

저등급석탄 고품위화 공정의 경제성 분석

전동혁[†] · 김상도 · 임영준 · 이시훈

한국에너지기술연구원
305-343 대전시 유성구 가정로 102
(2010년 12월 30일 접수, 2011년 2월 7일 채택)

Economic Analysis of Upgrading Low Rank Coal Process

Dong-Hyuk Chun[†], Sang-Do Kim, Young Joon Rhim and Si Hyun Lee

Clean Fossil Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research, 102 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea
(Received 30 December 2010; accepted 7 February 2011)

요 약

저등급석탄의 고품위화 기술 중 하나인 유중 슬러리 건조 공정은 슬러리 혼합, 슬러리 탈수, 유분 회수, 건조, 성형 공정으로 구성된 건조 및 안정화 공정이다. 연간 백만 톤 규모의 저등급석탄 고품위화 공정에 대한 경제성을 분석하기 위하여 재료비, 노무비, 경비, 판매관리비를 산정하고 이에 따른 현금흐름을 계산하였다. 투자비 \$1억, 할인율 12%, 내 용 연수 20년에 대한 IRR, B/C ratio, NPV, 할인투자회수기간을 통해 사업의 경제성을 분석한 결과 모든 투자 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 민감도 분석을 통해 투자가치가 원료탄과 제품 가격에 매우 민감한 것을 확인하였으며, 석 탄가격이 급등하는 현 추세에서는 예상 투자가치가 증가할 것으로 판단되었다.

Abstract – Fry-drying of coal slurry is one of the upgrading low rank coal processes. It consists of slurry mixing, slurry dewatering, solvent recovery and briquetting. Cost estimation and economic feasibility are examined for the upgrading low rank coal process based on capacity of 1 million ton/yr. In case that investment costs are \$100,000,000, discount rate is 12%, and service life is 20 years, the results of economic analysis are enough to satisfy the evaluation criteria of investment such as IRR, B/C ratio, NPV and discounted payback period. According to sensitivity analysis, investment value are very sensitive to raw material cost and product price. Since the bituminous coal price is currently soaring, it is expected that the investment value will increase more and more.

Key words: Upgrading Low Rank Coal, Economic Evaluation, Sensitivity Analysis

1. 서 론

최근 급격히 높아진 유가와 발전 수요의 증가로 인하여 석탄 수요 가 증가하는 반면 한정된 자원의 매장량으로 인해 유연탄의 가격이 급등하고 있다. 따라서 매장량이 풍부하고 가격이 저렴한 저등급석 탄을 고품위화하여 유연탄의 대체 연료로 활용하는 기술이 큰 관심 을 받으며 개발 중에 있다. 일반적으로 갈탄이나 아역청탄 등이 저 등급석탄으로 분류되며, 이들은 발열량이 낮고 자연 발화가 쉽게 일 어나는 특성 때문에 활용 범위가 제한적이고 운송 시 화재 위험에 의 한 수출입 어려움의 단점이 있다. 하지만 높은 수분 함량에 비해 회 분 함량이 낮기 때문에, 수분을 제거하는 고품위화 과정을 통해 안 정적인 에너지 공급원으로써 큰 기여를 할 수 있다. 저등급석탄의 고품 위화 기술 중 일본에서 개발 중인 UBC(Upgraded Brown Coal) 공 정[1]은 상대적으로 낮은 처리 온도와 압력 하에서 슬러리 탈수 공 법을 이용해 수분을 건조시키는 유중 슬러리 건조 기술을 이용함으

로써 다른 공정에 비해 에너지 소비를 감소시키는 특징을 갖고 있다. 또한, 중질유 성분을 석탄 내부의 미세 기공 표면에 흡착시킴으로써 자연 발화성을 낮춰주어 제품의 안정화에도 도움을 준다. 따라서 저 등급석탄의 산지에 유중 슬러리 건조 기술을 적용한 공장을 건설함 으으로써 높은 발열량의 안정화된 제품을 국내로 들여올 수 있다.

