

전기차 사용후 배터리의 리스크 기반 규제 체계 구축방안*

최 해 옥**, 이 광 호***

신산업 분야에서 과도한 리스크 관리 비용은 혁신을 저해하고 국가 경쟁력을 약화시키는 주요 원인으로 작용하고 있다. 이 연구는 전기차 사용후 배터리 사례를 분석하여 신중한 경계의 관점에서 리스크 기반의 탄력적 규제체계를 구축하는 방안을 제안하고자 한다. 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 포괄적 리스크 평가와 데이터 기반 규제가 규제 설계의 핵심 요소임이 확인되었다. 둘째, 과학적 근거에 기반한 리스크기반 규제 설계가 도입되어야 한다. 셋째, 점진적 규제 혁신의 관점에서 적응적 관리와 지속적인 평가를 통해 리스크 관리 전략을 각 단계에 맞게 탄력적으로 조정해야 한다. 이 연구는 점진적 규제 혁신의 관점에서 신중한 경계 접근법과 리스크 관리 이론을 통합 활용하여 리스크 수준에 따라 규제 강도를 차별화하는 탄력적인 규제 체계의 구축을 제안한다. 이 방식은 기존의 일률적이고 과도한 규제를 개선함으로써 정부 자원의 효율적 사용을 증진하고 규제의 실

* 이 연구는 과학기술정책연구원 2023년 「신산업분야 안전성 검증체계 고도화 방안」과 2024년 「기술규제 개혁을 위한 의제설정 연구사업(8차년도)」(문헌연구)을 수정 및 보완하여 작성하였음

** 제1저자, 과학기술정책연구원 연구위원, (30147) 세종특별자치시 시청대로 370, 세종국책연구단지 과학·인프라동 B동 508호 (hochoi@stepi.re.kr)

*** 교신저자, 과학기술정책연구원 선임연구위원, (30147) 세종특별자치시 시청대로 370, 세종국책연구단지 과학·인프라동 B동 541호(leekh@stepi.re.kr)

접수일: 2024/11/25, 심사일: 2024/12/01, 게재확정일: 2024/12/27

효성을 동시에 높일 것으로 기대된다.

키워드: 리스크 기반 규제 체계, 전기차 사용후 배터리, 안전규제, 점진적 규제혁신

I. 서론

현대 사회는 변동성, 불확실성, 복잡성, 그리고 모호성이 특징인 VUCA(Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) 시대를 맞이하고 있다. 이러한 특성은 전통적인 리스크 관리 방식에 도전을 제기하며, 특히 기술적·경제적 가치가 높은 신산업 분야에서는 기존의 회피 중심 리스크 관리에서 대응 중심으로의 전환이 요구되고 있다. 이는 단순한 변화가 아닌, 지속 가능한 발전을 도모하기 위한 점진적 규제혁신의 필요성을 강조한다.

기존 규제 체계는 모든 분야에 동일한 규제를 적용하거나 리스크가 명확하지 않은 경우에도 과도한 규제를 설정하는 문제가 있었다. 이러한 방식은 정부 자원의 비효율적 사용과 규제의 실효성 저하로 이어졌다. 반면, 리스크 기반 규제는 리스크 수준에 따라 규제 강도를 차등화하는 접근법으로, 고위험 분야에 더 많은 자원을 집중하고 저위험 분야에서는 자율성을 부여함으로써 규제 효율성을 극대화할 수 있다(OECD, 2011). 이는 제한된 자원을 보다 효과적으로 활용하며, 경제적·사회적 이익을 극대화할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다.

점진적 규제혁신은 기존 규제를 단계적으로 개선하며, 새로운 기술과 시장 동향에 유연하게 대응하는 접근 방식을 채택한다. Baldwin, Cave, and Lodge(2012)는 규제가 기술 발전을 억제하는 대신 이를 지원하도록 설계되어야 한다고 주장하며, OECD(2011)는 경제 성장과 공공의 이익을 지원하는 규제 정책의 중요성을 강조하며 점진적 개선의 필요성을 역설한다.

이 연구는 리스크 기반 안전규제 관리를 통해 신산업 분야에서의 리스크를 효과적으로 관리하고 기술 혁신을 지원하는 규제 모델을 제시하고자 한다. 특히, 점진적 혁신의 원칙

에 따라 빠르게 변화하는 기술 환경에 적응할 수 있는 유연하고 반응적인 규제 체계의 중요성을 탐구하며, 이를 통해 지속 가능한 발전을 도모하는 데 기여하고자 한다.

이 연구의 목적은 전기차 사용후 배터리 사례를 통해 리스크 기반 규제 체계를 탐구하고, 순환경제와 지속 가능한 발전을 위한 안전 규제 관리 체계의 방향성을 제시하는 데 있다. 최근 전 세계적으로 순환경제가 주목받는 가운데, 이 연구는 사용후 배터리의 전주기 분석을 통해 규제의 유연성과 적응성이 리스크 관리에 미치는 영향을 체계적으로 검토하고자 수행되었다. 이 연구는 문헌연구와 전문가 인터뷰를 통해 리스크 기반 규제의 이론적 토대와 현장의 실제 데이터를 수집·분석하였으며, 이를 바탕으로 안전하고 혁신적인 사회로의 전환을 촉진할 수 있는 정책적 방향을 제안하고자 한다. 이 연구는 리스크 기반 규제 정책 접근 방식을 적용하여 사용후 배터리의 안전규제 관리 체계에 대한 구체적인 방안을 제시하고 있다는 점에서 기존 연구와 차별화된 의의를 지닌다.

II. 이론적 배경

1. 리스크 기반 규제

이 연구는 OECD의 리스크 기반 규제체계(Risk-Based Regulatory Framework)에 대한 다양한 연구와 보고서를 참고하여, 규제 당국이 자원을 효율적으로 배분하고, 규제 대상의 리스크를 평가하여 규제 강도를 차별적으로 적용하는 방식을 탐구한다(OECD, 2010; 2011). 리스크 기반 규제는 "증거에 기반한 규제"(evidence-based regulation)의 핵심으로, 합리적이고 예측 가능한 규제 환경을 조성하는 데 필수적인 접근법으로 여겨진다. 이 접근법은 규제 자원의 효율적 배분을 목표로 하며, 리스크가 높은 부분에 더 강력한 규제를, 리스크가 낮은 부분에는 완화된 규제를 적용하는 방식을 포함한다.

OECD는 리스크 기반 규제체계의 주요 특징으로 사전적 리스크 평가, 자원의 효율적 배분, 유연한 규제 대응을 꼽으며, 이러한 체계는 규제 당국이 리스크 수준을 기준으로 자원을 적재적소에 배분하고, 리스크가 큰 분야에 규제 역량을 집중할 수 있도록 한다

(OECD, 2010; 2011). 또한, 이러한 체계는 규제의 투명성과 신뢰성을 강화하며, 이해관계자들이 규제 결정 과정에 대한 신뢰를 가지게 하고 규제의 예측 가능성을 높인다. 이 과정에서 리스크 평가, 리스크 관리, 리스크 커뮤니케이션의 세 가지 주요 요소가 중요한 역할을 한다(Sidney A. S. and Robert L. G., 2002).

영국의 보건안전청(Health and Safety Executive, HSE)과 호주의 환경규제와 같은 대표적인 OECD의 리스크 기반 규제체계 적용 사례를 통해, 리스크 기반 접근이 어떻게 규제 이행의 효율성을 높이고, 리스크가 큰 활동에는 엄격한 규제를, 저위험 활동에는 규제를 완화하여 규제 부담을 최소화하는지를 볼 수 있다. 이러한 경험은 리스크 기반 규제체계의 효율성과 실질적인 이점을 보여주며, 데이터 기반의 리스크 평가, 이해관계자 참여, 정기적인 리스크 재평가가 규제 프로세스에서 얼마나 중요한지를 강조한다.

