

석유화학에서 환경과 안전/보건을 통합한 청정도 평가방법 개발

권은선, 김 익, 허 탁

(건국대학교 화학생물공학부)

Development of Green Quality Assessment method integrated to Environment and Safety & Health in the petrochemical process

Eunsun Kwon · Ik Kim · Tak Hur

School of chemical and biological engineering, Konkuk University

ABSTRACT

While Life Cycle Assessment(LCA) is evaluating the external environment of the product system based on the functional unit of the system, Risk Assessment(RA) assesses the internal working environment based on the product site. In order to develop a Green Quality Assessment method, both the external and internal aspects of environment are considered in the present study. As the first step, RA is modified to reflect the internal environment based on the product by introducing the EDIP(Environmental Design of Industrial Products)method. Then, the modified BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability)model is applied to generate the integrated GQI(Green Quality Indicator). This GQI generated is expected to be used as one of the useful indicators which include the aspects of both natural environment and working environment.

Key words : Life Cycle Assessment, Risk Assessment, EDIP, BEES, Green Quality Indicator

요 약 문

본 연구에서는 작업장 외부의 환경문제를 평가하는 방법인 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)와 작업장 내부의 안전/보건문제를 평가하는 방법인 위해성평가(Risk Assessment, RA)들을 제품단위로 통합하여 새로운 청정도 평가방법을 개발하고자 하였다. LCA는 제품단위의 평가방법이고, RA는 시스템 단위로 평가하는 방법이므로 이들을 제품기준으로 통합하기 위하여 그 첫 단계로 EDIP(Environmental Design of Industrial Products)방법을 도입하였다. 그리고, 환경성과 안전/보건성을 통합하기 위해 변형된 BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability)모델을 적용하여 청정지수를 산출하였다. 산출된 청정지수는 기존의 전과정평가(LCA)에서는 고려하기 어려운 작업장의 안전/보건성을 포함하여 통합적으로 평가할 수 있는 유용한 척도로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : 전과정평가, 위해성평가, EDIP, BEES, 청정지수

I. 서 론

청정도를 평가한다는 것은 작업장 외부의 환경성

을 평가하는 것에 더하여 작업장 내부의 안전/보건성을 총체적으로 평가하는 것을 일컫는다. 본 연구에서 이러한 청정도를 평가하기 위한 평가방법을 개발하는 것은 기존의 작업장 외부의 환경성을 평가하는

대표적 방법인 전과정평가(LCA)와 작업장 내부의 안전/보건성을 평가하는 위해성평가(RA)가 많은 부분에서 데이터를 공유함에도 불구하고 별도로 수행되고 있다는 점에 착안하였다.

현실적으로 환경성과 안전/보건성을 통합하여 평가하는 것이 어려우며 수행되고 있지 않지만 불가능한 것은 아니다. 우선 환경성을 평가하기 위한 전과정평가와 안전/보건성을 평가하는 위해성평가간의 상관관계를 알아볼 필요가 있다.

첫 번째로, 평가하는 대상이 다르다. 즉, 환경성을 평가하는 전과정평가는 제품단위로 평가하나 안전/보건성을 평가하는 위해성평가는 시스템 또는 공정단위로 평가하고 있다. 그러므로, 통합평가하기 위해서는 평가하는 대상을 통일시키는 것이 우선적이다. 이에 본 연구에서는 안전/보건성을 평가하기 위한 데이터를 제품단위로 동등하게 평가하기 위해 EDIP(Environmental Design of Industrial Products)의 방법론을 도입하였다.

두 번째로, 시스템 경계가 다르다. 즉, 평가하는 시스템 경계가 다르기 때문에 환경지수와 안전/보건지수를 산출하고 나서 이들을 단순하게 통합하는 것은 별 의미가 없다. 그러므로, 본 연구에서는 환경지수와 안전/보건지수를 동등한 상태에서 통합하기 위하여 각각의 산출된 지수를 정규화하였다. 그리고 환경성과 안전/보건성에 대하여 기업의 의사결정을 지원하는 도구로 활용한다는 의도하에 중요도 지수를 반영하였다. 이 때, 중요도 지수 적용은 각 기업정책에 따르는 주관적인 사항으로 보았다.

