



LCA에 의한 변전기기의 환경부하 평가

변전기기의 전력손실은 電力系 전체 중에서는 얼마 안되는 양으로, 그 전력손실에 관련되는 온실효과가스 배출의 비율은 비교적 적다고 할 수 있다. 그러나 일본 전체의 온실효과가스 배출량이 증가추세에 있음을 고려하면, 변전기기에 대해서도 꾸준한 개선노력이 필요하다.

변전기기에 대한 당초부터의 제품개발 방침은 소형화(小型化)·간소화(簡素化)이며, 주로 설치환경의 배려(配慮)와 경제성 추구를 목적으로 한 것이므로, 온난화(溫暖化)의 영향을 의식하게 된 것은 지난 몇 년 동안의 일이다.

이들의 제품개발 방침에 의거하여 제품 제작에 따른 환경부하(環境負荷)에 대하여 상대(相對) 비교는 할 수 있으나, 라이프사이클을 고려한 경우에는 운용과 제작시의 환경부하 합계가 지금까지에 대하여 경감(輕減)되었는지를 추정하기가 곤란하다는 문제도 있다. 그래서 제품의 라이프사이클 전체를 통하여 환경에 미치는 부하의 크기를 수치화(數値化)하여 평가하는 것이 필요하게 된다.

라이프사이클 어세스먼트(LCA, Life Cycle Assessment)는 이러한 관점에서 개발된 툴로서 데이터를 취득하는데 많은 시간이 걸리지만, 용도에 따라서는 간편한 방법을 선택하거나 소형화·간소화쪽으로 방향을 좁혀 LCA로 상세하게 평가하는 구성도 할 수 있다. 그 최대의 효과는 환경부하를 정량화(定量化)할 수 있는 것이며, 아울러 환경부하의 가일층의 저감이 가능하다는 것을 생각할 수 있다.

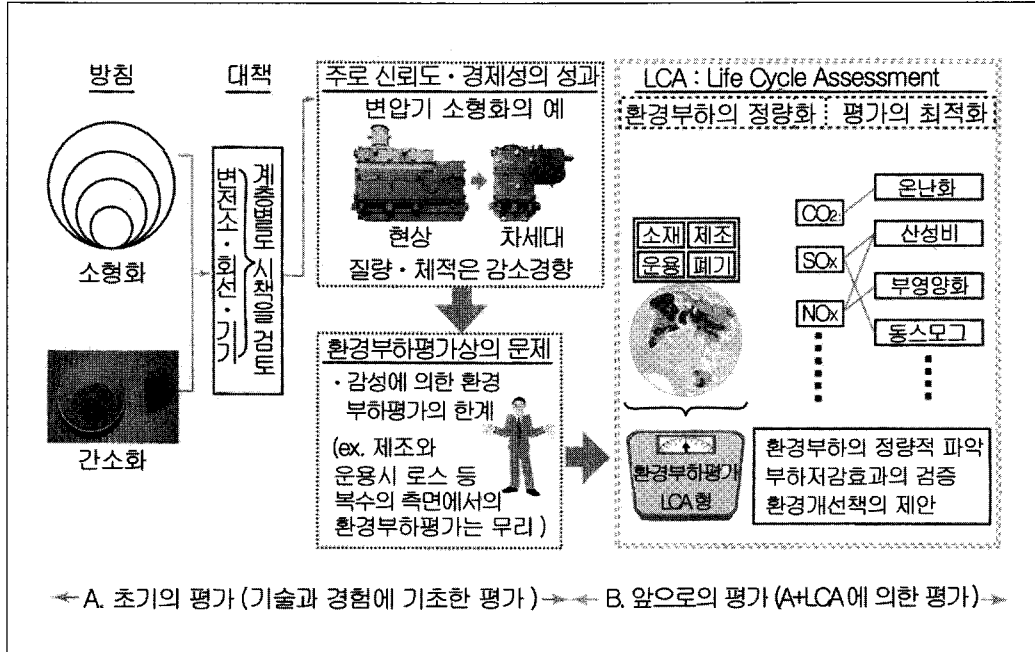
또한 LCA사례에서, 제품개발방침인 소형화·간소화가 환경부하 저감에 합치하며, 이 방침이 유효하다는 것을 확인하였다.

