

전력산업에서 LCA의 중요성과 과제

- 원전의 환경영향 평가 사례를 중심으로 -

정 환삼, 정 종태, 양 맹호
한국원자력연구소

The Potentials and Roles of LCA at the Power Industry

Chung, Whan-Sam, Yang, Maeng-Ho, Jeong, Jongtae
Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

과학기술이 더 가까워질 미래사회로 갈수록 전력은 신규수요와 대체수요의 증가로 지금보다 많은 량의 공급을 요구할 것이다. 이 때문에 환경문제에 있어 전력산업의 영향이 커지고, 이로 인해 전력의 청정공급 체계 구축은 국제규범의 수립과 함께 국민복지나 환경보존의 차원에서 필연적이다. 따라서 LCA는 청정생산을 위한 분석능력을 갖추고, 이를 바탕으로 점차 완전한 민영화 상태에서 경쟁구도로 이어질 전력산업 참여자들의 기업가치 극대화에 기여할 필요성이 대두된다. 이를 위해 본 연구에서는 LCA의 역할 확산 경로를 거시적으로는 국제규범과 소비자 만족 그리고 미시적으로는 기업의 가치 극대화와 환경경영체제 수립이라는 측면에서 이루어져야 할 것으로 제시하였다.

1. 21세기 산업·경제·사회의 변화와 WSSD

가. WSSD 발전 과정

산업혁명이후의 급속한 인구증가와 경제성장으로 하나밖에 없는 지구는 환경 자정능력을 상실해 가고 있다. 이로 인해 자연과 공존하면서 미래세대에게도 풍요롭고 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 기회를 물려주어야 한다는 인식이 생기게 되었고, 이는 1972년 로마클럽의 지구환경 보고서였던 "성장의 한계"에 잘 나타나 있다. 그 해 UN의 스톡홀름 "UN환경회의"에서는 환경문제가 단순한 지역적 문제가 아니라 지구적 차원의 문제이자 인류의 과제라는 인식이 확인되었다. 특히 지구온난화, 산성비, 오존층 파괴 등과 같은 환경문제는 환경문제를 전 세계적 문제로 부각시키기기에 충분하였으며, 지속가능한 발전(sustainable development)이 필요하게 되었다. 지속가능한 발전이라는 용어가 처음 소개된 것은 1980년에 개최된 the World Conservation Strategy(ICUN/UNEP/WWF)의 국제정책회의에서이며, 현재 일반화되고 있는 지속가능한 발전 개념은 1987년 Brundtland Commission의 보고서인 Our Common Future에서 정의¹⁾한 것으로 1992년 리우 지구정상회의이후 일반화되었다. 이 회의

에서 결정된 “리우선언”은 지속가능한 발전을 달성하기 위해서는 환경보전이 경제성장의 필수적인 한 부분을 이루고 있으며 분리되어 따로 고려되어질 수 없음을 강조하고 있다. 그리고 지속가능한 발전 달성을 위한 청사진인 “의제 21”(Agenda 21)은 지속가능한 발전의 3대 축인 경제, 환경, 사회적 이슈의 통합과 균형을 통하여 생태계보전, 자원보전, 경제발전을 통한 복지 향상을 동시에 달성할 수 있는 행동강령을 제시하고 있다. 2002년 9월 남아프리카 공화국 요하네스버그에서는 194개국, 86개 국제기구, 민간단체 등 4만 여명이 참석한 가운데 '92년 유엔환경개발회의 이후 지속가능발전 추진성과 평가 및 21세기 지구촌 발전을 위한 구체적인 이행계획 마련을 위한 세계지속가능발전정상회의(World Summit on Sustainable Development, WSSD)가 개최되었다. 이와 같은 일련의 과정을 간략히 요약하면 (표-1)과 같다.

(표-1) WSSD 회의 주요 경과

연 도	주요 내용
1972년	- 로마클럽, 지구자원의 유한성을 호소한 「성장의 한계」를 발표 - 유엔인간환경회의(스웨덴, 스톡홀름) - [인간환경선언]채택, 유엔환경계획(UNEP) 설립
1982년	- 유엔특별이사회(케냐, 나이로비) - [나이로비선언]채택, 유엔산하에 [환경과 개발에 관한 세계위원회] (WCED : The World Commission on Environment and Development) 설치결의
1987년	- WCED, 보고서 [Our Common Future] 발간 - 전세계 경제개발정책의 이념으로 환경 보전과 경제 개발을 동시에 추구하는 「지속가능한발전」 개념을 제시
1992년	- 유엔환경개발회의(UNCED, 브라질, 리오데자네이로) - 지속가능발전의 기본원칙인 [리우선언]과 그 구체적 실행계획인 [의제21](agenda 21) 채택
1997년	- 제19차 유엔환경특별총회(Rio+5) - [의제21]의 이행을 보다 구체화하기 위하여 2002년 세계지속가능발전정상회의(WSSD)를 개최하기로 결정

