

네트워크구조 의사결정기법을 이용한 LCA 환경영향평가

강 희 정

진국대학교 산업공학과

Environmental Impact Assessment in LCA Using Analytic Network Process

Hee Jung Kang

Department of Industrial Engineering, Konkuk University

요 약

환경영향평가는 전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA)의 인벤토리 분석과정에서 규명된 환경부하에 대하여 환경부하의 값으로 표현하고 상대적인 중요도를 측정하는 단계이다. 이러한 가중치를 측정함으로써 개별 제품 또는 기술에 대한 환경부하의 영향을 평가하는데 이용될 수 있다. 본 연구에서는 환경영향평가에 대한 분석에서 환경부하의 상대적인 중요도 혹은 가중치를 산출하기 위하여 일반적으로 이용되는 계층적 의사결정모형(Hierarchical decision model)의 한계인 요인들간의 독립성을 극복할 수 있는 즉, 의사결정 요인간 상호영향력을 가지는 네트워크 구조(Network decision model)에서도 사용될 수 있는 의사결정모형(Analytic Network Process: ANP)을 도입한다. ANP로 부터 얻어지는 각 의사결정 요인의 가중치는 환경부하의 수준을 결정하는데 용이하게 이용될 수 있다.

Abstract—Environmental impact assessment in the step of the Life Cycle Assessment (LCA) measures relative values of importance or weight of the environmental load characterized in the inventory analysis. The weight measurements are used to evaluate the environmental load or the effect of the industrial product or technology. In this paper the Analytic Network Process (ANP) is introduced to calculate a relative weighting of the environmental impact. The ANP is considered as one of the useful decision making framework and allows for more complex interrelationships, feedback, and inner/outer dependence among the decision level and factors. The weighting from the ANP may be applied to obtain the overall evaluation value of environmental load.

1. 서 론

「전과정평가」로 불리는 LCA(Life Cycle Assessment)는 산업제품, 기술 등의 환경부하에 대한 영향을 평가하는 유용한 체계이다. 환경부하는 CO₂, NO_x, SO_x 그리고 에너지부하 등이 포함되는데 실제로 LCA에 포함될 수 있는 환경 부하요소는 매우 많다¹⁾. 그러나 이를 모두 평가하는 데에는 한계가 있어 중요한 유한의 특정 요인만을 평가하는 것이 보통이다. LCA의 첫 단계는 인벤토리분석(Inventory analysis)이다. 이는 산업제품의 경

본 논문은 진국대학교 1997년 법인 교수해외과전 지원에 의해 수행된 것임

우 제조, 유통, 사용, 폐기단계에서 환경부하가 어떻게 투입, 산출되는가를 규명하는 단계이다. 그러나 제품의 전과정에 걸쳐 발생할 수 있는 환경부하를 모두 열거하는 일이란 그리 용이하지 않으며 또한 제품이 유발하는 환경부하를 측정할 수 있는 단위도 함께 결정되어야 하기 때문에 인벤토리분석 과정에 필요한 입력데이터의 개발에는 상당한 노력이 요구된다.

인벤토리분석 이후에는 영향평가(Impact assessment)가 이루어져야 한다. 영향평가는 인벤토리 분석과정에서 규명된 환경부하에 대하여 환경부하의 값으로 표현하고 상대적인 중요도를 측정함으로써 개별 제품에 대한 환경부하의 영향을 산출하는 과정이다. 「전과정평가」의

다음단계는 개선에 관한 평가(Improvement assessment)이다. 이 단계에서는 환경부하를 줄이기 위한 여러 기능에 대한 평가가 이루어진다. 기술최적화 및 부하저감의 잠재성 평가, 대체제품, 기술선택 등의 평가도 수행된다. 본 연구에서는 영향평가가 단계에서의 환경부하에 대한 가중치를 산정하기 위한 하나의 방법으로서 네트워크형 의사결정 모형을 적용하여 그 응용체계를 모색하고자 한다.

2. 환경부하의 가중치

환경부하는 동일한 요인에 의한 것이라도 공간적, 시간적으로 다른 영향을 나타내기 때문에 환경부하값을 결정하는 방법은 매우 다양하다. ISO 14000에 포함되어 있는 「전과정평가」영역내에서도 아직 표준화된 방법은 없으며 국제표준화기구(ISO)를 통하여 논의가 계속되고 있다. 이는 앞서 설명한바와 같이 영향평가가 시간적, 공간적으로 평가치가 가변적이며 불확실성을 내포하고 있기 때문이다. 또한 환경부하 항목이 갖는 영향력의 측면에서 환경부하의 가중치를 산출하는 방법이 매우 다양하며 주관적일 수도 있기 때문이다. 영향평가 방법은 크게 두가지로 구분된다. 하나는 직접적인 요소와 간접적인 요소를 계량적으로 측정하는 것으로서 가장 일반적인 것으로 볼 수 있다. 이는 실제로 발생하는 환경해악적인 요소를 원인과 결과로서 직접 찾아서 계산하는 것으로 많은 자료와 분석이 필요하다. 따라서 그렇게 폭넓은 실용성을 갖는 것으로는 볼 수 없다. 두 번째는 인간의 지능, 경험, 정보, 본능 그리고 정보처리능력을 활용하는 기법이다. 이는 전자에 비하여 상대적으로 시간과 노력이 훨씬 적게 소모된다. 그러나 인간의 두뇌판단에 의존함으로써 분석자의 경험이나 지식체계에 따라서는 매우 상대적인 결과를 얻을 수 있는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 평가자가 객관적 판단을 할 수 있도록 근거자료를 제공하여야 한다.

