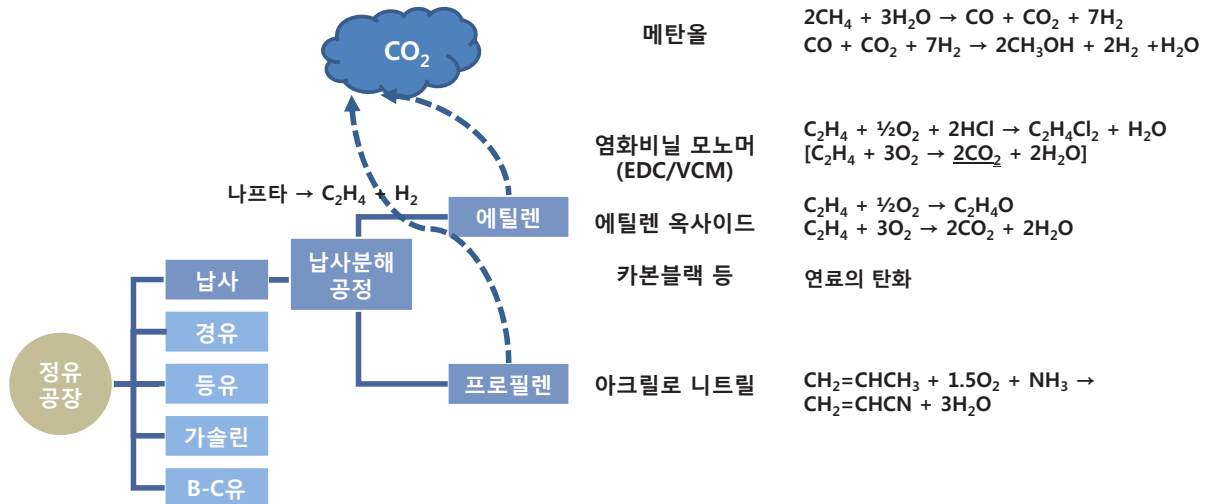
9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



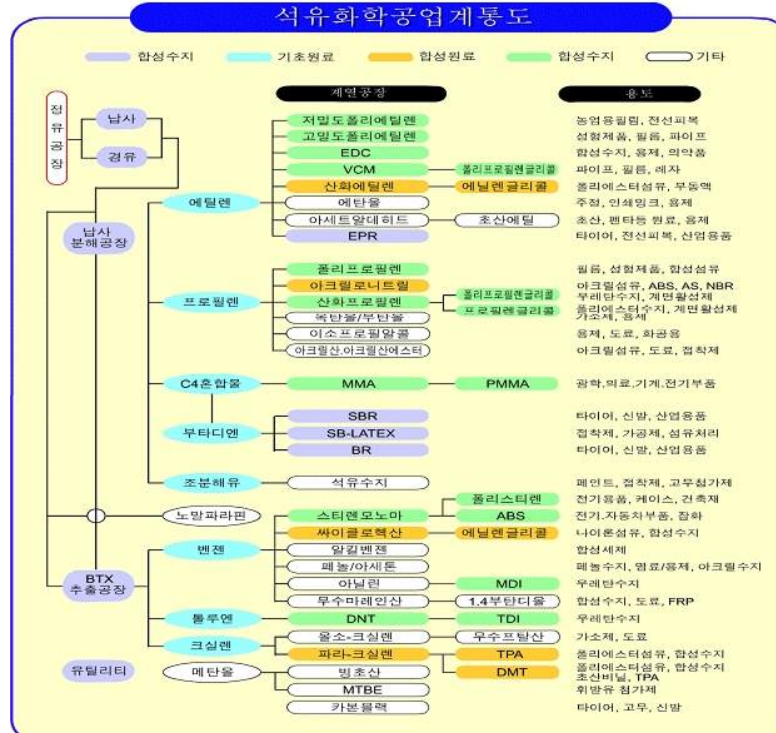
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

- 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 기초 유분을 생산하고 이 과정에서 온실가스가 배출

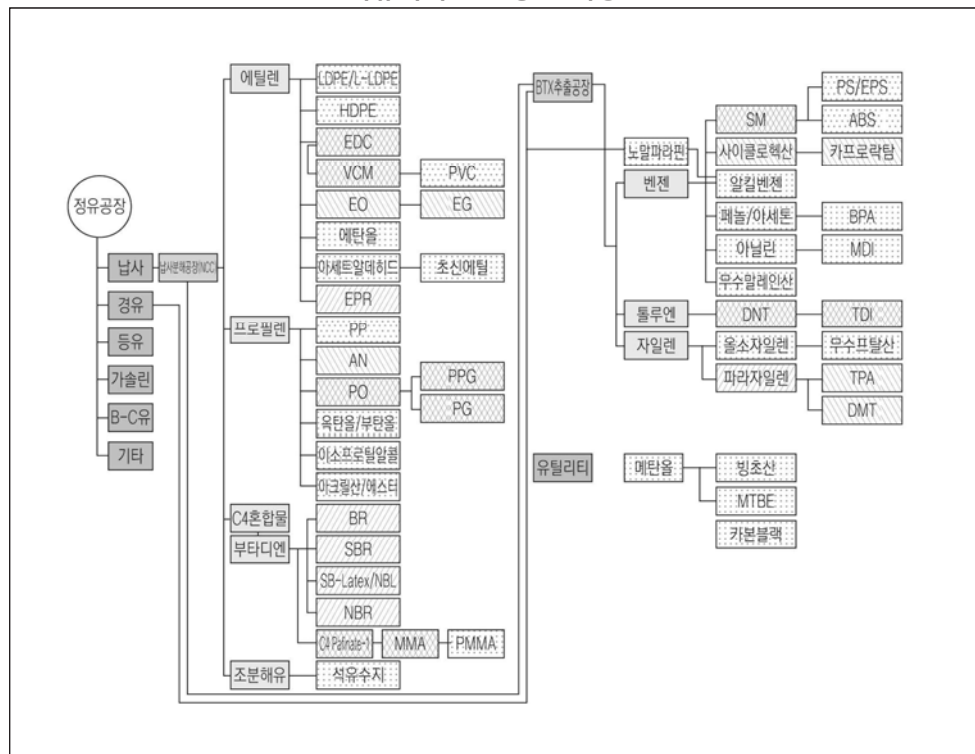


한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

석유화학공업계통도

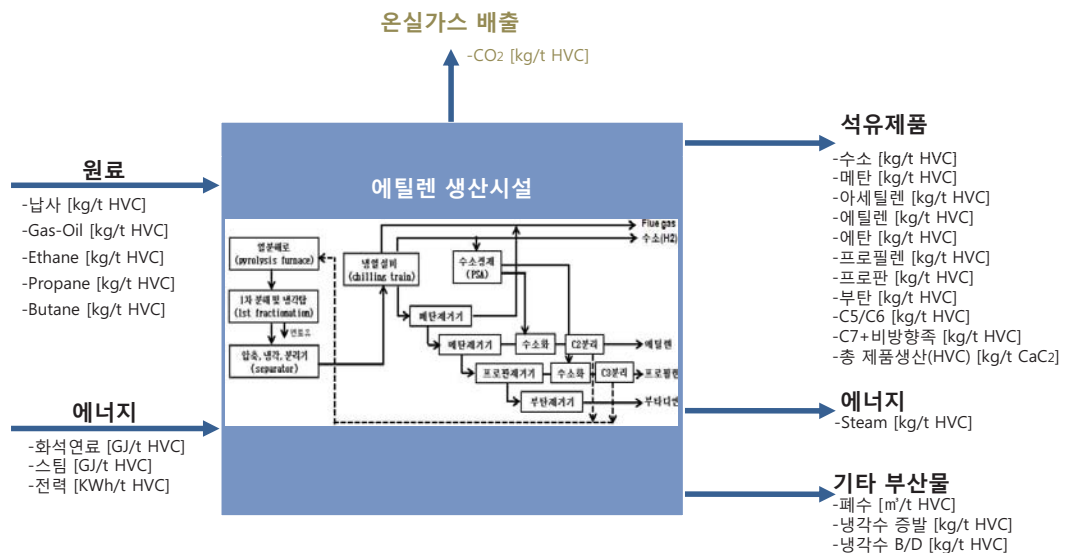


<석유화학산업 총괄 계통도>



물질 에너지 수지

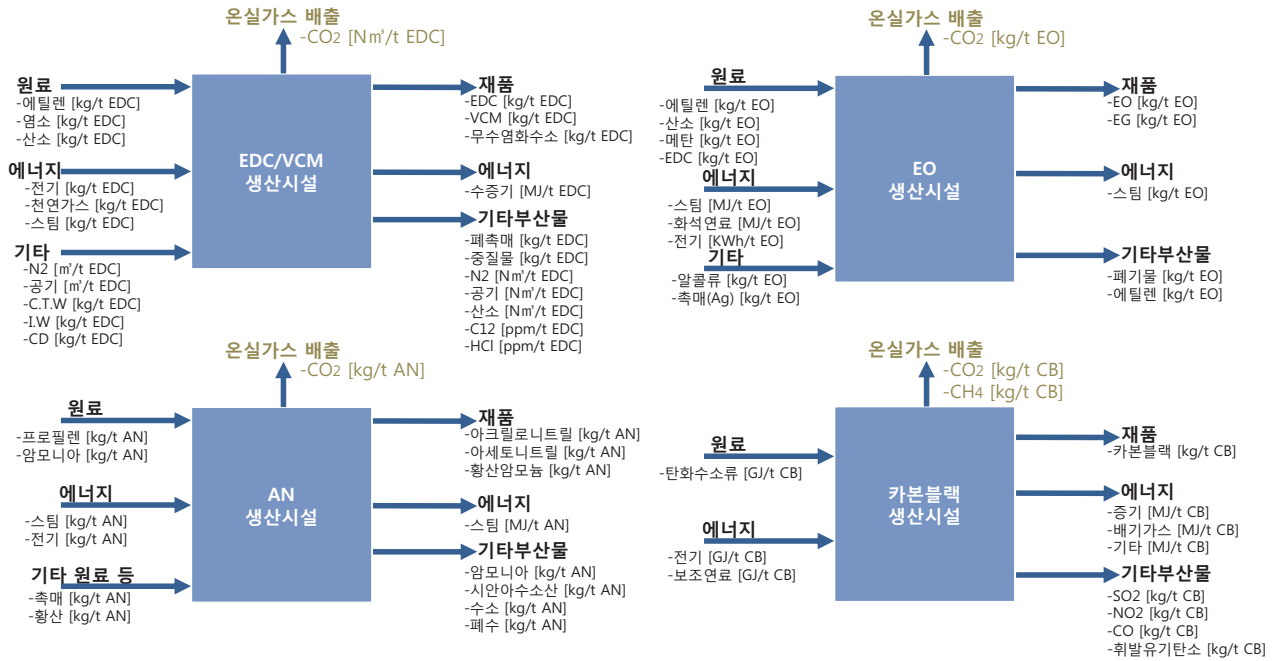
- 납사, 기체연료, Ethane, Propane, Butane 등의 연료 및 화석, 스팀, 전력의 에너지 투입
- 에틸렌, 프로필렌 등의 중간제품과 HVC의 총 제품을 산출하고 증기 및 기타 부산물을 산출
- 온실가스는 CO₂를 배출



9G.10. 석유화학제품 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

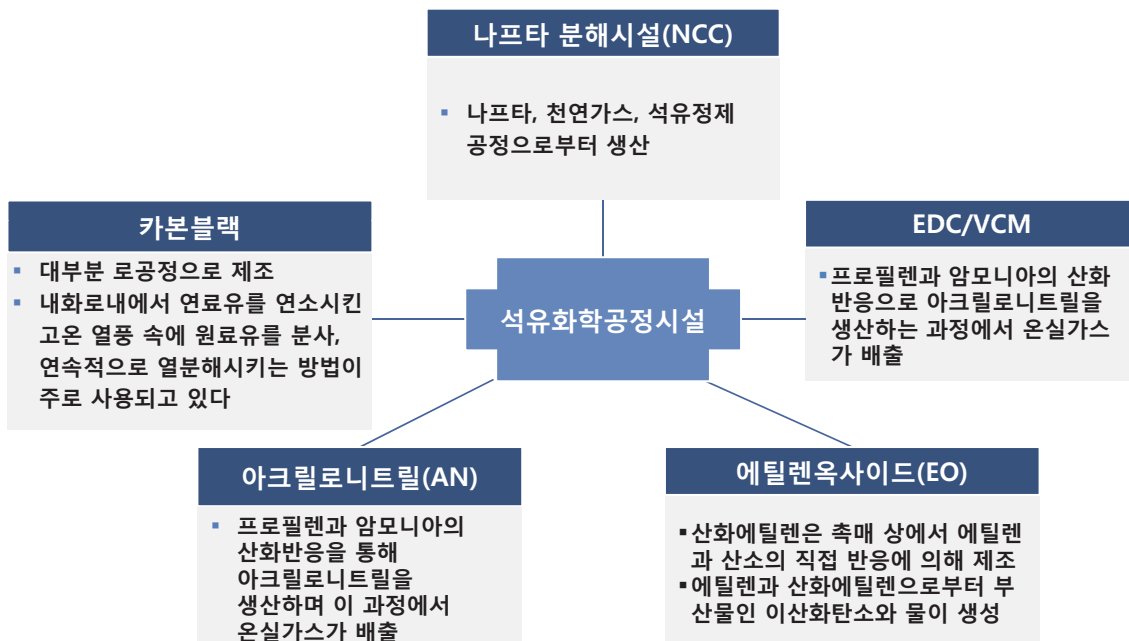
- 에틸렌 이하 공정은 에틸렌을 포함한 원료와 에너지를 투입하며, 각 제품 및 부산물을 생산
- 카본블랙 공정은 탄화수소류 원료 등을 투입하여 카본블랙 및 기타 부산물 에너지 산출
- 온실가스는 에틸렌 이하 공정은 CO₂, 카본블랙 생산 공정은 CO₂ CH₄를 배출



9G.10. 석유화학제품 생산 공정 – 배출원 확인

석유화학제품 생산 개요

- 석유화학제품 생산 공정 중 에틸렌 공정의 납사분해공정, EDC/VCM, AP, 카본블랙, 그리고 프로필렌 공정의 AN 공정에서 온실가스가 배출됨



보고대상 온실가스

- 석유화학제품 생산시설은 온실가스로 CO₂, CH₄를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	Tier1	-

