



2022.12.31.

국회미래연구원 | 연구보고서 | 22-10호

순환경제 미래산업 전략

김은아 박성준 여영준 장용철 최경훈



국회미래연구원
NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

순환경제 미래산업 전략



연구진

내부 연구진

김은아 연구위원(연구책임)

박성준 부연구위원

여영준 부연구위원

외부 연구진

장용철 교수(충남대학교)

최경훈 연구교수(충남대학교)

- ◆ 출처를 밝히지 않고 이 보고서를 무단 전재 또는 복제하는 것을 금합니다.
- ◆ 본 보고서의 내용은 국회미래연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.


발 | 간 | 사

인간의 산업활동으로 야기되는 기후변화·환경파괴, 자원수급 불안정 등의 문제는 시간이 갈수록 심각성을 드러내고 있습니다. 이에 각 국가는 이들 환경문제를 더 이상 환경에 국한되지 않은 경제·사회 전반에 영향을 미치는 위기요소로 관리하고 있습니다. 또한 전 세계는 코로나19로 촉발된 대전환의 시기에 기존의 선형경제 패러다임을 대체할 대안적 개념으로서 순환경제 필요성 대두되고 있습니다. 순환경제는 기존의 생산, 소비, 폐기 방식이 지속가능하지 못하다는 현실을 직시하고 어떻게 하면 천연자원 채굴을 최소화하고 환경으로 배출되는 오염물질 양을 최소화 할 수 있을 것인가에 대한 해결책으로서, 산업전환, 재화와 서비스 사용 방식의 전환을 포함하는 경제·사회시스템 전반의 대전환을 의미합니다.

산업계가 기존의 선형경제적 경제활동 개념에서 벗어나 순환경제 사회에 적합한 생산 활동으로 전환하기 위해서는 변화를 이끄는 규제 도입을 포함한 정책적·제도적 뒷받침이 필요하며, 변화에 필요한 사회적인 여건이 조성되었을 때 실질적으로 변화를 가능하게 하는 기술이 뒷받침되어야 합니다.

이에 국회미래연구원은 원료 등 자원의 사용과 오염물질 배출이 집중된 6개 주요 산업의 순환경제 전환 관련 취약점과 기회영역 분석 결과에 기반하여 주요 산업별 순환경제 전환 촉진을 위한 전략과 녹색투자 전략을 큰 틀에서 도출하고, 이에 관한 입법과제를 제시하고자 하였습니다. 또한, 물질 순환성 향상에 필요한 국내 기술 개발 현황을 분석하고 개선방안을 제시하고자 하였습니다.

이 연구를 기획하고 연구책임으로 전체 과정을 진행한 국회미래연구원 김은아 연구위원과 기업투자 전략을 도출하신 박성준 부연구위원, 그리고 6개 주요 산업별 전략을 도출하신 여영준 부연구위원께 감사의 말씀을 표합니다. 그리고 순환경제 기술현황 분석 및 중장기 기술개발 방향을 제안해주신 충남대학교 장용철 교수님과 최경훈 연구교수님께도 감사의 마음을 전합니다.



본 연구에서 도출한 순환경제 미래산업 전략이 탄소중립, 자원안보, 혁신성장 차원에서 국가 경쟁력을 강화하는데 기여할 수 있기를 바랍니다.

2022년 12월
국회미래연구원장 **김 현 곤**



제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 필요성	3
제2절 연구 범위 및 전체 분석 틀	6
제3절 용어와 정의	8
제2장 잠재적 취약점 및 기회요소	11
제1절 산업계 순환경제 2050 시나리오	13
1. 순환경제 성과 모니터링 지표 기반 시나리오	13
2. 순환경제 산업 전략 시나리오	14
3. 순환경제 산업 영향 시나리오	15
4. 국내 산업계의 취약영역	18
5. 국내 산업계의 기회영역	19
제2절 플라스틱 순환경제 2050 시나리오	21
1. 순환경제 성과 모니터링 지표 기반 시나리오	21
2. 플라스틱 순환경제 전략 시나리오	23
3. 플라스틱 순환경제 미래환경영향 시나리오	24
4. 국내 플라스틱 순환경제 취약영역	26
5. 국내 플라스틱 순환경제 기회영역	27
제3절 기타 시사점	28
1. 물질흐름 분석 결과 시사점	28
2. 시나리오 분석의 한계점과 보완점	30

제3장 순환경제 기술개발 현황 및 전략 33

제1절 순환경제 산업현황 36

1. 플라스틱 재활용 36
2. 유가금속 회수 41
3. 재제조 44

제2절 순환경제 기술개발 현황 47

1. 세부기술 정의 및 국내 기술개발 동향 47
2. 세부기술별 해외 연구개발 현황 59
3. 국내 연구개발 현황 65
4. 국내·외 특허출원 현황 69
5. 순환경제 기술개발을 위한 재정투자 전망 75

제3절 중장기 기술개발 전략 78

1. 플라스틱 자원화 기술개발 전략 79
2. 유가금속 재자원화 기술개발 전략 83
3. 재제조 기술개발 전략 87

제4절 정책 제언 94

1. 순환경제 기술혁신을 위한 제도 개선방안 94
2. 산업연관표 수정안 95

제4장 국내·외 순환경제 관련 제도 현황 103

제1절 해외 순환경제 관련 제도 현황 105

1. 정책 범위 109

2. 모니터링 및 평가 지표	110
3. 시행과제 및 추진전략	112
제2절 국내 순환경제 제도 현황 및 입법동향	118
1. 국내 순환경제 제도 현황	118
2. 입법동향	123
3. 순환경제 법제도 보완 영역	129
제5장 기업투자 전략 및 주요 산업별 전략	131
제1절 기업투자 전략 및 입법과제	133
1. 녹색금융	134
2. 기업의 참여를 위한 전략	140
제2절 주요 전환 산업 대상 정책제언 및 입법과제	143
1. 코크스 및 석유정제품 제조업	143
2. 화학물질 및 화학제품 제조업	145
3. 1차금속 제조업	147
4. 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업	149
5. 전기장비 제조업	151
6. 운송장비 제조업	153
제6장 결론	155
제1절 순환경제 기술개발 경쟁력 진단 결과	157
제2절 순환경제 관련 국내 제도 진단 결과	160

제3절 산업경쟁력 확보를 위한 제도 개선 방안 163

- 1. 국내 순환경제 취약성 보완 및 기회요소 극대화 163
- 2. 산업계의 투자 촉진 164
- 3. 중점 산업의 순환경제 전환 촉진을 위한 입법과제 164

참고문헌 167

- 1. 문헌자료 169
- 2. 웹사이트 176

Abstract 179

[표 1-1] 본 보고서에 사용한 전문용어의 정의	8
[표 2-1] 6대 주요 산업의 100% 순환경제 달성에 따른 국가 순환경제 지표의 변화	13
[표 2-2] 순환경제 산업계 2050 전략 시나리오 프레임워크	14
[표 2-3] 국내 플라스틱 수지 생산량, 수요량, 재활용(가능)량	21
[표 2-4] 시나리오별 국내 발생 폐플라스틱 순환이용률 및 재생자원 전환률	22
[표 2-5] 플라스틱 순환경제 전략 시나리오	23
[표 3-1] 해외 국가별 플라스틱 재활용 사업 동향	37
[표 3-2] 국내 주요 기업들의 폐플라스틱 재활용 사업 현황 및 계획	39
[표 3-3] 주요 선진국의 재제조품 시장 규모	45
[표 3-4] 연도별 재제조 시장 규모 현황	46
[표 3-5] 범부처 R&D 전략 정립을 위한 18개 플라스틱 자원순환 중점기술	47
[표 3-6] 화학적 재활용 기술별 적용 가능 원료 및 생산품	50
[표 3-7] 친환경 산업 전환에 따른 미래 폐자원 재제조 선제 기술 예비타당성 조사 진행 현황	58
[표 3-8] 국가별 플라스틱 대체재 및 재활용 개발 동향	60
[표 3-9] 순환경제 기술개발 주요 투자 분야(전체의 86%) 구성(2012~2021년 수행 과제)	65
[표 3-10] 부처별 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술 투자 금액	69
[표 3-11] 특허분석 대상 순환경제 기술(2012~2021년 공개된 특허 대상)	70
[표 3-12] 순환경제 기술별 주요 출원국 구성 비율	72
[표 3-13] 국내 특허 출원 상세 내역	75
[표 3-14] 국가 플라스틱 폐기물 관리를 위한 재정투입 관련 기술과제	76
[표 3-15] 부처별 과학기술 중장기 계획 중 순환경제 관련 내용	77
[표 3-16] 미래 산업 제품군과 유기금속과 원소의 공급망 리스크 요약	84

[표 3-17] 재제조 미래 산업 분야의 제품군과 예상 연간 성장률(%)	89
[표 3-18] 기술 혁신에 따른 신산업 등장 및 기존 산업의 전환 영역	95
[표 3-19] 순환경제 전환에 따른 산업구조 변화를 반영한 산업연관표 수정안	97
[표 4-1] 해외 주요국의 순환경제 정책 범위 및 최근 동향	109
[표 4-2] 해외 주요국의 순환경제 모니터링 지표 개발 현황	111
[표 4-3] EU의 순환경제 전략 추진 과정	113
[표 4-4] 주요국의 플라스틱 부문 순환경제 정책 범위	114
[표 4-5] 독일의 순환경제 전략	115
[표 4-6] 네덜란드의 순환경제 관련 부처	116
[표 4-7] EU 순환경제 패키지 및 행동계획 대비 국내 정책 내용	118
[표 4-8] 『K-순환경제 이행계획』 주요 내용	119
[표 4-9] 2020년도 기준 국내 순환경제 제도 진단 결과	120
[표 4-10] 순환경제 관련 법령 주요 내용(제정 또는 전부개정)	121
[표 4-11] 2018~2022년 현재 순환경제 관련 현행법 주요 개정 내용	122
[표 4-12] 순환경제 관련 의안 제안 목록(법률을 기준으로 정리, 1948~2022년 현재) ..	124
[표 4-13] 순환경제 정책영역 또는 폐기물 자원 범위 확대 이력	126
[표 4-14] 순환경제 관련 계류 법안(법률을 기준으로 정리)	128
[표 4-15] 순환경제 전환 주요 동력에 대응하는 법제도 보완 영역	129
[표 5-1] 국내 녹색채권 규모	136
[표 5-2] 발행기관별 녹색채권 규모(2022년 9월말)	137
[표 5-3] 녹색프로젝트별 채권 규모(2022년 9월말)	138
[표 5-4] 녹색대출 현황	139
[표 6-1] 순환경제 전환 주요 동력에 대응하는 법제도 보완 영역	162

[그림 1-1] 순환경제 미래산업 전략 연구 틀	6
[그림 3-1] 일본의 플라스틱 자원화 현황	36
[그림 3-2] 미국의 재제조 산업별 생산규모(2011년)	45
[그림 3-3] 열분해 기술, 가스화기술, 소각의 차이	48
[그림 3-4] 부처별, 연구수행주체별 순환경제 기술개발 수행 규모(총연구비 기준)	66
[그림 3-5] 연도별(2012~2021년) 순환경제 기술 연구 개발 투자 규모추이	67
[그림 3-6] 연도별(2012~2021년) 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술 연구 개발 투자 규모추이	68
[그림 3-7] 출원국별 순환경제 기술 특허 보유 비중(%)	71
[그림 3-8] 출원국별 순환경제 특허건수 추이	73
[그림 3-9] 출원국별 특허출원·등록 대상국 구성 (전체 출원 건수 대비 대상국 비중을 시각화함)	74
[그림 3-10] 미래 물질순환 기술개발 중장기 로드맵	78
[그림 3-11] 물질순환 미래 핵심 기술과 국내 산업의 연관성	79
[그림 3-12] 플라스틱 순환경제 구축 전략과 물질순환 개념도	80
[그림 3-13] 순환경제에서의 재제조 역할과 공정 개념도	88
[그림 4-1] 일본의 순환경제 관련법령 구성도	107
[그림 4-2] 중국의 순환경제 관련 법제화 과정 및 정책 추진 현황	107
[그림 4-3] 제헌국회부터 현재까지 순환경제 관련 의안 제안 건수 (전체 vs. 가결안) 변화	127

요 약

1 서론

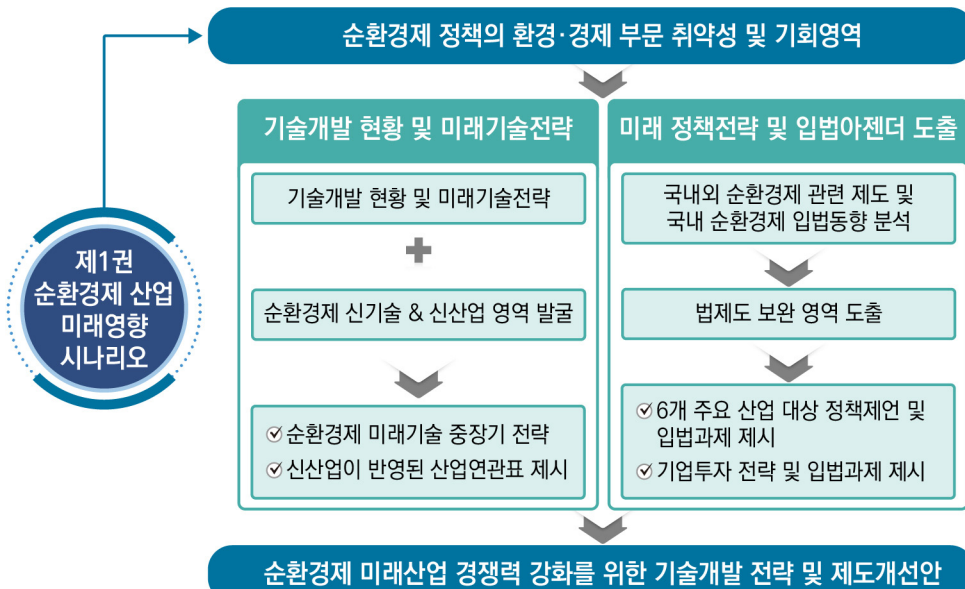
□ 연구의 배경 및 필요성

- **탄소중립, 자원안보, 혁신성장 등을 위한 전략 및 제도 강화 필요**
 - 전 세계적으로 탄소중립, 자원 안보, 혁신성장 정책의 중요성이 높아졌으며, 순환경제는 이들 정책 목표를 달성할 중요한 전략으로 도입할 수 있으나, 우리나라는 아직 자원 안보와 혁신성장 관점에서 순환경제 전략을 도출하는 작업이 부족함.
- **순환경제 미래기술 전략 수립을 위한 연구 부족**
 - 순환경제 전환 과정에서 취약성이 아직 존재하며, 상당 부분은 기술혁신을 통하여 극복 가능할 것으로 전망함에 따라 중장기적 관점에서 물질순환 기술 개발 전략 및 목표설정이 필요함.
- **녹색투자 관점에서 순환경제 정책 및 전략 고민 필요**
 - 순환경제 산업 육성에 필수적인 녹색투자 전략에서 순환경제의 위상이 불분명하여 관련 정책과 전략을 마련할 필요가 있음.

□ 연구 범위 및 전체 분석 틀

- 제2장: 본 연구 보고서 제1권에서 도출한 우리나라 순환경제 전환과정에서 극복해야 할 취약 요소와 기회 요소에 관한 정책적인 시사점을 요약하였으며, 이는 제2권에서 순환경제 미래산업 경쟁력 강화를 위한 기술개발 전략 및 제도 개선안을 도출하는 배경으로 활용함.

- 제3장: 순환경제 기술혁신 전략을 도출하기 위하여 국내외 순환경제 기술 개발 현황을 분석한 결과를 요약하였으며, 이에 기반하여 신기술 및 신산업 영역을 발굴하고, 관련 미래산업 성장에 핵심적인 미래기술 개발 중장기 전략을 제시함.
- 제4장: 해외 순환경제 관련 제도 현황을 비교분석한 결과를 정리하고 시사점을 도출하였으며, 국내 순환경제 관련 현행법과 현재 입법 준비단계에 있는 법률을 포함한 순환경제 제도 현황과 비교하여 우리나라 순환경제 전환 동력을 형성하는 데에 부족함이 없는지를 판단 기준으로 삼아 국내 제도에서 보완이 필요한 부분을 제시함.
- 제5장: 순환경제 미래산업 성장에 핵심 요소인 기업투자 전반에 관한 전략과 관련 입법과제를 함께 제시하였으며, 제1권에서 도출한 6개 주요 산업(코크스 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업(플라스틱 물질 제조 포함), 컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업, 1차 금속제조업)의 경쟁력 강화를 위한 정책을 제언함.
- 제6장: 순환경제 미래산업 경쟁력 강화를 위한 기술개발 전략 및 제도 개선안을 요약 정리함.



제1권
순환경제 산업
미래영향
시나리오

2 잠재적 취약점 및 기회요소

□ 국내 산업계 순환경제 전환 취약영역 및 기회영역

• 취약영역

- 기존의 생산방식에서 재생원료 사용률과 재사용 부품 이용률을 높이는 등의 방식으로의 전환 과정에서 기술 및 시설 투자 등으로 인한 생산원가 상승이 불가피함에 따라 단기적으로 해당 산업의 불안정성을 높일 수 있으며, 순환경제 전환 6개 주요 산업은 국가 경제에 중요한 부분을 차지 하므로 국가 산업경쟁력 전반에 부정적인 영향을 줄 수 있음.
- 6대 주요산업에 재제조 전략을 적용하는 경우 컴퓨터, 전자 및 광학기기 산업의 생산유발액이 BAU 대비 다소 감소하는 것으로 전망됨.
- 순환경제로의 전환이 보다 진전됨에 따라, R&D 산업의 자본집약화와 생산성 향상이 진전됨에 따라 해당 산업의 부가가치 유발효과가 다소 약화 될 수 있음.

• 기회영역

- 6개 주요 산업은 물질순환성과 자원생산성에 미치는 영향 또한 크기 때문에 6개 주요 산업의 순환성이 극대화 되는 경우 순환경제 성과지표가 BAU 대비 최대 120% 증가할 수 있음.
- 6대 주요산업에 지속가능한 순환 경제시스템으로의 전환 시나리오를 적용 하는 경우 우리나라는 2050년까지 생산유발효과 측면에서는 약 482조 원, 부가가치유발 효과 측면에서는 약 292조원, 그리고 취업유발 효과 측면에서는 약 411만 개 일자리 창출효과를 견인할 수 있을 것으로 전망됨.
- 순환경제 이행을 위한 전략 산업별 기술혁신을 위한 R&D가 확대될 때 생산유발, 부가가치유발효과가 더욱 증대되며, 이는 경제체제 내 취업유발 효과를 더욱 향상시킬 것으로 전망됨.

□ 국내 플라스틱 순환경제 취약영역 및 기회영역

● 취약영역

- 현재 기술수준으로 달성 가능한 최대 재생자원양과 2050 목표 수준 간의 차이가 22%로, 순환이용에 방해가 되는 플라스틱 수지를 순환이용에 용이한 물질로 대체하는 기술 개발과 화학적 재활용 수율 향상이 요구됨.
- 폐플라스틱의 재생원료로 전환하는 과정에서 발생하는 환경영향에 전처리 공정이 미치는 영향이 절대적으로 크기 때문에, 화학적·생물학적 재활용 공정의 성공은 전처리 공정의 효율이 담보되어야 함.
- BAU를 매립 또는 소각 처리로 설정하는 경우, 플라스틱 재활용 과정에서 발생하는 환경영향은 매립 또는 소각 방법으로 처리하는 경우에 발생하는 환경영향보다 클 수 있음. 그러나 이는 재생원료 생산으로 회피되는 환경영향이 고려되지 않은 해석으로, 종합적인 환경영향 평가를 위해서는 폐기물 처리 시스템을 확장하여 신규물질 생산 시스템을 포함하여 해석할 필요가 있음.
- 우리나라는 플라스틱 전 주기에서 원료와 플라스틱 수지의 수출 비중이 매우 높으며, 원료, 첨가물, 플라스틱 수지는 탄소국경조정제도 적용 대상 품목이 88%~95%에 달해 제도가 적용되는 국가로의 수출 여건이 악화될 수 있음.

● 기회영역

- BAU를 상용 공정을 통한 화학물질(재생원료와 동일 물질) 생산으로 설정하는 경우, 기존 상용공정을 회피함으로써 얻는 편익과 폐플라스틱 매립 또는 소각 처리를 회피함으로써 얻는 편익을 고려하여 전과정평가 결과를 해석하면 대다수의 재생원료 생산 공정은 온실가스 배출, 천연자원 고갈, 대기오염물질 배출에서 긍정적인 환경영향을 주는 것으로 나타났으며, 공정효율이 향상되는 경우 환경 편익이 더욱 증가할 수 있을 것으로 기대됨.
- 탄소국경조정제도 도입에 따른 잠재적인 무역장벽 형성은 일정 수준 이상의 탄소 가격이 형성되어 있는 우리나라가 그렇지 않은 국가 대비 플라스틱 전과정 품목의 수출 경쟁력을 가질 수 있으며, 폐플라스틱을 이용한 재생

원료 생산으로 온실가스 감축효과를 더하는 경우 수출 경쟁력이 더욱 향상될 수 있음.

3 순환경제 기술개발 현황 및 전략

□ 순환경제 산업 현황

● 플라스틱 재활용

- 국제적으로 플라스틱 관리는 자원순환 분야에서 핵심 영역으로 제시됨에 따라 최근 유럽과 일본을 중심으로 화학적 재활용 기술 개발 및 산업계 참여가 활발히 이루어지며 국내에서도 기계적 재활용 고도화, 열분해, 해중합, 생물학적 재활용 기술 등에 대한 산업계 상용화 기술 개발을 진행함.

● 유가금속 회수

- 유럽과 일본을 중심으로 폐전기전자제품 유가 자원회수 및 유해물질 처리 실증화 연구가 이루어지고 관련 산업이 발달함. 폐배터리 재활용 기술 또한 유럽과 일본이 선도하며 재사용과 재활용 시설을 보유함. 태양광 폐패널 재활용은 아직 기술 개발 단계임.

● 재제조

- 국내외 재제조 산업은 주로 전기전자 및 자동차 부품을 중심으로 이루어졌으며, 최근 그 영역이 항공, 기계설비, 의료기기, 선박 기자재 등으로 확산되는 추세임. 재제조 산업은 유럽과 미국이 선도하며 우리나라는 자동차 및 토너 카트리지 재제조 비중이 압도적으로 높음.

□ 순환경제 기술개발 경쟁력 진단 결과

● 국내 연구개발사업 현황 및 국내·외 특허현황

- 물질 재자원화, 재제조 부문 기술 투자 부족
- 중소기업의 상용기술 지원 성격의 연구개발 비중 높음

- 플라스틱 자원화 기술개발이 주로 환경보전의 관점에서 추진됨
- 유가금속자원 재자원화 관련 연구개발 투자가 점차 축소되는 추세임
- 친환경 디자인(에코디자인)에 관한 연구개발 기술개발 저조
- 우리나라는 순환경제 기술 특허수 기준으로 매우 경쟁력이 낮음
- 국내 출원인이 보유한 특허는 전통적으로 개발이 집중되었던 분야 비중이 높음

● **세부 기술별 국내 기술개발 진단 결과(개선사항 중심)**

- 물질 재자원화 및 재제조 부분 국내 출원된 특허 기술 부족
- 편중되고 파편화된 플라스틱 자원순환 연구개발
- 대형 가전제품 중심의 폐전기전자제품 재활용 기술
- 낮은 금속추출 회수율
- 비실리콘계 태양광 폐패널의 재활용 기술 개발 부족
- 자동화된 전기차 폐배터리 재활용 공정 개발 필요
- 재제조 대상 분야 확대 필요

● **순환경제 기술혁신을 위한 제도 개선방안**

- 국가 순환경제 정책과 기술개발 계획 연계 강화
- 국가 연구개발 투자계획 간의 연계 강화
- 기업의 순환경제 기술개발 투자 촉진

● **산업연관표 수정안**

- 순환경제 미래기술 개발 중장기 전략에 근거하여 플라스틱 자원화, 유가 금속 재자원화, 재제조 기술 개발에 따라 등장이 예상되는 신산업과 기존 산업 중 순환경제 도입에 따른 신규 공정으로의 전환 등을 위한 신규투자가 요구 되는 영역을 정의하고 산업연관표 수정안을 제시함

- 산업의 순환경제 방식으로의 대전환은 기존 제조 방식 상의 패러다임 전환이 요구됨: '제조업의 서비스업화'에 따라 기존 제조업 부문에 존재하지 않았던 순환산업이 추가됨
- 수작업에 의존하였던 분리·분해, 선별 등의 과정이 자동화되기 위한 로봇 제조 및 이를 이용한 산업 등장이 중요한 신산업 영역으로 도출됨
- 플라스틱 자원화기술의 고도화 및 생물학적 재활용 및 바이오플라스틱 생산 기술의 발달에 따른 기존 유관 산업의 세분화 및 관련 하위 산업활동에의 투자가 확대될 것으로 전망함

4 국내·외 순환경제 관련 제도 현황 및 전략

□ 해외 순환경제 관련 제도

● 순환경제 전환 방향성, 혁신전략 요소, 자원안보 요소

- 유럽의 순환경제 전환은 경제성장 패러다임 전환 수준의 큰 틀에서 환경·경제·사회 전반의 영향을 고려한 정책을 마련하였으며, 유럽, 일본, 중국은 산업구조의 전환동력 및 신성장동력으로서 사회적 파급효과를 도모함.
- 유럽은 원자재 사업 및 국가 원료전략 등의 제도적 기반을 순환경제 전략에 포함하여 원료 수급 안정성을 높이는 차원의 전략을 마련함.

● 모니터링 기반 및 표준화 작업

- 순환경제 전환 이행 결과는 물질흐름 통계에 기반하여 모니터링이 가능하며 유럽연합은 권역에 공통적으로 적용하는 표준화된 모니터링 지표를 마련함.
- 모니터링 지표 생산 및 재생원료 품질 등에 관한 표준화 작업을 유럽과 일본을 중심으로 진행하고 있음.

□ 순환경제 관련 국내 제도 진단 결과

● 국내 제도 전반

- 순환경제 전략영역 및 영향영역이 확장됨에 따라 환경부 중심의 정책 수립·이행 거버넌스가 한계에 직면할 것으로 전망: 최근 2~3년 간에 탄소중립과 제품 전주기 관리 차원에서의 순환경제 전략의 유관 영역이 크게 확장되어 환경부 중심의 정책에서 복수의 주요 관계부처의 공조가 필요한 상황으로 급변함
- 혁신성장 및 자원안보 전략요소 부족: 생산과 소비 단계에서 자원의 순환을 염두에 둔 전략과 재생원료·부품 사용을 통한 자원안보의 강화와 같은 차원의 전략이 점차 증가하는 추세이나 여전히 주요국에 비해 부족한 수준임
- 폐기물 관리 및 폐자원 재활용 중심의 법제도: 폐기물의 유해물질의 관리 목적의 조문을 포함하고 있거나 폐자원 재활용 촉진을 위한 법률이 대다수이며 자원순환의 대상이 되는 폐기물의 범위는 지속적으로 확장되는 추세임
- 제품 폐기 단계에서 물질 순환성 향상에 필요한 제도가 개선되고 있으나 제품 전 주기 상의 순환성 향상을 위한 생산, 소비 부문 전략 이행력 강화를 위한 법제도 개선작업이 요구됨
- 물질 순환 전 과정 모니터링에 필요한 통계가 미흡: 현행 순환경제 통계는 폐기물 발생단계를 모니터링하므로 이에 기반하여 생산 단계에 투입되는 재생자원 및 부품등 천연자원을 대체하는 순환성을 진단하는 데에 활용하기 어려움

● 법제도 보완 영역

- 제1권에서 우리나라가 선진국가(G7) 대비 상대적으로 뒤떨어진 부분을 보완하고자 하는 데에서 발생하는 순환경제 동력(미세먼지 노출농도, 자원 해외의존도), 국제적으로 강하게 추진되고 있는 정책 중 순환경제 전환을 통하여 목표 달성에 긍정적인 영향이 기대되는 데에서 발생하는 동력(온실가스 배출량), 큰 틀에서 순환경제 전환의 목적에 해당하는 지속가능성 향상을 중심으로 국내 법제도에서 보완이 필요한 영역을 도출함

순환경제 전환 주요 동력에 대응하는 법제도 보완 영역

순환경제 전환 동력	관련 현행법	법제도 보완 영역
미세먼지 배출농도 개선	자원순환기본법※	• 목적과 정의에서 자원의 순환 또는 순환경제를 통한 환경보전 효과를 좀 더 명시적으로 표기(예: 대기오염 방지 및 생물다양성 보전 등)
자원해외의존도 저감	원자재법(신설)	• 유럽연합이 추진중인 핵심원자재법과 같은 자원안보 강화 목적의 법 제정시 순환경제 요소 반영
온실가스 배출 저감	탄소중립기본법	• 현행법 제64조 순환경제 활성화 조문에 순환경제 기술 혁신에 관한 내용 보완
	자원순환기본법	• 자원순환의 목적과 정의 등 법령 전반에 탄소중립 목적과의 연계성 강화
지속가능성 향상	지속가능발전 기본법	• 자원순환기본법과의 연계성 강화

※ 2022.12.31. 「자원순환기본법」 전부개정으로 「순환경제사회 전환 촉진법」을 발표하였으나, 본 연구에서는 2022년 기준 현행법을 대상으로 분석함

5 주요 산업별 전략 및 입법 어젠더

□ 국내 순환경제 취약성 극복 및 기회요소 극대화를 위한 제도 개선방안

- **폐기단계 뿐만 아니라 생산, 소비 단계에서의 물질 순환 통계 보완**
 - 국가 및 산업 단위의 자원생산성 및 물질순환성 등의 순환경제 성과를 모니터링하기 위해서는 관련 물질 통계가 구축이 될 필요가 있음
- **자원안보 전략 강화**
 - 높은 자원 해외의존도에서 오는 취약성을 극복하려면 희유금속 회수 등을 포함한 재생원료 확보에 필요한 인증제도를 개선 및 확산해야 함.
 - 또한 유가금속 등이 포함된 부품의 재사용 및 재제조를 통하여 천연자원 수급 불안정 요소를 완화할 것으로 기대하며, 수리 산업을 포함한 재제조 산업지원 및 재제조 생산 방식에 핵심적인 에코디자인 제도 확장에 필요한 법적 제도를 보완할 필요가 있음.

- **기술혁신에 필요한 투자 강화**

- 물질 재활용에 따르는 환경영향을 최소화하고, 경제적 편익을 극대화하려면 기술혁신이 필수적이며, 해외 사례를 참고하여 기술격차를 줄이고 중장기적으로 관련 산업을 선도할 투자를 촉진하도록 제도적인 지원책을 마련할 필요가 있음

- **기업투자 전략 및 입법 아젠더**

- **산업계의 순환경제 전환을 위한 투자 촉진 전략**

- 순환경제 전환을 위한 기업투자 촉진은 관련 사업의 수익성 향상이 가장 큰 기여 요인임. 자원 해외의존도가 높은 원료를 사용하는 산업의 안정적인 자원 공급확보 전략으로서 순환경제 정책을 강화하거나, 폐기물 발생비용의 정부 부담을 늘리면 수익성 기대가 증가함.
- 정부의 R&D 지원정책을 포함한 안정적인 순환경제 정책 추진은 민간 투자자에게 긍정적인 신호를 보낼 수 있음.
- 자원 순환 사업에서 중소기업 비중이 크지만 중소·중견 기업의 녹색금융 접근성이 낮아 해당 기업투자가 어려울 수 있으며, 이에 중소기업에 대한 정부의 금융지원이 필요하며 관련 법·제도를 정비할 필요가 있음.

- **산업부문 순환경제 정책 주류화**

- 국내 순환경제 전략은 환경부 중심의 정책에서 탄소중립, 자원 안보 강화, 신산업 창출 등 유관 영역이 크게 확장되는 추세이며, 이러한 정책 환경변화에 대응하여 산업 및 일자리에 관한 부처의 순환경제 정책을 강화할 필요가 있으며, 관련기관 간의 긴밀한 업무 체계를 형성해야 함.

- **주요 전환 산업 대상 정책제언 및 입법과제**

- **코크스 및 석유정제품 제조업**

- 현행법상 폐기물로 정의된 공정 발생 탄소를 포집·활용할 수 있도록 관련 규제를 완화할 필요가 있음.

- **화학물질 및 화학제품 제조업**

- 열분해유를 석유 중간제품 또는 석유대체연료로 인정받을 수 있도록 「석유 산업법」을 개정할 필요가 있으며, 바이오 플라스틱 원료로 사용 가능한 물질로 곡물 외에도 목재펠프, 볏짚 등을 포함하도록 바이오매스 범위를 확장할 필요가 있음.

- **1차금속 제조업**

- 철강 부산물의 품질인증 및 표준에 관한 제도가 마련되지 않아 건축자재 등으로 재활용 용도를 확장하지 못하는 문제를 해결하기 위하여 「폐기물 관리법」에 따라 활용도를 제한하는 현행 규제를 완화하고 재생원료로 인정하는 인증제도 마련이 필요함.

- **컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업**

- 에코디자인을 자원의 재사용, 수명 연장, 수리 강화, 재제조 가능성 증진 등 순환경제 요소를 폭넓게 포함하는 방향으로 글로벌 표준에 맞도록 규정 정비가 필요함.

- **전기장비 제조업**

- 이차전지 및 소형 가전에 포함된 희소금속 범주를 설정하고 안정적인 자원 공급망을 갖출 필요가 있으며, 배터리 재활용 관련 규격, 성능, 포장, 운송 등 다양한 부문의 표준을 마련할 필요가 있음. 또한 완성차 업체와 배터리 수거·재활용 업체 간의 공급망 연계를 강화해야 함.

- **운송장비 제조업**

- 화학제품(플라스틱) 제조업, 1차금속 제조업, 전자제품 제조업, 전기제품 제조업 등에서 발생하는 재생원료 및 재사용 부품을 운송장비 제조업의 중간재로 재투입하도록 순환 공급망을 구축하고 에코디자인 관련 제도를 정비해야 함.

제 1 장

서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

제2절 연구 범위 및 전체 분석 틀

제3절 용어와 정의

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

전 세계적으로 기존 선형경제(linear economy)는 자원고갈 위기, 기후변화, 환경오염 문제를 야기하고 있어, 순환경제(circular economy)로의 전환이 주요 핵심 의제로 대두하였다. 선형경제는 자원의 채취-제품생산-소비-폐기 등의 한방향(one-way) 경제 구조 시스템을 뜻한다. 이와 반면에 순환경제는 기존 선형경제 구조의 대안으로서 원료의 투입을 최소화하고, 소비 후 자원을 회수하여 다시 경제영역으로 순환시키는 시스템을 일컫는다. 선형경제로 인하여 자원고갈, 지구온난화, 환경오염 문제가 지속적으로 발생하였기에 원료의 투입을 최소화하고 소비 후 자원은 회수하여 다시 경제영역으로 되돌리는 순환경제 시스템의 구축이 불가결하다.

세계 각국에서는 기존 선형경제의 문제점과 한계를 극복하고 순환경제로 전환하기 위한 적극적인 정책 추진과 지원, 사회경제 구조 시스템 변화 유도 및 산업계와 협력하여 물질순환성 향상 기술 개발과 재정 투자를 확대하고 있다. 특히 유럽은 2020년 3월에 유럽연합 순환경제 이행계획을 발표하여 지속가능한 제품 설계와 지속가능한 소비 확대, 생산단계 순환성 강화, 7대 핵심분야(전기전자 ICT, 배터리/자동차, 포장재, 플라스틱, 섬유, 건설자재, 식품)의 순환성 향상, 폐기물 발생 및 순환 정책규제 강화, 자원순환 도시 구축, 기술의 투자/혁신/디지털 전환, 국제 순환경제 구축협력 등을 제시하였다(European Commission, 2020).

우리나라는 2020년 『2050 탄소중립 추진전략』의 10대 과제 중에 순환경제 활성화를 포함하였으며, 미래 산업경쟁력 향상과 탄소중립 실현을 위해 순환경제 사회로의 전환은 매우 중요한 과제로 대두하였다(관계부처합동, 2020). 2021년 12월 탄소중립을 위한 『K-순환경제 이행계획』을 수립하여 발표하였는데, 여기서 생산 유통단계 자원순환성 강화, 친환경 소비 촉진, 폐자원의 재활용 확대, 안정적 폐기물 처리체계 확립, 순환경제 사회로의 전환 등 분야별 구체적 이행 방안을 제시하였다(산업통상자원부, 2021a). 특히 폐자원 회수 및 재활용 확대를 위해 고부가가치 폐기물 재활용 촉진, 금

속 재자원화 및 도시유전 활성화, 미래 폐자원의 회수 및 재활용 체계 구축, 순환경제 신산업 육성(재제조 산업 확대와 전략 품목별 기술 개발 포함) 등을 제시하였다(산업통상자원부, 2021). 본 계획에서는 유럽연합과 유사하게 『K-순환경제 이행계획』에서 7대 품목(포장재, 플라스틱, 섬유, 전기전자제품, 배터리/자동차, 음식물, 건설자재 등)의 순환성향상을 위한 구체적인 전략을 제시하였다.

위와 같은 기존의 전 세계적인 흐름 속에서 글로벌 물질순환 미래 핵심기술패권 대응, 탄소국경세 대응, 포스트-코로나19 이후 공급망 불확실성과 자원수급의 불안정성이 커지며 자원 빈국으로서 K-순환경제 구축의 중요성이 더욱 증가하였다. 우리나라는 해외 자원의존도가 높고, 수출을 통한 글로벌 경제체제를 구축하고 있기에 안정적인 자원의 수급과 확보가 중요하며 최대한 자원의 절약과 순환이 필요하다. 특히 최근 기후 위기에 직면하면서 탄소중립의 중요성이 부각되었고 이를 달성하기 위한 순환경제 구축도 핵심과제로 떠올랐다.

이렇게 국내 순환경제 또는 자원순환 정책은 ‘재활용’의 순기능에 집중하여 이를 촉진하는 전략이 우세하나, 재활용 및 재사용으로 인한 환경적 영향, 신산업 성장(이에 따른 일자리 증감), 국내외 투자 증감, 무역장벽 등 폭넓은 영역에서 순환경제의 순기능과 역기능을 함께 분석할 필요가 있다. 국내 순환경제 전환에서 기회의 영역을 촉진하는 전략을 수립함과 동시에 취약점에 대한 대비책 마련이 시급함에도 취약점 분석에 관한 연구는 미흡한 상황이다. 이러한 기회 영역과 취약점 발굴을 위한 정량적 분석 방법론을 개발하고 이에 근거하여 전략을 도출해야 한다.

산업계가 기존의 선형경제적 경제활동 개념에서 벗어나 순환경제 사회에 적합한 생산활동으로 전환하기 위해서는 크게 두 가지 영역에서 변화가 필요하다. 하나는 변화를 이끄는 규제 도입을 포함한 정책적·제도적 뒷받침이며, 다른 하나는 변화에 필요한 사회적인 여건이 조성되었을 때 실질적으로 변화를 가능하게 하는 조력자(enabler)로서 기술혁신이다. 지금은 급격한 사회변화에 대응하고 국가 미래산업 성장동력의 지속적인 확충을 위하여 자원의 확보를 통한 과학기술 혁신이 중요한 상황이다. 국가 차원의 미래지향적 물질순환 핵심 기술을 파악하여 국가·사회의 미래 발전을 견인하도록 중장기적 관점에서 물질순환 기술 개발전략과 투자 및 비전과 목표 설정이 필요하다.

하지만, 국내 순환경제를 구축할 물질순환 미래 핵심기술 개발 수준과 현황분석은 아직

미흡한 편으로, 국내외 물질순환 기술 개발연구 동향과 비교 분석 결과에 기반하여 중장기 관점에서 물질순환 미래 핵심기술 개발의 방향 설정과 전략을 마련할 필요가 있다.

한편, 최근 순환경제 및 ESG(환경, 사회, 지배구조; environmental, social and corporate governance) 투자와 관련한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 두 주제를 함께 분석하고 전략방향을 제시한 연구는 찾아보기 어려운 상황이다. 유럽 등 해외에서는 ESG가 투자의 중요한 기준으로 자리매김하였으며(유수현, 2021), 한국기업에 대한 투자에서 외국인 투자자들이 고려하는 유의미한 기준인 것으로 나타났다(곽배성·이재혁, 2021). 또한 국내 기업의 ESG 경영에 대한 관심이 높아져 ESG가 투자 기준 중 하나가 되어야 한다는 주장이 설득력을 얻고 있다. 순환경제는 ESG의 환경요소의 일부를 구성하나 다른 환경과제와도 밀접한 관련이 있어(EMF, 2020), ESG 투자 관점에서 순환경제 정책 및 전략을 고민할 필요가 있다(Schroder and Raes, 2021; UNEP Finance Initiative, 2020). 이러한 배경에서 본 과제는 순환경제 활성화 전략으로서 ESG(환경, 사회, 지배구조) 투자의 역할을 분석하고자 한다.

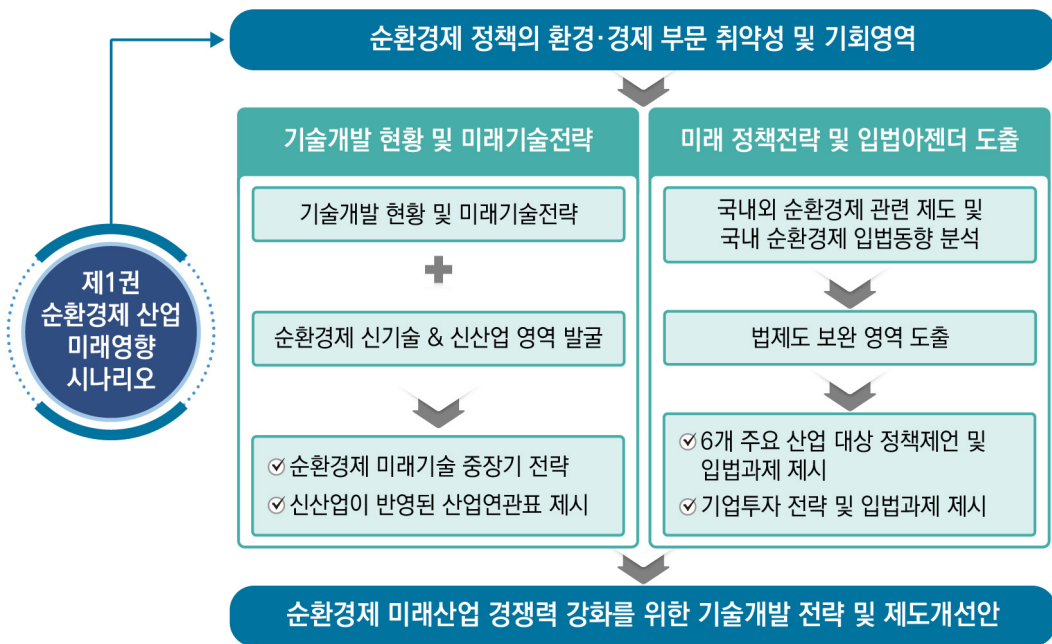
본 과제에서는 물질(원료 등) 자원의 사용과 오염물질 배출이 집중된 6개 주요 산업¹⁾의 순환경제 전환 관련 취약점과 기회영역 분석 결과에 기반하여 주요 산업별 순환경제 전환 촉진을 위한 전략과 녹색투자 전략을 큰 틀에서 도출하고, 이에 관한 입법과제를 제시하는 것을 목표로 한다. 또한, 물질 순환성 향상은 기술적 뒷받침이 필요한 영역으로서 국내 기술 개발현황을 분석하고 개선방안을 제시하고자 하였다. 이를 통하여 국가 미래산업 경쟁력 향상을 위한 정책과 제도 지원과 함께 물질순환 경제·기술 동향 분석과 미래전략 방향을 제시하였다. 이렇게 도출한 중장기 물질순환 미래 핵심기술 개발 전략과 투자전략은 산업계 자원확보와 순환경제 구축에 필요한 사회기반을 형성하여 안정적인 유가자원을 확보하고 자원효율성의 제고에 기여할 것으로 기대한다.

1) 본 연구의 제1권 순환경제 산업 중장기 시나리오와 미래영향의 <부록 1>과 <부록 2>에 6개 주요 산업에 포함된 세부 산업 정보 및 기본 분류 정보를 기술함.

제2절 연구 범위 및 전체 분석 틀

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

본 연구는 국가 미래산업의 경쟁력 강화를 위한 순환경제 기술 개발방향과 투자전략을 제시하는 것을 목표로 하였으며, 이를 위하여 국내외 순환경제 기술 개발현황과 산업현황을 조사하고 이와 관련된 제도적인 기반이 어떠한지 분석하였다. 전체 연구의 구조는 [그림 1-1]에서 확인할 수 있으며, 장별 구성은 아래와 같다.



[그림 1-1] 순환경제 미래산업 전략 연구 틀

제2장은 본 연구보고서 제1권에서 도출한 우리나라 순환경제 전환 과정에서 극복해야 할 취약요소와 기회요소에 관한 정책적인 시사점을 보여준다. 여기서 제시한 시사점은 제2권에서 순환경제 미래산업 경쟁력 강화를 위한 기술개발 전략 및 제도 개선안을 도출하는 데에 활용하였다.

제3장에서는 순환경제 기술혁신 전략을 도출하기 위하여 국내외 순환경제 기술 개발 현황을 분석한 결과를 요약하였다. 또한, 이에 기반하여 신기술 및 신산업영역을 발굴하고, 관련 미래산업 성장에 핵심적인 미래기술 개발 중장기 전략을 제시하였다. 신산업 영역 발굴에 따라 전체 산업구조의 개편이 불가피하므로 이를 반영한 산업연관표 수정안을 제시하였다.

제4장에서는 해외 순환경제 관련 제도 현황을 비교분석한 결과를 정리하고 시사점을 도출하였으며, 국내 순환경제 제도 현황과 비교하여 국내 제도에서 보완이 필요한 부분을 제시하였다. 이와 더불어 순환경제 관련 현행법과 현재 입법 준비단계에 있는 법률을 조사하여 우리나라 순환경제 전환 동력을 형성하는 데에 부족함이 없는지를 판단 기준으로 삼아 향후 보완이 필요한 영역을 도출하였다.

제5장에서는 순환경제 미래산업 성장에 핵심요소인 기업투자 전반에 관한 전략과 관련 입법과제를 함께 제시하였으며, 산업 부문별 경쟁력 강화를 위한 정책을 제안하였다. 여기서 산업 부문은 제1권에서 도출한 6개 주요 산업(코크스 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업(플라스틱 물질 제조 포함), 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업, 1차금속 제조업)을 대상으로 하였다.

제6장에서는 제2장에서 제시한 국내 순환경제 취약요소 및 기회요소와 제3~5장에서 제시한 기술개발 및 제도 개선 전략에 근거하여 도출한 순환경제 미래산업 경쟁력 강화를 위한 기술 개발전략 및 제도 개선안을 요약 정리하였다.

제3절 용어와 정의

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

본 연구에서 사용하는 주요 용어와 그 정의를 [표 1-1]에 정리하였다. 수식에 사용된 변수 및 지표는 여기서 제외하였다.

[표 1-1] 본 보고서에 사용한 전문용어의 정의

용어	정의
가스화 (gasification)	유기물을 수증기와 함께 고온으로 가열, 분해하여 가스를 생성하는 반응
가용매분해 (solvolysis)	용매와 (플라스틱) 물질 간의 화학반응을 통해 화학결합을 끊어 물질을 분해하는 반응
기계적재활용 (mechanical recycling)	폐플라스틱을 파쇄, 세척, 선별, 혼합 등의 물리적인 처리 과정을 통하여 재생 플라스틱을 생산하는 방법
녹색투자 (green investing)	환경적 편익이 발생하는 산업에의 투자
물질 발자국 (material footprint)	한 국가의 소비에 필요한 물질(바이오매스, 화석연료, 금속광물, 비금속광물) 추출 양
물질순환성 (material circularity)	총투입자원 중 순환자원량의 비율
물질흐름분석 (material flow analysis)	정의된 시스템에서 물질의 투입/배출/저장 양을 분석하는 방법
바이오매스 (biomass)	에너지 또는 화학연료 생산에 활용될 수 있는 생물자원
바이오플라스틱 (bioplastic)	바이오매스를 원료로 만들어지는 플라스틱
부가가치유발효과	재화, 서비스 최종 수요 발생이 전 산업에 직간접적으로 부가가치를 생성하는 효과
산업연관분석 (Input-output analysis)	산업연관표를 활용하여 국가 단위에서 재화, 서비스가 산업 간에 또는 최종 수요 간에 분배되는 내역을 분석하는 방법

용어	정의
산업연관표 (input-output table)	1년간 국가 내에서 발생하는 재화 및 서비스의 생산·처분에 관한 모든 거래를 나타낸 표
생물학적 재활용 (biological recycling)	효소 및 미생물을 이용하여 폐기물을 분해하거나 분해산물을 재생원료로 사용하는 과정
생산유발효과	재화, 서비스 최종 수요 발생이 전 산업의 생산량에 미치는 영향
수지 (plastic in primary forms)	플라스틱 고분자 일차제품
순환 공급망 (circular supply chain)	제품이 재활용 또는 재사용되는 데에 적합하도록 원료-생산-사용-폐기 과정이 유기적으로 연결된 공급망
에코디자인 (eco-design)	제품 생산-사용-폐기 전 과정에서 발생 가능한 환경 피해를 줄이고 내구성을 높이는 등 환경 친화 디자인
열분해 (pyrolysis)	산소가 없는 환경에서 고온으로 가열하여 화학결합을 끊어 물질을 분해하는 반응
용해 (dissolution)	용매에 (플라스틱) 물질을 녹이는 것
유가금속 (valuable metals)	자연에 존재하는 금속물질 중 높은 경제가치를 지닌 것: 귀금속, 희토류 금속, 제련 후 판매되는 금속을 포함함
자원생산성 (resource productivity)	단위 자원 투입으로 얻은 경제적 이득 (재화, 서비스의 양)
재생자원 (recycled material)	폐기물 재활용을 통해 생산과정에 재투입 되는 물질
재제조 (remanufacturing)	기존 제품 또는 부품을 분해→세척→검사→수리→조립하여 신제품과 유사한 성능을 내는 제품 생산방법
전과정평가 (life cycle assessment)	제품, 프로세스, 서비스의 전 주기에서 발생하는 환경영향 평가 방법
취업유발효과	재화, 서비스 최종 수요 발생이 전 산업의 취업자 수에 미치는 영향
탄소국경조정제도 (carbon border adjustment mechanism)	국가간 탄소가격의 차이에 해당하는 부분에 대해서 비용을 부과하는 제도
화학적재활용 (chemical recycling)	폐플라스틱을 화학적으로 분해하거나 녹여서 재생 원료를 생산하는 방법
ABS (acrylonitrile butadiene styrene)	스타이렌, 아크릴로타이트릴, 부타다이엔으로 이루어진 수지

용어	정의
BAU 시나리오 (Business As Usual scenario)	기준안 시나리오: 조정 없이 지금 현재 조건을 유지하는 경우 예상되는 시나리오
EVA (ethylene vinyl acetate)	에틸렌초산비닐
G7 (group of seven)	선진 7개국(캐나다, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 영국, 미국)
PC (polycarbonate)	폴리카보네이트
PE/LDPE/LLDPE/HDPE (Polyethylene/low-density PE/linear-low-density PE/high-density PE)	폴리에틸렌
PET (Polyethylene terephthalate)	폴리에틸렌테레프탈레이트
PLA (polylactide)	폴리락타이드
PM _{2.5}	초미세먼지: 입자 크기가 2.5 μm 이하인 먼지
PP (polypropylene)	폴리프로필렌
PS/EPS (polystyrene/expanded PS)	폴리스티렌(스티렌 수지)
PU (polyurethane)	폴리우레탄
PVC (polyvinyl chloride)	폴리염화비닐(염화비닐 수지)

제2장

잠재적 취약점 및 기회요소²⁾

제1절 산업계 순환경제 2050 시나리오

제2절 플라스틱 순환경제 2050 시나리오

제3절 기타 시사점

2) 본 장은 제1권 '순환경제 산업 중장기 시나리오와 미래영향'에서 Part 1과 Part 2의 소결내용을 편집하여 사용하였으며, 이후 기술 및 제도 전략 수립의 근거자료로 활용하고자 하였음

제 1절

산업계 순환경제 2050 시나리오

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

제1권, Part 1에서는 국내 순환경제 추진요인(취약영역 및 정책환경) 분석 결과에 기반하여 순환경제 전환 주요 산업군 6개를 도출하였고, 해당 산업군이 성공적으로 순환경제로 전환하는 데에 필요한 미래전략이 적용된 결과 전체 산업에 미치는 영향을 분석하였다. 이러한 영향을 분석하는 과정에서 아래와 같이 세 가지 2050 순환경제 전환 시나리오를 도출하였다.

