Korean Journal of LCA
Vol. 2, No. 1, 2000, pp. 69-78

한국형 환경영향 평가 지수 방법을 위한 국내 정규화 기준값의 산정

허영채 · 서상원* · 하상선 · 이건모
(아주대학교 환경 · 도시공학부)

Determination of Normalization Values for Korean Eco-indicator

Youngchae Heo · Sangwon Suh* · Sangsun Ha · Kun-Mo Lee
(School of Environment & Urban System Engineering, Ajou University,
*Centre for Environmental Science(CML), the Netherlands)

ABSTRACT

This study aimed at calculating normalization reference values for Korean Eco-indicator. For this objective, abiotic resources depletion, global worming, ozone depletion, acidification, eutrophication, photo chemical oxidant creation, eco-toxicity, human-toxicity and solid waste were selected as adequate impact categories for normalization references relating to Korean situation. EDIP method which use per-capita base expression was chosen for this study. Bridging data gab, ammonia emission, equivalency factors for various pesticides used in Korea were calculated. Selection of data sources, data processing procedures, assumptions used in this study were explicitly disclosed in order to guarantee the transparency and the consistency in the calculation of the normalization reference values. Comparison of calculated normalization references with other prior researches showed that main deviation was come from the difference in reference year and geographical boundaries between each study, and the differences were not exceed 50% if these two conditions were identical.

Keywords : Normalization reference, LCA, impact category,

요 약 문

이 연구는 한국형 환경 영향평가 지수 방법에 적용하기 위한 국내 정규화 기준값 산정을 목적으로 하고 있다. 영향 범주는 무생물 자원고갈, 지구온난화, 오존층 고갈, 산성화, 부영양화, 광화학 산화물 생성, 생태 및 인간 독성영향 범주와 국내 환경 여건을 고려하여 폐기물을 포함하였다. 산정방법은 영향범주의 지리적 경계를 기준으로 산정하여 인구당량으로 나누어 표시하는 EDIP 방법을 적용하여 영향범주 별 정규화 기준값을 산정하였다. 산정과정에서 암모니아 배출량, VOC의 오염원별 배출량, 생태독성 상응인자, 폐기물 영향범주 등 국내의 선행연구를 보완하였고 자료원의 선택, 자료 가공, 사용된 가정 등을 명확히 제시하였다. 산정된 정규화 값을 선행된 연구들과 비교 고찰한 결과 기준연도와 지리적 경계의 차이가 결과 값에 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 기준년도와 지리적 경계가 일치하는 연구들에서는 50% 미만의 차이가 있었고 이것은 사용된 자료원과 산출 방법론에 기인하는 것으로 파악되었다.

주제어 : 정규화 기준값, 전과정평가, 영향범주

Ⅰ. 서 론

환경성 지표(Eco-indicator)[1] 방법과 Environmental Design of Industrial Product (EDIP) 방법[2]과 같이 환경목표에 의한 방법(distanc-to-target method)을 사용하는 전과정평가에 있어서 정규화 기준값(Normalization reference: Ni)은 각

영향범주의 상대적인 영향을 정량화 하는데 있어서 근간이 되는 요소이다. 그러므로 이러한 값들은 결과에 큰 영향을 미치게 되지만 아직까지 국내에서 보고된 정규화 기준값은 정연하 등이 보고한 '전과정평가용 국내 정규화값 결정'[3]이 있을뿐 정규화 기준값에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 정규화 기준값의 결정은 다방면에 분산되어 있는 자료들을 취합하고 분석하는 과정을 필요로 하기 때문에 같은 영향범주의 값이라도 자료원과 가정 선택의 일관성 여부에 따라서 결과가 틀려질 수 있다. 이러한 점은 지역적인 영향범주 뿐만 아니라 범지구적인 영향범주에서도 발견되고 있어서 전과정평가 결과의 재현성과 산출과정의 투명성을 확보하기 위해서는 보다 일관성 있고 명확한 자료수집과정의 공개가 필요하다.

이 연구에서는 국내외에서 선행된 정규화 값 산정에 관한 연구들을 분석하고 국내에서 선행되어진 연구들을 보완하여 국내 정규화 값을 산정 하였으며 산정된 정규화 값을 영향범주의 지역적 경계에 따라 선행 연구들과 비교 고찰하였다. 또한 이 연구를 기반으로 후속연구에서 일관성 및 재현성 있는 전과정평가 연구가 수행될 수 있도록 자료원의 선택, 자료의 가공과정 및 사용된 가정을 투명하게 제시하는데 중점을 두었다.

Ⅱ. 정규화 기준값 산정방법

1. 영향범주의 선정

선행된 연구로는 Consoli 등[4], Lindfors 등[5], Wenzel 등[2], Goedkoop[1], 정연하 등[3]의 연구들이 있으며 문헌마다 영향범주를 선택하는데 차이가 있었다.