II. 내 용

본 연구에서 개발한 청정도 평가방법은 Fig. 1.과 같이 연구의 목적 및 범위를 설정하는 단계와 환경지수 산출 및 안전/보건지수 산출단계, 그리고 청정지수를 도출하는 단계로 구성되어 있다.

1. 목적 및 범위정의

연구의 목적 및 범위정의는 ISO14041에 따르는 것을 원칙으로 한다. 단, 안전/보건에 대한 데이터

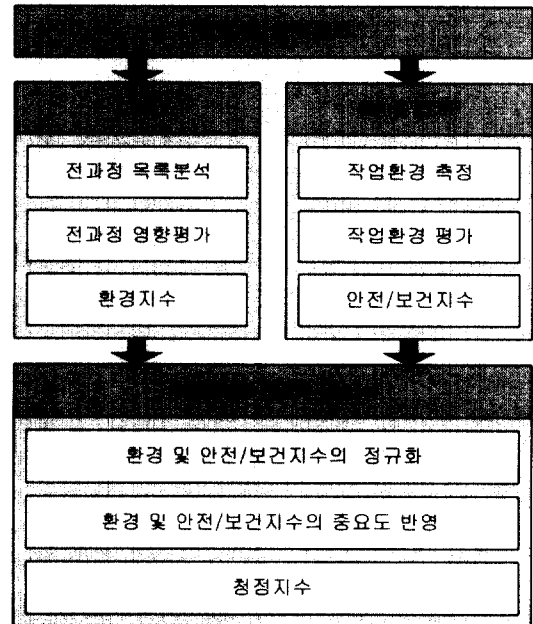


Fig. 1. Framework of Green Quality Assessment method.

관리의 차이로 인하여 안전/보건성 평가에 대해서는 다음과 같은 요건을 설정하였다.

- 시스템경계는 작업장의 내부(gate to gate)로 한정한다.
- 제품단위로 통합하기 위하여 안전/보건 평가의 기준이 되는 기준흐름(reference flow)을 기능단위당 제품생산시간으로 정의한다.
- 고려하는 영향범주는 화학물질 중독, 소음성 난청, 작업사고로 한정한다.

2. 환경지수 산출

환경지수는 제품의 환경성의 정도를 나타내는 척도로서, 원료 채취부터 최종 폐기에 이르는 전과정에 대한 제품의 환경성을 평가하는 전과정평가 방법을 사용하여 산출한다. 환경지수는 전과정 목록분석과 전과정 영향평가 단계를 통하여 단일지수로 표현된다.

1) 전과정 목록분석

전과정 목록분석은 ISO14041의 절차에 따라 수행되며, 본 연구에서는 연구 범위를 석유화학으로 한정하기 때문에 자료수집시에 TRI(Toxic Release

Inventory)를 포함하는 것을 원칙으로 하였다.

2) 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 대상제품의 잠재적 환경영향을 파악하기 위한 단계로 ISO14042에 준하여 수행된다. 즉, 전과정 영향평가 단계인 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여 단계를 통하여 최종적으로 환경지수가 산출된다.

3. 안전/보건지수 산출

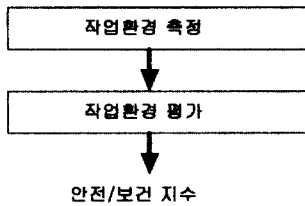


Fig. 2. Calculating procedure of safety & health indicator.

본 연구에서는 환경지수와 평가대상을 동등하게 하기 위해서, 안전/보건지수를 산출할 때 공장 또는 공정단위로 관리해 온 작업환경(Working Environment)을 제품단위로 나타내었다. 이를 위하여 기존의 작업환경에서 안전을 평가하는 방법인 위해성평가의 개념을 기초로 하였으며, 이들을 제품단위로 통합하기 위해서는 EDIP방법론을 적용시켰다. 안전/보건지수를 산출하는 절차는 Fig. 2.와 같이 작업환경 측정과 작업환경평가의 두 단계로 구성된다.

