Research Paper

Material Flow Analysis of Trichloroethylene in Korea

Jun Chul Park¹ · Yong Woo Hwang^{2,*} · Jun Beum Kim³ · Young Woon Kim¹

¹Program in Environment Technology & Safety Technology Convergence, Inha University

²Department of Environmental Engineering, Inha University

³Environment & Information Technology, University of Technology of Troyes

(Received December 24, 2019; Revised March 14, 2020; Accepted March 16, 2020)

Objectives : According to the material flow analysis, the domestic flow of trichloroethylene with the highest emission among carcinogens in group 1 was determined. The purpose of this study is to provide basic data for efficient chemical management and establish measures to reduce emissions.

Methods : In this study, the material flow analysis of trichloroethylene was analyzed in Korea in 2014. The material flow chart was presented using STAN 2.6 software. The flow of trichloroethylene by region and industry was analyzed to identify the characteristics of each flow, and the emission reduction method was presented.

Results and Discussion : Trichloroethylene was used up to 79.8% in the Seoul metropolitan area, 45.6% in the manufacturing of other machinery and equipment, and 29.4% in the manufacturing of fabricated metal products except machinery and furniture. Trichloroethylene was emitted 42.0% in the manufacturing of rubber and plastics products and 26.8% in the manufacturing of primary metals. The analysis of emissions by company size resulted in 3.9% of total emissions from large companies, 61.6% from mid-sized companies, and 34.5% from small-sized companies. Trichloroethylene was used in various industries and regions, with higher emissions compared to its use.

Conclusions : Trichloroethylene has been emitted in large quantities relative to its usage. The study found that the management of chemicals in small businesses was insufficient. This result of the material flow analysis is used as basic data to reduce emissions of chemicals. The result of the study helps to recognize the risk of chemicals and suggest alternative materials, introduce inter-company information and expert exchange system, introduce a total amount of carcinogens emission system, implement duties in the emission reduction plan, and consider emission reduction incentives. In addition, measures to improve risk are proposed to establish risk-based database.

Key Words : Chemical Substance, Material Flow Analysis, Trichloroethylene

* Corresponding author E-mail: hwangyw@inha.ac.kr Tel: 032-860-7501 Fax: 032-865-1425

연구논문

국내 트리클로로에틸렌의 물질흐름분석

박준철¹ · 황용우^{2,*} · 김준범³ · 김영운¹

¹인하대학교 환경·안전융합전공

²인하대학교 환경공학과

³트루아 공과대학교 환경정보기술학과

목적: 물질흐름분석을 통하여 그룹 1 발암물질 중 배출량이 가장 많은 트리클로로에틸렌의 국내 흐름을 파악한 후, 효율적인 화학물질 관리 및 배출량 저감방안 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

방법: 본 연구에서는 2014년 국내 트리클로로에틸렌의 물질흐름분석을 실시하였다. 물질흐름도는 STAN 2.6 소프트웨어를 사용하여 나타내었다. 연구 대상 물질의 지역별·산업별 흐름을 분석하여 각 흐름의 특성을 파악한 후, 배출량 저감 방안을 제시하였다.

결과 및 토의: 트리클로로에틸렌은 수도권에서 79.8%가 사용되었고, 기타 기계 및 장비 제조업에서 45.6%, 금속 가공제품 제조업에서 29.4% 사용되었으며, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업에서 42.0%, 1차 금속 제조업에서 26.8% 배출되었다. 기업 규모별 배출량 분석 결과 대기업에서 전체 배출량의 3.9%, 중견기업에서 전체 배출량의 61.6%, 중소기업에서 전체 배출량의 34.5%를 배출하였다. 트리클로로에틸렌은 사용량에 비해 배출량이 많았으며, 다양한 업종 및 지역에서 사용되었다.

