

제13장 셀레늄(Se)의 물질흐름분석

제1절 사업목표 및 수행내용

1. 셀레늄 물질흐름 조사

- 1, 2차 자원 흐름분석을 위한 광공업통계, 한국무역통계 등 기존 국가 통계 활용가능 자료 및 기 수행된 MFA 자료 조사
- 제품의 자원함유량, 제품의 수요처 등 부족 자료의 경우 업체 방문 및 설문을 통한 자료 조사

2. 물질흐름 통계 구축

가. 원료 및 기초소재 단계

- 국외에서 채굴되어 추출된 셀레늄 함유광석을 셀레늄 화합물이나, 셀레늄 금속의 형태로 생산하는 단계에 대한 MFA 수행
 - 원료단계로 투입되는 셀레늄의 국내 공급량 조사 및 분석을 통한 원료단계 물질흐름조사 분석
 - 원료단계 생산업체 설문 및 방문을 통한 구축된 통계 자료의 보완 및 미구축 통계 자료의 확보 및 통계자료의 정확성 검증
- 조사 방법 및 내용

단계별 흐름도	단계 정의		이용 자료
	(1)	국내 셀레늄 함유광석 공급량	문헌조사
	(1a)	셀레늄 함유 광석 수입량	문헌조사
	(1b)	셀레늄 함유 광석 수출량	문헌조사
	(2)	셀레늄 원료 및 기초소재 수입량	-
	(3)	셀레늄 원료 및 기초소재 수출량	-
	(4)	원료 및 기초소재 단계에서의 스크랩발생량	-
	(5)	셀레늄 원료 및 기초소재 국내 공급량	-
	(25a)	원료 및 기초소재 단계로의 2차 자원 재자원화 투입량	-

나. 1차 가공제품단계

- 원료 및 기초소재 단계를 거쳐 배출된 셀레늄을 1차 가공단계를 거쳐 제품 혹은 상품을 제조하기 위한 형태로 제조되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 1차 가공제품단계로 투입되는 셀레늄의 국내 수급량 조사 및 분석을 통한 1차 가공제품단계 물질흐름조사 분석
 - 1차 가공제품단계 생산업체 유선조사 및 방문을 통한 미구축된 통계 자료의 확보(1차 가공제품으로의 투입량, 1차 가공제품의 수급량 등), 통계자료의 정합성 검증
- 셀레늄의 1차 가공제품단계 설정
 - 산업연관표의 부문분류표, 한국무역통계의 HS Code 등의 자료와 전문가 자문 등을 통해 셀레늄 화합물, 셀레늄 금속을 1차 가공제품단계 설정
- 조사 방법 및 내용

단계별 흐름도	단계 정의		이용 자료
	(5)	원료단계 국내 수급량	전 단계에서 배출된 수량
	(6)	1차 가공제품 단계 수입량	업체 조사 및 한국무역통계
	(7)	1차 가공제품 단계 수출량	업체 조사 및 한국무역통계
	(8)	1차 가공제품 단계 2차 자원 발생량	2차 자원 발생량 없음
	(9)	1차 가공제품 단계 국내 수급량	업체 조사자료 및 문헌 조사자료 이용
	(25b)	1차 가공제품 단계로의 2차자원 투입량	2차 자원 투입량 없음

○ 활용 가능 자료

구분	자료
1차 가공제품 수입량 및 수출량	업체 조사 결과 및 한국무역통계 이용
1차 가공제품 국내 수급량	업체 조사 결과 이용
2차자원 투입량	2차자원 투입량 없음

- 업체 자료의 경우 원료 투입량(1차 자원, 2차자원 포함), 스크랩 발생량, 생산된 1차 가공제품의 주 납품처(수요처) 및 비율, 생산제품의 자원 함유량, 업체의 시장 점유율 등에 대하여 조사

다. 중간제품단계

- 1차 가공제품으로부터 생산된 제품으로서 최종산업(제품)을 사용 혹은 생산하기 위한 중간제품을 생산하는 단계에 대한 MFA 수행
 - 중간제품 생산량을 포함하여 1차 가공제품이 각 중간제품으로 투입되는 수량 파악 및 물질흐름조사 분석
 - 업체조사 자료 및 문헌조사 자료를 통한 중간제품 단계 국내 수급량 산정, 중간 제품생산량 통계자료의 정합성 검증
- 셀레늄의 중간제품단계의 설정
 - 산업연관표의 403개 기본부문분류 중 중간제품분류 항목으로 설정
- 조사 방법 및 내용
 - 1차 가공업체 조사 결과를 바탕으로 중간제품으로 투입되는 흐름 및 수량 파악, 업체 조사 결과가 미흡할 시 중간제품 생산량 통계 자료 및 관련 문헌 등을 활용하여 흐름 및 수량 파악
 - 중간제품 수출입량은 한국무역통계 및 업체조사결과를 이용하여 산정
- 활용 가능 자료

구분	자료
중간제품 단계 수입량 및 수출량	한국무역통계 및 업체 조사 결과 이용
중간제품 단계 국내 수급량	업체 조사 결과 및 문헌조사 자료 이용

라. 최종산업(제품)단계

- 셀레늄이 투입된 중간제품들이 최종적으로 투입되는 산업으로서, 전기 및 전자기기, 비금속광물제품, 전력, 가스 및 수도, 화학제품의 분류와 각 산업의 대표적인 제품으로 구성되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 최종산업(제품) 생산량을 포함하여 1차 가공제품과 중간제품이 각 최종산업(제품)으로 투입되는 수량 파악 및 물질흐름 조사 분석
 - 업체조사 자료와 국내 관련 통계 자료와의 비교를 통해 수치 정확성 검증
- 셀레늄의 최종산업(제품)단계의 설정
 - 산업연관표의 부문분류에 해당하는 항목을 최종산업(제품)분류 대상으로 설정
- 조사 방법 및 내용
 - 중간제품 생산업체 조사 결과를 바탕으로 최종산업(제품)으로 투입되는 흐름 및 수량 파악, 업체 조사 결과가 미흡할 시 최종산업(제품) 생산량 통계 자료 및 관련 문

헌 등을 활용하여 흐름 및 수량 파악

- 최종산업(제품) 수출입량, 최종산업(제품) 수급량, 최종산업(제품) 단계로의 2차자원 재자원화 투입량, 최종산업(제품)에서의 셀레늄 함유량 등(한국계약협회 통계자료, 한국무역협회, 업체조사자료 등)을 이용

○ 활용 가능 자료

구분	자료
최종산업(제품) 수입량 수출량	업체조사 자료
	한국무역협회 통계
최종산업(제품) 국내 수급량	최종산업(제품)의 셀레늄 함유량(업체 조사 자료)
	한국계약협회(국내 의약품 생산량 통계)
	식품의약품안전처(의약품 함유량 정보)
	문헌조사 자료

마. 사용·추적단계

- 셀레늄이 투입되어 최종산업(제품)단계에서 당해연도에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과 최종산업(제품)별 내구년수를 고려하여 전년도 생산된 최종산업(제품) 추적, 그리고 셀레늄 자원의 사용 후 2차 자원으로 재자원화되기 위해 수집단계로 투입되는 단계에 대한 MFA 수행이 필요함
- 셀레늄함유 제품의 내구년수를 고려한 추적량 등을 포함하여 평가하기위한 자료가 충분히 구축되어 있지 않기 때문에, 단계로만 구분하고 최종제품 수급량으로 산정

바. 수집단계

- 셀레늄의 1차자원이 사용 후 배출되어 2차자원으로서 재활용되기 위해 수집되어 처리되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 셀레늄이 투입된 최종산업(제품)의 사용 후 발생하는 제품별 폐기물 발생량과 폐기물의 셀레늄 함유량을 고려하여 2차 자원 수집량 파악 및 물질흐름 조사 분석
 - 최종산업(제품) 사용 후 발생하는 제품별 폐기물 발생량과 자원 함유량을 고려하여 산정
- 조사 방법 및 내용
 - 2차 자원 국내 수집 투입량을 산정하기 위하여 문헌조사 자료 이용
 - 2차 자원으로의 투입량 및 수집처리량 산정을 위하여 업체 조사결과 및 문헌조사 자료 활용

사. 재자원화 단계

- 수집단계 이후 1차자원으로 재투입되기 위한 재자원화 공정을 거치는 단계에 대한 MFA 수행
 - 셀레늄의 경우 주요 재활용업체 조사 결과 현재까지 재활용 업체는 존재하지 않았으며, 전세계적으로 재활용 하고 있지 않음

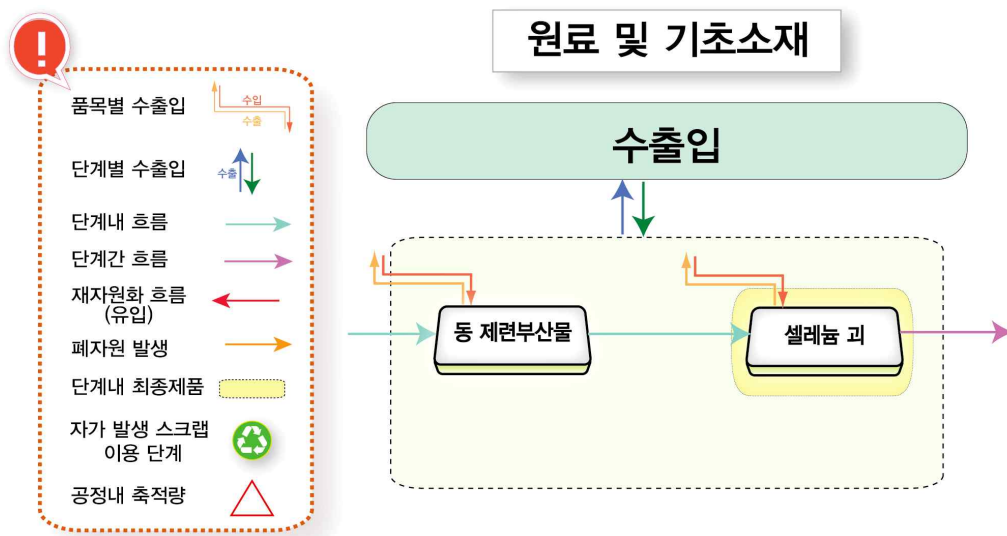
아. 폐기단계

- 셀레늄이 최종 폐기되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 수집단계에서 배출된 셀레늄의 수집처리 폐기량과 재자원화단계에서 배출된 셀레늄의 최종처분량을 고려함

제2절 흐름단계별 물질흐름분석

1. 원료 및 기초소재 단계

셀레늄의 원료 및 기초소재 단계는 셀레늄 함유광석(셀렌)으로 정의한다. 셀레늄은 독자적 광물이 없으며 대부분이 동의 부산물로 회수되고 있다. 셀레늄화물(Se^{2-} 의 화합물), 셀레늄산염(SeO_4^{2-} 의 염), 아셀레늄산염(SeO_3^{2-} 의 염)과 같은 화합물 형태로 보통 텔루륨과 함께 존재하는 것으로 조사되었다. 또 암석과 흙에 분포되어 있으나, 지각에서의 존재비는 약 0.05 ppm($5 \times 10^{-6}\%$)로 그 양은 아주 적으며 흙에는 보통 수용성 셀레늄산염 또는 아셀레늄산염으로 들어있어 쉽게 물에 씻겨 강으로 흘러 들어가는 것으로 조사되었다. 바닷물에는 1L당 2×10^{-4} mg 농도로 녹아있고, 여러 생물체에도 셀레늄이 들어있는데 보통 아미노산에 있는 황 대신 들어 있으며, 로코초(locoweed: 미국산 콩과 식물) 등 일부 독성 식물들은 흙에서 셀레늄을 농축시켜 높은 농도로 함유하고 있다. 셀레늄은 구리, 납, 은 등의 황화물 광석에 셀레늄화물 형태로 들어 있어, 이들 광석(특히 구리광석)의 제련이나 황산 생산의 부산물로 주로 생산되는 것으로 조사되었다. 국내에서는 LS니꼬동, 고려아연에서 셀레늄 피를 생산 하며, 생산된 셀레늄 피는 전량 국외로 수출되는 것으로 조사되었다. 셀레늄의 원료 및 기초소재 단계의 물질흐름을 [그림 13-1]에 나타내었다.



[그림 13-1] 셀레늄의 원료 및 기초소재단계 물질흐름도

금속별 물질흐름 통계구축

가. 동 제련부산물의 수급량

전술한 바와 같이, 셀레늄 함유 광석은 존재하지 않으며, 셀레늄 피는 동 제련 시 부산물로 셀레늄 피를 생산하고 있는 것으로 조사되었다. 제련부산물의 HS Code는 존재하고 있지 않는 것으로 조사되었다.

동 제련부산물 수급량

$$= (\text{동 제련부산물 국내 생산량} + \text{동 제련부산물 생산량} + \text{동 제련부산물 수입량} - \text{동 제련 부산물 수출량}) \times \text{자원함유량}$$

동 제련부산물의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사결과 및 자문결과, 한국무역통계

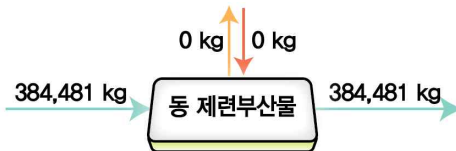
⇨ 동 제련부산물의 국내 수급량

- 동 제련부산물의 셀레늄 생산량 : 384,481 kg
- 동 제련부산물의 셀레늄 수입량 : 0 kg
- 동 제련부산물의 셀레늄 수출량 : 0 kg

⇨ 동 제련부산물의 국내 수급량

$$= 384,481 + 0 - 0 = 384,481 \text{ kg}$$

⇨ 동 제련부산물의 MFA



나. 셀레늄 피의 국내 수급량

셀레늄 피의 HS code는 셀렌(2804.90.0000)이 존재하는 것으로 조사되었다. 전술한 바와 같이, 국내에서 생산되는 셀레늄 피는 전량 수출하고 있는 것으로 조사되었다.

셀레늄 피의 국내 수급량

$$= (\text{셀레늄 피 국내 생산량} + \text{셀레늄 피의 수입량} - \text{셀레늄 피의 수출량}) \times \text{자원함유량}$$

셀레늄 피의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사결과 및 자문결과, 한국무역통계

- ⇒ 셀레늄 피의 국내 수급량
 - 셀레늄 피의 셀레늄 생산량 : 384,481 kg
 - 셀레늄 피의 셀레늄 수입량 : 88,605 kg
 - 셀레늄 피의 셀레늄 수출량 : 473,086 kg

- ⇒ 셀레늄 피의 국내 수급량
 - = 384,481 + 88,605 - 473,086 = 0 kg
- ⇒ 셀레늄 피의 단계 MFA



다. 셀레늄 원료 및 기초소재 단계 수급량

국내 셀레늄의 원료 및 기초소재 단계 수급량은 전술한 바와 같이 동 제련부산물 및 셀레늄 피를 포함하는 셀레늄의 원료 및 기초소재 단계 수급량을 산정하였다.

셀레늄의 원료 및 기초소재 단계 국내 수급량
= 동 제련부산물 수급량 + 셀레늄 피 수급량

셀레늄 원료 및 기초소재 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사결과 및 자문결과, 한국무역통계

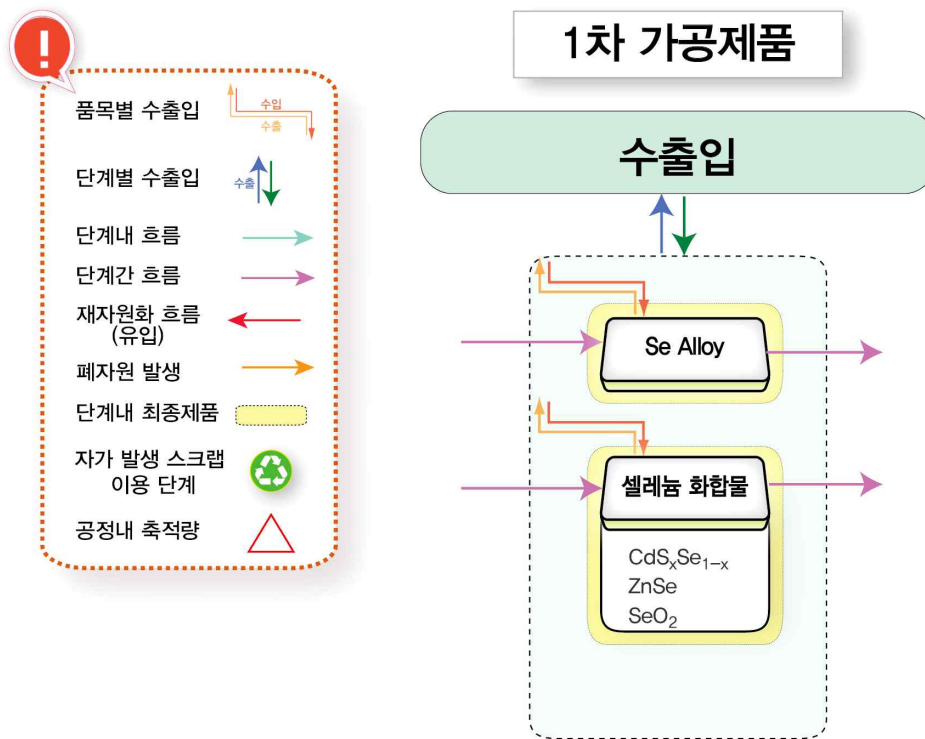
- ⇒ 셀레늄 원료 및 기초소재 단계 수급량
 - 원료 및 기초소재 단계의 셀레늄 생산량 : 384,481 kg
 - 원료 및 기초소재 단계의 셀레늄 수입량 : 88,605 kg
 - 원료 및 기초소재 단계의 셀레늄 수출량 : 473,086 kg

- ⇒ 셀레늄의 원료 및 기초소재 단계 국내 수급량
 - = 384,481 + 88,605 - 473,086 = 0 kg
- ⇒ 셀레늄의 원료 및 기초소재 단계 MFA



2. 1차 가공제품 단계

1차 가공제품 단계는 원료 및 기초소재 단계를 거쳐 상품을 제조하기 위한 소재 형태로 제조되는 단계로 정의되며 셀레늄 화합물, 셀레늄 금속을 포함한다. 1차 가공제품 단계의 세부 흐름은 [그림 13-2]와 같다.



