

# 택지개발사업의 환경친화적 대안평가모형 구축

## Alternative Evaluation Model in the Development of Environment-friendly Residential Land

정인수\* 이찬식\*\*

Jung, In-Su Lee, Chan-Sik

### 요 약

최근 들어 택지개발사업이 크게 증가하는 추세이지만, 무분별한 택지개발은 개발대상 부지의 기존 녹지나 수목을 훼손시키게 되며 지형에도 많은 변화를 가져와 절개지가 발생하게 하는 등 환경을 많이 훼손하고 있다. 택지개발 등 개발사업을 시행할 때 지구지정시 수행하는 사전환경성검토제도와 개발계획의 승인전 협의를 하게 되어 있는 환경영향평가제도가 있다. 사전환경성검토는 택지개발계획 수립 후에 시행하며 환경영향평가는 실시설계 완료 후에 수행하기 때문에 선정된 택지개발지에서 발생할 수 있는 환경문제에 대한 저감방안 강구 등 소극적이고 수동적인 대처에 그치는 경우가 많다. 본 논문의 목적은 초기 입지선정단계에서 택지개발사업을 환경친화적으로 지속가능하게 수행할 수 있도록 대안평가모형을 구축하는 것이다. 이를 위해 선행연구에서 조사된 택지개발사업의 환경평가요인을 바탕으로 퍼지추론과 AHP기법을 이용하여 대안평가모형을 구축하였다. 의사결정자가 각 대안의 환경훼손도를 10점 척도법에 의해 평가하면 퍼지추론에 의해 환경성능(EP: Environmental Performance)으로 변환하고, AHP기법에 의해 미리 산정된 항목별 가중치를 적용하여 통합환경성능(TEP: Total Environmental Performance)을 산정한다. 통합환경성능이 가장 높은 대안이 최적으로 선택된다. 이 연구에서 제시한 평가방법을 적용하면 토지이용계획이 확정되지 않은 상태에서 두 가지 이상의 택지개발 예정지역 대안을 정량적으로 평가할 수 있을 것이다. 이로써 택지개발 사업시행으로 발생할 수 있는 환경훼손을 초기 입지단계에서 확인하여 환경오염을 원천적으로 제거해 나갈 수 있을 것이다.

키워드: 택지개발사업, 환경친화, 퍼지추론, AHP기법, 환경성능

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 들어 국토균형발전 차원에서 추진되는 공공기관 이전, 기업·혁신도시, 신도시 건설과 자치단체별 지역개발 사업 등으로 대규모 택지개발사업이 크게 증가하는 추세이며<sup>1)</sup>, 1980년도에 택지개발촉진법이 제정된 이후 2005년까지 총 652,925천m<sup>2</sup>를 공급하고 있다(국가청렴위원회 2007). 택지개발사업은 생활

영역을 구축하고 편리한 삶을 영위하는데 필수적인 사업이지만, 주택의 양적공급과 경제적 논리에 치우쳐 법정허용주거밀도를 최대한 달성하도록 고밀개발을 해왔으며 택지난을 구실로 법정허용밀도도 계속 증가시켜 고밀을 부추겨 왔다.

무분별한 택지개발은 개발대상부지의 기존녹지나 수목을 훼손시키게 되며 지형에도 많은 변화를 가져와 절개지가 발생하게 하고, 개발지역을 대로에 인접 배치함으로써 소음피해를 가중시키는 등 환경을 많이 훼손하고 있다. 환경은 한 번 파괴되면 원상태로 복구하기 어려워 개발의 계획단계에서부터 환경에 미치는 여러 가지 요소를 고려하여 친환경적인 개발계획을 수립하여야 한다(고대홍 2003).

이에 선행연구에서는 택지개발사업을 환경친화적으로 지속가능하게 수행할 수 있도록 초기 입지선정단계에서 고려해야 할 환경평가요인을 도출하였다.<sup>2)</sup> 이 연구결과는 택지개발사업의 대안지를 선정할 때 고려할 수 있는 체크리스트로 활용할 수 있지만, 택지개발사업을 수행하는 의사결정자가 보다 체계적으로 사

\* 일반회원, 한국건설기술연구원 건설정보연구실 연구원, 공학박사 (교신저자), jis@kict.re.kr

\*\* 종신회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사, cslee@incheon.ac.kr

1) 2003년 24,367천m<sup>2</sup>→2004년 41,536천m<sup>2</sup>→2005년 40,384천m<sup>2</sup>→2006년 46,358천m<sup>2</sup>

2) 정인수, 이찬식 (2008). 국내 택지개발사업의 입지선정단계에서 고려해야 할 환경평가요인. 대한건축학회논문집 계획계, v24, n8, 대한건축학회

용할 수 있는 대안평가모형으로 발전시킬 필요가 있다. 본 논문의 목적은 초기 입지선정단계에서 택지개발사업을 환경친화적으로 지속가능하게 수행할 수 있도록 대안평가방법론을 제시하는 것이다.

### 1.2 연구방법 및 절차

본 연구는 택지개발사업을 환경친화적으로 수행하기 위한 방법에 관한 연구로서 대안선정을 위한 환경평가요인 도출, 건설분야에서의 대안평가모형에 관한 선행연구 조사, 퍼지추론에 의한 환경성능(EP: Environmental Performance) 산정, 계층분석적의사결정(AHP: Analytic Hierarchy Process)기법을 이용한 환경평가요인의 중요도 산정, 환경성능(EP)과 중요도를 종합한 대안 평가모형 구축의 절차와 방법으로 수행하였다(그림 1). 대안선정을 위한 환경평가요인은 선행연구를 기반으로 하였다.

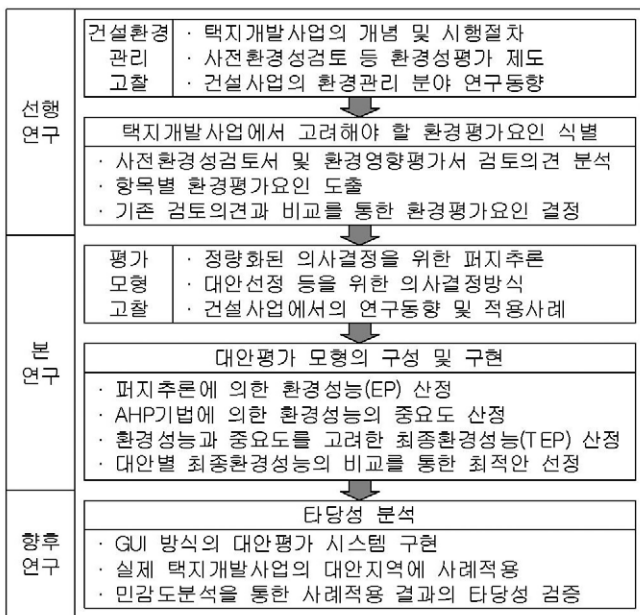


그림 1. 연구흐름도

## 2. 택지개발사업의 입지선정단계에서 고려해야 할 환경평가요인<sup>3)</sup>

선행연구에서 택지개발사업의 대안지역을 환경친화적으로 선정하기 위해 고려해야 할 요인들을 도출하기 위하여 사전환경성검토서와 환경영향평가서의 검토의견<sup>4)</sup>을 분석하였다. 분석한 사전환경성검토서와 환경영향평가서의 검토의견은 2005년 1월부터 동년 12월까지 총 12개월간 한국환경정책·평가연구원에

서 검토가 완료된 사업으로 총 22개 사업을 대상으로 하였다.