1. 머리말

세계경제 발전에 따른 다량의 온실효과가스 배출은, 지구온난화를 위시하여 각종 환경문제를 최근 더욱 뚜렷이 부각시키고 있다. CO₂가스 이외에 교토의정서(京都議定書)의 대상인 SF₆ 가스의 일본 배출량은, 2000년에 CO₂ 환산으로 570만톤(총 배출량의 0.33%에 상당)으로 보고되어 있다. 이 중에 미쓰비시전기의 배출량은 CO₂ 환산으로 88만톤(SF₆ 가스 총 배출량의 15% 정도)으로 적으며, 이듬해인 2001년에는 배출량을 반감(半減)시키

면서 개선해 나가고 있다. 또한 변전기기에 있어서는 자주적인 규제로 2005년에는 배출량을 구입량의 3% 이하로 하도록 추진하고 있다.

SF₆가스의 온난화계수(係數)는 CO₂의 23,900배로 매우 크기 때문에, 만일 누설(漏洩)될 경우 영향이 크지만, 대상이 좁혀져 있어 제조나 각종 활동에서 배출되는 대량의 CO₂가스에 비하면 관리면에서의 파악은 비교적 용이하다. 그러나 기기의 적용상태에 따라 장기적으로 보유히게 되므로, 온실효과가 적은 대체가스의 개발과 N₂ 가스 등의 혼합사용에 의한 보유량의 정감에 대해서도 검



〈변전기기의 제품화방침과 LCA의 필요성〉

과거부터 계속되어 오는 제품방침의 “소형화·간소화”에 의한 제품은 환경부하 저감이 되는지 안되는지 감성(感性)으로는 판단할 수 없으나, 자원 채굴에서 경년폐기까지의 라이프사이클 전공정을 통하여 환경부하를 종합적으로 평가하는 LCA에 의한 정량화·수치화가 해결책이 되며, 평가의 향상으로 이어지고 있다.

토되고 있다.

CO₂ 가스에 있어서는, 기기 라이프사이클의 “자원채굴~제조~운송~운용~경년폐기”의 각 단계에서 여러 가지 모양으로 배출되고 있어, 그것을 정량화(定量化)하는 방법이 반드시 필요하다.

여기서는, 앞서 잠깐 기술했지만, LCA에 의한 변전기기의 환경부하에 대한 검토 예와 정량화의 유효성, 그리고 앞으로의 전개에 관하여 소개한다.




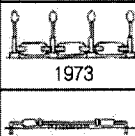





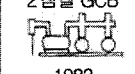




2. 變電機器의 發展과 環境負荷

경제의 고도성장에 의한 전력수요의 증가에 따라 전력계통은 대용량 고전압화되어, 500kV 송전에 대응하는 변

전기기는 모두 소형화·간소화를 염두에 두고, 변전소측에는 배치·구성·운용의 간소화 등, 회선측에는 이기종 복합화(異機種複合化)·동기종일체화(同機種一體化)·합리화, 그리고 기기측에 대해서는 신기술 도입, 기능의 적정화, 제작시 배출여체의 관점에서 각기 여러 가지 시책을 시행해 왔다.

