

CWM 발전소의 경제성분석 사례연구

김봉진* · 김동찬** · 신대현** · 김정덕**

A Case Study for the Economic Feasibility Analysis of CWM Power Plant

Abstract

CWM(Coal Water Mixture) is a mixed fuel that consists of coal, water, and additives. The main advantages of CWM are reducing the oil consumption and the air pollution materials such as flyash, dirt, and SO_x. This paper presented a case study for the economic feasibility analysis of changing an existing coal-oil power plant to a CWM power plant. The economic analysis of changing a coal-oil power plant to a CWM power plant was based on the total annual incremental costs of two power plants. We found that this project was economically and environmentally acceptable.

1. 서 론

CWM(Coal Water Mixture)은 석탄-물-첨가제를 혼합시킨 연료로서 slurry 상태이기 때문에 파이프 라인에 의한 수송이 가능하고 취급이 간편한 장점이 있다. 또한 CWM 연료를 사용함으로써 석탄 연소시에 발생하는 유황분, 먼지, 재, 회분 등의 환경오염 물질이 감소되는 효과를 얻을 수 있다. 경쟁관계에 있는 유류 발전소에 비해 CWM 발전소를 운영함으로써 얻을 수 있는 큰 이점은 유류 사용량의 감소로서 석유의존도를 낮추려는 국가 목표와 일치한다는 점이다.

CWM 발전소는 신설하는 경우와 기존의 화력 발전소를 개조하는 경우로 나눌 수 있으며, 본 논문에서는 기존의 발전소를 개조하는 경우로 초점을 맞추었다. CWM 발전소를 신설하는 경우도 기존의 발전소를 개조하는 경우와 유사하므로, 약간의 수정을 더하면 기존의 발전소를 개조하는 경우의 경제성 분석방법을 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 사례 연구로는 현재 석탄-석유 혼소 연료를 사용하고 있는 K 발전소를 대상으로 하였고, 기존 설비를 최대한으로 활용하는 방안을 모색하였다.

CWM 발전소의 경제성은 많은 수의 의사결정에 따라 좌우된다. 예를 들면, CWM 연료의 수송 방

* 단국대학교 산업공학과

** 한국동력자원연구소

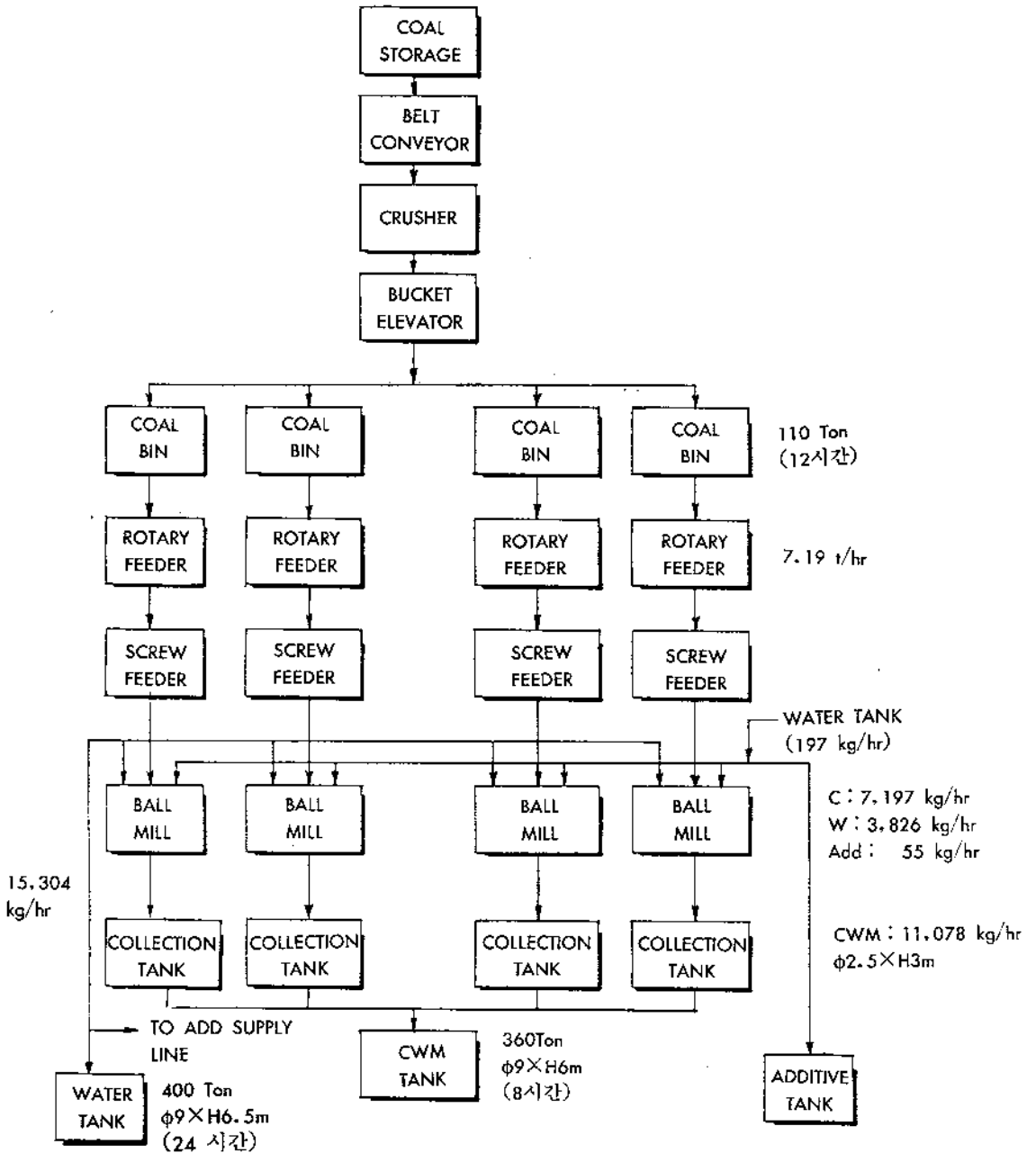


그림 1. CWM 제조 BLOCK DIAGRAM

법은 여러 방법이 있으며, 기존의 mill 들을 활용 하는 경우와 새로 구입하는 경우에 따라 CWM 발

전소로 개조시의 경제성은 달라지게 된다. CWM 발전소의 경제성 분석에는 많은 수의 의사결정을

필요하기 때문에, 가능한 의사결정 요소들의 조합을 모두 나열하여 대안을 구성하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 전체 비용에 큰 영향을 주지 않는 요소에 대하여는 일반적으로 사용되고 있는 방법을 그대로 적용하였고, 중요하다고 판단되는 의사결정 요소들에 대하여는 세부적으로 분석하여 가장 경제적인 방법을 선택하였다. 위와같은 방법에 따라 K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는 경우의 CWM 연료의 제조 공정도(block diagram)를 그림 1에 나타내었다.

기존의 화력 발전소에 대한 개조 후의 CWM 발전소의 경제성은 총 연간 비용을 비교하여 결정하였으며 자본 회수기간, 내부 수익률도 아울러 산출하였다. CWM 발전소로의 개조에 소요되는 초기 투자비는 설계를 담당한 H 엔지니어링의 추정 가격을 사용하였고, 연간 운영비는 한국 동력자원연구소의 CWM pilot plant의 실험 실적[2,3], 한전 자료 [1] 등을 참조하여 결정하였다. 또한 CWM 발전소의 경제성 분석에 사용된 모든 가격은 1990년 1월 1일을 기준한 불변 가격을 사용하였다. 특기할 사항은 기존 발전소의 운영비와 개조 후의 CWM 발전소의 운영비는 상당 수의 항목이 서로 일치한다는 점이다. 따라서, 두 발전소의 공통 비용들을 모두 삭제한 후 증분 비용(incremental cost)만을 비교 분석하여 결론을 도출하였다.