요인도출의 객관성을 확보하기 위해 먼저 요인도출 원칙을 수립한 후 실증자료에 근거하여 환경평가요인을 도출하였다. 적절한 환경평가요인을 선정하기 위해서 설정한 제외원칙은 다음과 같다.

- (1) 공사 중 일시적으로 발생하는 환경오염
- (2) 비교적 간단한 시설물 설치로 환경훼손을 극복할 수 있는 것
- (3) 초기 입지선정단계에서 예측할 수 없는 것
- (4) 반드시 복원하고 사업을 수행해야 하는 경우
- (5) 건축물 사용 중에 모니터링 함으로써 오염을 저감할 수 있는 경우
- (6) 기타 지역적 특수성을 반영하는 요인

논리적 근거를 좀 더 보강하기 위해 도출한 환경평가요인을 전문가에게 자문하여 타당성을 확인받고 기존 실증자료와 비교하는 등의 방법을 사용하였다. 사전환경성검토서 검토의견과의 비교는 사전환경성검토제도가 시행된 2000년 8월부터 2003년 4월까지 한국환경정책·평가연구원에 접수·검토된 사항에 대하여 분석하였다. 환경영향평가서 검토의견과의 비교는 변경협의와 재협의를 제외한 초안단계에서부터 재보완 등 협의가 완전히 끝난 사업, 즉, 각 사업의 환경영향평가서 검토가 종료된 사업을 중심으로 분석하였다. 이렇게 비교한 결과 도출한 환경평가요인이 누락 없이 적합하게 추출되었음을 확인할 수 있었으며 최종 환경평가요인은 표 1과 같다.

## 3. 대안평가체계 구축을 위한 선행연구 고찰

본 연구에서 제시하는 대안평가에서는 택지개발사업이 환경에 미치는 영향을 판단해야 한다. 신뢰성 있는 평가를 수행하기 위해서는 주관적이고 불확실한 측면을 처리할 수 있는 평가방법이 필요하다. 대안평가시 평가요인별로 각 대안의 점수를 부여해야 하는데 실제로는 환경적 건전도가 애매하여 각 요인에 따른 적절한 점수로 대응할 수 없는 것이 많으며, 각 점수들을 종합하여 정확한 최종 대안을 선정하기에는 많은 어려움이 있다.

3) 상계서

4) 택지개발사업에 예로 든다면, 사업시행자가 예정지구를 조사하여 예정지구를 제안할 때 환경관서에 사전환경성검토서를 작성하여 제출하고, 택지개발사업실시계획 수립 후 환경영향평가서를 역시 환경관서에 제출한다. 협의요청을 받은 환경부장관 또는 지방환경관서의 장은 관련 부서 및 관계 전문가 등의 의견을 수렴하여 30일 이내에 협의결과를 협의요청기관에 통보한다. 이때의 협의결과를 본 논문에서는 검토의견이라 한다.

표 1. 환경친화적 택지개발사업 대안지 선정을 위한 환경평가요인

평가분야	환경평가요인
대기환경 분야	• 운영시 대기오염물질(난방 및 취사, 차량 등에 따른 대기질 오염) • 주변지역의 악취 유발원으로 인한 악취발생
수환경 분야	• 오수 및 하수 처리의 어려움 • 홍수피해 가능성
토지환경 분야	• 녹지지역의 훼손도 및 녹지확보의 어려움 • 절토사면 등으로 인한 지형훼손 • 연약지반 처리 등 추가 토사확보로 인한 환경훼손 • 지반붕괴, 지진 등 재해발생 가능성
자연생태 환경분야	• 하천보전의 어려움 • 자연식생, 임상양호지역, 습지지역, 노거수, 조수보호구, 동물, 문화재, 화석 등의 훼손
생활환경 분야	• 운영시 발생하는 생활폐기물 처리의 어려움 • 운영시 소음 방지 대책 수립의 어려움 • 인접지역 용도와의 상충성 • 전기공급시설, 열병합발전소, 철도시설, 송전선로 등으로 인한 전파장애(전자파 포함)

이 때문에 환경친화적 택지개발사업을 수행하기 위해서는 의사결정자의 추론과정에 존재하는 여러 가지의 애매함을 평가할 수 있는 방법이 필요하게 된다.

환경친화적 택지개발사업 대안선정에서의 애매함이란 각 요인별 환경훼손도 측정의 애매함과 환경훼손도를 환경적 건전도로 환산하는 과정에서의 애매함 등이 있다.

이러한 애매함들에 대해 본 연구에서는 의사결정자의 평가에 퍼지추론을 도입하여 if-then 형식의 규칙으로 하여 규칙 베이스(rule base)를 구성하고자 한다. 또한 각 평가요인별로 서로 다른 애매성을 동반하기 때문에 모든 것을 동등하게 처리하거나 일원적으로 평가하는 방법을 사용할 수 없다. 따라서 경험이 풍부한 환경전문가가 판단한 각 요인별 가중치를 퍼지추론에 의한 점수에 부여하여 평가결과의 객관성을 확보하고자 한다.

### 3.1 퍼지추론

퍼지이론 중에서 주로 퍼지추론에 관한 기본적인 내용과 국내·외 적용사례에 대해 고찰하였다. 퍼지추론을 사용한 연구는 주로 리스크분석과 구조안전 분야에서 수행되고 있었다. 기술자의 경험적 지식 및 판단 등이 필요한 문제(진단, 평가 등)에 대해서 퍼지추론을 적용하고 있는 연구를 주로 많이 수행하고 있다. 상기의 문제에 있어서 적용된 퍼지추론의 부분은 복수의 판단 기준에서 얻어진 결과를 하나로 정리해 최종결론을 얻는 과정으로 설명될 수 있다. 결국 의사결정 과정에는 불확정성이 있어, 이를 퍼지수로 구하는 연구를 수행하고 있다고 볼 수 있다(표 2).

