

# 저급탄용 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성 평가

홍민표, 문승재\*<sup>†</sup>

한양대학교 공학대학원 플랜트엔지니어링 전공, \*한양대학교 기계공학부

## Economic Feasibility of Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler Power Plant for Low Grade Coal

Min-Pyo Hong, Seung-Jae Moon\*<sup>†</sup>

Course of Plant Engineering, Graduate School of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received January 15, 2012; revision received February 25, 2012)

**ABSTRACT** : The structure and combustion characteristics, and the economic feasibility of the circulating fluidized bed combustion(CFBC) boiler using low grade coal were introduced. The economic feasibility is evaluated by comparing a 500 MW CFBC boiler power plant using low grade coal and a pulverized combustion boiler power plant with high grade coal. As the result of the evaluation, the pulverized coal combustion boiler power plant has an internal rate of return of 12.95%, 1,395.9 billion Korean won of net present value, and 6.26 years of payback period. On the other hand, CFBC boiler power plant has an internal rate of return of 13.54%, 1,704.3 billion Korean won of net present value, and 6.02 years payback period. Therefore, the CFBC boiler power plant has better feasibility in all aspects, as 0.59% higher of internal rate of return, 308.4 billion Korean won of higher net present value and 0.24 year of shorter payback period.

**Key words** : circulating fluidized bed combustion boiler(순환유동층 보일러), pulverized combustion boiler(미분탄연소 보일러)

### 기호 설명

- $CF_t$  : 기간 중의 현금유입(Cash Inflow)
- $L_t$  : 기간 중의 현금유출(Cash Outflow)
- $t$  : 사업의 전체기간
- $IRR$  : 내부수익률( $IRR$  : Internal Rate of Return)
- $R$  : 할인율
- $C_t$  :  $t$  기간 중의 현금유입(Cash Inflow)
- $I$  : 초기투자비용

### 1. 서론

순환유동층 보일러는 초기에는 주로 산업용이나 열병합용으로 이용되다가 최근에는 발전전용으로 사용범위가 넓어짐과 동시에 단위용량도 급격히 증가하는 추세이다. 사용증가 요인으로는 보일러 연소실 내 탈황으로 유황산화물 저감실용화가 입증되었고, 유가급등과 더불어 발전연료로 사용되는 고급탄인 유연탄 가격의 급격한 상승으로 인해 저급석탄도 사용이 가능한 순환유동층 보일러가 각광받기에 이르렀다.

국내에서는 1985년 동양화학에서 최초 도입된 이후 200 MW 동해화력발전소가 기저부하용으로 공급되었고 최근에는 단위용량 500 MW급 삼척화력발전소의 도입을 앞두고 있다. Table 1은 최근 10년간의 국내 유연탄 수요를 분

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel. +82-2-2220-0450; Fax +82-2-2220-2299  
E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

Table 1 Demand of bituminous coal in Korea

unit: 1,000 ton

Year	Power	Steel Mill	Cement	Sum
2001	36,601	19,315	7,770	63,686
2002	40,143	20,097	8,024	68,264
2003	41,631	20,509	8,400	70,540
2004	45,512	20,838	7,628	73,978
2005	47,852	20,810	7,126	75,788
2006	50,199	20,731	7,068	77,998
2007	55,487	21,519	7,424	84,430
2008	62,791	23,568	7,624	93,983
2009	71,091	20,734	6,777	98,602
2010	77,452	25,424	6,488	109,364
(2010 / 2001)	212%	132%	84%	

야별로 나타내고 있다. 발전용 수요가 전체 수요의 70% 이상을 차지하고 있으며, 최근 10년간 수요는 발전부문이 2배 이상으로 증가되었다. 제철은 32%로 소폭 증가하고 시멘트는 오히려 감소하였다. Table 2는 유연탄의 최근 5년간의 가격동향을 보여주고 있다. 2008년에는 2006년 대비 2.7배까지 급격히 상승하다가 2008년 세계 금융위기 이후로 가격이 떨어진 후 다시 상승하고 있어 최근 5년간 약 2배로 가격이 오르고 있다.