Consoli 등은 자원고갈(resource depletion), 오염(pollution), 생태계 및 경관 파괴(degradation of ecosystems and landscape)라는 상위범주 아래 각각 2개, 7개, 1개의 하위범주를 두는 영향범주를 예로 제시하고 있다. Lindfors 등은 자원고갈, 인간보건, 지구온난화 등을 포함한 13가지 영향범주를 제시하고 있다. 국내 연구인 정연하 등의 연구에서는 자원소모를 제외한 7가지 보편적인 영향범주를 제시하였다.

또한 지역적 또는 국지적으로 발생하는 환경문제의 경우 각 국가마다 환경여건이 크게 다를 수 있으므로[6] 국내의 환경여건을 고려할 때 최근 심각하게 대두되고 있는 폐기물문제가 영향범주의 선택에 적절히 반영되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 한국형 환경영향평가지수 방법의 영향범주는 선행 연구들에 보편적으로 포함되어 있는 무생물 자원고갈, 지구온난화, 오존층 고갈, 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물 생성, 생태 및 인간 독성과 국내 실정을 고려한 폐기물을 포함하는 것으로 하였다.

2. 산정 방법

정규화 기준값은 각 영향범주 간의 상대적인 영향을 정량화 하는 출발점이므로 정규화 방법에 따라 전과정평가 결과는 상당히 달라질 수 있다. 이제까지 국내외에서 보고된 정규화 기준값 산정방법으로는 Guinée, Goedkoop 등, Duane, Henrik 등, Leo Breedveld 등 에 의해 제안된 Global normalization 방법[7], Dutch Eco-indicator 95 방법[8], Regional scaling 방법[9], EDIP 방법[2], Consumption Basis 방법[10] 등이 있다.

Table 1에서 자료수집의 용이성, 각 영향범주의 지역경계와 정규화값의 지역경계의 일치여부, 범지구적인 영향 및 국지적인 영향 범주의 정규화값의 불

Table 1. Comparison of prior Methods.

method	data* availity	cover age**	Balance***	system boubdary****
Global Normalization	×	×	○	○
EDIP	○	○	△	×
Consumption Basis	△	×	○	○

* Availability of reliable data
** Geographical coverage between environmental impact and normalization references
*** Balance of the magnitude between each impact category's normalization references
**** system boubdary between normalization references and product system under study

균형 여부, 정규화값의 지역경계와 제품시스템의 지역경계의 일치여부에 대하여 산정방법별로 비교하였다.

이 중 EDIP 방법은 각 영향범주의 지리적 범위에 따라 자료를 수집하고 인구 당량으로 표시하는 방법으로 정규화 기준값 산정시 발생되는 자료확보의 용이성에 관한 문제, 국지적 및 지역적 환경영향과 범지구적 환경영향의 상대적인 크기로 인한 불균형의 문제 등을 해결 할 수 있다고 판단된다[11]. 따라서 이 번 연구에서는 EDIP 방법에 따라 정규화 기준값을 산정하였다. 무생물 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴를 범지구적인 영향으로 간주하였고 광화학산화물 생성, 부영향화, 산성화, 생태독성, 인간독성, 폐기물을 지역적 및 국지적인 영향으로 간주하여 산정하였다. 정규화 기준값의 기준년도(reference year)는 1995년으로 하였고 이때 세계인구와 국내인구는 통계청 자료[12]를 이용하였다.

Ⅲ. 영향범주 별 정규화 기준값

1. 무생물자원고갈

미국의 U.S. Geological Survey에서 발행하는 자료[13]를 이용하여 자원별 생산량과 매장량으로 정규화 기준값을 산정하였으며 특성화 방법은 각 자원들이 현재의 자원소비 속도를 기준으로 몇 년 후에 고갈될 것인가를 기준으로 하는 reserves to use 방법을 사용하였다.

Table 2에 무생물자원고갈에서 고려한 51종의 영향물질중 특성화 결과가 전체의 1% 이상을 차지하는 물질들을 나타내었고 도출된 정규화 기준값은 2.94E+3 g/person-yr^{2}이다.

2. 지구온난화

기준년도로 선정한 1995년도의 전세계 지구온난화 물질 발생량에 대한 통계는 입수할 수 없었다. 따라서 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)에서 보고한 Annex I 국가들[14]이 1990년도에 배출한 지구온난화 물질배출량과 CO_2 배출량의 비율인 73.3%가 1995년도 전세계 지구온난화 물질배출량과 CO_2 배출량에도 적용된다는 가정을 이용하였다. 이 가정으로부터 1995년 전세계 CO_2 배출량에서 1995년 전세계 지구온난화 물질량을 계산하였다.

Annex I 국가들의 1990년 지구온난화 물질 배출량은 Journal of Global Change의 electronic edition의 자료[15]를 이용하였고 1990년 Annex I 국가의 CO_2 배출량과 1995년 전세계 CO_2 배출량은 미국 Department of Energy(DOE)의 Carbon Dioxide Information Analysis Center(CDIAC)에서 보고한 자료[16][17]를 이용하였다. 지구 온난화 영향범주의 정규화 기준값은 5.66E+06 gCO_2-eq/person-yr으로 결정하였다.