표 2. 건설분야의 퍼지추론에 관한 선행연구 동향 요약

연구자	발표년도	연구내용	특징
이영우	2006	다중회귀모형과 퍼지근사추론 모형에 의한 추정 모형 구축	교차로 교통시간 분석
서광준 등	2005	사례 공동주택의 LCC분석을 통해 리모델링 전략 평가 및 리모델링 적정 경제성 지수 제시	구조안전 등급 판정
황지선, 이찬식	2004	초기 건설공사의 리스크 관리방법론 제시	리스크 관리
이동운, 김영수	2003	건설프로젝트 의사결정 모델 제시	FD-AHP기법 제시
이용준 등	2003	AHP기법을 응용한 비구조적 퍼지 의사결정지원시스템을 이용하여 재해예방대책 수립방법 제안	건설안전
김영민	2002	철근콘크리트 건축구조물에 대하여 구조물의 노후도 및 구조안전성을 평가하고 상태평가시스템 제시	구조물 상태안전 평가
김창학 등	2002	전문가의 주관적 판단과 언어적 변량을 이용하여 리스크를 정량화하기 위한 퍼지 분석방법 제시	리스크 관리
김남희 등	2001	내진성능평가시스템 개발을 위한 방법론 및 원형시스템 제시	내진성능평가
조종규 등	2001	'디자인정보 구축에 앞서 정보유형을 분류한 후, 비정형화된 정보에 대한 디자인 정보구축 방법 제시	설계정보 구축
조익래, 박찬식	2000	프로젝트 초기단계에서 리스크를 분석하고 평가할 수 있는 절차 제시	리스크 관리

### 3.2 요인별 가중치 적용 연구

건설분야에서 가중치를 구하여 적용하는 연구를 분석한 결과 많은 연구에서 AHP기법을 적용하거나 다른 이론과 AHP기법을 합성하여 사용하고 있었다. 여러 기법들 중에서 적용이 편리하고 인간의 사고와 유사한 계층적 평가구조이며 가중치 산정방법의 이론적 기초를 제공한다는 점에서 AHP기법이 주관적 판단의 정량화가 용이한 것으로 판단된다. AHP기법을 근간으로 하고 문제상황에 따라 적절한 방법론을 적용하여 택지개발사업에 적합한 대안평가 모형을 개발하는 것이 적절할 것이다. AHP기법에 관한 선행연구를 요약하면 표 3과 같다.

## 4. 대안평가체계 구축

도출한 환경평가요인은 적절한 방법론을 적용하여 대안을 평가하는데 활용되어야 한다. 이 논문에서는 선정된 환경평가요인의 환경훼손도<sup>5)</sup>를 환경성능(EP)<sup>6)</sup> 인자로 변환하는데 퍼지추

5) 환경평가요인에 대한 의사결정자의 평가점수로 당해 환경평가요인에 대한 환경훼손도를 의미한다. 점수가 높을수록 환경훼손 정도는 크다.  
6) 환경평가요인별 환경점수를 퍼지추론에 의해 환산한 값으로 점수가 높을수록 환경적으로 건전한 것이다. 다시 말하면 환경점수와 환경성능(EP)은 역수 관계가 성립한다. 통합환경성능(TEP)은 14개의 환경성능(EP)에 가중치를 곱하여 모두 합산하여 하나의 점수로 산정한 것이다. 이것의 점수가 가장 높은 대안이 최종 선택안이 되는 것이다.

표 3. 건설분야의 대안선정기법에 관한 선행연구 동향 요약

연구자	발표년도	연구내용	특성
이혜진 등	2007	다속성 효용이론과 AHP기법을 기반으로 하여 터널별 최적의 환기방식 선정	다속성효용이론, AHP기법 이용
황경진, 이찬식	2007	노후화된 공동주택의 주차장 확대방식 선정	AHP기법 이용
신윤석 등	2006	초고층 건축공사에 사용되는 바닥판 거푸집 시스템 선정	AHP기법 이용
류임우	2004	디자인 개념의 의사결정 중요도를 측정하는 방법과 중요도를 활용하는 설계과정 제시	AHP기법 이용
박찬길, 전재열	2004	설계단계에서 건축시스템의 상관관계 분석을 위해 리모델링 부위별 적정 대안선정 방법 제시	AHP기법, 행렬링 연산식 이용
이동주	2004	공조설계 목표에 부합되는 대안을 평가할 수 있는 공조시스템 대안평가모형 제시	AHP기법 이용
현장택, 서용칠	2003	발주방식 선정모델 제시	ANP기법 이용
장명훈, 이현수	2002	고층건축공사의 가설계획 프로세스 정립 및 대안선정방법 제시	AHP기법 이용
최준규	2002	도로건설사업에서의 노선선정을 위한 정량화시스템 개발	AHP기법 이용
이용준	2000	사무소 건물의 설계 초기단계에서 환경적인 성능을 고려할 수 있는 대안평가방법 제시	다중기준최적화 기법 이용

문을, 환경성능(EP) 인자의 가중치를 산정하는데 AHP기법을, 이를 종합하는데 설계효과매트릭스 방법론을 사용한 평가모형을 구축하였다.

#### 4.1 평가모형 개요

퍼지추론과 AHP기법을 이용한 평가모형을 구축하기 위한 기본적인 절차는 먼저 환경평가요인에 대한 환경점수를 산정하여 환경성능(EP)으로 변환하고 가중치를 산출하여 적용함으로써 최종 통합환경성능(TEP: Total Environmental Performance)을 구하는 것이다. 이렇게 산출한 각 대안의 점수를 서로 비교하여 최종 대안을 선정한다(그림 2 참조).

본 논문에서는 택지개발사업을 환경친화적으로 수행하기 위한 환경성능 분석을 목적으로 한다. 환경영향의 정도 측정은 정성적인 경우가 대부분이므로 이를 바탕으로 환경성능(EP)을 산정하기 위해서는 정성적인 결과를 정량화하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 퍼지추론을 이용하여 환경점수를 환경성능(EP)으로 정량화하였으며, AHP기법을 이용하여 중요도를 산정한 후, 이를 종합하는 과정에서는 1986년 CII Design Task Force에서 개발한 설계효과매트릭스를 적용하였다(CII 1986). 이는 내용적인 측면이나 시각적인 측면에서 정성적인 것을 정량화하기 위함이다.

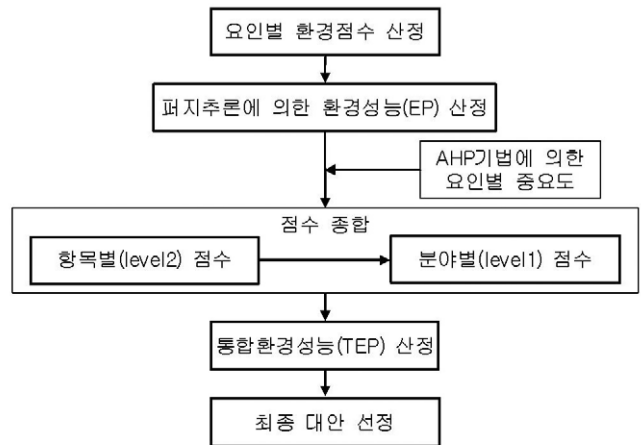


그림 2. 택지개발사업의 환경친화적 대안평가모형

#### 4.2 퍼지추론에 의한 환경성능(EP) 산정

퍼지추론은 평가대상에 대해서 ‘예’ 또는 ‘아니오’ 만으로는 평가하기 어려운 애매한 경우의 문제점을 수학적 접근방법으로 해결하고자 하는 것이다. 즉 정성적인 퍼지개념과 정량적인 수학 사이를 연결하는 중간적인 역할을 한다(Klir, G. J. and Folger, T. A. 1988). 본 논문에서는 환경성능(EP)을 산정하기 위하여 퍼지추론을 사용하였다.