리스크 기반 규제는 안전, 환경, 공중보건 등의 분야에서 발생할 수 있는 특정 활동이나 제품의 리스크를 관리하고 통제하기 위해 정부나 국제기구가 시행하는 정책과 규제로, 사회적, 경제적, 환경적 리스크를 최소화하고자 법률, 규정, 지침을 통해 강제하는 공식적인 통제 조치를 포함한다. 이는 리스크 관리, 평가, 커뮤니케이션을 주요 요소로 하여 사회 전체의 이익과 대중의 보호를 목적으로 한다(Sidney A. S. and Robert L. G., 2002).

리스크 관리는 리스크 식별, 분석, 평가, 대응 등 포괄적인 과정을 통해 구현된다. 이는 지속적인 개선 사이클을 형성하며, 미국 국가연구위원회(NRC: National Research Council)는 리스크 평가를 네 단계로 구분한다. 리스크 식별, 선량-반응 평가, 노출 평가, 리스크 특성 파악. 리스크 식별 단계에서는 기술적 유해성을 파악하고, 이후 단계에서는 유해가 초래할 가능성 있는 악영향을 평가한다.

리스크 커뮤니케이션은 정보를 명확하고 효과적으로 전달하여 이해관계자의 이해를 돕고 적절한 대응을 촉진하는 중요한 요소이다. 리스크 관리 방법에는 직접규제와 간접규제가 포함된다. 직접규제는 유해를 제거하거나 리스크를 수용 가능한 수준까지 감소시키는 두 가지 접근 방식을 포함한다(Hutter, B. M., 2001). 간접규제는 리스크 인식을 통해 개인이나 집단이 스스로 판단하도록 유도하는 방식으로, 경고 라벨 부착이나 사용 권장사항 제시가 예가 될 수 있다(Viscusi, W. K., 1998). 또한, 인센티브 제공, 자세 부과, 배상, 보험 혜택 제공 등 경제적 동기를 활용하여 리스크 관리를 유도하는 방법도 있다

(Kunreuther, H., & Heal, G., 2003).

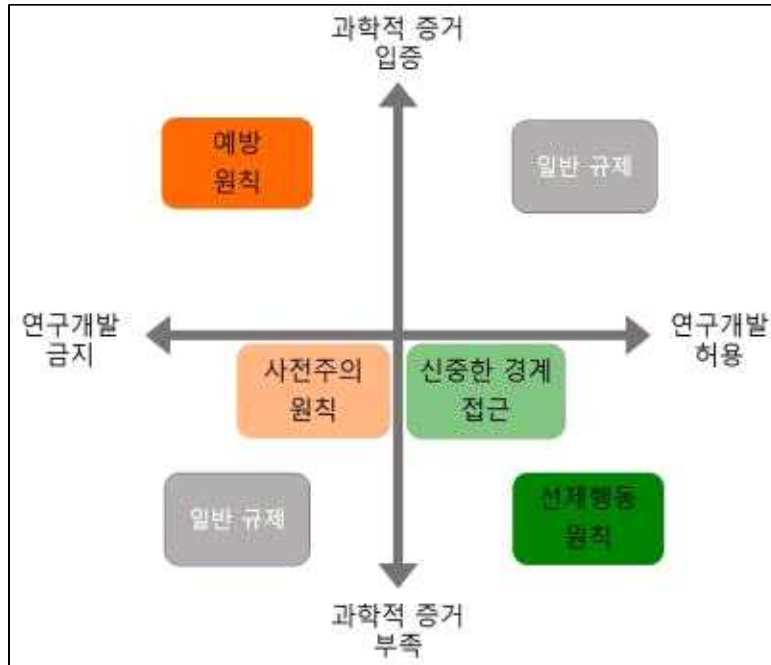
2. 리스크 기반 규제 접근방식

정부와 전문가들은 신기술에 대한 리스크 관리의 필요성에 대해 동일한 인식을 공유하고 있다. 하지만, 실제 리스크 관리를 어떻게 할 것인가는 또 다른 문제이다. 정부의 대표적인 리스크 관리 방식은 규제이며, 규제를 어떤 관점에서 어떻게 또는 어느 수준까지 하느냐에 따라 해당 신기술 발전에 영향이 크기 때문이다. 현재 세계적으로 명확하게 설정된 방식은 없으며, 국가마다 시행착오와 함께 많은 논란이 발생하고 있는 상황이다. 여기서는 리스크 관리와 관련하여 규제정책 상 접근방식 차이가 있는 주요 논의들을 살펴본다.

정부와 전문가들은 신기술에 대한 리스크 관리의 필요성에 동의하고 있으나, 실제 리스크 관리 실행 방법에는 여전히 많은 논란이 존재한다. 신기술 발전에 미치는 규제의 영향을 고려할 때, 정부의 규제 방식과 그 실행 수준은 국가별로 시행착오를 겪으며 다양한 접근 방식이 논의되고 있다. 특히, OECD는 리스크 정도에 따라 리스크를 4단계로 구분하고, 각 단계별로 리스크 내성, 책임 수준, 그리고 리스크 대응에 관한 구체적 내용을 제시하며, 규제가 적절하고 비례적으로 이루어져야 한다고 강조한다. 리스크 관리 방식은 리스크에 따라 다르게 적용되며, 가장 높은 리스크에서는 고위 지도부가 책임을 맡고 상세한 대응 계획과 지속적인 모니터링을 수행하며, 낮은 리스크에서는 프로그램 또는 프로젝트 담당자가 주기적 모니터링만을 수행한다(강영철 외, 2033; P.200).

신기술이 내포하고 있는 리스크의 강도뿐만 아니라 리스크 발생원인과 영향에 대해 과학적으로 충분한 근거가 있는가도 규제방식 결정에 있어 중요한 문제이다. 과학적 근거가 불충분한 상황에서는 과도하게 경직적이거나 여론에 기반한 규제가 만들어질 가능성이 높기 때문이다. 조예진(2022)은 <그림 1>에 나타난 바와 같이, 과학적 증거와 규제강도에 따라 규제 접근방식이 차별화 가능하다고 밝혔다. 이는 기존 원칙적 금지와 같은 규제 방식과 더불어 최근 논의되고 있는 신중한 경계 접근과 같은 새로운 규제 접근방식을 포괄하고 있으므로 규제방식을 다원화하여 접근할 수 있다는 장점이 있다. 동 연구에서는 이와 관련한 논의를 보다 자세히 살펴보고 사용후 배터리 분야에 적용해 본다.

〈그림 1〉 리스크 기반 규제 접근방식의 비교



출처: 조예진(2022). 신항기술 리스크규제에 관한 연구 : AI/ML SaMD, 공공 클라우드, 첨단재생의료를 중심으로(한양대학교 박사학위 논문), p43.

(1) 사전주의 원칙과 신중한 경계

전통적인 사전주의 원칙은 부정적 영향이 예상될 경우 선제적·사전적 규제를 적용하는 것을 의미하며, 이 원칙의 초기 형태는 1992년의 라우 선언에서 각 국가가 환경보호를 위한 예방적 조치를 취하도록 제시한 것이다. 또한, 2000년 카르타헤나 생물다양성협약 의정서에서는 과학적 증거가 부족하더라도 유전자변형생물체(LMO)에 대한 부정적 영향 가능성을 고려하여 적절한 규제를 요구하고 있다. 유럽연합(EU)은 이 원칙을 중심으로 LMO와 나노기술, 화학물질 등에 대한 규제를 마련하고 있으며, 특히 LMO와 나노화장품에 대한 라벨링 의무화를 통해 과학적 증거가 불충분함에도 불구하고 소비자가 리스크를 인지하고 선택할 수 있도록 하고 있다.

사전주의 원칙은 규제를 입안하고 실행하는 정부 입장에서는 상대적으로 편리한 방식

이다. 하지만 Sunstein(2005) 등은 사전주의 원칙이 과학적 근거가 불충분한 사안에 대해 대중의 공포에 편승할 수 있어 과다 규제로 흐를 가능성이 있고, 규제비용도 과도하게 책정될 수 있음을 주장하였다. 또한 Morris(2000)는 사전주의 원칙은 '오류 없는 정책 실행(trial without error)'을 추구함으로써 기술혁신 자체의 불확실성을 반영하지 못하고 기술개발을 금지할 가능성이 있음을 제시하였다.

