

친환경 도로노선선정을 위한 환경성 평가항목등급 및 지표선정에 관한 연구

A study on the Alignment of Environmental Impact Factor and Grade for Environmental Friendly Road Line

최한나*, 이상은**, 강호근***, 최유경****, 박미란****,

Choi Han Na, Lee Sang Eun, Kang Ho Geun, Choi Yu Kyeong, Park Mi Ran

1. 연구의 배경 및 목적

도로건설사업은 선형의 개발 사업으로 지형훼손, 동·식물 서식지 훼손 등 환경에 미치는 영향이 광범위하다. 현재 이러한 환경영향을 최소화하려는 노력은 환경영향평가를 통한 사후 저감대책 마련을 중심으로 이루어지고 있으며, 노선선정 단계에서부터 환경성을 고려하는 사전 예방적 차원의 접근에는 한계를 보인다. 경제성, 기능성 등을 우선시한 도로노선 선정은 근본적으로 친환경적 도로건설을 유도해낼 수 없으며, 노선선정 단계에서 다른 기초적인 요소와 함께 환경적 측면이 중요하게 고려될 필요성이 높게 제기되고 있다.

따라서 도로노선 설계자들이 노선선정 단계에서 환경성을 평가할 수 있도록, 평가항목 및 항목별 평가지표를 추출하고, 최종적으로 이를 정량화하여 노선선정 프로그램에 통합될 수 있는 방안을 마련해야 한다. 이를 위해 우선적으로 본 연구에서는 친환경적 도로노선 선정을 위한 타당성 있는 평가항목과 지표를 설정하고 그에 따른 가중치를 도출하고자 하였다.

2. 연구방법

도로건설 사업으로 인해 환경훼손을 가져오는 요인에 관한 분석을 바탕으로 영향범주를 구체화 시킨 후, 이에 관한 다양한 등급화 사례 및 법적 규제에 관한 문헌조사를 수행하였다. 노선선정 프로그램과의 통합을 위해 생태자연도 등의 GIS로 구축된 자료를 지표로서 최대한 이용하고자 하였으며, 적절한 자료가 없는 경우에는 별도의 지표설정 방안을 제시하였다.

정량화 모델로는 계층화분석과정(AHP)을 선택하였다. 계층화분석과정(AHP)은 다기준의사결정법 중에서 가장 널리 쓰이는 방법으로 전 과정을 다수의 계층으로 설계한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 서로 비교하는 쌍대비교를 통해 의사를 체계적이고 쉽게 분석할 수 있다. 이를 위해서는 목적 및 속성들을 구조화하는 단계에서 타당성을 지녀야 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 도로건설 사업의 특성과 연구의 목적에 근거하여 다양한 영향요인을 규명하고, 요인들 간의 연결고리와 영향관계를 파악하는 작업을 바탕으로 평가항목 및 지표를 선정·개발하였고, 이를 체계적으로 구조화 시켰다. 또한 이를 이용하여 가중치 부여(weighting) 등의 과정을 거쳐 환경성 평가 모델로서 도로노선 선정 프로그램에 통합될 것이다.

최종적 결과물인 친환경 도로노선 선정 프로그램은 입력되는 GIS 데이터를 5m×5m의 격자(raster, grid,

* 아주대학교 수원발전연구센터 책임연구원, 공학박사 (031-219-1733)

** 아주대학교 환경건설교통공학부 교수, 공학박사 (031-219-2401)

*** 아주대학교 환경공학과 박사과정 (031-219-2408)

**** 아주대학교 환경공학과 석사과정 (031-219-2408)

cell)로 전환하여 부여된 가중치에 따라 주제도를 중첩시켜 분석을 수행하게 된다. 이 과정을 통해 본 연구에서 설정된 평가항목 및 평가지표는 단위 격자당 환경성 정보로 수치화되게 되며, 최적의 친환경 도로노선을 선정하는 기준으로 활용된다.