후쿠시마 원전사고 이후로 원전보급은 주춤하고 있으나, 중국 및 인도 등 인구대국의 경제개발이 급속히 진행되면서 세계 각국의 전력 수요는 꾸준히 증가하고 있으며 비교적 연료자원이 풍부하고 경제적인 석탄화력의 건설이 증가되고 있다.

우리나라도 미분탄연소 보일러 발전설비인 당진 9, 10호기, 영흥 5, 6호기, 신보령 1, 2호기 그리고 태안 9, 10기가 건설 중으로 준공되는 2015년 이후에는 발전용 유연탄의 수요증가가 예상되며, 발전설비의 연료인 고급유연탄의 국제가격도 급속한 수요증가에 따라 현재보다 크게 인상될 것이다. 발전용 석탄의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내 실정상 석탄연료의 다변화가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 유동층 보일러 구조와 기술, 그리고 국내 실적을 알아보고, 저급탄 연료의 사용이 가능한 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성을 분석하여 순환유동층 보일러 발전설비의 유용성을 평가하여 석탄연료의 다변화

Table 2 Trend of price for bituminous coal

unit: US\$

Year	Korea	Japan	China	Indonesia	Australia	Russia
2006	54.04	59.57	50.47	42.14	49.15	51.45
2007	79.40	83.55	72.58	55.99	65.38	72.45
2008	149.99	160.2	144.87	106.77	127.3	120.57
2009	81.34	96.28	87.27	64.43	71.75	75.67
2010	110.04	113.99	115.43	82.68	98.95	105.21
(2011/2006)	204%	191%	229%	196%	201%	204%
Calories (kcal/kg)	6,080	6,080	6,200	5,900	6,300	6,300

확대를 위한 가치 있는 발전설비로서 제시하고자 한다.

본 논문의 연구방법은 저급탄 연료를 사용하는 순환유동층 보일러 발전설비와 고급탄 연료인 유연탄을 사용하는 미분탄연소 보일러 발전설비의 경제성을 비교하여 평가하였고, 경제성 평가기준은 500 MW 동급용량을 기준으로 각 설비의 최근 수행 및 계획되고 있는 사업들의 건설비와 성능을 준용하였으며, 전력비는 현재의 기저부하용 에너지전력단가와 용량단가에 단계별 인상율을 추정하여 적용하였다. 사용되는 연료비는, 고급유연탄은 2010년 한국전력도입 평균단가와 저급탄은 인도네시아 석탄의 2008년도 판매단가를 기준으로 물가상승률을 적용하였다. 건설기간은 4년, 운영기간은 30년으로 하였으며 물가상승률과 할인율은 각각 3%, 7%를 기준으로 하여 각각의 설비의 내부수익률과 순현재 가치 그리고 회수기간을 산출하여 상대비교 분석하였다. 설비비와 연료비를 제외하고 적용하는 수치는 각각의 설비에 동일하게 적용하여 비교분석을 위한 객관성을 유지하도록 하였으며 국내외 문헌연구, 도서 및 웹사이트를 활용하여 진행하였다.

## 2. 순환유동층 보일러 발전설비의 이해

### 2.1 구조와 연소특징

순환유동층 보일러는 연소실, 유동입자분리장치, 열흡수장치로 크게 구분된다. 순환유동층 연소 보일러는 고온의 유동층하에서 주입된 입자상태의 고체연료를 연소시키고 연소열을 이용하는 기술이다.

## 저급탄용 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성 평가

연소형태는 고정층, 유동개시, 유동, 순환의 단계로 진행된다. 연소 단계별로 고정층은 최초 1 ~ 4 mm 정도의 석탄입자와 모래나 재, 그리고 석회석이 충전되는 단계이다. 고정층 하부의 공기 분산판에서 공기의 압력이 평형이 되면서 고체와 기체의 혼합물이 액체와 같은 상태의 거동을 하는 유동개시 단계이다. 다음 단계에서 공기로 부유된 입자들이 부딪치면서 연소실에서 연소하는 유동단계이고, 순환 단계에서는 고온의 연소가스에 포함된 0.1 mm 이상의 입자가 유동입자 분리장치에서 분리되어 연소로로 재투입되어 반복해서 연소하게 된다.