Table 2. Normalization Reference of Abiotic Resource Depletion.

Inventory Parameter	production (g/yr)	R/P_n (1/yr)	CI_n (g/yr)	CI_n per person (g/p-yr)	Fraction %
iron ore	1.00E+15	6.67E-03	6.67E+12	1.17E+3	39.89
peat	1.35E+14	2.60E-02	3.50E+12	6.16E+2	20.97
sulfur	5.20E+13	3.71E-02	1.93E+12	3.40E+2	11.56
phosphaterock	1.37E+14	1.25E-02	1.71E+12	3.00E+2	10.21
lead	2.80E+12	4.12E-01	1.15E+12	2.03E+2	6.90
bauxite and alumina	1.09E+14	4.74E-03	5.17E+11	9.08E+1	3.09
zinc	7.07E+12	5.05E-02	3.57E+11	6.28E+1	2.14
copper	9.80E+12	3.16E-02	3.10E+11	5.45E+1	1.85
and other 43 items					
Total				2.94E+3	

3. 오존층고갈

United Nations Environment Programme (UNEP)에서 제공한 1995년 Ozone Depleting Substance별 소비량[18]을 근거로 산정하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다. 상응인자도 UNEP에서 제공한 Ozone Depletion Potential(ODP) 자료를 이용하였고 오존층 고갈의 정규화 기준값은 8.26E+01 gCFCs-eq/person-yr로 계산되었다.

Table 3. Normalization Reference of Ozone Depletion

Inventory Parameter	CIi (gCFCs-eq/yr)	CIi per person (gCFCs-eq/pe-yr)	Fraction (%)
CFCs	2.52E+11	4.44E+01	54
Hallons	3.02E+09	5.30E-01	1
Carbon Tetrachloride	1.34E+11	2.35E+01	28
Methyl Chloroform	1.57E+10	2.75E+00	3
HCFCs	2.77E+10	4.87E+00	6
Methyl Bromide	3.75E+10	6.60E+00	8
Total	4.70E+11	8.26E+01	

4. 광화학산화물생성

1996년의 국내 Volatile Organic Compounds (VOC) 배출량과 1995년의 국내 CO 배출량을 근거로 작성하였다. VOC 배출량에 사용된 자료는 국내 연구[19]를 참조하였으며, CO 배출량은 환경부 자료[20]를 사용하였다. 상응인자는 EDIP에서 제시된 값을 따랐다. 기준년도 동안 발생된 환경부하량과 정규화 기준값을 Table 4에 나타내었다. 광화학 산화물생성의 정규화 기준값은 7.37E+03 gC_2H_4-eq/person-yr으로 계산되었다

5. 산성화

NO_x와 SO_x 발생량은 국내 통계[21]를 바탕으로 하였으며 선행된 외국 연구들과 비교할 때 국내 연구는 암모니아 배출량을 고려하고 있지 않아 암모니아에 대한 국내 배출량을 산정하여 자료에 추가하였다. 상응인자는 수소이온 방출량 (proton release)을 기준으로 한 Acidification Potential(AP)을 사용하였다.

Table 4. Normalization Reference of Photochemical Oxidant Creation.

[illegible]		amount (g/yr)	equivalency (gC_2H_4/gVOCs)	CIi (C_2H_4 g/yr)	CIi per person (C_2H_4 g/pe-yr)
도장산업	도료제조	2.84E7	0.5	1.42E+10	3.17E+02
	도장과정	2.54E8	0.5	1.27E+11	2.83E+03
자동차 운행	대기관 배출량	1.79E8	0.5	8.96E+10	2.00E+03
	증발배출	3.41E7	0.4	1.37E+10	3.05E+02
주유소	stage 1	1.45E7	0.4	5.79E+09	1.29E+02
	stage2	1.77E7	0.4	7.09E+09	1.58E+02
유류저장 및 출하시설	저장시설	6.51E6	0.4	2.60E+09	5.81E+01
	출하시설	2.23E7	0.4	8.92E+09	1.99E+02
인쇄	잉크제조	3.42E6	0.3	1.02E+09	2.28E+01
	인쇄과정	1.82E7	0.4	7.29E+09	1.62E+02
도로포장	커트백 아스팔트	1.98E7	0.3	5.94E+09	1.32E+02
세탁시설 업소	용제사용	1.35E7	0.3	4.06E+09	9.04E+01
CO		1.09E9	0.04	4.36E+10	9.71E+02
Total				3.31E+11	7.37E+03

암모니아의 배출량에 관하여 미국, 스위스의 연구[22)23)]로 부터 암모니아 발생량의 90% 이상이 가축 분뇨와 관련된 것이며 산업공정에 의한 발생량은 무시할 만한 것으로 파악하였다. 또한 스위스의 암모니아 배출량과 소, 돼지의 사육두수를 이용하여 암모니아 배출계수를 13224.70g NH_3/마리 소-yr, 5124.63g NH_3/마리 돼지-yr로 산정하였다. 이 배출계수를 네덜란드에 적용시킨 결과 네덜란드의 National Institute of Public Health and Environmental Protection(RIVM)에서 집계한 암모니아 발생량과 1.2%의 차이만을 나타내어 타당성이 있다고 판단하였다. 국내 소, 돼지의 사육두수와 산정한 배출계수를 이용하여 국내 암모니아 배출량을 계산하였다.

