

MFCA를 적용한 환경부하 및 발전원가 분석 연구 : 석탄화력발전소 중심으로

임 병 선* · 박 승 욱*

*인하대학교 지속가능경영학과

A Study on Environmental Impact and Cost Analysis in Electricity Generation Using MFCA For a Coal-fired Power Plant

Byung-Sun Lim* · Seungwook Park*

*Department of Sustainability Management, INHA University

Abstract

Global warming has pressured companies to put a greater emphasis on environment management which allows them to reduce environmental impact and costs of their operations. In Korea, the coal-fired power plants take a large account of electricity generation at 31.7% of the total electricity usage in 2014. Thus, environmental impact of coal-fired power plants is significant. This paper illustrated how to compute environmental impact and costs in electricity generation at a coal-fired power plant using MFCA methodology. Compared to the traditional accounting, an advantage of MFCA is to provide information on electricity generation costs and environmental wastes incurring throughout the production process of electricity. Based on MFCA, the coal-fired power plant was able to reduce production cost of electricity by 52.3%, and environmental wastes by 47.7%. As a result, MFCA seemed to be an effective tool in environmental management for power plants.

Key words : MFCA, Coal-fired Power Plant, Electricity Generation Costs, Mass Balance, Emission Trading

1. 서 론

최근 전 세계적으로 지구온난화에 따른 환경변화의 심각성이 날로 증가하고 있다. UN산하 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)는 제5차 보고서(2014)에서 온실가스증가율이 지금과 같이 계속될 경우 2100년도 지구평균기온은 3.7도 오르고, 해수면은 63cm 상승할 것으로 전망하고 있다.[8]

화석연료의 사용이 지구온난화의 직접적인 주범임을 IPCC 보고서는 주장하고 있다. 우리나라의 석탄 화력 발전소는 에너지 생산을 위해 주원료로 유연탄을 사용하고 있기 때문에 온실가스의 감축이 요구된다. 그러므

로 석탄 화력발전소의 환경경영은 지속가능 경쟁력 확보 차원에서도 중요한 요인으로 자리를 잡고 있다. 이해관계자들의 환경경영에 대한 압력이 강해지면서 기업들에게 환경부하 개선 및 원가절감은 중요한 이슈가 되고 있다. 이와 같은 사회적 압력에 대응해 나가기 위해서는 효율적인 환경경영 기법으로 인식되어 온 물질 흐름회계 (MFCA: Material Flow Cost Accounting)의 활용이 요구된다. 화력발전소의 경우, 지구온난화의 주범인 CO₂가 전력 10,000kWh 생산하는데 4.705Ton이 발생된다.[8] 그러므로, MFCA 기법을 활용한 자원사용의 최적화가 필요한 시점이다.

†Corresponding Author : Seungwook Park, College of Business Administration, INHA UNIVERSITY, 100, inha-ro, Nam-gu, Incheon, MP : 010-4615-2351, E-mail: separk6112@inha.ac.kr

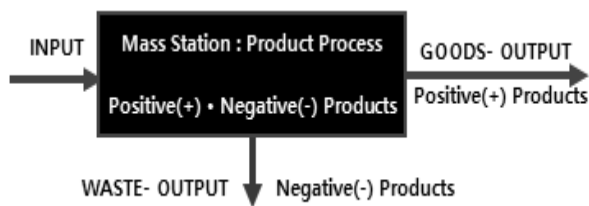
Received January 04, 2015; Revision Received March 16, 2015; Accepted March 19, 2015.

환경의 중요성과 발전원가 절감에 대한 필요성이 부각되고 있지만, 환경부하 개선을 위한 활동은 발전원가를 증가시키는 상충관계에 있다는 인식이 지배적이다. 인식의 변화를 위해서는 우선적으로 환경부하 및 발전원가를 측정 분석할 수 있는 방법이 모색되어야 한다. 이러한 계량분석을 통해 이들 관계가 상충적이 아닌 보완적 관계임을 보여 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MFCA 기법을 활용하여 화력발전소의 환경부하 및 발전원가를 분석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.[1]

2. 이론적 배경

2.1 MFCA

MFCA는 물질흐름회계로 통용되는데, 독일의 아우크스부르크에 위치한 환경경영연구소(IMU: Institut für Management und Umwelt)에 의하여 1992년에 개발되었으며, 경영관리자의 의사결정에 이용되는 관리회계의 한 방법이다. 물질흐름회계(이하, MFCA)에서는 원재료와 자재 등과 같은 “재료(Material)”의 흐름(Flow) 속에 재고(Stock)량과 원가(Cost) 두 측면에서 측정한다. 생산 공정 각 단계에 투입된 물질과 이로부터 산출된 제품(양품) 및 손실(Loss)에 대한 원가를 파악하여 원가절감과 동시에 자원의 손실을 최소화하기 위해 개발된 관리기법이다. 이러한 관계를 그림으로 나타내면 [Figure 1]과 같이 시스템으로 표시될 수 있음을 확인할 수 있다.[1]