배출량 산정식

① Tier 1

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

E_{ij} : 석유화학제품(i)의 생산에 따른 온실가스(j) 배출량(tCO₂eq)(j = CO₂, CH₄)

EF_{ij} : 석유화학제품(i)의 온실가스(j) 배출계수(tCO₂eq/t-제품)

PP_i : 연간 석유화학제품(i)의 생산량(ton)

$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

$$PP_i = FA_i \times SPP_i$$

FA_i : 석유화학제품(i) 생산을 위해 소비된 원료량(ton)

SPP_i : 석유화학제품(i) 생산계수(t-제품/t-원료)

배출량 산정식

② Tier 2~3

$$E_{iCO_2} = \sum_k (FA_{i,k} \times FC_k) - [PP_i \times PC_i + \sum_j (SP_{ij} \times SC_{ij})] \times \frac{44}{12}$$

[참고]

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.

i : 1차 석유화학생산제품

j : 2차 석유화학생산제품

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

E_{iCO_2} : 석유화학제품(i) 생산으로부터의 CO₂ 배출량(tCO₂)

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

FC_k : 원료(k)의 탄소함량(tC/t-원료)

PP_i : 1차 석유화학제품(i) 생산량(ton)

PC_i : 1차 석유화학제품(i)의 탄소함량(tC/t-제품(i))

SC_j : 2차 석유화학제품(j)의 탄소함량(tC/t-제품(j))

SP_{ij} : 1차 석유화학제품(i)의 생산공정에서 생산된 2차 석유화학제품(j)의 생산량(ton/yr)

1차 석유화학제품 생산공정에서 부 반응으로 생산된 2차 석유화학제품의 생산량(SP_{ij})은 아래 식에 따라 산정한다. 다만, 해당 공정에서 2차제품의 생산량이 없는 경우 SP_{ij} 는 "0"을 적용한다.

$$SP_{ij} = \sum_k (FA_k \times SPP_{jk})$$

SP_{ij} : 에틸렌 또는 아크릴로니트릴(i) 공정에서 생산된 2차 생산제품(j)의 생산량(ton)

FA_k : 에틸렌 또는 아크릴로니트릴(i) 생산을 위한 원료(k)의 연간 소비량(ton)

SPP_{jk} : 원료(k)에 대한 2차 제품생산물(j)의 생산계수(ton j /ton k)

③ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

활동자료(SPP_j) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	석유화학제품 생산량 및 석유화학제품(i)의 생산계수(SPP_{ij})	공정별 원료사용량, 1차 및 2차 석유화학제품 생산량, 원료(k)에 대한 2차 제품의 생산계수(SPP_{ik})	공정별 원료사용량, 1차 및 2차 석유화학제품 생산량, 원료(k)에 대한 2차 제품의 생산계수(SPP_{ik})
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF_{ij}) 관리기준

① Tier 1

석유화학제품(i)	CO ₂ 배출계수(EF_{ij}) (tCO ₂ /t-제품(i))	CH ₄ 배출계수(EF_{ij}) (kgCH ₄ /t-제품(i))
메탄올	0.67	2.3
EDC	0.196 ¹⁾	-
VCM	0.294 ²⁾	-
EDC/VCM 통합공정	-	0.0226
에틸렌옥사이드(EO)	0.863	1.79
아크릴로니트릴(AN)	1.00	0.18
카본블랙	2.62	0.06

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

- 1) EDC의 배출계수에는 연소배출량이 포함되어 있으며, 해당 제품 생산에 따른 연소배출량을 별도로 산정하여 연소배출에 포함시켜 보고하는 경우, 공정배출량 산정에는 1톤당 0.0057tCO₂ 적용
- 2) VCM의 배출계수에는 연소배출량이 포함되어 있으며, 해당 제품 생산에 따른 연소배출량을 별도로 산정하여 연소배출에 포함시켜 보고하는 경우, 공정배출량 산정에는 1톤당 0.0086tCO₂ 적용

배출계수(EF_{ij}) 관리기준

② Tier 2

제 품	탄소함량 (PCI 또는 SCI) (tC/t-원료(k) 또는 생산제품(i,j))
아세토니트릴	0.5852
아크릴로니트릴	0.6664
부타디엔	0.888
카본 블랙	0.970
카본 블랙 원료	0.900
에탄	0.856
에틸렌다이클로라이드	0.245
에틸렌글리콜	0.387
에틸렌옥사이드	0.545
시아나화수소	0.4444
메탄올	0.375
메탄	0.749
프로판	0.817
프로필렌	0.8563
염화비닐 모노머	0.384

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 각각의 석유화학원료(k) 및 생산물(i,j) 등에 대하여 탄소함량 값을 분석하여 사용

④ Tier 4

- 연속측정방식(CEM)을 사용



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



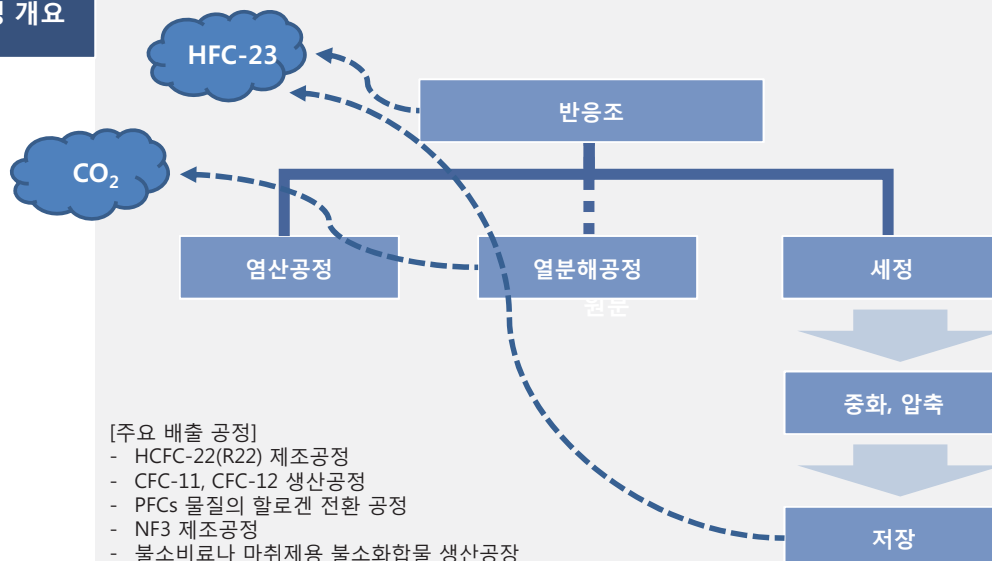
9G.11. 불소화합물 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악



불소화합물
생산개요

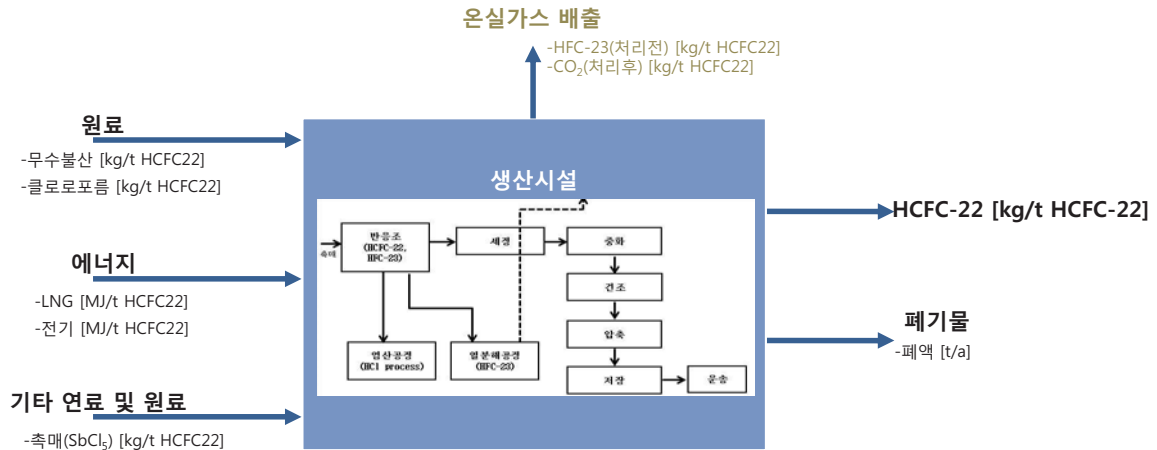
- 불소화합물(HCFC-22)는 발포제, 냉매, 다양한 제품 생산의 원료로 사용
- CFC 대체물질인 HCFC-22는 생산과정에서 HFC-23를 부산물 형태로 배출하며, HFC-23를 포함한 HFCs, PFCs, SF₆ 등 불소화합물들은 액체세정공정에서 잘 제거되지 않고 대기 중으로 배출

생산공정 개요



물질 에너지 수지

- 원료로 무수불산과 클로로포름, 기타원료로 촉매, 에너지로 LNG, 전력 등이 투입
- 제품인 불소 화합물과 기타부산물로 HCl이 산출
- 온실가스는 처리전에는 HFC-23, 처리후에는 CO₂를 배출



9G.11. 불소화합물 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 불소 화합물 생산시설은 온실가스로 FCs를 배출

구분	불소화합물(FCs)
산정방법론	Tier 1, 2, 3

배출량 산정식

- ① **Tier 1**: HCFC-22 또는 기타 불소화합물의 생산량과 기본배출계수를 이용하여 산정하는 방법
HFC-23은 전량 대기로 배출되는 것으로 가정하기 때문에 불확도가 상당히 높음

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

E_{HFC-23} : HFC-23배출량 (CO₂-e ton)

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

$P_{HCFC-22}$: 전체 HCFC-22 생산량(kg)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(HFC-23=11,700)

- ② **Tier 2**: HCFC-22의 생산량과 공정효율을 이용하여 계산된 HFC-23의 배출계수를 통해 배출량을 산정하는 방법
배출계수는 탄소의 효율과 불소의 효율을 이용하여 산출하는데 일반적으로는 두 계수의 평균 값을 사용하거나 불확도가 낮은 한 가지를 선택하여 산출

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

E_{HFC-23} : HFC-23배출량 (CO₂-e ton)

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

$P_{HCFC-22}$: 전체 HCFC-22 생산량(kg)

$F_{released}$: 처리되지 않은 채 대기로 연간 방출되는 비율(%)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 등가계수(HFC-23=11,700)

배출량 산정식

- ③ **Tier 3a<직접법>** : 대기로 방출되는 증기의 유량과 조성을 직접적, 지속적으로 측정할 수 있을 때 배출량을 산정하는 방법

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

E_{HFC-23} : HFC-23배출량(CO₂-e ton)
 C : 실제발생하는 HFC-23의 농도 (HFC-23 kg/gas-kg)
 f : 가스 유량의 총량(일반적으로 부피로 측정된 후 질량으로 환산하여 적용한다) (gas-kg/hour)
 t : 각 변수들이 측정된 시간(hour)
 $F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(HFC-23=11,700)>

- ④ **Tier 3b<프로시법>** : 배출에 관한 공정 변수들을 지속적으로 모니터링 할 수 있을 때 배출량을 산정하는 방법

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

E_{HFC-23} : HFC-23배출량 (CO₂-e ton)
 S : 시험운전시 배출가스 중 HFC-23의 표준 배출량(kg/unit)
 F : 공정 가동율에 따른 배출율(시험운전시 배출율에 대한 상수)
 P : 가동시간 중 공정 가동율(%)
 t : 공정 가동 시간
 R : 회수되거나 파괴되는 HFC-23의 양(kg)
 $F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(HFC-23=11,700)

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

C : 시험운전시 배출가스 중 HFC-23의 농도(HFC-23 kg/gas-kg)
 R : 시험운전시 배출가스 유량(kg/hour)
 P : 시험운전시 공정 가동율

- ⑤ **Tier 3c<공정 내 측정법>** : HFC-23이 생성되는 반응조에서 HFC-23의 농도를 지속적으로 측정할 수 있을 때 배출량을 산정하는 방법

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

E_{HFC-23} : HFC-23배출량 (CO₂-e ton)
 C : 반응조 안의 HFC-23 농도 (HFC-23 kg/HCFC-22 생산량 kg)
 P : HCFC-22 생산량(kg)
 t : HFC-23이 실제로 배기되는 시간 분율
 R : 회수한 HFC-23의 양(kg)
 $F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(HFC-23=11,700)

활동자료 (P) 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	HCFC-22 생산량(P)	HCFC-22 생산량(P)	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
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

생산기술		배출계수 (kg HFC-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 (배출량 kg/생산량 kg)
HFCs, PFCs		0.005
SF6	일반	0.002
	고순도	0.08

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수(EF) 관리기준

② Tier 2

- 아래 두 식에 의해 계산된 평균값을 사용하며, 그렇지 않은 경우 불확도가 낮은 한 가지를 선택하여 사용

㉠ 탄소수지 효율에 의한 배출계수 계산

$$EF_{carbon_balance} = \frac{(100 - CBE)}{100} \times F_{efficiency\ loss} \times FCC$$

$EF_{carbon_balance}$: 탄소수지에 의한 HFC-23 배출계수(HFC-23 kg / HCFC-22 kg)

CBE : 탄소수지 효율(%) (사업장 고유 자료)

$F_{efficiency\ loss}$: HFC-23의 효율손실 계수(분율) (사업장 고유 자료)

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

㉡ 불소수지 효율에 의한 배출계수 계산

$$EF_{fluorine_balance} = \frac{(100 - FBE)}{100} \times F_{efficiency\ loss} \times FCC$$

$EF_{fluorine_balance}$: 불소수지 계산에 의한 HFC-23 배출계수(HFC-23 kg / HCFC-22 kg)

FBE : 불소수지 효율(%) (사업장 고유 자료)

$F_{efficiency\ loss}$: HFC-23의 효율손실 계수(분율) (사업장 고유 자료)

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

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 계수를 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