Table 5에 산성화를 일으키는 오염물질의 기준년

도 동안 발생된 양을 나타내었으며, 산성화의 정규화 기준값은 5.64E+04 gSO_2-eq/person-yr이다.

Table 5. Normalization Reference of Acidification.

Inventory Parameter	Amount (g/yr)	CI_{ij} per person (gSO_2-eq/pe-yr)	Fraction (%)
SO_2	1.53E+12	3.44E+04	61.78
NO_2	1.15E+12	1.81E+04	32.53
Ammonia	9.34E+10	3.94E+03	7.08
Total		5.64E+04	

6. 부영양화

모든 선행연구에서 Total Nitrogen(TN), Total Phosphorous(TP), Ammonia 및 NO_x를 부영양화의 주요 영향물질로 보고하였으므로 이에 준하여 자료를 수집하였다. 상응인자는 조류의 각 영향원소 별 중량비를 기준으로 산정한 Eutrophication Potential(EP)을 사용하였다. 암모니아 및 NO_x는 산성화에서 사용된 자료를 그대로 사용하였으며 TN과 TP는 주요 발생원을 산업폐수, 오수, 축산 폐수 및 분뇨의 4가지로 가정한 뒤 국내 통계[20)23)]를 이용하였다.

이들 발생원에서 발생된 폐수의 경로를 Fig. 1과 같이 파악하였다.

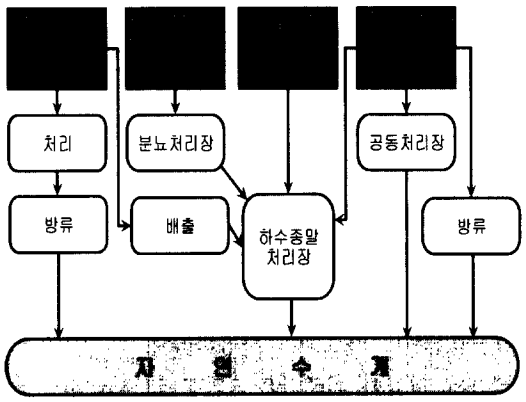

Fig. 1. Source of wastewater including N and P.

자연 수계로 유입되는 자체처리된 산업폐수, 하수종말 처리장 방류수, 축산폐수 공동처리장 방류수[24)] 등은 각각의 방류수 수질기준에 맞게 처리 된다는 가정하에 산정하였고 규제미만의 축산폐수는 사육두수에 원단위[25)]를 곱하여 산정하였다.

Table 6에 부영양화를 일으키는 오염물질과 발생량을 나타내었다. 계산된 결과를 바탕으로 산정한 부영화의 정규화 기준값은 8.09E+3 g $PO4^{3-}$eq/person-yr이다.

Table 6. Normalization Reference of Eutrophication.

Inventory Parameter	Amount (g/yr)	CI_{ij} (gPO_4^{3-}/yr)	CI_{ij} per person (gPO_4^{3-}/pe-yr)	Fraction (%)
NO_x	1.15E+12	1.50E+11	3.35E+3	38
NH_3	9.34E+10	3.27E+10	7.33E+2	8
Total P	3.45E+10	1.06E+11	2.37E+3	27
Total N	2.6E+11	1.09E+11	2.45E+2	28
Total		3.97E+11	8.90E+3	

7. 생태독성

생태독성의 상응인자는 네덜란드의 Center for Environment(CML)에서 제안한 provisional method[26)]에 따랐다. 이 방법은 Environmental Protection Agency(EPA)에서 제안한 Maximum Tolerable Concentration (MTC) 계산 방법을 변형하여 각 물질의 단위 질량을 MTC이하로 희석시키는데 필요한 물의 양을 특성화값으로 사용하였다. 이때 어류, 갑각류, 조류, 토양미생물, 지렁이 절지동물의 독성자료 중 가장 낮은 값을 선택하고 자료의 수에 따라 자료가 2개 이상일 때는 0.01, 2개 미만일 때는 0.001의 safety factor를 곱하여 산정하고 있다.

1) 수질오염물

수계독성 물질의 주요 배출원은 매립지 침출수, 산업폐수, 소각로 발생폐수로 파악하였다. 침출수에서 발생되는 독성물질 양은 국립환경연구원의 자료[27)]로부터 수도권 매립지, 부산을숙도 매립지, 광주광역시 매립지, 대전광역시 매립지, 대구광역시 매립지의 방류수질 실측치를 사용하였다. 산업폐수와 소각로 발생폐수는 환경부자료를 사용하였다[28)29)].

국내에서 발생되는 수질오염물질의 경우 상응인자

Table 7. Normalization Reference of Ecotoxicity to Water Emission.