1 순환경제 성과 모니터링 지표 기반 시나리오

순환경제 전환 수준을 예측하는 성과 모니터링 지표 중심의 시나리오는 6개 순환경제 전환 주요 산업군이 순환경제 전환 전략을 성공적으로 도입했을 때에 국내 순환경제 성과 지표(물질순환성, 자원생산성)가 도달할 수 있는 최대치를 알려주었다. 여기서 순환경제 성과 지표 최대치는 6개 주요 산업이 100% 순환경제로 전환하는 경우, 다시 말해 해당 산업에 새로 투입되는 천연자원이 없는 경우에 해당한다. 6개 주요 산업 이외의 산업은 BAU 시나리오의 2050년 물질순환성(14.8%)을 적용하여 국내 산업 생산에 소요되는 총 천연자원량과 재생원료량을 산정하였다. 그 결과, 최적 시나리오에서 국내 산업이 소비하는 재생자원 비율이 BAU의 2.2배로 증가하는 것으로 나타났다.

[표 2-1] 6대 주요 산업의 100% 순환경제 달성에 따른 국가 순환경제 지표의 변화

	물질순환성 (%)	자원생산성 (US\$ million/1,000 ton)
BAU	14.8	3.0
최적 시나리오 (6개 주요 산업의 100% 순환경제 전환)	33.1	6.5

여기에 2050년 국내총생산(GDP) 추정치를 적용하여 2050년 자원생산성을 산정하였으며, 저성장이 지속된다는 가정하에 물질순환성 증가와 유사한 비율로 자원생산성 또한 증가함을 확인하였다. 이러한 저성장 가정은 보수적인 조건으로, 이후 실시한 산업영향 시나리오 분석결과 확인된 생산유발효과(BAU 대비 최대 31% 증가)를 반영하는 경우 자원생산성은 BAU 대비 2.8배 가량까지 증가 가능하다.

2 순환경제 산업 전략 시나리오

순환경제 산업 전략 시나리오는 상기 성과 모니터링 지표 기반 시나리오에서 최적 시나리오를 가능하게 만드는 미래전략으로 구성하였다. 여기서 미래전략은 학술 문헌에 존재하는 다양한 산업계 순환경제 전략 중에 전문가 설문조사를 통하여 6개 주요 산업군 전체와 개별 산업에 적용할 전략으로 우선순위가 높은 것을 도출하였다. 이들 전략이 어떻게 조합되는지에 따라 [표 2-2]와 같이 6가지 전략 시나리오를 구성하였다.

[표 2-2] 순환경제 산업계 2050 전략 시나리오 프레임워크

시나리오 이름	전략 그룹1 (직접 순환 전략)			전략그룹 2 (혁신 전략)		주요 대상 산업 (본연구 내 산업분류)	관련 순환산업
	순환 공급망	재생원료 사용	상품 재제조	기술혁신	녹색투자		
BAU						-	-
물질 재사용	●	●				코크스 및 석유정제품 제조업(OIL), 화학물질 및 화학제품 제조업(CHE), 1차금속제조업(NFM)	순환공급 (CRM) 원료재생 (CEN)
물질 재사용 혁신	●	●		●	●		
부품 재사용	●		●			컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업(ECT), 전기장비 제조업(ELM), 운송장비 제조업(AUT)	순환공급 (CRM) 재제조 (CMA)
부품 재사용 혁신	●		●	●	●		
지속가능한 순환시스템	●	●	●	●	●	위의 6개 전략 산업 전부	위의 순환산업 전부

3 순환경제 산업 영향 시나리오

위에서 구성한 순환경제 산업 전략 시나리오 미래전략 시나리오를 6개 순환경제 전환 주요 산업군에 적용한 결과 우리나라의 전체 산업에 어떠한 변화가 기대되는지를 ① 생산 유발효과, ② 부가가치 유발효과, ③ 일자리 창출효과 중심으로 분석하였다. 여기서 6개 주요 산업군에 투입되는 순환산업이 『K-순환경제 이행계획』의 연도별 목표에 비례하여 성장할 것으로 가정하여 2050년도 산업연관표를 재조정하였기 때문에 6개 주요 산업군에 미치는 영향이 가장 두드러질 수 밖에 없으며, 본 연구에서는 이러한 주요 산업의 변화가 연관산업에 미치는 영향을 중요하게 다루었다.

분석 대상 시나리오로서는 [표 2-2]의 1) 물질 재사용, 2) 물질 재사용 혁신, 3) 부품 재사용, 그리고 4) 부품 재사용 혁신, 5) 지속가능한 순환시스템을 고려하였으며 BAU 수준과 비교하였다. 더불어, 순환경제 이행을 위한 전략적 산업을 코크스 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업, 1차금속 제조업, 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업 산업으로 설정하여 해당 산업에 대한 정책적 충격을 가함으로써 그에 따른 영향을 분석하였다.

분석을 통해, 6개 전략적 산업(OIL, CHE, NFM, ECT, ELM, AUT)에서 물질(원료) 재사용 확대, 부품 재사용/재제조 확대, 관련 R&D 확대를 통한 전략 이행을 중장기적으로 이행하여 2050년에 자원순환성 목표를 달성하는 경우, 경제체제 내 산업들의 직·간접적인 생산 유발효과를 증대함으로써 경제체제 내 성장 잠재력을 보다 확대할 수 있음을 이해할 수 있었다. 특히, 순환경제로의 전환은 혁신과 경제성장, 일자리 창출의 기회이며 순환경제를 통한 우리나라 경제체제 차원의 경제적 효과는 2050년까지 생산 유발효과 측면에서는 약 482조원, 부가가치 유발효과 측면에서는 약 292조원, 그리고 취업 유발효과 측면에서는 약 411만 개 일자리 창출효과를 견인할 것이라는 전망 결과를 도출하였다. 이를 바탕으로, 2050년 지속가능한 순환경제 시스템으로 효과적으로 전환하기 위해서는 통합적인 관점으로 산업별 전략을 이행할 필요가 있다. 이로써 순환경제로 이행하는 것이 단순히 환경오염 및 자원고갈 문제에 대한 대응을 넘어, 경제의 성장 잠재력을 확대하고 일자리 창출효과를 확대 견인하는 성장동력으로서 잠재성을 지니고 있음을 이해할 수 있었다.

더불어, 분석 결과를 바탕으로 하여, 2050년 순환경제로의 효과적 전환을 도모하기 위한 정책과제들을 아래와 같이 도출하였다. 우선, 순환공급망 안정화를 위해 다양한 형태로 전략적 접근을 시도할 필요가 있다. 앞선 분석 결과에서도 확인할 수 있듯이, 순환경제 산업(CRM, CEN, CMA 산업)의 생산유발계수를 비교해보면, 순환공급망 관리와 관련한 폐기물 및 폐자원 관리 산업(CRM)의 생산유발계수가 CEN, CMA 대비 상대적으로 높은 수준으로 나타남을 확인할 수 있다. 이는 해당 CRM 산업이 순환경제로의 전환에 따른 파급효과 형성에서 중추적인 역할을 할 수 있음을 시사한다. 더불어, CRM, CEN, CMA 산업의 생산유발계수가 산업별로 어떻게 분포하고 형성되는지 살펴보면, CRM, CEN, CMA 산업 간 연관관계가 매우 높은 수준임을 확인할 수 있다. 이처럼 순환경제 관련 산업 간 연계성을 보다 강화하고, 순환 공급망 안정화를 도모하기 위한 다양한 노력을 전개할 필요가 있다.

특히 코로나19와 러시아-우크라이나 전쟁 등 국제정세 변화에 따라 자원, 물질, 중간재 등의 공급이 어려워진 상황에서, 특정국가에 대한 물자 및 자원의존율을 낮추고, 순환 공급망을 안정화하기 위해 노력할 필요가 있다. 폐기물 및 폐자원 관리 산업 내 다양한 공급자들이 시장에 진입하도록 정부가 민관 협력관계를 바탕으로 전략적 비즈니스 모델을 개발 및 제시함으로써 잠재적 공급자의 시장유입과 시장 활성화를 도모해야 한다. 따라서 순환경제 활성화를 위하여 폐기물 및 재활용 자원의 공급 안정이 선제적으로 이루어져야 한다는 인식에 따라 해당 자원 공급자의 수익구조를 재설계할 필요가 있다. 특히 재생 원자재의 가격과 공급량 등이 불안정하면 수요측도 조달 계획을 세우지 못하여 적절한 재생 원자재 시장이 구축되지 않는 악순환이 발생할 수 있다. 이에, 재생 원자재의 가격 보조, 세제 우대, 또는 조달 기준 수립 등의 순환경제를 진행하는데 필요한 비용을 사회 전체가 부담하도록 논리의 정리 및 수익 구조와 비즈니스 모델 재설계 지원 등을 이뤄낼 필요가 있다. 이를 바탕으로 정부가 관련 이해관계자들 간 협의채널을 확보하여 효율적 자원/폐기물 회수 계획을 구축하고, 협력 파트너를 확보하며, 재활용 기술(유해물질, 복합재료, 혼합물)의 개발과 재생 원자재 품질 향상, 설계 및 회수·선별과 조합한 재활용 고도화 등을 이루어야 한다.

그리고, 분석을 통해 CRM, CEN, CMA 산업의 폐기물 및 폐자원 관리, 폐기물 에너지화 및 재활용 재제조 등의 과정에서 관련 제조업(MAC, AUT, NFM, OMA, MIN)에서

생산된 중간재 및 자원의 재배치와 재사용을 촉진함을 알 수 있었다. 따라서 해당 산업군에서 폐자원 발생부터 처리와 자원화 및 재활용 등 전체적인 관리체계 혁신을 더욱 추진할 필요가 있다. 해당 산업군을 중심으로 환경친화적 설계와 재활용 기술 및 재생 원자재 활용 확대 등이 이루어져야 한다. 특히, 더불어 전 산업군에서 석유정제 및 광업 부문에 대한 투입계수가 점진적으로 감소하도록 고품질 저 환경부담의 소재 및 자원(원료)의 생산체계를 마련하는 등 기술혁신을 추진할 필요가 있다. 이러한 차원에서, 화석연료 기반의 원료 및 중간재가 아닌 바이오 연료 등 차세대 자원(원료)의 사용을 장려하는 정책 등 재생원료의 확대를 위한 지원이 순환경제 구축에 필수적인 요소임을 인지해야 한다. 이를 바탕으로 산업 전반의 친환경적 제품 설계와 재생원료 시장 구축, 재생원료의 사용 기준 정립, 재생원료 기반 제품의 재자원화 등을 촉진해 나가야 할 것이다.

또한 분석 결과는 순환경제에 따른 경제적 가치 창출 확대를 위해서는 경제체제 내에 폐기물 에너지화, 재생용 가공원료 및 재활용제품 제조, 폐기물 폐자원 관리를 전제로 하는 제품 개발과 회수·선별·재활용 기술의 고도화 등을 포함한 저비용·고수준 자원순환을 뒷받침하는 R&D 투자 확대가 중장기적으로 이행될 필요가 있음을 시사하였다. 해당 분석 결과에 따르면 특정 국가에 대한 물자나 자원의 의존율을 낮추고 보다 강한(resilient) 순환경제 시스템을 구축함과 동시에, 우리나라의 순환경제 관련 기술·제도·시스템의 경쟁력을 강화하고, 중장기적으로 산업 전반의 순환경제 관련 기술혁신을 촉진하기 위한 다양한 정책대안들이 마련해야 한다. 글로벌 시장에서 우리나라 순환경제 시스템의 경쟁력을 향상하고, 중장기적으로 지속가능한 발전(성장) 목표를 실현할 기반을 다져야 하는 것이다.

다만 순환경제로의 전환을 진행할수록 R&D 산업에서 지분집약화와 생산성이 향상하지만 부가가치 유발효과는 다소 약화할 수 있음을 분석을 통해 확인하였다. 따라서 중장기적으로 순환경제로의 전환 과정에서 관련 기술혁신 활동을 촉진하고 관련 R&D 산업의 생산성을 증대하는 동시에 부가가치 창출 잠재력 확대를 위한 기술 사업화 및 상용화 전략을 고민할 필요가 있다. 순환경제 관련 R&D 효과성 제고를 위해, 이를 위한 정책대안을 수립해야 한다. 관련 신기술이 보급되더라도 재생원료의 폭넓은 사용을 도모하려면, 재생원료의 사용으로 인한 비용의 증가를 누가 부담할 것인지가 중요한 과제로 남아있다. 일본은 재생원료 사용 제품의 공공 조달을 통해 국가적 수요를 마련하고, 기

업 간 연계를 활성화하여 재생원료 제품의 생산 과정에서 규모의 경제를 구축하는 등 비즈니스 관점으로 접근하고 있다. 특히 혁신기술을 효과적으로 사업화하려면 안정적인 수요가 필수적이기에, 재생원료 제품의 공공 조달을 통해 도전적인 순환경제 관련 기술을 장려하는 방안이 효과적일 것이다. 특히 공공 조달로 국내 재활용 산업을 육성하는 방안은 산업 경쟁력을 강화할 뿐만 아니라 국가 간 자원이동 과정에서의 환경 부하도 줄일 수 있어 환경 측면에서도 더욱 바람직한 정책이 될 수 있다.

또한 소비자 관점의 순환경제 정책을 폭넓게 입안해야 한다. 일본 경제산업성은 일본 기업이 순환경제를 실현하는 과정에서 마주할 과제를 도출하는 과정에서 소비자 관점을 매우 강조한 바 있다(Forbes Japan, 2022). 기업이 직접 나서서 재활용이나 친환경 소재 등에 대한 소비자 인식을 고취하는 데에는 한계가 있으며, 순환경제의 성과를 나타내기 위한 가시적인 지표 등을 작성하기 위해서는 여러 업계를 아우르며 정보의 비대칭성을 해결해야 하기에 정부의 주도적인 역할이 더욱 중요하다. 순환경제의 여러 이해관계자 중에서도 소비자의 인식과 소비 패턴은 기업의 순환경제 참여에 직접적인 인센티브를 제공하기에 탄소발자국을 산정하여 가시화하고 환경친화적으로 설계된 제품에 대한 인증마크 등, 소비자의 인식을 제고하기 위한 정부의 노력이 필요하다. 한국 역시 2022년 9월 30일에 열린 비상경제장관회의에서 국내 기업의 탄소중립 대응을 위한 탄소배출 측정 및 보고를 위한 기초 인프라를 구축하고, 탄소발자국 산정을 위한 기초정보 DB 및 제품별 산정 표준의 확충을 공표하였다. 이에서 더욱 나아가 이 결과를 소비자들이 손쉽게 접할 수 있게 제공하는 방안도 고려되어야 할 것이다.

4 국내 산업계의 취약영역

- **국가 산업구조 전환 과정이 산업경쟁력에 미치는 영향:** 본 연구에서 온실가스 배출량, 자원해외의존도, 대기오염물질 배출량 측면에서 우리나라의 취약성을 높이는 산업을 순환경제 전환 6개 주요 산업³⁾에 포함하였다. 이들 산업의 2015년 시장점유율 합은 31.1%로 국가 경제에 중요한 부분을 차지한다. 순환

3) 코크스 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업, 1차금속 제조업, 컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업

경제로의 전환은 기존의 생산 방식에서 재생원료 사용률과 재사용 부품 이용률을 높이는 등의 방식으로 전환을 의미하며, 이 과정에서 기술 및 시설 투자 등으로 인한 생산원가 상승이 불가피하다. 이에 따라 단기적으로 해당 산업의 불안정성을 높이고 산업경쟁력에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 이러한 잠재적 취약성을 극복하기 위하여 주요 산업을 대상으로 순환경제 전환을 촉진할 재정적 지원 및 투자 활성화 방안을 마련할 필요가 있다.

- **6대 주요산업의 순환경제 전환에 따른 마이너스 성장 산업:** 재제조 전략을 적용하는 경우 ECT(컴퓨터·전자 및 광학기기) 산업의 생산 유발액이 BAU 대비 다소 감소하는 것으로 나타난다. 해당 산업에서 부품 재제조 및 순환공급망 관리 등 형태로 순환경제로의 이행이 촉진됨에 따라, ECT 산업 자체적으로 조달하는 중간재 투입량이 대폭 감소하여 해당 ECT 산업 중간재에 대한 수요가 크게 줄었기 때문으로 해석할 수 있다. 이는 순환경제로 이행하는 과정에서 기존 부품과 원료가 대체되는 과정에서 발생하는 잠재적 손실 효과를 완화하기 위한 다양한 지원 체계를 마련해야 할 필요성을 시사한다.
- **6대 주요산업의 순환경제 전환에 따른 부가가치 및 일자리 감소 산업:** 순환경제로의 전환이 진행될수록, R&D 산업의 지분 집약화와 생산성 향상에 따라 부가가치 유발효과가 다소 약화할 수 있다. 이에, 중장기적으로 순환경제로 전환하는 과정에서 관련 기술혁신 활동을 촉진함과 동시에, 관련 R&D 산업의 생산성 증대 및 부가가치 창출 잠재력 확대를 위한 정책적 대안 마련을 고민할 필요가 있다.

5 국내 산업계의 기회영역

- **6개 주요 산업의 순환경제 전환의 물질순환성 향상 효과:** 본 연구에서 온실가스 배출량, 자원 해외의존도, 대기오염물질 배출량, 기존 정책영역을 기준으로 도출한 6개 주요 산업은 물질순환성과 자원생산성에 미치는 영향 또한 큰 것으로 분석되었다. 국가 순환경제 지표기반 시나리오에서 주요 산업의 순환성이 극대화되면 물질순환성과 자원생산성이 저성장 조건 하에서도 BAU 대비 최대 2.2 배로 증가할 수 있었다.

- **6대 주요산업의 순환경제 전환에 따른 국가경제 성장 효과:** 지속가능한 순환 경제 시스템으로의 전환 시나리오를 적용하는 경우, 우리나라는 2050년까지 생산 유발효과 측면에서는 약 482조원, 부가가치 유발효과 측면에서는 약 292조원, 취업 유발효과 측면에서는 약 411만 개 일자리 창출 효과를 견인할 것으로 전망하였다. 특히 금속제품/기계/장비(MAC), 운송장비(AUT) 철강 및 1차금속(NFM), 기타 제조업(OMA), 석유정제(OIL), 광업(MIN) 산업을 포함한 제조업 부문과 운수(TRN), 서비스(SER) 산업을 포함한 서비스 부문의 생산유발효과가 두드러지게 확대됨을 확인하였다.
- **순환경제 R&D 강화를 통한 경제효과 극대화:** 순환경제 이행을 위한 전략 산업 별 기술혁신을 위한 R&D가 확대될 때 생산 유발효과, 부가가치 유발효과가 더욱 증대됨을 확인할 수 있다. 이 같은 규모효과 증대는 경제체제 내 취업 유발 효과를 더욱 증대시키는 것으로 확인되었다.

제2절 플라스틱 순환경제 2050 시나리오

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

Part 2에서는 국내 플라스틱 순환경제 현황을 분석하고 현재 개발 중인 플라스틱 재활용 기술이 널리 상용화될 때 환경에 미칠 수 있는 영향을 분석하였다. 또한 플라스틱 전주기 무역현황을 분석하고 생산 및 무역 관련 국제적인 정책 여건변화에 따른 잠재적 무역 영향을 도출하였다. 이러한 미래영향 분석 결과에 기반하여 플라스틱 순환경제 전환 과정을 방해할 수 있는 잠재적 취약점 및 기대되는 기회요소를 발굴하였으며, 본 내용은 제2권에서 중장기 국가전략을 도출하는 데에 근거 자료로 활용하고자 하였다.

1 순환경제 성과 모니터링 지표 기반 시나리오

플라스틱 순환경제 전환 수준을 예측하는 성과 모니터링 지표 중심의 시나리오는 Part 1에서 거시경제 지표를 활용하던 방식과는 달리 플라스틱 전과정의 물질흐름 분석 결과에 기반하여 도출하였다.

[표 2-3] 국내 플라스틱 수지 생산량, 수요량, 재활용(가능)량

플라스틱 생산량 (단위: 천톤)	국내 수요량 (단위: 천톤)	재생자원 생산 최대 수율 (%)	현재 기술 기준 최대 재생자원량 (천톤, %)	2050 목표 재생자원량 (천톤, %)
17,143	8,416	77% (기계적 전처리 후 용해, PET, PP, PE, PS)	4,945 (59%)	6,836 (81%)

* 『2022 석유화학편람』의 2019년 통계자료 참조.

* 최대 재생자원량은 국내 수요량에 기반하여 산정하였으며, 전처리를 거친 화학적 재활용 양만 해당함.

* 2050 목표 재생자원량은 『K-순환경제 이행계획』의 2050년 순환이용률 목표 기준 95%, 전처리 수율 85.5%, 전처리 이후 처리공정 수율 100% 적용

K-순환경제 이행계획 상의 플라스틱 부문 현재(2021년 기준) 순환이용률과 2050년 순환이용률 목표를 각각 BAU 및 최적시나리오 수준으로 설정하고, 본 연구에서 현재 적용 가능한 재생자원 생산 기술의 최대 수준을 중간 단계인 전환 시나리오로 설정하는 경우 달성 가능한 순환이용률과 재생자원 전환률을 [표 2-4]에 정리하였다. 계산 결과 BAU, 전환 시나리오, 최적 시나리오에서 각각 최대 48%, 59%, 81%의 폐플라스틱이 원료로 재투입되거나 재사용 가능한 것으로 나타났다. 제2장에서는 최적 시나리오를 6대 순환경제 전환 전략 산업의 물질순환성([표 2-4]에서 재생자원 전환률에 해당함)이 100%에 도달하는 경우로 단순화하여 적용하였던 것과 달리 플라스틱 순환경제 시나리오 분석에는 순환성 향상에 적용 가능한 기술정보 등 산업활동을 구성하는 구체적인 정보를 활용하여 최적 시나리오 수준을 수정할 수 있었다.

[표 2-4] 시나리오별 국내 발생 폐플라스틱 순환이용률 및 재생자원 전환률

시나리오 구분	순환이용률 (폐플라스틱 발생량 중 재생원료 생산에 투입된 양)	재생자원 전환률* (폐플라스틱 발생량 중 재생원료로 전환된 양)
K-순환경제 이행계획 2021 수준 (BAU)	56%	48%
현재 기술 기준 최대 수준 (전환 시나리오)	76%	59%
K-순환경제 이행계획 2050 목표 (최적 시나리오)	95%	81%

※ 모든 시나리오에서 재생원료 생산에 투입된 폐플라스틱에 현재 기준 전처리 수율 85.5%를 적용하였으며, 전처리 이후 공정의 전환률의 경우 BAU와 전환시나리오는 현재 기술 최대 수준(90%)의 전환률을 적용하고 최적시나리오는 100% 전환률을 적용함.

※ 전환 시나리오의 순환이용률은 [표 6-12]에서 '현재 기술 기준 최대 재생자원량'이 존재하는 수지의 국내수요량이 전체 국내수요량에서 차지하는 비율로 산정함.

2 플라스틱 순환경제 전략 시나리오

본 연구에서 선정한 6개 순환경제 전환 산업 중 플라스틱 생산 및 폐플라스틱 재활용에 관한 산업은 코크스 및 석유정제품과 화학물질 및 화학제품 제조업이며, 이들 산업에 적용되는 시나리오는 BAU, ‘물질 재사용 시나리오’와 ‘물질 재사용 혁신 시나리오’이다. 물질 재사용 또는 물질 재사용 혁신 시나리오는 플라스틱 재활용 공정을 통하여 재생원료를 생산하여 다시 생산활동에 투입되는 시나리오이며, BAU는 분석 목적에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 폐플라스틱 처리 방법에 따라 시나리오를 구분하는 경우 BAU는 기존의 처리방식 중 매립, 소각, 재활용(기계적 재활용을 통하여 저품질 플라스틱 생산)에 해당하며, 둘째, 플라스틱 재활용 결과물에 따라 시나리오를 구분하는 경우 BAU는 플라스틱 재활용을 통해 생산된 재생원료(화학물질)를 기존 상용 공정을 통하여 생산하는 시나리오에 해당한다. 본 연구는 두 번째 구분 방식을 적용하여 현재 기술 수준을 반영한 물질 재사용 시나리오를 중심으로 환경영향을 분석하였으며, 첫 번째 구분 방식에 따른 시나리오 간의 비교 또한 일부 수행하였다.

[표 2-5] 플라스틱 순환경제 전략 시나리오

시나리오 이름	전략 그룹1 (직접 순환 전략)			전략그룹2 (혁신 전략)		주요 전환 대상 산업	관련 순환산업
	순환 공급망	재생원료 사용	상품 재제조	기술혁신	녹색투자		
BAU						-	-
물질 재사용 (전환시나리오)	●	●				코크스 및 석유정제품 제조업(OIL), 화학물질 및 화학제품 제조업(CHE)	순환공급 (CRM) 원료재생 (CEN)
물질 재사용 혁신 (최적 시나리오)	●	●		●	●		

3 플라스틱 순환경제 미래환경영향 시나리오

플라스틱의 화학적 재활용 기술 적용에 따른 16가지 환경영향⁴⁾은 사용하는 원료, 전력량 등에 따라 기술별로 편차가 크며, 플라스틱 재활용을 통하여 생산되는 제품과 동일한 종류와 양을 기존의 상용 공정을 사용하여 생산하는 경우 발생하는 환경영향과 비교한 결과 플라스틱 재활용에 의한 환경편익을 결정하는 매우 중요한 요소가 존재함을 알 수 있었다. (1) 가스화, 열분해, 용해, 가용매분해 공정(제품 시스템) 환경영향에는 기계적 재활용 공정(비교 시스템)의 환경영향 값이 절대적으로 높은 비중(예: PET 가스화에 따른 온실가스 배출량 전체의 88%가 화학적 재활용 공정 이전의 기계적 재활용 공정에서 발생함)을 차지하며, (2) 화학적 재활용 공정수율에 따라 플라스틱 재활용의 환경영향은 기존의 전통적인 생산방식에서 비롯하는 환경영향보다 오히려 클 수 있다. 따라서 플라스틱 재활용을 통하여 환경적인 편익이 증가하려면 우선적으로 화학적 재활용의 원료 생산에 필요한 ‘분류 → 과립화 과정’의 효율성을 높이고 재활용 공정 수율을 높이는 기술 혁신이 필요하다.

한편, 플라스틱이 재활용되지 않는 경우 발생된 플라스틱 폐기물은 주로 매립 또는 소각 방식으로 처리되게 되며, 플라스틱 폐기물의 처리방식(매립 vs 소각 vs 물질 재활용) 간의 환경영향을 비교한 결과 환경영향의 종류에 따라 제품 시스템 적용에 의한 편익이 발생하기도 하였다.

본 연구(보고서 제1권)에서 도출한 순환경제 전환동력 관련 지표 중 취약영역에 해당하는 PM_{2.5}, 온실가스배출량, 자원해외의존도와 밀접하게 연결되어있는 환경영향을 분석한 결과를 아래에 요약하였다.

가. 온실가스 배출영향

폐플라스틱 분리·선별에서부터 상용 화학제품 생산공정 시스템 전체에서 발생하는 온실가스 배출량을 동일 상용 화학제품을 같은 양 생산하는 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출량과 비교한 결과 가스화, 열분해(PS 단량체 생산), 용해, 가용매분해 공정을 사용하는 경우 상용공정을 적용하는 경우에 비해 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있었

4) ILCD Midpoint ver 1.11 방법론을 사용하여 기후변화를 포함한 총 16개 영향범주에 대하여 분석

다. 한편, 화학적 재활용 공정만의 기후변화 영향을 확인하기 위하여 폐플라스틱 전처리(선별·분리, 과립화 등)에서 오는 환경영향을 제외하는 경우 공정수율(27.4%)이 매우 낮은 열분해(PE 또는 PP 단량체 생산)를 제외한 모든 플라스틱 재활용 공정에서 온실가스 배출량 저감 효과를 볼 수 있었다. 더 나아가 플라스틱 재활용을 통하여 소각처리를 회피하는 효과를 반영하는 경우 모든 재활용 공정에서 온실가스 배출 감축 효과(소각처리 대비 45%~75%)를 기대할 수 있었다.

나. 천연자원 고갈영향

플라스틱 재활용 전 과정은 분리·선별 및 화학적 생산공정으로 여러 단계를 거치면서 폐플라스틱을 포함한 원료와 에너지 투입이 신규물질 생성 공정에 비하여 전반적으로 천연자원 고갈 영향을 높이는 것으로 나타났다. 그러나 폐플라스틱 전처리(선별·분리, 과립화 등)에서 오는 환경영향을 제외한 경우 기계적 재활용 방법을 제외한 모든 화학적 재활용 공정으로 인한 천연자원 고갈 영향은 기존 상용 공정 적용시 발생하는 환경영향의 0.02%~18%에 불과한 수준인 것으로 나타났다. 천연자원 고갈 영향 또한 온실가스 배출 영향에서도 나타난 바와 같이 공정수율이 낮은 열분해를 통한 PE, PP 단량체 생산 공정에서 상대적으로 환경 편익이 낮아 플라스틱 재활용을 통한 환경 편익 극대화를 위해서 수율 및 공정효율 개선에 필요한 기술 개발이 요구된다.

다. 대기오염 영향

플라스틱 재활용 공정 전과정에서 발생하는 미세먼지 양이 보여주는 패턴은 온실가스 배출량에서 보여주었던 것과 유사하게 나타났다. 가스화, 열분해(PS 단량체 생산), 용해 공정을 사용하는 경우 상용공정을 적용하는 경우에 비해 미세먼지 발생량 감축 효과를 기대할 수 있었다. 한편, 폐플라스틱 전처리(선별·분리, 과립화 등)에서 오는 환경영향을 제외하는 경우 플라스틱 재활용 공정으로 인한 미세먼지 발생 영향은 기존 상용 공정 적용시 발생하는 환경영향의 0.08%~48%에 불과한 수준인 것으로 나타났다. 플은실가스 배출영향과 천연자원 고갈영향과 마찬가지로 공정수율이 낮은 플라스틱 재활용 공정의 미세먼지 발생 영향을 최소화하기 위해서는 수율 및 공정효율 개선을 위한 기술 개발이 요구된다.

4 국내 플라스틱 순환경제 취약영역

- **재생원료 생산 수율:** 『K-순환경제 이행계획』의 2050년 플라스틱 순환이용률 목표치는 95%이며, 이는 선별 및 재활용 단계에 해당한다고 가정⁵⁾하였을 때에, 전처리 공정 수율인 85.5%을 적용하여 실질적으로 재활용되는 양으로 환산하면 81% 수준이다. 현재 기술 수준으로 달성가능한 최대 재생자원량에 해당하는 59%와 2050 목표 수준(81%) 간의 차이(22%)를 메꾸기 위해 순환이용에 방해가 되는 플라스틱 수지를 순환이용에 용이한 물질로 대체하는 기술개발과 화학적 재활용 수율 향상이 필요하다.
- **폐플라스틱 전처리(분류 과립화) 효율 및 공정의 친환경성:** 폐플라스틱을 화학적 재활용 공정을 통하여 재생원료를 생산하는 경우 발생하는 환경영향에 전처리 공정이 미치는 영향이 절대적이므로 해당 공정의 효율 개선과 함께 친환경적인 전처리 공정을 도입할 필요가 있다. 분류, 파쇄 등의 과정의 효율성 향상을 위하여 제품 디자인 단계부터 친환경성을 고려하는 에코디자인 도입이 중요하며, 물질 선별 단계의 효율성 향상을 위한 기술 혁신이 필요하다.
- **폐플라스틱 매립 또는 소각 처리 대비 재생원료 생산 과정에서 증가하는 환경영향:** 폐플라스틱을 재생원료 생산에 이용하는 것을 일종의 폐기물 처리 방법으로 구분하는 경우, 즉 BAU를 매립 또는 소각 처리로 설정하는 경우, 플라스틱 재활용 과정에서 발생하는 환경영향은 매립 또는 소각 방법으로 처리하는 경우에 발생하는 환경영향보다 클 수 있다. 매립 처리 방법과 비교하였을 때 인간 독성과 담수환경 독성 이외의 항목에서 상대적으로 부정적인 영향이 컸으며, 소각 처리 방법과 비교하는 경우 온실가스 배출량 이외의 항목에서 상대적으로 부정적인 영향이 컸다. 그러나 이는 재생원료 생산으로 회피되는 환경영향을 고려하지 않은 해석으로, 종합적인 환경영향 평가를 위해서는 폐기물처리 시스템을 확장하여 신규물질 생산 시스템을 포함하여 해석할 필요가 있다.
- **탄소국경 조정제도 도입에 따른 플라스틱 원료, 플라스틱 수지 무역 여건 악화:** 우리나라는 플라스틱 전과정에서 원료와 플라스틱 수지의 수출 비중이 매우 높고, 첨가물, 중간물질, 중간재, 최종재, 폐기물의 비중은 상대적으로 낮다. 원료,

5) 『K-순환경제 이행계획』에 순환이용률 정의 및 기준 미제시

첨가물, 플라스틱 수지는 탄소국경 조정제도 적용 대상 품목이 88~95%에 달해 해당 제도를 적용하는 국가로의 수출 여건이 악화될 수 있다.

5 국내 플라스틱 순환경제 기회영역

- **재생원료 생산으로 회피 가능한 환경영향:** 폐플라스틱을 재생원료 생산공정으로 구분하는 경우, 즉 BAU를 상용공정을 통한 화학물질(재생원료와 동일 물질) 생산으로 설정하는 경우, 재생원료 생산 과정에서 환경영향이 발생하는 반면 기존 상용공정에서 발생하는 환경영향을 회피하는 효과도 존재한다. 또한, 폐플라스틱을 재활용함으로써 매립 또는 소각 처리 시에 발생하는 환경영향 또한 회피 가능하다. 이렇게 회피 가능한 환경영향을 고려하여 전과정 평가 결과를 해석하면 대다수의 재생원료 생산 공정은 온실가스 배출, 천연자원 고갈, 대기오염물질 배출 등에서 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났으며, 공정효율이 향상되면 환경편익이 더욱 증가할 수 있을 것으로 기대된다.
- **탄소국경조정제도 도입에 따른 재생 플라스틱 원료 생산 촉진:** 탄소국경조정제도 도입에 따른 잠재적인 무역장벽 형성은 반대로 국내에서 순환경제를 통한 재생원료 생산을 촉진하는 방향으로 작용할 수 있다. 유럽연합이 탄소중립과 순환경제 활성화를 위해 플라스틱에 주목하고 있으며, 플라스틱 포장재의 일정 비율 이상을 재생원료를 사용하여 생산하도록 규제하는 등의 정책 동향을 참고할 필요가 있다. 탄소중립과 순환경제 활성화를 동시에 추구하는 규제가 수입품에도 적용될 가능성이 크다는 점에서 순환경제 개념에 기반한 기술개발은 효용성이 더욱 높아질 것으로 기대된다.

제3절 기타 시사점

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 물질흐름 분석 결과 시사점

국가 단위 물질흐름 분석 결과를 종합해보면, 한국의 국가 자원생산성은 지난 50년간 빠르게 증가하여 2019년 전 세계적으로도 상당히 높은 자원생산성을 달성하였다. 이는 OECD 평균에 근접하나 유럽, 미국에 비해서는 낮은 수준이다.

한국의 자원 소비는 수입에 의존하는 경향이 크며, 특히 화석연료와 금속광물은 거의 전량 수입하는 실정이다. 국내에서 자체적으로 채굴되어 소비되는 자원은 대부분 건설용 골재와 석회석을 포함한 비금속광물, 목초지 바이오매스를 포함한 바이오매스이다. 자원 안보 측면에서 특히 금속광물에 대한 순환경제가 필요하며, 순환성을 높이기 어려운 화석연료 소비를 줄이기 위해서는 이를 연료로 사용하는 에너지 부문의 전환과 원료로서의 화석연료 소비를 줄이기 위한 대체기술 개발, 산업의 탈탄소 전환이 필요하다.

생산 및 소비로부터 발생한 폐기물 중 상당량이 재활용 시설로 반입되나, 실질적으로 최종 재활용되는 폐기물 비율은 낮은 것으로 보이며, 산업으로 투입되는 재생자원의 양을 정확히 파악하려면 통계의 보완이 필요하다. 본 연구에서 제시한 한국의 사회경제대사는 물질흐름의 구분이나 자원의 종류가 단순하여 구체적인 순환경제 전략을 도출하기에는 한계가 있다. 따라서 각 경제 부문에서 구체적인 고해상도 데이터를 활용하여 물질흐름 및 순환성을 진단할 필요가 있다. 다양한 산업 소재의 물질흐름 분석에 필요한 통계자료가 부처별로 파편화되어 관리되는 현 상황에서는 산업부문별 물질순환성 향상 전략에 필수적인 근거 통계 데이터를 구축하기 어렵다. 따라서 향후 산업계 순환경제 전략 수립 및 성과 모니터링에 활용할 수 있도록 범부처 물질흐름 데이터베이스를 구축할 필요가 있다.

플라스틱 전과정 물질흐름 분석 결과, 2017년 1인당 연간 135kg의 플라스틱을 소비하는 것으로 나타났다. 이는 전 세계적으로도 최상위 수준의 소비량이다. 전체 플라스

틱 소비량 695만 2천톤 중 46%를 포장재로 사용하였고, 건물 및 건설에 17%, 생활용품에 15%가 소비하였는데, 플라스틱 제품 수명주기 분포함수에서 포장재의 수명이 가장 짧다는 정보를 적용하면 배출되는 플라스틱 중에서 포장재가 차지하는 비중⁶⁾이 매우 높을 것으로 예상된다.

2017년 발생한 플라스틱 폐기물 711만 2천톤 중 6%는 매립, 41%는 소각, 53%는 재활용시설로 향했다. 재활용시설로 보내진 플라스틱 폐기물 385만 2천톤 중 물질 재활용을 위해 판매된 폐플라스틱은 221만 8천톤으로, 물질 재활용률은 31%로 나타났다. 나머지 163만 4천톤은 고품연료 제품 생산에 쓰이기 위해 판매되었고, 판매량의 47%가 연료로 사용되어, 열적 재활용률은 11%로 나타났다. 물질 재활용과 열적 재활용을 모두 포함한 전체 재활용률은 42%이었다. 수거된 폐플라스틱은 화학적 재활용공정을 통하여 고부가가치의 화학제품으로 전환될 수 있으며, 학술 문헌상 최대 수율을 적용할 때, 최대 80% 정도가 원료로 재투입되거나 재사용 가능한 것으로 나타났다.

2017~2019년 동안 플라스틱 물질흐름의 변화를 살펴보면, 소비단계까지 투입된 플라스틱량은 조금씩 줄어든 반면, 2019년 발생한 플라스틱 폐기물량은 2017년 대비 2019년에 약 29% 증가하였다. 특히 생활계 폐기물(+53%), 산업폐기물(+77%), 포장재 폐기물(+29%)의 증가가 두드러졌다. 동시에 재활용 시설로 보내지는 폐기물량 또한 증가하여, 전체 재활용률은 2017년 42%에서 2019년 57%로 증가하였다. 폐플라스틱 수출은 2018년 1월 중국의 폐기물 수입금지 조치의 영향으로 2017년 20만톤에서 2019년 3만 3천톤으로 감소한 반면, 수입은 6만 3천톤에서 16만 9천톤으로 증가하였다. 이와 같이 플라스틱 폐기물량의 증가에도 불구하고 폐플라스틱 수입량이 크게 증가한 것은 현재 우리나라 폐플라스틱의 원료화에 필요한 수거시스템 및 처리공정의 개선을 통하여 국내에서 발생한 폐플라스틱의 활용도를 높일 필요가 있음을 시사한다.

6) 폐기물 통계에서 포장재가 31%를 차지하는 것으로 조사되었으나, 산업과 생활 부문에서 발생하는 폐기물에 포함된 포장재 비중 정보가 존재하지 않아 수명주기 분포함수를 이용하여 추정함.

2 시나리오 분석의 한계점과 보완점

본 절에서 제시한 3가지 미래 시나리오 중 영향 시나리오는 분석 방법에 따라 분석대상이 산업단위, 제품 단위, 기술 단위, 공정단위 등으로 상이하여 동일한 분석범위 안에서 경제·환경·무역 부문을 통합한 영향 시나리오가 도출되지 못하였다. 이 부분은 향후 연구에서 보완하여야 할 부분이다. 또한 산업계 시나리오와 플라스틱 시나리오 각각의 분석 한계점과 보완점을 아래에 정리하였다.

가. 산업계 순환경제 2050 시나리오

본 연구에서는 분석을 위한 순환경제 관련 시나리오를 산업연관분석 방법론에 주요 전략 산업별 투입계수의 변화를 적용하였다. 하지만, 여기에서 투입계수 변화와 관련한 주요 가정들이 다소 추상적이며 순환경제 관련 산업과 여타 산업 간 대체에 따른 경제적 손실효과 및 제품 가격 변화에 따른 영향 등을 구체적으로 제시하지 못하는 한계점을 지닌다. 그에 따라, 후속 연구에서는 순환경제 이행과 관련한 시나리오 설계 및 분석 방법론의 적용 과정에서 구체성을 확보하기 위해 다양한 보완적 데이터를 활용 및 적용하고자 한다. 이를 바탕으로, 순환경제 이행에 따른 경제적 편익 분석을 넘어, 경제적 손실까지 복합적으로 고려할 수 있는 방법론적 체계를 제안하고자 한다. 더 나아가, 후속 연구에서는 본 연구에서 전략 산업으로 고려하는 산업 이외에 여타 산업 전반에서 순환경제로 이행할 때 파급효과가 어떻게 나타나는지 분석 범위를 확장함으로써, 우리나라 경제사회의 순환경제로의 전환과정에서 마주할 수 있는 잠재적 도전과제와 기회요인 식별과 관련한 심화된 논의를 이어나가고자 한다.

나. 플라스틱 순환경제 2050 시나리오

전과정평가 방법은 제한된 가용 데이터를 이용하기 때문에 데이터가 존재하지 않는 분리·정제 등의 후처리공정 및 배기가스 처리에 사용되는 에너지 등 환경영향에 미치는 기여요소 전부를 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 이러한 제약 상황에서 플라스틱 재활용 기술을 적용했을 때 전과정에서 발생하는 환경영향 차원에서 비교우위를 정량적으로 비교하는 방법론을 테스트했다는 것에 의의가 있다.

본 분석 결과는 현재 재활용 기술을 이용하는 경우 (1) 화학적 재활용 결과물이 비교 시스템에 포함된 상용화된 물질의 품질보다 낮고, (2) 재활용 결과물의 경제적인 가치가 고려되지 않았으며, (3) 화학적 재활용 공정에 들어가는 원료 및 보조물질 정보가 제한적이며, 후처리 공정(결과물의 분리·정제 등)을 반영하지 않은 점, (4) 모든 화학적 재활용 공정 이전에 동일한 전통적인 방식의 물리적 재활용 공정(분류 후 과립화)을 일괄 적용하였다는 점을 결과 해석 시에 유의해야 한다.

제3장

순환경제 기술개발 현황 및 전략

제1절 순환경제 산업현황

제2절 순환경제 기술개발 현황

제3절 중장기 기술개발 전략

제4절 정책 제언

본 연구는 제1권에서 한국의 전반적인 자원 소비현황을 국가 단위 물질흐름 분석에 기반하여 진단하고, 순환경제 전환 동력 분석 결과에 기반하여 6개 주요 전환산업으로 코크스 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업(플라스틱 물질 제조 포함), 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업, 1차금속 제조업을 도출하였다. 그리고 6개 주요 산업의 성공적인 순환경제로의 전환을 위하여 적용할 주요 전략으로 재생원료 사용, 재제조, 기술 혁신 및 투자촉진을 선정하고 산업별 전략 시나리오를 도출하였다. 순환경제 미래산업 전략을 도출할 때 미래기술은 핵심적인 부분을 차지하는데, 물질순환 미래 핵심기술은 매우 광범위하고 포괄적인 영역이므로 연구 목적에 따라 조작적으로 정의할 필요가 있다. 제2권의 기술 개발현황 및 전략 부분에서는 이들 전략과 연계된 주요 기술로서 ① 플라스틱 자원화, ② 유가금속 재자원화, ③ 재제조 기술을 미래 핵심기술의 대분류로 설정하고, 3개 영역에 해당하는 세부 기술을 대상으로 분석한 결과를 정리하였다. 제1절에서 이러한 기술 분류에 해당하는 순환경제 산업현황을 정리하여 이후에 기술 개발전략 및 산업 경쟁력 강화를 위한 입법과제를 도출하는 작업에 밑바탕이 되는 정보를 제공하고자 하였다. 제2절에서는 해당 기술 구분을 사용하여 세부 기술을 대상으로 기술 현황을 정리하고, 제3절에서는 이에 기반하여 중장기 기술 개발전략을 도출하고자 하였다. 제4절에서는 상기 분석 과정에서 발견한 국내 순환경제 기술 개발전략의 취약성을 정리하고 중장기 기술개발 과정에서 새롭게 등장할 것으로 예상하는 신산업을 반영한 산업연관표를 제시하고자 한다.

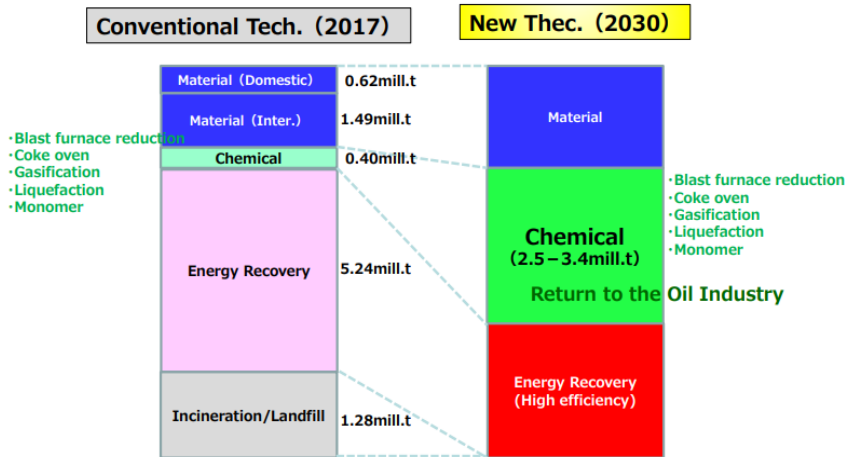
제 1 절

순환경제 산업현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 플라스틱 재활용

2015년 유럽연합의 순환경제 패키지 발표, 2020년 유럽연합 순환경제 이행계획 발표, 2018년 일본의 자원순환 전략, 2024년 플라스틱 국제협약 마련 등 국제적으로 플라스틱 관리는 자원순환 분야에서 핵심적인 영역으로 제시되고 있다. 특히 우리나라는 1인당 연간 135kg의 플라스틱을 소비하는 것으로 발표한 바 있는데, 이는 전 세계적으로도 최상위 수준이다(장용철 외, 2022). 또한, 최근 코로나19의 영향으로 포장재 플라스틱 폐기물이 급격히 증가함에 따라 2050 탄소중립 달성을 위한 실효성 있는 처리 및 자원화 방안이 요구되고 있다.



(출처: Yoshioka, 2019)

[그림 3-1] 일본의 플라스틱 자원화 현황

7) 장용철 외(2022)에서 해외 주요국의 연간 1인당 플라스틱 소비량은 일본 78kg, 중국 48kg, 미국 111kg, 유럽(28+2) 평균 105kg, 전 세계 평균 51kg으로 조사됨.

국내외 플라스틱 물질순환은 주로 기계적 재활용을 중심으로 이루어져 왔으나 최근 들어 유럽과 일본을 중심으로 화학적 재활용 기술 개발에 대한 투자와 산업계 참여가 활발히 이루어지고 있다. 영국의 플라스틱 에너지사(Plastic Energy) 등은 폐플라스틱을 활용하여 열분해를 통한 화학 원료가 될 수 있는 기초유분을 제조하는 사업을 추진하고 있는데, 최근 사빅(SABIC), 이네오스(INEOS), 토탈(TOTAL) 등에 이를 공급하여 플라스틱을 재활용하는 사업에 협업을 발표하였다. 일본은 2017년 40만톤의 플라스틱을 화학적 재활용에 사용하였으나, 2030년에는 이를 250~340만톤으로 6~8배 늘려 화학적 재활용의 비중을 확대하여 석유산업에 환원시키는 계획을 준비하였다(Yoshioka, 2019).

한편, 플라스틱을 생물학적으로 분해하는 기술을 활용하여 원료화하는 기술이 개발되고 있으며, 프랑스 기업 카르비오(Carbios)는 효소 글로벌기업 노보자임스(Novozymes)의 공동 연구 및 다국적 기업의 컨소시엄(로레알, 네슬레) 등을 통하여 고효율 플라스틱 분해효소를 개발하여 2024년까지 프랑스에 플라스틱 분해 공장을 세워 재활용 플라스틱 원료를 연간 4만톤 규모로 생산 예정이다.

[표 3-1] 해외 국가별 플라스틱 재활용 사업 동향

국가	기업명	주요 내용
독일	BASF	화학적 재활용 • '해양 폐플라스틱 감소 및 제거를 위한 솔루션을 증진하는 글로벌 플라스틱 쓰레기 제거 연합(Alliance to End Plastic Waste)' 결성. 전 세계 30여 개 기업과 5년간 15억 달러(한화 약 1조 6천억 원) 투자 목표(2019.01). • 플라스틱 화학적 재활용을 통한 첫 시험 생산(2019.01)
미국	Eastman	화학적 재활용 • 폴리에스터 재생기술 및 가스화를 통한 재활용 기술인 탄소 재생기술 사용 • 프랑스 대통령과 Eastman의 CEO가 프랑스의 재료분자 재생시설에 최대 10억 달러를 투자할 것을 공동 발표(2022.01) • 2025년 가동 예정인 재료분자 재생시설은 폴리에스터 재생 기술을 통해 폐플라스틱을 연간 최대 16만 메트릭톤까지 재생할 예정
사우디아라비아	Sabic	화학적 재활용 • 영국의 플라스틱 재활용 회사 Plastic Energy와 MOU 체결 및 네덜란드에 상업폐기물 재활용공장 설립계획 발표(2018.12) • 재활용 폴리머 대규모 생산을 위한 최초 상업공장 준공 (2021.01) 및 2022년 하반기 가동 예정 • 말레이시아 플라스틱 재활용회사 HHI와 협업하여 세계 최초 재활용 폴리머 생산(2021.11)

국가	기업명	주요 내용
독일	Covestro	화학적 재활용 • 폐기된 매트리스의 연질 폴리우레탄폼의 화학적 재활용 기술개발 (2021.03) • 매트리스폼의 2가지 원료(polyol, toluene diamine)를 모두 재활용하기 위한 연질폼 재활용 시험 생산 개시(2021.04) • 폐기된 연질 폴리우레탄폼의 화학적 재활용의 산업화 및 회수된 2가지 원료의 재생산을 목표로 함
프랑스	Loreal	생물학적 재활용 • 프랑스 스타트업 Carbios의 효소 기술을 이용해 재활용 플라스틱으로 만든 최초의 화장품 용기 구현(2021.06) • 2025년 효소 재활용 기술을 이용하는 용기 생산을 목표로 하고 있으며, 향후 로레알 브랜드 중 비오템에 최초로 해당 용기 사용 제품 출시 계획
미국, 노르웨이	Agilyx	화학적 재활용 (열분해) • 전 세계에서 현재 유일하게 자사 열분해 시스템을 이용한 PS 재활용설비 보유 • ExxonMobil, Toyo Styrene, Braskem, Trinseo, INEOS 등 글로벌 화학업체들과 기술을 개발하거나 생산설비 신설 중
일본	JGC	화학적 재활용(가스화) • 일본의 Ebara Environmental Plant, Ube Industries, Showa Denko와 공동으로 플라스틱 가스화 기술인 EUP(Ebara Ube Process)를 이용한 플라스틱 폐기물 재활용 협업 계약 체결(2020.10)
미국	DOW	물리적 재활용 + 화학적 재활용 • Recycling 목표 : 2030년까지 100만톤의 플라스틱을 재사용·재활용할 계획이며, 2035년까지 전 제품을 재사용 또는 재활용 가능한 패키징으로 판매할 예정 • 첨단 재활용 프로세스 접목 : Mura Technology와 파트너십 체결 및 Hydrothermal 플라스틱 재활용 솔루션 활용
미국	Dupont	물리적 재활용 + 화학적 재활용 • 2030년 로드맵에 폐기물 감축을 위한 4R (Reduce, Reuse, Repurpose, Recycle) 프로그램 도입 • Tyvek 재활용 프로그램: 미국 내 PPE 의류 수집, 운송, 보관 및 재활용 활동 • Entira EP copolymer 기술을 활용하여 혼합 플라스틱 폐기물 재활용 개발 중

출처: 삼일 PwC 경영연구원(2022)에서 기사를 종합하여 작성한 내용을 재인용함.