환경부하의 값은 반드시 절대값의 형태를 가질 필요는 없다. 이는 제품이 절대적인 환경부하값을 가지지 않는 데도 그 이유가 있지만 LCA에서는 상대적으로 환경친화적인 제품을 선정하므로 상대적인 값만으로도 충분하기 때문이다. 물론 절대적인 환경부하 값을 얻기 위해서는 전자의 방법을 사용하면 가능하지만 이는 많은 노력과 시간이 소모되므로 현실적이라 할 수는 없다⁷⁾. 이러한 측면에서 본 연구에서는 인간지능을 사용하여 보다 정확한 부하중요도(상대적 가중치)를 얻기 위하여 계층적의사결정(Analytic Hierarchy Process: AHP)과 AHP가 계층적 구조에만 적용되는 제약요인을 보완할 수 있

는 대안으로서 환경부하 서로간의 영향이 고려되어진 부하중요도를 결정할 수 있는 네트워크 구조의 의사결정 기법(Analytic Network Process, ANP)의 적용 가능성과 그 차이점을 비교, 분석하고자 한다.

3. 계층적 의사결정모형

의사결정자들이 현실에서 다루는 문제들은 한 차원에서 결정되기 보다는 다차원의 문제가 서로 연결되어 있는 경우가 많다. 이와 같이 의사결정 문제가 계층적인 성격을 갖는 경우에, 이를 해결하는 수법으로서 AHP를 많이 사용하게 된다. 실제로 대부분의 의사결정 문제들은 「문제」, 「대체안」, 「평가기준」 등의 차원으로 구성되어 있으며, 이것은 계층화 구조로 환원될 수 있다. 여기서 「문제」는 의사결정의 대상을 의미하며, 「대체안」이란 최종적인 선택의 대상이 되며, 「평가기준」이란 대체안을 비교하기 위한 여러 가지 선정 기준이라 할 수 있다.

3-1. 상대비교에서의 일관성문제

계층적의사결정의 절차⁴⁾⁽¹²⁾에서 알 수 있는 바와같이 AHP에서 가중치의 산출도구로서 이용되는 쌍대비교행렬은 전체를 동시에 비교하는 것이 아니라 개별적인 두 쌍을 비교하는 방식으로 만들어졌기 때문에 전체적인 일관성이 만족되지 않을 수도 있다. 실제로 A요인이 B요인보다 중요하고 B요인이 C요인보다 중요하다면 A보다 C가 중요한 것이 일관적임에도 불구하고 쌍대비교의 경우에는 이를 만족시키지 못하는 경우가 있다. 의사결정자가 도출한 쌍대비교행렬에서의 평가항목의 가중치를 각각 w_1, w_2 라고 하면, 항목 i와 j의 쌍대비교치 a_{ij} 는 $a_{ij}=w_i/w_j$ 가 되며, 이를 차례대로 구하면 그림 1과 같은 쌍대비교의 이상치(Ideal value)가 구해진다. 위의 쌍대비교치는 의사결정행렬을 토대로 구해진 가중치이기 때문에 주관적 판단에 있어서 편차가 없게 된다. 하지만 실제 경우에는 이와 같이 이상적인 쌍대비교치를 생성하기란 매우 어렵다. 만일 위의 이상적인 쌍대비교치를

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_1 & & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_2 & w_2 & & w_2 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n & w_n & & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix}$$

그림 1. 이상적인 쌍대비교치.

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_1 & & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_2 & w_2 & & w_2 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

그림 2. 최대고유치 측면에서의 이상적인 쌍대비교행렬.

언었다고 가정하면 다음의 그림 2가 성립한다¹⁴⁾.