[그림 13-2] 셀레늄의 1차 가공제품 단계 물질흐름도

가. 셀레늄 금속의 국내 수급량

셀레늄 금속(Se Alloy)의 경우 합금 재료로 사용되기도 하는데, 스테인리스 강에는 주조, 단조, 질삭성을 향상시키기 위해 페로셀레늄(Fe/Se) 형태로 소량 첨가되며, 황동에는 독성이 큰 납을 대체하여 비스무트(Bi)와 함께 첨가되기도 한다. 국내의 경우 셀레늄이 함유된 금속을 생산 또는 수입하고 있지 않기 때문에 국내 생산은 없는 것으로 조사되어 물질흐름만 표시하였다.

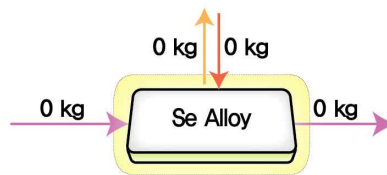
셀레늄 금속의 국내 수급량

$$= \text{셀레늄 금속 생산량} + \text{셀레늄 금속 수입량} - \text{셀레늄 금속 수출량}$$

셀레늄 금속의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사결과, 문헌조사 자료

- ⇒ 셀레늄 금속의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 셀레늄 금속의 국내 생산량 : 0 kg
 - 셀레늄 금속의 수입량 : 0 kg
 - 셀레늄 금속의 수출량 : 0 kg
- ⇒ 셀레늄 금속의 국내 수급량
 - = 0 + 0 - 0
 - = 0 kg
- ⇒ 셀레늄 금속의 MFA



나. 셀레늄 화합물의 국내 수급량

업체조사 및 문헌조사 결과 셀레늄 화합물의 경우 셀렌산염, 셀렌의 겹염이나착염의 형태를 가지며, 대부분 SeO2형태로 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 셀레늄 화합물의 수급량은 업체조사 자료와 관련 문헌자료 및 통계자료를 이용하여 산정하였다.

셀레늄 화합물의 국내 수급량

$$= \text{셀레늄 화합물 생산량} + \text{셀레늄 화합물 수입량} - \text{셀레늄 화합물 수출량}$$

<표 13-1>에 나타난 것과 같이 셀레늄 화합물을 취급하는 업체조사 및 한국무역통계 조사결과 연간 수입량이 2,248kg, 수출량이 5kg으로 조사되었다. 국내에서 사용되고 있는 셀레늄 화합물은 국내에서 생산하고 있지않으며, 대부분 셀렌산염으로 수입되고 있는 것으로 조사되어 물질흐름만 표시하였다.

<표 13-1> 셀레늄 화합물의 수·출입량 산정

셀레늄 화합물			비고
항목	수입량(kg)	수출량(kg)	
셀렌산염	2,248	0	한국무역통계
셀렌의겹염이나착염	0	5	한국무역통계
총합	2,248	5	-

금속별 물질흐름 통계구축

셀레늄 화합물의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체 조사 자료, 한국무역통계

⇒ 셀레늄 화합물 생산량, 수입량 및 수출량

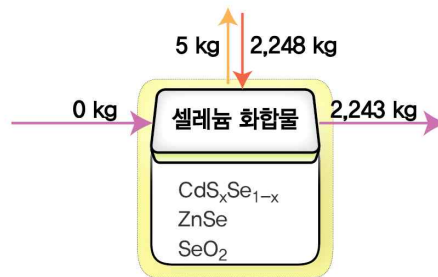
- 셀레늄 화합물 국내 생산량 : 0 kg
- 셀레늄 화합물 수입량 : 2,248 kg
- 셀레늄 화합물 수출량 : 5 kg

⇒ 셀레늄 화합물의 국내 수급량

$$= 0 + 2,248 - 5$$

$$= 2,243 \text{ kg}$$

⇒ 셀레늄 화합물의 MFA



다. 1차 가공제품의 수급량

국내 셀레늄의 1차 가공제품 단계 수급량은 전술한 바와 같이 셀레늄 화합물, 셀레늄 금속의 생산량, 수입량, 수출량을 활용하여 산정하였다. 셀레늄의 다음단계의 제품별 투입량은 업체 조사 자료를 바탕으로 산정하였다.

셀레늄의 1차 가공제품 단계 국내 수급량 = 셀레늄 산화물 수급량 + 셀레늄 금속 수급량

셀레늄 1차 가공제품 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체 조사 자료 및 문헌 조사 자료

⇒ 셀레늄 1차 가공제품 단계 수급량

- 셀레늄 금속 수급량 : 0 kg
- 셀레늄 화합물 수급량 : 2,243 kg((중간제품(2,243 kg) + 최종산업(제품)(203 kg))

⇒ 셀레늄의 1차 가공제품 단계 국내 수급량

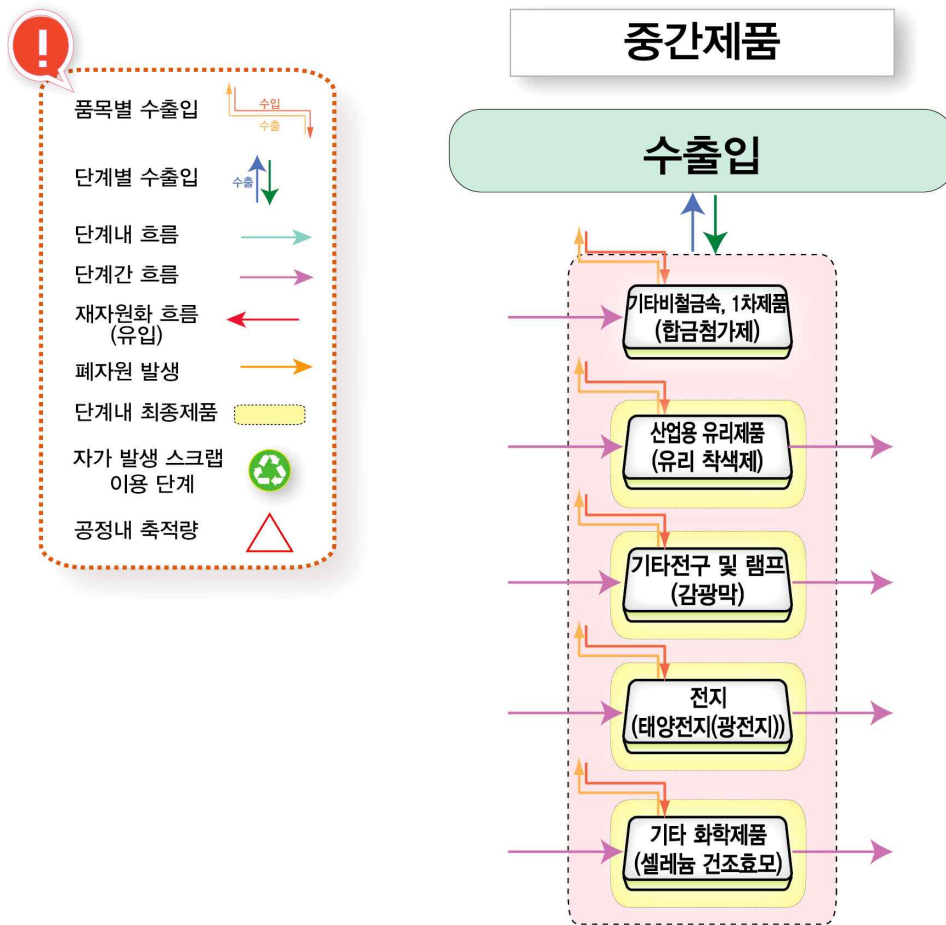
$$= 0 + 2,243 = 2,243 \text{ kg}$$

⇒ 셀레늄의 1차 가공제품 단계 MFA



3. 중간제품 단계

중간제품 단계는 셀레늄의 주요 용도인 기타비철금속, 1차제품(합금 첨가제), 산업용 유리제품(유리 착색제), 기타전구 및 램프(감광막), 전지(태양전지(광전지)), 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)으로 구분된다. 중간제품 단계의 수급량은 한국무역통계, 한국제약협회 의약품 통계자료, 업체조사자료, 문헌조사자료, 전문가 자문 등을 이용하여 산정하였으며 산정 결과를 [그림 13-3]에 나타내었다.



[그림 13-3] 셀레늄의 중간제품단계 물질흐름도

금속별 물질흐름 통계구축

가. 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)

철강의 절단·절삭이 어려운 점을 보완하기 위해 황, 납, 셀레늄, 텔루륨, 칼슘, 비스무스, 지르코늄 등의 양을 늘려 절삭성을 개량한 강을 쾌삭강이라 하는데 이 쾌삭강의 첨가제(0.05%)로 셀레늄이 사용되는 것으로 조사되었다.

쾌삭강은 자동차 변속기부품, TV 본체와 디스플레이 장치를 고정시키는 조립용 부품, 볼트, 너트, 스크류, 유니버설 조인트 발전기 등에 사용되며 특히 납, 황이 첨가된 쾌삭강을 많이 사용하였으나, 납 성분의 유해성으로 일부 일본 자동차업체 등에서 납쾌삭강을 사용하지 않는 추세로 2012년 포스코에서 친환경 제품에 대한 니즈를 충족 시킬 수 있는 비스무스(Bi) 쾌삭강을 세계 최초로 개발하였다.

현재 업체 조사 결과 국내 쾌삭강 생산은 C, Si, Mn, Pb, P 등 5가지 종류의 쾌삭강이 존재하고 있었으며, 셀레늄 쾌삭강은 국내 생산은 없는 것으로 조사되어 물질흐름만 표시하였다. 셀레늄이 함유되어 있는 쾌삭강의 수·출입량은 존재하지 않는 것으로 조사되었다.

기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제) 내 셀레늄의 국내 수급량
 = (기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제) 생산량 + 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제) 수입량 - 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제) 수출량) × 자원 함유량

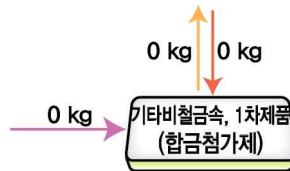
기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제) 내 셀레늄의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계 및 업체조사 및 문헌자료

- ⇒ 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 국내 생산량 : 0 kg
 - 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 수입량 : 0 kg
 - 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 수출량 : 0 kg

⇒ 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 국내 수급량
 = 0 + 0 - 0
 = 0 kg

⇒ 기타비철금속, 1차 제품(합금 첨가제)의 MFA



나. 산업용 유리제품(유리 착색제)

셀레늄을 유리에 0.001~0.015%로 첨가하면 철(II) 불순물 때문에 생기는 푸른색 또는 노란색이 없어지고, 0.1~0.2%로 첨가하면 유리가 분홍색을 띤다. 가장 밝은 붉은색 유리로 알려진 ‘셀레늄 루비’는 설포셀레늄화 카드뮴(CdS_xSe_{1-x})을 첨가하여 얻는데, CdS가 10% (x=0.1)이면 진한 붉은 루비색, 40%이면 중간 정도의 붉은색, 75%이면 주황색, 100% CdS 인 경우는 노란색 유리가 얻어지는 것으로 조사되었다.

대부분 유리 착색제로 사용되는 셀레늄 화합물은 판유리 제조시 사용되는 것으로 조사되었다. 국내 판유리협회 및 주요 업체 조사(한글라스, KCC 등) 조사 결과 국내 판유리 생산은 블루, 그린, 브론즈 색상을 생산하고 있고 국내에는 분홍색 판유리는 생산하고 있지 않는 것으로 조사되어 물질흐름만 표시하였고, 수·출입량의 경우 업체조사 및 한국 무역통계자료를 이용하여 산정하였다.

산업용 유리제품(유리 착색제)내 셀레늄의 국내 수급량
 = (산업용 유리제품(유리 착색제) 생산량 + 산업용 유리제품(유리 착색제) 수입량 -
 산업용 유리제품(유리 착색제) 수출량) × 자원함유량

산업용 유리제품(유리 착색제) 내 셀레늄의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사 자료, 전문가 자문, 한국무역통계

- ⇒ 산업용 유리제품(유리 착색제)의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 산업용 유리제품(유리 착색제)의 국내 생산량 : 0 kg
 - 산업용 유리제품(유리 착색제)의 수입량 : 0 kg
 - 산업용 유리제품(유리 착색제)의 수출량 : 0 kg

⇒ 산업용 유리제품(유리 착색제)의 국내 수급량
 = 0 + 0 - 0
 = 0 kg

⇒ 산업용 유리제품(유리 착색제)의 MFA



다. 기타전구 및 램프(감광막)

복사기에 사용되는 셀레늄 감광막의 경우 알루미늄으로 만들어진 드럼의 표면에 셀레늄 화합물을 도포하여 사용된다. 이 셀레늄은 빛이 도달하기 직전에 (+)전하로 대전되는데 원본 종이에 반사된 빛이 대전된 셀레늄에 닿으면 셀레늄의 전기 저항이 낮아지면서 셀레늄은 전기가 통하는 도체의 성질을 띠게 되는데 이러한 성질을 가지고 있어 복사기 드럼의 전하 변화를 통해 복사가 이루어진다.

복사기 제조업체 조사결과 과거에는 복사기 드럼에 셀레늄이 도포된 드럼을 사용하였지만, 현재는 대체물질로 대체된 드럼을 사용하고 있으며, 국내 생산은 없는 것으로 조사되어 물질흐름만 표시하였다. 국내 기타전구 및 램프(감광막)의 수급량은 업체조사 결과 및 한국무역협회 통계자료를 이용하여 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{기타전구 및 램프(감광막)내 셀레늄의 국내 수급량} \\ & = (\text{기타전구 및 램프(감광막) 생산량} + \text{기타전구 및 램프(감광막) 수입량} - \text{기타전구 및 램프} \\ & \quad (\text{감광막) 수출량}) \times \text{자원함유량} \end{aligned}$$

기타전구 및 램프(감광막) 내 셀레늄의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계, 업체조사 자료, 문헌조사 자료

⇒ 기타전구 및 램프(감광막)의 생산량, 수입량 및 수출량

- 기타전구 및 램프(감광막)의 국내 생산량 : 0 kg
- 기타전구 및 램프(감광막)의 수입량 : 0 kg
- 기타전구 및 램프(감광막)의 수출량 : 0 kg

⇒ 기타전구 및 램프(감광막)의 국내 수급량

$$\begin{aligned} & = 0 + 0 - 0 \\ & = 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

⇒ 기타전구 및 램프(감광막)의 MFA



라. 전지(태양전지(광전지))

전지(태양전지(광전지))는 태양에너지를 전기 에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지로 태양으로부터 생성된 빛에너지를 전기에너지로 바꾸는 반도체 소자이다. 사용되는 재료에 따라 실리콘계, 화합물, 염료감응, 유기 등으로 구분되는데, 그 중 박막형 태양전지로 부상한 소재는 화합물반도체로 CIGS(CopperIndium Gallium Selenide)와 CdTe(Cadmium Telluride)와 염료감응소재인 DSSC(Dye-Sensitized Solar Cell)가 있다. 국내에서는 태양에너지융합연구센터가 CZTSSe(구리-아연-주석-황-셀레늄) 박막 태양전지 개발에 성공하였다. 현재 독성이 높은 하이드라진 용액을 사용한 용액 공정 기반을 진공 스퍼터링 공정 기반으로 제조공정을 변경하는데 까지 성공하였으며, 아직 상용화가 되지 않은 것으로 조사되었다.

국내 전지(태양전지(광전지))내 셀레늄의 국내 수급량은 업체조사 및 문헌조사를 이용하여 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{전지(태양전지(광전지))내 셀레늄의 국내 수급량} \\ & = (\text{전지(태양전지(광전지)) 생산량} + \text{전지(태양전지(광전지)) 수입량} - \\ & \quad \text{전지(태양전지(광전지)) 수출량}) \times \text{자원함유량} \end{aligned}$$

전지(태양전지(광전지)) 내 셀레늄의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사 자료, 문헌자료, 전문가 자문

⇒ 전지(태양전지(광전지))의 생산량, 수입량 및 수출량

- 전지(태양전지(광전지))의 국내 생산량 : 0 kg
- 전지(태양전지(광전지))의 수입량 : 0 kg
- 전지(태양전지(광전지))의 수출량 : 0 kg

⇒ 전지(태양전지(광전지))의 국내 수급량

$$\begin{aligned} & = 0 + 0 - 0 \\ & = 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

⇒ 전지(태양전지(광전지))의 MFA



마. 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)

셀레늄은 과량으로는 독성을 나타내나, 많은 동·식물에 필수적인 미량 무기 영양소이다. 셀레늄은 글루타티온 과산화효소와 티오레독신 환원효소와 같은 항산화 효소들의 구성 성분으로, 심장병과 신체 조직의 노화와 변성을 막거나 속도를 지연시키는 데 기여한다. 또한 갑상선 호르몬 탈아이오딘화효소의 보조인자로 갑상선 기능을 조절하고 면역계에도 중요한 역할을 한다.

