

그린 IT 평가 지표 연구

강영모* · 강찬우** · 한경석*** · 김종배****

,*,*****
충실대학교

A Study on Green IT Evaluation Indicators

Kang Young-mo* · Kang Chan-woo** · Han Kyeong-seok*** · Kim Jong-bae****

,*,*****
Soongsil University

E-mail : kjb123@ssu.ac.kr

요 약

세계적으로 진행되는 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 노력과 더불어, 그린 IT의 기술도 빠르게 발전하고 있다. 기후변화 대응형 그린 IT 기술이 사회과학의 어젠다로 등장함에 따라서 그린 IT의 개념은 IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화라는 두 가지 형태로 진화하였다. 이와 같은 맥락에서 이 연구는 기후변화에 대응하기 위한 그린 IT 연구동향을 검토하고, IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화라는 개념을 심층적으로 검토한다. 나아가서 그린 IT를 평가하기 위한 지표로서 생애주기평가(LCA)를 제시한다. 본 연구의 결과는 기후변화 시대의 그린 IT의 정책적인 문제점 해결과 지속적인 연구를 하는데 기여하고, IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화 개념을 제시함으로써 한국 IT 산업의 발전에 기여할 것으로 기대한다.

ABSTRACT

With the international community's efforts to respond to climate changes progressing in the world, Green IT technologies have also developing rapidly. As green IT technologies against climate change has emerged as the agenda of social sciences, the concept of green IT has evolved into two types: greening of IT and greening by IT. In this context, this study reviewed in depth green IT research trends as well as concepts of greening of IT and greening by IT to respond to climate change. Furthermore, it proposed a life cycle assessment (LCA) as an indicator for assessing green IT. The results of this study are expected to contribute to solving political problems with green IT and continuing research in the climate change era. They are also expected to make a contribution to the development of IT industry in Korea by presenting the concepts of greening of IT and greening by IT.

키워드

green IT, substantiality, low carbon, life cycle assessment, environmental impact

1. 서 론

기후변화(climate change)는 지구의 환경이 장기적으로 바뀌는 현상을 의미한다. 지구온난화 현상은 기후변화의 한 징표이다. 온난화는 온실가스가 지표로부터 방출되는 적외선을 흡수하여 지표면이 데워지면서 발생한다. 이로 인해 세계는 사막화, 해수면 상승, 생태계 교란 등으로 몸살을 앓고 있다. 뿐만 아니라, 대기와 바다의 평균 온도는 장기적으로 상승하는 추세이며, 산업혁명 이후

지속적으로 온실가스가 대기로 배출되면서 기후 온난화를 부추긴다.

과거에도 기후 온난화는 어느 정도 존재했으나, 19세기 후반에 관측된 이후의 지구 온난화 현상에 대해서는 인간 활동의 결과로 보는 견해가 지배적이다(Chambers, 1993; Halpern et al., 2008). 온난화를 일으키는 대기 중 온실가스 사용은 자본주의의 발달 초기인 19세기 이후 지속적으로 증가하여, 현재까지 지표면의 온도는 0.6℃가 증가한 것으로 관찰되었다. 이와 같은 기온 상승은

북반구, 특히 고위도로 갈수록 크게 나타나고 있고, 육지가 해양보다 빠른 속도로 변화하는 것으로 드러났다(이용희, 2012). 이처럼 점증하는 기후변화에 대한 위기의식을 바탕으로 많은 학자들이 기후변화를 기술적으로 극복할 수 있는 그린 IT 개념에 대한 검토가 필요하다고 언급해왔다(심상천·임외석, 2010; Jenkin et al., 2011; Murugesan, 2008).

그린 컴퓨팅(green computing)이라는 개념에서 비롯된 그린 IT이라는 개념은 에너지의 효율적 사용, 비용절감 기술을 비롯해 자동차연료와 배출, 기업들의 재활용 분야와 생활용 기구에 이르기까지 모든 분야에 망라되어 있다(강상구, 2011; 정선호 외, 2010). 이에 따라서 정보통신의 발전이 지속가능한 발전에 미치는 영향이나, 혹은 정보통신기술 자체가 지속가능해져야 한다는 논의가 모두 힘을 얻고 있다. 특히 그린 IT 확산에 관한 Molla et al.(2009)에 따르면 미국, 뉴질랜드, 호주 기관 사이에서 그린 IT의 이니셔티브는 미세한 차이를 나타내지만, 모두 상당히 성숙한 수준에 도달했다는 결론을 보여준다.

그린 IT의 발전과 관련하여 IT 산업은 IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화라는 두 방향으로 진화하고 있다. IT의 녹색화(Green of IT)가 기후변화 등의 세계적 현상에 대응하기 위하여 IT 기술 자체를 저탄소형으로 재구조화해야 할 필요성을 강조한 개념이라면, IT에 의한 녹색화(Green by IT)는 IT의 기술과 방법론이 기업경영과 생활에 영향을 줌으로써 기후변화 대응에 기여하는 것을 의미한다. 장기적으로 기후변화에 대응하기 위해서는 IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화가 어떤 방식으로 발전해 나가야 할지에 대한 논의가 필요하다.

본 연구는 크게 두 가지 목적을 가지고 진행되었다. 첫째, 기후변화 시대의 그린 IT와 관련한 연구동향을 고찰하여 정책적인 문제점 해결과 지속적인 연구를 하는데 기여하고자 하였다. 둘째, IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화 개념을 고찰함으로써 한국 IT 산업의 발전방향을 제시하는 데에 있다. 이와 같은 고찰을 바탕으로 이 연구는 그린 IT의 전제조건으로서 제품의 전생애주기에 근거한 환경부하(environmental load) 측정법의 필요성을 역설하는 것으로 논의가 마무리된다.

II. 기후변화와 그린 IT 개념

2.1. 기후변화의 전개

기후변화와 환경에 대한 심각성은 지속적으로 세계경제를 위협하고 있다. 경제발전과 산업성장으로 온실가스 배출과 지구온난화 현상이 가속화되고 있고 쓰나미, 태풍, 지진 등과 같은 기후변화로 인한 자연재해 발생으로 미국, 일본, 중국, 필리핀 등 여러 나라가 몸살을 앓고 있다. 그리고

이러한 기후변화로 인한 국가적 비상상태를 유럽 각국도 심각하게 받아들이고 있어 기후변화 문제는 시급히 해결해야 할 중요한 정책과제가 되고 있다.