그림 2를 살펴보면, 우측의 열벡터는 의사결정행렬의 고유벡터이고 n은 A의 최대고유치가 된다. 따라서 설문 을 통하여 얻어진 쌍대비교행렬의 고유치를 구하고 고 유벡터를 구하는 것은 쌍대비교행렬의 가중치를 구하는 것과 동일하다. 또한 고유치의 일반적 성질에서 $A_{11}v = \lambda_{\max}w$ 가 성립할 때, $\lambda_{\max} \geq n$ 이 성립하므로 이상적인 쌍대비교 행렬이 얻어진 경우 최대고유치는 n(행렬의 차원)과 동 일하다. 그러나 분석자가 쌍대비교행렬을 작성하는 경우 에는 완벽한 일관성을 지니기 어렵기 때문에 일반적으로 최대고유치는 행렬의 차원보다 크며, 이 차이가 클 수록 쌍대비교행렬은 일관성이 완전하게 보장된 이상적 쌍대비교행렬과 편차가 커진다고 할 수 있다. 이에 대 한 것으로 일관성지수를 사용하는데 지수가 0이면 쌍대 비교행렬이 완전하게 일관성을 갖는 경우이며, 일반적으로 일관성 여부의 판단기준은 0.1(또는 0.15)이 된다. 또 한 일관성지수를 표준화시키기 위해서 도입된 개념이 일 관성비율(Consistency Ratio: C.R.)이다.

3-2. AHP 특성에 대한 논의

AHP는 객관적인 평가요인은 물론 주관적인 평가요인 도 수용하는 매우 유연한 의사결정방법으로서 수학적인 이론보다도 직관을 바탕으로 하기 때문에 그 논리가 매 우 쉽다는 장점을 지니고 있으며, 주요 특징은 다음과 같다¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾.

- (1) 정량적인 방법으로 문제를 해석하기 때문에 이해 하기 쉬운 요인과 명확한 구조를 가진다.
- (2) 복잡하고 불분명한 문제에 대해서는 여러 계층으 로 분리하여 부분적인 관계를 1:1 비교를 하여 중요도 를 분석한다.
- (3) 시스템 접근방법을 통하여 주관적인 판단을 하고 이를 조합하여 결론을 내린다. 이 접근방법을 통하여 경 험을 살린 의사결정을 할 수가 있다.
- (4) 관계자간의 의사결정에 있어서 각각 1:1 비교치를 집산하여 기하평균을 적용함으로써 객관적인 결정을 할 수 있다.

따라서, AHP는 경제학·사회학·경영학 분야와 비 구조적인 문제를 모델링 함에 있어서 계통적 오류를 줄 여갈 수 있는 것으로 다목표(기준)의사결정에 있어서 가 장 중요한 기법중 하나라고 할 수 있을 것이다. AHP에 서는 쌍대비교를 통하여 대안의 중요도를 결정한다. 이 쌍대비교를 실시하는 사람의 가치관과 감각이 반영되는 행위는 시뮬레이션으로도 구분이 가능하다. 쌍대비교행 렬을 기초로 하여 고유치와 고유벡터를 구하고, 중요도 를 결정하는 계산은 모두 해석적으로 이루어짐으로 일 종의 기계적인 조작으로 볼 수 있는 것이다¹⁴⁾. 따라서 AHP로부터 얻어진 결론은 지극히 주관적인 것이라는 것 은 부정 못할 사실이다. 그렇지만 어떠한 재관성을 지 닌 의사결정에 있어서도 의사결정자의 주관은 지주 나 타나고, 그렇다면 처음부터 주관을 인정하는 의사결정인 것이다. 여기에 AHP의 활용성이 존재한다고 볼 수 있 다. 이와같이 AHP가 많은 장점을 가지며, 또한 많은 응 용분야에 이용되고 있지만 이것에 대한 한계성 및 제약 도 많이 지적되고 있다¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾. 지금까지의 논의를 정 리하면 다음과 같다.

- (1) AHP의 계층구조를 개발하는데 있어서, 어떤 이론 적 틀이 존재하지 않기 때문에 의사 결정문제를 계층화 할 때 평가자의 경험과 능력에 많이 종속되게 된다.
- (2) 전 계층에 대한 기준의 세분화와 많은 대제안을 평가함에 따른 과도한 쌍대비교를 요 구한다.
- (3) 의사결정 문제의 대안이 추가 혹은 삭제에 의해 기존 대안의 평가가 달라지고, 심한 경우에는 대안간의 우선순위가 변경될 수도 있다.
- (4) 단일 전문가가 대안들을 평가하는 경우, AHP에서 는 9점 평점을 사용하여 전문가의 일관성지수를 계산하 여 10% 이상일 때는 일관성이 없다는 결론을 유도함으 로서, 전문가가 노력한 평가 결과를 무시하고 다시 재 평가를 요구한다. 그러나 이미 전문가가 나름대로 신중 을 기하여 내린 평가에 대하여 재평가를 요구하는 것은 현실적으로 곤란하여, 또 많은 대안들 가운데 어느 대 안들간의 쌍대비교가 비일관적 인지를 밝혀내는 작업은 수리적으로도 대단히 어려운 일이다.