국내에서도 최근 플라스틱의 기계적 재활용의 고도화와 열분해 기술 개발, 해중합 기술 개발, 생물학적 재활용 기술 등에 대한 산업계 상용화기술 개발과 국가 연구 개발

투자가 이루어지고 있다. [표 3-2]는 국내 폐플라스틱 재활용 사업이 진행 중이거나 투자가 유치된 기업 중 대표적인 기업의 현황을 보여준다. 국내 중소기업 중에서도 폐플라스틱 재활용 기술을 보유하고 있거나 개발 중인 곳들이 다수 존재하나 본 보고서에서는 일정 규모 이상의 생산이 가능한 기업을 중심으로 정리하였다. 올해 10월 동반성장 위원회에서 폐플라스틱 재활용 사업을 중소기업적합업종으로 지정하지 않고 대기업과 중소기업이 각각 화학적 재활용과 물리적 재활용 시장에 집중하는 방향의 상생협약을 맺음⁸⁾에 따라 향후 대기업 중심의 밸류체인이 형성될 것으로 전망된다.

[표 3-2] 국내 주요 기업들의 폐플라스틱 재활용 사업 현황 및 계획

국가	기업명	주요 내용
한국	LG화학	기계적 재활용 + 화학적 재활용 • 쿠팡과 플라스틱 재활용, 자원 선순환 생태계 구축을 위한 MOU를 체결, 쿠팡이 폐기하는 3,000톤 가량의 포장용 비닐을 재활용해 쿠팡에 재공급할 계획(2021.09) • 2024년 1월까지 국내 최초 초임계 열분해유 공장 건설, 연간 2만톤 규모로 시작하여 점차 확대할 예정(영국 무라테크놀로지 지분 투자) • 다양한 PCR(Post-Consumer Recycled) 플라스틱 재료 중 ABS만 분류하는 과정을 통해 PCR-ABS 제조(기계적 재활용: 백색도 증진 기술)
한국	롯데케미칼	화학적 재활용 • 2024년까지 1천억 원을 투자해 향후 2030년까지 울산 PET 공장 전체를 재생 PET 공장으로 전환할 계획 발표(2021.04) 기계적 재활용 • 재활용 플라스틱, 원료 플라스틱, 첨가제, 착색제의 최적 조합기술 및 프로젝트 루프 사업을 통해 PP와 ABS 등 제조(컴파운딩 기술/ LCA 인증)
한국	한화솔루션	화학적 재활용 • 산자부 ‘폐플라스틱 열분해유 기반 나프타 생성기술’ 사업 주관기업 선정(2021.04) • 폐플라스틱을 고온에서 분해한 열분해유에서 불순물을 제거하고 분자구조를 변화시켜 납사를 생성하는 기술(PTC, Plastic to Chemicals) 개발을 목표로 함 • 열분해 기반 화학적 재활용 기술을 2024년까지 개발해 내재화할 방침(2021.04)

8) <http://www.sbiztoday.kr/news/articleView.html?idxno=12775> (접속일: 2022.12.15.)

국가	기업명	주요 내용
한국	SK지오센트릭 (구 SK종합화학)	화학적 재활용 • 해중합 기술을 보유한 캐나다 루프 인더스트리에 지분(10%) 투자 (2021.01) • 루프 인더스트리사와 함께 2025년까지 연간 8.4만톤 규모의 PET 해중합 설비 구축 계획(2021.07) • 미국 브라이트마크사와 협력해 2024년까지 연간 10만톤 규모의 열분해 생산설비 구축 예정(2021.07) • 폐플라스틱 재활용 규모를 2025년까지 90만톤에서 2027년 250만톤 까지 확대할 계획
한국	SKC	화학적 재활용 • 열분해 기술을 보유한 일본 벤처기업 칸쿄에네르기(Kankyo Energy)와 상업화 추진(2021.06)
한국	SK케미칼	화학적 재활용 • 해중합 기술과 생산설비를 보유한 중국 슈예(Shuye)에 지분(10%, 230억) 투자하여 화학적 재활용한 원료를 구매할 수 있는 권한 확보
한국	효성	화학적 재활용 • PET 해중합, 후공정을 통해 재생 폴리에스터수지 상업 생산 성공(2008년) • 2022년 초까지 울산 지역 내 해중합 설비를 갖추고 부산·전남 지역 폐어망을 수거해 연간 1,800톤 상당의 재활용 나일론 섬유 생산 계획 (2021.08)
한국	휴비스	기계적 재활용 + 화학적 재활용 • 2021년 4월부터 물리적 재활용 방식을 사용한 원사 '에코에버' 연간 2천톤 규모의 생산 가동 시작(2021.03) • 물리적 재활용 원사 브랜드 '에코에버'에 화학적 재활용 원사 브랜드 '에코에버 CR'까지 추가(2021.06)
한국	삼양패키징	기계적 재활용 • PET 플레이크를 생산하는 재활용 사업장 시화 공장에 약 430억원을 투자하는 폐플라스틱 재활용 신규설비 도입계획 발표(2022.01) • 고순도 PET 플레이크와 고부가가치 제품의 원료가 되는 리사이클 PET 칩 생산설비 2종 도입 예정이며 2023년 말부터 본격 설비 가동 시작 예정
한국	ACI엔텍	기계적 재활용 • 인공지능(AI) 및 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 폐기물 수거 및 처리 전문 기업 • 고품질 PET 플레이크를 생산하는 페트병 재활용라인, HDPE 용기 및 LDPE 필름을 생산하는 폴리올레핀 재활용라인, rPET 시트 압출 생산라인 보유 • 사모펀드 운용사 VL인베스트먼트로부터 70억원 투자 유치(2021.10)

국가	기업명	주요 내용
한국	에코크레이션	화학적 재활용 • 열분해유 제조 및 열분해 설비 생산 기술 보유 중소기업 • 인천 청라에 신규 열병합 열분해 플랜트 제조공장 구축 중 • SK지오센트릭으로부터 68억원 투자 유치(2021.08)
한국	슈퍼빈	기계적 재활용 • AI 기술을 활용해 재활용 폐기물을 회수하는 로봇 '네프론'을 2016년에 개발하여 상용화에 성공한 스타트업 • 회수된 재활용 폐기물을 고부가가치 재생 소재로 가공해 제품 생산업체에 판매하는 순환경제 사이클 구축 계획 • 200억원 규모의 시리즈B 투자를 유치해 누적 투자금 270억 원, 기업가치 1,000억원 달성(2020.08)

출처: 삼일 PwC 경영연구원(2022)에서 기사를 종합하여 작성한 내용을 재인용함.

2 유가금속 회수⁹⁾

전 세계적으로 디지털 산업의 급격한 기술 발전과 재생에너지 확대 보급에 따른 사용 후 고부가가치 폐자원 발생이 급격히 증가할 것으로 예상된다. 최근 들어 전략 원료물질(critical raw materials)의 안정적인 공급망 구축 관점에서 폐전기전자제품, 전기차 배터리, 태양광 폐패널의 유가금속 회수에 대한 기술 개발이 활발히 진행 중이다. 폐전기전자제품은 도시광산(urban mining) 관점에서 유가금속 회수 추출 정제 등의 기술 개발이 꾸준히 이루어져 왔으며, 전기차 배터리와 태양광 폐패널은 미래 폐자원으로 최근 기술 개발투자가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다.

국제적으로 폐전기전자제품의 발생량은 2019년 기준 약 5억 3,600만톤으로 알려져 있고, 이중 아시아 국가에서 약 2억 4,900만톤, 유럽 지역에서 약 1,200만톤, 북미와 남미 지역에서 1억 3,100만톤이 발생하는 것으로 예상하며(Forti, et al., 2020), 2030년에는 전 세계 폐전기전자제품의 발생량은 약 40% 증가한 약 7억 4,700만톤으로 예상된다. 한편 국내에서 발생하는 폐전기전자제품의 발생량은 약 82만톤으로 2019년 기준 이중 약 35만톤 정도가 재활용되었다.

폐전기전자제품의 재활용 기술 개발은 주로 유럽과 일본을 중심으로 유가자원 회수와

9) 본 소절은 이길우(2020) 보고서의 '미래폐자원 재활용' 부문을 중심으로 발췌·정리함

유해물질 처리를 통한 순환경제 구축을 위해 활발히 이루어지고 있다. 독일 레몬디스(REMONDIS)와 벨기에 유미코아(UMICORE), 오스트리아 뮐러 구텐브룬(Müller-Guttenbrunn) 등을 중심으로 금속과 귀금속, 희소금속 등을 회수할 수 있는 종합 용융 및 정련로를 개발하여 가동하고 있다. 대형가전제품의 재활용 공정은 전처리(해체/파쇄) 공정, 선별공정, 추출 및 정제 공정으로 나뉘며, 중소형 가전제품은 통합파쇄 및 선별 후 건식제련과 습식제련 등의 공정을 통해 유기금속을 회수하고, 플라스틱류는 재생원료 및 고형연료로 재활용한다. 농축과 추출공정은 복합 포집 금속(구리, 납, 아연 등)을 유용하게 회수할 수 있도록 복합 비철제련 공정을 운영하여 포집 금속별 특성, 금속의 종류, 최적 회수조건 등의 재활용 기술을 구축하고 있다. 일본은 도시광산(urban mining) 개념을 일찍 도입하여 폐전기전자제품에서 금속자원을 회수하고자 기술 개발과 실증화 연구가 활발하다. 일본에서는 대형가전(냉장고, 세탁기, TV, 에어컨 등)은 수작업 해체 공정을 통해 콘덴서에 함유된 오일과 냉매를 회수하고 컴프레서(compressor) 등을 분리한 후, 선별 공정을 거쳐 철, 비철금속, 플라스틱, 우레탄 등을 회수한다. 중소형 가전제품은 제품의 종류가 많고, 포함된 각종 유기금속의 성분과 함량이 다양하여 파분쇄, 선별, 건식 또는 습식제련과 추출과정을 거쳐서 유기자원과 금속을 회수하고 있으며, 희소금속(rare metal, 니켈, 망간, 탄탈, 크롬 등을 포함)의 재활용을 위해 건식 제련공정(배소 처리, melting and molten salt 처리 등)과 습식 제련공정(hydrothermal treatment, 이온교환 용매추출, 여과, 정전기 분리 및 미생물 추출 등)을 적용한다(Itoh, 2014).

태양광발전의 핵심부품인 태양광 패널은 제조사마다 수명이 다르지만, 대략 20년 사용 후 교체하여 폐기된다. 전 세계 태양광 폐패널의 발생량은 2016년 기준, 4만 4천~250만톤에서 2030년에는 약 17만~80만톤으로 예상한다(PV CYCLE, 2018). 일본은 태양광 폐패널의 발생량을 2020년 기준 약 2,800톤에서 2030년에는 약 2만 8,800톤으로 예상하였다(일본 환경성, 2016). 국내는 『재생에너지 2030 이행계획』에 따라 신규 재생에너지 발전설비의 95% 이상을 태양광 중심의 청정에너지로 보급하는 정책을 추진할 예정이고, 이에 따라 2023년 이후 약 1만 2,690톤에서 2030년에는 약 8만 7,124톤의 태양광 폐패널이 발생할 것으로 예측한다(KEI, 2018).

퍼스트 솔라(First Solar), 에코 리사이클링(Eco Recycling), 사실(SASIL), 에세에세부(SSV), 말타(Maltha), 라일링 마리엔펠트(Reiling Marienfeld), 라미아 에네르지아

(La Mia Energia Scarl), 네덜란드 응용과학연구기구(TNO) 등 미국, 이탈리아, 네덜란드, 벨기에 등을 중심으로 태양광 폐패널의 재활용을 위한 기술 개발을 통한 유가자원(유리, 금속류) 및 희토류 금속 등의 회수가 이루어지고 있다. 그러나 유럽에서 태양광 폐패널 재활용의 폭넓은 상용화 적용을 위해서는 공정 과정에서 저소비형 에너지, 유해 물질 제거, 경제성 확보 등이 아직도 주요 해결과제로 남아있다.

리튬이온 이차전지 배터리로서 전기차에서 사용 후 수명이 다한 배터리를 전기차 폐배터리라고 일컫는다. 전기차 보급 확대에 따라 향후 전기차 폐배터리의 발생량이 지속적으로 증가하면 사용한 이차전지의 재사용·재활용을 통해 재생원료를 확보하는 기술이 주요 관심 사항으로 대두되었다. 전기차 배터리는 양극활물질, 음극활물질, 분리막, 전해질 및 용기 등으로 구성되며, 유가금속으로는 코발트, 리튬, 망간, 니켈 등 다양한 물질을 함유한다. 희유금속인 코발트와 리튬이 리튬이온전지의 양극활물질의 주요 성분인데, 전체 이차전지 무게 중 약 15%를 차지한다. 이들 물질은 이차전지 소재 원가의 약 40%를 차지하는 핵심 소재로 알려져 있다. 국내의 이차전지 업계에서는 리튬을 전량 수입에 의존하고 있다. 전기차 보급 대수 증가와 함께 전기차 사용 후 폐배터리 예상 발생량은 2023년에 약 1만 개가 발생할 것으로 예상하고(한국환경공단, 2020), 정부 전기차 보급목표에 따라 2035년 국내 예상 전기자동차 폐배터리의 누적 개수는 최소 105만 개에서 최대 187만 개로 예상한다(환경부, 2020).

전기차 폐배터리의 재활용기술 개발은 벨기에 유미코아(UMICORE), 핀란드 아쿠세르(Akkuser), 독일 뉘젠펠트(Duesenfeld), 프랑스 레큐필(Recupyl) 등이 선도적 역할을 하고 있는데, 특히 벨기에 유미코아(UMICORE)는 폐(廢)리튬 이차전지에서 코발트-니켈-구리 등의 합금을 생산하여, 리튬이온전지 등의 재생원료로 공급한다. 일본의 닛산 자동차(Nissan)와 스미토모 상사(Sumitomo Co)는 합작투자를 통해 2018년 전기차 폐배터리 재사용과 재활용을 위한 플랜트를 건설하여 연간 약 2,250개의 배터리를 처리할 예정이며(에너지경제연구원, 2018), 혼다 자동차는 전기차 및 하이브리드 차량에서 폐리튬 이온전지를 회수 후 전지 상태를 확인하여 일정 조건 충족 시 재생에너지 저장장치(ESS)로 활용하고 재사용이 어려운 경우는 해체/선별 과정을 거쳐 희소금속 등을 추출할 예정이다(에너지데일리, 2020).

3 재제조

「환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률」에서 ‘재제조’는 ‘재활용가능자원(「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조제1호에 정의)을 「폐기물관리법」 제2조제7호에 따른 재사용·재생 이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 중에서 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등 일련의 과정을 거쳐 원래의 성능을 유지할 수 있는 상태로 만드는 것을 의미한다. 재제조는 사용 후 제품 또는 그 제품을 구성하는 부품을 좀 더 오래 사용하도록 함으로써, 에너지 사용량과 대기, 수질, 토양으로의 오염물질 배출량을 상당 부분 줄일 수 있어 자원 이용 효율성 및 부가가치 창출 측면에서 매우 효과적인 자원순환 방법이다(김영춘, 2017).

국내외 재제조 산업 기술 개발은 주로 전기전자(토너 카트리지 등) 및 자동차 부품을 중심으로 이루어져 왔으며, 최근 들어 기계, 전략 기자재, 선박 기자재 등의 분야로 기술 개발이 확산되고 있다. 유럽과 미국에서는 재제조 산업이 자동차 산업 이외에 항공, 기계설비, 의료기기 등의 산업으로 기술 개발 확산이 이루어지고 있다. 전통적으로 재제조 시장을 주도한 자동차 부품 분야는 성숙 안정화 단계이며, 항공, 중장비, 기계류, 의료기기 등 첨단기술이 필요한 분야로 시장이 확대 중이다(중소벤처기업부 외, 2021).

유럽연합은 2003년부터 전기·전자 장비의 재사용 및 재활용을 촉진하여 폐기물을 최소화하는 목적의 ‘전기·전자제품 폐기물처리지침’을 시행하였다. 또한 유럽은 2006년부터 「전자제품재활용법」(European Recycling Law for Electronic Waste)을 시행하고 있으며 동 법률에서는 사용자가 타사의 카트리지를 사용하거나 카트리지를 재제조하지 못하게 할 목적으로 프린터 제조사에서 장착하는 스마트칩(Clever Chip)을 금지하고 있다. 이러한 유럽 정부의 시책에 따라 유럽은 재제조 산업이 일찍부터 발달하였다.

[표 3-3] 주요 선진국의 재제조품 시장 규모

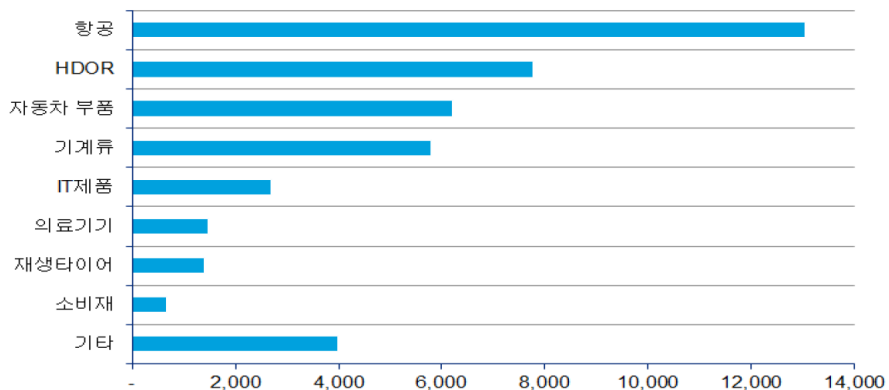
구분	미국('11)	EU('15)	일본('15)	한국('17)
재제조품 시장 규모 (GDP 대비)	51.7조 원 (0.23%)	46.8조 원 (0.22%)	1.7조 원 (0.03%)	1.0조 원 (0.05%)
업체 수	8,000여 개	7,200여 개	1,500여 개	1,450여 개
고용인원	18만 명	19만 명	1.8만 명	0.7만 명

출처: 안상준, 2022

독일의 경우, 원 제조업체인 벤츠에서 약 3만 7,000여 종의 재제조 부품을 브랜드화 하고 있으며 가격은 30% 저렴하지만 보증 수준은 동일하게 책정하였다. 일본의 경우, 디엠지모리(DMG-Mori)에서 생산한 제품을 대상으로 100% 성능을 복원할 뿐 아니라 맞춤형 성능향상을 목표로 하는 전과정 서비스(lifecycle service)를 제공하고 있으며, 이처럼 원래 성능 대비 향상된 성능을 제공함으로써 재제조 범위를 확장하였다. 미국의 경우, 제너럴일렉트릭(GE)에서 첨단 의료기기 등의 고부가제품을 대상으로 재제조 서비스를 제공하는 골드실(GoldSeal) 프로그램을 운영하고 있다(안상준, 2022).

미국 국제무역위원회에서 조사한 재제조 시장 규모는 항공 130억달러, HDOR (Heavy duty and Off-road vehicles) 78억달러, 기계류 68억달러, 자동차 부품 62억달러로 조사되었으며(2011년 기준), 유럽도 비슷한 수준으로 조사되었다(김영춘, 2016).

(단위: 백만달러)



(출처: 안상준, 2022).

[그림 3-2] 미국의 재제조 산업별 생산규모(2011년)

국내에서는 2005년 「친환경산업법」 개정으로 국내에 재제조 개념이 도입된 후 재제조 시장은 자동차 부품과 토너 카트리지를 중심으로 형성되었으며, 최근 기계 등으로 분야가 확장되는 추세이다. 시장 규모는 7,500억원(2010년)에서 1조원(2017년)으로 7년간 약 30% 성장했으나 품목은 제한적이다. 자동차 및 토너 카트리지 비중이 100%에서 90%로 축소되었지만 여전히 재제조 시장의 중심축에 해당한다. 재제조 기업의 90% 이상이 근로자 수 10인 미만으로 구성되어 있으며, 매출액은 10억원 이하이다(안상준, 2022).

[표 3-4] 연도별 재제조 시장 규모 현황

(단위: 억원, %)

분야	2010년		2015년		2017년	
	매출액	비중	매출액	비중	매출액	비중
자동차부품	6,100	81.3	6,741	80.0	7,874	78.6
전기전자 부품 (토너 카트리지)	1,400	18.7	1,450	17.2	1,200	12.0
건설기계·부품	-	-	-	-	770	7.7
공작기계	-	-	-	-	31	0.3
화학축매	-	-	40	0.5	6	0.06
전기·전자제품	-	-	194	2.3	139	1.4
합계	7,500	100	8,425	100	10,020	100

(출처: 안상준, 2022)¹⁰⁾

10) 재제조산업에 대한 별도 산업분류가 없어 통계 작성의 한계가 존재함. 현재 유관 단체 등을 통해 전수조사를 실시함.

제2절 순환경제 기술개발 현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 세부기술 정의 및 국내 기술개발 동향

가. 플라스틱 자원화

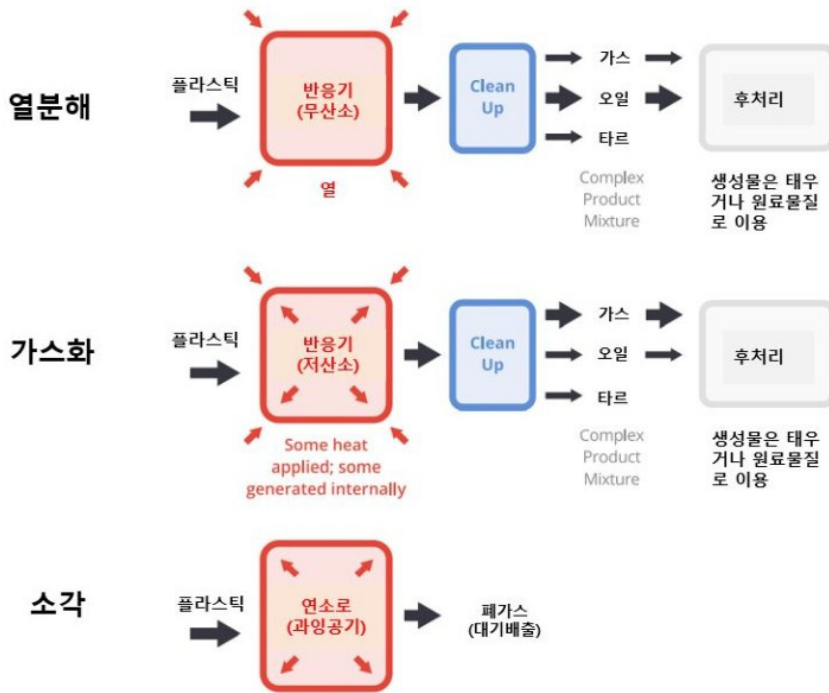
그간 플라스틱 자원순환 R&D는 자원 선순환을 위한 전과정 측면이 아닌 바이오 플라스틱 기술, 폐기물 재활용 기술에 편중되어 부처별 및 연구기관과의 연계성 없이 추진해 왔다. 최근 코로나19의 영향으로 포장재 플라스틱 폐기물이 급격히 증가함에 따라 2050 탄소중립 달성을 위한 실효성 있는 대응정책 및 R&D 전략 수립이 필요하여 2021년 10월 국가과학기술자문회의에서는 (1) 범부처 플라스틱 자원순환 R&D 체계의 정립과 (2) 자원순환 기반체계 구축 및 협력 강화를 추진 방향으로 삼았으며, 세부적인 범부처 R&D 전략 정립을 위한 18개 중점기술을 다음과 같이 제시했다(국가과학기술자문회의, 2021).

[표 3-5] 범부처 R&D 전략 정립을 위한 18개 플라스틱 자원순환 중점기술

대분류	중분류	소분류
1. 생산	1.1. 석유계 플라스틱 개선기술(친환경설계)	1.1.1. 단일 소재화 기술 1.1.2. 내구성 강화 및 경량화 기술
	1.2. 바이오플라스틱 등 대체소재 개발 기술	1.2.1. 바이오매스 플라스틱(Bio-based) 1.2.2. 생분해성 플라스틱(Bio-degradable) 1.2.3. 플라스틱 대체 혁신소재 개발 기술
	1.3. 재생플라스틱 제품화기술	1.3.1. 재생플라스틱 제품화 및 생산기술 1.3.2. 재생플라스틱 품질개선 기술
2. 소비·회수	2.1. 제품의 환경성 정보제공 기술	2.1.1. 제품 순환성 및 환경성의 ICT 기반 표식 기술
	2.2. 스마트 수거 기술	2.2.1. ICT 등 디지털 기반 수거 및 추적 기술
	2.3. 재질별 선별 고도화 기술	2.3.1. 근적외선, 레이저 선별 및 AI 학습기반분리-선별 자동화 기술
	2.4. 다회용 포장재 기술	2.4.1. 다회용 용기 및 재사용 포장재 개발 기술 2.4.2. AI, IoT 기술을 활용한 탄소 저감 소비 및 재사용 플랫폼 기술

대분류	중분류	소분류
3. 자원화 기술	3.1. 기계적(물질) 재활용 기술	3.1.1. 물질 재활용 고도화 기술(원료·제품)
	3.2. 화학적 재활용 기술	3.2.1. 열분해 기술 3.2.2. 가스화 기술 3.2.3. 해중합 기술
	3.3. 생물학적 재활용 기술	3.3.1. 생물학적(효소/미생물) 분해 기술 3.3.2. 분해산물 업사이클링 기술
4. 전 범주	4.1. 전주기 정보화 관리 기술	4.1.1. 전주기 정보체계 개발 기술 4.1.2. 물질 재활용 통계 고도화 기술

출처: 국가과학기술자문회의, 2021



출처: 자원순환사회연구소, 2020

[그림 3-3] 열분해 기술, 가스화기술, 소각의 차이

플라스틱 순환경제를 이끄는 2가지 트렌드는 플라스틱 재활용과 바이오 플라스틱(삼성증권, 2021; European Commission, 2018b)이 될 것으로 판단하며, 본 연구에서는

플라스틱 재활용 방법 중 기계적, 화학적¹¹⁾, 생물학적 기술과 함께 바이오 플라스틱 기술 역시 순환경제를 위한 중장기 물질순환 미래기술로써 검토하였다.

1) 기계적 재활용 기술

기계적 재활용 기술은 중소기업을 중심으로 선별공정에 AI나 IoT를 이용하는 등의 개발/상용화가 활발히 이루어지고 있다. 화학적 재활용은 대기업을 중심으로 해중합, 가스화 등의 기술을 개발/도입하는 과정에 있으며, 일부 중소기업에서 차별화된 기술을 개발하고 있는 것으로 파악된다.

최근에는 AI기반 로봇기술, 근적외선 센서를 이용한 복합재질 페플라스틱의 선별기술 개발 노력을 활발히 진행하고 있으며, 폐비닐 및 폐유리병 등 생활폐기물 전반의 재활용 기술을 개발 중이다. 또한 국내 리사이클 PET 칩(chip) 제조기술(r-PET, 재활용된 폴리에틸렌 테레프탈레이트)은 이물 제거 기술 부족과 균일한 품질의 원료 제조 기술이 없어 저가의 섬유제품 혹은 밴드 형태의 저가 제품만 생산 가능한 수준이다. 현재 재활용된 PET는 주로 단섬유 시장에서 사용한다. 재생 PET 품질향상을 위해 이물제거 기술 및 순도향상 기술 개발이 필요하다.

2) 화학적 재활용 기술

가) 열분해 기술

상용화 공정으로 가동하는 시설에서 생산하는 열분해유의 생산량은 2019년 기준으로 약 4,100톤 수준이다. 현재 가동 중인 열분해 시설은 대부분 회분식 공정이며, 연속식 공정을 적용하고 있는 시설은 1개의 시설에 불과하다.

2000년대 초기부터 열분해 기술을 상용화하기 위한 기술 개발을 국가가 지원하였으나 경제성 및 운전성의 문제로 회분식에 국한하여 기술개발 및 상용화가 성공한 상황이다. 연속식의 경우, 10~20톤/일급의 시운전 수준의 기술을 개발하였으나 상용화하지는 못하였다(국가과학기술자문회의, 2021).

11) 본 연구에서는 열적 자원화 기술을 화학적 방법에 포함시킴.

나) 가스화 기술

단순 에너지회수(열회수 및 발전)를 위한 공기 분위기 가스화 기술은 10여 기의 상용화 공정이 운전 중이다. 화학원료를 생산하기 위한 산소 분위기 가스화 기술은 시험 설비 단계(폐플라스틱 투입량 기준: 3톤/일급)의 기술 수준에 머무른다.

발전을 목적으로 하는 공기 분위기의 가스화 기술 개발은 8톤/일급, 화학원료를 생산하기 위한 산소 분위기의 가스화 기술 개발은 3톤/일급 규모로 진행된 사례가 있으나, 생활폐기물 및 바이오매스를 이용한 합성가스/수소 생산 중심으로 개발되었다. 합성가스를 이용하여 메탄올을 생산하는 등의 화학원료 합성을 위한 연계기술 개발은 실험실 규모 수준에 머물러 있다(국가과학기술자문회의, 2021).

다) 해중합 기술

수첨반응 촉매 개발, 알칸 교차 복분해 반응 등을 통한 유용한 화합물 제조기술이 개발 중이며, 유도결합 플라즈마 반응을 통한 PP 해중합 공정, 친환경 고효율 하이브리드(마이크로 웨이브/플라즈마) 공정 적용을 통한 PET 해중합, 오염된 PET 폐플라스틱 해중합 및 첨가제 분리정제 기술 등이 개발 중이다.

[표 3-6] 화학적 재활용 기술별 적용 가능 원료 및 생산품

Case #	기술 구분	원료	주제품	연산품	
1	Gasification	PET	Synthetic gas (Carbon monoxide, hydrogen)		
2		PE			
3		PP			
4		PS			
5	Pyrolysis	PE	Diesel fuel		
6		PP			
7		PE			
8		PP	Paraffin		lubricating oil
9		PS			
10		PE			
11			PP		Propene
12		PS	Styrene		
13	Dissolution	PET, PE, PP, PS	Polymer		
14	Solvolyis	PET	bis(3-hydroxyethyl) terephthalate		

3) 생물학적 재활용 기술

가) 생물학적 (효소/미생물) 분해 기술

국내 연구진은 플라스틱 분해효소와 플라스틱을 혼합하여 완전분해 가능한 폴리에스테르계 플라스틱 제작에 성공한 바 있다(Nature, 2021). 최근에는 신규 PET 분해효소 발굴 및 효소공학을 통한 기능 향상, PE, PS 등 난분해성 플라스틱 분해효소 및 미생물 탐색, 해양 미세플라스틱 제거용 플라스틱 분해효소를 생산하는 미세조류 개발, 플라스틱 업사이클 활용을 위한 분해효소 분비 등의 연구를 진행하였다.

나) 분해산물 업사이클링 기술

최근 PET 등 해중합이 가능한 특정 플라스틱 소재에 대한 생물학적 업사이클링 기술 개발이 진행되고 있다. PET의 단량체인 테레프탈산을 이용한 새로운 생분해 플라스틱 소재, 화장품 소재, 의약 소재 등 고부가소재 생산 가능성을 제시하였다. 한국화학연구원, 고려대학교, 이화여자대학교, 한국생명공학연구원 연구팀은 PET의 친환경적 분해 기술과 해중합 단량체를 고부가 소재로 전환하는 연구를 진행 중이다. 대사공학을 접목하여 플라스틱 해중합 단량체에서 고부가소재를 생산하는 인공미생물 세포공장 개발 경쟁이 치열하다.

4) 바이오플라스틱 생산 기술

바이오 플라스틱 기술의 경우 다국적 기업의 컨소시엄 구성 등을 통해 활발한 연구가 진행되고 있다. 다만 플라스틱 분해효소 개발 등의 국외 기술 수준 역시 상용화하려면 향후 5~10년 정도가 필요할 것으로 전망한다.

우리나라의 바이오 플라스틱 기술연구 수준은 선진국 대비 현저히 떨어지는 것으로 평가되며 원천기술 개발에 대한 필요성이 크다고 할 수 있다(강길선, 2021). 바이오 플라스틱은 1900년대부터 전분계열 천연고분자 물질을 기반으로 한 제품을 사용한 것이 시작이라 할 수 있다(지민규 외, 2016). 최근에는 Bio-PET, Bio-PE 및 PLA 물질로 대체되고 있으며, 이 중 약 70%가 포장재로 사용된다(지민규 외, 2016).

나. 유가금속 재자원화¹²⁾

유가금속 재자원화 기술은 제품 사용 후 폐기되는 폐자원 등으로부터 유가금속을 회수하는 것을 의미한다. 이 기술은 대체적으로 전처리 기술, 물질 재활용 기술 등으로 구분할 수 있다. 전처리 기술은 다시 해체, 파쇄/분쇄, 선별 기술로 나뉘며, 물질 재활용 기술은 농축/추출, 정련/정제 기술을 포함한다.

국내 전자·정보통신 산업 성장과 신재생에너지, 전기차 보급 확대 정책에 따라 폐전기 전자제품, 태양광 폐패널, 폐이차전지 등 향후 배출량이 급증할 것으로 예상하는 폐기물을 자원화하는 기술 개발을 추진해야 한다. 이러한 폐자원을 대상으로 회수·이송·처리·재활용 등 효율적 자원순환을 위한 전과정 관리 등 폐기물 해결을 위해 세계 각국에서는 정부차원의 규제 강화와 더불어 자원순환 시장 활성화를 진행 중이며 한국도 이에 대한 전략적 접근이 필요하다. 특히 우리나라는 광물자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있어, 자원 안보 차원에서 유가금속 재자원화 기술전략을 검토해야 한다. 또한 폐태양광 패널, 폐이차전지 등에 대한 처리·재활용 시 부가적으로 발생하는 오염물질 처리 기술 개발 및 분해·재활용이 용이한 제품 개발과 폐기물 발생량 최소화를 위한 제품의 과대포장 금지 등 각종 규제 및 지원 방안을 마련할 필요가 있다(환경 인적자원개발위원회, 2020).

1) 폐전기·전자제품 재활용

전기·전자제품으로 사용 후 폐기되는 제품을 폐전기·전자제품 또는 전자폐기물이라 부르며 그 제품의 종류와 수는 100여 종에 달한다. 폐전기·전자제품 내에는 다양한 금속이 포함되어 있으며, 구리, 알루미늄, 금 등은 회수하여 재이용하면 자원을 절약하고 경제성을 확보할 수 있으며 납과 수은과 같은 유해물질은 회수되지 않고 자연계에 방치되거나 매립할 경우 용출하여 자연환경과 생태계에 악영향을 미칠 수 있다(한국환경연구원, 2019). 따라서 폐전기·전자제품 재활용에는 자원의 회수와 환경보전 목적의 기술 개발이 모두 필요하다.

폐전기·전자제품의 재활용기술은 일반적으로 해체, 파쇄/분쇄, 선별, 농축/추출/정제 등으로 이루어진다. 전처리 해체 공정을 통해 재사용이 가능한 일부 부품들을 따로 분

12) '유가금속 재자원화' 국내 기술개발 현황은 이길우(2020) 보고서의 '미래폐자원 재활용' 부문을 중심으로 발췌·정리함

리해서 재사용 또는 재활용하고, 나머지 부품들은 파쇄 및 분쇄 과정을 거치면서 일정한 크기로 작게 분쇄된다. 분쇄된 물질은 여러 선별 단계를 거치면서 밀도, 색상, 풍력, 자력 등을 활용하여 비금속과 금속, 플라스틱류 등으로 회수되며, 회수된 물질은 다시 농축/추출/분리 정제 과정을 통해 고순도 유가물로 회수된다.

국내 전기전자제품의 재활용은 주로 대형 가전제품(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV 등)을 중심으로 해체/파쇄/선별 공정을 거쳐 유가물 회수가 이루어진다. 예를 들어 냉장고는 해체 공정에서 냉매, 컴프레서, 모터, 인쇄회로기판(PCB) 등을 인력 작업으로 회수하고, 파쇄 공정과 선별 공정을 거치면서 철, 구리, 알루미늄, 플라스틱, 우레탄 등을 회수한다(박지환, 2019).

국내 중소형 가전제품 (전기비데, 공기청정기, 오디오, 전기밥솥, 연수기, 가습기, 전기다리미, 선풍기, 믹서, 청소기 등)의 재활용 기술은 대형가전제품의 자동화 전처리 기술과 달리 유가물의 재질에 따른 세부적인 해체 및 선별공정을 보유하고 있지 않다. 따라서 소형가전제품 재활용 시설로부터 생산된 유가물의 품위가 상대적으로 낮으며 대부분 수작업에 의존하여 자력선별 이외에 플라스틱 색상 선별과 유가금속 선별 등의 재활용 기술 응용이 부족한 상황이다.

국내 대형가전으로부터 금속을 회수하기 위해 대형가전제품에서 주로 인쇄회로기판 등을 비철금속 제련업체로 보내어 유가금속을 생산하고 있으나, 선별공정의 효율이 높지 않은 편이다. 또한 금속 추출이 주로 건식공정에 의존하여 희토류 등 희소금속의 회수율이 대체로 낮은 편이다. 중소형 폐가전제품의 경우 주로 수선별을 통해 구리, 알루미늄, 플라스틱 등을 회수한 후, 나머지 물질은 혼합 스크랩 상태로 매각, 수출, 또는 매립/소각 등으로 처리한다. 따라서 중소형 폐가전제품 내 각종 부품에 포함된 다양한 종류의 유가금속(귀금속, 희유금속, 특수금속 등)은 농축/추출/정제를 통한 유가금속 회수가 어려운 실정이다. 따라서 중소형 폐가전제품의 비용효율적인 재활용 기술의 개발이 필요하며, 중소형 폐가전제품의 잠재적 가치와 선별 비용, 물류비용 및 유가물의 시장 가격변동 등 다양한 요소를 고려한 경제성 분석도 함께 이루어질 필요가 있다.

2) 태양광 폐패널 재활용

신재생에너지 보급이 확대되면 일정 기간 사용 후 폐기하는 태양광 폐패널(또는 폐모듈)의

발생량이 점차 증가할 것으로 예상된다. 이들 태양광 폐패널의 재활용 기술로는 부품별 해체/선별 기술, 물질 재활용 기술(유리 재활용 및 금속 추출 기술) 등으로 구분할 수 있다.

태양광 패널은 알루미늄 프레임 8%, 강화유리 76%, 플라스틱 10%, 실리콘 5%, 기타 금속류 1%로 구성되어있고(김태영·김가영, 2021), 분리제거 공정 및 금속 회수 공정을 거쳐 자원을 회수할 수 있다. 그러나 현재 태양광 폐패널을 재활용하기 위해서는 폐패널을 파쇄해 원료를 분리하는 공정을 거치기 때문에 원재료 분류과정이 복잡하다. 또한 회수되는 자원의 순도를 높이기 위해 고온 처리 공정을 거치거나 유해화학물질을 사용이 불가피하므로 에너지 소비량이 높고 친환경적이지 못하다. 따라서 태양광 폐패널을 경제적으로 해체하고 친환경적으로 자원을 추출하는 재활용 기술이 개발될 필요가 있다.

현재의 태양광 폐패널은 관리체계 미흡으로 그대로 방치되거나 단순 매립되는 등 부적절하게 처리되는 사례가 많아(조지혜 외, 2018), 향후 다량 배출될 태양광 폐패널에 대한 처리 문제를 사전에 인식하여 대응 방안을 모색할 필요가 있다. 25년 이상 장기적으로 사용되는 태양광 패널의 특성상 최근에는 해체가 용이하지 않은 패널을 생산한다(조지혜 외, 2018). 따라서 저비용 분해처리 기술, 저비용 철거·분리·회수 기술을 개발해야 하며, 제품의 설계에서부터 재사용이나 환경성을 고려하는 설계가 필요하다(인더스트리뉴스, 2022).

국내에서 태양광 폐모듈에서 유가금속을 회수하기 위한 재활용공정 상업화 기술은 아직까지 이루어지지 않고 있다. 국내 태양광 폐패널의 재활용 기술 개발은 주로 실리콘계 모듈에 초점을 맞추었으며, 향후 태양광 패널의 시장점유율 변화 전망에 대응하여 비실리콘계열 태양광 모듈의 재활용 원천기술을 개발해야 한다.

국내 태양광 폐패널은 생산자책임 재활용제도를 도입하여 현재 소각하거나 매립하는 폐패널의 회수 재활용체계를 구축하여 알루미늄, 실리콘, 유리 등 유가자원을 회수할 예정이다. 태양광 폐패널에 관련된 재활용 기술에는 “실리콘계 태양전지 폐모듈에서 희유 금속 회수와 고순화 기술 개발,” “태양전지 모듈의 재자원화 기술 개발”, “결정질 실리콘 태양광 폐모듈의 저비용/고효율 재활용 공정시스템 개발과 소재화 공정기술 개발” 등이 있으며, 국책 연구기관과 산업체의 공동 연구를 통해 이루어졌다. 환경부에서는 태양광 폐패널 회수 및 폐패널 실리콘 재활용 및 제품화 기술을 통해 회수된 실리콘(Si, 규소)을 재활용 사업장에 적용하고 자동차 부품으로 활용하도록 추진한 바 있다(환경부, 2022).

3) 전기차 폐배터리 재활용

전기차 폐배터리는 주로 리튬이차전지로서 셀(cell), 팩(pack) 크기와 모양의 다양성, 복잡한 배터리 팩의 전자장치, 열 제어 시스템 등 기술 발전에 따라 구성 성분과 제품 모델이 매우 다양하다. 전기차 배터리는 리튬, 니켈, 코발트 등 유가금속 자원을 함유하고 있으며(구지선, 2019), 이를 재활용하는 기술은 크게 전처리 기술과 물질재활용을 통한 금속 회수 기술 등으로 구분할 수 있다. 전처리 기술에는 주로 해체/선별, 파쇄/분쇄, 선별 기술 등이 있으며, 금속회수 기술에는 건식제련, 습식제련, 건/습식 조합 공정 기술을 포함한다. 전처리된 유가금속 함유 소재에 농축/정련/정제 공정을 거쳐 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 구리 등을 회수한다.

배터리를 재활용하면 천연 광물로 채굴할 때보다 정제 비용을 절감할 수 있으며, 배터리 종류별로 다양한 수익성 창출이 가능하다(한국무역협회, 2022). 한편, 폐배터리를 매립 처리하면 배터리 내의 유해 물질이 토양 및 지하수를 오염시키며, 소각할 경우에는 독성가스 배출 등 환경 문제가 발생하므로(구지선, 2019) 배터리를 재활용하면 폐배터리 내의 중금속, 독성 화학물질 등의 유해 물질 회수를 통해 환경편익 증진이 가능하다. 다시 말해 전기차의 폐배터리 재활용은 안정적인 재료 확보와 환경편익 증진 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있다.

우리나라는 환경부를 중심으로 전기차 폐배터리 회수 후 재사용 또는 재활용하기 위한 실증/상용화 연구를 추진했으며, 자원순환성 제고를 위한 기술 개발사업을 진행하고 있다. 산업계에서는 해체, 분리, 파분쇄/선별 등의 물리적 재활용 공정과 침출, 여과, 용매추출, 전기분해 등의 화학적 재활용 공정을 적용하고 있다. 향후 자동화 공정을 통한 재활용 기술의 최적화 및 경제성 확보가 주요 해결과제이다.

환경부 글로벌탑 환경 기술 개발 사업으로 “전기차 배터리팩 공정 최적화 및 해체 자동화, 습식공정 개선, ESS 해체 파쇄 등에 관한 실증연구(2016~2019년)”를 진행하였다. 또한, 자원순환성을 제고할 기술 개발 사업을 통해 2022년까지 전기차 폐배터리 해체, 유용자원의 회수, 이차전지 소재 개발 등에 약 50억원 이상을 연구 개발에 투자하고 있다(조지혜 외, 2020a). 2020년 리사이클링 및 업사이클링 미래 신산업 전략 및 사업화 방향 세미나에서 전기차 배터리팩 해체 및 전지 형태별 모듈 절단 자동화, 분리 정제 공정 자동화 등 전기차 폐배터리 재활용기술 연구 분야가 설정되었다(한국자동차부품제조협회, 2020).

전기차 폐배터리 재사용과 재활용을 위한 센터 구축사업이 제주도에 추진 중이며, 일부 재활용 관련 R&D 기술을 개발 중이다. 전처리 공정은 방전시킨 배터리를 물리적으로 해체하는 단계이며, 해체 공정을 통해 케이스, 제어 박스, 팩, 모듈을 분리하고 케이블과 인쇄회로기판(PCB), 셀 등을 분리한다. 연구 개발 내용은 부품 회수, 기계적 분쇄, 블랙 파우더 제조과정을 포함한다(한국무역협회, 2022).

전기차 폐배터리의 해체 공정에서 중요한 점은 이러한 물리적 해체 및 선별공정 이전에 전기적 방전(electrical discharge) 등을 통해 폭발 위험을 제거한 후 파·분쇄 및 선별 과정을 거쳐야 한다는 점이다. 화학적 처리 공정은 침출, 여과, 용매추출, 전기적 분해 및 침전 등 금속 회수의 목적과 순도를 고려하여 다양한 기술 적용이 필요하다. 이러한 공정을 거쳐 약 95% 이상 농축된 망간, 니켈, 코발트, 리튬 등을 회수하고 있으며, 향후 해체 및 물리적 선별, 화학적 자동화 공정 등을 통한 재활용 기술의 최적화와 경제성 확보가 주요한 해결 과제로 남아 있다.

다. 재제조

사용 후 제품을 재자원화는 방법은 재이용(reuse), 수리(repair), 재조립(refurbishing), 재제조(remanufacturing), 자기잠식(cannibalization), 물질재활용(material recycling) 등 다양하지만 크게는 재사용, 재제조, 물질재활용으로 구분할 수 있다(김영춘, 2017). 재이용은 사용 후의 제품이나 부품을 특별한 생산 공정 없이 단순한 세척이나 수리를 통해 다시 사용하는 것을 말한다(임형석, 2009). 한편, 물질재활용은 원료만을 회수할 수 있고 사용 후 제품에 잔존하는 부가가치는 회수할 수 없으므로 자원순환 관점에서 우선도가 가장 낮은 순위에 해당한다(김영춘, 2017). 이에 반해 재제조는 사용 후 제품 또는 그 제품을 구성하는 부품을 좀 더 오래 사용하도록 함으로써 에너지 사용량과 대기, 수질, 토양으로의 오염물질 배출량을 상당 부분 줄일 수 있어 자원 이용효율성 및 부가가치 창출 측면에서 매우 효과적인 자원순환 방법이다(김영춘, 2017).

여기서 재제조는 일반적으로 '수명 또는 사용 주기가 다 된 사용 후 제품을 신제품과 동일하거나 더 나은 품질의 제품으로 복원하는 산업 공정'으로 정의할 수 있다(김영춘, 2017). 「환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률」에 따르면 '재제조'는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 재활용가능자원을 「폐기물관리

법」 제2조제7호에 따른 재사용·재생 이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 중에서 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등 일련의 과정을 거쳐 원래의 성능을 유지할 수 있는 상태로 만드는 것을 말한다.

재제조 공정의 주요 5단계는 아래(정원·이희정, 2010)와 같다.

- ① 해체(disassembly) 공정: 부품을 단일부품 수준으로 완전히 해체하는 단계로, 부품을 훼손 또는 파손하지 않고 접합부를 풀 수 있는 수준까지 해체함. 자동차엔진의 경우 해체에 500여 가지의 단일작업을 거침.
- ② 세척(cleaning) 공정: 해체 단계에서 나온 모든 부품을 재사용 가능한 상태로 세척하는 단계로, 세척 공정의 변수로는 화학물질의 영향, 세척 과정에서의 온도의 영향, 그리고 물 분사와 같은 기계적 활동 및 공정 지속시간 등이 있음.
- ③ 검사 및 분류(inspection and sorting) 공정: 해체와 세척을 거친 후에는 부품의 재사용 여부와 수리 조정이 가능한지 상태를 판단함. 부품의 분류는 수리 조정 없이 재사용 가능한 부품과 재사용 불가능한 부품, 수리 조정이 가능한 부품으로 분류함
- ④ 수리 조정 교체(reconditioning) 공정: 다시 새것 수준으로 만드는 단계로, 선반, 밀링, 드릴링 머신, 그라인더 또는 머시닝센터와 같은 제조 장비를 사용하거나 새로운 부품을 만들어 교체하기도 함.
- ⑤ 재조립(reassembly) 공정: 신제품 조립라인과 동일한 방식으로 조립하며 동일한 기능검사/시험운전을 통해 품질을 검사함

국내 재제조 기술 개발은 전기전자 및 자동차 부품을 중심으로 진행되었으며, 현재 재제조 분야가 확대되는 추세이다. 이와 관련하여 현재 추진 중인 기술 개발 계획을 아래와 같이 정리하였다.

- 기계 분야: 산업단지 내 범용 노후 산업기계를 대상으로 스펙업 재제조 기술 개발이 이루어지고 있으며, 공작기계 및 건설기계 리트로핏 기술 개발을 위한 예비타당성 조사가 진행 중임(안상준, 2022).
- 전력 기자재: 저 열화성 노후 GIS의 ICT/AI 기반 재제조 기술 개발, 노후 수배전반 ICT 융합 스펙업 기술 개발, 전력 송배전용 노후 전선의 물질순환 기술개발을 기획 중임(한국산업기술평가관리원, 2020, 2021년 산업기술 R&D 투자 전략. p24; 안상준, 2022).
- 선박 기자재: 조선 해양 핵심 기자재(7종) 재제조 기술 개발 및 노후 소형선박 스펙업 재제조 기술 개발을 위한 예비타당성 조사가 진행 중임(안상준, 2022).
- 미래산업을 위한 기술 개발: 친환경산업 전환에 따른 미래 폐자원에 대한 재제조 선제 기술 개발을 목표로 하며, 산업통상자원부는 재생자원의 산업원료·소재화 및 재제조기술 고도화와 관련하여, 수송기기, 산업기계 재제조기술 개발 및 성능평가·품질인증시스템 구축을 목표로 2030년까지 기술고도화를 계획하고 있음(산업통상자원부, 2021b)

[표 3-기] 친환경 산업 전환에 따른 미래 폐자원 재제조 선제 기술 예비타당성 조사 진행 현황

분야	주요 내용
전기 E모빌리티	전기차 폐배터리 B2U, 고전압 부품류 등 미래 모빌리티의 전과정 순환경제 체계 구축 기술 개발
수소 E모빌리티	연료전지의 사용 후 스택 진단, 해체, 선별 등의 재제조 기술개발
에너지 전환	노후 내연기관 자동차의 탄소 다배출 연료를 LPG, CNG, 바이오에탄올 등의 E-fuel 엔진 연료전환시스템 기술 개발
태양광 발전	현재도 활용의 어려움으로 보관 중이며, 향후 폭발적인 배출이 예상되는 태양광 폐패널의 리파워링 재제조 기술개발

(출처: 안상준, 2022)

2 세부기술별 해외 연구개발 현황

가. 플라스틱 자원화

1) 기계적 재활용 기술

폐플라스틱의 재질별 분류방법(근적외선 센서 등)이 개발 및 상용화 중이며, AI 기반 로봇과 같은 첨단 선별기술의 자동화로 전환 중이다. 산업용 폐기물 속 PP, PS, PVC 등의 선별기술은 상용화 중이나, 생활계 폐기물 속의 비결정성-PET, 글리콜 변성-PET, ABS, Acrylic 등은 아직 불완전하고 폐페트병의 이물제거 세척기술 고도화를 통해 PET 플레이크 제조기술 및 리사이클칩 제조기술은 상용화 중이다(국가과학기술자문회의, 2021).