1) 작업환경 측정

(1) 데이터 수집

화학물질과 소음에 관한 측정데이터와 작업사고에 관한 연간 데이터를 수집한다. 화학물질과 소음에 대해서는 산업안전보건법 및 작업환경 측정과 정도관리규정(노동부 고시 제2001-39호)에 의하여 법적허용기준을 초과하는 시간을 조사하며, 작업사고에 대해서는 산업안전보건법령이 정하는 4일 이상의 요양을 요하는 근로자를 기준으로 재해등급별 인원수를 조사한다. 소음과 화학물질, 작업사고에 대한 법적허용기준은 Table 1.과 같다.

Table 1. Legal acceptable criteria for chemical, noise and accident

파라미터	법적허용기준
화학물질	물질별 TWA기준
소음	90dB이상 소음
작업사고	4일이상의 요양을 요하는 사고

* TWA : 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average)으로서, 1일 8시간 작업을 기준으로 유해요인의 측정치에 발생시간을 곱하여 8시간으로 나눈 값을 말한다.

(2) 데이터 계산

수집한 데이터에 대하여 기능단위별로 계산하는 과정은 두 단계로 수행된다.

- 1단계 : 화학물질과 소음의 경우에 법적허용노출기준을 초과하는 시간을 계산하고, 작업사고의 경우 근로손실시간을 계산한다. 여기서 작업사고의 재해등급별 근로손실시간은 산업안전관리공단 기준을 활용한다. (예 : 사망자: 7500일, 1-3등급: 7500일, 4등급: 5500일 등)
- 2단계 : 기능단위당으로 계산하기 위하여 아래와 같은 식(1), (2)를 적용한다.

화학물질 및 소음

$$T_e = \left(\frac{T_{th}}{T_m} \right) \times T_{pf} \tag{1}$$

T_e : 노출시간, T_{th} : 법적허용 초과 노출시간

T_m : 측정시간, T_{pf} : 기능단위당 제품생산시간

작업사고

$$T_e = \left(\frac{T_i}{T_w} \right) \times T_{pf} \tag{2}$$

T_i : 근로손실시간, T_w : 제품별 연간 작업시간 측정시간

T_e : 노출시간, T_{pf} : 기능단위당 제품생산시간

2) 작업환경 평가

작업환경 측정의 결과를 토대로 분류화, 정규화, 가중치부여의 절차를 수행하여 안전/보건지수를 산출한다.

(1) 분류화

고려하는 영향범주는 화학물질 중독과 소음성 난

Table 2. Classification of toxic chemical

일련 번호	CAS No.	유해물질명	유해물질명	화학식	노출기준 (TWA)	
					ppm	mg/m ³
1	000050-32-8	Benzo[a]pyrene	벤조피렌	C ₂₀ H ₁₂	-	-
2	000068-12-2	Dimethyl formamide	디메틸포름아미드	HCON(CH ₃) ₂	10	30
3	000075-15-0	Carbon disulfide	이황화탄소	CS ₂	10	30
4	000075-21-8	Ethylene oxide(Oxirane)	산화에틸렌	(CH ₂) ₂ O	1	2
5	000079-06-1	Acrylamide	아크릴아미드	CH ₂ CHCONH ₂	-	0.03
6	000081-81-2	Warfarin	와파린	C ₁₉ H ₁₆ O ₄	-	0.1
7	000109-86-4	2-Methoxy ethanol	2-메톡시에탄올	CH ₃ OCH ₂ CH ₂ OH	5	16
8	000109-89-7	Diethylamine	디에틸아민	(C ₂ H ₅) ₂ NH	10	30
9	000110-49-6	2-Methoxyethylacetate	2-메톡시에틸아세테이트	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ OCH ₃	5	-
10	000110-80-5	2-Ethoxyethanol	2-에톡시에탄올	C ₂ H ₅ OCH ₂ CH ₂ OH	5	19
11	000111-15-9	2-Ethoxyethylacetate	2-에톡시에틸아세테이트	C ₂ H ₅ OCH ₂ CH ₂ COCH ₃	5	27
12	000151-56-4	Ethylenimine	에틸렌이민	(CH ₂) ₂ NH	0.5	1
13	000680-31-9	Hexamethyl phosphoroamide	헥사메틸 포스포라미드	[(CH ₃) ₂ N] ₃ PO	-	-
14	007758-97-6	Lead chromate	크롬산 연	PbCrO ₄	-	0.05
15	013463-39-3	Nickel carbonyl	니켈 카르보닐	Ni(CO) ₄	0.001	0.007