실시 예를 엄밀히 보면, 크게 두 가지로 나눌 수가 있다. 첫째는, 기존설계의 연장에서 경험과 제품기술 등에 기초하여 환경부하의 저감(低減)을 추정할 수 있다. 예를 들어 표 1에 표시하는 GIS(Gas Insulated Switchgear)의 相 분리형에서 全3相일괄형의 변전과 그 요지를 그림으로 나타낸 변압기의 소형화이다. 둘째는, 기존설계에서 벗어나, 환경부하가 저감될지 어떨지 추정이 안되는 경우, 즉 제작

〈표 1〉 GIS의 발전형태

구성방식	72	84	120	168	204	240	300	550
상분리형	 1968		 1969			 1971		 1973  1976
주모선 3상 일괄형	 1969		 1970			 1978  1981		 1982  1995
주 3상 일괄형	 1976 복합화		 1978 복합화			 1987		

시만이 아니고 라이프사이클에 관련되어 있다.

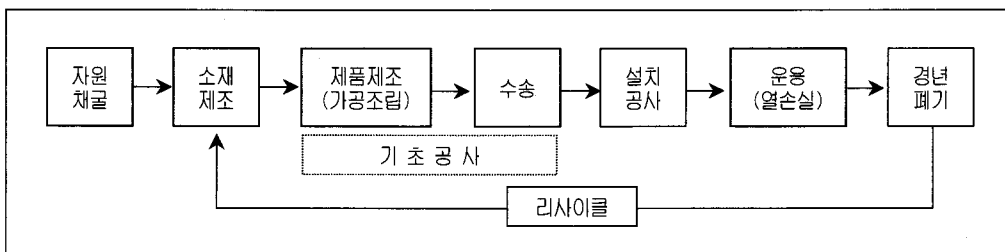
예를 들면 “온도상승한도 증가와 GIS 절연의 고압화에 의한 기기의 소형화”에서는 이제까지와 운용시의 전력손실을 비교하면 “GIS/GIS의 적용”에서는 대체수단인 케이블이나 기중절연기기와의 비교, 그리고 “폴리머애관(碍管)의 채용”에서는 자기제(磁器製) 애관과의 사용기간을

비교하는 것이 필요하며, 이 경우 정량적인 추정은 곤란하다.

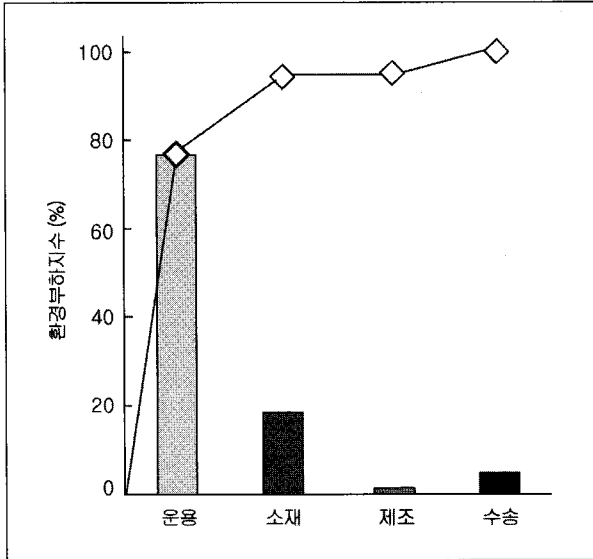
3. 변전기기의 LCA

LCA는 그림 1에 표시하는 자원 채굴(資源採掘)에서 폐기(廢棄)까지의 라이프사이클 전반에 걸쳐, 제품이 사용하는 자원 및 에너지와 배출하는 환경부하 물질의 양을 산정하여(Inventory 分析), 그 환경의 영향을 종합적으로 분석하는 방법으로써 이미 국제표준화되어 있다.