결론: 트리클로로에틸렌은 사용량에 비해 많은 양이 배출되었는데, 소규모 사업장의 화학물질의 관리가 미흡한 것으로 조사되었다. 물질흐름분석 결과를 기초자료로 활용하여 화학물질의 배출 저감 방안으로 화학물질의 위험성 및 대체물질 홍보, 기업 간 교류 시스템 도입, 발암물질 배출 총량제 도입, 배출저감계획서의 의무 이행, 배출저감 인센티브제도 고려를 제시하였고, 위험성 개선 방안으로 위험성 데이터베이스 구축을 제시하였다.

주제어: 화학물질, 물질흐름분석, 트리클로로에틸렌

1. 서론

현재, 각종 산업의 발전과 함께 화학물질의 사용량도 급속하게 증가하고 있다. 환경부에서 실시한 화학물질 통계조사 결과 2016년에 국내에 1만 6,874종의 화학물질이 유통되고 있었으며, 유통량은 2014년 대비 12.4% 증가한 5억 5,859만 톤이 유통되었다. 그 중 발암물질은 119종으로 3,044만 톤이 유통되어 화학물질 유통량의 5.4%를 차지했으며, 이는 2014년에 유통된 2,815만 톤 대비 6.7% 증가한 수치이다. 특히, 발암물질 중 확실히 사람에게 암을 일으키는 그룹 1 발암물질은 20종이 1,298만 톤 유통되어 발암물질 유통량의 절반 이상을 차지했으며, 화학물질 유통량의 2.3%를 차지하여 적지 않은 양이 유통되고 있는 것으로 나타났다.¹⁾

이처럼 화학물질 사용량이 증가함에 따라 화학물질을 체계적으로 관리하여 국민의 건강 및 환경을 보호하기 위한 화학물질관리법이 2015년 1월 1일부터 시행되었다. 화학물

질관리법에 따라 화학물질의 취급실태를 파악하기 위하여 화학물질 통계조사가 실시되고 있고, 사업장에서 배출되는 화학물질의 양을 파악하기 위하여 화학물질 배출량조사가 실시되고 있다. 이어서 유해성이 높은 화학물질의 배출량을 줄이기 위한 화학물질 배출저감 제도가 2019년 11월 29일부터 시행될 예정이다.²⁾

본 연구에서는 트리클로로에틸렌을 연구 대상 물질로 선정하였다. 환경부의 2014년도 화학물질 배출량 조사 결과 트리클로로에틸렌은 그룹 1 발암물질 12종의 총 배출량 1,064 ton 중 67.0%인 713 ton을 배출하고 있었다.³⁾

최근 화학물질 관리의 중요성이 커져 감에 따라 도입된 화학물질 배출저감계획서 제도가 시행되며 발암물질 배출량의 대다수를 차지하는 트리클로로에틸렌의 배출량 저감방안의 필요성이 커져가고 있다.

본 연구에서는 트리클로로에틸렌의 물질흐름분석을 실시하였다. 물질흐름분석(MFA; Material Flow Analysis)은 특

정한 공간 범위와 시간 범위를 시스템으로 설정하여 물질의 흐름을 정량적으로 분석하는 평가방법으로 물질의 전 과정에 대한 흐름을 파악할 수 있다.⁴⁾

트리클로로에틸렌의 물질흐름분석을 통하여 국내 산업별 흐름과 지역별 흐름을 파악하고, 산업과 지역의 특성에 따른 화학물질 관리 방안과 배출량 저감 방안을 모색하고자 한다. 이를 통하여 화학물질 관리에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하여 트리클로로에틸렌을 효과적으로 관리할 수 있도록 기여하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구 범위

본 연구에서는 그룹 1 발암물질인 트리클로로에틸렌을 연구 대상 물질로 선정하였다. 환경부에서 2014년에 실시한 화학물질 배출량·이동량 조사 결과에서, 그룹 1 발암물질의 총 배출량은 1,064 ton이었으며, 그 중 트리클로로에틸렌의 배출량은 713 ton으로 그룹 1 발암물질 전체 배출량의 67.0%를 차지하였다. 그룹 1 발암물질의 2014년도 배출량을 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서는 그룹 1 발암물질 중에서 배출량이 가장 많은 트리클로로에틸렌의 물질흐름을 분석하고 이를 활용하여 발암물질의 효율적인 관리 계획 수립을 위한 기초자료를 제공하여 발암물질의 배출량 저감에 기여하는 것을 목적으로 하였다.

