DR콩고 루뭉바시 슬래그再處理事業의 經濟性 評價[†]

*金瑜淨 · 金大炯

韓國地質資源研究院

Feasibility Analysis on Slag Reprocessing Project in Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo[†]

*Yu Jeong Kim and Dae Hyung Kim

KIGAM

요 약

콩고민주공화국(Democratic Republic of Congo, 이하 DR콩고)은 세계적 자원부국으로 특히 코발트, 철광석, 구리, 다이아몬드 등이 풍부하다. 주요 광물자원의 대부분을 수입에 의존하고 있는 한국은 2008년부터 콩고정부와 한국이 항만 건설을 지원하고, 그 보상으로 루뭉바시 슬래그재처리를 통해 아연, 코발트, 구리 등 유용광물을 회수해가는 프로젝트에 대한 검토를 추진하여 왔다. 본 연구는 DR콩고의 루뭉바시 슬래그 재처리 사업에 대한 경제성 분석을 수행한 것으로, 연구 결과에 따르면 투자회수기간(pay back period)은 6.7년, 순현재가치(NPV) 3,400만달러, 내부수익률(IRR)은 17.4%로 나타났다. 또한 세제, 고정비용, 운영비용, 자원가격 등에 대한 불확실성을 적용한 민감도 분석 결과 프로젝트의 순현재가치는 최저 -2,480만달러에서 최대 9,270만달러로 나타났다.

주제어 : 경제성 평가, 콩고민주공화국(DRC), 슬래그, 순현재가치, 내부수익률

Abstract

One of the world's top resource-rich countries, the Democratic Republic of the Congo has ample reserves of cobalt, iron ore, copper and diamond in particular. Importing most of major mineral resources, the Republic of Korea has examined—together with the Congo government since 2008—the possibility of a project where it supports port construction in the Democratic Republic of the Congo and acquires useful minerals such as zinc, cobalt and copper in exchange through slag reprocessing in the local city of Lubumbashi. This study conducted feasibility analysis on the slag reprocessing project in Lubumbashi, Congo and found that the project's payback period stands at 6.7 years, net present value(NPV) at 34 million dollars and internal rate of return(IRR) at 17.4%. According to sensitivity analysis that takes into account uncertainties concerning taxation, fixed cost, operational cost and resource prices, the NPV of the project ranges from -24.8 million dollars to 92.7 million dollars.

Key words : Feasibility study, Democratic Republic of Congo, Slag, Net Present Value, Internal rate of Return

1. 서 론

콩고민주공화국(DR콩고)은 세계적 자원부국으로 코발트, 구리, 아연, 주석, 다이아몬드, 은, 니오븀, 탄탈륨 등이 주요 생산 광산물이다. DR콩고는 세계 코발트의 51%가 매장되어 있어 세계 코발트 최대 매장 및 생산

국가이며, 구리는 세계 매장량의 13%를 점유하고 있는데, 특히 광석 중 구리 함량이 높고 코발트, 아연, 게르마늄, 카드뮴, 금, 은, 백금, 몰리브덴 등을 함유하고 있어 더 큰 관심을 받고 있다. 또한 콜탄은 세계 매장량의 90%를 점유하고 있다. DR콩고의 광산개발은 세계적인 구리·코발트 매장지역인 Copper Belt가 위치한 카탕가주(Katanga)에 집중되어 있다.¹⁾

광업 부문 투자와 관련하여 DR콩고의 광업은 경제발전에 필요한 가장 중요한 재정수입원의 역할을 담당하

[†] 2011년 10월 28일 접수, 2011년 11월 25일 1차수정

2012년 1월 12일 2차수정, 2012년 1월 26일 수리

*E-mail: kyj@kigam.re.kr

Table 1. Deposits of key resources of DR Congo

	DR Congo Reserve (A)	World Reserve (B)	Share of DR Congo (A/B)
Cu	75,000	540,000	13.8 %
Co	3,400	6,600	51.5 %
Fe	1,000,000	7,700,000[crude ore 160,000,000]	13 %
Sn	450,000	5,600	-
Zn	7,000	200,000	3.5%
Mn	7,000	540,000	1.3%
Au	6,000	47	1.3%
Diamond	150,000	580,000	26 %
Nb	30,000	2,900	-
Li	3.15	9,900	0.032%

(Source: 콩고민주공화국 광업 편람, 2010)

고 있다. DR콩고의 주요 광물자원개발 프로젝트를 수행하는 기업들은 대부분 외국기업들이고, DR콩고 기업들의 프로젝트 참여는 제한적이다. DR콩고에는 6개의 국영자원개발기업(GECAMINES, MIBA, SOMINKI, OKIMO, SODIMICO, EMK-Mn)이 국가 광업권을 보유하고 있으며 국영기업별로 사업대상 광종이 구분되어 있다.