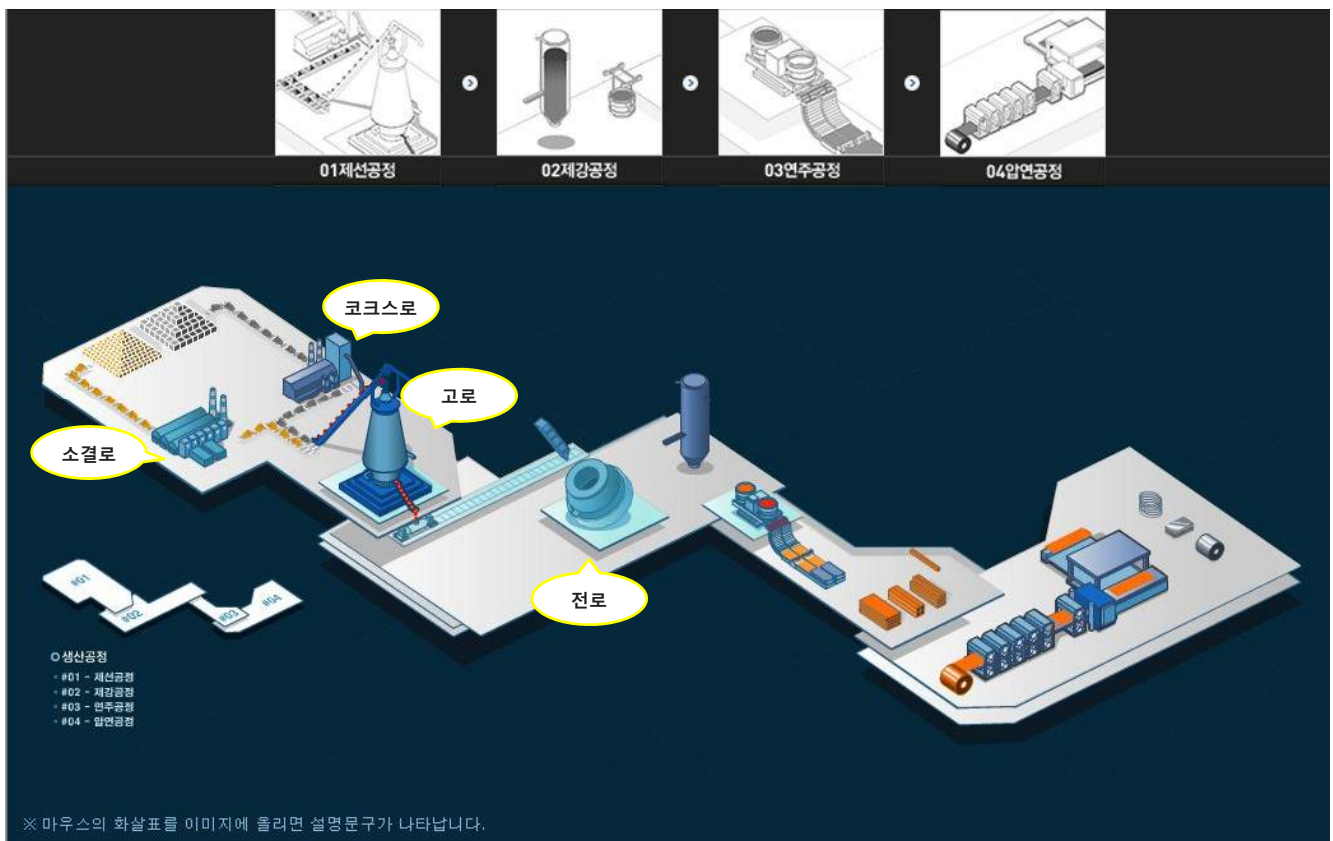
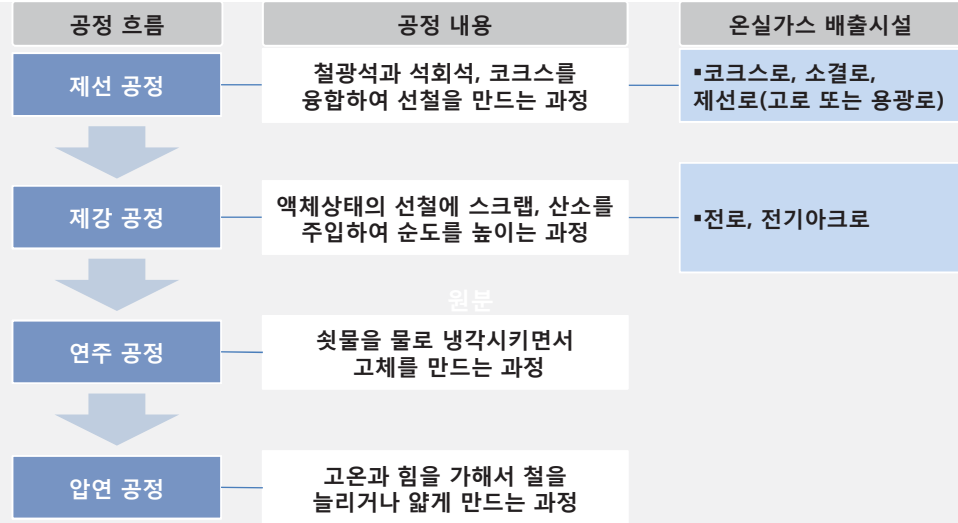
9G.16 전자산업 생산 공정



철강 생산 개요

- 철강 생산 공정은 크게 제선 및 제강으로 구분
- 제선공정은 철광석에서 선철을 만드는 과정이며 제강공정은 선철을 이용하여 강철을 만드는 공정

생산공정 개요

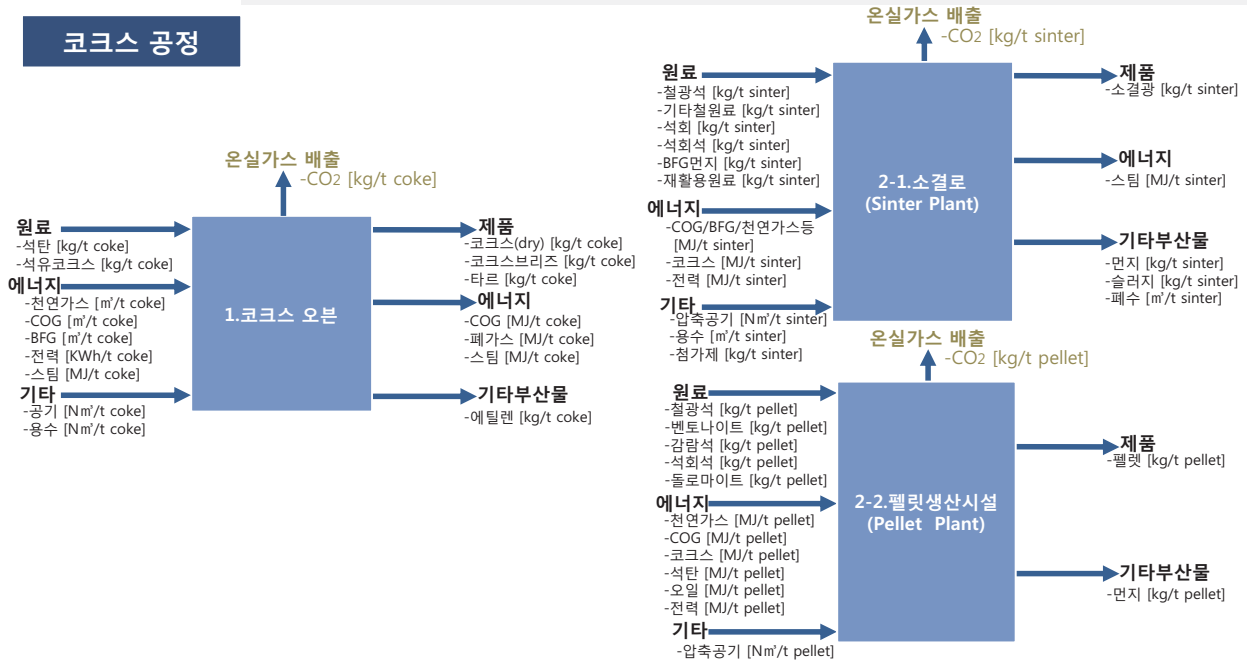


9G.12. 철강 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

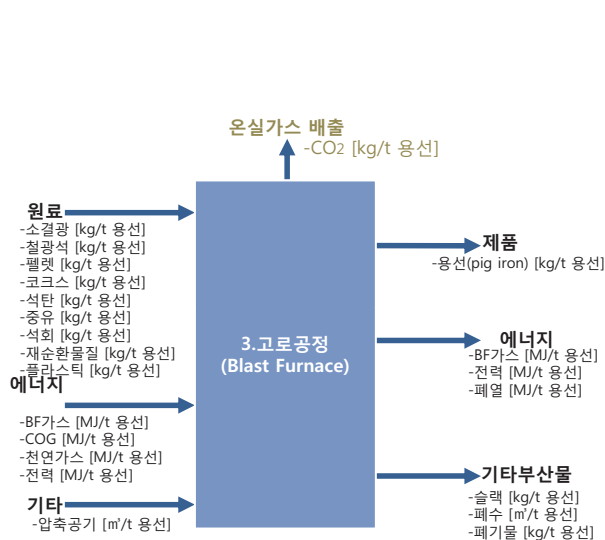
- 철강 생산 공정은 각 세부공정에서 온실가스를 배출하며, 상위 공정에서 생산된 제품은 하위 공정의 재료로 사용
- 온실가스는 철강생산 모든 공정에서 CO2를 배출

코크스 공정

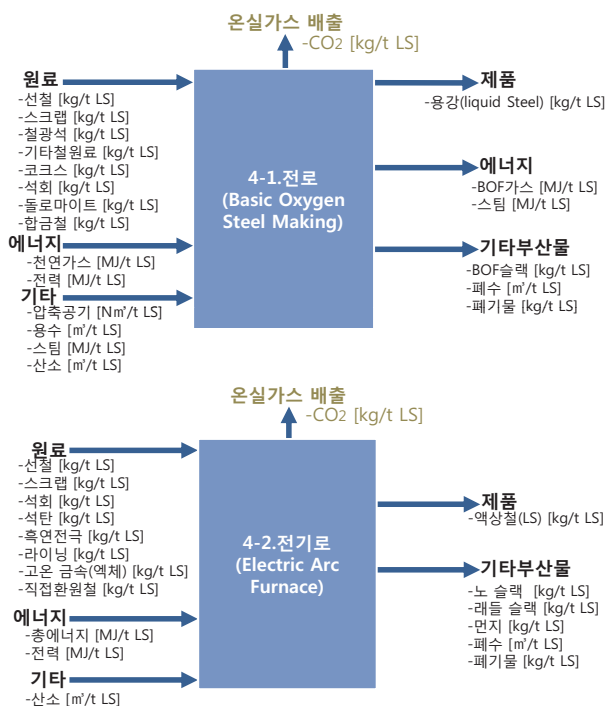


9G.12. 철강 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

제선 공정



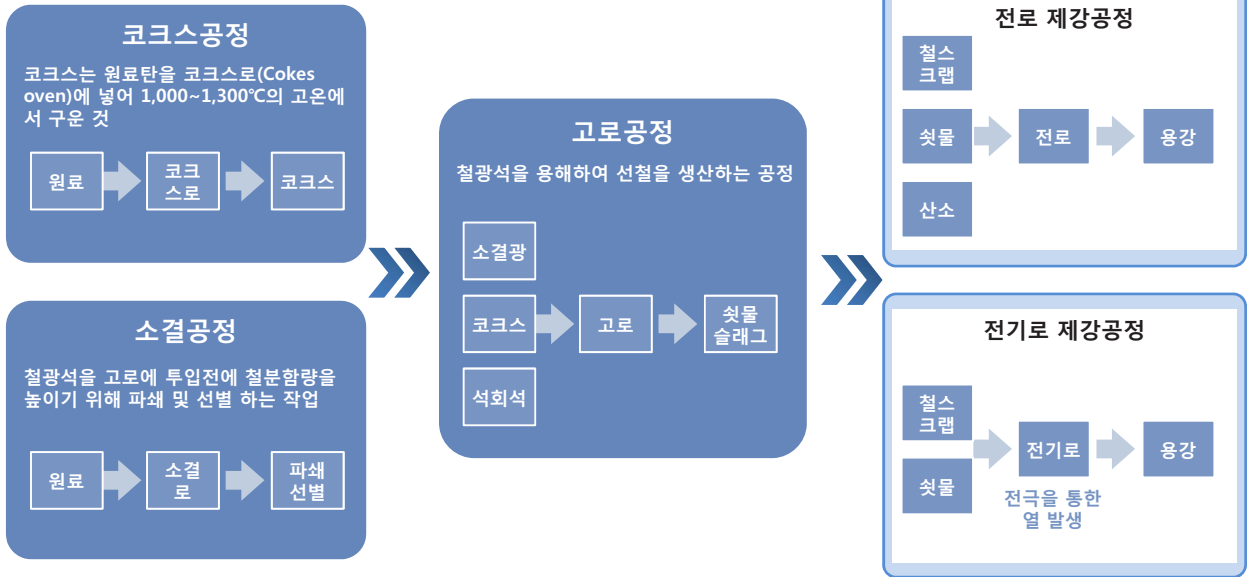
제강 공정



9G.12. 철강 생산 공정 – 배출원 확인

배출시설 종류

- 철강 생산 공정은 코크스로, 소결로, 제선로(고로), 전로, 전기로(전기아크로) 등의 시설에서 온실가스가 배출



9G.12. 철강 생산 공정 – 배출량 산정

보고대상 온실가스

- 철강 생산공정의 온실가스로 CO₂, CH₄를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
일관제철	Tier 3	-	-
코크스	Tier1, 2, 3	Tier1	-
소결, 펄릿	Tier1, 2, 3	Tier1	-
전로, 전기로	Tier1, 2, 3	Tier1	-

배출량 산정식 (일관제철)

① Tier 3 (물질수지법)

$$E_j = \frac{44}{12} \times [\Sigma (CCF_i \times Q_i) - \Sigma (CCF_p \times A_p) - \Sigma (CCF_e \times Y_e)] - [\Sigma (CCF_i \times \Delta S_{qi}) + \Sigma (CCF_p \times \Delta S_{ap}) + \Sigma (CCF_e \times \Delta S_{ye})]$$

E_j : 일관제철공정에서의 온실가스(j) 배출량(tCO₂)

CCF_i : 공정에 투입되는 각 연료 및 원료(i)의 탄소함량 (tC/unit-물질)

Q_i : 공정에 투입되는 각 연료 및 원료(i)사용량(unit : t, m³, KNm³)

CCF_p : 공정에서 생산되는 각 제품(p)의 탄소함량 (tC/unit-제품)

A_p : 공정에서 생산되는 각 제품(p) 생산량(unit: t, m³)

CCF_e : 공정에서 생산되어 외부로 나가는 각각의 부산물(e)의 탄소함량 (tC/unit-부산물)