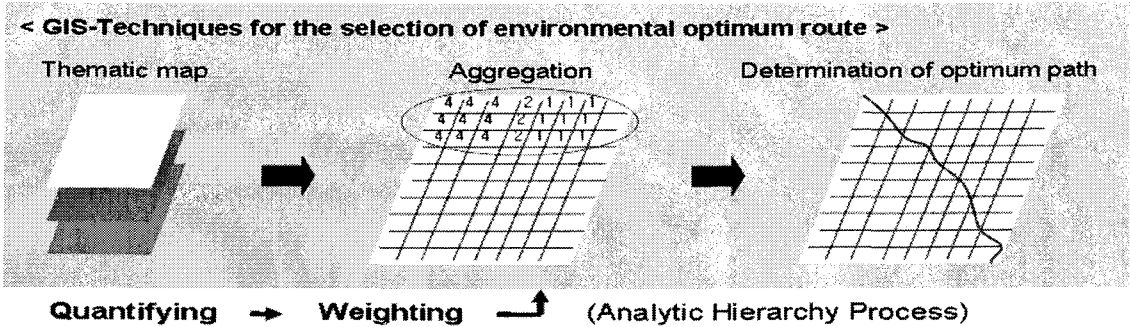


그림 1. GIS와 AHP를 연계한 친환경적 도로노선 선정기법

3. 연구결과

3.1 평가항목 및 지표의 구조화

본 연구에서는 도로건설과 관련된 환경영향을 고려하여, 자연환경과 생활환경으로 나누어 평가항목을 선정하였다. 자연환경은 동·식물, 지형·지질의 두 가지 항목으로, 생활환경은 대기질, 수질, 소음·진동의 3가지 항목으로 각각 구체화 시켰으며, 이는 향후 AHP기법을 적용하여 가중치를 부여하는 평가단위로 삼았다.

평가지표는 도로건설사업으로 인해 영향을 받는 환경 수용체의 환경용량과 관련한 '자연자원스톡'과 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 삶의 질 측면을 고려한 '환경질 수준'의 두 가지 영역으로 구분하여 설정하였다. 이는 향후 가중치 부여에서 개념상 다소 상이한 지표들이 같은 가중치를 갖게 되는 문제점을 보완하기 위해 고려되었다. 또한 환경이 지니는 가치가 다소 상대적이고 시대에 따라 유동적이므로, 향후 본 연구의 프로그램이 운영될 시점의 사회적 가치를 반영하기 위한 측면에서도 의미가 있을 것으로 판단하였다.

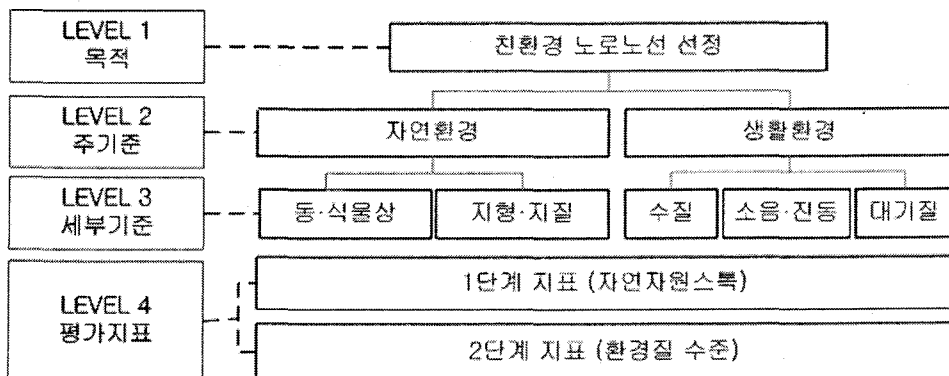


그림 2. 평가항목 및 지표의 구조화(structuring) 체계

3.2 항목별 평가지표의 선정 및 등급화

평가지표는 우선 각 항목별로 관련된 법적 규제를 검토하여 법적 기준으로 삼았으며, 관련 GIS 자료 및 문헌 조사를 바탕으로 본 연구의 목적에 부합되는 환경적 기준을 선정·개발하였다.



AHP에 관한 Miller(1956)의 연구결과에 따르면, 비교대상이 (7±2)개를 초과하는 경우 평가자의 심리적 요인에 의해 비교의 일관성을 유지하기 어렵다고 한다. 따라서 모든 지표를 비교하여 가중치를 부여하는 것은 평가의 신뢰도를 떨어뜨릴 위험이 있고, 다소 소모적이라는 판단 하에 본 연구에서는 개별 평가지표들을 3등급 체계로 분류하였다. 각 등급의 분류기준은 다음 표 1에서 정리하였고, 이렇게 분류된 등급을 평가지표의 가중치 부여 기준으로 삼았다.