청, 작업사고 등이다. 이 중에서 화학물질 중독의 경우에 석유화학산업에서 발생할 수 있는 직업병을 발암성과 독성으로 정의하고, 이들을 화학물질 중독의 세부 영향범주로 정의한다. [Table2. / Table 3.]

(2) 정규화

작업환경내의 영향범주별 정규화를 수행하기 위해

여 다음과 같이 식(3)을 적용하였다. 정규화 결과의 단위는 mPE(mili-Person Equivalency)로 영향범주에 피해를 입을 잠재성이 있는 사람의 수로 표현된다. 여기서, D(지속기간)가 분모에 포함된 이유는 석유화학과 같은 제조업의 경우에 작업사고 또는 법적허용기준을 초과하는 시간이 자주 발생하지 않아 1년을 기준으로 할 경우에 정규화가 무의미할 경우

Table 3. Classification of carcinogenic chemical

일련 번호	유해물질명	유해물질명	화학식	노출기준 (TWA)	
				ppm	mg/m ³
1	Asbestos, Amosite	석면, 아모사이트	5.5FeO-1.5MgO-8SiO ₂ -H ₂ O	-	0.5개/cm ³
2	Asbestos, Crocidolite	석면, 크로시타일	3MgO-2SiO ₂ -H ₂ O	-	2
3	Asbestos, Crocidolite	석면, 크로시도라이트	Na ₂ O-Fe ₂ O ₃ -3FeO-8SiO ₂ -H ₂ O	-	0.2
4	Asbestos, Other forms	석면, 기타형태	-	-	2
5	Chloroethylene(or Vinyl chloride)	클로로에틸렌	CH ₂ CHCl	1	-
6	bis(Chloromethyl) ether	비스(클로로메틸)에테르	O(CH ₂ CL) ₂	0.001	0.005
7	Chromite ore processing(Chromate), as Cr	크롬광 가공물(크롬산)	Cr	-	0.05
8	Chromium(VI) compounds as Cr Certain Water insoluble	크롬(6가) 불용성화합물	Cr	-	0.05
9	Coal tar pitch volatiles, as Benzene solubles	휘발성 톨타르 피치	C ₁₄ H ₁₀ C ₁₆ H ₁₀ C ₁₂ H ₉ N/C ₂ H ₁₂	-	0.2
10	Nickel sulfide roasting fume & dust, as Ni	황화니켈 흠 및 분진	NiS	-	1
11	Particulate polycyclic aromatic hydrocarbons, as benzene solubles	복소다환식 방향성 탄화수소	-	-	0.2
12	Zinc chromates, as Cr	크롬화아연	ZnCrO ₄ /ZnCr ₂ O ₄ /ZnCr ₂ O ₇	-	0.01
13	Acrylamide-Skin	아크릴아미드-피부	CH ₂ CHCONH ₂	-	0.03
14	Acrylonitrile-Skin(or Vinyl cyanide)	아크릴로니트릴(시안화비닐)	CH ₂ CHCN	2	4.5
15	Benzene	벤젠	C ₆ H ₆	10	30
16	Beryllium & compounds	베릴륨 및 그 화합물	Be	-	0.002
17	1,3-Butadiene	1,3-부타디엔	CH ₂ CHCHCH ₂	10	22