국내 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)에 사용되는 셀레늄은 비타민/미네랄 보조 영양제에 함유되어 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 한국제약협회의 국내 의약품 중 비타민/미네랄 보조 영양제의 종류는 약 600종으로 다양한 종류가 생산되는 것으로 조사되었다. 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 수급량은 한국제약협회 통계자료 및 식품의약품안전처의 의약품 함유 정보를 이용하여 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{기타 화학제품(셀레늄 건조효모)내 셀레늄의 국내 수급량} \\ & = (\text{기타 화학제품(셀레늄 건조효모) 생산량} + \text{기타 화학제품(셀레늄 건조효모) 수입량} - \text{기타} \\ & \quad \text{화학제품(셀레늄 건조효모) 수출량}) \times \text{자원함유량} \end{aligned}$$

기타 화학제품(셀레늄 건조효모) 내 셀레늄의 국내 수급량 산정

이용자료: 식품의약품안전처 자료, 한국제약협회 통계, 한국무역통계

- ⇒ 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 국내 생산량 : 2,040 kg
 - 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 수입량 : 0 kg
 - 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 수출량 : 0 kg

$$\begin{aligned} & \Rightarrow \text{기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 국내 수급량} \\ & = 2,040 + 0 - 0 \\ & = 2,040 \text{ kg} \end{aligned}$$

⇒ 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)의 MFA



바. 중간제품의 수급량

셀레늄의 중간제품의 수급량은 전술한 바와 같이 기타비철금속, 1차제품(합금 첨가제), 산업용 유리제품(유리 착색제), 기타전구 및 램프(감광막), 전지(태양전지(광전지)), 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)로 구분하여 각각의 수급량을 산정하였고, 그 결과는 <표 13-2>에 나타내었다.

셀레늄의 중간제품 단계 국내 수급량
 = 기타비철금속, 1차제품(합금 첨가제) 수급량 + 산업용 유리제품(유리 착색제) 수급량 + 기타전구 및 램프(감광막) 수급량 + 전지(태양전지(광전지)) 수급량 + 기타 화학제품(셀레늄 건조효모) 수급량

<표 13-2> 중간제품의 수급량

(단위: kg)

구분	투입	수입	수출	수급
기타비철금속, 1차제품(합금 첨가제)	0	0	0	0
산업용 유리제품(유리 착색제)	0	0	0	0
기타전구 및 램프(감광막)	0	0	0	0
전지(태양전지(광전지))	0	0	0	0
기타 화학제품(셀레늄 건조효모)	2,040	0	0	2,040
합계	2,040	0	0	2,040

셀레늄 중간제품 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 문헌자료 및 업체조사 결과, 한국무역통계, 한국제약협회 의약품 통계, 식품의약품 전처, 전문가 자문

- ⇨ 셀레늄 중간제품 단계 수급량
 - 기타비철금속, 1차제품(합금 첨가제) 수급량 : 0 kg
 - 산업용 유리제품(유리 착색제) 수급량 : 0 kg
 - 기타전구 및 램프(감광막) 수급량 : 0 kg
 - 전지(태양전지(광전지)) 수급량 : 0 kg
 - 기타 화학제품(셀레늄 건조효모) 수급량 : 2,040 kg

⇨ 셀레늄의 중간제품 단계 국내 수급량

$$= 0 + 0 + 0 + 0 + 2,040$$

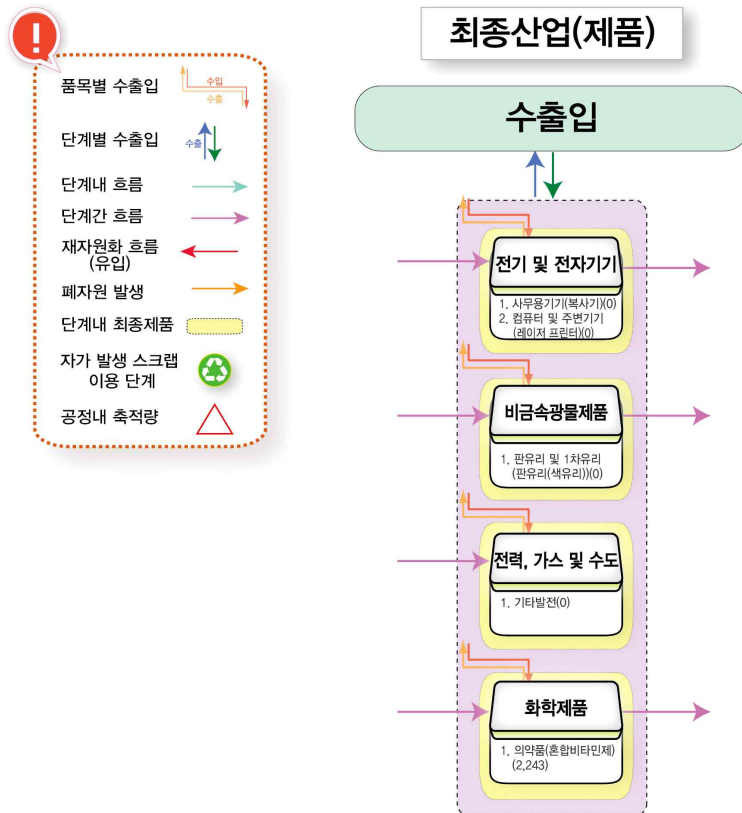
$$= 2,040 \text{ kg}$$

⇨ 셀레늄의 중간제품 단계 MFA



4. 최종산업(제품) 단계

최종산업(제품) 단계의 경우 산업연관표의 부문분류 기준에 따라 전기 및 전자기기, 비금속광물제품, 전력, 가스 및 수도, 화학제품 산업으로 구분되며 각 항목별 수급량은 한국무역통계, 업체조사자료, 문헌조사자료, 전문가 자문 등을 이용하여 산정하였으며 산정 결과는 [그림 13-4]에 나타낸 것과 같이 산정하였다.



[그림 13-4] 셀레늄의 최종산업(제품)단계 물질흐름도

최종산업(제품)으로 투입되는 셀레늄은 IO-KSIC 분류표를 활용해 <표 13-3>과 같이 산업연관표의 대분류 항목으로 구분하여 수급량을 산정하였다.

<표 13-3> 중간제품 항목과 최종제품 항목(산업연관표 이용) 대응

중간제품			최종제품	
항목명	코드번호	403개 기본부문	코드번호	대분류
합금첨가제	208	기타비철금속, 1차제품	-	-
유리 착색제	173	산업용 유리제품	09	비금속광물제품
감광막	246	기타전구 및 램프	13	전기 및 전자기기
태양전지(광전지)	245	전지	17	전력, 가스 및 수도
셀레늄 건조효모	165	의약품	08	화학제품

가. 전기 및 전자기기의 국내 수급량

전기 및 전자기기 내 셀레늄의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 기타전구 및 램프(감광막)에서 투입된다.

$$\begin{aligned} & \text{전기 및 전자기기 내 셀레늄 국내 수급량} \\ & = (\text{전기 및 전자기기 생산량} + \text{전기 및 전자기기 수입량} - \text{전기 및 전자기기 수출량}) \\ & \quad \times \text{자원함유량} \end{aligned}$$

전기 및 전자기기의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 업체조사 자료

- ↪ 전기 및 전자기기의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 전기 및 전자기기의 국내 생산량 : 0 kg
 - 전기 및 전자기기의 수입량 : 0 kg
 - 전기 및 전자기기의 수출량 : 0 kg

- ↪ 전기 및 전자기기의 국내 수급량
 - = 0 + 0 - 0
 - = 0 kg
- ↪ 전기 및 전자기기의 MFA



나. 비금속광물제품의 국내 수급량

비금속광물제품 내 셀레늄의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 산업용 유리제품(유리 착색제)에서 투입된다.

$$\begin{aligned} & \text{비금속광물제품 내 셀레늄 국내 수급량} \\ & = (\text{비금속광물제품 생산량} + \text{비금속광물제품 수입량} - \text{비금속광물제품 수출량}) \times \text{자원함유량} \end{aligned}$$

금속별 물질흐름 통계구축

비금속광물제품의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 전문가 자문, 판유리 협회 통계자료

- ⇒ 비금속광물제품의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 비금속광물제품의 국내 생산량 : 0 kg
 - 비금속광물제품의 수입량 : 0 kg
 - 비금속광물제품의 수출량 : 0 kg
- ⇒ 비금속광물제품의 국내 수급량
 - = 0 + 0 - 0 = 0 kg
- ⇒ 비금속광물제품의 MFA



다. 전력, 가스 및 수도의 국내 수급량

전력, 가스 및 수도 내 셀레늄의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 한국무역통계를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 전지(태양전지(광전지))에서 투입된다.

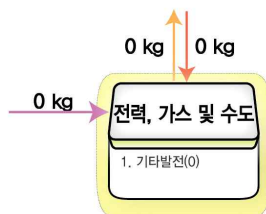
전력, 가스 및 수도 내 셀레늄 국내 수급량

$$= (\text{전력, 가스 및 수도 생산량} + \text{전력, 가스 및 수도 전자기기 수입량} - \text{전력, 가스 및 수도 수출량}) \times \text{자원함유량}$$

전력, 가스 및 수도의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 문헌자료, 한국무역통계

- ⇒ 전력, 가스 및 수도의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 전력, 가스 및 수도의 국내 생산량 : 0 kg
 - 전력, 가스 및 수도의 수입량 : 0 kg
 - 전력, 가스 및 수도의 수출량 : 0 kg
- ⇒ 전력, 가스 및 수도의 국내 수급량
 - = 0 + 0 - 0 = 0 kg
- ⇒ 전력, 가스 및 수도의 MFA



라. 화학제품의 국내 수급량

화학제품 내 셀레늄의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 한국제약협회 의약품 생산실적 통계, 한국무역통계를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 셀레늄 화합물, 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)에서 투입된다.

$$\text{화학제품 내 셀레늄 국내 수급량} = (\text{화학제품 생산량} + \text{화학제품 전자기기 수입량} - \text{화학제품 수출량}) \times \text{자원함유량}$$

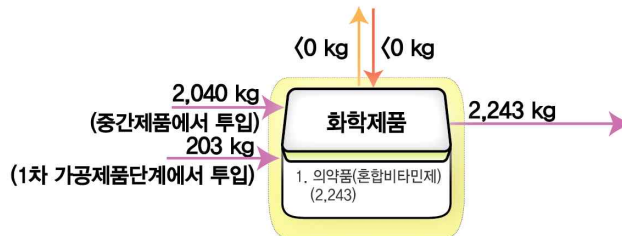
화학제품(혼합 비타민제)의 경우 국내로 수출되는 제품에 셀레늄 함유 비타민제의 종류는 약 37개 제품으로 제품에 함유되어 있는 셀레늄 건조 효모의 함량은 평균 50 μ g으로 그 물량이 극 미량인 것으로 조사되었다. 수입되는 비타민제 및 셀레늄 의약품의 경우 셀레늄 평균 함량은 80 μ g으로 극 미량 수입되는 것으로 조사되었다.

화학제품의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국제약협회 의약품 생산실적 통계

- ⇒ 화학제품의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 화학제품의 국내 생산량 : 2,243kg
 - 화학제품의 수입량 : <0 kg
 - 화학제품의 수출량 : <0 kg

- ⇒ 화학제품의 국내 수급량
 - = 2,243 + <0 - <0
 - = 2,243 kg
- ⇒ 화학제품의 MFA



금속별 물질흐름 통계구축

라. 최종산업(제품)의 국내 수급량

셀레늄의 최종산업(제품)의 수급량은 전술한 바와 같이 전기 및 전자기기, 비금속광물 제품, 전력, 가스 및 수도, 화학제품으로 구분하여 산정하였다.

셀레늄의 최종산업(제품) 단계 국내 수급량
= 전기 및 전자기기 수급량 + 비금속광물제품 수급량 + 전력, 가스 및 수도 수급량 + 화학제품 수급량

셀레늄 최종산업(제품)의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 한국제약협회 의약품 생산실적 통계

⇒ 셀레늄 최종산업(제품) 단계 수급량

- 전기 및 전자기기 수급량 : 0 kg
- 비금속광물 제품 수급량 : 0 kg
- 전력, 가스 및 수도 수급량 : 0 kg
- 화학제품 수급량 : 2,243 kg

⇒ 셀레늄의 최종산업(제품) 단계 국내 수급량

$$= 0 + 0 + 0 + 2,243$$
$$= 2,243 \text{ kg}$$

⇒ 셀레늄의 최종산업(제품) 단계 MFA



5. 사용·축적 단계

사용·축적 단계는 셀레늄이 투입되어 최종산업 단계에서 당해연도에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과 최종산업(제품)별 내구연수를 고려하여 분석기준 년도 이전에 생산된 최종산업(제품)이 물질흐름에 투입되어 순환되지 않고 사용자가 사용 하여 축적되는 물량, 사용 후 제품이 배출되는 단계이다.

본 연구의 물질흐름 기준년도인 2014년 이전에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과, 최종산업(제품)의 내구연수를 고려하여 축적량을 추정할 할 필요가 있다. 하지만, 단순조사 및 통계치만으로는 2014년 이전의 축적량 산정이 불가능하므로, 본 사업을 통해 도출된 최종산업(제품)의 수급량을 사용·축적단계로의 투입량으로 산정하였다.

사용·축적된 제품은 그 기능(수명)을 다하거나 교체 등의 이유로 사용 후 제품으로 발생되며, 이중 일부는 재자원화 되기 위해 수집되고, 일부는 폐기된다. 셀레늄의 사용 후 제품은 최종제품인 전자 및 전기기기, 비금속광물제품, 전력, 가스 및 수도의 배출량을 고려하여 물질흐름분석을 수행하였다.

사용·축적 단계에서 수집단계로의 셀레늄 투입량은 업체조사 및 문헌자료를 이용하여 산정하였다.

사용 및 축적 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 환경성 보장제도 재활용 실적, 업체조사 결과

- ⇒ 사용·축적 단계 수급량 산정
 - 사용·축적 단계로의 투입량 : 2,243 kg (최종제품에서의 수급량)
 - 사용·축적 단계로의 투입량 중 수집단계로의 투입량 : 0 kg

- ⇒ 사용·축적 단계의 국내 수급량 = 2,243 kg
- ⇒ 사용·축적 단계 MFA



6. 수집단계

1차 자원이 사용 후 배출되어 2차 자원으로서 재활용되기 위해 수집되어 처리되는 단계로 사용 및 축적 단계에서 수집되는 수집량으로 산정한다.

$$\begin{aligned} \text{수집단계 국내 수급량} &= (\text{2차 자원 발생량} \times \text{자원함유량}) \\ &+ (\text{2차 자원 수입량} \times \text{자원함유량}) \\ &- (\text{2차 자원 수출량} \times \text{자원함유량}) \end{aligned}$$

수집단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체자문 결과, 문헌조사 자료

- ⇒ 수집단계 국내 수급량 산정
 - 2차 자원 발생량 : 2,243 kg
 - 2차 자원 수입량 : 0 kg
 - 2차 자원 수출량 : 0 kg
- ⇒ 수집단계의 국내 수급량
 - = 2,243 + 0 - 0 = 2,243 kg
- ⇒ 수집 단계 MFA



7. 재자원화 단계

재자원화 단계는 수집단계 이후 재자원화 공정을 거치는 단계이다. 셀레늄의 경우 주요 재활용업체 조사 결과 현재까지는 재활용 중인 업체가 존재하지 않는 것으로 조사되었다. 재자원화가 이루어지지 않는 이유는 국내에서 사용되는 셀레늄은 대부분 의약품으로 사용되고 있으며, 폐 제품에 포함되어 있는 분리 및 정제가 기술이 존재하지 않는 것으로 조사되었다.

$$\begin{aligned} \text{재자원화단계 국내 수급량} &= (\text{2차 자원 수집처리량} \times \text{자원함유량}) + \\ &(\text{2차 자원 수입량} \times \text{자원함유량}) - \\ &(\text{2차 자원 수출량} \times \text{자원함유량}) + \\ &(\text{폐기단계로의 투입량} \times \text{자원함유량}) \end{aligned}$$

재자원화 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사 자료

- ↪ 재자원화 단계 산정
 - 2차 자원 수집처리량 : 2,243 kg
- ↪ 재자원화단계의 국내 수급량
 - = 2,243 kg
- ↪ 재자원화 단계 MFA



8. 폐기단계

폐기 단계는 셀레늄이 최종 폐기되는 단계로, 셀레늄 최종산업(제품)단계에서 배출된 폐기와, 2차 자원에서 배출된 폐기량을 고려하여 산정하였다.