고온의 연소가스는 과열기, 절탄기, 공기에열기등의 열 흡수장치를 통과하면서 열전달 후 연돌로 배출된다. 이때 유동화 기체속도는 1.5 ~ 10 m/s이고 정체된 고체층 높이는 약 0.5 m, 유동층 온도는 850 ~ 900℃이다.

순환유동층 보일러의 큰 특성으로는 아역청탄, 갈탄을 포함한 목재까지 저열량, 고회분 석탄, 점착성이 있는 넓은 범위의 연료를 연소할 수 있으며, 연소온도가 약 850℃로 낮은 온도에서 운전되기 때문에 질소산화물 발생이 억제되어 별도의 탈질설비 없이도 규제치를 만족시킬 수 있다.

또한 순환유동층 보일러의 가장 큰 장점으로는 연소 중 석회석과의 반응에 의한 연소실 내 탈황이 가능하다는 것이다. 연소실 내에 생석회를 주입하여 석탄과 함께 연소시키면 연소가스 중의 이산화황과 석회석이 노 내에서 반응하여 연소가스 중의 황은 제거되고 석고가 생성되어 회와 함께 배출된다. 일종의 건식탈황의 개념으로 연료의 유황분 함량에 따라 석회석의 주입량을 조절함으로써 배기가스의 황산화물 배출농도를 쉽게 조절한다. 이는 미분탄연소 보일러 발전설비에 대비하여 설비 특성상 큰 장점으로 환경설비비 경감에도 유리하게 작용된다. 그러나 보일러 구조 자체가 크고 설비가 복잡하여 약 10% 정도 발전설비비가 높게 나타나고 있다. 이외에 순환유동층 보일러의 저회나 비회 모두 석고를 일부 포함하고 있어 시멘트공장의 시멘트 첨가제로 재활용되므로 회처리장의 규모를 줄일 수 있는 이점을 얻을 수 있다.

양질의 역청탄, 높은 열량의 아역청탄과 같은 열량이 높고 미연소분이 적은 고급석탄은 미분탄연소 보일러 발전설비에 적용되며 약 4,000 kcal/kg을 기준으로 그 이하의 저열량에 미연소분이 많은 저급탄은 주로 순환유동층 보일러의 연료로 사용할 수 있다.

Table 3 Status of CFBC boiler in Korea

Plant	Capacity		Fuel	Operation	Boiler maker
	Steam (t/h)	Power (MW)			
Dongyang	120	12.5	Coal, Pet.coke	1985	HHI/Alstom
SK (Suwon)	130		Bit.coal	1988	HHI/Alstom
SK (Ulsan)	130	27	Coal, Pet.coke	1989	HHI/Alstom
Hyundai Oil	120		Pet.coke	1989	HHI/Alstom
LG Caltax	210	25	Pet.coke	1990	HHI/Alstom
UPSC	250		Coal, Pet.coke	1990	HHI/Alstom
Samyang	60	9.2	Bit.coal, HO	1991	HHI/Alstom
Daegu	130	54.1	Bit.coal	1986	SHI/Babcock
Jaeil sugar	40	5.4	Bit.coal	1988	SHI/Babcock
Hansol paper	130	23	Bit.coal	1990	SHI/Babcock
Korea Zinc	175	43.5	Bit.coal	1991	HJ/Lurgi
Donghae TPP	693	200 x 2	Anthracite	1999	HJ/ABB-CE
Kumho CHP 1	304	70	Sub-bit. coal	2003	HHI
Kumho CHP 2	796	115	Sub-bit. coal	2009	Mitsui
Yeosu CHP	400 x 3	125 x 2	Sub-bit. coal	2010	F/W
Kunjang CHP	250 x 3	125 x 2	Sub-bit. coal	2010	F/W
Yeosu TPP	950	340	Sub-bit. coal	2011	DHI/F/W

