



Original Article

우려 화학물질에 대한 필수 용도 개념 적용 - PFAS, 6PPD, Benzene 중심으로 -

정미란^{1,2*}, 전현표^{1,2}, 김상현^{1,2}

¹경성대학교 바이오안전학과, ²경성대학교 화학물질 안전관리 특성화대학원

Application of the Essential Uses Concept to Substances of Concern
- PFAS, 6PPD and Benzene -

Miran Jung^{1,2*}, Hyunpyo Jeon^{1,2}, and Sangheon Kim^{1,2}

¹Department of Biosafety, Kyungsung University, ²Chemical Safety Management Specialization Graduate School, Kyungsung University

ABSTRACT

Background: There is growing international recognition of the need for improvements to national chemical management systems for hazardous chemicals. The European Union has recently introduced the concept of 'essential uses' as a new approach to the management hazardous chemicals by limiting their uses.

Objectives: This paper examines the concept of essential uses in chemical management and how to apply it through a case study of essential use. This approach is distinct from the current chemical management system, but seeks to improve its potential benefits by effectively restricting or gradually decreasing the use of hazardous substances.

Methods: The concept of essential uses was introduced by reviewing the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, Cousins's three essentiality categories applied to PFAS, restriction options assessed in the PFAS restriction proposal under REACH, and the California Safer Consumer Products regulations prioritizing 6PPD in motor vehicle tires. Based on these essential uses concepts for PFAS and 6PPD, uses of benzene were classified in accordance with the essential uses approach for products using benzene in South Korea.

Results: The essential use concept is able to manage the restriction and authorization of substances of concern through essential uses and non-essential uses and the feasible substitution of uses and substances.

Conclusions: If the concept and methodology of essential uses are clearly established, they can be expected to shift the national chemical management paradigm from regulating substances to limiting uses under the existing substance management system.

Key words: Essential use, PFAS, 6PPD, benzene, chemical strategy for sustainability

Received December 5, 2023

Revised December 27, 2023

Accepted January 1, 2024

Highlights:

- Reviewed the concept of essential use in chemicals management and case studies on the chemicals.
- PFAS and 6PPD have been considered as case studies of the essential use approach.
- The concept of essential uses was applied to classify the uses of benzene in Korea.
- The concept of essential use is able to manage substance of concern by categories of essentiality.
- The concept of essential uses is expected to effectively restrict the use of hazardous substances.

*Corresponding author:

Department of Biosafety, Kyungsung University, 309 Suyeong-ro, Nam-gu, Busan 48434, Republic of Korea
Tel: +82-51-556-5690
E-mail: hjk2722@gmail.com

I. 서 론

2019년 12월, 유럽연합(European Union, EU)은 탄소중립

실현을 위한 그린딜(Green Deal)을 발표했다. EU는 그린딜 달성을 위한 조치의 하나로 독성없는 환경으로 전환(Towards a toxic-free environment)을 위한 '지속 가능한 화학물질 전략



(Chemical Strategy for Sustainability, CSS)’을 제시했다.¹⁾ EU는 CSS의 핵심 목표 중 하나인 인간과 환경을 유해한 화학물질로부터 보호하고 지속 가능한 대안 개발을 촉진하기 위한 중요한 수단으로 “필수 용도(Essential Use)” 개념을 도입하였다. 이는 몬트리올 의정서의 필수 용도 개념을 적용한 접근법으로 우려 물질(Substance of Concern)²⁾이 건강과 안전 또는 사회적 기능을 위해 필요한 경우에만 특정 용도로 사용을 허용하고, 그 외 용도에 대해서는 금지하는 방식이다. 즉, 필수 용도 접근법은 화학물질을 개별 물질로 평가하는 것이 아니라 해당 물질이 함유된 제품의 용도에 따라 물질 사용을 허용하거나 금지하는 전략적 방식을 의미한다.

현재까지 화학물질 관리는 일반적으로 위해성 평가 방식을 활용해 왔다. 위해성 평가 기반의 화학물질 관리 접근 방식은 개별 물질에 대한 노출과 반응 평가를 통해 노출한계(Margin Of Exposure, MOE)를 결정한 다음, 사용에 따라 세부적인 안전 조치를 적용하는 것이다. 이러한 방식은 미국을 시작으로 우리나라를 포함한 EU 및 다른 국가에서 화학물질 규제 체계의 중심적인 역할을 해오고 있다.³⁾ 그러나 전 세계적으로 생산되는 화학물질 수를 고려할 때, 개별 화학물질의 위험을 평가하는 방식으로 관리할 수 있는 물질의 수는 일부에 불과하며, 물질의 정보 부족과 의사 결정 지연 등의 이유로 우려 물질의 위험을 효과적으로 관리하기에는 적절하지 않다고 평가하고 있다.⁴⁾

이처럼 화학물질 관리체계 개선의 필요성이 대두되면서, 개별 물질의 위해성 평가보다는 물질과 제품을 통합적으로 관리하는 방향으로 모색되고 있다. 2020년 EU는 ‘지속 가능한 화학물질 전략(CSS)’에 필수 용도 개념을 명시하였으며,¹⁾ 이후 유럽화학물질청(European Chemicals Agency, ECHA)은 ‘PFAS 제한 보고서(Annex XV Restriction PFAS)’⁵⁾를 공개하고, 모든 PFAS (Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl substance) 물질의 사용 제한을 추진하고 있다. 미국에서도 유사한 노력은 발견된다. 2013년부터 캘리포니아주는 안전소비자제품규정(Safer Consumer Products Regulation, SCPR)에 따라 우선순위 제품(Priority Product)을 관리함으로써 제품 내 우려 물질의 사용을 금지하거나 대체하고 있다.⁶⁾ 이러한 사례는 우려 물질이 사용되는 제품이나 용도에 집중하는 필수 용도 접근 방식과 유사한 것으로 판단된다.

한편, 국내에서는 2015년부터 시행된 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」에 따라 인체와 환경에 중대한 위해를 미치는 화학물질을 특정 용도로 사용하지 못하도록 제한하거나, 특정 용도로만 취급할 수 있도록 허가를 부여하고 있다. 그러나 물질의 위해성과 노출 가능성, 그로 인한 사회경제적 영향에 대한 신속한 검토가 이루어지지 못하여 제한·허가 물질이 적극적으로 지정되지 못하고 있다. 예를 들어, 2021년 화학안전정책포럼에서 ‘유해화학물질 지정관리 내실화’와 관련

하여 다음과 같은 쟁점이 논의되었다.⁷⁾ 현재 국내 규제에 따르면 벤젠(benzene)은 유해화학물질로 지정되어 있으며, 벤젠을 85% 이상 함유한 혼합물(제품)은 유독물질로 관리된다. 만약 UN GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, GHS)의 단일 화학물질 및 성분 함량의 한계농도(0.1~1%)를 준수하게 되면, 벤젠을 0.1% 이상 함유한 휘발유(Gasoline)는 유독물질로 분류될 수 있다. 이에 따라 휘발유(Gasoline)를 보관·저장 및 판매하는 전국의 주유소는 유해화학물질 취급 시설로 분류될 수 있으며, 유해화학물질을 취급하는 소비자들 역시 취급 대상으로 분류되어, 안전 교육을 받고, 보호복, 방독마스크 등의 개인보호장구를 의무적으로 착용해야 하는 규정을 적용받을 수 있다. 벤젠 노출에 대한 엄격한 관리가 필요하지만, 관리 물질로 지정되면 모든 용도에 대해 취급 기준과 시설 기준을 일괄 적용하는 것에 대한 문제점도 제기된다. 따라서 전 세계적으로 전개되고 있는 화학물질 규제 정책의 흐름과 유해성 중심의 물질 관리방식의 한계를 고려하여, 국내에서도 물질 노출에 따른 위해성 평가와 관리로 전환할 필요가 있다. 또한 화학물질의 노출 관리 도구로서 필수 용도 개념의 적용 가능성 및 타당성을 검토할 필요가 있다.

