

성능시험 결과를 이용한 D발전소의 CO₂ 대기배출량 계산

(CO₂ Emission Calculation of D Thermal Power Plant using Performance Test Results)

문홍규* · 이상중

(Hong-Gyu Moon · Sang-Joong Lee)

요 약

교토의정서(Kyoto Protocol)는 1997년 일본 교토에서 채택되어 2005년 2월에 공식 발효되었다. 우리나라는 현재 온실가스 감축의무 부담이 없지만 2013년부터 감축의무가 거의 확실시 되고 있는 상황이다. 국내 온실가스 배출량의 25%를 차지하는 발전산업은 화석연료를 사용하고 있어 전력생산에 따른 CO₂ 배출량의 계산은 매우 중요한 일이 되었다.

본 논문은

- D발전소의 성능시험에 대하여 기술하고,
- 성능시험 결과 얻어진 D발전소 성능시험 Data a, b, c 특성계수를 이용, LNG와 중유 연소시 각각 연료소모량에 대한 CO₂ 대기 배출량을 계산·비교 하였으며,
- 화학적인 방법에 의한 CO₂ 대기 배출량 산정방법을 간략히 언급하였다.

Abstract

Kyoto Protocol against global warming came into effect in Feb 2005. Korea is expected to be put under obligation to decrease the CO₂ emission from 2013.

Because the electric power plants burning fossil fuel occupy 25% of national CO₂ emission, calculating the amount is very important.

This paper presents;

- a brief procedure of performance test of D thermal power plant
- calculation and comparison of CO₂ emission of D power plant w.r.t the generator output for LNG and residual oil using the a, b, c coefficients obtained by the performance test
- and a brief description on currently used chemical method for calculation of CO₂ emission

Key Words : CO₂ emission, performance test, thermal power plant

1. 서 론

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 유엔 정부간 기후변화위원회)는 인류가 지구온난화를 막지 못하면 100년 안에 대재앙이 온다고 경고하고 있다.[1]

인류의 생존과 직결되고 있는 지구온난화 문제는 대기 중의 CO₂ 농도와 관련이 되어 있다.[2] 지구온난화는 기상이변, 사막화, 해수면상승, 생태계 파괴와 같은 환경재난을 초래할 것으로 예측되고 일부 국가는 해수면 상승으로 물에 잠기게 되어 지구상에서 존재가 없어질 수도 있다고 예측하고 있다.[3]

교토의정서(Kyoto Protocol)는 1997년 일본 교토에서 채택하고 2005년 2월에 공식 발효되었다. 세계 9위 규모의 온실가스를 배출하는 우리나라

는 기후변화협약에 따른 의무 이행 시 경제전반에 걸쳐 매우 큰 충격을 줄 것으로 전망된다.[4]

발전소의 전력 생산을 위한 화석연료의 사용은 지구온난화에 가장 큰 영향을 주는 이산화탄소를 배출할 수 밖에 없다. 발전소는 성능시험을 통하여 보일러효율, 터빈효율, 공기예열기성능, 복수기성능, 급수가열기성능, 연료소비량 등을 얻을 수 있다. 본 논문은 발전소의 성능시험에 대하여 기술하였고, 성능시험 결과 얻어진 D발전소의 성능시험 Data a, b, c 특성계수를 이용, LNG와 중유연소 시 각각 연료소모량에 대한 CO₂ 대기 배출량을 계산·비교하였다. 또한 발전소의 화학적 측정 실태조사를 간략히 언급하였다.