표 1. 평가지표 등급화의 기준

평가지표의 등급	등급화 기준
I	i) 절대보전의 가치가 있는 것 ii) 훼손·피해의 정도가 매우 크게 예측되는 것 iii) 영향에 대한 저감방안이 사실상 존재하지 않는 것
II	i) I 등급 가치에 영향을 미치는 등의 상대보전의 가치가 높은 것 ii) 훼손·피해의 정도가 다소 크게 예측되는 것 iii) 원상복구는 어려우나 영향을 최소화 할 저감방안은 존재하는 것
III	i) 보전의 가치는 있으나 상대보전의 가치가 높지 않은 것 ii) 훼손·피해가 발생하나 현 상태에 비해 정도가 크지 않은 것 iii) 원상복구에 상응하는 수준의 저감방안이 존재하는 것

1) 동·식물상

표 2. 동·식물상 평가지표 및 등급화

평가지표	구분	자연자원스톡			환경질수준		
		I	II	III	I	II	III
자연환경보전법	생태·경관핵심보전구역	○					
	생태·경관완충보전구역	○					
	생태·경관(전이)보전구역		○				
	자연유보지역		○				
	시·도생태경관보전지역	○					
야생동식물보호법	야생동·식물특별보호구	○					
자연공원법	국립공원	자연보전지구	○				
		자연환경지구	○				
		취락지구		○			
		집단시설지구		○			
	도립공원	자연보전지구	○				
		자연환경지구	○				
		취락지구		○			
		집단시설지구		○			
	군립공원	자연보전지구	○				
		자연환경지구	○				
		취락지구		○			
		집단시설지구		○			
산림법	산림유전자원보호림	○					
	보안림	○					
문화재보호법	천연기념물지정지역	○					
	천연보호구역	○					
습지보전법	습지지역	○					
	습지구변관리지역		○				
	습지개선지역		○				



표 2. 계속

평 가 지 표	구 분		자연자원스톡			환경질수준		
			I	II	III	I	II	III
생태자연도	식생	1등급	○					
		2등급		○				
	위귀종·멸종 위기종 발견지점	500m이내	○					
		1km이내		○				
	생물다양성	1등급	○					
2등급			○					
녹지자연도	8등급		○					
	7등급			○				
	6등급				○			
임상도	영급	4영급	○					
		3영급		○				
		2영급			○			

2) 지형·지질

표 3. 지형·지질 평가지표 및 등급화

평 가 지 표	구 분		자연자원스톡			환경질수준		
			I	II	III	I	II	III
보존가치가 있는 지형·지질	*		○					
경사도	20% 이상		○					
	15~20%			○				
	10~15%				○			
표고	7부 능선 이상		○					
	6부 능선 이상			○				
	5부 능선 이상				○			
산사태 위험도**	1등급		○					
	2등급			○				

3) 소음·진동

표 4. 소음·진동 평가지표 및 등급화

평 가 지 표	구 분		자연자원스톡			환경질수준		
			I	II	III	I	II	III
정운을 요하는 시설***	50m 이내					○		
주거 지역	전용주거지역						○	
	일반주거지역						○	
	준주거지역							○
취락(지구)	10호/ha 이상						○	
	10호/ha 미만							○

* 「보존가치가 있는 지형·지질의 대상 설정에 관한 연구(KEI, 2003)」의 연구결과를 따름

** 산림청의 산사태 위험도 등급을 따름

*** 교육시설(학교), 도서관, 복지시설, 의료시설, 종교시설, 축산시설, 휴양지 등을 포함
(건축법 제8조제1항에 의거 부지경계선으로부터 50m이내를 영향범위로 설정함)



4) 대기질

표 5. 대기질 평가지표 및 등급화

평 가지 표	구 분		자연자원스톡			환경질수준		
			I	II	III	I	II	III
배출량	경사도*	15~20°(경사지)				○		
		5~15°(완경사지)					○	
		5° 미만(평탄지)						○
확산인자	지형	내륙산지/계곡지형 (복잡산간지형)				○		
		임해지형 (복잡해안지형)					○	
		분지지형						○
	풍속**	2 m/s 이하				○		
		2~4 m/s					○	
		4 m/s 이상						○