본 연구는 (i) 현재까지 논의되고 있는 필수 용도 개념과 접근 방식을 조사하고, (ii) 실제로 우려되는 화학물질 관리에 대해 일부 활용되고 있는 필수 용도 접근 방식과 유사한 접근법을 분석하였고, (iii) 국내 유해화학물질인 벤젠(benzene)을 대상으로 필수 용도 개념 및 유사한 접근법을 적용해 봄으로써, 필수 용도 개념이 우려 물질의 사용을 금지하거나 점진적으로 줄이는 데 효과적일 수 있는지 모색하려 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 화학물질 관리 관점에서 필수 용도 개념을 살펴보기에 앞서, 필수 용도 개념의 기원 및 의미를 이해하기 위해 몬트리올 의정서와 당사국 총회 결정문을 검토하였다. 1989년 유엔환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)에서 발표한 “오존층 파괴 물질에 관한 몬트리올 의정서(Montreal Protocol on Substance that Deplete the Ozone Layer)”⁸⁾를 기반으로 분석을 진행하였다. 몬트리올 의정서에 따르면, 각 당사국은 1993년 1월 1일까지 대체물질을 찾을 수 없거나 필수적인 용도를 확인하기 위한 결정문을 채택해야 한다. 이에 따라 1992년 11월에 개최된 제4차 당사국 총회 결정문 IV/25 (Decision IV/25)에서 필수 용도에 대한 정의와 규정을 마련하였다. UNEP 오존 사무국(Ozone secretariat) 웹사이트의 제4차 당사국 총회 결정문 IV/25 (Decision IV/25)에서 관련 정보를 검토하였다.⁹⁾

화학물질 관리 관점에서 필수 용도 개념이 중요시되기 시작한 배경은 다음과 같다. 2015년 글로벌 PFAS 과학 패널

(Global PFAS Science Panel)의 마드리드 선언(Madrid Statement on PFASs)¹⁰⁾에 이어 2019년 ‘환경 과학: 프로세스 및 영향 (Environmental Science: Processes & Impacts)’에 게재된 Cousins 등¹¹⁾의 논문에서 필수 용도 개념을 활용하여 PFAS 물질을 효과적으로 관리하기 위한 새로운 접근을 시도하였다. 더불어, 2020년 유럽연합 집행위원회(European Commissions)가 ‘지속 가능한 화학물질 전략(CSS)’의 중요한 요소로 필수 용도 개념을 포함하면서, 필수 용도 개념을 활용한 관련 연구들이 진행되고 있다. 이러한 맥락에서 필수 용도 개념이 새로운 화학물질 관리체계 전환에 어떻게 활용될 수 있는지 관련 보고서 및 선행 연구 사례를 분석했다.

한편, 2023년 3월 유럽화학물질청(ECHA)은 ‘지속 가능한 화학물질 전략(CSS)’의 일환으로 ‘PFAS 제한 보고서(Annex XV Restriction PFAS)’를 공개했다. 해당 보고서는 PFAS 사용 제한 조치에 따른 사회적 영향과 대체물질 개발 여부 등을 분석하여 ‘완전 금지(Full ban)’와 ‘예외적 사용 후 금지(Ban with use-specific derogation)’라는 두 가지 선택 사항을 제시했다.⁵⁾ 본 연구는 PFAS 사용의 제한 옵션 및 예외적 사용을 필수 사용 개념을 바탕으로 분석하였다. 마찬가지로 필수 용도 접근법과 유사한 사례로 미국 캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)⁶⁾을 조사하였다. 캘리포니아주는 2023년 10월 1일부터 6PPD (N-1,3-dimethylbutyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine)를 함유한 자동차 타이어를 우선순위 제품(Priority Product) 중 하나로 지정했다.¹²⁾ 안전소비자제품규정(SCPR)에 따르면 자동차 타이어 내의 6PPD는 우려 화학물질(Chemical of Concern)로 규제되며, 제조업체는 제품 내 더 안전한 대체물질로 교체해야 한다. 본 연구는 안전소비자제품규정(SCPR)의 접근 방법이 제품 측면에서 유해한 화학물질의 사용을 제한하는 용도 관리 정책으로 분석하였다. 이를 위해 안전소비자제품규정(SCPR)의 절차와 방법을 검토하고, 규정이 적용된 물질 사례 중 하나인 자동차 타이어 내의 6PPD와 관련하여 독성물질관리국(Department of Toxic Substances Control, DTSC)의 보고서 및 관련 자료를 분석하였다.

또한, 국내 유해화학물질인 벤젠(benzene)에 대한 필수 용도 개념의 적용 가능성을 검토하였다. 정부 기관에서 발표한 자료는 벤젠의 유통량 및 취급량과 같은 전반적인 통계 자료로, 국내에서 실제 사용되는 벤젠 함유 제품의 구체적인 용도에 대한 정보는 부족한 실정이다. 따라서, 2014년 전국 사업장 작업환경실태조사 결과 자료를 바탕으로 산업안전보건연구원이 수행한 「산업용 화학제품 관리를 위한 유해 물질 제한에 관한 연구」¹³⁾를 검토하여, 벤젠이 국내 산업 내에서 어떤 용도로 사용되고 있는지를 파악했다. 해당 자료를 기반으로 국내 벤젠 사용에 필수 용도 개념을 적용할 수 있는지 검토하고, 필수 용도 접근법과 유사한 제한(Restriction) 절차 내 필수성 접근 방식을 활용하여 벤젠 용도를 분류했다. 또한 벤젠에 대한 규제 발전

과정과 대체물질 가능성에 대한 문헌 고찰도 수행하였다.

이를 통해 화학물질 관리방식으로 필수 용도 개념의 의미를 파악하고, 필수 용도 개념과 유사한 화학물질에 대한 용도 접근 방식을 분석하여, 현재 논의되고 있는 필수 용도 개념이 기존의 화학물질 관리 시스템과 차별화된 규제 도구로 유효한지 검토하였다.

III. 결 과

1. 필수 용도 개념 및 접근 방식

필수 용도 개념은 “오존층 파괴 물질에 관한 몬트리올 의정서(Montreal Protocol on Substance that Deplete the Ozone Layer)”에 처음으로 도입되었다. 몬트리올 의정서는 유엔환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)의 주도로 오존층 파괴 물질에 대한 생산과 사용을 규제할 목적으로 1989년에 발효된 기후 협약이다. 몬트리올 의정서의 필수 용도 개념은 오존층 파괴 물질의 필수 용도에 대한 예외 신청(Essential Use Exemption)을 평가하기 위해 사용되었다.⁸⁾ 몬트리올 의정서는 오존 파괴 정도가 큰 물질별로 생산과 소비를 전면 금지하고 있다. 하지만 예외적으로 필수 용도라고 인정될 때는 해당 물질의 생산과 수입이 허용된다. 1992년 몬트리올 의정서 제4차 당사국 총회 결정문 IV/25 (Decision IV/25)를 통해 밝힌 필수 용도 개념은 다음과 같다. 필수 용도란 “해당 물질이 건강과 안전을 위해 필수적이고, 사회적, 문화적, 지적으로 중요한 기능을 수행”하며, 동시에 “환경 및 건강 측면에서 수용할 수 있으며, 기술적·경제적으로 실현 가능한 대안이 없는 경우”로 정의된다.⁹⁾

2019년 Cousins 등¹¹⁾은 몬트리올 의정서의 필수 용도 개념을 발전시키고 확장하였다. Cousins 등¹¹⁾은 ‘환경 과학: 프로세스 및 영향(Environmental Science: Processes & Impacts)’에 게재된 논문에서 몬트리올 의정서의 필수 용도 개념을 기반으로 PFAS 사용을 세 범주로 분류하고, 이를 통해 단계적으로 사용 금지 및 대체를 고려할 수 있도록 했다. Cousins 등¹¹⁾의 접근법은 화학물질의 용도에 중점을 두며, 이는 기존의 물질별 위해성 평가 기반의 화학물질 관리 접근 방식과 차별화된다.

최근 유럽연합 집행위원회는 필수 용도 개념을 화학물질 관리에 중요한 규제 도구로 공식화했다. 유럽연합 집행위원회는 화학물질의 위험으로부터 인간의 건강과 환경을 보호하기에는 기존의 화학물질 관리 시스템이 화학물질 증가와 빠르게 변화하는 환경에 적절히 대응하지 못하고 있다고 평가했다.⁴⁾ 이를 개선하기 위해 EU의 신화학물질 규제인 REACH (Regulation on registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals) 개정을 준비하고 있다. 특히, 제한(Restriction) 및 허가(Authorization) 절차에 필수 용도 개념을 도입해 광범위한 우려 물질에 대한 평가를 신속하고 체계적으로 수행하는 데 활

용하고자 한다.¹⁴⁾

유럽연합 집행위원회가 필수 용도 개념을 규제 도구로 공식화한 이후, 필수 용도 개념을 활용한 다양한 연구 결과들이 발표되고 있다. 2023년 ‘환경 과학 유럽(Environmental Sciences Europe)’에 발표된 논문에서 Figuière 등¹⁵⁾은 REACH의 개정 없이도 허가(Authorization) 절차 내 필수 용도 개념을 도입함으로써, 규제 당국이 광범위한 우려 물질에 대한 평가를 신속하고 체계적으로 수행할 수 있다고 판단했다. 같은 해 발표된 ‘환경 과학과 기술(Environmental Science and Technology)’에 실린 논문에서 Bălan 등³⁾은 최대 3가지 질문을 활용하여 화학물질의 필수 용도 접근 방식을 구현하는 프로세스를 제안했다. 언급된 논문들은 Cousins 등¹¹⁾의 연구를 기반으로 화학물질 관리에 필수 용도 접근 방식 구현하기 위한 다양한 적용 방법을 제시하고 있다. 본 논문 또한 Cousins 등¹¹⁾의 연구에서 제시한 필수 용도 개념을 기반으로 유사한 접근 사례를 분석하고, 접근 방식 중 하나를 국내 유해화학물질에 적용하여 필수 용도 개념의 적절성을 검토하고자 한다.