Inventory Parameter	Amount	LC50 Fish	LC50 Crustaceans	NOEC Algae	FACTOR		MTC	eqvij	Cfij	Cfij per person	Fraction
	(mg/yr)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	0.01	0.001	(mg/L)	(m³water/g)	(m³water/yr)	(m³water/p-yr)	(%)
Cu	3.42E+11	0.253		134		o	0.000253	3.95E+03	1.35E+12	3.01E+04	72.2
Pb	4.76E+10	8	127	8	o		0.08	1.25E+01	5.95E+08	1.33E+01	0
Hg	4.30E+09	0.033	0.2571	367	o		0.00033	3.03E+03	1.30E+10	2.90E+02	0.7
CN	5.70E+10								0.00E+00	0.00E+00	0
n-Hexan	7.25E+09	97.5				o	0.0975	1.03E+01	7.44E+07	1.66E+00	0
Phenol	1.94E+08	5.6	26			o	0.0056	1.79E+02	3.46E+07	7.72E-01	0
TCr	2.25E+08	11.2		12		o	0.0112	8.93E+01	2.01E+07	4.47E-01	0
S-Fe	3.84E+09			158		o	0.134	7.46E+00	2.86E+07	6.39E-01	0
Zn	4.05E+08	0.55	165	123	o		0.0055	1.82E+02	7.36E+07	1.64E+00	0
Cd	2.48E+06	2.5	0.0297	19	o		0.000297	3.37E+03	8.34E+06	1.86E-01	0
As	2.77E+06		0.0198	27		o	0.0000198	5.05E+04	1.40E+08	3.12E+00	0
Cr+6	5.06E+07								0.00E+00	0.00E+00	0
S-Mn	6.53E+09								0.00E+00	0.00E+00	0
F-	1.81E+08								0.00E+00	0.00E+00	0
NH3-N	2.33E+12		5.4706			o	0.0054706	1.83E+02	4.27E+11	9.51E+03	22.8
Benzen	1.10E+03	12	20	29	o		0.12	8.33E+00	9.17E+00	2.04E-07	0
Toluene	6.28E+03	7.3	4.3			o	0.0043	2.33E+02	1.46E+03	3.26E-05	0
Ethylbenzene	2.63E+03	12	10			o	0.01	1.00E+02	2.63E+02	5.86E-06	0
TCE	0.00E+00	42.3	5	2	o		0.02	5.00E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
TeCE	2.92E+06	5	30	18	o		0.05	2.00E+01	5.84E+04	1.30E-03	0
Xylene (M,P,O)	8.78E+03	13				o	0.013	7.69E+01	6.75E+02	1.51E-05	0
HCN	4.35E+10	0.057	95	68	o		0.00057	1.75E+03	7.63E+10	1.70E+03	4.1
Total									1.87E+12	4.17E+04	

가 없는 것이 많아 provisional method에 따라 농업과학기술원자료[30], 독성물질관련 internet database[31][32] 및 독성관련 문헌[33][34][35][36]의 독성자료를 바탕으로 상응인자를 새롭게 계산하였다. 이를 Table 7에 나타내었다. 수질오염물질에 의한 생태독성의 정규화 기준값은 4.17E+04 m^3-water/person-yr이다.

2) 토양오염물

CML provisional method가 토양미생물 및 식물 등의 독성자료를 바탕으로 하고 있으나 국내에서 배출되는 독성물질에 대한 토양미생물 및 식물의 독성자료가 부족하여 EDIP방법과 같이 조류, 갑각류, 어류의 독성자료와[37] 농업과학 기술원의 독성자료로 대체하고 토양의 평균 수분 함량을 기준으로 상응인자를 개발하였다.

선행연구들의 연구로부터 주요 오염물질 발생원을 농약살포로 파악하고 active ingredient 기준 국내 농약사용량의 누적 비율 95%이상을 차지하는 물질을 정규화 기준값에 포함시켰다. 사용된 자료는 국내 농약사용량 및 유통량에 관한 통계를 전담하고 있는 농약공업협회의 자료를[38] 사용하였다.

계산된 정규화 기준값은 5.79E+11 kg dry soil/person-yr라는 직관적으로 받아들일 수 없는 수치로 계산되었다. 이러한 결과는 특성화 방법론에 내재된 문제로 독성자료가 부족할 경우 불확실성으로 인한 safety factor가 지수적으로 감소하여 매우 낮은 MTC를 갖게 되기 때문이며 향후 상응인자의 불확

실성을 줄이는 연구가 이루어져야 할 것이다.

8. 인간독성

상응인자는 CML method를 사용하였다. 사용된 배출량 자료는 환경부[21)39)], 국립환경연구원[29)]의 자료를 사용하였다. Dioxin 발생량에 대한 자료는 환경부에서 전국 10개 소각장에서 5회에 걸쳐 측정한 값을 입수하여 정규화 기준값에 포함하였다. 총 22종의 인간독성을 일으키는 대기 및 수질 오염물질과 발생량 조사하였고 이중 특성화 값으로 전체에서 0.01% 이상을 차지하는 물질들을 Table 8에 나타내었다. 계산된 정규화 기준값은 6.67E+04 gbody-wt/person-yr이다.