기업의 무분별한 성장중심 전략으로 지구온난화 등 환경파괴가 가속화되고 있다는 지적도 있다(최영진 외, 2011). 기업의 자원낭비, 대량생산과 소비, 후속으로 발생하는 대량폐기 및 환경오염으로 인류의 생존권이 위협받고 있으며, 환경오염의 상당 부분이 기업에서 비롯되기 때문에 환경중심경영의 필요성을 강조한다. 즉, 기업이 그린경영을 실천하기 위해서는 사회의 요구, 컴플라이언스에 대한 철저한 이해 및 미래에 대한 예측을 기반으로 최고경영자의 리더십 하에 전략적 비전을 설정할 필요가 있다는 것이다. 그러나 기후변화는 본질적으로 전 세계의 국가, 기업, 가계라는 경제활동 주체들이 복합적으로 만들어낸 인위적 현상이기 때문에 녹색기업경영에 근거한 기후변화 담론은 한계를 지닌다.

기업뿐만 아니라 기후변화 대응은 지구적(global) 이슈이다. 온실가스 감축을 위한 국제적 노력이 그 일환이다. 최근 연구는 각국이 온실가스 감축을 위해 시행, 채택 및 계획 중인 각 정책과 조치들을 설명하고, 각각의 정책 및 조치들이 목표하고 있는 온실가스의 정량적(quantitative) 감축 추정량을 가능한 범위 내에서 제시하며, 추정에 사용된 방법론(methodology)을 설명하고 있다(임재규 외, 2004). 그리고 각 정책 및 시행으로 인해 발생하는 비용과 온실가스 감축으로 인해 발생하는 편익 등에 대해서도 기술하도록 권고하고 있다.

온실가스 발생의 심각성은 그것이 곧 지구온난화에 직접적인 영향을 준다는데 있다. 지구온난화의 유발물질은 이산화탄소, 질소산화물, 불활성탄화수소 화합물 등인데 이 중 화석 에너지 생산과 소비로 발생하는 이산화탄소 배출이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 지구온난화의 주범인 가스 배출 감축을 위한 조치에 정부와 민간의 투자를 유도함으로써 국가경제와 소비자들에게 장기적인 이익을 증대시킬 수 있다. 그리고 실천 계획은 현행 에너지절약기술의 개발을 유도하고 첨단기술의 도입을 보다 가속시키기 위한 공·사적 협력관계를 강화하고 있다. 이러한 프로그램은 국내외적으로 생산성과 경쟁력을 높이는 한편, 이산화탄소의 배출을 줄일 것으로 전망한다(최병렬, 1994).

온실가스로 인한 기후변화를 야기하는 여러 조치들도 마련되고 있다. 1972년 2월 스위스 제네바에서 세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization) 주관으로 제 1차 세계기후회의가 개최되었다. 이 회의를 통해 온실가스가 기후변화에 미치는 영향과 평가에 대한 논의가 진행되었다. 이후 기후변화에 대한 대응이 본격화된다. 1988년 11월 세계기상기구와 유엔환경계획(UNEP: United Nations Environment Program)

주관 하에 기후변화에 관한 정부간협의회(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)가 설립되었다. 그 후 1990년 8월 기후변화의 원인, 영향과 대응에 관한 IPCC 종합보고서가 발간되었고, 1992년 5월에는 INC회의는 기후변화 협약을 채택하였다(이용희, 2012, p. 23).

온실가스 배출문제 해결을 위한 노력은 범국가적으로 이루어져 왔다. 1992년 리우 환경협약, 1997년 구체적인 온실가스 감축 목표치를 규정한 교토 의정서의 채택과 발효, 2005년 발리 로드맵의 채택, 2009년 코펜하겐 기후협약 당사국 총회 등이 대표적 예이다. 특히 코펜하겐 기후협약 당사국 총회에서는 교토체제 이후 구체적인 온실가스 감축 목표를 다루었고, 현재까지도 UN을 중심으로 자구책인 지구환경 변화대응 노력이 지속되고 있다(김한주, 2009).

기후변화 문제에 대해서 한국도 자유로운 편은 아니다. 한국은 지난 60년 산업화 과정에서 신흥공업국(New Industrial Country)으로 분류될 정도로 산업 전반이 제조업에 기반하고 있었다. 2000년대 이후, IT 분야와 서비스 산업의 비중이 높아지고 있기는 하지만, 한국은 전 세계 이산화탄소 배출량의 1.9%를 차지하는 9위의 이산화탄소 배출국이다. 1인당 이산화탄소 배출량은 세계적으로 27위이며 9.48t를 배출하고 있다. 이산화탄소가 증가한 주된 요인은 석유화학 설비 증설로 납사소비의 증가(390%), 수송차량의 증가(280%), 석탄화력 발전 증가(375%), 탄소배출계수가 높은 유연탄 사용 등의 효과를 들 수 있다.

2.2. 그린 IT 개념

그린 IT 개념의 등장은 정부의 환경을 통한 성장 정책이 적극적으로 반영된 결과라고 볼 수 있다. 이명박 대통령은 2008년 8월 15일 독립 60주년 기념축사에서 새로운 60년의 국가비전으로 저탄소 녹색성장(green growth) 개념을 제시하였다(윤순진, 2013). 즉, 이명박 정부의 상반기 국정기조 연설에서 제시되었던 ‘저탄소 녹색성장’이 정책의 생성, 소멸, 변화라는 관점에서 분석되고, 세계금융위기의 해법으로 UN과 OECD가 추구했던 그린 뉴딜의 모범국가로 한국이 지목되면서 ‘녹색성장’ 정책경로가 국내외적으로 강화되었다. 이후 박근혜 정부에 들어와서는 녹색성장 국정기조의 계승과 제자리 찾기가 더욱 강조되었다. 친환경기술이라는 개념으로 산발적으로 존재하던 그린 IT 개념은 이명박 정부 이후부터 보다 구체적으로 논의될 토양이 만들어졌다고 할 수 있다(김민경·조현·김성희, 2012).

일반적으로 그린 IT는 IT 기반의 친환경 기술을 포괄하는 개념으로서 넓은 범위에서는 유해 물질 대체, 에너지효율화, 대체에너지 등 친환경적 기술을 의미한다(송길현 외 ·신택수, 2009). 보다 포괄적으로 국가정책 입장에서 보면, 그린 IT는 잠재적 환경문제를 해결하고자 하는 노력의 일환이

기 때문에 그린 IT는 환경을 개선하는데 필요한 모든 IT기술과 산업을 총칭하는 개념이기도 하다. 따라서 그린 IT는 녹색정보화 과정에서 자원을 효율적으로 관리하고 운영하는 그린 IT와 정보통신기술을 활용하여 경제사회전반의 에너지효율을 제고하는 그린 IT로 구분할 수 있다(신영진, 2009).