2. 필수 용도 접근과 유사 사례 분석

2.1. EU의 PFAS 사용

PFAS는 탄소와 불소로 이루어진 고분자 물질로 화학적 구조에 따라 서로 다른 식별 정보를 갖는 물질군이다. 현재까지 약

10,000종 이상의 PFAS 물질이 생산되었으며,⁵⁾ 열에 강하고 물이나 기름에 쉽게 오염되지 않은 특성으로 다양한 산업 및 소비자 제품에 사용된다. 그러나 PFAS는 분해가 어려우며 높은 이동성을 가진 물질로 수질, 토양, 공기 등의 생태계 오염을 유발하고 있다. 더불어 인체에도 유해한 영향을 주어 내분비계 장애 및 발암 가능성과 같은 문제들이 보고되고 있다.¹⁶⁾

2015년 글로벌 PFAS 과학 패널(Global PFAS Science Panel)은 PFAS 물질의 다양한 형태와 용도를 종합적으로 고려하여 물질을 그룹으로 규제하는 방안을 제시했다.¹⁰⁾ 이러한 주장은 2019년 Cousins 등¹¹⁾ 논문에서 PFAS의 필수 용도 접근법으로 발전되었다. 이처럼 PFAS의 복잡한 물질군과 광범위한 사용으로 인해, 개별 물질별 접근 방식에서 벗어나 물질의 용도에 따라 그룹화하는 방식으로 전환해야 한다는 필요성이 제기되었다(Table 1).¹¹⁾

유럽연합 집행위원회는 ‘지속 가능한 화학물질 전략(CSS)’을 통해 PFAS의 사용을 포괄적으로 다루는 조치로 필수 용도 개념을 제안했다. 2023년 3월 22일 유럽화학물질청(ECHA)은 ‘과불화화합물 제한 보고서(Annex XV Restriction PFAS)’를 공개했다. 보고서에 따르면 모든 PFAS 물질 사용에 대해 ‘완전 금지(Restriction Option 1, RO 1)’와 ‘예외적 사용 후 금지(Restriction Option 1, RO 1)’를 제안하고 있다(Table 2).⁵⁾

제한 옵션 1 (RO 1)의 경우 PFAS 사용에 대한 즉각적인 금지를 제안하며, 예외 기간을 적용하지 않고 있다. 제한 옵션 1

Table 1. Three essentiality categories to aid the phase out of non-essential uses of chemicals of concern, exemplified with PFAS uses¹¹⁾

Category	Definition	Examples of PFAS
Non-essential	Uses that are not essential for health and safety, and the functioning of society. The use of substances is driven primarily by market opportunity	Dental floss, water-repellent surfer shorts, ski waxes
Substitutable	Uses that have come to be regarded as essential because they perform important functions, but where alternatives to the substances have now been developed that have equivalent functionality and adequate performance, which makes those uses of the substances no longer essential	Most uses of AFFFs, certain water-resistant textiles
Essential	Uses considered essential because they are necessary for health or safety or other highly important purposes and for which alternatives are not yet established*	Certain medical devices, occupational protective clothing

*This essentiality should not be considered permanent; rather, a constant pressure is needed to search for alternatives in order to move these uses into category 2 above.

Table 2. The restriction option assessed in the PFAS restriction proposal⁵⁾

Restriction Option (RO)	Transition period before RO takes effect	Duration of derogation
RO 1: Full ban	18 months	Not applicable
RO 2: Ban with use-specific derogation		5 years after transition period ends 12 years after transition period ends Time-unlimited (only for specific uses)

에 해당하는 사례로는 화장품, 스키 왁스, 건축 제품, 혼합 소비재 등 소비자가 사용하는 제품이다. EU는 해당 제품에 함유된 PFAS의 필수성에 대한 근거를 확인할 수 없으며, 기술적 및 경제적으로도 충분한 대안이 존재한다고 판단하여 사용 제한 조치를 시행했다.⁵⁾ Cousins 등¹¹⁾의 연구에 따르면 “이러한 제품은 주로 시장에 의해 주도되며, 소비자의 기호와 취향을 충족시키기 위해 사용되는 경향”을 나타낸다. 따라서 제한 옵션 1은 PFAS 물질 사용이 인체 건강과 환경에 위해를 미칠 가능성이 크며 사회적으로 필수적이지 않은 용도를 나타낸다. 즉, 해당 제품에 PFAS 물질 사용을 즉각적으로 제한함으로써 인체와 환경을 더욱 강력하게 보호할 수 있다.

제한 옵션 2 (RO 2)의 경우 대체물질 및 기술이 개발 중이거나, 대안이 없는 경우의 품목으로 분류된다. 이러한 용도는 유예 기간을 부여한 후 PFAS 사용을 단계적으로 금지한다. 제한 옵션 2에서는 PFAS의 용도에 따라 5년 또는 12년의 사용 유예 기간을 부여하고 있다. 해당 용도에서 PFAS 제한 조치에 따른 환경과 인체, 경제와 사회에 미치는 영향을 평가하고, 대안의 실현 가능성을 고려하여 대안이 이미 개발 중인 경우 5년의 사용 유예를 제안하고, 대안이 아직 존재하지 않거나 대안 개발에 장기간이 필요한 경우 12년의 사용 유예를 제시하고 있다.⁵⁾ 제한 옵션 2의 사례는 사업장이나 연구 및 개발에서 사용되는 용도로 판단된다. EU는 산업 제조 및 생산 공정에서 사용되는 PFAS에 대해 대안 용도 및 공정이 가능하다고 판단하여 중장기적인 유예 기간을 적용했다. 5년의 사용 유예 기간이 제안된 용도로는 여과용 직물, 저온 냉장고 냉매, 연료전지의 양성자 교환막 등이 있다. 반면, 항공기, 산업용 정밀 세척제, 이식형 의료기기 등은 현재 적용할 수 있는 대안이 없지만, 향후 대체 가능성을 고려하여 12년의 사용 유예 기간을 적용했다.⁵⁾ 이와 같이 제한 옵션 2를 통해 사용 유예 기간을 설정하여 대체물질과 기술 개발을 적극적으로 장려하고, PFAS 사용을 점진적으로 중단함으로써 비필수 용도로의 전환을 도모할 수 있다.

EU REACH의 제한(Restriction) 절차를 통한 PFAS의 용도 제한은 향후 필수 용도 접근 방식을 적용하기 위한 청사진으로 이해된다. ECHA의 PFAS 물질군에 대한 제한 보고서는 PFAS 사용에 대해 ‘완전 금지’와 ‘대체 가능’ 용도만을 분류했다. 즉, 현재 대안이 없더라도 사용 유예 기간 내에 대체할 수 있는 것으로 가정하여 필수 용도 개념을 적용하지 않은 것으로 분석된다. 그러나 PFAS 물질군의 용도를 단계적으로 제한하여 비필수적인 사용 사례를 식별하고, 제한 조치의 근거와 대체물질의 가용성 등을 고려해 ‘완전 금지’와 ‘대체 가능’ 용도를 점진적으로 확대함으로써 PFAS의 필수 용도를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 캘리포니아주의 자동차 타이어 내 6PPD 사용

6PPD는 세계적으로 천 톤 이상의 대량산화화학물질 중 하

나이다. 이 물질은 합성 고무의 산화 및 오존 방지 기능이 있어, 자동차 타이어, 신발, 압력솔 고무 패킹, 벨트, 호스와 같은 고무 소재로 만들어진 다양한 소비자 제품부터 산업용 고무 부품, 고무 제품용 보조 재료와 같은 산업 전반에 사용된다.¹⁷⁾

최근 6PPD가 수생태계 및 환경에 미치는 영향에 대한 우려가 제기되고 있다. 특히, 자동차 타이어에 사용된 6PPD가 마모 등의 과정에서 대기 중의 산소와 오존에 의해 산화 생성물인 6PPD-quinone (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine-quinone)으로 변환된다. 이렇게 형성된 6PPD-quinone은 우천 시 하천으로 방출되어 연어와 송어를 포함한 수중 생물의 대규모 폐사를 유발하는 주요 원인으로 밝혀졌다.¹⁸⁾ 2022년 ‘환경 과학과 기술(Environmental Science and Technology Letter)’에 게재된 Tian 등¹⁹⁾의 연구에 따르면, 캘리포니아 하천에서 측정된 6PPD-quinone의 농도는 실험실에서 연어의 절반이 사망하는 농도(Lethal concentration 50, LC₅₀)보다 높게 나타났다.