가 발생할 가능성이 있어 지속기간에 대하여 탄력성을 주었다.

$$Normalization\ Factor = \frac{T_i}{D \times NR} \quad (3)$$

T_i : 영향범주별 계산시간, D : 지속기간

NR : 정규화기준 (Normalization reference)

화학물질 중독과 소음성 난청, 작업사고에 대한 정규화기준은 아직까지 개발된 것이 없으므로, 본 연구에서는 이들에 대한 정규화 기준을 개발하였다. 정규화 기준을 개발하기 위해서 노동부의 1999년도 근로자 건강진단 결과자료와 작업시간에 대한 자료를 활용하였으며, 정규화 기준을 산출하는 관계식은 식 (4), (5)와 같다.

$$화학물질중독\ 및\ 소음성난청\ NR = \frac{H_w \times PE_p}{PE_{yr}} \quad (4)$$

H_w : 작업시간 (hr/PE), PE_p : 유소견자수 (PE)

PE_{yr} : 연간 제조업 종사자수 (PE)

$$작업사고\ NR = \frac{HR_{wt}}{PE_w} \quad (5)$$

HR_{wt} : 연간 총 근로손실시간 (hr)

PE_w : 연간 총 작업자수 (PE)

위의 관계식을 이용하여 계산한 영향범주별 정규화기준은 Table 4.와 같다.

Table 4. Normalization reference

영향범주	정규화기준 값
화학물질 중독	6.018E-02
소음성 난청	1.127E+00
작업사고	4.236E+01

(3) 가중치부여

작업환경의 세 가지 영향범주별 가중치를 정규화 지수에 곱하여 합산함으로써 안전/보건지수가 산출된다.

4. 청정지수 산출

환경지수와 안전/보건지수의 경우에 평가 방법론과 평가대상이 다르므로 각각의 도출된 지수값만으로 환경성과 안전/보건성을 통합평가하는 것은 무리가 따른다. 따라서 이들을 동일한 기준하에 정규화를 해주어야 비로소 동등한 비교가 가능하며 통합하는 것도 의미를 갖는다. 본 연구에서는 그런 목적으로 정규화를 수행하기 위하여 기존에 개발된 BEES 모델을 변형하여 적용하였으며, 그 절차는 다음과 같다.[Fig. 3.]

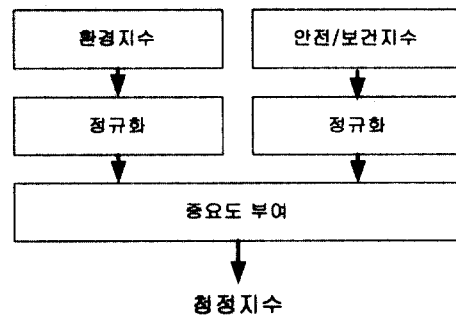


Fig. 3. Calculating procedure of Green Quality Indicator.

식(6)은 환경지수와 안전/보건지수를 정규화하기 위한 관계식이다.

$$정규화지수 = \frac{P_i}{Max(P_1, P_2, \dots)} \times 100 \quad (6)$$

P_i : 환경지수, 안전/보건지수

$Max(P_1, P_2)$: 최대 지수

정규화지수 산출할 때의 최대지수는 이론적인 최악의 시나리오를 가정하는 경우와 기준 년도 (reference year)의 지수로 정의하는 경우가 있다. 이렇게 해서 계산된 정규화 지수는 대부분이 0~100 사이의 값을 가지며, 특별히 기준 년도의 환경과 안전/보건지수가 현재보다 작을 경우에는 100이상의 값을 가질 수도 있다.

위에서 도출된 두 가지 측면의 정규화 지수는 측면별 중요도 지수를 곱하여 더함으로써 청정지수를 산출할 수 있다. 이 경우에 측면별 중요도는 합이 1

이 되어야 하며, 기업의 정책을 반영하여 개발할 수 있다.