Y_e : 공정에서 생산되어 외부로 나가는 각각의 부산물(e)의 양 (unit: t, Gcal)

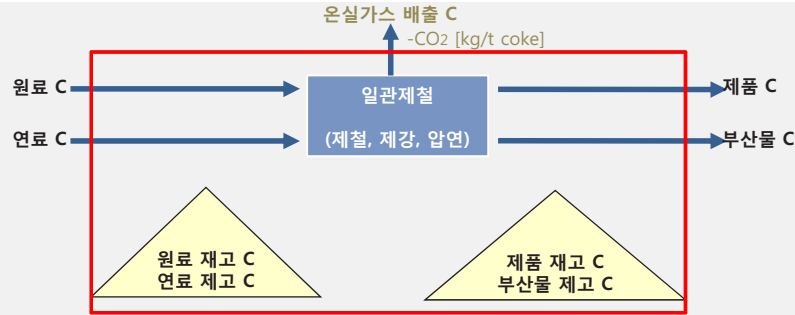
(콜타르, 조경유, 부생가스 등을 포함한다)

ΔS_{qi} : 일관제철공정 경계 내에 보관되는 연료 및 원료(i) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

ΔS_{ap} : 일관제철공정 경계 내에서 보관되는 제품(p) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

ΔS_{ye} : 일관제철공정 경계 내에서 보관되는 부산물(e) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

물질수지



배출량 산정식 (일관제철)

① Tier 3 (물질수지법)

$$E_j = \frac{44}{12} \times [\Sigma(CCF_i \times Q_i) - \Sigma(CCF_p \times A_p) - \Sigma(CCF_e \times Y_e)] - [\Sigma(CCF_i \times \Delta S_{qi}) + \Sigma(CCF_p \times \Delta S_{ap}) + \Sigma(CCF_e \times \Delta S_{qe})]$$

E_j : 일관제철공정에서의 온실가스(j) 배출량(tCO₂)

CCF_i : 공정에 투입되는 각 연료 및 원료(i)의 탄소함량 (tC/unit-물질)

Q_i : 공정에 투입되는 각 연료 및 원료(i)사용량(unit : t, m³, KNm³)

CCF_p : 공정에서 생산되는 각 제품(p)의 탄소함량 (tC/unit-제품)

A_p : 공정에서 생산되는 각 제품(p) 생산량(unit; t, m³)

CCF_e : 공정에서 생산되어 외부로 나가는 각각의 부산물(e)의 탄소함량 (tC/unit-부산물)

Y_e : 공정에서 생산되어 외부로 나가는 각각의 부산물(e)의 양 (unit; t, Gcal)

(콜타르, 조경유, 부생가스 등을 포함한다)

ΔS_{qi} : 일관제철공정 경계 내에 보관되는 연료 및 원료(i) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

ΔS_{ap} : 일관제철공정 경계 내에서 보관되는 제품(p) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

ΔS_{qe} : 일관제철공정 경계 내에서 보관되는 부산물(e) 재고의 순(net) 증가량(unit : t, m³, KNm³)

배출량 산정식 (코크스로)

① Tier 1 : 코크스 생산량을 기준으로 한 CO₂, CH₄ 배출량 산정

$$E_{Coke} = Q_{Coke} \times EF_{Coke} \times F_{eq,j}$$

E_{Coke} : 코크스로에서의 온실가스(CO₂, CH₄) 배출량(tCO₂eq)

Q_{Coke} : 코크스 생산량(ton)

EF_{Coke} : 온실가스(CO₂, CH₄) 배출계수 (tCO₂eq/t-coke)

$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

② Tier 2~3 : 코크스로에 사용된 원료 및 연료 사용량과 코크스 생산량을 활용하여 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{Coke} = \frac{44}{12} \times [CC \times C_{CC} + \Sigma(PM \times C_{PM}) - CO \times C_{CO} - COG \times C_{COG} - \Sigma(COB \times C_{COB})]$$

E_{Coke} : 코크스로부터 연간 CO₂ 배출량(ton)

$44/12$: CO₂/C 분자량 비율

CC : 원료탄 사용량(ton)

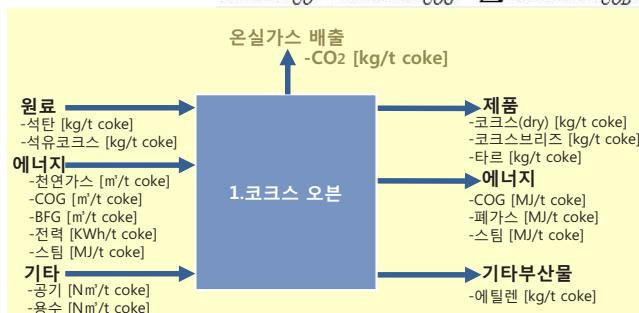
PM : 원료탄 이외의 원료사용량(ton)

CO : 코크스 생산량(ton)

COG : 코크스오븐가스 발생량(m³)

COB : 코크스오븐 부산물 발생량(ton)

C_x : X 물질 중 탄소함량(ton-C/ton, ton-C/m³)



배출량 산정식 (소결로)

① **Tier 1**: 소결물 생산량을 기준으로 한 CO₂, CH₄ 배출량 산정

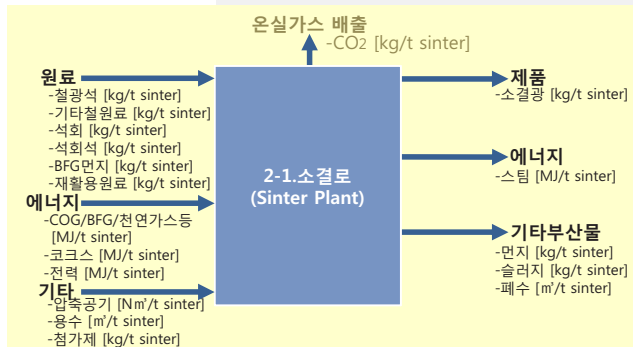
$$E_{SI} = SI \times EF_{SI} \times F_{eq,j}$$

E_{SI} : 소결로에서의 연간 CO₂ 및 CH₄ 배출량(tCO₂eq)
 SI : 소결물 생산량(ton)
 EF_{SI} : CO₂ 및 CH₄ 배출계수(tCO₂/ton, tCH₄/ton)
 $F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

② **Tier 2~3**: 소결물생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량과 소결물 생산량, 소결가스 발생량을 기준으로 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{SI} = \frac{44}{12} \times [CBR \times C_{CBR} + \sum (PM \times C_{PM}) - SOG \times C_{SOG}]$$

E_{SI} : 소결로에서의 연간 CO₂ 배출량(tCO₂)
 $44/12$: CO₂/C 분자량 비율
 CBR : 코크브리즈 사용량(ton)
 PM : 원료탄 이외의 원료사용량(ton)
 SOG : 소결로 가스 발생량(ton)
 C_X : 물질 X 중 탄소함량(tC/ton, tC/m³)



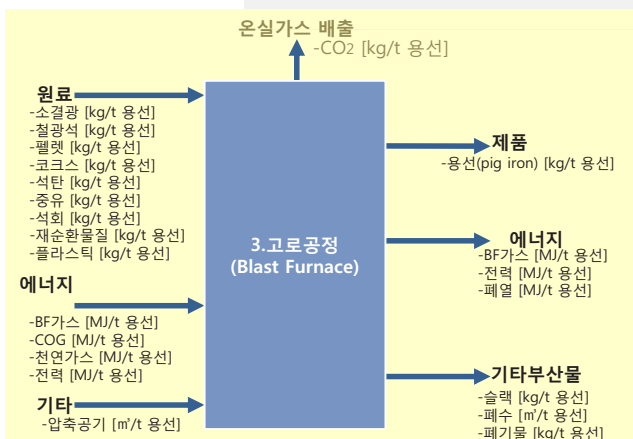
배출량 산정식 (고로)

① **Tier 1**: 용선 생산량을 기준으로 한 CO₂, CH₄ 배출량 산정

$$E_{BF} = Q_{BF} \times EF_{BF} \times F_{eq,j}$$

E_{BF} : 고로에서의 연간 CO₂ 및 CH₄ 배출량(tCO₂eq)
 Q_{BF} : 고로의 용선 생산량(ton)
 EF_{BF} : CO₂ 및 CH₄ 배출계수(tCO₂/ton, tCH₄/ton)
 $F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

② **Tier 2~3**: 용선 생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 용선생산량 등을 기준으로 CO₂ 배출량을 산정



E_{BF} : 고로에서의 연간 CO₂ 배출량(tCO₂)
 $44/12$: CO₂/C 분자량 비율
 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, 페플라스틱등)의 양(ton)
 PI : 고로의 용선 생산량(ton)
 BFG : 고로의 BFG 발생량(Nm³)
 C_X : X 물질 중 탄소함량(ton-C/ton, ton-C/Nm³)

$$E_{BF} = \frac{44}{12} \times [CC \times C_{CC} + \sum (COB \times C_{COB}) + \sum (PCI \times C_{PCI}) + Car \times C_{car} + \sum (O \times C_O) - PI \times C_{PI} - BFG \times C_{BFG}]$$

배출량 산정식 (전로, 전기로)

① **Tier 1**: 조강 생산량을 기준으로 한 CO₂, CH₄ 배출량 산정

$$E_{BOF} = Q_{BOF} \times EF_{BOF} \times F_{eq,j}$$

E_{BOF} : 전로에서의 CO₂ 및 CH₄ 배출량(tCO₂-eq)

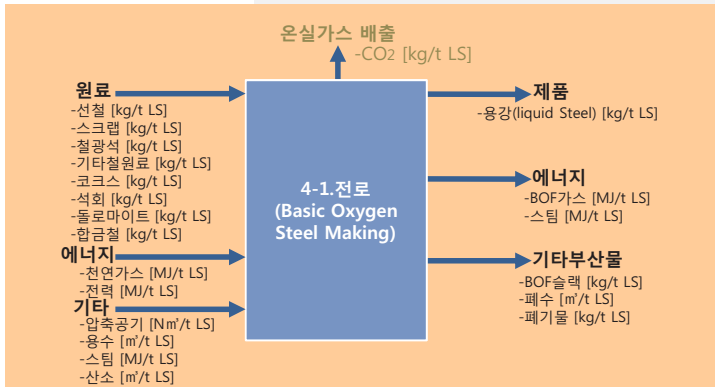
Q_{BOF} : 전로에서의 조강 생산량(ton)

EF_{BOF} : 전로에서의 CO₂ 및 CH₄ 기본 배출계수(tCO₂/ton, tCH₄/ton)

$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

② **Tier 2**: 조강 생산을 위해 사용된 원료 및 연료 사용량, 조강 생산량 등을 기준으로 한 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{BOF} = \frac{44}{12} \times [(PI \times C_{PI}) + (Car \times C_{Car}) + \sum (O \times C_O) - (S \times C_S) - (LDG \times C_{LDG})]$$



E_{BOF} : 전로에서 조강생산에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

$44/12$: CO₂/C 분자량 비율

PI : 전로에 투입된 용선의 양(ton)

Car : 전로에 투입된 탄산염물질의 양(ton)

O : 전로에 투입된 기타 공정물질(소결물, 펄라스틱 등)의 양(ton)

S : 전로의 조강생산량(ton)

LDG : 전로의 LDG 발생량(Nm³)

C_X : X 물질 중 탄소함량(ton-C/ton, ton-C/Nm³)

배출량 산정식 (전로, 전기로)

③ **Tier 3**: 조강 생산에 사용된 원료 및 연료 사용량, 조강 생산량 등을 기준으로 한 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{BOF} = \frac{44}{12} \times [(PI \times C_{PI}) + (Car \times C_{Car}) + (Scrap \times C_{Scrap}) + (Carbon \times C_{Carbon}) - (S \times C_S) - (LDG \times C_{LDG}) - (Slag \times C_{Slag}) - (R \times C_R)]$$

E_{BOF} : 전로에서 조강생산에 따른 CO₂ 배출량(tCO₂)

$44/12$: CO₂/C 분자량 비율

PI : 전로에 투입된 용선(pig iron)의 양(ton)

Car : 전로에 투입된 탄산염물질의 양(ton)

$Scrap$: 용광로에서 철스크랩(steel scrap)의 양(ton)

$Carbon$: 전로에 투입된 탄소물질(석탄, 코크스 등)의 양(ton)

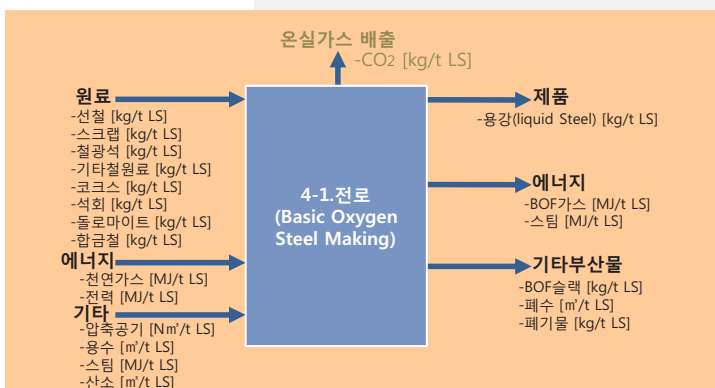
S : 전로의 조강생산량(ton)

LDG : 전로의 LDG 발생량(Nm³)

$Slag$: 전로의 LDG 발생량(Nm³)

R : 대기오염물질 방지시설의 잔류물질 양(ton)

C_X : X 물질 중 탄소함량(ton-C/ton, ton-C/Nm³)



배출량 산정식
 (직접환원로)

- ① **Tier 1**: 직접환원철 생산량을 기준으로 한 CO₂, CH₄ 배출량 산정

$$E_{DRI} = DRI \times EF_{DRI} \times F_{eq,j}$$

E_{DRI} : 직접산화철 생산에 따른 CO₂, CH₄ 배출량(CO₂-e ton)

DRI : 직접환원철 생산량(ton)

EF_{DRI} : CO₂ 및 CH₄ 배출계수(tCO₂/ton, tCH₄/ton)

$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)

- ② **Tier 2**: 직접환원철 생산에 사용된 원료 및 연료 사용량, 탄소함량 산량 등을 기준으로 한 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{DRI} = \frac{44}{12} \times (DRI_{NG} \times C_{NG} + DRI_{BZ} \times C_{BZ} + DRI_{CK} \times C_{CK})$$