신중한 경계(prudent vigilance)는 사전주의 원칙의 단점을 보완하고자 개발된 대안적 접근 방식이다. 미국 대통령 직속 생명윤리연구위원회(PCSBI: Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues)의 활동에 기반하여, 이 접근은 합성생물학뿐만 아니라 다양한 신기술에 적용되며, '신기술 평가를 위한 윤리적 기본 원칙(Basic Ethical Principles for Assessing Emerging Technologies)'이라는 지침을 2010년에 발표하였다.

신중한 경계 접근은 연구개발을 허용하면서도 지속적인 리스크 평가를 통해 과학적 증거를 수집하고 보완하는 유연한 규제를 제안한다. 이 방식은 과학적 증거가 충분할 경우 강력한 규제의 적용을, 증거가 부족할 경우 리스크 관리를 신중하게 접근할 것을 권고한다. 하지만 리스크의 불확실성으로 인해 정확한 리스크 평가가 어려우며, 이는 과잉규제나 과소규제의 위험을 증가시킬 수 있다.

PCSBI는 모든 리스크를 사전에 입증하는 것이 불가능함을 인정하며, 잠재적 편익과 리스크를 주기적으로 평가하는 방식을 권장한다. 그러나 이 방식도 리스크 수준과 규제의 적정 수준을 결정하는 데 명확한 해답을 제공하지는 못한다. 이는 기존의 리스크 관리 접근에서 기술적 리스크의 정확한 평가를 강조하면서도, 리스크 평가 및 산정의 한계로 인해 결함 있는 리스크 관리 실천이 발생할 수 있다는 점을 상기시킨다. 이러한 문제는 과학적 근거에 기반한 규제 관리의 명확한 방향을 제시하지 못하는 한계로 이어진다.

(2) 예방전략과 복원전략

일반적으로 많은 사람들은 리스크가 사전에 예측 가능하며 예방 가능하다고 믿는다. 이러한 견해는 과학자들이 리스크를 사전에 인지하고 대응할 수 있다는 인식에서 비롯된다. 그러나 실제로 리스크는 종종 예측할 수 없으며, 예견된 사고라는 개념은 리스크를

과소평가하거나 오해하는 데 일조한다. 최병선(2013)은 이러한 사고 방식이 실제 리스크의 본질과는 거리가 멀다고 지적한다. 리스크는 그 본질적인 불확실성으로 인해 예측이 어렵고, 때로는 완전히 예기치 않게 발생하기도 한다.

리스크 관리의 중요한 측면은 불확실성과 기회편익이다. 리스크를 과도하게 회피함으로써 발생하는 부작용은 잠재적 이익을 놓치는 것이며, 이는 때로 혁신과 진보를 저해할 수 있다. 따라서, 리스크 관리는 위험을 단순히 최소화하는 것이 아니라, 적절한 리스크를 수용하여 기회편익을 최대화하는 균형 잡힌 접근이 필요하다. 이를 위해 리스크와 불확실성에 대한 심도 있는 분석과 연구가 필요하며, 과학적 이해를 바탕으로 적절한 리스크 관리 전략을 개발하는 것이 모든 조직과 사회에서 필수적이다. 이러한 접근은 불확실한 미래에 대비하고 동시에 발전과 성장을 촉진하는 데 중요한 역할을 한다.

허버트 A. 사이먼(Herbert A. Simon, 1997)은 의사결정 과정에서 불확실성을 점진적으로 관리하고 개선하는 점진주의적 접근을 강조하며, 이를 통해 완벽한 해결책보다는 실용적이고 점진적인 개선을 추구한다. 이 접근은 공공정책, 기업 경영 등 다양한 분야에서 응용되어 큰 변화보다는 작은 개선을 통해 시스템을 개선하는 데 중점을 둔다. 사이먼의 점진주의는 예방전략의 한계를 인식하고, '위험하지 않는 것은 없다'는 현실을 받아들이며 기존 사업자와 신규 사업자 간의 이해관계 갈등을 명확히 드러낸다. 예방전략은 상식적이고 보편적인 접근법으로, 오류 방지를 목표로 하지만 고비용과 저효과의 한계를 가지며, 과도한 규제로 인해 기회편익의 상실이 높다는 단점이 있다.

예방의 원칙은 환경과 공중보건 분야에서 심각한 피해가 예상될 때, 과학적 불확실성에도 불구하고 사전 규제를 요구하는 원칙이다. 이 원칙은 독일의 환경정책에서 시작되어 미국과 유럽으로 확산되었다. 김은주(2008)에 따르면, 이 원칙은 법적 구속력과 과학적 불확실성을 법적 규제의 근거로 사용할 때의 문제점, 사법적 심사의 한계 및 법적 적용에서의 도전을 포함하며, 리스크가 높은 환경 및 공중보건 문제에 대한 효과적인 규제 방안을 모색하는 데 중점을 둔다.

복원전략은 점진적 접근을 통해 시행착오와 학습의 중요성을 강조하며, 리스크가 불가피하고 항상 존재한다는 인식 위에 구축된다. 이 전략은 인간의 지적 능력과 기술적 지식을 활용하여 리스크를 관리하고, 과학적이고 합리적인 접근을 필수적으로 요구한다. 복원전략은 고확률-저편익의 리스크에 초점을 맞추며, 리스크 관리 권한을 분권화하여

다양한 경험과 학습이 신속하게 이루어질 수 있도록 한다. 또한, 'Richer is safer'라는 교훈을 통해 경제적 안정성이 사회의 안전성 향상에 기여한다는 점을 인식하는 것이 중요하다.

애론 윌다브스키(Aaron Wildavsky, 1988)는 리스크 관리에 있어 원력을 기반으로 한 접근을 강조하며, 리스크를 피하기보다는 관리하고 학습하는 것이 더 효과적임을 주장한다. 그의 접근은 리스크는 불가피하며, 지속적인 학습과 적응을 통해 리스크를 관리해야 한다고 강조하며, 복원전략의 중요성을 설명한다.

두 이론은 모두 불확실성에 대응하는 관리 방식으로 점진적 개선과 지속적 학습을 강조하며, 완벽한 해결책을 추구하기보다는 현실적인 조건 내에서 리스크를 관리하고 점진적으로 개선해 나가는 전략의 중요성을 인정한다. 그러나 차이점도 존재한다. 사이먼의 이론은 공공정책과 기업 경영 등에 적용되며, 점진적으로 개선하는 방식을 통해 리스크를 관리하는 데 초점을 맞춘다. 반면, 윌다브스키는 리스크에 대한 사회의 대응 방식을 더 심도 있게 논하며, 리스크를 관리하고 학습하는 것 자체에 더 큰 비중을 둔다. 특히, 그는 공중보건과 환경 분야에서의 위험을 강조하며, 경제적 안정성이 사회의 안전성 향상에 기여한다는 점을 부각시킨다.

3. 용어정리: 리스크와 사용후 배터리

(1) 리스크

리스크(Risk), 위험(Hazard), 위해(Harm)의 용어 정의를 살펴보고자 한다. 리스크(Risk)는 특정 위험(Hazard)이 실제로 피해(harm)를 초래할 가능성과 그 피해의 정도를 측정하는 개념이다. 리스크는 불확실성을 포함하며, 어떤 부정적 결과가 발생할 확률과 그 결과의 심각성을 평가하는 데 사용된다(Kaplan, S., & Garrick, B. J., 1981). 위험(Hazard)은 잠재적으로 손상, 부상, 피해 또는 다른 부정적인 결과를 일으킬 수 있는 조건이나 활동을 의미한다. 위험은 결과의 발생 가능성과는 독립적인 존재로, 그 자체로는 피해를 일으키지 않는다(Kolluru, R. V., 1996). 위해(Harm)는 위험에 노출된 결과로 발생하는 구체적인 부상, 질병 또는 손상을 지칭한다. 위해는 위험이 실제로 미치는

영향을 나타내며, 이는 사람, 재산, 환경에 대한 실질적인 피해로 나타난다(Howard, J., 2004). 이 용어들의 공통점은 리스크 관리 및 안전관리에 중요한 요소들로 위험과 위해는 리스크 평가 및 관리 과정에서 중요한 변수로 작용하고 있다. 차이점은 리스크는 특정 위험으로 인해 발생할 수 있는 부정적 결과의 가능성과 그 정도를 평가하고, 위험은 피해를 일으킬 가능성이 있는 조건이나 활동 자체를 지칭한다. 위해의 경우 실제로 발생한 손상이나 부상, 질병 등의 결과를 말한다. 리스크는 계량적 평가가 가능하지만, 위험은 잠재적 속성에 초점을 맞추고, 위해는 구체적 결과에 초점을 맞추는 점이 차이점이라 볼 수 있다. 이러한 용어들의 정확한 이해와 구분은 리스크 관리 전략을 수립하고 실행하는 데 필수적이며, 효과적인 안전 및 위험 관리를 위해 중요하다. 각 용어가 어떻게 연결되고 상호 작용하는지를 이해하는 것은 조직이 리스크를 보다 효과적으로 관리하고 최소화하는 데 도움이 된다.