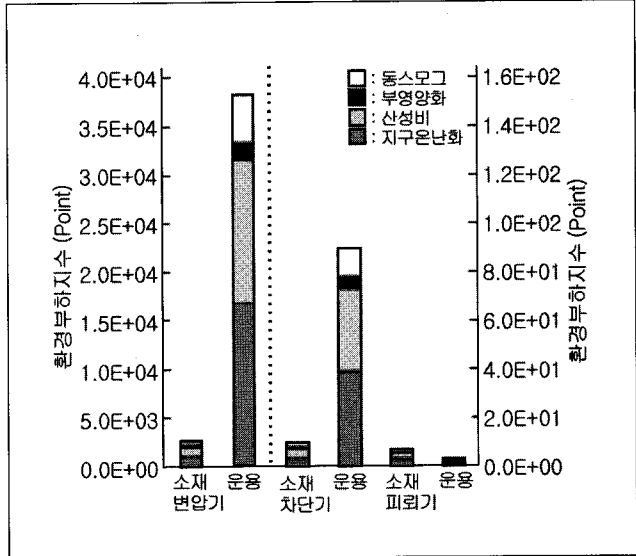
변전기기에 대한 LCA의 실시엔 임해서는 목적에 부응한 조사·대상범위를 먼저 설정했다. 인벤토리 분석에 사용한 각종 소재와 에너지원 등에 관련되는 배출물질은, 기본적으로는 공표된 데이터를 사용했



〈그림 1〉 변전기기의 라이프사이클



〈그림 2〉 GIS의 환경부하 평가결과



〈그림 3〉 기기의 환경부하 평가결과

영향평가에는 여러 가지 방법이 있으나, 인벤토리분석으로 얻어진 각 CO₂, SO_x, NO_x를 지구온난화, 산성우(酸性雨), 부영양화(富營養化), 동스모그의 항목으로 분류하고, 더욱이 이번에는 유럽에서 평가가 높은 ECO-Indicator 95를 이용하여 환경부하지수(Point)로 했다.

그 결과 그림 2에 표시하는 바와 같이 운용단계의 환경부하가 약 80%로 가장 크며, 소재도 합하면 전체의 90%를 차지하게 된다. 더욱이 운용은 50년간 70% 부하로 평가한 것이지만, 소재의 약 4배 이상으로 크다는 것이 확실해 졌다.

가. 변전기기의 환경부하 평가 사례

(1) GIS 송전선의 환경부하

라이프사이클 각 단계에 있어서 환경부하를 파악하기 위해 3相일괄형 300kV GIS의 송전선 유닛을 분석했다. GIS는 部品 수가 많고 장기간에 걸쳐 운전되어, 더구나 보수도 해야 하는 등 라이프사이클 전반에 LCA를 시행하는데는 방대한 시간이 필요하다.

그래서 우선 환경부하의 실체를 확인하기 위해 그림 1에서 표시하는 각 과정을 대상으로 하였다.

(2) 각 기기의 환경부하

상기 GIS의 결과를 기초로 분석대상을 “운용”과 “소재”로 줄인 결과, 그림 3에 표시하는 바와 같이 상시전류가 흐르는 변압기와 차단기에서는, 유도전류에 의한 탱크 발열(發熱)과 도체의 줄(Joule)損에 의한 열손실의 영향을 받는 “운용”과 “소재”에 대해서 훨씬 크며, 피뢰기에서의 전류는 거의 흐르지 않기 때문에 “소재” 단계의 환경부하가 크다. 이에 의하여 환경부하 저감책으로서 피뢰기에서는 소형화가 하나의 대책이 되지만, 변압기·차단기에서는 소형화가 반드시 대책이 되는 것이 아니라는 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 운용손실을 고려한 환경부하 평가 결과/30m

종류	상분리형		3상일괄형	
	알루미늄	철	알루미늄	철
탱크재질				
환경부하 (t-CO ₂)	21.3	24.2	16.0	23.3
전기값* (천엔)	365	5,300	285	470

* 운용시의 열손실을 전기값(5엔/kW·h)로 하여 계산

(3) 운용시의 손실을 고려한 탱크재료의 선정

GIS의 탱크재질은 철과 알루미늄이 주류이며, 그 가운데 소전류정격품으로는 경제성 때문에 철탱크가 채용되고 있다. 300kV, 2000A 등급의 단순화된 母線모델로 분석대상을 “운용”과 “소재+가공”으로 축소한 검토 예에서는, 알루미늄소재 제작의 환경부하·코스트 공히 철에 비해 여러 배 큰데도 불구하고, 표 2에서와 같이 상분리형에서는 환경부하와 운용시 손실에 의한 電氣값은 알루미늄製탱크가 앞서 있다(싸다).