2. 초기 투자비 및 연간 운영비

2-1. 초기 투자비

CWM 발전소로 개조하는 경우의 초기 투자비는 CWM 연료의 제조 설비비와 보일러 시스템의 개조 비용이다. K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는 데에는 별도의 부지 구입이 필요하지 않고, 석탄 취급 설비도 그대로 이용할 수 있는 것으로 평가되어 이 비용들을 초기 투자비에서 제외하였다. K 발전소의 CWM 발전소로의 전환에 필요한 초기

표 1. K 발전소의 CWM 발전소로의 개조 비용
단위: 백만원

항 목	비 용
1. CWM 제조 설비	2,774
-토목 및 건축공사	720
-기계 및 배관공사	1,180
-전기 및 설비공사	239
-간접 경비	635
2. 보일러 시스템 개조비	500
3. 초기 투자비	3,274

투자비를 항목별로 표 1에 수록하였다.

K 발전소의 CWM 발전소로 개조 비용은 약 33 억원으로 추산되며 CWM 제조 설비에 28억원, 보일러 시스템 개조비에 5억원이 소요되는 것으로 추정된다. 또한 CWM 제조 설비는 배관 공사를 비롯한 직접 공사에 약 22억원, 간접 노무비등 간접 경비에 약 6억원이 필요한 것으로 분석되었다.

2-2. 연간 운영비

CWM 발전소의 연간 운영비는 석탄, 첨가제, 용수등 연료비(원료비)와 인건비, 보수 유지비, 유틸리티 비용, 기타 비용 등으로 구성되는 운전 보수 유지비로 구분할 수 있다. CWM 발전소의 연료비 및 유틸리티 비용은 발전소의 가동시간에 비례하는 변동 비용이며, 본 논문에서는 개조 후의 CWM 발전소의 이용률을 현재 K 발전소의 이용률과 동일한 58.5%로 가정하여 연간 운영비를 계산하였다.

미분탄 및 증유를 혼소하는 현 시스템의 혼소 비율은 열량비로 무연탄이 50%, 증유가 50%일 때를 기준하였고, CWM 연료에 사용되는 첨가제는 CWM 총량의 0.4%를 기준하였다. 보일러의 열효율은 현 시스템이 84.9%, CWM이 83.9%인 것으로 가정하였고, 정탄 회수율은 96%를 기준하였다. 각 연료의 발열량은 증유 10,300Kcal/kg, 무

표 2. 기존 발전소(혼소)와 CWM 발전소의 연간 운영비 비교
단위: 백만원

구분 \ 항목	혼소	CWM	혼소-CWM
1. 연료비	10,333	8,358	1,995
- 석탄	5,978	6,942	-964
- 중유	4,355	0	4,355
- 첨가제	0	1,403	-1,403
- 불	0	13	-13
2. 운전보수 유지비	0	65	-65
3. 연간 운영비	10,333	8,423	1,910

연탄 4,200Kcal/kg, 유연탄 6,800Kcal/kg를 사용하였고, 연료 가격은 중유 77.24원/리터, 무연탄 45,110원/톤, 유연탄 42,000원/톤, 첨가제 1,400,000원/톤을 기준하였다.

현 시스템에 대비한 CWM 발전소의 운전보수 유지비의 차이는 CWM 연료 제조설비 및 집진설비의 운영에 소요되는 비용이다. 현 시스템을 기준으로 하여 증가되거나 감소되는 CWM 발전소의 연간 운영비를 표 2에 수록하였다.

표 2를 보면 K 발전소를 CWM 발전소로 개조함에 따라 운영비를 매년 약 19억원씩 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 현 시스템과 CWM 발전소로 개조 후의 연간 운영비는 공통 비용들을 모두 제외하였기 때문에 실제 비용을 나타내지 않으나, 두 발전소의 연간 운영비의 차액은 실제 연간 운영비의 차액과 일치하게 된다.