본 연구에서는 유중 슬러리 건조 기술을 활용하여 인도네시아의 저등급석탄 산지에 고품위화 공장을 설립할 경우의 경제성을 분석하 고자 한다. 원료비, 인건비, 제품가격 등을 인도네시아 기준에 맞추 어 적용하여 매출과 비용을 산정하였으며, 사업 가치의 판단을 위해 현금 흐름 할인을 고려한 재무적 분석 방법[2]을 활용하였다. 원료 및 유연탄 가격의 급격한 변화에 대처하기 위해 경제성 분석 지표에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

2. 경제성 분석 방법

2-1. 현금 흐름 계산

사업의 경제성을 재무적 분석 방법으로 평가하기 위해서는 사업

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: cian@kier.re.kr

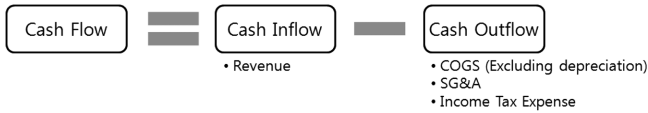


Fig. 1. The definition of cash flow.

을 통해 발생하는 현금 유입과 현금 유출로부터 현금 흐름을 계산해야 한다. Fig. 1에 현금 흐름을 계산하는 방법과 각 항목을 나타내었다. 현금 유출 계산 시 매출원가에 포함되는 감가상각비는 실제 현금에 대한 비용이 아니므로 제외해야 한다.

매출액(revenue)은 제품을 팔고 얻은 총 수입을 의미한다. 제품 총 판매량에 제품의 단가를 곱하여 구할 수 있다.

매출원가(cost of goods sales; COGS)는 상품을 판매하는 데 들인 원가를 뜻하며, 제조업의 경우 제조 원가와 같은 의미를 지닌다. 제조 원가는 크게 재료비, 노무비, 경비로 구분한다. 재료비는 제조에 투입된 원재료비 및 부재료비 등을 포함하며, 노무비는 제조에 투입되는 인력의 급여, 상여금, 수당, 퇴직급여 등을 포함한다. 경비는 초기 투자한 기계 장치 및 공장 건물의 감가상각비를 비롯하여 제조에 필요한 연료 동력비, 수선비, 소모품비, 여비교통비, 교육훈련비, 회의비, 기타 잡비 등으로 구성된다.

판매관리비(selling, general and administrative; SG&A)는 제품을 판매하기 위해 필요한 일반 관리 및 판매 관련된 일련의 비용을 의미한다. 세부 항목으로 판매 관리에 해당하는 모든 급여, 전력비, 보험료, 소모품비, 광고선전비, 건물관리비, 판매수수료 등을 포함한다. 초기 경제성 분석 단계에서 이들의 세부 항목을 가늠하기 어렵기 때문에 일정 비율을 정하여 사용하는 것이 일반적인 방법이다. 판매비의 경우 매출 또는 매출 총이익에 일정 판매 비율을 가정하여 계산한다. 일반 관리비의 경우 제조 원가의 일정 비율로 그 값을 계산한다.

법인세 (income tax expense)는 법인으로 등록된 단체가 경제 활동을 통해 얻은 소득에 대하여 부과하는 조세를 의미한다. 법인세는 다음 식에 의해 계산한다.

$$\text{법인세} = (\text{이익금} - \text{손해액} = \text{과세소득}) \times \text{법인세율} - \text{세액 공제} \quad (1)$$

이익금에는 회사 매출, 공급에 관한 리베이트 수입 등이 있으며, 손해액은 매출 원가, 판매관리비 등을 포함한다.

2-2. 경제성 분석 지표

경제성 평가 방법 중 현금 흐름 할인을 고려한 분석지표로서 사용되는 범용적인 방법으로 순현재가치(net positive value; NPV), 내부수익률(internal rate of return; IRR), 투자수익비용비율(benefit-cost ratio; B/C ratio), 할인투자회수기간을 들 수 있다.

NPV는 현재 투자했을 때의 비용과 투자 후 얻게 되는 현금 흐름(즉, 예측되는 수입) 간의 차이를 의미하며, 다음 식으로 표현한다.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2)$$

이 식에서 C_0 는 초기 투자비용, C_t 는 t 시점에서의 현금 흐름, r 은 할인율을 의미한다. NPV가 0보다 크면 투자 가치가 있는 것으로 판단하며, NPV가 클수록 투자 우선순위가 올라간다.