그린 IT 개념의 분류는 ‘IT의 녹색화’(Green of IT)와 ‘IT에 의한 녹색화’(Green by IT)라는 두 축으로 요약된다(강희중, 2009). IT의 녹색화란 기술 및 제품 사용에 의한 에너지 소모를 최소화하려는 것이며, IT에 의한 녹색화란 가정과 주택, 사무용품과 사무용 빌딩, 산업체와 공장, 수송과 물류 등 사회활동 전역에서 발생하는 에너지 소모를 IT를 이용하여 최소화하려는 것이다. 예컨대, Dao et al.(2011)의 연구와 같이 정보기술의 지속가능성 통합모형을 제시한 사례는 ‘IT에 의한 녹색화’의 사례라고 볼 수 있다.

IT 기술 자체를 지속가능하게 만들려는 노력은 ‘IT의 녹색화’에 해당하는 사례로 Jenkin et al.(2011)에서 정리한 정보통신 기술의 핵심의제에서 잘 나타난다. IT 기술 자체를 녹색화하려는 시도는 미시적으로 에너지 효율서버의 도입과 비사용중 PC 전원 차단 등의 수단이 있으며, 통행으로 인한 탄소배출을 줄이기 위해서 화상통신을 도입하는 등의 수단이 고안된다. 이와 같은 관점은 Murugesan(2008)이 연구한 IT 기반시설의 녹색화라는 주제와도 일맥상통한다.

이 그린 IT 개념들은 장기적으로 IT의 녹색화가 IT에 의한 녹색화로 진화해야 한다는 의미를 담고 있다. 먼저 기술 경영 차원에서 서버나 PC 등의 탄소배출량을 감소시키는 방향으로 IT 기술을 개발한 뒤, 장기적으로는 IT 자체가 지구적 기후변화 문제 해결에 기여해야 한다는 의미이다. IT에 의한 녹색화는 기존 제품단위에서 건물, 산업군, 발전설비 등의 에너지를 소비하는 모든 업종과 설비를 대상으로 IT를 이용한 에너지 절감기술을 포함한다. 이와 같은 절감기술에는 공장에너지관리시스템(FEMS: Factory Energy Management System)과 빌딩에너지관리시스템(BEMS: Building Energy Management System)이 포함된다.

표 1. 그린 IT 개념의 세분화

| 구분 | 설명 | 사례 |
|------------|---|--|
| IT의 녹색화 | IT 산업에서 사용하는 에너지를 절약하는 고효율 IT 제품과 IT분야에 적용된 에너지 절감 기술 | 서버, PC 등 전기소모량 및 CO ₂ 배출 감소 |
| IT에 의한 녹색화 | 기존 제품단위에서 건물, 산업군, 발전설비 등의 | FEMS, BEMS를 |

| | |
|--|------------|
| 에너지를 소비하는 모든 업종과 설비를 대상으로 IT를 이용한 에너지 절감기술 | 활용한 에너지 관리 |
|--|------------|

Jenkin et al.(2011)은 기후변화와 관련하여 그린 IT와 서비스 산업(Green IT/S)의 전략을 다음과 같이 소개한다. 그린 IT의 전략 유형은 크게 환경 이미지를 개선하는 유형 0, 환경에 미치는 부정적 영향을 예방하기 위한 유형 1, 기업의 생산관리를 통해 환경평등(eco-equity)을 달성하기 위한 유형 2, 그리고 궁극적으로 지속가능한 발전을 이루기 위한 유형 3으로 나눌 수 있다. 이와 같은 전략들은 단기적으로는 IT를 통한 기업 조직의 공급망 에너지를 감소하는 차원에서 장기적으로 지속가능한 개발을 달성하기 위한 기업의 효과적인 대응이 필요하다는 점을 보여준다.

은 수입제품에 대한 환경규제를 강화하기도 한다. 환경규제를 강화해야 한다는 각국의 움직임은 장기간 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 노력에 빛지고 있다.

교토의정서(Kyoto Protocol)는 기후변화협약의 구체적 이행방안으로 선진국의 의무적인 온실가스 감축 목표치를 규정한 것으로, 1997년 12월 제3차 기후변화협약 당사국 총회 때 채택되었다. 182개국(EC포함)이 가입하였으며(2008년 기준), 우리나라는 2002년 11월 비준하였다(외교통상부, 2008). 교토의정서는 2005년 2월 발효하였으며, 미국은 교토의정서를 비준하지 않는다는 입장을 고수하다가 오바마 행정부 출범 이후 기후변화 대응에 적극성을 보이고 있다. Annex I 국가는 산업화가 진행되어 어느 정도 발전을 이룩한 국가들로 선

표 2. 그린 IT/S 전략과 사례

| 전략 유형 | 설명 | 사례 | |
|------------------------|---|---|---|
| | | 그린 IT/S 전략 | 그린 IT/S |
| 유형0 - 이미지위주 | 환경정책(지지 정책)을 널리 알림으로써 환경에 대해 염려하는 이미지를 묘사. 이러한 정책과 실행은 추후에 일어나는 것이 아니다. 의도는 | IT/S를 사용함으로써 조직 내 공급망의 에너지 사용을 감소하는 전략을 알림 | 비록 의도는 진정성이 있다고(authentic) 하더라도, IT/S 적용을 실행하기는 불충분한 자원들이 있다(예를 들면, 재정 그리고 인적 자원) |
| 유형1 - 예방, 제어, 친환경 효율성 | 환경에 미치는 부정적인 영향을 없애기 위해 천연자원과 회사자원의 효율적 사용. 자원 효율성, 오염방지 및 제어에 중점 | 회사 내 IT/S 전력 소비를 줄이기 위한 목적 도입 | 에너지 효율 서버 도입과 비사용 중에는 PC의 전원 차단 |
| 유형2 - 생산 관리, 환경평등 달성 | 전략유형 1을 포함하고, 상품의 라이프사이클(lifecycle)에 미치는 환경적 영향을 최소화함으로써(생산 관리) 환경평등(eco-equity) 목적을 이루려는 시도(기업과 사회의 천연자원에 대한 장. 단기적 수요 조절) | 환경적 영향과 기업 상품의 환경적 영향 감소를 위한 IT/S를 사용할 수 있는 전략 개발 | 제품 디자인 개선을 위한 제품 분포, 사용, 유지기간 동안 환경 데이터 포착(capture)을 위한 IS 및 관련 기술 시행 |
| 유형3 - 지속가능한 개발, 친환경 효과 | 전략유형1과 2를 포함, 환경의 질적 저하를 멈추고, 기업의 활동과 상호작용을 통해 환경 지속가능성에 대한 고취 | IT/S를 사용하여 출장을 지속적으로 감소하는 목표 도입 | 출장을 대신 할 수 있도록 화상회의 시스템, 원격영상회의 (teleconference), 협업도구 시행 |