폐기 단계의 국내 수급량 산정

- ↪ 폐기 단계 수급량 산정
 - 수집단계 폐기량 : 2,243 kg(최종산업(화학제품) 폐기량)
- ↪ 폐기단계의 국내 수급량
 - = 2,243 kg
- ↪ 폐기 단계 MFA

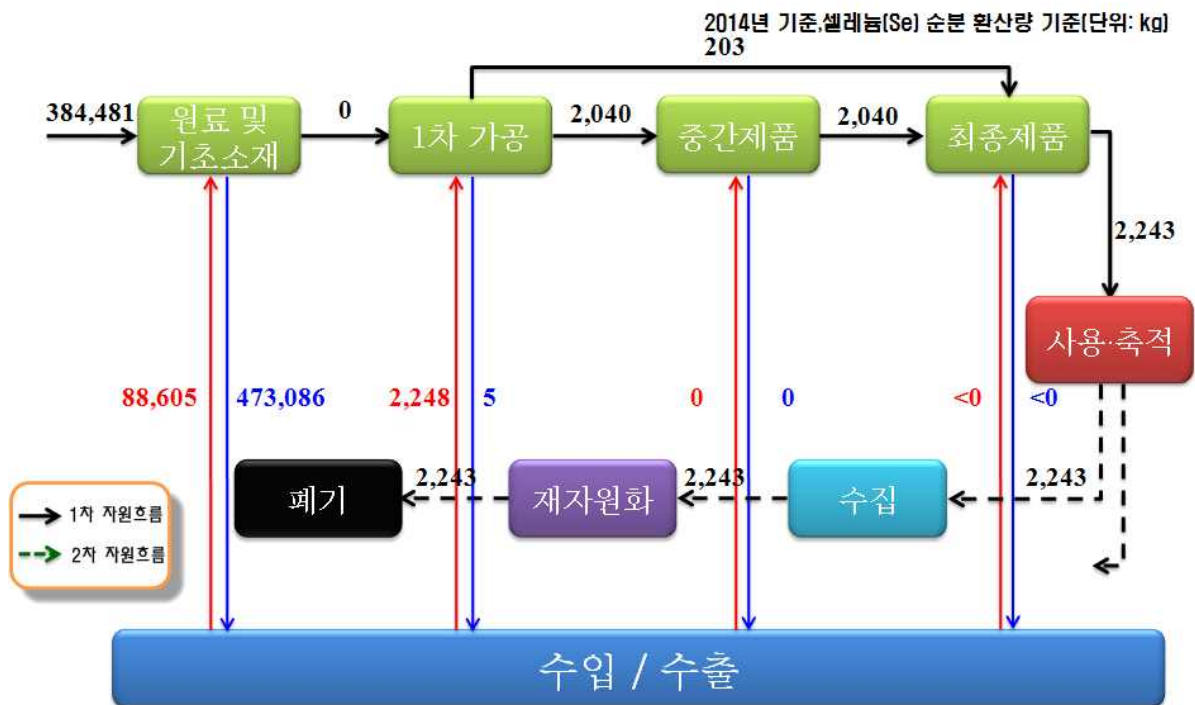


제3절 물질흐름분석 결과

1. 물질흐름도

가. 간이흐름도

앞에서 산정한 셀레늄의 물질흐름단계별 MFA 결과를 종합하여 간이 물질흐름도를 [그림 13-5]에 나타내었다.



[그림 13-5] 간이 물질흐름 및 분석

셀레늄의 간이 물질 흐름도는 2014년 기준의 자료이며, 원료 및 기초소재 단계에서부터 폐기까지의 전반적인 물질흐름을 표현하고 있다. 원료 및 기초소재 단계에서 셀레늄의 생산량은 384,481kg으로 전량 수출되고 있었으며, 1차 가공제품으로 전량 수입되어 다음단계로 투입되어 진다. 1차 가공제품단계 수급량인 2,243kg의 약 99%가 셀레늄의 주요 용도인 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)으로 투입되고, 그 외 약 1%가 최종산업(제품)의 화학제품(혼합비타민제)으로 투입된다. 중간제품 중 기타 전구 및 램프(감광막)의 경우 과거에는 셀레늄을 사용하였으나, 대체물질이 개발되어 현재는 사용되고 있지 않은 것으로 조사되었다. 전지(태양전지(광전지)의 경우 개발 중이며, 현재까지 상용화되지 않은 것으로 조사되었다. 최종산업(제품) 중 화학제품(혼합 비타민제)은 인간이 섭취하여 바로 자연으로 배출되므로, 수급량이 폐기단계로 투입된다.

물질 흐름 단계별 투입, 수입, 수출, 수급량은 <표 13-4>와 같다.

<표 13-4> 셀레늄 물질흐름 단계별 분석 결과

(단위: kg)

구분	투입	수입	수출	재활용	수급
원료 및 기초소재	384,481	88,605	473,086	0	0
1차 가공	0	2,248	5	0	2,243
중간제품	2,040	0	0	0	2,040
최종제품	2,243 ¹⁾	>0	>0	0	2,243 ²⁾
사용 축적	2,243	0	0	0	2,243
수집	2,243	0	0	0	2,243
재자원화	2,243	0	0	0	2,243
폐기	2,243	0	0	0	0

1) 중간제품 수급량 2,040kg + 1차 가공제품 수급량 203kg

2) 최종산업(제품) 단계의 수급량은 화학제품(혼합 비타민제) 수급량으로 폐기단계로 투입

나. 상세 물질흐름

셀레늄의 상세흐름도는 간이흐름도와 같이 2014년 기준 자료를 이용했으며, 각 단계별 세부 흐름을 나타내었다. 원료 및 기초소재 단계의 경우 업체자문 및 관련 전문가 조사 결과 셀레늄 피는 동제련 부산물로 생산하여 전량 수출하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 1차 가공제품 단계에서부터 셀레늄화합물의 형태로 전량 수입되는 셀레늄의 흐름을 파악할 수 있다. 각 단계별 생산량, 수출입량, 2차 자원 투입량, 2차 자원 발생량의 흐름을 표현하였고 셀레늄의 경우 현재 재자원화가 이루어지고 있지 않고 폐기단계로 바로 투입되는 흐름을 나타내었다.

중간제품단계로 투입되는 1차 가공제품은 2,040kg으로 약 99%가 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)로 투입된다. 기타전구 및 램프(감광막)의 경우 과거 셀레늄을 도포한 드럼을 사용하였으나, 대체물질이 개발되어 현재 국내 생산 및 수·출입량은 존재하지 않는 것으로 조사되었다. 전지(태양전지(광전지))의 경우 현재 개발은 성공하였으나, 상용화 되지 않은 것으로 조사되었고, 기타비철금속, 1차제품(합금첨가제)의 경우 국내 주요 생산업체 조사결과, 국내 생산은 없는 것으로 조사되었다. 산업용 유리제품(유리 착색제)은 국내 주요 업체 조사 결과 국내 셀레늄을 함유한 판유리(분홍색)는 생산하고 있지 않으며, 대부분 블루, 그린, 브론즈 색상만을 생산하고 있는 것으로 조사되었다.

최종산업(제품)단계로 투입되는 양은 총 2,243kg으로 중간제품 단계에서 2,040kg투입되며, 1차 가공제품 단계에서 203kg 투입된다.

셀레늄의 상세흐름도를 [그림 13-6]에 나타내었다.

2. 완전성 및 신뢰도

가. 단계별 흐름 정량화

셀레늄의 물질흐름은 MFA 통합 방법론과 같이 총 8단계로 구분되어 분석되었다. 각 단계별 물질흐름은 다음 <표 13-5>과 같은 통계, 업체 자료 등을 이용해 정량화를 실시하였다.

<표 13-5> 셀레늄 물질 흐름 단계별 정량화 방법

구분	생산량	수·출입	수급량
원료 및 기초소재	문헌조사자료, 업체조사자료	업체조사자료, 한국무역협회 자료	MFA 통합 방법론 ¹⁾
1차 가공	문헌조사자료, 업체조사자료	업체조사자료, 한국무역협회 자료	
중간제품	문헌조사자료, 전문가 자문, 업체조사자료	업체조사자료, 한국무역협회 자료, 전문가 자문	
최종산업(제품)	문헌조사자료, 업체조사자료	업체조사 자료, 한국무역협회 자료, 한국제약협회 통계자료	
사용 추적	업체조사자료, 문헌조사자료, 한국제약협회 통계자료	-	
수집		-	
재자원화		-	
폐기		-	

1) 수급량 = 투입량 + 수입량 - 수출량 + 2차 자원의 투입량

나. 신뢰도 검증

셀레늄 물질흐름은 기 구축된 통계자료 및 업체 조사자료 등을 통한 통합방법론에 준하여 구축하였다. 각 단계별 물질흐름량의 산정 시 최대한 신뢰도를 높일 수 있는 방법을 수행하였다. 셀레늄의 물질흐름은 업체조사를 중심으로 하여 독점업체 자료 이용, 점유율 이용 등으로 그 신뢰도를 향상시켰다. 혼합비타민제의 경우 한국제약협회 및 식품의약품안전처의 통계자료 및 함유량 정보의 공신력있는 기관에서 발표한 자료를 이용하여 그 신뢰도를 향상 시켰다. 세부적인 신뢰성 검토 결과는 <표 13-6>에 나타내었다.

<표 13-6> 중간제품 단계 의약품 생산업체조사

(단위 : kg)

구분	투입량			비고
	물질흐름 반영	물량		
의약품 (셀레늄 건조효모)	2,040	구분	업체명	생산량 조사결과
		국내생산	'H업체'	1,000
			'D업체'	40
			'I업체'	1,000
				국내 셀레늄 건조효모를 생산하는 업체의 생산량 확인

3. 논의사항 및 개선사항

가. 문제점

○ 1차 자원 흐름

원료 및 기초소재단계의 경우, 현재 국내에는 동 제련 부산물로 셀레늄 피를 생산하고 있었으며, 생산되는 셀레늄 피는 전량 수출되는 것으로 조사되었다. 1차 가공단계의 경우, 셀렌산염, 셀렌의결염이나착염의 수·출입량으로 산정하였다.

국내 셀레늄의 주요 용도는 기타 화학제품(셀레늄 건조효모)으로, 중간 및 최종제품단계에서의 물질흐름 분석 시 해당 용도로의 흐름을 파악하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 하지만, 각 의약품의 셀레늄 함유량 정보를 업체 조사를 통해 확보하는 것은 매우 어렵고, 물질흐름 구축년도에 해당하는 연구자료를 확보하는 것 또한 사실상 불가능하기 때문에 정확한 함유량 정보를 이용한 신뢰도 높은 물질흐름통계를 구축하기 위하여 공신력있는 통계자료를 이용하여 산정하였다.

○ 2차 자원 흐름

국내외 업체조사 및 연구자료 조사 결과, 현재 셀레늄을 재자원화하는 기술은 존재하지 않는 것으로 나타났으며, 국내에 셀레늄을 대상으로 한 재자원화 연구개발 계획 또한 아직 수립되지 않는 것으로 나타났다. 셀레늄을 함유한 제품 중 전지(태양전지(광전지))의 경우 현재 상용화 되지 않았지만, 향후 상용화 될 경우 재자원화 기술에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

나. 향후 개선사항

전술한 바와 같이 중간제품 단계에서의 셀레늄 전지(태양전지(광전지))에 대한 통계자료 구축이 필요하며, 중간 및 최종 제품 단계에서의 셀레늄 용도에 따른 함유량에 관련된 신뢰도 높은 연구자료 수집이 요구된다. 또한, 현재는 셀레늄의 재자원화가 전혀 이뤄지지 않고 있는 실정이므로, 향후 셀레늄 재자원화가 이뤄질 경우, 이에 대한 재자원화 통계 및 재자원화 기술에 대한 자료 수집이 요구된다.

4. 기대효과 및 활용방안

가. 기대효과

셀레늄의 물질흐름 분석을 통하여, 국내 셀레늄의 수급구조를 파악하였으며, 그 수급 특징을 상세하게 파악하였다. 본 연구성과를 활용해 주기적으로 해당 데이터를 업데이트 함으로써 셀레늄 연관 산업과 셀레늄의 수급실태 및 특징을 추적할 수 있으며, 그 과정을 통하여 국가자원관리방안을 수립하고 수정하는데 중요한 지표가 정립될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 재자원화 단계의 경우 셀레늄이 전지(태양전지(광전지)로부터 수집되는 제품 속에 함유되어 있으나 제품 내 셀레늄을 분리 및 회수하는 기술이 부재한 상황이므로 향후 기술개발을 통한 재자원화량 산정 및 재자원화를 통한 기대효과 정립의 기초자료로서도 활용될 수 있다. 또한, 재자원화를 향상을 통해 각 단계별 자원생산성 향상 방안의 토대를 마련할 수 있으며 원료 및 기초소재단계에서 국외로 수출되는 양이 많으므로, 향후 자원 관리 전략 등의 기초자료로 주요 관리 산업 및 제품 선정 등에 활용할 수 있다.

나. 활용방안

셀레늄의 전반적인 물질흐름을 파악함으로써 재자원화 단계의 셀레늄 화합물의 수집량, 셀레늄 화합물의 자원생산성 등 주요지표의 근거자료로 활용할 수 있다. 셀레늄을 추출할 수 있는 재자원화 기술이 전혀 없는 실정이므로, 재자원화 기술 개발에 의한 셀레늄 자원 확보를 통해 충당할 수 있는 셀레늄 공급 계획 등의 기초자료로 활용될 수 있다. 국내에서 생산되는 셀레늄 피의 정제련 기술 개발을 통해 국내에서 소비되는 셀레늄 화합물의 사용량을 충당할 수 있는 셀레늄 공급 계획 등의 기초자료로 활용될 수 있다. 추가적으로 셀레늄의 경제적 효과 산정 시, 본 연구자료를 활용할 수 있다.

제14장 텔루륨(Te)의 물질흐름분석

제1절 사업목표 및 수행내용

1. 텔루륨 물질흐름 조사

- 1, 2차 자원 흐름분석을 위한 광공업통계, 한국무역통계 등 기존 국가 통계 활용가능 자료 및 기 수행된 MFA 자료 조사
- 제품의 자원함유량, 제품의 수요처 등 부족 자료의 경우 업체 방문 및 설문을 통한 자료 조사

2. 물질흐름 통계 구축

가. 원료 및 기초소재 단계

- 국외에서 채굴되어 추출된 텔루륨 함유광석을 가공하지 않거나 분상의 텔루륨의 형태로 생산하는 단계에 대한 MFA 수행
 - 원료 및 기초소재 단계로 투입되는 텔루륨의 국내 수급량 조사 및 분석을 통한 원료 및 기초소재 단계 물질흐름조사 분석
 - 원료 및 기초소재 단계 생산업체 설문 및 방문을 통한 구축된 통계 자료의 보완 및 미구축 통계자료의 확보, 통계자료의 정합성 검증
- 조사 방법 및 내용

단계별 흐름도	단계 정의		이용 자료
	(1)	국내 텔루륨함유광석 수급량	문헌조사
	(1i)	텔루륨 함유 광석 수입량	문헌조사
	(1e)	텔루륨 함유 광석 수출량	문헌조사
	(2)	텔루륨 원료 및 기초소재 수입량	-
	(3)	텔루륨 원료 및 기초소재 수출량	-
	(4)	원료 및 기초소재 단계에서의 스크랩발생량	-
	(5)	텔루륨 원료 및 기초소재 국내 수급량	-
	(25a)	원료 및 기초소재 단계로의 2차 자원 재자원화 투입량	-

나. 1차 가공제품단계

- 원료 및 기초소재 단계를 거쳐 배출된 텔루륨을 1차 가공(Te Alloy, 텔루륨화합물) 단계를 거쳐 제품 혹은 상품을 제조하기 위한 형태로 제조되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 1차 가공제품단계로 투입되는 텔루륨의 국내 수급량 조사 및 분석을 통한 1차 가공제품단계 물질흐름조사 분석
 - 1차 가공제품단계 생산업체 유선조사 및 방문을 통한 미구축된 통계 자료의 확보(1차 가공제품으로의 투입량, 1차 가공제품의 수급량 등), 통계자료의 정합성 검증
- 텔루륨의 1차 가공제품단계 설정
 - 산업연관표의 부분분류표, 한국무역통계의 HS Code 등의 자료와 전문가 자문 등을 통해 Ba Ally, 텔루륨화합물을 1차 가공제품단계 설정
- 조사 방법 및 내용

단계별 흐름도	단계 정의		이용 자료
	(5)	원료 및 기초소재 단계 국내 수급량	전 단계에서 배출된 수량
	(6)	1차 가공제품 단계 수입량	업체 조사 결과
	(7)	1차 가공제품 단계 수출량	-
	(8)	1차 가공제품 단계 2차 자원 발생량	2차 자원 발생량 없음
	(9)	1차 가공제품 단계 국내 수급량	업체 조사자료 및 문헌 조사자료 이용
	(25 _b)	1차 가공제품 단계로의 2차자원 투입량	2차 자원 투입량 없음

- 활용 가능 자료

구분	자료
1차 가공제품 수입량 및 수출량	통계자료 및 업체 조사 결과 이용
1차 가공제품 국내 수급량	업체 조사 결과 이용
2차 자원 투입량	2차 자원 투입량 없음

- 업체 조사 자료의 경우 원료 투입량, 생산된 1차 가공제품의 주 납품처(수요처) 및 비율, 생산제품 업체의 시장 점유율 등에 대하여 조사

다. 중간제품단계

- 1차 가공제품으로부터 생산된 제품으로서 최종산업(제품)을 사용 혹은 생산하기 위한 중간제품을 생산하는 단계에 대한 MFA 수행

금속별 물질흐름 통계구축

- 중간제품 생산량을 포함하여 1차 가공제품이 각 중간제품으로 투입되는 수량 파악 및 물질흐름조사 분석
- 업체조사 자료 및 문헌조사 자료를 통한 중간제품 단계 국내 수급량 산정, 중간 제품생산량 통계자료의 정합성 검증
- 텔루륨의 중간제품단계의 설정
 - 산업연관표의 403개 기본부문분류 중 중간제품분류 항목으로 설정
- 조사 방법 및 내용
 - 1차 가공업체 조사 결과를 바탕으로 중간제품으로 투입되는 흐름 및 수량 파악, 업체 조사 결과가 미흡할 시 중간제품 생산량 통계 자료 및 관련 문헌 등을 활용하여 흐름 및 수량 파악
 - 중간제품 수출입량은 업체조사결과를 이용하여 산정
- 활용 가능 자료

구분	자료
중간제품 단계 수입량 및 수출량	산업연관표 수출입계수(2009년 기준) 통계자료 및 업체조사 결과 이용
중간제품 단계 국내 수급량	업체조사 결과 및 문헌조사자료