E_{DRI} : 직접환원철 생산에 따른 CO₂ 배출량(ton)

44/12: CO₂/C 분자량 비율

DRI_{NG} : 직접환원철 생산에 사용된 천연가스량(GJ)

C_{NG} : 천연가스의 탄소함량(ton-C/GJ)

DRI_{BZ} : 직접환원철 생산에 사용된 코크브리즈량(GJ)

C_{BZ} : 코크브리즈의 탄소함량(ton-C/GJ)

DRI_{CK} : 직접환원철 생산에 사용된 야금코크스량(GJ)

C_{CK} : 야금코크스의 탄소함량(ton-C/GJ)

배출량 산정식
 (전로, 전기로)

- ③ **Tier 3**: 직접환원철 생산에 사용된 원료 및 연료 사용량, 철 생산량, 방지시설에 포집된 잔류 물질의 탄소분석 값을 기준으로 CO₂ 배출량을 산정

$$E_{DRI} = \frac{44}{12} \times (F_g \times C_{gf} \times \frac{MW}{MVC} \times 0.001 + Ore \times C_{Ore} + Carbon \times C_{Carbon} + Other \times C_{Other} - Iron \times C_{Iron} - NM \times C_{NM} - R \times C_R)$$

E_{DRI} : 직접환원로(direct reduction furnace)로부터 CO₂ 배출량(tCO₂)

44/12: CO₂/C 분자량 비율

F_g : 가스 연료의 연소량(ton)

MW : 가스연료의 분자량(kg/kg-mole)

MVC : 몰부피전환계수(22.4 m³/kg-mole)

0.001: kg을 ton으로의 전환계수

Ore : 직접환원로에 투입된 철광석(iron ore) 또는 철광석 Pellets량(ton)

$Carbon$: 직접환원로에서 탄소 물질(석탄, 코크스)의 연간 총전량(ton)

$Other$: 직접환원로에 충전된 기타 물질의 양(ton)

$Iron$: 연간 철 생산량(ton)

NM : 직접환원로에서 비금속 물질의 연간 생산량(ton)

R : 대기오염물질 방지시설의 잔류물질의 양(ton)

C_x : X 물질 중 탄소함량(ton-C/ton, ton-C/m³)

9G.12. 철강 생산 공정 – Tier 및 매개변수 확정

활동자료 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	투입연료 및 원료, 제품생산량, 공정외부로 나가는 부산물의 양, 각각의 순 재고증가량 등 활동 자료	투입연료 및 원료, 제품생산량, 공정외부로 나가는 부산물의 양, 각각의 순 재고증가량 등 활동 자료	투입연료 및 원료, 제품생산량, 공정외부로 나가는 부산물의 양, 각각의 순 재고증가량 등 활동 자료
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수 관리기준

- ① **Tier 1**
 - 아래 [코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CO₂, CH₄배출계수] 표와 [코크스 생산과 철과 강 생산에서 재료별 탄소 함량 계수]의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용
- ② **Tier 2**
 - 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용
- ③ **Tier 3**
 - 지침 제47조에 따라 사업자가 자체 개발한 각각의 연료 및 원료, 제품, 부산물 등에 대한 탄소함량 등 고유 배출계수를 사용
- ④ **Tier 4**
 - 연속측정방법(CEM)을 사용

9G.12. 철강 생산 공정 – Tier 및 매개변수 확정

배출계수 관리기준

① Tier 1

[코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CO₂ 배출계수]

공정 과정	배출계수 (tCO ₂ /t-생산물)
소결물 생산	0.20
코크스로가스	0.56
철 생산	1.35
직접 환원철 생산	0.70
펠렛 생산	0.03
전로 (BOF)	0.11
전기로(EAF)	0.08
평로(OHF)	1.72
국제 기준 값(65% BOF, 30% EAF, 5% OHF 기준)(강 1톤 생산 당 나오는 CO ₂ 양)	1.06

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

* 비교 : 이 표에 있는 EAF 강 주조 CO₂ 배출계수는 스크랩철(Scrap iron)생산량을 기본으로 하고 있으므로, EAF배출계수는 고로 철 주조에서 나오는 CO₂ 배출량과는 관련이 없다. 따라서 이 표에 있는 EAFs Tier 1 CO₂ 배출계수는 선철을 원료로 사용하는 EAFs에는 적합하지 않음

[코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CH₄ 배출계수]

공정구분	CH ₄ 배출계수 값
코크스생산	생산된 코크스 1톤당 0.1g
소결물생산	생산된 소결물 1톤당 0.07g
DRI생산	1kg/TJ (총 열량 기준)

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수
관리기준

① Tier 1

[코크스 생산과 철과 강 생산에서 재료별 탄소 함량 계수]

공정재료들	탄소 함량 계수(kg-C/kg)
고로가스(BFG)	0.17
석탄 ¹⁾	0.67
콜타르	0.62
코크스	0.83
코크스오븐가스(COG)	0.47
원료탄	0.73
직접환원철(DRI)	0.02
돌로마이트	0.13
EAF(Electric Arc Furnace, 전기로) 탄소 전극 ²⁾	0.82
EAF 충전 탄소 ³⁾	0.83
화석연료 ⁴⁾	0.86
가스코크스	0.83
열간성형철(HBI)	0.02
석회석	0.12
천연가스	0.73(또는 0.549kgC/Gcal)
전로가스(LDG)	0.35
석유코크스	0.87
냉선(Purchased Pig iron 또는 Cold iron)	0.04
스크랩선(Scrap iron)	0.04
강	0.01

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

* 비교 : 1) 다른 역청탄 가정

2) 80%는 석유 코크스 그리고 20%는 콜타르

3) 고로가스 가정

4) 가스/디젤 연료 가정

II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



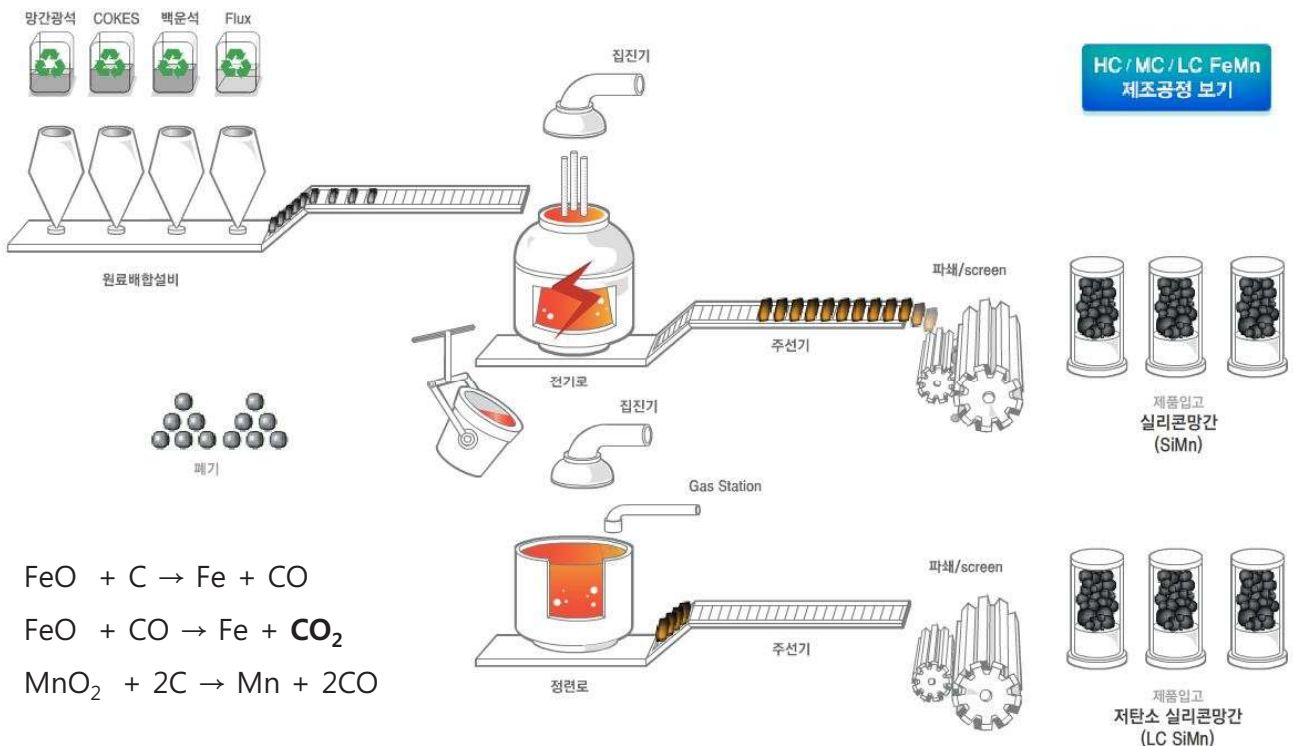
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY



합금철 생산 개요

- 합금철은 철과 하나 이상의 금속(실리콘, 망간, 크롬, 몰리브덴, 바나듐, 텅스텐 등)이 농축된 합금을 말함
- 철강 제련과정에서 용탕의 탈산 혹은 탈류 등 불순물을 제거하거나 철 이외의 성분원소 첨가를 목적으로 사용

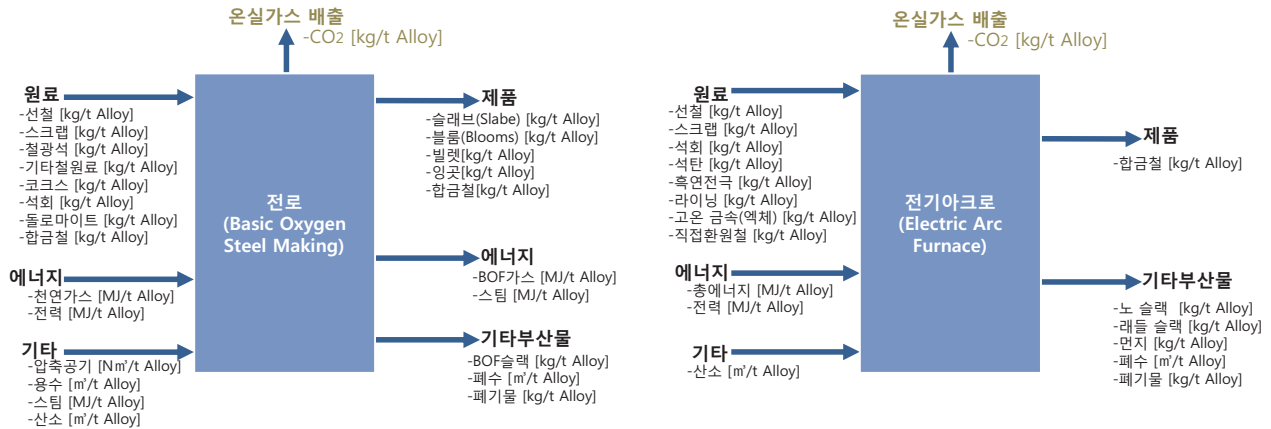
합금철 제조 공정 개요



9G.13. 합금철 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

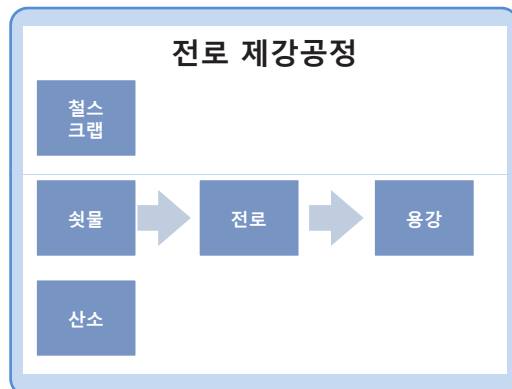
- 합금철 생산 공정의 물질 에너지 수지는 철강생산공정의 전기, 전기아크로 공정과 동일
- 온실가스는 합금철 모든 공정에서 CO₂를 배출



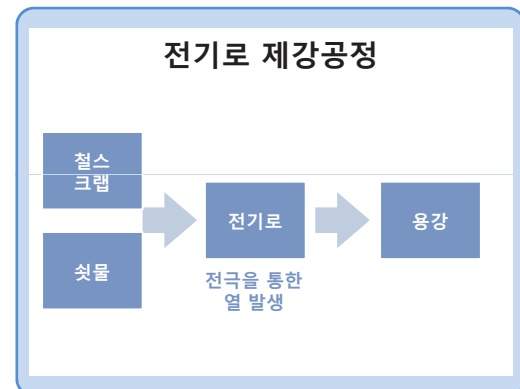
9G.13. 합금철 생산 공정 – 배출원 확인

배출시설 종류

- 합금철 생산 공정은 전로, 전기로(전기아크로) 등의 시설에서 온실가스를 배출



- 용광로에서 제조된 선철(용선)을 정련하여 용강으로 만드는데 사용



- 아크로(Arc Furnace)와 유도로(Induction Furnace)로 분류되며, 아크로는 주로 대용량의 연강(Mild Steel) 및 고합금강의 제조에 사용되고 유도로는 주로 고급특수강이나 주물을 주조하는데 사용

보고대상 온실가스

- 합금철 생산시설은 온실가스로 CO₂, CH₄를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1,2,3,4	Tier1,2	-

배출량 산정식

① Tier 1

$$E_{i,j} = Q_i \times EF_{i,j} \times F_{eq,j}$$

E_{ij} : 각 합금철(j) 생산에 따른 CO₂ 및 CH₄ 배출량(ton)

Q_i : 합금철 제조공정에 생산된 각 합금철(i)의 양(ton)

EF_{ij} : 합금철(i) 생산량 당 배출계수(tCO₂/t-합금철, tCH₄/t-합금철)

배출량 산정식

② Tier 2

$$E_{CO_2} = \sum (M_{ra} \times EF_{ra}) + \sum (M_{ore} \times CC_{ore}) \times \frac{44}{12} + \sum (M_{sfm} \times CC_{sfm}) \times \frac{44}{12} - \sum (M_p \times CC_p) \times \frac{44}{12} - \sum (M_{npos} \times CC_{npos}) \times \frac{44}{12}$$

$$E_{CH_4} = Q \times EF_{CH_4} \times F_{eq,j}$$

E_{CO_2} : 합금철 생산에 따른 CO₂ 배출량(ton)

M_{ra} : 환원제(reducing agent)의 무게(ton)

EF_{ra} : 환원제의 배출계수(CO₂-ton/환원제-ton)

M_{ore} : 원석(ore)의 무게(ton)

CC_{ore} : 원석(ore)의 탄소함량(tC/ton-원석)