2) 화학적 재활용 기술

미국, 독일, 프랑스, 일본 등에서는 일찍이 1990년대부터 화학적 재활용 기술 개발을 진행하였으며, 평균 200톤/일급 규모의 플라스틱 가스화 공정을 포함하여 기계적/화학적/열적 재활용 기술을 적용하는 상용화 운전 사례가 있다. 영국 플라스틱에너지사(Plastic Energy) 등은 폐플라스틱을 활용하여 열분해를 통한 화학원료가 될 수 있는 기초유분을 제조하는 사업을 추진하고 있으며, 1990년대부터 기술 개발을 진행한 독일과 일본을 중심으로 회분/연속식 열분해 공정에 대한 기술 개발 사례가 발표된 바 있다. 최근 독일 바스프(BASF)는 화학적 재활용 프로젝트(chem-cycling)를 진행하여 합성가스 등의 화학제품을 생산하고 있다. 일본의 닛키홀딩스그룹(JGC)은 2020년 10월 에바라환경플랜트주식회사(Ebara Environmental Plant)와 유비이주식회사(Ube Industries)으로부터 플라스틱 가스화 기술인 EUP(Ebara Ube Process) 기술을 받고 쇼와전공주식회사(Showa Denko)과 협력하는 내용의 계약에 대하여 발표한 바 있다¹³⁾.

3) 생물학적 재활용 기술

PET, 나일론은 자연계에 존재하는 생물에 의해 분해될 수 있음이 밝혀진 바 있으며, PE, PP, PS 등 난분해 플라스틱의 생물학적 분해 연구가 진행 중이다(국가과학기술자문

13) <https://www.jgc.com/en/news/2020/20201006.html> (접근일: 2022.12.05.)

회의, 2021). 프랑스 카르비오사(社)는 퇴비 더미에서 찾은 미생물의 효소로 10시간 안에 페트병의 90%를 분해할 수 있음을 발표했다(Nature, 2020). 프랑스 기업(Carbios) 및 글로벌 효소 기업(Novozymes)의 공동 연구, 다국적 기업의 컨소시엄(로레알, 네슬레 등)을 통하여 고효율 플라스틱 분해효소를 개발 중이며, 2024년까지 프랑스에 플라스틱 분해공장을 세워 재활용 플라스틱 원료를 연간 4만톤씩 생산 예정이다.

난분해성 플라스틱의 재자원화 연구는 화학적 재활용 기술 중심으로 진행 중이다. 생물학적 업사이클링 기술은 플라스틱 해중합 단량체 또는 올리고머의 활용 가능성을 제시하는 초기연구 단계이다. 유럽과 중국은 연합으로 믹스업(MIX-UP), 바이오클린(BIOCLEAN)등의 프로젝트를 수행 중으로 PET, PU, PE, PS 해중합 단량체를 활용하여 생분해성 플라스틱 같은 고부가 소재를 생산하는 효소 및 인공미생물을 합성생물학 기술로 개발하고 있다. 미국은 PET를 효율적으로 분해하는 효소의 개발 기술과 해중합 산물을 엔지니어링 플라스틱, 섬유강화플라스틱 등 고부가 소재로 전환하는 기술을 개발 중이다.

4) 바이오플라스틱 생산 기술

바이오플라스틱은 1900년대부터 전분계열 천연고분자 물질을 기반으로 한 제품을 상업적으로 사용하기 시작하여 최근에는 Bio-PET, Bio-PE 및 PLA 물질로 확대되고 있다(지민규 외, 2016). 생산된 바이오 플라스틱 중 약 70%가 포장재로 사용된다. [표 3-8]은 해외 선진기관에서 개발 중인 바이오 플라스틱 기술 내용을 요약한 내용이다.

[표 3-8] 국가별 플라스틱 대체재 및 재활용 개발 동향

국가	단체	주요 내용
미국	하버드대학 Wyss 연구소	<ul style="list-style-type: none"> 새우 껍질의 키틴에서 유래한 바이오 플라스틱 (생분해성) 개발 성공 완전분해되는 바이오 플라스틱을 사용한 달걀 포장재, 컵, 체스말 등의 제품을 소개하였으며, 평소에는 기존 플라스틱과 동일한 강도를 나타내지만 습기에 노출되면 빠르게 분해되는 성질을 지님 습기에 의한 분해를 지연시키기 위해 왁스코팅 방안 고려 중
	New Light Technologies	<ul style="list-style-type: none"> 폐수 처리설비, 매립지, 발전소 등에서 발생한 이산화탄소를 이용하여 플라스틱을 만드는 방법 개발 AirCarbon 제품은 플라스틱의 원료로 석유를 사용하지 않고 (원유 사용 저감), 온실가스 배출량을 감소시키며 이산화탄소를 재활용할 수 있는 장점이 있음

국가	단체	주요 내용
		<ul style="list-style-type: none"> • AirCarbon 제품은 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE), 폴리스티렌(PS)을 포함한 다양한 범위의 플라스틱과 동일한 성능을 보여줌과 동시에 생분해 및 재활용 가능
EU	유럽연합 의회	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오 플라스틱 지원정책 강화 • 유럽연합 의회는 플라스틱 봉투와 기타 재생이 불가능한 플라스틱 쓰레기의 확산을 막기 위해 '19년까지 플라스틱 봉투 사용량의 최소 80%를 감소 하라고 발표했으며, '17년까지 50%, '18년까지 80% 감축을 목표로 설정 하고 있다고 발표
벨기에	Aquiris (Veolia의 자회사)	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수 중 성분으로부터 바이오플라스틱을 제조하는 파일럿 프로젝트 진행 (슬러지로부터 휘발성 지방산을 분리하고, 지방산을 바이오고분자로 변환 하도록 선정된 박테리아와 폐수를 혼합) • 상용화/현실화 가능한 사업파트너 모색 중

(출처: 한국건설기술연구원, 2019, p. 24)

나. 유가금속 재자원화¹⁴⁾

1) 폐전기·전자제품 재활용

대형가전제품의 재활용 공정은 전처리(해체/파쇄) 공정, 선별공정, 추출 및 정제 공정으로 이루어진다. 중소형 가전제품은 통합파쇄 및 선별 후 건식제련과 습식제련 등의 공정을 통해 유가금속을 회수하고, 플라스틱류는 재생원료 및 고형연료로 재활용하고 있다. 농축과 추출공정은 복합포집 금속(구리, 납, 아연 등)을 유용하게 회수할 수 있도록 복합비철제련 공정을 운영하여 포집 금속별 특성, 금속의 종류, 최적 회수조건 등 재활용 기술을 구축하고 있다.

폐전기전자제품의 재활용 기술은 주로 유럽과 일본을 중심으로 유가자원 회수와 유해물질 처리를 통해 순환경제 구축을 위해 개발이 활발하다. 독일 레몬드리스(REMONDIS)와 벨기에 유미코어(UMICORE), 오스트리아 뮐러 구텐브룬(Muller Guttenbrunn) 등은 금속과 귀금속, 희소금속 등을 회수할 수 있는 종합 용융 및 정련로를 개발하여 가동하고 있다. 일본은 도시광산(urban mining) 개념을 일찍 도입하여 폐전기전자제품에서 금속자원을 회수할 수 있는 기술의 개발과 실증화 연구가 활발히 이루어지고 있다.

대형가전(냉장고, 세탁기, TV, 에어컨 등)은 수작업 해체 공정을 통해 콘덴서에 포함된 오일과 냉매를 회수하고 컴프레서 등을 분리한 후, 선별 공정을 거쳐 철, 비철금속,

14) '유가금속 재자원화' 해외 연구개발 현황은 이길우(2020) 보고서의 '미래폐자원 재활용' 부문을 중심으로 발췌·정리함

플라스틱, 우레탄 등을 회수한다. 중소형 가전은 제품의 종류가 많고 포함된 각종 유가금속의 성분과 함량이 다양해서 파쇄, 선별, 제련과 추출 과정을 거쳐서 유가자원과 금속을 회수하고 있다. 희소금속(니켈, 망간, 탄탈, 크롬 등 포함) 추출을 위한 제련공정은 건식 제련공정과 습식 제련공정으로 나뉜다(Itoh, 2014).

2) 태양광 폐패널 재활용

세계 주요국가는 2010년대 초반부터 주로 결정질 실리콘 태양전지를 대상으로 유리와 유가금속 회수를 위한 재활용공정 기술 개발을 진행해왔다. 특히 미국, 유럽, 일본 등을 중심으로 태양광 폐패널의 재활용 기술 연구와 상용화가 이루어지고 있다. 태양광 폐패널의 재활용 기술은 물리적 분리 해체, 열적 처리, 화학적 처리 등으로 구성되며, 주로 유리 회수, 실리콘과 유가금속의 회수 및 추출 목적으로 자원 회수가 이루어진다. 재활용 기술 단계에서 우선 알루미늄 틀과 정션박스(junction box) 등을 제거하는 자동 또는 수거 모듈 해체 및 분해 전처리 단계를 거친 후 밀봉재(encapsulant) 제거 단계, 폐소자로부터 금속추출 단계, 회수된 원자재 및 부품의 재제조와 재활용 단계 등으로 크게 구분할 수 있다. 특히 태양광 모듈의 구성요소인 유리는 태양광 모듈 무게의 약 75% 이상을 차지한다. 적층 구조인 결정질 실리콘계의 폐모듈은 밀봉재를 제거하려면 가열절단 과정을 거친 기계적 분리, 유기용매를 이용한 화학적 분리, 고온가열을 통한 연소법 등의 기술을 적용한다. 일반적으로 폐패널은 파쇄 선별 과정을 거친 후 용매 추출을 통해 반도체 소재만을 선택적으로 용해시킨다. 그후 고체와 액체 분리 및 석출 공정을 통해 반도체 소재를 회수하는 방법이 보편적으로 이용된다. 이러한 재활용 기술 공정을 거친 후 알루미늄(Al), 구리(Cu), 규소(Si), 은(Ag), 카드뮴(Cd), 텔루륨(Te), 셀레늄(Se), 인듐(In), 갈륨(Ga), 유리, 플라스틱, 알루미늄 틀, 전선 등을 회수한다.

퍼스트 솔라(First Solar), 에코 리사이클링(Eco Recycling), 사실(SASIL), 에세에세부(SSV), 말타(Maltha), 라일링 마리엔펠트(Reiling Marienfeld), 라 미아에네르지아(La Mia Energia Scarl), 네덜란드 응용과학연구기구(TNO) 등 미국, 이탈리아, 네덜란드, 벨기에 등을 중심으로 태양광 폐패널의 재활용을 위한 기술 개발이 이루어지며, 이들 기술에 기반하여 유가자원(유리, 금속류) 및 희토류 금속 등을 회수하고 있다. 또한, 고품질의 유리를 태양광 폐패널로부터 추출하여 창문이나 식기류 등에 재활용한다.

플라스틱과 충전재(ethylvinyl acetate, EVA)를 연소시킨 후 실리콘을 추출하고, 알루미늄, 은을 회수할 수 있다. 하지만, 유럽에서 태양광 폐패널의 폭넓은 상용화 확대 기술 적용을 위해서는 공정 과정에서 저소비형 에너지 사용, 유해 물질 제거, 경제성 확보 등이 아직도 주요 해결과제로 남아있다.

일본은 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)의 재정적 투자를 바탕으로 태양광 폐패널의 재활용 기술 개발과 연구가 이루어졌다. 이 연구를 통해 다양한 종류의 태양광 모듈의 분리해체 및 유가자원(알루미늄 틀, 실리콘 셀, 유리 등) 재활용 기술, 밀봉재 열분해와 CIS¹⁵⁾ 층 박리(CIS 모듈 전용) 등의 공정을 개발하였다. 최근에는 미쓰비시 머티리얼(Mitubishi materials), 하마다사(Hamada Company), 솔라 프론티어사(Solar Frontier) 등 여러 산업체를 중심으로 결정질 실리콘 태양전지 모듈의 재활용 기술 개발과 결정질 태양전지 모듈의 고효율 습식 재활용 기술, 모듈 분해를 위한 핫나이프(hot knife) 이용 재활용 기술 개발, G2G(glass to glass, 양면이 유리로 된)형 태양광 모듈의 비용절감 분리기술 개발 등 다양한 태양전지 모듈의 효율적인 재활용 기술 개발이 이루어지고 있다.

3) 전기차 폐배터리 재활용

전기차 폐배터리인 페리튬이온전지는 재사용하거나 재활용이 가능하다. 재사용을 위해 가공 범위에 따라 배터리 팩을 해체하여 모듈과 셀 단위로 선별 및 재조립하거나 팩 단위 그대로 재사용하는 방법으로 주로 에너지저장장치(ESS) 용도로 활용된다. 반면 전기차 폐배터리의 재활용은 폐배터리 내 포함되어 있는 유가자원, 특히 유가금속을 회수하여 재생원료로 활용하는 목적으로 적용된다. 리튬이온전지의 재활용 시 리튬은 물과 격렬하게 반응하여 화재 및 폭발 가능성이 존재한다. 각 전기자동차의 폐배터리 재활용을 위한 시스템 해체와 전처리 기술이 상이하므로 다양한 전기차 폐배터리의 종류별 최적화된 재활용 기술 개발이 필요하다. 폐배터리의 회수 시 드는 비용과 유가금속의 회수 시 경제적 가치가 변동하는 경우 경제적 효과가 감소되어 재활용 시장의 활성화가 어려우므로 향후 저비용, 환경오염 최소화, 에너지 절감 기반 고부가가치 재생원료 회수를 위한 재활용 기술 개발이 요구되고 있다.

15) 박막태양전지를 구성하는 층의 하나로 CuInSe₂ 화합물 계열임

벨기에 유미코어(UMICORE), 핀란드 아쿠세르(Akkuser), 독일 뒤젠펠트(Duesenfeld), 프랑스 레큐필(Recupyl) 등이 전기차 폐배터리 재활용 기술을 선도하고 있다. 특히 벨기에 유미코어는 폐(廢)리튬 이차전지를 해체 분리 및 선별 공정을 거쳐 직접 제련공정에 투입하고, 건식제련과 습식제련 등의 기술을 결합하여 코발트-니켈-구리 등의 합금을 생산하며, 이것을 니켈수소전지, 리튬이온전지 등의 재생원료로 공급하고 있다. 이처럼 정련 및 추출 공정을 통해서 구리, 아연, 망간, 니켈, 코발트, 리튬 등 유가금속을 회수하고, 슬래그는 건설재료로 활용하거나 희토류 회수를 위해 추가 재활용 공정을 거쳐 물질 회수가 이루어진다.

일본의 닛산(Nissan) 자동차는 2014년부터 구형 배터리 반납 조건으로 배터리 교체 서비스를 시행하고, 에너지 저장장치(XStorage)를 제작하여 태양광 발전과 연계한 전기 저장과 무전력 저장장치(UPS)를 개발하고 있다(시사저널e, 2016). 닛산자동차와 스미토모 상사(Sumitomo Co)는 합작투자를 통해 2018년 전기차 폐배터리 재사용과 재활용을 위한 플랜트를 건설하여 연간 약 2,250개의 배터리를 처리할 예정이다(에너지경제연구원, 2018). 혼다자동차는 전기차 및 하이브리드 차량에서 페리튬이온전지를 회수하여 전지 상태를 확인 후, 일정 조건 충족 시 재생에너지 저장장치(ESS)로 활용하거나 재사용이 어려운 경우 해체/선별 과정을 거쳐 희소금속 등을 추출할 예정이다(에너지데일리, 2020).

다. 재제조

재제조 기술은 상용화 단계와 맞닿아있기 때문에 산업현황과 기술현황을 별개로 보기 어렵다. 산업현황에서 정리한 바와 같이 유럽 정부의 시책에 따라 유럽은 재제조 산업이 일찍부터 발달하였다. 르노(Renault)에서는 기존에 완성품에서 사용된 컴프레서나 기어박스를 철저한 공정 과정을 거쳐 신제품과 동일한 보증기간으로 함께 판매한다고 소개하였다. 완전한 변형이 아닌 만큼 물질 재활용에 비해서는 에너지가 덜 들어가지만 그래도 투입되는 에너지가 공정 과정에 상당히 들어가게 된다(김병수, 2020).

미국, 유럽을 중심으로 자동차뿐 아니라 항공기, 중장비, 의료기기, 군수 장비, 로봇 등 첨단·고부가가치 산업 분야로 재제조 산업 영역을 확대하고 있으며, 시장규모는 미국이 51조 7천억원, 유럽이 46조 8천억원으로 국내 대비 50배 이상, GDP 대비 4배 이상인 것으로 나타난다(안상준, 2022). 독일은 원 제조업체인 벤츠에서 약 3만 7,000여종의 재제조 부품을 브랜드화하여 가격은 30% 저렴하지만 보증 수준은 동일하게 책정하였

다. 미국의 경우, 제너럴 일렉트릭(GE)에서 첨단 의료기기 등의 고부가제품을 대상으로 재정비 서비스를 제공하는 골드실(GoldSeal) 프로그램을 운영하고 있다(안상준, 2022).

일본의 경우, 디엠지 모리(DMG-Mori)에서 생산된 제품을 대상으로 100% 성능 복원뿐 아니라 맞춤형 성능향상을 목표로 하여 전과정에 걸친 서비스를 제공한다. 이처럼 원래 성능 대비 향상된 성능을 제공함으로써 재제조 범위를 확장하고 있다.

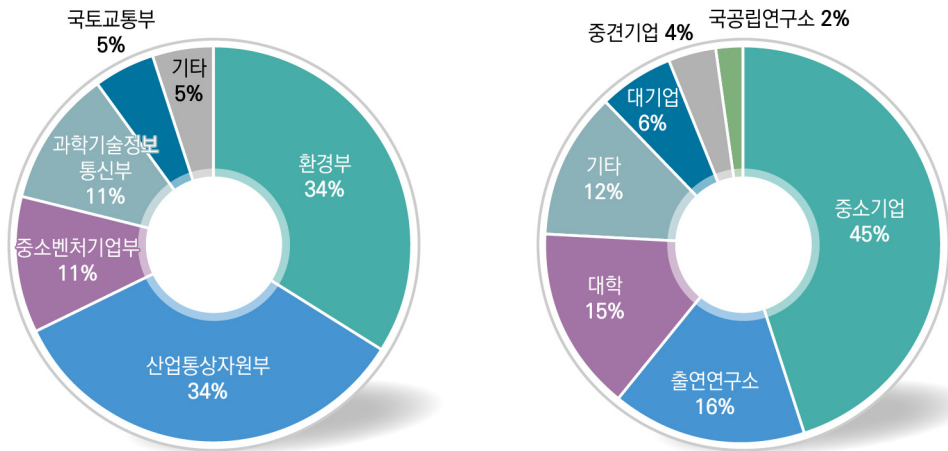
3 국내 연구개발 현황

NTIS(국가과학기술지식정보서비스)는 국내에서 수행한 연구 개발과제를 대상으로 정보를 제공하는데 다양한 과학기술 분류체계에 기반하여 분석할 수 있는 근거자료를 제공한다. 여기서 순환경제 기술은 「과학기술표준분류」에서 ‘폐기물 관리 및 자원순환’ 또는 「녹색기술분류체계」 안에 ‘폐기물 자원화 및 에너지화’(기타 기술 포함)와 가장 일치도가 높으나 두 분류체계를 적용하여 추출한 과제정보가 일치하지 않는 것이 상당 부분 존재한다. 포괄적인 분석을 위하여 여기서는 두 분류체계 중 하나 이상에 속하는 과제를 모두 포함하여 분석하였다. 2012~2021년 10년간 수행된 과제 중 이러한 기준으로 선택된 과제는 총 3,955건이며, 투자된 총연구비는 약 1조 5천억원 규모로 민간투자 비중은 25%이다.

【표 3-9】 순환경제 기술개발 주요 투자 분야(전체의 86%) 구성(2012~2021년 수행 과제)

적용분야	민간연구비 (백만원)	총연구비 (백만원)	기초 연구	응용 연구	개발 연구	기타 연구
환경	102,972	395,745	16%	12%	65%	7%
하수, 폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업	87,515	338,731	36%	10%	49%	4%
에너지	61,937	284,445	8%	30%	35%	26%
제조업 (화학물질 및 화학제품)	24,100	76,374	4%	17%	62%	18%
제조업 (비금속 광물 및 금속제품)	21,184	71,397	13%	17%	64%	6%
기타 공공목적	13,394	70,942	8%	14%	58%	20%
건설업	16,907	61,330	16%	10%	74%	0%
총합계	328,009	1,298,964	17%	16%	51%	12%

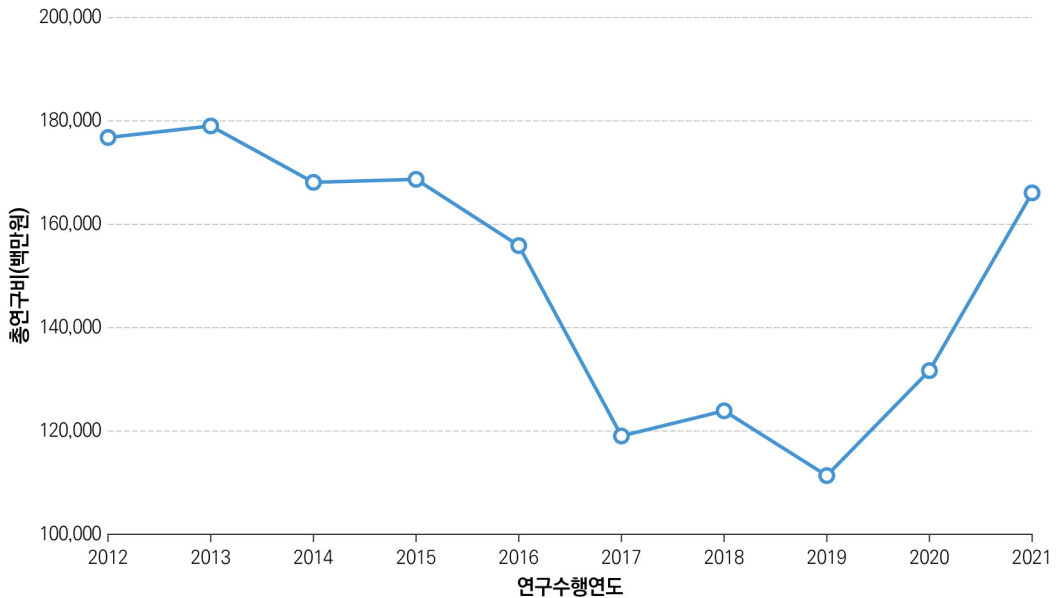
[표 3-9]는 대상 연구과제 전체 중 총연구비의 86%(1조 3천억원)가 투자된 상위 적용 분야의 연구 개발 단계구성을 보여준다. 전체에서 환경 및 하수 폐기물 처리 등 기존의 폐기물·폐수 처리에 해당하는 기술을 다수 포함하는 두 적용 분야 기술에 전체 투자의 49%가 집중되어 있다. 본 연구에서 정의한 순환성에 직접적으로 기여하는 물질순환 및 재자원화가 가능한 다양한 개별 적용 분야에의 투자(제조업, 기타 공공목적, 건설업)는 전체의 19%에 불과한 것으로 나타났다. 기술 적용 분야별 연구수행단계(기초, 응용, 개발, 기타) 집중도는 상이하나 비교적 상용화 단계에 가까운 연구 개발의 비중이 높아 이미 존재하는 기초기술의 적용에 해당하는 연구 개발 활동 비중이 높은 것으로 보인다. [그림 3-4]에서 연구수행 주체별 기술 개발 수행 규모에서 중소기업의 비중이 45%로 압도적으로 높다는 것까지 감안하면, 현재의 순환산업 구조상 기술개발 수요가 높은 중소기업의 상용기술 지원 성격의 연구 개발이 높은 비중을 차지한 것으로 해석할 수 있다. 이러한 개발연구는 투자 성과를 평가하기 위하여 단기적으로는 중장기적으로 영향력이 큰 특허기술 보유 여부 및 사업화 성과를 모니터링할 필요가 있다.



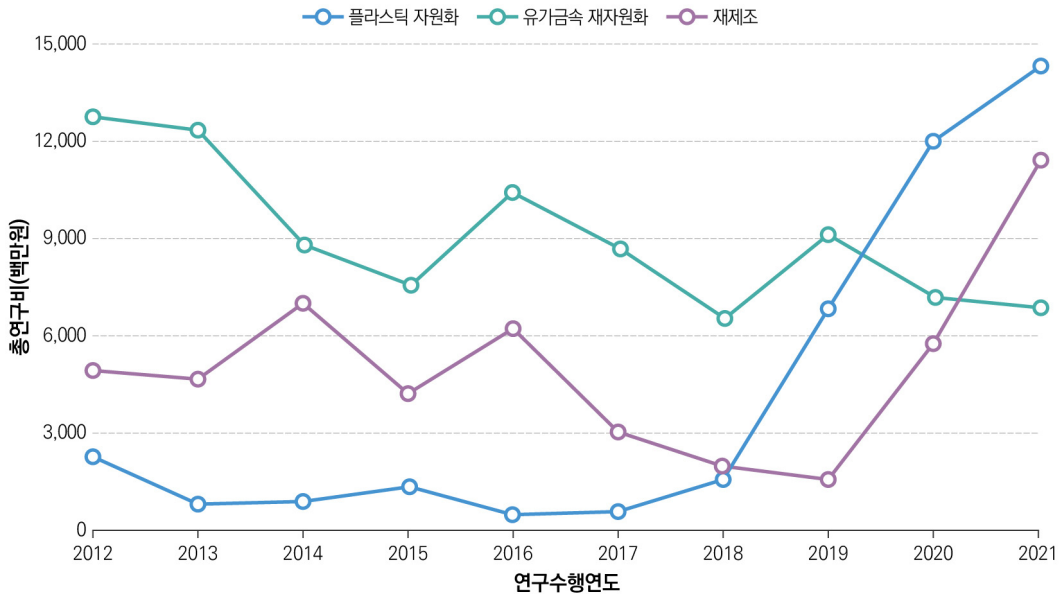
[그림 3-4] 부처별, 연구수행주체별 순환경제 기술개발 수행 규모(총연구비 기준)

- * 산업통상자원부의 총 연구비는 지식경제부를 포함한 결과임
- * 중소기업부의 총 연구비는 중소기업청을 포함한 결과임
- * 과학기술정보통신부의 총 연구비는 미래창조과학부와 교육과학기술부를 포함한 결과임

[그림 3-5]에서 보여주는 연도별 순환경제 연구 개발 투자 규모추이는 2019년을 전후로 큰 변화를 보여준다. 2019년까지는 점진적으로 연구 개발 투자가 감소하는 경향이 있었으나 2019년을 기점으로 급격하게 증가하는 추세이다. 이는 「자원순환기본법」이 2018년 1월 1일부터 시행된 이래, 『제1차 자원순환 기본계획(2018~2027년)』의 다양한 전략사업을 시행하기 시작한 시점과 일치한다. 이는 본 연구가 조사한 순환경제 기술의 73%(2018년까지의 총연구비 비율)가 폐기물 관리 및 재활용이 주류이던 시기에 개발한 내용이다. 이 시기는 ‘자원순환’ 개념이 제도권에 들어오기 전으로, 이후 2019년 이후부터 개발된 기술의 내용과 성격은 이 시기와 다를 가능성을 시사한다. 실제로 그림에서 나타난 바와 같이 플라스틱 자원화 기술 연구 개발 투자는 2018년부터 급증하였으며, 재제조 기술 연구 개발 투자는 2019년부터 급증하기 시작하였다. 이것은 2019년도부터 환경부에서 시작한 200억원 이상 규모의 ‘생활폐기물 재활용기술 개발 사업’이 폐플라스틱 재활용기술에 집중함에 따른 일시적인 변화 양상일 수도 있다. 그러나 『K-순환경제 이행계획』에서 플라스틱 재자원화 목표를 중요하게 다루었으며, 미세플라스틱 통합관리기술 개발사업 등 플라스틱 자원화 관련 예비타당성 조사가 이루어진 바가 있어, 향후에도 이러한 투자 증가추세는 지속할 것으로 전망한다.



[그림 3-5] 연도별(2012~2021년) 순환경제 기술 연구 개발 투자 규모추이



[그림 3-6] 연도별(2012~2021년) 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술 연구 개발 투자 규모 추이

[표 3-10]은 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술¹⁶⁾에 대한 부처별 투자현황을 정리한 결과이다. 플라스틱 자원화는 환경부 투자가 주를 이루며, 산업계의 기술투자와 밀접하게 관련되어있는 산업통상자원부와 중소벤처기업부의 투자는 각각 환경부의 9%, 12% 수준에 불과한 것으로 나타났다. 이에 반해 유기금속 재자원화와 재제조는 산업통상자원부의 투자가 각각 전체의 36%, 91%를 차지하였다. 이는 플라스틱 자원화가 아직은 여전히 환경보전의 관점에서 기술 개발을 추진하고 있으며, 신산업 육성 차원에서의 열분해, 가스화 등의 화학적 재활용 방법에 대한 정부투자는 부족한 것으로 진단된다. 유기금속 재자원화는 과학기술정보통신부의 투자가 다른 두 부문의 기술개발에 비해 높아 원천기술 개발 차원에서의 투자가 상대적으로 활발했다. 환경보전, 기술사업화 등과 함께 다양한 목적으로 이 분야의 기술 개발이 이루어져왔으나 [그림 3-6]에서 최근 10년간 연구개발 투자가 점차 축소되고 있다. 최근 전 세계적으로 산업

16) 본 연구에서 사용한 기술 구분은 NTIS의 기술분류체계와 일치하지 않기 때문에 연구과제명을 대상으로 키워드 검색(플라스틱, 금속, 재제조)으로 추출한 과제 중 적용 분야, 과학기술 표준분류, 녹색기술분류, 6T 관련 기술분류 내용에서 각각의 기술과 거리가 있는 내역을 제외하여 분석대상을 설정함.

경쟁력의 중요한 리스크 관리 요소로 다루는 자원안보 및 핵심 광물자원 확보 차원에서 본 기술 개발에 대한 투자를 확대할 필요가 있다.

[표 3-10] 부처별 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술 투자 금액

부처명	총연구비(백만원)		
	플라스틱 자원화	유기금속 재자원화	재제조
환경부	28,746	35,284	2,068
산업통상자원부	2,490	32,696	46,091
중소벤처기업부	3,364	6,641	2,310
과학기술정보통신부	2,851	14,618	263
교육부	1,305	1,102	0
농촌진흥청	1,230	0	0
해양수산부	882	0	0
국토교통부	360	0	0
총합계	41,228	90,342	50,732

* 산업통상자원부의 총 연구비는 지식경제부를 포함한 결과임

* 중소벤처기업부의 총 연구비는 중소기업청을 포함한 결과임

* 과학기술정보통신부의 총 연구비는 미래창조과학부와 교육과학기술부를 포함한 결과임

4 국내·외 특허출원 현황

국내외 기술의 개발현황 및 경쟁력 진단목적으로 특허분석을 일반적으로 널리 사용한다. 여기에서는 2012~2021년에 공개된 출원 또는 등록된 특허 중 주요국에 해당하는 중국(CN), 유럽(EP), 일본(JP), 대한민국(KR), 미국(US)을 대상 국가로 하는 특허를 대상으로 분석한 결과를 보여준다. 특허 검색은 위스¹⁷⁾ 데이터베이스를 사용했으며 특허 상태가 취하, 거절, 심사 중, 소멸, 각하, 포기, 무효에 해당하는 건은 포함하지 않았다. 전체 분석 대상¹⁸⁾ 1만 7,009건의 특허 중 1만 6,039건이 등록된 상태이며 970건이 출원된 상태이다. 순환경제 기술로 포함된 항목과 해당 기술 내용으로 출원된 특허 건수를 [표 3-11]에 요약하였다.

17) <https://www.wintelips.com/service/sci/integratedSearch.wips> (검색일:2022.12.7.)

18) 효과적인 분석을 위하여 위스 패밀리 로직으로 동일 발명 단위를 그룹핑한 결과임.

[표 3-11] 특허분석 대상 순환경제 기술(2012~2021년 공개된 특허 대상)

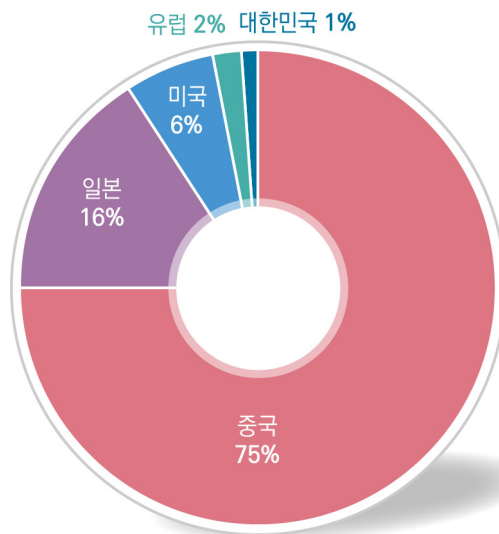
기술 코드 ¹⁹⁾	기술설명	특허 건수 (주요국 출원) ²⁰⁾	특허 건수 (전체)
C100	폐기물 수집, 운송, 운송 또는 보관, (예: 분리된 쓰레기 수거, 전기 또는 하이브리드 추진)	807	819
C200	폐기물 처리 또는 분리	219	221
C300	바이오 유기 분액 처리; 폐기물 또는 쓰레기의 유기 분액에서 비료 생산	1,030	1,038
C400	재사용, 재활용 또는 복구 기술	417	451
C401	재료 회수를 위한 폐기물의 기계적 처리, (예: 분쇄, 파쇄, 분리 또는 분해)	933	993
C402	차량 재사용, 재활용 또는 복구 기술	127	131
C403	건설 및 철거 폐기물 재사용, 재활용 또는 복구 기술	245	253
C404	유리 재활용	97	109
C405	플라스틱 재활용; 고무 재활용	2,338	2,548
C406	종이 재활용	795	884
C407	재사용 섬유를 얻기 위해 섬유가 함유된 식물 제품을 분해	198	211
C408	지방, 지방오일, 지방산 또는 다른 지방질의 회수, (예: 라놀린 또는 왁스)	252	279
C409	목재 또는 가구 폐기물 재활용	152	153
C410	포장 재사용 또는 재활용, (예: 다층 포장)	894	951
C411	전기 또는 전자 장비 폐기물의 재활용	731	739
C412	배터리 또는 연료전지 재활용	1,284	1,297
C413	모르타르 또는 콘크리트용 필러로서 폐기물 사용	4,876	5,075
C500	바이오 패키징, (예: 재생 가능한 자원 또는 바이오 플라스틱으로 만들어진 용기 포장)	808	857
총합계		16,203	17,009

중국, 유럽, 일본, 대한민국, 미국을 대상국으로 순환경제 기술 특허를 출원한 전체 국가의 특허 17,009건 중에서 16,203건이 주요국이 출원한 건수에 해당하며, 이는 자국 대상 특허출원이 압도적인 중국과 일본 특허가 전체에서 차지하는 비중이 91%에 달하는 데에서 온 특징이다. [표 3-11]에서 전체 순환경제 기술 중 모르타르 또는 콘크리

19) 검색에서는 CPC 코드를 사용하였으며, 여기서는 가독성을 위해 단순화된 코드를 임의로 생성하여 사용함.

20) 주요국인 중국(CN), 유럽(EP), 일본(JP), 대한민국(KR), 미국(US)에서 출원한 특허

트용 필러로서 폐기물 사용(C413) 기술과 플라스틱 재활용, 고무 재활용(C405) 기술에 관한 특허기술이 높은 비중을 차지하고 있는 것을 확인하였다. 본 연구에서 미래기술로 선정한 유기금속 재자원화와 재제조 기술과 밀접하게 관련된 C401, C402, C411, C412 기술은 아직 상대적으로 활발하게 출원 등록되고 있지 않았으나 순환경제가 새로운 산업 패러다임으로 성공적으로 전환되는 경향성을 유지한다면 향후 기술 수요가 높아짐에 따라 출원 집중도가 급증할 것으로 예상된다.



[그림 3-7] 출원국별 순환경제 기술 특허 보유 비중(%)

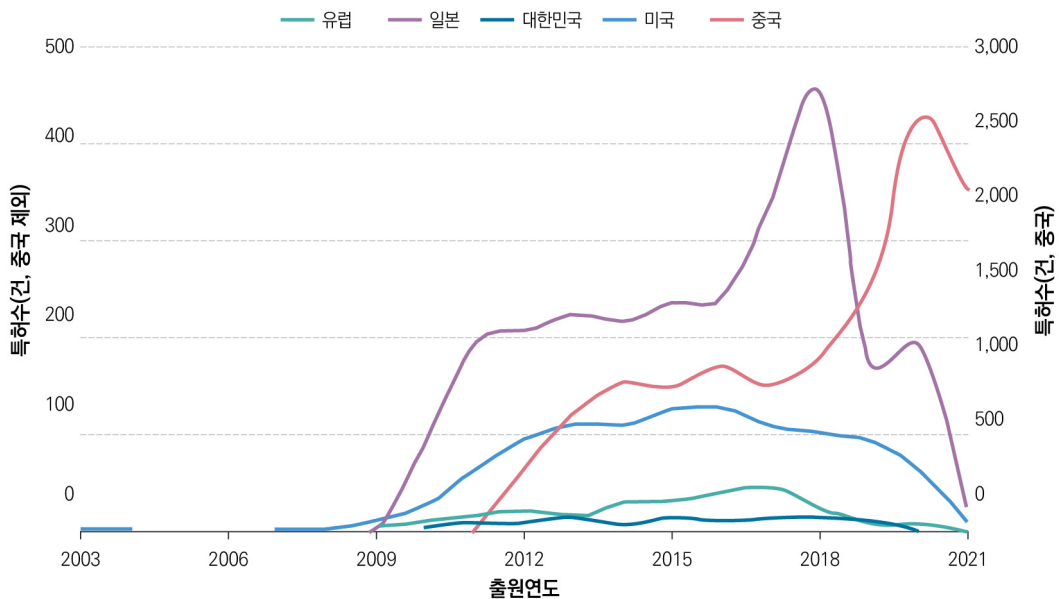
[그림 3-7]은 순환경제 기술군별 주요 출원국이 차지하는 비중을 분석한 결과를 보여 준다. 모든 기술군에 걸쳐 중국이 압도적으로 높은 비중을 차지하며, 일본과 미국이 그 뒤를 잇는다. 중국이 출원한 기술 중 상대적으로 점유율이 높지 않은 C406(종이 재활용), C409(목재 또는 가구 폐기물 재활용)와 C410(포장 재사용 또는 재활용, 예: 다층 포장)은 일본의 점유율이 각각 26%, 52%, 34%로 양적 기준에서 일본의 기술경쟁력이 높은 기술군으로 볼 수 있다. 한편, C408(지방, 지방 오일, 지방산 또는 다른 지방질의 회수), C410(포장 재사용 또는 재활용, 예: 다층 포장)은 타 기술에 비해 미국의 점유율이 상대적으로 높은 기술에 해당한다.

[표 3-12] 순환경제 기술별 주요 출원국 구성 비율

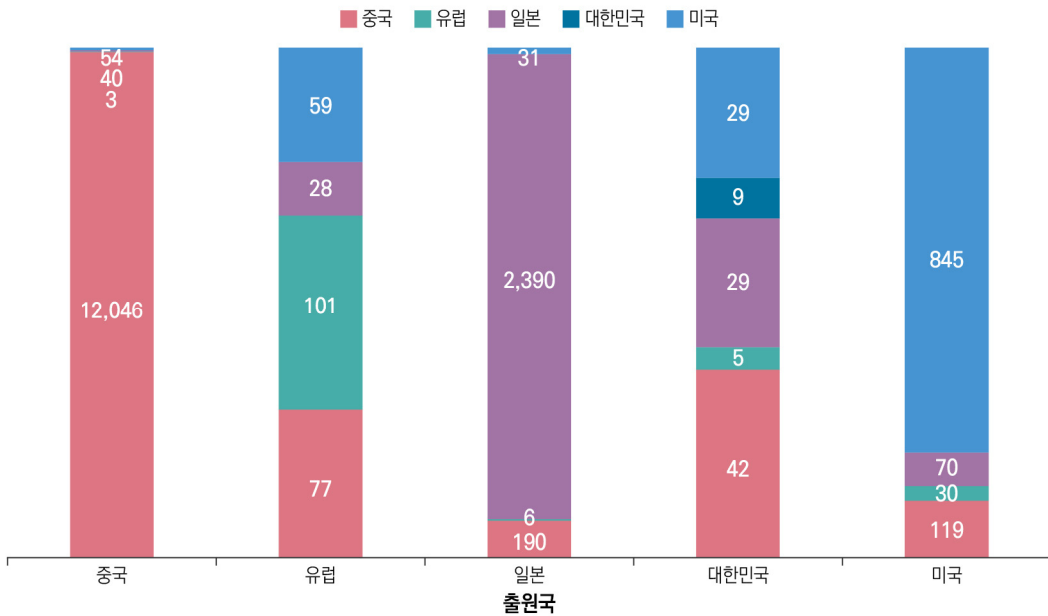
기술코드	중국	유럽	일본	대한민국	미국
C100	752	0	40	2	13
	92%	0.0%	5%	0.2%	1.6%
C200	136	1	75	6	1
	62%	0.5%	34%	2.7%	0.5%
C300	985	0	32	1	12
	95%	0.0%	3%	0.1%	1.2%
C400	311	0	72	9	25
	69%	0.0%	16%	2.0%	5.5%
C401	741	10	143	8	31
	75%	1.0%	14%	0.8%	3.1%
C402	113	1	10	1	2
	86%	0.8%	8%	0.8%	1.5%
C403	225	1	18	1	0
	89%	0.4%	7%	0.4%	0.0%
C404	87	1	4	2	3
	80%	0.9%	4%	1.8%	2.8%
C405	1,638	68	437	17	178
	64%	2.7%	17%	0.7%	7.0%
C406	496	14	226	1	58
	56%	1.6%	26%	0.1%	6.6%
C407	186	0	6	0	6
	88%	0.0%	3%	0.0%	2.8%
C408	183	2	21	0	46
	66%	0.7%	8%	0.0%	16.5%
C409	66	1	79	2	4
	43%	0.7%	52%	1.3%	2.6%
C410	376	19	324	7	168
	40%	2.0%	34%	0.7%	17.7%
C411	612	1	97	6	15
	83%	0.1%	13%	0.8%	2.0%
C412	1,126	3	101	12	42
	87%	0.2%	8%	0.9%	3.2%
C413	3,570	121	762	34	389
	70%	2.4%	15%	0.7%	7.7%
C500	540	22	170	5	71
	63%	2.6%	20%	0.6%	8.3%

[표 3-12]와 [그림 3-7]에서 우리나라는 순환경제 기술특허 수 기준으로 매우 경쟁력이 낮은 수준임을 확인할 수 있다. 총 114건의 특허 중 C405(플라스틱 재활용; 고무 재활용)와 C413(모르타르 또는 콘크리트용 필러로서 폐기물 사용)에 집중도가 높으며 이는 이미 전체 순환경제 기술 중 전통적으로 집중 개발되었던 분야에 해당한다. 향후 국제적인 순환경제 기술수요 전망에 기반하여 특허 전략을 수립할 필요가 있다.

[그림 3-8]은 출원국별 순환경제 특허 건수 추이를 보여주며, 중국은 2018년을 기점으로, 일본은 2016년을 기점으로 특허 수가 급증하는 추세이다. 중국을 제외한 국가 중 일본이 순환경제 기술경쟁력 확보에 가장 적극적으로 대응하는 것으로 보이며, 출원국별 특허출원·등록 대상국 구성 [그림 3-9]으로부터 자국 기술을 중점적으로 방어하는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 3-8] 출원국별 순환경제 특허건수 추이



[그림 3-9] 출원국별 특허출원·등록 대상국 구성(전체 출원 건수 대비 대상국 비중을 시각화함)

출원국별 특허출원·등록 대상국 구성을 분석한 결과([그림 3-9]) 다른 주요국들이 자국을 대상으로 주로 출원한 것과 달리 우리나라는 중국>일본=미국을 중심으로 출원한 점이 특징적이다. 특히 중국과 일본은 자국의 기술 보호를 위한 특허비중이 각각 중국은 99.2%, 일본은 91.3%로 적극적인 대응을 하는 것으로 보인다. 또한 우리나라를 대상으로 외국에서 출원한 건수가 0건이었다는 점까지 종합적으로 고려하면 우리나라의 순환경제 기술 중 방어가 필요한 내용 및 수준이 아직 존재하지 않음을 시사한다고 볼 수 있다.

우리나라를 대상으로 출원된 특허 9건(모두 국내 출원인이 보유한 기술임)에 대한 상세 내역을 [표 3-13]에 정리하였으며, 피인용 수를 함께 표시하여 특허의 영향력을 간접적으로 유추할 수 있도록 하였다. C413 기술인 모르타르 또는 콘크리트용 필러로서 폐기물 사용에 속하는 특허의 피인용 수가 18건으로 가장 영향력이 높은 특허에 해당한다. 그러나 본 연구가 대상으로 하는 플라스틱 자원화, 유기금속 재자원화, 재제조 기술에 해당하는 특허는 존재하지 않아 특허기술 경쟁력 차원에서 국내 순환경제의 취약성이 높은 것으로 진단하였다. 단, 본 분석이 2012~2021년에 공개된 특허를 대상으로 하였기 때문에 최근에 기술이 개발되어 심사 중이거나, 출원이 되었지만 아직 공개되지

않은 기술은 포함하고 있지 않기 때문에 2018년 이후 급격하게 증가한 국내 순환경제 R&D 투자 결과를 반영하기에는 한계가 있다. 따라서 순환경제 특허출원 현황은 향후에도 지속적으로 모니터링하여 국내 기술 대비도를 진단할 필요가 있다.

[표 3-13] 국내 특허 출원 상세 내역

기술코드	발명 명칭	출원연도	피인용수
C100	에어 튜브식 케익호퍼	2011	2
C200	생활폐기물 처리 신청 방법 및 시스템	2013	3
	막힘 방지기능이 구비된 스크류 탈수기	2013	4
	탈수기	2013	4
	유·무기성 슬러지를 이용한 재활용 성토재의 제조방법 및 그 방법으로 제조된 재활용 성토재	2011	4
	슬러리 분리기	2011	1
C401	수중의 오니퇴적물 제거장치 및 그 방법	2010	7
C413	칼슘계 알칼리제 분말 및 이를 제조하는 방법	2018	0
C413	콘크리트 구조물 보수 보강 및 내진 성능 향상을 위한 보수 보강 모르타르 조성물 및 이를 이용한 보수 보강 공법	2017	18

5 순환경제 기술개발을 위한 재정투자 전망

2021~2025년 국가재정운용계획 지원단은 『자원순환 경제 구축 부문 보고서』(국가재정운용계획 지원단, 2021)에서 부문별 재정투자 방향을 제시한 바 있다. 자원순환 부문 재정투자에 영향을 주는 주요 국가 정책 여건으로 2020년 7월에 발표한 『K-뉴딜 종합계획』에서 ‘녹색사업 혁신 생태계 구축 사업’의 5대 선도 분야 중 ‘미래 폐자원’과 ‘자원순환’을 포함하고, 같은 해 발표된 「2050 탄소중립 추진전략」에서 5대 기본방향 중 ‘순환경제로 지속가능한 산업혁신 촉진’을 포함하였다. 또한 법적제도 측면에서는 「환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법」이 재제조 대상 품목확대 및 품질인증 활성화 계획을 포함하는 방향으로 개정됨으로써 순환경제 관련 투자 방향에 유의미한 변화가 있을 것으로 전망된다.

동 보고서(국가재정운용계획 지원단, 2021)는 핵심 우선 분야로서 플라스틱, 배터리 등 미래 폐기물, 식품, 섬유를 선정하였고 연구기반 강화 목적의 데이터 구축 및 기초연구를 확대하는 투자 방향을 제시하였다. 특히 플라스틱 부문의 재정투자 방향에 대한 분석을 상세하게 제시하였으며 아래와 같이 재정투입이 필요한 세부 기술과제를 단기, 중기, 장기로 구분하여 보여주었다.

[표 3-14] 국가 플라스틱 폐기물 관리를 위한 재정투입 관련 기술과제

분야	기술과제
감량 (단기)	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 관련 물질흐름도 구성(매년 작성) • 플라스틱 경량화 제조 기술 개발 • 재생 플라스틱의 원료 투입 기술 개발 • 플라스틱의 순환성 제고 기술 개발(무해 첨가물 사용 등) • 타 재질로의 전환 시 환경성 평가(폐기물량 및 환경성 등) • 수출폐기물의 고품질화
재활용 (단·중기)	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합폐기물로부터 플라스틱 폐기물의 선별 효율 증진 기술 개발 • 선별된 폐플라스틱의 재활용 방안 확대 기술 개발(열회수 등) • 고열량 폐기물의 원소/열회수 기술 개발 • 페비닐로부터 석유를 뽑아내는 '도시 유전' 사업 • 화학적 재활용 기술 개발(특히 polymer → monomer 전환 기술)
Bio Plastic (장기)	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경적인 Bio Plastic 제조 기술 개발 • Bio Plastic의 재질 구조에 관한 기술 개발 • Bio Plastic의 환경 중 거동에 관한 연구 • Bio Plastic과 일반 플라스틱의 구분 기술 개발 • Bio Plastic의 재활용성 향상 기술 개발

출처: 국가재정운용계획 지원단(2021), p. 75.

한편, 순환경제 기술개발 관련 부처별 중장기 R&D 방향 확립에 중요한 국가 중장기 계획에서 순환경제와 연계된 내용을 아래와 같이 정리하였다.