라. 최종산업(제품)단계

- 텔루륨이 투입된 중간제품들이 최종적으로 투입되는 산업으로서 전기 및 전자기기, 일반기계 등의 분류와 각 산업의 대표적인 제품으로 구성되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 최종산업(제품) 생산량을 포함하여 1차 가공제품과 중간제품이 각 최종산업(제품)으로 투입되는 수량 파악 및 물질흐름 조사 분석
 - 업체조사 자료와 국내 관련 통계 자료와의 비교를 통해 수치 정확성 검증
- 텔루륨의 최종산업(제품)단계의 설정
 - 산업연관표의 부문분류에 해당하는 항목을 최종산업(제품)분류 대상으로 설정
- 조사 방법 및 내용
 - 중간제품 생산업체 조사 결과를 바탕으로 최종산업(제품)으로 투입되는 흐름 및 수량 파악, 업체 조사 결과가 미흡할 시 최종산업(제품) 생산량 통계 자료 및 관련 문헌 등을 활용하여 흐름 및 수량 파악
 - 최종산업(제품) 수출입량, 최종산업(제품) 수급량, 최종산업(제품) 단계로의 2차자원 재자원화 투입량, 최종산업(제품)에서의 텔루륨 함유량 등(한국자동차공업협회 통계 자료, 한국무역협회, 업체조사자료 등을 이용)

○ 활용 가능 자료

구분	자료
최종산업(제품) 수입량 및 수출량	산업연관표 수출입계수(2009년 기준) 업체조사 결과 이용
최종산업(제품) 국내 공급량	최종산업(제품)의 텔루륨 함유량 (업체조사 자료)

마. 사용·추적단계

- 텔루륨이 투입되어 최종산업(제품)단계에서 당해연도에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과 최종산업(제품)별 내구년수를 고려하여 전년도 생산된 최종산업(제품) 추적, 그리고 텔루륨 자원의 사용 후 2차 자원으로 재자원화되기 위해 수집단계로 투입되는 단계에 대한 MFA 수행이 필요함
- 텔루륨 함유 제품의 내구년수를 고려한 추적량 등을 포함하여 평가하기 위한 자료가 충분히 구축되어 있지 않기 때문에, 단계로만 구분하고 최종제품 공급량으로 산정

바. 수집단계

- 텔루륨의 1차자원이 사용 후 배출되어 2차 자원으로서 재활용되기 위해 수집되어 처리되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 텔루륨이 투입된 최종산업(제품)의 사용 후 발생하는 제품별 폐기물 발생량과 폐기물의 텔루륨 함유량을 고려하여 2차 자원 수집량 파악 및 물질흐름 조사 분석
 - 최종산업(제품) 사용 후 발생하는 제품별 폐기물 발생량과 자원 함유량을 고려하여 산정(업체 자료 조사 결과 및 통계 자료 활용)
- 조사 방법 및 내용
 - 2차 자원 국내 수집 투입량을 산정하기 위하여 문헌조사 자료 이용
 - 2차 자원으로의 투입량 및 수집처리량 산정을 위하여 업체 조사결과 및 문헌조사 자료 활용
 - 조사 내용: 환경정보장제도에 품목별 재활용 실적, 폐차 재활용 실적
- 활용 가능 자료

구분	자료
수집단계 투입량	환경정보장제도 품목별 재활용 실적 국토 교통부 폐차 재활용 실적

사. 재자원화단계

- 수집단계 이후 1차 자원으로 재투입되기 위한 재자원화 공정을 거치는 단계에 대한 MFA 수행
 - 텔루륨의 경우 주요 재활용업체 조사 결과 현재까지 재활용 업체는 존재하지 않았으며 미국지질조사국(USGS)에서 발표한 텔루륨의 재자원화 현황 또한 2014년 기준 전세계적으로 재자원화 되고 있지 않은 것으로 조사됨

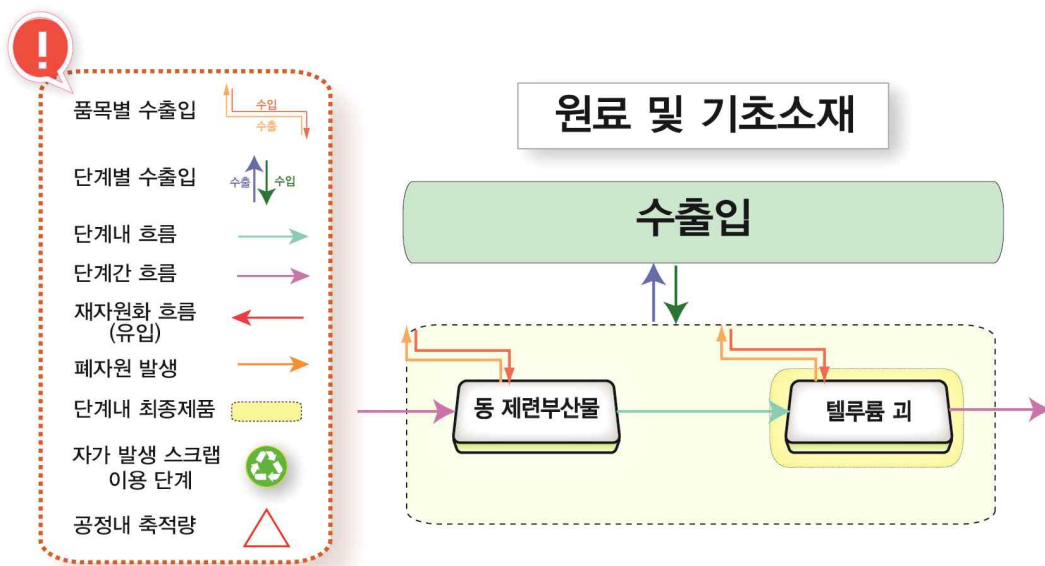
아. 폐기단계

- 텔루륨이 최종 폐기되는 단계에 대한 MFA 수행
 - 수집단계에서 배출된 텔루륨의 수집처리 폐기량과 재자원화 단계에서 배출된 텔루륨의 최종처분 즉 매립량을 고려함

제2절 흐름단계별 물질흐름분석

1. 원료 및 기초소재 단계

텔루륨의 원료 및 기초소재 단계는 동 제련부산물로부터 텔루륨 괴까지로 정의한다. 텔루륨화합물이나 금속텔루륨은 동제련부산물에 포함되어 있는 텔루륨을 출발물질로 하여 제조 되는데 국내 동제련 업체에서 텔루륨 괴를 생산하고 있는 것으로 조사되었다. 단 업체조사 결과 생산된 텔루륨 괴는 전량 수출하고 있는 것으로 나타났다. 텔루륨의 원료 및 기초소재 단계의 물질흐름을 [그림 14-1]에 나타내었다.



[그림 14-1] 텔루륨의 원료 및 기초소재단계 물질흐름도

가. 동제련 부산물 수급량

동제련 부산물은 HS Code로 분류되어 있지 않으며, 동제련 부산물 수급량은 국내 동제련 부산물 발생량과 수입량을 합한 후 수출량을 제외하여 수급량을 산정하였다.

동제련 부산물 수급량

$$= \text{국내 동제련 부산물 생산량} + (\text{동제련 부산물 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{동제련 부산물 수출량} \times \text{자원함유량})$$

국내 텔루륨의 자원현황은 태백산 광화대와 황강리 광화대를 중심으로 광산이 형성되어 있는 것으로 보고되고 있으나 이 광산은 텔루륨의 낮은 함유량의 이유로 개발의 가치가 없어 개발 되지 않고 있다. 국내 텔루륨 생산은 동제련시 조연에 포함되어 있는 불순물(Cu)을 드로스로 제거한 후, 불순물이 제거된 도연을 전해공정의 양극판(Anode Plate)으

금속별 물질유형 통계구축

로 구조하는 공정에서 생성된다. 2014년 기준 국내 동제련 기업인 LS-Nikko동제련 및 고려아연에서 순도 99.99%의 텔루륨 그래놀을 생산하여 10kg 단위로 판매하고 있으며, 이 물량은 전량 수출되고 있는 것으로 조사되었다.

한국 무역통계에 텔루르(HS Code 2804.50.2000)로 분류되어 관련 통계가 집계되고 있으나 화합물과 ingot의 분류 없이 집계되는 것으로 조사되었다.

<표 14-1> 텔루르의 수출입량

연도	텔루르(2804.50.2000)			
	수입		수출	
	금액(천불)	중량(kg)	금액(천불)	중량(kg)
2012	574	158	223,741	9,612
2013	2,029	478	195,144	8,226
2014	2,942	539	224,657	9,797

출처: 한국무역통계

동제련 부산물의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계

광산물 수급현황

- ⇒ 동제련 부산물 생산량, 수입량 및 수출량
- 동제련 부산물 국내 생산량 : 224,657 kg
- 동제련 부산물의 텔루륨 수입량 : 0 kg
- 동제련 부산물의 텔루륨 수출량 : 0 kg

- ⇒ 동제련 부산물의 국내 수급량
= 224,657 + 0 - 0
= 224,657 kg
- ⇒ 동제련 부산물의 MFA



나. 텔루륨괴 수급량

텔루륨괴는 HS Code상 2804.50.2000(텔루르)으로 분류되어 있으나, 텔루륨 화합물과 물량이 구분되어 있지 않아 텔루륨괴만의 물량을 산정할 수 없어 업체조사결과를 통해 텔루륨괴 수급량을 산정하였다.

텔루륨괴 수급량

$$= \text{국내 텔루륨괴 생산량} + (\text{텔루륨괴 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{텔루륨괴 수출량} \times \text{자원함유량}) + (2\text{차 자원 투입량} \times \text{자원함유량})$$

업체조사 결과 현재 동계련부산물을 통해 국내에서 생산되는 텔루륨괴는 99.99%의 순도를 지니고 있어 전량 수출되어 지고 있으며, 중국, 벨기에, 일본 등에서 99.999%(5N) 이상 순도를 지닌 텔루륨괴를 수입하여 비휘발성 메모리 및 반도체소자에 사용되는 텔루륨 화합물을 생산하고 있는 것으로 조사되었다.

텔루륨괴 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계
업체 조사 자료

- ⇒ 텔루륨괴 생산량, 수입량 및 수출량
 - 텔루륨괴 국내 생산량 : 224,657 kg
 - 텔루륨괴 수입량 : 51 kg
 - 텔루륨괴 수출량 : 224,657 kg

⇒ 텔루륨괴의 국내 수급량
 $= 224,657 + 51 - 224,657$
 $= 51 \text{ kg}$

⇒ 텔루륨괴 MFA



금속별 물질흐름 통계구축

다. 텔루륨 원료 및 기초소재 단계 수급량

국내 텔루륨의 원료 및 기초소재 단계 수급량은 전술한 바와 같이 동제련부산물, 텔루륨괴의 생산 및 수출입량을 활용하여 산정하였다.

텔루륨의 원료 및 기초소재 단계 국내 수급량 (순분량 환산)

$$= (\text{텔루륨괴 국내 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{텔루륨괴 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{텔루륨괴 수출량} \times \text{자원함유량})$$

텔루륨 원료 및 기초소재 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계
업체조사 결과

⇒ 텔루륨 원료 및 기초소재 생산량, 수출입량

- 텔루륨괴 국내 생산량 : 224,657 kg
- 텔루륨괴 수입량 : 51 kg
- 텔루륨괴 수출량 : 224,657 kg

⇒ 텔루륨 원료 및 기초소재의 국내 수급량

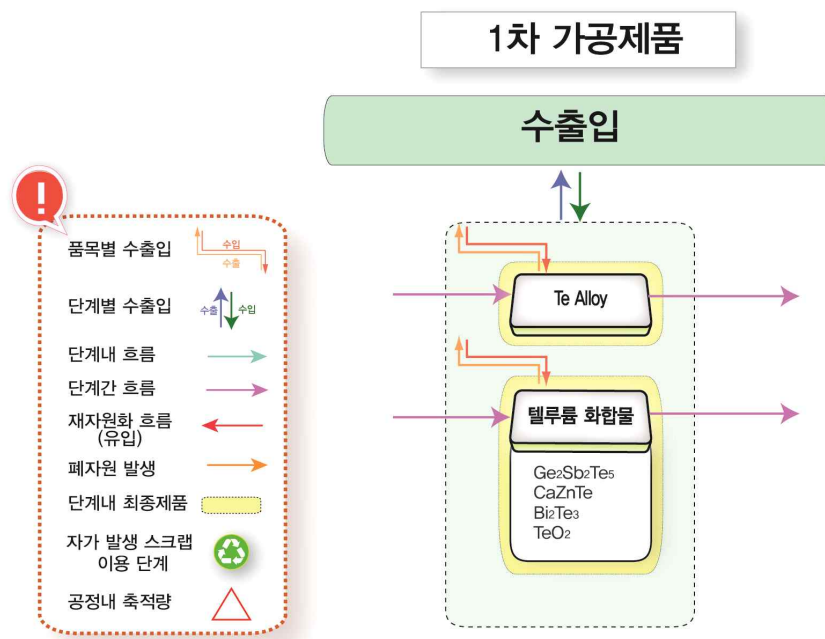
$$= 224,657 + 51 - 224,657$$
$$= 51 \text{ kg}$$

⇒ 텔루륨 원료 및 기초소재 단계 MFA



2. 1차 가공제품 단계

1차 가공제품 단계는 원료 및 기초소재 단계를 거쳐 상품을 제조하기 위한 소재 형태로 제조되는 단계로 정의되며 Te Alloy, 텔루륨 화합물을 포함한다. 1차 가공제품 단계의 세부 흐름은 [그림 14-2]와 같다.



[그림 14-2] 텔루륨의 1차 가공제품 단계 물질흐름도

가. Te Alloy 국내 수급량

Te Alloy는 텔루륨이 포함된 합금을 의미하며, 국내에서 사용되는 Te Alloy는 텔루륨동(CuTe)가 유일한 것으로 조사되었다. 순동은 연성이 매우 좋은 재료로 연성은 여러 가지 분야에서 매우 유익한 성질이지만, 기계가공을 하기에는 매우 불리한 성질이다. 그렇지만, 순동에 0.5%의 텔루륨으로 첨가하여 CuTe(Copper Telluride)합금을 형성시키면 순동의 가공성이 현저하게 개선된다. 그래서 텔루륨동을 일본금형업계에서는 쾌삭동이라고 부른다. 텔루륨동의 전기전도도나 열전도도 및 연성은 조금 밖에 영향을 받지 않는다. 텔루륨은 구리와 합금을 형성하면서 미세구조상에 Copper Telluride 석출물을 형성하게 된다. 이 석출물은 절삭 칩을 작은 조각으로 끊어주는 역할을 하여, 순동에 비하여 빠른 속도로 절삭가공하는 것이 가능하다. 가공성(Machinability Index)란 동일한 표면 품질과 공구 수명을 유지하면서 낼 수 있는 가공속도를 지수로 표시한 것인데, 텔루륨합동의 가공성(Machinability)을 기준으로 하여 텔루륨합동의 가공성을 100이라고 할 때, 순동은 20에 불과한 반면, 텔루륨동은 90 수준이다. 다시 말하면 같은 표면 품질로 가공할 때 텔루륨동은 순동을 가공할 때에 비해서 이론적으로는 4.5배 빠른 속도로 가공할 수 있다는 의미이다. 즉, 순동으로 9시간 가공해야 할 전극을 텔루륨동으로는 단 2시간만에 가공할 수

금속별 물질유름 통계구축

있다는 뜻이다. 따라서, 시간당 임율이 높은 고속가공기를 이용하여 전극을 가공하는 경우에는 텔루륨동을 사용하여 가공시간을 단축하는 것이 전극가공비용을 절감하는 지름길이다. 가공성을 기준으로 비교해 볼 때 텔루륨동을 순동과 같은 가공조건으로 가공한다면 공구의 수명은 4.5배 더 오래 사용할 수 있다. 또한 텔루륨동은 수소약화(수소가 금속에 흡수되어 금속의 격자에 변화가 생기면서 결정이 약해져서 부스러지기 쉽게 되는 현상)에 강하다. 금속의 전기전도도를 표현하는 방법으로 흔히 % IACS를 사용한다. 여기서 IACS란 International Annealed Copper Standard의 약자로서 순동의 전기전도도를 100%, 즉 기준으로 설정하고 이것과의 상대적인 전기전도도를 표현하는 방식이다. 예를 들어 은(Ag)의 경우에는 105% IACS이다. 즉 은(Ag)는 순동에 비하여 5% 더 높은 전기전도도를 가지고 있다는 의미이다. 텔루륨동은 전기전도도 또한 높아서 약 52 m/W mm² (90% IACS)이다. 이것은 방전가공 시에 발생시키는 에너지 또한 순동에 비하여 크게 떨어지지 않는다는 것을 의미한다. 좋은 품질의 텔루륨동 고품질의 텔루륨동을 생산하려면 고품질의 빌렛을 생산할 수 있어야 한다. 고품질의 빌렛은 산소와의 접촉이 완벽하게 차단된 분위기에서, 탄소분말이나 일산화탄소 가스를 이용하여 구리로부터 모든 자유 산소를 제거하는 무산소동 생산과 동일한 공정으로 생산되어야 한다. 산소는 텔루륨과 재빠르게 결합하여 산화텔루륨 불순물을 형성하고, 이는 구리에 취성을 띄게 만들기 때문에 철저히 차단되어야 한다. 좋은 품질의 텔루륨동을 얻기 위해서 필요한 또 다른 중요한 특성은 Copper Telluride의 균일한 분포이다. 앞서 말한 바와 같이 Copper Telluride는 석출물을 형성하면서 구리 입자의 입계에 분포함으로써 절삭가공시에 칩의 길이를 짧게 잘라내는 역할을 한다. 따라서 텔루륨동 내부에 Copper Telluride가 작고 고르게 분포되어 있어야만 절삭성을 개선시킬 수 있다.

