

## 무회분 석탄 생산을 위한 온순조건 용매추출 공정의 경제성 분석

최호경<sup>†</sup> · 김상도 · 유지호 · 전동혁 · 임정환 · 임영준 · 이시훈

한국에너지기술연구원 청정석탄센터  
305-343 대전시 유성구 가정로 152  
(2011년 9월 27일 접수, 2011년 12월 1일 채택)

### An Economic Analysis of Solvent Extraction Process under Mild Condition for Production of Ash-Free Coal

Ho-Kyung Choi<sup>†</sup>, Sang-Do Kim, Ji-Ho Yoo, Dong-Hyuk Chun, Jeong-Hwan Lim, Young-Joon Rhim and Si-Hyun Lee

Clean Coal Research Center, Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea  
(Received 27 September 2011; accepted 1 December 2011)

#### 요 약

본 연구에서는 석탄의 연화온도보다 낮은 온도에서의 무회분 석탄 제조공정인 온순조건 용매추출 공정의 경제성을 분석하였다. 이를 위해 인도네시아 석탄 산지에 6,000 톤/일 규모의 온순조건 용매추출 플랜트를 건설하는 것으로 가정하였으며, 이 설비에 대하여 \$96백만의 투자비용과, 내용년수 15년에 대한 IRR, B/C ratio, NPV, DPP를 계산하였다. 계산 결과 이 플랜트의 IRR은 31%, NPV는 \$87백만, B/C ratio는 1.08, DPP는 3.9년인 것으로 계산되었으며, 이를 통해 석탄의 온순조건 용매추출 플랜트는 충분한 경제성이 있는 것으로 판단하였다. 민감도 분석 결과 무회분 석탄의 판매가격보다는 원료탄의 구입가격과 고품위 잔탄의 판매가격이 온순조건 용매추출 플랜트의 경제성을 크게 좌우하였다.

**Abstract** – Economic feasibility of the process for a coal extraction under mild condition, which will produce ash-free coal at a temperature lower than that of coal softening, was analyzed. To this end, the plant of 6000 t/d in capacity was assumed to be constructed near a coal mine in Indonesia, and the IRR, NPV, B/C ratio, and DPP of the plant were calculated based on \$96 million investment cost and 15 years service life. The IRR, NPV, B/C ratio, and DPP of the plant were calculated to be 31%, \$87 million, 1.08, and 3.9 years, respectively, and which satisfied the evaluation criteria of investment. The economic feasibility of the plant was mainly dependent on the price of the coal initially fed and the residue coal remaining after the extraction, according to sensitivity analysis.

Key words: Ash-Free Coal, Solvent Extraction, Mild Condition, Economic Analysis

#### 1. 서 론

석탄은 지구상에 존재하는 화석연료 중 가장 풍부하며, 2010년 기준으로 전 세계 에너지의 29.6%[1]가 석탄으로부터 공급되고 있을 만큼 매우 중요한 에너지 자원의 하나이다.

최근에 지속되는 고유가와 중국 등지로부터의 발전 및 철강 수요 증가로 인해 전 세계 석탄의 소비량은 지속적으로 증가하고 있으며, 그 가격도 더불어 증가하고 있다.

이러한 추세로 인해 석탄 활용에 있어서의 효율을 높이고 상대적으로 저렴한 가격의 저등급탄을 활용하기 위한 기술 개발에 관심이 높아지고 있다.

석탄 활용의 효율을 높이는데 있어 가장 문제가 되는 것이 수분과 회분이다. 석탄에 포함된 수분은 석탄의 발열량을 낮추기 때문에 단

위 출력을 얻기 위해 투입되어야 하는 석탄의 양을 증가시킨다. 이로 인해 운송비 증가는 물론 시설비와 운전비의 증가, 발생하는 오염물질의 증가 등을 야기한다.

석탄 중에 포함되어 있는 무기성분인 회분은 고온에서 용융되었다가 연소기나 열교환기 표면에 용착되어 열전달이나 물질전달 효율을 낮추므로 전체적인 공정 효율을 떨어뜨리고, 외부로 배출되면 환경오염을 유발한다.

석탄 중의 수분을 저감시키기 위해서는 기계적인 방법으로 석탄을 압착하여 수분을 짜내는 방법[2-4]이나 석탄에 열을 가하여 수분을 증발시키는 방법[5-8] 등을 사용한다.