순환유동층 보일러의 설계인자로는 연소용 공기의 주입량, 유입구 위치선정 및 연료의 휘발분과 고정탄소의 함량을 고려하고 연소용 공기가 균일하게 유입되도록 하며, 연료의 안정성과 효율의 증대를 위하여 온도, 체류시간 그리고 유동조건을 만족시키는 방안으로 연소개념을 갖고 설계한다. 또한 회분의 용융, 응착 그리고 응착은 사용연료

의 특성과 연소실 내의 온도조건 등을 고려하여 설비의 운전 신뢰도를 제고할 수 있도록 하고 마모와 부식 문제에 유의하여 돌출부를 줄이거나 내마모성 재질을 선택하여 설계한다.

## 2.2 국내실적 및 추진현황

순환유동층 보일러가 발전용 및 산업용으로 사용되기 시작한 것은 1980년대부터이다. Table 3은 현재 국내에서 운전되고 있는 순환유동층 보일러 현황이다. 국내에서는 1985년 동양화학에서 처음으로 상업운전을 개시한 이래 공정용 증기생산 또는 전력 및 공정용 증기의 동시생산을 목적으로 현재까지 10여기가 성공적으로 운전되고 있다.

주요 순환유동층 보일러 기술은 주요 보일러 제작사인 Lurgi, Alstom 그리고 Foster Wheeler에서 기술을 보유하고 있고 현대중공업에서 Alstom의 기술을 제공받아 다수 사업에 공급하였고 이후 여수화력과 삼척화력에는 Foster Wheeler사의 설계기술을 도입하였다. 사용연료는 주로 수입 유연탄인 역청탄(bituminous coal)이나 아역청탄(sub bituminous coal) 그리고 석유부산물(pet coke)과 국내 무연탄(anthracite)을 연료로 사용하고 있다. 이중 동해화력발전소는 발전전용 보일러로서 국내 무연탄(anthracite)을 연료로한 국내 최초의 순환유동층 보일러를 적용하였으며, 순환유동층 보일러는 Alstom사에서 설계한 것이다. 운전특성을 고려하여 30% 부하에서부터 100% 부하까지 부하변동을 할 수 있는 기저 부하용으로 설계하여 건설하였다. 최근 준공한 여수 2호기는 기존의 노후화된 석유보일러를 순환유동층 보일러로 교체한 경우로 용량이 340 MW급으로 국내 최대 순환유동층 보일러로서 Foster Wheeler사의 설계를 채택하여 국내 두산중공업에서 제작/공급하였다. 보일러 노의 크기는 45 m, 높이 9.5 m, 폭 25 m 넓이이며 유동입자 분리장치의 크기는 직경 5.08 m이다. 설계기간을 포함하여 약 39개월 가량 소요된다. 2014년 준공예정인 삼척화력 순환유동층 보일러는 500 MW급 초초임계압 순환유동층 보일러로, 4기가 건설 중이며 Foster Wheeler에서 보일러를 공급할 예정이다.

## 3. 순환유동층 보일러 발전설비의경제성 평가

### 3.1 경제성 평가기준

Table 4 Total investment cost for CFBC & PC power plant  
unit: 1,000 million Korean won

No	Description	CFBC	PC	Remark
1	EPC	20,000	18,000	
2	Project development	80	80	for feasibility study etc
3	Consulting	200	200	Owner's engineering.
4	Land	1800	1,800	
5	Operation expense	300	300	for owner
6	Pre-operation	120	120	
7	Contingency	700	630	3.5% of EPC cost
8	Financing related fees	550	550	
9	Interest	2,375	2,175	during construction
	Total investment	26,125	23,855	

