

9차시. 배출활동별 배출량 산정방법 및 산정

Review Question

1. 시멘트 제조공정의 물질수지표를 간략히 설명하시오.

시멘트 생산 공정에 투입되는 원료로는, 석회석, 점토, 셰일, 이회암 등의 원료와 기타원료, 석유 코크스 등의 원료이다. 생산시설을 통해서 클링커와 시멘트 제품, 시멘트 킬른 먼지와 같은 부산물을 산출하며, 최종적으로 온실가스는 CO₂를 배출하게 된다

표 1. 물질·에너지 수지표

Input	단위	값(value)	Output		값(value)
원료			제품		
석회석(Limestone)	kg/t clinker		클링커(clinker)	kg/t	1,000
점토(clay)	kg/t clinker		시멘트(cement)	kg/t clinker	
셰일(shale)	kg/t clinker				
이회암(marl)	kg/t clinker				
기타 원료	kg/t clinker				
에너지					
석유코크스	MJ/t clinker				
폐기물 연료	MJ/t clinker				
기타			온실가스배출		
공기	m ³ /t clinker		CO ₂	g/t clinker	
수분	kg/t clinker				
기타원료			기타 부산물		
석고	kg/t clinker		시멘트 킬른먼지	kg/t clinker	
필터(Filter)	kg/t clinker				
고로 슬래그	kg/t clinker				
광물성 첨가제	kg/t clinker				

2. 시멘트 제조공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

시멘트 제조공정을 단계별로 구분하면, 첫 번째 석회석을 채굴하여 분쇄, 혼합하는 채굴과정, 두 번째 석회석을 포함한 원료를 조합, 건조, 분쇄, 저장시키는 원분과정, 세 번째 원료를 가열하여 분해, 소성한 후 냉각하여 반제품인 클링커를 생산하는 소성과정, 네 번째 클링커에 석고와 분쇄조제를 가하여 분쇄된 시멘트를 저장 및 출하하는 제품 공정으로 나눌 수 있다. 이 중 배출원은 소성로이다.

1) 배출원

- 소성로

물체를 높은 온도에서 구워내는 시설을 말하며 일종의 열처리시설에 해당 된다. 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 화학비료제조시에 사용되는 인광석 소성시설이 있다. 이것은 채광후 선별된 인광석농축물을 인산, 규산, 가성소다 또는 소금 등과 뽕뽕한 Slurry 상태로 만든 후 건조시키면서 10~20mesh 의 알맹이로 뭉친다음 소성시설에서 약 1,400~1,540℃ 정도로 구워 인광석속의 불소를 제거하는 시설이다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

시멘트 공정에서 배출되는 온실가스의 종류는 CO₂이다.

3. 석회 생산공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

석회의 주요 용도는 금속(알루미늄, 강철, 구리 등) 제련, 환경(배연탈황, 연수화, pH 조절, 폐기물 처리 등), 건설(지반 안정화, 아스팔트 첨가물 등) 등에 사용된다. 원료로 석회석을 주로 사용하거나 Dolomite 또는 Dolomite Limestone(석회석에 44% 이상의 탄산마그네슘이 포함된 것)을 사용하여 소성로(kiln)에서 900~1,500°C에서 다음의 반응에 의하여 석회를 생산한다. 이 중 배출원은 소성로이다.

1) 배출원

- 소성로(kiln)

석회 생산 공정의 소성시설은 시멘트 생산공정 부문의 소성시설과 동일하다. 일반적인 석회 생산공정에서는 다양한 유형의 소성시설을 사용하는데 그 종류로는 Long Rotary kiln, Preheater-Rotary kiln, Parallel flow regenerative kiln, Annular Shaft kiln 등이 있다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

석회 생산 공정에서 배출되는 온실가스의 종류는 CO₂이다.

4. 탄산염 생산 공정의 종류 및 각 종류별 배출원은 무엇인가?

1) 배출원

- 소성시설(kiln)

이 배출활동의 소성시설은 시멘트 생산공정 부문의 소성시설과 동일하다. 일반적인 석회 생산공정에서는 다양한 유형의 소성시설을 사용하는데 그 종류로는 Long Rotary kiln, Preheater-Rotary kiln, Parallel flow regenerative kiln, Annular Shaft kiln 등이 있다.

- 유리 용융·용해 시설(유리 및 유리제품 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_2 를 배출하는 주요한 유리 원료는 석회석(CaCO_3), 백운석($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 및 소다회(Na_2CO_3)이다. 이러한 광물이 유리 산업에서 사용되기 위해 탄산염 광물로 채굴되는 경우에, 그들은 주된 CO_2 생산을 나타내며 배출 산정에 포함되어야 한다. 수산화물(hydroxide)의 탄산염화를 통해 탄산염 광물이 생성되는 경우에, 그들은 순 CO_2 배출을 초래하지 않으며 배출 산정에 포함되지 말아야 한다. CO_2 를 배출하는 보조 유리 원료는 탄산바륨 (BaCO_3), 골회($3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + \text{XCaCO}_3$),

탄산칼륨(K_2CO_3) 및 탄산스트론튬 ($SrCO_3$)이다. 녹은 유리의 환원조건을 생성하기 위해 추가적으로 분쇄한 무연탄 내지 기타 유기물이 추가되고 녹은 유리의 이용가능한 산소와 결합하여 CO_2 를 생산한다.