물질흐름분석의 경계설정은 연구대상의 지역 및 시간에 대한 범위를 결정하는 단계이다. 물질흐름분석 수행 시 경계설정은 연구의 결과와 매우 높은 연관성을 갖고 있기 때문에 연구목적에 부합한 결과를 도출하기 위해서는 명확한 경계설정이 고려되어야 한다. 경계 설정 시에는 연구 목적에 따라 시간과 공간을 각각 고려하여 설정하여야 한다. 시간적 경계는 연구대상물질의 흐름이 이루어지는 기간으로 연구 목적

에 따라 다양하게 설정할 수 있다. 일반적으로 수행되는 물질흐름분석은 정적 물질흐름분석으로 1년 또는 특정 기간 동안 공간적 경계 내에서 대상물질의 흐름을 분석한다. 공간적 경계는 연구대상물질이 투입(Input), 배출(Output), 축적(Stock)되는 공간으로 국가, 지역 및 산업 공정 등 시간적 경계와 마찬가지로 연구목적에 따라 다양하게 설정할 수 있다.⁵⁾ 또한, 대상시스템에 의한 분류의 경우 Macro 수준, Meso 수준, Micro 수준으로 분류할 수 있고, 물질흐름의 추적방식에 따라 제품 수준에서 개별물질 수준으로 구분될 수 있다.⁶⁾

본 연구의 범위는 공간적 범위와 시간적 범위로 구분하였다. 공간적 범위는 트리클로로에틸렌을 사용, 제조, 배출하는 국내 사업장을 대상으로 하였다. 시간적 범위는 수집한 데이터를 같은 범위에서 분석할 수 있는 가장 최근 연도인 2014년을 기준으로 선정하였다.

2.2. 데이터 수집

본 연구에서는 시스템 경계로 설정한 2014년을 기준으로 국내 트리클로로에틸렌 취급 사업장의 수입량·수출량, 배출량, 사용량 등의 데이터를 수집하여 물질흐름분석을 수행하였다.

화학물질에 관련된 정보는 기업의 민감한 부분으로 자료수집이 어렵고 신뢰성이 낮아질 수 있다. 따라서 산업안전보건공단의 작업환경 실태조사⁷⁾, 환경부의 화학물질 배출량·이동량 조사⁸⁾ 및 화학물질 통계조사, 관세청의 수출입무역통계⁹⁾ 등의 국가 데이터를 중심으로 수집하였다.

수입량·수출량은 관세청의 수출입무역통계 데이터를 수집했으며, 물질이 국내의 경제영역으로 반입되거나 반출되어 물질 자원을 증가 또는 감소시키는 양으로 단순히 국가를 통과하는 물품이나 일시적으로 반입 또는 반출되는 물품은 포함되지 않았다.

제조량 및 사용량은 산업안전보건공단의 작업환경 실태조사 데이터를 수집했으며, 제조량은 사업장에서 판매를 목적으로 제조하고 있는 물질의 양, 사용량은 사업장에서 주요 공정(제조, 실험, 공무, 오페수, 청소 등) 중에 사용되는 양이다. 산업안전보건공단은 산업안전보건법 제105조에 따라 5년마다 전국의 사업장을 대상으로 화학물질 취급현황 등을 조사하여 공개하고 있다.

배출량은 환경부의 화학물질 배출량·이동량 조사 데이터를 수집했으며, 사업장에서 제조, 사용하는 화학물질이 환경(대기, 수역, 토양) 중으로 배출되는 양이다. 환경부는 화학물질관리법 제11조에 따라 일정량 이상 취급되는 대상 화학물질의 매체별 배출량을 조사하여 공개하고 있다.

3. 연구결과

3.1. 트리클로로에틸렌의 물질흐름도 작성 및 분석

정량화된 데이터를 바탕으로 2014년 트리클로로에틸렌의 산업별 물질흐름도를 작성하여 Fig. 1~3에 나타내었다.