M_{sfm} : 슬래그 형성물질(slag forming material)의 양(ton)

CC_{sfm} : 슬래그 형성물질 내 탄소함량(tC/t-슬래그형성물질)

M_p : 생산제품(product)의 무게(ton)

CC_p : 생산제품 내 탄소함량(tC/t-제품)

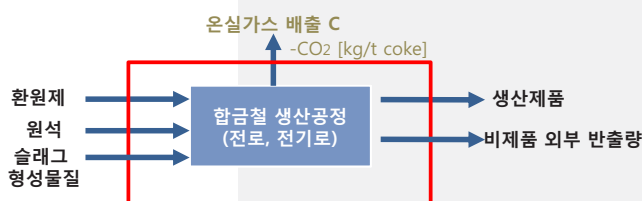
M_{npos} : 비제품 외부 반출량(non-product outgoing stream)량(ton)

CC_{npos} : 외부 반출된 비제품 중 탄소함량(ton-C/t-비제품)

E_{CH_4} : 각 합금철(j) 생산에 따른 CH₄ 배출량(CO₂-e ton)

Q : 합금철 제조공정에 생산된 각 합금철(i)의 양(ton)

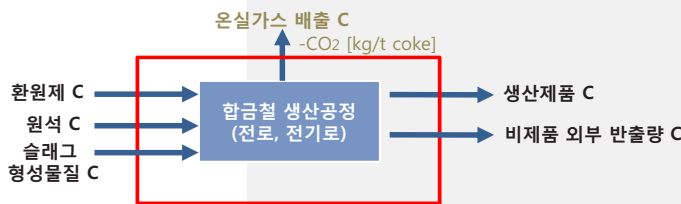
$F_{eq,j}$: 온실가스(CO₂, CH₄)의 CO₂ 등가계수 (CO₂=1, CH₄=21)



배출량 산정식

③ Tier 3

$$E_{CO_2} = \sum (M_{ra} \times CC_{ra}) \times \frac{44}{12} + \sum (M_{ore} \times CC_{ore}) \times \frac{44}{12} + \sum (M_{sfm} \times CC_{sfm}) \times \frac{44}{12} - \sum (M_p \times CC_p) \times \frac{44}{12} - \sum (M_{npos} \times CC_{npos}) \times \frac{44}{12}$$



E_{CO_2} : 합금철 생산에 따른 CO₂ 배출량(ton)
 M_{ra} : 환원제(reducing agent)의 무게(ton)
 CC_{ra} : 환원제의 탄소함량(ton-C/t-환원제)
 M_{ore} : 원석(ore)의 무게(ton)
 CC_{ore} : 원석의 탄소함량(ton-C/t-원석)
 M_{sfm} : 슬래그 형성물질(slag forming material)의 양(ton)
 CC_{sfm} : 슬래그 형성물질내 탄소함량(tC/t-슬래그형성물질)
 M_p : 생산제품(product)의 무게(ton)
 CC_p : 생산제품 내 탄소함량(tC/t-제품)
 M_{npos} : 비제품 외부 반출량 (non-product outgoing stream)량(ton)
 CC_{npos} : 외부 반출된 비제품 중 탄소함량(tC/t-비제품)

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

9G.13. 합금철 생산 공정 – Tier 및 매개변수 확정

활동자료 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방법(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	합금철 생산량(Q)	환원제, 원석 등의 원료사용량 및 제품생산량	환원제, 원석 등의 원료사용량 및 제품생산량
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수 관리기준

① Tier 1

- 아래 [합금철 생산량 당 CO₂, CH₄ 기본 배출계수] 표에 따른 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용. 다만 국가 고유 배출계수가 고지되지 않아 활용하지 못할 경우 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 환원제별 탄소함량을 분석하여 고유 배출계수를 개발하여 사용

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

배출계수
관리기준

① Tier 1

[합금철 생산량 당 CO₂ 기본 배출계수]

합금철 종류	CO ₂ 배출계수(tCO ₂ /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	9.0

[합금철 생산량 당 CH₄ 기본 배출계수, CH₄ kg/합금철 생산량ton]

합금철 종류	전기로(EAF) 작동 방식		
	회차충진 방식 (Batch charging)	흩뿌림 충전방식 (Sprinkle charging)	흩뿌림 충전, 750°C 이상 (Spring charging >750°C)
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

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수
관리기준

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용. 다만 국가 고유 배출계수가 고지되지 않아 활용하지 못할 경우 아래 표의 IPCC 가이드라인 기본 배출계수를 사용

[환원제별 CO₂ 기본 배출계수]

환원제의 종류	배출계수(t-CO ₂ /t-합금철)
석탄	3.1
코크스	3.2 ~ 3.4
Prebaked	3.54
전극페이스트	3.4
석유코크스	3.5

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

배출계수(EF)
관리기준

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 환원제별 탄소함량을 분석하여 다음 식에 따라 고유 배출계수를 개발하여 사용

$$CC_{ra} = F_{FixC} + F_{volatiles} \times C_v$$

CC_{ra} : 환원제(reducing agent)의 탄소함량(tC/ton-환원제)

F_{FixC} : 환원제 중 고정탄소(FixC)의 질량비(t/t-환원제)

$FixC(\%) = 100\% - \% Ash - \% Volatile$

$F_{volatile}$: 환원제 중 휘발성물질의 질량비(t-휘발성물질/t-환원제)

C_v : 휘발성물질의 탄소함량(tC/t-휘발성물질)

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정



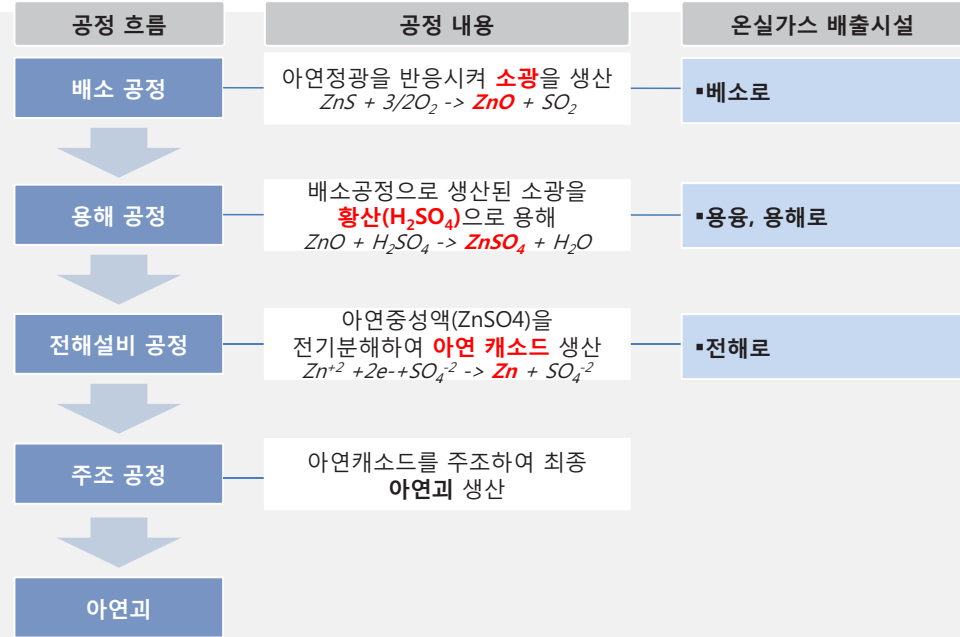
한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

9G.14. 아연 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

아연 생산 개요

- 아연(Zn)은 지각속에 널리 분포하는 중요한 비철금속으로 세계적으로 가장 많이 사용되는 금속 중의 하나
- 대부분의 아연광석은 노천광산이 아닌 지하광산에서 채굴

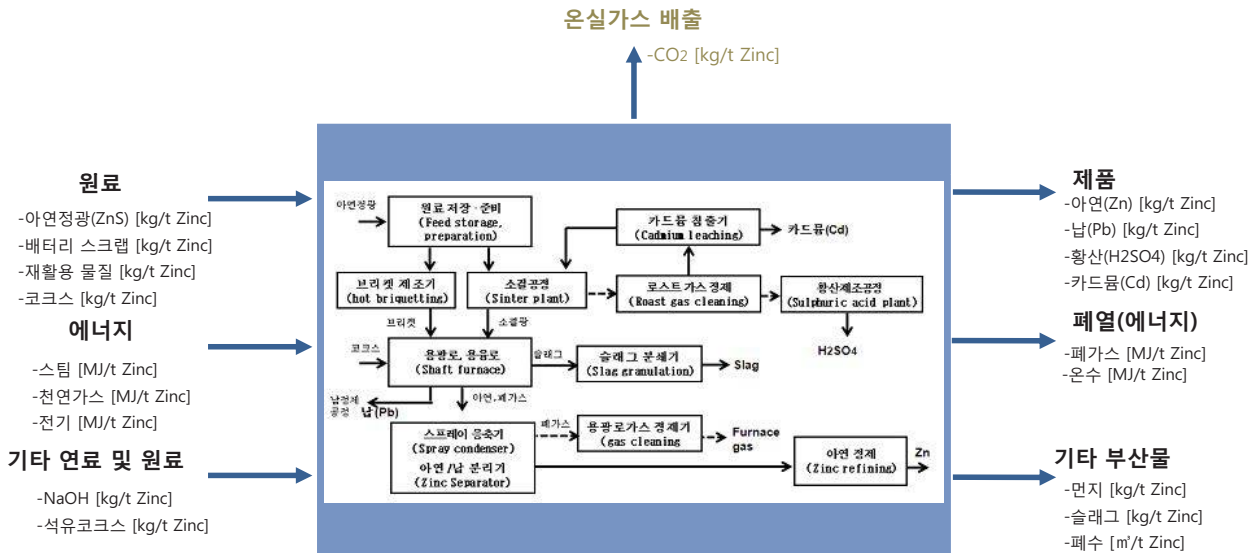
아연 제조 공정 개요



9G.14. 아연 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

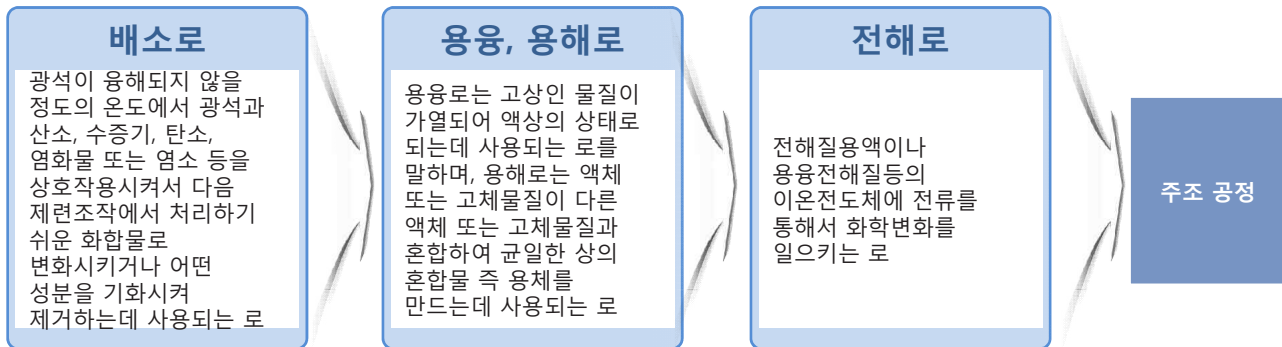
물질 에너지 수지

- 아연정광, 배터리 스크랩, 코크스 등의 원료, NaOH, 석유코크스 등의 기타물질과 에너지를 투입
- 아연, 납, 황산, 카드뮴 제품과 먼지, 슬래그, 폐수 등의 기타부산물물 산출
- 온실가스는 CO₂를 배출



배출시설 종류

아연 생산 공정은 배소로, 용융, 용해로, 전해로 등이 온실가스 배출시설



보고대상 온실가스

아연 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier 1a, 1b, 2, 3, 4	-	-

배출량 산정식

① Tier 1a

$$E_{CO_2} = Z_n \times EF_{default}$$

E_{CO_2} : 아연 생산으로 인한 CO₂ 배출량(tCO₂)

Z_n : 생산된 아연의 양(t)

$EF_{default}$: 아연 생산량 당 배출계수 (tCO₂/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 CO₂ 배출량(tCO₂)

ET : 전기 열 증류법에 의해 생산된 아연의 양(ton)

EF_{ET} : 전기 열 증류법에 대한 CO₂ 배출계수(tCO₂/t-생산된 아연)

PM : 건식 야금과정에 의해 생산된 아연의 양(ton)

EF_{PM} : 건식 야금과정에 대한 배출계수(tCO₂/t-생산된 아연)

WK : Waelz Kiln 과정에 의해 생산된 아연의 양(ton)

EF_{WK} : Waelz Kiln 과정에 대한 배출계수(tCO₂/t-생산된 아연)

배출량 산정식

③ Tier 3

$$E_{K,CO_2} = [(Z_k \times C_{zk}) + (F_k \times C_{Fk}) + (E_k \times C_{Ek}) + (C_k \times C_{Ck})] \times \frac{44}{12}$$

E_{CO_2} : Waelz Kiln 또는 전기용광로에서 배출되는 CO₂ 양(tCO₂)

Z_k : Kiln 또는 용광로에 충전한 아연함유물질량(ton)

C_{zk} : 아연함유물질의 탄소함량(wt%)

F_k : 석회석, 백운석과 같은 Flux materials 충전량(ton)

C_{Fk} : Flux materials의 탄소함량(wt%)

E_k : 탄소전극 소비량(ton)

C_{Ek} : 탄소전극의 탄소함량(wt%)

C_k : 탄소계 물질(킬른이나 로 등에 투입되는 석탄코크스 등을 의미한다) 충전량(ton)

C_{Ck} : 탄소계 물질(킬른이나 로 등에 투입되는 석탄코크스 등을 의미한다)의 탄소함량(wt%)

$$E_{F,CO_2} = [(Z_f \times C_{zf}) + (R_f \times C_{Rf}) + (C_f \times C_{Cf}) + (O_f \times C_{Of})] \times \frac{44}{12}$$

E_{CO_2} : Fuming 공정에서 배출되는 CO₂ 양(tCO₂)

Z_f : Residue 투입량(ton)

C_{zf} : Residue의 탄소함량(wt%)

R_f : 환원제 사용량(ton)

C_{Rf} : 환원제의 탄소함량(wt%)

C_f : 탄산염류 사용량(ton)