- 도자기·요업제품 제조시설 중 용융·용해 시설

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. (여기에서는 세라믹 물질을 가열하여 액체상태로 만드는 것을 말한다)

세라믹은 벽돌 및 지붕 타일, 자기 점토 파이프, 내화 제품, 확장된 점토 제품, 벽 및 바닥 타일, 테이블 및 장식재 (가정용 세라믹), 위생도기, 기술형 세라믹, 무기 연마재의 생산을 포함한다. 세라믹에서의 공정에 관련된 배출은 첨가제의 첨가뿐만 아니라 점토 내 탄산염의 소성에서 발생한다. 시멘트 및 석회의 생산공정과 유사하게, 탄산염이 킬른에서 고온으로 가열되어, 산화물과 CO_2 를 생산한다. 대부분의 세라믹 제품은 하나 이상 다른 유형의 점토 (예를 들어, 혈암, 내화점토 및 ball clay)에서 만들어지며 지속적인 분쇄 작업을 통해 원료가 수집되고 분쇄된다. 다음으로 분쇄된 입자는 (액화가 되는) 분말을 생산하기 위해 킬른에서 가열된다. 이후에 첨가제가 첨가되고 세라믹이 생성 내지 형성되고 거친 모서리를 부드럽게 '기계작업'을 하고 세라믹의 원하는 특성을 얻는다. 전통적인 세라믹의 경우, 킬른에서 가열하기 전에 세라믹을 건조시키고 유약을 칠한다. 가열후에, 일부 세라믹은 최종적인 성질을 얻기 위해 추가적인 처리를 거친다. CO_2 배출은 원료(특히, 점토,

혈암, 석회석, 백운석, 및 위더라이트(witherite))의 소성 및 용제로 서의 석회석 사용에서 발생한다.

- 약품회수시설

화학펄프 제조는 셀룰로오스 섬유를 서로 결합하고 있는 목질소(lignin)를 녹임으로써 나무로부터 셀룰로오스를 추출하는 것이다. 화학적인 펄프제작에 주로 이용되는 네가지 공정은 크라프트(Kraft), 아황산염(Sulfate), Neutral Sulfide semichemical(NSSC), 소다법 등이다. 국내에서는 이 중 크라프트 펄프제조 공정을 사용하고 있다. 증해시설이란, 어떤 용액속의 내용물을 증기나 압력, 열 등을 이용하여 찌면서 소화시켜 요구하는 성질만을 뽑아내는 시설을 말한다. 여기서는 펄프제조를 위해 목재칩과 톱밥을 가성소다와 아황산나트륨으로 이루어진 혼합액속에 넣고 목재속의 섬유질을 연결하고 있는 리그린을 분해시키는 시설을 말한다. 증해는 일반적으로 온도 177°C, 압력 7.5kg/cm²·G 에서 이루어지며 공정에 따라 회분식과 연속식이 있다.

- 배연탈황시설(스크러버)

배연탈황기술로서 현재 화석연료 연소공정에서 가장 널리 사용화되어 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.

2) 배출되는 온실가스의 종류

탄산염 생산공정의 모든 배출원에서 배출되는 온실가스의 종류는 CO₂이다.

5. 암모니아 생산공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

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

1) 배출원

- 수소제조 공정

암모니아 합성을 위해 수소를 제조하는 공정

- 변성 공정

수소 제조 시 발생하는 CO 와 수증기가 반응하여 CO₂와 H₂를 생성함

2) 배출되는 온실가스의 종류

암모니아 생산공정에서 배출되는 온실가스의 종류는 CO₂이다.

6. 질산 생산공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

암모니아 산화법에 의한 질산 제조는 백금 촉매 하에 암모니아를 산화시켜 일산화질소 생산하는 제1산화 공정과 일산화질소를 산화시키는 제2산화 공정, 이산화질소를 물에 흡수시켜 질산을 생성시키는 흡수공정으로 구성된다. 전 공정을 상압에서 진행되는 상압법, 가압하에서 행하는 전가압법, 제2산화 공정과 흡수공정만 가압하는 반가압법이 있다. 전가압법 및 반가압법에서는 60~65%, 상압법에서는 50% 정도의 질산 농도를 획득할 수 있다.

1) 배출원

제 1산화 공정에서 온실가스가 배출이 되며, NH_3 의 촉매연소 과정에서 N_2O 의 발생한다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

질산 생산공정에서 배출되는 온실가스는 N_2O 이다.

7. 카바이트 생산공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

카바이드는 일반적으로 칼슘의 탄소화합물인 탄화칼슘(CaC_2)라고하며, 공업적으로 생석회나 코크스, 무연탄 등의 탄소를 전기로 속에서 가열하여 제조하며 아세틸렌의 원료로 사용된다. 탄화규소(SiC)는 중요한 인공연마제이며, 규사(차돌모래)와 석유코크스로부터 생산된다.