[표 3-15] 부처별 과학기술 중장기 계획 중 순환경제 관련 내용

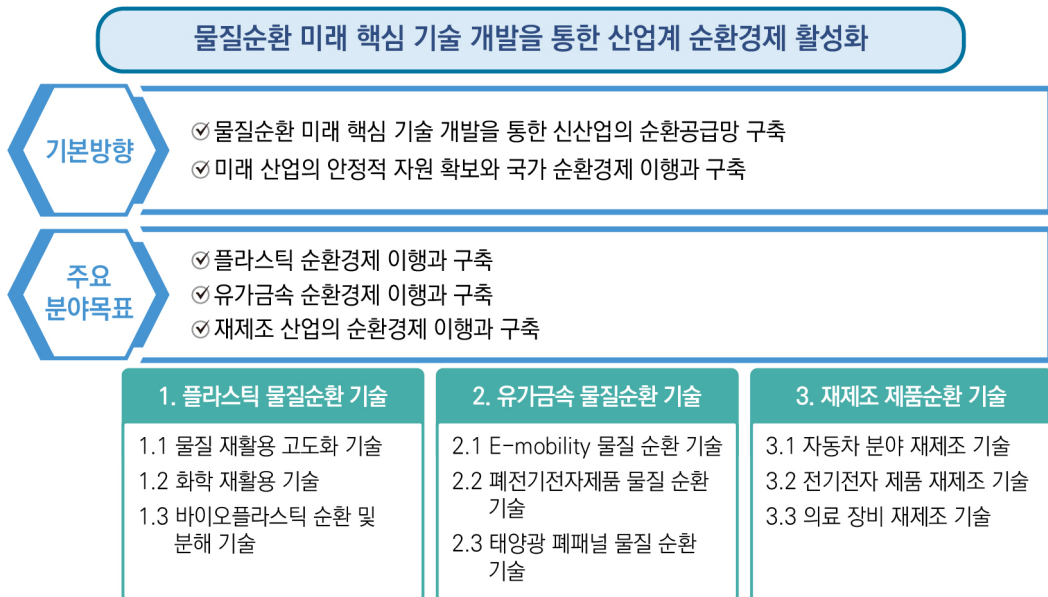
주관부처	계획명	순환경제 관련 내용
산업통상 자원부	산업기술 혁신계획 (‘19~’23)	차세대 100대 핵심 기술 중 청정생산 부문 - 순환공정 핵심 자원 확보를 위한 공정 내 원료 추출 기술 - 신제품과 동등한 폐제품의 성능 확보를 위한 재제조 기술
	소재부품장비 경쟁력 강화 기본계획 (‘20~’24)	안정적인 희소금속 물류 공급망 구축을 위한 자원 재활용 기술 개발과 희토금속 대체 및 저감 원천기술 확보 병행
	국가표준 기본계획 (‘21~’25)	친환경 산업 전환을 위한 표준개발 확대 - 유니 소재화를 통한 재활용 증가, 폐기물 감소 등 자원순환 촉진을 위한 표준 개발 및 보급·확산
	2030 이차전지 산업 발전전략 (‘21~’30)	안정적인 이차전지 소재 공급망 구축 - 친환경 재활용 기술 개발 실증센터 구축과 기술 개발 지원을 통해 리튬 등의 재활용률 지속 제고 - 주요 광물 물질흐름 분석 후 재활용 자원 데이터 축적, 광종별 재활용률 산정 관리 - 희소금속 100대 핵심기업 지원제도를 통해 이차전지 광물 재활용 기업 발굴 등 종합 지원
환경부	환경기술 환경산업 환경기술인력 육성계획 (‘18~’22)	자원 재사용-재활용 촉진 기술 중점과제 - 폐기물 감량 및 제로화 기술 - 폐자원 재이용 및 재활용 기술 - 폐자원 에너지화 기술
농림축산 식품부	농림식품 과학기술 육성 종합계획 (‘20~’24)	글로벌 스마트팜 융합 원천기술 개발 - 축산자원 완전 순환형 플랫폼

출처: 국가과학기술정보서비스(NTIS)
중장기계획예산사업(<https://www.ntis.go.kr/rndgate/eg/ia/mlp/allMap.do>)

제3절 중장기 기술개발 전략

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

제2절에서는 본 연구가 대상으로 하는 6개 주요 산업과 관련한 순환경제 기술을 ① 플라스틱 자원화, ② 유기금속 재자원화, ③ 재제조 기술로 구분하여 세부 기술을 대상으로 기술현황을 정리하였다. 본 절에서는 이에 기반한 중장기 기술 개발전략을 도출하였다. 중장기 기술 개발전략은 아래 그림과 같이 ‘물질순환 미래 핵심기술 개발을 통한 산업계 순환경제 활성화’라는 비전에 따라 주요 분야 목표를 지원하는 내용으로 구조화하였다.



[그림 3-10] 미래 물질순환 기술개발 중장기 로드맵

아래 내용은 ① 플라스틱 자원화, ② 유가금속 재자원화, ③ 재제조 기술, 각각에 포함된 세부 전략과 2050년까지의 기술 개발 로드맵을 정리하였다. 세부기술 내용은 앞선 기술현황 분석 내용에 기반하였으며, 2050년까지의 중장기 로드맵은 도출에 필요한 근거 자료가 부족하다는 한계가 있어 주로 연구자의 직관에 의존하여 도출하였다.

1 플라스틱 자원화 기술개발 전략

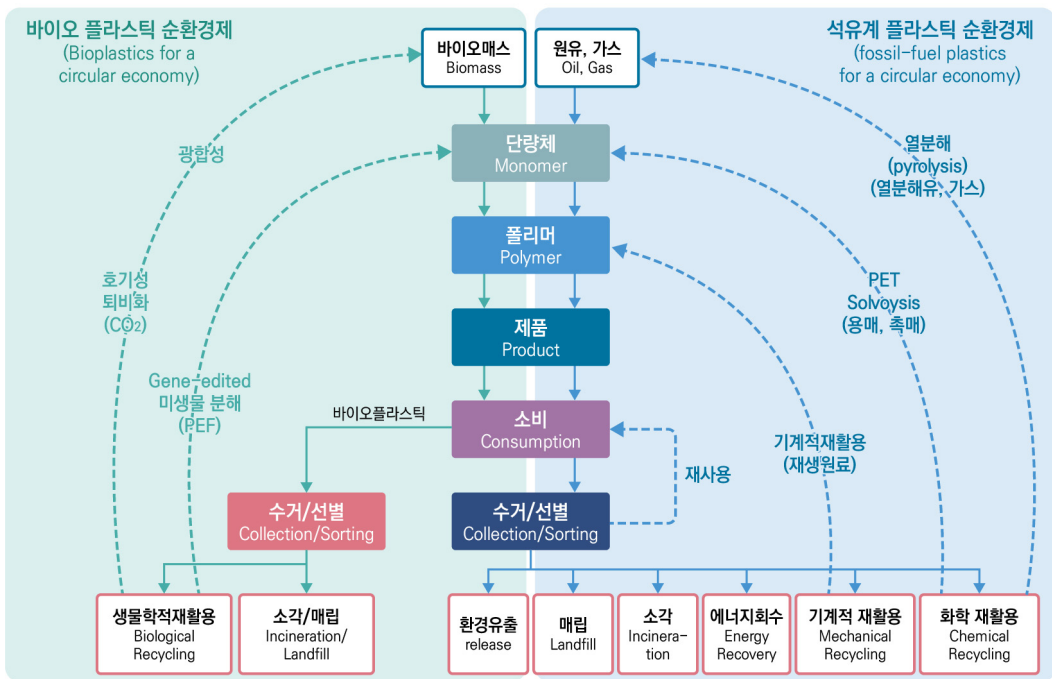
가. 순환경제를 위한 플라스틱 자원화 산업 미래전망



[그림 3-11] 물질순환 미래 핵심 기술과 국내 산업의 연관성

[그림 3-12]는 플라스틱의 순환경제 구축 전략과 물질순환 개념도를 나타낸다. 플라스틱의 물질순환은 크게 석유계 플라스틱 순환과 바이오 플라스틱 순환으로 구분하는데 현재는 석유계 플라스틱의 물질 재활용 중심으로 일부 순환이 이루어진다. 석유계 플라스틱 순환경제 구축을 위해서는 물질 재활용 기술과 함께 화학적 재활용 기술 개발과 투자를 통해 플라스틱 순환성을 확대할 필요가 있다. 화학적 재활용 기술은 재질별 물질 재활용 한계를 넘어서 오염된 플라스틱을 열적 및 화학적 방법을 활용하여 순환고리를 완성하는 데 기여한다.

현재는 석유계 플라스틱 순환의 화학적 재활용 기술 개발 및 상용화가 활발하게 진행 중이다. 이와 함께 바이오 플라스틱 순환기술 개발도 이루어지고 있다. 최근 들어 바이오 플라스틱 제품을 개발하여 기존 화석연료 기반 플라스틱 제품을 대체하고 있다. 이러한 바이오 플라스틱 제품 역시 소비 후 폐기되는 과정에서 폐기물 관리가 필요하며, 순환경제를 위한 밸류체인을 구축하여야 한다.



[그림 3-12] 플라스틱 순환경제 구축 전략과 물질순환 개념도

나. 순환경제를 위한 플라스틱 자원화 미래 기술 개발 방향

1) 플라스틱 선별 기술 개발

플라스틱 기계적 재활용 기술은 원료의 순도 등이 재생원료 생산 효율 및 품질에 미치는 영향이 크므로 선별기술 고도화 작업이 선행되어야 한다. 국내 폐플라스틱의 선별은 주로 인력 선별과 단순 기계적 선별 위주로 되어 있어 고품질 재생원료 생산에 한계가 따른다. 선별 단계에서 근적외선 선별, 레이저 선별, AI 학습기반 로봇 분리 선별과 자동화기술의 개발과 투자가 필요하다.

또한, 기존 석유계 플라스틱을 바이오 플라스틱으로 대체하면서 석유계 플라스틱과 바이오 플라스틱이 혼합된 폐플라스틱을 분리 선별하는 기술 수요가 커질 것으로 전망한다.

2) 기계적 재활용 기술 고도화

고품질 플라스틱 재생원료 생산을 위하여 로봇 기반 플라스틱 선별기술 고도화와 함께 이물질 제거, 용융, 펠렛 및 성형 가공 제조기술 개발과 투자가 필요하다. 이처럼 기계적 재활용 기술을 개발하여 고품질 플라스틱 재생원료(PET, PP, PE 등) 생산 공정 효율이 향상될 것으로 기대한다.

3) 플라스틱 열분해, 가스화 기술 개발

폐플라스틱 열분해 및 가스화 기술은 폐플라스틱을 고온, 무산소 분위기에서 가스 형태로 열분해한 후 냉각하여 액체 상태의 연료 또는 열분해유를 회수하는 기술이다. 최근 유럽, 일본과 미국을 중심으로 플라스틱의 열분해 기술공정과 가스화 용융공정을 상용화하여 열분해유를 생산하고 있으며, 국내에서도 상용화기술 개발과 투자가 필요하다. 특히 연속식 열분해 공정 기술 개발과 투자가 필요하다. 또한 경질유의 납사 대체기술, 중질유의 화학원료 대체기술, 합성가스의 화학원료 연계 및 수소 생산기술 등의 상용화도 중요하다.

4) PET 해중합 기술 개발

해중합 기술은 고분자 PET 플라스틱을 단량체(monomer) 또는 유용 화합물로 전환하는 화학반응 기술로, 다시 중합과정을 거쳐 고분자 플라스틱으로 재생산이 가능하다. 국내외적으로 PET 해중합 기술은 상용화 직전 단계에 이르렀는데, 기계적 재활용의 단점인 오염된 플라스틱 처리와 물리·화학적 물성의 악화를 극복할 수 있는 연구기술 개발 투자가 필요하다. 그리고 PET 해중합 기술을 기반으로 한 단량체 제조기술과 첨가제의 분리 정제 및 결정화 기술 개발, 고순도 PTA²¹⁾/EG²²⁾ 생산을 위한 촉매 적용기술 개발, PET 수지와 재생 PET 혼합을 통한 최적 제품생산 등 화학적 재활용 기술 개발이 요구된다.

5) 바이오 플라스틱 생물학적 재활용 기술 개발

바이오 플라스틱은 호기성 퇴비화를 통한 재활용 기술과 미생물 분해효소를 이용한 생물학적 분해 기술로 크게 구분할 수 있다. 바이오 플라스틱의 수거 및 선별 이후 생물학적 재활용(호기성 퇴비화 또는 미생물 분해 방법)을 통해 완전 분해하거나 퇴비화 처리가 가능하다. 아직까지 고효율 바이오 플라스틱의 분해 기술은 상용화되지 않고 있으며, 일반적으로 퇴비화를 통해 처리하고 있다. 퇴비화 처리는 호기성 및 혐기성 퇴비화의 최적 조건과 미생물 분해 영향인자의 평가, 호기성과 혐기성 퇴비화의 최적 공정 기술 개발이 필요하다. 퇴비화 및 미생물 분해산물은 환경에 직접 노출되기 때문에 생물학적 분해 결과물의 환경영향을 평가하는 기반 기술을 고도화할 필요가 있다.

향후 바이오 플라스틱의 종류와 특성, 용도가 다양해지고, 사용 후 폐기되는 바이오 플라스틱의 발생량이 급증할 것이다. 따라서 생물학적 분해 공정을 이용하여 바이오 플라스틱을 대량 처리하고 분해 산물을 자원화하는 데 필요한 상용화 연구와 투자가 필요하다. 특히 현재 연구개발 단계에 있는 바이오 플라스틱의 재질별 미생물 효소활용 분해기술, 촉매 수화반응을 통한 미생물 분해과정에서 단량체 생산 기술, 유전자 편집된 미생물에 의한 바이오 플라스틱 분해 기술, 분해과정에서 발생한 분해 산물의 활용과 자원화 기술의 개발이 중요하다.

21) purified terephthalic acid

22) ethylene glycol

다. 기술 혁신에 따른 신산업 등장 및 기존 산업의 전환

이상의 미래기술 개발 방향 분석 결과에 기반하여 향후 성장이 예상되는 신산업 및 기존 산업에서 추가로 시설 투자가 요구되는 산업을 아래와 같이 도출하였다.

- 재활용 로봇 제조업
- 물질 수거·선별 센서 제조업
- 물질 선별업
- 고품질 플라스틱 기계적 재활용업
- 화학물질 제조업
 - 플라스틱 고분자 분해
 - 물질 분리·정제
 - 플라스틱 해중합 촉매 생산
- 플라스틱 열분해 시설
 - 열분해 결과물 분리·정제
- 플라스틱 가스화 시설
 - 가스화 결과물 분리·정제
- 플라스틱 순환공급망 관리 및 서비스

2 유가금속 재자원화 기술개발 전략

가. 순환경제를 위한 유가금속 재자원화 산업 미래전망

유가금속 회수를 통한 물질순환 전략은 미래 신성장산업 분야 및 제품군과 연관하여 제시하여야 한다. 본 연구에서는 미래산업 순환경제 2050 시나리오에서 주요 산업으로 정의한 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업, 전기장비 제조업, 운송장비 제조업 제품 생산에 필요한 유가자원(예를 들어, 희토류, 희유금속, 희소금속 등)의 회수와 재활용 기술을 중심으로 분석하였다.

유가금속의 주요 분야로 전기차 폐배터리, 폐전기전자제품(신규 미래발생 폐기물 드론, 로봇, 3D 프린터 포함), 태양광 폐패널 등을 포함하였다. 현재는 폐전기전자제품(2022년 기준으로 약 50여 개 재활용의무 대상 품목)에서 유가금속 회수가 이루어지고 있으나, 향후 신재생에너지 보급확대와 4차 산업혁명 기술발달에 따른 신규 미래 폐자원 발생이 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서 미래산업 육성과 공급망 위기관리 관점에서 국내 폐자원으로부터 유가금속 회수를 극대화하는 전략과 로드맵 수립이 필요하다.

미래 산업 순환경제 구축이 필요한 예상 제품군으로는 전기차 배터리, 연료전지, 태양광 패널, 드론, 로봇, 반도체 기반 전기전자제품, 3D 프린터, 풍력발전기 등 재생에너지 분야와 e모빌리티(mobility) 분야로 크게 구분할 수 있다. 이러한 미래산업 제품군은 기술발전 속도와 변화에 따라 필수 유가금속의 종류와 양이 매우 다르고, 일부 물질은 특정 지역과 국가에 편중되어 있어 안정적인 공급망을 유지하려면 국내 유가금속의 순환경제 구축이 자원안보 관점에서 매우 중요하다. [표 3-]는 미래 산업제품 생산에 필요한 유가금속과 희토류를 대상으로 유럽 지역의 공급망 리스크(EC, 2021)를 분석한 결과를 정리하여 보여준다. 우리나라도 미래산업 제품군과 유가금속과 희토류의 공급망 리스크를 평가하여 우선순위에 근거한 물질순환 체계 구축이 필요하다.

[표 3-16] 미래 산업 제품군과 유가금속과 원소의 공급망 리스크 요약

공급망 risk	물질	미래 산업 제품군
매우 높음	희토류(light)	연료전지, 풍력발전기, 태양광 패널, 로봇, 드론, 반도체 전기전자
매우 높음	희토류(heavy)	연료전지, 풍력발전기, 로봇, 드론, 반도체 전기전자
다소 높음	Magnesium	연료전지, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
다소 높음	Niobium	배터리, 풍력발전기, 드론, 3D 프린팅
다소 높음	Germanium	태양광 패널, 드론, 반도체 전기전자
다소 높음	Borates	연료전지, 풍력발전기, 태양광 패널, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
다소 높음	Scandium	드론, 3D 프린팅
높음	Strontium	연료전지, 로봇, 드론
높음	Cobalt	배터리, 연료전지, 풍력발전기, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
높음	PGMs	연료전지, 로봇, 드론, 반도체 전기전자

공급망 risk	물질	미래 산업 제품군
높음	Natural graphite	배터리, 연료전지, 로봇, 드론, 반도체 전기전자
높음	Bismuth	로봇, 드론, 반도체 전기전자
높음	Antimony	로봇, 드론
보통	Indium	태양광 패널, 로봇, 드론
보통	Vanadium	연료전지, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
보통	Lithium	배터리, 연료전지, 로봇, 드론
보통	Tungsten	로봇, 드론, 3D 프린팅
보통	Tantalum	로봇, 드론
보통	Fluorspar	배터리, 로봇, 드론
보통	Titanium	배터리, 연료전지, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
보통	Gallium	태양광 패널, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
보통	Arsenic	연료전지, 로봇, 드론, 반도체 전기전자
보통	Silicon metal	배터리, 연료전지, 태양광 패널, 로봇, 드론, 3D 프린팅, 반도체 전기전자
보통	Hafnium	드론, 3D 프린팅

(출처 : European Commission, 2021)

나. 순환경제를 위한 유가금속 재자원화 미래 기술 개발 방향

1) 전기차 배터리의 재사용 기술 개발

전기차의 사용 후 배터리는 재사용과 재활용을 위해서는 대용량 폐배터리의 안전 보관, 방전, 화재 및 폭발 방지 기술이 중요하다. 특히 전기차용 배터리는 잔류 에너지를 방전시키는 완전방전 시스템 기술과 과방전 방지회로 제거 시스템 기술의 개발과 도입이 필요하다. 사용 후 배터리팩의 기본정보를 제조사로부터 제공 받아 배터리 모듈별로 성능평가 및 정보 DB 구축과 더불어 에너지 저장장치(ESS)로서 재사용하기 위한 기술 실증연구 개발과 투자가 필요하다.

2) 전기차 배터리의 물질순환 기술 개발

전기차 배터리의 해체 시 반자동화 및 자동화공정 기술 및 분리-파쇄-분쇄-화학처리 등의 단위 공정별 빅데이터 분석을 통해 배터리팩의 부품별 선별을 고도화 및 최적화하는

기술의 개발이 필요하다. 배터리 이외 구성 부품별 이미지 센싱 및 AI기반 선별기술과 유기물질 회수 기술(추출 공정, 습식 침출기술, 건식 용융기술 등)의 연구 개발이 필요하다.

3) 폐전기전자제품의 물질순환 기술 확장 및 고도화

디지털 기술 발전과 함께 전기전자제품의 종류와 용도가 다양해지고 그 범위도 확대되었다. 기존 대형가전 위주의 재활용 기술 적용을 통한 유기물 회수와 물질순환을 확대 적용하여 중소형 가전제품에서 유가자원의 회수 및 선별을 고도화하고, 재활용 공정 기술을 개발해야 한다. 또한 유가자원의 회수 과정에서 발생하는 유해물질을 분리 및 정제하는 공정 기술과 처리 과정에서 발생할 수 있는 안전사고를 방지할 기술 또한 중요하다.

4) 드론, 3D 프린터, 반도체 장비 등 물질 순환 기술 개발

미래산업 순환경제 구축이 필요한 제품군 중 드론, 로봇, 3D 프린터, 각종 반도체기계 장비 등에서 유기물질을 회수하는 공정에 대한 기술 개발과 투자가 필요하다. 이러한 반도체 기반 각종 전기전자 장비는 희토류, 희유금속, 희소금속, 유가금속 등을 함유하고 있다. 이러한 제품군에는 기존 폐전기전자제품의 해체·분리·파쇄 공정 적용과 함께 유가금속을 회수할 기술의 개발이 필요하다.

5) 태양광 폐패널의 물질순환 기술개발

최근까지 태양광 폐패널의 재활용 기술 개발은 주로 실리콘계 모듈에 초점이 이루어져 있었다(이길우, 2020). 실리콘계 태양전지 폐모듈에서 희유금속을 회수하고 고순도로 추출하는 기술 및 태양전지 모듈의 재자원화 기술, 결정질 실리콘 태양광 폐모듈을 경제적이고 친환경적으로 처리하는 공정기술, 회수된 자원의 소재화 공정기술을 개발하고 상용화하는 연구가 필요하다. 미래에는 태양광 패널의 시장점유율 변화 전망에 대응하여 비실리콘계(non-silicate) 태양광 모듈을 재활용하는 데에 필요한 원천기술 개발이 요구된다.

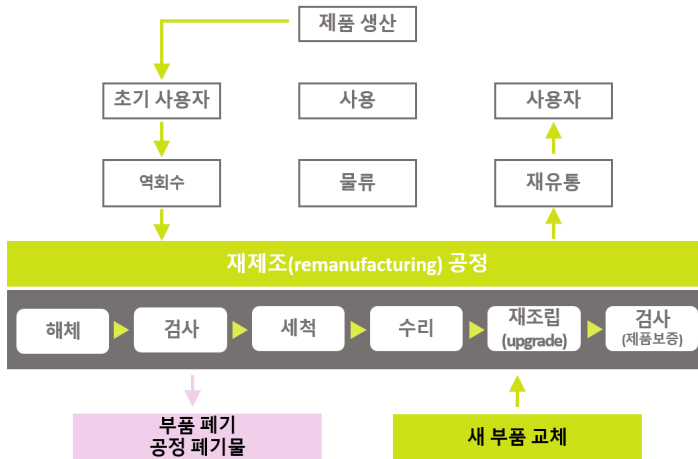
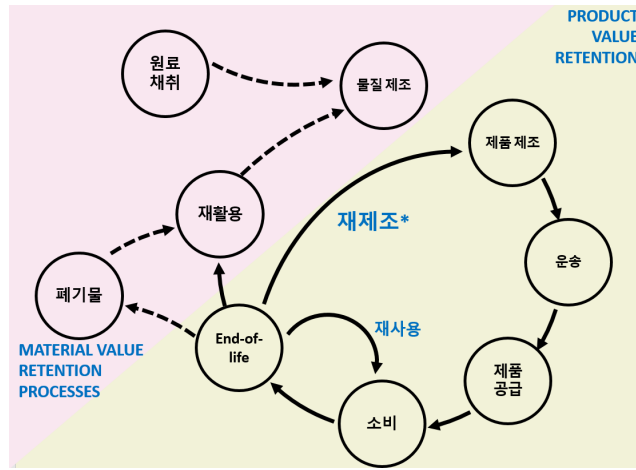
다. 기술 혁신에 따른 신산업 등장 및 기존 산업의 전환

이상의 미래기술 개발 방향 분석 결과에 기반하여 향후 성장이 예상되는 신산업 및 기존 산업에서 추가로 시설 투자가 요구되는 산업을 아래와 같이 도출하였다.

- 폐전기전자제품 해체 로봇 제조
 - 배터리
 - 중소형 폐가전(드론, 3D 프린터, 로봇, 반도체 장비 등)
 - 태양광 폐패널
- 친환경 공정·디자인 개발업
- 유가금속 회수·정제 시설
- 고도 환경정화 설비·시설 제조
- 소재 품질 평가·인증업
- 도시광산 순환공급망 관리 및 서비스

3 재제조 기술개발 전략

[그림 3-13]은 순환경제 달성을 위한 재제조(remanufacturing)의 역할과 기능을 나타낸 것이다. 재제조는 재활용을 통한 유가물질의 순환과 더불어 제품으로서 순환하는 측면에서 매우 중요하다. 수명이 끝난 제품은 재제조 공정(해체-검사-세척-수리-재조립-검사 및 출고, 제품 품질 보증 등)을 거치면서 오래되고 낡은 부품을 새 부품으로 교체하여 신제품과 동일한 수준의 제품으로 완성되어 판매된다.



(출처 : ETC/WMGE, 2021)

[그림 3-13] 순환경제에서의 재제조 역할과 공정 개념도

미래산업 순환경제 구축 시 고려할 수 있는 산업 분야별 제품군으로는 자동차 분야(엔진, 기어박스, 브레이크, 전기차 배터리, 연료전지 등), 항공 분야(헬리콥터, 랜딩기어, 엔진과 연료계통 등), 전기전자 분야(컴퓨터, 노트북, 네트워크 스위치, 라우터, 모뎀, 변압기, 스위치기어, 반도체 기판 등), 중장비 기계 분야(건설굴착 장비, 광물채굴 장비, 농업 및 수송 장비 등), 기계 분야(풍력, 가스, 증기터빈, 밸브, 컴프레서, 열교환기, 음식가공 장비, 산업용

로봇 등), 의료장비(의료 진단 및 수술 장비 등), 해양수산 분야(대형 디젤 엔진의 부품, 선실 부품 등), 철도 분야(기관차 엔진, 모터, 컨버터 등) 등이 있다(Vlaanderen, 2018).

이러한 재제조 산업 제품군은 국내 미래기술 발전 양상과 변화 정도에 따라 다를 수 있으며, 특히 자동차 분야와 전기전자 분야는 철강, 반도체 분야의 기반 산업으로서 향후 재제조 산업을 육성하고 미래기술을 개발해야 하는 분야이다. 이외에 다른 분야 역시 국내 자원확보와 안보 관점에서 순환경제 구축이 필요하다.

가. 순환경제를 위한 재제조 산업 미래전망

순환경제 구축을 위한 재제조 산업이 미래산업으로서 잠재적 성장이 예상되면서 해당 산업 분야에 대한 관심이 최근 높아지고 있다. 유럽, 미국을 중심으로 해당 산업 분야 제품군을 대상으로 실시한 시장 조사 결과를 [표 3-17]에 정리하였다. 한국은 미래 산업의 구조와 성장 가능성, 기반 산업을 고려하여 재제조 산업의 미래 핵심산업과 관련 기술을 구축할 필요가 있다. 국내 재제조 미래산업의 유망 분야로서는 디지털 기술 혁신과 반도체 산업 발전에 따라 자동차, 전기전자, 의료 장비 등을 포함하며 이러한 내용을 현행 산업연관표의 업종 및 제품 구분에 반영하여야 한다.

[표 3-17] 재제조 미래 산업 분야의 제품군과 예상 연간 성장률(%)

산업 분야	미래산업 제품군	유럽 ¹⁾	세계 ²⁾	한국
자동차	엔진, 기어박스, 브레이크, 전기차 배터리, 연료전지 등	3%	NA	긍정
전기전자	컴퓨터, 노트북, 네트워크 스위치, 라우터, 모뎀, 변압기, 스위치기어, 반도체 기판 등	5%	5%	긍정
항공	헬리콥터, 랜딩기어, 엔진과 연료계통 등	3%	NA	
중장비	건설굴착 장비, 광물채굴 장비, 농업 및 수송 장비 등	0.5%	NA	
기계	풍력, 가스, 증기 터빈, 밸브, 컴프레서, 열교환기, 음식가공 장비, 산업용 로봇 등	0.5%	5%	
해양	대형 디젤 엔진의 부품, 선실 부품 등	0.5%	11%	
의료장비	진단 및 수술 장비 등	5%	4%	긍정
철도	기관차 엔진, 모터, 컨버터 등	3%	7%	
가구	의자, 책상, 선반 등	5%	NA	

(출처: 1) Parker, D. et al., 2015, 2) Rematec, 2020)

재제조 산업은 생산비용 절감, 원료·자원확보 안정성 측면에서 산업계에서 긍정적으로 검토 가능한 순환경제 전략이다. 실제로 신제품 제조 시의 에너지와 물질 소비 증가는 자원의 효율적 이용 측면에서 재제조 산업 분야의 기회로 작용한다. 재제조 제품의 생산비용은 신제품 대비 약 40~65% 정도(Nasr, 2020)에 불과한 것으로 보고된 바 있다. 또한 재제조 산업을 활성화하면 원료의 의존도를 낮추고, 안정적인 자원 확보가 가능하여 제품 공급망 위기에 대처할 수 있다. 이외에 향후 국내외 재제조 산업 성장에 영향을 미칠 수 있는 기술·사회 여건들을 아래와 같이 정리하였다.

- 디지털 기술 발전과 초연결 산업사회: 디지털 기술 발전으로 데이터 공유와 투명성이 강화되면서 가치사슬(value chain) 간의 연계성이 확대되어 스마트 기술 기반 재제조 산업이 형성될 것이다. 이에 따라 실시간 데이터 자료 공유와 모니터링을 통해 부품 교환, 제품 회수와 재공급이 가능해질 것으로 전망한다.
- 3D 프린팅 기술과 부품 제조 확대: 장비의 내구성은 부품 조달의 용이성에 달려있으며, 3D 프린팅 기술을 활용한 부품의 공급은 재제조 산업 활성화에 기여할 것으로 예상된다.
- 역회수와 새로운 사업 모델: 순환경제의 새로운 사업 모델인 제품 서비스 시스템(product service system)은 제조자가 제품 소유권을 갖고 소비자는 제품을 공급받아 서비스 형태로 사용하는 방식이다. 소비자는 사용 후 제품을 역회수 물류 시스템을 통해 반환하며, 제조자는 회수한 제품을 다시 재제조하여 새로운 제품 형태로 공급하게 되어 재제조 산업 활성화에 기여하게 된다.
- 자동화 기술혁신: 제품 조립 시 자동화기술의 발전은 재제조 산업에도 크게 영향을 미쳐 경제적으로 비용 절감효과와 제품경쟁력 강화에 기여할 것으로 예상된다.
- e모빌리티 확대 : 현재 내연기관 중심의 자동차 재제조 산업은 점차 쇠퇴할 것이다. 자동차 산업이 전기차 기반 자동차 중심의 재제조 산업으로 전환하면서 특정 부품과 제품(전기차 배터리, 전자제어 장비, 전자부품 등) 위주의 재제조가 이루어질 것으로 예상된다.

한편 순환경제 규제 및 소비자 인식과 같은 사회기반 요소 또한 산업계의 재제조 방식으로의 전환을 촉진하는 여건으로 작용한다. 순환경제 규제 강화에 따라 생산단계에서 친환경제품 설계와 도입이 일반화되면 내구성이 강하면서 재활용에 용이한 구조의

제품 생산이 확대될 것이다. 이에 따라 재제조 산업을 활성화될 수 있다. 이와 더불어 친환경 소비와 소비자 인식 제고는 미래 재제조 산업의 활성화에 기여할 것으로 예상된다. 재제조 산업의 활성화는 탄소배출량 저감, 에너지 및 자원소비 절감, 폐기물 발생 억제와 오염예방 등 다양한 환경적 편익을 가져올 수 있다. 이는 지속가능한 사회에도 기여하며, 최근 기후위기 대응과 저탄소사회로의 전환에서 큰 역할을 할 것으로 예상된다. 이러한 환경적 편익을 고려한 소비문화가 확산되면 재제조로 생산한 제품에 대한 수용성이 높아지고 수요도 증가하여 이로 인한 재제조 산업 활성화를 기대한다.

나. 순환경제를 위한 재제조 미래 기술 개발 방향

현재 재제조는 제품의 가치와 질이 높고, 급속한 기술 발전과 혁신이 상대적으로 적으며 제품의 내구성이 크고 해체가 용이한 산업 분야에서 많이 적용한다. 향후 재제조 산업은 현행 대상제품의 확대 및 기술 고도화에 따른 성능 개선등을 예상하며 각 품목별 전망 내용을 아래와 같이 정리하였다.

1) 전기전자제품 재제조 기술 개발

컴퓨터, 노트북, 휴대폰 등 전자제품의 재제조 기술과 반도체 기판, 스위치기어, 변압기 등 전기전자 장비의 재제조 기술, 대용량 서버와 네트워크 워크스테이션 등의 재제조 기술 및 연료전지, 수소전지, 리튬 이차전지 분야 등에서 재제조 기술 개발을 통한 재제조 산업 활성화가 필요하다.

2) 의료장비 제품의 재제조 기술 개발

첨단 의료진단 장비(CT, MRI 등)의 재제조 기술, 로봇수술 장비, 초음파치료 의료장비, 레이저·방사선 치료 등 각종 치료 장비의 재제조 기술 개발을 통한 산업 활성화가 필요하다.

3) 기계 장비 산업의 재제조 기술 개발

첨단 의료진단 장비(CT, MRI 등)의 재제조 기술, 로봇수술 장비, 초음파치료 의료

장비, 레이저·방사선 치료 등 각종 치료 장비의 재제조 기술 개발을 통한 산업 활성화가 필요하다.

한편, 이러한 재제조 산업의 활성화를 위해서는 아래의 10가지 장애 요소를 극복해야 한다(Fischer, et al., 2017).

- ① 재제조를 위한 설계: 신제품 제조 시 재제조를 고려하지 않은 채 제품을 설계하며 제품의 제조과정에서 다양한 원료를 사용함에 따라 재제조 공정의 표준화가 어려움.
- ② 규제 장애: 재제조 제품과 중고품의 국가 간 이동 규제, 재제조와 폐기물의 법적 정의 및 범위의 구분 등에 한계점이 존재함.
- ③ 재제조 제품과 신제품 간의 경쟁: 재제조 제품 공급에 따른 신제품 시장과의 경쟁 관계와 시장 잠식에 대한 우려가 존재함.
- ④ 재제조 제품의 소비자가격 지불 의사 이슈 : 재제조 제품에 신제품과 동일한 가격을 지불하는 것에 대한 소비자의 거부감이 발생하며 이에 대한 인식 개선이 필요함. 이러한 이유로 재제조 산업은 주로 B2C 경로가 아닌 B2B 형태로 형성됨.
- ⑤ 재제조 제품의 인증 미흡: 재제조, 재사용, 재활용 제품 간의 차별성이 부족하고, 재제조 제품의 인증체계가 미흡함
- ⑥ 제품 반환시스템 구축 미흡: 사용된 제품의 상태, 반환 방법, 반환 시기, 비용 부담, 경제적 유인책 등이 불명확하여 재제조 산업 활성화에 장애 요소로 작용함.
- ⑦ 재제조 기술 인력기반 미흡: 재제조 기술 정보와 지식 미흡, 인식 미흡, 교육 훈련 프로그램의 구축 미흡으로 재제조 산업에 투입할 수 있는 인력이 부족함.
- ⑧ 정보와 기술 접근성 미흡: 재제조 산업 활성화를 위한 제조업자-재제조업자 간의 협력모델이 부족하고, 제품과 부품 정보 공유가 어려움. 특히 새로운 기술을 적용한 e모빌리티 제품군은 원제품 생산자가 아닌 재제조 업체에서 자력으로 사업영역을 확대하기 어려움.
- ⑨ 제품의 부품 구성의 복잡성: 제품의 복잡한 부품 구성과 다양한 모델 체계 등으로 재제조 과정에서 해체 및 조립공정 구성 등이 어려움.
- ⑩ 생산과 공급망의 복잡성: 안정적인 재제조 공급망 형성을 위해서는 제품 역회수

체계를 구축해야 하는데 이 과정에서 비용이 발생함. 또한 재제조는 기존 신제품 생산공정과 같은 자동화 공정 도입이 어려우며, 수작업 등의 추가 노동에 따른 비용이 발생함.

다. 기술 혁신에 따른 신산업 등장 및 기존 산업의 전환

이상의 미래기술 개발 방향 분석 결과에 기반하여 향후 성장이 예상되는 신산업 및 기존 산업에서 추가로 시설 투자가 요구되는 산업을 아래와 같이 도출하였다.

- 폐전기전자제품 해체 로봇 제조
 - 컴퓨터, 노트북, 휴대폰, 서버, 네트워크
 - 변압기, 스위치기어, 반도체 기판
 - 의료장비
 - 풍력, 가스, 증기, 전기 발전터빈
 - 산업용 로봇, 열교환기, 컴프레서
 - 식품가공 장비
 - 수송용 로봇배터리 재사용 서비스업
- 고부가가치 장비 모듈 재활용업
- 장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업
- 부품 순환공급망 관리 및 서비스

제4절 정책 제언

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 순환경제 기술혁신을 위한 제도 개선방안

제3절에서는 순환경제 기술 개발현황에 기반하여 중장기 기술 개발 전략을 도출하였으며, 세부기술 항목별 전략 도출과정에서 순환경제 전환을 방해하는 요인들이 존재함을 확인하였다. 본 절에서는 장애 요소로서 현행제도를 개선하는 방안과 함께 기술 개발에 따라 등장이 예상되는 신산업과 기존 산업 중 순환경제 도입에 따른 신규 공정으로의 전환 등을 위한 신규투자가 필요한 영역을 제시한다.

- 국가 순환경제 정책과 기술개발 계획 연계 강화:** 2050 탄소중립이 글로벌 패러다임으로 떠오르면서 탄소중립 실현을 위한 중요한 수단 중 하나로서 순환경제 사회로 전환의 중요성이 부각하였다. 이러한 정책 여건의 변화에 따라 기존 「자원순환기본법」을 「순환경제사회 전환 촉진법」으로 전환하는 준비작업이 진행 중이며, 정부에서는 2050 탄소중립 실현을 위한 순환경제 전략을 추진하고 있다. 이들 전략의 성공적인 이행을 위해서는 기술혁신이 선행되어야 한다. 따라서 순환경제 사회로의 전환을 위한 정책 방향은 미래 핵심 물질순환 기술 개발 투자를 촉진하고 지원하여야 한다. 다시 말해 기본계획 등에 반영된 순환경제 정책 내용과 물질순환 기술 개발투자 계획 간의 연계성 강화가 필요하며, 국가 순환경제사회로 전환을 위한 자원순환 정책적 이슈와 물질순환 기술의 해결 방안의 연계성을 강화할 필요가 있다.
- 국가 연구개발 투자계획 간의 연계 강화:** 현재 제1차 국가연구개발 중장기 투자 전략(2023~2027년), 환경부 R&D 기술 개발, 환경부 자원순환 탄소중립 순환경제 기술 개발(2024~2028년), 산업부 탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 등 순환경제 기술 개발을 다루는 국가 연구개발 투자계획이 부처별로 산재해있다. 연구개발 투자 효율성 극대화를 위해서는 미래 핵심 물질순환 기술을 중심으로 이들 계획 간의 연계성 강화가 필요하며, 자원순환 기술 분야 중 기계적 재활

용, 화학적 재활용, 생물학적 재활용, 유가금속 재자원화, 재제조, 에코디자인, 제품 수명연장과 품질 성능평가 및 인증 등을 대상으로 한 기술개발 로드맵을 부처 간 공유할 필요가 있다.

- **기업의 순환경제 기술개발 투자 촉진:** 산업계를 중심으로 지속가능한 성장을 위한 기업의 노력으로 ESG(환경 사회 지배구조, Environment Social Governance)를 강조하며, 향후 안정적 원료 공급망 구축 관점에서 순환경제 구축이 중요한 의제로 대두되었다. 이러한 점을 고려하여 산업계의 순환경제 구축을 위한 기술개발 투자 시 물질순환 미래 핵심기술을 고려하여 기술 개발의 촉진이 이루어지도록 투자대상 기술 항목에 순환경제 기술 내용을 반영해야 한다. 또한 현재 순환경제 산업에서 투자 유치가 어려운 중소기업이 차지하는 비중이 높은 점을 고려하여 중소기업 대상 투자 확대를 위한 제도적인 지원이 중요하다.

2 산업연관표 수정안

제3절에서 도출한 순환경제 미래기술 개발 중장기 전략에 근거하여 플라스틱 자원화, 유가금속 재자원화, 재제조 기술 개발에 따라 등장할 신산업 및 기존 산업 중 순환경제 도입에 따른 신규 공정으로의 전환 등을 위한 신규투자가 필요한 영역을 [표 3-18]와 같이 도출하였다.

[표 3-18] 기술 혁신에 따른 신산업 등장 및 기존 산업의 전환 영역

주요 순환 기술	플라스틱 자원화	유가금속 재자원화	재제조
신산업 및 신규 투자가 필요한 기존 산업 영역	<ul style="list-style-type: none"> • 재활용 로봇 제조업 • 물질 수거 선별 센서 제조업 • 물질 선별업 • 고품질 플라스틱 기계적 재활용업 • 화학물질 제조업 <ul style="list-style-type: none"> - 플라스틱 고분자 분해 - 물질 분리·정제 - 플라스틱 해중합 촉매 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐전기전자제품 해체 로봇 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 배터리 - 중소형 폐가전(드론, 3D 프린터, 로봇, 반도체 장비 등) - 태양광 폐패널 • 친환경 공정·디자인 개발업 • 유가금속 회수·정제 시설 • 고도 환경정화 시설 제조 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐전기전자제품 해체 로봇 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 컴퓨터, 노트북, 휴대폰 - 변압기, 스위치기어, 반도체 기판 - 서버, 네트워크 - 의료장비 - 풍력, 가스, 증기, 전기 발전터빈 - 산업용 로봇, 열교환기,

주요 순환 기술	플라스틱 자원화	유가금속 재자원화	재제조
	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 열분해 시설 <ul style="list-style-type: none"> - 열분해 결과물 분리·정제 • 플라스틱 가스화 시설 <ul style="list-style-type: none"> - 가스화 결과물 분리·정제 • 플라스틱 순환공급망 관리 및 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> • 소재 품질 평가·인증업 • 도시광산 순환공급망 관리 및 서비스 	컴프레서 <ul style="list-style-type: none"> - 식품가공 장비 - 수송용 로봇 • 배터리 재사용 서비스업 <ul style="list-style-type: none"> • 고부가가치 장비 모듈 재활용업 • 장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업 • 부품 순환공급망 관리 및 서비스

이상의 순환경제 신산업 및 기존 산업 전환 영역을 포함하여 본 연구가 대상으로 하였던 6개 주요 산업을 중심으로 산업연관표에 반영할 필요가 있는 순환경제 관련 산업 활동을 [표 3-19]에 정리하였다. 여기서 순환경제 기술개발 관련 산업활동은 기존의 산업연관표에서 기본 부문 중 가장 유사성이 높은 것과 매칭하였으나, 유사한 기본 부문이 존재하지 않는 경우는 대분류를 기준으로 신규 항목을 추가하였다. ‘제조업의 서비스업화’에 따라 기존 제조업 부문에 존재하지 않았던 순환산업이 추가된 것이 가장 특징적이다. 2015 기준연도 산업연관표에는 ‘기타 서비스’ 내에 개인 및 소비용품 수리업과 자동차 수리 세차업 등에 유가금속 재자원화 및 재제조 기술 관련 신산업 영역으로 발굴된 산업을 매칭할 수 있으나 여기서는 순환 대상 제품이 속한 ‘제조업 부문’에 신산업 영역을 배치하였다. 이렇게 배치한 이유는 산업의 순환경제 방식으로의 대전환은 기존 제조 방식상 패러다임 전환을 요구하며 이를 반영한 서비스 산업의 세분화 및 제조업과의 연계성 강화를 반영하여 산업연관표를 재작성할 필요가 있다고 보았기 때문이다. 한편, 수작업에 의존하였던 분리·분해, 선별 등의 과정을 자동화하기 위한 로봇 제조 및 이를 이용한 산업을 중요한 신산업 영역으로 도출하였다. 이외에 플라스틱 자원화 기술의 고도화와 생물학적 재활용 및 바이오 플라스틱 생산 기술의 발달에 따른 기존 유관산업의 세분화 및 관련 하위 산업활동에의 투자가 확대될 것으로 전망하였다.

[표 3-19] 순환경제 전환에 따른 산업구조 변화를 반영한 산업연관표 수정안

코드	2015 산업연관표* 기본 부문명	추가될 순환경제 기술개발 관련 산업활동
C05	화학물질 및 화학제품 제조업	
2011	석유화학계 기초화학물질 제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 분해(화학적 분해) - 플라스틱 고분자 분해(오일, 파라핀, 단량체 등) - 열분해 결과물 분리·정제
2019	기타 기초유기화학물질 제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 분해(생물학적 분해) - 단량체 생산
2021	산업용 가스 제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 가스화 - 플라스틱 고분자 분해(합성가스 등) - 가스화 결과물 분리·정제
2022	무기안료, 염료, 유연제 및 기타 착색제 제조업	.
2029	기타 기초 무기화학물질 제조업	.
2030	비료 및 질소화합물 제조업	.
2041	합성고무 제조업	.
2042	합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조업	• 바이오 플라스틱 제조업
2050	화학섬유 제조업	.
2060	농약 및 살균·살충제 제조업	.
2070	잉크, 페인트, 코팅제 및 유사제품 제조업	.
2081	화장품 제조업	.
2082	세제 및 광택제 제조업	.
2091	접착제 및 젤라틴 제조업	.
2099	기타 화학제품 제조업	• 플라스틱 분해 촉매 생산(열분해, 가스화 등)
2100	의료용 물질 및 의약품 제조업	• 생물학적 분해효소 및 바이오 플라스틱 제조 생물 생산
2210	고무 타이어 및 튜브 제조업	.
2221	산업용 고무제품 제조업	.
2229	기타 고무제품 제조업	.
2230	플라스틱 1차제품 제조업	• 고품질 플라스틱 기계적 재활용
2240	포장용 플라스틱제품 제조업	.
2250	조립용 플라스틱제품 제조업	.
2261	건축용 플라스틱제품 제조업	.
2269	기타 플라스틱제품 제조업	.

순환경제 미래산업 전략 ...

코드	2015 산업연관표* 기본 부문명	추가될 순환경제 기술개발 관련 산업활동
C07	1차금속 제조업	
2411	제철 및 제강업	• 산업 부생가스(수소) 환원 제철
2412	합금철 및 기타 제철 및 제강업	• 고철 스크랩 재활용
2421	열간 압연 및 압출제품 제조업	.
2422	냉간 압연 및 압출제품 제조업	.
2423	철강선 제조업	.
2430	철강관 제조업	.
2441	표면처리강재 제조업	.
2449	기타 철강 1차제품 제조업	.
2451	동 제련, 정련 및 합금 제조업	.
2452	알루미늄 제련, 정련 및 합금 제조업	.
2453	연 및 아연 제련, 정련 및 합금 제조업	.
2459	기타 비철금속 제련, 정련 및 합금 제조업	.
2461	동 압연, 압출 및 연신제품 제조업	.
2462	알루미늄 압연, 압출 및 연신제품 제조업	.
2469	기타 비철금속 압연, 압출 및 연신제품 제조업	.
2470	기타 비철금속 1차제품 제조업	• 유기금속 회수·정제
2480	금속 주조업	.
C09	컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업	
신규	• 컴퓨터·전자·광학기기 장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업	
2611	전자집적회로 제조업	.
2612	다이오드, 트랜지스터 및 유사반도체소자 제조업	• 물질 수거선별 센서 제조업
2621	액정 표시장치 제조업	.
2629	기타 전자표시장치 제조업	.
2630	인쇄회로기판 및 전자부품 실장기판 제조업	.
2641	축전기, 저항기, 전자코일 및 변성기 제조업	.
2649	기타 전자부품 제조업	• 폐전기전자제품 해체(수작업 및 자동화 공정)
2651	컴퓨터 제조업	.
2652	기억장치 제조업	.
2659	기타 컴퓨터 주변기기 제조업	.
2661	유선 통신장비 제조업	.
2662	이동전화기 제조업	.
2669	방송장비 및 기타 무선 통신장비 제조업	.
2671	텔레비전 제조업	.

코드	2015 산업연관표* 기본 부문명	추가될 순환경제 기술개발 관련 산업활동
2672	비디오 및 기타 영상기기 제조업	.
2673	오디오, 스피커 및 기타 음향기기 제조업	.
2681	의료용 기기 제조업	• 고부가가치 장비 모듈 재활용
2682	측정, 시험, 항해, 제어기기 제조업	.
2691	사진장비 및 광학기기 제조업	.
2699	기타 정밀기기 제조업	.
C10	전기장비 제조업	
신규	• 전기장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업	
2710	전동기 및 발전기 제조업	.
2721	전기 변환장치 제조업	.
2722	전기 공급 및 제어장치 제조업	.
2730	일차전지 및 축전지 제조업	• 배터리 재사용 서비스업
2740	절연선 및 케이블 제조업	.
2750	가정용 기기 제조업	.
2791	전구 및 조명장치 제조업	.
2799	기타 전기장비 제조업	• 폐전기전자제품 해체(수작업 및 자동화 공정)
C11	기계 및 장비 제조업	
신규	• 기계 장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업	
2810	내연기관 및 터빈 제조업	.
2820	유압기기, 펌프 및 압축기 제조업	.
2830	산업용 트럭, 승강기 및 물품취급장비 제조업	.
2841	산업용 냉장, 냉동 및 공기 조화장치 제조업	.
2842	여과기, 증류 및 가스발생기 제조업	.
2851	베어링, 기어 및 동력전달장치 제조업	.
2852	사무용 기계 및 장비 제조업	.
2859	기타 일반 목적용 기계 제조업	• 기계 해체(수작업 & 자동화 공정)
2861	농업 및 임업용 기계 제조업	.
2862	건설 및 광업용 기계장비 제조업	.
2870	금속가공용 기계 제조업	.
2881	반도체 제조용 기계 제조업	.
2882	평판디스플레이 제조용 기계 제조업	.
2891	음·식료품 및 담배 가공기계 제조업	.
2892	섬유, 의복 및 가죽 가공기계 제조업	.

코드	2015 산업연관표* 기본 부문명	추가될 순환경제 기술개발 관련 산업활동
2893	산업용 로봇 제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 폐전기전자제품 해체 로봇 제조(아래 품목 등을 해체 대상으로 함) ① 배터리 ② 중소형폐기전(드론, 3D프린터, 로봇, 반도체 장비등) ③ 태양광 폐패널 ④ 컴퓨터, 노트북, 휴대폰 ⑤ 변압기, 스위치기어, 반도체 기판 ⑥ 서버, 네트워크 ⑦ 의료 장비 ⑧ 풍력, 가스, 증기, 전기 발전터빈 ⑨ 산업용 로봇, 열교환기, 컴프레서 ⑩ 식품가공 장비 ⑪ 수송용 로봇 <ul style="list-style-type: none"> • 물질선별 로봇 등 기타 재활용 로봇 제조업
2894	제지 및 인쇄용 기계 제조업	.
2895	고무, 화학섬유 및 플라스틱 성형기 제조업	.
2896	주형 및 금형 제조업	.
2899	기타 특수목적용 기계 제조업	• 고부가가치 장비 모듈 재활용업
C12	운송장비 제조업	
신규	• 운송장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업	
2911	승용차 및 기타 여객용 자동차 제조업	.
2912	화물자동차 및 특수 목적용 자동차 제조업	.
2913	자동차용 엔진 제조업	.
2921	차체 및 특장차 제조업	.
2922	트레일러 및 세미트레일러 제조업	.
2930	자동차 부품 제조업	.
3011	강선 건조업	.
3012	기타 선박 건조업	.
3013	선박 구성 부분품 제조업	.
3110	철도장비 제조업	.
3120	항공기, 우주선 및 부품 제조업	.
3190	기타 운송장비 제조업	.

코드	2015 산업연관표* 기본 부문명	추가될 순환경제 기술개발 관련 산업활동
C13	기타 제조업 및 산업용 장비 수리업	
신규	• 산업용 장비 렌트, 수리·유지·보수, 수거 등 제품사용 전과정 서비스업	
3201	목재 가구 제조업	.
3202	금속 가구 제조업	.
3209	기타 가구 제조업	.
3301	인형, 장난감 및 오락용품 제조업	.
3302	운동 및 경기용품 제조업	.
3303	악기 제조업	.
3304	귀금속 및 장신용품 제조업	.
3309	기타 제조업	.
3400	산업용 기계 및 장비 수리업	.
E	수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업	
3600	수도업	.
3700	하수, 폐수 및 분뇨 처리업	.
3800	폐기물 수집, 운반, 처리 및 원료 재생업	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 순환공급망 관리 및 서비스 • 도시광산순환공급망관리및서비스 • 부품순환공급망관리및서비스 • 재활용물질선별업
3900	환경 정화 및 복원업	• 고도 환경정화 시설 제조
M	전문, 과학 및 기술관련 서비스업	
6910	법률 및 회계 서비스업	• 소재 품질 평가·인증업
6920	회사본부 및 경영컨설팅	.
6930	광고업	.
7011	건축 및 과학 기술 관련 전문서비스업	• 친환경 공정·디자인 개발업
7012	광업 지원 서비스업	.
7100	연구개발업	.
7200	기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	.