[Figure 1] MFCA in a Manufacturing Process

MFCA의 기본구조는 [Figure 1]과 같이 MFCA에 투입된 자원의 집계 및 분석단위인 물량센터, 다음의 공정에 투입되는 물량이 되는 정(正)의 제품(전기), 그리고 폐기되거나 다음의 공정에 투입되지 않는 물량인 부(負)의 제품(전기)으로 분류된다.[1]

화력발전소의 에너지생산에 있어서 환경개선 수단으로 물질수지(Mass Balance), 에너지수지(Energy Balance) 분류하여 물질투입량과 원가발생량을 동시에 측정 및 관리가 필요하다, MFCA는 에너지생산 프로세

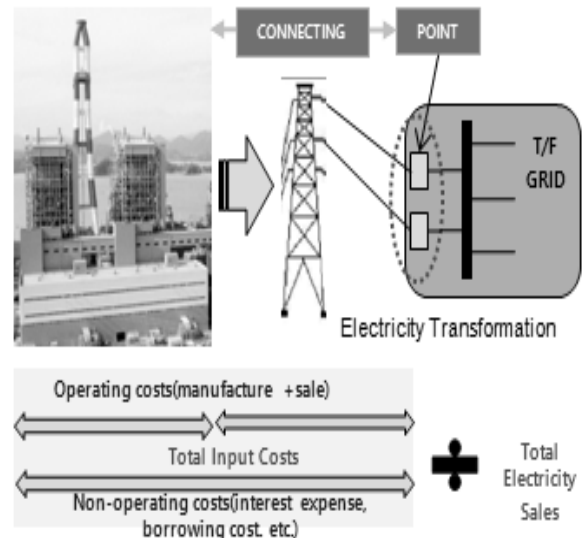
스에 있어서의 물질(원재료와 에너지)흐름과 재고 물량의 원가 단위로 산출 관리됨으로 각각의 공정에서 배출되는 폐기물의 원가를 정확하게 계산함으로써 폐기물 삭감에 의한 자원생산성의 향상을 도모하는 기법이다.[6]

2.2 발전원가

화력발전소에 MFCA를 이용하기 위해서는 전기 발생에 필요한 물질들의 원가와 흐름에 대한 이해가 필요하다. 즉, 발전과정에서 발생하는 원가에 대한 이해가 선행되어야 한다.

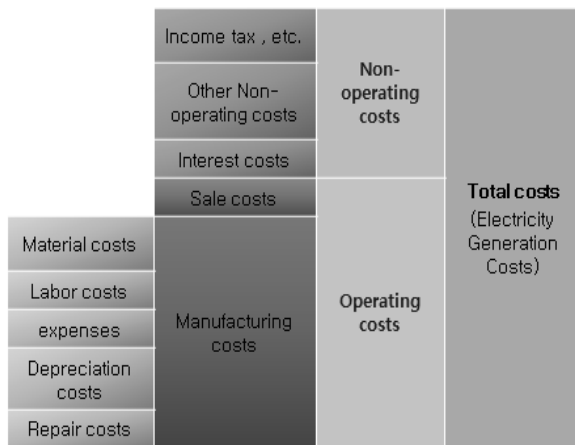
발전원가는 전기를 생산하는데 소비된 경제적 가치를 화폐로 나타낸 금액이다. 발전사업과 관련된 모든 총 투입비용을 총 판매 전력량으로 나누어 화폐가치로 표시한 것을 의미 한다.[4]

일반적으로, 전력단가는 1시간에 1kw 소비된 가치를 단위화하여 원/kWh으로 표시하는 방식이 사용된다. [Figure 2]는 발전원가의 개념을 보여주고 있다.



[Figure 2] Concept of Electricity Generation Cost

발전원가는 [Figure 3]와 같이 크게 영업원가와 영업외 원가로 구분하고, 영업원가는 제조원가, 판매관리비로 구성되며 영업외 원가는 이자비용, 차입금비용, 기타 영업외 비용으로 구성된다.