이러한 문제의식으로 최근 캘리포니아주의 독성물질관리국(DTSC)은 6PPD를 함유한 자동차 타이어를 안전소비자제품 규정(SCPR)에 따른 우선순위 제품 목록(Priority Product List)으로 추가하였으며, 이 규정은 2023년 10월 1일부터 적용되고 있다. 독성물질관리국(DTSC)은 6PPD를 함유한 자동차 타이어를 우선순위 제품으로 선정한 이유를 “i) 대중 및 수생, 조류, 육지 동물, 식물 생물체에 노출될 가능성이 있으며, ii) 이러한 노출로 인해 하나 이상의 중대하고 광범위한 악영향을 기여하거나 유발할 가능성이 있어 제품 관리 우선순위 기준에 충족한다”라고 설명했다.²⁰⁾ 캘리포니아주가 6PPD 함유 자동차 타이어를 우선순위 제품으로 결정한 근거를 환경보건 측면, 사회적 경제적 영향 측면, 대안의 가용성 측면에서 살펴볼 수 있다.¹²⁾

환경보건 측면에서 전 세계 생산량 대부분의 6PPD가 자동차 타이어에 사용되며, 타이어 수명 동안 6PPD와 6PPD-quinone이 계속 생성되어 환경으로 방출된다. 해당 화학물질이 수생 생물에 지속해서 노출될 경우, 먹이사슬을 통해 생물 다양성이 감소하고 조류 및 야생 동물의 생존이 위협받을 수 있다. 또한 수명이 다한 자동차 타이어의 재활용 과정(예: 어린이 놀이터의 고무 매트나 탄성 포장재, 인조 잔디 충전재 등)에서 6PPD와 6PPD-quinone의 노출로 인해 환경 및 건강 피해가 발생할 가능성이 있다.²¹⁾

사회경제적 측면에서 캘리포니아주에 거주하는 토착 원주민 부족은 연어를 중요한 식량원으로 의존하고 있다. 자동차 타이어에 함유된 6PPD와 6PPD-quinone의 수생 방출로 인한 어류 개체 수 감소는 원주민 공동체의 식량원 감소와 함께 문화적 손실, 자립 및 주권 감소, 빈곤 증가와 관련된 다양한 문제를 발생시킬 수 있다. 또 다른 문제점으로 독성물질관리국(DTSC)은 현재의 빗물 처리 시스템이 6PPD와 6PPD-quinone을 효과적으로 제거하지 못할 가능성이 있으며, 이에 대한 시설 개선보

다는 오염 물질의 배출을 전면적으로 금지하는 것이 비용과 편의 측면에서 더 적합하다고 판단하고 있다.¹²⁾

대안의 가용성 측면에서 독성물질관리국(DTSC)은 제조업체가 대안을 찾고 채택할 수 있도록 지원하고 있다. 현재까지 6PPD와 동일한 기능적 특징을 가지고 즉각적으로 대체할 수 있는 물질이 시장에 존재하지 않지만, 환경친화적이고 안전한 대안을 개발하기 위해 연구가 진행 중이다. 2021년 미국 워싱턴주 생태부(Washington State Department of Ecology)는 6PPD의 대체물질 목록을 발표했다.²²⁾ 제안된 대체물질은 6PPD와 유사한 산화 및 오존 방지 기능을 갖추고 있으나, 아직 인체 및 환경에 대한 안전성이 입증되지 않은 상황이다. 또한 대체물질의 생산 비용을 고려할 때, 6PPD를 완전히 대체하기 위해서는 추가적인 연구와 개발이 필요한 상황이다.

이러한 이유로 제품의 전 생애 주기 각 단계에서 발생할 수 있는 환경보전적 위험과 사회경제적 영향, 대안의 가용성 등 다양한 측면을 고려하여 6PPD 함유 자동차 타이어를 우선순위 제품 목록(Priority Product List)으로 추가한 것으로 이해할 수 있다.

캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)은 유해한 화학물질이 함유된 제품 측면에서 해당 화학물질의 사용을 제한하는 접근 방식으로 분석된다. 이 규정은 위해성이 있거나 그러한 우려가 있는 '후보 화학물질(Candidate Chemical)'이 함유된 제품 중에서 우선으로 관리가 필요한 제품을 '우선순위 제품(Priority Product)'으로 지정하여 규제한다.⁶⁾ 후보 화학물질 목록(Candidate Chemicals List)은 인간과 환경에 대한 유해성이 명확하며, 안전소비자제품규정(SCPR)에서 공인한 목록 중 하

나 이상에 등재된 화학물질로 독성물질관리국(DTSC)에서 결정한다.²³⁾ 만약 후보 화학물질(Candidate Chemical)이 소비자 제품에 함유되어 사용됨으로써 소비자의 안전이나 환경에 중대한 위험이 확인된다면, 제품과 화학물질 조합의 위해성을 평가하고 이해관계자의 의견 수렴을 거쳐 우선순위 제품(Priority Product)으로 선정한다. 해당 제품 내의 후보 화학물질(Candidate Chemical)은 우려 화학물질(Chemical of Concern)로 관리된다.²⁴⁾ 제조업체는 캘리포니아주에서 판매하거나 유통하는 모든 우선순위 제품(Priority Product)을 관리 당국에 신고해야 하며, 해당 제품 내의 우려 화학물질에 대한 대안 분석(Alternative Analysis)을 수행해야 한다. 제조업체들은 다음과 같은 질문에 답변해야 한다 - "해당 화학물질이 필요한가?", "더 안전한 대안이 있는가?", "잠재적인 유해성이 없는 대체물질인가?"²⁵⁾ - 만약, 제조업체가 우선순위 제품(Priority Product) 내 우려 화학물질(Chemical of Concern)이 필수적이며 더 안전한 대안이 없다고 주장하는 경우, 규제 당국은 제조업체에 녹색 화학 또는 공학적 대안 개발에 투자하도록 요구한다.²⁶⁾ 그리고 해당 제품에 우려 화학물질(Chemical of Concern)을 사용하고 있음을 대중에게 알리도록 한다.²⁷⁾ 이처럼 캘리포니아주는 안전소비자제품규정(SCPR)을 통해 우려 화학물질로부터 더욱 안전한 대안으로 전환을 촉진하고 있다(Fig. 1).¹²⁾

캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)에 따른 제품 위험 관리 접근 방식은 필수 용도 접근 방식과 유사한 특징을 보인다. 독성물질관리국(DTSC)은 안전소비자제품규정(SCPR)을 통해 6PPD 사용이 포함된 자동차 타이어 용도를 금지하고, 더 안전한 대안을 개발하도록 규정하고 있다. 이는 Cousins 등¹¹⁾이

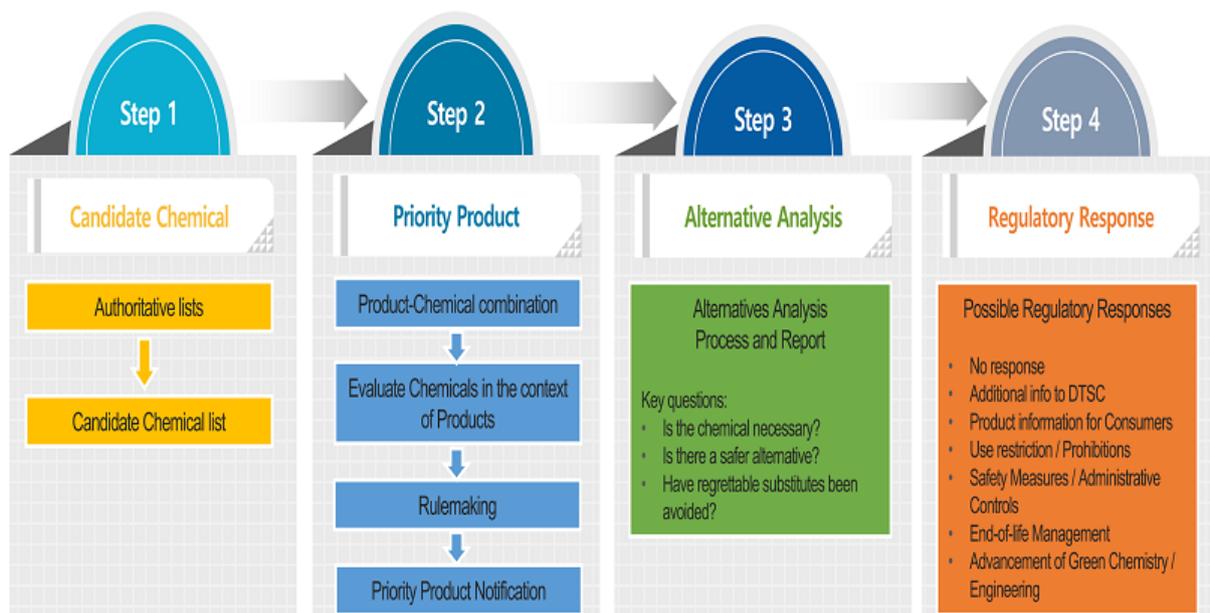


Fig. 1. Major elements of SCPR¹²⁾

제한한 필수 용도 접근 방식에서의 '대체 가능(Substitutable)' 용도로 분류될 수 있으며, EU의 제한 옵션(Restriction Option) 2와 유사하게 대안 개발에 장기간이 필요한 경우로 볼 수 있다. 캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)은 우려 화학물질이 사용되는 최종 용도에 주목하여 건강과 안전, 사회 영향, 그리고 대안의 가용성 등에 관한 결정이 이루어지는 필수 용도 접근과 유사한 방법으로 분석된다.