경제성에 있어서도 운용시의 전기값 차이가 鐵製의 초기코스트에 비해 크며, 알루미늄이 철보다 유리하다. 3상일괄형에서는, 앞에서 기술한 경향은 마찬가지이지만, 3상 相器의 구조에서의 차이는 상분리형 만큼 크지는 않다. 더욱이 알루미늄은, 도장을 생략할 수 있고 재생시의 에너지가 새 지금(地金) 제조의 3% 정도로 적은 이점이 있어, 철을 대신하여 알루미늄을 채용하는 것은 득책(得策)이라 할 수 있다. 이로써, 전력손실이나 재(再)자원화의 평가를 필요로 하는 탱크재질을 선정하는데 LCA가 유효하다는 것을 알 수 있다.

나. 변전기기의 환경부하 저감의 실태

장기간에 걸친 기기의 발전을 평가하기 위해서, 과거부터의 소형화·간소화에 의한 기기의 개선시책이 환경부하에 어떠한 성과를 가져왔는지를 조사했다. 대상은 500kV 기기로, 사용재료가 가장 많은 변압기, 변전기 큰

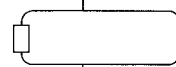




〈표 3〉 변압기의 (e)현행기와 (f)차세대기의 비교(1상분)

		(e) 현행기	(f) 차세대기
구조	권선구성	4군	2군
	현행기 → 차세대기의 변천	-	신질연구조, 신코일냉각방식, 신코일구조, 신고성능냉각기
질량(%)/유량(%)		100/100	76/76
거부면적(%)		100	50

〈표 4〉 탱크형 차단기의 변천(1상분)

발전		(a) 초기	(b)	(c)	(d)	(e) 현행
차단점수		4점	4점	2점	2점 라발형	1점 좌와 같음
구조	가스	2중압력	단압	좌와 같음	좌와 같음	좌와 같음
	조작 장치	스피링차단 유압투입	유압	유압	유압 상시고압	좌와 같음
질량(%)		100	98	65	59	52
가스량(%)		100	75	45	41	39

〈표 5〉 탱크형 피뢰기의 변천(1상분)

발전		(a) 초기	(b)	(c)	(d)	(e) 현행
종별		SF ₆ 소호식	ZnO	좌와 같음 고성능	좌와 같음 개량	좌와 같음 고내압
질량(%)		100	60	40	35	18
가스량(%)		100	25	15	9	4
외형						

차단기와 피뢰기를 선정했다. 변압기는 現行器와 次世代器(新外鐵形)를 비교하고, 차단기와 피뢰기는 과거 약 30년의 변천에 대해 재료사용량에 착안하여 환경부하를 파악하고, 운용에 대해서는 실태 파악이 곤란하기 때문에 이번에는 대상으로 삼지 않았다. 이 30년 동안에 차단기는 차단기술 향상에 의해 2壓式에서 單壓式으로 되고, 차단단도 4点 → 2点 → 1点切(Off)로 대폭적으로 간소화