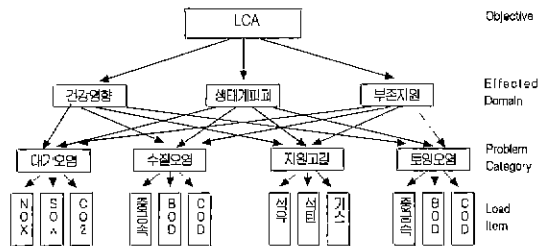


그림 3. AHP 도입을 위한 계층구조.

표 1. 전문가 1의 쌍대비교행렬.

a. LCA에 대한 Effected domain의 쌍대비교행렬														
LCA		건강영향				생태계파괴				부존자원				
건강영향		1				1				5				
생태계파괴		1				1				3				
부존자원		1/5				1/3				1				

b. Effected domain에 대한 Problem category의 쌍대비교행렬														
건강영향	대기 오염	수질 오염	자원 고갈	토양 오염	생태계	대기 오염	수질 오염	자원 고갈	토양 오염	부존자원	대기 오염	수질 오염	자원 고갈	토양 오염
대기오염	1	1	5	2	대기오염	1	1	7	3	대기오염	1	1	1/3	1/3
수질오염	1	1	5	3	수질오염	1	1	5	2	수질오염	1	1	1/3	1
자원고갈	1/5	1/5	1	1/2	자원고갈	1/7	1/5	1	1/2	자원고갈	3	3	1	3
토양오염	1/2	1/3	2	1	토양오염	1/3	1/2	2	1	토양오염	3	1	1/3	1

c. Problem category에 대한 Load item의 쌍대비교행렬															
대기 오염	NO _x	SO _x	CO ₂	수질 오염	중금속	BOD	COD	자원 고갈	석유	석탄	가스	토양 오염	중금속	BOD	COD
NO _x	1	1	1/3	중금속	1	3	3	석유	1	3	2	중금속	1	5	5
SO _x	1	1	1/3	BOD	1/3	1	1	석탄	1/3	1	1/3	BOD	1/5	1	1
CO ₂	3	3	1	COD	1/3	1	1	가스	1/2	3	1	COD	1/5	1	1

(5) 다수전문가가 대안들을 평가하는 경우, 전문가들의 일관성지수를 계산하여 평가, 일관성비율을 측정하는데 이때에 전문가의 평가능력은 고려하지 않는다. 이는 일관성이 높은 전문가에 대해서는 보다 큰 가중치를 부여하는 것이 타당하다고 볼 수 있다.

3-3. 환경영향평가를 위한 AHP

우선 영향평가를 위한 AHP계층도는 그림 3과 같이 나타내기로 한다

AHP 분석대상인 환경영향평가에 대해 얻어진 쌍대비교행렬은 다음의 표 1과 같은 것으로 한다.

표 2. Load item의 최종가중치.

Problem category	Load item	가중치
대기오염	NO _x	0.072
	SO _x	0.072
	CO ₂	0.217
수질오염	중금속	0.214
	BOD	0.071
	COD	0.071
자원고갈	석유	0.064
	석탄	0.017
	가스	0.040
토양오염	중금속	0.115
	BOD	0.023
	COD	0.023

이와 같은 쌍대비교행렬을 이용하여 각 LCA측면에서 Load item의 최종 가중치를 산출하면 다음의 표 2와 같이 구할 수 있다.

4. 내부종속성과 외부종속성을 고려한 ANP

4-1. 점성적 의사결정도구로서의 ANP

현실의 의사결정문제는 정량화할 수 없는 요소를 많이 내포하고 있으며 정량적인 요인들은 수많은 정성적 요인들과 상충될 수 있다. 이와 같이 정량적 요인과 정성적 요인을 동시에 판별하는 방법론으로 가장 많이 사용되어 온 것이 지금까지 논의한 AHP이다. AHP는 이해가 쉽고 절차가 간단하나 앞서 논의한 바와 같이 각 대안의 평가기준별 평가치가 1이 되는 정규화의 문제, 독립성의 문제 등은 아직도 해결되어야 할 과제이다. 특히 의사결정자가 정확한 판단을 하였음에도 불구하고 종속성을 가진 대안이나 기준이 추가되는 경우에는 대안 간의 순위 변경이 발생할 수 있다. 물론 각 대안과 기준간에 완전한 독립성이 확보된다면 AHP의 기본 공리를 이용하더라도 순위역전은 발생하지 않지만 계층을 구성하는 과정에서 이와 같은 독립성을 확보하는 것은 매우 어려운 일이다 이에 반하여 1996년 Saaty^[13]에 의하여 제시된 네트워크 의사결정방법인 ANP는 AHP를 보완·발전시킨 것으로서, AHP가 단방향의 계층적구조를 지니고 있는 반면, ANP는 피이드백(Feedback)과 (내부 및 외부)상호종속성(Inner & Outer dependence)이 허용

표 3. AHP와 ANP의 특성비교.