IRR은 미래 현금 흐름의 현재와 초기 투자비용을 일치시키는 할인율을 의미하며, 즉 NPV가 0일 경우의 할인율과 같다. 장기간에 걸

친 사업의 수익률을 나타내는 데 유용한 지표이다. IRR이 할인율보다 클 경우 투자 가치가 있는 것으로 판단하며, IRR이 클수록 투자 우선순위가 올라간다.

B/C ratio는 현금 유입과 현금 유출의 현재 가치에 대한 비율을 의미한다. 현금 유입에 대한 NPV를 현금 유출에 대한 NPV로 나누어 계산한다. B/C ratio가 1보다 크면 투자 가치가 있는 것으로 판단하며, B/C ratio가 클수록 투자 우선순위가 올라간다.

투자회수기간은 최초 투자액을 회수하는 데 걸리는 기간을 의미한다. 투자 기간 후 현금 흐름이 양수가 되는 연도까지가 투자 회수 기간이다. 현금 흐름에 할인율을 고려하여 투자 회수 기간을 산정하는 경우를 할인투자회수기간이라 한다. 사업성을 평가하기 위해 초기 설정한 사용 연수보다 투자회수기간이 짧아 투자 가치가 있는 것으로 판단하며, 투자회수기간이 짧을수록 투자 우선순위가 올라간다.

3. 저등급석탄 고품위화 공정의 비용 산정

3-1. 저등급석탄의 고품위화 공정

저등급석탄의 건조 및 안정화를 통한 고품위화 공정의 개요도는 Fig. 2와 같다. 먼저 저등급석탄을 분쇄하여 용매유 및 증질유와 적절한 비율로 혼합한다. 제조된 석탄 슬러리의 수분을 증발기에서 제거하며, 수분이 증발된 석탄 내부의 미세 기공 표면에 증질유가 흡착되어 탈수와 동시에 자연발화성이 낮아지는 안정화 공정이 진행된다. 이 때 발생한 증기는 압축기를 통해 증발기로 보내어 열량을 재사용한다. 슬러리의 유분과 잔류 수분은 원심분리기 및 건조기를 통해 제거하며, 유수분리를 통해 유분만 회수하여 슬러리 제조에 재사용한다. 유분 및 수분이 제거된 석탄 분말은 조립기를 통해 최종 제품으로 생성된다.

3-2. 비용 산정

3-2-1. 재료비

전수분 35%의 저급탄을 원료로 고품위화 공정을 거쳐 전수분 5%로 건조시킬 경우 연간 백만 톤의 고품위화 석탄을 생산하기 위해서 1,462,000 톤/년의 원료탄이 필요하다. 대상 저급탄인 인도네시아 갈탄의 공업분석 및 원소분석[3]을 Table 1에 나타내었다. 유중 슬러리 건조 기술을 통하여 석탄을 건조할 경우 수분 외 다른 성분들의 변화는 거의 없는 것으로 알려져 있다[4]. 석탄 슬러리를 제조하기 위해 1%의 아스팔트가 혼합된 등유를 공급된 원료탄과 동일량으로 섞는 것으로 가정하였으며, 등유와 아스팔트는 회수하여 재사용하기 때문에 실제 공정에 공급되는 등유와 아스팔트의 원료 투입량은 초기 투입량의 1%와 50%로 가정하였다. 원료로 사용되는 저급탄의 산

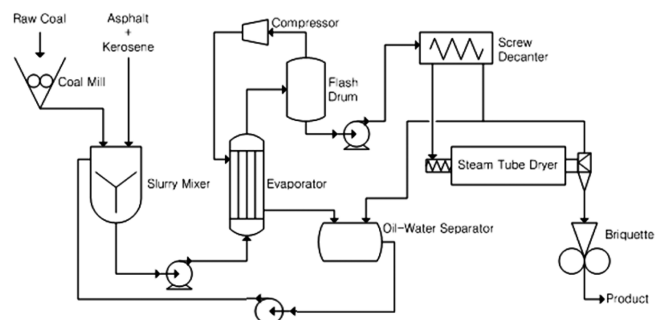


Fig. 2. Upgrading low rank coal process.

