

## 국내탄용 미분탄 보일러의 순환유동층 전환에 따른 경제성 평가

이종민<sup>†</sup> · 김동원 · 김재성 · 김종진 · 김형석\*

한전 전력연구원 수화력발전연구소  
305-380 대전시 유성구 문지동 103-16  
\*한국전력기술(주)  
446-912 경기도 용인시 기흥구 마북동 360-9  
(2006년 2월 2일 접수, 2006년 6월 15일 채택)

### Economic Feasibility of Conversion of the Pulverized Coal Firing Boiler using Korean Anthracite into a Circulating Fluidized Bed Boiler

Jong-Min Lee<sup>†</sup>, Dong-Won Kim, Jae-Sung Kim, Jong-Jin Kim and Hyeng-Seok Kim\*

Power Generation Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, KEPCO, 103-16, Moonji-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-380, Korea

\*Korea Power Engineering Company, 360-9, Mabuk-dong, Giheung-gu, Yongin, Gyeonggi-do, 446-912, Korea

(Received 2 February 2006; accepted 15 June 2006)

#### 요 약

국내 무연탄을 사용하는 미분탄 화력보일러(영동화력 2호기)를 대상으로 비교적 고효율, 저비용으로 전기를 생산하는 청정보일러인 순환유동층 보일러로의 전환 시 경제성 평가 및 민감도 분석을 수행하였다. 경제성 평가는 크게 순환유동층 보일러로의 전환 시와 기존의 미분탄 보일러를 유지 시에 각각의 투자금액에 대한 경제성 평가와 이의 비교를 수행하였으며, 더불어 전력시장의 상황 변화에 따른 경제성 민감도 분석을 수행하였다. 경제성 평가 결과, 현 상태에서는 전력산업기반기금이 지원을 받고 있는 무연탄 발전사업의 특성상 기존 보일러를 유지하는 것이 경제성 지표가 더 좋은 것으로 평가되었으나, 전력산업기반기금의 지원 형태 및 그 규모에 따라 순환유동층으로의 전환이 장기적 발전사업 및 기반기금의 효율적 집행 그리고 국가 에너지 이용률에 있어 더 좋은 경제 지표를 나타내는 것으로 평가되었다.

**Abstract** – The economical efficiency of conversion of the PC (pulverized coal) firing boiler to the CFB (circulating fluidized bed) boiler which used Korean anthracite as fuel was evaluated. The economic feasibility study was also carried out with regard to maintenance of the existing PC boiler. The sensitivity of economical efficiency with variation of the electric power and coal industry and the policy of government was analyzed and compared. As a results of the evaluation, the economical efficiency of maintenance of the existing PC boiler was higher than that of conversion to the CFB boiler because of the special policy of the government for Korean anthracite. However, the conversion to the CFB boiler was more economically attractive from a point of view of effective use of energy resources and future electric power industry. Additionally, the fund support for electric power industry using Korean anthracite would be effective as changing the policy of the government.

Key words: CFB, Economical Efficiency, Conversion, Korean Anthracite

#### 1. 서 론

1970년대의 오일쇼크 이후 2000년대 들어 또다시 불어 닥친 오일 가격의 급상승은 점차 강화되고 있는 에너지 관련 환경 규제 법규와 더불어 국내외 에너지원의 소비 형태와 그 효율 관리에 큰 변화를 가져오고 있다. 이러한 변화는 국내에서 생산되는 주요 화석에너지인 무연탄의 효율적, 환경적 그리고 경제적 사용에도 큰 영향을 미치고 있다. 그러나 이러한 고유가의 국제 에너지 정세 속에

서 친환경적 에너지 소비 구현을 위한 대안은 그다지 많지 않으며, 특히 저급 국내 무연탄을 효율적으로 연소할 수 있는 기술은 유동층 연소 기술이 가장 적합한 발전 방식으로 평가되고 있다[14].

유동층 연소 기술은 비교적 광범위한 종류의 화석 연료를 사용할 수 있어 연료 제약성이 적을 뿐 아니라, 고효율 발전을 가능케 하여 에너지원의 소비를 줄일 수 있고, 더불어 별도의 탈황 및 탈질 설비 없이 환경 규제를 만족시킬 수 있는 에너지 전환 기술이다[5-6]. 이는 저급 석탄 등의 비교적 저가이면서도 지역적으로도 편재되어 있지 않은 연료를 고효율, 청정화시켜 이용할 수 있음을 의미할 뿐만 아니라, 이외에 바이오매스, RDF 및 RPF 등의 폐기물 그리고 폐슬

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: jmlee@kepri.re.kr

러지 및 폐유 등을 연료로 사용할 수 있어, 일부 재생 연료를 사용함으로써 얻어지는 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 얻을 수 있는 기술로도 평가되고 있다[7-8].

국내 저급 무연탄을 이용하는 발전 보일러는 크게 동해화력의 순환유동층(200 MWe × 2기) 보일러와 영동화력(125 MWe × 1기, 200 MWe × 1기) 및 서천화력(200 MWe × 2기)의 미분탄 보일러가 있다. 이 중 동해화력을 제외하고는 전형적인 무연탄용 미분탄 화력 방식으로 그 효율 및 운영의 경제성에 있어 동해화력 순환유동층에 비해 다소 떨어지는 것으로 평가되고 있다. 가장 큰 요인은 미분탄 화력의 경우 저급 연료로부터 오는 연소 제약성으로 인해 30% 이상의 보조연료(오일) 도움으로 화염을 생성시켜 연소를 이루는 반면, 순환유동층의 경우 보조연료 없이 저급 무연탄만의 단독 연소가 가능할 뿐만 아니라, 연소 시 연료의 체류시간 증대로 인한 연소 효율의 상승에도 큰 영향을 미치는 것으로 평가되고 있다. 또한, 순환유동층 보일러는 DeSOx 및 DeNOx 설비 없이 환경적 요건을 만족하여 운전할 수 있을 뿐만 아니라, 연료의 미분화에 필요한 불밀 공정 없이 굵은 입도를 그대로 사용할 수 있어 연료 처리 공정에 드는 비용도 절감할 수 있는 효율적 발전 시스템으로 알려져 있다[9].

한편, 국내 무연탄을 사용하는 발전 보일러는 비교적 고가의 저급 무연탄을 정책적으로 사용하는 대신 전력기반기금에서 무연탄 지원사업의 일환으로 일부 연료비 보상을 받아 발전하는 방식을 띄고 있다. 이는 무연탄 수급 및 배분과 이의 효율적 사용에 대한 공익적 목표를 적극 지향해야 하는 당위성을 지니고 있으나, 향후 기반기금의 무연탄 지원 정책 지원 변화에 대비하고 더불어 기술적, 경제적 그리고 환경적 특성의 이해를 통한 발전 설비의 향후 나아갈 바를 모색하여 가장 효율적인 에너지 생산 설비를 갖추는 것이 필요하리라 할 것이다.