Ⅲ. 시나리오를 적용한 사례연구

기업들이 데이터를 본 연구에서 개발한 안전/보건 지수 산출을 위한 형태로 관리하고 있지 않기 때문에 가상의 시나리오를 통하여 사례연구를 수행하였다.

1. 대상제품 선정

청정지수 산출을 위하여 근로자수가 150명이고 연간 생산량이 5만톤 규모인 국내 A사에서 생산하는 EPS(Expanded Polystyrene)을 대상제품으로 선정하였다.

2. 목적 및 범위 정의

1) 목적정의

연구의 목적은 EPS에 대한 환경지수 및 안전/보건지수의 산출을 통하여 기업의 의사결정을 지원하는 기초자료로 활용될 청정지수를 산출하는 것이다. 연구결과는 기업의 환경정책 담당자에게 제공되며, 기업의 정책결정 및 환경성적표지제도 인증, Responsible care(RC)를 위한 기초자료로 활용될 것이다.

2) 범위정의

(1) 기능 및 기능단위, 기준흐름 설정

제품의 기능 및 기능단위, 기준흐름은 Table 5.와 같다.

기능단위의 경우 환경지수와 안전/보건지수 산출

Table 5. Function, functional unit and reference flow

	환경지수	안전/보건지수
기능	제품을 제조하는 원료	제품을 제조하는 원료
기능단위	EPS 1kg 생산	EPS 1kg 생산
기준흐름	기능단위와 동등	0.1752 hr

에 동등하게 적용된다. 하지만, 환경지수와 안전/보건지수 산출을 위하여 수집되는 데이터의 단위가 다르기 때문에 기준흐름의 경우 환경지수는 기능단위와 동등하지만, 안전/보건지수 산출에는 제품을 기능단위당으로 생산하는데 소요되는 시간으로 기준흐름을 설정한다.

(2) 시스템 경계 설정

환경지수를 산출할 때는 원료를 채취하는 단계에서부터 출하되는 단계까지인 cradle to gate로 정의하였고, 안전/보건지수를 산출할 때는 작업환경 내부인 gate to gate로 한정한다.

(3) 초기 데이터 품질요건

청정지수 산출을 위한 데이터의 경우에 작업장 내부의 데이터와 작업장 외부-상위흐름 및 하위흐름 데이터베이스-의 데이터를 구분하여 설정한다. 작업장 내부 데이터의 경우에 2000년도 연보와 작업환경 측정자료를 원칙으로 하며, 작업장 외부 데이터는 최근 5년 이내의 데이터 사용을 원칙으로 한다.

(4) 할당

EPS와 스크랩간에 생산량 및 경제적 가치를 고려한 할당인자를 사용한다.

(5) 영향범주 및 영향평가 방법론

환경지수 산출의 경우에 고려하는 영향범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광산화물형성, 인간독성, 생태독성 등이고 산업자원부 영향평가 방법론을 적용한다. 또한, 안전/보건지수 산출시에 고려하는 영향범주는 화학물질 중독, 소음성 난청, 작업사고 등이고 영향평가 방법론은 변형된 EDIP 방법론을 적용하였다.

3. 환경지수 산출

1) 전과정 목록분석

Fig. 4.와 같이 단위공정 및 공정흐름도를 작성하고, 단위공정별로 설문지를 활용하여 공정데이터를 수집한다. 수집한 데이터에 대해서는 물질수지 및 물수지, 파라미터 누락여부 등을 파악하고 데이터를 검

증한 후, 기능단위별로 환산하여 gate-to-gate 목록표를 작성한다. 기술계에서 투입되고 기술계로 산출되는 물질에 대하여 상위흐름 및 하위흐름 데이터베이스를 연결하여 cradle to gate 데이터베이스를 작성한다.