3. 국내 벤젠 사용에 필수 용도 개념 적용 가능성

벤젠(benzene)은 가장 기본적인 방향족 탄화수소 물질로 무색이며 휘발성이 강하여 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)로 분류된다. 벤젠은 주로 석유 원유에서 생산되며, 석유화학산업의 기초 원료로 플라스틱, 합성 고무와 같은 폴리머 제조 및 염료, 세제, 접착제, 희석제 등의 중간재와 첨가제로 사용된다.²⁸⁾ 국제보건기구 산하의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 벤젠을 인체에 암을 유발하는 인체 발암물질(Group 1)로 분류했다.²⁹⁾ 벤젠 노출은 피부 및 눈 자극을 일으키고, 염색체 손상 및 세포 유전학적 변화에 영향을 줄 수 있다. 또한 산업 공정을 통해 대기로 배출되는 경우, 대기 중 다른 화학물질과 상호작용하여 물과 토양의 오염을 초래할 수 있다.³⁰⁾

벤젠의 유해성으로 인해 오랫동안 노출 위험을 평가하고 관리하려는 노력이 계속되었으며, 이 과정에서 위험성 평가(Risk assessment) 개념이 발전됐다. 1978년 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)은 벤

젠 노출로부터 근로자를 보호하기 위해 노출 기준을 도입했으나, 1980년 미국 연방 대법원(Supreme Court of the United States)은 과학적 평가를 기반으로 벤젠의 위험 기준을 설정해야 한다는 판결을 하며 해당 기준을 무효화했다.³¹⁾ 7년 뒤, 미국 산업안전보건청(OSAH)은 위험성 평가 프로세스를 활용하여 새로운 벤젠 안전 기준을 마련했다.³²⁾ 위험성 평가 개념은 미국 연방 정부의 화학물질 규제 수준을 결정하는 데에 사용되었으며, 이후 국제 협약과 EU 및 다른 국가에서도 화학물질 관리에 대한 표준적인 접근 방식으로 채택했다.³⁾ 현재 미국 산업안전보건청(OSAH)은 벤젠의 위험성 평가를 통해 8시간 평균 노출 기준을 1 ppm으로 규제하고 있다. EU는 모든 용도에서 벤젠 함량을 중량 대비 0.1% 이상으로 제한하고 있다. 국내도 환경부의 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」에 의해 벤젠을 유해화학물질로 지정해 관리 기준을 정하고 있으며, 고용노동부는 「산업안전보건법」에 따라 특별관리물질로 분류하여 벤젠 노출에 대한 허용 기준을 정하고 있다.

본 논문은 벤젠의 필수 용도를 검토하기 위해 산업안전보건 연구원의 「산업용 화학제품 관리를 위한 유해 물질 제한에 관한 연구」¹³⁾를 참고하여 벤젠이 산업 내에서 어떤 용도로 사용되고 있는지를 조사했다. 이를 기반으로 필수 용도 접근 및 대체 가능성을 분석하였다(Table 3).¹³⁾

몬트리올 의정서의 필수 용도 개념을 기반으로 Cousins 등¹¹⁾이 제안한 방법을 사용하여 벤젠을 세 가지 범주(Non-essential, Substitutable, Essential)로 분류를 시도했으나, 벤젠의 용도와 건강 및 안전, 사회적 필수성 그리고 대체 가능성에 관한 충분한 연구와 사회적 논의가 이루어지지 않은 상황에서 벤젠의 필수 용도를 판단하는 데 어려움이 존재했다. 이에 본 연구는 벤젠의 필수 용도를 적극적으로 검토하기보다는, 유럽화학물질청(ECHA)의 'PFAS 제한 보고서(Annex XV Restriction PFAS)'의 제한(Restriction) 절차 내 필수성 접근 방식에 따라 벤젠의 용도에 대한 사용 제한을 설정하고자 한다. 이를 통해 비필수 용도로 간주하는 벤젠 사용에 대해서는 즉각적인 금지를, 대체할 수 있는 용도와 대안이 없는 용도에 대해서는 단계적 금지를 제안하였다. 유럽화학물질청(ECHA)의 PFAS 제한 옵션(Restriction Option)에 따라, 벤젠 사용에 대해 제한 옵션 1(Restriction Option 1, RO 1)의 '완전 금지 용도'와 제한 옵션 2(Restriction Option 2, RO 2)의 '대체물질이 개발 중이거나 대

Table 3. Distribution of benzene-containing products using the working environment monitoring program in Korea 2014¹³⁾

	Products	Count	Percentage
1	Thinner	332	27.7%
2	Detergents	269	22.5%
3	Disinfectants and sterilisers	252	21.1%
4	Dyes	98	8.2%
5	Raw material	51	4.3%
6	Solvent	23	1.9%
7	Fuel	17	1.4%

Table 4. The restriction option in the benzene

Restriction Option (RO)	Examples of benzene	Duration of derogation
RO 1: Full ban	Consumer products (paints, detergents, etc.)	Not applicable
RO 2: Ban with use-specific derogations	Industrial products (thinners, solvents, disinfectants and sterilisers, dyes, etc.) Raw material, fuel	5 or 12 years Time-unlimited (only for specific uses)

안이 없는 용도'로 구분했다(Table 4).

제한 옵션 1 (RO 1)의 경우 벤젠 사용의 완전한 금지를 제안할 수 있다. 벤젠의 유해성으로 인해 사람의 건강과 환경에 대한 위해 가능성이 높을 뿐만 아니라, 해당 용도가 사회적으로 필수적이지 않기 때문에 사용을 중단함으로써 인체와 환경을 보호할 수 있다. 해당 용도에는 주로 소비자용 페인트, 생활화학제품 등이 포함된다. 특히 소비자 제품 중 일반 소비자가 사용하는 페인트에서 벤젠을 포함한 휘발성 유기화합물이 높게 검출됨에 따라, 정부는 페인트 내의 휘발성 유기화합물 함유 기준을 강화하고 환경친화적인 페인트의 보급을 촉진했다.³³⁾ 이에 따라 페인트 산업은 기존의 유기용제 대신 물을 사용하는 수성페인트의 개발과 출시를 늘리고 있다. 이러한 제품은 기존의 유성 페인트와 동일한 성능을 유지하면서도 정부의 관리 기준을 준수하고 있다. 또한 「생활화학제품 및 살생물제의 안전 관리에 관한 법률」에 따라 일부 생활화학제품에 벤젠의 제한 기준이 설정되어 있다. 스프레이로 분사되는 방향제(0.003%)와 탈취제(0.002%)에 대해서는 벤젠 함유를 공정상의 미량 불순물 관리 함량(0.1%)보다 낮게 제한하고 있다.³⁴⁾ 이 조치는 제품 내 기능을 위해 의도적으로 첨가된 벤젠을 규제하는 것이 아니라, 제품 내 석유 화합물 유래의 다른 물질로 인해 벤젠이 불순물로서 노출될 수 있는 위험을 예방하기 위한 것이다. 이와 같이 인체에 직간접적으로 노출될 수밖에 없는 소비자 제품의 특성으로 인해, 현재의 제품 규제는 불순물로서의 벤젠 노출까지 엄격히 제한하고 있다. 따라서, 모든 소비자 제품 내 벤젠 사용에 대한 전면적인 금지가 가능하다고 판단된다.