출처: Jenkin et al.(2011) 필자 재편집

III. 기후변화 대응을 위한 그린 IT

그린 IT에 대한 관심이 크게 높아짐과 동시에 세계 각국에서는 탄소배출량 감소정책을 실시하고 있고, 경제제재를 가하려는 움직임도 있으며(전정훈, 2013), 일본, EU, 중국 등을 중심으로 국가들

진국이 포함되어 있으며, non-Annex I는 개발도상국이다. 추가로 교토의정서에서는 Annex II 40 개국을 명기하였다. 여기에는 감축 의무가 있는 Annex II 국가는 개발도상국에 재원 지원 및 기술이전 의무 부담을 가진다. 한국은 OECD 국가 입에도 불구하고 개발도상국임이 인정되어 non-Annex I에 해당한다.

그린 IT는 전 세계 여러 국가와 글로벌 기업들의 자발적인 참여와 정보교환을 통해 환경문제 해결

에 대한 인식의 전환뿐만 아니라 중장기적인 협상과 전략 기획 등으로 연구방향이 구체화된다. 일례로 가트너사(Gartner)는 그린 IT의 10대 전략 기술들을 발표하였는데, 여기에는 클라우드(Cloud) 컴퓨팅, 클라이언트(Client) 컴퓨팅, 그린 데이터센터(Reshaping the Data Center), 가상화(Virtualization) 등과 관련된 기술들이 포함되어 있으며, 유럽을 중심으로 한 여러 국가들은 네트워크 에너지의 소비 규제를 강화하는 등 통신사업자와 산업체들의 에너지 절감형 구조로의 고도화가 예상되고 있다. IBM, CISCO, 구글 등 글로벌 IT기업들도 그린 IT에 대한 투자를 강화하고 있다(홍진배, 2009).

한편 그린 IT가 장밋빛 미래만을 약속하는 것은 아니라는 지적도 있다. 예를 들어, 장성희 외(2009)는 IT에 의한 녹색화가 여전히 IT를 활용하여 저탄소화를 촉진하거나 기후변화 대응역량을 강화하는 등 난제가 남아있다고 설명한다. 즉, IT를 활용하여 기업의 친환경성을 모니터링하고, 물리적인 활동을 온라인으로 대체함으로써 기업 전반에 CO2와 환경오염물질의 배출과 에너지자원 소비를 최소화할 실질적 대응이 필요하다는 주장이다.

온실가스 감축과 직접적으로 관련 기술은 IT 기술 중에서도 물리적 이동을 감소시키는 통신기술이다. 특히 국내 IT 산업은 1990년대 CDMA기술 개발 성공, 2000년대 DMB기술 개발과 상용화 성공으로 국제적인 R&D 역량과 실행력을 인정받고 있다(권정도 외, 최강모, 2012). 한국은 2010년 UN 정부전자평가 1위, 인터넷 보급률 1위, 정보통신 발전지수 2위, 접속률 1위의 IT 강국으로서, 2009년 국가정보화기본법 개정 이후 녹색 정보화 추진계획화와 그린 IT 국가전략 수립을 시점으로 스마트 모바일 강국 실현을 위한 무선 인터넷 활성화, IT 융합 확산, 스마트 인프라 고도화 및 활성화, IT 비전 2020 등 다양한 정책적 육성 방안들이 수립되었다는 점은 그린 IT 담론이 국가 정보통신 정책에 반영되었음을 보여준다.

기후변화 대응형 그린 IT 기술을 장려하기 위하여 한국은 물론 선진국을 중심으로 연구, 검토되고 있으며 문제점을 해결하고자 다양한 정책과 대응방안 등이 논의된다. 특히 일본의 정책을 분석해야 한국 정부 정책방향과 IT 기업들의 전략적 추진방향을 설정하는데 도움이 되는 기초자료를 만들어 낼 수 있다는 지적이 있어 왔다(심상천·임외석, 2010). 그러나 녹색성장은 환경갈등이나 환경형평 등 환경사회학적 개념들에 대한 검토가 부재하고, 성장과 효율이라는 가치만 추종한다는 평가도 있다(윤순진, 2011). 그러나 정책적 일관성이나 사회과학적 평가와는 별도로 그린 IT 기술과 적용 자체에 대한 관심도 진행되어왔다. 그린 IT 녹색성장과 관련해서 진행된 연구결과들을 살펴보면, 전정훈(2013)은 ICT로 저탄소 관련 솔루션 개발이 활발히 진행되고 있으며, 많은 기업들이 참여하고 있다고 설명하였다. 김성운

(2009)은 녹색IT와 녹색성장의 이론적 배경과 국내외 녹색 IT 융합컨텐츠 전략의 현황과 과제 등을 분석하고, 녹색IT 범주 안에서 국내외의 대표적 녹색 IT의 디스플레이 사례를 조사, 분석하였다. 그 결과, 전 세계가 인정하는 디자인, 기술력 발휘와 구체적, 실질적 녹색IT 정책, 대 국민 그린 캠페인을 통해서 녹색IT 융합컨텐츠 전략이 수립되어야 하며, 다양하고 과학적인 그린 융합디자인들이 결국 지속가능한 녹색 성장과 국력 신장에 일조한다는 결론을 도출하였다.

국내외 환경변화에 따른 그린 IT 환경에 대응할 수 있는지에 대한 인식과 역량보유 및 투자경험 등의 연구필요성을 강조한 연구도 있다(박진우 외, 2011). 이들의 연구는 그린 IT 활용 확산을 위한 로드맵과 전략수립을 위해 그린 IT에 대한 현황을 문헌연구를 통해 파악하였는데, 시범사업을 도출하여 지원할 수 있는 체계를 마련해야 한다고 하였다.