[Figure 3] Composition of Cost Electricity Generation

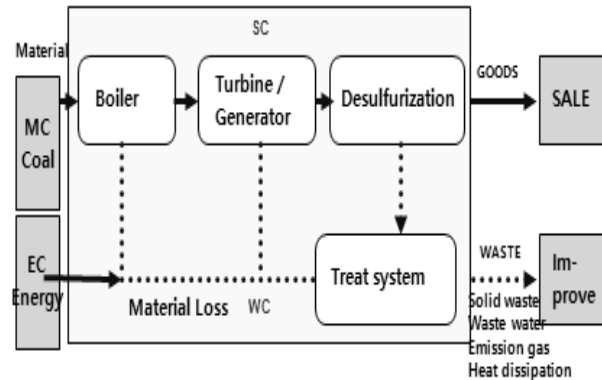
발전원가를 계산할 때, 요소별 세부 구성항목을 크게 변동비와 고정비로 분류한다. 원가의 발생행태가 조업도(操業度)의 변화와 관계없이 일정한 경우 고정비라 하고, 어떤 원가가 조업도의 변화에 비례하여 변동되면 변동비라고 한다. 변동비는 주재료비(유연탄, 무연탄, 경유, 중유, LNG), 운탄관련 용역회사비(소비 탄비, 소비 중유비, 소비 가스비, 회차리비, 회사설비비, 용수 사용료), 구입전력비(기동전력료, 양수펌핑전력료) 등이 있고, 고정비는 인건비(급여 및 임금, 제수당, 잡급, 퇴직급여), 경비(복리후생비, 여비교통비, 통신비, 전력수도료, 연료유지비, 세금과공과, 소모품비, 피복비, 도서인쇄비, 임차료, 차량비, 보험료, 지급수수료, 운반보관료, 기밀비, 업무추진비, 광고선전비, 교육훈련비, 조사분석비, 포상비, 보상비, 대손상각비, 잡비, 고정자산제각손, 개발비, 협력비 등), 수선유지비(경상정비비, 계획정비비, 위탁정비비, 중기수리비, 사육/사택관리비 등), 감가상각비(일반감가상각비, 무형자산상각비), 이자비용(차입금이자, 사채이자, 송전접속비 이자 등), 기타영업외 비용(외환차손, 외화환산손실, 기타의 대손상각, 재고자산 매각손, 재고자산 평가손, 기부금, 잡손실, 유형자산 처분손, 투자자산 처분손, 통화스왑손실, 법인세추납액 등), 법인세 비용(법인세, 주민세, 농어촌특별세 등) 등이 있다.[5]

2.4 화력발전소의 MFCA 적용

2.4.1 화력발전소 공정

화력발전소 공정에서 MFCA 원가발생은 [Figure 4]와 같이 크게 4 가지로 구분할 수 있다. 첫째, MC(Material Cost)이며 화력발전소의 대표적인 MC는 유연탄이다. 둘째, SC(System Cost)인데 이것의

예로는 감가상각비, 수선유지비, 인건비, 운탄회사비, 보조재료비가 있다. 셋째, EC(Energy Cost)인데 소내 전력 공급원인 동력비이다, 마지막으로 WC(Waste Cost)이며 그 예로는 저회, 비회, 석고 등이 있다.[7]



[Figure 4] MFCA of Incurred Costs

본 논문에서는 Y화력발전소에서 운영 중인 네 개의 발전기 중 1호기를 기준으로 MFCA 분석을 실시하였다. 1호기의 시간당 정상 발전용량은 800MW이나, 2011년 2월에 실제 발전용량은 740MW였다. 1호기는 재열 증기터빈 설비로 이루어져 있으며, 28일 동안 매일 24시간 가동하였다. 발전에 관련된 담당자들과 워크숍을 통하여 물질수지표를 작성하고, 물질수지표를 바탕으로 MFCA기법에 따라 물질의 흐름을 계산한다. 물질흐름은 보일러에 화석원료를 연소시켜 얻은 에너지로 물을 끓여 증기로 만들고, 그 증기로 터빈을 회전시켜 회전력을 얻은 후 터빈 축에 연결된 발전기로 전기를 얻게 된다.[4]

2.4.2 물질수지 분석

석탄화력발전의 전기생산 공정의 흐름을 파악하고 각 공정별 물질수지가 분석 되어야 전체적인 물질수지를 정확하게 계산할 수 있다. 투입된 자원이 각각의 공정에서의 양(+)의 원가와 부(-)의 원가를 정확히 파악하기 위해서는 공정단위별 계량적 측정이 가능하도록 해야 한다.

