



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

보건학석사학위논문

전과정평가를 이용한
녹색인증기술의 온실가스 감축에
대한 영향 연구

A Study on the Greenhouse Gas Reduction
of Green Certification in Korea using Life
Cycle Assessment

2016년 8월

서울대학교 보건대학원
환경보건학과 대기환경전공
조 선 영

전과정평가를 이용한
녹색인증기술의 온실가스 감축에
대한 영향 연구

A Study on the Greenhouse Gas Reduction
of Green Certification in Korea using Life
Cycle Assessment

지도교수 이 승 목
이 논문을 보건학석사학위논문으로 제출함

2016년 5월

서울대학교 보건대학원
환경보건학과 대기환경전공
조 선 영

조선영의 석사학위논문을 인준함

2016년 6월

위 원 장 김 호 (인)

부 위 원 장 조 경 덕 (인)

위 원 이 승 목 (인)

국문초록

환경보호를 위한 관심이 전 지구적으로 중요하게 여겨지며 우리나라는 2010년 신(新) 성장 동력인 유망 녹색기술의 활용을 촉진하고 에너지 및 자원 절감을 위하여 녹색인증 제도를 도입하였다. 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질 배출을 최소화 하는 대상기술 10대 분야를 제시하고, 에너지자원 활용의 효율성, 절약성, 녹색성장기여도 등을 평가하여 인증을 부여받은 공법·기술의 산업화를 지원하기 위함이다.

최근 PM₁₀과 PM_{2.5}로 대표되는 미세먼지는 과거와 달리 관심영역이 점점 더 미세한 입자 쪽으로 옮겨지고 있으며, 미세먼지가 환경에 미치는 영향이나 초미세먼지의 제어에 관한 연구가 지속적인 관심의 대상이 되고 있다. 이에 미세먼지의 주요 배출원 중의 하나인 석탄 화력발전소는 중요한 국가기반 시설로 여겨지고 있다. 화력발전소의 경우 적용되는 공법·기술에 따라 오염물질 제거효율 뿐만 아니라 에너지 소모량, 필터 사용량 등의 투입물과 폐자재 등의 배출량 또한 큰 차이가 난다. 이는 대기오염을 저감시키기 위한 대기오염방지시설의 투입물과 배출물이 다른 환경오염을 유발할 수 있음을 예상할 수 있게 한다.

이에 본 연구에서는 국내 화력발전소에 설치되어 있는 Bag filter 기술과 녹색인증 기술인 Cy-bag filter 기술의 잠재적인 환경영향을 비교·분석하고자 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법을 활용하였다. 각 기술의 운전단계를 시스템 경계로 설정하여 투입물과 배출물에 따른 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis, LCIA)을 수행하였고, 그 결과에 따라 두 공정에 대한 환경영향평가(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)로서 특성화결과 값을 도출하여 자원고갈, 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층 고갈, 광화학적 산화물생성 등의 여러 가지 영향범주에 대한 환경영향을 비

교·분석하였다. 각 기술에 대한 환경영향 범주를 녹색인증의 단일 평가항목인 녹색성에 적용하기 위하여 대기처리기술의 특성을 고려하고 주요 이슈(Key issue)가 될 수 있는 지구온난화 범주를 선정하였다. 또한 대기처리기술에 국한하는 것이 아닌 추후 녹색인증의 녹색성 평가를 위한 환경영향 범주 산정 방안에 대하여 제안하였다.

두 공정에 대한 전과정평가의 특성화결과 중 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 Bag filter 기술이 $1.00E-04$ kg, Cy-bag filter 기술이 $6.83E-05$ kg으로 약 1.5배 이상 지구온난화에 미치는 영향이 더 많은 것으로 분석되었으며, 이는 Bag filter 기술의 전력소모와 필터소모가 상대적으로 많은 것이 원인으로 파악되었다.

본 연구의 결과에서는 대기처리기술에 대한 녹색성 평가시에 전력사용과 필터소모를 비용으로만 고려하는 경우 전력 생산, 필터 생산 및 폐기시에 발생하는 CO₂로 인한 2차 오염, 즉 지구온난화에 대한 영향을 간과하게 될 수 있다는 점을 알 수 있었다. Bag filter 기술의 전력사용량과 필터소모량이 Cy-bag filter 기술에 비해 상대적으로 많아 이산화탄소 배출량이 많아지고 지구온난화 기여도가 높음을 알 수 있었으며, 이러한 특성을 고려하여 지구온난화지수를 집진시설의 녹색성 평가지표로 선정하였다. 추후 대기처리기술의 녹색성 평가시에는 대기오염물질의 처리효율성 뿐만 아니라 각 공정의 전체적인 환경성을 고려한 환경영향 범주를 함께 고려하여 반영해야 할 것으로 판단된다. 이를 활용함으로써 주요한 국가기반시설의 하나인 화력발전소의 대기오염방지시설에 대한 지속가능한 개발을 유도할 수 있는 하나의 방안이 될 것으로 사료된다.

향후 녹색인증의 녹색성 평가시 전과정평가를 활용하기 위해서는, 첫째, 기술분야별로 연구범위를 포함한 작성지침을 개발하여 전과정평가의 객관성을 확보해야하며, 둘째, 비교기술 설정시 데이터 수집은 동등하거나 유사한 시간적, 기술적, 지역적 특성 등을 고려하여 산정해야한다. 셋째, 선정된 평가 집단은 작성지침의 적용여부, 제시된 환경영향범주의 타

당성, 전과정평가 해석 등을 종합적으로 검토해야한다. 이를 활용하여 기술의 녹색성을 타당하게 제시하고 평가할 수 있으며, 기술분야별 작성지침 누적데이터 구축이 가능해지고 이를 통한 산업계의 흐름을 파악할 수 있게 한다. 나아가 기술분야별 전과정평가를 통한 환경영향범주의 인벤토리 구축을 가능하게 하여 기술분야별 온실가스 배출 기여도를 파악하고 관리할 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 녹색인증, 녹색성, 전과정평가, 온실가스 저감, 대기오염방지 시설, Bag filter 기술, Cy-bag filter 기술

학 번 : 2013-23563

목 차

1. 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위	2
2. 이론적 고찰	4
2.1 녹색인증의 개요	4
2.1.1 녹색인증의 목적 및 절차	4
2.1.2 녹색인증의 운영체계	5
2.1.3 녹색인증의 한계	7
2.1.4 분야별 녹색인증 기술	8
2.2 전과정평가의 개요	9
2.2.1 전과정 평가의 배경 및 정의	9
2.2.2 전과정 평가의 목적	10
2.2.3 전과정 평가의 방법론	10
2.2.4 전과정 평가 프로그램	15
2.4 집진공정에 대한 고찰	17
2.4.1 국내 집진설비시설의 운영 현황	17
2.4.2 집진기술의 개요	18
3. 연구 방법	20
3.1. 연구 대상 설정	20

3.2. 전과정평가 분석 방법	20
3.3 전과정 목록분석	22
3.3.1 데이터 수집 및 처리	22
3.3.2 목록분석 수행	22
4. 결과	23
4.1 전과정평가 목록분석 결과	23
4.2 전과정 영향평가 특성화결과	47
4.2.1 특성화 결과	47
4.2.2 특성화 결과에 대한 분석	48
4.3 전과정 영향평가 해석	60
5. 고찰	61
5.1 Bag filter 기술과 Cy-bag filter 기술의 환경영향범주 해석	61
5.2 전과정평가의 녹색성 지표로써의 활용 방안	62
6. 결론	65
참고문헌	67

List of Tables

Table 1. Valid Certification in Green Certification	8
Table 2. The Reference of Characterization DB	13
Table 3. GtoG Input of Bag filter/Cy-bag filter process in this study	22
Table 4. GtoG Output of Bag filter/Cy-bag filter process in this study	22
Table 5. Results of LCI in Bag filter process	23
Table 6. Results of LCI in Cy-bag filter process	35
Table 7. Characterization results of Bag filter and Cy-bag filter process	47
Table 8. Substance results of ADP in Bag filter process	49
Table 9. Substance results of ADP in Cy-bag filter process	49
Table 10. Substance results of GWP in Bag filter process	51
Table 11. Substance results of GWP in Cy-bag filter process	51
Table 12. Substance results of ODP in Bag filter process	53
Table 13. Substance results of ODP in Cy-bag filter process	53
Table 14. Substance results of AP in Bag filter process	54
Table 16. Substance results of EP in Bag filter process	56
Table 17. Substance results of EP in Cy-bag filter process	56
Table 18. Substance results of POCl in Bag filter process	58
Table 19. Substance results of POCl in Cy-bag filter process	59

List of Figures

Figure 1. Operating system of Green Certification	5
Figure 2. Assessment of field evaluation	6
Figure 3. Assessment of document	6
Figure 4. Signature of Green Certification	7
Figure 5. Emblem of Green Certification	7
Figure 6. Life Cycle Impact Assessment Outline	10
Figure 7. Life Cycle Impact Assessment Procedures	12
Figure 8. Outline of TOTAL program	15
Figure 9. LCI of TOTAL Outline	16
Figure 10. Supply rate of 1st Energy in 2012	17
Figure 11. Current situation of coal-fired plants	18
Figure 12. Plan of coal-fired plants	18
Figure 13. ADP result of Bag filter and Cy-bag filter process ...	48
Figure 14. GWP result of Bag filter and Cy-bag filter process ...	50
Figure 15. ODP result of Bag filter and Cy-bag filter process ...	52
Figure 16. AP result of Bag filter and Cy-bag filter process	53
Figure 17. EP result of Bag filter and Cy-bag filter process	55
Figure 18. POCl result of Bag filter and Cy-bag filter process ...	57
Figure 19. Total result of Impact Category in Bag filter and Cy-bag filter process	61

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

환경보호를 위한 관심이 전 지구적으로 커지면서 환경문제는 가장 중요하고 긴급한 국가 간의 협력 과제로 여겨지고 있다. 오늘날 전 세계는 자원고갈, 물 부족, 온실가스 배출 증가 등으로 환경위기에 직면하고 있다. 오늘날 환경오염은 어느 한곳에만 국한되는 것이 아니라 산업계 전반, 경제·소비 생활의 전 과정 속에서 자원의 소비, 에너지의 사용, 폐기물의 처리 등의 넓은 범위에서 발생하고 있다.

이러한 환경오염 문제를 객관적으로 파악할 수 있는 도구가 필요하게 되었으며, 제품의 생산 및 소비과정에서 필연적으로 발생하는 자원·에너지 소비 및 환경오염 부하를 정성적이고 정량적으로 평가하여 이를 저감시키거나 개선시키고자 하는 기술적, 정책적 장치로써 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 등장하게 되었다. 전과정평가의 궁극적인 목표는 자원·에너지소비 및 환경오염부하를 최소화할 수 있는 개선점을 찾아 지속가능한 발전과 생태계의 균형을 도모하고자 함이다. 주로 과거엔 제품에 적용되어 활용하였지만 현재는 서비스, 사회기반시설 등에 확대 적용되고 있는 추세이나 아직은 제한적인 접근에 그치고 있다. 하지만 전 세계적인 환경 정책의 관점에서 산업계의 발전과 환경문제를 동시에 충족할 수 있는 지속가능한 방법론이 요구되고 있음을 감안할 때 산업계에 적용 가능한 능동적인 접근과 연구가 필요한 시점이다.

우리나라에서는 전 세계적으로 대두되고 있는 온실가스 저감의 환경문제에 적극적으로 대응하고자 2010년 신(新) 성장 동력인 유망 녹색기술의 활용을 촉진하며 에너지 및 자원 절감을 꾀하고자 녹색인증제도를 도입하였다. 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스

및 오염물질 배출을 최소화 하는 대상기술 10대 분야를 제시하였다. 인증기준은 기술의 기술우수성 60점(신청기술의 기술수준, 기술 목표의 구체성, 명확성, 기술의 혁신성과 차별성, 사업화 계획의 타당성 및 기술적 파급효과), 녹색성 40점(에너지자원 활용의 효율성, 절약성, 녹색성장기여도 등)으로 평가결과가 70점 이상인 기술에 인증을 부여한다. 하지만 에너지자원 활용의 효율성, 절약성, 녹색성장기여도 등을 평가하는 녹색성은 객관적인 평가기준이 모호하여 녹색기술을 신청하고 평가하기에 어려움이 있다.

이에 본 연구는 녹색인증제도의 단일 평가지표인 녹색성 항목의 특성을 바탕으로 신청기술·공법·설비에 전과정평가를 적용하여 결과를 도출하고, 녹색성의 평가 지표로 활용 가능한 환경영향 범주를 제안하고자 한다. 입자상 대기오염 물질 처리 기술인 화력발전소에 설치되어 있는 집진시설을 대상으로 기존의 집진 시설인 Bag filter 공법과 녹색인증을 취득한 Cy-Bag filter 공법을 대상으로 전과정평가 기법을 활용하여 종합적으로 분석하고자 하였으며, 각 공법에 대한 정보를 동시에 고려하여 주요 국가 기반시설의 하나인 집진시설에 대한 지속가능한 개발을 위한 관리지표로서 활용하기 위한 녹색성 평가지표로 활용 가능한 환경영향 범주를 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 각 기술별로 환경영향을 파악하기 위하여 LCA를 수행하였고, 녹색성 평가지표로 사용가능한 환경성 분석을 위하여 각 기술의 시스템 경계는 운전단계로 설정하였으며 국내 화력발전소에서 운전 중인 데이터를 활용하였다.

기존 집진기술은 Bag filter 공법이며 녹색인증기술인 Cy-Bag filter 공법으로 비교대상 기술을 설정하였다. 국내N발전의 H화력본부의 2010년 5월부터의 운전 데이터를 수집하였으며, 녹색인증기술인 Cy-bag filter 공법의 경우는 2010년 8월 설치 시점부터의 운전데이터를 수집하였다.

녹색인증기술인 Cy-Bag filter 공법과 기존 집진기술인 Bag filter 공법은 소요부지면적에서도 차이가 있었지만, 본 연구의 목적인 공정단계에서의 녹색성 비교분석을 위하여 부지면적, 건설비용 등은 가정에 포함시키지 않았다.

녹색인증제도, 전과정평가의 개요 등 본 연구의 배경이 되는 이론을 2장에 설명하였으며, 3장에서는 실제 운전중인 화력발전소의 데이터를 활용하여 집진설비의 LCA를 수행하였다. 4장에서는 3장에서 수행한 전과정 평가를 통하여 결과를 도출하였으며, 5장에서는 도출된 환경영향 범주의 녹색성 평가지표로의 활용 가능성을 검토하였다.

6장에서 본 연구의 결론으로 집진시설의 전과정평가 결과와 녹색성 평가 지표로의 활용성을 고찰하였으며 향후 연구 방향에 대하여 정리하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 녹색인증의 개요

2.1.1 녹색인증의 목적 및 절차

우리나라는 2010년 1월 「저탄소 녹색성장 기본법」 제32조 녹색기술녹색산업의 표준화 및 인증등을 공포하였으며, 2010년 4월, 동법 시행령 제19조 녹색기술·녹색사업의 적합성 인증 및 녹색전문기업확인을 제정하여 8개 부처(산업통상자원부(총괄), 기획재정부, 국토교통부, 농림축산식품부, 문화체육관광부, 미래창조과학부, 환경부, 해양수산부) 합동고시인 녹색인증제 운영요령이 2010년 4월 고시되었다. 이는 신(新) 성장동력인 유망 녹색기술의 활용을 촉진하여 에너지 및 자원절감, 환경보호 등으로 성장동력과 일자리를 창출하기 위한 목적을 지닌다. 「저탄소 녹색성장 기본법」에 의거하여 유망한 녹색기술을 인증하고 지원하는 제도인 녹색인증은 산업통상자원부의 한국산업기술진흥원(KIAT)에서 녹색인증사무국을 담당하고 있으며, 신청자가 사무국에 원하는 평가기관을 선택하여 신청을 하고, 사무국에서 해당 평가기관에 평가의뢰를 한다 평가기관은 평가절차에 따라 평가를 진행하여 인증대상을 추천하고 녹색인증심의위원회를 통해 평가결과를 최종 조정하고 인증을 확정한다. 이에 따라 사무국은 각 평가기관이 속해있는 관계부처에 녹색인증서를 발급을 요청하여 송부하게 된다.

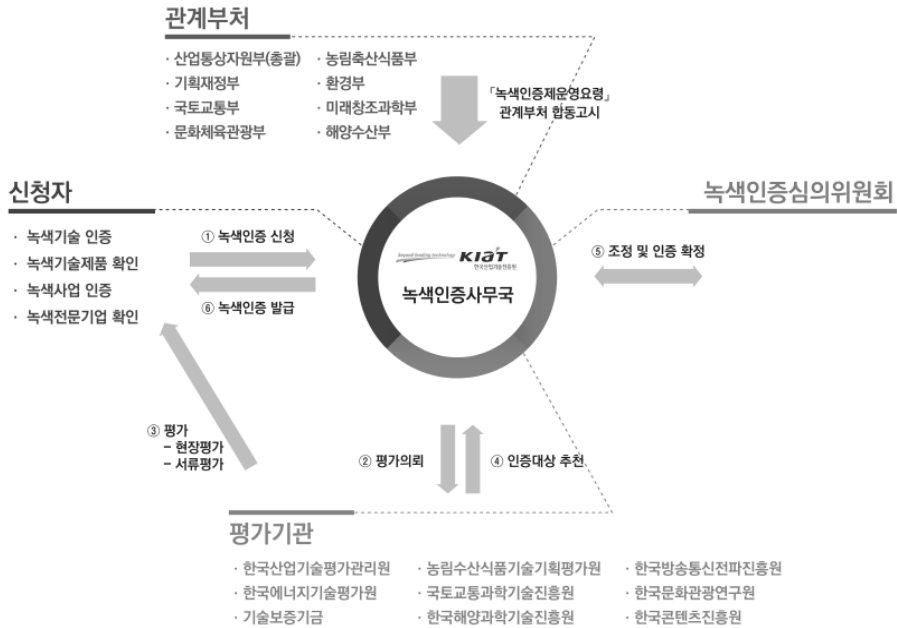



Figure 1. Operating system of Green Certification

2.1.2 녹색인증의 운영체계

녹색인증은 녹색기술 인증, 녹색기술제품 확인, 녹색사업 인증, 녹색전문기업 확인이 있으며, 녹색기술인증은 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 대상으로 총 10대 분야(신재생에너지, 탄소저감, 첨단수자원, 그린IT, 그린차량·선박, 첨단그린주택도시, 신소재, 청정생산, 친환경농식품, 환경보호 및 보전)로 구분되어 있다. 각 분야별 중분류·소분류·핵심(요소)기술·기술수준이 제시되어 있다.