Table 1. Proximate and elemental analysis of Indonesian lignite

Proximate analysis (wt%)				Elemental analysis based on a dried sample (wt%)				
Moisture	Volatile matter	Ash	Fixed carbon	C	H	N	O	S
34.27	33.64	2.01	29.99	70.50	5.14	0.99	21.33	0.03

Table 2. Material cost

	Consumption (ton/yr)	Unit price (\$/ton)	Annual Cost (\$/yr)
Raw coal	1,462,000	33	48,246,000
Kerosene	14,620	350	5,117,000
Asphalt	7,310	500	3,655,000
Total		57,018,000	

지 가격은 \$33/톤[5]으로 설정하였으며, 등유 및 아스팔트의 가격은 인도네시아 기준으로 \$350/톤[6], \$520/톤[7]으로 설정하였다. 재료비 산정 내역을 Table 2에 정리하였다.

3-2-2. 노무비

인도네시아의 일인당 인건비를 연간 8,500 \$, 공정 운전 시 필요 인원을 50명으로 가정하였으며, 수당과 퇴직금을 노무비에 포함시켰다. 수당 및 퇴직금은 국내의 근로기준법에 의한 식 (3), (4)로부터 계산하였다.

$$\text{연차수당} = \text{일일임금} \times \{10\text{일} + (\text{근무년수} - 1)\} - \text{사용연차일수} \quad (3)$$

$$\text{법정퇴직금} = [\text{일일평균임금} \times 30\text{일} \times \text{재직일수}] / 365\text{일} \quad (4)$$

노무비 산정 내역을 Table 3에 정리하였다.

3-2-3. 경비

경비는 전기 비용, 스팀 비용, 수선비, 복리후생비, 감가상각비로 구분하였다. 전기 비용은 인도네시아 전기료(\$0.096/kWh)[8]를 기준으로 전체 설비의 연간 전력량을 추산하여 연간 비용을 계산하였다. 고품위화 공정 중 전기가 사용되는 설비는 분쇄기, 교반기, 펌프, 압축기, 원심분리기, 건조기 및 조립기가 있다. 분쇄기, 원심분리기, 건조기, 조립기의 전력량은 기존 설비의 규격에 따라 예측하였다. 교반기는 슬러리 혼합과 플래쉬 드럼에 사용되며, Yamazaki 등[9]의 방법을 통해 전력량을 추산하였다. 펌프와 압축기의 전력은 McCabe 등[10]이 제안한 방법을 통해 추산하였다. 각 설비 별 연간 전력량을

Table 3. Labor cost

	Personnel	Wage (\$/yr)	Annual Cost (\$/yr)
Salary		8,500	425,000
Extra pay	50	442	22,000
Severance pay		699	35,000
Total		482,000	

Table 4. Annual electricity consumption

Equipments	Power (kW)	Electricity (kWh/yr)
Coal mill	513	4,044,492
Screw decanter	300	2,365,200
Steam tube dryer	450	3,547,800
Briquette machine	310	2,444,040
Agitator	583	4,596,372
Pump	382	3,016,144
Compressor	592	4,666,890
Total	3,137	24,680,938

Table 5. Enthalpy requirements

	Enthalpy (Gcal/hr)	Enthalpy Requirements (Gcal/yr)
H_{vap}^W	30	
H_{vap}^K	6	
ΔH^{Coal}	12	251,058
ΔH^K	11	
$Q^{recovery}$	28	

Table 4에 정리하였다.

스팀 비용은 증발기와 건조기에 필요한 열량으로부터 계산하였다. 전수분 35%의 원료탄이 증발기와 건조기를 통해 5%로 감소하고, 등유의 40%가 원심분리기를 통해 분리[11]된다고 가정할 때 공정 전체의 필요 열량은 다음과 같다.

$$Q = H_{vap}^W + H_{vap}^K + \Delta H^{Coal} + \Delta H^K - Q^{recovery} \quad (5)$$

이 식에서 H_{vap} 는 증발열, ΔH 는 현열 변화를 나타내며, 위첨자 W, K, Coal은 물, 등유, 석탄을 의미한다. $Q^{recovery}$ 는 압축기로부터 회수된 열량이다. 각 열량 변화를 계산하여 Table 5에 나타내었다. 필요 열량에 스팀의 증발열(476 kcal/kg_{p=1MPaG})[12]을 곱하여 스팀 사용량을 구할 수 있다. 인도네시아의 스팀 가격은 \$9.5/톤[13]을 적용하였다.

수선비는 투자비 연간 환산 비용의 1.5%, 복리후생비는 급여의 10%로 가정하였다. 감가상각비는 잔존가치가 없는 것으로 가정하여 투자비의 연간 환산 비용을 적용하였다. 전체 경비 산정 내역을 Table 6에 정리하였다.

3-2-4. 판매관리비 및 법인세

일반 관리비는 행정안전부 예규 제293호의 예정가격 작성요령 규정[14]을 참조하여 제조원가의 8%를 일반관리비율로 계산하였다. 판매비는 건조된 석탄의 국내 반입 수송비 외에는 추가 비용이 없는 것으로 가정하였으며, 본선인도가격과 해상운임비를 고려하여 \$20/톤으로 가정하였다. 판매관리비 산정 내역을 Table 7에 정리하였다.

생산된 제품을 모두 판매한다는 가정 하에 제품 가격이 결정되면

Table 6. Operation cost

	Annual Cost (\$/yr)
Electricity	2,380,985
Steam	5,026,279
Maintenance	75,000
Benefit	42,500
Depreciation	5,000,000
Total	12,524,764

Table 7. SG&A

General	COGS (\$/yr)	Rate (%)	Annual Cost (\$/yr)
Administration	70,024,819	8	5,601,986
Sales transportation	Productivity (ton/yr)	Unit cost (\$/ton)	Annual Cost (\$/yr)
	1,000,000	20	20,000,000
Total			25,601,986

연간 매출액을 계산할 수 있다. 매출액에서 매출원가와 판매관리비를 제외하면 과세소득을 얻을 수 있으며, 여기에 인도네시아의 법인세율(25%)[15]을 적용하면 법인세 비용을 구할 수 있다.

4. 경제성 분석

4.1. 초기값 설정

본 연구에서는 인도네시아에 연간 백만 톤 규모의 고품위화 공장을 설립하는 경우에 대한 경제성을 분석하였다. 이 때 투자비는 약 \$1억[16]이며, 투자 기간은 2년으로 가정하였다. 경제성 분석을 수행하기에 앞서서 필요한 내용 연수, 할인율, 제품 가격을 설정하여 Table 8에 정리하였다. 할인율을 12%로 가정할 경우 내용 연수 20년에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 고품위화 석탄의 제품 가격은 유연탄의 CIF(2010. 4. 16. 기준, \$108/톤)[17]를 적용하였다.

4.2. 경제성 분석

앞 장에서 산정한 비용과 Table 8의 설정값을 적용하여 현금 흐름을 계산하였다. Fig. 3은 순 현금 흐름과 할인율을 적용한 현금 흐름의 누적값을 나타낸 것이다. 현금 흐름에 할인율을 고려하기 전후 값의 차이가 상당히 크게 나타나므로, 모든 경제성 분석 지표는 할인율을 고려한 방법을 사용하였다. 현금 흐름으로부터 경제성 분석 지표를 계산한 결과는 Table 9와 같다. 모든 분석 항목들이 투자 가치 기준값과 차이가 크지는 않지만 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 저등급석탄 고품위화 사업은 현재 산정된 비용을 기준으로 볼 때 투

Table 8. Initial set values for economic evaluation

Item	Unit	Value	Remarks
Investment	\$	100,000,000	Period : 2 year
Capacity	ton/yr	1,000,000	
Service life	year	20	
Discount rate	%	12	
Product price	\$/ton	108	CIF Bituminous Coal

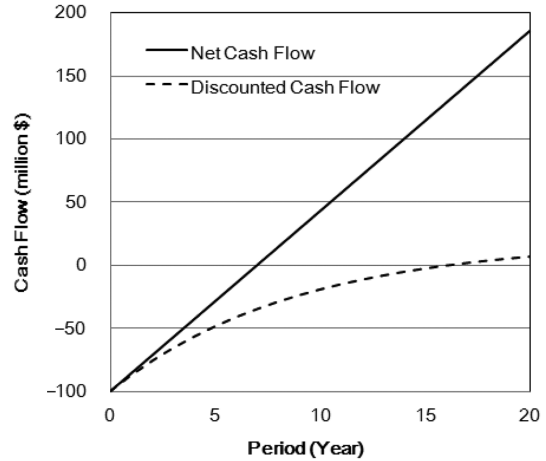


Fig. 3. Accumulated cash flow.