1) 배출원

탄화칼슘(CaC_2)은 탄산칼슘(CaCO_3)에 열을 가한 후 석유코크스와 함께 CaO 를 환원시키면서 생산되는데, 각각의 과정은 모두 CO_2 를 배출한다. 배출원은 코크스 건조기와 전기아크로가 있다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

카바이트 생산공정에서 배출되는 온실가스는 CO_2 와 CH_4 두 종류이다.

8. 석유화학제품 생산공정의 배출원과 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

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 배출된다.

1) 배출원

- 나프타 분해시설(NCC)

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.

- EDC/VCM 생산시설

EDC를 생산하는 공정은 직접 염소화와 산화염소화 반응이 있으며 이 공정을 조합한 조화형 공정이 있다. 산화염소화 공정에서 에틸렌 산화 반응의 부산물로 CO₂가 발생된다. VCM 생산의 경우 EDC의 열분해에 의해 생산되는데 이때 CO₂는 배출되지 않는다.

- 에틸렌옥사이드(EO) 생산시설

주된 고분자의 전구체가 아니면서 가장 중요한 에틸렌 기초 화합물이 산화에틸렌(ethylene oxide, C_2H_4O)이다. 산화에틸렌은 촉매 상에서 에틸렌과 산소의 직접 반응에 의해 제조된다. 이 반응은 발열반응이며, 동시에 에틸렌과 산화에틸렌으로부터 부산물인 이산화탄소와 물이 생성된다.

- 아크릴로니트릴(AN) 생산시설

프로필렌과 암모니아의 산화반응을 통해 아크릴로니트릴을 생산하며 이 과정에서 온실가스가 배출된다.

- 카본블랙 생산시설

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, 내화로내에서 연료유를 연소시킨 고온 열풍 속에 원료유를 분사, 연속적으로 열분해시키는 방법이 주로 사용되고 있다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

석유화학제품 생산공정에서 배출되는 온실가스는 CO_2 , CH_4 두 종류이다.

9. 석유 정제공정에서 CWT 지표는 무엇인가?

CWT(CO₂ Weighted tone approach)지표는 석유정제공정의 목표관리 방식으로서 벤치마크 방법론을 설정할 때 쓰이는 지표로서, 시간의 경과에 따라 주어진 석유정제공장의 에너지효율을 모니터링하고 서로 다른 정유공장의 상대적 온실가스 효율을 평가한다. 정유공장 전체를 통합적으로 관리한다.

참고) CWT 접근법 절차

- ① 공정별 CWT(CO₂ Weighted Tonne) 산정
- ② CWT 계수(CWT factor) 산정
- ③ 총 CWT 산정
- ④ Off sites 와 non-crude feedstock 에 대한 보정
- ⑤ 전기 사용에 대한 보정
- ⑥ 온실가스 배출량 산정
- ⑦ Benchmark(t CO₂ / CWT) 산정

10. 석유 정제공정의 배출원과 배출되는 온실가스의 종류는 각각 무엇인가?

석유 정제 공정은 가열, 냉각을 통해 원유를 분류하는 과정이다. 정제 공정은 크게 증류, 정제, 배합 3단계로 구분된다.

1) 배출원

- 수소제조시설(Hydrogen Plant)

경질나프타, 부탄 또는 부생연료를 촉매 존재하에서 수증기와 접촉반응에 의해서 약 70% 순도의 수소를 제조하고, PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정을 거쳐 불순물을 제거함으로써 순도 99.9% 이상의 수소를 제조하는 공정이며, 이때 CO₂ 가 배출되고, 그 양은 원료 중의 수소와 탄소의 비율에 따라 달라진다. 반응식은 다음과 같다.

- 촉매재생시설(Catalytic cracker regeneration)

원유정제 공정 중 개질(Reforming) 공정은 저옥탄가의 나프타를 백금계 촉매하에서 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 Coke 이 축적되어 촉매활성도가 감소하게 되는데 이를 Coke 를 제거하는 공정이 바로 촉매재생 공정인 것이다. 촉매 재생기에서 Coke 제거시

발생하는 CO₂의 배출량은 유입공기, 점착된 Coke량, Coke 중 탄소비율, 등을 이용하여 산정한다.

- 코크스 제조시설(Coking)

자연 코킹법에서는 고정연소배출 외에 공정에서의 CO₂ 배출은 없다. 유체 코킹법과 플렉시 코킹법에서는 코크스 버너에서 CO₂가 배출된다. 코크스 버너에 의한 CO₂ 배출은 코크스에 함유된 탄소가 100% 산화되는 것으로 가정한다. 만약 코크스 버너의 배출가스가 CO₂ 회수를 위해 보내지거나 발열량이 낮은 연료가스로 연소되는 경우에는 이를 차감해주어야 한다.

2) 배출되는 온실가스의 종류

석유 정제공정의 모든 배출원에서 배출되는 온실가스의 종류는 CO₂이다.