구분	AHP	ANP
기본 모형	단방향 계층구조 대안들의 독립성	피이드백 구조 내부/외부종속성 인정
계층/ 네트워크 구조	Goal Criteria Alternative	Control hierarchy Control criteria Cluster (Element) Alternative
계산 절차	Eigenvalue weighting	Eigenvalue weighting Supermatrix Limiting properties

된 네트워크 구조(Network structure)를 갖는다는 점에서 큰 차이가 있다. 그 결과 AHP와 ANP에서 사용되는 용어에서도 다소 차이가 있다. AHP에서의 기준(Criteria)과 대안(Alternatives), 그리고 목표(Goal)를 ANP에서는 기준집합(Clusters)과 요소(Elements), 그리고 이들의 상위 개념인 통제기준(Criteria; 하위목표라고 해도 무방)과 이를 포괄하고 있는 통제계층(Control hierarchy)으로 달리 표현하고 있다. 또 다른 중요한 차이점으로는 AHP가 기준과 대안들끼리의 상호독립성과 이들간에 피이드백이 없는 단방향흐름을 가정한 반면 ANP는 이들간의 내부종속성뿐만 아니라 외부종속성 그리고 계층간의 피이드백효과까지 고려한다는 것이다. 결국 ANP를 도입함으로써 정성적 요소가 포함된 다기준의사결정에서 계층구조만을 대상으로 하는 것이 아니라 네트워크구조 형태도 대상으로 할 수 있게 되었다. ANP가 언제나 AHP의 계층적 의사결정 모형에 비하여 좋은 결과를 가져오는 것은 아니다. 그러나 문제해결의 편리함이나 효율성만을 고려하는 것이 아니고 결과의 유효성측면 까지도 고려한다면 ANP의 적용가능성은 매우 광범위하다고 볼 수

있다. AHP와 ANP의 차이를 정리하면 다음의 표 3과 같다¹¹⁾.

4-2. ANP의 적용절차

AHP에서는 ANP와 같이 피이드백이나 내부종속성이 없으므로 각 단계마다의 쌍대비교를 통하여 가중치를 구한 뒤 이를 서로 곱하므로써 간단히 최종결과를 얻을 수 있지만, ANP에서는 각 피이드백 효과뿐만 아니라 내부종속성과 외부종속성까지 동시에 고려해야 하므로 단순히 가중치의 곱을 통하여 결과를 얻을 수는 없다. ANP에서는 내부 및 외부종속성을 동시에 표현할 수 있는 수단으로서 Supermatrix를 활용하여 Supermatrix 행렬의 극한특성(Limiting properties)을 구하고, 이 값으로서 최종의사결정을 취한다. AHP와 ANP의 적용 절차를 비교하면 표 4와 같다¹²⁾¹³⁾. ANP의 Supermatrix에 대한 극한특성을 계산하는 과정에서 중요한 것은 Supermatrix의 대수학적 특성을 파악하는 것이다. 이는 Supermatrix의 대수학적 성질에 따라 극한을 산출하는 방법이 다르기 때문이다. Saaty는 Supermatrix의 특성을 6개로 분류한 뒤 각각의 극한계산 모델을 표 5와 같이 나타내었다.

표 5의 과정에서는 Lagrange 보간공식, Sylvester 공식 그리고 Cayley-Hamilton정리가 사용되었다. 여기서 Supermatrix W는 계산과정상 해의 수렴성이 보장되어야 하므로 확률행렬처럼 정규화(Normalization)가 선행되어야 한다. 정규화된 Supermatrix를 특성에 따라 나눈 뒤 극한을 취한다. 표 5에서 사용되는 Perronite를 만족시키기 위해서는 다음의 성질 가운데 하나를 만족시켜야 한다.

- (1) 비음행렬(Nonnegative matrix) W의 역수는 양치행렬(Positive matrix)이다.
- (2) 분리불가능 행렬은 양(+)의 Trace를 가져야 하고,

표 4. AHP와 ANP 절차의 비교.

AHP의 절차	ANP의 절차
1. 계층구조의 형성	1. 통제계층(Control Hierarchies)을 형성
2. 기준들에 대한 우선순위 결정	2. 하위 시스템의 기준집합(Clusters)이나 요소(Elements)를 결정
3. 대안들에 대한 우선순위 결정	3. 각 통제기준(Criteria)에 따라 Cluster와 Element에 대한 번호부여
4. 일관성 평가와 민감도 분석	4. Cluster나 Element의 분석에 필요한 접근방법 결정
5. 대안의 최종순위 결정	5. 영향력 특성에 따른 Clusters의 재배열
	6. Clusters들간의 쌍대비교 실시
	7. Elements들간의 쌍대비교 실시
	8 Supermatrix의 작성
	9. 극한가중치의 계산
	10. Clusters에 영향을 주는 대안은 Supermatrix에 포함
	11. 통제기준의 가중치와 대안의 가중치를 결합
	12. 다른 유형의 통제계층과 그와 관련된 통제기준에 대하여 각각 대안의 가중치를 계산
	13. 각 대안의 최종가중치를 계산

표 5. Supermatrix의 특성에 따른 계산유형.

