

폐도금액내 유가금속 회수를 통한 경제성 분석

김다연* · §강홍윤* · 이종효* · 권택관* · 김춘산*

*인하대학교 순환경제환경시스템전공

**인하대학교 환경공학과

Evaluation of Economic by Recovery of Valuable Metals in Waste Liquid

Da Yeon Kim* · §Hong Yoon Kang* · Jong Hyo Lee* · Taek Kwan Kwon* · Chun San Kim*

*Program in Circular Economy Environmental System, Inha University

ABSTRACT: In 2018, The silver(referred to as Ag) demand in the electrical and electronic field was 249 million tons, and for producing solar modules, 81 million tons of silver were demanded. Currently, due to the rapid increase in solar module installation, the silver demand is also increasing drastically in Korea. However, Korea's metal resources and reserves are insufficient compared to consumption, and the domestic self-sufficiency rate of silver ores among metal resources is lower than 1.5%. It implies that the recycling technology for recovering valuable metal resources contained in the waste plating solution generated in the metal industry is necessary. Therefore, in this study, through B/C analysis, the economic evaluations were compared and analyzed according to the improvement of the valuable metal recovery process in the waste plating solution. As a result, the B/C ratio was 1.48, which means feasibility. Therefore, the improvement of recycling technology has a high possibility to reduce the usage of chemicals and energy, and to improve resource productivity in the urban mining industry.

Key words: Silver, Waste liquid, Recycle, Cost-Benefit Analysis, Resource reduction

요약문: 우리나라는 2018년 기준 전기전자 분야에서 은 수요는 249백만 톤으로 조사되었으며, 태양광 모듈용으로는 81백만 톤으로 조사되었다. 현재 태양광 모듈 설치의 급증으로 해당 분야의 은 사용량 또한 증가하고 있는 추세이다. 그러나 우리나라의 금속자원 및 부존량은 소비량 대비 부족한 실정이며, 금속자원 중 은광의 국내 자급률은 1.5%로 매우 낮은 상황으로 조사되어 이를 개선하기 위해 금속산업에서 발생하는 폐도금액내 함유되어 있는 유가금속 자원회수기술을 통한 재활용이 필요하다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 B/C 분석을 통해 폐도금액 내 유가금속 회수공정 개선에 따른 경제성 분석하고자 하였다. 그 결과, B/C비는 1.48로 사업의 타당성이 있는 것으로 확인되었다. 따라서, 재자원화 기술의 발전이 화학물질 및 에너지의 사용 절감할 수 있으며, 이를 통해 도시광산산업에서 자원생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 은, 폐도금액, 비용편익분석, 재자원화, 자원절감

1. 서론

은은 물리적, 화학적 특성이 우수하여 전기·전자, 무연솔더, 태양광 모듈 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 2018년 기준 전기전자 분야에서는 249백만 톤이 요구되고 있으며, 태양광 모듈용으로는 81백만 톤의 수요가 요구되고 있다. 현재 태양광 모듈 설치의 급증으로 해당 분야의 은 사용량 또한 증가하고 있는 추세이다.¹⁾ 그러나 우리나라의 금속자원 및 부존량은 소비량 대비 부족한 상황이다. 금속광의 자급률은 약 1.1% 불과하며, 대부분의 수요량을 수입에 의존하고 있다. 또한, 금속자원 중 은광의 국내 자급률은 1.5%로 매우 낮은 실정이다.²⁾

2020년 은 봉·형재의 수입량은 약 3.1만 kg으로 전년 대비 0.1% 가량 증가한 수치이나 수입액은 약 5.7백만 달러로 전년 대비 약 133% 증가하였다. 봉·형재 형태는 산업용으로 많이 사용되기 때문에 경기상승 지속과 함께 수입량

이 증가할 것으로 추정된다.²⁾

선진국뿐만 아니라 신흥경제국들의 자원·에너지에 대한 소비 급증으로 인해 매장량이 유한한 천연자원 고갈 및 폐기물 증가에 의한 환경문제 등이 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위해서는 지속가능한 생산과 소비, 자원의 효율적 사용을 위한 국내 자원순환 산업의 경쟁력 확보가 절실히 필요하다.³⁾

2018년 제1차 자원순환기본계획은 “자원의 선순환으로 지속가능한 순환경제 실현”이라는 비전하에 순환이용률 향상을 위한 폐금속 자원의 회수를 강조하고 있다.⁴⁾ 그러나, 현재 은 자원순환율 및 재자원화율은 2011년 기준 67.7%, 90.3%, 2016년 기준 37.6%, 85.7%로 2011년 대비 감소하는 실정이다.⁵⁾ 이를 개선하기 위해 금속산업에서 발생하는 폐도금액내 함유되어 있는 유가금속 자원회수기술을 통한 재활용이 필요하다고 판단된다.⁶⁾ 따라서, 본 연구에서는 비용편익분석(Benefit-Cost Analysis, 이하