(2) 사용후 배터리

사용후 배터리 순환경제에 대한 개념도를 정리하고, 재제조, 재사용, 재활용에 대한 용어를 명확히 설명하면 다음과 같다

전기차의 폐차 및 수리 과정에서 탈거된 사용후 배터리는 그 성능에 따라 다양한 방식으로 활용될 수 있다. 이러한 방식은 크게 재제조, 재사용, 재활용으로 구분된다.

재제조 과정은 사용후 배터리를 분해하고, 셀 밸런싱(Cell Balancing)을 통해 각 셀의 전압을 균일하게 조정한 후, 재조립과 검사를 거쳐 배터리를 원래의 성능으로 복원하는 것을 의미한다. 이 과정은 배터리의 수명을 연장시켜 원래의 용도로 다시 사용할 수 있게 한다.

재사용은 성능이 저하되었으나 여전히 유효한 사용후 배터리를 다른 용도로 활용하는 것을 의미한다. 이러한 배터리들은 주로 에너지 저장 장치(ESS), 비상 전원 공급 장치(UPS) 등에 재활용되어 새로운 제품으로 제조 및 판매된다.

재활용은 사용후 배터리를 분해하여 리튬, 코발트, 니켈과 같은 유가금속을 추출하고 이를 다른 제품의 원료로 활용하는 과정을 의미한다(관계부처협동, 2022). 이는 자원의 가치를 보존하고 환경 부담을 줄이는 중요한 과정이다.

이러한 개념들은 환경부의 「폐기물관리법」, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 및 산업부의 「환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률」에서 정의된다. 이 법률들은 순환경제 내에서 배터리의 재활용 및 관리가 환경적, 경제적 이익을 극대화하도록 규제하는 데 목적을 두고 있다.

이렇게 사용후 배터리 순환경제의 각 단계는 자원의 지속 가능한 활용을 위해 중요하며, 이를 통해 에너지 효율성을 높이고 환경 부담을 줄일 수 있는 기회를 제공한다.

〈표 2〉 개념(재사용, 재활용, 재제조)의 법적 정의

개념	정의	근거법률
폐기물	쓰레기, 연소재, 오폐수, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질	폐기물관리법 (환경부)
재활용 (recycling)	폐기물을 재사용·재생이용하거나 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 또는 폐기물로부터 「에너지법」 제2조제1호에 따른 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동으로서 환경부령으로 정하는 활동	
재활용가능자원	사용되었거나 사용되지 아니하고 버려진 후 수거된 물건과 부산물 중 재사용·재생이용할 수 있는 것[회수할 수 있는 에너지와 폐열을 포함하되, 방사성물질과 방사성물질로 오염된 물질은 제외]	자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 (환경부)
재사용 (reuse)	재활용가능자원을 그대로 또는 고쳐서 다시 쓰거나 생산활동에 다시 사용할 수 있도록 하는 것	
재생이용	재활용가능자원의 전부 또는 일부를 원료물질로 다시 사용하거나 다시 사용할 수 있도록 하는 것	
재제조 (remanufacturing)	재활용가능자원을 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 중에서 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등의 공정을 거쳐 원래의 성능 또는 그 이상의 성능을 가진 상태로 만드는 산업활동	환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 (산업부)

III. 연구 방법

1. 연구방법

이 연구의 연구방법은 주로 문헌연구와 전문가 인터뷰를 통해 수행하였다. 인터뷰의 구성은 주로 전기차 사용후 배터리 관련 전문가로 구성되어 있다. 전문가 인터뷰는 우선 초기 이슈를 파악하기 전문가의 세미나를 통해 관련 이슈를 파악하였다. 이후 반구조화된 질문지를 구성하여 사용후 배터리 관련 정책에 참여하는 핵심 참여자(연구원, 기업, 지역 TP, 협회 등) 를 중심으로 포커스 인터뷰를 수행하였다.

〈표 3〉 인터뷰대상자 (센터장, 과제 책임자 중심으로 인터뷰 수행)

번호	소속	구분
1	협회	이슈파악을 위한 세미나 -관련 쟁점 Q&A
2	협회	
3	대학	
4	연구원	
5	협회	
6	지역TP	대면 인터뷰
7	협회	
8	협회	
9	기업	
10	기업	
11	대학	서면자료제공
12	기업	
13	연구원	
14	공단	
15	협회	
16	교수	

반구조화된 질문지를 살펴보면 인터뷰 대상자 특성에 맞게 구분하여 작성하였고 주로 사용후 배터리 관련 쟁점을 파악하기 위해 내용을 작성하였다. 인터뷰를 통해 파악한 주

요 쟁점에 관한 내용은 사용후 배터리 안전규제관련 주요 이슈로 요약 정리하였다.

〈그림 3〉 반구조화된 질문지

『한국배터리산업협회 인터뷰』

『신산업분야 안전성 검증체계 고도화 방안』

『배터리 재사용 및 재활용을 중심으로』 전문가 의견수렴을 위한 질문지

성명	소속/직위

【설명자료】

- 안전성검증체계
 - 안전성검증 시스템은 제품 또는 서비스의 안전성을 검증하는 프로세스이며, 이를 위해 안전성 관련 법규, 표준, 국제기준 등을 준수 하므로 제품의 안전성을 보장하기 위해 설계, 생산, 유통 단계에서 품질 관리와 안전 관리가 연계되어 있다.
- 순환경제 구축을 위한 '배터리 재사용 및 재활용 분야 이슈 도출'

그림 1 배터리 재사용 및 재사용 산업 흐름도 (5-계 산업연계) (P.4)

니까?

- 안전성관리 부분에 드는 직접적 비용(검증 등)은 어느 정도입니까?
- 안전성관리 관련 정보획득, 컨설팅 등에 소요되는 간접적 비용은?

3. 해외사례관련

- 협회는 안전성관리관련 해외 어느 사례를 참고하고 계신지?
- 배터리 재사용 및 재사용분야
- 안전성 관리 분야

4. 현재 안전성관련 주요 이슈 및 문제점

- 현재 배터리 재사용 및 재활용 분야의 안전성 관련 주요 이슈 및 문제점은 무엇인지?

- 관련 기관별 주요 이슈 및 문제점은 무엇인지?

구분	문제점 및 주요 이슈
검증기관	
지자체센터	
규제자유특구	
배터리산업협회	
지역표준지역(지정소)	

5. 애로사항 및 정책수요

- 안전성관리 과정에서 장애요인이나 애로사항은 무엇입니까?
(참고) 제도(규제)비용, 인력, 정보, 네트워크, 인프라 등 다양한 측면에서
- 배터리 재사용 및 재활용분야의 안전성 관리체계 구축을 위한 정책 지원 (R&D, 제도)이 필요하다면 무엇입니까? 또는 정책 개선에 대한 의견이 있다면 무엇입니까?

제2장과 제3장에서는 문헌 리뷰를 통해 리스크 관리의 이론적 기반을 분석하고 검토했다. 제4장에서는 전문가 인터뷰를 통해 규제 환경에서 리스크 기반의 규제 설계를 위한 전기차 사용후 배터리 분야의 주요 쟁점을 도출했다. 이러한 쟁점들을 기반으로 사용후 배터리의 리스크 기반 분석과 단계별 규제 접근 방식에 대한 분석적 결론을 제시했다. 결론에서는 리스크 기반 규제정책의 중요성과 향후 규제 정책예의 접목 가능성을 논의했다. 이러한 분석은 리스크 기반 규제 체계의 관리 전략을 개선할 방향을 제시하고 연구 결과의 실질적 적용 가능성을 강조했다.