신청자는 11개의 평가기관(한국산업기술평가관리원, 한국에너지기술평가원, 기술보증기금, 한국산업기술진흥협회, 한국방송통신전파진흥원, 한국문화관광연구원, 한국콘텐츠진흥원, 농림수산물기술기획평가원, 한국환경산업기술원, 국토교통과학기술진흥원, 한국해양과학기술진흥원) 중에 원하는 평가기관을 선택하고 양식에 따른 신청서와 구비서류를 온라인으로 제출하면 신청이 완료된다. 이에 따라 사무국은 선택된 평가기관에 평가의뢰를 하고 각

평가기관은 신청서 검토의 절차부터 평가절차를 실시한다. 신청서 검토가 완료되면 평가기관은 해당 기술분야의 평가위원을 구성하게 되며, 신청 기술이 적용되어 있는 현장 혹은 공장으로 평가위원과 방문하여 현장평가를 실시하며 현장평가시에 확인항목은 신청기술의 확인, 신청기술의 활용방법, 사업화 기반, 신청 기술을 적용한 제품 생산, 기타 증빙서류 등이다. 평가기관의 간사는 현장평가이후 서류 평가위원을 선정하고 서류평가를 개최하며, 인증기준은 기술우수성 60점, 녹색성 40점으로 총 100점의 70점 이상인 경우이다. 기술우수성은 신청기술의 기술수준(20점), 기술목표의 구체성, 명확성(10점), 기술의 혁신성과 차별성(10점), 사업화 계획의 타당성 및 기술적 파급효과(20점)이며, 녹색성은 단일지표항목으로 에너지자원 활용의 효율성, 절약성, 녹색성장기여도 등으로 평가한다.


 **녹색기술 현장평가표**

검수번호	신청자
기술의 명칭	평가일자 20
평가 장소	분류번호

평가 항목	평가 의견
1. 신청 기술의 확인 신청자가 신청 기술을 실제로 보유하고 있는가?	
2. 신청 기술의 활용방법 신청자가 신청 기술을 어떻게 활용하고 있는가?	* 해당되는 경우 "해당없음"으로 표기
3. 사업화 기반 신청자가 신청 기술 개발에 기술한대로 사업화할 수 있는 기반을 갖추고 있는가?	* 해당되는 경우 "해당없음"으로 표기
4. 신청 기술을 적용한 제품 생산 신청자가 신청 기술을 적용한 제품을 실제로 생산하고 있는가?	* 해당되는 경우 "해당없음"으로 표기
5. 기타 확인 사항 중복서부 보유여부 등	* 해당되는 경우 "해당없음"으로 표기

현장평가 총합의견	
-----------	--

Figure 2. Assessment of field evaluation

 **녹색기술 서류평가표**

검수번호	신청자	분류번호
기술의 명칭	평가일자 20	

기술수준
 만족 불만족 * 기술수준을 만족하는 경우만 심의 대상으로 함

평가 항목	평가 지표	평가 점	
1. 기술 우수성 (60점)	신청기술의 기술수준(20점)	0 5 10 15 20	
	기술목표의 구체성 및 명확성 (10점)	기술목표의 구체성(5점)	1 2 3 4 5
		기술의 명확성(5점)	1 2 3 4 5
	기술의 혁신성(10점)	기술의 혁신성(5점)	1 2 3 4 5
		기술의 차별성(5점)	<input type="checkbox"/> 예(8점) <input type="checkbox"/> 아-나(0점)
	사업화 계획의 타당성 및 기술적 파급효과(30점)	기술의 관리성(20점)	<input type="checkbox"/> 예(2점) <input type="checkbox"/> 아-나(0점)
사업화 계획의 타당성(10점)		2 4 6 8 10	
기술적 파급효과(30점)		2 4 6 8 10	
기술 우수성 총점			
2. 녹색성 (40점)	에너지자원 활용의 효율성과 절약성 등	0 10 20 30 40	
	녹색성장기여도(온실가스·오염물질 배출 최소화) 등		
녹색성 총점			

평가 의견	평가점수
	점

평가위원	성명	서명
------	----	----

Figure 3. Assessment of document

녹색기술인증 이외에 녹색기술제품 확인은 인증된 녹색기술을 적용한 제품으로 판매를 목적으로 상용화한 제품을 대상으로 녹색기술 인증 확인, 제품생산 가능여부, 품질 경영, 제품 성능을 모두 만족하는 경우 인증서(확인서)가 발급되고 있으며, 서류평가는 개최하지 않고 현장평가만 진행한다.

녹색사업 인증은 녹색성장과 관련하여 경제적, 기술적 파급효과가 큰 사업인 9대 분야로 구분하여 환경기대효과 50점, 녹색기술 활용성 30점, 정책 적합성 20점으로 70점 이상이면 인증서를 발급하며, 평가절차는 녹색기술인증과 동일하다.

녹색전문기업 확인의 경우 전년도 총 매출액에서 인증 받은 녹색기술에 의한 매출이 20% 이상인 기업에 한하여 발급되고 있다.



Figure 4. Signature of Green Certification



Figure 5. Emblem of Green Certification

2.1.3 녹색인증의 한계

인증제도 최초로 8개 부처 통합 운영을 도입한 녹색인증제도는 도입만 5년이 지나고 있다. 현재, 인증혜택의 증가로 신청이 증가하는 추세를 보이고 있으며 우리나라 산업계 전반의 인증제도로 자리를 잡았다.

산업계 전반을 포함하는 인증대상 분야 및 기술수준은 1903개의 핵심(요소)기술을 포함하고 있으며, 2015년도 기준 총 3,016개의 기술이 녹색기술 인증을 신청하였고 2,330개의 인증서가 발급되었으며 686개의 기술이 부적합 처리되었다. 각 부처별로 자체 운영하고 있는 타 인증제도에 비해 인증절차가 비교적 간단하고 신청수수료가 저렴한 장점을 갖는 녹색인증제도는 각 부처 통합운영으로 다양하고 폭넓은 산업계 전반을 포괄하며 매년 인증혜택의 증가 등으로 산업계에서 호의적인 반응을 보이고 있다. 하지만 평가지표인 녹색성은 단일지표 항목으로 40점이 배점되

어있으나 온실가스 감축을 평가하는 지표로 정량적이고 객관적인 방법으로 표현하기 다소 어렵다. 신청자는 어떻게 제시해야하는지, 평가자는 어떻게 평가해야하는지, 사용자는 얼마만큼의 효과를 인정하고 어떻게 적용해야하는지에 대하여 끊임없는 논의가 이루어지고 있다. 이에 따라 녹색성을 평가하기 위한 객관적이고 정량적인 지표가 필요하며 녹색인증기술이 기존기술에 비해 실제 온실가스 감축에 얼마만큼의 영향을 미치는냐가 새로운 논의 대상이다.

이에 본 연구는 녹색인증기술이 기존기술에 비해 실제 온실가스 감축에 효과가 있는지 파악하기 위해 LCA 평가기법을 활용하여 환경영향 범주를 산정하고, 이를 녹색성의 평가 지표로 활용가능한지 고찰하고자 한다.

2.1.4 분야별 녹색인증 기술

현재까지 유효기간 이내의 녹색기술은 총 907개이며, 각 대분류별 중 분류, 소분류, 기술수준 및 녹색인증기술의 개수는 Table 1. 과 같다.

Table 1. Valid Certification in Green Certification

Certification Fields	Group	Sub-group	Technologies	Number of Valid Certification
01 Renewable Energy	9	51	238	62
02 Carbon Reduction	10	69	269	158
03 High-Tech Water Resources	9	35	152	58
04 Green IT	15	71	424	127
05 Green Vehiclesā Ships	8	24	205	28
06 High-Tech Green House / City	4	18	100	57
07 Advanced Materials	14	52	165	29
08 Clean Production	4	11	116	33
09 Eco-Friendly Agricultural And Fishery Food	6	23	113	23
10 Environmental Protection and Preservation	8	33	121	332

2.2 전과정평가의 개요

2.2.1 전과정 평가의 배경 및 정의

오늘날의 환경오염은 특정 오염을 일으키는 어느 한 부분에만 국한되는 것이 아닌 산업계 전반, 소비 생활, 자원 소비, 에너지 사용, 폐기물 처리 등 총체적인 단계에 걸쳐 발생한다. 이러한 환경오염을 감소시키기 위해서는 다양한 형태의 환경적 부하를 발생시키는 상보적인(trade-off) 효과를 고려해야한다. 따라서 생산단계, 운영단계, 폐기단계의 전 과정에서 발생하는 각종 환경오염부하를 파악하는 도구로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 등장하게 된다.

전과정평가의 정의는 많은 문헌에서 정의를 내리고 있으나 기본적인 개념은 유사하다. “시스템의 전과정에 걸쳐 입력과 출력의 목록을 수립하고 그 입력과 출력에 대한 정성적, 정량적 평가를 수행하여, 연구의 목적과 관련된 시스템의 가장 중요한 측면들을 파악하기 위하여 하나의 제품이나 화물에 관련된 환경적인 영향을 평가하기 위한 체계적 도구”로 ISO는 정의하고 있다. 전과정평가는 환경적으로 건전하고 지속 가능한 발전을 실현하기 위하여 제품 등의 원료·자원 채취, 제조, 수송·유통, 사용·소비, 폐기의 전 과정에 걸쳐 투입되는 자원·에너지소비, 배출되는 오염물질을 목록화하고 이에 따른 환경오염부하를 최소화시키고 개선 방안을 모색하기 위한 도구(tool)로 사용된다. 즉, 전과정평가는 정의된 시스템의 전과정에 관련된 투입물과 산출물의 목록을 취합하여 처리하고, 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 잠재적 환경영향들을 평가하며 두 과정을 통해 얻은 결과를 연구의 목적에 맞게 해석함으로써 제품이나 서비스와 관련된 환경적 영향과 잠재적 영향을 평가하는 기술이다.

2.2.2 전과정 평가의 목적

어떤 제품, 공정, 활동 등의 ‘요람에서 무덤까지(from the cradle to the grave)’를 고려하여, 사용된 물질 및 에너지, 환경에 배출된 오염물질들을 규명하고 정량화하여 지구온난화 및 자원고갈 등과 같은 지구환경에 얼마만큼 영향을 미치는지를 평가하여 환경 개선을 위한 기회를 찾아 평가하기 위함이다.

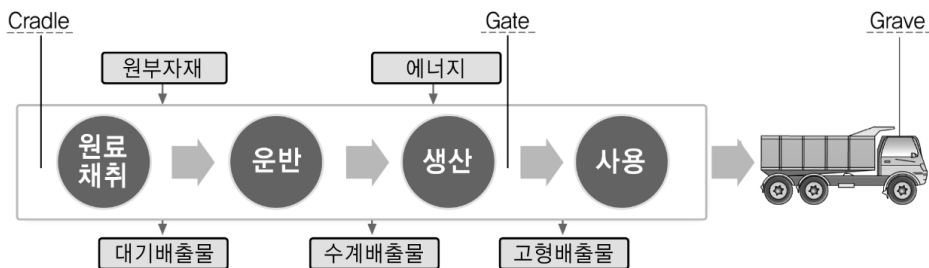


Figure 6. Life Cycle Impact Assessment Outline

2.2.3 전과정 평가의 방법론

하나의 제품, 공정 혹은 활동의 전과정은 대체적으로 원료채취, 운반, 제조(생산), 사용·재사용·유지, 폐기·재활용의 단계로 구성된다. 이러한 단계들에 대해 원료, 첨가물, 에너지 등의 투입과 생산품, 부산물, 폐기물 등의 출력을 분석하여 환경오염 및 자원소비량을 파악하는 것이 전과정 평가의 기본적인 접근방법이다. 원칙적으로는 전과정평가에서 시스템의 경계는 대상의 모든 전과정을 포함하여야 하나, 목적에 따라 주요 단계나 주요 항목만을 분석하기도 한다.

전과정평가는 일반적으로 4가지 단계로 나누어 진행한다. 각 단계는 상호 보완적인 유기적 관계를 가지고 있으며, 각 단계는 피드백(feed-back)이 이루어지기도 하여 전과정평가의 정밀도를 높이기도 한다.

- 1단계 : 목적 및 범위설정(Goal and Scope Definition)

시스템의 경계, 범위 설정의 단계이다. 전과정평가는 사용하고자 하는 목적에 따라 분석방법, 결과 등이 달라지기 때문에 목적 및 범위설정을 명확히 해야 한다. 연구의 대상 시스템 결정, 시스템 경계 설정, 기능 및 단위 설정, 선정된 영향 범주와 영향평가 방법론, 데이터 품질 요건, 제한사항 및 가정 등으로 구성되며, 평가되는 대상 제품 혹은 서비스의 주요한 기능을 기술하기 위하여 종량적인 단위인 기능단위를 설정하는 것이 필요하며, 이 방법에 따라 최종적인 결과가 달라질 수 있기 때문에 그 결정은 신중하게 이루어져야 한다.

- 2단계 : 목록분석(Inventory Analysis)

제품의 원료, 자원 채취, 제조, 유통 및 수송, 사용 및 소비, 폐기 등의 단계별 부하를 조사하고 목록화하는 단계로, 자료의 수집에서 어떠한 환경부하에 대한 평가인가를 결정하고 자료수집을 해야 한다.

데이터 수집을 위한 단위공정(Unit Process)을 결정하고 공정도(Process Tree)를 작성하여 데이터 수집이 가능한지 파악한다. 만약 데이터 수집이 어려운 경우 1단계의 목적 및 범위단계를 수정하고 가정을 재 설정해야한다.

목록분석 단계에서 전체 시스템의 자원 채취부터 폐기 단계까지를 고려해야 가장 이상적이라고 할 수 있으나 현실적으로 많은 제약이 있기 때문에 분석하고자 하는 대상 시스템의 경계를 설정하여 가능한 범위 내에서 자료를 수집한다.

또한 어떠한 환경부하에 대한 평가인지에 따라 자료수집이 달라지며, 환경부하 항목은 원료, 에너지, 대기 및 수계 배출물, 폐기물 등과 같은 범주(Category)로 구분될 수 있다.

- 3단계 : 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)

도출된 자료를 해석하여 특정한 환경영향 범주와 특정한 목록의 연계

를 통하여 환경부하의 정도를 평가하는 단계이며, 목록분석 결과를 통해 잠재적인 환경영향 평가를 하는 것이 목적이다. 환경에 미치는 영향 정도를 정량적이고 정성적으로 산정하여 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가한다.

LCIA는 전과정평가의 1단계의 목적 및 범위단계와의 부합성을 고려해야 하며, 만약 목적을 달성하기 어려운 경우는 목적 및 범위단계를 수정하는 반복적인 과정이 필요하다.

수행절차는 의무요소인 분류화(Classification), 특성화(Characterization)와 선택요소인 정규화(Normalization), 가중화(Weighting)의 단계를 걸쳐 평가하며, 개략적인 과정은 Figure 7. 과 같다.

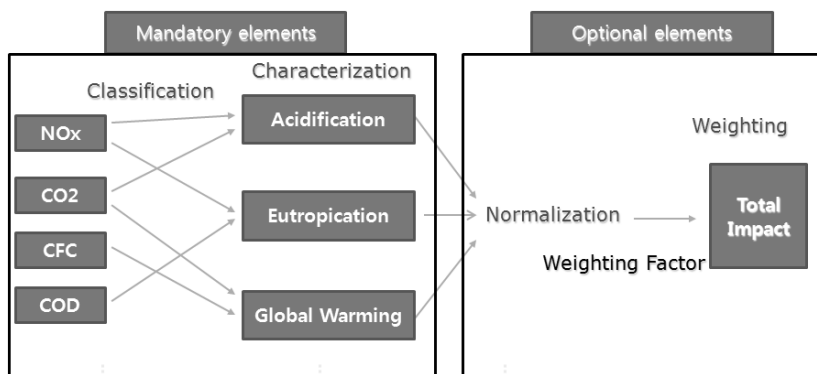


Figure 7. Life Cycle Impact Assessment Procedures

분류화(Classification)는 목록분석의 항목들이 어떠한 환경영향범주와 연결되는지를 파악하고 연결된 항목을 취합하는 과정으로 수행된다.

특성화(Characterization)는 분류화 단계에서 각 영향범주로 나누어진 지원, 배출물 등이 각 영향범주에 미치는 영향을 정량화하여 특정 영향범주에 속하는 모든 항목들의 영향을 합산하여 나타낸다. 합산은 일반적으로 지구 환경에 크게 기여하는 물질을 기준으로 이를 정량화하여 나타낸다. 각 영향범주의 목록항목들의 영향 합산은 아래 계산식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_i = \sum C_{i,j} = \sum M_j \cdot E_{ij}$$

여기서,

j = 목록항목, i = 영향범주

M = 목록항목 j 의 환경부하량, g/f.u

E = i 라는 영향범주에 속한 목록항목 j 의 상응인자 값, equivalency factor, g-eq/g

C_{ij} = 목록항목 j 가 영향범주 i 에 미치는 영향의 크기

C_i = 특성화 결과 = 특정 영향범주 i 로 분류된 모든 목록항목들이 소속된 영향범주에 미치는 영향의 크기

일반적으로 환경영향 범주는 자원고갈(Abiotic resource depletion, ARD), 지구온난화(Global Warming, GW), 오존층고갈(Ozone Depletion, OD), 산성화(Acidification, AC), 부영양화(Eutrophication, EU), 광화학적 산화물 생성(Photochemical Oxidant Creation, POC), 생태독성(Eco Toxicity, ET), 인체독성(Human Toxicity, HT) 등이며, 본 연구에서는 국내 환경성적표지 제도에서 사용되고 있는 6대 지표 및 특성화 팩터(factor)를 사용하였으며 다음의 Table 2.에 기준물질 및 참고문헌을 나타내었다.

Table 2. The Reference of Characterization DB

Impact Category	Reference material	Reference
Resource depletion	Sb	Reserve-to-use base value of Guinee & Heijungs(1995)
Global warming	CO ₂	100 year base value of IPCC 3rd report(2001)
Ozone depletion	CFC-11	World Meteorological Organization (1998)
Acidification	SO ₂	Hauschild & Wenzel(1998)
Eutrophication	PO ₄ ³⁻	Heijungs et al (1998)
Photochemical oxidant creation	C ₂ H ₄	Jenkin & Heyman(1999)

정규화(Normalization)는 기능단위가 영향범주에 미치는 환경영향을 일정 기간, 일정 지역의 영향범주에 기여하는 총 환경영향으로 나누어 환경영향 범주 간의 상대적 비교를 하는 단계이다.