한편 석탄 중의 회분을 저감시키기 위해서는 알칼리나 산을 이용하여 석탄에 존재하는 회분만을 제거하는 방법이나 유기용매를 사용하여 석탄 중의 유기성분만을 추출해 내는 방법 등을 사용한다. 이 중에서 석탄의 유기용매 추출법을 이용하면 석탄 내 회분을 200 ppm 이하로 줄일 수 있는 특징이 있기 때문에 무회분 석탄을 제조하는 방법으로서 많은 연구가 진행되고 있다.

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

<sup>‡</sup>이 논문은 한국에너지기술연구원 조순행 박사의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

기존의 용매추출에 의한 무회분 석탄 제조방법은 생산되는 무회분 석탄의 수율을 높이기 위해 석탄의 연화온도 부근인 350~400 °C 정도의 온도에서 추출을 진행한다[9,10]. 여기에 사용되는 1MN이나 NMP와 같은 유기용매의 끓는점은 200~250 °C 정도이므로 추출온도에 이르기 위해서는 압력을 높게 유지하여야 하는데, 추출온도 부근에서는 석탄에 포함된 수분이나 휘발성 물질의 영향이 더해져 반응기 내의 압력은 20~30 기압에 이른다. 이러한 고온, 고압, 그리고 유기용매가 포함된 슬러리 사용조건에서는 사용 가능한 소재 및 기계적 부품의 선택 범위가 좁아지고, 따라서 설비의 제작 단가가 상승하게 된다. 이는 곧 제품가격의 상승 및 투자비 회수기간 연장으로 이어질 수 있다.

무회분 석탄 제조를 위한 이러한 기존의 고온조건 석탄 용매추출 공정(이하 고온공정)을 보완하고자 시도하는 방법이 석탄의 연화온도 이하인 350 °C 미만에서 무회분 석탄을 추출하는 이른바 온순조건 석탄 용매추출 공정(이하 온순공정)이다. 비교적 저온, 저압 공정인 온순공정에서는 기존의 고온공정에 비해 무회분 석탄의 수율은 낮아지지만 동일량의 원료탄을 처리하는데 투입되는 에너지가 기존에 비해 적고, 생산 설비의 제작 단가를 낮출 수 있다. 이뿐만 아니라 온순공정에서는 무회분 석탄 이외에 수분이 제거되어 발열량이 6,500 kcal/kg[10] 이상으로 높아지는 고품위 잔탄을 판매 가능한 제품으로 다량 얻을 수 있다는 특징이 있다. 즉, 온순공정에서는 추출에 의해 얻어지는 무회분 석탄뿐만 아니라 수분이 제거된 잔탄도 중요한 제품이 된다.

이러한 공정의 검증을 위해 본 연구에서는 기존의 고온공정에 대한 경제성 평가 기법을 수정 적용하여 온순공정의 경제성을 파악하였다. 온순공정은 6,000 톤/일 규모의 원료탄 처리 설비를 석탄 생산국 현지에 건설한다는 가정 하에 설비의 경제성 평가 지표를 계산하여 그 경제성을 평가하였다.

## 2. 경제성 평가 지표

경제성 평가 방법 중 현금 흐름 할인율 고려한 분석지표로 사용되는 범용적인 방법으로 순현재가치(net positive value; NPV), 내부수익률(internal rate of return; IRR), 투자수익비용비율(benefit-cost

ratio; B/C ratio), 할인투자회수기간(discounted payback period; DPP)을 들 수 있다[11].

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

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

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, NPV가 0일 경우의 할인율과 같다. 장기간에 걸친 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 짧아야 투자 가치가 있는 것으로 판단하며, 투자회수기간이 짧을수록 투자 우선순위가 올라간다.

본 연구에서 이러한 경제성 평가지표는 NPV 함수나 IRR 함수와 같은 엑셀 소프트웨어 상에서 기본적으로 제공되는 재무함수와 매크로 프로그래밍 기능을 이용하여 계산하였다.

## 3. 온순조건 용매추출 설비

무회분 석탄을 제조하기 위한 기존의 고온공정은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 분말상의 원료 석탄과 액체상 유기 용매를 혼합하여 슬러리로 만들고 가열하여 수분을 제거하는 슬러리 제조과정, 제조된 슬

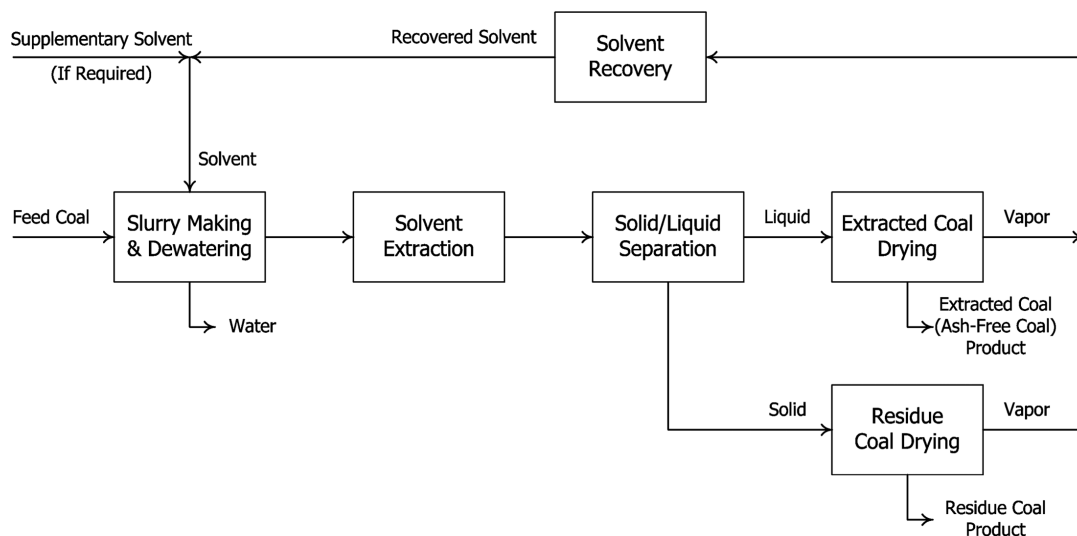


Fig. 1. Solvent extraction process for ash-free coal production.

러리를 임의의 온도 및 압력 조건 하에서 지속적으로 저어 주면서 석탄 내 유기성분을 추출해 내는 추출과정, 추출된 용액과 추출되지 않은 고체상 성분을 분리하는 분리과정, 추출된 용액 및 고체상 잔류물로부터 유기용매를 증발시켜 고체상의 추출탄(무회분 석탄) 및 잔탄을 각각 얻는 건조과정, 그리고 증발된 용매를 응축시켜 회수하는 용매 회수과정 등으로 구성된다.

이러한 고온공정에 대한 경제성 평가는 2005년 일본의 연구자들에 의해 이미 진행된 바 있으며[12], 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 기존의 이 경제성 평가에서는 원료석탄인 갈탄의 처리량(무수무회 조건) 기준으로 6,000 톤/일 규모의 고온조건 용매추출 플랜트를 석탄 산지인 호주 현지에 건설하는 것으로 가정하였다. 이때 1-methylnaphthalene(IMN) 용매를 사용하여 2/1의 용매/석탄 비율로 제조된 슬러리로부터 추출온도 360 °C에서 얻어지는 추출탄의 수율을 25%로 가정하고, 원료탄인 갈탄의 구입가격을 \$8/톤, 잔탄의 판매 가격을 \$35/톤으로 고정시킨 조건에서 추출탄의 판매가격 변화에 따른 15년 후의 IRR 변화를 계산하였다. 이 평가에 적용된 석탄의 특성을 Table 1에, 그리고 평가 결과를 Table 2에 각각 나타내었다. 참고로 Table 2에는 계산 결과의 검증을 위해 본 연구를 위해 작성한 경제성 평가지표 계산 도구에 문헌에서 제시한 값을 넣어 계산한 결과를 비교하여 나타내었으며, 계산 결과는 문헌에서의 값과 일치함을 알 수 있다.

평가 당시 연료용 석탄의 가격이 \$60/톤 정도였음을 감안했을 때 Table 2의 결과로부터 고온공정은 충분한 경제성을 가지고 있으며, 경제성은 추출탄의 가격이 상승함에 따라 더욱 커지는 것을 알 수 있다.

한편, 온순공정은 추출과정에서의 온도 및 압력만 제외하면 기존의 고온공정과 동일하다. 이러한 온순공정에서는 온도 및 압력조건이 고온공정의 경우에 비해 상대적으로 낮으므로 반응기와 관련 설비의 제작비용도 그만큼 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 편의상 온순공정 설비가 고온공정의 것과 동일하다고 가정하고, 경제성 평가 시 온순공정 플랜트의 건설비용은 기존 문헌[12]에서 고온공정 플랜트에 대해 추산한 값을 수정하여 이용하였다.

Table 1. Properties of coals applied to economic analysis[12]

	Moisture [wt%]	Ash [%]	Heat value (G) [kcal/kg]
Feed coal	30.0	1.5	4500
Extracted coal (ash-free coal)	0.0	0.0	8500
Residue coal	0.0	3.5	6500

Table 2. Economic analysis of high temperature ash-free coal extraction plant[12]

Price of extracted coal [\$/t]	Statement of profit and loss [M\$/y]					Cash flow after tax [M\$/y]	IRR15 [%]
	Income	Expense					
		Direct	Depreciation	Tax 40%	Profit after tax		
50	68.54	36.64	5.13	10.71	16.06	21.19 (21.21)*	27 (26.8)*
60	73.56	36.64	5.13	12.72	19.07	24.20 (24.22)*	31 (30.9)*
80	83.60	36.64	5.13	16.73	25.10	30.23 (30.24)*	39 (39.0)*
100	93.65	36.64	5.13	20.75	31.13	36.26 (36.27)*	47 (47.0)*
120	103.69	36.64	5.13	24.77	37.15	42.28 (42.29)*	55 (54.9)*

Construction [M\$]: 77 (Self fund)

Variable cost [M\$/y]: 30.51 (Feed coal: 23.36 + Electricity: 2.45 + Cooling water: 0.72 + Fuel coal: 3.98)

Fixed cost [M\$/y]: 11.25 (Labor: 1.80 + Repair: 2.16 + Administrative: 2.16 + Depreciation: 5.13)

(\*)\*: calculated by the analysis tools made in this research

## 4. 비용 산정

Table 2의 결과는 고온공정을 대상으로 한 것일 뿐만 아니라 2005년도 자료를 기준으로 계산한 결과이다. 따라서 이 자료를 온순공정의 경제성 평가에 적용하기 위해 본 연구에서는 플랜트의 건설비용과 원료의 가격 등을 현재 시세로 보정하고, 각종 비용을 국내 및 석탄 산지 상황에 맞도록 보완하였다.

본 연구에서 평가 대상으로 한 온순공정 플랜트는 기존 문헌과 동일하게 6000 톤/일(무수무회 조건) 규모로 하였으며, 석탄의 주요 생산국인 인도네시아 현지에 건설하는 것으로 가정하였다. 용매추출에 의해 생산되는 추출탄, 즉 무회분 석탄은 전량 국내로 수입하며, 동시에 생산되는 고품위 잔탄은 현지에서 판매하는 것으로 가정하였다.

### 4-1. 건설투자비

6,000 톤/일 규모 고온공정 플랜트의 건설비용으로 일본 문헌에서 추산하였던 \$77백만은 2005년 기준 값이므로 이것을 Chemical Engineering Plant Cost Index(CEPCI)를 이용하여 현재 가치로 환산하였다. 2005년의 지수(468.2)와 2011년 4월의 지수(582.3)를 사용하여 계산하면 석탄의 용매추출 플랜트 건설비용은 약 \$96백만 이 된다.

### 4-2. 재료비

원료탄으로는 인도네시아 현지에서 생산되는 저등급 석탄을 사용하며, 생산된 제품도 인도네시아 현지로부터 판매된다. 인도네시아 산 저등급 석탄의 2011년 2월 기준 FOB 가격이 \$50.89/톤[13] 이므로 플랜트가 석탄 산지에 건설되는 점을 고려하여 원료 및 연료로 사용되는 석탄의 현지 구입 가격은 \$45/톤으로 설정하였다.

### 4-3. 기타 비용

노무비로는 인도네시아의 일인당 연간 급여로 \$8,500을 설정하고, 이 금액에 국내의 근로기준법에 의하여 구한 수당 및 퇴직금을 합산하여 적용하였다[11].

전기 비용 계산에는 인도네시아 산업용 전기요금인 \$0.10/kWh[14]를 적용하였다. 설비의 연간 가동시간은 8000 시간으로 가정하였다.

연료비는 수분의 증발 및 석탄의 추출을 위해 슬러리를 가열하는데 필요한 연료 구입에 소요되는 비용이다. 연료로는 원료로도 사용되는 저등급탄을 사용한다. 고온공정에서는 슬러리를 360 °C로 가열하는 반면 온순공정에서는 250 °C로 가열하는 것으로 가정하였다.

**Table 3. Estimated cost of mild condition coal extraction plant**

Cost	Requirement/year	Unit price [\$]	For a year [M\$/y]
Feed coal [t]	2,919,708	45.00	131.39
Electric power [kWh]	40,800,000	0.10	4.08
Cooling water [t]	36,000,000	0.02	0.72
Fuel coal [t]	497,778	45.00	22.40
Transportation [t]	200,000	20.00	4.00
Labor [persons]	30		0.29
Repair			0.08
Administrative			8.46
Welfare			0.03
Depreciation			5.13

가열 온도와 석탄, 수분 및 용매의 열용량 값을 바탕으로 필요 열량을 계산한 후 이에 필요한 연료탄의 양을 구하였다. 그리고 공정 중의 각종 열손실을 고려해 계산된 값의 150%를 최종 연료비로 적용하였다.

수선비는 투자비 연간 환산 비용의 1.5%, 복리후생비는 급여의 10%로 가정하였다. 감가상각비는 15년 후 잔존가치가 없는 것으로 가정하여 투자비의 연간 환산 비용을 적용하였다. 일반관리비는 행정안전부 규정[15]을 참조하여 제조원가의 8%를 계상하였고, 제품의 국내 수송비는 본선 인도 비용과 해상 운임을 고려하여 \$20/톤으로 가정하였다.

본 경제성 평가에 적용된 비용 산정 내역을 Table 3에 나타내었다.

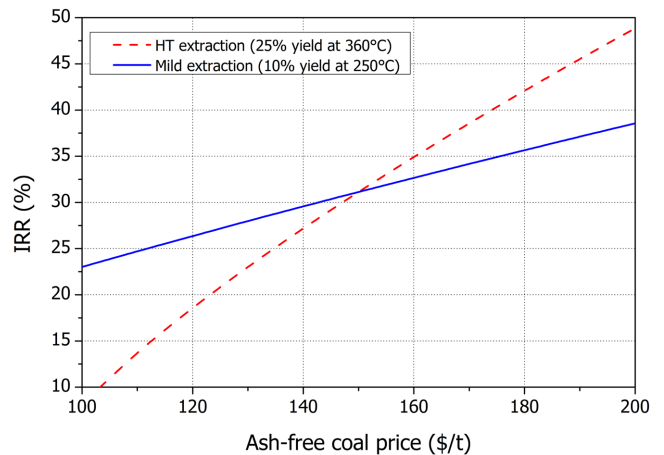
## 5. 경제성 분석

### 5-1. 초기값

온순공정 플랜트에 대한 본 경제성 평가에서는 설비의 내용 연수를 15년, 설비 투자기간을 2년, 할인율을 12%, 그리고 인도네시아 법인세율을 25%[16]로 각각 가정하였다. 발전용으로 수출되는 발열량 6,500 kcal/kg 이상의 인도네시아 산 석탄의 2011년 2월 기준 FOB 가격이 \$126.70/톤[13]임을 감안하여 본 공정을 통해 생산되는 고품위 잔탄의 판매가격은 이보다 저렴한 가격인 \$110/톤으로 설정하였다. 또한 원료 및 연료로 사용되는 석탄의 특성은 Table 1의 것과 동일한 것으로 가정하였다. 그리고 온순조건인 250 °C에서의 무회분 석탄 추출 수율은 실험 결과[10]를 바탕으로 10%로 설정하였다.

### 5-2. 경제성 분석

Fig. 2는 360 °C의 고온에서 25%의 수율(1,500 톤/일)로 무회분 석탄을 추출하는 경우와 250 °C의 온순조건에서 10%의 수율(600 톤/일)로 무회분 석탄을 추출하는 경우에 대해 무회분 석탄 판매가격 변화에 따른 플랜트의 IRR 변화를 나타낸 결과이다. 무회분 석탄의 판매가격을 \$100/톤부터 \$200/톤까지 상승시키에 따라 고온공정 플랜트의 IRR은 매우 민감하게 변화함을 알 수 있다. 반면 온순공정 플랜트의 경우에는 IRR이 23%에서 38%까지 완만하게 상승하며, 평가 범위 내에서 투자가치 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이것은 온순공정의 경우 무회분 석탄보다는 고품위 잔탄의 생산비용이 고온공정의 경우에 비해 높기 때문에 무회분 석탄의 판매 가격 변화가 IRR의 변화에 미치는 영향이 그만큼 적어지기 때문이다. 한편, 무



**Fig. 2. Variations of IRR of ash-free coal extraction plants as a function of ash-free coal price.**

회분 석탄의 가격이 \$150/톤이 되면 온순공정과 고온공정 플랜트의 IRR이 거의 같아지는 것으로 나타났다.

### 5-3. 민감도 분석

온순공정 플랜트의 경제성을 결정짓는 주요 인자를 파악하기 위해 원료탄 구입가격, 무회분 석탄의 판매가격, 잔탄의 판매가격, 그리고 무회분 석탄의 추출수율 변화에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석에서는 각 인자가 기준 값의 -25~25%로 변화할 때 그 변화가 IRR, B/C ratio, NPV, 그리고 DPP에 미치는 영향을 구하였다. 이 분석에서 현재 시세를 반영하여 원료탄의 기준 구입가격은 \$45/톤, 무회분 석탄의 기준 판매가격은 \$150/톤, 잔탄의 기준 판매가격은 \$110/톤으로 하였으며, 온순공정의 기준 수율은 10%로 설정하였다.

Fig. 3에 민감도 분석 결과를 나타내었다. 민감도 분석 결과 온순공정 플랜트의 IRR, NPV, B/C ratio, 그리고 DPP 모두 잔탄 판매가격과 원료탄 구입가격의 변화에 크게 영향을 받는 반면, 무회분 석탄의 판매가격이나 수율의 변화에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이것은 온순공정의 경우 무회분 석탄보다는 고품위 잔탄의 판매가격이 이윤 형성에 큰 비중을 차지하며, 전체 비용 산정에 있어 원료탄 가격이 큰 비중을 차지하기 때문이다. 원료탄 가격이 낮아지면 일정량의 제품 생산에 소요되는 비용이 크게 감소하므로 이익이 커지게 되고, 잔탄의 판매가격이 높아지면 동일 비용으로도 보다 많은 이익을 얻게 되므로 온순공정 플랜트의 경제성은 높아지게 된다. 그러나 원료탄 가격이 기준 값보다 14% 이상 상승한다거나 잔탄의 판매가격이 12% 이상 하락된다면 온순공정 플랜트는 투자가치 기준에 못 미치게 된다.

한편, 현재 시세를 반영하여 설정한 기준 조건(variation=0%)에서 플랜트의 IRR은 31%, NPV는 \$87M, B/C ratio는 1.08, DPP는 3.9년인 것으로 나타났다. 이들 경제성 평가 지수 값은 모두 온순공정 플랜트가 충분한 경제성을 가지고 있음을 나타내고 있다.

원료탄 구입가격 변화에 따른 잔탄의 판매가격 결정을 위해 원료탄의 구입가격과 잔탄의 판매가격 변화에 대한 온순공정 플랜트의 NPV의 변화를 구하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림에 나타난 NPV 계산 결과에서 원료탄의 구입가격이 \$45/톤일 경우 석탄의 온순조건 용매추출 플랜트가 경제성을 가지기 위해서는 잔탄의 판매 가격이 \$97/톤 이상이어야 함을 알 수 있다.

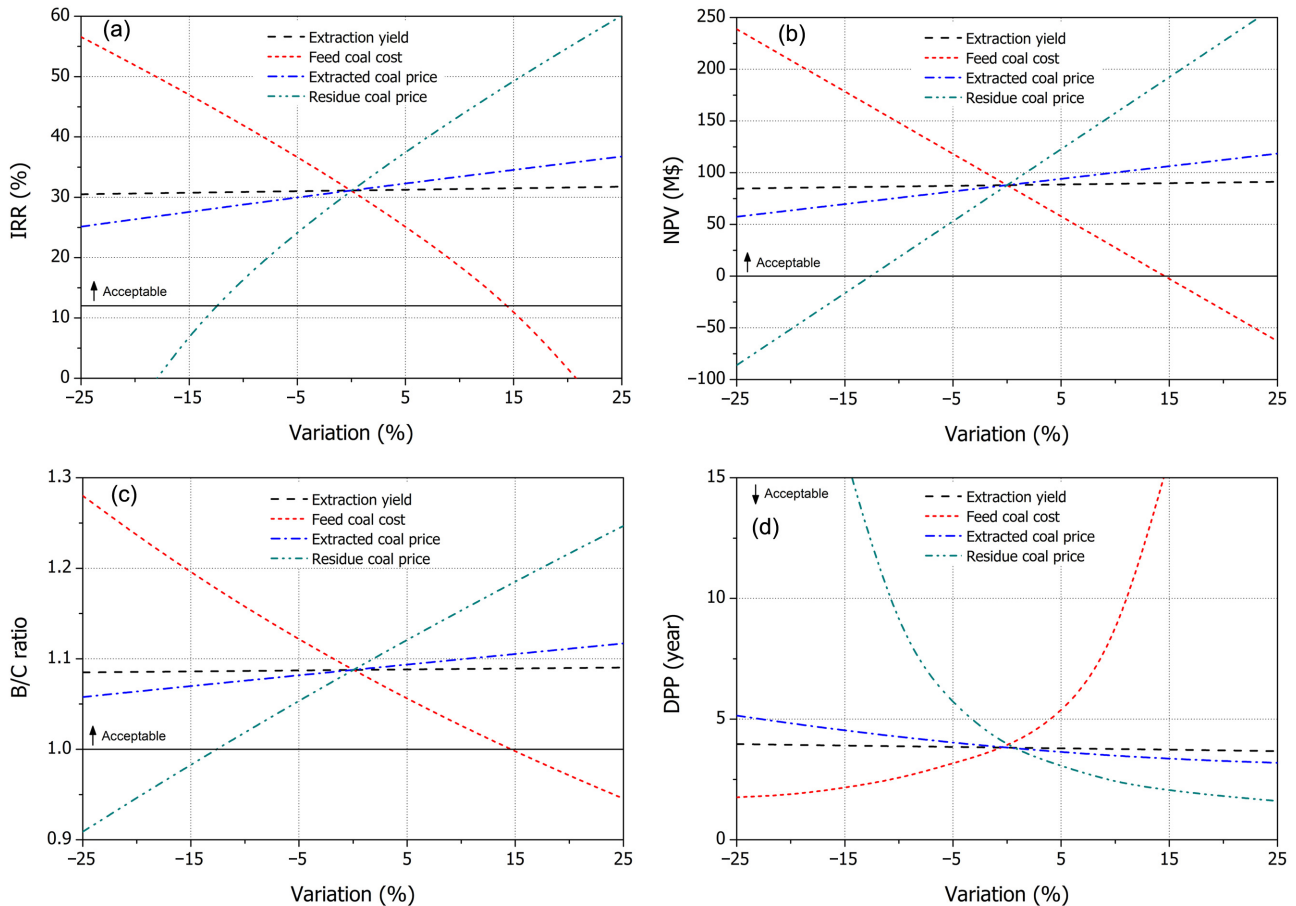


Fig. 3. Sensitivity analysis results: (a) IRR, (b) NPV, (c) BC ratio, and (d) DPP.

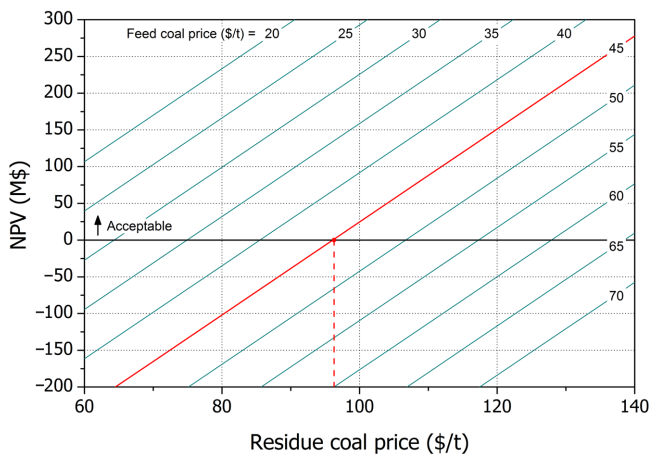


Fig. 4. NPV of mild condition extraction plant at various feed coal cost and residue coal price.

## 6. 결 론

본 연구에서는 인도네시아 현지에서 건설되는 저등급 석탄을 원료로 하는 6,000 톤/일 규모의 온순공정 플랜트에 대한 경제성을 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

온순공정 플랜트의 경제성은 생산되는 무회분 석탄의 판매가격보다는 주로 원료탄의 구입가격과 고품위 잔탄의 판매가격에 의해 좌우되었다. 이것은 온순공정의 경우 무회분 석탄보다는 고품위 잔탄

의 생산비용이 높기 때문이다.

현재 시세 적용에 의해 계산된 플랜트의 IRR, NPV, B/C ratio, DPP 등의 경제성 평가 지수를 검토해 보면 대상으로 한 온순공정 플랜트는 충분한 투자 가치가 있는 것으로 판단할 수 있었다.

## 참고문헌

- BP, "Statistical Review of World Energy," (2011)(<http://www.bp.com>).
- Ellison, G. and Stanmore, B. R., "High Strength Binderless Brown Coal Briquettes Part I. Production and Properties," *Fuel Process. Technol.*, **4**(4), 277-289(1981).
- Bergins, C., Berger, S. and Strauß, K., "Dewatering of Fossil Fuels and Suspensions of Ultrafine Particles by Mechanical/Thermal Dewatering," *Chem. Eng. Technol.*, **22**(11), 923-927(1999).
- Hulston, J., Favas, G. and Chaffee, A. L., "Physico-Chemical Properties of Loy Yang Lignite Dewatered by Mechanical Thermal Expression," *Fuel*, **84**(14-15), 1940-1948(2005).
- Bongers, G. D., Jackson, W. R. and Woskoboienko, F., "Pressurised Steam Drying of Australian Low-Rank Coals: Part 1. Equilibrium Moisture Contents," *Fuel Process. Technol.*, **57**(1), 41-54(1998).
- Allardice, D. J., Clemow, L. M., Favas, G., Jackson, W. R., Marshall, M. and Sakurovs, R., "The Characterisation of Different Forms of Water in Low Rank Coals and Some Hydrothermally Dried Products," *Fuel*, **82**(6), 661-667(2003).

7. Umar, D. F., Daulay, B., Usui, H., Deguchi, T. and Sugita, S., "Characterization of Upgraded Brown Coal (UBC)," *Coal preparation*, **25**(1), 31-45(2005).
8. Morimoto, M., Nakagawa, H. and Miura, K., "Low Rank Coal Upgrading in a Flow of Hot Water," *Energy Fuels*, **23**(5), 4533-4539(2009).
9. Lee, S. H. and Kim, S. D., "Technology for the Preparation of Ash-free Coal from Low Rank Coal (LRC)," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **46**(3), 443-450(2008).
10. Lee, S. H., Kim, S. D., Jeong, S. K., Rhim, Y. J., Kim, D. H. and Woo, K. J., "Ultrasonic Effect on the Extraction of Ash-free coal from Low Rank Coal," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **46**(3), 555-560 (2008).
11. Chun, D. H., Kim, S. D., Rhim, Y. J. and Lee, S. H., "Economic Analysis of Upgrading Low Rank Coal Process," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **49**(5), (2011).
12. 神戸製鋼所, "ハイパーコール利用高効率燃焼技術の開発成果報告書," 石炭利用次世代技術開発調査 成果報告書(2005).
13. Argus Media Ltd., "Argus/Coalindo Indonesian Coal Index Report," Issue 008(2011)(<http://www.argusmedia.com/Coal/~media/Files/PDFs/Samples/Argus-Coalindo-ICI.ashx>).
14. KOTRA (<http://www.kotra.or.kr>).
15. Ministry of Public Administration and Security, Costing and Pricing Conventions for Local Governments(2010).
16. Wikipedia, The Free Encyclopedia, "Tax around the World," (2010) ([http://en.wikipedia.org/wiki/Tax\\_rates\\_around\\_the\\_world](http://en.wikipedia.org/wiki/Tax_rates_around_the_world)).