환경성능(EP)은 환경훼손에 영향을 주는 정도에 대하여 모호함을 표현할 수 있는 퍼지집합 이론을 사용하여 언어변수(linguistic variable)로 나타내고 이 값을 퍼지논리 규칙을 바탕으로 한 퍼지추론을 실시한 후 이를 비퍼지화하여 정량화된 값으로 산정할 수 있도록 하였다.

##### (1) 소속도함수와 퍼지연산

14개 환경평가요인의 환경성능(EP)을 산정하기 위한 언어변수(linguistic variable)는 환경평가요인이 가져다주는 환경훼손 정도로 정의하였다. 환경훼손도를 나타내는 언어변수는 「환경훼손도가 매우 낮다(VL: very low)」, 「환경훼손도가 낮다(L: low)」, 「보통이다(M: medium)」, 「환경훼손도가 높다(H: high)」, 「환경훼손도가 매우 높다(VH: very high)」로 표현하고, 이들 언어변수를 대표하는 값을 각각 0.1, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9로 정의하였다(그림 3 참조).<sup>7)</sup> 이는 환경훼손도가 높은 경우 환경성능(EP)을 작게 평가하는 것이 연구목적에 보다 적합하다고 판단했기 때문이다.

환경성능(EP)을 나타내는 언어변수는 「매우 좋지 않음(VP: very poor)」, 「좋지 않음(P: poor)」, 「보통(M: medium)」, 「좋음

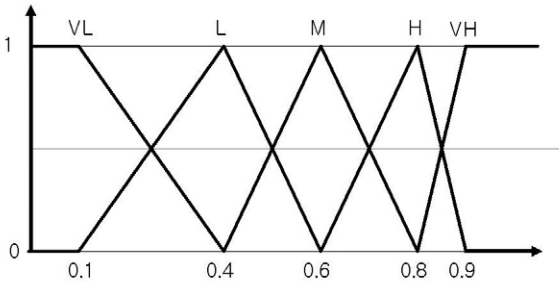


그림 3. 환경훼손도를 나타내는 언어변수의 소속도함수

(G: good), 「매우 좋음(VG: very good)」으로 표현하고 이들 언어변수를 대표하는 수치를 각각 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 정의하였다(그림 4 참조).<sup>8)</sup>

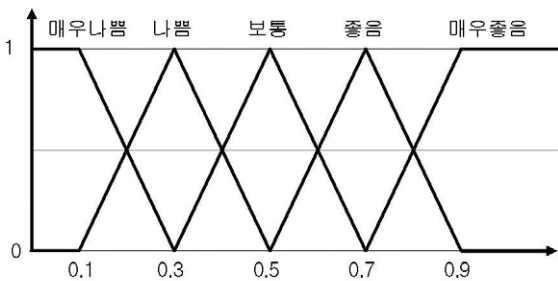


그림 4. 환경성능(EP)을 나타내는 언어변수의 소속도함수

(2) 환경성능(EP) 산정을 위한 퍼지추론

환경훼손도에 대한 평가가 이루어지고 나면 평가 값은 if-then 규칙을 이용한 퍼지추론을 통하여 환경성능(EP)의 분포를 구하게 된다. 본 연구에서 if-then 규칙은 다음과 같다.

규칙 1.	if	VL,	then	매우 좋음
2.	if	L,	then	좋음
3.	if	M,	then	보통
4.	if	H,	then	좋지 않음
5.	if	VH,	then	매우 좋지 않음

7) 소속도함수를 결정하는 일반적인 방법과 표준적인 소속도함수란 존재하지 않는다. 주관의 배후에는 일종의 객관성과 공통성이 있어야 하기 때문에 이미 검증된 방법을 따를 수 있을 것이다(유동선과 이교원 2001). 본 논문에서 사용한 환경훼손도를 환경성능(EP)으로 변환하는 소속도함수는 다음 두 기준 문헌을 참고하여 설정하였다.

가. 김영민 (2002). 철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가. 서울대학교대학원 건축학과 박사학위논문.

나. 황지선, 이찬식 (2004). 퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법. 한국건설관리학회논문집, 제5권 제2호, 한국건설관리학회, pp. 136-143.

8) 각주 7) 참조

각 환경평가요인에 대한 환경훼손도 값이 확정되면 그림 3의 삼각퍼지집합을 통하여 언어변수에 속할 정도(소속정도)를 구한 후, 위 퍼지추론 if-then 규칙과 그림 4의 환경평가요인의 점수를 나타내는 언어변수의 소속도함수를 이용하여 환경성능(EP) 분포를 구한다.

그 후, 비퍼지화(defuzzification) 과정을 거쳐 환경성능(EP)을 구하게 되는데 이때 비퍼지화기법에는 최대값방법과 최대평균법 등이 있으나, 일반적으로 다른 방법들에 비해서 우월한 성능을 보이는 경향이 있는 무게중심법(center of area method)을 사용한다. 무게중심법에 의한 비퍼지화방법은 식 (1)과 같다.

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_s(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_s(x_i)} \quad (1)$$

$x_0$ : 제어입력이 되는 비퍼지값,  $x_i$ : 속값이 최대가 되는 제어값,  
 $n$ : 제어변수 전체집합의 이산화 준위 또는 등급 (quantization level)

환경평가요인에 대한 환경훼손도가 0.3일 때, 환경성능(EP)을 구하는 과정을 그림으로 나타내면 그림 5와 같다.

4.3 AHP기법에 의한 환경평가요인의 중요도 산정

환경평가요인의 중요도를 산정하는 것은 사업의 대안평가에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 중요도에 따라 최종 결과에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 특히 주관적인 평가에서는 중요도를 수식으로 명확하게 산정하는 것이 거의 불가능하며 이때는 전문가의 경험이나 지식이 큰 역할을 차지한다. 중요도 산정을 위한 대표적인 방법은 척도표시법(rating method), 점수할당법(point allocation method), 중회귀분석법(multiple regression method), AHP기법 등이 있다. 본 연구에서는 주관적 평가에 적합한 AHP기법을 이용하여 중요도를 산정하였다.

환경평가요인의 중요도를 산정하기 위하여 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 택지개발사업의 의사결정자는 대부분 환경전문가가 아닌 건설전문가이며, 환경적 전문지식이 환경전문가에 비하여 취약하다. 따라서 의사결정자 스스로 환경성능(EP)의 가중치를 결정하였을 때 오히려 환경적으로 문제점이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 택지개발사업에 대한 환경영향평가 검토 전문가들을 통하여 지표로 사용할 수 있는 환경평가요인별 가중치를 설정하였다. 설문에 참여한 전문가는 현재 한국환경정책·평가연구원에서 택지개발사업의 사전환경성검토와 환경영향평가를 담당하고 있는 7인으로 하였다.