Table 8. Normalization Reference of Human Toxicity.

Inventory Parameter	Amount (mg/yr)	Ch (g body Wt/yr)	Ch per person (g body Wt/person-yr)	Fraction (%)
Emission to air				
SO_2	1.53E+15	1.84E+12	4.10E+04	61.47
NOx	1.15E+15	8.99E+11	2.00E+04	30.06
Dioxin	3.20E+07	1.06E+11	2.35E+03	3.53
As	1.30E+10	6.11E+10	1.36E+03	2.04
Ni	1.35E+11	6.35E+10	1.41E+03	2.12
CO	1.11E+15	1.33E+10	2.97E+02	0.44
Hg	3.38E+10	4.06E+09	9.04E+01	0.14
Cd	6.74E+09	3.91E+09	8.72E+01	0.13
Benzene	2.17E+11	8.46E+08	1.89E+01	0.03
Emission to water				
Cr+6	5.06E+07	2.08E+08	4.63E+00	0.01
and other 12 items				
			6.67E+04	

9. 폐기물

1995년 국내 폐기물 발생량을 정규화 기준값으로 사용하였으며 자료는 환경백서를 이용하였다. 상응인자는 폐기물의 부피로 산정하였다. 이는 폐기물 자체에서 기인된 환경영향이 명확치 않으며 현재 우리나라에서 폐기물 매립지의 부족이 큰 문제가 되고 있기 때문이다. 인구당 정규화 기준값은 1.5m^3 waste/person-yr이다.

산정된 영향범주별 정규화 기준값은 Table 9에 나타낸 바와 같다.

Ⅳ. 정규화 기준값 고찰

이 연구를 Wenzel 등, Goedkoop, 정연하 등의 정규화 기준값 선행연구와 비교하였다. 문헌마다 지역적 경계가 다르므로 정규화 기준값을 각 연구에서 고려한 지역적 범위의 인구로 나누어 비교하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다

지구온난화 영향범주의 경우 Goedkoop의 연구가 가장 큰 값을 보이는 데 이는 Goedkoop가 지역적 경계로 선정한 Europe의 생활수준이 세계평균보다 높기 때문인 것으로 판단된다. 예를 들어 덴마크의 인구 당 지구온난화 물질 배출량은 세계평균의 약 2배에 이른다.[2)] 정연하 등의 연구는 우리 나라를 지역적 범위로 하고 정규화 기준값을 산정 하였다. 따라서 에너지 소비량이 많은 우리 나라의 정규화 기준값은 세계를 지역적 경계로 한 값보다 큰 값이

Table 9. Normalization References for each Impact Category.

Impact Category	Value	Unit
Abiotic Resource Depletion	2.94E+03	g/person-yr^2
Global Warming	5.66E+06	g CO_2-eq/person-yr
Ozone Depletion	8.26E+01	g CFCs-eq/person-yr
Photochemical Oxidant Creation	7.37E+03	g C_2H_4-eq/person-yr
Eutrophication	8.90E+03	g PO_4^{3-}-eq/person
Acidification	5.64E+04	g SO_2-eq/person-yr
Ecotoxicity		
to Water Emission	4.17E+04	m^3-water/person-yr
to Soil Emission	5.79E+11	m^3-dry soil/person-yr
Human toxicity	6.67E+04	body-wt/person-yr
Solid Waste	1.5E+00	m^3 waste/person-yr

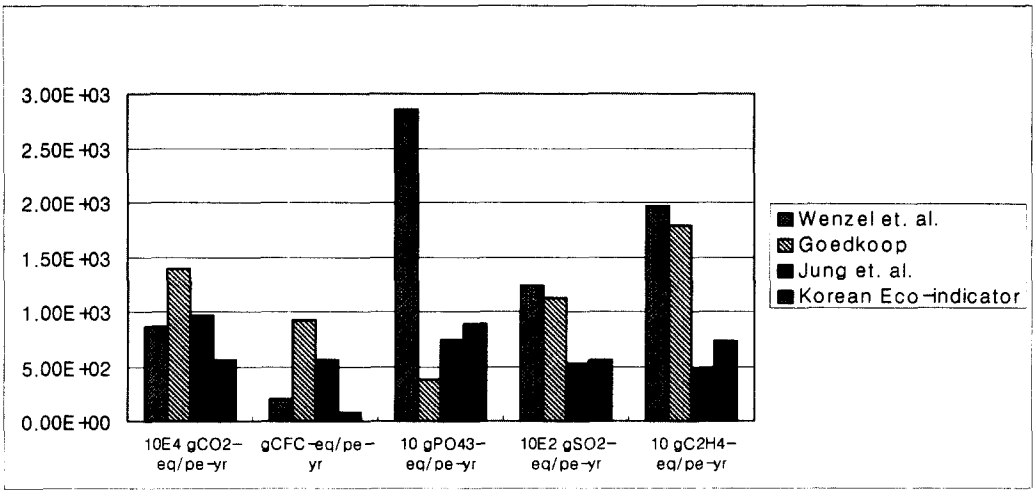

Fig. 2. Comparison of several Normalization References.