대기업 위주로 진행되는 한국의 그린 IT 논의는 중소기업에 대한 관심으로 확대되고 있다. 안운기(2003)는 중소기업의 환경체제 구축과 정책방안을 연구하였는데, 중소기업은 인적, 재정적 취약성으로 인해 전반적인 환경경영 실태가 열악한 것으로 나타났다(안운기, 2003). 그리고 ISO14001이 기존의 직접규제방식과 달리 자율성에 기반을 두고 있지만, 시스템의 도입과 운영과정에서 많은 환경비용이 발생되므로 자급에 많은 압박을 받고 있는 대다수의 중소기업에 대한 ISO 14001 인증제도를 다양화할 필요가 있으며, ISO 14001 제도를 중소기업에 효율적으로 보급하기 위해서는 중소기업의 특성을 고려한 별도의 접근방법이 필요한 것으로 나타났다. 즉, 중소기업의 특성을 감안하여 환경적 관점에서 적용가능한 조직구성과 체제를 도입하는 것이 바람직하다는 논의는 기업의 환경평등(eco-equity) 차원에서 재검토되어야 할 문제이다.

IV. 환경규제와 그린 IT의 환경부하 평가

4.1. 환경규제

그린 IT 기술은 기후변화에 대응하기 위한 환경규제와 밀접한 관계를 맺는다. 기후변화에 대응하기 위한 국내외적 관심이 고조되고 있는 상황에서 일반적으로 환경 친화적이라고 인식되어온 IT 부문 역시 환경문제에 대한 적극적인 대응을 모색하고 있는데, 이러한 과정의 상당 부분은 그린 IT의 발전을 통해서만 가능하다. 따라서 그린 IT를 통해 기후변화 대응이라는 이슈를 이해하기 위해서는 지구적 환경관련 규제에 대한 논의가 필요하다. 그린 IT 필요성에 대한 인식은 이 분야의 어젠다를 만드는 적극적인 노력으로 이어지기 때문이다(Melville, 2010).

그린 IT가 화두로 떠오르면서 세계 각국은 IT 분

야에도 각종 환경규제를 추가하고 있다. EU의 경우 폐전자제품 수거·회수 등은 물론이고 아예 제품설계 단계부터 ‘친환경 설계’를 의무로 요구하는 EuP 지침을 만들어 CE마크 부착을 의무화 하고 있으며(<표 3 참조> 참조), 다른 나라도 정도의 차이는 있지만 비슷한 규제를 하고 있다. 따라서 그린 IT 기술로 환경규제를 벗어나는 제품을 만드는 것은 수출기업의 기본적인 능력이 되고 있다.

표 3. EU 주요 환경규제 현황
출처: 산업자원부(2011)

| 규제(번호) | 주요 내용 |
|----------------|--|
| WEEE (2005.8) | ‘폐전자제품 처리지침’. 폐기되는 전기 전자제품 무료수거 의무 부과로 생산자는 회수처리 시스템 구축, 비용 부담, 재활용 정보공개, WEEE 마크표시 등을 충족해야 하며, 재활용률 준수 기업 제품만 EU 판매 허용. |
| RoHS (2006.7) | ‘유해물질 사용제한지침’. 전기 전자제품에 6대 유해물질 사용 제한으로 환경 오염 억제. |
| REACH (2007.6) | ‘신화학물질 관리제도’. 원료 및 제품에 포함된 화학물질의 등록을 통해 위해성 평가 및 안전성 입증 의무 부과. 미등록 물질은 수출금지 및 시장유통 제한. |
| EuP (2008.8) | ‘친환경설계 의무지침’. 제품의 친환경설계를 유도하기 위해, EU에 수출하는 제품은 EuP 지침을 준수해 제조됐음을 증명하는 CE마크 부착을 의무화 함. |

국내에도 환경규제와 관련한 그린 IT 논의가 꾸준히 진행되어 왔다. 기후변화협약 제3차 대한민국 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구 사업과 온실가스 감축 수단을 도입하고, 배출량 감축 정책과 온실가스 감축을 위한 경제적 비용에 대한 분석을 위해 모형의 개발 및 운영의 중요성을 강조하였다(임재규·박근수, 2004).

반면, 윤민희·유기동(2009)은 그린 IT 연구의 필요성을 IT 산업 자체에서 찾았다. 즉, IT산업은 환경친화적인 것으로 알려져 있지만, IT산업 비중이 커지면서 환경에 미치는 영향이 결코 유익하지 않다는 사실이 드러나고 있다고 하였다. 단적인 예로 IT 기기의 생산·사용·폐기 과정에서 발생하는 유해물질과 온실가스 배출 문제가 심각해짐에 따라 초기에는 전자제품 재활용(WEEE), 유해화학물질 제한(RoHS), 에너지 효율(EuP) 등의 환경규제가 만들어지기 시작하였고, 이 규제는 곧 무역장벽으로 작용하여 특히 IT산업 강국으로 인식되는 한국 역시 이 문제에서 자유롭지 않다고 하였다.

최근 들어 환경을 의미하는 ‘그린’과 ‘정보통신기술(ICT)’ 합성어인 그린 ICT가 기후변화 대응과 온실가스 저감 문제해결을 위한 핵심 수단으로 주목받기 시작하면서 선진국들을 중심으로 국가 차원의 그린ICT 전략이 수립되고 있다(김현경 외, 2009). 또한 국내 그린 IT 정책의 문제점 및 장애요인을 분석하고, 이에 기초하여 향후 국가 차원

의 체계적, 효율적 그린 IT 정책을 위한 개선방안이 제시되고 있다(김민경·조현·김성희, 2012) 이외에도 그린 IT 기업의 사회적 압력과 환경지향성과 환경매력도가 장기지속적 그린 IT 전략에 어떠한 영향을 미치는지, 그리고 장기지속적 그린 IT 전략이 환경영향성과 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다. 그린 IT 기업을 대상으로 설문 조사를 하였고, 선행연구에서 종속변수로 사용되던 장기지속성을 매개변수로 하여 실증적으로 분석하였는데, 연구결과 사회적 압력과 환경지향성과 환경매력도와 환경성과 사이에서 장기지속성이 매개효과를 가지는 것으로 나타났다.