이에 본 연구에서는 영동화력 미분탄 화력 발전소를 대상 모델로 하여 비교적 효율이 높고 친환경적 운영이 가능한 순환유동층으로 전환하였을 경우의 경제적 타당성을 검토하여, 국가 에너지원 및 이를 이용한 발전 산업 그리고 관련 정책 결정의 기본 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

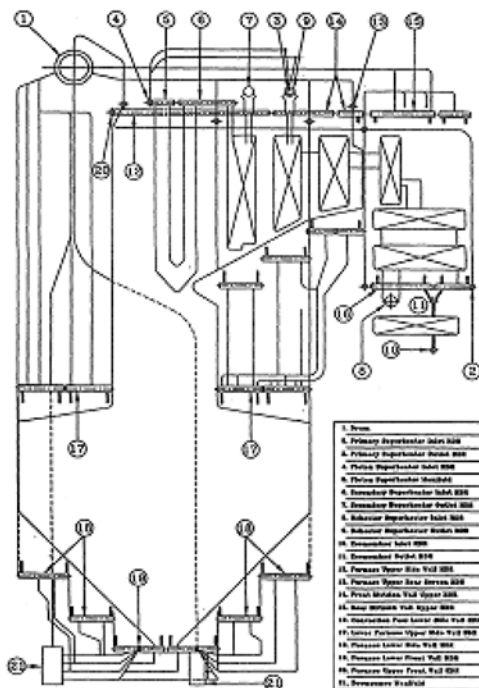
## 2. 경제성 평가

### 2-1. 유동층 보일러로의 전환 시 기술 실현성

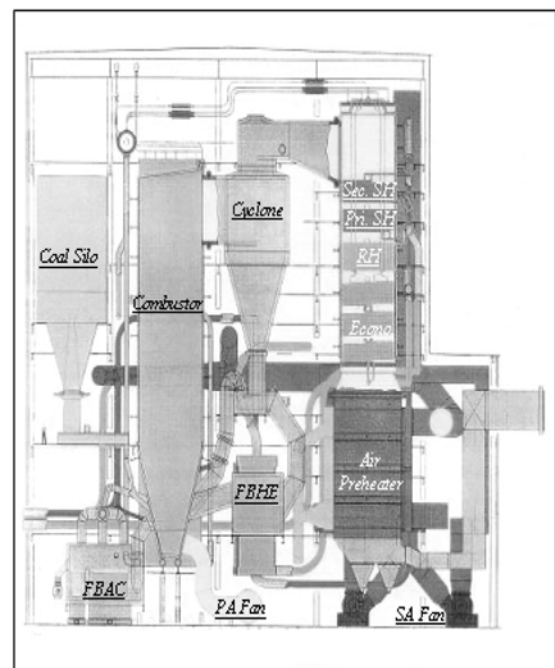
경제성 평가에 앞서 본 연구에서는 영동화력 발전소 내에 유동층 보일러의 도입에 관한 기술 실현성에 대해 사전 검토하였다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 보일러 형태는 영동화력 2호기(200 MWe)를 대상으로 한 미분탄 화력 보일러에서 동해화력과 동일한 형태의 순환유동층(200 MWe)으로 바꾸는 것을 기본 전환 모델로 설정하였다. 순환유동층 보일러는 영동화력 발전소 내 빈 공간에 새롭게 건설하여 기존 터빈과 연계하는 것으로 계획하여 건설 중에 전력생산의 중단을 최소화 하였으며, 이는 현재 기반기금에서 지원하고 있는 용량요금(CP; capacity payment - 발전입찰에 참여한 발전기들의 시간별 공급가능 용량에 대한 보상 기준 가격)의 지원혜택을 발전사가 최대한 받을 수 있는 방식으로 경제성이 가장 있는 것으로 판단된다. 순환유동층 보일러의 추가 건설 및 터빈과의 연계는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 발전소 부지내의 빈 공간을 확보하여 새로운 순환유동층 보일러를 건설하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

### 2-2. 경제성 분석 방법

경제성 분석을 위해 본 연구에서는 다음과 같은 개념의 지표를 도입하여 경제성 평가를 수행하였다.



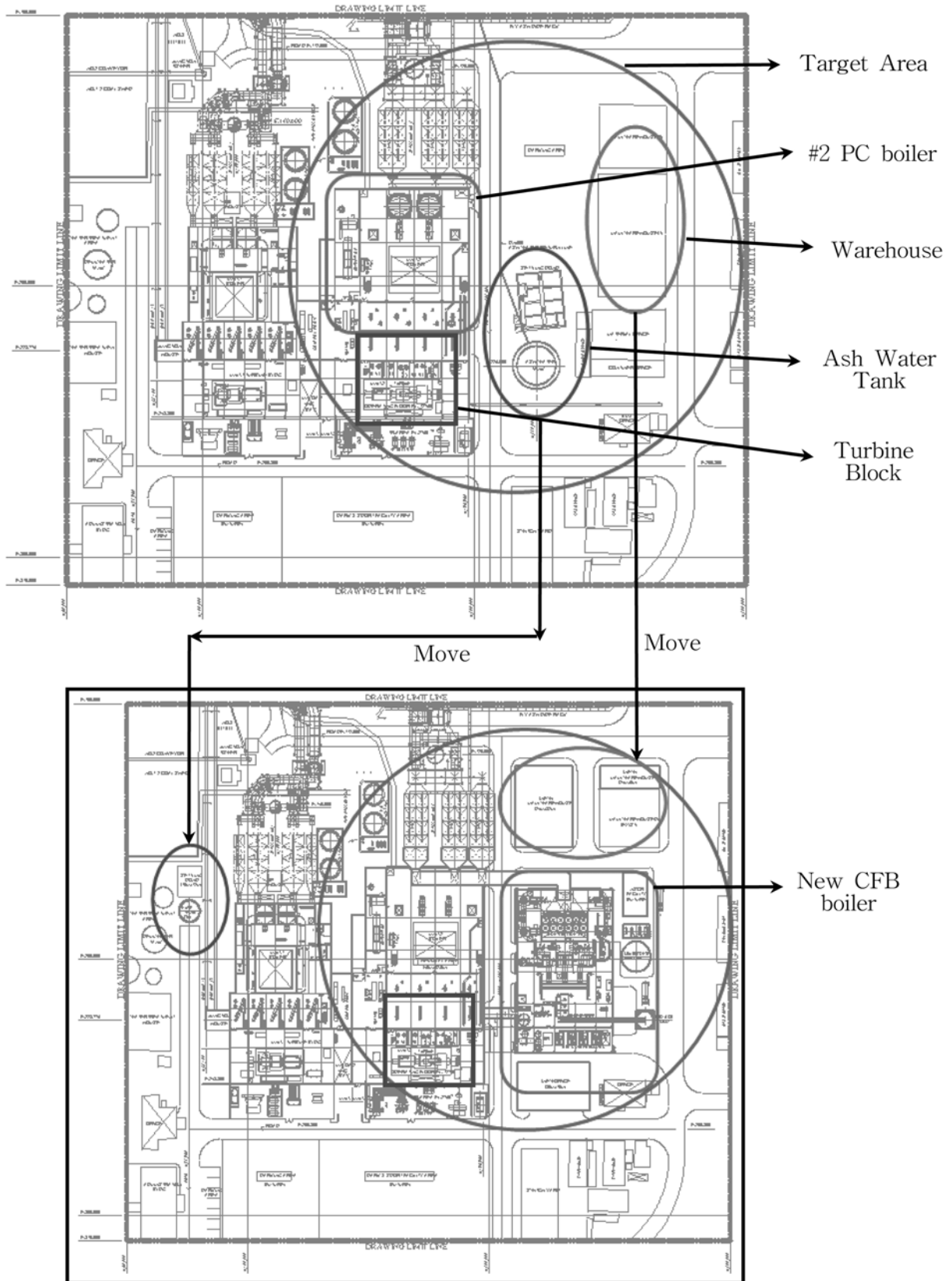
Youngdong PC Boiler(#2; 200MWe)



Circulating Fluidized Boiler (200MWe)

Fig. 1. Conversion of the pulverized coal firing boiler to the CFB boiler.