Table 1. Inventory analysis of current and improvement silver recycling process

	Type	Unit	Current	Improvement
INPUT	Plating spent liquor	kg	5.41E+02	4.69E+02
	Nitric acid	kg	3.41E+01	2.18E+01
	Ethanol	kg	2.98E+00	2.15E+00
	Sodium hydroxide	kg	4.69E-01	7.69E-01
	Urea	kg	2.03E+00	1.03E+00
	Sodium nitrate	kg	5.30E-02	2.82E-02
	Borax	kg	8.26E-02	3.95E-02
	Water	kg	1.13E+03	8.27E+01
	Electricity	kWh	3.92E+02	6.26E+00
	half-finished recycled silver	kg	1.00E+00	1.00E+00
OUTPUT	Ag	kg	1.00E+00	1.00E+00
	Waste water	kg	4.56E+02	2.92E+02
	Waste liquor	kg	4.69E+02	2.84E+02

Table 2. Re-resourcized silver amount comparison between current and improved of silver re-resourcization process

Year	Re-resourcized silver amount (kg)	
	current process	improved process
2021년	973	1,170

Table 3. Cost reduction effect of improved silver re-resourcization process

Total cost of current process	Total cost of improved process	Total cost reduction (A-B)
117,196 won/kg	44,242 won/kg	72,954 won/kg

B/C 분석)을 활용하여 폐도금액 내 유가금속 회수공정 개선에 따른 경제성 분석을 수행하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서 폐도금액내 재자원화 공정 개선을 통해 기존 대비 자원절감에 따른 비용분석을 산출하여 비교 분석하고자 한다. 이를 위해 비용편익분석은 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발간한 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침⁷⁾을 활용하였다.

비용항목으로 설비구입비, 인건비, 원료구입비, 유틸리티 사용비, 소모화학제품 구입비, 폐기물처리비 등을 조사하였으며, 편익항목으로는 판매비, 시장증가율 등을 조사하였다. 비용편익분석을 위한 투자회수기간은 5년으로 설정하였다.

3. 경제성 분석

3.1 데이터수집

재자원화된 은 1 kg 기준으로 수집한 기존공정 및 개선공정의 투입물 및 산출물 자료를 Table 1에 나타내었다. 경제성 분석을 수행하기 위해 은 재자원화공정인 A공장 및 B공장을 대상으로 데이터수집을 하였으며, A공장에서 사

전 작업 후 은이 반제품으로 배출되고 이를 B공장으로 이동해 나머지 작업을 수행한다. 은 재자원화 공정에는 공통으로 질산, 에탄올, 가성소다 등 원료물질이 투입되며, 유틸리티는 상수 및 전기가 사용되고 있어 A공장 및 B공장에서 발생하는 투입물 및 산출물을 별도로 구분하지 않고 한 공장에서 재자원화하는 것으로 가정하여 산출하였다.

3.2 은 재자원화로 인한 경제적 분석 결과

폐도금액 내 은 재자원화공정을 통한 은 회수량을 Table 2에 나타내었다. 2021년 기준 기존공정은 973 kg 회수되었으며, 개선 공정을 통해 회수량이 1,170 kg으로 약 20% 증가하는 것으로 나타났다.

폐도금액 내 은 재자원화공정 개선으로 인한 원료, 소모화학제품, 유틸리티, 폐수처리 등 투입비용의 절감효과를 Table 3에 나타내었다. 은 1 kg 기준 재자원화 기존공정에 따른 비용은 117,196원으로 나타났으며, 개선된 공정에 따른 비용은 44,242원으로 나타났다. 따라서, 재자원화 공정 개선으로 인한 비용절감효과는 은 1 kg 당 72,954원으로 나타났다.