업체조사 결과 텔루륨동은 국내에서는 경제성이 없다는 이유로 생산하지 않고 전량 수입하여 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 Te Alloy 국내 수급량은 업체 조사 자료를 이용하여 산정 하였다.

$$\begin{aligned} \text{Te Alloy의 국내 수급량} &= (\text{Te Alloy 생산량} \times \text{자원함유량}) + \\ &\quad (\text{Te Alloy 수입량} \times \text{자원함유량}) - \\ &\quad (\text{Te Alloy 수출량} \times \text{자원함유량}) \end{aligned}$$

Te Alloy는 HS Code가 분류되어 있지 않으므로 업체 조사 결과를 이용하였다.

Te Alloy의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체 조사 자료 및 문헌조사 자료

⇒ Te Alloy의 생산량, 수입량 및 수출량

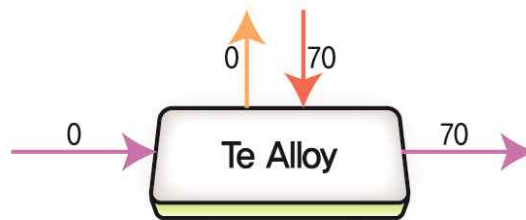
- Te Alloy의 국내 생산량 : 0 kg
- Te Alloy의 수입량 : 70 kg
- Te Alloy의 수출량 : 0 kg

⇒ Te Alloy의 국내 수급량

$$= 0 + 70 - 0$$

$$= 70 \text{ kg}$$

⇒ Te Alloy의 MFA



나. 텔루륨 화합물 국내 수급량

텔루륨 화합물의 경우 용도에 따라 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, CaZnTe , Bi_2Te_3 , TeO_2 기타 텔루륨 화합물로 구분할 수 있다. $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 는 국내 비휘발성 메모리 생산 시 사용되는 화합물로 국내 일부 업체에서 생산 연구단계에 있으며, CaZnTe 또한 차세대 방사선 센서용 반도체에 사용되는 화합물로 한국원자력연구원에서 연구 개발 단계에 있다. 두 화합물에 대한 수출입량은 해당 연구소 조사를 통해 산출하였다. Bi_2Te_3 는 국내 텔루륨 사용이 가장 많은 열전소자 생산에 투입되는 화합물로 해당 화합물의 수출입통계가 존재하지 않으므로 열전소자 생산 업체조사를 통해 수출입 및 생산량을 산정 하였다.

텔루륨화합물의 국내 수급량은 업체 조사 자료를 이용하여 산정하였으며 다음식을 통해 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{텔루륨화합물 국내 수급량} = & (\text{텔루륨화합물 생산량} \times \text{자원함유량}) + \\ & (\text{텔루륨화합물 수입량} \times \text{자원함유량}) - \\ & (\text{텔루륨화합물 수출량} \times \text{자원함유량}) + \\ & (\text{2차 자원 투입량} \times \text{자원함유량}) - \\ & (\text{2차 자원 발생량} \times \text{자원함유량}) \end{aligned}$$

금속별 물질흐름 통계구축

텔루륨 화합물의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역통계, 업체 조사 자료

- ↪ 텔루륨 화합물 생산량, 수입량 및 수출량
 - 텔루륨 화합물 국내 생산량 : 51 kg(텔루륨괴으로부터 투입)
 - 텔루륨 화합물 수입량 : 1,455 kg
 - 텔루륨 화합물 수출량 : 0 kg
 - 2차 자원 투입량 : 0 kg
- ↪ 텔루륨 화합물의 국내 수급량
 - = 51 + 1,455 - 0 + 0 = 1,506 kg
- ↪ 텔루륨 화합물의 MFA



다. 1차 가공제품의 수급량

국내 텔루륨의 1차 가공제품 단계 수급량은 전술한 바와 같이 Te Alloy 및 텔루륨 화합물의 생산량, 수출입량, 2차 자원 투입량 및 발생량을 활용하여 산정하였다.

텔루륨의 1차 가공제품 단계 국내 수급량 = Te Alloy 수급량 + 텔루륨 화합물 수급량

1차 가공제품 단계의 국내 수급량 산정

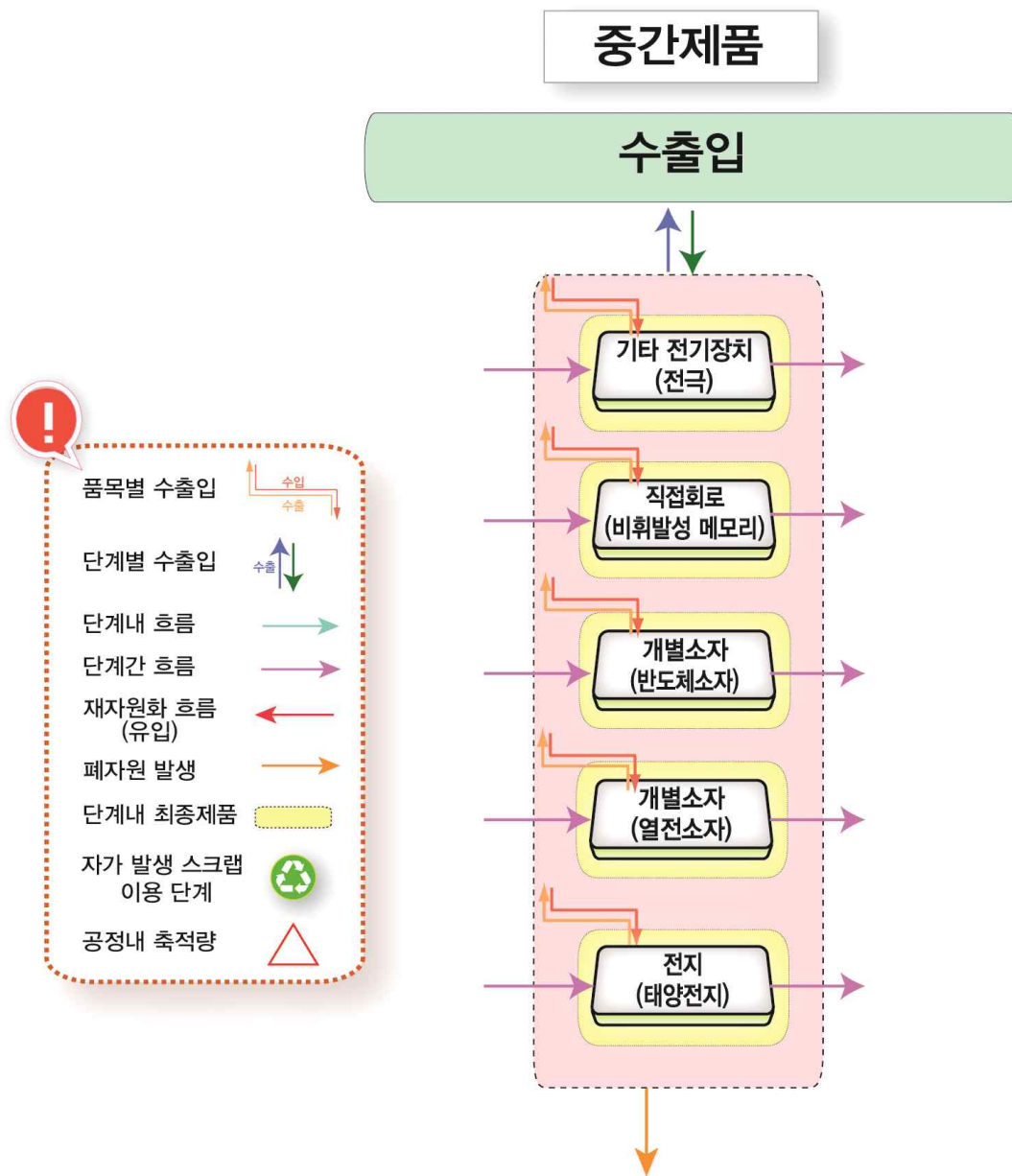
이용자료: 한국무역통계, 업체 조사 자료 및 문헌 조사 자료

- ↪ 텔루륨 1차 가공제품 단계 수급량
 - Te Alloy의 국내 생산량 : 0 kg
 - 텔루륨 화합물 국내 생산량 : 51 kg(텔루륨괴로부터 투입)
 - Te Alloy의 수입량 : 70 kg
 - 텔루륨 화합물 수입량 : 1,455 kg
 - Te Alloy의 수출량 : 0 kg
 - 텔루륨 화합물 수출량 : 0 kg
 - 2차 자원 투입량 : 0 kg
 - 2차 자원 발생량 : 0 kg
- ↪ 텔루륨의 1차 가공제품 단계 국내 수급량
 - = 0 + 51 + 70 + 1,455 - 0 - 0 + 0 - 0 = 1,576 kg
- ↪ 텔루륨의 1차 가공제품 단계 MFA



3. 중간제품 단계

중간제품 단계는 원료 및 기초소재, 1차 가공제품 단계로부터 생산된 제품으로서 최종 산업(제품)을 사용 혹은 생산하기 위한 중간제품을 생산하는 단계로 정의된다. 중간제품 단계의 제품은 기타전기장치(전극), 직접회로(비휘발성 메모리), 개별소자(반도체소자), 개별소자(열전소자), 전지(태양전지)로 구분되며 각 제품에 대한 수급량은 산업연관표, 업체 조사자료 등을 이용하여 산정하였으며 산정 결과는 [그림 14-3]과 같다.



[그림 14-3] 텔루륨의 중간제품단계 물질흐름도

가. 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 국내 수급량

기타 전기장치(전극)내 순동은 여러 분야에 유익한 성질이지만 기계 가공하기에는 불리한 성질로 텔루륨을 약 0.7% 첨가하여 CuTe(텔루륨동) 합금을 형성 시키면 가공성이 현저하게 개선된다. 텔루륨동은 전기전도도가 높기 때문에 기계가공이 많이 필요한 방전가공용 전극으로 사용되거나, 전기접점으로 사용할 경우 스파크가 발생하지 않아 접점으로 사용된다. 텔루륨동은 국내 수요가 많지 않아 생산에 대한 경제성이 낮아 전량 수입하여 사용하며, 텔루륨동 수입 업체 조사 결과 전량 전극 생산 업체로 투입 되는 것으로 조사되었다.

$$\begin{aligned} & \text{기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 국내 수급량} \\ & = (\text{전극 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{전극 수입량} \times \text{자원함유량}) - \\ & \quad (\text{전극 수출량} \times \text{자원함유량}) - (\text{2차 자원 발생량}) \end{aligned}$$

기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 국내 수급량 산정

이용자료: 산업연관표, 업체 조사 자료

- ↪ 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 국내 생산량 : 70 kg
 - 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 수입량 : 33 kg
 - 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 수출량 : 21 kg
 - 2차 자원 발생량 : 0 kg

$$\begin{aligned} & \text{기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 국내 수급량} \\ & = 70 + 33 - 21 - 0 \\ & = 82 \end{aligned}$$

↪ 기타 전기장치(전극)내 텔루륨의 MFA



나. 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 국내 수급량

직접회로(비휘발성 메모리)는 $Ge_2Sb_2Te_5$ 텔루륨 화합물을 이용하여 비휘발성 메모리의 일종인 상변화 기억칩(Phase-change memory chip: PCME 또는 PRAM) 소자에 사용된다. PRAM은 빠른 작동속도의 램(RAM)계열 메모리와 비휘발성 특성의 플래시 계열 메모리의 장점을 모두 지닌 차세대 메모리이다. 텔루륨이 포함된 비휘발성 메모리 시장은 아직 초기단계로 삼성전자 및 SK하이닉스에서 이미 개발 완료되었으나 양산에 대한 정보는 업체 모두 비공개 상태로 직접회로(비휘발성 메모리) 생산에 투입된 텔루륨은 전량 최종단계로 투입되지 않고 수집되어 있는 상태이다. 직접회로(비휘발성 메모리) 국내 수급량은 다음을 통해 산정한다.

$$\begin{aligned} & \text{직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 국내 수급량} \\ & = (\text{비휘발성 메모리 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{비휘발성 메모리 수입량} \times \text{자원함유량}) - \\ & \quad (\text{비휘발성 메모리 수출량} \times \text{자원함유량}) - (\text{2차 자원 발생량}) \end{aligned}$$

직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 국내 수급량 산정

이용자료: 산업연관표, 업체 조사 자료

⇒ 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 생산량, 수입량 및 수출량

- 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 국내 생산량 : 101 kg
- 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 수입량 : 0 kg
- 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 수출량 : 0 kg
- 2차 자원 발생량 : 101 kg

⇒ 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= 101 + 0 - 0 - 101$$

$$= 0 \text{ kg}$$

⇒ 직접회로(비휘발성 메모리)내 텔루륨의 MFA



다. 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 국내 수급량

텔루륨화합물 CaZnTe은 반도체는 우주 방사선 관측을 위한 우주 망원경의 감마선 감지 센서, PET, SPECT 등 핵의료 영상장치용 3차원 영상 방사선 센서, 소형 핵물질 및 동위원소 분석기 감마선 감지 센서, 차세대 태양전지 소재 등 활용성이 뛰어난 차세대 소재다. 특히 에너지 분해능이 높고 에너지 밴드갭(bandgap)이 커서 상온에서 별도의 냉각장치 없이도 센서로 동작이 가능, 소형화가 가능하기 때문에 Ge 반도체를 대체할 차세대 방사선 센서용 원천소재로 주목받고 있다. CZT 화합물 반도체는 또한 현재 태양전지 소재로 광범위하게 사용되고 있는 실리콘 반도체보다 반응 효율이 2배 높아 좁은 면적에서 많은 전력을 생산할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다.

방사선 센서 세계 시장 규모는 연간 11억 달러로 매년 10 % 이상 성장하고 있고, 그 중에서도 CZT 센서 시장은 2006년 현재 3,000만 달러로 평균보다 빠르게 성장하고 있다. 현재 세계 시장의 70 %를 독점하고 있는 미국 eV products 사 등 소수 회사들이 CZT 단결정을 공급하고 있는 가운데, 이를 활용해서 CZT 기반 첨단 핵의료 영상장치들이 개발되고 있다. 또한 미국 국토안보부는 핵 테러, 방사선 테러로부터 자국민을 보호하기 위해 개당 1만 달러 이하의 휴대폰형 CZT 반도체 방사선 계측기 전 국민에게 보급할 계획을 세우고 있다. 미국이 테러와의 전쟁 이후 CZT 단결정을 전략물자로 분류한 데다 관련 기업들이 부가가치가 높은 방사선 센서 완제품 형태로만 공급하고 있어 단결정 기술이 없는 국가들은 소재 확보에 어려움을 겪고 있다. 소재 원천기술이 부족한 현실에서 자체적으로 대구경 단결정 성장 기술을 개발함에 따라, 향후 차세대 반도체 센서용 시장에 주도적으로 참여할 수 있을 것으로 기대된다.

국내 한국원자력 연구원에서는 과학기술부 원자력연구개발사업의 일환으로 2007년부터 수행한 연구개발 결과 Cd(카드뮴), Zn(아연), Te(텔레늄) 3가지 원소가 합성된 화합물 반도체 소재인 CZT(CdZnTe) 화합물을 지름 2인치의 대구경 단결정으로 성장시키는 데 성공했다. CZT 화합물을 지름 1인치 이상의 대구경 단결정으로 성장시킨 것은 프랑스, 미국, 영국, 캐나다, 이스라엘에 이어 세계 6번째(개발 주체 기준으로는 세계 8번째)다.

한국원자력 연구원 조사 결과에 따라 현재 국내 상용화된 텔루륨 반도체소자는 없으며 전량 연구 단계에 사용되어 최종산업단계로 투입되지 않고 전량 수집되는 것으로 표기하였다. 개별소자(반도체소자)내 텔루륨 국내 수급량은 다음과 같이 산정한다.

개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= (\text{반도체소자 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{반도체소자 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{반도체소자 수출량} \times \text{자원함유량}) - (\text{2차 자원 발생량})$$

개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역협회, 업체 조사 자료

⇨ 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 생산량, 수입량 및 수출량

- 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 국내 생산량 : 5,505 kg
- 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 수입량 : 0.01 kg
- 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 수출량 : 0.8 kg
- 2차 자원 발생량 : 0 kg

⇨ 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= 5,505 + 0.01 - 0.8 - 0$$

$$= 5,504.21 \text{ kg}$$

⇨ 개별소자(반도체소자)내 텔루륨의 MFA



라. 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 국내 수급량

텔루륨 화합물인 Bi_2Te_3 를 원료로하여 생성되는 열전소자는 자동차 온도조절시트, 반도체 제조용 기계, 컴퓨터 및 가전제품의 냉각장치 등 광범위하게 사용된다. 열전소자는 열 에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환하는데 사용되는 소자로 에너지 절감이라는 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 소재이자 기술이다. 선진국들은 연구소와 기업을 중심으로 연료효율을 증진시키기 위한 열전소재 연구를 진행하고 있고, 국내에서도 연구소와 대학을 중심으로 수행되고 있다. 국내에서는 열전소자를 제작하기 위한 기반 기술은 선진국에 비해 낮은 수준(ZT~0.8)이며, 정부 지원도 미흡한 실정이다. 대학 및 출연연을 중심으로 실리콘 및 비스무스-텔루라이드(Bi-Te)계 벌크, 박막, 나노선 등 열전소재의 효율을 높이기 위한 연구가 진행 중이다.

국내 열전소자 제조업체 조사 결과 열전소자 생산을 위한 원료인 Bi_2Te_3 를 중국으로부터 수입하여 생산하고 있는 것으로 조사되었다. 열전소자의 텔루륨 사용량은 업체 조사를 통해 산정하였으며, 수출입량은 한국무역협회 수출입통계자료와 열전소자의 평균단가 및 평균 텔루륨 함유량을 통해 산정하였다.