경제성 분석은 저급탄을 사용하는 순환유동층 보일러 발전설비와 고급탄을 사용하는 미분탄연소 보일러 발전설비의 경제성을 분석하여 비교 평가하였다. Table 4는 각 설비의 총투자비용이다. 건설비용은 500 MW급 석탄화력 2기의 총 1000 MW 발전설비를 기준으로 각각의 설비의 유사사업 사업비를 기준으로 건설비용을 포함한 총투자비용을 산정하였다. 건설비(EPC)는 미분탄연소 발전설비는 180만 원/kW을 기준으로 하여 1조 8,000억 원을 설정하였고, 순환유동층 보일러는 약 10% 높은 2조 원으로 설정하였다. 이외에 기타비용은 사업준비비와 타당성조사 그리고 인허가비용 등의 사업개발비(project development cost), 설계 및 자문용역비(consulting cost)로서 유사사업 사례를 참고하여 설정하였다. 부지비용(land cost)은, 500 MW 2기의 소요부지 30만평을 기준으로 60만 원/평으로 설정하였다.

사업주운영비(operation expense), 시운전비(pre operation cost)도 유사사례의 수치를 기준으로 하고, 건설비의 3.5%를 예비비(contingency), 금융자문 및 금융조달 수수료(financing related fees), 그리고 건설 중 이자(interest during construction)도 포함하여 구성하였다. 총투자비용은 순환유동층 보일러 발전설비는 2조 6,125억 원, 미분탄연소 보일러 발전설비는 약 10% 적은 2조 3,855억 원으로 산정하였다.

## 저급탄용 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성 평가

사업준비기간은 총 6년으로 나누어 비용을 배분하였고, 건설기간은 4년으로 건설비의 배분은 1차년도 5%, 2차년도 30%, 3차년도 50%, 4차년도 15%로 설정하고 설비의 운전기간은 30년으로 하였다.

석탄화력 발전설비의 평균 이용률은 90%의 연간 전력생산량은 7,884 GWh년을 기준하였다. 발전설비 효율은 송전단 기준으로 41%로 동일하게 보았다. 할인율과 이자율은 각각 7%와 3%를 기준으로 전력요금은 초년도 97원/kWh를 기준으로 단계적 상승하여 126원/kWh까지 상승하는 것으로 전기판매요금을 동일하게 적용하였다.

발전소 운영비(O&M cost)는 건설비의 2.3%를 기준으로 하였고, 연료비는 미분탄연소 보일러 발전설비의 연료인 고급유연탄은 2010년도 한전도입 평균가인 미화 94불로 설정하고 순환유동층 보일러 발전설비는 발열량 4,200 kcal/kg인 인도네시아 석탄 판매가격인 미화 54불을 기준으로 연간 물가상승률을 적용하였다.

### 3.2 경제성 평가방법

경제성 분석을 위해 본 연구에서는 사업준비기간을 포함한 사업기간 동안에 순환유동층 보일러 발전설비와 미분탄연소 보일러 발전설비 각각의 투자비와 전기판매수입 그리고 발전소 운영비용의 현금흐름을 작성하고 각 설비별 현금흐름에 따른 내부수익률, 자본회수기간, 순현재가치를 산출하여 경제성을 비교 평가하였다.

내부수익률(internal rate of return)은 “투자안의 미래 현금유입의 현금유출의 현재가치와 같게 만드는 할인율, 투자 안의 순현재가(net present value)를 0으로 만드는 수익률”을 말한다. 내부수익률은 식 (1)에서 산출하게 되며, 투자의 내부수익률이 할인율  $R$ 보다 높을 경우 그 투자는 경제성이 있고, 작으면 경제성이 없는 것으로 평가하였다. 아울러, 할인율이 동일한 경우 복수의 투자안의 내부수익률을 비교하여 경제성을 평가할 수 있다.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - I_0 \quad (1)$$

순현재가는 할인율과 경제기간 동안의 지출과 수입을 이용하여 투자의 현재가치를 나타낸 값으로, 예상되는 미래의 모든 현금흐름의 현재가치에서 지출되는 모든 투자금액을 차감한 값이다. 수익의 현재가치 총합과 비용의 현재가치

총합의 차이로 식 (2)에서와 같이 계산하였다. 순현재가치는 총투자자에 대한 가치를 현재가치로 환산하여 그 크기로 경제성 판단의 지표로 삼을 수 있으며 순환유동층 보일러 발전설비와 미분탄연소 보일러 발전설비의 비교를 통한 경제성 선정에 활용하였다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+R)^t} - I_0 \quad (2)$$