정규화 결과는 의사결정을 위한 과정으로 정규화 기준(Normalization reference)에 따라 결과와 해석이 모두 달라질 수 있으므로 전과정평가의 선택항목이며, 수식은 다음과 같다.

$$Ni = Ci / NRij$$

여기서,

j = 목록항목, i = 영향범주

Ni = 정규화 결과

Ci = 특성화 결과

NR = 정규화 기준

가중화(Weighting)는 사회·정치적인 특성을 고려하여 환경영향범주 간의 중요도를 결정하는 단계로 정규화 결과와 가중화 인자를 이용하여 계산한다.

가중화 인자를 결정하는 방법으로는 전문가와 패널 간의 토론·의견수렴을 통한 Delphi-like 방법과 환경 목표의 달성 가능성을 기준으로 결정하는 Distance to Target 등이 있다. 수식은 다음과 같다.

$$TEIi = \sum(Ni * WFi)$$

여기서,

TEI = 총 환경지수,

Ni = 정규화 결과,

WF = 가중화 인자

- 4단계 : 전과정 해석

각 범주별 환경 영향 수치를 정리하고 이를 최종적인 평가 결과에 기초하여 제품의 종합평가나 개선방법 등에 대하여 검토하는 단계이다.

비교하고자 하는 시스템이 모든 범주에서 우세하다면 결과 도출이 비교적 간단하지만, 항목별로 차이가 나는 경우에는 평가 실시단체 등의 주관적인 판단이 크게 작용할 수 있다.

2.2.3 전과정 평가 프로그램

환경부에서 국내 전과정 평가, 환경성적표지 인증 등을 위해 기업 및 일반인들의 편의를 돕기 위하여 2003년 프로그램 개발에 착수하여 2005년 LCA 소프트웨어(Tool for TypeIII Labelling and LCA, TOTAL)를 개발하였으며, 현재 5.0.1버전까지 제공하고 있다. 이 프로그램은 국내·외 LCI 데이터베이스와 환경부, 산업통상자원부 등의 부처별 데이터베이스 간의 호환이 가능한 프로그램이다.

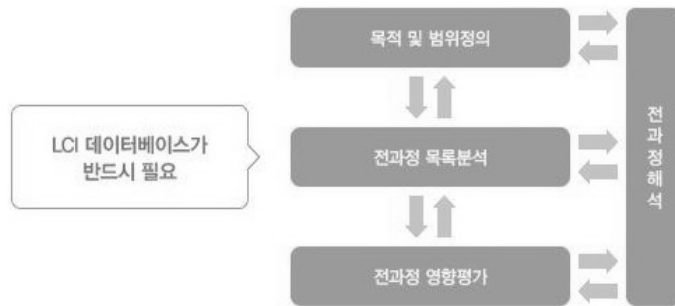


Figure 8. Outline of TOTAL program

[출처 : 탄소(환경)성적표지, Retrieved May 16, 2016, from <http://www.edp.or.kr/lci/total.asp>]

사용자가 목적 및 범위설정 단계를 통하여 분석하고자하는 시스템을 설정하여 개요도를 작성하고 입력하게 되며, 프로그램에서는 설정된 LCI 데이터베이스 정보망을 통한 전과정 목록분석을 프로그램에서 수행하게 된다. 제품 시스템의 전과정에 관련된 투입물과 산출물을 규명하고 정량화하게 되며 이

단계에서 LCI 데이터 베이스가 필수적이다. LCI 데이터베이스 정보망은 국가 기반산업 및 기초소재, 수송, 공정, 폐기 등 산업전반에 걸쳐 구축한 LCI 데이터 베이스 네트워크로 ISO 14044의 절차에 따라 개발한 국가 LCI DB를 체계적으로 관리·운영하여 사용자들이 사용할 수 있도록 한다.

LCI 데이터베이스는 제품 1단위(기능단위당)의 생산에 필요한 원자재의 채취 및 소재/부품가공, 수송, 제품사용, 폐기(제품 시스템 전과정)까지의 제품 시스템으로 투입되는 자원(환경에서 채취한 자원, 에너지, 광물 포함)의 양과 제품시스템에서 환경으로 버려지는 배출물(대기, 수계)과 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터이며, LCI 데이터베이스 내의 에너지자원과 광물자원 등은 자원소모 등과 같은 환경영향을 산출하는데 사용되며, 대기배출물은 지구온난화, 오존층감소, 산성화, 광화학적 산화물형성 등의 환경영향을, 수계배출물은 부영양화에 대한 환경영향을 산출하는데 활용한다. LCI 데이터 베이스 개발 절차 및 검증 절차는 figure 9.와 같다.



Figure 9. LCI of TOTAL Outline

[출처 : 탄소(환경)성적표지, Retrieved May 16, 2016, from http://www.edp.or.kr/lci/lci_intro01.asp]

2.4 집진공정에 대한 고찰

2.4.1 국내 집진설비시설의 운영 현황

최근 PM₁₀과 PM_{2.5}로 대표되는 미세먼지 관련법은 과거와 달리 관심 영역이 점점 더 미세한 입자 쪽으로 옮겨지고 있으며, 미세먼지가 환경에 미치는 영향이나 초미세먼지의 제어에 관한 연구가 지속적인 관심 대상이 되고 있다. 미세먼지의 주요 배출원 중의 하나인 석탄 화력발전소는 중요한 국가기반 시설로 여겨지고 있다.

2.4.1.1. 국내 석탄화력발전소 현황

2012년 기준으로 석탄은 1차 에너지 공급량의 29%(8,097만 8,000TOE)를 차지하고 있으며, 발전 설비 용량은 2014년 기준 29%(2만 6,273.6MW)를 차지한 것으로 조사되었다. 에너지원별로는 전체 발전량의 39%(20만 3,196GWh)를 생산하며, 국내에 총 53기의 석탄화력발전소가 운영되는 결과이다. 그 중 무연탄 설비는 6기로 설비 용량은 총 1,125MW이고, 나머지 47기는 유연탄 설비로 2만 5,148.6MW 용량을 차지한다.

[출처 : 2014년 한국전력통계속보 12월(한국전력공사, 2015)]

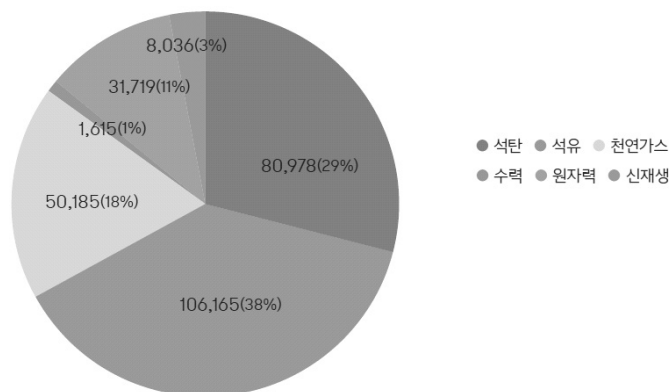


Figure 10. Supply rate of 1st Energy in 2012

[출처 : 한국 석탄화력발전의 건강 영향과 정책의 현주소(그린피스, 2015)]

2.4.1.2. 국내화력발전소 증설계획

현재 우리나라는 충청남도, 강원도, 경상남도, 전라남도, 인천지역에서 총 11기(9,764MW)의 석탄화력발전소를 건설중이며, 추가적으로 13기(1만 2,180MW)가 곧 착공·건설 계획이다. 2020년까지 총 4만 8,218MW, 77기의 석탄화력발전소가 운영될 예정이다.

[출처 : 한국 석탄화력발전의 건강 영향과 정책의 현주소(그린피스, 2015)]

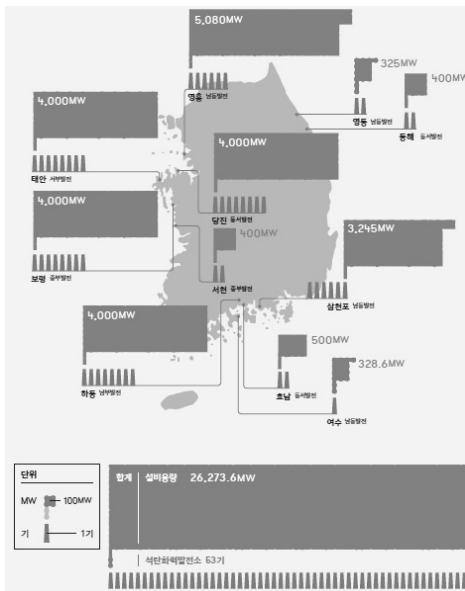


Figure 11. Current situation of coal-fired plants

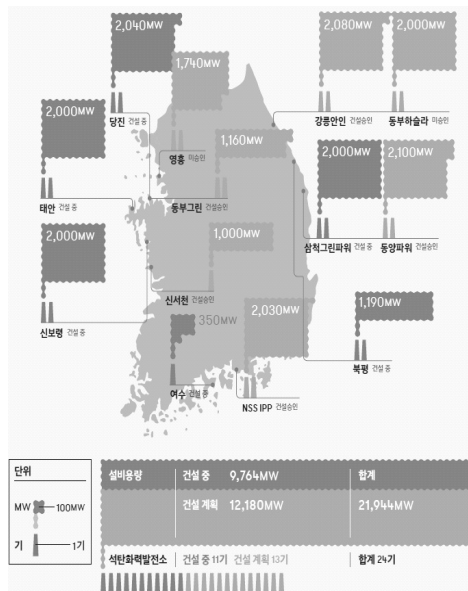


Figure 12. Plan of coal-fired plants

[출처 : 한국 석탄화력발전의 건강 영향과 정책의 현주소(그린피스, 2015)]

2.4.2 집진기술의 개요

2.4.2.1 Bag Filter

Bag Filter는 섬유 등의 여재에 의해 먼지 등의 분진 기류를 거르는 여과 집진 장치로 여재 내에 부착한 진애(塵埃)가 퇴적하여 압력 손실을 증가시키므로 일정 부하가 되면 진동, 역기류 등을 이용하여 떨어버리기

를 한다. 이때 압력 손실을 150mmAq 이하로 억제하도록 한다. 떨어버리기에는 간헐식과 연속식으로 두가지 방식이 있으며, 간헐식은 여러 개의 여재 중 하나씩 처리하는 방식이고 연속식은 처리 분진기류 차단을 하지 않고 일부 거름천을 떨어뜨려 연속해서 떨어버리기를 하는 방식이다. (고온 가스에는 적합하지 않지만) 통풍 면적이 넓어서 집진 효과가 높다.

2.4.2.3 Cy-Bag Filter

Cy-Bag Filter(원심여과집진장치)는 기존의 원심 집진장치와 여과 집진장치를 직렬로 배치하던 방식과 달리 하부에 원심 집진부가 위치하고, 상부에 여과 집진부로 구성되어 있다. 집진장치 하부의 사이클론에서는 원심력에 의해 회전하며 수분 및 입자 크기가 상대적으로 큰 조대(粗大) 먼지를 1차로 제거하고, 상부에 설치된 여과 필터로 미세먼지를 2차로 집진하여 처리하는 공법이다. 이러한 방식으로 인하여 수분이 함유된 분진이나 점착성 분진을 제거할 수 있으며 필터의 압력부하를 감소시켜 필터의 수명 향상을 기대할 수 있다.

3. 연구 방법

3.1 연구 대상 설정

본 장에서는 국내N발전소의 H화력발전본부에서 가동 중인 Bag filter와 Cy-Bag filter를 대상으로 전과정평가를 수행하였다. 본 장의 연구 목적은 두 기술의 환경영향범주별 부하량을 전과정평가 기법을 통하여 산출하고 집진 공정으로 인한 다른계로의 오염물질로의 전환을 파악하여 각 공정이 갖고 있는 잠재적인 환경영향을 파악하고자 하였다.

일반적인 LCA 분석에서 정규화, 가중화 단계까지 포함하지만, 본 연구의 목적은 국가기반시설인 집진시설의 녹색성 지표로써의 활용가능한 객관적인 지표를 도출해내는데 있으므로 객관성을 확보 할 수 있는 특성화 결과를 최종 결과 값으로 결정하였다.

3.2 전과정평가 분석 방법

3.2.1 작성지침 설정

(1) 기능 및 기능단위 설정

Bag filter와 Cy-bag filter의 주요기능은 먼지 집진 기능으로 설정하였고, 기능단위는 1일당 공기 1m³를 처리하는 것으로 정의하였다.

(2) 시스템경계 설정

본 연구의 목적은 각 공정별 녹색성을 비교하고자 함에 따라 시스템경계는 두 공정 모두 분진 기류인 먼지의 유입부터 배출까지인 운전단계로 설정하였다.

(3) 할당

본 연구에서는 두 공정 모두 단위 공정을 전단부터 후단까지를 하나의 처리공정으로 고려하였기 때문에 공정별 할당은 적용하지 않았다.

(4) 데이터 품질 요건 설정

데이터의 품질은 전과정평가의 목적이 무엇인가에 따라 결정되는 중요한 인자이다. 데이터의 특성은 시간적, 지역적, 기술적 특성 등으로 구분할 수 있으며 본 연구에서는 현재 기술수준에 맞는 데이터의 사용에 중점을 두어 시간적 특성은 2010년의 운전 데이터를 사용하였고, 지역적 특성은 국내로 설정하여 데이터 품질에 객관성을 확보하였다. 기술계와 연결되는 상·하위 데이터베이스는 우리나라의 산업통상자원부와 환경부의 데이터베이스를 활용하였다.

(5) 제한사항 및 가정

본 연구에서의 가정은 첫째로, 집진설비의 운전기간을 10년으로 설정하였다. 이는 일반적인 집진설비의 운전기간을 10년~15년임을 고려하였다.

둘째로, 일반적인 집진설비의 경우 4시간 운전, 4시간 휴지임을 고려하여 하루 집진 설비의 운전시간은 12시간으로 설정하였다.

셋째로, 전과정평가 수행시 운송을 포함하는 것이 일반적이나 두 집진설비의 운전단계에 대한 공법을 비교하는데 있어 동일한 화력발전소인 지역적 특성을 반영하여 운송에 대한 데이터는 생략하였다.

넷째로, 두 집진 설비 모두 국내 대기환경보전법 시행규칙 [별표 8] 대기오염물질의 배출허용기준을 만족하므로 집진효율, 배출 물질 등은 고려하지 않았다.

다섯째로, 집진기의 여과포 재질은 PE로 재질은 같으나 모양과 무게가 차이가 있으며 현재 여과포에 대한 국가 데이터베이스가 구축되지 않았으므로, 각 설비별로 사용되는 여과포의 무게와 모양을 고려하였으며, 상위흐름을

제조·생산 공정과 폐기 공정으로 연결하여 설비별 여과포 생산 공정에 대한 최선의 접근을 시도하였다.

3.3 전과정 목록분석

3.3.1 데이터 수집 및 처리

본 연구에서는 Bag filter와 Cy-bag filter에 대한 운전단계 데이터를 수집하기 위하여 실제 화력발전소를 방문하여 데이터를 확보하였다.

3.3.2 목록분석 수행

수집된 데이터는 물질수지, 에너지 수지 등에 대한 검증을 통해 기능단위에 의한 계산을 수행하였고 Gate to Gate 데이터를 작성하였다. 또한 친환경상품진흥원에서 개발한 소프트웨어(TOTAL Ver.5.0.1)를 활용하여 Gate to Gate 데이터와 상·하위흐름 데이터베이스(국내 산업통상자원부 및 환경부 데이터베이스)를 연결하여 전과정목록을 분석하였다. Table 3.와 Table 4.에 집진공정을 1m^3 기준흐름으로 환산하여 Gate to Gate 데이터를 나타내었다.

Table 3. GtoG Input of Bag filter/Cy-bag filter process in this study

Input	Unit	Bag filter	Cy-bag filter
Air	m^3	1.000E+00	1.000E+00
Electricity	kWh	7.058E-04	4.950E-04
Polyethylene(PE)	kg	1.792E-06	1.233E-07

Table 4. GtoG Output of Bag filter/Cy-bag filter process in this study

Output	Unit	Bag filter	Cy-bag filter
Air	m^3	1.000E+00	1.000E+00
Polyethylene(PE)	kg	1.792E-06	1.233E-07

4. 결과

4.1 전과정평가 목록분석 결과

3장에서는 전과정평가 목록분석을 수행하였고, Table 5와 Table 6.에 LCI 결과를 나타내었다.

Table 5. Results of LCI in Bag filter process

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	자원	air	m3	1.00E+00
투입물	자원	air	kg	4.00E-07
투입물	자원	aluminium(Al)	kg	1.22E-09
투입물	자원	ancillary material(unspecified)	kg	1.39E-09
투입물	자원	barium(Ba)	kg	2.90E-13
투입물	자원	baryte(BaSO4)	kg	2.90E-10
투입물	자원	bentonite	kg	1.87E-11
투입물	자원	calcium carbonate(CaCO3)	kg	2.54E-42
투입물	자원	calcium fluoride(CaF2)	kg	1.38E-13
투입물	자원	calcium sulfate(CaSO4)	kg	5.08E-14
투입물	자원	carbon(C)	kg	2.31E-14
투입물	자원	chromium(Cr)	kg	5.57E-17
투입물	자원	clay	kg	3.57E-11
투입물	자원	copper(Cu)	kg	1.29E-15
투입물	자원	crude oil	kg	6.98E-06
투입물	자원	dolomite(CaMg(CO3))	kg	8.77E-13
투입물	자원	ethanol amine	kg	1.36E-21
투입물	자원	feldspar	kg	3.04E-48
투입물	자원	ferro manganese(Fe-Mn)	kg	2.02E-16
투입물	자원	ferrous sulfate(FeSO4)	kg	3.15E-18
투입물	자원	fluorspar(CaF2)	kg	8.34E-17
투입물	자원	fossil energy	kg	1.32E-12

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	자원	granite	kg	4.61E-20
투입물	자원	gravel	kg	6.93E-12
투입물	자원	hard coal	kg	3.48E-05
투입물	자원	industrial waste	m3	2.13E-10
투입물	자원	iron ore	kg	3.12E-12
투입물	자원	iron(Fe)	kg	9.88E-12
투입물	자원	kaolin	kg	8.95E-15
투입물	자원	lead ore	kg	2.86E-16
투입물	자원	lead(Pb)	kg	1.33E-15
투입물	자원	limestone	kg	9.90E-11
투입물	자원	manganese ore	kg	3.25E-17
투입물	자원	natural gas	kg	4.60E-06
투입물	자원	nickel ore	kg	1.89E-17
투입물	자원	nickel(Ni)	kg	9.49E-17
투입물	자원	nitrogen(N2)	kg	2.28E-12
투입물	자원	olivine	kg	2.47E-16
투입물	자원	olivine	kg	1.67E-15
투입물	자원	oxygen(O2)	kg	3.71E-15
투입물	자원	peat	kg	8.40E-16
투입물	자원	phosphate(PO4 ³⁻)	kg	2.49E-11
투입물	자원	phosphorus oxide(P2O5)	kg	1.28E-18
투입물	자원	potassium chloride(KCl)	kg	2.71E-19
투입물	자원	pyrite ore	kg	4.65E-13
투입물	자원	raffinate	kg	1.74E-18
투입물	자원	sand(SiO2)	kg	1.30E-11
투입물	자원	shale	kg	3.19E-16
투입물	자원	silver(Ag)	kg	1.41E-18
투입물	자원	sodium chloride(NaCl)	kg	4.33E-09
투입물	자원	sodium(Na)	kg	5.98E-14
투입물	자원	soft coal	kg	2.03E-10
투입물	자원	sulfur(S)	kg	6.79E-11
투입물	자원	titanium dioxide(TiO2)	kg	3.65E-42
투입물	자원	uranium(U)	kg	2.44E-09

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	자원	water(unspecified)	kg	3.96E-05
투입물	자원	wood	kg	5.65E-10
투입물	자원	zinc ore	kg	1.88E-15
투입물	자원	zinc(Zn)	kg	1.24E-15
투입물	원/부자재	1-amino-2-propanol	kg	8.15E-23
투입물	원/부자재	aluminum sulfate(Al ₂ (SO ₄) ₃)	kg	4.58E-14
투입물	원/부자재	ammonia(NH ₃)	kg	3.01E-16
투입물	원/부자재	ammonium hydroxide(H ₅ NO)	kg	6.08E-15
투입물	원/부자재	ancillary material(unspecified)	kg	1.00E-06
투입물	원/부자재	barium chloride(BaCl ₂)	kg	5.13E-13
투입물	원/부자재	calcium hypochlorite(Ca(OCl) ₂)	kg	1.22E-21
투입물	원/부자재	cellulose((C ₆ H ₁₀ O ₅) _n)	kg	1.03E-18
투입물	원/부자재	cyclohexyl amine	kg	8.03E-23
투입물	원/부자재	ethylene glycol	kg	2.46E-19
투입물	원/부자재	ferric chloride(FeCl ₃)	kg	8.83E-15
투입물	원/부자재	ferrous sulfate(FeSO ₄)	kg	2.01E-18
투입물	원/부자재	hydrazine(H ₄ N ₂)	kg	9.31E-17
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(HCl)	kg	2.18E-11
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(Hcl,12.5%)	kg	8.94E-14
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(HCl,35%)	kg	1.56E-12
투입물	원/부자재	hydrogen peroxide(H ₂ O ₂)	kg	6.78E-14
투입물	원/부자재	magnesium hydroxide(H ₂ MgO ₂)	kg	6.23E-15
투입물	원/부자재	poly aluminium chloride(PAC)	kg	1.94E-24
투입물	원/부자재	potassium chloride(KCl)	kg	4.65E-14
투입물	원/부자재	potassium hydroxide(KOH)	kg	4.96E-19
투입물	원/부자재	raffinate	kg	2.85E-12
투입물	원/부자재	sodium carbonate(Na ₂ CO ₃)	kg	2.93E-12
투입물	원/부자재	sodium hydrogensulfite	kg	5.03E-15
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH)	kg	7.74E-15
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH,32%)	kg	2.38E-16
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH,50%)	kg	2.42E-11
투입물	원/부자재	sodium metaphosphate(NaPO ₃)	kg	5.82E-16
투입물	원/부자재	sodium pyrosulphite	kg	8.56E-16

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	원/부자재	sodium sulfate(Na2SO4)	kg	1.31E-13
투입물	원/부자재	sodium sulfite(Na2SO3)	kg	3.67E-13
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,55%)	kg	8.33E-21
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,6%)	kg	6.13E-16
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,96%)	kg	1.72E-13
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO4)	kg	6.43E-14
투입물	원/부자재	Sulfuric acid(H2SO4,98%)	kg	1.91E-13
투입물	원/부자재	tetra butyl merchaptan	kg	1.51E-17
투입물	원/부자재	tetrachloroethylene	kg	2.17E-19
투입물	원/부자재	tetrahydrothiophene	kg	3.52E-17
투입물	에너지	energy(unspecified)	kg	1.38E-08
산출물	제품/부산물	air	m3	1.00E+00
산출물	대기배출물	acetaldehyde	kg	3.02E-11
산출물	대기배출물	acetic acid	kg	1.89E-19
산출물	대기배출물	acetone	kg	1.23E-15
산출물	대기배출물	acetylene	kg	8.72E-19
산출물	대기배출물	air	kg	1.46E-09
산출물	대기배출물	air emission(unspecified)	kg	1.30E-06
산출물	대기배출물	aldehydes	kg	2.05E-16
산출물	대기배출물	alkanes	kg	2.82E-12
산출물	대기배출물	alkenes	kg	7.71E-14
산출물	대기배출물	alkynes	kg	4.74E-19
산출물	대기배출물	aluminium(Al)	kg	3.66E-17
산출물	대기배출물	ammonia(NH3)	kg	2.22E-10
산출물	대기배출물	ammonium nitrate(NH4NO3)	kg	4.10E-20
산출물	대기배출물	antimony(Sb)	kg	6.80E-19
산출물	대기배출물	AOX	kg	1.40E-29
산출물	대기배출물	aromatic matter	kg	4.30E-13
산출물	대기배출물	arsenic(As)	kg	4.08E-16
산출물	대기배출물	barium(Ba)	kg	1.78E-13
산출물	대기배출물	benzaldehyde	kg	8.54E-23
산출물	대기배출물	benzene	kg	8.82E-14
산출물	대기배출물	benzo[a]pyrene	kg	4.06E-17

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	beryllium(Be)	kg	1.95E-19
산출물	대기배출물	boron(B)	kg	2.03E-15
산출물	대기배출물	bromine(Br)	kg	4.03E-17
산출물	대기배출물	but-1-ene	kg	1.79E-15
산출물	대기배출물	butadiene rubber	kg	1.24E-18
산출물	대기배출물	cadmium(Cd)	kg	1.70E-15
산출물	대기배출물	calcium(Ca)	kg	2.64E-15
산출물	대기배출물	carbon dioxide(CO2)	kg	9.86E-05
산출물	대기배출물	carbon disulfide(CS2)	kg	8.86E-25
산출물	대기배출물	carbon monoxide(CO)	kg	1.75E-07
산출물	대기배출물	CFC-11	kg	6.71E-18
산출물	대기배출물	CFC-114	kg	6.87E-18
산출물	대기배출물	CFC-12	kg	1.44E-18
산출물	대기배출물	CFC-13	kg	9.06E-19
산출물	대기배출물	CFCs	kg	4.41E-18
산출물	대기배출물	chloride(Cl-)	kg	3.94E-17
산출물	대기배출물	chlorinated matter	kg	3.78E-19
산출물	대기배출물	chlorine(Cl)	kg	4.13E-14
산출물	대기배출물	chromium(Cr)	kg	5.16E-16
산출물	대기배출물	coal tar	kg	5.33E-18
산출물	대기배출물	cobalt(Co)	kg	1.01E-15
산출물	대기배출물	copper(Cu)	kg	1.52E-15
산출물	대기배출물	cyanide(CN-)	kg	2.31E-19
산출물	대기배출물	dichloroethylene	kg	4.51E-25
산출물	대기배출물	dioxins(TCDD)	kg	5.07E-21
산출물	대기배출물	dissolved organic matter	kg	1.05E-12
산출물	대기배출물	dust	kg	2.17E-08
산출물	대기배출물	ethane	kg	4.18E-12
산출물	대기배출물	ethanethiol	kg	1.60E-21
산출물	대기배출물	ethanol	kg	2.45E-15
산출물	대기배출물	ethylbenzene	kg	1.73E-14
산출물	대기배출물	ethylene	kg	1.58E-09
산출물	대기배출물	exhaust	kg	1.26E-08

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	fluoride(F ⁻)	kg	1.27E-16
산출물	대기배출물	fluorine(F)	kg	2.45E-20
산출물	대기배출물	formaldehyde	kg	4.80E-15
산출물	대기배출물	halogenated matter	kg	2.81E-18
산출물	대기배출물	halon-1301	kg	5.60E-15
산출물	대기배출물	HCFC-22	kg	1.58E-18
산출물	대기배출물	heavy metals	kg	6.24E-15
산출물	대기배출물	heavy oil	kg	2.81E-09
산출물	대기배출물	helium(He)	kg	1.12E-12
산출물	대기배출물	hydrocarbons	kg	1.99E-07
산출물	대기배출물	hydrogen chloride(HCl)	kg	1.30E-12
산출물	대기배출물	hydrogen cyanide(HCN)	kg	5.72E-21
산출물	대기배출물	hydrogen fluoride(HF)	kg	9.83E-13
산출물	대기배출물	hydrogen sulfide(H ₂ S)	kg	2.88E-13
산출물	대기배출물	hydrogen(H ₂)	kg	1.45E-12
산출물	대기배출물	industrial waste	kg	7.96E-17
산출물	대기배출물	iodine(I)	kg	5.29E-19
산출물	대기배출물	iron(Fe)	kg	6.42E-15
산출물	대기배출물	lanthanide	kg	4.14E-19
산출물	대기배출물	lanthanum(La)	kg	5.30E-21
산출물	대기배출물	lead(Pb)	kg	3.46E-15
산출물	대기배출물	magnesium(Mg)	kg	1.47E-17
산출물	대기배출물	manganese(Mn)	kg	3.11E-16
산출물	대기배출물	mercury(Hg)	kg	1.96E-16
산출물	대기배출물	metals	kg	3.11E-14
산출물	대기배출물	methane	kg	7.04E-08
산출물	대기배출물	methanol	kg	4.16E-15
산출물	대기배출물	mica	kg	7.95E-17
산출물	대기배출물	molybdenum(Mo)	kg	5.01E-16
산출물	대기배출물	n-butane	kg	9.86E-13
산출물	대기배출물	n-heptane	kg	1.79E-14
산출물	대기배출물	n-hexane	kg	3.56E-14
산출물	대기배출물	nickel(Ni)	kg	3.70E-14

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	nitric acid(HNO3)	kg	6.48E-18
산출물	대기배출물	nitrogen oxides(NOx)	kg	2.40E-07
산출물	대기배출물	nitrogen(N2)	kg	8.54E-17
산출물	대기배출물	nitrous oxide(N2O)	kg	1.12E-09
산출물	대기배출물	NMVOC	kg	7.37E-10
산출물	대기배출물	n-pentane	kg	1.02E-13
산출물	대기배출물	off-gas	kg	5.34E-09
산출물	대기배출물	oil	kg	7.61E-18
산출물	대기배출물	PAHs	kg	3.45E-16
산출물	대기배출물	perfluoromethane(CF4)	kg	6.86E-20
산출물	대기배출물	phenol	kg	3.40E-13
산출물	대기배출물	phosphorus oxide(P2O5)	kg	1.01E-22
산출물	대기배출물	phosphorus(P)	kg	4.61E-19
산출물	대기배출물	potassium(K)	kg	1.50E-16
산출물	대기배출물	propane	kg	1.33E-12
산출물	대기배출물	propene	kg	3.57E-15
산출물	대기배출물	propionaldehyde	kg	2.35E-22
산출물	대기배출물	propionic acid	kg	7.65E-17
산출물	대기배출물	scandium(Sc)	kg	2.37E-19
산출물	대기배출물	selenium(Se)	kg	4.23E-16
산출물	대기배출물	sodium(Na)	kg	1.70E-14
산출물	대기배출물	strontium(Sr)	kg	7.12E-18
산출물	대기배출물	sulfur dioxide(SO2)	kg	2.80E-10
산출물	대기배출물	sulfur oxides(SOx)	kg	3.23E-07
산출물	대기배출물	sulfuric acid(H2SO4)	kg	2.19E-19
산출물	대기배출물	t-butyl acetate	kg	6.52E-15
산출물	대기배출물	thallium(Tl)	kg	1.12E-19
산출물	대기배출물	thiols	kg	2.05E-20
산출물	대기배출물	thorium(Th)	kg	3.39E-21
산출물	대기배출물	tin(Sn)	kg	1.57E-18
산출물	대기배출물	titanium(Ti)	kg	4.21E-17
산출물	대기배출물	toluene	kg	1.07E-13
산출물	대기배출물	uranium(U)	kg	3.29E-21

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	vanadium(V)	kg	8.05E-14
산출물	대기배출물	vinyl chloride	kg	3.01E-25
산출물	대기배출물	VOCs	kg	3.46E-09
산출물	대기배출물	water emission(unspecified)	kg	1.80E-21
산출물	대기배출물	xylene	kg	6.92E-14
산출물	대기배출물	zinc(Zn)	kg	2.10E-11
산출물	대기배출물	zirconium(Zr)	kg	2.52E-21
산출물	수계배출물	acid(H ⁺)	kg	4.40E-13
산출물	수계배출물	aldehydes	kg	1.58E-18
산출물	수계배출물	alkanes	kg	1.22E-13
산출물	수계배출물	alkenes	kg	1.13E-14
산출물	수계배출물	aluminium(Al)	kg	2.06E-10
산출물	수계배출물	aluminium3 +(Al ³⁺)	kg	6.82E-20
산출물	수계배출물	ammonia(NH ₃)	kg	2.06E-12
산출물	수계배출물	ammonium(NH ₄ ⁺)	kg	5.96E-11
산출물	수계배출물	ancillary material(unspecified)	kg	2.60E-15
산출물	수계배출물	AOX	kg	2.21E-15
산출물	수계배출물	aromatic matter	kg	5.31E-13
산출물	수계배출물	arsenic(As)	kg	4.27E-15
산출물	수계배출물	barium(Ba)	kg	2.62E-12
산출물	수계배출물	baryte(BaSO ₄)	kg	5.25E-14
산출물	수계배출물	benzene	kg	3.48E-13
산출물	수계배출물	beryllium(Be)	kg	2.35E-20
산출물	수계배출물	bod	kg	2.82E-10
산출물	수계배출물	boron(B)	kg	1.53E-14
산출물	수계배출물	cadmium(Cd)	kg	2.66E-13
산출물	수계배출물	calcium(Ca)	kg	3.15E-11
산출물	수계배출물	calcium ⁺⁺ (Ca ⁺⁺)	kg	3.46E-17
산출물	수계배출물	carbonate(CO ₃ ⁻⁻)	kg	4.26E-15
산출물	수계배출물	cesium(Cs)	kg	9.40E-16
산출물	수계배출물	chlorate ion(ClO ₃ ⁻)	kg	8.34E-15
산출물	수계배출물	chloride(Cl ⁻)	kg	2.60E-07
산출물	수계배출물	chlorinated matter	kg	5.29E-17

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	chlorine dioxide(ClO2)	kg	7.63E-23
산출물	수계배출물	chlorine(Cl)	kg	8.41E-16
산출물	수계배출물	chromium oxide(Cr2O3)	kg	1.55E-25
산출물	수계배출물	chromium(Cr)	kg	1.28E-11
산출물	수계배출물	chromium3+(Cr3+)	kg	1.62E-18
산출물	수계배출물	coal tar	kg	7.62E-20
산출물	수계배출물	cobalt(Co)	kg	2.40E-18
산출물	수계배출물	COD	kg	1.94E-09
산출물	수계배출물	copper(Cu)	kg	1.31E-14
산출물	수계배출물	crude oil	kg	1.25E-12
산출물	수계배출물	cyanide(CN-)	kg	4.15E-14
산출물	수계배출물	dichloroethylene	kg	9.05E-28
산출물	수계배출물	dichloromethane	kg	2.56E-17
산출물	수계배출물	dissolved inorganic matter	kg	8.66E-15
산출물	수계배출물	dissolved organic matter	kg	1.69E-14
산출물	수계배출물	dissolved solids	kg	6.24E-07
산출물	수계배출물	ethylbenzene	kg	6.37E-14
산출물	수계배출물	fluoride(F-)	kg	1.44E-10
산출물	수계배출물	fluorine(F)	kg	1.50E-15
산출물	수계배출물	formaldehyde	kg	1.14E-22
산출물	수계배출물	heavy metals	kg	1.25E-15
산출물	수계배출물	hexachloroethane	kg	1.58E-26
산출물	수계배출물	hydrocarbons	kg	1.33E-11
산출물	수계배출물	hydrogen chloride(HCl)	kg	2.04E-17
산출물	수계배출물	hydrogen chloride(Hcl,12.5%)	kg	2.69E-18
산출물	수계배출물	hydrogen fluoride(HF)	kg	7.99E-25
산출물	수계배출물	hydrogen(H2)	kg	5.27E-19
산출물	수계배출물	hypochlorite(ClO-)	kg	2.69E-18
산출물	수계배출물	industrial waste	kg	4.75E-13
산출물	수계배출물	iodine(I)	kg	9.40E-14
산출물	수계배출물	iron(Fe)	kg	5.60E-11
산출물	수계배출물	iron++(Fe++)	kg	7.55E-19
산출물	수계배출물	lead(Pb)	kg	1.04E-14

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	limestone	kg	4.94E-15
산출물	수계배출물	magnesium(Mg)	kg	8.54E-13
산출물	수계배출물	magnesium++(Mg++)	kg	1.84E-19
산출물	수계배출물	manganese(Mn)	kg	1.67E-11
산출물	수계배출물	mercury(Hg)	kg	1.99E-15
산출물	수계배출물	metal ions	kg	1.87E-12
산출물	수계배출물	metals	kg	1.61E-11
산출물	수계배출물	methanol	kg	6.13E-17
산출물	수계배출물	methyl chloride	kg	3.46E-14
산출물	수계배출물	molybdenum(Mo)	kg	4.08E-16
산출물	수계배출물	neutral salt	kg	7.49E-14
산출물	수계배출물	n-hexane	kg	8.04E-15
산출물	수계배출물	nickel(Ni)	kg	2.13E-12
산출물	수계배출물	nickel++(Ni++)	kg	2.55E-19
산출물	수계배출물	nitrate(NO ₃ ⁻)	kg	3.61E-11
산출물	수계배출물	nitrite(NO ₂ ⁻)	kg	6.67E-19
산출물	수계배출물	nitrogen(N ₂)	kg	1.18E-12
산출물	수계배출물	nitrogenous matter	kg	1.34E-10
산출물	수계배출물	oil	kg	5.19E-09
산출물	수계배출물	PAHs	kg	1.81E-13
산출물	수계배출물	phenol	kg	3.04E-12
산출물	수계배출물	phosphorous matter	kg	3.74E-12
산출물	수계배출물	phosphate(PO ₄ ³⁻)	kg	8.30E-13
산출물	수계배출물	phosphorus oxide(P ₂ O ₅)	kg	5.74E-18
산출물	수계배출물	phosphorus(P)	kg	4.07E-16
산출물	수계배출물	potassium(K)	kg	4.70E-12
산출물	수계배출물	potassium+(K ⁺)	kg	7.93E-21
산출물	수계배출물	rubidium(Rb)	kg	9.40E-15
산출물	수계배출물	sand(SiO ₂)	kg	9.23E-18
산출물	수계배출물	selenium(Se)	kg	3.94E-16
산출물	수계배출물	silver(Ag)	kg	1.59E-15
산출물	수계배출물	sodium chloride(NaCl)	kg	1.01E-15
산출물	수계배출물	sodium(Na)	kg	4.10E-10

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	sodium+(Na+)	kg	4.59E-11
산출물	수계배출물	solvent	kg	1.60E-14
산출물	수계배출물	strontium(Sr)	kg	2.66E-11
산출물	수계배출물	sulfate(SO4--)	kg	5.82E-08
산출물	수계배출물	sulfide(S--)	kg	1.81E-14
산출물	수계배출물	sulfur(S)	kg	3.87E-17
산출물	수계배출물	sulphite(So3--)	kg	1.09E-17
산출물	수계배출물	suspended solid(SS)	kg	4.96E-09
산출물	수계배출물	tetrachloroethylene	kg	3.85E-23
산출물	수계배출물	thallium(Tl)	kg	1.97E-23
산출물	수계배출물	tin(Sn)	kg	6.37E-22
산출물	수계배출물	titanium(Ti)	kg	9.86E-17
산출물	수계배출물	TOC	kg	2.35E-11
산출물	수계배출물	toluene	kg	2.92E-13
산출물	수계배출물	trichloroethylene	kg	2.39E-21
산출물	수계배출물	trichloromethane(CHCl3)	kg	9.06E-21
산출물	수계배출물	triethylene glycol	kg	2.95E-15
산출물	수계배출물	vanadium(V)	kg	3.96E-16
산출물	수계배출물	vinyl chloride	kg	4.75E-45
산출물	수계배출물	VOCs	kg	3.29E-13
산출물	수계배출물	water emission(unspecified)	kg	4.12E-06
산출물	수계배출물	water(unspecified)	kg	9.81E-06
산출물	수계배출물	xylene	kg	2.49E-12
산출물	수계배출물	zinc(Zn)	kg	7.80E-12
산출물	수계배출물	zinc++(Zn++)	kg	8.59E-22
산출물	토양배출물	aluminium(Al)	kg	3.70E-15
산출물	토양배출물	arsenic(As)	kg	1.48E-18
산출물	토양배출물	cadmium(Cd)	kg	6.69E-22
산출물	토양배출물	calcium(Ca)	kg	1.48E-14
산출물	토양배출물	carbon(C)	kg	1.11E-14
산출물	토양배출물	chromium(Cr)	kg	1.86E-17
산출물	토양배출물	cobalt(Co)	kg	6.79E-22
산출물	토양배출물	copper(Cu)	kg	3.39E-21

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	토양배출물	dust	kg	9.89E-12
산출물	토양배출물	iron(Fe)	kg	7.39E-15
산출물	토양배출물	lead(Pb)	kg	1.56E-20
산출물	토양배출물	manganese(Mn)	kg	1.48E-16
산출물	토양배출물	mercury(Hg)	kg	1.23E-22
산출물	토양배출물	nickel(Ni)	kg	5.10E-21
산출물	토양배출물	nitrogen(N2)	kg	5.79E-20
산출물	토양배출물	oil	kg	2.20E-17
산출물	토양배출물	phosphorus(P)	kg	1.86E-16
산출물	토양배출물	sulfur(S)	kg	2.22E-15
산출물	토양배출물	zinc(Zn)	kg	5.56E-17
산출물	폐기물	hazardous waste	kg	2.66E-06
산출물	폐기물	industrial waste	kg	5.90E-05

Table 6. Results of LCI in Cy-bag filter process

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	자원	air	kg	2.75E-08
투입물	자원	aluminium(Al)	kg	1.52E-10
투입물	자원	ancillary material(unspecified)	kg	9.66E-10
투입물	자원	barium(Ba)	kg	1.99E-14
투입물	자원	baryte(BaSO4)	kg	2.00E-11
투입물	자원	bentonite	kg	1.28E-12
투입물	자원	calcium carbonate(CaCO3)	kg	1.75E-43
투입물	자원	calcium fluoride(CaF2)	kg	9.53E-15
투입물	자원	calcium sulfate(CaSO4)	kg	3.50E-15
투입물	자원	carbon(C)	kg	1.59E-15
투입물	자원	chromium(Cr)	kg	3.83E-18
투입물	자원	clay	kg	2.45E-11
투입물	자원	copper(Cu)	kg	8.85E-17
투입물	자원	crude oil	kg	3.18E-06
투입물	자원	dolomite(CaMg(CO3))	kg	6.04E-14
투입물	자원	ethanol amine	kg	9.37E-23
투입물	자원	feldspar	kg	2.09E-49
투입물	자원	ferro manganese(Fe-Mn)	kg	1.39E-17
투입물	자원	ferrous sulfate(FeSO4)	kg	2.17E-19
투입물	자원	fluorspar(CaF2)	kg	5.74E-18
투입물	자원	fossil energy	kg	9.05E-14
투입물	자원	granite	kg	3.17E-21
투입물	자원	gravel	kg	4.77E-13
투입물	자원	hard coal	kg	2.42E-05
투입물	자원	industrial waste	m3	1.47E-11
투입물	자원	iron ore	kg	2.15E-13
투입물	자원	iron(Fe)	kg	2.04E-12
투입물	자원	kaolin	kg	6.16E-16
투입물	자원	lead ore	kg	1.97E-17
투입물	자원	lead(Pb)	kg	9.13E-17
투입물	자원	limestone	kg	6.31E-11

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	자원	manganese ore	kg	2.23E-18
투입물	자원	natural gas	kg	3.11E-06
투입물	자원	nickel ore	kg	1.30E-18
투입물	자원	nickel(Ni)	kg	6.53E-18
투입물	자원	nitrogen(N2)	kg	1.57E-13
투입물	자원	olivine	kg	1.70E-17
투입물	자원	olivine	kg	1.15E-16
투입물	자원	oxygen(O2)	kg	2.55E-16
투입물	자원	peat	kg	5.78E-17
투입물	자원	phosphate(PO43-)	kg	1.71E-12
투입물	자원	phosphorus oxide(P2O5)	kg	8.79E-20
투입물	자원	potassium chloride(KCl)	kg	1.87E-20
투입물	자원	pyrite ore	kg	3.20E-14
투입물	자원	raffinate	kg	1.20E-19
투입물	자원	sand(SiO2)	kg	1.73E-12
투입물	자원	shale	kg	2.19E-17
투입물	자원	silver(Ag)	kg	9.70E-20
투입물	자원	sodium chloride(NaCl)	kg	2.07E-09
투입물	자원	sodium(Na)	kg	4.11E-15
투입물	자원	soft coal	kg	1.40E-11
투입물	자원	sulfur(S)	kg	4.67E-12
투입물	자원	titanium dioxide(TiO2)	kg	2.51E-43
투입물	자원	uranium(U)	kg	1.69E-09
투입물	자원	water(unspecified)	kg	5.30E-06
투입물	자원	wood	kg	3.92E-11
투입물	자원	zinc ore	kg	1.29E-16
투입물	자원	zinc(Zn)	kg	8.51E-17
투입물	원/부자재	1-amino-2-propanol	kg	5.61E-24
투입물	원/부자재	air	m3	1.00E+00
투입물	원/부자재	aluminum sulfate(Al2(SO4)3)	kg	3.15E-15
투입물	원/부자재	ammonia(NH3)	kg	2.07E-17
투입물	원/부자재	ammonium hydroxide(H5NO)	kg	4.18E-16

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	원/부자재	ancillary material(unspecified)	kg	6.89E-08
투입물	원/부자재	barium chloride(BaCl2)	kg	3.53E-14
투입물	원/부자재	calcium hypochlorite(Ca(OCl)2)	kg	8.41E-23
투입물	원/부자재	cellulose((C6H10O5)n)	kg	7.10E-20
투입물	원/부자재	cyclohexyl amine	kg	5.52E-24
투입물	원/부자재	ethylene glycol	kg	1.69E-20
투입물	원/부자재	ferric chloride(FeCl3)	kg	6.08E-16
투입물	원/부자재	ferrous sulfate(FeSO4)	kg	1.38E-19
투입물	원/부자재	hydrazine(H4N2)	kg	6.41E-18
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(HCl)	kg	1.50E-12
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(Hcl,12.5%)	kg	6.15E-15
투입물	원/부자재	hydrogen chloride(HCl,35%)	kg	1.07E-13
투입물	원/부자재	hydrogen peroxide(H2O2)	kg	4.67E-15
투입물	원/부자재	magnesium hydroxide(H2MgO2)	kg	4.29E-16
투입물	원/부자재	poly aluminium chloride(PAC)	kg	1.34E-25
투입물	원/부자재	potassium chloride(KCl)	kg	3.20E-15
투입물	원/부자재	potassium hydroxide(KOH)	kg	3.41E-20
투입물	원/부자재	raffinate	kg	1.96E-13
투입물	원/부자재	sodium carbonate(Na2CO3)	kg	2.02E-13
투입물	원/부자재	sodium hydrogensulfite	kg	3.46E-16
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH)	kg	5.32E-16
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH,32%)	kg	1.63E-17
투입물	원/부자재	sodium hydroxide(NaOH,50%)	kg	1.66E-12
투입물	원/부자재	sodium metaphosphate(NaPO3)	kg	4.01E-17
투입물	원/부자재	sodium pyrosulphite	kg	5.89E-17
투입물	원/부자재	sodium sulfate(Na2SO4)	kg	9.01E-15
투입물	원/부자재	sodium sulfite(Na2SO3)	kg	2.52E-14
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,55%)	kg	5.73E-22
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,6%)	kg	4.21E-17
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO 4,96%)	kg	1.18E-14
투입물	원/부자재	sulfuric acid(H2SO4)	kg	4.42E-15
투입물	원/부자재	Sulfuric acid(H2SO4,98%)	kg	1.32E-14

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
투입물	원/부자재	tetra butyl merchaptan	kg	1.04E-18
투입물	원/부자재	tetrachloroethylene	kg	1.49E-20
투입물	원/부자재	tetrahydrothiophene	kg	2.42E-18
투입물	에너지	energy(unspecified)	kg	9.47E-10
산출물	제품/부산물	air	m3	1.00E+00
산출물	대기배출물	acetaldehyde	kg	2.10E-11
산출물	대기배출물	acetic acid	kg	1.30E-20
산출물	대기배출물	acetone	kg	8.43E-17
산출물	대기배출물	acetylene	kg	6.00E-20
산출물	대기배출물	air	kg	1.01E-10
산출물	대기배출물	air emission(unspecified)	kg	8.95E-08
산출물	대기배출물	aldehydes	kg	1.41E-17
산출물	대기배출물	alkanes	kg	1.94E-13
산출물	대기배출물	alkenes	kg	5.31E-15
산출물	대기배출물	alkynes	kg	3.26E-20
산출물	대기배출물	aluminium(Al)	kg	2.52E-18
산출물	대기배출물	ammonia(NH3)	kg	1.54E-10
산출물	대기배출물	ammonium nitrate(NH4NO3)	kg	2.82E-21
산출물	대기배출물	antimony(Sb)	kg	4.68E-20
산출물	대기배출물	AOX	kg	9.64E-31
산출물	대기배출물	aromatic matter	kg	5.75E-14
산출물	대기배출물	arsenic(As)	kg	2.81E-17
산출물	대기배출물	barium(Ba)	kg	1.23E-14
산출물	대기배출물	benzaldehyde	kg	5.87E-24
산출물	대기배출물	benzene	kg	1.36E-14
산출물	대기배출물	benzo[a]pyrene	kg	2.80E-18
산출물	대기배출물	beryllium(Be)	kg	1.34E-20
산출물	대기배출물	boron(B)	kg	1.40E-16
산출물	대기배출물	bromine(Br)	kg	2.77E-18
산출물	대기배출물	but-1-ene	kg	1.23E-16
산출물	대기배출물	butadiene rubber	kg	8.53E-20
산출물	대기배출물	cadmium(Cd)	kg	5.49E-16

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	calcium(Ca)	kg	1.82E-16
산출물	대기배출물	carbon dioxide(CO2)	kg	6.72E-05
산출물	대기배출물	carbon disulfide(CS2)	kg	6.09E-26
산출물	대기배출물	carbon monoxide(CO)	kg	1.80E-08
산출물	대기배출물	CFC-11	kg	4.62E-19
산출물	대기배출물	CFC-114	kg	4.73E-19
산출물	대기배출물	CFC-12	kg	9.92E-20
산출물	대기배출물	CFC-13	kg	6.23E-20
산출물	대기배출물	CFCs	kg	3.03E-19
산출물	대기배출물	chloride(Cl-)	kg	2.71E-18
산출물	대기배출물	chlorinated matter	kg	2.60E-20
산출물	대기배출물	chlorine(Cl)	kg	2.86E-14
산출물	대기배출물	chromium(Cr)	kg	3.55E-17
산출물	대기배출물	coal tar	kg	3.67E-19
산출물	대기배출물	cobalt(Co)	kg	6.96E-17
산출물	대기배출물	copper(Cu)	kg	1.04E-16
산출물	대기배출물	cyanide(CN-)	kg	1.59E-20
산출물	대기배출물	dichloroethylene	kg	3.10E-26
산출물	대기배출물	dioxins(TCDD)	kg	3.49E-22
산출물	대기배출물	dissolved organic matter	kg	7.23E-14
산출물	대기배출물	dust	kg	1.49E-08
산출물	대기배출물	ethane	kg	2.87E-13
산출물	대기배출물	ethanethiol	kg	1.10E-22
산출물	대기배출물	ethanol	kg	1.69E-16
산출물	대기배출물	ethylbenzene	kg	1.19E-15
산출물	대기배출물	ethylene	kg	1.09E-10
산출물	대기배출물	exhaust	kg	8.67E-10
산출물	대기배출물	fluoride(F-)	kg	8.71E-18
산출물	대기배출물	fluorine(F)	kg	1.69E-21
산출물	대기배출물	formaldehyde	kg	3.30E-16
산출물	대기배출물	halogenated matter	kg	1.96E-18
산출물	대기배출물	halon-1301	kg	5.27E-16

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	HCFC-22	kg	1.09E-19
산출물	대기배출물	heavy metals	kg	4.29E-16
산출물	대기배출물	heavy oil	kg	1.94E-10
산출물	대기배출물	helium(He)	kg	7.70E-14
산출물	대기배출물	hydrocarbons	kg	1.39E-07
산출물	대기배출물	hydrogen chloride(HCl)	kg	6.79E-13
산출물	대기배출물	hydrogen cyanide(HCN)	kg	3.93E-22
산출물	대기배출물	hydrogen fluoride(HF)	kg	6.43E-13
산출물	대기배출물	hydrogen sulfide(H ₂ S)	kg	1.98E-14
산출물	대기배출물	hydrogen(H ₂)	kg	1.00E-13
산출물	대기배출물	industrial waste	kg	5.47E-18
산출물	대기배출물	iodine(I)	kg	3.64E-20
산출물	대기배출물	iron(Fe)	kg	4.42E-16
산출물	대기배출물	lanthanide	kg	2.85E-20
산출물	대기배출물	lanthanum(La)	kg	3.65E-22
산출물	대기배출물	lead(Pb)	kg	1.28E-15
산출물	대기배출물	magnesium(Mg)	kg	1.01E-18
산출물	대기배출물	manganese(Mn)	kg	1.83E-16
산출물	대기배출물	mercury(Hg)	kg	8.50E-17
산출물	대기배출물	metals	kg	8.60E-15
산출물	대기배출물	methane	kg	4.86E-08
산출물	대기배출물	methanol	kg	2.86E-16
산출물	대기배출물	mica	kg	5.47E-18
산출물	대기배출물	molybdenum(Mo)	kg	3.45E-17
산출물	대기배출물	n-butane	kg	6.78E-14
산출물	대기배출물	n-heptane	kg	1.23E-15
산출물	대기배출물	n-hexane	kg	2.45E-15
산출물	대기배출물	nickel(Ni)	kg	1.30E-14
산출물	대기배출물	nitric acid(HNO ₃)	kg	4.46E-19
산출물	대기배출물	nitrogen oxides(NO _x)	kg	1.64E-07
산출물	대기배출물	nitrogen(N ₂)	kg	5.88E-18
산출물	대기배출물	nitrous oxide(N ₂ O)	kg	2.67E-10

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	NMVOC	kg	5.07E-11
산출물	대기배출물	n-pentane	kg	7.02E-15
산출물	대기배출물	off-gas	kg	3.68E-10
산출물	대기배출물	oil	kg	5.23E-19
산출물	대기배출물	PAHs	kg	9.24E-17
산출물	대기배출물	perfluoromethane(CF4)	kg	4.72E-21
산출물	대기배출물	phenol	kg	2.37E-13
산출물	대기배출물	phosphorus oxide(P2O5)	kg	6.94E-24
산출물	대기배출물	phosphorus(P)	kg	3.17E-20
산출물	대기배출물	potassium(K)	kg	1.04E-17
산출물	대기배출물	propane	kg	9.12E-14
산출물	대기배출물	propene	kg	2.46E-16
산출물	대기배출물	propionaldehyde	kg	1.62E-23
산출물	대기배출물	propionic acid	kg	5.26E-18
산출물	대기배출물	scandium(Sc)	kg	1.63E-20
산출물	대기배출물	selenium(Se)	kg	2.91E-17
산출물	대기배출물	sodium(Na)	kg	1.17E-15
산출물	대기배출물	strontium(Sr)	kg	4.90E-19
산출물	대기배출물	sulfur dioxide(SO2)	kg	1.93E-11
산출물	대기배출물	sulfur oxides(SOx)	kg	2.24E-07
산출물	대기배출물	sulfuric acid(H2SO4)	kg	1.51E-20
산출물	대기배출물	t-butyl acetate	kg	4.49E-16
산출물	대기배출물	thallium(Tl)	kg	7.67E-21
산출물	대기배출물	thiols	kg	1.41E-21
산출물	대기배출물	thorium(Th)	kg	2.33E-22
산출물	대기배출물	tin(Sn)	kg	1.08E-19
산출물	대기배출물	titanium(Ti)	kg	2.90E-18
산출물	대기배출물	toluene	kg	7.36E-15
산출물	대기배출물	uranium(U)	kg	2.26E-22
산출물	대기배출물	vanadium(V)	kg	5.54E-15
산출물	대기배출물	vinyl chloride	kg	2.07E-26
산출물	대기배출물	VOCs	kg	2.41E-09

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	대기배출물	water emission(unspecified)	kg	1.24E-22
산출물	대기배출물	xylene	kg	4.76E-15
산출물	대기배출물	zinc(Zn)	kg	1.46E-11
산출물	대기배출물	zirconium(Zr)	kg	1.74E-22
산출물	수계배출물	acid(H ⁺)	kg	3.03E-14
산출물	수계배출물	aldehydes	kg	1.09E-19
산출물	수계배출물	alkanes	kg	8.41E-15
산출물	수계배출물	alkenes	kg	7.76E-16
산출물	수계배출물	aluminium(Al)	kg	1.43E-10
산출물	수계배출물	aluminium3 +(Al ³⁺)	kg	4.69E-21
산출물	수계배출물	ammonia(NH ₃)	kg	1.42E-13
산출물	수계배출물	ammonium(NH ₄ ⁺)	kg	4.14E-11
산출물	수계배출물	ancillary material(unspecified)	kg	1.79E-16
산출물	수계배출물	AOX	kg	2.58E-16
산출물	수계배출물	aromatic matter	kg	6.20E-14
산출물	수계배출물	arsenic(As)	kg	2.39E-15
산출물	수계배출물	barium(Ba)	kg	3.38E-13
산출물	수계배출물	baryte(BaSO ₄)	kg	3.61E-15
산출물	수계배출물	benzene	kg	2.40E-14
산출물	수계배출물	beryllium(Be)	kg	1.62E-21
산출물	수계배출물	bod	kg	1.79E-10
산출물	수계배출물	boron(B)	kg	1.06E-15
산출물	수계배출물	cadmium(Cd)	kg	1.85E-13
산출물	수계배출물	calcium(Ca)	kg	2.17E-12
산출물	수계배출물	calcium ⁺⁺ (Ca ⁺⁺)	kg	2.38E-18
산출물	수계배출물	carbonate(CO ₃ ⁻⁻)	kg	2.93E-16
산출물	수계배출물	cesium(Cs)	kg	6.47E-17
산출물	수계배출물	chlorate ion(ClO ₃ ⁻)	kg	5.74E-16
산출물	수계배출물	chloride(Cl ⁻)	kg	1.80E-07
산출물	수계배출물	chlorinated matter	kg	3.62E-17
산출물	수계배출물	chlorine dioxide(ClO ₂)	kg	5.25E-24
산출물	수계배출물	chlorine(Cl)	kg	5.79E-17

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	chromium oxide(Cr2O3)	kg	1.06E-26
산출물	수계배출물	chromium(Cr)	kg	8.92E-12
산출물	수계배출물	chromium3+(Cr3+)	kg	1.11E-19
산출물	수계배출물	coal tar	kg	5.24E-21
산출물	수계배출물	cobalt(Co)	kg	1.65E-19
산출물	수계배출물	COD	kg	1.27E-09
산출물	수계배출물	copper(Cu)	kg	6.14E-15
산출물	수계배출물	crude oil	kg	8.59E-14
산출물	수계배출물	cyanide(CN-)	kg	2.76E-14
산출물	수계배출물	dichloroethylene	kg	6.22E-29
산출물	수계배출물	dichloromethane	kg	1.76E-18
산출물	수계배출물	dissolved inorganic matter	kg	5.96E-16
산출물	수계배출물	dissolved organic matter	kg	1.16E-15
산출물	수계배출물	dissolved solids	kg	4.34E-07
산출물	수계배출물	ethylbenzene	kg	4.38E-15
산출물	수계배출물	fluoride(F-)	kg	9.93E-11
산출물	수계배출물	fluorine(F)	kg	1.03E-16
산출물	수계배출물	formaldehyde	kg	7.82E-24
산출물	수계배출물	heavy metals	kg	8.61E-17
산출물	수계배출물	hexachloroethane	kg	1.09E-27
산출물	수계배출물	hydrocarbons	kg	9.13E-13
산출물	수계배출물	hydrogen chloride(HCl)	kg	1.40E-18
산출물	수계배출물	hydrogen chloride(Hcl,12.5%)	kg	1.85E-19
산출물	수계배출물	hydrogen fluoride(HF)	kg	5.50E-26
산출물	수계배출물	hydrogen(H2)	kg	3.62E-20
산출물	수계배출물	hypochlorite(ClO-)	kg	1.85E-19
산출물	수계배출물	industrial waste	kg	3.27E-14
산출물	수계배출물	iodine(I)	kg	6.47E-15
산출물	수계배출물	iron(Fe)	kg	3.86E-11
산출물	수계배출물	iron++(Fe++)	kg	5.20E-20
산출물	수계배출물	lead(Pb)	kg	6.61E-15
산출물	수계배출물	limestone	kg	3.40E-16

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	magnesium(Mg)	kg	5.88E-14
산출물	수계배출물	magnesium++(Mg++)	kg	1.27E-20
산출물	수계배출물	manganese(Mn)	kg	1.15E-11
산출물	수계배출물	mercury(Hg)	kg	1.37E-15
산출물	수계배출물	metal ions	kg	1.29E-13
산출물	수계배출물	metals	kg	2.87E-12
산출물	수계배출물	methanol	kg	4.21E-18
산출물	수계배출물	methyl chloride	kg	2.38E-15
산출물	수계배출물	molybdenum(Mo)	kg	2.81E-17
산출물	수계배출물	neutral salt	kg	5.15E-15
산출물	수계배출물	n-hexane	kg	5.53E-16
산출물	수계배출물	nickel(Ni)	kg	1.48E-12
산출물	수계배출물	nickel++(Ni++)	kg	1.75E-20
산출물	수계배출물	nitrate(NO3-)	kg	2.42E-11
산출물	수계배출물	nitrite(NO2-)	kg	4.59E-20
산출물	수계배출물	nitrogen(N2)	kg	8.12E-14
산출물	수계배출물	nitrogenous matter	kg	1.64E-11
산출물	수계배출물	oil	kg	3.61E-09
산출물	수계배출물	PAHs	kg	1.29E-14
산출물	수계배출물	phenol	kg	2.17E-13
산출물	수계배출물	phosphorous matter	kg	2.58E-13
산출물	수계배출물	phosphate(PO43-)	kg	4.61E-13
산출물	수계배출물	phosphorus oxide(P2O5)	kg	3.95E-19
산출물	수계배출물	phosphorus(P)	kg	2.80E-17
산출물	수계배출물	potassium(K)	kg	3.24E-13
산출물	수계배출물	potassium+(K+)	kg	5.46E-22
산출물	수계배출물	rubidium(Rb)	kg	6.47E-16
산출물	수계배출물	sand(SiO2)	kg	6.35E-19
산출물	수계배출물	selenium(Se)	kg	2.71E-17
산출물	수계배출물	silver(Ag)	kg	1.10E-16
산출물	수계배출물	sodium chloride(NaCl)	kg	6.94E-17
산출물	수계배출물	sodium(Na)	kg	2.82E-11

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	수계배출물	sodium+(Na+)	kg	3.19E-11
산출물	수계배출물	solvent	kg	1.10E-15
산출물	수계배출물	strontium(Sr)	kg	9.53E-12
산출물	수계배출물	sulfate(SO4--)	kg	4.05E-08
산출물	수계배출물	sulfide(S--)	kg	2.15E-15
산출물	수계배출물	sulfur(S)	kg	2.66E-18
산출물	수계배출물	sulphite(So3--)	kg	7.51E-19
산출물	수계배출물	suspended solid(SS)	kg	3.34E-09
산출물	수계배출물	tetrachloroethylene	kg	2.65E-24
산출물	수계배출물	thallium(Tl)	kg	1.35E-24
산출물	수계배출물	tin(Sn)	kg	4.38E-23
산출물	수계배출물	titanium(Ti)	kg	6.78E-18
산출물	수계배출물	TOC	kg	2.92E-12
산출물	수계배출물	toluene	kg	2.37E-14
산출물	수계배출물	trichloroethylene	kg	1.65E-22
산출물	수계배출물	trichloromethane(CHCl3)	kg	6.23E-22
산출물	수계배출물	triethylene glycol	kg	2.03E-16
산출물	수계배출물	vanadium(V)	kg	2.73E-17
산출물	수계배출물	vinyl chloride	kg	3.27E-46
산출물	수계배출물	VOCs	kg	2.26E-14
산출물	수계배출물	water emission(unspecified)	kg	2.83E-07
산출물	수계배출물	water(unspecified)	kg	6.75E-07
산출물	수계배출물	xylene	kg	1.71E-13
산출물	수계배출물	zinc(Zn)	kg	5.42E-12
산출물	수계배출물	zinc++(Zn++)	kg	5.91E-23
산출물	토양배출물	aluminium(Al)	kg	2.55E-16
산출물	토양배출물	arsenic(As)	kg	1.02E-19
산출물	토양배출물	cadmium(Cd)	kg	4.60E-23
산출물	토양배출물	calcium(Ca)	kg	1.02E-15
산출물	토양배출물	carbon(C)	kg	7.64E-16
산출물	토양배출물	chromium(Cr)	kg	1.28E-18
산출물	토양배출물	cobalt(Co)	kg	4.67E-23

Path	Category	Life Cycle Inventory		
		substance	unit	amount
산출물	토양배출물	copper(Cu)	kg	2.33E-22
산출물	토양배출물	dust	kg	6.80E-13
산출물	토양배출물	iron(Fe)	kg	5.09E-16
산출물	토양배출물	lead(Pb)	kg	1.07E-21
산출물	토양배출물	manganese(Mn)	kg	1.02E-17
산출물	토양배출물	mercury(Hg)	kg	8.47E-24
산출물	토양배출물	nickel(Ni)	kg	3.51E-22
산출물	토양배출물	nitrogen(N2)	kg	3.99E-21
산출물	토양배출물	oil	kg	1.51E-18
산출물	토양배출물	phosphorus(P)	kg	1.28E-17
산출물	토양배출물	sulfur(S)	kg	1.53E-16
산출물	토양배출물	zinc(Zn)	kg	3.82E-18
산출물	폐기물	hazardous waste	kg	1.85E-06
산출물	폐기물	industrial waste	kg	4.10E-05

4.2 전과정 영향평가 특성화결과

4.2.1 특성화 결과

전과정 목록분석 결과를 바탕으로 환경성적표지에서 선택하고 있는 6가지 환경영향 범주별 환경영향에 대한 특성화를 Table 7.에 나타내었다. 두 공정의 특성화 결과를 살펴보면 Bag filter 기술이 모든 영향범주에서 환경부하가 더 많은 것을 알 수 있다. 특히, 지구온난화지수(GWP)의 경우 지구온난화범주에서 Bag filter 기술이 환경영향부하가 더 많은 것으로 파악된다.

Table 7. Characterization results of Bag filter and Cy-bag filter process

Impact Category	unit	Bag filter	Cy-bag filter
자원소모 (Abiotic depletion,ADP)	kg antimony-eq	6.92E-07	4.46E-07
지구온난화 (Global Warming,GWP)	kg CO ₂ -eq	1.00E-04	6.83E-05
오존층영향 (Ozone depletion,ODP)	kg CFC11-eq	6.72E-14	6.32E-15
산성화 (Acidification,AP)	kg SO ₂ -eq	1.69E-07	1.15E-07
부영양화 (Eutrophication,EP)	kg PO ₄ ³⁻ -eq	3.14E-08	2.15E-08
광화학적산화물생성 (Photo-oxidant formation,POCI)	kg C ₂ H ₄ -eq	8.22E-08	5.32E-08

4.2.2 특성화 결과에 대한 분석

본 장에서는 집진설비가 먼지를 처리하기 위해 투입되는 전력, 필터 등으로 인해 다른계로의 오염물질이동(Trade off)을 파악하고자 6가지 환경영향 범주별 각 기술별 비교와 주요물질을 분석하였다.

4.2.2.1 자원소모(Abiotic depletion, ADP)

두 공정의 자원소모(Abiotic depletion, ADP)의 결과를 Figure 13.에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 자원소모에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

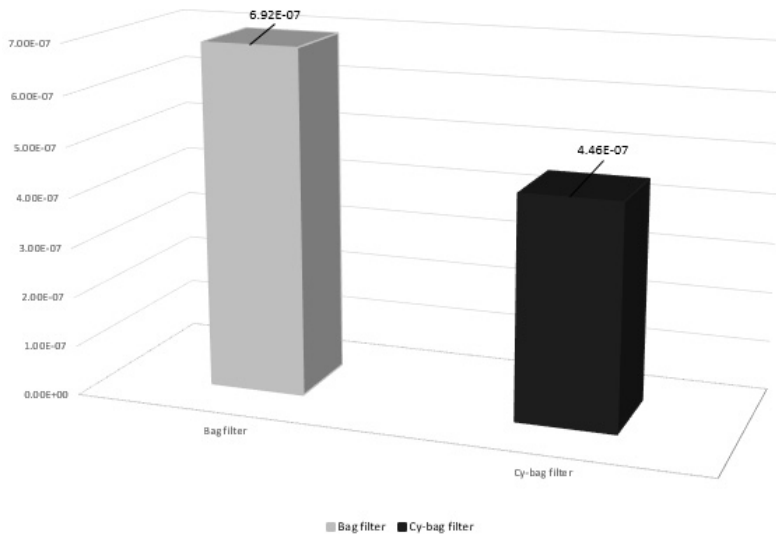


Figure 13. ADP result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 Hard coal가 4.66E-07 kg, Crude oil은 1.40E-07 kg, Natural gas는 8.60E-08 kg을 배출하고 있으며, Cy-bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 Hard coal은 3.24E-07 kg, Crude oil은 6.39E-08 kg, Natural gas는 5.81E-08 kg이다. 그 결과값을 Table 8. Table 9.로 나타내었다.

Table 8. Substance results of ADP in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
aluminium(Al)	자원	kg antimony-eq	1.22E-17
barium(Ba)	자원	kg antimony-eq	3.07E-23
soft coal	자원	kg antimony-eq	1.36E-12
chromium(Cr)	자원	kg antimony-eq	4.78E-20
copper(Cu)	자원	kg antimony-eq	2.50E-18
crude oil	자원	kg antimony-eq	1.40E-07
fossil energy	자원	kg antimony-eq	6.33E-16
hard coal	자원	kg antimony-eq	4.66E-07
iron(Fe)	자원	kg antimony-eq	8.33E-19
lead(Pb)	자원	kg antimony-eq	1.79E-17
natural gas	자원	kg antimony-eq	8.60E-08
nickel(Ni)	자원	kg antimony-eq	1.02E-20
silver(Ag)	자원	kg antimony-eq	2.60E-18
sodium(Na)	자원	kg antimony-eq	4.92E-24
sulfur(S)	자원	kg antimony-eq	2.43E-14
uranium(U)	자원	kg antimony-eq	6.99E-12
zinc(Zn)	자원	kg antimony-eq	1.23E-18

Table 9. Substance results of ADP in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
aluminium(Al)	자원	kg antimony-eq	1.52E-18
barium(Ba)	자원	kg antimony-eq	2.11E-24
soft coal	자원	kg antimony-eq	9.38E-14
chromium(Cr)	자원	kg antimony-eq	3.29E-21
copper(Cu)	자원	kg antimony-eq	1.72E-19
crude oil	자원	kg antimony-eq	6.39E-08
fossil energy	자원	kg antimony-eq	4.35E-17

Substance	Category	Unit	Amount
hard coal	자원	kg antimony-eq	3.24E-07
iron(Fe)	자원	kg antimony-eq	1.72E-19
lead(Pb)	자원	kg antimony-eq	1.23E-18
natural gas	자원	kg antimony-eq	5.81E-08
nickel(Ni)	자원	kg antimony-eq	7.02E-22
silver(Ag)	자원	kg antimony-eq	1.79E-19
sodium(Na)	자원	kg antimony-eq	3.39E-25
sulfur(S)	자원	kg antimony-eq	1.67E-15
uranium(U)	자원	kg antimony-eq	4.86E-12
zinc(Zn)	자원	kg antimony-eq	8.44E-20

4.2.2.2 지구온난화(Global Warming,GWP)

두 공정의 지구온난화(Global Warming,GWP)의 결과를 Figure 14. 에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 지구온난화에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

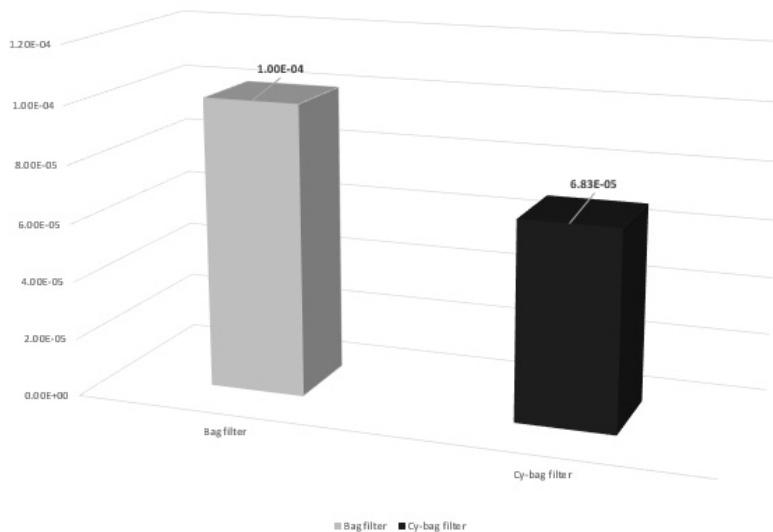


Figure 14. GWP result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 carbon dioxide(CO2)은 9.86E-05 kg, methane은 1.48E-06 kg, nitrous oxide(N2O)은 3.47E-07 kg이며, Cy-bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 carbon dioxide(CO2)은 6.72E-05 kg, methane은 1.021E-06 kg, nitrous oxide(N2O)은 8.27E-08 kg이다. 결과값을 Table 10, Table 11. 으로 나타내었다.