Table 1. Emission of carcinogens in group 1 in 2014.

Chemical name	Emissions (kg)	Ratio (%)
Trichloroethylene	713,456	67.0
Benzene	153,000	14.4
Vinyl chloride	82,396	7.7
Formaldehyde	36,785	3.5
1,3-Butadiene	32,211	3.0
Ethylene oxide	23,979	2.3
Chromium and its compounds	20,977	2.0
Chloromethyl methyl ether	848	0.1
Arsenic and its compounds	375	0.0
4,4'-Methylene bis[2-chloroaniline]	122	0.0
o-Toluidine	76	0.0
Cadmium and its compounds	63	0.0
Sum	1,064,290	100

Fig. 1. Material flow diagram of trichloroethylene by industry (1).

Fig. 3. Material flow diagram of trichloroethylene emission by industry.

Table 2. Handling and emission amount of trichloroethylene by industry.

Industry	Number of sites	Handling weight (kg)	Handling ratio (%)	Emissions (kg)	Emissions Ratio (%)
Manufacturing of fabricated metal products, except machinery and furniture	300	3,277,373	29.4	14,508	2.0
Manufacturing of rubber and plastics products	51	842,024	7.5	299,705	42.0
Manufacturing of other machinery and equipment	137	508,908	45.6	362	0.1
Manufacturing of motor vehicles, trailers and semitrailers	73	414,034	3.7	127,942	17.9
Manufacturing of primary metal metals	20	369,618	3.3	19,1012	26.8
Others	524	1,171,194	10.5	79,928	11.2
Sum	1,105	11,156,151	100	713,456	100

Table 3. Handling and emission amount of trichloroethylene by region.

Region	Number of sites	Handling weight (kg)	Handling ratio (%)	Emissions (kg)	Emissions Ratio (%)
Gyeonggi-do Province	511	5,840,893	52.4	165,857	23.2
Seoul Special City	89	1,943,078	0.4	-	-
Incheon Metropolitan City	97	1,118,339	10.0	28	0.0
Gyeongsangbuk-do Province	55	507,441	4.5	121,206	17.0
Gwangju Metropolitan City	11	10,111	0.1	294,170	41.2
Others	242	1,736,288	15.6	132,196	18.5
Sum	1,105	11,156,151	100	713,456	100

두 번째 주요 흐름은 금속 기계 및 가구를 제외한 금속 가공제품 제조업으로 300개 사업장에서 전체 사용량의 29.4%인 3,277 ton을 사용하였고, 금속 기계 및 가구를 제외한 금속 가공제품 제조업 중에서도 도금업에서 79개 사업장이 전체 사용량의 17.1%인 1,906 ton, 구조용 금속판제품 및 금속공작물 제조업에서 12개 사업장이 전체 사용량의 5.5%인 618 ton을 사용하였다.

트리클로로에틸렌은 10개 업종의 41개 사업장에서 713 ton이 배출되었다. 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 중 그 외 기타 플라스틱 제품 제조업에서 1개 사업장이 전체 배출량의 41.3%인 294 ton, 1차 금속 제조업 중 강관 제조업에서 1개 사업장이 전체 배출량의 18.3%인 130 ton, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 중 전자축전기 제조업에서 1개 사업장이 전체 배출량의 6.2%인 44 ton을 배출하였다.

기업 규모별 배출량을 분석한 결과 7개 대기업에서 전체 배출량의 3.9%인 28 ton, 14개 중견기업에서 전체 배출량의 61.6%인 439 ton, 20개 중소기업에서 전체 배출량의 34.5%인 246 ton을 배출하였다. 일반적으로 규모가 큰 대기업에서 더 많은 양의 화학물질을 사용하지만, 트리클로로에틸렌은 대부분 중견기업 및 중소기업에서 배출하는 것으로 조사되었다. 대기업에서는 화학물질의 관리가 잘 이루어지고 있지만 중견기업 및 중소기업에서는 화학물질 관리에 대한 인식 및 시설 투자 부족 등으로 화학물질의 관리가 미흡한 것

으로 판단된다.