※ 출처: 한국은행 2015년 산업연관표

제4장

국내·외 순환경제 관련 제도 현황

제1절 해외 순환경제 관련 제도 현황

제2절 국내 순환경제 제도 현황 및 입법동향

제 1 절 해외 순환경제 관련 제도 현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

각국에서는 기존 선형경제의 문제점과 한계를 극복하고 순환경제로의 전환을 위한 적극적인 정책을 추진 지원하고, 사회경제 구조의 시스템 변화를 유도하며, 산업계와 협력하여 물질순환성을 향상하는 기술 개발과 재정 투자를 확대하고 있다.

순환경제 정책 및 제도를 이끌고 있는 유럽은 2010년 ‘Europe 2020 Strategy’의 7개 주요 전략에 순환경제 내용을 포함하면서 제도적 기틀을 마련하였으며, 2015년 ‘Circular Economy Package’와 ‘EU action plan for the Circular Economy’를 발표하였다. 2020년 3월에는 EU 순환경제 이행계획을 발표하여 지속가능한 제품 설계, 지속가능한 소비 확대, 생산단계 순환성 강화, 7대 핵심분야(전기전자 ICT, 배터리/자동차, 포장재, 플라스틱, 섬유, 건설자재, 식품)의 순환성 향상, 폐기물 발생 및 순환 정책 규제 강화, 자원순환 도시 구축, 기술 투자/혁신/디지털 전환, 국제 순환경제 구축 협력 등을 제시하였다(European Commission, 2020).

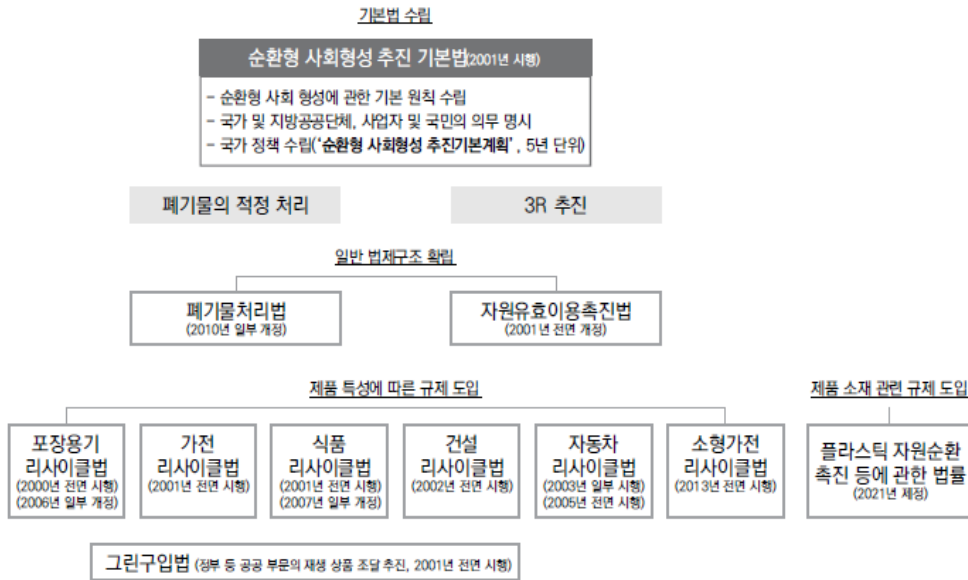
유럽의 일부 국가들은 이러한 유럽 전반에 적용되는 제도가 발표되기 전에 자발적으로 순환경제 관련 제도를 만들어 가기도 하였는데, 독일은 1996년도에 ‘Closed Substance Cycle and Waste Management Act’를 제정한 것이 일례이다. 네덜란드는 2016년 국가 단위 순환경제 전환 프로그램인 ‘Nederland Circulair 2050’을 발표하고 국가와 지역단위에서 순환경제를 적극적으로 도입하였으며, 2050년까지 순환경제로 완전히(100%) 전환하겠다는 목표를 세웠다. 네덜란드가 2017년도에 도출한 원자재협약(raw material agreement)은 민간기업 및 지방정부를 포함한 400여 개의 이해관계자의 참여를 이끌어냈으며, 2018년 5개 전환영역에 대한 목표²³⁾를 공동으로 도출하였다(Hanemaaijer, et al., 2021). 영국은 지속가능 발전전략 프레임워크에서 순환경제를 추진해왔으며, 「자원 및 폐기물 전략」 및 「순환경제 적용 원칙에 관한 표준(BS 8001:

23) Transitieteam Biomassaen voedsel, 2018; Transitieteam Bouw, 2018; Transitieteam Consumptiegoederen, 2018; Transitieteam Kunststoffen, 2018; Transitieteam Maakindustrie, 2018.

2017)을 수립하는 등 실질적 이행 과정에 필요한 제도적 기반을 마련하였다(문진영 외, 2021). 프랑스는 순환경제를 위한 낭비방지법을 2020년 1월 의회에서 의결하였다. 이 법은 주로 플라스틱과 음식물 폐기물 부문에 집중하였는데 낭비 방지, 재사용 촉진, 소비자 정보제공 의무 등을 주요 골자로 하였다.

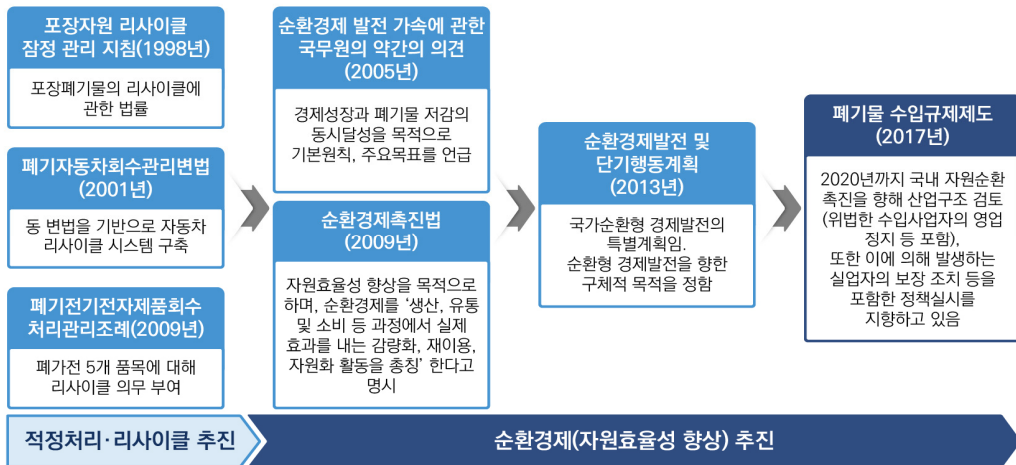
아시아에서는 일본과 중국이 우리나라보다 앞서 순환경제법 또는 자원순환법을 제정하여 폐기물 중심의 정책에서 사회 전반에 영향을 주는 정책으로 전환하였다. 일본은 「순환형 사회형성 추진 기본법」을 2002년 제정하였고 동법에 근거하여 「순환형 사회형성 추진 기본계획」을 5년 주기로 수립하고 있다(관련법령 구조는 [그림 4-1] 참조). 이 외에도 「재활용기반 사회구축을 위한 기본법」과 「자원 유효이용 촉진법」이 자원순환 관련 정책의 기반을 형성하였다. 또한 최근 2021년 플라스틱 자원순환 촉진 등에 관한 법률안이 국회를 통과, 공포되어 제품 디자인부터 재활용 단계까지의 제품 전과정 관리가 강화될 예정이다. 중국은 「순환경제 촉진법」을 2008년 제정, 2009년 1월부터 시행하였으며 「순환경제발전전략 및 단기행동계획」이 2013년 수립되었다. 그리고 최근 『제12차 순환경제 발전 5개년 계획』이 발표되어 시행 중이다. [그림 4-2]는 중국의 순환경제 관련 법제화 과정 및 법제화 이후의 정책 방향을 보여준다(전은진, 2019)²⁴). 동남아시아 국가 중 탄소중립에 적극적인 입장을 표명하고 있는 베트남은 최근 「환경보호법(72/2020/QH14)」 개정을 통하여 순환경제로 국가적 전환의 기틀을 만들었으며 올해 「순환경제 개발규정」 초안을 승인하였다.

24) Mitsubishi UFJ Research and Consulting (2018), 資源循環を巡る国際動向, 循環経済ビジョン研究会(第1回), p. 12의 내용을 기반으로 작성한 것을 재인용함



출처: 문진영 외, 2021, p. 44.

[그림 4-1] 일본의 순환경제 관련법령 구성도



출처: 전은진, 2019, p. 7. (Mitsubishi UFJ Research and Consulting (2018), 資源循環を巡る国際動向, 循環経済ビジョン研究会(第1回), p. 12의 내용을 기반으로 작성한 것을 재인용함)

[그림 4-2] 중국의 순환경제 관련 법제화 과정 및 정책 추진 현황

한편 개별국의 순환경제 정책에 영향을 주는 국제 협약이 존재한다. 대표적인 것으로 국가 간의 폐기물 이동 및 교역을 금지하는 바젤협약이 있다. 이는 향후 순환경제 관련 글로벌 밸류체인(가치사슬)에 영향을 줄 수 있는 협약으로 개별 국가에서 폐기물을 어떻게 정의하느냐에 따라 전략적으로 해석할 여지가 있다. 올해 있었던 제5차 유엔환경 총회에서 법적 구속력이 있는 ‘플라스틱 오염 대응을 위한 국제 협약’을 만들기로 결의하였으며 2024년까지 협약을 성안할 계획을 세웠다²⁵⁾. 이 국제 협약이 발효되면 플라스틱이 일으키는 해양오염을 방지할 뿐만 아니라 플라스틱 생산, 소비, 폐기 전과정에서 순환성 관리 강화를 법적으로 강제함에 따라 관련 기술개발 및 산업이 전 세계적으로 확대될 것으로 전망한다.

바젤협약과 플라스틱 오염 국제 협약과 같이 순환경제에 직접적으로 연관하는 국제협약 이외에도 순환경제와 간접적으로 관련된 국제 협약이 존재한다. 이는 탄소중립 주요 전략으로서 순환경제의 중요성을 점차 강조하며, 이에 따라 기후변화협약의 영향력 강화는 국내 순환경제 정책과 탄소중립 정책의 연계성을 높이는 동력이 될 수 있다. 또한 유해물질 및 폐기물 관리 관련 다수의 국제협약이 존재하며 유엔환경계획의 화학물질 관리 프로그램의 “Strategic Approach to International Chemical Management (SAICM)”이 대표적인 예이다. SAICM은 폐기물의 안전한 관리를 통하여 SDG12의 지속가능한 소비·생산 목표 달성을 지원하며, 폐기물 및 제품의 안전성을 다룬다. 이는 원료 재사용 및 재제조 단계에서 안전성을 해치지 않는 방법을 사용해야 할 규범으로 작용할 수 있다. 이외에도 해양오염 방지협약, 로테르담 협약, 스톡홀름 협약 등의 국제 협약은 국내에서 유해물질 사용을 저감하고 폐기물 관리 규제를 강화하는 외부 정책환경으로 작용할 수 있다.

해외 순환경제 제도에서 중요한 구성 요소는 (1) 정책 범위, (2) 모니터링 및 평가 지표, (3) 시행과제 및 추진전략으로 구분할 수 있으며, 각각에 대하여 개별 국가와 유럽 연합(EU)의 제도를 분석한 결과를 아래와 같이 정리하였다.

25) 환경부 보도자료(2022.5.19.), 「국제사회 탈플라스틱 협약, 선제적으로 대비한다」.

1 정책 범위

해외 순환경제 정책은 주로 폐기물 문제와 같은 환경적인 사회문제를 해결하기 위한 배경에서 출발하여 그 범위를 확장하는 방식으로 진행된다. 각국에서 발생하는 폐기물의 발생패턴 및 관리 방식 및 주요 산업이 어떠한지에 따라 문제시하여 정책이 집중하는 영역별로 차이가 있다. 또한 추진동력상 경제적인 유인을 반영하는 정도와 그리고 글로벌 리더십에 대한 적극성 정도에 따라 집중하는 세부정책 범위에서 차별점이 보인다. 아래 [표 4-1]은 해외 주요국의 순환경제 정책이 다루는 주요 정책 영역을 최근 개정된 내용을 중심으로 정리한 결과를 보여준다.

[표 4-1] 해외 주요국의 순환경제 정책 범위 및 최근 동향

국가/기관	주요 제도	주요 내용 및 개정 방향
EU	신순환경제 행동계획	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 제품군: 전자제품 및 ICT, 배터리·차량, 포장, 플라스틱, 섬유, 건설·건물, 식품·물·영양분 - 지속가능한 제품 설계를 위한 에코디자인 법적 의무화 - 플라스틱세(비재생 플라스틱 포장재 대상) 적용 방침 - 소비자법상 수리권을 통한 소비자의 수리받을 권리 강화 - 녹색 공공조달 관련 최소 의무 및 목표 기준 마련 - 생산공정의 순환성 향상을 위한 지침개정 검토 & 산업계의 보고·인증 제도 마련 - 유해물질 관리 강화 - 순환경제 모니터링 프레임워크 보완 - 순환경제 및 자원효율성을 위한 국제연맹(GACERE) 결성 주도
네덜란드	네덜란드 순환경제 2050 프로그램 ²⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - 2050년까지 순환경제 100% 달성 목표 제시 - : 미네랄, 금속, 화석연료의 사용은 2030년까지 50% 감축 - 네덜란드 경제에 중요한 부분을 차지하면서 환경 영향이 큰 5개 주요 영역(바이오매스 및 식품, 플라스틱, 제조업, 건축, 소비재) 정의
영국	자원 및 폐기물 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 2050년까지 재사용·재활용 가능한 폐기물 배출 제로 목표설정, 자원 효율성 2배로 향상 - 2022년부터 재생원료 함유 비중 30%미만 플라스틱 포장재 대상 세금 부과(£200/톤) - 제품 전과정 관리 정책, 폐기물 관련 범죄 및 음식물 폐기물 문제, 모니터링 및 평가 방법, 기술 개발 촉진, 글로벌리더십 등의 내용을 다룸

국가/기관	주요 제도	주요 내용 및 개정 방향
프랑스	순환경제 로드맵	<ul style="list-style-type: none"> - 플라스틱 관련 포장제 및 스티로폼 용기 판매금지 - 2040년까지 일회용 플라스틱 포장 사용 중단 - 2025년까지 매립 폐기물 50% 감소, 플라스틱 100% 재활용 - 프랑스 표준협회는 ISO 표준화 작업 선도
일본	순환형 사회형성 추진계획	<ul style="list-style-type: none"> - 지속가능한 사회 형성과 통합적 추진 - 지역순환 공생권 형성에 의한 지역생활화 - 전과정에서 엄격한 자원순환 - 적정 처리 추진과 환경 재생 - 재해 폐기물 처리체계 구축 - 적정 국제자원 순환체계 구축 및 순환산업 해외 진출 - 순환 분야 기반 정비
중국	제12차 순환경제 발전 5개년 계획(2021-2025) ²⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> - 5대 중점 공정으로 (1) 도시 폐기물 순환이용 체계 구축, (2) 성급 이상의 단지 대상 2025년까지 순환화 개조 완료 목표, (3) 대용량 고체폐기물 종합 이용, (4) 건축폐기물 자원화 이용, (5) 핵심기술 및 장비혁신을 포함함 - 6대 중점 행동으로 (1) 재제조 산업의 질적 발전을 통한 경제발전, (2) 폐전기전자제품 회수 이용에 대한 질적 제고, (3) 자동차 전과정 관리 방안, (4) 플라스틱 사용 전과정 관리, (5) 택배 포장의 녹색 전환, (6) 폐배터리 순환 이용(특히 자동차 배터리 회수·이용, 추적 관리에 집중) 내용을 포함함

내용 출처: 유럽, 영국, 일본의 내용은 문진영 외(2021), pp. 36~50 내용에 기반하여 정리함; 프랑스 내용은 최지연·이혜선(2021) 내용에 기반하여 정리함.

2 모니터링 및 평가 지표

순환경제는 생산, 소비, 폐기물 관리 등 경제 전반에서 자원 효율을 높이고자 하는 노력으로, 물질발자국, 자원생산성과 같은 국가 수준의 자원효율성 지표 외에도 부문별 다양한 지표를 모니터링에 활용한다. 유럽연합의 순환경제 모니터링 프레임워크(European

26) <https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050> (접속일: 2022. 10.24.)

27) https://csf.kiep.go.kr/newsView.es?article_id=42836&mid=a20100000000 (중국전문가포럼, 접속일: 2022. 10.24.)

Commission, 2018a)는 순환경제의 다양한 측면을 평가하되, 자료의 가용성을 고려하여 1) 생산 및 소비, 2) 폐기물 관리, 3) 재생자원, 4) 경쟁력 및 혁신의 4가지 부문에 대해 10가지 지표를 제시하여 활용하였다. 스위스에서는 최근 순환경제의 환경적인 가치를 평가하기 위하여 전과정평가에 기반한 REV(retained environmental value) 지표를 제안한 바 있으며, 이 지표는 물질과 제품을 생산하는 전과정에서 발생하는 환경영향을 보여준다(Bocken et al., 2021). 또한 De Wilt, et al.(2020)의 보고서에서는 2020년 네덜란드의 순환성(circularity metric)²⁸⁾을 24.5%로 발표하였는데, 여기서 순환성은 순환경제를 진단하는 단일지표로서 “매년 국가에 투입되는 총 물질량 중 재활용된 양”²⁹⁾을 의미하며, 총 물질 투입(total material input)에 기여하는 채굴량(extraction; 광물, 광석, 화석연료, 바이오매스 양)을 2050년까지 0으로 만드는 것을 목표로 한다.

[표 4-2] 해외 주요국의 순환경제 모니터링 지표 개발 현황

국가/기관	지표명	지표 설명
EU	EU Monitoring Framework for the Circular Econoy (2018)	순환경제의 4단계(생산과 소비, 폐기물 관리, 이차원료, 경쟁력 및 혁신)에 따라 그룹화한 10개의 지표로, EU 및 회원국의 순환경제 진전 상황을 보여줌.
프랑스	France Key Indicators for Monitoring the Circular Economy (2017)	프랑스 경제의 순환성을 모니터링하기 위한 10개의 지표로, EU와의 비교분석을 포함함.
네덜란드	Netherlands Circular Economy Monitoring System (2018)	네덜란드 경제의 순환성을 측정하기 위한 21개의 지표로, 이 또한 EU와의 비교분석을 포함함.
일본	Japan 3 rd Fundamental Plan for Establishing a Sound Material -Cycle Society (2013)	자원축적량에 초점을 둔 경제(투입, 유통, 산출)에서 물질흐름에 기반한 지표에 해당함.
중국	China Circular Economy Indicator System (2017)	중국의 지표 시스템은 17개의 특정화된 지표를 포함한 물질흐름에 기반함.

출처: 조지혜 외(2021), p. 2.

28) 네덜란드는 2050년까지 순환성 100% 달성을 목표로 설정한 바 있으며, De Wilt, M. et al.(2020)의 자료에서는 70% 까지 달성 가능할 것으로 전망하였음.

29) 보고서 내용을 직접 인용하면 “measuring the share of cycled materials as part of the total material inputs into a national economy every year”임.

모니터링 및 평가지표는 개별 국가 및 유럽연합 차원의 제도화 움직임 이외에도 국제적인 표준화 논의를 통하여 이루어지기도 한다. 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)의 순환경제기술위원회(ISO/TC 323)³⁰⁾의 5개의 워킹그룹 중 세 번째 그룹은 순환성(circularity)를 측정하는 방법에 대한 내용을 다루며, 다섯 번째 그룹은 제품 데이터시트에 관한 내용을 다룬다. 각 그룹은 주로 네덜란드, 프랑스, 일본이 논의를 이끌고 있다(문진영 외, 2021). 향후 무역 등의 대외경제 부문에 미치는 파급효과를 고려했을 때 진행 과정을 주의 깊게 볼 필요가 있으며 우리나라 또한 국제적인 표준화 방향에 참여해야 할 필요가 있다.

3 시행과제 및 추진전략

위에서 설명한 개별 국가와 유럽연합(EU)의 순환경제 제도의 내용은 세부적인 시행 과제 및 추진전략으로 실질적으로 이행되며, 순환경제 정책의 성공 여부를 결정하는 핵심적인 내용에 해당한다.

순환경제 정책을 이끄는 EU의 순환경제 전략은 아래 [표 4-3]과 같이 10년이 넘는 기간 동안 수정과 보완을 거치며 내용이 확장되었다. 2010~2014년은 순환경제 전환을 뒷받침하는 경제성장 패러다임의 전환을 준비하는 단계이며 폐기물 저감 및 재활용을 촉진하는 전략을 중요하게 다루었다. EU 순환경제의 분수령을 만든 제도적 기반은 2015년 순환경제 패키지이며 지금의 순환경제 전략의 주요 골격을 만들었다. 이후에 구체적인 행동계획을 마련하고 이행성과를 모니터링함으로써 실질적인 정책 이행을 가능하도록 하였으며 순환경제 패키지와 행동계획 이행성과는 지속적으로 보완 발전하였다. 2019년도부터는 유럽의 그린딜 프로그램과 연계하여 유럽의 혁신동력으로서 순환경제 전략이 강조되었다. 유럽의 순환경제 세부 과제 및 전략 내용은 폐기물 재활용을 기본으로 제품 전과정 관리 내용을 포함하며, 혁신성과 자원 안보 대응 요소 또한 중요하게 다루고 있다. 또한, 과학적인 모니터링 방법과 같은 정책 기반에 관한 요소 등, 이행 결과가 환류할 수 있는 체계를 수년에 걸쳐 마련하였다.

30) <https://www.iso.org/committee/7203984.html> (접속일: 2022.10.24.).

[표 4-3] EU의 순환경제 전략 추진 과정

제도명	추진 연도	추진 내용
원자재 사업	2008	유럽의 원재료 중 중요한 14종 선정. - 이후 critical raw material 선언으로 발전됨.
Europe 2020 Strategy	2010	EU 경제발전을 위해 2010 EC가 제안. - 경제성장과 자원 사용의 디커플링 비전 제시.
Zero waste programme for Europe	2014	선형경제에서 순환경제로 전환 방향 제시. - 폐기물 매립을 줄이고 재사용·재활용 장려를 위한 장기적 목표 제시. - EU가 순환경제 전환의 중심점이 되도록 준비.
Circular Economy Package – EU action plan for the circular economy	2015	유럽의 순환경제 전환을 위한 액션 플랜. - 제품 수명 전과정 관리를 통한 순환경제로 전환 촉진, 다양한 전환 대상 제품군 정의. - 현행제도 정비를 통하여 최상의 시너지를 내도록 함.
에코디자인 행동계획 2016~2019	2016	제품 자원효율성에 대한 요구사항 작성 관련 계획.
순환경제 행동계획 이행성과	2017	54개 행동계획에 대한 주요 성과 도출(법, 제도, 지침 기반 마련). - 생산, 소비, 폐기물 관리, 이차원료 등의 주요 분야를 환경·사회·경제 부분으로 분류.
Circular Economy Package Monitoring framework on the CE	2018	EU 회원국에 공통적으로 적용할 10개 모니터링 지표 제시.
유럽 플라스틱 전략	2018	2030년까지 유럽의 플라스틱 용기 포장 재활용 관련 투자 및 고용 창출. - 일회용 플라스틱 저감, 미세플라스틱 사용 제한.
순환경제 행동계획 이행성과	2019	순환경제 행동계획 주요 성과와 모니터링 결과에 기반하여 순환경제 전환 효과를 제시. - 일자리 창출효과(2012년 대비 2016년 순환경제 관련업종 종사자 6%, 400만명 증가). - 175억유로 투자 결과, 약 1,470억 유로 부가가치 창출.
A New Circular Economy Action Plan (EU green deal)	2019 & 2020	EU 그린딜의 순환경제 부문 전략. - 순환경제를 위한 제품설계 및 생산 강조(생산과 소비 부문에 집중, 지속가능한 제품 정책 강화).

출처: 조지혜 외(2020c), p. 17 표 내용을 재구성하였으며, 일부 내용이 보완됨.

플라스틱 관련 정책은 순환경제 세부과제 중에서도 전 세계적으로 참여도가 높은 부문으로 법적인 기반과 구체적인 이행 전략을 마련한 국가들이 다수 존재하며, 해당 내용을 아래 [표 4-4]에 정리하였다.

[표 4-4] 주요국의 플라스틱 부문 순환경제 정책 범위

국가	내용
EU	<ul style="list-style-type: none"> - 2015년 순환경제 패키지 : 폐기물의 매립 축소 및 재활용, 재이용을 장려하여 장기적 목표를 제시, 생산부터 소비, 수리 및 제조, 폐기물 관리와 2차 원료를 아우르는 가치 사슬(Value Chain)에 순환경제 원리를 적용하는 액션 플랜. - 에코디자인 실행계획(2016~2019). - 2017년 'The 2017 Commission Work Programme(순환경제 액션플랜의 이행을 위한 실행 프로그램)' 발표 - 2018년 순환경제 패키지는 플라스틱 및 플라스틱 제품의 설계, 생산, 사용 및 재활용 방식을 바꾸는 부속서 중심으로 구성 - 일회용 플라스틱 제품 사용규제를 위한 지침 제정안 2021년부터 발효
독일	<ul style="list-style-type: none"> - 생분해성 봉투의 Bio Contents 비율 50% 고시 예정 - 포장재의 유통, 회수, 고품질 재활용에 관한 「신포장재법(VerpackG)」 개정(2019.1) - 독일 내 듀얼시스템에 가입해야 수출이 가능하도록 재활용 제도를 의무화 - 2020년까지 독일 에너지공급량에서 바이오에너지 점유율 2배 증가 목표, 재생에너지 발생비중을 2009년 6.6%에서 2020년 14%로 확대 계획
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> - 비분해성 일회용 쇼핑봉투 사용 규제(2016.7) - 바이오매스 함량 30% 봉투만 사용(2017.1) - 2017년, 미세플라스틱 함유 화장품 전면 금지 - 순환경제 로드맵 개발(2018): 생산 개선, 소비 개선, 폐기물 관리 개선, 모든 이해관계자의 참여 등 4가지 영역으로 분류하여 50가지 조치사항으로 구성(FREC 50가지 조치) - 2020년부터 플라스틱 컵과 접시 사용금지
중국	<ul style="list-style-type: none"> - 폐기물 수입규제 제도(2017) - 2020년까지 자원순환 촉진을 위한 산업구조 재검토(불법 수입사업자 영업정지 포함) - 2021년 1월 고체 폐기물 수입 전면 금지, 일회용 플라스틱 제한·금지 - 2021년 2월 탄소배출권 거래 관리방법으로 운영 관리체계 구축
일본	<ul style="list-style-type: none"> - 2000년대 초반 환경기본법 및 순환형사회형성추진 기본법 구축 - 순환형사회형성추진 기본계획(2003), 5년마다 재검토하여 보완 - 과학기술 예측조사 기반마련

출처: 최지연·이혜선(2021), p. 201.

독일은 유럽연합 순환경제 패키지가 발표되기 이전부터 순환경제 정책을 도입하였으며 다양한 정책영역에서 프로그램과 전략이 존재한다. [표 4-5]는 EU의 순환경제 패키지가 발표되기 이전부터 추진해왔던 독일의 순환경제 전략 내용을 보여준다.

[표 4-5] 독일의 순환경제 전략

제도명	수립연도	추진 내용
National Biomass Action Plan/Action Plan for the Industrial Use of Biomass	2009	EU 바이오매스 실행 계획 준수 현재 에너지 수요 충족 시 바이오매스 점유율 정량화, 가용 매장량 식별 바이오에너지 촉진을 위한 독일의 전략 설명
Renewable Energy Heat Act	2009	새로 건축한 건물의 소유자가 열 요건의 일부를 충족하려면 재생 에너지를 사용해야 하는 의무에 따라 배치(바이오 에너지 포함)
Closed Substance Cycle and Waste Management Act	2010	산업 및 상업 분야가 폐기물 회수를 책임지게 하는 독일의 폐기물 관리법 제정의 주축
National Raw Material Strategy	2010	안전하고 지속가능한 원료 공급을 달성하기 위한 산업을 지원하는 혼합 기구 포함. 초점 영역은 원재료의 지속적인 추출과 처리, 폐기물의 2차원료를 자원 사이클로 돌려보내는 것
National Research Strategy BioEconomy 2030	2011	독일의 생명경제학 연구의 개요는 전 세계 식량 공급을 보장하고 재생가능한 원자재로 고부가가치 제품을 생산하는 지속가능한 생물기반 경제에 대한 비전을 제공. 독일의 전략적 목표는 연구와 혁신을 위한 역동적인 장소가 되는 것
2015 Circular Economy Act – “reorganizing” the Closed Cycle and Waste Management	2012	법의 목적: 폐기물 방지, 회수, 처리 및 관리의 다른 활동
Resource Efficiency Program	2012	첫 번째 부분인 ‘ProgRess’는 천연자원의 추출과 사용을 더 지속가능하게 만들고 가능한 한 관련된 환경오염을 줄이는 것을 목표로 함. 이에 대한 세계의 책임을 독일 국가자원 정책의 핵심 초점으로 보고, 독일의 경제 및 생산 관행을 1차 자원에 덜 의존하게 하고 폐쇄 사이클 관리를 개발하고 확대하는 등, 네 가지 지침 원칙을 가지고 있음. 이 프로그램의 두 번째 부분은 전체 가치사슬의 5개 부분 각각에 대해 순환경제 목표를 달성할
Resource Efficiency Program	2016	제1차 계획의 성과를 평가·분석하여 발표. 세부 내용으로 지속가능한 원자재 공급 보장, 생산에서 자원 효율성 향상, 자원 효율적인 생산·소비, 자원 효율적인 정보통신기술과 이를 뒷받침하기 위한 제도적 조치들을 명시함

출처: 민달기 외(2018), pp. 39~40.

유럽에서 순환경제 전략을 적극적으로 도입한 네덜란드에서는 민간을 포함한 이해관계자의 자발적인 참여에 따라 다양한 프로그램이 운영되는 점이 특징적이며, 중앙 정부 또한 순환경제를 국가의 중요한 정책으로 다룬다. 4개의 부처가 5개 주요 부문에 관한 순환경제 이행을 위해 긴밀히 협력하는 구조이다. 관련 부처별 관할 업무를 아래 [표 4-6]에 정리하였다(Hanemaaijer, et al., 2021).

[표 4-6] 네덜란드의 순환경제 관련 부처

부처명	업무 영역
Ministry of the Interior and Kingdom Relations	건축 (주택, 비거주 건물)
Ministry of Infrastructure and Water Management	건축 (토목) 플라스틱, 소비재
Ministry of Economic Affairs and Climate Policy	제조업
Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality	바이오매스 음식물

이상의 해외 순환경제 관련 제도 내용을 분석한 결과 아래의 시사점을 도출하였다.

- **방향성:** 유럽의 순환경제 전환제도 도입 과정은 경제성장 패러다임의 전환이라는 큰 틀에서 환경·경제·사회 전반에서 영향을 고려한 정책을 마련함. 우리나라도 중장기적으로 일관된 방향의 정책을 추진할 수 있도록 국가 발전전략 방향 선상에서 순환경제 정책 방향성을 논의할 필요가 있음.
- **모니터링 기반:** 순환경제 성과는 물질흐름에 관한 정보에 기반하여 평가할 수 있다. 다만 표준화된 방법론 및 데이터 관리가 부재한 경우 국가별 지역별 평가 결과에 정합성이 떨어지므로 이에 대한 방법론을 우선적으로 정립해야 함.
- **표준화:** 위와 관련하여, 순환경제가 전 세계적으로 주류가 되면 물질흐름 모니터링 방법에 관한 국제표준화 필요성이 현재보다 커질 것으로 전망하며, 유럽을 중심으로 진행하는 표준화 동향에 적극적으로 대응할 필요가 있음.
- **혁신전략 요소:** 유럽과 일본, 중국은 산업구조의 전환 및 신성장동력으로서 순환경제 전략을 초기부터 고려하였으며, 잠재적인 사회적 파급효과가 커짐에 따라 정책 주류화에 유리한 여건을 조성함.

- **자원안보 요소:** 유럽은 일찍이 원자재 사업 및 국가원료전략(독일) 등을 2010년 이전부터 준비해 왔으며 이를 순환경제 전략에 흡수하여 원료수급 안정성을 높이는 차원의 전략을 마련함. 이 요소는 최근 우크라이나 전쟁에 따른 공급망 리스크 대응 필요성이 높아짐에 따라 더욱 중요성이 높아지는 정책 영역임

제2절

국내 순환경제 제도 현황 및 입법동향

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 국내 순환경제 제도 현황³¹⁾

국내에서 순환경제 제도는 해외 여러 나라와 마찬가지로 폐기물 재활용 정책에서 출발하여 폐기물을 자원으로 인식하는 전환의 과정을 거쳐 물질의 순환 개념이 도입된 ‘자원순환’으로 진화해 왔다. 그러나 유럽연합이 경제성장 패러다임의 전환 차원에서 시작한 순환경제 정책과는 다르게 폐기물 관리의 대상 및 자원의 범주가 확장되는 양상으로 발전하였다. 따라서 생산과 소비 단계에서 자원의 순환을 염두에 둔 전략과 재생원료 사용을 통한 자원 안보의 강화와 같은 차원의 전략이 부족하며, 물질순환 전과정 모니터링에 필요한 통계가 미흡하다는 점이 향후 보완점으로 제기되어 왔다.

민달기 외(2018)의 연구에서도 유럽의 순환경제 패키지와 액션 플랜(action plan) 내용을 국내 정책과 비교하여 국내 제도의 보완점을 제시한 바 있다[표 4-7]. 여기서 제시된 국내 제도의 보완점은「자원순환기본법」이 2018년 1월 1일부터 시행되면서 수립된 「제1차 자원순환기본계획(2018~2027년)」에 반영되었으며, 「K-순환경제 이행 계획」을 수립하면서 전과정의 관리가 강화되는 부분 또한 보완하였다.

[표 4-7] EU 순환경제 패키지 및 행동계획 대비 국내 정책 내용

분야	EU 순환경제 패키지 및 행동계획 내용	국내 유사 제도 내용
생산	<ul style="list-style-type: none"> • 에코디자인 지침의 개정: 수리 용이성, 내구성, 재활용 가능성 등의 내용을 포함한 지침으로 개정. • 산업공정별 최적 가용 기술지침서 발간. • 중소기업의 생산기술에 자원순환 기술을 접목할 수 있는 기술인프라 네트워크 구축. 	<ul style="list-style-type: none"> • 전기전자제품의 재질 구조 개선 지침. • 자원순환성 평가. • 중소기업에 대한 에코디자인 관련 지원책 시행.

31) 본 연구가 진행될 당시 현행 법률을 분석대상으로 하여「순환경제사회 전환 촉진법」(2022.12.31. 전부개정)이 내용은 포함하지 않음

분야	EU 순환경제 패키지 및 행동계획 내용	국내 유사 제도 내용
소비	<ul style="list-style-type: none"> • 신녹색 공공조달기준(GPP: Green Public Procurement)과 관련 법률 (2016) 발표. - 순환경제를 위한 요구사항을 포함하여 지침 마련. - 오스트리아, 이탈리아, 핀란드, 슬로바키아, 독일, 덴마크 등. 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경마크제도. • 공공조달 최소녹색기준 제품구매 가이드라인(2017).
모니터링	<ul style="list-style-type: none"> • 순환경제의 이행 정도를 모니터링하기 위한 관리지표의 마련. - 자원효율성을 관리지표로 설정. - 자원생산성을 주요지표로 두고 관련한 모니터링 지표 개발. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEEA, EW-MFA, SDG와 연계한 통계 마련 중. • 자원효율성 관리지표 개발 중.
2차 자원	<ul style="list-style-type: none"> • 2차 자원의 사용 촉진을 위한 품질 기준 마련. 	<ul style="list-style-type: none"> • 자원순환 성과관리제. • 순환자원 인정제.

출처: 민달기 외(2018), p. 36.

2020년까지의 국내 순환경제 정책은 현재 기준의 정책 내용과 비교했을 때에 개념적으로 큰 차이가 있다. 최근 2~3년간 탄소중립과 제품 전과정 관리 차원에서 순환경제 전략의 유관 영역이 크게 확장되어 환경부 중심의 정책에서 복수의 주요 관계부처의 공조가 필요한 상황으로 급변하였다. [표 4-8]은 2021년 12월에 발표한 한국형 순환경제 이행계획의 주요 내용을 보여주며, 현재 개별 시행과제의 구체적인 이행 방안을 준비하고 있다.

[표 4-8] 『K-순환경제 이행계획』 주요 내용

구분	내용
생산·유통 단계 자원순환성 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 석유계 플라스틱을 석유계 혼합 바이오 플라스틱으로 전환을 유도하고, 2050년 까지 순수 바이오 플라스틱으로 대체 촉진. - (2030) 생활 플라스틱 20%, 사업장 플라스틱 대체 15%. - (2050) 소각·매립 대상을 중심으로 생활 플라스틱 100%, 사업장 플라스틱 45% 대체. • 종이·유리·철뿐만 아니라 플라스틱 제조업체에 대해 재생원료 사용 의무를 2023년부터 부과하고, 특히 플라스틱 페트는 2030년까지 30% 이상 재생원료 사용목표 부여. • 제품의 설계단계부터 순환이용이 쉬운 원료 사용, 내구성 및 수리 용이성, 폐기되었을 때 재사용·재제조 용이성 등을 고려하여 지속가능한 설계(에코디자인) 적용을 강화.
친환경 소비 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 화장품 리필 매장 활성화를 위해 소비자가 화장품(샴푸, 린스 등 4종)을 다회용기에 원하는 만큼 구매하는 맞춤형 화장품 매장 확산 유도. • 지자체, 배달앱 업계, 음식점 등과 협업해 다회용기 사용 배달문화 조성.

구분	내용
폐자원 재활용 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 의료폐기물인 폐지방, 폐치아를 활용한 의약품과 의로기기 생산이 가능하도록 '폐기물관리법' 개정. • 폐플라스틱의 열분해 처리 비중을 2020년 0.1%에서 2030년 10%까지 확대하고, 현재는 주로 연료로 활용하는 열분해유를 석유·화학 공정의 원료로 사용할 수 있도록 개선. • 바이오 가스화 시설을 지속 확충해 음식물쓰레기의 바이오 가스화 비율을 2019년 13%에서 2030년 52%까지 확대. • 엔진/변속기 등 자동차부품, 토너 카트리지, 복사기, 공기청정기 등 87개 품목에 한해 재제조를 허용해왔으나, 2022년부터 모든 제품에 대해 재제조를 허용.

출처: 환경부 보도자료(2021.12.31.), 「탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립」.

한편, 김은아·민보경(2020)의 연구에서는 2020년까지의 국내 순환경제 제도 현황에 기반하여 「자원순환기본법」과 『제1차 자원순환기본계획(2018~2027년)』으로 보완되지 못한 국내 순환경제 제도상 개선점을 [표 4-9]와 같이 제시하였다. 동 보고서는 『K-순환경제 이행계획』이 발표되기 이전의 제도에 기반하여 작성되었으며, 개선점으로 제시된 내용 중 목표, 모니터링, 혁신정책 관련 내용의 일부는 『K-순환경제 이행계획』에서 향후 추진할 전략 내용으로 다루었기 때문에, 향후 개선을 기대할 수 있다.

[표 4-9] 2020년도 기준 국내 순환경제 제도 진단 결과

분야	국내 제도 진단	개선점
개념	<ul style="list-style-type: none"> • '폐기물' 중심의 패러다임에 머물러 있으며 국가 경제·사회구조를 순환형으로 근본적으로 전환하기에는 부족함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 「순환경제법」을 제정(또는 「자원순환기본법」의 전부개정). • 지속가능발전에 관한 국내 기본법」에 순환경제 개념 추가.
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 대응을 포함한 지속가능성 향상 목표 부족. 	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 저감, 일자리 창출, 지역 네트워크 강화 등 다양한 환경·경제·사회적 영향을 고려한 목표 설정 필요.
모니터링	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능성 향상 관련 목표 달성에 관한 성과 지표 부족. 	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 지표체계 제안과 성과지표 표준화 등.
혁신정책	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 재활용 중심의 지역 프로그램. 	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능한 건축 자재, 에너지 효율성 향상, 물순환 등 다양한 순환경제 전략 영역에 관한 지역 단위 혁신 촉진 프로그램 필요.

출처: 김은아·민보경(2020).

과거 환경정책의 추진 방식이 민간 주도로 이루어지기보다는 관련 제도와 정책을 먼저 마련하고 이해관계자의 대응이 이어지는 특성을 고려했을 때에 국내 순환경제 정책 영역은 법적 제도의 방향성과 내용이 매우 중요하게 작용한다. 이러한 배경에서 본 연구는 국내 순환경제 관련 법령 제정현황을 조사하였고 관련 정책 영역 및 전략 내용의 변화를 알아보았다.

우리나라의 순환경제 관련 법령은 「자원순환 기본법」, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」, 「폐기물 관리법」을 주축으로 하며, 총 53개의 관련 법령³²⁾이 존재한다. 관련 법령 중 순환경제와 밀접한 관련이 있는 법률의 제정 또는 전부개정 연혁을 아래 [표 4-10]에 정리하였다. 「자원순환 기본법」이 제정되기 이전의 순환경제 법령 제정 연혁은 ‘폐기물 관리→재활용→자원순환’으로 개념이 확장되는 과정을 보여주며, 순환 자원 대상이 ‘건설폐기물→전기·전자제품·자동차→수산부산물’로 확장함을 확인할 수 있다.

[표 4-10] 순환경제 관련 법령 주요 내용(제정 또는 전부개정)

법률	제·개정 시점	주요 내용
폐기물 관리법	1986 (제정)	• 폐기물 처리 기본계획 수립의 근거.
	1991 (개정)	• 전부개정: 재활용 개념 등장(폐기물의 재활용을 촉진).
자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률(자원재활용법)	1992 (제정)	• (1) 자원의 효율적인 이용, (2) 폐기물 발생 억제, (3) 자원 절약 및 재활용 촉진을 목적으로 함. • 자원 재활용 기본계획 수립의 근거: 제1차 자원순환기본계획(2011-2015)을 마련.
건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률(건설폐기물법)	2003 (제정)	• 건설공사 등에서 나온 폐기물을 친환경적으로 처리 & 재활용 촉진을 목적으로 함
전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률(전자제품 등 자원순환법)	2007 (제정)	• 전기전자제품 및 자동차의 재활용을 촉진하기 위하여 (1) 유해물질 사용 억제 (2) 재활용이 쉽도록 제조, (3) 폐기물을 적정하게 재활용하는 자원 순환체계 구축을 목적으로 함

32) 제헌국회~현재 제안된 의안 중 제안이유 및 주요 내용에서 ‘재활용’ 또는 ‘자원 & 순환경제’가 포함되었으며 가결(수정가결 또는 원안 가결)된 법률.

법률	제·개정 시점	주요 내용
자원순환 기본법	2016 (제정)	<ul style="list-style-type: none"> • (1)환경보전과 (2)지속가능한 자원순환사회 조성을 목적으로 하며, 폐기물의 순환이용 및 적절한 처분을 촉진함. • '자원순환기본계획' 수립 및 시행 규정. • 제1차 자원순환기본계획(2018~2027)을 다시 발표. • 시·도지사 및 기초지자체장의 시행계획 또는 연차별 집행계획 수립 의무를 명시. • '자원순환 통계조사' 시행에 관한 조항을 제13조에 마련.
수산부산물 재활용 촉진에 관한 법률	2022 (제정)	<ul style="list-style-type: none"> • 수산부산물의 재활용을 촉진하기 위하여 5년 단위 기본계획 수립, 수산부산물을 다량 배출하는 자에게 분리 배출 의무 부과.

상기 순환경제 관련 법 제정 및 전부개정 사항에 포함되지 못하는 현행법의 주요 개정사항을 [표 4-11]에 정리하였다. 여기서 분석 대상은 「자원순환 기본법」이 시행된 2018년부터 현재까지 물질순환성 향상 목적으로 개정된 내용이다.

[표 4-11] 2018~2022년 현재 순환경제 관련 현행법 주요 개정 내용

법률	제안연도	주요 내용
자원재활용법	2018	<ul style="list-style-type: none"> • 포장재 재활용 의무생산자에게 재질·구조 기준 준수 의무를 부과하는 등 포장재 재활용성 향상을 목적으로 개정.
	2019	<ul style="list-style-type: none"> • 생산자책임 재활용제도 개선(폐기물 회수·재활용 자발적 협약 기간 최대 5년으로 제한 등).
	2020	<ul style="list-style-type: none"> • 1회용 컵에 대한 자원순환 보증금 제도 도입.
	2021	<ul style="list-style-type: none"> • 재활용 시장 관리센터 설치 및 재활용 가능 자원 등 비축시설 설치·운영, 보관료·운송료 비용부담 지원 근거 마련.
전자제품 등 자원순환법	2020	<ul style="list-style-type: none"> • 전기전자제품에 태양광 패널이 포함되도록 정의. • 전기자동차 폐배터리, 태양광 폐패널 등 새로운 유형의 전자폐기물의 회수/민간 공급 등을 위한 미래 폐자원 거점 수거센터 설치.
	2022	<ul style="list-style-type: none"> • 폐자동차 재활용업자 또는 폐가스류 처리업자가 영업정지 처분을 과징금 납부로 갈음할 수 있도록 함.

법률	제안연도	주요 내용
환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률	2021	<ul style="list-style-type: none"> • 재제조 품목 고시제도 폐지, 재제조 제품 표시 및 소비자 보상 방법 고시 등을 통하여 재제조 산업 활성화. • 제품 생산과정에서 발생하는 폐기물, 부산물을 원료/에너지로 재자원화하는 활동 촉진. • 금속자원의 재자원화에 대한 지원 근거 신설.

2018년부터 물질순환성 향상 목적으로 개정된 현행법의 변화된 내용을 분석한 결과 폐기물 재활용 전반에 관한 지원 및 규제를 강화하였고 전자폐기물의 범위를 확대하였으며 재제조 산업 활성화를 위한 근거를 마련하는 등 제품 폐기단계에서 물질순환성 향상에 필요한 제도를 개선한 것으로 진단할 수 있다. 그러나 『K-순환경제 이행계획』에서 강조하는 전과정에서 관리를 강화하기 위하여 폐기단계뿐만 아니라 생산, 소비 부문 전략 이행력 강화를 위한 법제도 개선 작업이 추가적으로 필요하다. 이와 더불어 여전히 탄소중립 및 지속가능 발전의 주요 구성요소로서 순환경제 제도를 통합하지 못한 점이 과제로 남아있다.

2 입법동향

본 소절에서는 제헌국회~현재 제안된 의안 중 제안이유 및 주요 내용에서 ‘재활용’ 또는 ‘자원 & 순환경제’를 포함하는 469개의 의안을 대상으로 분석한 결과를 보여 준다. 국내 순환경제 정책 및 제도의 경로의존성을 살펴보기 위하여 분석 대상을 법제도 기준으로 가장 포괄적인 범주인 제헌국회부터 현재까지로 정하였다. [표 4-10]에서 정리한 순환경제 관련 주요 법령 이외에 원안 가결 또는 수정 가결된 의안이 다루고 있는 법률 전체를 아래 [표 4-12]에 정리하였다. 아래 법률명은 수정 가결된 법안 및 사후 법률명이 변경된 경우도 포함하므로 모두가 현행법으로 존재하지는 않는다.

[표 4-12] 순환경제 관련 의안 제안 목록(법률을 기준으로 정리, 1948~2022년 현재)

No.	법률명(원안 가결, 수정 가결)	제안 횟수
1	자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률	19
2	폐기물관리법	10
3	전기·전자제품 및 자동차의 자원 순환에 관한 법률	9
4	건설 폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률	7
5	조세특례제한법	7
6	대기환경보전법	4
7	자동차관리법	4
8	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률	3
9	가축전염병 예방법	3
10	생활주변방사선 안전관리법	3
11	수도권 대기환경개선에 관한 특별법	3
12	잔류성 유기오염물질 관리법	3
13	조세감면 규제법	2
14	폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리에 관한 법률	2
15	한국자원재생공사법	2
16	해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법	2
17	환경정책 기본법	2
18	환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률	2
19	건설기계 관리법	1
20	건축법	1
21	경제자유구역의 지정 및 운영에 관한 법률	1
22	공공기관의 친환경상품 구매촉진에 관한 법률	1
23	광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률	1
24	구직서류반환 등 채용절차의 공정화에 관한 법률	1
25	국민건강증진법	1
26	군사법원법	1
27	농업기계화 촉진법	1
28	부담금관리 기본법	1
29	비료관리법	1
30	사료관리법	1
31	산림복지단지조성 및 지원에 관한 특별법	1
32	산지관리법	1

No.	법률명(원안 가결,수정 가결)	제안 횟수
33	소비자 생활협동조합법	1
34	수도법	1
35	수산부산물 재활용촉진에 관한 법률	1
36	식품위생법	1
37	오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률	1
38	원호재산 특별처리법	1
39	임대주택법	1
40	자동차 손해배상보장법	1
41	자원순환 기본법	1
42	주한미군 공여구역 주변지역 등 지원특별법	1
43	지방세특례 제한법	1
44	친환경상품 구매촉진에 관한 법률	1
45	토양환경보전법	1
46	폐기물처리시설 설치 촉진 및 주변지역 지원 등에 관한 법률	1
47	폐자원 안전관리 및 주민지원 등에 관한 특별법	1
48	하수도법	1
49	한국 환경자원공사법	1
50	합성수지폐기물 처리사업법	1
51	행정절차법의 시행에 따른 공인회계사법 등의 정비에 관한 법률	1
52	환경기술 개발 및 지원에 관한 법률	1
53	환경보전법	1

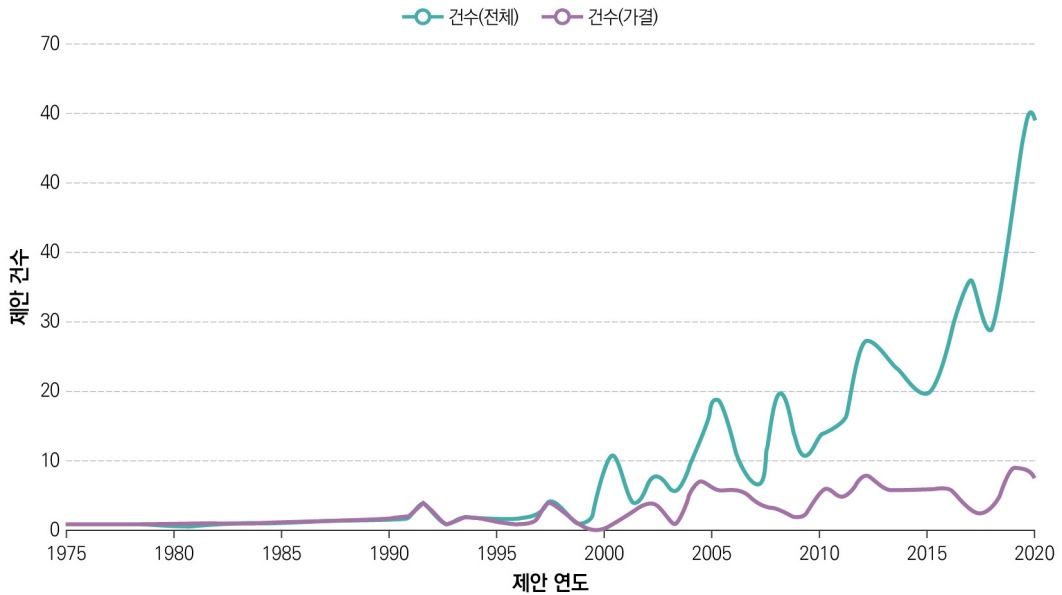
상기 법률 중 순환경제 정책 영역 또는 관련 폐기물 자원 범위의 확대와 관련된 법률을 제안연도 기준으로 정리하면 [표 4-13]과 같다. 다수의 경우 폐기물의 유해물질의 관리 목적의 조문을 포함하고 있거나 폐자원 재활용 촉진을 위한 법률의 제정 목적의 의안에 해당하며, 일부 자원순환에 관한 환경산업의 육성 및 기술개발에 관한 내용 또한 다뤄졌다. 최근 10여 년 동안에는 기계·자동차의 재활용 재제조를 지원하는 법률들이 눈에 띈다. 이렇게 자원순환의 대상이 되는 폐기물의 범위는 지속적으로 확장되는 추세이며 현재 계류 중인 의안([표 4-14]) 내용에서 특히 그러한 경향성을 확인할 수 있다.