C_{Cf} : 탄산염류의 탄소함량(wt%)

O_f : 기타 부원료 사용량(ton)

C_{Of} : 기타 부원료의 탄소함량(wt%)

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

9G.14. 아연 생산 공정 – Tier 및 매개변수 확정

활동자료 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1a	Tier1b	Tier2	Tier3
관리데이터	아연 생산량	아연 생산량(전기열 증류법, 건식야금, Waelz kiln 생산 등)	아연 생산량(전기열 증류법, 건식야금, Waelz kiln 생산 등)	아연함유물질량, 석회 석·백운석 등 환원제, 탄소전극 소비량, 탄소계 물질 충전량
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

공정 구분	배출계수 (tCO ₂ /t-생산아연)
기본 배출계수 ($E_{default}$)(공정 구분이 안 되는 경우)	1.72
Waelz Kiln (E_{WK})	3.66
전기 열 (E_{ET})	-
건식야금법 (E_{PM})	0.43

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체적으로 분석한 아연함유물질, Flux Material, 탄소전극 및 탄소계물질 등의 탄소함량 값을 사용

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용



III 9G.업종별 공정배출량 산정방법론

9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

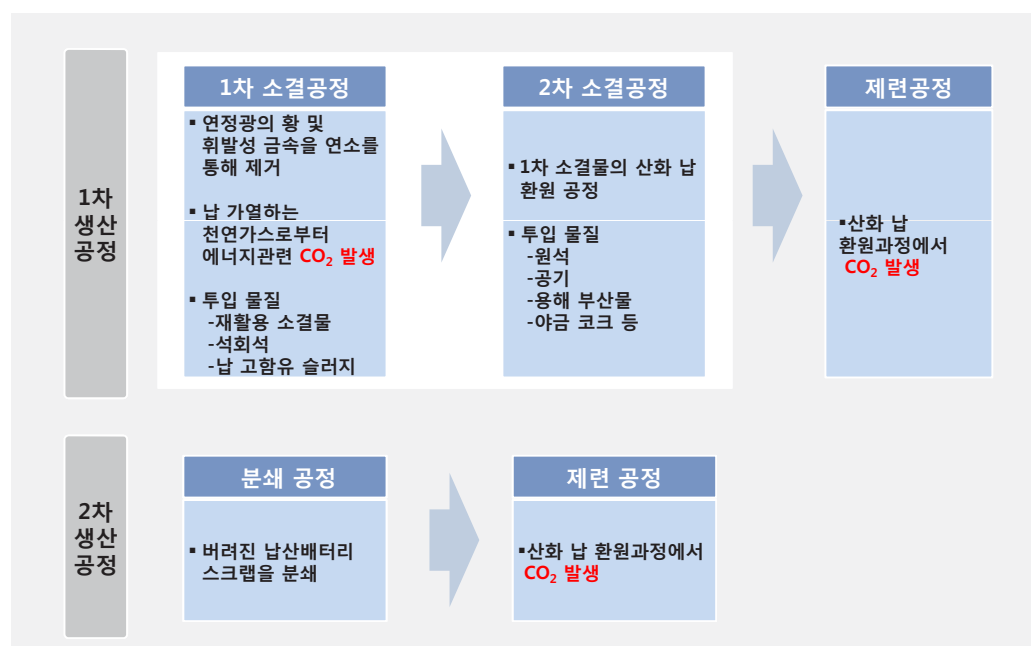
9G.16 전자산업 생산 공정



9G.19. 납 생산 공정 – 대상설비 기초정보 파악

납 생산 개요

- 납 생산 공정은 신규생산의 1차 생산 공정과 기존 납제품의 재활용 생산의 2차 생산 공정으로 나누어 진다.



보고대상
온실가스

- 납 생산시설은 온실가스로 CO₂를 배출

구분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
산정방법론	Tier1, 2, 3	-	-

배출량 산정식

① Tier 1

$$E_{CO_2} = Pb \times EF_{de\ fault}$$

E_{CO_2} : 납 생산으로 인한 CO₂ 배출량(tCO₂)

Pb : 생산된 납의 양(t)

$EF_{default}$: 납 생산량 당 배출계수 (tCO₂/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 CO₂ 배출량(tCO₂)

DS : 직접제련에 의해 생산된 납의 양(ton)

EF_{DS} : 직접제련에 대한 배출계수(tCO₂/t-생산된 납)

ISF : ISF(Imperial Smelt Furnace)에서 생산된 납의 양(ton)

EF_{ISF} : ISF에 대한 배출계수(tCO₂/t-생산된 납)

S : 2차 생산 공정에서의 납 생산량(ton)

EF_S : 2차 생산 공정에 대한 배출계수(tCO₂/t-생산된 납)

배출량 산정식

③ Tier 3

$$E_{CO_2} = [(P_k \times C_{P,k}) + (S_k \times C_{S,k}) + (R_k \times C_{R,k}) + (C_k \times C_{C,k})] \times \frac{44}{12}$$

E_{CO_2} : 연제련 공정에서 CO₂ 양(tCO₂)

P_k : 연정광 투입량(ton)

$C_{P,k}$: 연정광의 탄소함량(wt%)

S_k : Residue 또는 Cake 등의 투입량(ton)

$C_{S,k}$: Residue 또는 Cake 등의 탄소함량(wt%)

R_k : 환원제 사용량(ton)

$R_{E,k}$: 환원제의 탄소함량(wt%)

C_k : 탄산염류 사용량(ton)

$C_{C,k}$: 탄산염류의 탄소함량(wt%)

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용

활동자료 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위
- Tier4는 연속측정방식(CEM)을 사용

구분	Tier1	Tier2	Tier3
관리데이터	납 생산량	납 생산량	납함유물질량, 환원제 사용량, 탄소계 물질 사용량 등
관리기준	측정불확도 $\pm 7.5\%$ 이내	측정불확도 $\pm 9.0\%$ 이내	측정불확도 $\pm 2.5\%$ 이내

배출계수(EF) 관리기준

① Tier 1

활동자료(i) 구분	CO ₂ 배출계수
납 생산량	0.52 tCO ₂ /t-생산된 납

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

② Tier 2

- 지침 제46조 제2항에 따른 국가 고유 배출계수를 사용. 없는 경우, 아래의 기본 배출계수 사용
< 납제련 공정에서 IPCC 기본 배출계수 >

공정 구분	배출계수 (tCO ₂ /t-생산된 납)
ISF 공정 (납, 아연 제련용 용광로)	0.59
DS 공정 (직접제련)	0.25
2차 생산 공정	0.2

③ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체적으로 분석한 납함유물질, 환원제, 탄소염류 탄소함량 값을 사용

④ Tier 4

- 연속측정방법(CEM)을 사용



II 9G.업종별 공정배출량 산정방법론



9G.1 시멘트 생산 공정

9G.2 석회 생산 공정

9G.3 탄산염의 기타공정

9G.4 암모니아 생산 공정

9G.5 질산 생산 공정

9G.6 아디프산 생산 공정

9G.7 카바이트 생산 공정

9G.8 소다회 생산 공정

9G.9 석유 정제 공정

9G.10 석유화학제품 생산 공정

9G.11 불소화합물 생산 공정

9G.12 철강 생산 공정

9G.13 합금철 생산 공정

9G.14 아연 생산 공정

9G.15 납 생산 공정

9G.16 전자산업 생산 공정

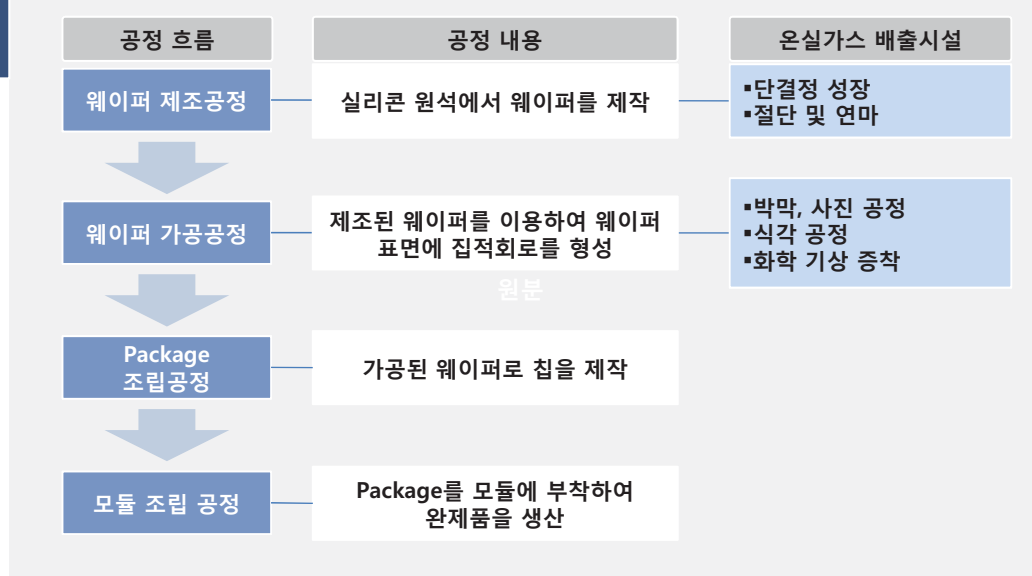


9G.16. 전자산업 공정 – 대상설비 기초정보 파악

전자산업 생산 개요

- 전자 산업으로는 반도체, 박막 트랜지스터 평면 디스플레이(TFT-FPD), 광전지(PV) 제조업 등이 포함

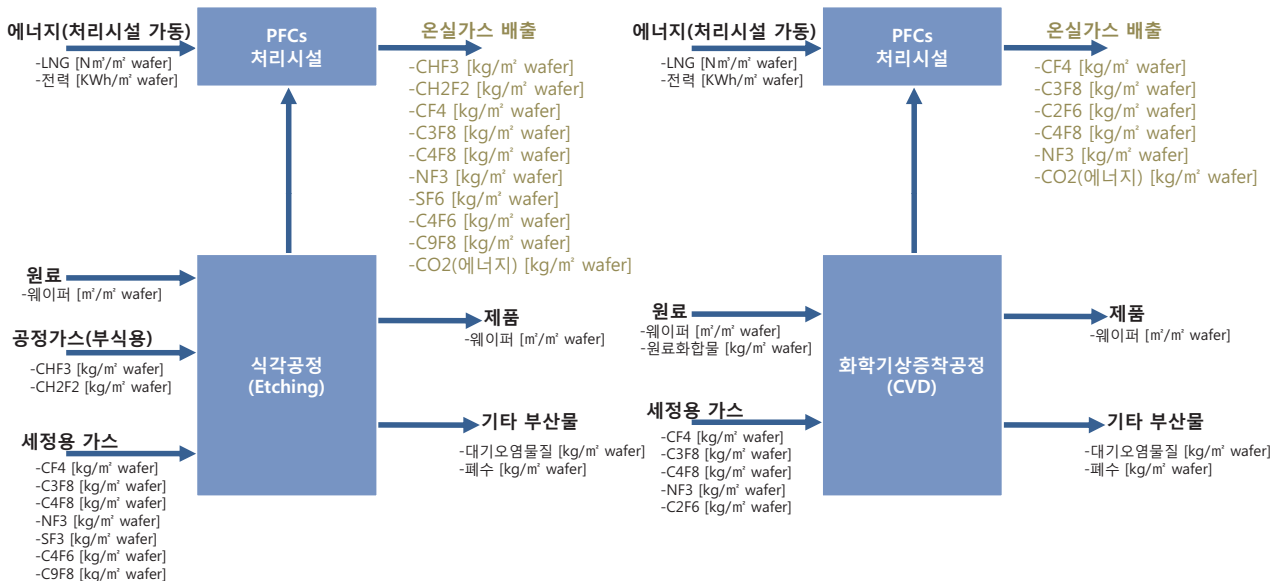
전자산업 제조 공정 개요



9G.16. 전자산업 공정 – 대상설비 기초정보 파악

물질 에너지 수지

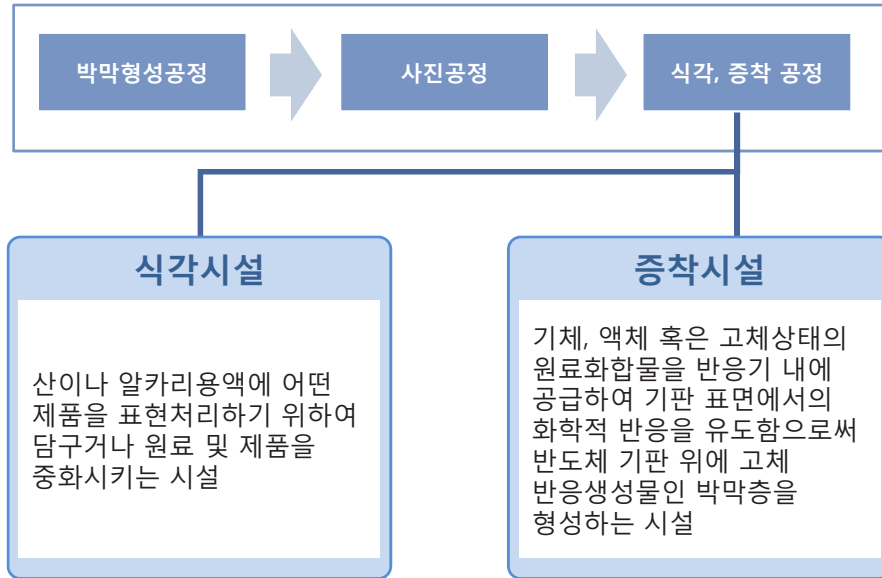
- 전자산업의 생산공정은 PFCs 처리시설에서 온실가스를 배출
- CO₂이외에 다종의 온실가스를 배출



전자산업
배출시설

- 전자산업은 웨이퍼 가공공정 중 식각시설과 증착시설에서 온실가스가 배출
- 화공약품의 사용 및 화학반응을 통해 3대 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O) 이외의 온실가스가 배출

[웨이퍼 가공 공정]

보고대상
온실가스

- 전자산업 생산공정은 온실가스로 FCs를 배출

구분	불소화합물(FCs)
반도체/LCD/PV 생산부문	Tier 1, 2a, 2b, 3
열전도 유체 부문	Tier 2

배출량 산정식
(반도체/LCD/PV
생산 부문)

① Tier 1 – 사업장 자료가 없을 경우에만 적용하는 방법

$$FC_{gas} = Q_i \times EF_{FC} \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