Table 9. Economic evaluation

	Unit	Value	Criteria
IRR	%	12.09	≥ 12
B/C Ratio		1.00	≥ 1
NPV	Million\$	0.53	≥ 0
Discounted Payback Period	Year	16.20	≥ 20

자 가치가 높은 편은 아니지만 경제성이 있는 것으로 판단된다.

4.3. 민감도 분석

최근 석탄 등 화석 연료 가격의 변동 비율이 높게 나타나고 있으며, 이에 따라 전기 비용이나 스팀 비용도 크게 영향을 받게 된다. 따라서 비용 중 비교적 큰 비중을 차지하는 원료탄, 등유, 아스팔트, 전기, 스팀 비용과 유연탄 가격으로 설정된 제품 가격에 대한 민감도 분석[18]을 수행하였다. 각 가격 변수가 -25~25%로 변화할 때 IRR, B/C ratio, NPV, 할인투자회수기간에 대한 민감도 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 분석 결과에 의하면 제품 가격, 원료탄 가격, 등유

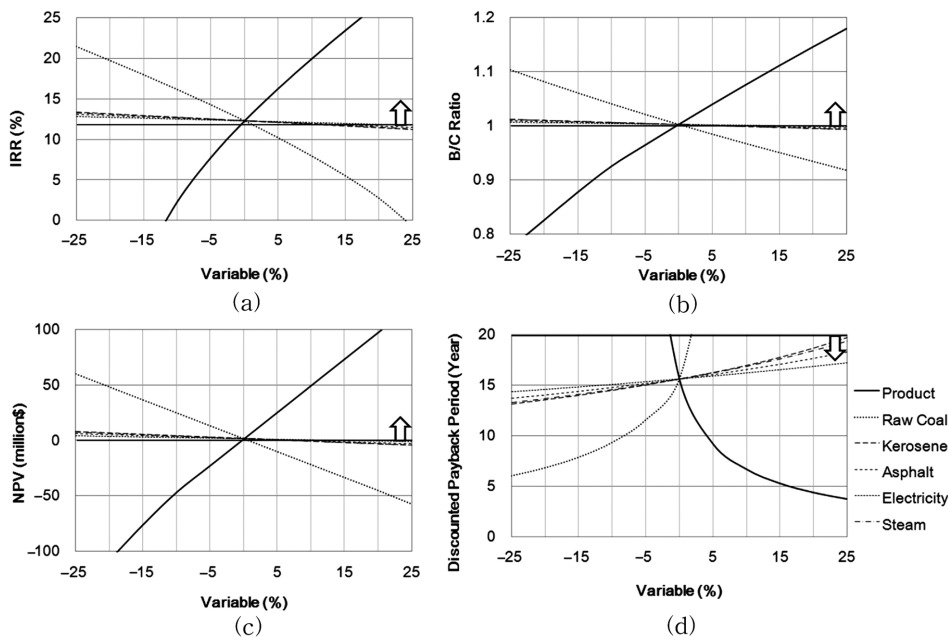


Fig. 4. Sensitivity analysis: (a) IRR; (b) B/C ratio; (c) NPV; (d) Discounted payback period.

가격, 스팀 가격, 아스팔트 가격, 전기 비용 순으로 경제성 평가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 본 사업의 경제성은 제품 가격과 원료탄 가격에 매우 민감한 것으로 확인되었다. 제품 가격의 경우 2% 하락, 원료탄 가격의 경우 3% 상승만으로도 모든 경제성 분석 지표의 투자 가치 기준에 미달되는 것으로 나타났다. 반면 부재료로 쓰이는 등유, 아스팔트나 유틸리티로 사용되는 전기, 스팀의 가격 변화에 따른 사업 경제성의 민감도는 상대적으로 낮게 나타났다.