[표 4-13] 순환경제 정책영역 또는 폐기물 자원 범위 확대 이력

최초 의안 제안연도	법률명(원안가결,수정가결)
1979	합성수지 폐기물 처리 사업법
1992	폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률
1994	비료관리법
1994	폐기물처리시설설치촉진및주변지역지원등에관한법률
1999	가축전염병 예방법
2002	오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률
2003	건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률
2005	친환경상품구매촉진에관한법률
2006	잔류성 유기오염물질 관리법
2007	대기환경보전법
2008	전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률
2010	환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률
2011	산지관리법, 토양환경보전법
2011	환경기술개발 및 지원에 관한 법률
2014	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률
2015	생활주변방사선 안전관리법
2015	자동차 관리법
2016	건설기계관리법
2017	해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법
2019	폐자원 안전관리 및 주민지원 등에 관한 특별법
2021	농업 기계화 촉진법
2021	수산부산물 재활용 촉진에 관한 법률

[표 4-13]에서 제헌국회(1948년~)부터 현재까지 수정가결 또는 원안 가결된 의안 건수와 2020년 21대 국회가 시작된 이래 제안되어 계류 중인 의안 제안 횟수를 비교하면 최근 순환경제 관련 제도적 개선에 입법부의 관심도가 크게 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 전체 기간의 의안 제안 건수를 대상으로 분석한 결과는 [그림 4-3]에서 확인할 수 있으며, 2000년대부터 전반적으로 의안제안 건수가 증가하는 추세에 있으며, 「자원순환 기본법」이 제정된 2016년부터 급격하게 증가함을 알 수 있다. 그러나 가결

된 의안 수는 일정 수준을 유지하며, 특히 21대 국회에 제안된 의안은 대다수가 계류 중인 점은 행정부 차원의 정책변화 속도에 비해 입법부의 대응이 적시에 이루어지지 않고 있을 가능성을 시사한다.



[그림 4-3] 제헌국회부터 현재까지 순환경제 관련 의안 제안 건수(전체 vs. 가결안) 변화

현재 계류 중인 법률안(표 4-14)에는 ‘유기성 폐자원,’ ‘농산부산물,’ ‘농업 바이오매스 에너지’와 같이 기존에 재활용되거나 자원화 되지 못한 대상이 확대되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 농어촌에서 발생하는 부산물 외에 현재 국내외에서 순환경제 주요 전략으로 다뤄지는 재생원료 생산 및 부품 재제조에 관한 법률안으로 ‘수리산업 지원에 관한 법률’ 이외에는 존재하지 않아 관련 정책 추진력을 담보할 수 있는 법률안이 준비될 필요가 있다.

[표 4-14] 순환경제 관련 계류 법안(법률을 기준으로 정리)

No.	법률명(계류)	현행법 여부	제안 횟수
1	자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률	O	25
2	폐기물관리법	O	15
3	자동차관리법	O	4
4	자원순환 기본법	O	4
5	건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률	O	3
6	조세특례제한법	O	3
7	공직선거법	X	2
8	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법	O	2
9	유기성 폐자원을 활용한 바이오가스의 생산 및 이용 촉진법	X	2
10	전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률	O	2
11	해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법	O	2
12	가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률	O	1
13	공공건축물의 목재이용 촉진에 관한 법률	X	1
14	공공기관의 운영에 관한 법률	O	1
15	국가재정법	O	1
16	농산부산물 재활용 촉진에 관한 법률	X	1
17	농업 바이오매스 에너지의 이용·보급촉진에 관한 법률	X	1
18	부담금관리 기본법	O	1
19	사회적경제 기본법	X	1
20	수리산업 지원에 관한 법률	X	1
21	식품위생법	O	1
22	위생용품 관리법	O	1
23	의료법	O	1
24	초·중등교육법	O	1
25	파리협정에 따른 1.5℃ 국내 이행법	X	1
26	폐기물처리시설 설치촉진 및 주변지역 지원 등에 관한 법률	O	1
27	화물자동차 운수사업법	O	1

3 순환경제 법제도 보완 영역

본 연구는 순환경제 전환으로 인한 사회·경제·환경적인 파급효과가 특히 클 것으로 예상하는 산업을 도출하기 위하여 순환경제 전환동력을 분석하였다. 이때 전환동력이란 우리나라가 선진국가(G7) 대비 상대적으로 뒤떨어진 부분을 보완하고자 하는 데에서 발생하는 동력과 국내외에서 강하게 추진하는 정책 중 순환경제 전환으로 목표 달성에 긍정적인 영향이 기대되는 데에서 발생하는 동력으로 구성하였다. 전자에 해당하는 동력 분석 결과 (1) 미세먼지 노출농도와 (2) 자원 해외의존도를 낮추는 방향성이 도출되었으며, 후자에 해당하는 동력 분석 결과 (3) 온실가스 배출량 저감 방향성이 도출되었다. 법률은 이러한 동력이 효과적이고 안정적으로 작용할 수 있도록 만드는 사회기반 요소이다. 따라서 현행법상 또는 현재 입법 준비단계에 있는 법률이 이러한 동력을 형성하는 데에 부족함이 없는지를 분석할 필요가 있다. 상기 소절에서 국내 입법동향을 조사한 결과에 기반하여 바람직한 법제도 기반 대비 현재 수준의 차이를 분석하여 보완할 필요가 있는 영역을 도출하고자 하였다.

[표 4-15] 순환경제 전환 주요 동력에 대응하는 법제도 보완 영역

순환경제 전환 동력	관련 현행법	법제도 보완 영역
미세먼지 노출농도 개선	자원순환기본법 [※]	• 목적과 정의에서 자원의 순환 또는 순환경제를 통한 환경보전 효과를 좀 더 명시적으로 표기(예: 대기오염 방지 및 생물다양성 보전 등)
자원해외의존도 저감	원자재법(신설)	• 유럽연합이 추진중인 핵심원자재법과 같은 자원안보 강화 목적의 법 제정시 순환경제 요소 반영
온실가스 배출 저감	탄소중립기본법	• 현행법 제64조 순환경제 활성화 조문에 순환경제 기술 혁신에 관한 내용 보완
	자원순환기본법	• 자원순환의 목적과 정의 등 법령 전반에 탄소중립 목적과의 연계성 강화
지속가능성 향상	지속가능발전 기본법	• 자원순환기본법과의 연계성 강화

※ 2022.12.31. 「자원순환기본법」 전부개정으로 「순환경제사회 전환 촉진법」을 발표하였으나, 본 연구에서는 2022년 기준 현행법을 대상으로 분석함

상기 순환경제 전환 주요 동력 관점에서 다루지는 않았지만 해외 순환경제 제도 분석 결과, 제품인증 등 순환경제 정책이행 과정에서 다양한 표준화작업 및 정비작업이 필요하다. 특히 기존 인증제도를 정비할 필요가 있으며, 이에 관한 법적 근거를 마련해야 한다. 또한 현행 탄소중립 기본법과 자원순환 기본법에 통계조사에 관한 조문이 존재하지만 본 연구에서 활용한 통계자료로는 물질흐름의 구분이나 자원의 종류가 단순하여 구체적인 순환경제 전략을 도출하기에는 한계가 있었으며 각 경제 부문에서 구체적인 고해상도 데이터를 활용하여 물질흐름 및 순환성을 진단할 필요가 있다. 또한 다양한 산업 소재의 물질흐름 분석에 필요한 통계 자료를 부처별로 파편화되어 관리하는 현 상황에서 산업부문별 물질순환성 향상 전략에 필수적인 근거 통계 데이터를 구축하기 어렵다. 따라서 향후 산업계 순환경제 전략 수립 및 성과 모니터링에 활용될 수 있도록 범부처 물질흐름 데이터베이스를 구축할 필요가 있다.

제5장

기업투자 전략 및 주요 산업별 전략

제1절 기업투자 전략 및 입법과제

제2절 주요 전환 산업 대상 정책제언 및 입법과제

제1절 기업투자 전략 및 입법과제

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

순환경제로의 성공적인 이행을 위해서는 경제 내에서 생산을 담당하는 기업의 참여가 필수적이다. 자연에서 채굴한 자원을 원료로 투입하여 새로운 제품을 생산하는 데에 맞추어진 현재의 선형경제 체제에서 벗어나 제품설계 단계부터 자원 재활용과 천연자원 투입의 최소화를 추구함으로써 경제 내 물질 순환을 최대한 증진하는 순환경제 체제로 이행하려면 기업의 전반적인 전략 수정이 필요하다. 이러한 기업의 전략 수정은 기업마다 차이가 있으나 수익성 높은 자원의 재추출을 위한 연구개발(R&D), 제조방식의 변화, 판매방식의 변화(제품의 서비스화 등) 등 광범위한 영역을 포함한다. 그리고 이러한 변화는 미래에 대한 상당한 불확실성을 수반한다. 따라서 기업의 참여를 이끌어내기 위해서는 제도의 개선과 정책적 지원을 통해 순환경제에 참여할 유인을 충분히 제공해야 한다.

최근 기업의 사회적 책임(corporate social responsibility, CSR)이 강조되면서 ESG 투자가 크게 증가하는 등 변화가 나타나고 있다. 특히 기후변화에 대한 위기의식이 높아져 주요국이 탄소중립 목표를 발표하고 유럽연합이 탄소국경조정(carbon border adjustment mechanism, CBAM) 제도를 도입하는 등 기후변화를 억제하기 위한 노력을 가시화하였다. 이에 발맞추어 ESG 가운데 환경 분야를 중시하는 투자 전략이 등장하였으며 녹색금융에 대한 관심도 높아졌다.

국내에서 순환경제는 오랫동안 폐기물 재활용의 맥락에서 논의되었으나, 유럽연합 등 주요국은 이미 순환경제를 탄소배출 저감 및 미래 일자리 창출 등과 연결지어 전략적으로 논의하고 있다.³³⁾ 한편, 우리나라에서도 2021년 말에 순환경제 이행계획을 수립하고,³⁴⁾ 2022년에는 윤석열 정부가 순환경제를 120대 국정과제³⁵⁾에 포함하는 등 탄소중립 및 기후변화 대응 전략으로서 순환경제의 중요성에 대한 인식이 높아지고 있다.

33) 예를 들어, 유럽연합이 순환경제 전략의 주요 분야로 설정한 플라스틱 물질의 순환이 활성화된다면 탄소배출 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

34) 환경부 보도자료(2021.12.31.), 「탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립」.

35) 국무조정실 국무총리비서실 보도자료(2022.7.26), 「윤석열정부 120대 국정과제, 속도감 있게 추진한다」.

본 절에서는 이러한 맥락에서 녹색금융의 현황을 간략히 검토하는 한편, 기업의 순환경제 관련 투자를 이끌어내기 위한 전략을 모색한다.

1 녹색금융

가. 개요

녹색금융은 최근 기후변화 대응과 관련하여 주목받고 있다. 국내에서 녹색금융이라는 용어를 본격적으로 사용한 계기는 2009년에 『녹색성장 5개년 계획³⁶⁾』이 발표되면서부터이다(이수환, 2021). 녹색성장 5개년 계획의 추진전략은 3대 전략의 10대 정책방향에 따른 50대 실천과제로 구성되는데, 녹색금융과 관련한 내용은 신성장동력 창출 전략 가운데 사업구조의 고도화 정책(고부가서비스산업 육성)과 녹색경제 기반 조성 정책(녹색금융 인프라 구축) 등에 포함되어 있다. 『녹색성장 5개년 계획』은 이후 2014년, 2019년에 제2차, 제3차 계획으로 이어졌다.³⁷⁾³⁸⁾ 다만, 이와 세 차례에 걸친 녹색성장 5개년 계획에도 녹색금융은 국내에서 최근까지 별다른 주목을 받지 못한 측면이 있다(이수환, 2021). 녹색금융이 다시금 주목을 받는 까닭은 앞서 기술한 바와 같이 기후변화 대응이 전 세계적으로 시급한 현안이기 때문이며, 『2050 탄소중립 추진전략』과 『2021년 녹색금융 추진계획(안)』에 녹색금융과 관련한 논의를 포함한다.³⁹⁾⁴⁰⁾

녹색금융이라는 용어를 널리 사용하지만, 개념이나 범위, 분류체계는 아직 명확하지 않다(이수환, 2021). 『2009년 녹색성장 5개년 계획』에서는 녹색금융에 대해 정의를 내리지 않았으나 녹색기업에 대한 여신, 녹색기업의 주식이나 채권에 대한 투자, 탄소배출권 관련 투자 및 인프라 구축 등을 녹색금융의 범주로 논의하였다. 한편, 2022년 금융위원회의 녹색금융 추진계획에 따라 발간한 『금융권 녹색금융 핸드북』에서는 녹색금융을 “금융회사가 녹색산업 및 녹색성장과 관련된 기업, 자산 등에 투자, 대출 또는 보증 등 금융서비스를 제공하는 일련의 활동”으로 정의하였다.⁴¹⁾ 이수환(2021)은 OECD, UNEP FI(United

36) 녹색성장위원회(2009.7), 『녹색성장 5개년 계획』.

37) 관계부처 합동(2014.6), 『제2차 녹색성장 5개년 계획』.

38) 관계부처 합동(2019.5), 『제3차 녹색성장 5개년 계획』.

39) 관계부처 합동(2020.12.7.), 『2050 탄소중립』 추진전략.

40) 금융위원회·환경부(2021.1.25.), 『2021년 녹색금융 추진계획(안)』.

Nations Environment Programme Finance Initiative), 유럽 집행위원회(European Commission) 등 주요 국제기구와 주요국의 녹색금융 관련 정의를 토대로 녹색금융의 개념요소를 목적, 투자대상, 제외대상의 세 가지로 정리하였다. 목적의 예시로는 환경오염 최소화, 에너지·자원 효율화, 경제성장을 들었고, 투자대상의 예시로는 녹색기술, 활동, 산업을 들었으며, 제외대상의 예시로는 환경훼손 및 파괴, 온실가스 배출 등을 들었다.

순환경제가 경제 내 물질 순환을 극대화하고, 이를 통해 환경오염을 최소화하는 한편 온실가스 배출을 줄이는 점을⁴²⁾ 고려한다면, 순환경제 관련 산업과 기업 역시 녹색금융의 지원 대상에 포함된다는 것을 쉽게 유추할 수 있다. 따라서, 순환경제로의 이행을 위한 전략에서 녹색금융을 적극적으로 고려할 필요가 있을 것이다. 본 절에서는 이러한 맥락에서 녹색금융을 기업의 투자를 이끌어내는 순환경제 이행 전략의 중요한 요소로 판단하였다.

나. 현황

아래에서는 국내 녹색금융의 현황을 간략히 살펴본다. 앞서 기술한 녹색금융의 요소에 기초하여 녹색채권, 녹색대출 등을 녹색금융의 범주로 포함하였다. 아래에서는 먼저 녹색채권을 살펴본 후 다음으로 녹색대출을 살펴보았다.

[표 5-1]은 녹색채권의 규모가 어떻게 변화하였는지를 나타낸다. 한국거래소(KRX) 사회적임투자채권 홈페이지를 기준으로 하였으며, 기간은 2018년 6월부터 2022년 6월까지이다. 이 기간에 녹색채권의 규모는 3천억원에서 18조 6천4백억원까지 증가하였으며, 특히 2021년에 큰 폭으로 증가하였다. 전체 채권 중 녹색채권이 차지하는 비율 역시 꾸준히 증가하였는데, 0.02%에서 0.8%까지 증가하였다.⁴³⁾ 비록 전체 채권에서 녹색채권이 차지하는 비율은 아직 상당히 낮지만, 꾸준히 증가하는 점 및 탄소중립 등으로 환경관련 요소에 관한 관심이 커진 2021년에 규모와 비율이 크게 증가한 점 등에 주목할 필요가 있다. 환경에 대한 중요도가 날로 커지고 기업의 평가와 관련해서도 환경관련 요소의 비중이 커진다는 점을 고려한다면, 녹색채권의 규모와 비중은 앞으로도 증가할 가능성이 크다고 볼 수 있다.

41) 은행연합회·금융투자협회·생명보험협회·손해보험협회·여신금융협회(2022), 『금융권 녹색금융 핸드북』.

42) 순환경제의 주요 분야 가운데 하나는 플라스틱 관련 물질의 재활용(재사용)이며, 플라스틱 관련 물질의 제조는 상당한 수준의 환경오염을 수반한다.

43) 전체 채권 발행잔액은 한국은행 경제통계시스템을 기준으로 하였다.

[표 5-1] 국내 녹색채권 규모

	녹색채권(조원)	채권(전체, 조원)	녹색채권 비율(%)
2018-06	0.3	1718.53	0.02
2018-12	0.6	1721.89	0.03
2019-06	0.9	1790.77	0.05
2019-12	2.07	1824.15	0.11
2020-06	2.07	1988.17	0.1
2020-12	3.03	2049.25	0.15
2021-06	11.35	2175.85	0.52
2021-12	14.81	2231.42	0.66
2022-06	18.64	2320.18	0.8

자료: 1) 녹색채권: KRX 사회책임투자채권(<http://sribond.krx.co.kr/index.jsp>)

2) 채권(전체): 한국은행 경제통계시스템(ecos.bok.or.kr)

[표 5-2]에서는 발행기관별로 2022년 9월 30일 현재 녹색채권의 규모가 어떻게 나타나는지 살펴보았다. 발행기관은 크게 공기업과 민간기업으로 나뉘며, 민간기업은 다시 대기업과 중견기업으로 나뉜다. 민간기업의 분류는 전자공시시스템(<https://dart.fss.or.kr>)에 공시된 바를 기준으로 하였다. 녹색채권을 발행한 민간기업 중 중소기업으로 분류된 기업은 없는 것으로 나타났다.

발행기관의 수는 총 76개 기관 중 대기업이 58개로 약 76.8%를 차지했고, 공기업이 76.8%(58개), 중견기업이 7.9%(6개)를 차지하여 대기업의 비중이 가장 큰 반면, 중견기업의 비중이 가장 낮은 것으로 나타났다. 발행한 채권의 종류를 살펴보면 역시 대기업이 133개로 전체의 66.2%를 차지하였고, 이어서 공기업이 62개로 30.8%, 중견기업이 6개로 3.0%를 차지하였다. 상장 잔액은 대기업이 13조 6천9백억원으로 전체의 71.1%를 차지하였고, 공기업이 5조 1천7백억원으로 26.8%를, 중견기업이 4천억원으로 2.1%를 차지하였다. 발행기관의 수, 채권의 수, 상장 잔액을 기준으로 대기업이 녹색채권 시장에 대한 접근성이 가장 좋은 것으로 나타난 반면, 대기업이 아닌 민간기업의 접근성은 상당히 떨어지는 것으로 나타났다.

이와 같은 양상은 대기업은 환경과 관련한 요소를 별도로 관리할 수 있는 역량을 가진 반면, 중견기업과 중소기업은 그러한 역량을 가지고 있지 못하다는 것을 보여준다(한국은행, 2021).⁴⁴⁾ 다만, 녹색채권에 한정하지 않더라도 중소기업의 채권시장에 대한 접근

성이 매우 낮은 점은 고려할 필요가 있다. 일반회사채를 기준으로 중소기업의 채권 발행액은 2019년 2,250억원, 2020년 1,690억원, 2021년 2,220억원으로 같은 시기 대기업의 채권 발행액 45조 812억원, 41조 8,860억원, 26조 5,010억원의 0.5%에도 미치지 못한다.⁴⁵⁾ 반면, 은행 대출(잔액 기준)은 2021년 기준으로 대기업이 179조 3천억원, 중소기업이 886조 4천억원을 기록하였는데,⁴⁶⁾ 이는 중소기업이 자금의 조달에 있어 채권 시장과 같은 직접금융시장보다는 은행에 의존함을 보여준다. 따라서, 위의 결과가 녹색채권 시장을 통한 자금조달이 대기업을 중심으로 이루어진다는 것을 보여주는 것은, 이러한 현상이 녹색채권 시장에 한정되는 것이 아니라는 것에 유의할 필요가 있다.

[표 5-2] 발행기관별 녹색채권 규모(2022년 9월말)

	공기업	대기업	중견기업	중소기업
발행기관 수	12 [15.8%]	58 [76.3%]	6 [7.9%]	0 [0.0%]
발행채권 수	62 [30.8%]	133 [66.2%]	6 [3.0%]	0 [0.0%]
상장잔액(조원)	5.17 [26.8%]	13.69 [71.1%]	0.4 [2.1%]	0 [0.0%]

주: 1) 대기업, 중견기업은 전자공시시스템(<https://dart.fss.or.kr>)을 기준으로 분류
 자료: KRX 사회책임투자채권(<http://sribond.krx.co.kr/index.jsp>)

[표 5-3]에서는 녹색채권 가이드라인(2020.12)의 녹색프로젝트를 기준으로 녹색채권을 분류하였다. 녹색채권 가이드라인에서는 녹색프로젝트를 (1) 신재생에너지에 관한 사업, (2) 에너지효율에 관한 사업, (3) 오염방지 및 저감에 관한 사업, (4) 환경적으로 지속가능한 생활자원·토지이용 관리에 관한 사업, (5) 토양 및 해양 생물다양성 보전에 관한 사업, (6) 청정 운송에 관한 사업, (7) 지속가능한 수자원 및 하·폐수 관리에 관한 사업, (8) 기후변화 적응 관련 사업, (9) 환경효율 및 순환경제를 고려한 상품, 생산 기술 및 공정에 관한 사업, (10) 친환경 건물에 관한 사업으로 분류하고 있다(환경부 외, 2020).

44) 한국은행(2021)은 민간기업을 대기업과 중소기업으로 나누어서 녹색금융에 대한 접근성을 분석하였는데, 동 분석에 따르면 민간기업 중에서는 대기업만이 녹색채권을 발행하였다. 본 절의 분석에서도 민간기업을 대기업과 중소기업으로 구분하면 결과는 같다.

45) 금융감독원 보도자료(2022.1.25.), 「'21년 기업의 직접금융 조달실적」.

46) 출처: 한국은행, 금융시장동향 e-나라지표(www.index.go.kr)에서 검색하였음.

채권의 분류는 KRX 사회책임투자채권(<http://sribond.krx.co.kr/index.jsp>) 홈페이지의 보고/공시자료를 기준으로 하였고, 녹색채권 자료는 2022년 9월말 현재 자료를 사용하였다. 보고/공시자료에 하나 이상의 녹색프로젝트가 표시된 경우에는 채권을 통해 조달한 금액이 각 사용처(녹색프로젝트 기준)에 배분된 비율에 기준으로 금액(상장잔액)을 나누었다.⁴⁷⁾

총 10개의 녹색프로젝트 가운데 상장 잔액과 종목을 기준으로 높은 비중을 차지하는 프로젝트는 신재생에너지, 에너지효율, 오염 방지와 저감, 청정 운송, 친환경 건물에 관한 사업 등이다. 이 가운데 청정 운송에 관한 사업이 상장 잔액과 종목 수 모두에서 각각 34.21%와 28.46%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 해당 프로젝트에는 친환경자동차 관련 사업, 전기나 수소 등을 이용한 대중교통 사업, 대중교통 인프라 사업 등을 포함한다. 신재생에너지와 에너지 효율에 관한 사업 역시 높은 비중을 차지하는데, 신재생에너지에 관한 사업은 태양광, 풍력, 지열, 수력, 바이오에너지 등을 통한 전력생산 및 이들과 관련된 제품이 포함되며, 에너지 효율에 관한 사업에는 고효율 가스 연소를 통한 전력생산, 저탄소 전기 송배전, 열병합 발전 등이 포함된다. 상장 잔액 기준으로 전체의 13%를 차지하는 오염방지 및 저감에 관한 사업은 이산화탄소의 포집, 대기오염 방지, 폐기물 처리 등을 포함한다.

[표 5-3] 녹색프로젝트별 채권 규모(2022년 9월말)

녹색프로젝트	잔액(억원)	잔액(%)	종목(수)	종목(%)
신재생에너지	376.66	20.9	62	25.2
에너지 효율	216.87	12.04	48	19.51
오염 방지 및 저감	234.28	13	31	12.6
토양 및 해양 생물 다양성 보전	27.14	1.51	4	1.63
청정 운송	616.41	34.21	70	28.46
지속가능한 수자원 및 하폐수 관리	20.56	1.14	8	3.25
기후변화 적응	24.9	1.38	4	1.63
환경 효율 및 순환경제를 고려한 상품, 생산 기술 및 공정	96	5.33	5	2.03
친환경 건물	189.16	10.5	14	5.69

주: 1) 각 채권의 보고/공시 자료를 바탕으로 분류
 2) 하나 이상의 녹색프로젝트에 해당하는 채권은 금액 비율에 따라 상장액을 배분하였음
 3) 일부 정보가 충분하지 않은 채권은 제외되었음

자료: KRX 사회책임투자채권(<http://sribond.krx.co.kr/index.jsp>)

47) 예를 들어, 채권 A의 상장잔액이 100억원이고, 보고/공시 자료에 동 금액이 신재생에너지에 관한 사업에 50억원, 에너지 효율에 관한 사업에 50억원이 배분되는 것으로 명시되어 있으면 각각의 녹색프로젝트에 50억원을 배분하여 표로 정리하였다.

한편, [표 5-3]에서 순환경제와 가장 큰 관련이 있는 녹색프로젝트는 “(9) 환경 효율 및 순환경제를 고려한 상품, 생산 기술 및 공정에 관한 사업”으로, 상장 잔액 기준으로 전체의 5.33%, 종목 수 기준으로 전체의 2.03%를 차지한다. 다른 프로젝트에 비해 비중은 다소 낮은 편인데, 이는 국내에서 아직 순환경제와 관련한 투자와 이에 따른 자금 조달이 다른 분야에 비해 활발하게 일어나고 있지 않다는 것을 보여준다.

다만, 녹색프로젝트의 범위가 아닌 환경목표를 기준으로 살펴보면 순환경제와 관련된 채권의 규모가 더 크다고 볼 수 있는 여지가 있다. 녹색채권 가이드라인(환경부 외, 2020)에서 환경목표를 (1) 기후변화 완화, (2) 기후변화 적응, (3) 생물다양성, (4) 천연 자원 보전, (5) 오염방지 및 통제, (6) 순환자원으로의 전환으로 분류하고, 이 가운데 순환경제와 관련이 가장 높은 환경목표는 (6) 순환자원으로의 전환이다. 각각의 녹색프로젝트의 환경목표 부합도는 1차적(주요), 2차적, 3차적 단계로 구분되는데, (6) 순환자원으로의 전환 항목은 (1) 신재생에너지에 관한 사업과 2차적 관련성, (2) 에너지효율에 관한 사업과 3차적 관련성, (6) 청정 운송에 관한 사업과 3차적 관련성을 가지며, (9) 환경효율 및 순환경제를 고려한 상품, 생산 기술 및 공정에 관한 사업과는 1차적(주요) 관련성을 가진다. (1) 신재생에너지, (2) 에너지 효율, (6) 청정 운송에 관한 사업이 녹색채권에서 높은 비중을 차지한다는 것을 고려한다면, 비록 순환경제와 직접적으로 관련된 녹색채권의 비중은 아직 낮지만, 간접적으로 연결된 녹색채권의 비중은 상당히 크다고 볼 여지가 있다.

[표 5-4] 녹색대출 현황

연도	녹색대출(조원)	녹색대출 비중(%)	증감(조원)
2018년	2.0	-	-
2019년	16.7	-	14.7
2020년	22.2	4.49	5.5
2021년	25.6	4.76	3.4

주: 우리은행, 하나은행, 국민은행, 신한은행 잔액 기준.

자료: 1) 2018~2019년: 한국은행(2021).

2) 2020~2021년: 각 은행 지속가능보고서 또는 ESG 보고서를 바탕으로 저자 작성.

[표 5-4]는 녹색대출의 현황을 나타낸다. 2018~2019년 자료는 한국은행(2021)의 자료를 사용하였고, 2020~2021년 자료는 우리은행, 하나은행, 국민은행, 신한은행의 지속가능보고서 또는 ESG 보고서를 바탕으로 작성하였다.⁴⁸⁾ 표에 제시된 자료를 살펴보면, 녹색대출은 2018년 2조원에서 2021년 25조 6천억원으로 크게 증가하였으며, 특히 2019년에 큰 폭으로 증가한 것을 확인할 수 있다. 다만, 녹색대출 관련 자료가 매우 제한되어 있기 때문에 발행기관이나 녹색프로젝트에 따른 구분이 불가능하다는 한계가 있다.

2 기업의 참여를 위한 전략

순환경제에 대한 기업의 투자를 이끌어내기 위한 전략을 고안하기 위해서는 순환경제 관련 사업의 수익성과 정부의 역할에 대해 먼저 고민할 필요가 있다. 기후변화에 대한 위기의식이 높아져 우리나라를 포함한 주요국이 탄소중립 목표를 발표하고, 주요 천연자원의 고갈에 대한 위기의식이 높아지는 상황에서 순환경제가 중요한 정책 목표가 되어야 함에는 이견의 여지가 없다. 하지만, 순환경제와 관련된 사업의 수익성이 낮거나 개선되지 않는다면, 정부의 지원, 특히 녹색금융을 통한 정부의 지원만으로는 순환경제로의 이행이 이루어질 수 없다. 따라서 순환경제 관련 산업의 수익성을 높이는 방안과 정부의 지원 범위 및 방식에 대해 고민해야 한다.

순환경제 관련 산업의 수익성은 시장에서 자연스럽게 조성되는 부분이 있고, 정부가 인위적으로 뒷받침할 수 있는 부분이 있다. 시장 측면을 먼저 살펴보자면, 주요 자원의 희소성 문제, 투자자들의 환경에 대한 고려 등이 영향을 미친다. 예를 들어, 천연자원으로부터 특정 원료를 추출하는 비용보다 폐기물로부터 특정 원료를 추출하는 비용이 저렴하다면 더 많은 기업이 자연스럽게 재추출된 원료를 사용하는 방향으로 나아가게 될 것이다. 특히, 최근에 코로나19 사태, 지정학적 요인이나 우발적인 요인으로 인해 무역이 영향을 받으면서 자원 안보의 중요성이 높아졌는데, 해외 의존도가 높은 원료는 순환경제의 적합도가 더욱 높아질 수 있다.

48) 2020년 자료는 한국은행(2021)과 거의 비슷하지만 일치하지 않는다. 녹색대출과 관련한 자료는 형식이 통일되어 있지 않아 금융기관 및 시기별로 다른 형식 및 항목이 사용되고 있어 정확한 집계에는 어려움이 있다. 한국사회책임투자포럼과 이공우 더불어민주당 의원이 발행한 『2020 한국 ESG금융 백서: 지속가능금융, 교차로에 서다』에 제시된 자료 역시 한국은행(2021) 및 본 보고서에 제시된 자료와 차이가 있다.

다만, 시장의 수익성은 기술수준에 따라 달라지고, 정부의 정책에도 영향을 받는다. 예를 들어, 폐기물로부터 특정 원료를 추출하는 기술이 향후 크게 진전을 이룬다면, 현시점에서는 천연자원에 의존하더라도 미래에는 폐기물로부터 원료를 추출하여 재사용하는 방향으로 나아갈 수 있다. 이를 위해서는 경우에 따라 상당한 규모의 연구개발(R&D)이 필요한데, 해당 기술의 수익성이 확실하게 보장된다면 여러 기업이 자발적으로 기술개발에 대한 투자를 시행하겠지만, 수익성과 관련된 불확실성이 크다면 이러한 분야에 대한 민간의 투자가 지체될 가능성이 크다. 만일 이러한 경우라면 정부의 R&D 지원 정책이 민간의 투자를 유도함으로써 순환경제로의 이행을 적극적으로 유도할 수 있다.

정부가 폐기물 발생에 대해 기업이 더 많은 비용을 부담하도록 함으로써 인위적으로 순환경제 관련 산업의 수익성을 높이는 방안도 존재한다. 이 경우, 기업은 자원의 순환을 통해 제품을 생산함으로써 비용 부담을 덜 수 있으며, 이를 위해 관련 분야에 더 많은 자원을 투자할 유인을 갖게 된다. 순환경제 정책에 해당하지는 않지만 탄소 배출에 대해 기업이 비용을 부담하게 하는 정책이 이러한 범주에 포함된다고 볼 수 있다. 이러한 정책은 기업이 환경에 미치는 외부효과(externality)를 교정한다는 점에서 정당성을 갖지만, 다른 한편으로는 기업의 경쟁력을 악화시키는 측면이 존재하고, 또한 기업이 어느 수준까지 환경비용을 부담해야 하는지에 대한 사회적 합의가 필요하다. 다만, 유럽연합 등을 중심으로 환경에 대한 규제가 강해지고 있고, 이러한 정책이 우리나라의 기업에도 영향을 미친다는 점을 고려한다면 향후 이러한 정책의 도입이 필요해질 가능성이 크다.

한편, 앞서 살펴본 바와 같이 중소기업(중견기업 포함)의 녹색금융 접근성은 대기업보다 매우 낮다. 특히 폐기물 관련 산업에서 중소기업의 비중이 매우 크다는 점을 고려한다면 순환경제와 관련하여 중소기업에 대한 정부의 금융지원이 필요하다. 이에 대한 법적 근거는 저탄소 녹색성장 기본법(녹색성장법)에서 찾을 수 있는데, 동 법안의 제31조 1항에는 “국가 또는 지방자치단체는 녹색기술·녹색산업에 대하여 보조금의 지급 등 필요한 지원을 할 수 있다.”고 명시하였으며, 제31조 2항에는 “「신용보증기금법」에 따라 설립된 신용보증기금 및 「기술신용보증기금법」에 따라 설립된 기술신용보증기금은 녹색기술·녹색산업에 우선적으로 신용보증을 하거나 보증조건 등을 우대할 수 있다.”고 명시되어 있다. 또한, 「신용보증기금법」은 “담보력이 미약한 중소기업과 대통령령으로 정하는 목적에 부합하는 자금에 대하여 우선적으로 신용보증을 하여야 한다.”고 명시하

였으며, 「기술신용보증기금법」 역시 “담보능력이 미약한 기업의 채무를 보증하게 하여 기업에 대한 자금 융통을 원활하게” 하는 것을 기금의 설립 목적으로 하였다. 채권시장에 대한 중소기업의 접근성이 매우 낮다는 점, 중소기업이 외부자금 조달을 은행 대출에 주로 의존한다는 점, 대기업에 비해 담보 능력이 낮다는 점 등을 고려한다면, 관련 법제도를 정비하고, 특히 순환경제와 관련한 사항을 명시적으로 지원 대상에 포함함으로써 관련 기업에 대한 지원을 강화할 필요가 있다.

제2절

주요 전환 산업 대상 정책제언 및 입법과제

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

본 연구의 주요 분석결과를 토대로 전략적 산업으로 설정된 주요 산업(OIL, CHE, NFM, ECT, ELM, AUT)에 초점을 맞춘 주요 정책 및 입법과제를 아래와 같이 제안하고자 한다.

1 코크스 및 석유정제품 제조업

코크스 및 석유정제품 산업은 환경오염 및 기후위기에서 촉발된 녹색전환(Green Transformation)으로 인해 산업 수요 및 생산구조와 관련하여 주목받는 대표적인 산업이다. 전 세계적으로 탄소중립에 대한 관심 증대와 함께 관련한 정책을 강화하고 있으나, 코로나19 대유행 이후 경제 회복과 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 에너지 수급 위기 등으로 인해 석탄·석유 등 화석연료에 대한 전 세계적인 수요는 지속적으로 확대될 전망이다(IEA, 2022a; IEA, 2022b). 이는 2030 NDC 등 단·중기적인 기후변화 대응 목표를 달성하기 위해서는 코크스 및 석유정제품에 대한 수요 감축보다는 해당 산업의 산업구조 재편을 통해 탄소배출량을 감축하는 방향의 정책 기조가 필요함을 보여준다. 즉, 코크스 및 석유정제품 제조업에서 생산구조의 혁신이 순환경제 달성을 위한 선제 조건이며, 민간 부문의 연구개발 투자 등 혁신 활동에 대한 지원이 정책적 노력이 필요한 부분임을 의미한다.

코크스 및 석유정제품 제조업에서는 대부분의 탄소배출이 직접배출에 해당하며, 이들 제품의 생산과정에서 일정 수준 이상의 탄소배출은 불가피한 것이라 볼 수 있다. 이에 따라 순환경제와 관련하여 생산구조의 혁신의 방향성은 배출된 이산화탄소의 재활용 가능성에 초점을 맞출 필요가 있다. 이산화탄소 활용(carbon capture utilization; CCU) 기술은 대표적인 탄소순환 방법으로써, 이산화탄소를 탄소 기반의 원료 또는 제품으로 변환·전환하는 기술이다(여준석·김태영, 2022). 이 기술은 배출되는 이산화탄소를

재활용하여 새로운 제품을 만드는 것으로, 이산화탄소를 폐기물로 간주하여 관리하는 이산화탄소 저장(carbon capture storage, CCS) 기술과 달리 다양한 탄소배출 산업을 후방산업으로 하여 새로운 경제적 가치를 창출하는 점에서 주목받고 있다.

이산화탄소 활용 기술은 현재 미국과 유럽연합이 선도하며, 우리나라의 기술 수준은 선도국과 약 3~4년 가량의 기술격차가 나타나는 것으로 파악된다(녹색기술센터, 2020; 한국에너지기술연구원·한국에너지기술평가원, 2020). 탄소중립과 연계하여 각국은 기술혁신을 위한 다양한 정책을 수립하고 있으며, 우리나라 역시 탄소중립 관련 주요 계획에서 해당 기술을 탄소중립 달성을 위한 주요 기술로 인식하고 있다. 특히 독일에서는 이산화탄소 활용기술의 연구 개발 방향성을 순환경제 사회로의 전환 가속화로 설정하고 산업 부문의 저탄소화를 위한 전략을 설정하였다(한국에너지기술연구원, 2021).

우리나라는 CCU 기술혁신 로드맵(2021.6.) 등 세부적인 R&D 정책을 수립하였으며, 2016~2020년 연평균 20% 이상의 관련 정부 R&D 투자액 상승 폭을 보이는 등 기술개발을 위한 정책적 노력이 이어지고 있다. 하지만 아직 이산화탄소 활용기술을 사용한 원료 또는 제품의 상용화가 민간 부문에서 원활히 이루어지지 않은 점을 고려할 때, R&D 지원 외의 다양한 정책 수단을 활용하여 민간 부문의 기술혁신 활동을 활성화할 필요가 있다. 특히, 앞서 언급하였듯 해당 기술은 발전 부문 및 석유화학·철강 등 다양한 탄소배출 산업을 후방산업으로 삼는 만큼, 이러한 산업군에서 해당 기술을 활용한 제품 및 원료를 활용하도록 하는 실증 중심의 정책 지원이 필요하다.

이산화탄소 저장 기술과 달리 이산화탄소 활용 기술은 기술 선도국가인 미국 및 유럽에서도 관련한 법령의 체계가 아직 정립되지 않았다⁴⁹⁾. 이는 우리나라가 선제적인 입법을 통해 이산화탄소 활용 기술에서 빠르게 기술격차를 좁히고 글로벌 시장을 선도하는 비즈니스 모델을 창출할 수 있음을 의미한다. 구체적으로 살펴보면, 현행 법령 상 이산화탄소 및 이산화탄소를 활용하여 만들어진 물질 및 제품은 폐기물로 분류하기 때문에, 산업 부문에서 해당 물질 및 제품을 생산활동에 활용하기 어려운 실정이다. 이는 폐기물의 경우 허가받은 재활용 업자가 아니면 그 활용에 제약이 있기 때문이다. 이러한 부분이 법령으로 정비되면 후방산업에서 보다 자유롭게 이산화탄소 활용 부산물을 활용할 수 있다. 코

49) 이산화탄소 저장 기술은 이산화탄소의 효과적인 배출 달성의 관점에서 EU, 독일, 영국, 노르웨이 등에서 법령을 제정하였으며, 탄소배출권 거래제와 연계하여 이산화탄소의 이동에 대한 규정을 마련하고 있다.(성봉근·이순자, 2020).

크스 및 석유정제품 제조업의 생산 공정에서의 저탄소 전환과 함께 후방산업에서도 환경과 관련한 글로벌 경쟁력을 갖춘 생산과정을 보유할 수 있는 등의 효과를 예상한다.

코크스 및 석유정제품 제조업에서는 탄소배출이 불가피하지만, 우리나라의 주력 제조업에서 중간재로 사용하는 비중이 높아 향후 우리나라의 경제에 주요한 약점이 될 수 있는 산업이다. 그러나 이산화탄소 저장기술과 같은 기술혁신을 통해 해당 산업의 산업구조를 전환하면 탄소중립뿐 아니라 순환경제의 달성 관점에서 새로운 가치 창출 및 산업 전환의 원동력이 될 수 있을 것으로 예상한다.

2 화학물질 및 화학제품 제조업

플라스틱, 비료, 화장품, 화학섬유 등을 포괄하는 화학물질 및 화학제품 제조업은 순환경제로의 전환과 관련하여 대표적으로 주목받는 산업이다. 화학산업은 2020년 기준 우리나라 전체 온실가스 배출량의 20.1%를 배출하고 있으며, 2016년 이후 지속적으로 배출량이 늘어나고 있다(한국에너지공단, 2021). 특히, 폐플라스틱은 글로벌 환경오염의 주범으로 손꼽히는 폐기물일 뿐 아니라, 플라스틱의 생산과정에서 대부분의 공정이 탄소를 배출하는 점을 고려할 때, 플라스틱 생산 및 활용의 전환은 순환경제의 달성에 있어 대표적인 과제라 할 수 있다(삼일PwC경영연구원, 2022). 이에 본 보고서에서는 플라스틱을 중심으로 순환경제 달성을 위한 주요 기술적 과제 및 정책·입법 어젠다를 제시하고자 한다.

플라스틱에서 순환경제 달성을 위한 대표적인 과제는 원료의 변화라 할 수 있다. 현재 활용되는 플라스틱의 대부분은 석유계 플라스틱이다. 석유계 플라스틱은 석유를 활용하기 때문에 생산과정에서 지속적으로 탄소를 배출할 뿐 아니라, 플라스틱의 폐기 과정에서 소각 및 매립, 해양 방출 등으로 인한 환경오염 문제가 크며, 이에 대한 친환경적 대안으로서 바이오 플라스틱이 부상하였다(조지혜 외, 2020b). 바이오 플라스틱은 바이오 플라스틱과 생분해성 플라스틱을 포괄하는 개념으로, 바이오 플라스틱은 일정 수준 이상의 바이오매스를 포함하여 식물성 원료를 활용하여 만들어진 플라스틱을 의미하며, 생분해성 플라스틱은 폐기 시 미생물과 작용을 통해 물과 이산화탄소로 분해되는 플라스틱을 뜻한다(조지혜 외, 2020b; 한국과학기술기획평가원, 2019). 『한국형

『(K)-순환경제 이행계획(2021.12)』에서는 현재의 석유계 플라스틱을 석유계 혼합 바이오 플라스틱으로 전환하여, 2030년까지 생활용 플라스틱의 20%, 산업용 플라스틱의 15%를 바이오 플라스틱(석유계 혼합 포함)으로 대체하고자 하는 목표를 세운 바 있다(삼일PwC경영연구원, 2022). 석유계가 혼합되지 않은 순수 바이오 플라스틱은 현재 연구 개발을 진행 중이며, 기술 및 시장성에서 기존 플라스틱과 경쟁이 가능한 수준을 목표로 전과정 R&D 지원이 이루어지고 있다.

바이오 플라스틱과 생분해성 플라스틱 모두 과도기적 과정에서는 자연적인 분해가 어렵거나(바이오매스 플라스틱), 석유계를 활용하여 생산하는(생분해성 플라스틱) 제품 역시 연구개발 및 활용을 예상하나, 장기적으로 플라스틱의 생산 과정, 폐플라스틱의 재활용 등 전과정의 관점에서 순환경제를 달성하려면 분해가 용이한 순수 바이오 플라스틱을 목표로 하여 정책 및 입법 아젠다를 설정할 필요가 있다. 이 중 바이오 플라스틱은 원료의 수급 가능성이 핵심적인 고려사항이다. 바이오매스의 활용은 식량 및 가축 사료의 공급 문제와 연계하기 때문에 이들 부분에서 공급 불안정을 초래하지 않는 수준으로 플라스틱 생산을 위한 바이오매스의 공급을 확보하는 것이 중요하다. 식량 및 가축사료는 정책 및 입법에 따라 공급을 통제하므로, 연구개발의 수준과 연계하여 바이오 플라스틱이 적절히 생산되기 위해 유연한 정책변화 및 법령의 개정이 필요하다. 구체적으로 보면, 바이오 플라스틱은 곡물 외에도 목재펄프, 볏짚 등 셀룰로스로도 생산이 가능한 만큼 이들 원료를 바이오매스의 범위에 편입시켜 바이오 플라스틱의 안정적인 생산을 가능하게 만드는 방안 역시 고려해야 한다(조지혜 외, 2020b).

생분해성 플라스틱의 경우 현재는 실험실 단계에서 생분해 가능성 및 분해 정도를 평가하고 있는데, 이에 대한 실제적 평가를 위한 실증 및 표준·인증과 관련한 법제를 마련할 필요가 있다. 특히 생분해성의 평가는 플라스틱 제품의 용도 및 폐플라스틱의 생분해 장소(토양, 해상 등)에 따라 상이하므로, 이러한 부분을 고려한 생분해성 평가 제도를 마련하면 적절한 연구개발의 방향성이 확보될 것으로 기대한다(조지혜 외, 2020b).

한편 중·장기적으로 플라스틱의 원료 혁신을 통한 순환경제 달성 목표가 주요한 정책 및 입법 고려 요소라면, 단기적으로는 현재 사용되는 플라스틱의 물리적·화학적 재활용 역시 정책과 입법 과정에서 다루어야 할 중요한 이슈 중 하나이다. 이 중 물리적 재활

용은 탄소배출이 낮고 비용이 저렴하다는 장점이 있으나, 주로 식품용 용기로 활용되는 PET, HDPE를 제외한 혼합 플라스틱의 재활용 공정이 어렵고, 재활용을 거듭할수록 품질이 저하한다는 한계가 있다(삼일PwC경영연구원, 2022). 이에 플라스틱을 성분 분해하여 재활용하는 화학적 재활용이 각광받고 있으나, 아직 국내에서 관련한 연구개발 및 재활용 사례는 물리적 재활용에 비해 저조한 편이다(삼일PwC경영연구원, 2022; 조영주·조봉규, 2020). 그동안 우리나라는 플라스틱의 화학적 재활용에 관한 연구개발이 주로 중소기업을 중심으로 이루어져 왔으나, 일본, EU 등의 해외에서는 주요한 순환경제 달성 요소로 인식하여 이에 대한 기술개발 필요성 및 실제 환경적 효과에 대한 검증 등을 시도한 바 있다(조지혜 외, 2020b). 현재 우리나라에서 플라스틱의 화학적 재활용을 통한 상품은 주로 열분해를 통해 발생한 열분해유가 중심이나, 「석유사업법」, 「화학물질 등록평가법」 등에 관련한 규정이 없어 그 위상이 모호한 상황이다. 특히, 「석유사업법」에는 석유 및 석유화학 제품에 대한 규정이 마련되어 있는데, 열분해유는 현재 해당 규정을 적용받지 않아 석유 중간제품 또는 석유 대체연료로 인정받지 못하고 있다(조지혜 외, 2022). 플라스틱의 화학적 재활용을 통해 다시 플라스틱을 만드는 원료에 대한 관심이 높은 일본 및 EU와 달리, 우리나라는 열분해유에 대한 시장 수요가 존재하는 만큼, 관련한 법령 체계의 정비를 통해 글로벌 시장의 플라스틱 재활용 측면에서 차별적인 기술 및 시장을 확보할 필요가 있다.

3 1차금속 제조업

제철 및 철강을 포함하는 1차금속 제조업은 2020년 기준 우리나라 산업의 전체 온실가스 배출량 중 38.5%를 배출할 정도로 탄소배출이 많은 산업이다(한국에너지공단, 2021). 철강 부문은 1970년대 이후 꾸준히 주력산업으로 활약함에 따라 지속적으로 생산 기술개발에 대한 연구개발이 이루어져 에너지 효율이 세계 최고라는 특징도 있다(조지혜 외, 2020b). 한편으로 이는 탄소배출 저감 가능량이 매우 적음을 뜻하기 때문에, 1차금속 제조업에서 순환경제 달성을 위해서는 현재의 재사용·재활용 공급망을 유지 및 개선하여 재활용률을 지속적으로 높이는 것이 중요하다. Material Economics(2018)는 순환경제 시나리오를 정리하며 철강 부문에서 제품의 회수 촉진, 합금·강철·구리 등의 분리 및 이

를 위한 제품 설계 등 재활용의 활성화를 위한 전략 등을 지적한 바 있다. 이는 국가 필수 전략산업의 특성과 함께 공정효율화 수준이 높은 산업적 특성을 반영하여 생산량 감축이나 기술개발보다는 재활용 및 재사용에 초점을 맞춘 전략이라 할 수 있다.

철강산업의 대표적인 부산물인 철강슬래그는 이미 매우 높은 수준의 재활용률을 지닌다. 이미 관련 산업계에서 철강슬래그를 포함한 철강 부산물은 제품 품목으로 인식되며, 이에 따라 국내 법률에서도 철강 부산물의 친환경성을 인정하여 부산물의 범위와 재활용 대상을 지정하는 등 제도적인 뒷받침을 이어나가고 있다(박성호, 2021). 그럼에도 불구하고 해당 연구에서는 철강슬래그의 재활용에 대한 문제점으로, 철강슬래그를 주로 ‘성토 및 복토용’으로만 활용하는 점을 지적하고 있다. 이는 철강 부산물이 이후 철강산업 및 타 산업의 생산활동에 사용되는 비중이 적음을 뜻하므로, 순환경제의 달성 관점에서 바람직한 재활용의 방향성이라고는 볼 수 없다. 박성호(2021) 및 조지혜 외(2021)에서는 철강 부산물 재활용의 용도 확장이 미흡한 부분에 대해 인증·표준 등의 제도적 문제 및 법령의 한계를 지적하였다. 구체적으로 철강슬래그 등의 부산물을 활용해서 건축자재(아스콘, 블록 등)의 제작이 가능함에도 불구하고, 관련된 국가규격이 부재하고 폐기물관리법에 묶여 강화된 환경규제를 적용받아 산업 현장에서 활용되지 못하고 있음을 한계점으로 명시하였다. 철강 부산물을 건축자재로 활용하면 친환경 건축의 활성화를 유도할 뿐 아니라, 기존과 다른 가치사슬 속에서 철강 산업이 건설업과 연계하여 안정적인 재활용 부산물의 공급망을 확보할 수 있다는 의의가 있다. 이는 철강을 중심으로 한 1차금속 제조업에서 순환경제 달성을 위한 주요 전략 중 하나인 자원 재활용 공급망의 안정성을 확보하려면 입법을 통해 철강 부산물의 적절한 지위를 확보할 필요가 있음을 의미한다.

한편, 철강 부산물 등 1차금속 제조업의 후방이 아닌 전방에 초점을 맞추면 또 다른 순환경제 전략을 찾아볼 수 있다. 우리나라를 포함 대부분의 제조업 생산품에는 철강을 비롯한 1차금속을 포함하기 때문에, 이들 제품의 재활용을 촉진해 원료화한다면 재활용 제품이 다시 1차금속 제조업의 생산 공정으로 유입되는 선순환 구조의 완성이 가능하다. 실제 지난 2021년 9월 삼성전자와 현대제철은 반도체 생산 공정의 부산물인 반도체 폐수 슬러지를 제철 공정의 부원료로 활용할 수 있는 기술을 공동으로 개발한 바 있다⁵⁰). 현대제철은 반도체 폐수 슬러지를 재활용한 물질을 사용함으로써 기존 반도체 공

정에서 수입에 의존하던 형식의 투입량을 낮추는 등 부산물 재활용을 통한 경제적 효과를 지적하기도 하였다⁵¹⁾. 이러한 재활용은 앞서 지적한 바와 같이 「폐기물관리법」의 규정을 적용받기 때문에, 다양한 부산물에 대한 기술적·산업적 검토를 통해 해당 법령에서 부산물을 제철·철강 공정에 활용할 때 장애로 작용할 수 있는 부분을 우선적으로 개정하는 것이 필요하다.