금속별 물질흐름 통계구축

개별소자(열전소자)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= (\text{열전소자 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{열전소자 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{열전소자 수출량} \times \text{자원함유량}) - (\text{2차 자원 발생량})$$

<표 14-2> 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 수출입 비율

구분	수입	수출
수출입량(EA)①	716.638	726.522
열전소자 평균무게(g)②	20.7	20.7
평균 Te 함유량(%)③	9.62	9.62
Te 순분량(kg)(①×②)×③	1,433	1,453

자료 : 한국무역협회 수출입통계, 고등기술연구원 자문

개별소자(열전소자)내 텔루륨의 국내 수급량 산정

이용자료: 산업연관표, 업체 조사 자료

↪ 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 생산량, 수입량 및 수출량

- 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 국내 생산량 : 1,355 kg
- 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 수입량 : 1,433 kg
- 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 수출량 : 1,453 kg
- 2차 자원 발생량 : 0 kg

↪ 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= 1,355 + 1,433 - 1,453 - 0$$

$$= 1,335$$

↪ 개별소자(열전소자)내 텔루륨의 MFA



마. 전지(태양전지)내 텔루륨의 국내 수급량

태양전지는 태양에너지를 전기 에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지로 태양으로부터 생성된 빛에너지를 전기에너지로 바꾸는 반도체 소자이다. 사용되는 재료에 따라 실리콘계, 화합물, 염료감응, 유기 등으로 구분되는데. 그 중 박막형 태양전지로 부상한 소재는 화합물반도체로 CIGS(CopperIndium Gallium Selenide)와 CdTe(Cadmium Telluride)와 염료감응소재인 DSSC(Dye-Sensitized Solar Cell)이다. 특히 CdTe 태양전지는 높은 경제성과 효율성으로 2006년 전체 태양전지 시장 2.7% 점유율에서 2009년 12.3%로 증가하며 빠른 성장을 보이고 있다. 국내에서는 한국과학기술원이 스크린 프린팅 기법으로 CdTe를 합성하는 연구를 수행 중에 있으나 실용화에 필요한 대면적화 방안에 대한 연구개발이 미흡한 실정이다.

한국과학기술원 및 에너지관리공단 조사 결과 2014년 기준 CdTe 태양전지 생산량 및 수출입량은 없는 것으로 조사되었으나, 추후 흐름이 발생할 수 있으므로 해당 전지(태양전지)를 중간제품으로 추가하였다.

전지(태양전지)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= (\text{태양전지 생산량} \times \text{자원함유량}) + (\text{태양전지 수입량} \times \text{자원함유량}) - (\text{태양전지 수출량} \times \text{자원함유량}) - (\text{2차 자원 발생량})$$

전지(태양전지) 내 텔루륨의 국내 수급량 산정

이용자료: 한국무역협회, 업체 조사 자료

⇒ 전지(태양전지) 텔루륨의 생산량, 수입량 및 수출량

- 전지(태양전지)내 텔루륨의 국내 생산량 : 0 kg
- 전지(태양전지)내 텔루륨의 수입량 : 0 kg
- 전지(태양전지)내 텔루륨의 수출량 : 0 kg
- 2차 자원 발생량 : 0 kg

⇒ 전지(태양전지)내 텔루륨의 국내 수급량

$$= 0 + 0 - 0 - 0$$

$$= 0 \text{ kg}$$

⇒ 전지(태양전지)내 텔루륨의 MFA



금속별 물질흐름 통계구축

바. 중간제품의 수급량

텔루륨의 중간제품의 수급량은 전술한 바와 같이 기타전기장치(전극), 직접회로(비휘발성 메모리), 개별소자(반도체소자), 개별소자(열전소자), 전지(태양전지)로 구분하여 각각의 수급량을 산정하였고, 그 결과는 <표 14-3>에 나타내었다.

텔루륨의 중간제품 단계 국내 수급량

$$= \text{기타전기장치(전극) 수급량} + \text{직접회로(비휘발성 메모리) 수급량} + \\ \text{개별소자(반도체소자) 수급량} + \text{개별소자(열전소자) 수급량} + \text{전지(태양전지) 수급량}$$

<표 14-3> 중간제품의 수급량

(단위: kg)

구분	투입	수입	수출	수급
기타전기장치(전극)	70	33	21	82
직접회로(비휘발성메모리)	101	0	0	101*
개별소자(반도체소자)	50	0	0	50*
개별소자(열전소자)	1,355	1,433	1,453	1,335
전지(태양전지)	0	0	0	0

* 수집 단계로 투입

텔루륨 중간제품 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 문헌자료 및 업체조사 결과, 한국무역통계, 전문가 자문

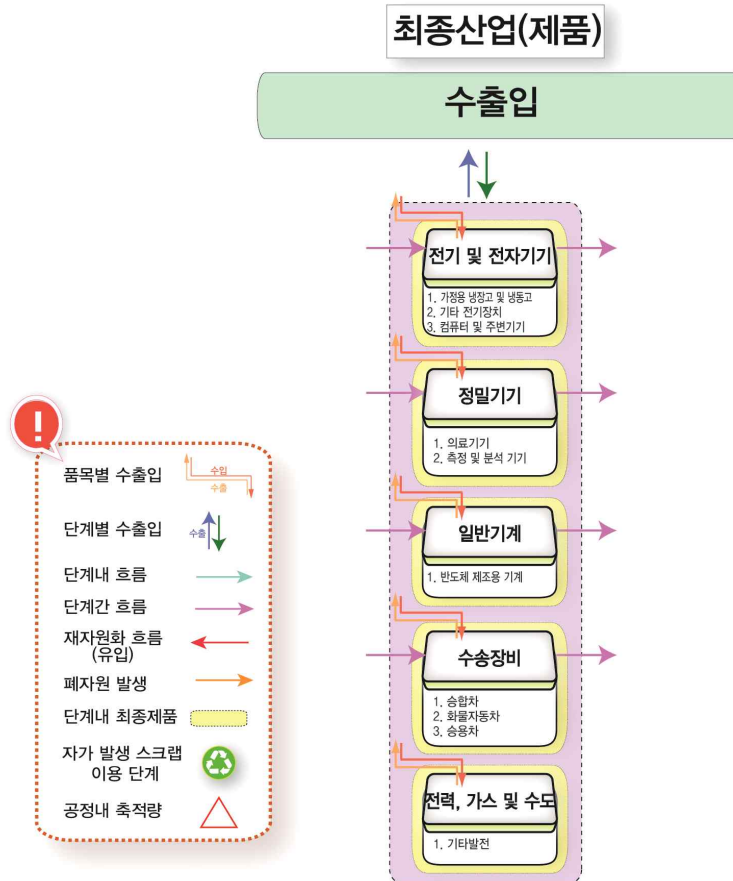
- ↳ 텔루륨 중간제품 단계 수급량
 - 기타전기장치(전극) 수급량 : 82 kg
 - 직접회로(비휘발성 메모리) 수급량 : 101 kg
 - 개별소자(반도체소자) 수급량 : 50 kg
 - 개별소자(열전소자) 수급량 : 1335 kg
 - 전지(태양전지) 수급량 : 0 kg

- ↳ 텔루륨의 중간제품 단계 국내 수급량
 - = 82 + 101 + 50 + 1,335 + 0
 - = 1,568 kg
- ↳ 텔루륨의 중간제품 단계 MFA



4. 최종산업(제품) 단계

최종산업(제품) 단계의 경우 산업연관표의 부문분류 기준에 따라 전기 및 전자기기, 정밀기기, 일반기계, 수송장비, 전력,가스 및 수도 산업으로 구분되며 각 항목별 수급량은 한국무역통계, 업체조사자료, 2009년 산업연관표 수출입 계수, 문헌조사자료, 전문가 자문 등을 이용하여 산정하였으며 산정 결과는 [그림 14-4]에 나타난 것과 같이 산정하였다.



[그림 14-4] 텔루륨의 최종산업(제품)단계 물질흐름도

최종산업(제품)으로 투입되는 텔루륨은 IO-KSIC 분류표를 활용해 <표 14-4>과 같이 산업연관표의 대분류 항목으로 구분하여 수급량을 산정하였다.

<표 14-4>중간제품 항목과 최종제품 항목(산업연관표 이용) 대응

항목명	중간제품		최종제품	
	코드번호	403개 기본부문	코드번호	대분류
전극	247	기타전기장치		전기 및 전자기기
비휘발성메모리	251	직접회로		정밀기기
반도체소자	250	개별소자		일반기계
열전소자	250	개별소자		수송장비
태양전지	245	전지		전력, 가스 및 수도

금속별 물질흐름 통계구축

가. 전자 및 전기기기의 국내 수급량

전자 및 전기기기 내 텔루륨의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 2009년 기준 산업연관표를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 기타전기장치(전극), 직접회로(비휘발성메모리), 개별소자(열전소자)로부터 투입된다.

전자 및 전기기기 내 텔루륨 국내 수급량

$$= (\text{전자 및 전기기기 생산량} + \text{전자 및 전기기기 수입량} - \text{전자 및 전기기기 수출량}) \times \text{자원함유량}$$

전자 및 전기기기는 중간제품 기타전기장치(전극), 직접회로(비휘발성메모리), 개별소자(열전소자)로부터의 투입으로 구분된다. 전자 및 전기기기의 중간제품으로부터 투입량은 업체조사를 이용한 방식과 산업연관표를 이용하여 Top-down 방식으로 배분계수를 사용하는 방식을 복합적으로 산정하였으며, 각 제품의 수출입량은 2009년 산업연관표의 생산자가격 평가표 중 총 산출액 대비 수입, 수출액 비율을 통해 산정하였다. 전자 및 전기기기의 투입량, 수출입량, 수급량 산정결과는 <표 14-5>과 같다.

<표 14-5> 전자 및 전기기기(가정용 냉장고 및 냉동고 외 2개)의 국내 수급량

(단위: kg)

제품	투입량	수입량	수출량	수급량
가정용 냉장고 및 냉동고	223	4	93	134
기타 전기장치	82	39	25	96
컴퓨터 및 주변기기	0	0	0	0

전자 및 전기기기의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 2009년 기준 산업연관표

⇒ 전자 및 전기기기의 생산량, 수입량 및 수출량

- 전자 및 전기기기의 국내 생산량 : 305 kg
- 전자 및 전기기기의 수입량 : 43 kg
- 전자 및 전기기기의 수출량 : 118 kg

⇒ 전자 및 전기기기의 국내 수급량

$$= 6305 + 43 - 118$$

$$= 230 \text{ kg}$$

⇒ 전자 및 전기기기의 MFA



나. 정밀기기의 국내 수급량

정밀기기 내 텔루륨의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 2009년 기준 산업연관표를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 개별소자(반도체소자)에서 투입된다.

정밀기기 내 텔루륨 국내 수급량
 = (정밀기기 생산량 + 정밀기기 수입량 - 정밀기기 수출량) × 자원함유량

정밀기기는 중간제품 개별소자(반도체소자)로부터 투입되며, 업체조사 결과를 사용하여 산정하였으며, 각 제품의 수출입량은 2009년 산업연관표의 생산자가격 평가표 중 총 산출액 대비 수입, 수출액 비율을 통해 산정하였다. 정밀기기의 투입량, 수출입량, 수급량 산정결과는 <표 14-6>과 같다.

<표 14-6> 정밀기기(의료기기 외 1개)의 국내 수급량

(단위: kg)

제품	투입량	수입량	수출량	수급량
의료기기	0	12	0	12
측정 및 분석기기	0	0	0	0

정밀기기의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 2009년 기준 산업연관표

- ⇒ 정밀기기의 생산량, 수입량 및 수출량
 - 정밀기기의 국내 생산량 : 0 kg
 - 정밀기기의 수입량 : 12 kg
 - 정밀기기의 수출량 : 0 kg

- ⇒ 정밀기기의 국내 수급량
 - = 0 + 12 - 0
 - = 12 kg

- ⇒ 정밀기기의 MFA



다. 일반기계의 국내 수급량

일반기계 내 텔루륨의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 2009년 기준 산업연관표를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 개별소자(열전소자)에서 투입된다.

일반기계 내 텔루륨 국내 수급량
 = (일반기계 생산량 + 일반기계 수입량 - 일반기계 수출량) × 자원함유량

일반기계는 중간제품 개별소자(열전소자)로부터의 투입되며, 중간제품으로부터 투입량은 산업연관표를 이용하여 Top-down 방식으로 배분계수를 사용하여 산정하였으며, 각 제품의 수출입량은 2009년 산업연관표의 생산자가격 평가표 중 총 산출액 대비 수입, 수출액 비율을 통해 산정하였다. 일반기계의 투입량, 수출입량, 수급량 산정결과는 <표 14-7>과 같다.

<표 14-7> 일반기계(반도체 제조용 기계)의 국내 수급량

(단위: kg)

제품	투입량	수입량	수출량	수급량
반도체 제조용 기계	1,088	796	201	1,683

일반기계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 2009년 기준 산업연관표

⇒ 일반기계의 생산량, 수입량 및 수출량

- 일반기계의 국내 생산량 : 1,088 kg
- 일반기계의 수입량 : 796 kg
- 일반기계의 수출량 : 201 kg

⇒ 일반기계의 국내 수급량

$$= 1,088 + 796 - 201$$

$$= 1,683 \text{ kg}$$

⇒ 일반기계의 MFA



라. 수송장비의 국내 수급량

수송장비 내 텔루륨의 수급량은 업체 조사자료, 문헌자료, 2009년 기준 산업연관표를 이용하여 투입량 및 수출입량을 산정하였으며, 개별소자(열전소자)에서 투입된다.

수송장비 내 텔루륨 국내 수급량
 = (수송장비 생산량 + 수송장비 수입량 - 수송장비 수출량) × 자원함유량

수송장비는 중간제품 개별소자(열전소자)로부터의 투입되며, 중간제품으로부터 투입량은 산업연관표를 이용하여 Top-down 방식으로 배분계수를 사용하여 산정하였으며, 각 제품의 수출입량은 2009년 산업연관표의 생산자가격 평가표 중 총 산출액 대비 수입, 수출액 비율을 통해 산정하였다. 수송장비의 투입량, 수출입량, 수급량 산정결과는 <표 14-8>과 같다.

<표 14-8> 수송장비(승합차 외 2개)의 국내 수급량

(단위: kg)

제품	투입량	수입량	수출량	수급량
승합차	7	0	1	6
화물자동차	8	0	3	5
승용차	9	1	6	4

수송장비의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 2009년 기준 산업연관표

⇒ 수송장비의 생산량, 수입량 및 수출량

- 수송장비의 국내 생산량 : 24 kg
- 수송장비의 수입량 : 1 kg
- 수송장비의 수출량 : 10 kg

⇒ 수송장비의 국내 수급량

$$= 24 + 1 - 10$$

$$= 15 \text{ kg}$$

⇒ 수송장비의 MFA



마. 전력, 가스 및 수도 제조장치의 국내 수급량

전력, 가스 및 수도의 텔루륨 투입량은 중간제품의 전지(태양전지)로 투입된 텔루륨이 전력생산에 사용된 것으로 전력, 가스 및 수도를 생산하는데 텔루륨이 직접적으로 투입되지 않고 생산품에 텔루륨이 포함되어있지 않기 때문에 최종산업 이후의 흐름이 없는 것으로 나타내었다.

바. 최종산업(제품)의 국내 수급량

텔루륨의 최종산업(제품)의 수급량은 전술한 바와 같이 전기 및 전자기기, 정밀기기, 일반기계, 수송장비, 전력,가스 및 수도 산업으로 구분하여 산정하였다.

텔루륨의 최종산업(제품) 단계 국내 수급량
 = 전기 및 전자기기 수급량 + 정밀기기 수급량 + 일반기계 수급량 + 수송장비 수급량 + 전력, 가스 및 수도 수급량

텔루륨 최종산업(제품)의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체조사자료, 한국무역통계, 2009년 기준 산업연관표

- ↪ 텔루륨 최종산업(제품) 단계 수급량
 - 전기 및 전자기기 수급량 : 230 kg
 - 정밀기기 수급량 : 12 kg
 - 일반기계 수급량 : 1,683 kg
 - 수송장비 수급량 : 15 kg
 - 전력, 가스 및 수도 수급량 : 0 kg

↪ 텔루륨의 최종산업(제품) 단계 국내 수급량
 = 230 + 12 + 1,683 + 15 + 0
 = 1,940 kg

↪ 텔루륨의 최종산업(제품) 단계 MFA



5. 사용·축적 단계

사용·축적 단계는 텔루륨이 투입되어 최종산업 단계에서 당해연도에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과 최종산업(제품)별 내구연수를 고려하여 분석기준 년도 이전에 생산된 최종산업(제품)이 물질흐름에 투입되어 순환되지 않고 사용자가 사용 하여 축적되는 물량, 사용 후 제품이 배출되는 단계이다.

본 연구의 물질흐름 기준년도인 2014년 이전에 생산된 최종산업(제품)의 소비 및 사용과, 최종산업(제품)의 내구연수를 고려하여 축적량을 추정할 할 필요가 있다. 하지만, 단순조사 및 통계치만으로는 2014년 이전의 축적량 산정이 불가능하므로, 본 사업을 통해 도출된 최종산업(제품)의 수급량을 사용·축적단계로의 투입량으로 산정하였다.

사용·축적된 제품은 그 기능(수명)을 다하거나 교체 등의 이유로 사용 후 제품으로 발생되며, 이중 일부는 재자원화 되기 위해 수집되고, 일부는 폐기된다. 텔루륨의 사용 후 제품은 최종제품인 전자 및 전기기기 및 수송장비의 배출량을 고려하여 물질흐름분석을 수행하였다. 사용·축적 단계에서 수집단계로의 텔루륨 투입량은 업체조사자료, 환경성보장제도 재활용 실적 등을 이용하여 산정하였다. 재활용 실적의 세부적인 산정 내용은 <표 14-9>에 나타내었다.