이상의 결과에 의하면 원료탄과 제품 가격이 사업 가치를 판단하는 주 변수가 되고, 그 외 가격들은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 민감도가 높은 것은 사업 가치의 판단을 어렵게 하는 단점이 있지만, 현재와 같이 석탄의 가격이 급등하는 추세에서는 예상 투자 가치가 더 높아지는 장점이 있다. 이는 원료탄 가격에 비해 제품 가격에 대한 민감도가 높기 때문에 저등급석탄과 유연탄의 가격이 같은 비율로 상승할 경우 앞서 분석한 결과보다 투자 가치가 더 높아질 것으로 예상된다.

5. 결 론

저등급석탄의 고품위화 공정을 대상으로 현금 흐름 할인율 고려한 재무적 분석 방법을 통해 경제성 분석을 수행하였다. 공장을 운영하기 위한 재료비, 노무비, 경비, 판매관리비 등을 산정하고 이에 따른 경제성 분석 지표를 통해 평가한 결과 순현재가치 \$528,447, 할인투자회수기간 16.2년 등으로 사업의 투자가치 기준을 만족하는 것이 확인되었다. 민감도 분석을 통해 석탄의 가격이 높아질 경우 투자 가치가 더 높아질 것으로 판단되었다. 풍부한 매장량에 비해 이용도가 낮은 저등급석탄을 고품위화하여 활용도가 높은 제품을 생산한다는 측면을 고려하면 이는 경제성 평가를 통해 얻은 투자가치 이상의 효과가 있을 것으로 예상된다.

감 사

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Japan Coal Energy Center; Kobe Steel, Ltd., "Low-rank Coal Upgrading Technology (UBC Process)," *Clean Coal Technologies in Japan*, NEDO, 77-78(2006).
2. Kim, K. J. and Kim, M. C., *Business Analysis and Valuation*, 1st ed., Dasan, Seoul(2003).
3. Moon, S. H., Kim, Y. W., Ryu, I. S. and Lee, S. J., "An Experimental Study on the Fry Drying of Low-rank Coal with a High Moisture Content," *J. Energy Eng.*, **18**, 213-220(2009).
4. Sugita, S., Deguchi, T. and Shigehisa, T., "UBC (Upgraded Brown Coal) Process Development," *Kobe Steel Engineering Reports*, **53**, 41-45(2003).
5. Argus Media Ltd., "Argus/Coalindo Indonesian Coal Index Report," Issue 015(2010)(http://web04.us.argusmedia.com/ArgusStaticContent/snips/sectors/pdfs/argus_coalindo.pdf).
6. Expat Web Site Association Jakarta, Indonesia, Gas Prices in Indonesia(<http://www.expat.or.id/info/gasprices.html>).
7. Argus Media Ltd., "Argus Asphalt Report," 12M-48(2010) (http://www.argusmedia.com/ArgusStaticContent/snips/sectors/pdfs/argus_asphalt.pdf).
8. KOTRA (<http://www.kotra.or.kr>).
9. Yamazaki, H., Tojo, K. and Miyunami, K., "Effect of Power Consumption on Solids Concentration Profiles in a Slurry Mixing Tank," *Powder Technology*, **64**, 199-206(1991).
10. McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed., McGraw-Hill(1993).
11. Parekh, B. K., "Dewatering of Fine Coal and Refuse Slurries-Problems and Possibilities," *Procedia Earth and Planetary Science*, **1**, 621-626(2009).
12. Smith, J. M., Van Ness, H. C. and Abbott, M. M., *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th ed., McGraw-Hill (2000).
13. Hamada Boiler Group, China, "Steam Cost All Countries," Hamada Boiler Catalogue(2008) (<http://www.hamadaboiler.com/catalogue/page-5-steam-cost-all-countries.html>).
14. Ministry of Public Administration and Security, Costing and Pricing Conventions for Local Governments(2010).
15. Wikipedia, The Free Encyclopedia, "Tax around the World" (2010) (http://en.wikipedia.org/wiki/Tax_rates_around_the_world).
16. Yukio, A., "UBC Process," 2nd Coal Trans Upgrading Coal Forum, September, Jakarta(2010).
17. KOMIS (<http://www.kores.net/v2009/vortal/priceInformation.jsp#coal>).
18. Park, J. W., Kweon, Y. J., Kim, H. J., Jung, H. and Han, C., "Economic Evaluations of Direct Coal Liquefaction Processes," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK)*, **47**, 127-132 (2009).