제한 옵션 2 (RO 2)는 해당 물질이 건강과 안전을 위해 필수적이며, 사회에서 중요한 기능을 수행하며, 대체물질이 이미 존재하거나 개발 중인 용도 또는 대안이 없는 용도라도 향후 대안 및 기술의 실현 가능성을 고려하여 분류했다. 이러한 용도는 PFAS의 제한 옵션 2와 같이 유예 기간을 설정한 후, 벤젠 사용을 점진적으로 금지하는 것을 제안할 수 있다. 본 연구에서 대체 가능 용도의 대부분은 사업장에서 사용되는 산업용 제품에 해당한다. 벤젠은 원유에서 발생하기 때문에 일부 산업용 제품에 함유될 수 있으나, 대부분의 산업용 제품과 용도는 대체할 수 있는 대안이 존재하므로 필수적이지 않다고 판단된다. 사업장에서 가장 많이 사용되는 희석제 용도의 벤젠은 사이클로헥사논(cyclohexanone)과 헵탄(heptane)과 같은 비극성 용매로 대체할 수 있다.³⁵⁾ 사이클로헥사논(cyclohexanone)은 주로 목재 및 표면 처리용 바니시(varnish)의 용매로 사용할 수 있으며, 헵탄(heptane)은 도료 및 코팅, 고무 시멘트의 용매로 사용되어 벤젠을 대체하는 용도로 상용화되어 있다. 전자 산업에서 사용하는 유기용제 세척제의 대체물질로 아이소프로필알코올(isopropyl alcohol), 벤질 알코올(benzyl alcohol), 에탄올(ethanol), 메틸 아세테이트(methyl acetate) 등이 개발 및 연구되고 있다.³⁶⁾ 자동차 산업과 조선업에서 사용되는 수용성 도료는 벤젠이 함

유된 유용성 도료에 비해 작업자의 건강에 미치는 유해한 영향을 줄일 수 있어 대안으로 권장된다.³⁷⁾

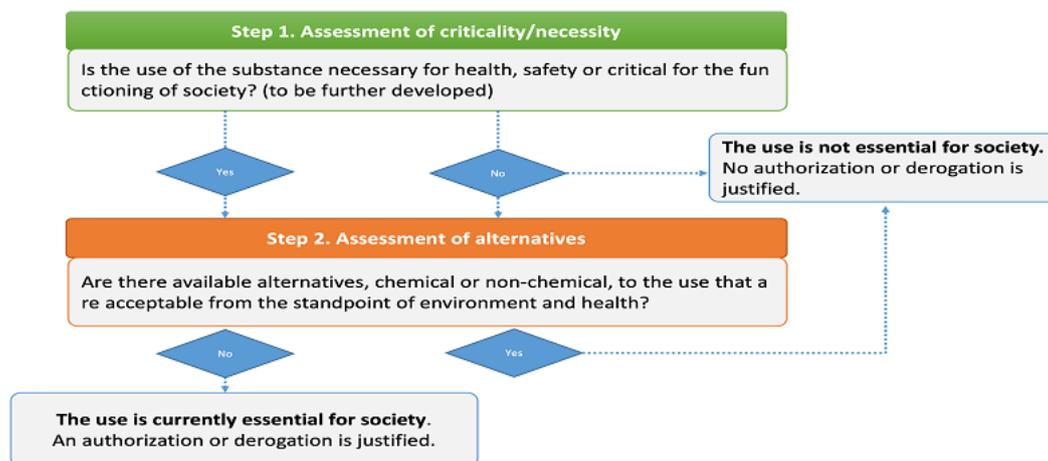
반면, 원료와 연료 용도의 벤젠 사용은 사회적으로 중요한 기능을 하며, 현재까지 기술적, 경제적 측면 등을 종합적으로 고려했을 때 대체하기 어려운 용도에 해당한다. 석유화학산업에서 벤젠은 여러 화학물질의 원료와 연료로 사용되며, 생산 설비로 직접 공급되어 촉매, 중간체 등으로 사용된다. 벤젠이 기초 원료로 사용될 경우 다양한 화학반응과 결합을 통해 다른 화합물로 변환될 수 있으며, 스티렌 모노머(styrene monomer), 페놀(phenol), 시클로헥산(cyclohexane), 아닐린(aniline), 무수말레인산(maleic anhydride), 알킬벤젠(alkylbenzene) 등이 대표적인 예다.³⁸⁾ 벤젠이 플라스틱 제조 등 기타 합성 원료로 사용될 때, 합성 과정에서 벤젠은 새로운 물질로 변화한다. 따라서, 해당 합성 물질의 물리적, 화학적 특성과 독성은 벤젠과 구별되어야 한다. 그러나 장기적인 시각에서 해당 합성 물질의 필요성과 잠재적인 위해 영향을 평가하기 위한 별도의 연구가 필요하다.

벤젠은 자동차 연료뿐만 아니라 산업용 연료로 사용된다. 연료로서 휘발유(Gasoline)와 나프타(Naphtha)와 같은 석유 제품은 대표적인 복합다성분물질(Substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction Products or Biological materials, UVCB)로 분류되며, 이러한 제품에 석유 기원 물질인 벤젠의 함유를 배제할 수 없다(Table 5).³⁹⁾ 석유계 UVCB 물질은 탄소 수와 끓는점이 유사한 다수의 물질이 혼합되어 있으므로 산업 현장의 공정상 모든 구성 성분을 완전하게 분리하기 어렵다. 일반적으로 대규모 장치산업에서 연료로서 벤젠 함유 제품을 대체하기는 어려운 과제로 남아있다. 오랫동안 벤젠은 우선 관리 물질로 여겨져 각 국가에서 정부는 함량 규제를 강화하고 기업들은 연료의 품질을 향상하기 위해 노력해 왔다. 지금까지 연료 내 벤젠 함량이 크게 줄었지만, 현재로서는 경제적 이유와 기술적 한계로 연료 내 벤젠을 원천적으로 제거하거나 덜 유해한 물질 혹은 공정으로 대체하기는 어려워 보인다. 따라서 연료 내 벤젠을 대체할 수 있는 대체물질과 기술이 향상될 때까지 벤젠 사용은 불가피하다고 판단하여 유예 기간을 부여한 한시적 필수 용도로 제안한다. 이러한 벤젠의 용도에 대해서는 대체물질이나 대체 공정 개발을 촉진하기 위한 대체 계획을 수립해야 하며, 위험성을 최소화하기 위한 관리도 강화할 필요가 있다.

벤젠은 주로 원유의 천연 성분으로서 제품 내 특정 용도를 위해 사용하기보다는 불순물이나 미량으로 존재한다. 그간 벤젠 관리를 위해 제품 내 함량을 제한하거나 벤젠 농도를 줄이기 위한 노력이 이루어져 왔다. 그러나 현재로서는 제품 내 벤젠을 단기간 내에 완전히 제거하거나 대체하는 것은 사회적 필요성과 기술적 한계, 경제적 이유로 어려워 보인다. 따라서, 중장기적인 관점에서 기술 발전과 대체 가능성을 고려하여 일정

Table 5. Example of petroleum-based UVCB substances with potential hazards³⁹⁾

Petroleum-based UVCB substances	Hazard classification	Hazardous substances
Crude oil	Carcinogenicity Mutagenicity Reproductive effects Acute toxicity	Hydrogen sulfide, benzene, PAC
Petroleum gases	Carcinogenicity Mutagenicity Acute toxicity	1,3-butadiene, benzene, hydrogen sulfide
Naphthas/gasolines	Carcinogenicity Mutagenicity	Benzene, naphthalene
Kerosines	Specific target organ toxicity Carcinogenicity Reproductive effects	n-hexane, toluene, benzene n-hexane, toluene, xylene

**Fig. 2.** Options for assessment of essential uses in REACH⁴⁰⁾

기간 필수적인 용도로 간주할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 Cousins 등¹¹⁾의 ‘필수 용도’ 개념보다 유럽화학물질청(ECHA)의 제한 옵션(Restriction Option)을 통해 유예 기간 부여 및 단계적인 제한 방식이 벤젠 사용 제한에 더 적절하다고 판단되었다. 이를 통해 벤젠 사용을 효과적으로 관리하는 동시에 대체 물질과 기술 개발을 장려할 수 있을 것이다.

IV. 고 찰

화학물질 사용량이 증가하고 용도가 다양해지면서 광범위한 피해가 발생함에 따라, 기존의 화학물질 관리체계를 재평가하고 새로운 시스템으로 전환이 필요하다는 공감대가 형성되고 있다. 현재 전 세계적으로 유통되는 화학물질 수에 비해 유해성과 용도에 대한 정보가 확인된 물질은 일부에 불과하다. 이러한 현실을 고려하여 EU는 ‘독성없는 환경으로 전환(Towards a toxic-free environment)’이라는 목표로 화학물질 관리의 핵심

도구 중 하나로 필수 용도 개념(Essential Use)을 도입했다. 기존의 화학물질 관리는 유해성 평가를 통해 위험도가 높은 화학물질을 관리하는 방식이라면, 필수 용도 접근 방식은 최종 제품 범주 내에서 위해 우려가 있는 물질의 사용을 금지하고, 더 안전한 대체물질 사용이나 대체 공정 개발 유도를 목표로 한다. 즉, 필수 용도가 아니라면 해당 화학물질이 제품화되지 않도록 관리하고, 필수 용도로 인정되면 환경 및 제품 노출에 대한 화학물질 위험을 적극적으로 관리하는 방식이다.