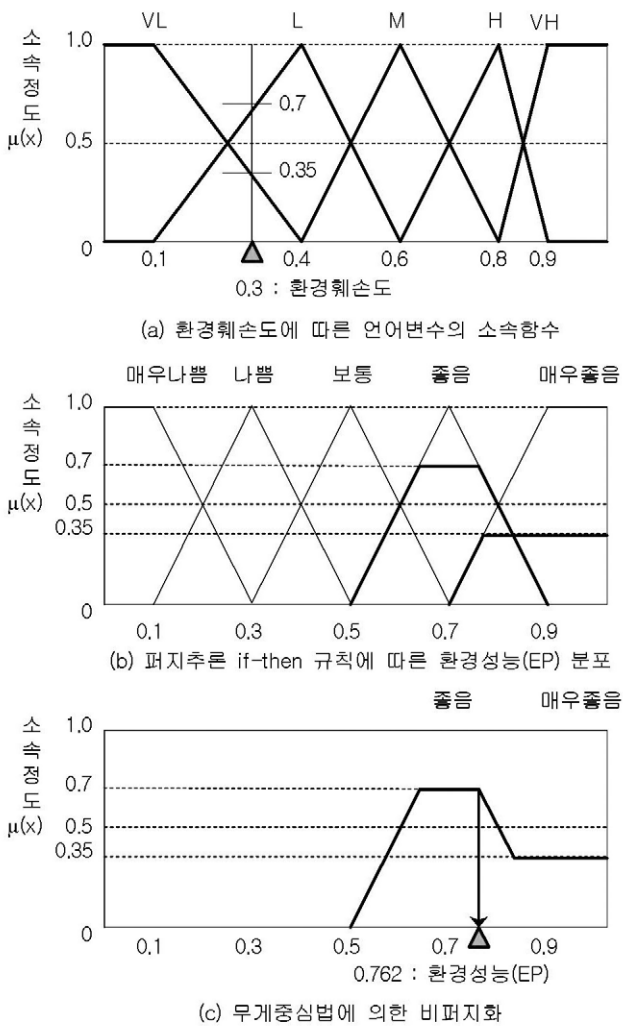


그림 5. 언어변수의 소속함수 정의 및 환경훼손도가 0.3일 때 환경성능(EP) 계산 예

설문은 비전문가들도 비교가 가능한 일반적인 내용에 대한 설문이지 아니라고 고도로 축적된 경험 및 지식이 요구되는 사안에 대한 비교·판단이 가능해야 하므로, 택지개발사업의 환경성검토 경험을 충분히 살릴 수 있으며 본 연구의 취지와 AHP 설문기법을 이해할 수 있는 전문가를 설문대상자로 선정하였다.

2007년 7월 한 달간 상기 7인에게 개략적인 연구내용을 설명하고 설문지를 배포한 후에 직접 회수하였다. 설문은 MS Excel을 활용하여 AHP 계산 행렬을 제작하여 분석하였으며, 결과치에 오류가 없는지 확인하기 위하여 Super Decisions 소프트웨어를 사용하여 재계산한 결과 제작한 행렬을 사용한 결과와 동일하였다.

(1) 계층화

AHP기법의 적용에서 가장 중요한 단계라 할 수 있는 첫 번째 단계에서 의사결정자는 상호 관련되어 있는 여러 의사결정 사항들을 계층화한다. 계층화의 첫 단계는 의사결정에 필요한 중요한 인자를 결정하는 것이다. 선행연구에서는 5개 환경분야의 14개 항목으로 환경평가요인을 도출하였다. 그 다음 단계에서는 의사결정 인자들의 체계를 구성해야 하는데, 1개의 최상위층은 구하고자하는 목표가 되며, 가장 낮은 계층의 요소들은 대안 또는 활동이 된다. 중간층의 요소는 대안을 평가하는 기준이나 속성이 된다. 첫 번째 수준은 통합환경성능(TEP) 점수가 가장 높은 대안으로 선택하고, 두 번째와 세 번째 계층은 5개 환경분야와 도출한 14개 환경평가요인으로 결정하였다(그림 6). 가장 낮은 계층은 택지개발사업의 대안이 된다.

(2) 쌍대비교

이 단계에서는 상위계층에 있는 요소들의 목표를 달성하는데 공헌하는 직계 하위 계층에 있는 요소들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 의사결정지수에 공헌하는 하위 계층은 대기환경분야, 수환경분야, 토지환경분야, 자연생태환경분야, 생활환경분야이며, 이러한 두 번째 계층에 영향을 주는 하위 계층은 대기질, 악취 등 14개 환경평가요인이 된다.

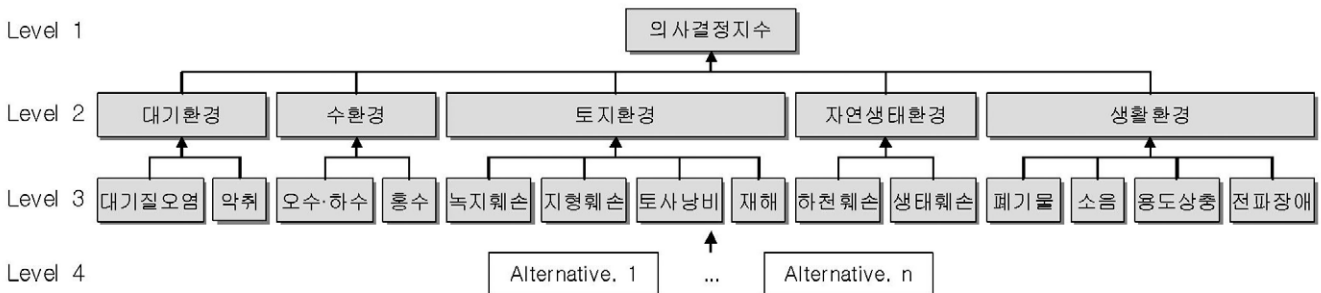


그림 6. 환경평가요인의 AHP 계층도

쌍대비교행렬을 작성하기 위하여 표 4와 같이 상위요소에 기여하는 정도를 9점 척도로 중요도를 부여하는 쌍대비교를 행한다. 쌍대비교로부터 얻은 수치 크기는 정방행렬의 상삼각부분에 적으며, 하삼각부분은 이의 역수를 넣는다. 그리고 행렬의 대각선은 1이 된다.

