제3회 검증연구포럼

- 사업장 고유배출계수(직접) 검증 시 주요 오류 -

한국품질보증원

장 지 수 심사원

Ⅰ. 고체연료연소와 철강생산에서의 석탄 베이스

가. 고체연료연소의 배출계수 및 산화계수 개발식과 배출량 산정방법론

$$EF_{i,CO_2} = EF_{i,C} \times 3.664 \times 10^3, \quad EF_{i,C} = C_{ar,i} \times \frac{1}{EC_i} \times 10^3$$

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

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

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

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

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

나. 고체연료연소에서 석탄의 매개변수별 베이스

① 순발열량(인수식)

- 지침의 Tier 3 배출계수 개발식에서 $C_{ar,i}$(연료 중 탄소질량분율)이 인수식 기준이기 때문에, 베이스 일치를 위하여 기건식으로 측정된 총발열량을 인수식으로 베이스 환산한 후 다시 인수식 순발량으로 환산
- 기건식 총발열량에서 기건식 순발열량으로 환산한 후, 인수식 순발열량으로 환산할 경우에는 부착수분에 대한 보정이 누락되기 때문에 오류로 분류됨
- 2006 IPCC 가이드라인의 제2권 p. 1.21의 박스 1.1에서 보듯이 Tier 1의 발열량의 베이스도 인수식 기준이며, 에너지법 시행규칙의 '[별표] 에너지열량 환산기준'에서 보듯이 Tier 2의 발열량의 베이스도 인수식 기준임(단, 코크스는 건식 기준)

박스 1.1
총발열량와 순발열량 사이의 변환

단위: MJ/kg - 킬로그램당 메가줄(Megajoules); 1 MJ/kg = 1 기가줄(Gigajoule)/톤 (GJ/톤)

총 CV(Gross CV) (GCV) 내지 '고위발열량(higher heating value)' (HHV)는 실험실 조건하에서의 발열량이다.

순 CV(Net CV) (NCV) 내지 '저위발열량(lower heating value' (LHV)는 보일러(boiler plant)에서 유용한 발열량이다. 차이는 본질적으로 생산된 수증기의 잠열(latent heat)이다.

변환 - MJ/kg에서 총(Gross)/순(Net) (ISO 인수식(As Received*)에 의해):

$$NetCV = GrossCV - 0.212H - 0.0245M - 0.008Y$$

인수식에서(As Received), M은 수분 비율, H는 수소 비율, Y는 산소 비율(탄소, 수소, 산소, 질소, 황의 양을 결정하는 원소 분석(ultimate analysis)으로부터)이다(즉, 전체 수분(Total Moisture) (TM)을 포함).

출처 - World Coal Institute (http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=190), 이곳은 보다 상세한 내용을 제공한다.

2006 IPCC 가이드라인 제2권 1.21

전기 등	전기(발전기준)	kWh	8.9	2,130	0.213	8.9	2,130	0.213
	전기(소비기준)	kWh	9.6	2,290	0.229	9.6	2,290	0.229
	신탄	kg	18.8	4,500	0.450	-	-	-

비고

1. "총발열량"이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. "순발열량"이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말한다.
3. "석유환산톤"(toe: ton of oil equivalent)이란 원유 1톤(t)이 갖는 열량으로 10^7kcal를 말한다.
4. 석탄의 발열량은 인수식(引受式)을 기준으로 한다. 다만, 코크스는 건식(乾式)을 기준으로 한다.
5. 최종 에너지사용자가 사용하는 전력량 값을 열량 값으로 환산할 경우에는 1kWh=860kcal를 적용한다.
6. 1cal=4.1868J이며, 도시가스 단위인 Nm^3은 0℃ 1기압(atm) 상태의 부피 단위(m^3)를 말한다.
7. 에너지원별 발열량(MJ)은 소수점 아래 둘째 자리에서 반올림한 값이며, 발열량(kcal)은 발열량(MJ)으로부터 환산한 후 1의 자리에서 반올림한 값이다. 두 단위 간 상충될 경우 발열량(MJ)이 우선한다.