구체적인 연구 수행 방법을 살펴보면 다음과 같다. 우선 문헌연구를 위해 리스크 기반

www.kci.go.kr

규제 체계에 대한 광범위한 문헌 리뷰를 수행하였다. 이는 신산업 및 서비스 분야의 불확실성에 대응하기 위한 국내외의 다양한 접근 방식을 포함한다. 특히, '신중한 경계 접근' 방식을 넘어서는 리스크 기반 규제와 그 접근방식에 관한 이론적 배경 및 관련 내용을 집중적으로 살펴보았다. 둘째, 국내 동향 조사 및 전문가 세미나를 개최하였다. 전기차 보급의 확대와 함께 중요성이 증가하고 있는 사용후 배터리 관련 국내 동향을 조사하였다. 이 과정에서 안전규제, 재제조, 재사용, 재활용 분야의 주요 이슈들을 파악하였다. 초기 단계로 전문가 세미나를 통해 주요 이슈들을 파악하고, 이어서 구조화된 질문지를 사용하여 보다 세부적인 내용에 대한 인터뷰를 진행하였다. 마지막으로 정책적 보완 및 연구결과를 종합하였다. 리스크 기반 규제에 대한 이론적 배경을 기반으로, 사용후 배터리 관련 제도의 실효성을 제고하고 정책적 보완을 위한 방안을 개발하였다. 연구 결과를 종합하여 사용후 배터리의 탈거, 보관 및 운송, 활용(재제조, 재사용, 재활용) 분야별로 향후 규제 접근 방안을 제시하였다.

IV. 연구결과

1. 사용후 배터리 리스크 관련 주요 이슈

최근 기술적 발전을 통해 신기술을 비즈니스에 접목시키려는 시도가 활발하게 이루어지고 있음에도 불구하고, 이를 지원할 정책적 연구는 아직 부족한 상황이다. 세계적으로 배터리 제조 및 자동차 기업들은 리튬과 같은 핵심 원자재의 안정적 확보를 위해 노력하고 있으며, 이러한 원재료의 가격 상승 및 확보 경쟁은 앞으로 더욱 심화될 전망이다. 이런 상황에서 사용후 배터리의 순환경제는 안정적 원자재 공급 측면에서 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 글로벌 시장 선점을 위한 기업들의 적극적 대응과 정책적 지원이 필요하다(삼정KPMG, 2022).

사용후 배터리의 관리와 관련된 법제도 및 정책은 한국 내 여러 부처(환경부, 산업통상자원부, 국토교통부, 행정안전부, 소방청 등)에서 다루어지고 있으며, 이는 기술개발, 보급, 반납, 회수 및 분리(탈거), 운반 및 보관, 성능평가 및 안전성 평가, 재사용·재제조·재

활용 등의 다양한 단계에 걸쳐 적용되고 있다. 특히, 전기차 폐전지 재활용 처리 법안은 환경부가 주도하고 있으며, 재활용 실행방안, 평가 인증기관의 선정, 그리고 성능 기준의 확립은 산업통상자원부가 주도하고 있다.

첫째, 배출 단계에서의 검사 기준에 관한 이슈이다. 현재 전기차 배터리에 대한 검사는 자동차관리법에 따라 정기적으로 수행되고 있으나, 이 검사 기준의 과학적 근거는 불분명하다는 전문가 의견이 있다. 구체적으로, 전문가들은 기존의 검사 방식이 신뢰할 수 있는 결과를 제공하기에 충분하지 않다고 지적하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 센서 데이터를 활용하여 배터리 상태를 더 정밀하게 분석할 수 있는 새로운 기준을 도입할 필요가 있다. 이는 배터리의 성능 저하나 잠재적 결함을 보다 정확하게 파악할 수 있게 하며, 전기차의 안전성을 향상시킬 수 있다.

둘째, 탈거 단계에서의 전기차 배터리 취급 매뉴얼의 보급이 부족하다는 문제는 다음과 같은 구체적인 근거에 기반한다. 전기차 배터리의 종류가 다양화되고 있고, 각 종류별로 요구되는 탈거 방식이 상이함에도 불구하고, 현재 환경부에서 제공하는 안전 회수 및 해체 보관 매뉴얼은 일반 폐차장과 개별 정비소에서 충분히 활용되지 못하고 있다. 이는 해당 매뉴얼의 접근성이 낮거나, 매뉴얼이 특정 시설이나 조건에 맞춰져 있어 일반적인 시설에서는 적용하기 어렵다는 점을 시사한다.

이에 대한 개선 방안으로는 전기차 배터리 해체에 관한 매뉴얼을 자동차 제조사의 홈페이지에 명확히 공지하고, 소비자가 쉽게 접근할 수 있도록 제공하는 것을 의무화하는 조치가 필요하다. 이 조치는 매뉴얼의 보급을 확대하고, 폐차장 및 정비소 등에서도 배터리의 올바른 탈거 방법을 이해하고 적용할 수 있게 하여 전체적인 안전성을 향상시키는 데 기여할 것이다. 또한, 매뉴얼의 내용이 실제 작업 환경에서의 필요와 일치하도록 지속적으로 업데이트하고, 해당 업데이트 정보를 관련 업계에 적극적으로 전파하는 절차도 포함되어야 한다. 이러한 접근은 전기차 배터리의 안전한 처리와 재사용을 보장하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

전기차 차종 및 보급이 급격히 증가함에 따라, 환경부가 제공하는 해체 매뉴얼의 한계를 극복하기 위해 보다 구체적인 조치가 필요하다. 대기환경보존법과 자동차관리법을 통해 제조사는 전기차 배터리 해체에 대한 매뉴얼을 자사 홈페이지에 공지하거나 소비자에게 제공하는 것을 의무화해야 한다. 제조사는 탈거 방식 정보를 정부에 적극적으로 공유

해야 하며, 환경부는 이를 취합하여 매뉴얼화해 업체에 제공하는 것이 바람직하다(한국산업기술시험원, 2023).

배터리 탈거와 해체 과정에서 발생할 수 있는 안전사고의 원인을 명확히 규명하고, 이를 기반으로 전기차 배터리 탈거와 해체에 대한 시설기준 및 안전 관리자 혹은 처리 기사 등의 안전을 확보할 수 있는 기준을 정립하는 것이 시급하다. 현재 우리나라는 배터리 분리, 보관, 운송 과정에서의 사고 원인 규명보다는 장비 시설 지원에 중점을 두는 제도를 운영하고 있다. 따라서 배터리 분리, 보관, 운송 과정에서 폭발 사고 원인 규명을 위한 기술 R&D 지원이 필요하며, 소방청 전문가가 참여하여 사용후 배터리 화재 진압 기술 R&D 및 실증시험을 지원해야 한다. 작업장에서의 탈거 시 발생할 수 있는 폭발 위험에 대비하여 실제 피해 규모를 파악하는 것도 중요하다(국립소방연구원, 2023). 이러한 조치들은 배터리의 안전한 관리 및 재사용을 보장하고, 관련 사고를 예방하는 데 크게 기여할 것이다.

마지막으로, 활용 단계에서 모든 재사용 배터리에 대한 안전성 검증 의무가 부과됨에 따라, 검사비용과 보험 등의 비용 부담이 증가하고 있다는 구체적인 데이터와 분석이 필요하다. 이를 바탕으로, 시험비용 부담을 완화할 수 있는 유인 구조의 필요성을 제기하며, 제조업체의 안전성 검증기관 참여를 가능하게 하는 제도 개선이 필요하다는 점을 강조한다. 이러한 제도 개선은 검사비용을 분산시키고, 제조업체의 전문 지식을 활용하여 보다 효율적인 검증 절차를 마련하는 데 기여할 것이다.