표 4. 두 번째 계층의 쌍대비교행렬

대조군 항목	대기환경 분야	수환경 분야	토지환경 분야	자연생태 환경분야	생활환경 분야
대기환경분야	1	( )	( )	( )	( )
수환경분야	-	1	( )	( )	( )
토지환경분야	-	-	1	( )	( )
자연생태환경분야	-	-	-	1	( )
생활환경분야	-	-	-	-	1

(3) 가중치 계산 및 일관성 검증

각 평가요소에 대한 쌍대비교가 끝나면 각 행렬에 해당하는 쌍대비교를 상대적 가중치로 전환하여야 하는데, AHP기법에서는 평가항목의 선호도를 비율로 나타내는 비율척도로 평가하기 때문에 기하평균을 이용하여 가중치를 계산한다.

쌍대비교로부터 구한 수치는 2개 항목만의 가치를 비교하였기 때문에 전체적으로 일관성을 유지하고 있는지에 대하여 조사하여야 한다. 행렬이 완전한 일관성을 갖는 경우 이 값은 0이 되고, 수치가 높을수록 일관성이 없다고 판정한다.

분석 결과, 모든 조사영역에서 일관성지수(CI)가 0.1보다 낮게 나와 유효한 결과를 보였다. 표 5와 표 6은 평가영역별 가중치와 일관성지수를 보여준다.

표 5. 평가영역별 가중치(두 번째 수준)

구 분	가중치	우선순위	일관성지수
대기환경분야	0.187	2	0.0097 ( 0.1
수환경분야	0.103	5	
토지환경분야	0.357	1	
자연생태환경분야	0.185	3	
생활환경분야	0.168	4	

(4) 최종 중요도 산정

전체 5개 분야, 14개 항목별로 최종 중요도를 산정하면 표 7과 같다. 표 5와 표 6의 중요도는 그 단계에서의 중요도만을 분석한 내용이고, 표 7의 중요도는 그 전 단계의 중요도를 고려한 값이다.

두 번째 수준인 5개 분야에서는 다른 분야에 비해 토지환경분야의 중요도가 가장 높다. 이는 토지환경분야에는 재해발생 가능성 항목에 대한 중요도가 다른 항목에 비해 가장 높고 녹지 및

표 6. 평가영역별 가중치(세 번째 수준)

구 분		가중치	우선순위	일관성지수
대기	운영시 대기오염물질에 따른 대기질 오염	0.539	1	0.0000 <0.1
	주변지역의 악취 유발원으로 인한 악취발생	0.461	2	
수	오수 및 하수 처리의 어려움	0.402	2	0.0000 <0.1
	홍수피해 가능성	0.598	1	
토지	녹지지역의 훼손도 및 녹지확보의 어려움	0.236	2	0.0212 <0.1
	절토사면 등으로 인한 지형훼손	0.139	4	
	연약지반 처리 등 추가토사확보로 인한 환경훼손	0.141	3	
	지반붕괴, 지진 등 재해발생 가능성	0.484	1	
자연 생태 환경	하천보전의 어려움	0.384	2	0.0000 <0.1
	자연식생, 임상양호지역, 습지지역, 노거수, 조수보 호구, 동물, 문화재, 화석 등의 훼손	0.616	1	
생활	운영시 발생하는 생활폐기물 처리의 어려움	0.200	3	0.0119 <0.1
	운영시 소음 방지 대책 수립의 어려움	0.317	1	
	인접지역 용도와의 상충성	0.303	2	

표 7. 분야별, 항목별 최종 중요도

분야	2계층		3계층		
	중요도	우선순위	항목	중요도	우선순위
대기환경	0.187	2	대기질	0.101	3
			악취	0.086	4
수환경	0.103	5	오수하수	0.041	12
			홍수	0.062	7
토지환경	0.357	1	녹지훼손	0.084	5
			지형훼손	0.049	11
			토사낭비	0.051	10
			재해	0.173	1
자연생태 환경	0.185	3	하천보전	0.071	6
			생태훼손	0.114	2
생활환경	0.168	4	폐기물	0.034	13
			소음발생	0.053	8
			용도상충	0.051	9
			전파장애	0.030	14

지형이 훼손되면 복원이 어렵기 때문에 그만큼 중요한 것으로 판단된다.

대기환경분야에서는 악취보다 대기질 항목이 다소 중요하고, 수환경분야에서는 오수 및 하수처리보다는 홍수로 인한 피해가 더 중요함을 알 수 있다. 반면 토지환경분야에서는 다른 항목보다 재해발생 가능성의 중요도가 현저히 높은 점으로 미루어 보아, 주거 목적의 택지개발사업에서 거주민의 안전이 우선임을 알 수 있다. 자연환경분야에서는 하천을 자연형 생태하천으로 보전하는 것보다 보전가치가 높은 생태계에 더 큰 비중을 두고 있으며, 생활환경분야에서는 폐기물의 처리나 전파장애보다는 소음발생과 주변지역과의 용도상충을 비슷한 정도로 더 중요하게 전문가들이 판단하고 있다.

14개 항목 중요도는 재해발생, 생태훼손, 대기질 오염, 악취발생, 녹지훼손, 하천보전, 홍수발생 가능성 등의 순으로 나타났다.

#### 4.4 환경친화적 대안평가모형

4.2절과 4.3절에서는 본 논문에서 제시하려는 평가모형을 구성하는 중요한 개념인 퍼지추론과 AHP기법을 설명하였다. 본 절에서는 이러한 개념을 평가모형에 적용한 이유와 개념 및 절차를 기술하였다.

택지개발사업의 환경친화적 대안평가모형에서 대안을 선정하는 절차는 다음과 같으며, 아래에서 각 단계별로 보다 상세하게 살펴보았다.

1단계에서 각 항목별로 환경점수(환경훼손도)를 입력한다. 2단계에서 입력된 점수를 퍼지추론에 의해 환경성능(EP)으로 환산한다. 3단계에서 환경성능 점수에 미리 계산한 항목별 가중치를 곱하여 항목값을 산출한다. 4단계에서 항목값을 분야별로 합산한다. 5단계에서 분야별로 합산된 항목값 합계에 분야별 가중치를 곱해 분야값을 산출한다. 6단계에서 5개의 분야값을 합산하여 통합환경성능(TEP) 점수를 구한다. 7단계에서 통합환경성능(TEP) 점수를 비교하여 가장 높은 값을 대안으로 선정한다.

##### (1) 14개 환경평가요인별 환경점수 입력

선행연구에서 도출한 14개의 최종 환경평가요인별로 주어진 각 대안을 평가한다. 평가방식은 0.1부터 1.0까지 10점척도법에 의한다. 대기환경분야의 첫 번째 평가요인인 “운영시 대기오염 물질(난방 및 취사, 차량 등)에 따른 대기질 오염”의 예를 들면, 택지개발사업이 완료되고 택지가 공급된 후 주거단지 등이 들어섰을 때 거주자들이 난방, 취사 등으로 대기에 영향을 많이 주면 1.0에 가까운 점수를 부여할 수 있다. 반대로 청정연료를 사용하거나 오염원이 적을 경우에는 0.1에 근접하게 평가하는 것이다.