회수기간은 총투자비와 현금흐름을 기준으로 누적 현금흐름이 총투자비를 회수하는 기간을 의미하며, 따라서  $t$ 시점의 현금흐름을  $C_t$ 라고 하고 초기투자비용을  $I$ 라고 하면 식 (3)을 만족시키는  $t$ 가 회수기간이다. 일반적으로 동일 조건에서 자본회수 기간이 짧을수록 경제성이 큰 것으로 평가되므로 복수의 투자안의 비교에 활용할 수 있다.

$$\sum_{t=1}^n C_t = I \quad (3)$$

### 3.3 경제성 평가결과

경제성 분석을 위한 현금흐름은 총투자비용과 수입의 원천인 전기판매수입 그리고 연료비와 발전소 운전비용으로 구성된 운영비를 사업기간 동안에 배분하여 작성하였다. 사업주비용은 사업 준비기간 6년에 나누어 비용을 배분하였고, 건설비는 1차년도 5%, 2차년도 30%, 3차년도 50%, 4차년도 15%로 공정율을 고려하여 투자되는 것으로 작성하였다.

전기판매수입은 연간 총발전용량에 기저부하 평균 이용률 90%를 적용하여, 연간 7,884 GWh를 기준으로 전기판매단가를 97원/kWh에서 단계적으로 인상하여 최대 126원/kWh를 적용하고 용량요금은 연간 600억 원으로 동일하게 적용하여 수입을 산출하였다. 운전비용으로 발전소 운영비(O&M cost)는 건설비의 2.3%로 기준하여 매년 물가상승률을 적용하였고, 연료비는 미분탄연소 보일러 발전설비의 연료인 고급유연탄을 2010년도 한국전력도입 평균가인 미화 94불로 설정하고, 순환유동층 보일러 발전설비는 발열량 4,200 kcal/kg인 인도네시아 석탄 판매가격 미화 54불을 기준으로 연간 물가상승률을 적용하였다. 감가상각비는 총투자비용 중 사업주운영비와 부지비를 제외한 금액을 운전기간인 30년 동안 균등분할하여 배분하는

홍민표 · 문승재

Table 5 Cash flow for a pulverized coal boiler power plant

(unit:100 million won)

Year	Invest- metnt	Revenue		Operation cost		Depreciation	Tax	Total cash flow	Cash flow (cumulative)
		Electric	Capacity	Fuel	O&M				
-6	-5							-5	-5
-5	-925							-925	-930
-4	-2337							-2337	-3267
-3	-5880							-5880	-9147
-2	-10392							-10392	-19539
-1	-4316							-4316	-23854
0		7734	600	3608	509	725	423	3794	-20060
1		7845	600	3699	524	725	507	3714	-16346
2		8057	600	3781	540	725	550	3787	-12559
3		8436	600	3855	556	725	630	3995	-8564
4		8404	600	3955	573	725	615	3862	-4702
5		8404	600	4052	590	725	607	3755	-947
6		8420	600	4198	608	725	591	3623	2676
7		8326	600	4297	626	725	562	3441	6117
8		8373	600	4390	645	725	565	3373	9490
9		8523	600	4485	664	725	590	3384	12874
10		8814	600	4623	684	725	636	3470	16345
11		9492	600	4696	705	725	782	3910	20254
12		9965	600	4801	726	725	876	4163	24418
13		9965	600	4801	748	725	888	4129	28547
14		9965	600	4801	770	725	900	4094	32641
15		9965	600	4801	793	725	912	4059	36700
16		9965	600	4801	817	725	907	4041	40741
17		9965	600	4801	842	725	902	4022	44763
18		9965	600	4801	867	725	896	4002	48765
19		9965	600	4801	893	725	890	3982	52746
20		9965	600	4801	920	725	884	3961	56707
21		9965	600	4801	947	725	878	3939	60646
22		9965	600	4801	976	725	872	3917	64563
23		9965	600	4801	1005	725	866	3894	68457
24		9965	600	4801	1035	725	859	3871	72328
25		9965	600	4801	1066	725	852	3846	76175
26		9965	600	4801	1098	725	845	3822	79996
27		9965	600	4801	1131	725	838	3796	83792
28		9965	600	4801	1165	725	830	3769	87561
29		9965	600	4801	1200	725	823	3742	91303