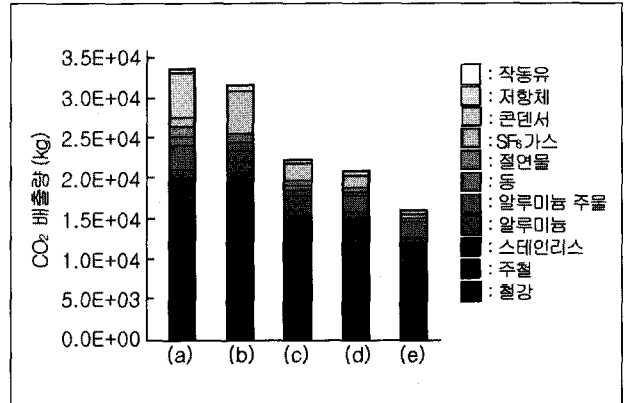
되었다. 또한 피뢰기도 갭(Gap)과 특성요소에 의해 구성되는 SF₆소호식(消弧式)에서 현재의 주류인 보호 특성이 우수한 ZnO식으로 바뀌어, 다시 성능향상과 소형화가 도모되고 있다. 구체적으로 표 3~표 5에 표시되어 있다.

(1) 單相當 環境부하

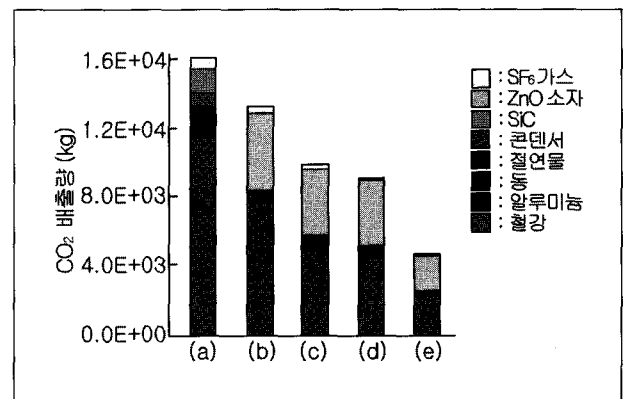
변압기는 표 3의 (e)現行器와 (f)次世代器의 비교를, 차단기와 피뢰기는 표 4, 표 5의 (a)당초, (b)~(e) 발전에 따른 CO₂ 배출량(kg)을 각 1相當으로 평가했다. 그 결과를 그림 4~그림 6에 표시하였다. 이 결과로부터 변압기는 주요구성재료인 동선, 규소강판, 절연유 등의 사용량 24%의 삭감에 의해 CO₂ 배출량이 22% 감소된 것을 알 수 있다.

차단기에서는, (b) 4点切 → 2点切 → 1点切의 발전에 따라 철강 이외에 분압용(分壓用) 콘덴서의 사용량 삭감도 원인이 되어, 각 단계에서 CO₂ 배출량이 각각 약 30%, 22%로 감소했다.

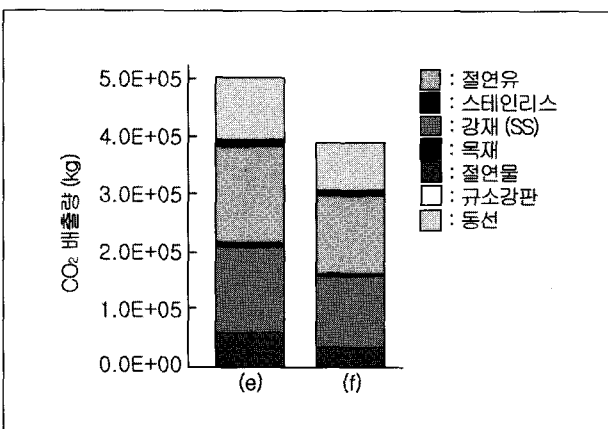
한편, 피뢰기의 변천에서는, (a)SF₆ 소호식 → (b)ZnO



〈그림 5〉 차단기 1상당 CO₂ 배출량



〈그림 6〉 피뢰기 1상당 CO₂ 배출량



〈그림 4〉 변압기 1상당 CO₂ 배출량

식으로 발전에 따라 주요재료도 바뀌었으며, 이로 인하여 소재에서 25%, CO₂ 배출량에서 22%의 삭감이 도모되었다. 더욱이 ZnO 소비의 (b) → (e) 현행에 기술 혁신으로 철강 및 ZnO 소자에서 각각 70%, 50%의 사용량 감소에 의해 CO₂ 배출량이 약 65%로 대폭 감소되어 있다. 특히 (d) → (e)에서의 고내압(高耐壓) 소자의 개발로 소자크기를 반(半)으로 한 소형화의 실현에 의해 CO₂ 배출량도 약 50%를 감소하여 거의 극한에 달하고 있다.