또한, 전기차 사용후 배터리의 전주기 정보 관리가 미흡하다는 전문가의 지적이 있었다. 특히 안전성 검증 및 이력 관리를 위한 기업의 데이터 제공이 점점 중요해지고 있다. 향후 이러한 데이터 제공을 위해서는 데이터 공유의 법적, 기술적 장벽을 식별하고, 이를 해결하기 위한 정책적 조치나 기술적 솔루션이 중요해질 것이다. 이는 배터리의 안전성을 보장하고, 재사용 과정에서의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

2. 사용후 배터리의 리스크 기반 분석

신기술과 신산업의 출현이 리스크를 수반하는 것은 불가피하며, 사회가 이러한 리스크를 어떻게 예측하고 관리할 수 있을지, 그리고 실제 피해가 발생했을 때 이를 최소화하고

복원할 수 있는 역량을 갖추었는지가 중요한 과제가 된다. 리스크 관리(risk management) 이론에 따르면, 리스크의 존재를 전제로 할 때, 이를 어떻게 관리할 것인지에 따라 접근 방식이 달라진다. 리스크가 분명히 부정적 영향을 유발한다고 인식될 경우, 예방적 차원에서 규제 체계를 설계하는 것이 타당하다. 그러나 리스크의 불확실성이 높고 부정적 영향의 규모가 불명확할 경우, 선행적 규제가 기술 혁신이나 산업 발전을 저해할 리스크가 있어 신중한 접근이 필요하다.

이 연구에서 다루는 사용후 배터리의 사후 활용(재활용, 재제조, 재사용)은 본질적으로 상당한 리스크를 내포하고 있다. 리스크를 특정 기술이나 제품이 사용되는 환경에 따라 달라질 수 있는 '잠재적 유해성'으로 정의함으로써, 사용후 배터리의 전주기-탈거, 적치, 이송, 평가, 활용 단계를 거치면서 리스크의 성격이 변화할 수 있음을 시사한다. 전기차는 내연기관 차량에 비해 시장 진입 시기가 상대적으로 짧아, 전기차 배터리 관련 리스크가 아직 완전히 밝혀지지 않은 것은 예상되는 일이다. 현재까지 배터리 관련 부정적 영향 또는 피해는 주로 화재나 폭발로 알려져 있으나, 이러한 사고가 발생하는 구체적인 원인이나 배터리 자체의 결함과 관련하여 과학적 근거나 원리 규명은 여전히 부족한 상태이다.

전기차 사용후 배터리가 본격적으로 배출되면서 이를 환경적, 경제적 측면에서 다시 활용하는 것이 중요하게 되었다. 이 상황에서 사용후 배터리의 전주기에 걸친 리스크 관리 관점에서의 안전성 확보 및 검증은 필수적이다. 이 과정은 배터리를 효율적이고 안전하게 재활용하는 데 있어 중요한 과제로, 관련 리스크를 최소화하고 지속 가능한 사용을 보장하는 데 기여할 것이다.

리스크 관리 관점에서의 접근을 이 연구에 적용할 때, 선행 연구에서 제안된 프레임워크(조예진, 2022)를 활용하되, 시장에서 이미 사용후 배터리가 출시되고 있는 현실을 고려하여 리스크의 영향력, 즉 피해가 실현되었을 때의 영향력을 x축으로 설정하였다. 이를 바탕으로 다음과 같은 해석과 적용이 가능하다. 리스크 분류 및 관리는 리스크의 영향력을 기반으로 하여 배터리 재활용 과정에서 발생할 수 있는 각종 리스크 요소들을 분류하고, 각 리스크에 대해 적절한 관리 전략을 개발하는 작업이다. 또한, 안전성 검증 프로세스의 강화는 사용후 배터리의 각 단계에서 실행되는 안전성 검증 절차를 철저히 이행하여, 잠재적 리스크로부터 최대한 보호할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다. 마지막으로

로, 지속 가능한 활용을 위한 전략 마련은 재활용된 배터리의 안전성과 효율성을 지속적으로 모니터링하고 개선하기 위한 전략을 수립하는 과정이다. 이러한 조치들은 전체적으로 배터리 재활용의 안전과 지속 가능성을 높이는 데 기여한다.

탈거 단계에서의 리스크 관리의 중요하다. 사용후 배터리가 처음 배출되는 이 단계에서 주로 발생하는 리스크는 작업자의 안전과 직접적으로 관련되어 있다. 전기차 차종별로 배터리의 다양성을 고려할 때, 제조사가 제공하는 탈거 매뉴얼은 종종 충분하지 않다. 따라서, 탈거 작업 중 발생할 수 있는 사고를 최소화하기 위해 각 차종에 맞는 상세한 탈거 지침과 안전 프로토콜의 개발과 보급이 필요하다. 이를 통해 작업자 안전을 보장하고, 잠재적인 리스크를 줄일 수 있다.

운송 단계의 리스크 관리의 다음과 같다. 탈거된 사용후 배터리의 운송 과정에서 물리적 충격으로 인한 화재나 폭발의 리스크가 존재한다. 이 리스크를 관리하기 위해 충격 완화 장치 및 특수 설계된 운송 컨테이너의 사용이 필요하다. 또한, 이동 경로의 안전성 평가 및 긴급 대응 계획의 수립이 필수적이다.

성능평가 및 안전성 평가 단계의 리스크 관리의 다음과 같다. 사용후 배터리의 성능 및 안전성 평가는 특정 시험장에서 수행되어 리스크가 상대적으로 낮지만, 평가 과정에서 예상치 못한 리스크 요소가 발생할 수 있다. 따라서 안전성 평가 과정에서 발생 가능한 리스크를 식별하고, 그에 대응하기 위한 충분한 안전 대책을 마련해야 한다. 이와 함께, 다양한 배터리 사용 환경에서의 리스크를 평가하기 위한 실증 사업을 추진하고, 이를 통해 축적된 데이터를 사용하여 배터리의 안전 규제를 강화하는 것이 중요하다.

이러한 각 단계에서의 리스크 관리와 관련된 구체적인 조치와 개선안은 사용후 배터리의 안전성을 높이고 관련 사고의 리스크를 줄이는 데 기여할 것이다.

사용후 배터리의 사후 활용이 평가를 통해 재활용, 재제조, 재사용 등으로 결정된 경우, 각 용도별로 리스크를 측정하고 리스크에 따른 규제 방식을 차별적으로 적용해야 한다. 본 연구의 결과로 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다(그림 3).

첫째, 재활용 과정은 사용후 배터리를 완전히 분해하여 가용 소재를 추출하는 단계로, 화재나 폭발의 리스크가 상대적으로 낮은 것으로 평가되며, 이는 배터리 재활용 시 소재의 화학적 안정성과 과거 사례에 기반한 결과들을 분석한 데이터에 의해 뒷받침된다. 따라서, 화학물 취급 관리 규제(화학물질관리법, 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률)

와 같은 일반적인 규제의 적용이 적합하다고 할 수 있다. 그러나 재활용 과정에서 발생할 수 있는 잠재적 화학적 유출 리스크에 대해서는 과학적 연구와 사고 데이터 분석을 통해 식별된 특정 위험 요소들을 고려하여 추가적인 안전 기준 마련을 검토해야 한다. 이 과정은 재활용 공정의 복잡성과 다양한 화학적 상호작용을 고려한 체계적인 접근을 필요로 하며, 이를 통해 리스크 관리의 효과성을 높이고 안전성을 강화할 수 있다.