트리클로로에틸렌의 업종별 주요 흐름을 **Table 2**에 나타내었다.

3.1.2. 지역별 물질흐름분석

트리클로로에틸렌은 15개 지역에서 1,105개 사업장이 11,156 ton을 사용하였다.

첫 번째 주요 흐름은 경기도로 511개 사업장이 전체 사용량의 52.4%인 5,841 ton, 두 번째 주요 흐름은 서울특별시에서 89개 사업장이 전체 사용량의 17.4%인 세 번째 주요 흐름은 1,943 ton, 인천광역시에서 197개 사업장이 전체 사용량의 10.0%인 1,118 ton을 사용하였다.

트리클로로에틸렌은 10개 지역의 41개 사업장에서 713 ton이 배출되었다. 광주광역시에서 1개 사업장이 전체 배출량의 41.2%인 294 ton, 경기도 동두천시에서 1개 사업장이 전체 배출량의 18.3%인 130 ton, 경상남도 양산시에서 4개 사업장이 전체 배출량의 6.9%인 50 ton을 배출하였다.

트리클로로에틸렌의 지역별 주요 흐름을 **Table 3**에 나타내었다.

3.2. 발암물질 배출량 저감 방안

물질흐름분석 결과 사용량은 사업장 개수와 비례하지 않았고, 사용량과 배출량도 비례하지 않았다. 트리클로로에틸렌의 사용량은 11,156 ton으로 다른 그룹 1 발암물질인 벤

젠의 사용량 2,581,102 ton보다 230배 이상 적었지만, 벤젠의 배출량은 153 ton으로 트리클로로에틸렌의 배출량 713 ton보다 4배 이상 적게 배출되었다.

특히, 트리클로로에틸렌은 전자부품, 광학기기, 반도체 기관의 세정, 금속 세척 및 degreasing, 의류의 드라이클리닝 등에 사용되는 대표적인 염소계 휘발성 유기화합물로 많은 사용량과 산재된 사용처로 인해 지하수로의 유입 가능성이 다른 휘발성 유기화합물에 비해 높다.¹⁰⁾ 이와 같은 특징이 있지만, 환경부의 화학물질 배출량·이동량 조사에서는 우수 등으로 인한 수계 및 토양으로의 영향은 고려되지 않았다. 따라서 배출된 후 환경에 미치는 영향이 크다고 우려되는 화학물질은 업종별·지역별 배출 총량제 도입 및 배출저감 계획서 의무 이행 등으로 배출량 규제의 강화가 필요하다.

현재 우리나라에서는 2017년 11월에 개정된 화학물질관리법에 따라 발암물질 배출을 저감하기 위한 화학물질 배출저감계획서 제도가 2019년 11월부터 시행된다. 본 연구의 대상물질인 트리클로로에틸렌도 그룹 1 발암물질로 배출저감계획서 작성 대상 물질로 선정되었다. 이처럼 트리클로로에틸렌의 사용을 줄이기 위해 각종 규제가 강화되고 있다. 또한, 트리클로로에틸렌의 대체물질인 IPA는 가격이 크게 차이가 나지 않지만 기업들이 트리클로로에틸렌의 위험성 및 대체물질을 인식하지 못하고 있는 것으로 파악된다. 이에 따라 정부 차원에서 트리클로로에틸렌과 같은 유해화학물질의 사용량을 줄이기 위하여 적극적으로 화학물질의 위험성과 함께 대체물질을 기업들에게 홍보할 필요가 있다.

화학물질 배출저감계획서 제도의 시행에 이어 각 지방자치단체를 중심으로 발암물질 저감계획을 효율적으로 수립할 수 있도록 효과적인 저감계획 공유 및 중소기업에 위한 대기업의 기술 교육 등 기업 간 교류가 이루어질 수 있는 시스템을 구축하면 화학물질 배출을 저감하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

또한 발암물질의 총량관리제를 도입하여 발암물질을 과다하게 배출하는 사업장에 배출허용 총량 및 배출허용 농도와 초과부담금을 설정하여 발암물질 배출을 정량적으로 규제하는 방법이 필요하다.