〈표 6〉 쉘 납품수의 CO₂ 배출량과 SF₆ 사용량

		CO ₂ 총 배출량(%)	SF ₆ 총 사용량(%)
차단기/피뢰기	실체	100/100	100/100
	(b) 베이스	135/145	145/175

(2) 遮斷器, 避雷器의 CO₂ 累積배출량의 低減效果

각 방식에 있어서의 기기재료의 CO₂ 배출량과 납품수에서 구해지는 실제의 누적 CO₂ 총 배출량을 기준으로 하여 현 방식의 原型(차단기는 單壓가스, 피뢰기는 ZnO형)인 (b)를 (c) 이후에도 적용한 것으로 하여 대비결과를 표 6에 표시하였다. 여기에서 누적배출량은 차단기에서 35%, 피뢰기에서는 45%로 대폭 개선되고, 또 SF₆가스 총 사용량에 있어서도 앞서와 마찬가지로 구한 표 6에 표시하는 바와 같이 대폭 개선되어 있다. 이로서, 소형화·간소화의 방침이 환경부하저감에 일치되고 있다는 것을 알 수 있다. 참고로 여기서 다룬 차단기와 피뢰기의 2000년까지의 전(全) 납품수의 CO₂ 배출량은 33,000톤과 4,900톤이다.

소재의 부하는 대부분이 제작시의 것이지만, 운용시의 전력손실에 의한 환경부하는 경년(經年)까지 발생한다는 것을 고려한다면, 그림 3에서 추정할 수 있는 것과 같이 운용의 환경부하가 소재의 9배 정도로 크기 때문에 앞으로 주목해 나갈 필요가 있다.

4. 變전기기 LCA의 앞으로의 전망

현재 기기의 소형화·간소화는 거의 한계에 달해 있어, 앞으로는

- ① 變전소구성 전체 및 운용실태를 포함한 평가
- ② SF₆가스 보유량의 감소를 겨냥한 혼합가스化
- ③ 경년기기 부품의 재이용(外函류, 磚管 등)

등을 염두에 두고 심도있는 검토가 이루어져야 할 것이다. 예를 들면, 차단기에 있어서, 그 기계적 지지부등은 재사용하고, 부품은 보수를 위한 교환대상이나 절연물, 그리고 차단 등의 책무(責務)에 영향을 주는 요소를 제외하여 재사용하고 애관도 재사용하는 것으로 할 때, 갱신 전을 100으로 하고 갱신 후의 환경부하와 경제성이 각각 35, 70으로 크게 개선된다는 결과가 나오고 있다.

한편, LCA의 기본이 되는 소재·부품의 환경부하에 관한 데이터의 보고 예가 적어, 보다 충실할 것이 요망되고 있다.

5. 맺음말

LCA에 의해 환경부하가 정량화되어, 환경부하 저감 효과를 검증할 수 있게 됨은 물론, 그 저감대책의 책정에 도움이 될 수 있게 되었다. 또한 과거부터 제품화방침인 소형화·간소화가 환경부하 저감과 정합(整合)하고 있음을 알게 된 것은 큰 성과라 할 수 있다. 변전기기는, 형식시험이 있고 사용기간이 긴 것 등의 특징이 있기 때문에 환경부하저감 대책에 부응한 제품 갱신은 간단한 문제는 아니지만, 앞으로의 실현을 위해 노력을 계속해 나갈 생각이다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.