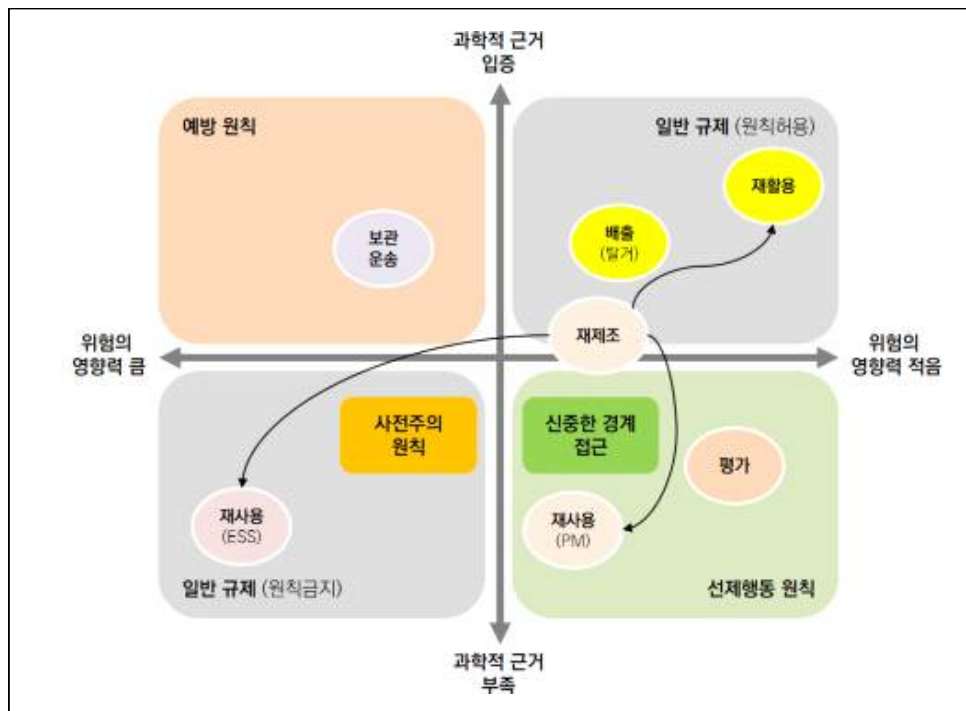
둘째, 재사용 과정에서는 사용처에 따라 리스크가 다르게 나타날 수 있다. 에너지저장장치(ESS)와 개인용 이동수단(PM)의 경우, 두 용도 모두 화재나 폭발 리스크가 존재하지만, 그 피해 범위에 차이가 있다. ESS는 다수의 배터리가 연결되어 사용되기 때문에 소규모의 화재라도 대규모 피해로 이어질 가능성이 크다. 이에 따라 ESS에는 상세한 설치 기준과 안전관리 규제를 적용하고, 주기적인 점검과 검증 절차를 의무화하는 것이 필요하다. 반면, PM은 주로 실외에서 개별적으로 사용되므로, 화재나 폭발이 발생하더라도 피해 범위가 상대적으로 작다. 따라서 PM에는 사용자의 안전성을 강화하기 위한 기본적인 안전 의무 사항(예: 과충전 방지, 배터리 점검 기준 등)을 명시하는 것이 바람직하다.

ESS와 PM의 도표 내 위치는 각각의 리스크 영향력과 과학적 근거의 수준에 따라 결정된다. ESS는 다수의 배터리를 연결한 대규모 시스템으로, 화재나 폭발 시 대규모 피해를 초래할 가능성이 크며, 과학적 근거가 부족하므로 도표의 3사분면에 위치한다. 반면, PM은 개별적으로 사용되며 사고 발생 시 피해 범위가 제한적이고, 과학적 근거도 상대적으로 부족해 4사분면에 위치한다. 이러한 차이는 ESS와 PM 각각의 사고로 인한 리스크의 영향력과 과학적 근거의 축적 수준에서 기인하며, 두 사례는 이를 기준으로 구분된다.

셋째, 재제조 과정에서는 평가 단계를 통과한 사용후 배터리만이 전기차에 재사용되기 때문에, 다른 활용 방식에 비해 리스크가 상대적으로 낮게 평가된다. 그러나 배터리의 열화 메커니즘에 대한 과학적 이해가 부족하여 이는 중요한 문제로 지적되고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 데이터 분석과 배터리의 이력 추적을 통해 안전성 저하 메커니즘을 체계적으로 분석할 필요가 있다. 이러한 분석은 신규 배터리와 재제조 배터리의 성능 및 수명 차이를 명확히 비교함으로써 소비자 신뢰를 확보하는 데 중요한 역할을 할 것이다. 또한, 이러한 데이터는 EU의 배터리여권 제도와 같은 국제적 기준에 대응하고, 국내에서도 유사한 제도를 마련하는 데 필요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

마지막으로, 사용후 배터리의 사후 활용 전반에 걸쳐 데이터의 체계적인 축적이 필요하다. 이 데이터는 시험 분석, 실증 사업, 또는 실제 사용 환경에서 수집될 수 있으며, 리스크 발생 확률과 예상 피해 규모를 예측하는 데 중추적인 역할을 한다. 축적된 데이터는 각 상황에 적합한 규제 강도와 방식을 설정하는 데 활용되어야 하며, 이는 안전성을 보장하고 기업의 혁신을 촉진하는 데 중요하다. 또한, 이러한 데이터 기반 접근은 지속 가능한 배터리 활용 체계를 구축하는 데 기여할 것이다. 데이터 관리와 분석을 통해 정책 입안자와 기업은 보다 정보에 기반한 결정을 내릴 수 있으며, 이는 전체적인 산업 생태계의 안전성과 효율성을 높이는 데 기여할 것이다.

〈그림 4〉 사용후 배터리의 리스크 기반 규제 분석



주: 조예진(2022)의 프레임워크를 바탕으로 사용후 배터리 활용 전반에 대해 리스크 관리 영역을 표시

3. 사용후 배터리의 각 단계별 규제 접근 방식

사용후 배터리의 각 단계별 규제 접근 방식은 다음과 같다. 먼저, 배출 단계에서는 리스크가 낮고 과학적 근거가 명확하므로 일반 규제를 적용하는 것이 적합하다. 이 단계에서 사용후 배터리 탈거와 관련된 리스크는 주로 작업자의 안전과 관련되며, 제조사가 제공하는 탈거 매뉴얼을 통해 기본적인 안전 기준이 충족될 수 있다. 그러나 작업자 안전을 강화하기 위해 추가적인 안전 교육과 매뉴얼 접근성을 높이는 조치가 요구된다.

보관 및 운송 단계에서는 과학적 근거가 존재하지만, 물리적 충격에 의한 화재나 폭발의 리스크가 높기 때문에 예방적 차원의 규제가 필요하다. 이를 위해 물리적 충격을 완화할 수 있는 안전 장치와 시설 기준을 마련하고 이를 의무화해야 한다. 또한, 긴급 상황 발생 시 대응할 수 있는 매뉴얼과 사고 관리 체계를 수립하여 리스크를 최소화하는 것이 중요하다.

활용 단계는 재활용, 재제조, 재사용으로 나뉘며, 각 용도에 맞는 규제가 필요하다. 재활용 과정은 배터리를 완전히 분해하여 가용 소재를 추출하는 과정으로, 화재나 폭발의 리스크가 낮아 일반적인 화학물 규제를 적용할 수 있다. 그러나 추출 과정에서의 화학적 유출 가능성을 최소화하기 위해 추가적인 안전 기준을 마련해야 한다. 재제조 과정은 평가 단계를 통과한 배터리를 다시 사용하는 방식으로, 리스크가 낮지만 배터리 열화에 대한 과학적 데이터와 분석이 부족하다. 이에 따라, 이력 추적 시스템과 추가적인 안전 기준을 마련하여 소비자 신뢰를 높이고 국제 기준과의 정합성을 확보할 필요가 있다. 재사용 과정에서는 활용 목적에 따라 규제 접근이 달라져야 한다. 에너지저장장치(ESS)의 경우 대규모 피해를 예방하기 위해 상세한 설치 기준과 안전 관리 규제를 적용해야 하며, 개인용 이동수단(PM)은 상대적으로 리스크가 낮아 사용자 의무 사항을 명시하는 선제적 규제가 적합하다.

마지막으로, 사용후 배터리의 사후 활용 전반에 걸쳐 리스크 관리를 위한 데이터 축적이 필수적이다. 이 데이터는 시험 분석, 실증 사업, 그리고 실제 사용 환경에서 얻어질 수 있으며, 리스크 발생 확률과 예상 피해 규모를 예측하는 데 중요한 자료로 활용된다. 이를 통해 각 상황에 적합한 규제 강도와 방식을 결정하여 안전성을 확보하면서도 기업 혁신을 유도할 수 있다. 이러한 단계별 접근은 사용후 배터리의 안전성과 지속 가능성을

동시에 달성하는 데 기여할 것이다.