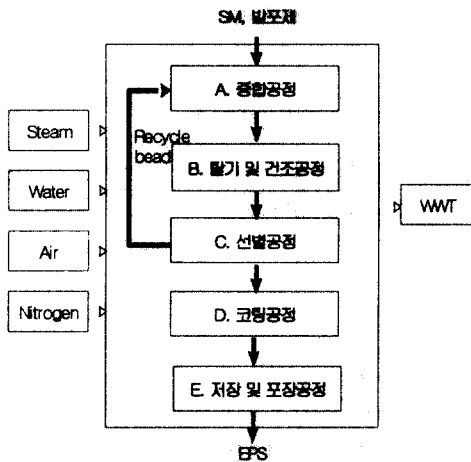


Fig. 4. Process flow diagram of EPS.

2) 전과정 영향평가

전과정 목록을 토대로 분류화, 특성화, 정규화, 가중치부여 네 단계를 수행하여 6.832E-01이라는 환경지수를 산출하였다.

4. 안전/보건지수 산출

1) 작업환경 측정

작업환경 측정을 위하여 화학물질별로 법적허용기준(TWA기준)을 초과하는 시간을 측정하고, 이를 통합한 결과는 16.4분으로 계산되었다. 이를 기능단위별로 환산하기 위해 식(7)을 이용하여 5.986E-03[hr]을 산출하였다.

$$\frac{\text{법적허용농도 초과시간}}{\text{측정시간}} \times \text{기준흐름} = \frac{16.4 \text{ min}}{8 \text{ hr} \times 60 (\text{min/hr})} \times 0.1752 \text{ hr} = 5.986 \text{ E} - 03 \text{ hr} \quad (7)$$

위와 동일한 방법으로 소음에 대해서도 기능단위당 법적허용기준 초과시간을 계산하면 3.723E-03[hr]라는 값이 산출된다. 또한, 작업사고에 의한 기능단위당 근로손실시간을 계산하기 위해, 작업사고

현황을 조사한 결과로 2000년 한해동안 1인의 근로자가 작업사고로 인해 4등급 판정을 받았다고 가정하여, 이를 식(8)에 적용하면 1.597E-02[hr]라는 결과가 도출된다.

$$\frac{\text{근로손실시간}}{\text{연간작업시간}} \times \text{기준흐름} = \frac{5500 \text{ day} \times 8 \text{ hr/day}}{150 \text{ PE} \times 217.3 \text{ hr/month} \cdot \text{PE} \times 12 \text{ month}} \times 0.1752 \text{ hr} = 1.579 \text{ E} - 02 \text{ hr} \quad (8)$$

2) 작업환경 평가

작업환경 측정결과를 영향범주별로 배분하는 분류화를 수행한 후, 각 영향범주별로 정규화기준으로 나눔으로써 영향범주에 대한 영향을 받을 잠재성이 있는 사람의 수(mPE)를 계산하고, 영향범주별 기준치를 곱하여 작업환경에 대한 안전/보건지수를 산출한 결과는 4.294E-02이다.

5. 청정지수 산출

산출된 환경지수와 안전/보건지수를 통합하기 위하여 정규화를 수행하고 측면별 중요도를 반영하여 기업의 의사결정을 지원하는 도구로 활용될 청정지수(GQI)를 산출한다. 이 때, 정규화 수행을 위한 정규화기준은 기준년도(1990년도)의 환경지수와 안전/보건지수인 7.500E-01과 8.775E-01을 사용하고, 측면별 중요도는 기업의 정책을 반영하여 계산할 수 있으며 관계식은 (9)와 같다.

$$GQI = \left[\frac{I_{env}}{I_{ref}} \times v \right] + \left[\frac{I_{sh}}{I_{ref}} \times v \right] = \left[\frac{6.832 \text{ E} - 01}{7.500 \text{ E} - 01} \times v \right] + \left[\frac{4.294 \text{ E} - 02}{8.775 \text{ E} - 01} \times v \right] \quad (9)$$