3. 경제성 분석

현재 석탄-석유 혼소 연료를 사용하고 있는 K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는 경우에는 두 발전소의 공통 비용들을 모두 제외한 증분 비용을 비교하는 것이 편리하다. 또한 대부분의 비용이 연간 단위로 계산되었으므로 모든 비용들을 연간 비용으로 환산하여 경제성 분석을 하였다. 본 논

문에서는 수명기간 원가분석(life cycle cost analysis) 방법을 적용하기 위하여 발전소 전체로 하나의 공통 수명을 갖는 것으로 가정하였고, CWM 발전소로 개조후의 K 발전소의 수명 기간은 10년으로 설정하였다. 이것은 건축 및 토목공사의 수명은 반영구적이고 개조후의 보일러 수명인 10년을 고려한 결과이며, 수명 기간이 10년 이하인 설비 및 구조물의 수명 기간 이후의 추가 설비비는 운전보수 유지비에 포함시켰다.

초기 투자비에 자본회수계수(capital recovery factor)를 곱하면 초기 투자비를 수명 기간 동안의 연간 비용으로 바꿔주는 자본비가 산출된다. 한 사업체의 최소요구 수익률(minimum attractive rate of return)을 i , 수명 기간을 n 으로 표기했을 때, 자본회수 계수(crf)는 다음 식에 의해서 얻을 수 있다[4]:

$$crf = i(1+i)^n / \{(1+i)^n - 1\}$$

본 논문에서는 최소요구 수익률을 8%로 설정하였고, 이에 대응되는 자본회수 계수는 15%가 된다. 따라서, CWM 발전소의 초기 투자비에 자본회수 계수인 15%를 곱하여 CWM 발전소의 자본비를 산출하였고 이것을 연간 운영비에 합하여 총 연간 비용을 계산한 결과를 표 3에 수록하였다.

표 3. 기존 발전소와 CWM 발전소의 총연간 비용 비교
단위: 백만원

구분 \ 항목	혼소	CWM	혼소-CWM
1. 자본비	0	491	-491
- 보일러 시스템	0	75	-75
- CWM 제조 설비	0	416	-416
2. 첨가제	10,333	8,358	1,995
3. 운전보수유지비	0	65	-65
4. 총 연간 비용	10,333	8,914	1,419

표 3을 보면 K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는

사업은 충분한 경제성이 있으며, 매년 약 14억원을 절감할 수 있는 것으로 평가된다. 또한 위와 같은 자료를 이용하여 자본회수 기간 및 내부 수익률(internal rate of return)을 계산한 결과, 자본회수 기간은 1.7년, 내부 수익률은 58%로서 K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는 사업의 경제성 및 타당성이 충분한 것을 보여 주었다.

4. 민감도 분석

CWM 발전소의 경제성은 석유 가격의 변동 등 여러 요인에 따라 변화된다. 일반적으로 석탄에 비해 석유 가격의 상승 가능성이 높은 것으로 예측되고 있으며, 석유 가격의 상승은 CWM 발전소를 유류 발전소에 비해 상대적으로 유리하게 만드는 효과를 갖는다. 이것은 CWM 발전소가 석탄-석유 혼소 발전소나 유류 발전소에 비해 석유 사용량을 감소시키기 때문이다. 따라서, 연료 가격의 변화가 CWM 발전소의 경제성에 미치는 효과를 분석하기 위하여 다른 비용들은 고정되고, 중유 및 첨가제 가격이 각기 현재 보다 10%, 20%, 30% 인상된 것으로 가정하여 총 연간 비용을 계산한 결과를 표 4에 수록하였다.

표 4를 보면 석유 가격이 상승함에 따라 CWM 발전소의 경제성이 좋아지는 것으로 나타났으며, 만약 석유 가격이 현재보다 30% 상승된다면 CWM 발전소로 개조함으로써 얻을 수 있는 연간 순이익은 약 22억원에 달할 것으로 기대된다.