본 연구에서 검토한 사례에 따르면, 현실 규제에서 화학물질 관리 수단으로 필수 용도 접근 방식이 적극적으로 활용되기보다는 제한적으로 사용되고 있음을 확인했다. 즉, 우려 화학물질의 비필수적 용도를 단계적으로 제거하는 방법을 통해 필수 용도를 채택하는 것으로 나타났다. 이러한 필수 용도 접근 방식이 규제에 충분히 적용되지 못한 이유는, 필수 용도 개념이 몬트리올 의정서에서 선형적으로 정의되거나 학술적으로 논의된 개념 이외에 현재까지 국내의 법령에서 화학물질 규제 도구로

서 명확하게 정립되지 않았기 때문으로 보인다(Fig. 2).⁴⁰⁾

화학물질 관리 수단으로 필수 용도 개념 정의와 도입 방안을 마련하기 위해서는 국가별 관리 목적과 특성을 고려해야 한다. 필수 용도 개념의 정의를 수립하는 초기 단계부터 정부, 산업계, 시민사회 등 관련 이해관계자와 협력하고 논의하여 필수 용도 이외의 용도에 대해 사용하지 않겠다는 인식 전환이 필요하다. 이러한 과정을 통해 필수 용도 개념을 활용하기 위한 방향과 규제에 대한 공감대를 형성하고 사회적 합의 단계를 형성할 수 있다.

필수 용도 개념이 화학물질 관리에 효율적으로 작동하기 위해서는 화학물질의 생산부터 제품, 폐기 및 재활용까지 전 생애 주기를 추적하여 용도에 대한 데이터와 정보를 수집해야 하며, 공급망의 각 단계에서 물질 사용으로 인한 안전성을 평가하고 필수 용도 개념을 적용해야 한다. 이를 위해 각 국가의 산업 특성 및 기술 수준, 소비 특성 및 관리 정책에 부합하는 환경과 건강, 사회적 영향 그리고 대체기술 측면을 종합적으로 고려한 평가 지표를 개발하고, 산업별 화학물질 용도 정보(Use-map)를 수집하고 공유하며, 필수 용도에 대한 위험 관리 조치(Risk management measures, RMMs)를 개발 및 모니터링할 수 있는 준비와 기반이 필요하다. 필수 용도 개념이 제도 내에 내실화될수록 더 안전한 대체물질의 개발과 연구가 필요해질 것이다. 대체물질을 촉진하는 과정에서 유감스러운 대체(Regrettable substitution)를 예측하고 대비할 수 있는 사후적인 관리 체계도 확립해야 한다. 필수 용도 개념이 화학물질 규제에 도입되면 기존의 안전관리 도구들이 활성화되어 유해성 중심의 물질 관리에서 위해성 중심의 포괄적인 노출 관리로 전환에 기여할 것으로 기대된다. 그러나 화학물질 규제 및 관리 수단으로 필수 용도 접근 방식을 구현하기 위해서는 많은 연구와 정책적 결단이 필요한 것으로 판단된다.

V. 결 론

우려 화학물질 관리를 위한 방법으로 화학물질의 필수 용도에 따른 접근 방식을 적용한 PFAS, 6PPD 물질 사례를 분석하고, 국내 유해화학물질인 벤젠(benzene)을 대상으로 필수 용도 접근 방식과 유사한 PFAS 제한 옵션(Restriction option)을 적용해 보았다. 필수 용도 접근 방식은 물질의 특정 노출만을 고려하는 위해성 평가 방식에서 다루기 어려운 우려 물질의 사용과 잠재적 노출을 효과적으로 관리할 수 있는 방법임을 확인했다.

EU의 PFAS 물질군에 대한 제한(Restriction) 사례와 캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)을 검토한 결과, 우려 물질의 필수 용도 접근 방식은 제도적으로 구현할 수 있는 것으로 분석된다. 또한, 이러한 접근법을 본 논문에서 다룬 벤젠(benzene) 이외의 잠재적으로 유해한 화학물질에도 확대하고 적용해 나간다면, 필수 용도 개념이 화학물질 용도를 효과적으로

식별하고 관리하는 도구로서 적합성을 검토할 수 있을 것으로 보인다.

EU는 PFAS 사용에 대한 제한 사항으로 두 가지 옵션을 제시했다. 첫 번째는 화장품, 스키 왁스, 건축 제품, 혼합 소비재 등 소비자들이 사용하는 제품에 대해서 PFAS 사용의 제한을 제안했다. 두 번째는 사업장이나 연구 및 개발에서 사용하는 산업용 및 전문가용 제품에 대해서는 단계적 제한을 제안했다. EU는 대안이 없는 용도에도 향후 대안 가능성을 고려해 필수 용도 개념을 적용하지 않았다. 그러나 향후 PFAS의 모든 용도에 관한 사용 사례 및 대체물질 가용성을 식별함으로써 PFAS의 필수 용도를 확립할 수 있을 것으로 예상된다.

미국에서는 캘리포니아주의 안전소비자제품규정(SCPR)을 통해 위해 우려가 있는 화학물질을 함유한 제품 중에서 관리가 필요한 제품을 '우선순위 제품(Priority Product)'으로 지정하고 규제하고 있다. 최근에는 수생태계 독성이 있는 6PPD가 함유된 제품 중에서 자동차 타이어를 우선순위 제품으로 지정하며, 환경보건 측면, 사회경제적 영향 측면, 대안의 가용성 측면에서 필수적이지 않다고 평가했다. 이러한 접근 방식은 필수 용도 접근 방식과 유사한 접근법으로, 6PPD가 포함된 자동차 타이어는 Cousins 등¹¹⁾이 제안한 필수 용도 접근 방식에 따라 '대체 가능(Substitutable)' 용도로 분류되며 대안 개발에 장기간이 필요한 경우로 볼 수 있다. 접근 방식은 EU의 PFAS에 대한 제한과 같이 우려 물질의 필수적이지 않은 용도를 제거함으로써 필수 용도를 확립하는 과정으로 볼 수 있다.

국내 사례에서 유럽화학물질청(ECHA)의 제한 절차의 필수성 개념을 적용하여 벤젠(benzene)의 주요 용도를 '완전 금지'와 '대체물질이 개발 중이거나 대안이 없는 용도'로 분류했다. 이를 적용한 결과, 국가 차원에서 소비자 제품의 벤젠 사용을 엄격히 금지하는 추세에 맞춰 소비자용 제품을 비필수 용도로 분류하고 완전한 사용 금지를 제안했다. 반면, 대부분의 산업용 제품과 용도는 대체할 수 있는 물질과 기술이 다양하게 개발되고 있어 '대체 가능(Substitutable)' 용도로 분류했다. 한편, 벤젠의 원료와 연료의 경우에는 예외적 사용으로, 제품 내 특정한 용도로 사용하기보다는 불순물이나 UVCB 물질 내 미량으로 남아있어 이를 완전히 제거하거나 대체하기 위한 경제적 비용과 기술적인 한계가 존재한다. 따라서 벤젠의 원료와 연료는 향후 기술 발전과 대체 가능성을 고려하여 유예 기간을 부여한 한시적 필수 용도로 분류하였다. 이러한 벤젠 사용에 대한 분류를 고정적으로 간주해서는 안 되며, 오히려 전체 공급망 내에서 벤젠이 수행하는 다양한 용도를 구체적으로 식별하고 더 안전한 대체를 추진해야 한다.

이상 본 연구에 근거하여 볼 때, 현재까지 우려 화학물질에 대한 관리 수단으로 필수 용도 접근 방식이 적극적으로 적용되기보다는 불필요한 용도를 제한하는 방법으로 사용되고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 필수 용도 접근 방식을 우려 화학

물질 규제 및 관리 수단으로 활용하기 위하여 필수 용도의 개념과 방법론을 명확히 정립하고, 필수 용도 개념을 규제 내 제한 및 허가 절차에 효과적으로 도입한다면 더욱 안전하고 지속 가능한 화학물질 관리를 실현하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2023년도 환경부 주관 「화학물질 안전관리 전문 인력 양성사업」의 화학물질 특성화대학원 지원 사업을 통한 성과물입니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. European Union (EU). Chemicals strategy: The EU's chemicals strategy for sustainability towards a toxic-free environment. Available: https://environment.ec.europa.eu/strategy/chemicals-strategy_en [Accessed 23 August 2023].
2. Squire Patton Boggs. Chemical strategy for sustainability heralds most significant changes to EU chemicals regulation in 15 years. Available: <https://www.squirepattonboggs.com/-/media/files/insights/publications/2020/10/chemical-strategy-for-sustainability-heralds-most-significant-changes-to-eu-chemicals-regulation-in-15-years/chemicalstrategyforsustainability.pdf> [Accessed 23 August 2023].
3. Bălan SA, Andrews DQ, Blum A, Diamond ML, Fernández SR, Harriman E, et al. Optimizing chemicals management in the United States and Canada through the essential-use approach. *Environ Sci Technol.* 2023; 57(4): 1568-1575.
4. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee: commission general report on the operation of REACH and review of certain elements conclusions and actions. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0116&from=EN> [Accessed 4 August 2023].
5. European Chemicals Agency. Annex XV restriction report: proposal for a restriction. Available: <https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea> [Accessed 10 September 2023].
6. Department of Toxic Substances Control. Safer consumer product regulations. Available: <https://dtsc.ca.gov/regs/safer-consumer-product-regulations/> [Accessed 3 September 2023].
7. Ministry of Environment. 2021 Chemical safety policy forum report. Available: <https://www.chemnavi.or.kr/forum/frum/frumDetail.do> [Accessed 5 September 2023].
8. United Nations Environment Programme. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Available: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol> [Accessed 31 August 2023].
9. United Nations Environment Programme. Decision IV/25: essential uses. Available: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/meetings/fourth-meeting-parties/decisions/decision-iv25-essential-uses> [Accessed 31 August 2023].
10. Blum A, Balan SA, Scheringer M, Trier X, Goldenman G, Cousins IT, et al. The Madrid statement on poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Environ Health Perspect.* 2015; 123(5): A107-A111.
11. Cousins IT, Goldenman G, Herzke D, Lohmann R, Miller M, Ng CA, et al. The concept of essential use for determining when uses of PFASs can be phased out. *Environ Sci Process Impacts.* 2019; 21(11): 1803-1815.
12. Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency. Product - chemical profile for motor vehicle tires containing N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD). Sacramento (CA): State of California; 2022.
13. Kim W, Kim S, Cho J, Choi I, Lee Y. Research on hazardous substance restrictions for industrial chemical product management. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2019 Oct. Report No.: 2019-연구원-1476.
14. European Commission. 37th Meeting of Competent Authorities for REACH and CLP (CARACAL) Open session, 17-18 November 2020 (WebEx meeting). Available: https://echa.europa.eu/documents/10162/17220/caracal_202011_rra3_dev_plan_en.pdf/39a16c07-c4d8-a4ed-20d1-94564763a7b5 [Accessed 3 September 2023].
15. Figüiere R, Borchert F, Cousins IT, Ågerstrand M. The essential-use concept: a valuable tool to guide decision-making on applications for authorisation under REACH? *Environ Sci Eur.* 2023; 35: 5.
16. European Commission. Commission Staff Working Document Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) accompanying the document communication from the commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the regions chemicals strategy for sustainability towards a toxic-free environment. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2614f1f2-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1/language-en> [Accessed 8 September 2023].
17. National Center for Biotechnology Information. N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine. Available: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/N-1_3-Dimethylbutyl-N-phenyl-p-phenylenediamine [Accessed 11 October 2023].
18. Tian Z, Zhao H, Peter KT, Gonzalez M, Wetzel J, Wu C, et al. A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon. *Science.* 2021; 371(6525): 185-189. Erratum in: *Science.* 2022; 375(6582): eabo5785.
19. Tian Z, Gonzalez M, Rideout CA, Zhao HN, Hu X, Wetzel J, et al. 6PPD-quinone: revised toxicity assessment and quantification with a commercial standard. *Environ Sci Technol Lett.* 2022; 9(2): 140-146.
20. Department of Toxic Substances Control. Adopted priority product: motor vehicle tires containing 6PPD. Available: <https://dtsc>.

- ca.gov/scp/motor_vehicle_tires_containing_6ppd/ [Accessed 11 October 2023].
21. United Tires. What are recycled car tires used for? Available: <https://www.utires.com/articles/what-are-recycled-car-tires-used-for/> [Accessed 11 October 2023].
 22. Fitzgibbon J, Carlyle R. Technical memo: assessment of potential hazards of 6PPD and alternatives. Available: https://www.ezview.wa.gov/Portals/_1962/Documents/6ppd/6PPD%20Alternatives%20Technical%20Memo.pdf [Accessed 13 October 2023].
 23. California Code of Regulations. 69502.2. Candidate chemicals identification. Available: [https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IADCC5E955B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=\(sc.Default\)#co_anchor_IE764FCC06C1D-11ED8B8CAF00F2FEFFDE](https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IADCC5E955B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)#co_anchor_IE764FCC06C1D-11ED8B8CAF00F2FEFFDE) [Accessed 10 September 2023].
 24. Department of Toxic Substances Control. Priority products. Available: <https://dtsc.ca.gov/scp/priority-products/> [Accessed 11 September 2023].
 25. Department of Toxic Substances Control. Alternative analysis guide. Version 1.1. Sacramento (CA): State of California; 2020.
 26. California Code of Regulations. 69506.8. Advancement of green chemistry and green engineering. Available: [https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IAEBD755E5B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=\(sc.Default\)](https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IAEBD755E5B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)) [Accessed 10 September 2023].
 27. California Code of Regulations. 69506.3. Product information for consumers. Available: [https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IAE99729F5B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=\(sc.Default\)&bhcp=1](https://govt.westlaw.com/calregs/Document/IAE99729F5B6111EC9451000D3A7C4BC3?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)&bhcp=1) [Accessed 10 September 2023].
 28. International Agency for Research on Cancer (IARC) Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chemical agents and related occupations. Vol. 100F, Lyon: IARC; 2012.
 29. International Agency for Research on Cancer (IARC) Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Benzene. In: IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. editor. Chemical agents and related occupations. Vol. 120, Lyon: IARC; 2018.
 30. European Union (EU). EU risk assessment report: benzene. Available: <https://echa.europa.eu/documents/10162/be2a96a7-40f6-40d7-81e5-b8c3f948efc2> [Accessed 6 September 2023].
 31. U.S. Supreme Court. Indus. Union Dept. v. Amer. Petroleum Inst., 448 U.S. 607 (1980). Available: <https://supreme.justia.com/cases/federal/us/448/607/> [Accessed 7 September 2023].
 32. Occupational Safety and Health Administration. Benzene. Available: <https://www.osha.gov/laws-regs/federalregister/1987-09-11> [Accessed 7 September 2023].
 33. Ministry of Environment. “Ministry of Environment, paint industry sign MOU to reduce use of organic chemicals” press release. Available: <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOfset=3730&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=&orgCd=&boardId=601760&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&decorator=> [Accessed 18 September 2023].
 34. Ministry of Environment. Consumer Chemical Products And Biocides Safety Control Act. Available: <https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%95%88%EC%A0%84%ED%99%95%EC%9D%B8%EB%8C%80%EC%83%81%EC%83%9D%ED%99%9C%ED%99%94%ED%95%99%EC%A0%9C%ED%92%88%EC%A7%80%EC%A0%95%EB%B0%8F%EC%95%88%EC%A0%84%C2%B7%ED%91%9C%EC%8B%9C%EA%B8%B0%EC%A4%80> [Accessed 20 September 2023].
 35. Ban Benzene Campaign. What are the alternatives to benzene? Available: <http://banbenzenecampaign.weebly.com/what-are-the-alternatives-to-benzene.html> [Accessed 1 September 2023].
 36. Hamilton J, Kado M. Benzene, toluene, and alternative chemicals: health effects review. Berkeley (CA): University of California, Berkeley; 2018.
 37. Kwon EH, Kim GS, Oh JR, Choi JK, Jeong YS, Lee YJ, et al. A comparison of health hazard effects by solvent-based and water-based painting materials. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2001; 11(1): 17-25.
 38. Korea Petrochemical Industry Association. Petroleum chemical product flowchart. Available: <https://www.kpia.or.kr/petrochemical-industry/petrochemical-complex> [Accessed 1 September 2023].
 39. Ministry of Environment. Technical notes for guidance on UVCB substances. Seoul: Ministry of Environment; 2021.
 40. Wood E&IS GmbH. Workshop background document: study supporting the Commission in developing an essential use concept. Aberdeen: Wood E&IS GmbH; 2022 Feb. Report No.: 807740-WOOD-TN-OP-00004_1.

〈저자정보〉

정미란(석사과정), 전현표(교수), 김상현(교수)