FC_{gas} : FC 가스의 배출량(CO₂-e ton/yr)

Q_i : 제품생산 실적 (m²/yr)

EF_{FC} : 배출계수, 제품생산실적 m²당 사용되는 가스량(kg/m²)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

배출량 산정식 (반도체/LCD/PV 생산 부문)

② Tier 2a – 공정의 종류(식각 또는 세정) 구별하지 않음

㉠ 반도체/LCD/PV 생산 부문 산정식

$$FC_{gas} = (1-h) \times FC_j \times (1-U_j) \times (1-a_j \times d_j) \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

FC_{gas} : FC 가스(j)의 배출량(CO₂-e ton/yr)

FC_j : 가스 j의 소비량(kg)

h : 가스 Bombe 내의 잔류비율, 비율(기본값은 0.1)

U_j : 가스 j의 사용비율, 비율(공정 중 파괴되거나 변환된 비율)

a_j : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스 j의 부피 비율, 비율

d_j : 배출제어기술에 의한 가스 j의 저감효율, 비율

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

㉡ 부생가스 배출량 산정식

$$BPE_{CF_4,j} = (1-h) \times B_{CF_4,j} \times FC_j \times (1-a_j \times d_{CF_4}) \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

$BPE_{CF_4,j}$: FC 가스 j사용에 따른 부생가스 CF₄의 배출량(CO₂-e ton)

h : 가스 Bombe 내의 가스 j의 잔류비율, 비율

$B_{CF_4,j}$: 배출계수, CF₄ 발생량(kg)/가스 j의 사용량(kg)

a_j : 배출제어기술이 있는 공정 중의 가스 j의 부피 비율, 비율

d_{CF_4} : 배출제어기술에 의한 CF₄의 저감효율, 비율

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

* C₂F₆, CHF₃, C₃F₈도 동일한 방법을 적용하고 합산하여 총 부생가스의 양을 산출

배출량 산정식 (반도체/LCD/PV 생산 부문)

② Tier 2b – 식각 또는 세정 공정으로만 구분하여 공정별 계수 적용

㉠ 반도체/LCD/PV 생산 부문 산정식

$$FC_{gas} = (1-h) \times \sum [FC_{j,p} \times (1-U_{j,p}) \times (1-a_{j,p} \times d_{j,p})] \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

FC_{gas} : FC 가스(j)의 배출량(CO₂-e ton/yr)

p : 공정 종류 (식각 또는 CVD 세척)

$FC_{j,p}$: 공정 p에 주입되는 가스 j의 질량(kg)

h : 가스 Bombe 내의 가스 j의 잔류비율, 비율

$U_{j,p}$: 공정 p에서의 각 가스 j의 사용비율

$a_{j,p}$: 배출제어기술이 있는 공정 p에서의 가스 j의 부피 비율, 비율

d_j : 배출제어기술에 의한 공정 p에서의 가스 j의 저감효율, 비율

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

* 제어기술이 하나 이상일 때에는 제어기술들에 의한 평균 저감 효율 이용

㉡ 부생가스 배출량 산정식

$$BPE_{CF_4,j} = (1-h) \times \sum [B_{CF_4,j,p} \times FC_{j,p} \times (1-a_{j,p} \times d_{CF_4,p})] \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

$BPE_{CF_4,j}$: FC 가스 j사용에 따른 부생가스 CF₄의 배출량(CO₂-e ton)

h : 가스 Bombe 내의 가스 j의 잔류비율, 비율

$B_{CF_4,j}$: 배출계수, 공정(p)에서 가스(j) 사용에 따른 부산물 CF₄ 배출량, CF₄ 생산량(kg)/가스 j의 사용량(kg)

$FC_{j,p}$: 공정 p에 주입되는 가스 j의 질량(kg)

$a_{j,p}$: 배출제어기술이 있는 공정(p) 중의 가스 j의 부피 비율, 비율

d_{CF_4} : 공정p에서의 배출제어기술에 의한 CF₄의 파괴율, 비율

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

* C₂F₆, CHF₃, C₃F₈도 동일한 방법을 적용하고 합산하여 총 부생가스의 양을 산출

배출량 산정식 (반도체/LCD/PV 생산 부문)

④ Tier 3

- Tier 2b와 마찬가지로 공정별 고유 계수 이용
- 소규모 단위 공정마다 개별적인 고유 계수 적용하는 방법
- Tier 2b에서의 (p)변수가 Tier 3에서는 특정 공정에 대한 사업장 고유 계수로 대체

배출량 산정식 (열전도 유체 부문)

① Tier 1 : 열전도 유체로 쓰이는 불소계 온실가스의 배출량 산정

$$FC_j = \rho_j \times [I_{j,t-1}(l) + P_{j,t}(l) - N_{j,t}(l) + R_{j,t}(l) - I_{j,t}(l) - D_{j,t}(l)] \times F_{eq,j} \times 10^{-3}$$

FC_j : FC_j 의 배출량(CO2-e ton)

ρ_j : 액체 FC_j 의 밀도(kg/L)

$I_{j,t-1}(l)$: 산정기간 전 액체 FC_j 의 인벤토리 총량(L)

$P_{j,t}(l)$: 산정기간 중 액체 FC_j 의 구매량과 회수량의 총합(L)

$N_{j,t}(l)$: 산정기간 중 신설된 설비의 총 충전량(L)

$R_{j,t}(l)$: 산정기간 중 퇴출된 설비와 판매된 설비 충전량의 총합(L)

$I_{j,t}(l)$: 산정기간 말 액체 FC_j 의 인벤토리 총량(L)

$D_{j,t}(l)$: 산정기간 중 퇴출된 설비잔류로 인해 방출된 FC_j 총량

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO₂ 등가계수(GWP)

활동자료 관리기준

- 측정된 데이터의 이용에 있어서 적정가능한 오차수준 범위

구분	Tier1	Tier2a, 2b	Tier3
관리데이터 (반도체/LCD/PV 생산 부문)	제품 생산량	사업장별 FC 가스 사용량	사업장별 FC 가스 사용량
관리데이터 (열전도 유체 부문)	액체 불소화합물 사용 량	액체 불소화합물 사용량	액체 불소화합물 사용량
관리기준	측정불확도 ±7.5% 이내	측정불확도 ±9.0% 이내	측정불확도 ±2.5% 이내

배출계수 관리기준 (반도체/LCD/PV 생산 부문)

① Tier 1

전자산업	배출계수 (기판의 단위면적 당 질량)					
	CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	SF ₆	C ₆ F ₁₄ (PFC-51-14)
반도체, kg/m ²	0.9	1.0	0.04	0.05	0.2	NA
TFT-FPDs, g/m ²	0.5	NA	NA	NA	4.0	NA
PV-cells, g/m ²	5	0.2	NA	NA	NA	NA

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

9G.16. 전자산업 공정 – Tier 및 매개변수 확인

배출계수
관리기준
(반도체/LCD/PV
생산 부문)

② Tier 2a

[반도체 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업		배출계수						
		CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
1-Ui		0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2
부생가스 배출계수	CF ₄	NA	0.2	0.07	0.08	0.1	0.1	NA
	C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA
	C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA : Not Applicable

[LCD 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업		배출계수						
		CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
1-Ui		0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.6
부생가스 배출계수	CF ₄	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA
	C ₂ F ₆	NA	NA	0.05	NA	NA	0.02	NA
	C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

[PV 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업		배출계수						
		CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
1-Ui		0.7	0.4	0.4	NA	NA	0.2	0.4
부생가스 배출계수	CF ₄	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA
	C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA
	C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

9G.16. 전자산업 공정 – Tier 및 매개변수 확인

배출계수
관리기준
(반도체/LCD/PV
생산 부문)

[배출제어기술 적용에 따른 FC가스 저감효율]

배출제어기술	CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)
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

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

③ Tier 2b

[반도체 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업			배출계수						
			CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
식각 공정	1-Ui		0.7	0.4	0.4	0.06	NA	0.2	0.2
	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	0.4	0.07	0.08	NA	0.2	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA
		C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
증착 공정 (CVD)	FC 가스 사용 비율		0.9	0.6	NA	NA	0.4	0.1	NA
	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	0.1	NA	NA	0.1	0.1	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

9G.16. 전자산업 공정 – Tier 및 매개변수 확인

배출계수
관리기준
(반도체/LCD/PV
생산 부문)

③ Tier 2b

[LCD 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업			배출계수						
			CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
식각 공정	1-Ui		0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.3
	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA
		C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	FC 가스 사용 비율		NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.9
증착 공정 (CVD)	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

[PV 제조 공정의 기본 배출계수]

전자산업			배출계수						
			CF ₄ (PFC-14)	C ₂ F ₆ (PFC-116)	CHF ₃ (HFC-23)	CH ₂ F ₂ (HFC-33)	C ₃ F ₈ (PFC-218)	c-C ₄ F ₈ (PFC-318)	SF ₆
식각 공정	1-Ui		0.7	0.4	0.4	NA	NA	0.2	0.4
	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	0.2	NA	NA	NA	0.1	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA
		C ₃ F ₈	NA	0.6	NA	NA	0.1	0.1	0.4
	FC 가스 사용 비율		NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA
증착 공정 (CVD)	부생 가스 배출 계수	CF ₄	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C ₂ F ₆	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		C ₃ F ₈	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

* 출처 : 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인

9G.16. 전자산업 공정 – Tier 및 매개변수 확인

배출계수
관리기준
(반도체/LCD/PV
생산 부문)

④ Tier 3

- 지침 제47조에 따라 사업자가 자체 개발한 고유 배출계수(공정별 FC가스 사용비율, 부생가스 배출계수, 배출저감기술 적용에 따른 저감 효율 등)를 사용

배출계수
관리기준
(열전도 유체부문)

① Tier 2

- 열전도 유체의 증발로 발생하는 배출량 산정식의 Tier 2 방법에 해당하는 배출계수는 존재하지 않음



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

I

9F. 공정배출의 이해

II

9G .업종별 공정배출 산정방법론

III

학습과제



학습과제1 – 문제



한양대학교
HANYANG UNIVERSITY

학습과제 (문제)

한국기업 창원 사업장은 유리제품 중 TV panel, TV Funnel, Lighting을 생산하는 사업장으로 2011년 8,000톤의 유리 제품을 생산하고 있다. 타입별 연간 생산량은 TV panel, TV Funnel, Lighting 각각 3,000톤, 3,000톤, 2,000톤을 생산하고 있다.

공정에서 사용하는 재생 유리의 비율(cullet ratio)은 평균 생산유리의 70%정도이며, 각 생산 타입별로 보면, TV panel, TV Funnel, Lighting별로 각각 60%, 70%, 70%의 재생 유리 사용비율을 가지고 있다.

창원 사업장의 2010년 온실가스 배출량은 500톤이다.

사업장의 2011년 온실가스 배출량을 산정하시오.

학습과제 (풀이)

- 배출량 산정식(Tier1)
 - 온실가스배출량(ton CO₂/yr) = 유리연간생산량(ton/yr) × CO₂ 배출계수(tonCO₂/ton glass) × (1-컬릿 비율)
- 실제 계산
 - TV panel 유리 CO₂ 배출량 = 3,000 ton/yr × 0.18 tonCO₂/ton glass × (1-0.6) = 216 ton CO₂/yr
 - TV Funnel 유리 CO₂ 배출량 = 3,000 ton/yr × 0.13 tonCO₂/ton glass × (1-0.7) = 117 ton CO₂/yr
 - Lighting 유리 CO₂ 배출량 = 2,000 ton/yr × 0.2 tonCO₂/ton glass × (1-0.7) = 120 ton CO₂/yr
 - 216 ton CO₂/yr + 117 ton CO₂/yr + 120 ton CO₂/yr = 453 ton CO₂/yr

유리제품종류(i)	CO ₂ 배출계수 (ton CO ₂ /ton 유리)	컬릿 비율(%)
Specialty (TV Panel)	0.18	60
Specialty (TV Funnel)	0.13	70
Specialty (Lighting)	0.20	70

학습과제 (문제)

한국기업 부평 사업장은 전기로를 통해 철강을 생산한다. 2011년 공정을 통해 다음의 데이터가 산출되었다.

물질	양(ton) ton/yr
철스크랩	100,000
액상철	40,000
석회석	2,000
석탄	60,000
코크스	110,000
전극봉	7,000
슬러그	1,000

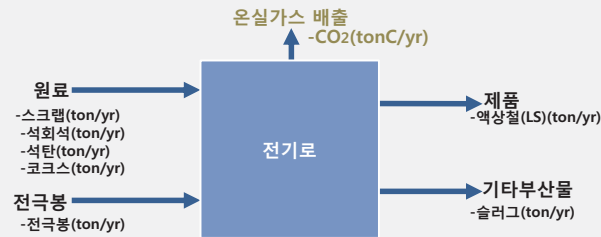
1. 각 물질 데이터를 이용하여 전기로 공정 흐름을 완성하라.
2. 각 물질 데이터를 이용하여 2011년 전기로 공정 온실가스 배출량을 산출하라.

<세부내용>

- 2010년도 온실가스 배출량이 540,000tonC/yr
- 철스크랩과 액상철은 강의 일종으로 탄소함량이 동일
- 슬러그 탄소함량은 0.4tonC/ton

학습과제 (풀이)

1. 공정 흐름



2. 온실가스 배출량 산정(tier3)

온실가스배출량(ton CO2/yr)(tier3)

$$44/12 \times [\sum(\text{재료량(ton/yr)} \times \text{물질 내 탄소함량(tonC/ton)}) - \sum(\text{생산량(ton/yr)} \times \text{물질 내 탄소함량(tonC/ton)})]$$

<실제 계산>

$$\begin{aligned}
 &44/12 \times [(100,000 \text{ ton/yr} \times 0.01 \text{ tonC/ton}) + (2,000 \text{ ton/yr} \times 0.12 \text{ tonC/ton}) \\
 &\quad + (60,000 \text{ ton/yr} \times 0.67 \text{ tonC/ton}) + (110,000 \text{ ton/yr} \times 0.83 \text{ tonC/ton}) \\
 &\quad + (7,000 \text{ ton/yr} \times 0.82 \text{ tonC/ton}) \\
 &\quad - (40,000 \text{ ton/yr} \times 0.01 \text{ tonC/ton}) - (1,000 \text{ ton/yr} \times 0.4 \text{ tonC/ton})] \\
 &= 504,826.67 \text{ tonC/yr}
 \end{aligned}$$

※ 물질 내 탄소함량은 P12 참고