Irreducible(분리불가능)	
Primitive (주고유치이외의 다른 어떤 근도 1이 아님)	Imprimitive (주고유치이외의 다른 어떤 근이 1임)
단순히 W의 극한을 취한다.	여기서 C는 사이클의 길이
Reducible(분리가능)	
Primitive	Imprimitive
$\lambda=1$ (Simple)일때	
$\frac{(I-W)^{-1} \Delta(1)}{\Delta(1)} = \frac{\text{Adjoint}(I-W)}{\Delta(1)}$ $\frac{1}{c} (1-W^c)(1-W)^{-1}(W^c)^{c-1}$	
I=Identity Matrix W=Weighted Supermatrix $\Delta(\lambda)=\lambda$ 에 대한 W의 특성방정식 $\text{Adjust}(I-W)=\det(A) \times A^{-1}$	
$\lambda=1$ (Multiple)일때	
$n_1 \sum_{k=0}^{n_1-1} (-1)^k \frac{n_1!}{(n_1-k)!} \frac{\Delta^{(n_1-k)}(\lambda)}{\Delta^{n_1}(\lambda)}$ $\frac{1}{c} (1-W^c)(1-W)^{-1}(W^c)^{c-1}$ $(\lambda I - W)^{-k} \Big _{\lambda=1}$	

대각원소가 0 이어서는 안된다.

(3) 분리 불가능행렬 W의 Hadamard 곱 $W \cdot W^2$ 이 비음행렬이다.

(4) W의 특성다항식의 계수항들의 최대공약수가 1이다.

표 6. ANP를 위하여 추가된 전문가의 쌍대비교행렬.

a. Effected domain에 대한 Effected domain의 내부종속 쌍대비교행렬														
건강영향	건강영향	생태계 파괴	부존 자원	생태계 파괴	건강영향	생태계 파괴	부존 자원	부존자원	건강영향	생태계 파괴	부존 자원			
건강영향	1	2	5	건강영향	1	1/2	3	건강영향	1	3	1			
생태계파괴	1/2	1	3	생태계파괴	2	1	5	생태계파괴	1/3	1	1/2			
부존자원	1/5	1/3	1	부존자원	1/3	1/5	1	부존자원	1	2	1			
b. Problem category에 대한 Problem category의 내부종속 쌍대비교행렬														
대기오염	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염	수질오염	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염	수질오염	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염
대기오염	1	3	5	3	대기오염	1	1/3	3	3	수질오염	3	1	5	3
수질오염	1/3	1	3	3	수질오염	3	1	5	3	자원고갈	1/3	1/5	1	1
자원고갈	1/5	1/3	1	1	자원고갈	1/3	1/5	1	1	토양오염	1/3	1/3	1	1
토양오염	1/3	1/3	1	1	토양오염	1/3	1/3	1	1	대기오염	1	1	1/2	1/3
자원고갈	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염	토양오염	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염	
대기오염	1	1	1/3	1/2	대기오염	1	1	1/2	1/3	수질오염	1	1	1/2	1/3
수질오염	1	1	1/3	1	수질오염	1	1	1/2	1/3	자원고갈	2	2	1	1/3
자원고갈	3	3	1	3	자원고갈	2	2	1	1/3	토양오염	3	3	3	1
토양오염	2	1	1/3	1	토양오염	3	3	3	1					

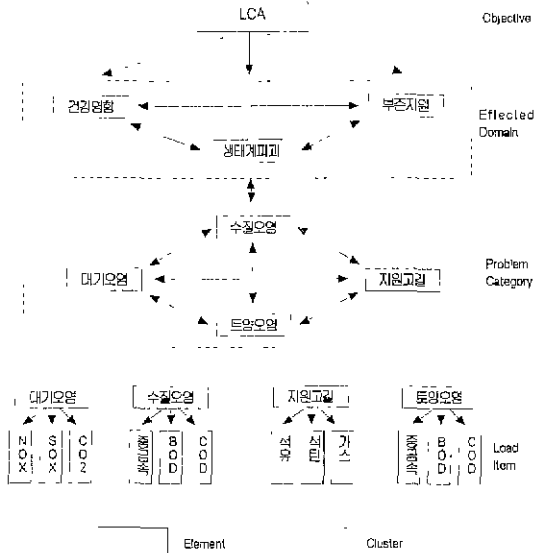


그림 4. ANP 적용을 위한 네트워크 구조.