반도체 폐기물을 제철공정에서 활용하는 기술은 반도체 산업에서 폐기물의 새로운 활용 가능성을 제시한 대표적인 사례라 할 수 있다. 특히, 반도체 폐수 슬러지의 경우 반도체 생산 공정에서 반드시 발생하는 부산물이며, 그동안 그 쓰임새가 없어 버려지는 폐기물이었으므로, 이를 제철 공정에 사용하게 된 것은 큰 기술적·산업적 진전이라 볼 수 있다. 이렇듯 폐기물로부터 새로운 자원을 추출하여 타 산업의 생산 공정에 활용하도록 하는 선순환 구조의 구축은 안정적인 원료 공급망 확보의 측면에서도 의미가 깊다.

4 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업

반도체 및 디스플레이를 포함하는 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업은 최근 우리나라의 성장을 이끄는 대표적인 산업군으로, 그 생산활동은 우리나라 경제 상황과 직결된다. 우리나라는 전자제품의 폐기 후 재활용에 대해 꾸준한 관심을 보여왔으며, 환경성보장제에 따라 재활용 목표를 지정하여 운영하는 산업 중 하나이다(이종수 외, 2021). 구체적으로 「전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률」에서는 전자제품을 재활용이 쉽도록 제조하게 하고, 폐기물의 적절한 재활용을 유도하기 위한 다양한 체계를 마련하고 있다. 이렇듯 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업의 꾸준한 성장과 함께 폐기물 재활용 등에 대한 산업계 및 정책·입법 부문의 노력 역시 지속되어 왔다. 해당 산업은 앞으로도 우리나라의 성장동력으로서 꾸준히 산업규모를 확대할 것으로 예상하는 만큼 순환경제 달성과 관련하여 앞으로의 정책 및 입법 어젠다는 지금까지의 재활용 행태를 점검하고, 추가적인 폐기물의 재활용이 가능하도록 만드는 재활용 체계의 안정 및 개선

50) 한경닷컴(2021. 9. 27), 「삼성전자 반도체 폐수, 현대제철 철강 만들 때 쓰는 광물로 '재탄생」, <https://www.hankyung.com/economy/article/202109277541g> (접속일: 2023.01.13..).

51) 산업종합저널(2021. 9. 27), 「폐기물을 활용한 대체물질, 자원순환 실현과 수입의존도 낮춰」, <http://industryjournal.co.kr/news/224258> (접속일: 2023.01.13..).

에 초점을 맞출 필요가 있다.

한편, 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업은 디지털 전환(digital transformation)의 확산과 함께 앞으로도 꾸준히 그 제품의 수요가 증가할 것으로 예상하는 산업군이다. 따라서 순환경제 관점에서 늘어나는 수요에 대응하기 위한 제품 및 상품의 재제조 역시 중요한 이슈이다. 재제조는 사용한 제품을 회수하여 공정 과정을 통해 원제품의 성능을 유지하여 새로운 제품을 만들어내는 것을 의미한다(이종영, 2019). 재제조는 단순히 중고제품을 분해 후 재조립하는 것이 아니라, 그 과정에서 검사, 세척, 보수 및 보정작업 등의 기술적 요소를 고려하여 원제품의 성능을 발휘하도록 만드는 의미가 있다. 그동안 재제조는 주로 자동차 부품을 중심으로 이루어져 왔으나, 최근 순환경제에 대한 관심 증대와 함께 전기 및 전자제품에서도 그 활용 사례가 늘어나고 있다(이종영, 2019). 우리나라는 그동안 상품 재제조 부문이 영세한 업체를 중심으로 이루어져 기술개발 및 재제조 부문의 산업적 확대가 어려운 상황이었으나(산업통상자원부, 2021.6.4.), 2021년 산업통상자원부의 「재제조 기반 제품서비스업 활성화 방안」 발표, 2022년 「재제조 대상 품목 고시 제도 폐지 및 재제조 제품 표시 의무화」 등으로 재제조 시장을 확대하려는 정책적 움직임을 보이고 있다.

상품의 재제조와 함께 전 세계적으로 전자제품 부문의 순환경제 달성을 위한 움직임 중 대표적인 것이 에코디자인(Eco-design)이다. 에코디자인은 제품의 설계 단계부터 환경 및 에너지효율과 관련한 요구사항을 준수하도록 하는 규정으로, 2009년 유럽연합의 규정 신설로부터 출발하였다(신규섭, 2022). 최근 유럽연합은 새로운 에코디자인 규정을 발표하며, 기존에 생산과정에서 에너지를 고사용하는 일부 제품에만 한정하였던 에코디자인 규정 적용품목의 범위를 장기적으로 모든 물리적 제품으로 확대하려는 계획을 선언한 바 있다(조지혜 외, 2020b; 신규섭, 2022). 이러한 규정의 변화는 순환경제의 달성 관점뿐 아니라 수출 의존도가 높은 우리나라의 전자제품 산업의 성장 전략과도 연결되어 있으므로, 우리나라 역시 에코디자인에 대한 보다 세부적이면서도 글로벌 표준에 맞는 규정의 정비가 필요할 것으로 보인다. 기존 우리나라의 에코디자인 규정은 에너지효율성 강화 및 자원 사용의 최소화 등에 초점을 맞추었으나, 이를 자원의 재사용, 수명연장 및 수리 강화, 재제조 가능성 증진 등 순환경제의 요소를 보다 폭넓게 포함하는 방향으로 개선해야 한다(조지혜 외, 2020b). 이러한 부분은 단순히 에코디자인

규정의 범위를 넘어 「폐기물관리법」을 포함한 법령과 연계할 필요가 있으므로, 순환경제 입법 어젠다에서 에코디자인에 대한 개념을 포함하여 단순한 자원 및 에너지 사용량 감축을 넘어서 글로벌 시장에서 환경 경쟁력을 갖춘 전자제품의 생산을 위한 전략적 측면의 입법 고려가 필요할 것으로 보인다.

5 전기장비 제조업

전기장비 제조업의 경우 우리 생활에서 필수적으로 활용하는 가전제품뿐 아니라, 최근 우리나라의 새로운 성장동력으로 평가받는 이차전지 등을 포함하고 있어 향후 우리나라의 주력 산업으로서 정책 및 입법 고려가 필요한 산업군이다. 특히 이차전지는 전기자동차 및 자율주행 자동차 등 차세대 자동차에 대한 꾸준한 기술혁신 및 소비 확대와 함께 중·장기적으로 큰 시장 확대를 예상하지만 리튬, 니켈 등 다양한 금속과 비금속을 사용하는 자원 사용 관점에서 환경적 고려가 필요한 제품이기도 하다.

글로벌 환경규제의 확대와 더불어 전기제품의 재활용에서 주목받는 기술은 희소금속 회수기술이다. 이차전지 및 소형가전을 비롯한 전기제품은 다양한 금속 부품을 포함하는데 부품에 함유된 코발트와 니켈을 회수하면 이차전지 등의 생산공정에 활용되는 재자원화가 가능하다(고등기술연구원, 2015). 희소금속은 자연에서 채굴할 경우 그 분포가 한정적이어서 안정적인 확보가 어렵지만(나덕주, 2012), 희소금속을 많이 사용하는 소형 가전제품의 재활용 과정에서 회수하면 자원의 순환과 경제적인 원료 수급안정성 확보 등 순환경제를 달성하는 지점이 될 수 있다. 이에 따라 전 세계 각국은 희소금속 확보를 위한 다양한 정책적 노력을 기울이고 있는데, 다양한 종류의 금속 비축제도를 이용해 적정 수준의 비축량을 유지한다(유재국·류경주, 2021).

희소금속 회수에 우리나라 학계와 산업계에서 다양한 기술적 노력을 기울이고 있으나, 아직 일본, 미국 등과 비교했을 때 핵심기술 확보에 어려움을 겪고 있다(김연재, 2021). 특히, 이차전지의 폐기 과정에서 발생하는 희소금속을 다시 회수해 이차전지의 생산 공정에 재투입하는 순환구조와 관련한 기술은 아직 선진국과 격차가 크다. 이를 극복하기 위해서는 정부 차원의 연구개발 지원이 선행되어야 하나, 한편으로는 희소금속 회수 및 확보를 위한 전략적 방향성의 설정 역시 중요하다. 제도 부문에서 살펴보면,

이차전지 등의 생산에 활용되는 희소금속은 희유금속과 비철금속을 모두 포괄하고 있는데, 우리나라는 이들에 대한 관리 주체가 각각 한국광해광업공단과 조달청으로 분리되어 있다. 지난 2019년, 조달청이 관리하는 비철금속에 대한 관리 권한을 한국광해광업공단으로 이전하도록 개선 방향을 마련하였으나 아직 실제적으로 희소금속 확보에 대한 제도 통합이 이루어지지 않은 실정이다(유재국·류경주, 2021). 다른 한편으로는 희소금속의 범위 설정 역시 모호한 상황인데(조지혜 외, 2020b), 국내의 주력 및 신산업에 대한 공급망 분석을 통해 필수적으로 확보해야 할 필요가 있는 희소금속의 범주를 설정하고 이를 입법화하여 산업활동에 필요한 안정적인 자원 공급망을 갖추어야 한다.

한편 하이브리드 및 전기자동차가 상용화됨에 따라, 이들 자동차에 쓰이는 폐배터리에 대한 자원 순환 기술 역시 순환경제 관점에서 높은 관심을 받고 있다. 폐배터리는 다양한 중금속을 포함하고 있어 폐기 후 단순 매립 시 환경오염을 유발할 수 있으며, 배터리 생산 과정에서 여러 자원을 지속적으로 채굴, 사용하는 점에서 재활용 및 재제조에 대한 고려가 필요하다. 폐배터리 재활용 및 재제조와 관련하여서는 높은 전기차 보급률을 보유한 중국이 전 세계적으로 가장 앞서나가고 있다(김희영, 2022). 중국은 배터리의 재활용과 관련하여 규격, 성능, 포장, 운송 등 다양한 부문에 대한 표준을 이미 규정하였으며, 이를 통해 배터리 재활용 부문의 민간 기술개발 및 산업활성화를 지원하였다(김희영, 2022). 우리나라 역시 배터리 생산업체 등을 중심으로 다양한 폐배터리 재활용 기술이 개발되고 있으며, 정부 역시 R&D 지원을 통해 이들 기업의 혁신 활동을 뒷받침한다. 하지만, 연구개발을 넘어 폐배터리 재활용 산업이 시장성을 갖추기 위해 필요한 적절한 표준 체계가 마련되어 있지 않아 민간 부문의 혁신 불확실성이 높은 상황이다. 특히, 우리나라 완성차 업체는 대기업이 중심인 반면, 폐배터리를 수거 및 재활용하는 업체들은 중소 및 영세기업을 위주로 생태계가 구성되어 있어 재활용을 위한 배터리 수거가 소규모로 이루어지는 한계가 있다(김희영, 2022). 이를 극복하기 위해서는 완성차 업체와 배터리 수거·재활용 업체 간의 연계 강화를 위한 정책적 노력이 필요한데, 지속적으로 늘어나는 폐배터리의 적절한 수거가 가능하도록 기술 및 자금 지원이 절실한 상황이다.

6 운송장비 제조업

자동차 및 조선 등을 포함하는 운송장비 제조업은 많은 수의 부품으로 조립하는 제품의 특성상 순환경제 달성에 핵심적인 산업군 중 하나라 할 수 있다. 화학제품(플라스틱) 제조업, 1차금속 제조업, 전자제품 제조업, 전기제품 제조업 등에서 생산하는 중간재의 많은 양이 운송장비 제조업으로 유입되는 만큼, 이들 제조업의 생산 공정에서 발생하는 탄소배출 및 에너지 사용의 이슈는 운송장비 제조업에도 동일하게 적용된다. 또한, 제품의 폐기 과정에서도 이들 부품 내 금속 및 비금속 배출에서 발생하는 환경 이슈가 연계되어 있다. 따라서 운송장비 제조업의 순환경제 달성을 위한 이슈는 독립적으로 살펴보기보다는 앞서 살펴본 여러 제조업 산업군의 이슈를 검토하여 고려해야 한다.

이는 운송장비 제조업에서 핵심적인 순환경제 이슈가 재사용 공급망 안정화 및 에코디자인에 있음을 암시한다. 자동차를 중심으로 살펴보면 재사용 공급망 안정화는 플라스틱, 금속제품, 이차전지 등 기존 내연기관 자동차 및 친환경 자동차, 자율주행 자동차 등에 포함되는 다양한 부품에서 새로운 자동차를 생산해 내는 원재료 및 부품을 추출하는 일련의 과정을 기술적·산업적으로 안정화해야 함을 뜻한다. 자동차에 널리 쓰이는 플라스틱은 바이오매스 또는 생분해성 원료를 활용하면 폐기 과정에서 발생하는 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 분해 후 생성된 원료를 재조합하여 다시 자동차에 활용할 수 있는 플라스틱을 생산하는 것이 가능하다. 이차전지는 앞서 살펴본 바와 같이 재제조 과정을 거쳐 일정 수준 이상의 성능을 갖춘 새로운 전지이다. 이러한 재사용 공급망 안정화를 위해서는 다양한 원료 및 부품에 대한 표준의 설정 및 재사용을 뒷받침하는 법적 근거를 먼저 확보할 필요가 있다. 대부분의 자원 재활용 과정에서 발생하는 법적 어젠다는 규정의 미비에서 출발하기 때문이다. 현재 우리나라에서는 폐자동차의 재활용 및 폐자동차 부품의 재사용을 위한 여러 기술개발을 정부 차원에서 진행하고 있으나, 이 과정에서 완성차 업체와 부품 업체 간의 연계성을 고려하기 보다는 개별 기술의 확보 측면에서 지원이 이루어지고 있다. 자원 및 부품의 재활용을 담당하는 기업의 규모가 완성품 업체에 비해 상대적으로 영세한 우리나라의 특성을 고려할 때, 규정이 미비할 경우 재활용 업체들의 기술 및 시장 불확실성이 증대하여 혁신 및 시장 활동에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 법적인 고려를 할 때, 제조업을 산업군별로 구분한 별도의 법령으로 재활용 및 재사용 등에 대한 규정을 확충하기 보다는 「폐기물관리법」을 포함하여 다양한

제조업 산업군에 적용되는 법률의 규정을 개정함으로써 일반적으로 통용되는 자원 재활용 및 재사용의 표준을 민간부문에서 인식하게 하는 것이 필요하다.

에코디자인 역시 다른 산업과 연계하여 운송장비 제조업에서 중요한 순환경제 이슈로 작용한다. 운송장비 제조에서 자원활용 최소화 및 에너지효율 극대화를 추구하려면 원료 및 부품의 생산단계부터 이러한 부분에 대한 고려가 이루어져야 하기 때문이다. 즉, 자동차, 조선 등의 제조 설계 단계부터 부품 기업과의 협력을 통해 에코디자인 규정을 달성하여 부품의 안정적 공급을 확보하는 것이 필요하다. 앞서 제시한 재사용 공급망 강화와 에코디자인 달성은 서로 연계되어 있으며, 전자제품의 사례에서 언급한 바와 같이 에코디자인 규정을 보다 면밀히 점검하고, 우리나라의 산업구조 및 글로벌 표준에 맞춰 개정하고 이에 대응하는 재사용 공급망을 강화하여 운송장비 제조업의 순환경제 달성을 위한 정책 및 법적 노력의 방향을 설정할 수 있다.

제6장

결론

제1절 순환경제 기술개발 경쟁력 진단 결과

제2절 순환경제 관련 국내 제도 진단 결과

제3절 산업경쟁력 확보를 위한 제도 개선 방안

제 1 절

순환경제 기술개발 경쟁력 진단 결과

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

최근 10년(2012~2021년) 국내 연구 개발사업 현황과 국내외 특허 현황을 분석하는 과정에서 순환경제 기술개발 관련 취약성을 아래와 같이 도출하였다.

- **물질 재자원화, 재제조 부문 기술투자 부족:** 그동안 국내 순환경제 기술 연구개발 내용은 폐기물 또는 폐수 처리에 해당하는 기술에 집중되어있으며, 본 연구에서 정의한 순환성에 직접적으로 기여하는 물질 순환 및 재자원화가 가능한 다양한 개별 적용 분야에의 투자(제조업, 기타 공공목적, 건설업)는 전체의 19%에 불과한 것으로 나타남.
- **중소기업의 상용기술 지원 성격의 연구개발 비중 높음:** 현재 국내 순환경제 산업 구조상 중소기업에 의존하는 바가 높으므로 이러한 경향 자체가 문제가 되지는 않으나 자동화공정 도입 및 상용공정 스케일업이 효과적인 기술영역에 대한 투자를 활성화할 필요가 있으며, 투자 성과를 평가하기 위하여 중장기적으로 영향력이 큰 특허기술 보유 여부 및 사업화 성과를 모니터링할 필요가 있음.
- **플라스틱 자원화 기술개발이 주로 환경보전의 관점에서 추진됨:** 열분해, 가스화 등의 화학적 재활용 방법을 통한 신산업 육성차원의 정부 투자가 부족하며, 이에 관한 산업경쟁력 강화를 위하여 투자 집중도를 높일 필요가 있음.
- **유가금속 자원 재자원화 관련 연구개발 투자가 점차 축소되는 추세임:** 최근 전 세계적으로 산업경쟁력의 중요한 리스크 요소로 관리하는 자원 안보 및 핵심 광물자원 확보 차원에서 본 기술개발에 대한 투자를 확대할 필요가 있음.
- **에코디자인 기술개발 필요:** 최근 10년간 자원 순환 맥락에서 수행한 친환경 디자인에 관한 연구개발은 총 2건52)에 불과함. 플라스틱 자원화, 유가금속 재자원화, 재제조 기술 모두 해체 및 분리·선별 등의 전처리 공정 효율화가 주공정

52) 산업통상자원부의 디자인 혁신역량 강화사업의 「디자인 씽킹과 기술이 접목된 생애주기별 업사이클링 메이커 키트(DIY KIT) 개발」 과제와 디자인 산업기술 개발사업의 「보건의료서비스 환경변화에 대응하는 스마트 의료폐기물 패키징 디자인 및 제품개발」 과제가 진행된 바 있음.

못지않게 중요하며, 이는 제품 디자인 단계부터 자원화를 고려할 때 가능하므로 순환경제 핵심기술로 친환경 산업디자인 요소를 중요하게 다룰 필요가 있음.

- **우리나라는 순환경제 기술 특허 수 기준으로 매우 경쟁력이 낮음:** 전체 특허 수에서 국내 출원인이 보유한 특허는 1%에 불과하며, 우리나라를 대상으로 외국에서 출원한 건수가 0건인 점을 고려했을 때, 우리나라의 순환경제 기술 중 방어가 필요한 내용 및 수준이 아직 존재하지 않음을 시사함.
- **국내 출원인이 보유한 특허는 전통적으로 개발이 집중되었던 분야 비중이 높음:** 향후 신산업 육성 필요성 및 국제적인 순환경제 기술 수요 전망에 기반하여 특허 전략을 수립할 필요가 있음.
- **물질 재자원화 및 재제조 부분 국내 출원된 특허기술 부족:** 국내 연구개발 분석 결과와 마찬가지로 국내 특허 현황분석 결과, 본 연구가 대상으로 하는 플라스틱 자원화, 유가금속 재자원화, 재제조 기술에 해당하는 특허는 존재하지 않아 특허기술 경쟁력 차원에서 국내 순환경제의 취약성이 높음.

한편, 플라스틱 자원화, 유가금속 재자원화, 재제조 세부 기술별 국내외 기술개발 동향 분석 결과에 기반하여 국내 기술개발 수준을 아래와 같이 진단하였다.

- **편중되고 파편화된 플라스틱 자원순환 연구개발:** 플라스틱 자원순환 관련 연구는 자원 선순환을 위한 전과정 측면이 아닌 바이오 플라스틱 기술, 폐기물 재활용 기술에 편중되었으며 부처별 및 연구기관과의 연계성 없이 추진됨.
- **대형 가전제품 중심의 폐전기전자제품 재활용 기술:** 중소형 가전제품의 재활용은 대형 가전제품의 자동화 전처리와 달리 유가물의 재질에 최적화된 해체·분리·선별공정에 대한 정보가 제한적이기 때문에 대부분 수작업에 의존하고 있음. 자력선별 이외에 물질 선별 기술(예: 플라스틱 색상, 유가금속 등) 개발이 부족한 상황이며, 소형 가전제품 재활용 시설에서 생산한 유가물의 품위가 상대적으로 낮음.
- **낮은 금속추출 회수율:** 유가금속 재자원화 과정 중 금속 추출을 주로 건식공정에 의존하여 습식공정에 비해 희토류 등 희소금속의 회수율이 대체로 낮은 편임.
- **비실리콘계 태양광 폐패널의 재활용 기술 개발 부족:** 국내 태양광 폐패널 재활

용 기술개발은 주로 실리콘계 모듈을 대상으로 함. 향후 시장점유율 변화를 고려하여 비실리콘 계열 태양광 폐패널 재활용 기술개발이 필요함.

- **자동화된 전기차 폐배터리 재활용 공정 개발 필요:** 최근 폐배터리 재활용을 위한 기술개발 투자를 확대하며 상용화까지 이어지고 있으나 글로벌 기술경쟁력 강화 차원에서 자동화 공정을 통한 기술 최적화 및 경제성 확보를 요구함.
- **재제조 대상 분야 확대 필요:** 국내 재제조 기술개발은 해외에 비해 일부 전기전자제품과 자동차 부품에 편중됨. 다양한 전기전자제품, 수송기기, 산업기계, 의료용 기계 등에 적용할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있음.

제2절 순환경제 관련 국내 제도 진단 결과

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

국내의 순환경제 제도를 분석한 결과에 기반하여, 국내 제도전반 및 관련 현행법이 중장기 순환경제 비전 실현에 부족한 점은 없는지에 초점을 맞춰 아래와 같이 진단하였다.

- **순환경제 전략영역 및 영향영역이 확장됨에 따라 환경부 중심의 정책 수립·이행 거버넌스가 한계에 직면할 것으로 전망:** 국내에서 순환경제 제도는 해외의 여러 나라와 마찬가지로 폐기물 재활용 정책에서 출발하여 폐기물을 자원으로 인식하는 전환의 과정을 거쳐 물질의 순환 개념이 도입된 ‘자원순환’으로 진화해 왔다. 최근 2~3년간에 탄소중립과 제품 전과정 관리 차원에서 순환경제 전략의 유관 영역이 크게 확장되어 환경부 중심의 정책에서 복수의 주요 관계부처의 공조가 필요한 상황으로 급변하였다. 이러한 변화에 대응하기 위하여 현재의 환경부 중심 거버넌스 체계를 개선할 필요가 있으며, 이 경우 네덜란드의 5개의 중점 정책영역을 관할하는 4개 순환경제 부처가 긴밀하게 협업하는 거버넌스 구조를 참고할만하다.
- **혁신성장 및 자원 안보 전략요소 부족:** 우리나라의 과거 순환경제 제도와 입법 동향을 살펴보면 EU의 순환경제 정책변천 경로상 큰 차이점을 확인할 수 있다. 우리나라는 유럽연합이 경제성장 패러다임의 전환 차원에서 시작한 순환경제 정책과 달리, 폐기물 관리 대상 및 자원의 범위를 확장되는 양상으로 발전하였다. 따라서 생산과 소비단계에서 자원의 순환을 염두에 둔 전략과 재생원료·부품 사용을 통한 자원 안보의 강화와 같은 차원의 전략이 점차 증가하는 추세이나 여전히 주요국에 비해 부족한 수준이다.
- **폐기물 관리 및 폐자원 재활용 중심의 법제도:** 우리나라의 순환경제 관련 법령은 「자원순환기본법」, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」, 「폐기물 관리법」을 주축으로 하며, 총 53개의 관련 법령⁵³⁾이 존재한다. 다수의 관련 법령은

53) 제헌국회~현재 제안된 의안 중 제안이유 및 주요 내용에서 ‘재활용’ 또는 ‘자원 & 순환경제’가 포함되었으며 가결(수정가결 또는 원안 가결)된 법률.

폐기물 유해물질의 관리 목적의 조문을 포함하거나 폐자원 재활용 촉진을 위한 법률에 해당하며, 일부 자원순환에 관한 환경산업의 육성 및 기술개발에 관한 내용 또한 다룬다. 최근 10여 년 동안에는 기계·자동차의 재활용 재제조를 지원하는 법률들이 눈에 띈다. 이렇게 자원순환의 대상이 되는 폐기물의 범위는 지속적으로 확장하는 추세이며 현재 계류 중인 의안 내용에서 특히 그러한 경향성을 확인할 수 있다. 현재 계류 중인 법률안에는 ‘유기성 폐자원’, ‘농산부산물’, ‘농업 바이오매스 에너지’와 같이 기존에 재활용되거나 자원화 되지 못한 대상이 확대되고 있음을 확인할 수 있었다.

- **재생원료 생산 및 부품 재제조를 지원하는 법률 부재:** 이상과 같이 국내 법제도 또한 순환 자원을 확대하는 방향으로 관련 법안을 발의하고 있으나 현재 국내 외에서 순환경제 주요 전략으로 다루는 재생원료 생산 및 부품 재제조에 관한 법률안으로 ‘수리산업 지원에 관한 법률’ 이외에는 존재하지 않는다. 따라서 관련 정책 추진력을 담보할 수 있는 법률안을 준비할 필요가 있다.
- **물질 순환 전 과정 모니터링에 필요한 통계가 미흡:** 현행 순환경제 통계는 폐기물 발생단계를 모니터링하므로 이에 기반하여 생산단계에 투입되는 재생자원 및 부품 등 천연자원을 대체하는 순환성을 진단하는 데에는 활용할 수 없다. 특히 미래산업 활동에 필수적인 핵심광물의 국가 단위 물질 순환현황을 국가통합 자원관리시스템에서 관리하고 있으나, 산업별 통계가 존재하지 않아 특정 산업의 자원공급 취약성을 진단하는 데에는 활용하기 어렵다.

한편, 제1권에서 우리나라가 선진국가(G7) 대비 상대적으로 뒤떨어진 부분을 보완하고자 하는 데에서 발생하는 순환경제 동력(미세먼지 노출농도, 자원해외의존도), 국제적으로 강하게 추진되고 있는 정책 중 순환경제 전환을 통하여 목표 달성에 긍정적인 영향이 기대되는 데에서 발생하는 동력(온실가스 배출량), 큰 틀에서 순환경제 전환의 목적에 해당하는 지속가능성 향상을 중심으로 국내 법제도에서 보완이 필요한 영역을 아래와 같이 도출하였다.

[표 6-1] 순환경제 전환 주요 동력에 대응하는 법제도 보완 영역

순환경제 전환 동력	관련 현행법	법제도 보완 영역
미세먼지 배출농도 개선	자원순환기본법※	<ul style="list-style-type: none"> • 목적과 정의에서 자원의 순환 또는 순환경제를 통한 환경 보전 효과를 좀 더 명시적으로 표기(예: 대기오염 방지 및 생물다양성 보전 등)
자원해외의존도 저감	원자재법(신설)	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽연합이 추진중인 핵심원자재법과 같은 자원안보 강화 목적의 법 제정시 순환경제 요소 반영
온실가스 배출 저감	탄소중립기본법	<ul style="list-style-type: none"> • 현행법 제64조 순환경제 활성화 조문에 순환경제 기술 혁신에 관한 내용 보완
	자원순환기본법	<ul style="list-style-type: none"> • 자원순환의 목적과 정의 등 법령 전반에 탄소중립 목적과의 연계성 강화
지속가능성 향상	지속가능발전 기본법	<ul style="list-style-type: none"> • 자원순환기본법과의 연계성 강화

※ 2022.12.31. 「자원순환기본법」 전부개정으로 「순환경제사회 전환 촉진법」을 발표하였으나, 본 연구에서는 2022년 기준 현행법을 대상으로 분석함

제3절

산업경쟁력 확보를 위한 제도 개선 방안

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 국내 순환경제 취약성 보완 및 기회요소 극대화

- **자원안보 전략 강화:** 우리나라의 높은 자원 해외의존도에서 오는 취약성을 극복하기 위하여 희유금속 회수 등을 포함한 재생원료 확보에 필요한 인증제도를 개선하고 확산할 필요가 있음. 또한 유가금속 등이 포함된 부품을 재사용 및 재제조하여 천연자원 수급 불안정 요소를 완화할 것으로 기대함. 이러한 수리 산업을 포함한 재제조 산업 지원 및 재제조 생산방식에 핵심적인 에코디자인 제도확장에 관련되는 법제도가 보완될 필요가 있음
- **기술혁신에 필요한 투자 강화:** 물질 재활용에 따르는 환경 영향을 최소화하고, 경제적 편익을 극대화하려면 기술혁신이 필수적이며, 해외 사례를 참고하여 기술격차를 줄이고 중장기적으로 관련 산업을 선도할 수 있도록 투자를 촉진하는 제도적인 지원책을 마련할 필요가 있음.
- **산업부문 순환경제 정책 주류화:** 최근 2~3년간 탄소중립 및 제품 전과정 관리 차원에서 순환경제 전략의 유관 영역이 크게 확장되어 환경부 중심의 정책에서 복수의 주요 관계부처의 공조가 필요한 상황으로 급변함. 이러한 대내외 여건 변화에 따라 국내 산업 및 일자리에 관한 부처의 순환경제 정책을 강화할 필요가 있으며 관련 기관 간의 긴밀한 업무 체계를 형성해야 함.
- **폐기 단계 뿐만 아니라 생산, 소비 단계의 물질 순환 통계 보완:** 국가 및 산업 단위의 자원생산성 및 물질순환성 등의 순환경제 성과를 모니터링하기 위하여 관련 물질 통계가 구축이 될 필요가 있음

2 산업계의 투자 촉진

- **순환경제 정책 강화:** 순환경제 전환을 위한 기업투자 촉진은 관련 사업의 수익성 향상이 가장 큰 기여 요인이므로 자원 해외의존도가 높은 원료를 사용하는 산업의 안정적인 자원 공급확보 전략으로서 순환경제 정책을 강화하거나, 폐기물 발생 비용의 정부 부담을 늘리면 수익성 기대가 증가함.
- **정부의 순환경제 기술개발 투자:** 정부의 R&D 지원정책을 포함한 안정적인 순환경제 정책 추진은 민간 투자자에게 긍정적인 신호를 보낼 수 있음.
- **중소기업 대상 금융지원:** 자원 순환 사업에서 중소기업 비중이 크지만 중소·중견기업의 녹색금융 접근성이 낮아 해당 기업투자가 어려울 수 있으며, 이에 중소기업에 대한 정부의 금융지원이 필요하며 관련 법·제도를 정비할 필요가 있음.

3 중점 산업의 순환경제 전환 촉진을 위한 입법과제

- **코크스 및 석유정제품 제조업:** 이산화탄소 저장 및 활용 기술은 코크스 및 석유정제품 제조업과 같이 탄소배출이 많은 업종의 취약성을 낮출 수 있는 기술이나, 현행 법령상 이산화탄소 및 이산화탄소를 활용하여 만들어진 물질 및 제품은 폐기물로 분류하기 때문에, 산업 부문에서 해당 물질 및 제품을 생산활동에 활용하기 어려운 실정임. 따라서 폐기물 범위를 다루는 법적 정의를 개정해야할 필요가 있음.
- **화학물질 및 화학제품 제조업:** 현재 우리나라에서 플라스틱의 화학적 재활용을 통한 상품은 주로 열분해를 통해 발생한 열분해유가 중심이나, 「석유사업법」상 열분해유는 석유 중간제품 또는 석유 대체연료로 인정받지 못하여 신산업 육성상 걸림돌로 작용하고 있음. 또한 바이오 플라스틱의 원료로 사용가능한 식량 및 가축사료는 공급이 통제되고 있어 곡물 외 목재펠프, 볏짚 셀룰로스 같은 다양한 원료를 바이오매스 범위에 편입시키는 유연한 정책 변화가 필요함.
- **1차금속 제조업:** 국내 법률에서도 철강 부산물의 친환경성을 인정하여 부산물의 범위 및 재활용 대상을 지정하는 등의 제도적인 개선을 진행하고 있으나 인

증·표준 등의 제도적 문제 및 법령의 한계로 철강 부산물의 재활용의 용도가 건축자재(아스콘, 블록 등)로 확장되지 못하고 있음. 따라서 폐기물관리법에 따라 활용도를 제한하는 규제를 정비하고, 건축자재 등으로 인정하는 국가규격을 마련할 필요가 있음.

- **컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업**: 전자제품의 재제조를 통한 순환경제를 가능하게 하려면 에코디자인 도입이 매우 핵심적인 요소이며, EU는 장기적으로 일부 제품에만 한정하였던 에코디자인 규정 적용 품목의 범위를 모든 물리적 제품으로 확대하려는 계획을 발표한 바 있음. 우리나라의 에코디자인 규정은 에너지 효율성 강화 및 자원 사용의 최소화 등에 초점을 맞추었으나, 자원의 재사용, 수명 연장 및 수리 강화, 재제조 가능성 증진 등 순환경제의 요소를 보다 폭넓게 포함하는 방향으로 글로벌 표준에 맞는 에코디자인 규정을 정비해야 함.
- **전기장비 제조업⁵⁴⁾**: 이차전지(배터리) 및 소형가전을 포함한 전기제품에는 다양한 금속 부품이 포함되며 이들의 공급 안정성이 미래 산업경쟁력에 크게 영향을 줄 수 있으나 현재 국내에서 희소금속에 대한 범위의 설정이 모호한 상황임. 국내의 주력 및 신산업에 대한 공급망 분석을 통해 필수적으로 확보해야 할 희소금속의 범주를 설정하고 이를 입법화하여 산업활동에 필요한 안정적인 자원 공급망을 갖추어야 함. 이를 위하여 배터리의 재활용과 관련한 규격, 성능, 포장, 운송 등 다양한 부문에 대한 표준을 준비해야 하며 완성차 업체와 배터리 수거·재활용 업체 간의 공급망 연계성 강화를 위한 투자를 촉진할 필요가 있음.
- **운송장비 제조업**: 화학제품(플라스틱) 제조업, 1차금속 제조업, 전자제품 제조업, 전기제품 제조업 등에서 생산한 중간재의 많은 양이 운송장비 제조업으로 유입되므로 운송장비 제조업의 순환경제 전환을 위해서는 안정적인 순환 공급망 구축 및 에코디자인 관련 제도를 정비할 필요가 있음. 재사용 공급망 안정화를 위해서는 다양한 원료와 부품에 대한 표준을 설정하고 재사용을 뒷받침하는 법적 근거의 확보를 선행하여야 함. 이를 통해 재활용 업체의 기술 및 시장 불확실성을 낮출 수 있을 것으로 기대함. 에코디자인 관련 제도적 개선 방안은 컴퓨터·전자 및 광학기기 제조업에 기술한 바와 동일함.

54) 전기장비는 가전제품 외에 이차전지 등을 포함함

참고문헌

1. 문헌자료
2. 웹사이트

참 고 문 헌

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 문헌자료

- 관계부처합동(2018), 『제1차 자원순환기본계획(2018~2027)』, 환경부.
- 관계부처합동(2020), 『2050 탄소중립 추진전략』, 2050탄소중립녹색성장위원회.
- 국가과학기술자문회의(2021), 『2050 탄소중립을 위한 플라스틱 자원순환 혁신 전략』, 국가과학기술자문회의.
- 국가재정운용계획 지원단(2021), 『2021~2025 국가재정운용계획 지원단 보고서: 자원순환경제 구축』, 한국조세재정연구원.
- 강홍윤·김영춘(2017), 「우리나라 재제조산업의 재진단을 통한 지속가능 성장전략 - 자동차 분야를 중심으로-」, 『공업화학 전망』, 20(5), pp. 1~12.
- 곽배성·이재혁(2021), 「기업의 ESG 수준과 외국인투자자 비중과의 관계: 규제위험 노출수준에 따른 투자자 민감도」, 『전략경영연구』, 24(1), pp. 35~66.
- 구지선(2019), 『전기차 폐배터리 활용 현황과 시사점: Weekly KDB Report』, KDB 미래전략연구소.
- 국가환경정보센터(2016), 『폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향』, 국가환경정보센터.
- 김영춘(2016), 『재제조 분야 이노베이션로드맵』, 한국생산기술연구원.
- 김영춘(2017), 『재제조 기반 제품-서비스 융합 비즈니스 모델 개발-SCR 촉매분야 중심-』, 인하대학교 학위논문.
- 김용환(2020), 「미세플라스틱 대응 화공/바이오 융합 공정 기술 개발」, 『NICE (News & Information for Chemical Engineers)』, 38(5), 한국화학공학회, pp. 497~515.
- 김은아·민보경(2020), 『지역순환경제 전략체계 및 사례연구』, 국회미래연구원.

- 김태영·김가영(2021), 「태양광 폐패널 재활용 기술」, 『KISTEP 기술동향브리프』, 한국과학기술기획평가원.
- 대한상공회의소(2021), 『플라스틱 폐기물에 대한 인식조사 및 정책과제 건의』, 대한상공회의소.
- 문진영 외(2021), 『국제사회의 순환경제 확산과 한국의 과제. 대외경제정책연구원 연구보고서』, 대외경제정책연구원.
- 박지환(2019), 『국내 폐전기전자제품 재활용 현황 및 기술동향, 국내환경동향보고』, 한국환경산업기술원.
- 배진수(2021), 『국내 순환경제의 현황 및 정책적 시사점-경제적 유인을 중심으로』, 한국조세재정연구원.
- 산업통상자원부(2017), 「재생에너지 3020 이행계획(안)」, 『제2회 재생에너지정책협의회 산』, 업통상자원부.
- 산업통상자원부(2018), 『자동차 부품산업 활력 제고 방안』, 산업통상자원부.
- 산업통상자원부(2021a), 『탄소중립을 위한 한국형 K-순환경제 이행계획 수립』, 산업통상자원부.
- 산업통상자원부(2021b), 『탄소중립 산업·에너지 R&D 전략』, 산업통상자원부.
- 삼성증권(2021), 『ESG 시대, 순환경제 플라스틱: 뿌린 씨를 거둘 때』, 삼성증권.
- 삼일PwC경영연구원(2022), 『순환경제로의 전환과 대응전략 - 플라스틱과 배터리(이차전지)를 중심으로』, 삼일회계법인.
- 손정수(2018), 『전기차 폐배터리의 물리화학적 처리』, 한국지질자원연구원.
- 안상준(2022), 「국내 재제조 산업 현황과 발전 방향」.
- 유수현(2021), 「소비자 관점에서 본 기업 ESG 경영의 미래」, 『소비자정책동향』, (113), pp. 1~20.
- 이길우(2020), 『2020년 기술혁신 아젠다 발굴 및 R&D 투자전략 기획 연구』, 한국과학기술기획평가원, pp. 182~208.
- 이종수·김도완·배재근(2019), 「폐 전기, 전자제품 유래 금속 자원 관리를 위한 통계

- 기반 구축 제언 연구, 『환경정책』, 27(4), pp. 241~269.
- 임현규(2021), 「미생물을 활용한 플라스틱 생물학적 분해 동향」, 『BRIC VIEW』, 2021-T34BRIC, BRIC.
- 임형석(2009), 『LCA 기법을 이용한 철도차량 재제조 부품에 대한 환경성평가』, 한양대학교 학위논문.
- 장용철(2022. 06. 09), 「대한민국 플라스틱 순환경제 전략과 기술」, 『한국-네덜란드 공동 순환경제국제포럼』, 국회미래연구원.
- 장용철·손민희·박주영(2022), 「한국의 2017-2019 년 플라스틱 물질흐름분석」, 『한국 폐기물자원순환학회지』, 39(3), pp. 194~206.
- 전은진(2019), 「주요국별 순환경제 정책동향」, KONETIC REPORT, p. 7.
- 정원·이희정(2010). 「재(再) 제조· 자원순환기술의 국내외 산업화 동향」, 『신뢰성응용 연구』, 10(3), 199-211.
- 조세재정연구원(2021), 『2021~2025 국가재정운용계획 지원단보고서(자원순환경제 구축)』, 조세재정연구원.
- 조영주·조봉규(2020), 「폐플라스틱 리사이클링의 현주소 및 향후 방향」, 『자원리사이클링』, 29(4), pp. 31~44.
- 조지혜·서양원·김유선(2018), 『태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선 방안 연구』, 한국환경정책평가연구원.
- 조지혜 외(2020a), 『다부처 정책 연계성 확보를 통한 순환경제 정책 로드맵 연구: 전기차 배터리를 중심으로』, 한국환경연구원.
- 조지혜 외(2020b), 『순환경제 이행 진단을 위한 통합 평가 지표 개발 및 활용 방안 구축』, 한국환경연구원.
- 조지혜 외(2020c), 「순환경제로의 전환을 위한 그린 뉴딜 추진방향」, 『환경포럼』, 24(12).
- 중소벤처기업부·중소기업기술정보진흥원(2021), 『중소기업 전략기술로드맵 2021-2023: 친환경소재 및 자원순환』, p. 18.
- 지민규 외(2016), 『미세조류 바이오메스의 자원화 활용에 대한 연구』, 『한국환경연구원

- Working Paper』, 한국환경정책평가연구원, p. 26.
- 최상기·조지혜(2016), 『미세조류 바이오매스의 자원화 활용에 대한 연구』, 한국환경연구원.
- 최지연·이혜선(2021), 「순환경제 활성화를 위한 에코 패키지의 동향분석 및 시사점」, 『브랜드디자인학연구』, 19(1), pp. 197~210.
- 한국건설기술연구원(2019), 『미세플라스틱 대체재 및 자원화 기술개발 기획연구』, 한국건설기술연구원.
- 한국무역협회(2022), 『전기차 배터리 재활용 산업 동향 및 시사점 : 중국 사례 중심으로』, 한국무역협회.
- 한국산업기술평가관리원(2020), 『2021년 산업기술 R&D 투자전략』, 산업통상자원부.
- 한국생산기술연구원(2007), 『재제조산업 동향 및 발전전략』, 국가청정생산지원센터.
- 한국에너지기술연구원(2019), 『자원순환: 태양광 폐패널의 재활용 기술 동향』, 기후기술전략센터.
- 한국자동차부품재제조협회(2020. 04. 24), 『전기차 배터리 재활용 리사이클링 및 업사이클링 미래 신산업 전략 및 사업화 방향 세미나』, 산업교육연구소.
- 한국투자증권(2020), 『친환경차 보급현황 및 정책방향 세미나』.
- 환경인적자원개발위원회(2020), 『한국판 뉴딜에 대응하는 환경산업 육성 방안』, 한국상하수도협회.
- 환경부(2022), 『2022-제2차 환경R&D 전문가 포럼-자원순환분과』, 환경부.
- 환경부 외(2020), 『녹색채권 가이드라인』, 환경부·금융위원회·한국환경산업기술원·한국거래소.
- BloombergNEF(2020), “*Electric Vehicle Outlook 2020*”.
- Bocken, Nancy. et al.(2021) *Circularity as the new normal: Future fitting Swiss business strategies*, PWC.
- Chowdhury, S. et al.(2020), “An overview of solar photovoltaic panels’ end-of-life material recycling”, *Energy Strategy Reviews*, 27, 1000431.

- DelRe, C. et al.(2021), “Near-complete depolymerization of polyesters with nano-dispersed enzymes”, *Nature*, 592, pp. 558-563.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03408-3>.
- De Wilt, M. et al.(2020), *The Circularity Gap Report NL 2020*, Circle Economy.
- EMF(Ellen Macarthur Foundation)(2020), “*Financing the Circular Economy-capturing the opportunity*”.
- ETC/WMGE(2021), “*Contribution of remanufacturing to circular economy*”.
- European Commission(2018a), “*Monitoring Framework for the Circular Economy*”.
- European Commission(2018b), “*The European economic and social committee and the committee of the regions - A European strategy for plastics in a circular economy*”.
- European Commission(2020), “*Circular Economy Action Plan*”.
- European Commission(2021), “*CRMs for strategic technologies and sectors in the EU*”.
- Eurostat(2018), *Economy-wide material flow accounts handbook*, Luxembourg, Publication Office of the European Union. ISBN 978-92-79-88337-8.
- Fischer, S. et al.(2017), *Bridging the raw materials knowledge gap for reuse and remanufacturing professionals: report in ten knowledge gaps*, EIT RawMaterials.
- Forti, V. et al.(2020), *The Global E-waste Monitor 2020*, ITU.
- Geyer, R. et al.(2017), “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- Hanemaaijer, A. et al.(2021), *Integral Circular Economy Report 2021*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
- Harper, G. et al.(2019), “Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles”, *Science*, 575, pp. 75-86.
- IEA(2019), “*Global EV outlook*”.

- Itoh, H.(2014), “The recent trend of e-waste recycling and rare metal recovery in Japan”, *Waste Management and The Environment VII*.
- Kawecki, D. et al.(2018), “Probabilistic Material Flow Analysis of Seven Commodity Plastics in Europe”, *Environmental Science and Technology*, 52(17), pp. 9874-9888.
- Kim, D.H. et al.(2021), “One-pot chemo-bioprocess of PET depolymerization and recycling, enabled by a biocompatible catalyst, betaine”, *ACS Catalysis*, 11(7), pp. 3996-4008. <https://doi.org/10.1021/acscatal.0c04014>.
- Parker, D. et al.(2015), *Remanufacturing market study*, European Union’s Horizon 2020.
- Payne, J., McKeown, P. and Jones, M.(2019), “A Circular Economy Approach to Plastic Waste”, *Polymer Degradation and Stability*, 165, pp. 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.014>
- PV CYCLE(2018), “*Annual report 2018*”.
- Rematec(2020), “*Global remanufacturing benchmark, 2020*”.
- Schroder, P., and Raes, J.(2021), *Financing an inclusive circular economy: De-risking investments for circular business models and the SDGs, Research Paper*, Chatham House.
- Swedish Chemical Agency(2018), “*Commodity Guide*”.
- Tournier, V. et al.(2020), “An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles”, *Nature*, 580, pp. 216-219. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2149-4>.
- UNEP Finance Initiative(2020) “*Financing Circularity: Demystifying Finance for Circular Economies*”.
- UNEP IRP(2018), “*Resource Efficiency for Sustainable Development: Key Messages for the Group of 20*”, Paris, France.
- UNEP IRP(2019), “*Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the*

- Future We Want*”, Nairobi, Kenya.
- Vlaanderen, T.(2018), *Accelerating growth of the US Remanufacturing industry: a stakeholder guide*, Circular Futures: New York..
- Wei, R. and Zimmermann, W.(2017), “Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: How far are we?”, *Microbial Biotechnology*, 10(6), pp. 1308-1322.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12710>.
- 환경성(2016), 「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(태양광 발전 설비의 재활용 추진을 위한 가이드라인)」, 일본 환경성 리사이클추진실.

2 웹사이트

김병수(2020. 6. 17.), 「순환 경제 Circular Economy Diagram」, 『브런치』,
<https://brunch.co.kr/@byeongsookim/4> (접속일: 2022.06.15.).

산업종합저널(2021. 9. 27), 「폐기물을 활용한 대체물질, 자원순환 실현과 수입의존도 낮춰」, <http://industryjournal.co.kr/news/224258> (접속일: 2023.01.13..).

시사저널e(2016. 11. 2.), 「전기차 중고 배터리, ESS 시장서 각광」,
<https://www.sisajournal-e.com/news/articleView.html?idxno=159910>.
(접속일: 2022.06.25.).

에너지데일리(2020. 9. 4.), 「일본 기업, 전기차 폐배터리 재활용 사업 '돈 된다」,
<https://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=111415>
(접속일: 2022.06.25.).

인더스트리뉴스(2022. 6. 16.), 「태양광 폐패널 재활용, 사업성 커진다.. 주요 기업 투자 증가」,
<https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=46252>
(접속일: 2022.06.16.).

자원순환사회연구소(2020. 10. 12.), 「플라스틱 재활용 방법 : 물질재활용, 화학적 재활용」,
<https://m.blog.naver.com/waterheat/222113036295> (접속일: 2022.06.22.).

중국전문가포럼(2021. 7. 13.), 「[정책 분석] 中 순환경제 발전 로드맵 발표」,
https://csf.kiep.go.kr/newsView.es?article_id=42836&mid=a20100000000
(접속일: 2022.10.24.)

중소기업투데이(2022. 10. 21.), 「폐플라스틱 재활용업, '中企적합업종' 지정 않기로」,
<http://www.sbiztoday.kr/news/articleView.html?idxno=12775>
(접속일: 2022.12.15.)

케미컬뉴스(2021. 6. 16.), 「폐플라스틱병을 유용한 바닐라 향료로 만드는 기술 개발」,
<http://www.chemicalnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=4061>
(접속일: 2022.06.30.).

한경닷컴(2021. 9. 27), 「삼성전자 반도체 폐수, 현대제철 철강 만들 때 쓰는 광물로 '재탄생」,
<https://www.hankyung.com/economy/article/202109277541g>

- (접속일: 2023.01.13..).
- 한화솔루션(2020. 2. 24), 「플라스틱의 생명연장, '화학적 재활용'이란?」, 『네이버포스트 재밌는 과학이야기』,
<https://post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=27571195&memberNo=5673438> (접속일: 2022.06.15.).
- BIZION(2022. 3. 16.), 「페플라스틱을 재활용해 만든 '건축용 블록」,
http://www.bizion.com/bbs/board.php?bo_table=social&wr_id=508
(접속일: 2022.06.15.).
- TIN뉴스(2022. 1. 2.), 「저온 해중합 기술로 페플라스틱 재활용 - 플라스틱을 다시 원료로 만드는 해중합과 열분해 기술」, <https://www.tinnews.co.kr/21870>
(접속일: 2022.06.30.).
- AFRM(2019), “Petrochemical manufacturers use chemistry to make plastic more sustainable and recyclable”, *POLITICO*,
<https://www.politico.com/sponsor-content/2019/03/petrochemical-manufacturers> (접속일: 2022.6.15).
- Eurostat(2022a), “Circular Economy material flow diagram”, Accessed at
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/material-flow-diagram>
- Eurostat(2022b), “Circular material use rate”, Accessed at
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_srm030/default/table?lang=en
- Government of the Netherlands(2022),
<https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050> (접속일: 2022.10.24.)
- UNEP IRP(2022), “Global Material Flows Database”, Accessed at
<https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>
- WU Vienna(2022), “The Material Flow Analysis Portal, Accessed at
<http://www.materialflows.net/>

Abstract

Circular Economy Strategy for Future Industry

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

This study endeavors to provide a comprehensive examination of the current state of circular economy technology development and investment strategies in the context of enhancing the competitiveness of future Korean industries. This study utilizes the results of an analysis of the weaknesses and opportunities arising from the transition to a circular economy in six major industries. The study identifies areas of relative technological inadequacy in the field of circular economy in Korea based on the comparative analysis of the current technology development. New industrial areas were discovered in relation to technological advancement. This comparative analysis also led to the discovery of new industrial domains, necessitating a reevaluation of the inter-industry table and the reorganization of the entire industrial structure. Furthermore, the study examines the existing laws and regulations related to the circular economy, as well as those currently under legislative consideration, in order to identify potential amendments or enactments that could catalyze Korea's transition to a circular economy. In addition, the study proposes a legislative agenda and investment strategies to promote the transition of the six major industries.

순환경제 미래산업 전략

인 쇄 2022년 12월 26일
발 행 2022년 12월 31일
발 행 인 김현곤
발 행 처 국회미래연구원
주 소 서울시 영등포구 의사당대로 1
국회의원회관 222호
전 화 02)786-2190
팩 스 02)786-3977
홈페이지 www.nafi.re.kr
인 쇄 처 (주)케이에스센세이션 (02-761-0031)

©2022 국회미래연구원

ISBN 979-11-90858-98-4 (93530)

새로운 **희망**을 만드는 국회



국회미래연구원
NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE