

환경열 경제학 소개



김덕진

엔테스(EnTEs) 대표
entes@outlook.kr

1. 들어가며

열공학(Thermal engineering)의 주된 목표는 시스템 해석의 정확성과 시스템 효율의 최대화이며, 경제학(Economics)의 주된 목표는 합리적인 비용 책정과 이윤 추구의 극대화이며, 환경학(Environmentology)의 주된 목표는 환경보전과 환경오염의 최소화이다.

위 학문을 상호 접목하였을 때 새로운 학문 분야가 창출되며, 열공학과 경제학이 접목된 학문을 열경제학(Thermoeconomics), 환경학과 경제학이 접목된 학문을 환경경제학(Environmental economics), 그리고 환경학과 열공학이 접목된 학문을 환경열공학(Environmental thermal engineering)이라 칭한다.

본 연구의 목적은 열공학, 경제학, 환경학을 상호 융합한 환경열경제학(Environmental thermoeconomics)이라는 새로운 학문을 제안하는 것이며,

Plant Technology



그 학문의 목적은 공학적 지식에 기반을 둔 정확한 시스템 해석으로부터 합리적인 비용 책정과 환경보호를 추구하는데 있다.

2. 각 학문의 연구 분야 파악

2.1 환경열공학의 교과 과정

표 1에는 환경열공학의 교과 과정이 제시되어 있다. 비공학자 관점에서는 이해하기 힘들 수 있겠지만, 교과과정에서 파악할 수 있는 명확한 것은 합리적인 비용 책정과 이윤 추구의 최대화 즉 “경제” 또는 “비용”이라는 단어가 없다는 것이다. 위 교과목에 경제학을 추가한다면 다수의 새로운 연구 분야가 창출될 수 있을 것이다.

2.2 환경경제학의 교육 내용

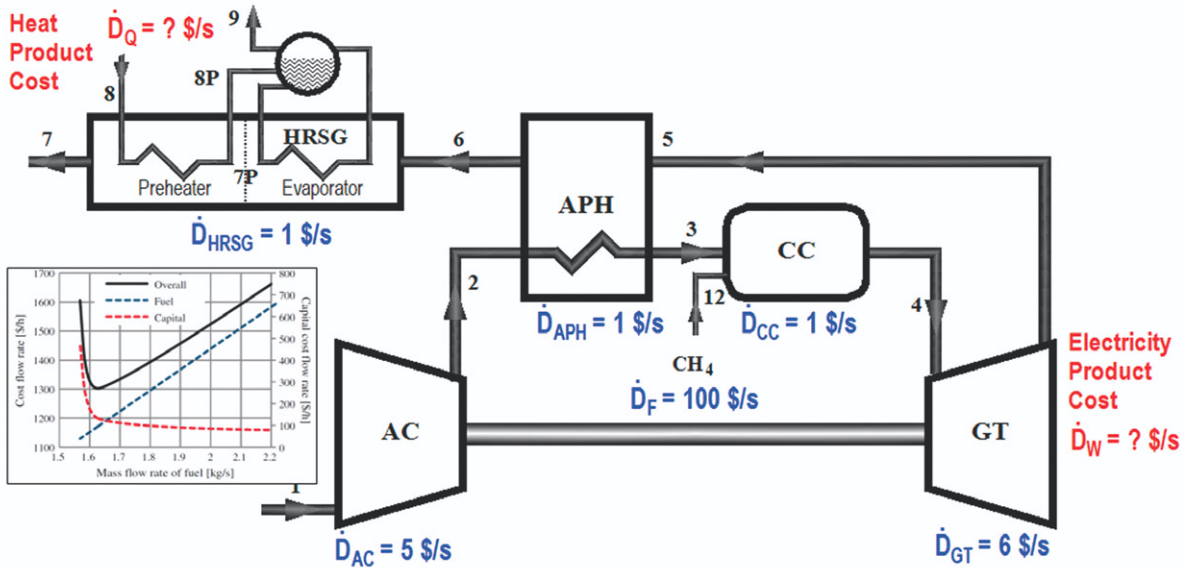
표 2에는 경제학의 교과과정 중의 하나인 환경경

<표 1> Curriculum of environmental thermal engineering

반응공학	유체역학	환경생태학	환경영향평가	토양지하수오염모델링
환경오염조사론	환경위해성평가	확산론	환경화학	유해물질관리
생물하폐수공학	바이오에너지공학	환경미생물학	가스처리공학	환경기기본석
고형폐기물관리	소각및열분해	토양지하수오염복원	고도폐수재생공학	신재생에너지공학
대기화학	바이오고형연료공학	생물공정제어	바이오연료공학	미생물연료전지공학
수질관리학	슬러지자원	용수처리공학	유동화학	폐기물에너지공학
유해폐기물관리	자원회수공학	집진공학	악취처리공학	
지하수문학	환경오염관리	수문학	환경오염물질분석	

<표 2> Curriculum of environmental economics

<p>제1장 신고전학파 경제학은 환경문제를 어떻게 보았는가</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 신고전학파란 무엇인가 2. 수요와 공급의 균형 3. 균형의 효율성 4. 외부불경제와 균형의 비효율성 5. 피구의 이론: 외부불경제론의 원류 그리고 과세정책 6. 환경세 또는 오염과징금 7. 규제의 효율성 분석 8. 신고전학파 환경경제학의 정리 <p>제2장 마르크스 경제학은 환경문제를 어떻게 보았는가</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 들어가며 2. 마르크스 경제학의 틀 3. 마르크스 경제학과 공해 4. 마르크스학과 환경경제학의 정리 <p>제3장 엔트로피 경제학은 환경문제를 어떻게 보았는가</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 신고전학파 경제학 · 마르크스 경제학에 대한 불만 2. 엔트로피란 무엇인가 3. 제오르제스쿠-뢰겐의 경제과정론 4. 자원물리학 5. 자원물리학을 도입한 경제학 6. 엔트로피 경제학의 한계 7. 엔트로피 경제학의 의의 <p>제4장 기타 중요한 환경경제학</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 들어가며 2. 제도학과 경제학 3. 신제도학과 경제학 4. 윤리적 후생경제학 5. 제(諸) 학파의 관계 	<p>제5장 고전적인 대기오염과 수질오염</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 들어가며 2. 산업공해와 환경정책의 형성 3. 마르크스 경제학과 산업공해 4. 배수과징금 5. 양도 가능한 배출권 6. 나가며 <p>제6장 화학물질의 건강 리스크와 비용편익분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 들어가며 2. 건강의 화폐가치 3. 리스크평가 4. 리스크사감과 리스크사감비용 5. 비용편익분석 6. 비용효과분석 7. 리스크관리는 어떻게 해야만 하는가 <p>제7장 생물다양성의 보호와 환경평가</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 생물다양성 문제 2. 신고전학파 경제학의 수법 3. 생태계 리스크평가 4. 생태계 리스크사감의 비용효과분석 5. 나가며 <p>제8장 지구온난화와 정책수단</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 지구온난화문제 2. 지구온난화를 둘러싼 효율과 균형 3. 국내정책수단의 선택 4. 탄소배출총량규제의 가능성 <p>제9장 환경문제와 경제성장</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 중요한 환경문제는 무엇인가 2. 환경 거시경제학 - 케인스학과 환경경제학으로 3. 규제와 계획의 중요성
---	--



[그림 1] 120°C 재생온도에서 (a) 제습량, (b) 제습과정 출구 온도

제학의 교육 목차(저자 오카 도시히로)가 제시되어 있다. 공학자의 관점에서 이해할 수 있는 내용은 제 “3장 엔트로피 경제학”이나, 이것은 공학에서 해석하고 있는 에너지 시스템의 엔트로피가 아니라, 경제 시스템의 엔트로피를 뜻한다. “제8장 지구온난화와 정책수단”에서 지구온난화의 주된 원인을 탄소로 규정하고 있다. 탄소는 경제학적 용어이며, 공학에서는 온도, 압력, 속도, 고도, 질소, 산소, 탄소, 수증기, 아르곤 등이 해석 대상이다. 따라서 환경경제학에서는 열공학이라는 단어가 존재하지 않는다는 것을 알 수 있으며, 환경경제학에 열공학이 반영된다면 다수의 새로운 연구 분야가 창출될 수 있을 것이다.

2.3 열경제학의 교육 내용

열경제학은 열역학 기반의 에너지 시스템 해석으로부터 그림 1과 같이 생산품의 합리적인 비용 책정과 이윤 최대화를 구현하는 학문이다. 여기서 그림 1의 7번 상태는 환경으로 방출되는 오염물질이며 열경제학에서는 다

루지 않고 있다. 따라서 7번 상태의 환경오염비용이 열경제학적으로 정의된다면 경제학적 관점인 탄소배출비용이 아니라 공학적 관점인 어떤 배출비용으로부터 지구 환경보전을 추진해 나아갈 수 있을 것이다. 여기서 저자는 열역학 제2 법칙으로부터 파생된 무용에너지 배출권(1)을 제안한 바 있다. 따라서 열경제학에 환경학이 반영된다면 다수의 새로운 연구 분야가 창출될 수 있을 것이다.

3. 각 학문의 연구 성과 파악

3.1 환경열공학의 연구 성과

환경열공학의 연구 성과는 표 1에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 언급할 수 없을 정도로 그 연구 범위가 넓다. 공학의 특징은 하나의 법칙 또는 방법론은 모든 시스템에 적용할 수 있어야 한다는 것이다. 즉 하나의 어떤 환경오염비용 책정 방법론이 개발된다면 표 1의 모든 연구 분야에 적용할 수 있다.

3.2 환경경제학의 연구 성과

환경경제학 역시 그 연구 범위가 넓으나, 공학적 관점과 결부 지을 수 있는 것은 탄소배출이다. Science Direct.com에서 “Carbon Emission”으로 검색하면 22,551편의 논문이 검색되며, 대한민국의 riss.kr 사이트에서 “탄소배출”로 검색하면 274편의 논문이 검색되고 있다. 표 3에는 우리나라에서 검색된 논문명이 표기되어 있으며, 거의 대부분 경제학에서 연구하고 있음이 파악되었다. 공학적 관점으로 환경오염 계산 방법론(1)이 제시된다면 표 3에 예시된 연구 주제뿐만 아니라 전세계 22,551편의 연구 주제는 공학적 관점으로 재평가될 것이다.

3.3 열경제학의 연구 성과

열경제학은 지구상의 모든 에너지 시스템을 적용 대상으로 하며, 주 해석 대상은 복합 에너지 시스템이다. 여기서 단일 에너지 시스템 역시 열경제학으로 접근할 수 있으나, 이 경우 시스템 해석은 기존 열역학 지식으로 그리고 비용 해석은 기존 경제학 지식으로 접근할 수 있으므로 단일 에너지 시스템은 열경제학의 주 대상이 아니다. 열경제학으로 부터 복합 생산품의 비용 책정 및 비용 최적화를 구현할 수 있으며, 엑서지(Exergy)를 기반으로 하므로 엑서지경제학(Exergo-economics)라고도 불린다. ScienceDirect.com에서 “Thermoeconomic”로 2,410편 및 “Exergoeconomic”으로 1,260편의 논문

이 검색되고 있다. 그림 1에서 설명하였듯이 열경제학에서는 환경오염비용을 연구하지 않으므로, “환경학”이 추가된다면 복합에너지시스템에 대해 2,410편 이상의 연구주제가 창안될 수 있고, 단일에너지시스템에서의 연구주제는 헤아릴 수 없다.

Thermoeconomic & “climate change”로 검색하면 359편 및 Thermoeconomic & “carbon emission”으로 검색하면 152편이 검색되나, 그 논문은 모두 탄소를 기반으로 접근하고 있다. 공학적 관점으로 그림 1의 7번 상태는 엑서지(유용에너지)를 환경으로 방출하는 것이므로, 탄소배출 대신 엑서지 배출(1)이라는 아이디어가 제안될 수 있다. “exergy emission” 검색결과 86편이 검색되었으나, 모두 환경오염비용과의 관련은 전무하다. 방출된 엑서지는 인류사회 발전과는 무관한 에너지이므로 무용에너지(1)이 된다. 여기서 유용에너지 및 무용에너지라는 단어는 모든 학문분야에서 범용적으로 쓰이는 단어이다. 이 아이디어로부터 무용에너지 배출이라는 아이디어가 제안될 수 있다. “non-used energy” 검색결과 4편이 검색되었으나, 이 역시 환경오염비용과의 관련은 전무하다.