5) 수질

표 6. 수질 평가지표 및 등급화

평 가지 표	구 분		자연자원스톡			환경질수준		
			I	II	III	I	II	III
환경정책기본법	팔당특별대책지역					○		
수도법	상수원보호구역					○		
	취수장(상수원보호구역 미고시 지역)						○	
	향후 상수원 이용예정지역						○	
4대강법	수변구역					○		
하천법	하천구역						○	
	연안구역							○
소하천정비법	소하천구역						○	
수질환경보전법	지정호소					○		
	호소수질보전구역						○	
지하수법	지하수보전구역					○		
유역 불투수면 비율***	1~10 %					○		
	11~25 %						○	
	26% 이상							○

3.3 가중치 부여를 위한 설문조사

앞에서 설정한 계층도에 따라 평가기준에 대한 판단행렬 (Judgement Matrix) 을 작성하기 위해서는 평가기

* 경사도가 클수록 가속/감속 주행을 하므로 오염물질 배출량이 증가함을 근거로 설정함
 (「사전환경성검토 업무편람(환경부, 2004)」과 「개발제한구역 제도개선을 위한 환경평가기준연구 (건교부, 1999)」에서의 경사도 구분을 바탕으로 20° 이내의 경사도를 등급화)

** 풍향, 풍속, 대기안정도 등의 기상조건 중 가장 큰 영향을 미치는 풍속을 지표로 선정
 미국 EPA에 따른 풍속등급을 기준으로 등급화

*** Schueler(1994)의 연구에서의 불투수면을 근거로 하여 하천으로의 유출량, 수온, 수질, 하천형태, 생물적 다양성에 미치는 영향을 고려하여 등급화



준의 쌍대비교가 수행되어야 하며, 이를 위하여 본 연구에서는 국내 환경 및 도로관련 전문가들의 설문을 수행하였다.

설문배포 및 응답현황은 표 7과 같으며 회수된 45부에 대해 개개인별로 일관성비율 (Consistency Ratio) 을 계산하였고, 일관성 비율이 0.1이하인 응답자는 가중치 산출 표본에서 제외시켰다.

표 7. 설문응답 현황

전문가 그룹	응답자 수	표본 응답자수 (C.R>0.1)
환경 및 도시계획 전문가	22	16
도로 전문가	8	8
환경 공무원	10	2
도로 공무원	5	0
계	45	26

설문지는 Saaty의 9점 척도를 이용하여 평가하도록 하였으며 그룹평가자료의 종합방법으로는 기하평균법을 이용하였다. 기하평균법에 의해 계산된 종합판단행렬을 바탕으로 고유치 방법(Eigenvalue Method)에 의해 평가 기준들의 가중치를 계산한 결과는 다음 표 8과 같다.

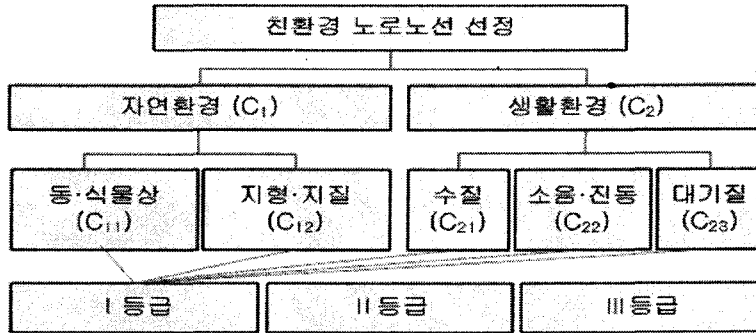


그림 3. 가중치 부여를 위한 의사결정 계층도

표 8. 가중치 계산결과

의사결정의 목표 (Level 1)	주기준 (Level 2)	세부기준 (Level 3)	평가지표의 등급		
			I	II	III
친환경 도로노선 선정	C ₁ = 0.647	C ₁₁ = 0.298	0.662	0.245	0.093
		C ₁₂ = 0.702	0.681	0.238	0.081
	C ₂ = 0.353	C ₂₁ = 0.221	0.667	0.240	0.093
		C ₂₂ = 0.204	0.622	0.265	0.113
		C ₂₃ = 0.575	0.702	0.216	0.082

각 계층별 가중치를 바탕으로 평가지표의 등급별 최종 가중치를 아래와 같이 종합하였다. 동·식물상 항목의 상대적 중요도가 타 항목에 비해 높게 평가되었으며, 동식물상 1등급 > 소음·진동 1등급 > 지형·지질 1등급의 순으로 상대적으로 높은 가중치를 보였다.