것으로 적용하였다. 운전기간 중 수입은 전기판매비용과 용량요금의 합계인 수입에서 지출비용인 연료비와 운전비, 그리고 감각상각비를 뺀 금액이다. 실제 현금흐름은 운전기간의 수입을 기준으로 부과된 세금을 뺀 실제수입

에 회계상의 비용인 감가상각비를 더하여 산출하였다. 각 설비별 현금흐름은 Table 5와 Table 6으로 요약하여 작성하였다. Table 7은 각 설비별 현금흐름에 따라 내부수익률과 순현재가, 그리고 자본회수기간을 산출한 경제성 지표 결

## 저급탄용 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성 평가

Table 6 Cash flow for a CFBC boiler power plant

(unit:100 million won)

Year	Invest- ment	Revenue		Operation cost		Depreciation	Tax	Total cash flow	Cash flow (cumulative)
		Electric	Capacity	Fuel	O&M				
-6	-5							-5	-5
-5	-925							-925	-930
-4	-2455							-2455	-3385
-3	-6525							-6525	-9910
-2	-11510							-11510	-21420
-1	-4705							-4705	-26125
0		7734	600	2961	566	801	512	4296	-21830
1		7845	600	3035	583	801	601	4226	-17604
2		8057	600	3103	600	801	648	4307	-13297
3		8436	600	3163	618	801	732	4522	-8774
4		8404	600	3246	637	801	722	4400	-4375
5		8404	600	3325	656	801	719	4304	-71
6		8420	600	3445	676	801	711	4189	4117
7		8326	600	3526	696	801	686	4017	8135
8		8373	600	3603	717	801	694	3959	12094
9		8523	600	3680	738	801	724	3980	16074
10		8814	600	3794	760	801	777	4083	20157
11		9492	600	3854	783	801	927	4529	24685
12		9965	600	3940	807	801	1026	4793	29479
13		9965	600	3940	831	801	1039	4756	34234
14		9965	600	3940	856	801	1052	4717	38952
15		9965	600	3940	881	801	1066	4679	43630
16		9965	600	3940	908	801	1060	4658	48288
17		9965	600	3940	935	801	1054	4637	52925
18		9965	600	3940	963	801	1048	4615	57540
19		9965	600	3940	992	801	1041	4592	62132
20		9965	600	3940	1022	801	1035	4569	66702
21		9965	600	3940	1052	801	1028	4545	71247
22		9965	600	3940	1084	801	1021	4521	75767
23		9965	600	3940	1117	801	1014	4495	80263
24		9965	600	3940	1150	801	1006	4469	84732
25		9965	600	3940	1185	801	999	4442	89174
26		9965	600	3940	1220	801	991	4414	93588
27		9965	600	3940	1257	801	983	4386	97974
28		9965	600	3940	1294	801	975	4357	102331
29		9965	600	3940	1333	801	966	4326	106657

과이다. 고급탄을 연료로 하는 미분탄연소 보일러 발전설비의 경우 내부수익률이 12.95%, 순현가는 1조 3,959억 원 그리고 자본회수기간은 6.26년으로 내부수익률이 할인율 7%를 상회하고 순현가도 양수로 나타나서 투자대비 사

업성이 있음을 알 수 있었다. 저급탄을 연료로 하는 유동층보일러 발전설비는 미분탄연소 보일러 발전설비보다 내부수익률에서 0.59% 높은 13.54%이며, 순현가도 3,084억 원 많은 1조 7,043억 원, 자본회수기간은 0.24년 짧은

Table 7 Result for economic feasibility

Description	PC boiler power plant	CFBC power plant	Balance
IRR (%)	12.95	13.54	0.59
NPV (100million won)	13,959	17,043	3,084
Payback preiod(Year)	6.26	6.02	0.24

6.02년으로 평가되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서 저급탄을 사용하는 순환유동층 보일러 발전설비의 경제성 평가와 분석을 위하여 고급탄을 사용하는 동급의 미분탄연소 보일러 발전설비와의 경제성을 내부수익률, 순현재가, 회수기간을 바탕으로 비교하였다.