캐나다 Fraser Institute에서는 설문을 통해서 세계 자원개발 투자사에게 자원보유 71개국에 대한 투자 의사를 조사하였는데(Survey of Mining companies 2008/2009)²⁾, 해당조사에 따르면 DR콩고는 현재 법에 의거한 행정 집현의 불확실성, 기반시설, 노동 및 기술 공급력 등은 투자 최하위권에 속하며 현 상황에서 투자여의는 53%로 71개 투자대상국 중 56위에 속하는 것으로 나타났다. 그러나 향후 개선 능력은 71개국 중 11위로 높이 평가받고 있으며 개선이 이루어진다는 조건하에서는 94%가 투자 의사가 있으며 총 투자대상국 중 투자 순위 19위를 차지하는 것으로 나타났다.

2008년 초부터 한국과 DR콩고 정부는 DR콩고에 Banana항만을 개발하고 이와 관련하여 자원개발사업을 연계하는 자원동반진출 사업추진을 위한 논의가 진행되어 왔다. 이와 관련하여 양국 정부는 MOU를 2009년 5월 8일 체결하고, 실무협의회를 통해 DR콩고측은 바나나항 개발협력을 위해 루뎀바시 슬래그를 비롯하여 몇 개의 자원 프로젝트에 대해 한국과의 공동 추진을 제안하였다.

본 연구에서는 Banana항만개발과 연계하여 DR콩고측

에서 한국과 공동개발을 위해 제안한 카탕카주 “루뎀바시 슬래그” 재처리 사업의 경제성 평가를 수행하였다.

2. 루뎀바시 슬래그 재처리 사업의 개요

카탕카주 루뎀바시 슬래그는 Kamoto, Kipushi광산의 황화광 정광(46-60% Cu)을 Gecamine제련소에서 제련한 후 발생한 슬래그를 1924년부터 1992년까지 적치한 것이다. 이는 랜드마크로 사용 될 정도로 매우 큰 규모이고, 높이 100 m, 상부 기울기는 30%, 하부 기울기 25%로 비대칭 형상으로 Lubumbasi Big Hill로 불려지기도 한다.

현재 Lubumbasi Big Hill의 슬래그 1,200만톤 중 860만톤에 대한 권리는 Gecamine이 보유한 상태이며, 나머지 400만톤은 1997년부터 GTL/STL사가 재처리(Big Hill Project)를 통해 유용광물을 생산하고 있다.

Gecamine은 Big Hill Project 추진을 위해 과거 시추 등을 통해 비교적 정밀한 슬래그에 대한 매장량 및 품위에 대한 자료를 구축하고 있다. 우리나라가 바나나항 개발 사업과 관련하여 제안 받은 루뎀바시 슬래그는 Lubumbasi Big Hill 중 GTL-STL사가 현재 개발 중인 400만톤을 제외한 나머지 860만톤에 해당한다. Lubumbasi Big Hill은 축적 시기에 따라 12개의 층으로 구성되어 있으며, 현장조사를 통해 3D모델링을 실시한 단면 및 3D모형은 Fig. 1과 같다.³⁾

DR콩고의 Gecamines 내부자료에 의하면, Lubumbasi Big Hill은 산지가 다른 정광의 제련시에 발생한 슬래그

Fig. 1. Cross section and 3D model of Lubumbashi Slag in DR Congo.

Fig. 2. Comparison of slag grade (left) and metal content (right) by ownership structure of Lubumbashi Slag in DR Congo (Gecamines vs. GTL-STL).