마지막으로 화학물질 배출저감계획서를 작성하고 저감계획을 성실하게 이행하여 화학물질 배출을 저감한 사업장 중 우수기업을 선정하여 화학물질 배출저감 사업장 인증 등 인센티브 제도를 도입하는 것에 대한 고려가 필요하다.

물질흐름분석은 이와 같이 산업별, 지역별 흐름을 파악하고 화학물질의 효율적인 관리방안을 마련할 수 있도록 기초자료로 활용하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

3.3. 위험성 개선방안

트리클로로에틸렌은 제조업 분야에서 세척액으로 널리 사용되어 왔으며 현재에도 많은 근로자들이 노출되고 있는 물질이

다. 국제암연구소(IARC; International Agency for Research on Cancer)에서는 2014년에 트리클로로에틸렌을 인체의 신장세포암에 대하여 역학적 증거가 충분한 물질로 분류한 바 있다. 트리클로로에틸렌은 지용성이 매우 높아 모든 경로(흡입, 경구, 경피)의 노출에서 신속한 흡수가 이루어지며, 대부분의 인체조직에 분포한다. 2006년 작업환경측정 결과 트리클로로에틸렌의 세척, 탈지, 도금 공정 노출수준이 중위수 2~3 ppm 정도로 타 공정에 비해 높았다.¹¹⁾

트리클로로에틸렌의 물질흐름분석 결과 기타 기계 및 장비 제조업 및 금속 가공제품 제조업에서 사용량의 79.8%를 사용하는 것으로 나타났다. 따라서 트리클로로에틸렌을 사용하는 사업장은 부품 세척 시 화학물질 노출로 인한 근로자의 호흡기 장애, 중량물의 운반으로 인한 협착 등 장애 또는 근골격계 장애의 위험성이 크다. 이와 같은 위험성을 낮추기 위한 방법으로는 국소배기장치 설치, 개인보호구 관리, 중량물의 취급 계획 및 작업자 교육 등이 있다.

하지만 트리클로로에틸렌은 소규모 사업장에서 많이 사용되기 때문에 근로자들이 위험성을 인지하지 못할 가능성이 존재한다. 또한 트리클로로에틸렌을 취급하는 사업장은 환경부와 고용노동부에서 취급시설 검사, 장외영향평가서 심사, 작업환경측정 실시 등으로 관리하고 있지만 목적에 차이가 있다. 따라서 화학물질의 환경, 안전, 보건 등 모든 분야의 위험성을 쉽게 파악할 수 있도록 각 정부부처가 연계하여 화학물질의 정보를 공유하고 기업들의 사업장 관리에도 활용할 수 있는 위험성 데이터베이스 시스템의 구축이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 트리클로로에틸렌의 효율적인 관리 계획을 수립하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 물질흐름분석을 실시하였다. 국내에서 취급되는 트리클로로에틸렌의 산업별·지역별 흐름을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 트리클로로에틸렌은 11,156 ton 사용되었고, 10,031 ton 제조되었으며, 713 ton 배출되었고, 11,792 ton 수입되었으며, 401 ton 수출되었다.

트리클로로에틸렌은 사용량보다 많은 양이 수입되는 것으로 조사되었으며, 울산의 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 사업장 한곳에서 99% 이상이 제조되었다. 특히, 지역별로는 수도권에서 79.8%, 업종별로는 기타 기계 및 장비 제조업에서 45.6%, 금속 가공제품 제조업에서 29.4% 사용되어 대부분 소규모 사업장에서 세척 용도로 사용되는 것으로 파악된다. 트리클로로에틸렌은 1,105개 사업장에서 11,156 ton이 사용되었지만, 2개 사업장에서 총 배출량 713 ton의 59.5%인 424 ton을 배출한 것으로 조사되었다. 따라서, 사용량과 배출

량은 비례하지 않는 것을 알 수 있었다.