<표 14-9> 환경성보장제도의 재활용 실적에 따른 텔루륨 수집 물량

구분	재활용량(ton)	텔루륨 사용량(g/대)	냉장고 수집에 따른 텔루륨 수집 물량(kg)
냉장고	86,977	51	54

수송장비의 수집단계로의 텔루륨 투입량은 국토교통부의 자동차 재활용량 및 업체조사자료(텔루륨 함유량)을 이용하여 산정하였다. 재활용 실적의 세부적인 산정 내용은 <표 14-10>에 나타내었다.

<표 14-10> 국토교통부 자동차 재활용실적을 이용한 텔루륨 수집 물량

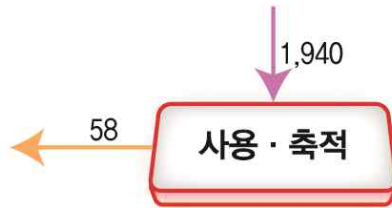
구분	재활용량(대)	텔루륨 사용량(mg/대)	폐자동차 수집에 따른 텔루륨 수집 물량(kg)
자동차	749,094	5	4

금속별 물질흐름 통계구축

사용 및 축적 단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 환경성 보장제도 재활용 실적, 국토교통부 통계자료, 업체조사 결과

- ⇒ 사용·축적 단계 수급량 산정
 - 사용·축적 단계로의 투입량 : 1,940 kg (최종제품에서의 수급량)
 - 사용·축적 단계로의 투입량 중 수집단계로의 투입량 : 58 kg
- ⇒ 사용·축적 단계의 국내 수급량
 - = 58 kg
- ⇒ 사용·축적 단계 MFA



6. 수집단계

1차 자원이 사용 후 배출되어 2차 자원으로서 재활용되기 위해 수집되어 처리되는 단계로 사용 및 축적 단계에서 수집되는 중간제품의 직접회로(비휘발성메모리), 개별소자(반도체소자), 최종산업(제품)의 수송장비 및 전기 및 전자기기 관련 수집량으로 산정한다.

수집단계 국내 수급량

$$= (2차\ 자원\ 발생량 \times 자원함유량) + (2차\ 자원\ 수입량 \times 자원함유량) - (2차\ 자원\ 수출량 \times 자원함유량)$$

수집단계의 국내 수급량 산정

이용자료: 업체자문 결과, 문헌조사 자료, 환경성 보장제도 재활용 실적, 국토교통부 통계자료

- ⇒ 수집단계 국내 수급량 산정
 - 중간제품의 2차 자원 발생량 : 151 kg
 - 최종제품의 2차 자원 발생량 : 58 kg
 - 2차 자원 수입량 : 0 kg
 - 2차 자원 수출량 : 0 kg
- ⇒ 수집단계의 국내 수급량
 - = 151 + 58 + 0 - 0 = 209 kg
- ⇒ 수집 단계 MFA



7. 재자원화 단계

재자원화 단계는 수집단계 이후 재자원화 공정을 거치는 단계이다. 텔루륨의 경우 주요 재활용업체 조사 결과 현재까지는 재활용 중인 업체가 존재하지 않았다. 재자원화가 이루어지지 않는 이유로는 수집량이 적어 재자원화 시 경제성이 낮으므로 폐제품에 포함되어 있는 분리 및 정제 기술이 존재하지 않는 것으로 조사되었다.

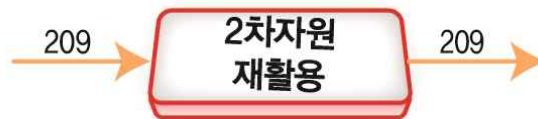
재자원화단계 국내 공급량

$$= (2차\ 자원\ 수집처리량 \times 자원함유량) + (2차\ 자원\ 수입량 \times 자원함유량) - (2차\ 자원\ 수출량 \times 자원함유량)$$

재자원화 단계의 국내 공급량 산정

이용자료: 업체조사 자료, 문헌조사 자료

- ↪ 재자원화 단계 산정
 - 2차 자원 수집처리량 : 209 kg
- ↪ 재자원화단계의 국내 공급량
 - = 209 kg
- ↪ 재자원화 단계 MFA



8. 폐기단계

폐기 단계는 텔루륨이 최종 폐기되는 단계로, 텔루륨 수집단계에서 배출된 폐기와, 2차 자원에서 배출된 폐기량을 고려하여 산정하였다.

폐기 단계의 국내 공급량 산정

- ↪ 폐기 단계 공급량 산정
 - 수집단계 폐기량 : 209 kg
- ↪ 폐기단계의 국내 공급량
 - = 209 kg
- ↪ 폐기 단계 MFA



제3절 물질흐름분석 결과

1. 물질흐름도

가. 간이 물질흐름

앞에서 산정한 텔루륨의 물질흐름단계별 MFA 결과를 종합하여 간이 물질흐름도를 [그림 14-5]에 나타내었다.



[그림 14-5] 간이 물질흐름 및 분석

텔루륨의 간이 물질 흐름도는 2014년 기준의 자료이며, 원료 및 기초소재 단계에서부터 폐기까지의 전반적인 물질흐름을 표현하고 있다. 원료 및 기초소재 단계에서 텔루륨은 동계련부산물을 통해 괴 형태로 생산되어 전량 수출되고 있다. 원료 및 기초소재단계 수급량인 51 kg은 전량 텔루륨 화합물 생산으로 투입되며, 1,525 kg의 텔루륨 화합물 및 Te Alloy가 수입되어 1,576 kg의 텔루륨이 중간제품으로 투입된다. 중간제품 투입량 중 직접회로(비휘발성 메모리), 개별소자(반도체소자) 제품으로 151 kg이 수집단계로 투입되며, 1,417 kg이 최종제품으로 투입된다. 최종제품의 경우 약 77%가 일반기계(반도체 제조용 기계)로 투입되며, 전기 및 전자기기(가저용 냉장고 및 냉동고 등) 22%, 수송장비(승합차 등) 1% 비율로 사용된다. 사용 후 추적 단계를 통해 수집되는 텔루륨의 양은 사용 및 추적 단계 투입량 대비 약 3%로 58 kg의 텔루륨이 수집되나 현재 재자원화 시 경제성이 없으며, 관련 기술 부족으로 전량 폐기단계로 투입되는 것으로 조사되었다. 물질 흐름 단계별 투입, 수입, 수출, 수급량은 <표 14-11>과 같다.

〈표 14-11〉 텔루륨 물질흐름 단계별 분석 결과

(단위: kg)

구분	투입	수입	수출	재활용	수급
원료 및 기초소재	224,657	51	224,657	0	51
1차 가공	51	1,525	0	0	1,576
중간제품	1,576	1,466	1,474	0	1,417 ¹⁾
최종제품	1,417	852	329	0	1,940
사용 축적	1,940	0	0	0	58 ²⁾
수집	209	0	0	0	209
재자원화	209	0	0	0	209
폐기	209	0	0	0	209

1) 중간제품 수급량 중 1,417 kg은 사용 축적단계로 투입

2) 사용 축적 단계 투입량 1,940 kg 중 수집단계로의 투입량은 환경성 보장제도 재활용 실적 및 국토교통부 통계실적에 따라 58 kg으로 산정됨

나. 상세 물질흐름

텔루륨의 상세흐름도는 간이흐름도와 같이 2014년 기준 자료를 이용했으며, 각 단계별 세부 흐름을 나타내었다. 각 단계별 생산량, 수출입량, 2차 자원 투입량, 2차 자원 발생량의 흐름을 표현하였고 텔루륨의 경우 현재 재자원화가 이루어지고 있지 않고 제품형태로 수집되는 수집단계까지의 흐름을 나타내었다.

원료 및 기초소재 단계의 경우 국내 동제련업체에서 동제련부산물을 통해 텔루륨피가 224,657 kg 생산되며 전량 수출되고 고순도 텔루륨피가 51 kg 수입되었다.

원료 기초소재 단계 국내 수급량인 51 kg은 1차 가공제품 텔루륨 화합물로 전량 투입되는 것으로 나타났다. 중간제품 수급량인 1,576 kg의 경우 약 86%가 개별소자(열전소자)로 투입되며, 직접회로(비휘발성 메모리) 6%, 기타전기장치(전극) 4%, 개별소자(반도체소자) 3%가 투입된다. 중간제품 중 직접회로(비휘발성 메모리)와 개별소자(반도체소자)는 연구 개발 단계로 최종산업(제품)단계로 투입되지 않고 수집단계를 투입된다.

최종제품의 경우 화약 77%가 일반기계(반도체 제조용 기계)로 투입되며, 전기 및 전자기기(가저용 냉장고 및 냉동고 등) 22%, 수송장비(승합차 등) 1% 비율로 사용된다. 사용 후 축적 단계를 통해 수집되는 텔루륨의 양은 사용 및 축적 단계 투입량 대비 약 3%로 58 kg의 텔루륨이 수집되나 현재 재자원화 시 경제성이 없으며, 관련 기술 부족으로 중간제품 단계에서 수집단계로 투입된 151 kg과 함께 전량 폐기단계로 투입되는 것으로 조사되었다. 텔루륨의 상세흐름도를 [그림 14-6]에 나타내었다.

2. 완전성 및 신뢰도

가. 단계별 흐름 정량화

텔루륨의 물질흐름은 MFA 통합 방법론과 같이 총 8단계로 구분되어 분석되었다. 각 단계별 물질흐름은 다음 <표 14-12>과 같은 통계, 업체 자료 등을 이용해 정량화를 실시하였다.

<표 14-12> 텔루륨 물질 흐름 단계별 정량화 방법

구분	생산량	수·출입	수급량
원료 및 기초소재	-	업체조사자료 한국무역협회 자료	MFA 통합 방법론 ¹⁾
1차 가공	문헌조사자료, 업체조사자료	업체조사자료, 한국무역협회 자료	
중간제품	문헌조사자료, 전문가 자문, 업체조사자료	업체조사자료, 한국무역협회 자료, 전문가 자문, 2009년 산업연관표	
최종산업(제품)	문헌조사자료, 업체조사자료, 2009년 산업연관표	업체조사 자료, 한국무역협회 자료, 2009년 산업연관표	
사용 추적	업체조사자료, 문헌조사자료, 환경정보장제도 실적 자료, 국토 교통부 통계자료	-	
수집		-	
재자원화		-	
폐기		-	

1) 수급량 = 투입량 + 수입량 - 수출량 + 2차 자원의 투입량

나. 신뢰도 검증

텔루륨 물질흐름은 기구축된 통계자료 및 업체 조사자료 등을 통한 통합방법론에 준하여 구축하였다. 각 단계별 물질흐름량의 산정 시 최대한 신뢰도를 높일 수 있는 방법을 수행하였다. 텔루륨의 물질흐름은 업체조사를 중심으로 하여 독점업체 자료 이용, 점유율 이용 등으로 그 신뢰도를 향상시켰다.

텔루륨 화합물을 이용한 중간제품 중 열전소자만이 상용화되어 있으며, 그 외 제품의 경우 연구개발 중이거나 상용화 되지 않은 제품으로 업체조사를 통한 국내 열전소자 생산량과 한국무역협회 통계자료를 비교하여 검증 작업을 실시하였다.

국내 열전소자를 생산하고있는 8개 업체 조사를 통해 열전소자 수입량을 추정하였으며, 업체조사량과 한국무역협회 수입 통계량과 비교하여 신뢰도를 검토하였다. 검토 결과 주요 3대 업체의 텔루륨 사용량 이외 추가 조사된 기타 업체의 텔루륨 사용량이 1,400 kg으로 나타났으나, 해당 업체들의 경우 제공 자료의 정확성이 떨어지므로 한국무역협회의 수입통계량과 전문가 및 업체조사 결과를 통해 도출된 열전소자 평균단가, 평균중량, 텔루륨함유량을 고려하여 열전소자 내 포함되어있는 텔루륨 수입량을 산출하여 신뢰도를

금속별 물질흐름 통계구축

향상 시켰다. 세부적인 신뢰성 검토 결과는 <표 14-13>에 나타내었다.

<표 14-13> 열전소자 신뢰성 검토결과

구분		값	출처
내용	비고		
2014년 기준 열전소자 수입량(kg)	-	1,400	썬스, 선플라워 에너지 외 8개 업체 조사량
Hs CODE(8418.69.2090) ¹⁾ 수입액(천불)	①	62,863	한국 무역협회 수출입 통계
열전소자 평균 단가(원/개)	②	100,000	썬스, 선플라워 에너지 외 8개 업체 조사 결과
열전소자 수입 개수(개)	③	716,638	① X 환율(1140원)/②
열전소자 평균 중량(g)	④	10.7	고등기술연구원
열전소자 내 평균 Te 함유량(%)	⑤	9.62	고등기술연구원
2014년 기준 열전소자 수입량(kg)	-	1,433	③ X ④ X ⑤

1) 업체조사결과 제품 수출입시 해당 HSCODE로 분류됨

3. 논의사항 및 개선사항

가. 문제점

○ 1차 자원 흐름

원료 및 기초소재단계의 경우, 현재 국내에는 고순도 텔루륨의 정제련 기술 부족으로 생산되 99.99%의 텔루륨 피는 전량 수출되며, 고순도 텔루륨피를 수입하고 있는 것으로 나타났다. 원료 및 기초소재 및 1차 가공제품 단계의 텔루륨피와 텔루륨화합물의 경우 수출입 통계(한국무역협회)에서 구분하여 통계를 집계하지 않으므로 수출입 정보 부족으로 물량 추정에 어려움이 있다.

국내 텔루륨의 주요 용도는 기타전기장치(전극), 개별소자(열전소자)로 중간 및 최종제품단계에서의 물질흐름 분석 시 해당 용도로의 흐름을 파악하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 하지만, 각 용도에서의 텔루륨 함유량 정보를 업체 조사를 통해 확보하는 것은 매우 어렵고, 물질흐름 구축년도에 해당하는 연구 자료를 확보하는 것 또한 사실상 불가능하기 때문에 정확한 함유량 정보를 이용한 신뢰도 높은 물질흐름통계를 구축하는데 어려움이 있다.

또한, 직접회로(비휘발성 메모리), 개별소자(반도체소자), 전지(태양전지)에 사용되는 텔루륨은 사용화되지 않고 연구단계에 있는 물량으로 정확한 물량을 파악하는데 어려움이 있다.

○ 2차 자원 흐름

2014년 기준 국내외 업체조사 및 연구자료 조사 결과, 현재 텔루륨을 재자원화하는 기

술은 존재하지 않는 것으로 나타났다. 단, 텔루륨 사용량이 가장 큰 개별소자(열전소자)를 이용한 재자원화 기술에 대한 기초 연구가 고등기술연구원에서 진행 중에 있는 것으로 조사되었다. 따라서 지속적인 연구를 통해 환경성 보장제도 및 폐자동차 수집에 따른 열전소자를 회수하여 텔루륨을 재활용 할 수 있는 기술을 개발하여야 한다.

나. 향후 개선사항

전술한 바와 같이 원료 및 기초소재단계와 1차 가공단계에서의 텔루륨 화합물 등에 대한 수출입 통계자료 구축이 필요하며, 중간 및 최종 제품 단계에서의 텔루륨 용도에 따른 함유량에 관련된 신뢰도 높은 연구자료 수집이 요구된다. 또한, 현재는 텔루륨의 재자원화가 전혀 이뤄지지 않고 있는 실정이므로, 향후 텔루륨 재자원화가 이뤄질 경우, 이에 대한 재자원화 통계 및 재자원화 기술에 대한 자료 수집이 요구된다.

4. 기대효과 및 활용방안

가. 기대효과

텔루륨의 물질흐름 분석을 통하여, 국내 텔루륨의 공급구조를 파악하였으며, 그 공급 특징을 상세하게 파악하였다. 본 연구성과를 활용해 주기적으로 해당 데이터를 업데이트 함으로써 텔루륨 연관 산업과 텔루륨의 공급실태 및 특징을 추적할 수 있으며, 그 과정을 통하여 국가자원관리방안을 수립하고 수정하는데 중요한 지표가 정립될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 재자원화 단계의 경우 열전소자로 사용된 텔루륨이 냉장고와 폐차 등 수집되는 제품 속에 함유되어 있으나 제품 내 텔루륨을 분리 및 회수하는 기술이 부재한 상황이므로 향후 기술개발을 통한 재자원화량 산정 및 재자원화를 통한 기대효과 정립의 기초자료로서도 활용될 수 있다. 또한, 재자원화율 향상을 통해 각 단계별 자원생산성 향상 방안의 토대를 마련할 수 있으며 최종제품단계에서 국외로 수출되는 양이 많으므로, 향후 자원관리 전략 등의 기초자료로 주요 관리 산업 및 제품 선정 등에 활용할 수 있다.

나. 활용방안

텔루륨의 전반적인 물질흐름을 파악함으로써 재자원화 단계의 텔루륨 금속의 수집량, 텔루륨 금속의 자원생산성 등 주요지표의 근거자료로 활용할 수 있다. 또한 중간제품 기준으로 약 86%가 열전소자로 사용되는 반면, 열전소자 내에서 텔루륨 추출을 통한 재자원화 양은 전혀 없는 실정이므로, 재자원화 기술 개발에 의한 텔루륨 자원확보를 통해 충당할 수 있는 텔루륨 공급 계획 등의 기초자료로 활용될 수 있다. 추가적으로 텔루륨의 경제적 효과 산정 시, 본 연구자료를 활용할 수 있다.