첫째, 운탄(Coal Handling) 공정에서 물질수지표는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Mass Balance of Coal Handling Process

	Contents		Units	Mass
Input	Coal		Ton/h	360
	Electricity		kWh	7,405
Output	Loss	Coal drop	Ton/h	4.86
		Coal fly	Ton/h	0.08

둘째, 보일러(미분기) 공정에서 물질수지표는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Mass Balance of Boiler Process

	Contents		Units	Mass
Input	Electricity		kWh	11,017
	Water		Ton/hr	83
	Ammonia		Ton/hr	130
Output	Loss	Coal ash	Ton/hr	20.0
		Coal non-burn	Ton/hr	39.7

셋째, 터빈/발전 공정에서 물질수지표는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Mass Balance of Turbine/Generator Process

	Contents		Units	Mass
Input	Electricity		kWh	12,958
	Water		Ton/hr	30,000
Output	Loss			

넷째, 탈황 설비 공정에서 물질수지표는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Mass Balance of Desulfurization Process

	Contents		Units	Mass
Input	Electricity		kWh	5,554
	Water		Ton/hr	128
	Limestone		Ton/hr	19
Output	Loss	Plaster	Ton/hr	19

<Table 5> Mass Balance of Electricity Transformation Process

	Contents		Units	Mass
Input	-			
Output	Goods	Electricity	kWh	740,481
	Loss	CO ₂	Ton/hr	348.4

배출된 부산물의 탈황석고는 시멘트 원료 및 벽돌 등으로 Recycle가능하므로 Loss를 최소화 하고 있다.

다섯째, 변전 설비 공정에서는 투입물질은 없으며, 전공정에서 전기를 받아 송전을 위해 배전하는 공정으로 전력과 유해물질인 이산화탄소(CO₂)를 집계 측정한다. 물질수지표는 <Table 5>와 같다.

Y화력발전소의 MFCA 적용을 위해 필요한 데이터 수집은 발전운영관리시스템 데이터베이스를 사용하였고, 에너지 흐름맵(Energy Flow Map)을 바탕으로 분석하였다. 발전공정의 투입물 양과 산출물 양에 있어서는 명확한 물질수지를 계산하기 위해 크게 5 공정인 운탄(Coal Handling), 보일러(미분포함), 터빈/발전, 탈황, 변전을 Mass Station으로 구분하여 자료를 집계하였다. 또한, 투입물 양과 산출물 양의 물질흐름분석을 통하여 양(+)의 원가를 계산하고, 특히 환경개선 활동의 초점인 부(-)의 원가 분석으로 손실(Loss)율, CO₂ 발생량, 에너지 효율 등을 파악하였다. 본 사례는 화력발전소 특성 상 연간 데이터를 바탕으로 호기 별로 분류하고 월 단위로 계산하여 이를 시간 단위로 환산하였다.

호기별로 직접적 소비되는 유연탄, 소내전력 등 물질은 개별 집계하고, 공통적 소비되는 하역, 상탄, 탈황 등의 물질은 생산발전용량 기준으로 할당 배분하여 집계하였다.

3. MFCA 계산 및 분석

3.1 MFCA 계산

화력발전의 목적은 눈에 보이지 않는 전기에너지를 생산하는 것으로 일반 제조업체의 제품을 생산하는 제품의 원가계산 방식과 차이가 있으나 MFCA 계산 관점에서는 유사하다. 단지 투입된 요소가 형상화된 제품이 아니기 때문에 집계 및 측정에 차이가 발생한다. 투입된 물질은 유연탄의 비중이 90% 이상이므로 유연탄의 소비과정 흐름으로 집계·측정하여 MFCA 원가를 계산하는 것이 효율적이다.

여기서는 전기라고 하는 양품과 폐기물로 대표되는 낭비(Material Loss)의 값을 정확히 계산하는 것을 목적으로 한다. 즉, 물질손실인 폐기물 등의 합리적이고 적절한 원가 계산에 주목적이 있다. 공정단계 별 단위 원가 계산은 다음과 같이 이루어졌다.

첫째, 운탄(Coal Handling) 공정에서 MFCA 원가계산은 투입물 자원의 소비된 가치를 월 단위 기준으로 수치화하고, 실질적으로 발생하는 정(+)의 원가와 부(-)의 원가를 구분하여 투입요소에 대한 발생 원인을

명확히 파악하였다. <Table 6>은 운탄공정의 투입에 대한 단위 원가를 보여 주고 있다.

<Table 6> MFCA Unit Cost Calculation of Coal Handling Process

PROCESS		Calculation (W/hr)	Remarks
New INPUT			
Total Cost		38,555,318	
MC	Coal	36,713,160	Consumption
SC	Depreciation	1,471,918	Accruals
	Repair		Accruals
	Labor		Accruals
	Vendor - Coal		Accruals
EC	Electricity	370,240	Consumption
OUTPUT		Calculation (W/hr)	Remarks
Cost	Contents		
Positive Cost(+)	Total Cost	38,516,763	
	MC	36,676,447	
	SC	1,470,446	
	EC	369,870	
Negative Cost(-)	Total Cost	164,544	Loss
	MC	36,713	Loss
	SC	1,472	Loss
	EC	370	Loss
	WC	125,989	Loss

둘째, 보일러(미분기) 공정 MFCA 원가계산은 투입물자의 소비된 가치를 월 단위 기준으로 수치화하고, 실질적으로 발생하는 정(+)의 원가와 부(-)의 원가를 구분하여 투입요소에 대한 발생 원인을 명확히 파악하였다. <Table 7>은 운탄공정의 투입에 대한 단위 원가를 보여 주고 있다.