여기서 높은 점수가 의미하는 바는 환경에 영향을 많이 주거나 오염도가 높고 환경보전이 어려운 경우, 즉, 환경훼손도가 큰 것이다. 점수가 높다는 것은 환경성능(EP)과 반대되는 개념이다. 따라서 환경점수(환경훼손도)를 환경성능(EP)으로 치환하는 절차가 필요하다.

##### (2) 퍼지추론에 의한 환경성능(EP) 환산

앞서 산출한 환경점수는 높은 점수의 대안을 최종안으로 선택하기 위하여 환경성능(EP)으로 변환되어야 한다. 어떠한 정량적인 방식으로 각 환경평가요인별 점수를 부여하더라도 환경이라는 개념 자체에 내재되어 있는 정성적인 측면을 모두 정량화

할 수는 없다. 예를 들어 토지환경분야의 “녹지지역의 훼손도 및 녹지확보의 어려움”은 개발 후 녹지등급의 변화를 수치적으로 나타내어 점수화할 수 있어 비교적 정량적인 평가가 가능하다. 하지만 토지환경분야의 “지반붕괴, 지진 등 재해발생 가능성”은 정량화가 곤란하다.

본 연구에서는 기존 연구에서 정성적인 사회현상들을 정량화 하는데 효과가 있다고 판명된 퍼지추론을 사용해 환경훼손도를 환경성능(EP)으로 변환하였다. 변환방식은 4.2절에 기술하였으며, 퍼지추론에 의해 변환된 환경성능(EP)은 항목별 중요도를 반영하여 종합하게 된다.

##### (3) 항목값 산출 및 분야별 합산

환경성능(EP)에 항목별 가중치를 곱하여 항목값을 산출하는 단계이다. 도출한 환경평가요인은 각 요인마다 고유의 중요도가 있다. 앞서 산출한 환경점수와 환경성능(EP)이 개별 택지개발사업의 점수라면, 14개 평가요인의 중요도는 각각의 택지개발사업에 관계없이 환경평가요인 자체의 중요도이다.

만일 각 평가요인의 중요도를 고려하지 않고 환경성능(EP)만을 합산하여 대안을 선정한다면, 14개의 모든 환경평가요인의 중요도가 모두 동일한 비중을 가지고 있다고 생각하는 것이다. 하지만 4.3절에서 AHP기법에 의해 전문가의 견해를 분석한 결과 각 항목의 중요도는 모두 다르게 나타난다. 따라서 의사결정자가 선택한 점수에 전문가의 의견을 반영하여 항목값을 산출하였다. 이것이 의미하는 바는 환경분야에 대한 전문지식이 없는 사업시행자와 의사결정자가 대안을 평가하는 과정에서 발생할 수 있는 점수의 편차를 전문가가 도출한 가중치로 보정하는 것이다.

항목값을 산출하는 단계를 표 8에서 살펴보면, (A)와 (B)를 곱해서 (C)를 도출하는 과정으로 요약할 수 있다. 또한 (C)는 각 분야별로 합산하여 (D)를 산출한다.

표 8. 통합환경성능(TEP) 산정 매트릭스 예시

분야	항목	환경 성능 (A)	항목 중요도 (B)	항목값 (C=A×B)	항목값 합계 (D=∑C)	분야 중요도 (E)	분야값 (F=D×E)	통합 환경성능 (G=∑F)
A	A1	0.700	0.539	0.377	0.468	0.187	0.087	
	A2	0.196	0.461	0.090				

##### (4) 항목값을 분야값으로 전역화 후, 통합환경성능(TEP) 산정

여기서는 분야별로 합산된 항목값 합계(D)에 분야별 가중치(E)를 곱하여 분야값(F)을 산출한다. 이것은 의사결정자가 부여





그림 7. 환경친화적 택지개발사업 대안 평가 절차 예시

한 환경성능(EP)에 환경전문가가 제시한 14개 환경평가요인별 중요도를 종합하는 과정과 유사하다. 각 평가요인별로 고유의 중요도가 있듯이 본 연구에서 제시한 5개 평가분야 또한 각각의 가중치가 다르다. 따라서 한번 더 환경전문가의 의견으로 각 대안의 평가를 보완해주는 의미가 있다. 5개의 분야값(F)을 합산하여 통합환경성능(TEP) 점수를 구한다. 이 최종점수가 가장 높은 대안이 환경친화적 택지개발사업의 최종 대안으로 선정된다.

(5) 대안선정 평가시트 개발

환경성능(EP) 값을 구하고 가중치를 산정하였으면 이를 종합하여 각 대안별로 전체 점수를 산정해야 한다. 본 연구에서는 환경친화적 택지개발사업 대안 평가를 도식적으로 제시하기 위하여 1986년 CII Design Task Force에서 개발한 설계효과매트릭스 형식을 사용하였다. 이 매트릭스는 설계행위(design performance)와 관련된 각각의 요인별로 점수를 산정하여 설계행위의 효과를 평가하는 틀로서, 정성적인 행위의 효과를 정량적으로 측정 가능하다는 측면에서 검증되었다(김지혜 등 2006).

이와 같은 장점을 고려하면, 이 매트릭스를 택지개발사업의 환경친화적인 수행을 위한 대안 선정을 예시하는 틀로 활용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

그림 7은 이 매트릭스를 활용하여 두 개의 가상 대안을 예시적으로 평가한 것이다. 의사결정자가 두 대안을 서로 비교하여 평가하기 용이하도록 본래의 매트릭스를 약간 변형하였다. 이렇게 할 경우의 장점은 시각적으로 두 대안의 우위를 가리기가 수월하다는 것이다. 본 매트릭스는 향후 전산 프로그램으로 구현할 때 같은 프레임워크로 사용할 수 있을 것이다. 전체 평가 결과의 예시는 표 9와 표 10에 나타내었다.

표 9. 통합환경성능(TEP) 산정 매트릭스(대안 1) 예시

분야	항목	환경성능(A)	항목중요도(B)	항목값(C=A×B)	항목값합계(D=ΣC)	분야중요도(E)	분야값(F=D×E)	통합환경성능(G=ΣF)
A	A1	0.700	0.539	0.377	0.468	0.187	0.087	0.511
	A2	0.196	0.461	0.090				
B	B1	0.300	0.402	0.121	0.464	0.103	0.048	
	B2	0.574	0.598	0.343				
C	C1	0.574	0.236	0.135	0.558	0.357	0.199	
	C2	0.300	0.139	0.042				
	C3	0.300	0.141	0.042				
	C4	0.700	0.484	0.339				
D	D1	0.574	0.384	0.220	0.574	0.185	0.106	
	D2	0.574	0.616	0.354				
E	E1	0.404	0.200	0.081	0.416	0.168	0.070	
	E2	0.700	0.317	0.222				
	E3	0.196	0.303	0.059				
	E4	0.300	0.180	0.054				