4.3. ANP를 이용한 환경영향평가

본 연구에서 사용하는 영향평가 네트워크 구조는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

또한 ANP를 적용하기 위하여 추가되는 전문가의 쌍대비교행렬은 표 6과 같다.

이와 같은 쌍대비교 행렬을 이용하여 최대고유치 가중벡터로 비정규화된(Unweighted) Supermatrix를 산출하면 표 7과 같으며 비정규화된 Supermatrix의 각 블록에

표 6. 계속.

c. Problem category에 대한 Effected domain의 외부종속 쌍대비교행렬

대기오염	건강영향	생태계파괴	부존자원	수질오염	건강영향	생태계파괴	부존자원
건강영향	1	3	5	건강영향	1	5	5
생태계파괴	1/3	1	3	생태계파괴	1/5	1	3
부존자원	1/5	1/3	1	부존자원	1/5	1/3	1
자원고갈	건강영향	생태계파괴	부존자원	토양오염	건강영향	생태계파괴	부존자원
건강영향	1	1	1/2	건강영향	1	2	4
생태계파괴	1	1	1/5	생태계파괴	1/2	1	2
부존자원	2	5	1	부존자원	1/4	1/2	1

표 7. 비정규화된 Supermatrix (Unweighted supermatrix).

구 분	목표	파급영역			발생영역				
		LCA	건강영향	생태계	부존자원	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염
파급영역	건강영향	0.481	0.582	0.309	0.443	0.637	0.701	0.225	0.571
	생태계	0.405	0.309	0.582	0.169	0.258	0.202	0.165	0.286
	부존자원	0.114	0.109	0.109	0.387	0.105	0.097	0.610	0.143
발생영역	대기오염	0	0.364	0.426	0.125	0.519	0.263	0.139	0.138
	수질오염	0	0.403	0.354	0.165	0.263	0.519	0.166	0.138
	자원고갈	0	0.077	0.069	0.494	0.102	0.102	0.498	0.232
	토양오염	0	0.156	0.151	0.217	0.116	0.116	0.197	0.492

표 8. 정규화된 Supermatrix(Weighted supermatrix).

구 분	목표	파급영역			발생영역				
		LCA	건강영향	생태계	부존자원	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염
파급영역	건강영향	0.481	0.485	0.257	0.369	0.319	0.350	0.113	0.286
	생태계	0.405	0.257	0.485	0.141	0.128	0.101	0.083	0.142
	부존자원	0.114	0.091	0.091	0.323	0.053	0.049	0.304	0.072
발생영역	대기오염	0	0.061	0.071	0.021	0.260	0.132	0.069	0.069
	수질오염	0	0.067	0.059	0.027	0.132	0.260	0.0883	0.069
	자원고갈	0	0.013	0.012	0.083	0.051	0.050	0.249	0.116
	토양오염	0	0.026	0.025	0.036	0.057	0.058	0.099	0.246

표 9. 극한 가중치행렬(Limiting supermatrix).

구 분	목표	파급영역			발생영역				
		LCA	건강영향	생태계	부존자원	대기오염	수질오염	자원고갈	토양오염
파급영역	건강영향	0.361	0.361	0.361	0.361	0.361	0.361	0.361	0.361
	생태계	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268
	부존자원	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
발생영역	대기오염	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
	수질오염	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
	자원고갈	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
	토양오염	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045

기준집합의 해당 가중치를 곱하여 정규화를 하면 표 8과 같이 된다.

표 8의 정규화된 Supermatrix의 극한을 취하기 위하여 이 행렬의 특성을 살펴보면, 이 행렬은 분리불가능

표 10. Load item의 최증가중치 비교.

Problem category	Load item	ANP 가중치	AHP 가중치
대기오염	NO _x	0.065	0.072
	SO _x	0.065	0.072
	CO ₂	0.196	0.217
수질오염	중금속	0.196	0.214
	BOD	0.065	0.071
	COD	0.065	0.071
자원고갈	석유	0.088	0.064
	석탄	0.023	0.017
	가스	0.056	0.040
토양오염	중금속	0.129	0.115
	BOD	0.026	0.023
	COD	0.026	0.023

행렬(Irreducible stochastic matrix)이고, 1의 값을 가진 고유치가 하나인 단근(Simple Root)의 경우로서 Primitive stochastic matrix이다 따라서 극한특성 계산 방법 중 가장 간단한 방법인 멱승법(Power Method)을 이용하여 극한을 취하면 된다. 본 장에서는 이를 위하여 Mathematica 2.2를 이용하였다. 결과는 표 9와 같다.