<Table 7> MFCA Unit Cost Calculation of Boiler Process

PROCESS		Calculation (W/hr)	Remarks
Pre + New INPUT			
Pre - Total Cost		38,516,763	
New - Total Cost		4,065,191	
N e w	SC	Depreciation	Accruals
		Repair	Accruals
		Labor	Accruals
		Water	Consumption
		Ammonia	Consumption
	EC	Electricity	555,360
OUTPUT		Calculation (W/hr)	Remarks
Cost	Contents		
Positive Cost(+)	Total Cost	38,908,404	
	MC	33,008,802	
	SC	4,975,297	
	EC	924,305	
Negative Cost(-)	Total Cost	3,673,550	Loss
	MC	3,667,645	Loss
	SC	4,980	Loss
	EC	925	Loss
	WC	0	

셋째, 전기를 생산하는 주 설비인 터빈/발전공정의 MFCA 원가계산은 <Table 8>에서 볼 수 있다.

<Table 8> MFCA Unit Cost Calculation of Turbine/Generator Process

PROCESS		Calculation (W/hr)	Remarks	
Pre + New INPUT				
Pre - Total Cost		38,908,404		
New - Total Cost		3,216,411		
N e w	SC	Depreciation	2,568,491	
		Repair		Accruals
		Labor		Accruals
	EC	Electricity	647,920	Consumption
OUTPUT		Calculation (W/hr)	Remarks	
Cost	Contents			
Positive Cost(+)	Total Cost	25,611,299		
	MC	16,504,401		
	SC	7,536,244		
	EC	1,570,653		
Negative Cost(-)	Total Cost	16,513,517	Loss	
	MC	16,504,401	Loss	
	SC	7,544	Loss	
	EC	1,572	Loss	
	WC	0		

넷째, 각종 유해물질을 제거하는 환경처리 공정의 MFCA 원가계산은 <Table 9>에서 보여주고 있다.

<Table 9> MFCA Unit Cost Calculation of Desulfurization Process

PROCESS		Calculation (W/hr)	Remarks	
Pre + New INPUT				
Pre - Total Cost		25,611,299		
New - Total Cost		1,009,334		
N e w	SC	Depreciation	731,654	
		Repair		Accruals
		Labor		Accruals
		Water		Consumption
		Limestone		Consumption
	EC	Electricity	277,680	Consumption
OUTPUT		Calculation (W/hr)	Remarks	
Cost	Contents			
Positive Cost(+)	Total Cost	26,594,012		
	MC	16,487,897		
	SC	8,259,630		
	EC	1,846,485		
Negative Cost(-)	Total Cost	26,620	Loss	
	MC	16,504	Loss	
	SC	8,268	Loss	
	EC	1,848	Loss	
	WC	0		

마지막으로, 변전은 전기 발생량을 집계, 측정하고 송전선로에 연결하는 공정이다. <Table 10>은 변전공정의 MFCA 단위 원가를 보여주고 있다.

<Table 10> MFCA Unit Cost Calculation of Electricity Transformation Process

PROCESS		Calculation	Remarks
Pre + New INPUT		(W/hr)	
Pre - Total Cost		26,594,012	
New - Total Cost		0	
OUTPUT		Calculation	Remarks
Cost	Contents	(W/hr)	
Positive Cost(+)	Total Cost	26,594,012	
	MC	16,487,897	
	SC	8,259,630	
	EC	1,846,485	
Negative Cost(-)	Total Cost	3,844,000	Loss
	MC	0	
	SC	0	
	EC	0	
	WC	3,844,000	CO2 Accruals

각 공정별로 투입된 자원에 대한 실질적으로 발생된 가치를 양(+)의 원가와 부(-)의 원가로 구분할 수 있다. 환경적인 측면을 고려한 MFCA 계산으로 원가 및 환경부하를 파악하는 것이 개선활동에 있어 중요한 자료가 된다.

<Table 11>은 MFCA의 총 발생된 발전원가 결과를 공정별로 보여주고 있다.

<Table 12>의 각 공정별로 발전원가계산의 구성비율을 보면 운탄 21%, 보일러 24%, 터빈/발전 23%, 탈황 15%, 변전 17%임을 알 수 있다. 보일러, 터빈/발전공정에서 상대적으로 발전원가가 많이 발생하고 있으므로 원가절감의 포인트는 보일러, 터빈/발전공정을 우선적으로 개선하는 것이 효율적임을 보여준다. 또한 공정별 부(-)의 원가인 손실(Loss)에 있어서도 총 47.7% 중 유연탄을 적재장소에서 보일러 미분기까지 운반하면서 발생하는 손실(낙회,비회)이 0.4%, 미분기를 통해 보일러링 하면서 발생하는 손실이 8.6% 발생하였다. 그러나 보일러링한 열에너지로 터빈을 돌리고 터빈을 통해 발전하는 터빈/발전 공정에서 부의(-) 원가가 39.2%로 가장 많이 발생하고 있음을 파악할 수 있었다. 부(-)의 원가가 크다는 것이 에너지 손실이 많다는 의미가 된다. 탈황공정은 석회석 및 용수를 이용하여 환경유해물질인 탄소, 질소산화물 등을 제거하는 설비로 손실이 0.1% 발생하였다. 마지막으로 생산된 전기를 송전탑으로 연계하기 위한 공정인 변전공정은 손실이 12.6% 발생하였다.

<Table 11> Total Cost of Electricity Generation Based on MFCA

① Positive Cost(+)			
Pro. Output	Coal Handling → Boiler → Turbine/Generator		
MC	36,676,447	33,008,802	16,504,401
SC	1,470,446	4,975,297	7,536,244
EC	369,870	924,305	1,570,653
TC	38,516,763	38,908,404	25,611,298
Pro. Output	→ Desulfurization → Electricity Transformation		
MC	16,487,897		16,487,897
SC	8,259,630		8,259,630
EC	1,846,485		1,846,485
TC	26,594,012		26,594,012
② Negative Cost(-)			
Pro. Output	Coal Handling → Boiler → Turbine/Generator		
MC	36,713	3,667,645	16,504,401
SC	1,472	4,980	7,544
EC	370	925	1,572
WC	125,989	0	0
TC	164,544	3,673,550	16,513,517
Pro. Output	→ Desulfurization Transformation		→ Electricity
MC	16,504		0
SC	8,268		0
EC	1,848		0
WC	0		3,844,000
TC	26,620		3,844,000

<Table 12> Cost of Electricity Generation by Process

③ Electricity Generation Costs						
Contents	Coal Handling	Boiler	Turbine Generator	Desulfurization	Electricity Transformation	Electricity Generation Costs
Positive Cost(+)	38,516,763	38,908,404	25,611,299	26,594,012	26,594,012	26,594,012
Negative Cost(-)	164,544	3,673,550	16,513,517	26,620	3,844,000	24,222,231
Total	38,681,307	42,581,954	42,124,816	26,620,632	30,438,012	50,816,243
Proportion	21%	24%	23%	15%	17%	100%
Loss Rate	0.4%	8.6%	39.2%	0.1%	12.6%	47.7%

3.2 MFCA 계산 결과

Y화력발전소의 공정별로 발생한 요소별 원가 구성비율은 유연탄 비용인 MC가 72%로 가장 많이 발생하였고, 감가상각비, 수선유지비, 인건비 등 SC가 16%, 전력비인 EC가 4%, 낙회, 비회, 이산화탄소(CO2) 환경유해물질이 8% 발생하였다. 정(+)의 원가인 양품의

구성비율은 52%, 부(-)의원가인 손실은 48%로 분석되었다. 세부 구성비율을 보면 MC의 양품 대비 손실이 32%/39.83%, SC의 양품/손실 비율이 16%/0.04%, EC의 양품/손실 비율이 4%/0.01%, WC의 양품/손실 비율은 0%/7.81%으로 분석되었다. 특히 MC, WC 부분은 양품 대비 손실이 크므로 개선활동의 중요한 포인트가 된다. 또한, <Table 13>은 MFCA 요소별 발전 원가계산 및 구성비율을 보여주는 것으로, 양품 52%, 손실 48%로 양품 대비 상대적으로 많은 손실이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

<Table 13> Cost of Electricity Generation by Mass Factor

Content	MC	SC	EC	WC	SUM
Goods	16,471,409	8,259,630	1,844,639	0	26,575,678
Proportion	32.4%	16.3%	3.6%	0.0%	52.3%
Loss	20,241,751	22,264	6,562	3,969,989	24,240,566
Proportion	39.8%	0.0%	0.0%	7.8%	47.7%
SUM	36,713,160	8,281,894	1,851,201	3,969,989	50,816,244
Proportion	72%	16%	4%	8%	100%

3.3 MFCA 발전단가 및 환경부하 분석

3.3.1 발전단가 분석

Y화력발전소의 양품과 손실의 발생비율은 양품 52.3%, 손실 47.7%로, 정(+)의 원가 비율 대비 부(-)의 원가 비율이 매우 높음을 보여주고 있다. 이는 화력발전소의 손실 개선이 필요함을 의미한다. 공정별 분석으로는 터빈/발전설비에서 가장 큰 에너지 손실(전체 47.7% 중 39.2%의 손실)이 발생하였다. 원인으로서는 이전 공정인 보일러를 통하여 생산된 열에너지가 전기에너지로 변환되면서 많은 열손실이 발생했기 때문이다. 열손실 감소를 위해서는 터빈과 발전기 설비의 효율성을 높이는 지속적인 계획정비 및 예방정비가 필요하며, 열을 재사용하는 활동이 요구된다. 물질수지별 분석결과는 MC의 손실률이 39.8%(전체 47.7%중 39.8%)로 가장 높게 발생하였다. 이의 원인으로는 MC의 대부분이 유연탄이므로 유연탄의 품질(열량수준 정도)에 따른 열 발생량 차이와 보일러 투입 전 미분기 공정의 효율성 저하로 볼 수 있다.

전력생산용량 측정은 자동시스템을 통하여 실시간으로 집계된다. 사례 대상인 1호기 발전설비의 가용 전력생산용량은 800,000kWh이나, 실제 전력생산용량은 740,481kWh로 계산되었다. 이를 토대로 운용 효율(실제 생산량÷가용생산량 × 100)이 92.6%임을 알 수 있다.

발전단가는 투입된 원가를 생산된 전력량으로 나누어 단위시간당 원가로 계산한다. 단위당 원가는 MC 49.6원, SC 11.2원, EC 2.5원, WC 5.4원으로 재료비인 유연탄 비용이 가장 큰 것으로 분석되었다.

<Table 14>는 원가요소별 발전단가를 보여주고 있다. 총 발전량 50,816,244원/시간이며, 실제 전력생산량은 740,481kWh이므로, kWh당 발전단가는 50,816,244원 ÷ 740,481kWh = 68.6원/kWh 계산된다.

<Table 14> Generation Cost Per Unit

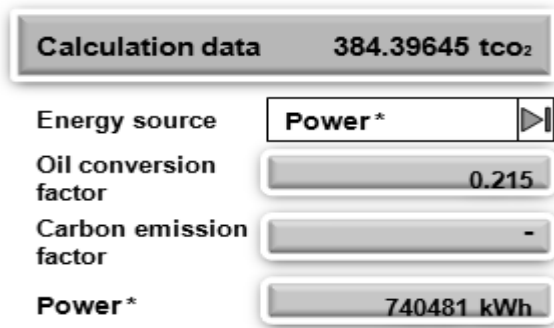
Content	MC	SC	EC	WC	Electricity /kWh)
Goods	16,471,409	8,259,630	1,844,639	0	26,575,678
	22.2	11.2	2.5	-	35.9
Loss	20,241,751	22,264	6,562	3,969,989	24,240,566
	27.3	0.0	0.0	5.4	32.7
Total	36,713,160	8,281,894	1,851,201	3,969,989	50,816,244
	49.5	11.2	2.5	5.4	68.6

3.3.2 환경부하 분석

화력발전소는 전기를 생산하면서 나오는 WC인 폐기 부산물 중에 운탄과정에서 소량이지만 낙탄, 비산탄이 발생되고, 보일러공정은 석탄회, 탈황공정은 석고회가 발생되나 회정제 설비를 통해 순수 무기질로 만들어 시멘트나 레미콘 원료로 100% 재활용되고 있다. 그러나 유연탄을 태우면서 발생하는 WC인 이산화탄소(CO2)는 지구온난화의 주범으로 감축 및 억제하여야 한다. 개선활동의 출발은 정확한 온실가스배출량을 측정하는 것으로부터 시작된다. 우리나라는 2015년 1월 탄소배출권거래 시행을 통하여 온실가스배출 억제를 유도하고 있으며, 거래제도의 안정적인 정착을 위해서는 배출량의 정확한 측정 관리가 선행되어야 한다. 전통적인 원가계산은 양의(+) 원가를 중심으로 설계되어 있다면, 본 논문에서 사용한 MFCA 기법은 양의 원가와 부의 원가를 같이 보여 줌으로써 보다 효율적인 환경개선 활동을 전개하는데 유용할 수 있다.

에너지관리공단은 온실가스발생량을 자동 계산할 수 있도록 [Figure 5]와 같은 시스템을 제공하고 있다. 시간당 전력생산량이 740,481kWh일 때 CO2 발생량은 348.4톤으로 계산된다. 탄소배출권시장에서 거래되는 배출권의 단위는 1KAU(Korea Allowance Unit)으로 표시하며 기준가격(2015년 1월 기준) 10,000원/톤이므로 Y화력발전소 1호기 시간당 탄소금액은 3,844,000원/시간(348.4톤/시간×10,000원)이다. 탄

소배출권거래 시장에서 적극적인 개선활동을 통해 탄소량을 감축하여 배출권 할당량보다 적은 양의 탄소를 배출하게 되면 감축량만큼 시장에 매각하여 수익을 올릴 수 있다. 우리나라의 2013년도 탄소배출실적에 의하면 탄소배출 상위 10개 업체 중 한국전력의 발전 회사가 5개나 포함되고 있다. 이들 업체의 배출 비중은 전체의 37%이며, 규모로 보면, 연간 5000만톤 수준이다. 앞으로 환경개선활동 측면에서 CO₂ 발생을 감축 억제하는 것이 지속가능경영의 중요한 요소이다. 즉, 환경부하를 개선하는 노력은 회사의 수익성을 제고할 뿐 아니라 인류의 숙제인 지구온난화를 예방하는데 도움을 줄 것이다.



[Figure 5] Automatic Calculation of CO₂ Emissions

4. 결론

본 논문에서는 MFCA 기법을 활용하여 석탄 화력발전소의 환경부하와 전력발전원가를 계산하는 방법을 제시하였다. 전력산업에서의 MFCA의 적용은 여러 관점에서 유용함을 알 수 있었다. 우선, 전기에너지의 생산 과정의 양(+)의 원가 부분과 부(-)의 원가 부분을 명확히 구분함으로써 공정개선, 원가절감 및 폐기물 최소화를 어디서 하는 것이 효과적인지에 대한 정보를 쉽게 파악할 수 있었다. 또한, 공정별 원가의 발생 및 구성비율을 쉽게 알 수 있었고, 원가요소 중 MC, SC, EC, WC의 형태별로 원가 구성비율을 분석함으로써 원가절감의 방향을 명확히 알 수 있었다. 마지막으로, 눈에 보이지 않는 전기에너지라는 특수한 상품에 대한 제품 수율 및 손실을 수치상으로 확인할 수 있었다.

2014년 12월 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회에 196개국이 참여하여 기후변화에 공동대응하기 위한 온실가스감축에 동참하기로 합의하였다. 이와 같은 국제사회의 온실가스 감축요구에 대응하기 위한 방법으로 MFCA 활용하는 것이 유용할 것이다. 특히,

CO₂를 많이 발생시키는 전력산업의 경우, 물질흐름과 에너지흐름을 명시화하고 환경개선을 위한 손실(CO₂ 포함) 및 비용 정보의 정확한 파악을 위해 MFCA의 활용이 요구된다. 이런 관점에서 본 연구에서 제시한 사례는 출발점이 될 수 있으며 향후 연구에는 투입요소가 다른 복합화력발전소, 양수화력발전소, 원자력발전소 등으로 연구가 확대되어 나가길 기대한다.

5. References

- [1] Small and Medium Business Corporation(SBC), "SME-Type MFCA Guidelines", Korea Environment Management Association, 2010. 06.
- [2] Keun-Hyo Yook, "Preparatory Study for Compatibility of MFCA(Material Flow Cost Accounting) and CFP(carbon footprint) using LCA", Management Accounting Association of Korea, Vol.13, No.2, 2013.12
- [3] Keun-Hyo Yook, "Usefulness of Material Flow Cost Accounting in Green Supply Chain: Case Study of Japanese Manufacturing Firms", The Japanese Modern Association of Korea Vol.33, 2011. 08.
- [4] Korea South-East Power Corporation, "Understanding of the Electrical Energy", Cyber Public Relations Department, 2015.
- [5] Byung-Sun Lim, "Field-based Cost management by Consultants to conduct", Korea Productivity Center, 2010.
- [6] Jong-Dae Kim, Mun-Kee Cho, Hyoung-Tae An, Yeon-Bok Kim, "Expansion of Material Flow Cost Accounting Tool to the Supply Chain", Korean Accounting Journal Vol.21 No.2, 2012.05.
- [7] 中寫道靖, "マサテリアルフローコスト会計(MFCA)の新展開:MFCAにおけるエネルギー分析への展開および既存の生産管理(TPMを題材に)に対するMFCAの意義について", 関西大学経済政治研究所, 2007.03.
- [8] Korea Energy Management Corporation, "Responding to Climate Change", Homepage, 2015.

저자 소개

임 병 선



인하대학교 산업경영공학과 학사 취득. 인하대학교 경영대학원 지속가능경영학MBA 석사 취득. 현재 동 대학원 박사과정 중.

관심분야 : 원가 및 원가절감, 구매 및 SCM, 상생경영 및 동반성장

주소 : 인천광역시 남구 용현동

253, 인하대학교 지속가능경영학과

박 승 욱



연세대학교 경영학과 학사 취득. The Ohio State Univ. 경영대학 MBA 취득. 동 대학 생산관리 박사 취득

관심분야 : 구매 및 SCM, 상생경영 및 동반성장, 지속가능경영

주소 : 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 경영학과