Before rehabilitation of Youngdong PC Power Plant



After construction of CFB boiler in Youngdong Power Plant

Fig. 2. Layout of the construction of a CFB boiler in the Youngdong power plant.

내부수익률(IRR: internal rate of return): 당초 투자에 소요되는 지출액의 그 투자로부터 기대되는 현금유입액의 현재 가치를 동일하게 만드는 수익률로써 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{O_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$I_t$ : t년도에 투자로부터 기대되는 현금유입액

$O_t$ : t년도에 소요되는 투자 지출액 (=현금유출액)

n: 기간

r: 내부수익률 (경제적 혹은 재무적 수익률)

내부 수익률은 상기 식에서 수치해석방식에 의하여 산출하게 되며, 투자(안)의 내부수익률이 기업의 기준 할인율보다 높을 경우 그 투자는 경제성이 있고, 작으면 경제성이 없는 것으로 평가하였다.

○재무수익률(FIRR: financial internal rate of return): 현재상태에서 무역 및 조세제도, 가격구조를 전제로 기업자금의 흐름, 즉 재무적 현금 흐름표를 작성하고, 이에 의하여 내부수익률 법으로 재무적 수익률을 산정하는 방법으로 상기의 IRR과 마찬가지로 기준할인율과 비교하여 그 경제성을 평가하였다.

○자본회수 기간: 총 투자비(life cycle cost)와 전력판매단가에 따른 cash flow를 기준으로 누적 현금 흐름이 총 투자비를 회수한 기간을 의미하며, 일반적으로 동일 조건에서 자본회수 기간이 짧을수록 경제성이 큰 것으로 평가된다.

○수익/비용비(B/C Ratio: benefit/cost ratio) 수익 대비 비용의 비율로 총 현금흐름이 존재하는 경제수명 기간동안 발생하는 수익에 대한 현재 가치로의 환산을 통한 총 누적값과, 비용에 대한 현재 가치로의 환산을 통한 총 누적값의 비를 의미하며, 이 값이 1보다 클 경우 수익률이 있는 것으로 평가하였다.

○순현재가치(NPV: net present value): 할인율과 경제기간 동안의 지출(음수)과 수입(양수)을 사용하여 투자의 현재 가치를 나타낸 값으로, B/C ratio에서 계산한 수익의 현재 가치 총합과 비용의 현재 가치 총합의 차이로도 계산할 수 있다. 순현재가치는 총 투자에 대한 가치를 현재 가치로 환산하여 그 크기로 경제성 판단의 지표로 삼을 수 있으며, 더불어 각 시나리오에 따른 순현재가치 비교를 통한 경제성 선정에 활용하였다.

한편, 본 연구에서는 유동층 보일러로의 전환 시 각종 정책 및 경제 환경 변화에 따른 경제성 영향을 평가하기 위해 경제성 평가 시 기준값-건설공사비, 이용률, 연료비, 용량요금 및 입찰률 등-에 대한 민감도 분석을 통해 그 영향을 나타내었다.

### 2-3. 경제성 분석 기준

영동화력 2호기 보일러의 유동층 보일러로의 전환은 앞서 기술 실현성에서 고찰한 바와 같이, 기존의 영동화력 2호기 보일러를 지속적으로 운전하는 한편, 빈 부지에 순환유동층 보일러를 건설하여 완공한 후 기존 터빈과의 연계를 통해 전력생산의 공백 없이, 즉 overhaul 기간만을 고려한 건설 연계 방식으로 완료하는 것으로 설정하였다.

이러한 기본 건설 계획에 따라 경제성 분석은 크게 다음의 두 가지 흐름을 선정하여 각각의 경제성과 그리고 상호 경제성을 비교, 평가하는 방식을 취하였다. 첫 번째 경제성 분석은 기존 보일러를 순환유동층으로 전환하였을 경우에 따른 총 투자비에 대한 경제성

을 평가하는 방식으로 이루어졌다. 이는 기존의 발전 설비 운영과 상관없이 완공 후 상업운전에 들어가기까지의 총 투자비에 대한 향후 수익 구조를 분석하여 그 경제성을 평가하는 것으로 전환에 따른 자본회수 기간이라든지 내부수익률 등을 평가하여 투자에 따른 경제성을 판단하는 것이다. 두 번째 경제성 분석은 기존 발전소의 지속 운전 시의 경제성을 평가하는 방식으로, 지속적인 운전을 하기 위해 현재 요구되고 있는 영동화력의 환경 개선 설비 도입에 따른 비용을 투자로 고려하여 이에 대한 수익 구조를 분석한 후 그 경제성을 평가하였다. 수익 구조 분석 시기는 순환유동층 보일러의 상업 운전 시기와 동일하게 산정하였으며, 이를 통해 두 가지 경우에 있어서 각각의 경제성에 대한 의미와 이의 비교를 통한 상호 우위의 경제성을 파악하여 분석을 수행하였다. 각각의 경제성 분석 평가에 사용한 가정은 Table 1과 2에 나타난 바와 같다. 유동층 신규 설비 도입 시의 경제성 평가에 사용한 기준값들은 유사 순환유동층(동해화력) 보일러 설비의 실적 값을 사용하였으며, 기존 보일러를 유지하여 지속적으로 사용하는 경우에는 현 영동화력 보일러의 실적 값을 고려하여 분석하였다. 순환유동층 전환에 따른 총 건설투자비는 순수 건설비(100,597백만 원)와 건설 기간 동안의 이자(5,202

Table 1. Assumption for conversion to a CFB boiler

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1) boiler type                  | CFB boiler, 200 MWe   |
| 2) construction time (period)   | 2006 (3 years)  |
| 3) economic life                | 30 year   |
| 4) rate of a loan               | 90%   |
| 5) depreciation (salvage value) | straight line method (0%)                                       |
| 6) power consumption in plant   | 10.5%   |
| 7) O&M cost                     | 14,236 millionW/year  |
| 8) plant efficiency             | 36.8%   |
| 9) plant availability           | 70.3%   |
| 10) bidding rate                | 95% (average value of the power plant firing Korean anthracite) |
| 11) fuel cost                   | anthracite - 35.66 W/kWh<br>bituminous coal - 16.38 W/kWh       |
| 12) BLMP                        | 20.1 W/kWh (average of 2003)                                    |
| 13) CP                          | 20.49 W/kWh (based on base load boiler)                         |
| 14) total capital cost          | 122,079 millionW  |