한편, 그린 IT와 같은 새로운 정보기술이 도입될 때는 기본적으로 소비자혜택이 발생하지만, 혜택과 비용의 상충관계 때문에 소비자들은 혜택 자체를 부정적 또는 긍정적인 것으로 판단하게 된다. 이에 따라 변대호(2010)는 소비자들이 인지하는 그린라이프 스타일 정도를 분석적 방법에 의하여 측정하고, 이를 통해 그린 IT가 얼마나 수용될 수 있을지를 파악하였는데, 결과적으로 그린 IT는 종래의 전통적 IT를 대체할 충분한 경제적 혜택을 준다는 사실을 발견하였으며, 아울러 그린 IT의 하나로 인지되어온 전자상거래나 E-비즈니스 활동들이 탄소배출을 줄이고 환경오염을 방지하며 에너지를 절감하는 긍정적 역할을 한다는 것을 밝혔다. 구영덕 외(2013)는 그린 IT의 지식맵 작성을 위한 기반단계 및 그린 IT의 세계적인 환경분석을 위한 전제로서 다양한 요인들을 살펴 보았는데, 이러한 전제조건들이 그린 IT에 대한 본격적인 환경분석과 환경분석 이후의 지식재산권 기반의 경쟁력 분석에 이용될 수 있을 것이라는 결론을 도출하였다.

4.2. 환경부하 평가 방법

기후변화 대응형 그린 IT의 전제조건 중 하나는 IT기술의 환경부하(environmental load)와 환경효율성(eco-efficiency) 등을 평가하는 것이다 (Pasqualino et al., 2009; Strand & Hovde, 1999).

예를 들어 김영길(2014)은 녹색성장을 이루기 위해 요구되는 다양한 IT 기술현황을 조사하고 그린 PC를 이용한 탄소배출량 감축효과를 연구하였다. 일반 PC와 그린 PC의 전압, 전류, 전력사용량 차이를 HPM-300A 측정기로 측정하여 그린 PC와 일반 PC의 CO₂ 배출량의 차이를 계산하고 CO₂ 배출 감축효과와 녹색성장효과를 측정하였다. 그 결과 그린 PC의 CO₂ 배출 감소효과는 1년에 11.5Kg의 감축효과를 가져오며 녹색성장효과는 1년에 소나무를 2.3그루를 적게 심는 효과를 얻는다는 결론을 도출하였다.

또 다음과 같은 평가 사례도 있다. 박수일(2011)은 정부부처들의 그린 IT 정책추진과 전략이 지속적으로 발표되고 있는 시점에서 그린 IT의 기술동향 분석을 매우 시의적절한 것으로 평가하였으며, 새로운 컴퓨팅 패러다임으로 준비되고 있는 그린 및 클라우드 컴퓨팅 분야의 표준화 추진은 환경배려가 주된 목적으로 전력 소비량 감축에 따라 비용삭감과 사회적 책임에 부응할 수 있다고 하였다. 임재욱·서민교(2013)는 그린 IT의 활성화의 장애요인을 지적하고 발전방안을 제시하였는데, IT에 의한 녹색화 일환으로 기존의 무역 프로세스를 전자화하여 막대한 종이 사용량을 줄임으로써 비용절감과 지구온난화 방지에 일조할 수 있다고 주장하였다.

환경부하를 평가하기 위해서는 각 그린 IT 기술의 제품과 서비스 소비량과 제품과 서비스의 단위당 환경부하를 측정해야 한다(마츠노 야스나리와 곤도 야스유키, 2007). 환경부하제품과 서비스

를 1단위 소비했을 때의 환경부하량을 원단위라고 하며, 작성방법에 따라 크게 두 가지로 나뉜다. 즉 적상법에 의한 원단위와 산업연관분석법에 의한 원단위로 나눌 수 있다. 이와 같은 원단위를 미리 구해놓을 경우 환경에 영향을 미치는 제품과 서비스의 소비량을 조사하면 다음과 같이 환경부하를 계산할 수 있다.

환경부하=환경에 영향을 미치는 제품과 서비스의 소비량 X 제품과 서비스 1단위 소비했을 때의 환경부하량

각 제품과 서비스의 환경부하를 평가할 때는 생애주기 평가(Life Cycle Assessment)이 이루어져야 한다는 점도 중요하다(김미숙, 2011; 마츠노 야스나리와 곤도 야스유키, 2007; Bribián, Uson, Scarpellini, 2009; Pasqualino, Meneses, Abella, Castells, 2009; Strand, Hovde, 1999). 마츠노 야스나리와 곤도 야스유키(2007)는 LCA의 평가기법의 사례를 다음과 같이 설명한다. 각 라이프사이클의 단계에서 기존 제품들을 시스템 전용으로 개발할 때의 환경부하량을 모두 측정해야 제대로 된 측정이 가능하다. 제조업 제품의 경우 대체로 조달, 설계, 유통, 운용, 폐기 등의 생애주기를 거치는데, 이 때 각 단계에서 발생하는 환경부하를 모두 합친 것이 최종적인 제품의 환경부하가 된다. 예를 들어, 제품의 회수나 폐기, 재활에는 환경부하가 무시할 수 있는 수준이기 때문에 환경부하를 계산하지 않는다. 생애주기별 제품의 환경

표 4. 제품과 서비스 환경부하 측정 LCA 적용

| | 라이프 사이클 단계 | 기존제품 | 시스템전용으로 개발 | 일부개조 |
|---|--------------|--|---|------------------------------------|
| 1 | 조달 | 제공원으로부터 구하거나 규모로부터 유추 | 좌측과 동일 | 모체의 환경부하를 제공원으로 구하거나 규모로 유추 |
| 2 | 설계, 개발, 제조 | 해당없음 | 자체 설계, 개발, 제조에 투자한 에너지, 자원 등으로부터 환경부하를 계산 | 자체 개조용에 투자한 에너지, 자원 등으로부터 환경부하를 계산 |
| 3 | 유통, 설치, 기동작업 | 초기 설정에 필요한 에너지와 자원이 해당되지만, 무시할 수 있는 양이므로 계산하지 않는다. | | |
| 4 | 운용 | 제공원에서 구하거나 규모로부터 유추 | 자체 설계, 개발, 제조에 투자한 에너지, 자원 등으로부터 환경부하를 계산 | 자체 개조용에 투자한 에너지, 자원 등으로부터 환경부하를 계산 |
| 5 | 회수, 폐기, 리사이클 | 무시할 수 있는 양이므로 계산하지 않는다. | | |

부하 측정은 표 4와 같이 요약할 수 있다. 제품과 서비스를 운용할 때 발생하는 환경부하를 측정하는 방법은 표 5에서 소개되어 있다.

(WBCSD)'를 발족하였다. 원래 '환경효율'은 기업이 경영활동에 의해 얻는 수익과 환경 보전의 균형을 추구하는 것을 의미한다. 즉, 이 아이디어는 자원생산성이라는 관점으로부터 기술혁신에 대한 관심으로 이어졌다. 또한 제품보다는 서비스에 점 접 초점이 옮겨가고 있다.