[별표] 에너지열량 환산기준

② 배출계수(무베이스)

- 배출계수를 개발하는 주요 매개변수인 $C_{ar,i}$(연료 중 탄소질량분율)와 EC_i(연료의 순발열량)는 모두 인수식 베이스이나, 수식상 각각 분자와 분모에 들어가기 때문에 베이스는 결국 **상쇄**됨

③ 산화계수(무베이스)

- 재(灰)는 수분이 없기 때문에 재(灰)의 탄소질량분율인 $C_{a,i}$는 무베이스이며, $A_{ar,i}$(연료 중 재(灰)의 질량분율) 및 $C_{ar,i}$(연료 중 탄소질량분율)는 모두 인수식으로 분자 및 분모에 들어가기 때문에 베이스는 결국 상쇄됨

④ 활동자료(인수식)

- 배출량 산정방법론에서 배출계수 및 산화계수는 무베이스이며 순발열량은 인수식이기 때문에, 배출량 산정방법론 기준에서 베이스를 상쇄시키기 위해서 순발열량과 동일한 베이스인 인수식 활동자료 값을 적용하여야 함

다. 철강생산의 배출계수 개발식과 배출량 산정방법론

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

EF_x : x물질의 배출계수(tCO_2/t)

3.664 : CO_2의 분자량(44.010)/C의 원자량(12.011)

$$E_f = \Sigma(Q_i \times EF_i) - \Sigma(Q_p \times EF_p) - \Sigma(Q_e \times EF_e)$$

E_f : 공정에서의 온실가스(f) 배출량(tCO_2)

Q_i : 공정에 투입되는 각 원료(i)의 사용량(ton)

Q_p : 공정에서 생산되는 각 제품(p)의 생산량(ton)

Q_e : 공정에서 배출되는 각 부산물(e)의 반출량(ton)

EF_X : X 물질의 배출계수(tCO_2/t)

라. 철강생산에서 석탄의 매개변수별 베이스

① 탄소질량분율(활동자료와 동일한 베이스)

- 지침 및 가이드라인 상 베이스에 대한 기준이 없음. 철강생산의 Tier 3 배출량 산정방법론은 기본적으로 물질수지법으로 원료, 제품, 부산물의 상태는 고체, 액체, 기체 어느 것이든 다 포함이 되기 때문에 고체 중 석탄류에만 적용되는 베이스를 별도로 지정하지는 않았음
- 다만, 배출량의 정확성을 위해서 가이드라인 p.140의 문구인 '시료 채취와 분석은 활동자료 측정 때와 동일한 시료를 채취하여 동일한 조건으로 분석하는 것을 원칙으로 한다.'에 따라 활동자료와 동일한 베이스를 적용하여야 함
- 활동자료와 동일한 베이스의 탄소질량분율로 배출계수를 개발할 경우, 베이스에 따른 배출량 변동은 없음

② 활동자료(측정시 베이스)

- 지침 및 가이드라인 상 석탄류의 베이스에 대한 기준이 별도로 명시되지 않았음
- 다만, 탄소질량분율을 활동자료와 동일한 조건으로 적용하기 위해서 활동자료 측정 시 고유수분 및 총수분 등에 관한 측정이 필요함

배출활동별 베이스별 배출량 산정

구분	공통			고체연료		철강생산	
	활동자료	탄소함량	순발열량	배출계수	배출량	배출계수	배출량
인수식	1,000.000	58.80	22.60	95,329	**2,154.432**	2.1544	**2,154.432**
기건식	923.077	63.70	24.48	95,329	**2,154.432**	2.3340	**2,154.432**
건식	840.000	70.00	26.90	95,329	**2,154.432**	2.5648	**2,154.432**

※ 고유수분 9.00 %, 총수분 16.00 % 기준

마. 결론

① 산화계수를 제외할 경우, 배출활동이 달라도 동일한 측정·분석값으로 배출량을 산정하였다면 CO_2 배출량이 일치함

② 배출량 산정방법론의 모든 매개변수들에 대한 베이스가 동일하다면 CO_2 배출량은 일치함

③ 연료연소의 배출량 산정에서 Tier 3 배출계수를 적용할 경우, 발열량은 CO_2 배출량에 영향을 미치지않음

Ⅱ. 기체연료연소의 Tier 3 개발 시, 발열량 적용

가. 기체연료연소의 배출계수 개발식 및 배출량 산정방법론

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

$EF_{i,CO2}$: 연료(i)의 CO_2 배출계수($kgCO_2/TJ$-연료)