극한 행렬 전체에 대한 해석이 요구되지만, 본 장에서는 LCA 측면에서의 Load Item의 가중치를 산출하는 것이 목적이므로 진하게 표시된 요소의 값을 정규화하여 최종적인 가중치로 사용한다. 정규화한 값은 [0.327, 0.326, 0.167, 0.180]이다 이와 같은 결과를 바탕으로 각 LCA 측면에서 Load Item의 최종 가중치를 구하여 앞서 논의된 일반적인 AHP의 결과와 비교하였다<표 10>.

5. 결 론

본 연구에서는 LCA에서 영향평가 영역에서 환경부하에 대한 상대적인 중요도 혹은 가중치를 산출하기 위하여 계층적 의사결정모형인 AHP와 이를 네트워크형 구조로 변환시킨 ANP의 적용을 시도하였다. 환경부하의 값은 반드시 절대값을 가질 필요가 없으므로 AHP를 통한 영향평가 방법이 사용될 수 있다. 또한 영향평가와 관련된 여러 요인을 계층화 함으로서 계산의 용이성을 추구하면서 비교적 쉽게 환경부하를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 쌍대비교를 통하여 중요도 판단과정의 일관성을 유지할 수 있는 측면도 있다. ANP는 계층적 형태를 탈피하여 요인간의 내부 및 외부종속성을 갖는 구조로 변환함으로써 환경영향평가와 관련된 여러요인을 동시에 고려하여 최종적인 가중치를 산출할 수 있다. 따라서 환경영향 평가와 같은 구조를 갖는 의사결정 문제에 보다 적절하다고 볼 수 있다. AHP와 ANP간의 결

과에 대한 만족도 역시 상당히 주관적일 수밖에 없기 때문에 그 유효성의 평가는 검증이 필요하지만 결과의 유의성 측면에서는 ANP의 적용이 보다 유리하다. 이 점은 주어진 문제의 구조를 계층화 시키는 것보다는 네트워크화 하는 것이 보다 현실적이기 때문이다.

이러한 측면에서 단일의 의사결정자가 아닌 다수의사 결정자가 포함된 가중치 도출 방법을 적용할 수 있도록 ANP를 보다 체계화하여 이제까지 언급된 AHP를 통합하고 보다 효과적인 LCA 영향평가와 제반 문제를 해결할 수 있는 효과적인 도구의 탐색이 필요할 것으로 판단된다

참고문헌

1. 강희정, 이상설: "전문가 평가척도 향상을 고려한 계층적 의사결정에 관한 연구", 생산성논집, Vol. 12. No. 1, 1997, pp. 123-138.
2. 김성철, 어하준: "AHP가중치 결정에서의 다수전문가 의견종합 방법", 한국경영과학회지, 제 19권, 제 3호, 1994. 12, pp. 41-51.
3. 윤재곤: "AHP 기법의 적용효과 및 한계점에 관한 연구, 한국경영과학회지, 제 21권, 제 3호, 1996, pp. 109-125.
4. Buede, D.M.: "Software Review Three Package for AHP: Criterium, Expert Choice and HIPRE3+", Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol. 1, Issue. 2, 1992, pp. 119-121.
5. Chang, P.L. and Chen, Y.C.: "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method for Technology Transfer Strategy Selection in Biotechnology", Fuzzy Sets and Systems Vol. 63, 1994 pp 131-139.
6. Epstein, B.J. and King, W.R.: "An Experimental Study of the Value of Information", Omega, Vol. 10, No 3, 1982, pp 249-258
7. Heijung, R. ed: "Environmental Life Cycle Assessment of Product", Centre of Environmental Science, Leiden (1992)
8. Junsei Tsukuda. A Method for Impact Assessment Using Human Intelligence, The Third International Conference on Ecobalance, Nov 1998, pp. 77-80.
9. Moonsig, K. and Antome, S.: "PAHPA: A Pairwise Aggregated Hierarchical Analysis of Ratio-Scale preference", Decision Sciences, Vol. 25. No.4, pp. 607-624.
10. Narasimhan, R.: "A Geometric Averaging Procedure for Constructing Supertransitive Approximation to Binary Comparison Matrices", Fuzzy Sets and System. Vol. 8. 1992, pp. 53-61.
11. Saaty, T.L.: "How to make a Decision: The Analytic

- Hierarchy Process'. Interfaces 24/6, 1994, pp. 19-43.
12. Saaty, T.L.: "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill (1980)
 13. Saaty, T.L.: "The Analytic Network Process", RWS Publications (1996)
 14. Tzeng, G.H., Wang, H.F., Wen, U.P. and Yu, P.L.: Multiple Criteria Decision Making. Springer-Verlag (1994).
 15. Weiss, E.N. and Rao, V.R.: "AHP Design Issues for Large-Scale Systems", Decision Sciences, Vol. 18, No. 1, 1987, pp. 43-61
 16. Zahedi, F.: "A Note on Input Consistency in the Application of AHP", Decision Sciences, Vol. 19, No. 3, 1988, pp 708-710