4. 환경열경제학의 제안

환경보존의 환경학, 에너지시스템 해석의 열역학, 그리고 비용책정의 경제학을 상호 집목하면 환경열경제학이라는 학문이 창안된다. 2장 및 3장에서 살펴본 바와 같이, 현재 두 종류 학문은 상호 융합하고 있으나 세 중

〈표 3〉 Paper of environmental economics in Korea.

<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 도시 그린필드의 조성 및 관리방안 순회배송 물류전략에서 탄소배출 비용의 효과 분석 한국의 수출에 함유된 국내의 탄소배출 비중과 탄소사슬 탄소성적표지인증 제품 중 건축자재의 인증 현황 및 탄소배출특성 분석에 관한 연구 도시구조와 탄소배출 간 관계에 대한 소고 공공건축물의 탄소배출량 산정 및 탄소저감 효과 분석에 관한 연구 세종시 탄소배출 모니터링시스템 철도건설현장과 도로건설현장의 탄소배출 원단위 비교 연구 탄소배출규제에 따른 업종별 산업경쟁력 분석과 보완방안 사무소 건물의 CO₂절감을 위한 건설비용 최적화 방안 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 북한의 탄소저감과 산림보존을 위한 사업대상지 선정방법 연구 가구 탄소모니터링 시스템에 의한 탄소배출특성 도시형태요소 기반 탄소배출량 추정 모델 개발 고로슬래그미분말의 콘크리트 혼입시 탄소배출영향도 분석을 위한 LCA 공동주택을 대상으로 한 탄소배출 평가기준 구축 및 평가방법 개발 GIS기법을 이용한 건설현장 탄소배출 지도제작 전략 탄소배출 감축제도의 녹색기후기금에 관한 연구 배출권 거래제상 법인세 과세에 관한 비교법 연구 EU 탄소배출권거래제(ETS)의 외국항공사 적용에 따른 국제분쟁 탄소배출권 거래제도에 대한 법적 고찰
---	---

류 학문의 융합은 존재하지 않고 있다.

구글 “environmental thermoeconomics” 검색에서 단 하나의 웹사이트가 검색되고 있으며, 그 웹사이트 역시 그 게시자의 탄소 최소화 전문 엔지니어링 경력소개 항목의 한 단어이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 환경 열경제학이라는 단어는 전세계에 아직 존재하지 않는 것으로 판단된다.

환경열경제학이 적용될 수 있는 대표적인 분야는 기후변화의 주제인 탄소배출권이다. 여기서 “탄소”는 경제학이며, “배출”은 환경학, 그리고 “권”은 경제학이므로 탄소배출권은 경제학자가 연구해야 한다. 그러나 제안 단계인 엑서지배출권은 열공학, 환경학 그리고 경제학의 융합이며, 공학자가 주도적으로 분석 연구해야 할 것이다.

5. 마치며

환경학과 열공학의 접목인 환경열공학은 독립된 학과로서 그 연구 성과는 헤아릴 수가 없으나, 경제학을 다

루지 않고 있다. 환경학과 경제학의 접목인 환경경제학은 하나의 교과과정으로서 이 역시 헤아릴 수 없는 연구 성과를 도출하고 있으나 열공학을 다루지 않고 있다. 열역학과 경제학의 접목인 열경제학은 하나의 연구 주제로서 2,410편 이상의 연구논문이 출판되고 있으나 환경학을 다루지 않고 있다.

본 글에서는 환경학, 열공학, 경제학을 상호 접목하여 환경열경제학이라는 새로운 분야를 제안하고 있으며, 열공학을 기반으로 환경학과 경제학에 접근해야 할 것이다. 본 학문은 대표적으로 기후변화의 주제인 탄소배출권에 적용할 수 있으며, 다양한 분야에서 기존 학문 못지않은 연구 성과가 창안될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. Kim, D. J., 2015, “Suggestion of Thermal Environmental Pollution Cost Pricing Methodology - Part I, II, III,” Proceedings of the SAREK 2015 Summer Annual Conference, it will be published. 