2. 발전설비 성능시험 방법

1) 성능시험 개요

- 발전설비의 성능진단을 목적으로 보일러, 터빈, 열교환기 등 각 설비가 보유한 운전 Data 취득, 분석 및 결과의 도출행위를 말한다.
- 2) 성능시험 종류(목적적) 및 실시시점
 - 인수 성능시험(Acceptance Test) : 신규발전소건설 및 기존설비의 대규모 개, 보수 시설비신뢰도운전(Reliability Test) 완료 후 3개월 이내에 실시한다.
 - 주기 성능진단(Periodic Performance Test) : 기존 발전설비 성능변화를 파악하기 위하여 계획예방정비 4개월 전 및 공사 후 2개월 내에 실시한다.
 - 특별 성능진단(Performance Test for Special Purpose) : 전력거래를 위한 설비 공사 전·후에 특별히 실시한다.
- 3) 발전설비 성능진단 방법 및 절차
 - 연료 확보 : 성능시험동안 동일성상의 연료를 사용한다.
 - 계측기 설치 : 국가 공인기간에서 검·교정한 계측기를 설치한다.
 - 진단결과 오차를 최소화하기 위해 계통의 외부로 유출되는 요소들을 계통격리(Cycle Isolation)를 한다.
 - 예비시험 : 본 시험 전에 문제점이 없는지 확인하는 준비시험이다.
 - 시험 진행 : 기록개시 예정시간 5분전부터 Count-Down을 시작하여 약속한 시간이 되면 모든 시험기록요원들은 Data Sheet에 기록을 한다.
- 4) 배출되는 배기가스 O₂(%), CO₂(%), CO(%)를 측정·분석한다.
- 5) 시험이 종료되면 모든 Data Sheet를 취합·분석하여 발전소를 효율적으로 관리한다.[5]

3. 발전소 성능시험 결과 주어진 a, b, c 계수를 이용한 발전출력 대비 연료소모량 계산

발전소는 성능시험(performance test)을 통하여 2차 계수 a, 1차 계수 b 및 상수 c 의 세 입출력 특성계수를 구한다. 식 (1)이 그것이며 여기서, P 는 발전출력[MW], y(P)는 열입력량 [Gcal/hour]이다.

$$y(P) = aP^2 + bP + c \quad (1)$$

그림1은 식 (1)을 그래프로 나타낸 것으로서 입출력 특성곡선(input-output curve)이라 부른다.[6]

입출력 특성곡선의 x축은 발전출력[MW], y축은 열입력량[Gcal/hour]이다.

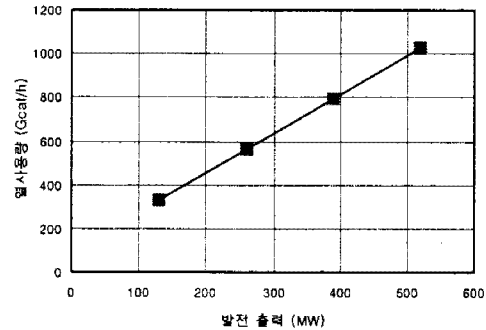


그림 1. 입출력 특성곡선

Fig 1. Input-output curve

열입력량 y(P)를 사용연료의 발열량과 연소율로 나누면 발전출력에 상응하는 연료소모량[ton/hour]을 얻을 수 있다.

$$\frac{\text{열입력량}(\frac{\text{Gcal}}{\text{hour}})}{\text{발열량}(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}) * \text{연소율}} = \text{연료소모량}(t/\text{hour})(2)[7]$$

4. 발전소 성능시험 a, b, c를 이용한 MW 출력 CO₂ 대기배출량 계산식

IPCC 온실가스 추계방법론을 이용하여 MW 출력에 대한 CO₂ 대기배출량 [tonCO₂/hour]을 계산하는 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 배출량} &= \text{공통단위로 전환된 연료소모량} \\ &= \text{연료소모량}(\text{ton}/\text{hour}) * \text{발열량}(\text{Kcal}/\text{kg}) * \text{IPCC} \\ &\quad \text{탄소배출계수} * \text{연소율} * \text{CO}_2 \text{와 탄소간의 질량비 } 44/12 \end{aligned} \quad (3)$$

그런데, 식 (2)에서, 열입력량 y(P)=연료소모량*발열량*연소율의 관계가 있으므로 식 (3)은 아래와 같이 간략히 표현 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 배출량} &= \text{열입력량} \cdot \text{IPCC 탄소배출계수} \cdot 44/12 \\ &= (aP^2 + bP + c) \cdot \text{IPCC 탄소배출계수} \cdot 44/12 \end{aligned} \quad (4)$$

발전소 입출력 특성계수 a, b, c 가 주어지면 식(4)으로부터 발전출력에 대한 CO_2 대기배출량을 바로 계산할 수 있다.[7]

5. D 발전소의 적용사례 : LNG와 중유 연소 시 CO_2 대기 배출량 계산 및 비교

1) LNG연소 시 250 MW에 대한 CO_2 대기배출량을 계산해 보자. 성능시험결과는 표1과 같다.