I_{env}: 환경지수, I_{sh}: 안전/보건지수

I_{ref}: 기준년도의 환경지수 및 안전/보건지수

v: 중요도

Fig. 5.는 환경성과 안전/보건성의 중요도를 90/10, 60/40, 50/50, 40/60, 10/90와 같이 임의로 가정하고 관계식 (9)를 적용하여, 그에 따른 청정지수변화를 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 통해서 환

경과 안전/보건간의 중요도 결정이 청정지수결과에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 이 그래프에서 청정지수는 낮을수록 그 기업의 청정도가 우수하다. 그러므로, 각 기업마다 중요도가 결정되면, 식(9)를 통하여 청정지수를 산출하고 의사결정을 위한 중요한 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

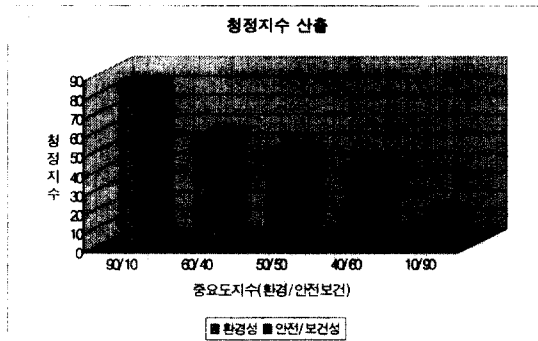


Fig. 5. Variation of Green Quality Indicator considered significance indicator.

IV. 결 론

본 연구는 별도로 고려하고 있는 환경성과 안전/보건성을 통합하여 총체적인 청정도를 평가하고자 하였다. 현재 국제적으로 이슈화되고 있는 통합제품정책(Integrated Product Policy, IPP)을 환경적 접근으로 보면 환경성과 안전/보건성은 제품을 생산하는 전과정에서 불가분의 관계이기 때문이다. 그러므로 이를 위해서는 시스템/공정단위로 관리되는 안전/보건성을 제품단위로 통합할 필요가 있다. 즉, 안전/보건지수를 산출하기 위하여 수집한 데이터를 시간단위로 계산하고, 안전/보건에 대한 세 가지 영향범주들(소음성난청, 화학물질중독, 작업사고)을 정규화 함으로써 영향범주에 대해 잠재적으로 피해를 입을 사람의 수(mPE)로 정량화하였다.

또한, 환경과 안전/보건은 지수 산출방법론과 적용되는 시스템경계가 다르기 때문에 동등한 기준에서 통합하기 위해서 환경지수 및 안전/보건지수의 정규화를 수행하였다. 산출된 각 지수들은 기업의 정책이 반영된 중요도를 적용하여 최종적으로 청정지수를 도출할 수 있다.

그러한 청정지수는 기업의 의사결정을 지원하는

유용한 도구로 활용될 수 있으며, IPP의 방향에도 부합될 수 있을 것이다. 그러나, 청정지수 산출을 위해서는 향후에 기업의 데이터관리를 위한 지침의 개발 및 환경지수 및 안전보건지수의 통합을 위한 측면별 최대값을 산출하는 방법이 개발되어야 할 필요가 있다.

사 사

본 논문은 청정생산기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) ISO 14040 : *Life cycle assessment - Principles and framework*, 1998
- 2) ISO 14041 : *Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis*, 1998
- 3) ISO 14042 : *Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*, 2000
- 4) Michael Hauschild and Henrik Wenzel, *Environmental Assessment of Products*, CHAPMAN & HALL, 1998
- 5) *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Assessment*, Center for Chemical Process Safety, 1989
- 6) *Building Environmental and Economics Sustainability Technical Manual and User Guide*, National Institute of Standards and Technology, 2000
- 7) 노동부 홈페이지 <http://www.molab.go.kr/>
- 8) 산업안전관리공단 홈페이지 <http://www.kosha.or.kr/korea/info/index.htm>
- 9) 사업장에서의 정도관리
산업안전보건연구원, 산업안전관리공단