산출되었다. Wenzel 등 및 이 연구는 지역적 경계를 세계로 정하고 정규화 기준값을 산정하였는데 약 50% 정도 차이를 보이고 있다. 그러나 Wenzel등의 연구는 사용된 자료 및 산출방법을 정확히 제시하고 있지 않아 그 원인을 정확히 규명하지는 못하였다.

오존층 파괴에서도 각 연구마다 정규화 기준값의 크기가 큰 차이를 보였다. 이러한 차이는 대부분 각 연구에서 사용하고 있는 지역적 경계와 기준년도가 다르기 때문인 것으로 파악되었다. 특히 오존층 파괴 물질의 사용은 1989년 이후 급격한 감소경향을 보이고 있기 때문에 기준 년도의 설정이 값에 큰 영향을 미치는데 Fig. 2에서 Wenzel 등과 이번 연구의 차이는 UNEP의 세계 오존층 파괴물질 소비량의 통계에서 90년과 95년의 감소 비율과 어느 정도 일치하였다.

광화학적 산화물 생성에 대한 정규화 기준값도 지역적 경계에 의해 크게 달라지므로 국내연구들을 중심으로 비교하였다. 정연하 등의 연구에서는 전체 정규화 기준값의 80%를 차지하고 있는 VOC의 각각의 구성물질별 자료 대신 일반적인 Non-Methane Hydro Carbon(NMHC)의 상응인자를 적용하여 값을 산출하였다. 그러나 이들 물질들의 상응인자들이 최대 100배까지 차이가 나기 때문에 이러한 합산은 정규화 기준값의 신뢰성을 저하시킨다고 판단된다. 이 연구에서 인용한 김윤식 등의 연구에서는 오염물질별 발생량을 산정한 것이 아니라 배출원 별로 배출량을 산정하고 그 구성물질로부터 각 배출원 별 Photochemical Oxidant Creation Potential (POCP)를 산정하여 결과를 도출하였다. 따라서 VOC 또는 NMHC과 같이 취합된 자료보다는 신뢰성이 있을 것으로 판단된다.

산성화에 기여하는 물질들에 대한 통계는 비교적 많으며 그 추계 방법론도 대체로 비슷하기 때문에 선행연구간에 큰 차이는 없었다. Wenzel 등의 연구는 Denmark를, Goedkoop는 Europe을, 나머지는 우리 나라를 지역적 경계로 산정한 것이다. Denmark의 높은 정규화 기준값은 Denmark의 산성화 영향의 41%를 차지하는 가축 분뇨에 의한 암모니아의 영향이 큰 것으로 판단되며 정연하 등의 연구와의 차이 역시 암모니아 배출량에 대한 고려에서 기인한 것이다.

부영양화의 경우 정규화 기준값을 비교하기 위해 선행연구들의 특성화 단위를 이번 연구에서 사용한 g PO_4^{-3}eq/person-yr로 통일 시켰으며 지역적 경계가 결과 값에 큰 영향을 미치므로 국내연구만을 비교하였다. 정연하 등의 연구와 이번 연구의 차이는 기준년도의 차이와 수질오염물질 산출방법의 차이로 인한 것으로 파악되었다. 정연하 등의 연구는 발생폐수가 모두 방류수 수질의 1/2로 처리된다고 가정하였다. 그러나 이번 연구에서는 부영양화의 주요오염원인 산업폐수, 분뇨, 오수, 축산폐수 별로 처리 흐름을 파악하고 방류되는 폐수를 청정지역, 가지역, 나

지역 등으로 나누어 각각의 방류수 수질기준에 준하여 처리된다고 가정하였다. 그 밖에 규제미만 등의 배출업소는 오염부하 원단위를 기준으로 산정하였다.

V. 결 론

한국형 환경영향평가지수를 위한 정규화 기준값의 산출결과는 다음과 같다.

첫째, 선행연구와 국내 환경여건을 감안하여 무생물 자원고갈, 지구온난화, 오존층 고갈, 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물 생성, 생태 및 인간 독성과 폐기물의 영향범주를 선정하였고 지역적, 국지적 환경영향과 범지구적 환경영향의 상대적인 크기의 차이로 인한 불균형 및 자료확보의 어려움을 해결할 수 있다고 판단되는 EDIP 방법을 한국형 환경영향평가지수 개발의 정규화 기준값 산출방법으로 결정하였다.

둘째, 가용한 국내외 자료를 종합하여 1995년을 기준년도로 각 영향범주별 정규화 기준값을 산출하여 Table 8에 제시하였으며 사용된 가정, 자료원 및 산출 방법을 투명하게 제시하였다.

셋째, 산출된 정규화 기준값을 선행연구들과 비교한 결과 기준 연도와 지리적 범위의 차이가 결과 값에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기준 년도와 지리적 범위가 일치할 경우 정규화 기준값간의 차이는 ±50%이하였으며 이러한 차이의 원인은 사용된 자료원과 산출방법론에 기인하는 것으로 파악되었다.