Table 10. Substance results of GWP in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
carbon dioxide(CO2)	대기배출물	kg CO2-eq	9.86E-05
CFC-11	대기배출물	kg CO2-eq	2.68E-14
CFC-114	대기배출물	kg CO2-eq	6.39E-14
CFC-12	대기배출물	kg CO2-eq	1.23E-14
CFC-13	대기배출물	kg CO2-eq	1.06E-14
halon-1301	대기배출물	kg CO2-eq	3.14E-11
HCFC-22	대기배출물	kg CO2-eq	2.68E-15
methane	대기배출물	kg CO2-eq	1.48E-06
nitrous oxide(N2O)	대기배출물	kg CO2-eq	3.47E-07
perfluoromethane (CF4)	대기배출물	kg CO2-eq	4.46E-16

Table 11. Substance results of GWP in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
carbon dioxide(CO2)	대기배출물	kg CO2-eq	6.72E-05
CFC-11	대기배출물	kg CO2-eq	1.85E-15
CFC-114	대기배출물	kg CO2-eq	4.40E-15
CFC-12	대기배출물	kg CO2-eq	8.43E-16
CFC-13	대기배출물	kg CO2-eq	7.29E-16
halon-1301	대기배출물	kg CO2-eq	2.95E-12
HCFC-22	대기배출물	kg CO2-eq	1.84E-16

Substance	Category	Unit	Amount
methane	대기배출물	kg CO ₂ -eq	1.02E-06
nitrous oxide(N ₂ O)	대기배출물	kg CO ₂ -eq	8.27E-08
perfluoromethane (CF ₄)	대기배출물	kg CO ₂ -eq	3.07E-17

4.2.2.3 오존층영향(Ozone depletion, ODP)

두 공정의 오존층영향(Ozone depletion, ODP)의 결과를 Figure 15. 에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 오존층영향에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

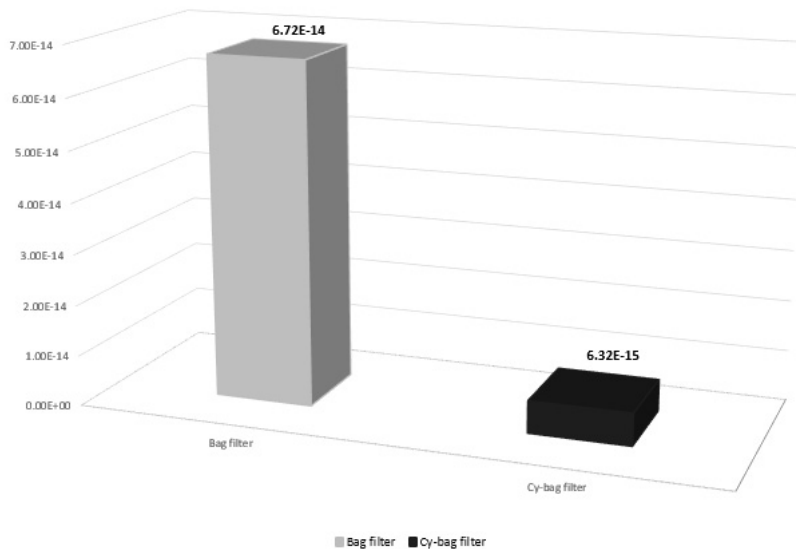


Figure 15. ODP result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 halon-1301은 6.72E-14 kg, CFC-11은 6.71E-18 kg, CFC-114 5.84E-18kg 이며, Cy-bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 halon-1301은 6.32E-15 kg, CFC-11은 4.62E-19 kg, CFC-114 4.02E-19kg 이다. 그 결과값을 Table 12, Table 13 에 나타내었다.

Table 12. Substance results of ODP in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
CFC-11	대기배출물	kg CFC11-eq	6.71E-18
CFC-114	대기배출물	kg CFC11-eq	5.84E-18
CFC-12	대기배출물	kg CFC11-eq	1.18E-18
halon-1301	대기배출물	kg CFC11-eq	6.72E-14
HCFC-22	대기배출물	kg CFC11-eq	5.36E-20

Table 13. Substance results of ODP in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
CFC-11	대기배출물	kg CFC11-eq	4.62E-19
CFC-114	대기배출물	kg CFC11-eq	4.02E-19
CFC-12	대기배출물	kg CFC11-eq	8.14E-20
halon-1301	대기배출물	kg CFC11-eq	6.32E-15
HCFC-22	대기배출물	kg CFC11-eq	3.69E-21

4.2.2.4 산성화(Acidification,AP)

두 공정의 산성화(Acidification,AP)의 결과를 Figure 16.에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 산성화에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

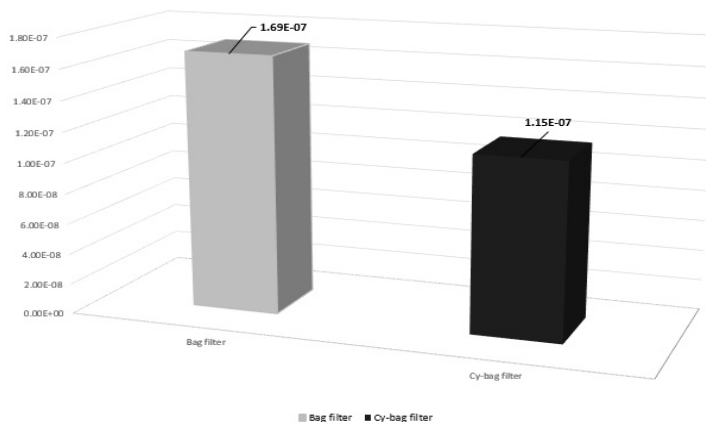


Figure 16. AP result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 nitrogen oxides(NOx)은 1.68E-07 kg, ammonia(NH3)은 4.17E-10 kg, sulfur dioxide(SO2)은 2.80E-10 kg이며, Cy-bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 nitrogen oxides(NOx)는 1.15E-07 kg, ammonia(NH3)은 2.90E-10 kg, sulfur dioxide(SO2)은 1.93E-11 kg이다. 그 결과값을 Table 14, Table 15. 로 나타내었다.

Table 14. Substance results of AP in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
ammonia(NH3)	대기배출물	kg SO2-eq	4.18E-10
hydrogen chloride(HCl)	대기배출물	kg SO2-eq	2.72E-12
hydrogen fluoride(HF)	대기배출물	kg SO2-eq	2.12E-12
hydrogen sulfide(H2S)	대기배출물	kg SO2-eq	5.42E-13
nitric acid(HNO3)	대기배출물	kg SO2-eq	1.68E-07
nitrogen oxides(NOx)	대기배출물	kg SO2-eq	1.68E-07
sulfur dioxide(SO2)	대기배출물	kg SO2-eq	2.80E-10
sulfuric acid(H2SO4)	대기배출물	kg SO2-eq	3.88E-12
ammonia(NH3)	수계배출물	kg SO2-eq	3.88E-12
hydrogen chloride(HCl)	수계배출물	kg SO2-eq	1.80E-17
hydrogen fluoride(HF)	수계배출물	kg SO2-eq	1.28E-24

Table 15. Substance results of AP in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
ammonia(NH3)	대기배출물	kg SO2-eq	2.90E-10
hydrogen chloride(HCl)	대기배출물	kg SO2-eq	5.97E-13
hydrogen fluoride(HF)	대기배출물	kg SO2-eq	1.03E-12
hydrogen sulfide(H2S)	대기배출물	kg SO2-eq	3.73E-14

Substance	Category	Unit	Amount
nitric acid(HNO3)	대기배출물	kg SO2-eq	2.27E-19
nitrogen oxides(NOx)	대기배출물	kg SO2-eq	1.15E-07
sulfur dioxide(SO2)	대기배출물	kg SO2-eq	1.93E-11
sulfuric acid(H2SO4)	대기배출물	kg SO2-eq	9.80E-21
ammonia(NH3)	수계배출물	kg SO2-eq	2.67E-13
hydrogen chloride(HCl)	수계배출물	kg SO2-eq	1.24E-18
hydrogen fluoride(HF)	수계배출물	kg SO2-eq	8.80E-26

4.2.2.5 부영양화(Eutrophication,EP)

두 공정의 부영양화(Eutrophication,EP)의 결과를 Figure 17에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 부영양화에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

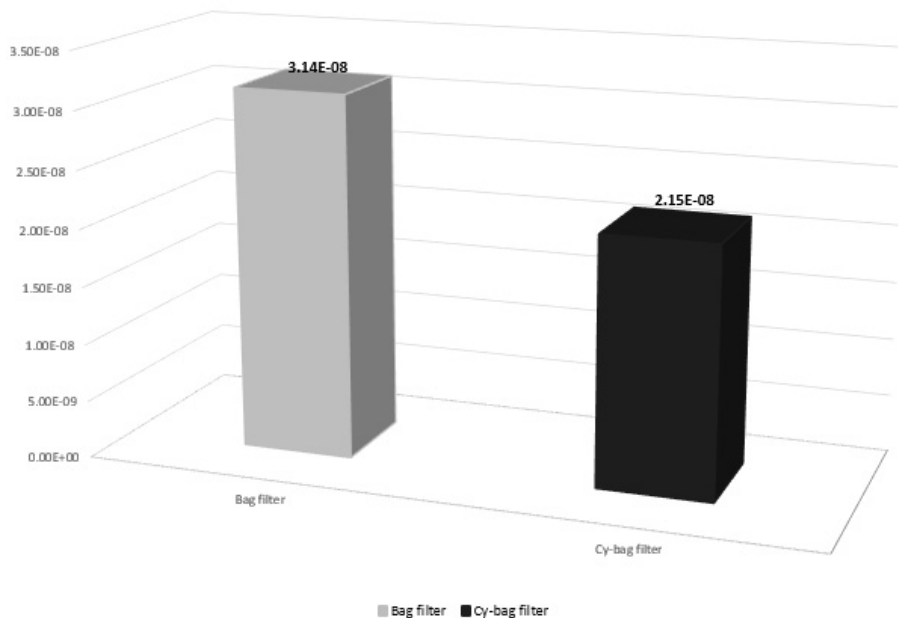


Figure 17. EP result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 nitrogen oxides(NOx)는 3.12E-08 kg이며, ammonia(NH3)는 7.76E-11 kg이고, nitrogenous matter은 5.63E-11이었던으며, Cy-bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 nitrogen oxides(NOx)는 2.14E-08 kg이며, ammonia(NH3)는 5.40E-11 kg이고, COD은 2.80E-11이었다. 그 결과값을 Table 16, Table 17에 나타내었다.

Table 16. Substance results of EP in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
ammonia(NH3)	대기배출물	kg PO43-eq	7.76E-11
nitric acid(HNO3)	대기배출물	kg PO43-eq	6.48E-19
nitrogen oxides(NOx)	대기배출물	kg PO43-eq	3.12E-08
phosphorus oxide(P2O5)	대기배출물	kg PO43-eq	1.35E-22
ammonia(NH3)	수계배출물	kg PO43-eq	7.22E-13
ammonium(NH4+)	수계배출물	kg PO43-eq	1.97E-11
COD	수계배출물	kg PO43-eq	4.26E-11
nitrate(NO3-)	수계배출물	kg PO43-eq	3.61E-12
nitrogenous matter	수계배출물	kg PO43-eq	5.63E-11
phosphorous matter	수계배출물	kg PO43-eq	1.15E-11
phosphate(PO43-)	수계배출물	kg PO43-eq	8.30E-13
phosphorus oxide(P2O5)	수계배출물	kg PO43-eq	7.69E-18

Table 17. Substance results of EP in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
ammonia(NH3)	대기배출물	kg PO43-eq	5.40E-11
nitric acid(HNO3)	대기배출물	kg PO43-eq	4.46E-20
nitrogen oxides(NOx)	대기배출물	kg PO43-eq	2.14E-08
phosphorus oxide(P2O5)	대기배출물	kg PO43-eq	9.30E-24
ammonia(NH3)	수계배출물	kg PO43-eq	4.97E-14
ammonium(NH4+)	수계배출물	kg PO43-eq	1.37E-11
COD	수계배출물	kg PO43-eq	2.80E-11

Substance	Category	Unit	Amount
nitrate(NO ₃ ⁻)	수계 배출물	kg PO ₄ ³⁻ -eq	2.42E-12
nitrogenous matter	수계 배출물	kg PO ₄ ³⁻ -eq	6.90E-12
phosphorous matter	수계 배출물	kg PO ₄ ³⁻ -eq	7.88E-13
phosphate(PO ₄ ³⁻)	수계 배출물	kg PO ₄ ³⁻ -eq	4.61E-13
phosphorus oxide(P ₂ O ₅)	수계 배출물	kg PO ₄ ³⁻ -eq	5.29E-19

4.2.2.6 광화학적산화물생성(Photo-oxidant formation, POXI)

두 공정의 광화학적산화물생성(Photo-oxidant formation,POXI)의 결과를 Figure 18.에 나타내었고, Bag filter와 Cy-bag filter공정의 광화학적산화물생성에 대한 주요물질(Key substance)을 분석하였다.

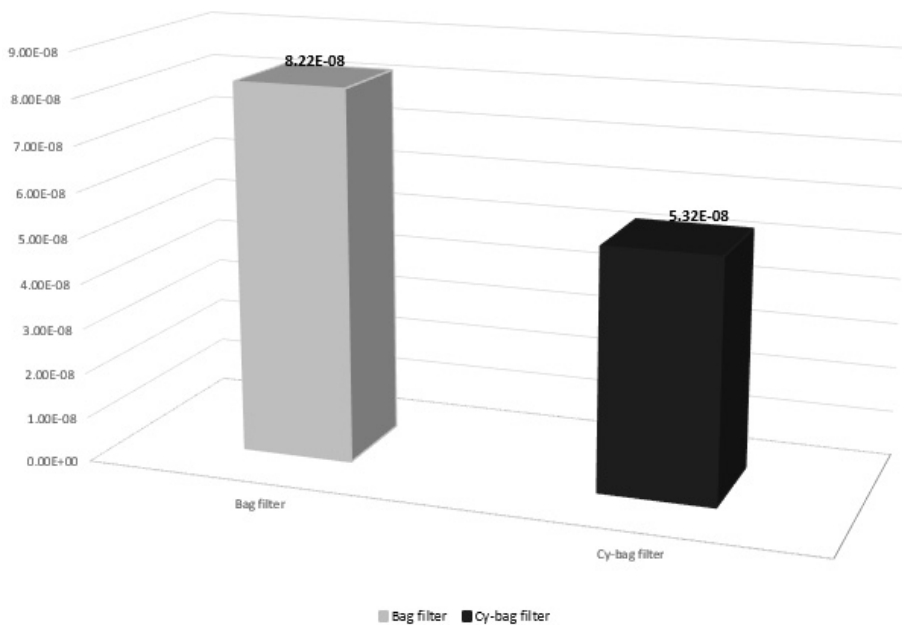


Figure 18. POXI result of Bag filter and Cy-bag filter process

Bag filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 hydrocarbons은 7.52E-08 kg, carbon monoxide(CO)은 4.72E-09 kg, ethylene은 1.58E-09 kg이다. Cy-bag

filter 기술의 각 공정별 주요 기여 물질의 배출량은 hydrocarbons은 5.23E-08 kg, carbon monoxide(CO)은 4.87E-10 kg, methane은 2.92E-10 kg이다. 그 결과값을 Table 18, Table 19로 나타내었다.

Table 18. Substance results of POCI in Bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
acetaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.94E-11
acetic acid	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.83E-20
acetone	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.15E-16
acetylene	대기 배출물	kg C2H4-eq	7.41E-20
benzaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	-7.86E-24
benzene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.92E-14
but-1-ene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.93E-15
carbon monoxide(CO)	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.72E-09
ethane	대기 배출물	kg C2H4-eq	5.14E-13
ethanol	대기 배출물	kg C2H4-eq	9.78E-16
ethylbenzene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.26E-14
ethylene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.58E-09
formaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.49E-15
hydrocarbons	대기 배출물	kg C2H4-eq	7.52E-08
methane	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.22E-10
methanol	대기 배출물	kg C2H4-eq	5.82E-16
n-butane	대기 배출물	kg C2H4-eq	3.47E-13
n-heptane	대기 배출물	kg C2H4-eq	8.82E-15
n-hexane	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.72E-14
NMVOG	대기 배출물	kg C2H4-eq	3.06E-10
n-pentane	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.03E-14
propane	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.33E-13
propene	대기 배출물	kg C2H4-eq	5.36E-16
propionaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.88E-22
sulfur dioxide(SO2)	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.34E-11
t-butyl acetate	대기 배출물	kg C2H4-eq	3.46E-16
toluene	대기 배출물	kg C2H4-eq	6.82E-14

Table 19. Substance results of POCl in Cy-bag filter process

Substance	Category	Unit	Amount
acetaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.35E-11
acetic acid	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.26E-21
acetone	대기 배출물	kg C2H4-eq	7.92E-18
acetylene	대기 배출물	kg C2H4-eq	5.10E-21
benzaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	-5.40E-25
benzene	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.97E-15
but-1-ene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.33E-16
carbon monoxide(CO)	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.87E-10
ethane	대기 배출물	kg C2H4-eq	3.54E-14
ethanol	대기 배출물	kg C2H4-eq	6.73E-17
ethylbenzene	대기 배출물	kg C2H4-eq	8.69E-16
ethylene	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.09E-10
formaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.72E-16
hydrocarbons	대기 배출물	kg C2H4-eq	5.23E-08
methane	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.92E-10
methanol	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.01E-17
n-butane	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.39E-14
n-heptane	대기 배출물	kg C2H4-eq	6.07E-16
n-hexane	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.18E-15
NMVOG	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.11E-11
n-pentane	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.77E-15
propane	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.61E-14
propene	대기 배출물	kg C2H4-eq	3.69E-17
propionaldehyde	대기 배출물	kg C2H4-eq	1.29E-23
sulfur dioxide(SO2)	대기 배출물	kg C2H4-eq	9.25E-13
t-butyl acetate	대기 배출물	kg C2H4-eq	2.38E-17
toluene	대기 배출물	kg C2H4-eq	4.69E-15

4.3 전과정 영향평가 해석

본 장에서는 국내 화력발전소 집진시설 중 Bag filter 기술과 Cy-bag filter 기술로 운전하고 있는 실제 화력발전소의 데이터를 활용하여 운전단계에 대한 LCA 분석을 수행하였다. 자원소모(ADP), 지구온난화(GWP), 오존층영향(ODP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 광화학적산화물생성(POCP)의 6개 환경영향 범주에서 Bag filter 기술이 모두 높은 환경부하를 나타내었다. ADP는 전력생산 및 필터생산을 위한 투입물인 화석연료가 주요 기인 물질이었고, GWP, AP, EP, POCP는 전력생산 및 필터생산시 발생하는 CO₂, NOX 대기 배출물이 주요 배출 물질이었다. ODP는 halon-1301 이 주요 배출 물질이었다. 집진설비의 운전단계에서 가장 주요한 이슈는 전력 소모, 필터 교체와 관련된 것임을 알 수 있었다.