V. 결론 및 시사점

이 연구는 리스크 관리 이론과 신중한 경계 접근법을 통합적으로 활용하여 리스크의 수준에 맞추어 규제 강도를 조절할 수 있는 탄력적인 규제 체계의 전환을 제안하고자 한다. 이러한 접근은 기존의 일률적이고 과도한 규제를 개선하여 정부 자원의 효율적 사용을 촉진하고 규제의 실효성을 향상시킬 것으로 기대된다. 이 연구는 문헌 연구를 통해 리스크 기반 규제체계를 리뷰하였다. 또한, 전문가 인터뷰를 통해 주요 쟁점을 심층적으로 분석하여 이를 연구 결과에 반영하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 포괄적 리스크 평가와 데이터 기반 규제가 규제 설계의 핵심 요소임이 확인되었다. 문헌 연구를 통해 확인된 국제적 사례와 이론적 토대를 바탕으로, 각 배터리 처리 단계에서 수집된 데이터와 리스크 평가가 규제 설계의 핵심 요소임이 드러났다. 이 데이터를 기반으로 상황에 맞는 규제 강도와 방식을 조정함으로써, 혁신을 촉진하고 안전성을 강화할 수 있다. 특히, 향후 리스크의 샘플링 분석을 통해 규제가 더 유연하고 반응적으로 이루어질 수 있도록 하는 방안이 필요하다.

둘째, 과학적 근거에 기반한 리스크 기반 규제 설계가 도입되어야 한다. 전문가 인터뷰를 통해 수집된 현장 데이터는 과학적 근거가 명확할 때 일반적인 규제를 적용하는 것이 효과적이며, 리스크가 높은 상황에서는 예방원칙의 규제를 강화해야 한다는 점이 강조되었다. 이는 탈거 단계에서의 작업자 안전, 운송 중의 물리적 충격을 완화하고, 재활용 및 재제조 과정에서의 추가적인 안전 기준을 설정하는 것을 포함한다.

셋째, 점진적 규제 혁신의 관점에서 적응적 관리와 지속적인 평가를 통해 리스크 관리 전략을 각 단계에 맞게 탄력적으로 조정해야 한다. 리스크 관리 전략은 사용 단계에 따라 다르게 접근되어야 하며, 각 단계의 특성에 맞는 규제 조정이 중요하다. 예를 들어, 재사용 단계에서 대규모 리스크 예방을 위해 사전주의 원칙을 적용하는 등, 특정 리스크에 대응하는 유연하고 맞춤형의 규제가 필요하다. 이러한 접근은 지속적인 평가와 함께 적응적인 관리를 통해 구현될 수 있다.

이론적 분석을 통해 영국과 미국의 데이터 중심의 리스크 기반 규제 체계는 그 효과성을 보여주고 있다. 이러한 사례를 통해 우리나라는 첫째, 데이터를 중심에 둔 리스크 기반 규제 체계로의 전환이 필요하다. 둘째, 신산업 및 서비스 발전을 위한 탄력적 규제 적용으로 규제를 유연하게 조정할 필요가 있다. 이러한 조정은 지속적 모니터링, 평가 및 이해관계자 소통을 통해 리스크 관리를 강화하고 국가 경쟁력을 향상시키는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

이 연구는 사용 후 배터리에 대한 리스크 기반 규제를 점진적 규제 혁신 관점에서 재해석하고, 과잉 규제를 피하며 국가 경쟁력과 혁신을 촉진하는 규제 관리 방안을 제안하고자 한다. 특히, Aaron Wildavsky의 신중한 경계 접근법과 울리히 벡(Ulrich Beck)의 리스크 관리 이론을 기반으로 예방과 복원 전략을 통합 활용함으로써 탄력적인 리스크 기반 규제체계의 전환을 제안하고자 한다.

참고문헌

- 강영철 외, 『좋은 규제의 조건』, 윤성사, 2023.
- 관계부처합동, 규제개선 지원을 통한 순환경제 활성화 방안, 경제 규제혁신 TF, 2022.
- 국립소방연구원, 전기차 화재대응 및 사례, 한국미래기술교육원, 2023.4.28.
- 삼성KPMG, 배터리 순환경제...전기차 사용후 배터리 시장의 급부상, 어떤 준비 필요한가?, 2022.
- 울리히 벡(홍성태 옮김), 『위험사회, 새로운 근대(성)를 향하여』, 새물결 출판사, 2006.
- 조예진, 신흥기술 리스크규제에 관한 연구 : AI/ML SaMD, 공공 클라우드, 첨단재생의료를 중심으로(한양대학교 박사학위 논문), 2022.
- 최병선, 『규제 vs 시장』, 가가날:경기도, 2013.
- 한국산업기술시험원, 리튬이온배터리 화재 대응 사례와 안전성 평가 기준 및 시험·인증, 한국미래기술교육연구원, 2023.4.28.
- Avery, R. B. and Allen N. B., "Risk-Based Capital and Deposit Insurance Reform," Journal of Banking and Finance, vol. 15, 1991, pp. 847-874.
- Baldwin, Robert, Martin Cave, and Matthew Lodge, Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice, 2nd Edition, Oxford University Press, 2012.
- Douglas, M., & Wildavsky, A, Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers. University of California Press, 1983.
- Howard, J., "The concept of harm and its significance in risk management," Journal of Risk Research, 2004.
- Hutter, B. M., Regulation and Risk: Occupational Health and Safety on the Railways, Oxford University Press, 2001.
- Kaplan, S., & Garrick, B. J., "On the quantitative definition of risk," Risk Analysis, vol. 1, no. 1, 1981, pp. 11-27.

- Kolluru, R. V., Risk assessment and management: A unified approach, Journal of Risk Research, 1996.
- Kunreuther, H., & Heal, G., "Interdependent Security," Journal of Risk and Uncertainty, vol. 26, nos. 2-3, 2003, pp. 231-249.
- Morris, J., Rethinking Risk and the Precautionary Principle, Butterworth-Heinemann, 2000.
- OECD, Risk and regulatory policy:imporving the governacne of risk, OECD Publishing, 2010.
- OECD, Regulatory Policy and Governance: Supporting Economic Growth and Serving the Public Interest, OECD Publishing, 2011.
- PCSBI, New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies, 2010.
- Shapiro, Sidney A., & Glicksman, Robert L., Risk Regulation at Risk: Restoring a Pragmatic Approach, Stanford University Press, 2002.
- Simon, H. A., Administrative Behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations, 4th ed., Free Press, 1997.
- Sunstein, C., Laws of Fear: Beyond the Precautionary Principle, Cambridge University Press, 2005.
- Viscusi, W. K., Rational Risk Policy, Oxford University Press, 1998.
- Wildavsky, A., Searching for Safety, Transaction Books, 1988.

Journal of Regulation Studies Vol. 33 No. 2

Establishment of a Risk-based Safety Regulation for used EV Batteries

HaeOk Choi, KwangHo Lee

In the new industry sector, risk management costs can impede innovation and diminish national competitiveness. Additionally, this study highlights how regulations founded on excessive precautionary principles can obstruct innovation activities. Consequently, it proposes a method to develop a risk-based, flexible regulatory system by applying a 'cautious vigilance' approach through a case study of used electric vehicle batteries. The analysis yields the following results: Firstly, comprehensive risk assessment and data-driven regulation are identified as crucial components of regulatory design. It is essential to tailor regulatory intensity and methodology based on the collected data to foster innovation and enhance safety. Secondly, a regulatory design based on scientific evidence and centered on risk should be implemented. Thirdly, from the standpoint of gradual regulatory innovation, risk management strategies need to be adaptively adjusted at each stage through continuous management and evaluation. This study suggests a flexible approach that differentiates regulatory intensity based on risk levels to overcome existing limitations. This approach is expected to refine the

current overly uniform regulations, thereby enhancing the efficient use of government resources and the effectiveness of regulations.

Keywords: Risk-based Regulation, Used EV Batteries, Safety Regulations, Incremental Regulatory Innovation