사 사

이 연구를 수행하는데 있어서 재정적 지원은 산업자원부의 산업기반기술 조성사업에 의해 제공되었다.

참 고 문 헌

1) Goedkoop, M., The Eco-indicator 95-Final Report, The Netherlands, 19951).
2) Michael Hauschile, Henrik Wenzel, 'Environmental Assessment of Products', 1998.
3) 정연하, 김승도 문정호, 이건모, '전과정평가용 국내 정규화값 결정', JKSEE, 19(2), pp. 269~279, 1997.
4) Consoli, et. al., F., et. al., Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice, SETAC, 1993.
5) Lindfors, L. et. al., Nordic Gidelines on Life-Cycle Assessment, 1995.
6) ISO, 'ISO/DIS 14042: Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment', pp. 5~6, 1998.
7) Guinée, J.B., Development of A Methodology for the environmental Life-Cycle Assessment of Products-With a Case Study on Margarines (Doctoral Dissertation) Leiden University, The Netherlands, 1995.
8) Goedkoop, M., The Eco-indicator 95-Final Report, The Netherlands, 1995.
9) Duane A. Tolle, Regional Scaling and Normalization in LCIA, Int.J. LCA 2(4), 197~208, 1997.
10) Leo Breedveld, Marije Lafleur, Hans Blonk, A Framework for Actualising Normalisation Data in LCA: Experience in the Netherlands, Int.J. LCA 4(4), pp. 213~220, 1999.
11) 서상원 et. al., "정규화 기준값 산정에 관한 연구", 한국 전과정평가 학회, pp. 56-65, 1999.
12) 국제통계연감, 통계청, 1997.
13) USGS, Mineral Commodity Summaries, 1996.
14) Kyoto Protocol to the United Nations Framework convention on Climate Change, UNFCCC, 1997.
15) Anthropogenic Emissions of All Greenhouse Gases, Excluding Land-use Change and Forestry, 1990-1994 and Projections for 2000, Global Change(Electronic Edition; http://www.globalchange.org/dataall/96jul4d.htm), 1996, cit., UNFCCC, Conference of the Parties, Review of the Implementation of the Convention and of Decisions of the First Session of the Conference of the Parties; Commitments In Article 4, Second Compilation and Synthesis of First National Communications from Annex I Parties. Executive Summary by the Secretariat. Geneva, Switzerland, 1996.

16) National CO_2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture and Gas Flaring : 1751-1996, 1999.
17) Gregg Marland, et al., Global CO_2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-1996, 1999.
18) UNEP, Production and Consumption of Ozone Depleting Substances 1986 1995, 1997.
19) 김윤식, et al., 국내 휘발성 유기화합물질 배출량('96), 한양대학교, 1997.
20) 환경부, 대기오염물질 배출량('96), 국립환경연구원, 1997.
21) 환경부, 환경백서, 1998.
22) R.Battye, C.Overcash, S.Fudge, Development and selection of ammonia emission factors, 1997.
23) Harald Menzi, Rainer Frick and Robert Kaufman, Ammonia emissions in Switzerland: Emssion inventory and technical assessment of the abatement potential, FAL, 1997.
24) 환경통계연감('95), 환경부, 1996.
25) 환경부, 하수도 시설기준, 1998.
26) R. Heijungs ed., Environmental Life Cycle Assessment of Products, Backgrounds, CML, 1992.
27) 국립환경연구원, 쓰레기매립지 침출수 처리대책 연구, 1997.
28) 환경부, 공장폐수의 발생과 처리, 1997.
29) 환경부, 생활폐기물 소각시설 운영현황, 1998.
30) 농업과학기술원, 독성물질의 어독성 자료(내부자료).
31) ECDIN : http://ecdin.etomep.net/ecdin_home/.
32) TOXNET : http://toxnet.nlm.nih.gov/servlets/simple-search.
33) D. Marazza, Ph. Bornens, Y Le Gal, Effect of Ammonia on Survival and Adenylate Energy Charge in the Shrimp Palaemonetes varians, Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety, 34, 103-108, 1995.
34) V.Uma Devi, Changes in Oxygen Consumption and Biochemical Composition of the Marine Fouling Dreissinid Bivalve Mytilopsis sallei (Recluz) Exposed to Mercury, Journal of Ecotoxicology and Environmental Satefy, 33, 168-174, 1996.
35) Vershueren, K., Handbook of Environmental Data of Organic Chemicals, 2nd ed., 1983.
36) US EPA, Waste Minimization Prioritization Tool Spread Sheet Document for the RCRA Waste Minimization PBT Chemical List Docket, 1998.
37) CDS Tomlin, ed., The Pesticide Manual, Eleventh Edition, British Crop Production Council, 1997.
38) 농약공업협회, 농약연보, 1998.
39) 환경부, 생활폐기물 소각시설 운영현황('97), 1998.