표 9. 최종 종합 가중치

구분		등급별 가중치		
		I 등급	II 등급	III 등급
자연환경	지형·지질	0.128	0.047	0.018
	동·식물상	0.309	0.108	0.037
생활환경	수질	0.052	0.019	0.007
	대기질	0.045	0.019	0.008
	소음·진동	0.142	0.044	0.017

4. 결 론

본 연구에서는 친환경도로노선 선정을 위하여 환경성을 정량적으로 평가하여 환경적으로 최적의 노선을 선정할 수 있는 기법을 개발하고자 하였고, 그에 따른 결과는 다음과 같다.

본 연구에서는 환경성을 정량화한 결과가 노선선정 프로그램 모듈개발에 유효하게 이용될 수 있도록, 방법론적 측면을 사전에 고찰하여 연구의 큰 틀을 설계하고 일관된 연구방향을 유지하고자 하였다. 이를 위해 문헌 조사를 수행한 결과, GIS와 AHP를 결합한 노선선정 기법을 본 연구의 목적에 부합되는 가장 적합한 방법론으로 판단하였다.

이에 따라 GIS의 이용을 염두에 두고, AHP의 절차에 따라 친환경 도로노선 선정을 위한 평가항목 및 지표를 선정하고 가중치를 설정하였다. 친환경 도로노선 선정을 목적으로 평가지표는 도로건설사업으로 인해 영향을 받는 환경 수용체의 환경용량과 관련한 '자연자원소통'과 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 삶의 질 측면을 고려한 '환경질 수준'의 두 가지 영역으로 구분하여 설정하였다. 이는 향후 가중치 부여에서 개념상 다소 상이한 지표들이 같은 가중치를 갖게 되는 문제점을 보완하기 위해 고려되었다. 또한 환경이 지니는 가치가 다소 상대적이고 시대에 따라 유동적이므로, 향후 본 연구의 프로그램이 운영될 시점의 사회적 가치를 반영하기 위한 측면에서도 의미가 있을 것으로 판단하였다. '자연자원소통'에서는 동식물상과 지형·지질의 세부항목을 설정하였다. 또한 '환경질 수준'에서는 수질, 소음·진동, 대기질의 세부항목을 설정하고 이를 종합하여 구조화 하였다. 최하위계층은 항목별로 평가지표를 설정하고 3등급 체계로 분류하였다.

이렇게 등급화 된 평가지표를 바탕으로 평가기준의 가중치 도출을 위해 환경 및 도로분야의 전문가를 대상으로 설문조사를 하였다. 유효한 설문지 26부를 표본으로 AHP의 고유치 방식으로 가중치를 계산하였으며 그 결과 동·식물상 항목의 상대적 중요도가 타 항목에 비해 높게 평가되었으며, 동식물상 1등급 > 소음·진동 1등급 > 지형·지질 1등급의 순으로 상대적으로 높은 가중치를 보였다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2002 "환경친화적인 도로설계기법 연구" 건설교통부
2. 노태호, 2005 "노선선정에서 계층분석과정을 이용한 GIS의 적용", 한국지리정보학회지 Vol.8, No.2 pp.55~67
3. 이형석, 2000 "노선선정 최적화를 위한 지형공간정보체계와 계층분석과정의 연계" 충남대학교 박사학위논문, 충남대학교



4. 양광식, "GIS기법을 활용한 환경친화적 도로시설 노선선정"
5. 최준규, 2005, "환경친화적 도로노선을 위한 환경성지표 선정 및 평가방향에 관한 연구" 환경정책, Vol. 13, No. 1
6. 한국환경정책 평가연구원, 2001, "토지의 환경성 평가기준에 관한 연구", 환경부
7. Marcio D' agosto, 2004 "Eco-efficiencymanagement program(EEMP)- a model for road fleet operation" Transportation Research Part D9 497~511