표 10. 통합환경성능(TEP) 산정 매트릭스(대안 II) 예시

분야	항목	환경 성능 (A)	항목 중요도 (B)	항목값 (C=A×B)	항목값 합계 (D=ΣC)	분야 중요도 (E)	분야값 (F=D×E)	종합 환경성능 (G=ΣF)
A	A1	0.404	0.539	0.218	0.308	0.187	0.058	0.364
	A2	0.196	0.461	0.090				
B	B1	0.300	0.402	0.121	0.300	0.103	0.031	
	B2	0.300	0.598	0.179				
C	C1	0.404	0.236	0.095	0.360	0.357	0.129	
	C2	0.196	0.139	0.027				
	C3	0.300	0.141	0.042				
	C4	0.404	0.484	0.196				
D	D1	0.300	0.384	0.115	0.469	0.185	0.087	
	D2	0.574	0.616	0.354				
E	E1	0.574	0.200	0.115	0.356	0.168	0.060	
	E2	0.404	0.317	0.128				
	E3	0.196	0.303	0.059				
	E4	0.300	0.180	0.054				

### 5. 결론

이 연구는 무분별한 택지개발을 환경친화적으로 수행할 수 있도록 초기 입지선정단계에서 활용할 수 있는 택지개발사업의 환경친화적 대안평가모형을 구축하는 것이다.

평가모형은 선행연구에서 선정한 환경평가요인을 환경성능(EP) 인자로 변환하는데 퍼지추론을, 환경성능(EP) 인자의 가중치를 산정하는데 AHP기법을 사용하였으며, 이를 종합하는 과정에서는 1986년 CII Design Task Force에서 개발한 설계효과 매트릭스를 적용하였다.

환경성능(EP)은 환경훼손에 영향을 주는 정도에 대하여 모호함을 표현할 수 있는 퍼지집합 이론을 사용하여 언어변수로 나타내고 이 값을 퍼지논리 규칙을 바탕으로 한 퍼지추론을 실시한 후 이를 비퍼지화하여 정량화된 값으로 산정할 수 있도록 하였다.

환경평가요인의 가중치 산정은 주관적 평가에 적합한 AHP기법을 이용하였다. 환경평가요인의 중요도를 산정하기 위하여 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문에 참여한 전문가는 현재 한국환경정책·평가연구원에서 택지개발사업의 사전환경성검토와 환경영향평가를 담당하고 있는 7인으로 하였다.

이렇게 구축한 평가모형은 (1) 각 항목별 환경점수(환경훼손도) 입력, (2) 입력된 점수를 퍼지추론에 의해 환경성능(EP)으로 환산, (3) 환경성능 점수에 미리 계산한 항목별 가중치를 곱하여 항목값 산출, (4) 항목값을 분야별로 합산, (5) 분야별로 합산된 항목값 합계에 분야별 가중치를 곱하여 분야값 산출, (6) 5개의 분야값을 합산하여 통합환경성능(TEP) 점수 산정, (7) 통합환경

성능(TEP) 점수를 대안별로 비교하여 가장 높은 값을 대안으로 선정하는 절차를 거친다.

여기에서 제시한 대안평가모형은 택지개발사업계획을 수립하려는 실무자나 의사결정자들이 해당 사업의 환경적인 측면에서 가장 좋은 대안지역을 선택할 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구에서는 본 연구에서 제시한 모형을 사용자가 활용하기 편리하도록 전산시스템으로 개발할 필요가 있으며 평가모형이 타당한지를 판단할 수 있도록 실제 사례에 적용하여 타당성을 검증해야 할 것이다.

### 참고문헌

- 고대홍 (2003). 택지개발 사전환경성검토의 환경성평가항목 개선에 관한 연구. 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문.
- 김영민 (2002). 철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가. 서울대학교대학원 건축학과 박사학위논문.
- 김지혜, 김재문, 차희성, 신동우 (2006). 건설현장의 폐기물 관리행위 평가 틀 개발 : 1단계-폐기물 관리행위 요인 및 평가 틀 개념 구축. 한국건설관리학회논문집, 제7권 제6호, 한국건설관리학회, pp. 112-120.
- 정인수 (2007). 퍼지추론과 AHP기법을 이용한 택지개발사업의 환경친화적 대안평가 방법론. 인천대학교대학원 건축공학과 박사학위논문.
- 정인수, 이찬식 (2008). 국내 택지개발사업의 입지선정단계에서 고려해야 할 환경평가요인, 대한건축학회논문집 계획계, v24, n8, 대한건축학회.
- 황지선, 이찬식 (2004). 퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법. 한국건설관리학회논문집, 제5권 제2호, 한국건설관리학회, pp. 136-143.
- 국가청렴위원회 (2007). 공공택지 개발사업의 공정성·투명성 제고방안.
- CII (1986). Evaluation of Design Effectiveness, The Construction Industry Institute(USA).
- Jung, I. S., Choi, J. G., and Lee, C. S. (2007). Establishment of an Assessment System for Environment-friendly Performance of Residential Land Development Project. 27th Annual Conference International Association for Impact Assessment, p. 57.

10. Jung, I. S., Park, H. S., and Lee, C. S. (2007). Checklist for Environmental friendly Construction Management in Design Phase. 2nd International Conference on CE&M, 1-2 MAR 2007, p. 84.
11. Klir, G. J. and Folger, T. A. (1988). Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
12. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill.
13. Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I.. Inf. Sci. (N.Y.), 8, pp. 199-249.

논문제출일: 2008.08.18

심사완료일: 2008.09.16

---

### Abstract

Residential land development projects are tending upwards recently. However, an indiscreet residential land development has tended to damage environment by destroying existing green lands and trees of target lands and generating many cut slopes with transformation of its topography. There are Prior Environmental Review(PER) for district designation and Environmental Impact Assessment(EIA) before approval on development plans. PER is implemented after developing a residential land development plan and EIA is implemented after completing a detail design. As the result, many of residential land development projects are passive to reduce potential environmental problems on the designated sites. Object of this study is to construct an evaluation system on alternatives in the early step of site designation for implementing residential land development projects with environment-friendly and sustainable way. For this, alternative evaluation model is constructed by using Fuzzy Inference and Analytic Hierarchy Process(AHP) method based on Environmental Evaluation Factors of residential land development project, which are proposed in the precedent research. If a decision maker evaluates environment damage by ten-point method, the point is transformed Environmental Performance(EP) by Fuzzy Inference, and then, applying weight that is already calculated by AHP method, Total Environmental Performance(TEP) is calculated. After all, an alternative with the highest TEP is selected as the best one. Using this evaluation system, more than two alternatives of residential land development project site, which can hold location appropriateness in the early under undecided land use plan, can be evaluated quantitatively. As environmental damages, which can be generated by implementing a residential land development project, can be detected in the early step, environmental damages can be removed or reduced at the source.

Keywords : Residential land development project, Environment-friendly, Fuzzy Inference, AHP method, Environmental Performance

---