

CO₂ 배출비용을 감안한 D 발전소의 LNG-중유 연료교체 손익분기점 계산

(Calculation of Breakeven Point for LNG-Heavy Oil Transfer of D Thermal Power Plant
Considering CO₂ Emission Cost)

정영호 · 이상중 · 이진규 · 양성덕
(Yeong-Ho Jeong · Sang-Joong Lee · Gene Lee · Seong-Deog Yang)
서울산업대학교 전기공학과 · 세종대학교 응용수학과 · 고려대학교 수학과

요 약

일본 홋카이도 도야코에서 2008년 7월 열린 주요 8개국(G8) 정상회의에서는 2050년까지 전 세계 온실가스 배출량을 절반으로 줄이는 장기 목표를 추진하기로 했다. 본 논문은 D 발전소의 중유 연소에 따른 비용과 LNG 연소에 따른 비용이 같아지는 ton 당 CO₂ 배출비용을 찾고자 한다.

Abstract

Kyoto Protocol against global warming came into effect in Feb 2005. This paper presents a calculation CO₂ emission of D power plant for combusting LNG and heavy oil using the a, b, c coefficients obtained by the performance test. The authors also calculate the breakeven point of the fuel transfer from LNG to Oil considering recent CO₂ emission cost.

Key Words : CO₂ emission cost, performance test, thermal power plant, fuel transfer, breakeven point

1. 서 론

미국과 EU 모두가 참가한 2007년 12월 기후변화협약 13차 회의에서 2009년까지 선진국과 개발도상국을 모두 포함한 온실가스 감축협상을 벌인다는 데 합의했으며 이에 우리나라도 2013년부터 기후협약 규제가 거의 확실시 되고 있다.[1]

전기사업용 발전설비에서 CO₂ 배출량을 줄이는 것이 매우 중요한 일이 되었으며, 이 중 LNG보다 CO₂ 배출량이 많은 중유 사용을 줄이는 방법도 온실가스 감축에 동참하는 길이다.

현재 중유를 발전용 연료로 사용하고 있는 D 발전소가 LNG의 연료전환을 검토하고 있다고 가정하자.

현재 시점에서 LNG는 중유보다 열량단가가 훨씬 높다. 그러나 LNG는 중유보다 CO₂ 배출량이 훨씬 적다. 따라서 CO₂ 배출비용을 고려할 때 이 계산은 달라질 수 있다.

본 논문은 D 발전소의 중유 연소에 따른 비용과 LNG 연소에 따른 비용이 같아지는 ton 당 CO₂ 배출비용을 찾고자 한다.

이를 위하여 D발전소의 a, b, c 입출력 특성계수를 이용하였으며 궁극적으로 LNG-중유 연료 교체의 손익분기점에 해당하는 ton 당 CO₂ 배출비용을 계산하고자 하였다.

2. 발전소의 a, b, c 입출력 계수

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.

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

그림 1은 식 (1)을 그래프로 나타낸 것이다.[2]

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

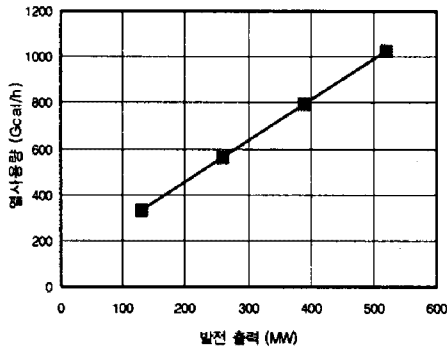


그림 1. 입출력 특성곡선
Fig. 1. Input-output curve

3. 입출력 계수 a, b, c를 이용한 MW 출력 대비 CO₂ 대기배출량 계산

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

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

계수 a, b, c가 주어지면 식 (2)로 부터 발전출력에 대한 CO₂ 대기배출량을 바로 계산할 수 있다.[2]

4. D 발전소의 적용사례: LNG와 중유 연소시 CO₂ 대기배출량 계산

LNG 연소시

LNG 연소시 CO₂ 대기배출량을 계산해 보자. D 발전소의 입출력 특성계수를 a=0.00082, b=1.96, c=45.0 라 가정한다.

LNG의 IPCC 탄소배출계수는 15.30[kgC/GJ]이며 0.064[tonC/Gcal]에 해당한다.

따라서 250 MW 출력에 대한 D 발전소의 CO₂ 배출량은

$$\begin{aligned} &= (aP^2 + bP + c) \times \text{IPCC 탄소배출계수} \times 44/12 \\ &= 588.45 \times 0.064 \times 44/12 \\ &= 138.1 [\text{tonCO}_2/\text{hour}] \end{aligned} \quad (3)$$

가 된다.

중유 연소시

중유 연소시 D 발전소의 입출력 특성계수를 a=0.00255, b=1.284, c=98.6 라 하자.

중유의 IPCC 탄소배출계수 21.10[kgC/GJ]를 [tonC/Gcal] 단위로 환산하면 0.088이 된다.

따라서

$$\begin{aligned} &250 \text{ MW 출력에 대한 D 발전소의 CO}_2 \text{ 배출량} \\ &= (aP^2 + bP + c) \times \text{IPCC 탄소배출계수} \times 44/12 \\ &= 584.87 \times 0.088 \times 44/12 \\ &= 188.7 [\text{tonCO}_2/\text{hour}] \end{aligned} \quad (4)$$

을 얻을 수 있다.[3]

5. MW 발전출력 대비 연료비 계산

연료의 열량단가, 즉 Gcal당 단가를 알면 식(1)에 열량단가를 곱하여 출력 P [MW]에 대한 연료비 [원]을 곧바로 얻을 수 있다. 표 1은 LNG와 중유의 열량단가를 나타낸다.