출처: 마츠노 야스나리와 곤도 야스유키, 2007

표 5. 운용단계에서 환경부하 계산방법

| 운용단계 | 계산방법 |
|---------------|--|
| 1 재료, 에너지 소비 | CO2 배출량(kg-CO2)= 종이 사용량(매) X A4 환산계수(kg/매) X 종이원단위(kg-CO2/kg) CD 사용량(매) X CD 원단위(kg-CO2/매) |
| 2 ICT 기계 이용 | CO2배출량(kg-CO2)= Σ[가동 시 전력(kw) X 전원투입시간(시간/일) X 연간 가동일 수(일/년) X 전력의 원단위(kg-CO2/kWh) |
| 3 네트워크 인프라 이용 | CO2배출량(kg-CO2)= 데이터통신량(MB) X 데이터통신의 원단위(kg-CO2/MB) |
| 4 소프트웨어 이용 | 위와 상동 |
| 5 물자의 이동 | CO2배출량(kg-CO2)= 영업용 트럭 운송 수량(t/km) X 영업용 트럭 원단위(kg-CO2/t/km) 철도화물 운송 수량(t/km) X 철도화물 원단위(kg-CO2/t/km) 항공화물 운송 수량(t/km) X 항공화물 트럭 원단위(kg-CO2/t/km) |
| 6 사람의 이동 | CO2배출량(kg- CO2)= 운송수량(명/km) X 승용차의 원단위(kg-CO2/명/km) 운송수량(명/km) X 철도의 원단위(kg-CO2/명/km) 운송수량(명/km) X 항공기의 원단위(kg-CO2/명/km) |
| 7 물자의 보관 | CO2배출량(kg-CO2)= 서버 설치면적(m2)X사무공간의 원단위(kg-CO2/m2) + 창고 설치면적(m2)X창고공간의 원단위(kg-CO2/m2) |
| 8 사람의 업무 | CO2배출량(kg- CO2)= 공수 인원(명) X 1명당 평균 사무공간(m2/명) X 사무공간의 원단위 (kg-CO2/m2) |

출처: 마츠노 야스나리와 곤도 야스유키, 2007

V. 결 론

환경부하에 대한 평가가 보편화된다면 나아가서 환경효율(eco-efficiency)에 대한 평가도 가능하다. 환경효율(eco-efficiency)은 '지속가능한 발전을 위한 경제인 회의'(BCSD)에 의해 제시된 개념이다. 1992년 BSCD는 『체인징 코스』(Changing Course)라는 제목의 보고서를 발표하고, 지속가능한 발전을 위해 기업이 중요한 역할을 담당해야 한다고 주장하면서, 기업은 경제와 환경 모두에서 효율적이어야 한다는 환경효율 개념을 제시하였다(마츠노 야스나리와 곤도 야스유키, 2007). 지속가능한 발전 실현에 있어서 산업계가 주도적 역할을 해야 한다는 인식 아래 BCSD는 '환경문제에 관한 세계 산업협의회의(WICE)'와 1995년 합병해 '지속가능한 발전을 위한 세계 경제인회의

세계적으로 진행되는 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 노력과 더불어, 그린 IT 기술담론도 빠르게 변화하고 있다. 기후변화 대응형 그린 IT 기술이 사회과학의 어젠다로 등장함에 따라서 그린 IT의 개념은 IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화라는 두 가지 형태로 진화하였다. 이와 같은 맥락에서 이 연구는 기후변화에 대응하기 위한 그린 IT 연구동향을 검토하고, IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화라는 개념을 심층적으로 검토하였다. 또한 기후변화 대응형 IT를 구현하기 위한 한 평가 방법으로 생애주기평가에 의한 환경부하 측정이 활성화되어야 함을 주장하였다. 보다 구체적으로 연구결과는 다음과 같다.

첫째, IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화는 대립적인 개념이 아니라 상호보완적인 개념이다. 또한 이 두 개념은 장기적으로 기후변화 대응형 그린 IT의 발전단계에서 지속적으로 필요한 개념이다. 먼저 IT의 녹색화는 현 기후변화 대응형 체제에서 교도의정서에 의한 온실가스 감축이 현실화하기 위한 전제조건으로서 기능한다. 나아가서 IT에 의한 녹색화는 IT 기술이 실질적으로 이동과 교통을 감소시킴으로써 궁극적으로 기후변화에 대응하는 전략을 의미한다.

둘째, 기후변화 체제는 장기적 대응과제이며, 이 체제에 대응하기 위해서는 장기적으로 기업과 정부가 협력하여 온실가스 감축에 기여할 필요가 있다. 환경이슈는 본질적으로 지구적 협의가 필요한 특성을 가지고 있기 때문에, 국가체제를 뛰어넘은 협력과 거버넌스가 필요하다는 사실은 이미 널리 알려져 있다. 지구적으로는 환경협력과 규제의 체제가 발전해온 반면, 지역적으로는 동북아시아 환경협력이 필요하다는 담론도 있다. 그러나 국가 전략과 비전에 영향을 많이 받는 IT 산업의 특성상, 기후변화 대응형 IT 산업의 녹색화를 주도하기 위한 정책적 노력이 요구된다.