EC_i : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/m^3-연료)

$EF_{i,t}$: 연료(i)의 CO_2 환산계수($kgCO_2/kg$-연료)

D_i : 연료(i)의 밀도(g-연료/m^3-연료, 공급자가 제공한 값을 우선 적용)

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

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

Q_i : 연료(i)의 사용량(측정값, 천m^3-연료)

EC_i : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/m^3-연료)

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

f_i : 연료(i)의 산화계수(CH_4, N_2O는 미적용)

- 수집된 활동자료의 단위가 질량단위일 경우, 연료의 열량계수 단위도 질량단위로 개발하여야 하며 밀도는 개발식에서 제외하여야 함

나. 각 단위별 발열량 산정방법

- 기체연료의 열량계수는 고체연료나 액체연료처럼 측정에 의한 값이 아니라, 연료를 구성하고 있는 각 성분들의 단위 열량과 전체 기체연료 중 해당 성분의 분율을 기준으로 계산을 통하여 산정하여야 함
- 기체연료의 Tier 3 배출계수 개발 시 자동산정시트를 사용할 경우, 현재 배포된 버전에서는 단위몰당 발열량을 기준으로 발열량을 산정하여 단위부피당 발열량으로 단위환산을 하고 있음
- 만약 기준 발열량을 단위몰이 아닌 단위부피로 정한다면, 현재 자동산정시트의 수식을 그대로 적용할 수 있음. 이는 전체 기체연료에 대한 각 성분의 부피분율이 몰분율과 비례하기 때문임

다. 각 단위 발열량별 배출계수 개발 및 배출량 산정결과

① 기체연료에 대한 자료

기체연료							순발열량		
구분	화학식	몰분율	분자량	가스질량	질량분율	CO_2	단위몰당	단위부피	단위질량
메탄	CH4	0.930000	16.043	14.9200	0.8506	2.3335	802.69	35.81	50.035
에탄	C2H6	0.040000	30.070	1.2028	0.0686	0.2007	1428.84	63.74	47.520
프로판	C3H8	0.020000	44.097	0.8819	0.0503	0.1505	2043.37	91.16	46.340
부탄	C4H10	0.007000	58.123	0.4069	0.0232	0.0703	2657.60	118.57	45.720
펜탄	C5H12	0.001000	72.150	0.0722	0.0041	0.0125	3272.00	145.98	45.350
질소	N2	0.002000	28.0135	0.0560	0.0032	0.0000	-	-	-

※ 첨부파일 참조

② 각 단위 순발열량별 배출량 산정결과

구분	배출량	연료		배출계수	순발열량		환산계수	밀도
	tCO_2	값	단위	$kgCO_2/TJ$	값	단위	$kgCO_2/kg$	g/㎥
몰분율→부피	21,549.172	10,000.000	천N㎥	56,029	38.6543	MJ/N㎥		
몰분율→질량	21,549.172	7,825.363	ton	56,029	49.3962	MJ/kg		
부피→부피	21,549.172	10,000.000	천N㎥	56,029	38.6539	MJ/N㎥	2.7676	782.536
질량(오류)	21,549.172	7,825.363	ton	55,657	49.7255	MJ/kg		
질량	21,549.172	7,825.363	ton	56,027	49.3975	MJ/kg		

※ 첨부파일 참조(ROUND 처리 안한 경우)

- 발열량의 단위를 질량으로 한다면, 자동산정시트의 단위몰당 발열량을 기준으로 발열량을 산정하여 단위질량당 발열량으로 단위환산할 수 있음
- 성분별 분자량이 모두 다르기 때문에 전체 기체연료 대비 성분의 질량분율은 몰분율이나 부피분율과 비례하지 않음

라. 결론

① 단위질량당 발열량을 기준으로 자동산정시트를 적용한다면 각 성분별 몰분율을 단위질량당 발열량에 곱하는 것이 아니라, 전체가스 대비 질량분율을 단위질량당 발열량에 곱하여야 함

② 연료연소의 배출량 산정에서 Tier 3 배출계수를 적용할 경우, 발열량은 CO_2 배출량에 영향을 미치지 않기 때문에 실제 배출량에는 큰변동은 없음