표 1. 발전원별 연료의 열량단가(4)

년 도	LNG[원/Gcal]	중유[원/Gcal]
2007	43,590	40,334

자료 : 전력통계정보시스템

LNG 연소시 250 MW 출력에 대한 D 발전소의 연료비는

$$\begin{aligned} &= \text{열입력} (aP^2 + bP + c) \times \text{LNG의 열량단가} \\ &= 588.45 \times 43,590 \\ &= 25.65 [\text{백만원}/\text{hour}] \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다.

중유 연소시 250 MW 출력에 대한 D 발전소의 연료비는

$$\begin{aligned} &= (aP^2 + bP + c) \times \text{중유의 열량단가} \\ &= 584.87 \times 40,334 \\ &= 23.59 [\text{백만원}/\text{hour}] \end{aligned} \quad (6)$$

을 얻을 수 있다.

6. CO₂ 배출비용 계산

CO₂ 배출량 비교

식 (3) 및 (4)로 부터 중유를 사용하는 것 보다 LNG를 사용 할 때가 CO₂ 배출량이 50.6 [tonCO₂/hour] 정도 적게 배출됨을 알 수가 있다.

표 2. Euro 시장에서의 탄소 배출권 가격(5)

년 도	€/ton	비고
2005	21.59	1€=1,600[원]
2006	17.95	
2007	0.69	
2008	23.87	38,192[원/ton]

자료 : European Climate Exchange

CO₂ 배출비용

LNG 연소시 D 발전소의 250 MW에 대한 CO₂ 배출비용 $CO_{2cost-LNG}$ 는 식 (3)의 250 MW 출력에 대한 D발전소의 CO₂ 배출량에 표 2의 ton 당 CO₂ 배출가격을 곱하면 구해진다. 즉,

$$CO_{2cost-LNG} = 138.1[\text{tonCO}_2/\text{hour}] \times \text{ton 당 CO}_2 \text{ 배출가격} = 138.1x \quad (7)$$

단, x 는 ton 당 CO₂ 배출가격이다.

중유 연소시 D 발전소의 250 MW에 대한 CO₂ 배출비용 $CO_{2cost-RO}$ 는

$$CO_{2cost-RO} = 188.7[\text{tonCO}_2/\text{hour}] \times \text{ton 당 CO}_2 \text{ 배출가격} = 188.7x \quad (8)$$

가 된다.

7. CO₂ 배출비용을 감안한 연료전환의 경제성 검토

$COST_{LNG}$ 및 $COST_{Oil}$ 를 각각 LNG 연소시 발전 비용 및 중유 연소시 발전비용이라 하자. D 발전소의 출력을 250 MW라 하면, LNG 연소시 발전 비용 $COST_{LNG}$ 는

$$COST_{LNG} = \text{LNG 연료비} + \text{LNG 연소시 CO}_2 \text{ 배출비용} = \text{식 (5)} + \text{식 (7)} = 25.65 + 138.1x \quad (9)$$

D 발전소의 중유 연소시 발전비용 $COST_{Oil}$ 는

$$COST_{Oil} = \text{중유 연료비} + \text{중유 연소시 CO}_2 \text{ 배출비용} = \text{식 (6)} + \text{식 (8)} = 23.59 + 188.7x \quad (10)$$

가 된다.

여기서 $COST_{LNG} = COST_{Oil}$ 를 만족하는 x 를 계산하자. 식 (9)와 식 (10)으로 부터

$$\begin{aligned} 25.65 + 138.1x &= 23.59 + 188.7x \\ \Rightarrow 50.6x &= 2.06 \\ \Rightarrow x &= 0.0407 \\ \Rightarrow x &= 0.0407 \times 1,000,000[\text{원}] \\ \Rightarrow x &= 40,700[\text{원}] \end{aligned} \quad (11)$$

즉, CO₂ 배출단가가 40,700[원/ton]을 넘어설 경우에는 D 발전소의 경우 연료비가 비싸지만 CO₂ 배출이 적은 LNG를 연료로 채택하는 것이 더 경제적임을 의미한다.

8. 결 론

발전설비에서 CO₂ 배출량이 많은 연료의 사용을 줄이는 것도 온실가스 감축에 기여 할 것이다.

본 논문은

- LNG와 중유 연소시 연료소모량에 대한 CO₂ 대기 배출량을 각각 계산·비교하였으며
- D 발전소의 중유 연소에 따른 비용과 LNG 연소에 따른 비용이 같아지는 ton 당 CO₂ 배출비용을 계산하여
- D발전소의 LNG-중유 연료교체의 손익분기점에 해당하는 ton 당 CO₂ 배출비용을 계산하였다.

Reference

[1]매일경제, 2008. 7. 9, A1
 [2]이상중, 임정균, "화력발전소 입출력 특성계수를 이용한 순시발전출력 대비 CO₂ 대기배출량 계산", 한국조명·전기설비학회 논문지 제21권 제5호, 2007. 6, pp.120~125
 [3]문홍규·이상중, "성능시험 결과를 이용한 D 발전소의 CO₂ 대기배출량 계산", 한국조명·전기설비학회 2007 추계학술대회 논문집, 2007. 11 pp.341~344
 [4]<http://epsis.kpx.or.kr>(전력통계정보시스템)
 [5]<http://www.europeanclimateexchange.com>