Table 2. Assumption for using the existing PC boiler

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1) boiler type                  | PC boiler (Youngdong #2), 200 MWe                                   |
| 2) construction time            | 2008  |
| 3) economic life                | 2019 discontinuance   |
| 4) rate of a loan               | 0%  |
| 5) depreciation (salvage value) | straight line method (0%)   |
| 6) power consumption in plant   | 10.5%   |
| 7) O&M cost                     | 17,727 millionW/year  |
| 8) plant efficiency             | 35.9%   |
| 9) plant availability           | 66.1%   |
| 10) bidding rate                | 95%   |
| 11) fuel cost                   | anthracite - 36.62 W/kWh (65% load)<br>oil - 80.74 W/kWh (35% load) |
| 12) BLMP                        | 20.1 W/kWh  |
| 13) CP                          | 20.49 W/kWh   |
| 14) total capital cost          | 26,280 million W  |

백만 원) 그리고 건설 완료시에 폐기되는 영동화력 2호기의 잔존가치(16,280백만 원)를 투자비로 고려하여 경제성 평가를 수행하였다. 영동화력 2호기 보일러를 그대로 유지하는 경우의 총 투자비는 운전 유지를 위해 도입되는 환경설비(DeNOx system) 투자비(10,000백만 원)와 잔존 가치(16,280백만 원)를 고려하여 경제성 평가를 수행하였다. 한편, 본 경제성 평가에서는 투자금액의 연간 할인율을 8%로 가정하여 분석하였으며, 경제성 평가시 주요 지표인 FIRR은 연간 할인율보다 높은 경우에 경제성이 존재하는 것으로 판단하였다.

순환유동층 전환에 따른 공정 도입시 보일러 효율은 90.85%를, 그리고 무연탄 발열량은 5971.5 kcal/kg, 터빈 효율은 45.04%의 값을 사용하였으며, 이는 유사 설비 실적 값 및 실제 영동화력에서 이용되고 있는 수치를 활용한 것이다. 그리고 무연탄 소비에 따른 전력산업기반기금의 지원금은 발전 수익으로 표현될 수 있으며, 지원금 산정은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{전력산업기반기금 지원금} = [\text{발전연료비} - \text{기저한계가격(BLMP)}] \times \text{발전량} \quad (2)$$

본 연구에서는 상기의 경제성 분석 기준에 따라 유동층 전환시 총 투자비에 대한 경제성 여부와, 기존 설비를 유지하였을 경우의 경제성 그리고 각각의 경제성에 대한 비교를 통해 그 타당성을 분석·평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 유동층 보일러로의 전환기준 설비 유지에 따른 경제성 평가

영동화력 보일러(2호기)를 순환유동층 보일러로 전환하였을 경우와, 기존 보일러를 그대로 유지하여 사용하였을 경우의 경제성 지표를 Fig. 3(a)와 (b)에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 앞서 기술한 가정 및 시나리오를 이용하였을 경우, 결론적으로 다음과 같은 경제성 분석이 가능하였다. 먼저 기존의 미분탄 보일러를 순환유동층 보일러로 전환하였을 경우, 세후 FIRR이 12.07%, NPV가 478억 원 그리고 B/C ratio가 1.072, 투자금액 회수기간이 8년으로 평가되어 비교적 경제성이 좋은 것으로 판단되었다. 한편, 기존 보일러를 지속적으로 사용하는 경우에는, 세후 FIRR이 51.62%, NPV가 614억 원 그리고 B/C ratio가 1.125, 투자금액 회수기간이 2년으로 투자비 대비 상당히 높은 경제성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 보일러 효율 및 이용률 그리고 운영 비용에 있어 순환유동층 보일러로의 전환에 비해 좋지 않은 조건임에도 불구하고 보일러의 수익 구조가 기반기금 지원구조와 맞물려 있어 효율 등의 기타 조건의 좋고 나쁨에 크게 상관이 없는 구조로 되어 있기 때문이다. 즉, (2)식에서 표현한 바와 같이 효율 등의 운전 조건이 떨어지는 경우에는 발전 연료비의 값이 상대적으로 높게 나와 전력기반기금의 지원규모가 더욱 커지는 현상을 나타내기 때문이다. 이러한 분석 결과에서 알 수 있듯이 발전 보일러를 운영하는 발전사 입장에서 각각의 경우에 대해 모두 투자비 대비 사업성이 있는 것으로 판단할 수 있으나, 그 경제성 지표에 있어서는 기존 보일러를 그대로 유지하여 사용하는 것이 보다 경제성이 큰 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 각각의 경우에 대한 현금 흐름도를 나타낸 것이다. 앞서 투자금액 회수기간에서도 살펴본 바와 같이 순환유동층 보일러로 전환을 하였을 경우에는 공사 시작 후 11년 그리고 상업 운전 후 8년간 마이너스 현금 흐름을 갖는 반면, 기존 설비 유지시에는 2년

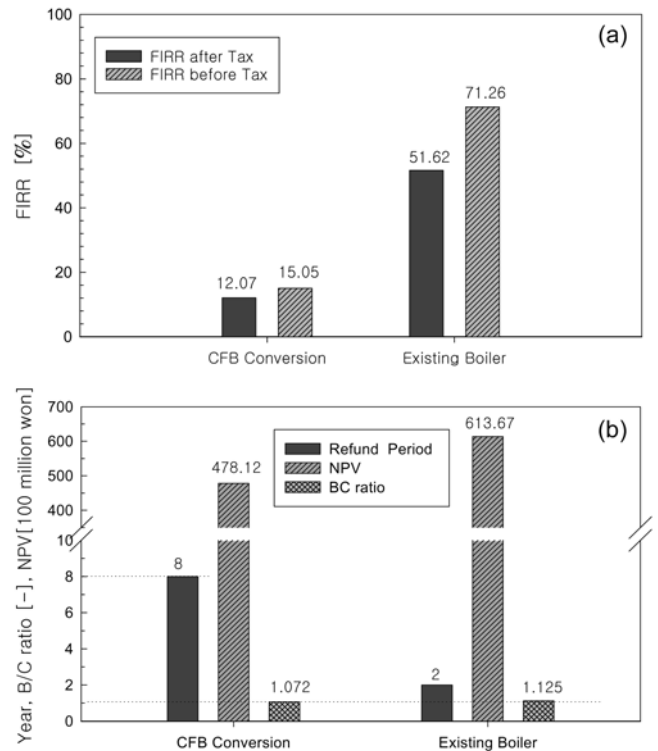


Fig. 3. Evaluation of the economical efficiency. (a) FIRR and (b) B/C ratio and NPV.

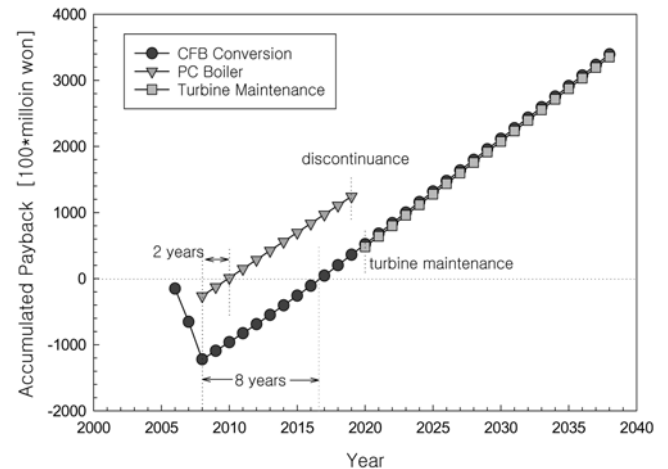


Fig. 4. Accumulated payback for maintenance of the existing PC boiler and conversion to the CFB boiler.

의 마이너스 현금 흐름만 갖는 것으로 나타났다. 현금 수익은 전력 기반기금의 상대적인 보정 지원으로 인해 유동층으로 전환의 경우나 기존 보일러 설비를 유지하나 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 기존 보일러를 유지하여 사용하는 경우에는 2019년 보일러 폐지 이후에는 수익 창출 구조가 없어지기 때문에 이후의 발전소 운영 대책 마련이 필요한 것으로 나타났다. 한편, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 순환유동층 보일러로 전환하는 경우에는 2019년 이후 터빈 수명 연장을 통한 지속적인 발전 환경 구현을 고려해야만 하며, 이때의 현금 수익구조는 단순 터빈 수명연장 비용인 54억

원만큼 일시적으로 감소하는 것으로 나타났으나 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

### 3-2. 순환유동층 보일러로의 전환시 경제성 민감도 분석

Fig. 5(a)와 (b)는 기존 보일러를 순환유동층으로 전환시 총투자금액에 따른 이용률 및 입찰률 변화에 대해 재무 수익률을 나타낸 것이다. 이용률 및 입찰률은 발전 설비에 배분되는 국내탄의 연료량과 설비의 안정적 운전 가능성에 영향을 받는 인자로서, 이용률이나 입찰률이 낮아지는 경우로는 국내탄 배분 정책의 변화로 탄수급량에 문제가 발생하거나, 설비의 안정성에 문제가 발생하는 경우가 이에 해당한다. 그림에서 볼 수 있듯이 유동층 전환에 대한 총투자비 100%를 기준으로 볼 때, 약 135%까지 총 투자비의 증가가 일어나고, 더불어 이용률이 55%로 감소한다고 하더라도 재무수익률 면에서 연간할인을 8%를 상회하기 때문에 경제성이 있는 것을 알 수 있다. 반면, 입찰률의 변화에 대해서는 총투자금액과 입찰률에 따라 경제성의 여부가 달라지며, 현재의 투자금액일 경우(100%), 입찰률이 75% 이하일 경우에는 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 이는 입찰률에 따라 전력산업기반기금에서 지원되는 용량요금(CP)의 지원 여부가 결정되기 때문인 것으로 입찰률은 발전사업에 있어 매우 큰 수익구조의 한 인자임을 알 수 있다.

Fig. 6은 총투자금액과 용량요금(CP) 변화에 따른 재무수익률을

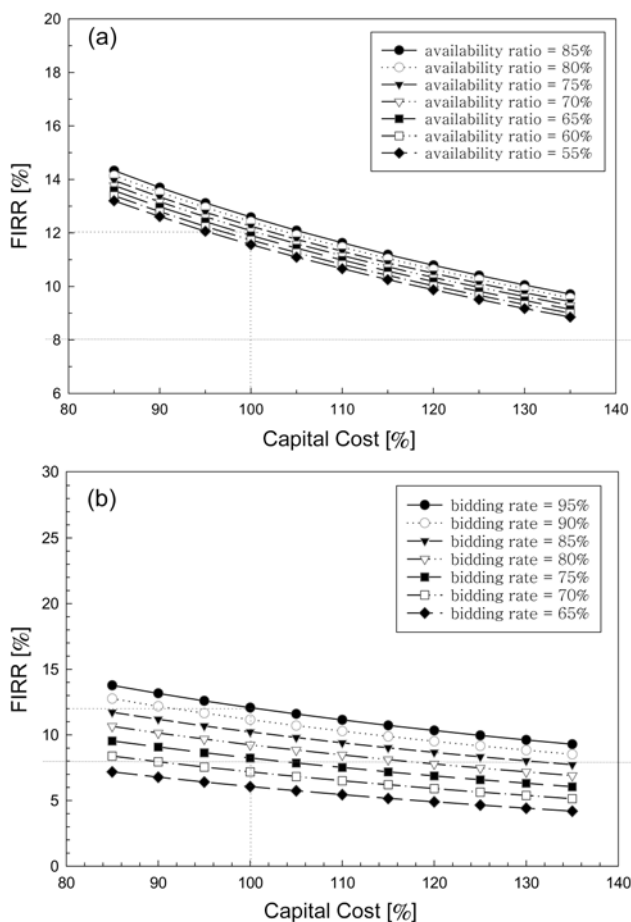


Fig. 5. Effect of capital cost on FIRR with (a) availability ratio and (b) bidding rate for conversion to the CFB boiler.

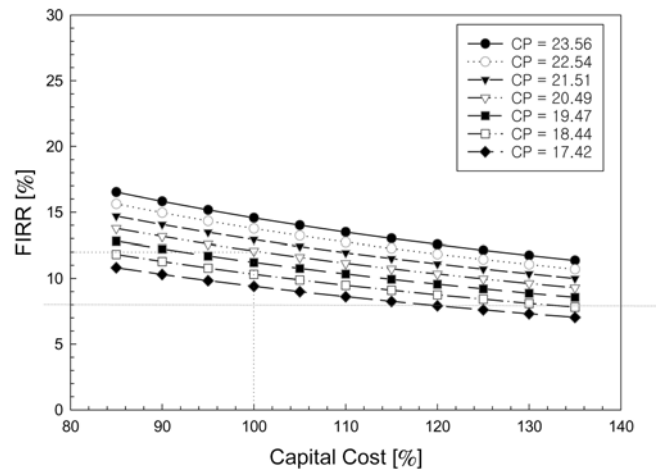


Fig. 6. Effect of capital cost on FIRR with CP for conversion to the CFB boiler.

나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 투자금액(100%) 대비 기준 용량요금인 20.49원/kW의 85%인 17.42원/kW까지도 수익성이 있는 것으로 나타났으며, 기준 용량요금(20.49원/kW) 대비 총투자금액이 135%까지 증가하더라도 경제성이 있는 것으로 평가되었다. 이는 전력기반기금에서 지원하는 용량요금의 변화에 따라 발전수의 증감에는 크게 영향을 받으나 급격하게 지원 폭이 감소하지 않는 한 경제성이 있음을 알 수 있다.

한편, 순환유동층에서의 유, 무연탄의 혼소는 비교적 가격이 낮은 유연탄의 사용을 통한 국가 에너지 경제면에서의 이익과 더불어 향후 무연탄 수급이 원활치 않을 경우의 연료 다변화 정책에서 매우 중요한 인자로 작용한다[10]. 이는 앞서 고찰한 발전설비의 이용률과 입찰률의 감소를 막을 수 있는 대안이기도 하며, 이의 기술적 기반만 갖춰진다고 하면 유연탄의 혼소뿐만 아니라 RDF(refuse derived fuel), RPF(recycled plastic fuel), wastes 및 biomass 등의 혼소를 통한 경제성 개선에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 7에서 보는 바와 같이 유, 무연탄의 혼소율(co-combustion ratio; 무연탄 전소일 경우 100% 기준)에 따라서는 재무 수익률이 변화가

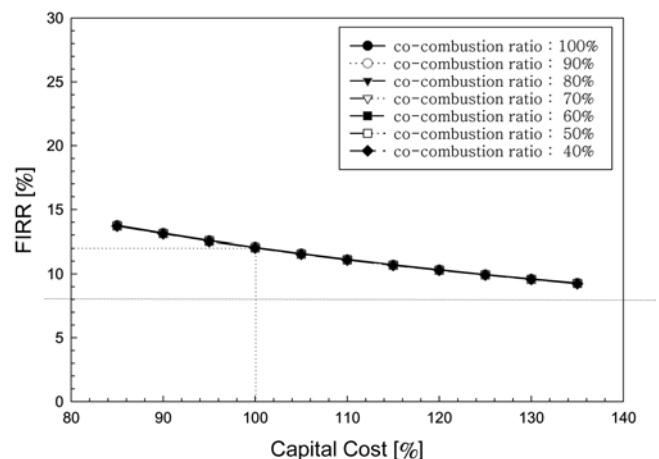


Fig. 7. Effect of capital cost on FIRR with co-combustion ratio for conversion to the CFB boiler.

거의 없는 것을 고찰할 수 있다. 이는 발전 운영수익 중 전력산업기반기금의 무연탄 사용에 관한 지원제도와 관련이 크며, 이 제도에 의해 연료비의 감소부분이 전력산업기반기금의 지원감소로 이루어지기 때문에 발전운영상의 전체 재무수익률에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 국가에너지 설비의 최적 사용 및 전력산업기반기금의 최적 지원 효과를 나타내기 위해서는 유, 무연탄의 혼소가 상당부분 필요할 것으로 판단된다.

### 3-3. 기존 보일러의 유지에 대한 경제성 민감도 분석

Fig. 8(a)와 (b)는 기존 미분탄 보일러를 유지할 경우에 총 투자금액 대비 이용률과 입찰률의 변화에 따른 재무수익률의 민감도를 나타낸 것이다. 기존 보일러에서의 이용률과 입찰률의 변화는 앞서 고찰한 바와 같이 무연탄 수급에 있어 불안정한 상황이 도래하거나 전력산업기반기금의 정책상 무연탄의 배분을 효율이 높은 보일러(타 순환유동층 보일러)에 많이 책정할 경우 부득이하게 이용률과 입찰률의 감소를 가져올 수 있다. 이러한 경우 그림에서 보는 바와 같이 비교적 큰 폭으로 재무수익률이 감소함을 볼 수 있다. 특히 총 투자금액 변화에 대한 민감도보다 이용률 및 입찰률 변화에 따른 재무수익률의 감소폭이 더욱 큰 것을 볼 수 있어 향후 무연탄 정책

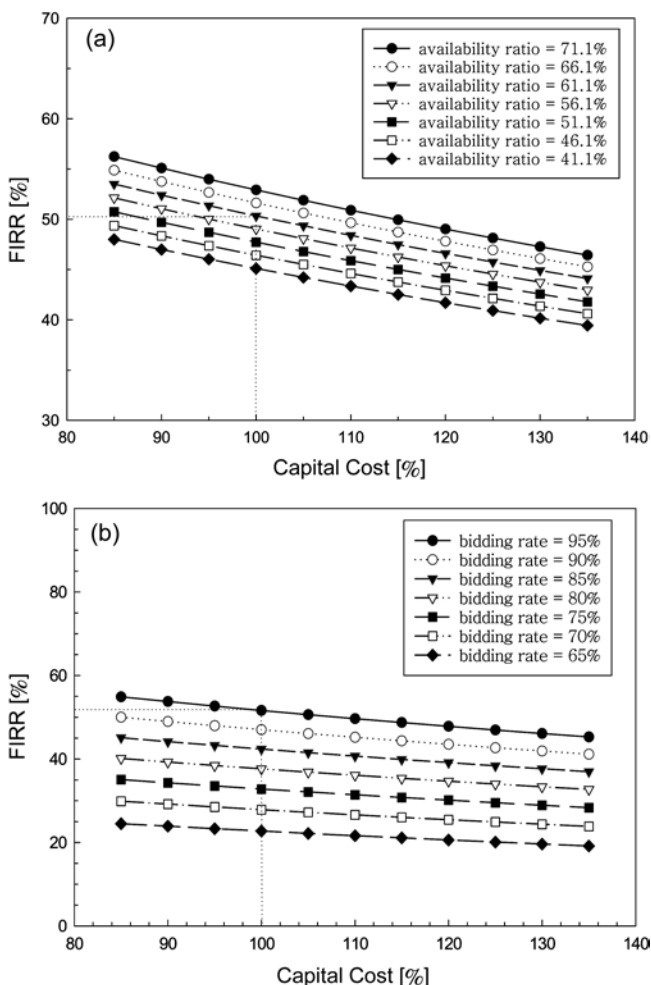


Fig. 8. Effect of capital cost on FIRR with (a) availability ratio and (b) bidding rate for maintenance of the existing PC boiler.

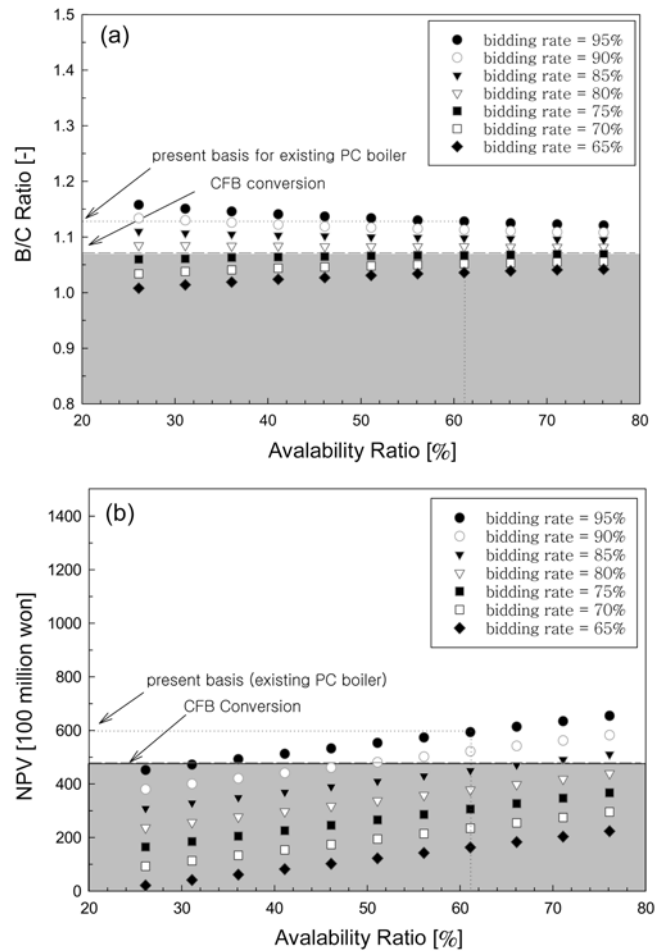


Fig. 9. Effect of availability ratio on B/C ratio with bidding rate for maintenance of the existing PC boiler.

적 상황에 따라 설비의 유지에 따른 경제성 폭이 크게 변화할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 경우 수익/비용비(B/C ratio) 및 순현재가치(NPV)는 그 변화에 따라 순환유동층으로 전환하였을 경우보다 더 낮아지는 상황이 도래할 수 있으며 이를 Fig. 9의 (a)와 (b)에 나타내었다. Fig. 9(a)는 수익/비용비를 나타낸 것으로 이용률과 입찰률의 상호 변화에 따라 진하게 색칠되어 있는 영역에 있는 조건일 경우에는 순환유동층으로 전환하는 경우가 수익/비용비가 큰 것으로 평가되었다. 예로, 현재의 이용률에서 입찰률이 75% 이하로 떨어지면 순환유동층으로의 전환이 수익/비용비가 더 큰 것을 알 수 있다. Fig. 9(b)의 순현재가치도 (a)와 마찬가지로 진하게 색칠되어 있는 영역의 조건일 경우 순환유동층으로 전환하는 것이 순현재가치가 더 큰 것으로 평가되었다. 그러므로 상기의 자료로부터 국내탄용 미분탄 보일러의 운영에 있어 전력산업기반기금 정책 및 석탄 수급 상황의 변화를 예측한 이용률과 입찰률의 감소를 추정하여 순환유동층 보일러로의 전환 시기 및 조건을 산정하는 것이 가장 효과적이고 경제적 수익을 창출할 수 있는 방법으로 판단된다.

Fig. 10의 (a)와 (b)는 기존 미분탄 보일러의 잔존가치(salvage value)에 따라 기존설비를 유지하는 경우와 순환유동층으로 전환하였을 경우의 수익/비용비와 순현재가치를 총투자금액에 대비하여 분석한 그림이다. 잔존가치가 적은 경우에 기존설비의 유지시나 순환유동

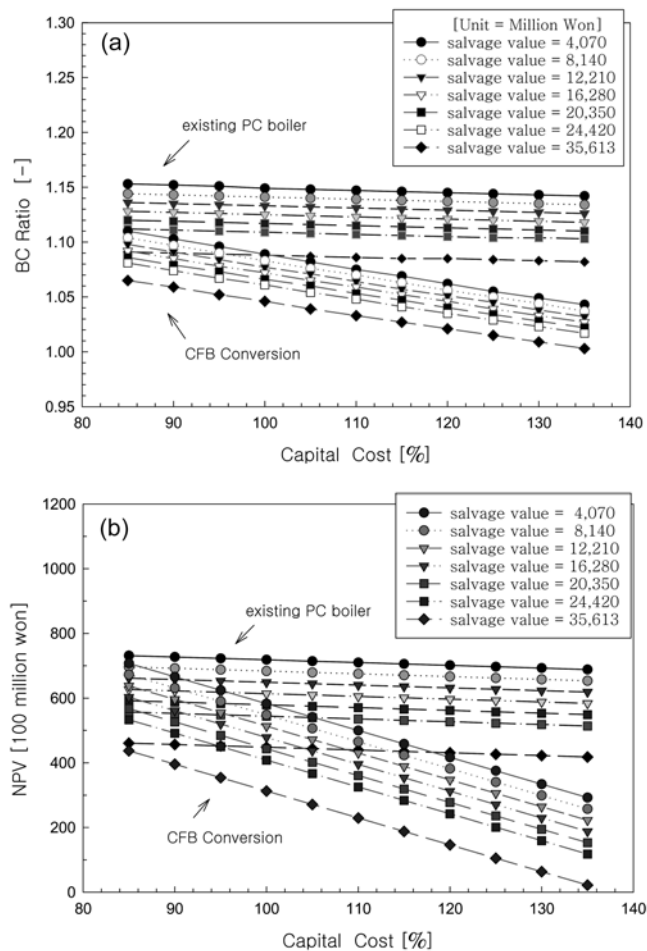


Fig. 10. Effect of availability ratio on NPV with bidding rate for maintenance of the existing PC boiler.

충 전환시에 모두 경제성 지표가 큰 것으로 나타났으며, 잔존가치에 따른 변화폭은 수익/비용비에 있어서는 순환유동층 전환하는 경우가 약간 작은 것으로, 그리고 순현재가치는 두 경우 모두 비슷한 폭으로 변화하는 것으로 분석되었다. 한편, Fig. 10에서 볼 수 있듯이 총투자금액비가 감소함에 따라 순환유동층 전환시의 수익/비용비와 순현재가치가 기존 발전 설비를 유지하는 것에 대해서 점차 그 경제 지표의 차이폭이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 발전사의 측면에서 총투자금액은 물가 혹은 건설단가가 낮아지지 않는 한 변화하지 않는 인자이긴 하나, 기술 보급의 일반화에 따른 건설단가의 낮아짐과 더불어 무연탄을 이용한 발전사업의 특수한 상황에 따라 전력기반기금의 건설비 지원을 통한 총투자금액의 감소가 일어난다면 순환유동층 전환에 따른 경제성 지표가 기존 보일러를 유지하는 경우보다 높아질 수 있는 것으로 나타났다.

### 3-4. 전력산업기반기금의 지원 측면에 대한 경제성 민감도 분석

전력산업기반기금은 앞서 고찰한 바와 같이 무연탄 사용에 따른 연료비 손실액을 무연탄 발전사에 지원하는 정책을 펴고 있다. 그러나 Table 3에서 보는 바와 같이 각 발전보일러 형태 및 그 운영에 따라 기반지원액은 다른 것으로 나타나고 있다. 전체 발전용 무연탄 소비량의 44%를 차지하는 동해화력 순환유동층의 경우에는 전체 지원된 기금의 26% 정도를 지원받는 반면, 본 유동층 전환의 모델인 영동화력 미분탄 보일러의 경우에는 24%의 무연탄 소비를 하고 약 35%의 기반지원금을 받고 있는 것으로 나타나 상대적으로 많은 지원을 받는 것으로 보고되고 있다. 이는 각 발전 시스템에 따라 효율에 따른 연료비 손실액이 차이가 나는 것으로 이해할 수 있으며, 이에 따른 전력산업기반기금 정책의 효율적 집행도 재고하여야 할 것으로 판단된다. 즉, 국내 무연탄의 생산에 따른 적정 소비를 효율적으로 유도해야 하는 한편, 발전시스템의 낮은 효율로 인한 무연탄 소비에 따른 연료비 손실액을 클 경우의 대책마련 또한 기반기금의 정책적 측면에서 고려해야 할 필요성이 있다.

Fig. 11은 국내탄용 미분탄 발전 보일러인 영동화력 2호기를 대상으로 전력산업기반기금의 정책변화 적용을 예시하여 기반기금의 지출 저감에 대해 도시한 것이다. 영동화력 1, 2호기의 2003년도 석탄 소비량은 65만 톤, 기금지원액은 590억 원이며, 발전용량(200 MWe/325 MWe)에 따라 2호기(200 MWe)에 해당하는 석탄 사용량 및 지원 기금액을 고려하면 40만 톤의 석탄 소비량 그리고 363억 원의 기금이 지원된 것으로 추정된다. 이러한 상황이 보일러 폐지년도까지 지속된다면 Fig. 11에서 보는 바와 같이 영동화력 2호기를 대상으로 매년 360억 원 정도의 기반기금이 지원되고 총 5,000억 원에 해당하는 기반지원액이 발생한다. 그러나 영동화력 2호기를 순환유동층 보일러로 개조하였을 경우에는 매년 140억 원(동해 유동층 보일러의 석탄 소비량 대비 기반기금 지원액 고려) 정도의 지원액만 소요될 것으로 예측된다. 이러한 지원액 저감을 위해서는 순환유동층으로의 전환을 유도해야 하며, 이는 Fig. 10에 나타낸 바와

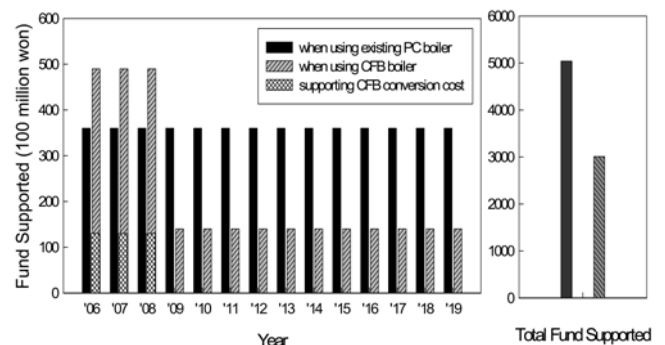


Fig. 11. Comparison of fund supported by government between conversion to the CFB boiler and maintenance of existing PC boiler.

Table 3. Coal consumption and fund supported by government in 2003

|   | Donghae     | Seochon     | Youngdong   | Total         |
|---|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Coal consumption [10,000 ton]                   | 123(44%)    | 87(32%)     | 65(24%)     | 275(100%)     |
| Fund supported [million won]                    | 43,125(26%) | 64,217(39%) | 59,036(35%) | 166,378(100%) |
| Fund supported for CFB conversion [million won] | 43,125      | 30,503      | 22,789      | 96,417        |



같이 총 건설투자금액의 지원을 통한 발전사의 경제성 확보 측면이 고려되어야만 가능할 것으로 판단된다. 이에 Fig. 11에 나타난 바와 같이 기반기금에서 3년에 걸쳐 매년 130억 원씩 건설비를 지원해주는 경우 초기 건설비 지원으로 인한 기반지원금은 증가하나 건설 이후 매년 220억 원 정도의 지원액을 절감할 수 있어 궁극적으로 폐지년 기준 2,000억 원의 기반지원액을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

이상에서 고찰한 바와 같이 국내탄용 미분탄 화력 보일러의 순환유동층 보일러로의 전환은 전력산업기반기금의 효율적 집행에 따른 지원액의 절감 효과와 더불어 국가에너지 자원의 효율적 이용이라는 측면에서 매우 중요한 사안으로 판단되며, 이에 대해 최적의 에너지 활용 안을 정책적으로 도출함이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

국내 무연탄을 사용하는 미분탄 화력보일러(영동화력 2호기)를 대상으로 순환유동층 보일러로의 전환 시 경제성 평가 및 민감도 분석을 수행하였다. 순환유동층으로 전환하였을 경우의 경제성 지표는 세후 FIRR이 12.07%, NPV가 478억 원 그리고 B/C ratio가 1.072, 투자금액 회수기간이 8년으로 평가되어 비교적 투자대비 경제성이 좋은 것으로 판단되었다. 그러나 기존 보일러를 유지할 경우 세후 FIRR이 51.62%, NPV가 614억 원, B/C ratio가 1.125, 투자금액 회수기간이 2년으로 순환유동층으로 전환하는 것에 비해 경제성 지표가 더 좋은 것으로 평가되었다. 하지만, 민감도 분석결과, 기존 미분탄 보일러를 유지하여 사용하는 경우에는 석탄 수급 및 전력산업기반기금 지원정책 변화에 따른 상황 인자 변화에 대해 경제성 지표가 순환유동층 보일러로의 전환 시보다 더 낮은 상황도 도래하는 것으로 나타나 정책 및 발전 상황에 따른 보일러 전환 정책이 필요한 것으로 평가되었다. 특히, 전력산업기반기금의 지원을 받고 있는 무연탄 발전 사업의 특성상 기반기금의 지원 형태 및 그 규모에 따라 순환유동층으로의 전환이 장기적 발전사업 및 기반기금의 효율적 집행 그리고 국가 에너지 이용률에 있어 더 좋은 경제 지표를 나타내는 것으로 평가되었다.

#### 감 사

본 연구는 전력산업기반기금의 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Petzel, H. K., *VGB Kraftwerkstechnik*, **4**, 73(1995).
2. Lee, J. M. and Kim, J. S., "Simulation of the 200 MWe Tonghae Thermal Power Plant Circulating Fluidized Bed Combustor by using IEA-CFBC Model," *Korean J. Chem. Eng.*, **16**(5), 640-645 (1999).
3. Lee, J.-M. and Kim, J.-S., "Simulation of the Tonghae Thermal Power Plant CFB by using IEA-CFBC Model -Determination of the CFB Combustor Performance with Cyclone Modification-," *HWAHAK KONGHAK*, **38**(1), 53-61(2000).
4. Lee, S. H., Lee, J. M., Kim, J. S., Choi, J. H. and Kim, S. D., "Combustion Characteristics of Anthracite Coal in the D CFB Boiler," *HWAHAK KONGHAK*, **38**(4), 516-522(2000).
5. Stamatelopoulos, G. N., Seeber, J. and Skowrya, R. S., *Proceedings of the 18th International Conference on FBC*, Toronto, Canada, FBC2005-78081(2005).
6. Lee, J. M., *the 37th KOSEN Webzine* (www.kosen21.org), Korea (2005).
7. Choi, J. H., Lee, S. D. and Choi, S. M., "Combustion Characteristics of Waste Fuels in a Fluidized Bed," *HWAHAK KONGHAK*, **40**(4), 523-528(2002).
8. Silvernoinen, J., Ropo, J., Nurminen, R. V., Aho, M., Vainikka, P. and Ferrer, E., *Proceedings of the 18th international conference on FBC*, Toronto, Canada, FBC2005-78120(2005).
9. Jo, H. R., Hong, E. G. and Hwang, K. W., *KEPRI Report*, TM. C97GS04.G2001.031, Taejeon, Korea(2001).
10. Kim, J. S., Lee, J. M. and Kim, D. W., *KEPRI Report*, TM.04GK09. R2005.410, Taejeon, Korea(2005).