연료 가격의 변화 외에 CWM 발전소의 경제성에 영향을 줄 수 있는 요인은 적절한 초기 투자비의 산정이다. 국내에서는 아직 CWM 발전소를 건설한 경험이 없으므로 우리가 사용한 초기 투자비의 추정액과 건설이 끝난 후의 실제 초기 투자비와는 큰 차이가 날 수 있다. 따라서, CWM 발전소로의 개조 비용이 각기 10%, 20%, 30% 추가되는 경우를 가정하여 총 연간 비용을 계산한 결과를 표 5에 수록하였으며, 분석 결과는 초기 투자비가 30% 더

표 4. 석유가 인상에 따른 두 발전소의 총연간 비용 비교
단위: 백만원

구분 인상률	혼소	CWM	혼소-CWM
0%	10,333	8,914	1,419
10%	10,769	9,054	1,715
20%	11,204	9,195	2,109
30%	11,640	9,322	2,218

표 5. 초기투자비 상승에 따른 두 발전소의 비용 비교
단위: 백만원

구분 상승률	혼소	CWM	혼소-CWM
0%	10,333	8,914	1,419
10%	10,333	8,963	1,370
20%	10,333	9,012	1,321
30%	10,333	9,061	1,272

소요되어도 CWM 발전소로의 개조 사업은 경제성이 있는 것으로 나타났다.

CWM 발전소의 이용률도 경제성에 영향을 줄 수 있는 요인으로 판단하여 K 발전소의 이용률과 개조 후의 이용률을 모두 동일하게 50%, 60%, 70%, 80%로 변화시켜 두 발전소의 총 연간 비용을 비교한 결과, 발전소의 이용률이 증가함에 따라 총 연간 비용은 증가하나 두 발전소의 총 연간 비용의 차액에는 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

CWM은 석탄-물-첨가제를 혼합시킨 연료로서 슬러리 상태이기 때문에 수송 및 취급이 간편하고, CWM 연료를 사용함으로써 석유 사용량을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 석탄 연소시에 발생하는 최분 장애성, 재 처리량, 먼지, 유황분 등이 감소되는 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 현재 석탄-석유 혼소 연료를 사용하고 있는 K 발전소를

CWM 발전소로 개조하는 사업에 대한 경제성 분석을 하였다.

K 발전소를 CWM 발전소로 개조하면 연간 14억원의 순 절감 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 이러한 개조 사업의 초기 투자비는 약 33억원으로서 CWM 제조 설비에 약 28억원, 보일러 시스템 개조 공사에 약 5억원이 소요되는 것으로 추정된다. 또한 위와 같은 사업의 내부 수익률은 58%이고 초기 투자비는 1.7년 만에 회수되는 것으로 나타났다.

CWM의 경제성이 좋게 나타나는 이유는 유연탄의 열량당 가격이 중유나 국내 무연탄에 비하여 낮기 때문에 연료비가 적게들기 때문이다. 참고로 CWM의 제조 비용은 유연탄 60~65%, 첨가제 10~25%, 인건비 3~5%, 유틸리티 4~10%, 기타(회처리, 석탄손실, 보수 유지등) 7~10%로 나뉘어진다. 또한 CWM 연료를 사용하면 재, 유황분,

먼지, 회분 장애성이 감소되는 부수 효과를 얻을 수 있으므로 K 발전소를 CWM 발전소로 개조하는 사업의 경제적 및 환경적 타당성은 충분한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 한국 원자력기술 주식회사, "유연탄 발전소의 연료전환 타당성 검토," 1981.
- [2] 김동찬, 신대현, "고농도 CWM의 제조기술 연구." 에너지 R & D, 제 6권, 제 1호, 65-79, 1984.
- [3] 김상국, 노남선, 김동찬, "CWM 연료의 분무입도 분포 측정," 에너지 R & D, 제 12권, 제 1호, 36-49, 1990.
- [4] G. A. Fleischer, Engineering Economy, PWS Engineering, Boston, U. S. A., 29-30, 1984.