1년 기준 기존 및 개선공정의 은 재자원화량과 이에 따른 재자원화 비용절감을 산출한 결과를 Table 4에 나타내었다. 산정 방법은 기존공정에서 재자원화되는 은의 양

Table 4. Cost savings of silver re-resourcization process improvement by year

Amount of silver from current re- resourcization process (kg)	Cost savings of process improvement by unit price	Cost savings of process improvement (Million won)
973	72,954 won/kg	70.98

Table 5. Benefit of silver re-resourcization process improvement by year

Amount of silver from current re- resourcization process (kg)	Amount of silver from improved re- resourcization process (kg)	Amount of silver-added from improved process (kg)	Purchasing price of silver (won/kg)	Benefit of process improvement (Million won)
973	1,170	197	899,482	177.20

Table 6. Effective discount rate applied benefit/cost analysis result(Million Won)

Year	Cost savings of process improvement (A)	Benefit of process improvement from silver-added (B)	Initial facility investment cost (C)	Labor costs (D)	Total Benefit from improved silver re-resourcization process (A+B-C-D)
2021	70.98	177.20	262.00	120.00	-133.82
2022	71.85	179.38	0.00	120.00	131.23
2023	72.74	181.59	0.00	120.00	134.33
2024	73.63	183.82	0.00	120.00	137.45
2025	74.54	186.08	0.00	120.00	140.62
Total	363.74	908.07	262.00	600.00	409.81
	B/C Ratio			1.48	

(973 kg)에 개선을 통한 비용절감(72,954 원/kg)을 곱하여 산출하였으며, 그 결과 약 70.98백만 원의 비용이 절감되는 것으로 나타났다.

폐도금액 내 은 재자원화로 인한 추가 재자원화 수익을 Table 5에 나타내었다. 1년 기준, 공정 개선을 통한 추가 은 재자원화량(197 kg)과 은 시세(899,482 won/kg)를 곱하여 산출하였으며, 그 결과, 약 177.20백만 원의 추가 수익이 나타나는 것으로 확인되었다.

국내 은 시세는 (주)한국금거래소(쓰리엠⁸⁾)의 2022년 8월 16일 기준, 은 국내 시세 1년간 데이터의 기하평균인 899.482 원/g으로 적용하였다.

향후, 5년의 공정 비교를 통한 간 경제성 분석의 결과를 Table 6에 나타내었다. 인건비는 120백만원으로 고정하였으며, 투입물질은 절감되어 비용절감분을 편익 항목으로 적용하였다. 또한, 초기투자설비비용은 공정 개선 1년만 적용하여, 이후 유지보수 비용 및 5년 후 잔존가치는 없는 것으로 가정하였다.

실질 할인율은 한국은행 기준금리 자료를 활용하였으며, 2017년부터 2022년까지 5년간의 기준금리 평균 1.23%를 적용하여 현재가치로 환산하였다.⁹⁾ 5년간의 공정 개선의 경제적 효과는 총 약 409.81백만 원으로 B/C비는 1.48로 1보다 높은 것으로 나타나 사업성이 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 은의 기존 및 재자원화 공정 개선 시의 경제성 분석을 산출하여 기존 대비 자원절감에 따른 경제적 효과 분석을 수행하였다. 수행 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

경제성 분석을 통해 1년 기준 추가 은 재자원화량은 197 kg으로 나타났으며 수익은 177백만 원으로 나타났다. B/C비는 1.48로 사업의 타당성이 있는 것으로 확인되었다. 또한, 공정 개선을 통해 투입 화학물질의 사용량 원단위 기준, 질산 36.24%, 에탄올 27.84%, 요소 49.96%, 공업용수(중간제품) 78.21%, 전기(중간제품) 26.74%, 질산나트륨 46.64%, 붕사 33.33%, 공업용수(최종제품) 98.47%, 전기(최종제품) 99.08%까지 사용량이 감소한 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구를 통해 재자원화 공정 개선은 화학물질 및 에너지의 사용 절감할 수 있으며, 사용 절감 폭을 보았을 때 도시광산산업에서 자원생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술

원의 지원을 받아 수행된 연구(지식기반 환경서비스 특성
화대학원사업)임.

REFERENCES

- 1) 김범중, “금, 은, 백금, 팔라듐의 재활용 현황”, 한국자원공학회 지, 56(44), 359~366 (2019).
- 2) 김유정, 이현복, 이화석, 유옥중, 광산물 수급 분석 2020-2021 (2021).
- 3) 강홍윤, “금속자원의 소과정 물질흐름분석 및 국가통합자원관리시스템 구축”, 49(6), 865-873 (2012).
- 4) http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10265&seq=7193.
- 5) <https://www.k-mfa.kr/>.
- 6) INAMOTO, Junichi, “The basic wastewater treatment and the response to the new wastewater regulation”, Journal of The Surface Finishing Society of Japan, 62(11), 535~(2011).
- 7) 한국과학기술기획평가원, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, 2019.
- 8) <https://www.exgold.co.kr/>.
- 9) <http://www.bok.or.kr/portal/main/main.do>.