마지막으로 이 연구는 그린 IT를 실현하기 위한 조건으로 환경부하 평가 연구가 진행되어야 함을 역설하였다. IT의 녹색화와 IT에 의한 녹색화 두 개념 모두 궁극적으로는 IT가 온실가스 감축 등 기후변화 대응에 기여할 것이라는 믿음에 기초해 있다. 그러나 실제로 IT 기술이 온실가스 감축에 기여했는지는 확인하기는 쉽지 않다. 따라서 이 연구는 제품의 전 생애주기에 걸쳐서 발생하는 환경부하를 측정하는 사례를 소개하였으며, 나아가서 이와 같은 환경부하 측정이 연구되어야 한다고 설명하였다. 장기적으로 환경부하 측정에 대한 연구가 누적되면, 그린 IT의 효과도 보다 구체적으로 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 강상구(2012). 한국전자무역(e-Trade) 그린화의 문제점과 해결방안에 관한 연구. 『전자무역 연구』, 10(3), 107-129.
- [2] 강희종(2009), 일본의 그린 IT 이니셔티브, 『과학기술정책』, 175, 66-71.
- [3] 구영덕·정대현·권영일(2013). 그린 IT 지식 맵 구축을 위한 방법론. 『한국전자통신학회』, 8(1), 1-6.
- [4] 권정도·최강모(2012). 특허 정보를 활용한 그린 IT현황 및 기술 수준분석. 한국경영학회지 & 한국 정보시스템학회 춘계공동학술대회, 566-571.
- [5] 김남규(2014). 『국내 패키지 SW기업의 성공적인 해외 수출을 위한 탐색적 연구』, 숭실대학교 대학원 박사학위 논문.
- [6] 김미숙(2011). 온실가스 배출제약에 따른 우리나라 시군의 환경효율성 분석. 『한국지역개발학회지』, 23(2), 95-114.
- [7] 김민경·조현·김성희(2012). 국민의 그린 IT 인지 수준과 확산 현황의 관계에 대한 탐색적 연구. 『한국 지역정보화 학회지』, 15(1), 53-70.
- [8] 김성운(2009). 녹색IT 융합콘텐츠 전략으로서의 그린 융합디자인에 관한 연구, 『한국과학기술포럼』, 5, 40-49.
- [9] 김영길(2014). 그린 PC의 탄소량(CO) 배출량 감축효과. 『한국통신학회논문지』, 39(2), 115-121.
- [10] 김한주(2009). 녹색성장 국가 전략과 그린 IT 역할. 『정보과학회지』, 11, 11-18.
- [11] 김현경·김승도·설성희·김형준·김용운·임정일(2010). 그린ICT 정책의 문제점 및 개선 방향에 대한 연구. 『환경정책』, 18(2), 139-161.
- [12] 마츠노 야스나리와 곤도 야스유키,(2007). 김성희, 김재경, 김주철 역(2009). 『그린 IT 경제학』, 율곡출판사
- [13] 박상철·김용진(2010). 유통산업의 그린 IT/그린 물류에 대한 연구 제안. 『물류학회지』, 20(4). 29-48.
- [14] 박수일(2011). 그린 IT기술동향 분석. 한국IT서비스학회 학술대회 논문집, 362-371.
- [15] 박진우·조현·김성희(2012). 그린 IT 확산을 위한 전략 수립 연구. 『한국전자거래학회지』, 17(2), 39-62.
- [16] 변대호(2010). 비용과 혜택 관점에서 그린 IT의 수용성 평가. 『e-비즈니스연구』, 11(3), 393-409.
- [17] 송길현·신태수(2009). 그린 데이터 센터 구축 사례에 기반한 그린 IT 도입 방안에 관한 연구. 『한국경영정보학회』, 11(2), 147-166.
- [18] 신영진(2009). 미래사회의 녹색 정보화(그린 IT) 추진에 관한 연구: 한국과 말레이시아의 사례를 중심으로. 한국행정학회 하계학술발표논문집, 1-21.
- [19] 심상천(2009). 선진 그린 IT 정책을 통해서 본 한국 정책의 개선 방안. 『산업경제연구』, 22(5), 2357-2382, 2009.
- [20] 심상천·임외석(2010). 일본의 그린 IT정책현황과 IT기업들의 대응 전략에 관한 연구. 『대한 경영학회지』, 23(3), 1735-1758.
- [21] 안윤기(2003). 중소기업의 환경경영체제 구축 방안과 정책에 관한 연구. 『한국환경정책학회지』, 11(1), 73-103.
- [22] 윤민희·유기동(2009). 그린 IT의 현실적 활성화를 위한 경영정보학적 접근 방안. 대한산업공학회 2009년 추계학술대회, 147-152
- [23] 윤순진(2013). 이명박 정부 5년 평가와 새 정부의 과제; 지속가능한 사회 - 환경과 에너지를 중심으로. 『계간 민주』, 6(0), 41-64.
- [24] 이경탁·김재전·이상준(2014). 그린 IT 장기 지속성에 관한 연구. 『한국컴퓨터정보학회지』, 19(2), 221-231.

- [25] 이용희(2012). 『기후변화 대응과 그린 IT 2.0』, 신화전산기획.
- [26] 임재규·박근수(2004). 기후변화 협약 제3차 대한민국 국가 보고서 작성을 위한 기반 구축, 에너지경제연구원.
- [27] 임재욱·서민교(2013). 그린 IT를 통한 전자무역의 활성화 방안에 관한 연구. 『전자무역연구』, 11(1), 97-116.
- [28] 장성희·노미진·안현숙(2009). 그린 IT 제품의 수용도에 영향을 미치는 실증 연구. 『산업경제연구』, 22(6), 3327-3252.
- [29] 전정훈(2013). 탄소량 감축을 위한 보안 시스템의 기능적 구조 개선에 관한 연구. 『융합보안논문지』, 13(3), 39-46.
- [30] 정선호·이임섭·김완홍·장지홍(2010). 그린전략 구축방안에 대한 연구, 대한전기학회 학술대회, 2010:7, 244-245.
- [31] 홍진배(2009). 녹색 성장과 그린 IT 국가 전략의 이해. 『과학기술정책』, 54-61.
- [32] Bribián, I. Z., Uson, A. A., & Scarpellini, S.(2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510-2520.
- [33] Chambers, F. M. (1993). *Climate change and human impact on the landscape: studies in palaeoecology and environmental archaeology*. Chapman and Hall.
- [34] Dao, V., Langella, I., & Carbo, J. (2011). From green to sustainability: integrated sustainability framework. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(1), 63-79.
- [35] Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., & Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948-952.
- [36] Jenkin, T. A., McShane, L., & Webster, J. (2011). Green information technologies and systems: employees' perceptions of organizational practices. *Business & Society*, 50(2), 266-314.
- [37] Jenkin, T. A., Webster, J., & McShane, L. (2011). An agenda for 'Green' information technology and systems research. *Information and Organization*, 21(1), 17-40.
- [38] Melville, N. P. (2010). Information systems innovation for environmental sustainability. *Mis Quarterly*, 34(1), 1-21.
- [39] Molla, A., Cooper, V. A., & Pittayachawan, S. (2009). IT and eco-sustainability: Developing and validating a green IT readiness model.
- [40] Molla, A., Pittayachawan, S., Corbitt, B., & Deng, H. (2009). An international comparison of Green IT diffusion. *International Journal of e-Business Management*, 3(2), 3.
- [41] Murugesan, S. (2008). Harnessing green IT: Principles and practices. *IT professional*, 10(1), 24-33.
- [42] Pasqualino, J. C., Meneses, M., Abella, M., & Castells, F. (2009). LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant. *Environmental Science & Technology*, 43(9), 3300-3307.
- [43] Strand, S. M., & Hovde, P. J. (1999). Use of service life data in LCA of building materials. In *8th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Vancouver, Vol. 60.