이러한 일련의 흐름 속에서 알 수 있는 바와 같이 결국 21세기 산업·경제 사회는 (그림 1)과 같이 환경, 경제, 사회적 측면을 종합적으로 고려한 지속가능한 발전 개념으로 전환될 것이다.

나. 2002-WSSD의 이행계획 선언

2002-WSSD에서 8월 진행된 이행계획(Plan of Implementation)의 문안협상중 전력분야가 속한 에너지분야는 가장 늦게 타결되었다. 에너지 분야의 타결 문안을 요약하면 다음과 같다.

- o 재생에너지 비율확대와 관련하여, 화석연료기술, 대체에너지기술(수력 포함) 및 이들 기술의 개도국으로의 이전을 포함하여, 보다 효율적인 에너지 기술을 개발함으로써 에너지 공급을 다양화하고, 국가목표와 자발적인 지역목표 및 선도자의 역할을 인식하고, 전체 에너지 공급에서 재생에너지원 비율을 실질적으로 증가시키는

1) Brundtland 보고서는 지속가능한 발전을 “미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 능력을 손상시키지 않으면서 현세대의 필요를 충족시킬 수 있는 발전”이라고 정의하고 있음

것으로 합의하였다²⁾.

- 에너지 보조금은 개별국가들의 각기 다른 개발정도과 특수한 조건을 고려하여, 지속가능발전을 저해하는 에너지 분야 보조금을, 적절한 경우, 단계적으로 철폐하는(phase out)하기로 합의.

20세기 산업·경제·사회	⇒	21세기 산업·경제·사회
고도 경제성장		지속가능한 성장
경제적 효율성 위주 ⇒ 노동, 자본, 중간재의 생산성 중시		생태적 효율성 동시추구 ⇒ 환경자원 생산성도 중시
자연자원의 남용		재자원화 촉진
자원비순환형 산업구조	⇒	자원순환형 산업구조
대량생산		환경을 고려한 최적생산
대량 및 편리성 추구의 소비성향		지속가능한 소비생활
제품의 소유 중시		제품의 기능 중시
물리적 자본 중심		지식자본 중심

(그림-1) 산업·경제·사회의 패러다임 전환

여기에서 전과정평가(LCA; Life-Cycle Analysis)의 유용성에 대한 언급은 제3장의 '소비와 생산에서의비지속성변화'에서 14(a),(c)문단에서 지속가능한 소비와 생산을 위해서는 'LCA'와 같은 적절하고 과학에 기반을 둔 기법의 활용을 강조하면서 인체건강과 안전에 관한 자발적인 정보제공수단의 개발을 촉구하도록 언급하고 있다³⁾.

다. 국내의 LCA 활용 전망

세계 각국에서는 UN의 권고에 따라 경제·사회·환경을 통합하는 미래지향적 관점에서 국가의 지속적인 발전과 국민복지의 증진을 위하여 지향해야 할 국가목표와 정책방향을 제시하는 「국가지속가능발전전략」을 수립해 오고 있다. 우리나라도 먼저 1단계로 국토관리, 교통, 수자원관리, 해양수산, 유해화학물질관리, 산림, 에너지, 산업, 농업, 과학기술 등 개발과 보전에 관련된 10개 정책분야별 지속가능발전전략 수립을 추진하고 있다. 2002년 말까지 10개 정책분야별 지속가능발전전략을 종합하고 2002년 지속가능발전세계정상회의(2002-WSSD; World Summit on Sustainable Development) 논의결과 및 권고사항 등을 반영한 「국가지속가능발전전략에 대한 기본구상(안)」을 작성하며, 이를 토대로 2003년부터 소비행태, 빈곤 문제, 사회복지 등 사회경제 부문까지 포괄하는 국가지속가능발전전략 수립을 본격적으로 추진할 예정이다. 10개의 정책 분야 중에서 산업 분야와 유해화학물질 분야는 LCA의 개념

2) 당초 협상과정에서 EU는 2010년까지 1차 에너지 공급의 15%를 대체에너지로 할 것을 주장; 미국, 일본, 77그룹은 목표연도나 대체에너지 비율 등 수량적인 목표설정에 반대

3) 2002 WSSD에서는 에코라벨링(성적표지)제도가 후진국에 대한 무역규제의 수단으로 작용할 것을 우려하여 포함하지는 않았다. 제품의 환경영향 정보제공은 세계적으로 ISO14020's에서 Type-III 제도로 기준이 완료되어 있으며 우리나라의 경우 2001년부터 시작되었고 정보제공을 위해서는 LCA의 수행을 요구하고 있다.

을 이용하여 관리를 하게 된다.

(표-2) LCA가 포함된 이행계획 선언문

Chapter III	III. Changing unsustainable patterns of consumption and production
Paragraph 14	Encourage and promote the development of a 10-year framework of programmes in support of regional and national initiatives to accelerate the shift towards sustainable consumption and production to promote social and economic development within the carrying capacity of ecosystems by addressing and, where appropriate, delinking economic growth and environmental degradation through improving efficiency and sustainability in the use of resources and production processes, and reducing resource degradation, pollution and waste. All countries should take action, with developed countries taking the lead, taking into account the development needs and capabilities of developing countries through mobilization, from all sources, of financial and technical assistance and capacity-building for developing countries. This would require actions at all levels to:
Paragraph 14(a)	(a) <u>Identify specific activities, tools, policies, measures and monitoring and assessment mechanisms, including, where appropriate, life-cycle analysis and national indicators for measuring progress, bearing in mind that standards applied by some countries may be inappropriate and of unwarranted economic and social cost to other countries, in particular developing countries;</u>
Paragraph 14(c)	(c) Develop production and consumption policies to improve the products and services provided, while reducing environmental and health impacts, <u>using, where appropriate, science-based approaches, such as life-cycle analysis;</u>

(표-3)은 산업활동 단계별 국제적인 환경조치와 관련 산업을 나타내는데, 이 표를 통해 산업활동에 있어서도 지속가능 개념이 도입된 지속가능 산업⁴⁾을 추구할 필요성이 부각되고 있음을 알 수 있다. 또한 국제적으로 이루어지고 있는 많은 환경조치는 궁극적으로 LCA 관점에서 이루어지고 있기 때문에 이에 대비하기 위해서 정부는 다음과 같은 정책을 추진하고 있다.

- o 폐기물 자원화 기반을 조성하여 생산과 유통·소비의 경제활동 전 과정에서 폐기물 발생을 최소화하고, 생산자 폐기물 재활용의 책임을 강화하는 자원순환형 시스템 구축
 - o LCA, 자원·환경요소를 고려한 설계(DfE) 등 환경 경영체제 확산
 - o 전 산업을 대상으로 생산과 소비를 연계시켜 제품의 생산, 유통, 소비, 폐기의 모든 단계에서 생태적 효율성 (eco-efficiency)을 제고시키기 위한 ‘Factor X’⁵⁾ 프로젝트 지원 강화
 - o 공급망 관리(SCM: supply chain management)를 통한 환경경영 및 청정기술 확산
- 그리고 경제성장 더불어 화학물질의 유통·사용이 급격히 증가하여 현재 국내에는 3만6천

4) “지속가능한 산업이란 현재 및 미래 세대의 삶의 질 향상과 동시에 국가경쟁력을 제고하기 위하여, 산업활동의 전과정(life cycle)에서 천연자원의 사용과 환경오염을 최소화시키고 자원의 수명을 연장시킴과 동시에 생산성 향상을 통해 지속적인 산업활동이 가능하도록 하는 것”을 의미함

5) 예를 들어, ‘Factor 4’는 자원사용 및 오염물질배출은 절반으로 줄이는 동시에 생산은 두 배로 향상시켜 복지를 4배로 제고하는 것을 의미함

중의 화학물질이 유통중이며 연간 200여종의 신규화학물질이 시장에 진입되고 있다. '92년 리우회의 이후 지속가능한 발전의 달성을 위하여서는 화학물질의 생산·사용·배출 단계에 있어 적정관리의 필요성에 대하여 국제사회는 인식을 같이하고 있다. 이에 따라 “의제21 제19장”에서는 분야별 정책의 통합적인 실행을 위하여 위해성평가 실시, 위해도수용성 확보 및 위해성 관리라는 접근방식의 도입·운영 필요성을 강조하고 있다.

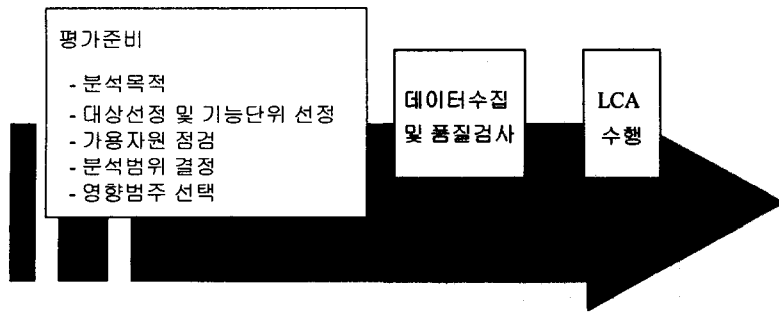
(표-3) 산업활동 단계별 환경조치와 관련산업

활동 단계	환경 조치	주요 내용	관련 산업
원료 조달	몬트리올의정서	CFCs등 오존층파괴물질의 생산/사용 규제	자동차, 전자, 화학, 정밀기기
	바젤협약	유해폐기물 국경간 이동 규제	철강, 제지
	국제열대목재협정	열대림 보호를 위한 열대산 목재 채취 규제	가구, 제지
	생물다양성협약	생물자원의 합리적 이용	제약, 화장품 등
제조/유통	기후변화협약	온실가스 배출 규제	에너지 다소비산업
	기술장벽협정	환경보전을 위한 기술규제	모든산업
	공정 및 생산방식	환경오염 유발 제조공정/생산방법 규제	모든산업
	탄소세/에너지	가격 상승효과를 통한 에너지사용 억제	에너지다소비산업
소비	연비/배기가스	자동차 사용에 따른 대기오염 억제	자동차, 부품
	에너지효율등급제	에너지사용의 효율성 제고	전자, 자동차
	환경마크제도	환경친화제품 소비장려	소비재산업
	경고라벨부착	유해물질 함유제품 소비억제	전자, 자동차
폐기	폐기물재활용의무화	수거체계 수립 및 재활용 의무화	자동차, 전자, 제지, 유리, 플라스틱, 철강, 가구
	용기규제	재활용이 가능한 용기사용 의무화	식/음료품
전과정	ISO 14000	환경경영체제 구축 및 환경감사	모든 산업

II. 원전의 환경영향 평가

LCA에 따른 평가방식을 요약하면 (그림-2)와 같다.

이에 따라 본 논문의 분석내용을 요약하면 다음과 같다. 본 고에서는 원전의 운전·유지 단계에서 미치는 환경영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 원전의 기능은 발전에 있으므로 분석의 기준이 되는 기능단위는 GWh로 하였다. 이를 위해 대상이 되는 원전은 우리나라에서 운전중인 대표적인 원전을 대상으로 하였다. 여기에서는 연구결과에 대한 해석 단계를 아직 수행하지 않은 관계로 특정 원전의 이름을 거론하는 것은 피하고 편의상 원전-U와 D로 칭한다. 환경영향 범주는 자원고갈, 지구온난화 그리고 산성화에 대해 분석한다.



(그림-2) LCA에 따른 환경영향 평가과정

특히 지금까지 원전의 환경영향 분석에서는 가동단계에서 지구온난화나 산성화 물질의 배출을 무시했으나, 이는 기존의 분석방법이 배출단에서의 발생량을 기준으로 분석하는 기존의 방법에 따를 때의 평가법이다. 이에 비해 LCA 분석에서는 투입물들이 만들어지는 전과정 즉 이들을 만들기 위해 들어가는 원료의 채취에서부터 생산과 조달 그리고 폐기에 이르기까지의 전과정을 분석 대상으로 하기 때문에 원전에서 사용하는 원전연료, 비상발전원 시험운전을 위해 쓰이는 경유의 사용 등 모든 물질이 분석대상으로 망라된다.

분석대상으로 삼은 원전-U와 D는 모두 1990년대 후반에 지어진 원전으로 우리나라에 가동되는 원전을 대표할만한 운전성과 가동기간을 보유하고 있다. 이들 원전에 대해 환경영향을 분석하기 위해서는 발전소에 투입되는 원·부자재 투입량 자료와 사용한 장갑이나 폐수 등 배출되는 산출물 자료를 활용하였다. 이들에 관한 자료는 주로 원전운영사에서 발간하는 연보자료를 주로 활용하였다. LCA 수행결과를 정리하면 다음의 (표-4)와 같다.

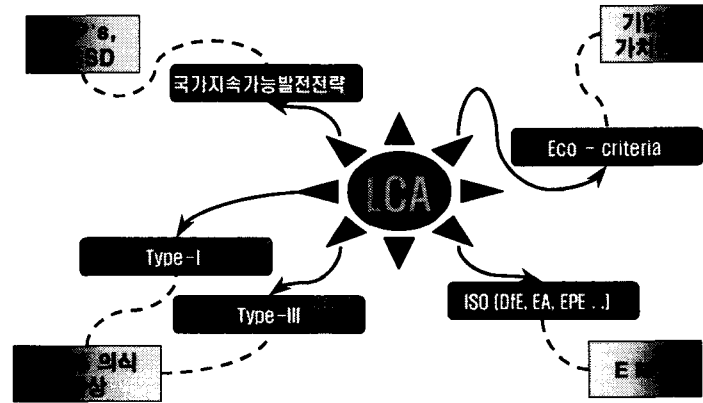
(표-4) 원전의 환경영향 평가 사례(상대치)

영향범주	평가기준	원인물질	npp-U	npp-D
산성화	kg SO ₂ -eq.	SOx		0.667
		NOx	0.506	0.330
		기 타	0.004	0.003
		전 체	1.509	0.999
지구온난화	kg CO ₂ -eq.	CO ₂		0.646
		CH ₄	0.017	0.012
		기 타	0.001	0.001
		전 체	1.018	0.659
자원소모	kg Sb-eq.	Uranium	1.960	0.000
		Hard Coal		0.648
		Crude Oil	0.213	0.172
		Natural Gas	0.211	0.145
		기 타	0.000	0.000
		전 체	6.756	4.567

III. 전력산업에서 LCA의 역할

LCA의 관점에서 보면 위의 분석에서 살펴본 바와 같이 원전의 운전·유지 단계에서도 지구온난화와 산성화 영향 물질이 유발된다. 이 분석은 기존의 배출단 측정 평가로는 알아낼 수 없었던 결과이다. 이러한 분석의 사용은 분석대상 기술 내부적으로는 자신의 공정(단계) 별 환경영향 정도를 정량적으로 알 수 있고, 그 결과는 영향물질과 영향장소를 알 수 있게 하여 공정(단계) 개선에 선순환시키는 데 활용할 수 있다. 또한 외부적으로는 환경영향 평가 비교를 통해 전원개발계획 수립과 같은 기술의 선택에 활용할 수 있다. 본 연구에서 인용한 원전의 환경영향 평가 사례는 비교를 위해 수행된 연구가 아니기 때문에 자료의 수집 범위와 품질 조건이 다를 수 있기 때문에 비교의 의미는 없다.

LCA가 원전사업에 적용된 사례 외에도 신뢰성 있는 데이터의 조달만 가능하다면 이 방법은 어느 발전원이든 적용가능하며, 환경영향의 예측도 가능하다. 전력산업에 있어 LCA의 기능은 다음의 그림과 같은 4가지 경로를 통해 이루어질 수 있다.



(그림-3) 전력산업에서 LCA의 활용 경로

미래사회로 갈수록 전력은 신규수요와 대체수요의 증가로 지금보다 많은 량의 공급을 요구할 것이다. 이 때문에 환경문제에 있어 전력산업의 영향이 커질 것이고, 따라서 전력의 청정공급 체계 구축은 국제규범의 수립과 무관하게 국민복지나 환경보존의 차원에서 필연적이다. 이를 위해서 LCA는 청정생산을 위한 분석능력을 갖추고, 이를 바탕으로 6개 전력사로 분사된 이후 점차 완전한 민영화로 이어질 전력산업 참여자들의 가치 극대화에 기여하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 정책분야별 지속가능발전전략, 지속가능발전위원회, 2002. 9.18
2. 지속가능한 산업발전 전략, 산업자원부, 2002. 9
3. 지속가능발전 세계정상회의(WSSD) 참가보고, 환경부, 2002. 9
4. 정환삼 외, “전원별 환경영향 평가를 위한 수명주기분석기법 적용 방안 연구”, 1998 에너지공학회 추계학술발표회, 1998.
5. 정환삼 외, “전과정평가를 통한 원전의 환경영향 평가 연구”, 2002 에너지공학회 추계학술발표회, 2002. 11.