- 2) 트리클로로에틸렌은 사용량에 비해 많은 양이 배출되었다. 트리클로로에틸렌은 7개 대기업에서 전체 배출량의 3.9%인 28 ton, 14개 중견기업에서 전체 배출량의 61.6%인 439 ton, 20개 중소기업에서 전체 배출량의 34.5%인 246 ton을 배출하였다. 트리클로로에틸렌은 다양한 산업 및 지역에서 다수의 소규모 업체에서 취급하고 있어 관리가 미흡한 것으로 판단된다.
- 3) 물질흐름분석 결과를 기초자료로 활용하여 화학물질의 효율적인 배출 저감을 위하여 화학물질의 위험성 및 대체물질 홍보, 기업 간 교류 시스템 도입, 발암물질 배출 총량제 도입, 배출저감계획서 의무 이행, 배출저감 인센티브제도 고려 등 화학물질 배출량 저감 방안과 위험성 개선방안으로 위험성 데이터베이스 구축을 제시하였다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 물질흐름분석에 사용된 국가데이터의 데이터 조사 기관이 다르기 때문에 조사 기준에 차이가 있어 물질수지의 정확한 데이터 및 총량을 파악하기에 한계가 있었고, 사업장에 남아있던 재고량이 고려되지 않았다. 또한, 환경부의 화학물질 배출량·이동량 조사 결과 배출량의 99.9%는 대기로 배출되었지만 우수 등으로 인한 수계 및 토양으로의 영향은 고려되지 않았다.

본 연구에서는 물질흐름분석을 통하여 산업별·지역별 흐름을 분석하였다. 향후 진행될 물질흐름분석 연구에서는 화학물질의 사업장 재고량 및 환경에 미치는 부가적인 영향을 고려하여 물질흐름분석을 실시한다면 연구의 신뢰도 및 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0008421, 2020년 산업전문인력역량강화사업).

References

1. Ministry of Environment, Statistical Surveys on Chemicals in 2016(2018).
2. Ministry of Environment, Chemicals Control Act(2019).
3. Ministry of Environment, Report of Pollutant Release and Transfer Register in 2016(2018).
4. National Institute of Environmental, A Study on the Improvement of Resource Productivity through Material Flow Analysis of Major Resources(2008).
5. J. W. Kim, Chemical flow analysis of butadiene chemical material industry in Korea, Master's Thesis of Inha University(2016).
6. Y. A. Cho, M. J. Jeong, T. W. Jeon, H. S. Lee, Y. J. Kim, J. M. Yeon, N. H. Cho, S. K. Shin, Study on material flow analysis of mercury in paint, J. Korean Soc. Environ. Eng., 39(4), 180-185(2017).
7. Korea Occupational Safety & Health Agency, Status of Working Environment, <http://www.kosha.or.kr/kosha/business/inspection.do/>(2019).
8. Ministry of Environment, Report of Pollutant Release and Transfer Register, <https://icis.me.go.kr/prtr/main.do/>(2019).
9. Customs Service, Trade Statistics, <https://unipass.customs.go.kr/ets/index.do/>(2019).
10. S.-H. Kim, J.-L. Lim, S.-Y. Nam, H.-S. Shin, Air-stripping-UV irradiation-thermal hydrolysis for trichloroethylene removal, J. Korean Soc. Environ. Eng., 25(8), 1010-1015(2003).
11. Ministry of Employment and Labor, A Study on Exposure Level of Hazardous Substances for Occupational Cancer Diagnosis and Judgment(2014).

Authors

Jun Chul Park

Program in Environment Technology & Safety Technology Convergence, Inha University, Master Course Student, ORCID[®] 0000-0003-1934-9758

Yong Woo Hwang

Department of Environmental Engineering, Inha University, Professor, ORCID[®] 0000-0001-9844-7596

Jun Beum Kim

Environment & Information Technology, University of Technology of Troyes, Professor, ORCID[®] 0000-0003-0665-7989

Young Woon Kim

Program in Environment Technology & Safety Technology Convergence, Inha University, Professor, ORCID[®] 0000-0002-0430-8171