표 1. LNG 연소 시 성능시험결과
Table 1. performance test result firing LNG

출력(MW)	연료소모량 (ton/h)	발열량 (kcal/kg)
125.0	22.5	13026
188.8	34.0	13026
250.9	45.1	13024

- 표1로부터 성능시험 결과 얻어진 D 발전소의 입출력 특성계수 $a=0.00082, b=1.96, c=45.0$ 을 얻을 수 있었다. (이는 D발전소의 최근 시험결과 값을 적용한 것이다.)

- 표2로부터, LNG의 IPCC 탄소배출계수 $15.30 [\text{kgC/GJ}]$ 을 얻을 수 있으며, 이를 $[\text{tonC/Gcal}]$ 단위로 환산하면 0.064 가 된다.

표 2. IPCC의 탄소 배출 계수
Table 2. IPCC carbon emission coefficient

연료구분		탄소배출계수		
		(kgC/GJ)	tonC/TOE	
액체 화석 연료	1차 연료	원유	20.00	0.829
		천연액화가스	17.20	0.630
	2차 연료	경유	20.20	0.837
		중유	21.10	0.875
고체 화석 연료	1차 연료	무연탄	26.80	1.100
		원료탄	25.80	1.059
		연료탄	25.80	1.059
	2차 연료	BKB & Patent Fuel	25.80	1.059
		Coke	29.50	1.210
기체화석연료	LNG	15.30	0.637	

따라서 250MW의 발전출력에 대한 D 발전소의 CO_2 배출량은 1) 및 2)의 data와 식(4)으로부터

$$\begin{aligned} 250 \text{ MW 출력에 대한 D발전소의 } \text{CO}_2 \text{ 배출량} \\ &= (aP^2 + bP + c) \cdot \text{IPCC 탄소배출계수} \cdot 44/12 \\ &= 588.45 \cdot 0.064 \cdot 44/12 \\ &= 138.1 [\text{tonCO}_2/\text{hour}] \end{aligned} \quad (5)$$

을 얻을 수 있다.

2) 중유 연소 시 250 MW에 대한 CO_2 대기배출량을 계산해 보자. 성능시험결과는 표3과 같다.

표 3. 중유 연소 시 성능시험결과
Table 3. performance test result firing residual oil

출력(MW)	연료소모량 (ton/h)	발열량 (kcal/kg)
127.3	31.5	9636
188.3	44.8	9622
252.3	60.9	9611

- 표3으로부터 성능시험 결과 얻어진 D 발전소의 입출력 특성계수를 $a=0.00255, b=1.284, c=98.6$ 으로 얻을 수 있었다.

- 표2로부터는 중유의 IPCC 탄소배출계수 $21.10 [\text{kgC/GJ}]$ 을 얻을 수 있으며, 이를 $[\text{tonC/Gcal}]$ 단위로 환산하면 0.088 이 된다.

따라서 250MW의 발전출력에 대한 D 발전소의 CO_2 배출량은 1) 및 2)의 data와 식(4)으로부터

$$\begin{aligned} 250 \text{ MW 출력에 대한 D발전소의 } \text{CO}_2 \text{ 배출량} \\ &= (aP^2 + bP + c) \cdot \text{IPCC 탄소배출계수} \cdot 44/12 \\ &= 584.87 \cdot 0.088 \cdot 44/12 \\ &= 188.7 [\text{tonCO}_2/\text{hour}] \end{aligned} \quad (6)$$

을 얻을 수 있다.[7]

LNG 및 중유 연소 시 CO_2 배출량 비교검토

식(5), (6)으로부터 동일 출력에서 LNG 연료를 사용할 때가 중유 연료를 사용할 때보다 CO_2 배출량이 적음을 알 수 있다.

6. 발전소의 화학적 측정 실태 조사

1) 현재 CO_2 는 규제 대상이 아니므로 발전소에는 CO_2 측정설비가 설치되어 있지 않고 $\text{O}_2(\%)$, 배기가스 유량(m^3/hr), $\text{Nox}(\text{ppm})$, CO , Temp를 측

정하고 환경규제 대상인 Nox(ppm) 관리에 주안점을 두고 있으며 성능시험 시 O₂(%), CO(%), CO₂(%) 배기가스를 분석하고 있다.

2) 환경관리공단에서는 복합발전소(5군대)와 기력발전소(1곳)에 CO₂ 배출계수 산정 목적으로 특정 발전소에 별도의 설비를 설치하여 CO₂ 농도 측정값과 발전소에서 측정된 배기가스 유량(m³/hr)을 곱하고 여기에 여러 보정계수를 적용하여 CO₂량을 추출, 연구 중에 있다.

3) 또한 특정발전소에는 온실가스 CO₂의 분리·회수 기술개발을 위해 Pilot Plant 설비를 설치하여 산업자원부와 한국전력공사에서 연구 중에 있다.

7. 결론

OECD 국가이자 세계 9위권 온실가스 다배출국인 우리나라의 경제규모로 볼 때 2013년 이후부터는 온실가스 감축 의무 대상국에 포함될 가능성이 매우 높다. 에너지집약형 산업 비중이 큰 우리나라로서는 경제발전의 커다란 장애요인으로 작용할 수 있다. 이에 발전소의 전력생산에 따른 정확한 CO₂ 배출량을 계산하여 CO₂ 배출량을 줄이는 것은 지구 온난화 방지로 생태계파괴에 따른 환경재난방지에 기여함은 물론 앞으로의 우리나라 경제발전에 있어 매우 중요한 일이라 할 것이다.

본 논문은

- 1) 발전소의 성능시험에 대해 간략히 기술하였고,
- 2) 성능시험 결과 얻어진 Data 특성계수 a,b,c 를 이용하여 D발전소 출력의 LNG와 증유연소 시 각각 연료소모량에 대한 CO₂ 대기 배출량을 계산·비교하였으며,
- 3) 발전소의 화학적 측정 실태조사를 간략히 언급하였다. 계산결과 얻어진 CO₂ 대기배출량의 값과 화학적 측정값의 비교검토는 아래와 같은 이유로 현시점에서는 실시하지 못하였다.
 - 기술적 미흡으로 CO₂ 배출량을 직접 측정하는 설비가 없고,
 - 화학적 측정방법도 IPCC에서 제시하고 있는 온실가스추계방법론에 의하여 산출 계산되고 있으며,
 - 현재 국가통계방법 또한 IPCC 가이드라인을 따르고 있다.

추후 CO₂ 대기 배출량 측정설비가 발전소에 설치된다면, 성능시험 Data의 a, b, c 특성계수를 이용, 발전소 출력의 연료소모량에 대한 CO₂ 대기 배출량을 계산·비교 할 수 있다.

Reference

- (1)한국일보, 2007. 3. 6
- (2)박상도, "기후변화협약 대응 이산화탄소 저감 및 처리 기술", 한국중부발전(주) 발전기술동향, 2005년 봄호 28쪽
- (3)한국경제신문, 2007. 9.11
- (4)박상도, "이산화탄소 규제와 에너지 기술개발", 기계저널 제45권 제4호
- (5)한국중부발전(주) 발전설비 성능관리 지침, 2003. 9
- (6) R.Bergen, V.Vittal, : Power Systems Analysis, 2nd ed. Prentice Hall, 2000, pp 401-403
- (7)이상중, 임정균, "화력발전소 입출력 특성계수를 이용한 순시발전출력 대비 CO₂ 대기배출량 계산", 조명·전기설비학회 논문지 제21권 제5호, 2007. 6월 논문게재 pp 21, 25-28