주요분석 기준은 동일용량의 500 MW급 2기를 기준으로 순환유동층 보일러 발전설비와 미분탄연소 보일러 발전설비의 총투자비용을 각각 2조 6,125억 원과 2조 3,855억 원으로 순환유동층 보일러 발전설비를 약 10% 높게 설정하였다. 사업준비기간 2년, 건설기간은 4년 그리고 운전기간은 30년을 기준으로 하였으며, 할인율과 물가상승률은 7%와 3%를 기준으로 하였다. 전력요금은 초년도 98원/kWh으로 단계별 인상가를 적용하여 최고 126원/kWh를 적용하고, 연료비의 경우 미분탄 발전설비용 고급유연탄은 2010년 한국전력도입 평균단가 발열량 6,000 kcal/kg인 석탄의 미화 94불, 순환유동층 보일러 발전설비용 저급탄은 발열량 4200 kcal /kg인 인도네시아 석탄 판매가격인 미화 54불을 기준으로 연간 물가상승률을 적용하였다. 경제성 분석을 위하여 각 설비별 사업기간 동안에 총투자비와 전기판매수입 및 발전소운영비용을 배분하여 현금흐름을 작성하고 경제성 지표를 산출하였다. 미분탄연소 발전소의 내부수익률이 12.95%, 순현재가는 1조 3,959억 원, 자본회수기간은 6.26년으로 기준 할인율 7%를 상회하며

투자대비 사업성이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 순환유동층 보일러 발전설비의 내부수익률이 13.54%, 순현재가는 1조 7,043억 원, 자본회수기간은 6.02년으로 기준 할인율 7%를 상회하여 두 종류의 석탄화력 발전설비 투자대비 사업성을 확보하고 있으나, 순환유동층 보일러 발전설비가 미분탄연소 보일러 발전설비보다 내부수익률이 0.59%, 순현재가는 3,084억 원 높은 것으로 분석되었고 자본회수기간은 0.24년 짧아 모든 평가지표에서 경제성이 높은 것으로 평가되었다.

#### 참고문헌

1. 하영훈, 2010, “관류현순환유동층 보일러에 대한 고찰”, 전력기술 제21권 통권 제57호(2010년 하반기), pp. 86-99.
2. 이종민, 김동원, 김재성, 김종진, 김형석, 2006, “국내 탄용 미분탄보일러의 순환유동층 전환에 따른 경제성평가”, 한국화학공학회 제44권 제5호 통권 238호(2006년 10월), pp. 489-497.
3. 배달희, 선도원, 2008, “순환유동층 보일러의 연료유연성 실증연구”, 한국신재생에너지학회 2008년도 추계 학술대회 논문집.
4. 한국전력기술(주), 2006, “여수화력 1, 2호기 석탄 연료전환 타당성 조사보고서”, pp. III 41-42 V 1-6.
5. 김정래, 김규중, 김을현, 2004, “순환유동층 보일러 기술과 개발방향”, 기술현대중공업 제24권 제1호 통권 91호(2004년 3월), pp. 69-79.
6. 선도원, 배달희, 김동찬, 박화춘, 2006, “순환유동층 연소 열병합 보일러 건설을 위한 타당성 분석”, 한국폐기물자원순환학회지 제23권 제1호(2006. 1), pp. 81-90.
7. 이지현, 김준한, 이인영, 장경룡, 심재구, 2011, “연소 후 CO<sub>2</sub> 포집공정이 적용된 500 mWe 석탄화력발전소의 성능 및 경제성 평가”, 한국화학공학회 제49권 제2호 통권 265호(2011년 4월), pp. 244-249.