5. 고찰

5.1 Bag filter 기술과 Cy-bag filter 기술의 환경영향범주 해석

본 연구에서는 Bag filter 기술과 Cy-bag filter 기술의 전과정평가를 통해 두 공정의 환경영향을 비교·분석하였으며, 집진시스템의 주 기능인 집진기능을 수행하기 위해 각 공정별로 투입되는 에너지, filter 등의 차이에 따라 환경영향이 달라지는 것을 알 수 있었다. 기술별 환경영향범주의 결과는 Figure 19. 와 같다.

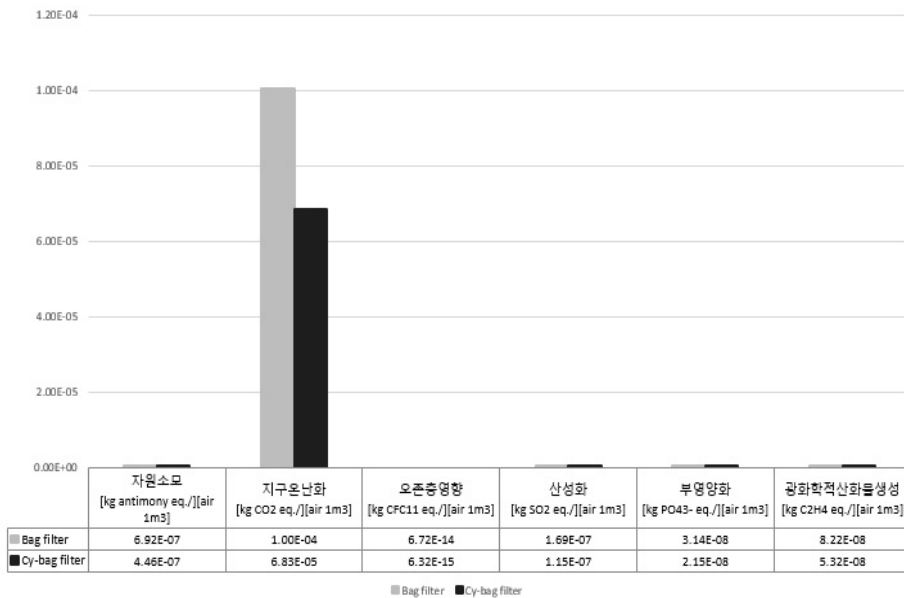


Figure 19. Total result of Impact Category in Bag filter and Cy-bag filter process

녹색인증 기술인 Cy-bag filter 기술에 비해 Bag filter 기술은 분석한 6대 환경영향범주에서 모두 높은 환경부하를 나타내었으며, 이는 녹색인증 기술이 온실가스 기여도에 도움이 되는 것으로 판단된다. 하지만 지구온난

화(GWP) 범주의 경우, 다른 범주에 비해 두 기술 모두가 지구환경에 미치는 부하가 큰 값으로 결과가 도출되었다. 결국 집진설비의 운전단계에서 가장 주요한 영향인자는 전력 사용임을 알 수 있었으며, 이는 운전시 사용되는 전력 소모량에서 기인됨을 파악할 수 있었다.

5.2 전과정평가의 녹색성 지표로서의 활용 방안

5.2.1 전과정평가 환경영향 지표의 활용성 고찰

현재까지 전과정평가는 주로 제품에 적용되어 환경표지인증, 탄소인증(Carbon foot print) 제도에 기반이 되었으며 제품별 온실가스 기여도 파악과 관리에 효과적인 도구(tool)로 활용되었다. 하지만 환경기술·공법에 적용된 사례가 없는바, 본 장에서는 8개 부처가 통합 운영하는 녹색인증제도의 도입 바탕에 따른 온실가스 배출을 평가하기 위한 녹색성 지표에 적용하고자 전과정평가의 활용성을 고찰해 보고자 한다.

녹색인증의 단일 평가지표인 녹색성은 온실가스 감축을 평가하는 지표이지만 신청자는 어떻게 정량적으로 제시해야하는지, 평가자는 어떠한 기준으로 평가해야하는지, 기술 사용자는 얼마만큼의 효과를 인정하고 어떻게 적용해야하는지에 대하여 끊임없는 논의가 이루어지고 있다. 현재까지 녹색성을 평가하기 위해 평가자들은 기술의 효율성으로 기대되는 효과를 녹색성으로 인정하거나, 기존 기술과 비교하여 전력 사용이나 유지보수 비용 등만을 단순히 고려하였으나, 본 연구에서는 집진설비의 전과정평가를 통하여 환경영향범주를 산정하였고, 환경부하에 가장 큰 영향을 미치는 지구온난화 지수(GWP)를 녹색성 지표로 제안하고자 한다.

지구온난화 지수(GWP)를 녹색성 지표로 활용 가능한 기술 분야는 본 연구에서 제시한 집진기술에 해당하는 사항으로 향후 녹색인증의 단일

평가 지표인 녹색성 항목에 전과정평가 적용을 위하여 다음과 같은 일련의 과정이 검토되어야 한다.

첫째, 기술분야별 작성지침을 개발하여 전과정평가 수행의 객관성을 확보해야한다. 작성지침 개발은 기술분야별 연구범위 즉, 기능 및 기능단위 설정, 시스템경계 설정, 할당, 데이터 품질 요건 설정, 제한사항 및 가정 등을 제시하여 전과정평가의 객관성을 확보하기 위한 과정으로 사전 제시가 되어야 하는 중요한 과정이다. 기술분야별 작성지침 개발을 위해서 제도운영자는 해당 기술분야의 전문가 집단의 토론과 논의를 거쳐 공표해야 한다.

둘째, 비교기술을 설정하고, 작성지침을 따른 전과정평가를 통하여 환경영향범주를 산정하고 유의성 있는 범주의 선정을 통한 녹색성을 나타낸다. 비교기술은 타당성 있는 설정이 필요하며 데이터 수집은 동등하거나 유사한 시간적, 기술적, 지역적 특성 등을 고려한다.

셋째, 선정된 평가 집단은 제시된 환경영향범주의 타당성을 검토하고 녹색성을 평가한다. 이때 제시된 결과가 작성지침을 올바르게 반영하였는지와 전과정평가 해석 등을 검토한다.

이러한 전과정평가를 활용한 녹색성 평가의 기대효과는 다음과 같이 예상할 수 있다.

첫째, 보다 타당성 있는 기술의 녹색성을 제시하고 평가할 수 있다.

둘째, 기술분야별 작성지침 누적데이터 구축을 통하여 산업계의 흐름을 파악할 수 있다.

셋째, 기술분야별 전과정평가를 통한 환경영향범주 인벤토리 구축을 통하여 기술분야별 온실가스 배출 기여도를 파악할 수 있다.

5.2.2 집진기술의 지구온난화 지수(GWP)

화력발전소의 집진시설은 본 연구의 3장에서 알 수 있듯 대기오염물질의 배출허용기준을 만족하며 운전되고 있는 두 공정의 비교에서 CO₂ 배출량, 즉 지구온난화에 대한 기여도에서 상당한 차이가 있었다. 따라서, 집진시설의 녹색성 평가지수를 위한 환경인자는 전과정평가의 특성화결과 중 환경영향범주에 가장 많은 기여도와 차이를 나타내고 있는 전력소모와 직접적으로 연관되는 지구온난화 지수(GWP)를 선정하여 제안하였다. 본 연구에서 제시한 환경영향 지표가 평가자와 해당기술 분야의 신청자의 처리시스템 전 과정에 걸친 환경부하와 오염물의 이동을 고려한 종합적인 정보의 활용 도구로서 활용되기를 기대한다.

6. 결론

본 연구는 전과정평가를 활용하여 국내 집진 공법을 비교·분석하고, 녹색인증의 녹색성 평가지표로써 환경영향 범주의 활용가능성에 대하여 검토하였다.

집진시설은 대기오염물질을 처리하기 위하여 많은 에너지가 투입되고, filter 등의 폐기물이 발생하기 때문에 대기오염물질 저감을 위해 대기·수계·토양 등 다른 계로의 오염물질이동(Trade-off)을 야기할 수 있다. 이에 본 연구에서는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법으로 환경영향 분석을 수행하기 위하여 집진시설의 운전단계를 시스템 경계(System boundary)로 하여 Bag filter 기술과 Cy-bag filter 기술로 운전되고 있는 국내 화력발전소의 데이터를 수집하였다. 환경영향 범주는 환경성적표지에서 선택하고 있는 6가지 영향범주로 선정하였으며, 녹색인증의 평가지표인 녹색성을 비교·분석하기 위해서 지구온난화 범주의 특성화 결과값을 선정하였다.

지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 Bag filter 기술이 $1.00E-04$ kg, Cy-bag filter 기술이 $6.83E-05$ kg으로 약 1.5배 이상 지구온난화에 미치는 영향이 더 많은 것으로 분석되었다. GWP의 단위 공정별 기여도를 살펴보면, 두 공정 모두 전력이 90% 이상을 차지하고 있으며, 영향범주에 미치는 단위공정별 주요 기여 물질의 배출량을 분석한 결과 Bag filter 기술에서는 carbon dioxide(CO₂)은 $9.86E-05$ kg, Cy-bag filter 기술에서는 carbon dioxide(CO₂)은 $6.72E-05$ kg으로 분석되었다. 결과적으로 집진시설의 경우 처리공법에 따라 처리공정에 사용되는 전력량이 가장 중요한 기여요소(Key Contributor)임을 알 수 있었다.

6가지 환경 영향범주에서 환경에 미치는 기여도가 가장 큰 GWP를 녹색인증의 단일평가항목인 녹색성 평가지표로 선정하여 제시하였으며, 이

는 집진기술에 적용되어 선정된 결과로 향후, 집진시설에 대한 녹색성 분석을 위해서 전과정평가는 각 공법별로 규모, 운전시간 등을 고려한 작성지침에 맞추어 분석되어야 할 것이며, 그 결과 값을 Data base화하여 향후 집진시설에 대한 환경영향범주 자료를 체계화 할 필요성이 있을 것이다. 또한 집진시설에만 국한되는 것이 아닌 녹색인증 평가시 전과정 평가를 활용하기 위한 기술분야별 작성지침을 제시하고 환경영향 범주를 산정하여 녹색성의 제시·분석이 가능할 것으로 판단된다.

현재 대기처리기술의 녹색인증 평가시 공법별·기술별 처리효율성, 유지·관리비 등의 비용 측면을 주로 고려하여 평가하고 있다. 하지만 본 연구의 결과에서는 전력소모량이 대기오염방지시설의 경제성 측면에만 국한되어 평가되는 경우 지구온난화에 미치는 환경영향에 대한 요소를 놓칠 수 있음을 알 수 있었다.

최근 전 지구환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 친환경 제품, 친환경 시설물 등의 요구가 증가하고 있다. 이에 주요한 국가기반시설인 화력발전소의 대기오염방지시설의 처리 효율성과 친환경적이며 지속가능한 국가기반시설로의 역할을 위해 전과정평가를 이용하여 녹색인증 평가뿐만 아니라 국가 온실가스 저감 유도 방안으로도 적극적으로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

- Bogner, J., Ahmed, M. A., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., Zhang, T., Diaz, L., Kjeldsen, P., Monni, S., 2007, Chap 10, Waste management: In Climate Change 2007, *Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)*
- Bo Pedersen Weidema, Marianne Suhr Wesnæs.
Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production, Volume 4, Issues 3-4, 1996, Pages 167-174*
- Chen, T. C., Lin, C. F., 2008, Greenhouse gases emissions from waste management practices using life cycle inventory model, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 155, pp 23-31.
- Chung, Y. H., Kim, S. D., Moon, J. H., Determination of the Korean Normalization Scores for the Life Cycle Assessment, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 19, No. 2., 1997, pp.269-279.
- Taeko Aoe. Eco-efficiency and eco-design in electrical and electronic products. *Journal of Cleaner Production, Volume 15, Issue 15, October 2007, Pages 1406-1414*
- Kyounghoon Cha, Songtak Lim, Tak Hur. Eco-efficiency approach for global warming in the context of Kyoto Mechanism. *Ecological Economics, In Press, Corrected Proof, Available online 7 November 2007*

- S. Renou, J.S. Thomas, E. Aoustin, M.N. Pons. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA, *Journal of Cleaner Production*, Volume 16, Issue 10, July 2008, Pages 1098-1105
- Kim, S. H., Kim, D. M., A Study on Methodology and Application of Life Cycle Assessment, *Journal of Korean Solid Wastes Engineering Society*, Vol. 12, No. 1, 1995, pp.145-152.
- Oh, I. K., Kang, H., The Case Study on Practical Application of LCA related to Environmental Policy, *Journal of Korean Society for Life Cycle Assessment*, Vol. 1, No. 1, 1999, pp.95-101.
- Kim, J. W., 2003, Greenhouse gas reduction potential for South Korea, *Journal of Environmental Studies*, Vol.41, pp.157-166.
- Ekvall, T., Backman, P., 2001, Assessing external and indirect costs and benefits of recycling, Proceedings: Workshop on system studies of integrated solid waste management, Proceeding Session 3, pp. 99-105.
- Friedrich, E., 2002, Life cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable water, *Water Science and Technology*, Vol.46, No.9, pp.29-36.
- 이동훈, 1999, LCA란 무엇인가, 포장계 71 84-88
- Kim, S. G., 2008, Life cycle assessment of biological wastewater treatment system, Master Thesis, Seoul National University.
- ISO 14040, 2006 a, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2nd edition, ISO 14040:2006(E), International Standardization Organization.

- ISO 14040 : 2006, Environmental management, Life cycle assessment : Principles and framework
- ISO FDIS (Final Draft International Standard) 14041 : Environmental management - Life cycle assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, 1997
- ISO 14041, 1998, Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, 1st edition, ISO 14041:1998(E), International Standardization Organization.
- ISO 14042, 2000 a, Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment, 1st edition, ISO 14042:2000(E), International Standardization Organization.
- ISO 14043, 2000 b, Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation, 1st edition, ISO 14043:2000(E), International Standardization Organization.
- ISO 14044 : 2006, Environmental management, Life cycle assessment : Requirements and guidelines
- ISO 14044, 2006 b, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, 1st edition, ISO 14044:2006(E), International Standardization Organization.
- ISO/TR 14049,2000, Technical Report: Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis, 1st edition, ISO/TR 14049:2000(E), International Standardization Organization.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), 2001, Climate Change 2001: The scientific basis.

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), 2006, Guidelines for national greenhouse gas inventories.

Lee. K. M., Inaba. a., 2004, Life cycle assessment - Best practices of ISO 14040 series, Committee on Trade and Investment.

한국전력공사, 2015, 2014년 한국전력통계속보 12월

그린피스, 2015, 한국 석탄화력발전의 건강 영향과 정책의 현주소

Korea Energy Management Corporation, 2003, Model development of analyzing greenhouse gases reduction.

Korea Science and Engineering Foundation, 2005 Life cycle assessment for municipal solid waste treatment & recycling technologies and application to sustainable waste management system.

Ministry of Environment, Korea, 2003, Guide line for Cost-Benefits analysis of environmental policies.

Ministry of Environment, Korea, 2006, Development of Clean Techniques: Development of LCA Methodology and Application to Korean Industries.

Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change, 1998, United Nations.

Abstract

A Study on the Greenhouse Gas Reduction of Green Certification in Korea using Life Cycle Assessment

Cho, Sun Young

Department of Environmental Health
The Graduate School of Public Health
Seoul National University

Republic of Korea introduced a new certification system, Green Certification which promotes to utilize green technology on sites as well as to reduce energy and resources. The certification system define technology fields as Green technology, and assess degree of energy/resource saving, reduction of climate change, environmental damage and etc. for supporting industrialization of the technology.

Fine dust like as PM10 and PM2.5 is major issue as well as the effect of fine dust on environment and control of ultra-fine dust are crucial matter on international society. Coal-fired electrical power plant is considered important national infrastructure according general tendency. Each air

pollutant treatment in coal-fired electrical power plant leads different outputs such as amount of waste materials and has so efficiencies, as usage of filter and energy consumption. With that, it is expected that the inputs and outputs to reduce air pollutant in the process of air pollutant treatments cause other environmental contaminations.

The study was driven with LCA(Life Cycle Assessment) in order to derive an analyzation and comparison of potential environmental effects between Bag filter process and Cy-bag filter process which got Green Certification. Each level of operation was set as system boundary and LCIA(Life Cycle Impact Analysis) by inputs and outputs was carried on. Specialized extruded values were obtained with the results of LCIA. These values were used to compare and analysis various ranges on environmental effect such as Abiotic depletion, Global Warming, Ozone depletion, Acidification, Eutrophication and Photo-oxidant formation between the two treatments. In order to apply the range on environmental effect on Green Efficiency of Green Certification, Global Warming index which can be a major issue allowing for characteristics of air pollutant treatment technologies was selected. Moreover, a plan for selection of index on environmental effect for assessment Green Efficiency of Green Certification in other field was proposed.

As a result of LCIA, Bag filter process has slightly higher environment load then Cy-bag filter process with GWP value of $1.00\text{E}-04$ kg for the former and $6.83\text{E}-05$ kg for the later. It means Bag filter process has about 1.5 times bigger effect on global warming then Cy-bag filter process, this was understood as Bag filter process consumes more electricity than Cy-bag filter process.

It is concluded that secondary contaminant from CO₂ can be passing

out easily if electricity was included in cost. In other words, global-warming can be passing out easily. As the results represented, GWP index is selected as a Green Efficiency of Green Certification in air pollutant treatment technologies fields. it means that assessment on Green Efficiency considers total-range environment effect of each process as well as processing efficiency. This was understood as a way that leads sustainable improvement in the coal-fired electrical power plant which is one of national base facility.

For assessment Green Efficiency of Green Certification using LCA, firstly each technology field has own guideline including research scope for procuring objectivity. Secondly date collecting needs same or similar level about time frame, local frame and technical frame when comparing two technologies. Lastly, selected assessment group examines analyzation of LCA, validity of environmental effect index and applicability of guideline. This can be proposed that Green Efficiency on process can be assessed validly and also accumulated data on guideline of technology field can be understood as trends on industry. Moreover it is expected that inventory of environmental effect index using LCA can built for analyze greenhouse gas emission.

keywords : Green Certification, Green Efficiency, Life Cycle Assessment(LCA), Greenhouse Gas Reduction, Air Pollution Prevention Facility, Bag filter process, Cy-bag filter process

Student Number: 2013-23563