를 적치한 것으로 슬래그 내 대표적 유용광물인 Cu, Zn, Co의 함량도 다양하게 나타나고 있다.⁴⁾ 우리나라가 제안 받은 재처리 대상 슬래그는 주로 구리, 코발트, 아연이 함유되어 있으며, 아연 함유량이 15%로 가장 높고, 코발트 함량은 0.36%로 낮은 편이다. 금속량 기준으로는 구리는 약 12만톤, 아연은 130만톤, 코발트는 31만톤이었다(Table 1). 한편, GTL-STL사가 개발 중인 슬래그는 우리나라가 제안받은 슬래그에 비해 구리의 품위는 유사하나, 코발트 품위는 2%로 높고, 아연 품위는 7%수준으로 낮은 편이었다(Fig. 2).

3. 슬래그 처리기술 선정

본 연구에서는 루뎬바시 슬래그의 적치량 규모와 DR 콩고의 제도적 정치적 불안정성을 고려하여 가행기간을 15년으로 가정하였으며, 그에 따라 연간 슬래그 처리량을 약 58만톤으로 추정하였다. 연간처리량(Throughput) 58만톤을 GTL/STL사와 같이 '전기로'로 용융환원하는 공법을 적용하기 위해서는 다수의 전기로가 필요해 고정비용 및 운영비용 등 생산비 부담이 가중된다.

슬래그를 재처리하는 기술 중 고려아연이 운영하고 있는 Top Submerged Lance(TSL)시스템은 비철제련 공정의 유해 부산물에서 유기금속 회수 및 슬래그의 안정화 기술이다. 해당 기술은 Zn, Fe, Pb, Sb, Ag, Au, Cu, Ge, In 등의 금속을 함유한 비철제련 공정부산물을 용융로(smelting furnace)와 휘발로(fuming furnace)의 상부에 설치된 반응열원 공급관(TSL)을 이용하여 석탄과 연소용 공기, 산소 등 고온고압의 연소용 가스를 노내 용탕 속으로 직접 주입함으로 강력한 난류(Turbulence)를 유발시켜 고온에서 용융휘발된 유기금속의 회수가 가능하고 잔류물을 불용성 슬래그로 안정화하는 기술이다.

루뎬바시 슬래그 재처리 개발을 위해 친환경적이며, 대용량 처리가 가능한 TSL공법의 적용을 제안하고 이를 기준으로 경제성 평가를 실시하였다. 본 경제성 평가에서는 건조-환원-용융제련 공정을 통해 철, 구리, 코발트 합금상 회수와 배기가스 응축을 통해 산화아연을 회수하는 것을 기본 공정으로 한다. 또한 해당공정에서 발생한 슬래그는 무해화한 것으로 도로 포장재 건설골재 등으로 원료화 하는 것을 기준으로 적용하였다. 따라서 최종산물은 산화아연과 Cu-Co 합금철(Fe-Cu-Co

Table 2. Deposits and grades of Lubumbashi Slag in DR Congo

Layer	Tonnage (ton)	Grade (%)			Metal Tonnage (ton)		
		Cu	Zn	Co	Cu	Zn	Co
A	241,839	1.18	13.06	0.60	2,854	31,584	1,451
B	125,919	2.45	5.89	0.29	3,085	7,417	365
C	214,432	1.78	9.20	0.15	3,817	19,728	322
D	1,382,670	1.04	15.28	0.17	14,380	211,272	2,351
E	1,943,948	1.36	15.65	0.46	26,438	304,228	8,942
F1	2,613,281	1.09	17.00	0.22	28,485	444,258	5,749
F2	140,908	1.29	19.55	0.23	1,818	27,548	324
G1	1,565,801	1.14	13.51	0.52	17,850	211,540	8,142
G2	138,816	1.10	11.37	0.87	1,527	15,783	1,208
H	53,656	1.89	9.65	0.75	1,014	5,178	402
L	215,082	6.42	13.59	0.75	13,808	29,230	1,613
M	25,917	2.14	13.69	0.26	555	3,548	67
Total	8,662,269	-	-	-	115,630	1,311,312	30,937

(Source : Gecamines 내부자료)

Fig. 3. Techniques and (suggested) processes applied to Lubumbashi Slag reprocessing.

Alloy) 형태로 가정하였다. 회수율은 고려아연에서 TSL공법으로 처리한 슬래그 중의 금속 함량이 루분바시 슬래그 중의 금속 함량과 유사하여, 고려아연에서 현재 TSL 공법으로 처리하는 슬래그 회수율 즉, 제련 회수율을 구리 70%, 코발트 50%, 아연은 80%로 적용하였다.

4. 경제성 분석

4.1. 기본 가정 (Reference Scenario)

광업분야에 대한 DR콩고의 광업법 및 외국인 투자법에 따라 법인세는 30%를 적용하였으며, 슬래그에서 회수하는 금속이 비철금속 분류에 속하므로 로열티는 광업법 기준에 따라 2%를 적용하였다. 또한 관세에 있어서는 수출관세 1%를 적용한다.

루분바시 슬래그의 경우 주변에 기반시설이 갖춰진 상태로서 제련 설비 가동 및 수송에 필요한 기반시설 설비 등은 많은 시간이 소요되지 않을 것으로 판단되었다. 그리고 일반 자원개발사업의 경우에는 광산, 선광장, 광미땀, 정제련 공장 등에 대한 설비 및 설치가 필요하나, 슬래그는 재처리 공정으로 제련공정에 대한 설비를 갖추는 정도로 공장설립기간은 길지 않을 것으로 판단되어 허가 및 준비기간을 포함하여 공장설립기간은 2년으로 책정한다.

할인율은 일반적으로 무위험 할인율(Risk Free Rate)과 시장리스크프리미엄의 합으로 산정한다. 본 평가에서는 무위험 할인율은 10년 만기 미국 국고채권(Treasury Bond) 이자율[3.85%(2009.12월 기준)]로, 시장리스크 프리미엄은 Damodaran(Aswath Damodaran, 2010)⁵제시 국가신용등급 지수를 이용한 할인율(10.5%)을 사용하여 할인율은 14.35%를 적용한다.

경제성 평가를 위한 기준일은 2009년 12월 31일이며, 경제성 평가를 위하여 고려아연의 TSL 공법 운영 사례와 DR콩고에서 진행중인 자원개발사업 기술보고서 및 사업타당성 보고서(SRK Consulting, 2009; James W. Hendy *et al.*, 2005)^{6,7)} 등을 참조하여 각 항목별 추정 근거 자료를 검토 후, 이를 기초로 하여 대상사업 평가 실시한다.

Table 3. Basic assumptions for feasibility Study

Reserves	8,660,000 ton
Throughput per year	580,000 ton
Grade(%)	Cu: 1.34 Co: 0.36 Zn: 15.15
Recovery rate(%)	Cu: 70 Co: 50 Zn: 80
Life time	15 years (work days year : 300 days)
Construction period	2 years
Pre-production period	0 years
Final product	ZnO, Fe-Cu-Co Alloy
Final product price	Zn : \$2,000/t-Zn Cu: \$ 2/lb Co: \$ 18/lb ZnO : \$ 1300 65% of Zn metal price Fe-Cu-Co Alloy: Cu 73%, Co 100% credit
Discount rate	Risk Free Rate (3.85) + Market Risk Premium (10.5) = 14.35% U.S. 10-years Treasury Bond Damodaran(2009)'s country risk premium
Environment costs	0.5M\$

(Source : 김유정 외, 2010³⁾)**Table 4.** Fixed cost mix for Lubumbashi slag reprocessing project

Content				Cost
CAPEX	Development cost	Equipment cost	TSL and transportation device	M\$ 132.21
			Building	M\$ 20.30
			Oxygen Plant	M\$ 15.30
		Infra-structure cost	Utility/Infra(Slag transfer trailer, road, electric power grid, water grid)	M\$ 33.19
		Contingency cost	12% of sum of Processing plan cost and infra structure cost	M\$ 24.12
	Maintenance cost	Replacement cost	Replacement of equipment and reinstallation of infra structure	M\$ 10.00
	Sunk cost	FS	Feasibility Study	M\$ 4.40
	Sum			M\$ 239.52

(Source : 김유정 외, 2010³⁾)

4.2. 비용 (Cost)

4.2.1. 고정비용

고정비용은 크게 유형자산의 구입 및 건축에 소요되는 개발비용(development costs), 생산 시작 후 운영기간 중에 추가적으로 발생하게 되는 운영유지비용(sustaining costs), 그리고 이미 자본적 지출이 이루어진 매몰비용(sunk costs)으로 구분한다. 대부분의 고정비용을 차지하는 개발비용의 경우 설비비용(equipment cost), 기반시설 비용(infra structure cost), 예비비(contingency cost)로 구성된다. 내역 중 약 12%는 예비비로 구성하여, 물가 상

승, 공장 및 건물 등의 환경의 변화 등으로 추가적으로 발생 가능한 투자 금액에 대비하는 것으로 하였다. 운영유지비용은 설비가 가동되는 3차년부터 소요되며, 연간 0.8 ~ 3 M\$ 소요되는 것을 가정하였다. 매몰비용은 사전 준비기간 동안 소요된 비용으로 타당성 검토(feasibility study) 비용, 행정 비용 등을 포함한다.

4.2.2. 운영비용

고려아연의 사업보고서(2009), TSL 경제성평가자료(이상훈, 2003)⁸⁾ 등을 기반으로 하고 고려아연 전문가 심층

Fig. 4. Wage level and business category of DR Congo.

Table 5. Operational cost mix for Lubumbashi slag reprocessing project

Content				Cost
OPEX (Annual)	Operating cost	Labor cost	DR Congolese worker(\$300/m) Korean specialist (\$99,000/Y)	\$ 2,025,000
		Water	Boiler water, raw water, cold water	\$ 2,844,882
		Raw material	Hard coal, sand, etc.	\$ 19,279,439
		Energy cost	Oxygen, nitrogen, gas, hight oil, electricity	\$ 28,410,417
	Maintenance cost		utility/equipment/Infra maintenance	\$ 14,429,000
	G&A(Include Indirect cost)		20%	\$ 13,802,748
	Sum			\$ 80,791,485
OPEX per Slag ton				\$ 139.3

(Source : 김유정 외, 2010³⁾)

면담을 통해 설비용량 및 처리량을 고려한 영업비용을 산정하였으며, 원료비 및 용수비 등은 국내 기준으로 산정하였다.

영업비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 원료비(Raw material cost)로서, 가공 및 공장설비 운영을 위해서 다양한 원료의 소모가 다량으로 이루어짐에 따라 전체 영업비용 중 37% 이상을 차지하고 있다. 회사의 영업비용은 에너지비용에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있으며, 따라서 원료들의 가격 변동 추이에 따라 회사 영업비용 전체가 크게 영향을 받게 된다. 인건비의 경우 TSL운용 및 관리는 국내 전문가가 담당하며, 그 외 업무는 현지인력을 활용하는 것으로 구성하였다. 현지 인력 인건비는 DR콩고 평균임금 수준으로 고려하였으며

(RAID,2009)⁹⁾, 국내 전문가의 경우 외국인 임금에 대한 세금(10%)을 고려하여 인건비를 책정하였다.

일반관리비 항목으로 책정되는 일반관리비(간접비 포함)는 각종 세금 및 부가세등을 포함하여 산정하고, 책정비용은 DR콩고 자원개발 프로젝트 사업타당성 검토 비용, 면적세 및 운반비용 등을 고려하였다.

4.2.3. 감가상각(Depreciation)

감가상각 대상 항목은 자본적 지출(Capital Expenditure)로 인해 발생한 자산 외에 고정비용 투입기간 사이에 발생한 모든 비용(Financing Fees, Interest Expenses, Taxes 등)은 자본화 한 후 감가상각하였다. 모든 감가상각 대상 자산은 정액법(Straight Line Method)의 방식을 사용하

Fig. 5. Annual average price of copper.

Table 6. Long-term equilibrium price of copper

Content	Publication time	2010E	2011E	2012E	2013E	Long Term
Frontera Copper	(Feb 2, 2010)	3.30	3.20	2.35		2.00
RBC Capital Markets	(Aug 25, 2009)	2.50	2.75	3.00	3.25	1.75
BAJA Mining COR	(Jan 15, 2010)	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
CRU Group	(Mar 17, 2009)	1.17	1.24	1.31	1.36	1.84
Barclays Capital	(July, 2009)	1Q2.04 / 2Q2.72 3Q2.27 / 4Q 2.95	-	-	-	-

여 상각하였다.

4.3. 수입 (Income)

4.3.1. 금속자원 기준 가격

금속자원 가격은 경제성 평가에 있어서 매우 큰 영향을 주는 요소이다. 따라서 금속자원 가격을 산정하는 기준은 합리적이어야 한다.

최근의 자원가격은 매우 변동성이 크고, 불안정한 상태이며, 또한 생산을 시작하는 시점이 앞으로 2-3년 후로 현재 가격을 그대로 적용하는 경우 리스크가 내재된다. 따라서 본 평가에서는 세계금융권 및 자원관련 업계에서 공표한 장기균형 가격 및 2009년 말 및 2010년 초에 수행 및

발행된 사업타당성 보고서(SRK Consulting, 2009; Baja Mining Corp., 2010; MarketWatch, 2010)^{6,10,11)}에서 사용한 금속자원 가격을 조사하였다.

구리가격은 전반적으로 증가추세를 이루고 있으나, 국제 금융계 및 자원계에서는 2013년을 기점으로 하락하여 장기균형가격은 파운드당 1.84\$에서 2.25\$에 이를 것으로 전망하고 있다. 본 연구에서는 이러한 추세를 반영하여 구리금속의 가격을 파운드당 2\$로 적용하였다.

코발트의 장기균형가격은 파운드당 10\$에서 22.52\$ 수준으로 전망되고 있어 본 연구에서는 18\$를 적용하였다.

아연금속의 가격은 현재 2000달러 수준을 유지할 것으로 전망되어 톤당 2000달러를 적용하였다.

Fig. 6. Annual average price of cobalt.

Table 7. Long-term equilibrium price of cobalt

Content	Publication time	2010E	2011E	2012E	2013E	Long Term
CRU Group	(Mar 17, 2009)	23.00	17.00	13.00	9.00	10.00
Formation Metals Inc.	(Feb 25, 2010)	22.52	22.52	22.52	22.52	22.52
BAJA Mining COR	(Jan 15, 2010)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Hard Creek Nickel COR	(Mar 5, 2010)	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
RBC Capital Markets	(Aug 25, 2009)	15.00	11.50	11.50	11.50	11.50
Katanga Mining Limited	(Sep 8, 2009)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Metal Bulletin	(Feb 22, 2010)	19.52				

(Source : 김유정 외, 2010³⁾) **Fig. 7.** Annual average price of zinc.

4.3.2. 최종 산물 가격

산화아연 가격은 정광 산정 기준에 따라 산정하여 아연금속 가격의 65%로 책정하였다. 구리-코발트 합금 가격은 구리 정광 가격 산정을 기준으로 하였다. 즉, 합금내 구리 함량이 약 10%수준으로 구리정광과 유사한 품위로

구리 정광가격 산정 방식을 이용하여 도출하였다. Glenn Barr(2005)¹²⁾연구에 따르면 구리정광의 제련/정련비 및 변동수수는 구리금속가격의 약 23%에 해당한다는 실증분석결과를 활용하였다. 따라서 구리가격은 금속가격의 77%를 적용하였으며, 코발트가격은 100% 반영하였다.

Fig. 8. TC/RC/PP ratio of Copper.

Table 8. Feasibility of slag reprocessing of Lubumbashi

Initial Capital Cost	M\$ 229.52
Operating Cost	\$ 139.3/Slag ton
Pay Back Period (ATBI) (Years)	6.69
NPV (ATBI) (M\$)	33.95
IRR (ATBI)	17.4%

(Source : 김유정 외, 2010³⁾)

Fig. 9. Cash flow and cumulative cash flow(before & after tax).

4.4. 경제성 평가

경제성 평가를 위해 캐나다 InfoMine사가 개발한 “IC-MinEval” 소프트웨어를 사용하여 경제성 평가를 실시하였다. 루분바시 슬래그 재처리 사업의 경제성은 투자회수기간(Pay Back Period)은 6.7년, 순현재가치(NPV) 3,400만달러, 내부수익률(IRR)은 17.4%로 나타났다.

DR콩고는 자원개발사업에 있어 계약 구조에 따라 법인세 및 로열티에 있어서 특별세나 면제되는 사례가 있다. DR콩고와 중국 등의 계약 사례를 기반으로 시나리

오 분석을 통해 세금 및 로열티의 변화에 따른 경제성을 살펴보았다. 특별세 적용으로 법인세를 15%로 감면하고, 그 외 로열티 등은 DR콩고 국내법을 적용시에는 순현재가치는 7,100만달러, 내부수익률은 21%로 나타났다. 그리고 법인세 면제 및 로열티 등은 DR콩고 국내법을 적용시 순현재가치는 1억 700만달러, 내부수익률은 24%이었으며, 마지막으로 세금 및 로열티 면제의 경우에는 순현재가치는 1억 2,600만달러, 내부수익률은 25%로 나타났다(Table 9).

Table 9. Feasibility analysis of slag reprocessing project by scenario

Content	Pay Back Period (Years)	NPV (M\$)	IRR
Reference (Corporate Tax : 30%, Royalty : 2%)	6.69	33.95	17.40%
Discounted Corporation Tax : 15% Royalty : 2%	6.01	70.72	20.54%
Free Corporate Tax and Royalty : 2%	5.49	107.49	23.55%
Free Corporate Tax and Royalty	5.33	125.97	24.87%

(Source : 김유정 외, 2010³⁾)

4.5. 민감도 분석 (Sensitivity Analysis)

경제성 분석은 가정 조건 등을 근거로 산정되는 것으로 불확실성이 존재하며, 가정조건등의 변동에 따라 경제성 평가결과도 변동한다. 현지 전력비용/무연탄 등의 수급비 증감, 처리공정 중 발생하는 배기가스 처리 경우 환경기준에 따라 비용 변동, 투자비 중 시설비 부분은 시세 변동, 아연/구리/코발트 가격 변동, 광업법 개정으로 인한 각종 세금, 수수료 등의 증감 등이 대표적인 변동요인이다.

본 연구에서는 고정비용, 운영비용, 자원가격 등에 대한 불확실성을 사전에 분석하기 위해서 민감도 분석을 시행하였다. 각 변수의 변동성을 $\pm 20\%$ 로 하여 각 변동에 따른 순현재가치(NPV)의 변화량을 산정하였다.

초기투자비용(고정비용)의 변동에 따라 순현재가치는 70만달러에서 6,720만달러로 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 운영비용의 변동에 따라 순현재가치가 -2,040만달러에서 8,830만달러로 변화하였다(Fig. 10).

자원가격의 경우 아연금속가격변동에 따라서는 순현재

가치가 -2,480만달러에서 9,270만달러로 변동성이 가장 크게 나타났다. 구리가격 변동에 따라서는 순현재가치가 2,300만달러에서 4,500만달러로, 코발트가격의 경우에는 820만달러에서 5,980만달러로 변동하였다(Fig. 11).

5. 결론 및 시사점

본 연구를 통해 DR공고의 루뮴바시 슬래그 재처리 사업에 대한 경제성 분석을 수행하였다. DR공고의 정치적 상황 및 매장량 등을 기준으로 가행기간을 설정하고, 가행기간과 슬래그 구성을 기반으로 슬래그 재처리에 적합한 기술(TSL공법)을 선정하였다. 해당 기술을 적용시 루뮴바시 슬래그 재처리 사업의 경제성은 투자 회수기간(Pay Back Period)은 6.7년, 순현재가치(NPV) 3,400만달러, 내부수익률(IRR)은 17.4%로 나타났다. 그리고 특별세 적용으로 법인세를 15%로 감면 또는 면세, 로열티를 DR공고 국내법 적용 또는 면제 등으로 시나리오 분석을 통해 세금 및 로열티의 변화에 따른

Fig. 10. Change in NPV by fixed/operational cost variance.

(Unit : M\$)

Fig. 11. Change in NPV by metal price fluctuation.

경제성을 살펴보았다. 시나리오 분석에 따라 순현재가치는 7,100만달러에서 1억 2,600만달러까지 변화하였으며, 내부수익률은 20%에서 25%까지 변화하였다. 그리고 고정비용, 운영비용, 자원가격 등에 대한 불확실성을 사전에 분석하기 위해서 각 변수의 변동성을 $\pm 20\%$ 로 하여 각 변동에 따른 순현재가치의 변화량을 산정하는 민감도 분석을 수행하였다. 초기투자비용의 변동에 따라 순현재가치는 70만달러에서 6,720만달러로, 운영비용의 변동에 따라 순현재가치가 -2,040만달러에서 8,830만달러로 변화하였다. 자원가격의 경우 아연금속가격변동에 따라서는 순현재가치가 -2,480만달러에서 9,270만달러로 변동성이 가장 크게 나타났다.

이상의 결과를 살펴보면, DR콩고 정부가 바나나항개발과 연계하여 한국 측에 제시한 슬래그의 재처리사업은 폐기물임에도 불구하고 TSL공법이라는 적절한 처리기술의 적용이 이루어진다면, 프로젝트 경제성 확보가 가능한 것으로 평가할 수 있다. 다만 DR콩고 정부가 제안한 바나나항 개발사업과 연계 시켜 경제성을 살펴볼 경우, 해양수산개발원이 추진한 바나나항 건설프로젝트의 경제성평가 결과 순현재가 -1억 4,000만달러로 나타나³⁾, 루분바시 슬래그 재처리사업을 통해 기대되는 프로젝트 순현재가 3,400만달러로는 항만건설에서 발생하는 손실규모보다 크게 부족하여 본 동반진출사업은 경제성 확보에 어려움이 있는 것으로 나타났다.

특히 일반 해외자원개발 사업이 자원보유국의 환경피해 유발이 불가피한 반면, 슬래그 재처리를 통한 해외자원개발 사업의 경우 자원 보유국의 환경문제를 개선해 주는 경제적 측면 외에 또 다른 편익을 제공해 줄 수 있어, 새로운 해외자원개발 관련 정책적 파라다임이 될 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 정부와 기업 모두 보다 전향적 자세로 폐자원 재처리를 통한 해외자원개발 사업 진출에 대한 전략 마련이 있어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행한 GP2010-023 사업을 기반으로 하였습니다.

참고문헌

1. 김유정 등, 2010 : 콩고민주공화국 광업편람, 한국지질자원연구원, pp. 9
2. Fred McMahon, Miguel Cervantes, 2009 : Survey of Mining companies 2008/2009, Fraser Institute, Canada
3. 김유정 등, 2010 : DR콩고 Banana항 광물자원개발 동반진출 전략 수립 및 유망광산 탐사 용역보고서, 국토해양부, pp. 45-46, pp. 278
4. Gecamine 내부자료, 콩고민주공화국
5. Aswath Damodaran, 2010 : Country default Spreads and Risk Premiums, Stern School of Business
6. SRK Consulting, 2009 : 25g Capital and Operating Cost Estimates, KML- Independent Technical Report, pp.177-199, Canada
7. James W. Hendy, Like Evans, Gerd Wiatzka, 2005 : Technical Report on The Ok Tedi Limited Mt. Fubilan Copper-Gold Mine Mineral Resource and Mineral Reserve Estimates, PAPUA NEW GUINEA, pp.20-1~20-22, Roscoe Postle Associates Inc., Canada
8. 이상훈, 2003 : Top Submerged Lance(TSL)시스템을 이용하여 비철제련 공정의 유해 부산물에서 유가금속 회수 및 슬래그의 안정화 기술, 고려아연
9. RAID, 2009 : Chinese Mining Operations in KATANGA Democratic Republic Of The CONGO, p.11, UK
10. Baja Mining Corp. News Release, 2010 : Baja Confirms Robust Economics at Boleo, January 15, p.p 4, Canada
11. MarketWatch, 2010.3.9, Hard Creek Nickel Corporation : Preliminary Assessment Shows Turnagain Project C1-Operating Costs of U.S. \$3.34 Per Pound of Nickel, www.marketwatch.com
12. Glenn Barr, Jennifer Defreyne, David Jones, Robert Mean, 2005 : On-site Processing vs. Sale of Copper Concentrates, ALTA2005, pp. 4, Australia

金 瑜 淨

- 2000년 2월 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학사
- 2002년 2월 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사
- 2008년 8월 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학박사
- 현재 한국지질자원연구원 연구전략실 자원경제팀 팀장

金 大 炯

- 1983년 2월 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사
- 1990년 2월 인하대학교 대학원 자원공학과 공학석사
- 1998년 4월 러시아 국립자원경제연구원 경제학 박사
- 현재 한국지질자원연구원 연구전략실 실장