

계층분석법을 활용한 Green City 실증단지 구축을 위한 도시 선정모형 평가

*이 기학¹⁾, 문 상진²⁾, 문 길호³⁾, 류 홍우⁴⁾, 이 태원⁵⁾, **박 종포⁶⁾,
최 진혁⁷⁾, 박 태성⁸⁾, 유 근배⁹⁾

An Evaluation on the Demonstration Site Selection for Green City Using AHP

Ki-Hak Lee, Sang-Jin Moon, Kil-Ho Moon, Hong-Woo Rhew, Tae-Won Lee, Jong-Po Park,
Jin-Hyeok Choi, Tae-Sung Park, Keun-Bae Yoo

Key words : Multiattribute Decision Making Technique(다요인 의사결정기법), Analytic Hierarchy Process(계층분석법), Pairwise comparison(쌍대비교), Demonstration Site Selection for Green City(Green City 실증단지), Priority vector(우선순위벡터)

Abstract : 수소를 기반으로 하는 신재생에너지의 생산, 관리 및 이용 시스템을 연계하여 운전하는 Green City 실증단지 구현을 위한 국내 도시 선정은 지자체별 이해관계와 지역발전계획에 따라 첨예한 논란을 수반할 소지가 있다. 입지 선정 절차상에서 예비후보지 선정과정이 형식적이거나 입지선정기준이 없어 입지선정을 위한 평가항목, 평가기준, 항목별 배점 등이 분석자의 의도에 따라 조정될 수 있는 문제점이 있다. 또한 각 지역에 대한 입지선정을 위한 기준이 있다 하더라도 추상적이거나 객관적이지 않은 기준이 많아 입지선정에 직접 적용하기 어렵고, 자연환경, 사회경제, 법제, 입지조건, 부하특성, 지자체 호응 등 인자들의 평가의 형평성이 결여될 수 있다. 이를 해결하기 위해 의사결정도구로 이용되는 계층분석법(AHP)을 입지선정절차에 적용하였다. 객관적인 정보가 제공 가능한 평가항목을 설정하고, 관련 전문가들의 설문조사를 통하여 주관적인 중요도 결과를 취합하였다. 이 결과를 계층분석법을 활용하여 평가항목별 가치를 측정하여 가중치를 부여하였고, Green City 실증단지 구현을 위한 후보도시의 순위를 제시하였다.

1. 서론

국제유가의 급격한 상승으로 인하여 화석연료를 사용하는 지역의 발전연료비의 증가 또한 심화되고 있고, 한정된 자원에 의한 유가의 지속적인 상승에 예상된다. 특히 국내 도시지역은 계통이 연계된 내륙지역과는 달리 지리적 특성상 전력이 연결되지 않은 곳이 많고, 10,000명 이하의 소규모 인구가 대부분이므로 계통 연계지역에서 적용되는 전원공급대안과는 다른 방안이 마련되어야 한다.^[1,2]

현재 도서 지역에서 주 전원으로 사용하고 있는 디젤발전시스템의 경우 환경문제를 유발시키며, 연료의 수송비용이 도서 지역의 발전단가를 높이고 있다. 따라서 독립전원시스템이 필요한 도서지역에서 신재생에너지를 이용한 복합발전 전력계통 운영과 탄소제로 시스템을 가진 Green City 실증단지를 구축할 필요가 있다. 또한 신재생에너지원에서 비롯된 전력 수요에 대한 공급의 불안정화에 대비하여 1차 에너지원으로 신재생에너지원인 풍력, 태양광 등을 이용하고, 에너지 저장 및 전달 매체로 2차 에너지인 수소를 사용한다. 따라서 신재생에너지로부터 생산된 전기를

-
- 1) 두산중공업 풍력기술팀
E-mail : ki_hak.lee@doosan.com
Tel : (042)712-2209 Fax : (042)712-2299
 - 2) 두산중공업 연료전지시스템개발팀
E-mail : sangjin.moon@doosan.com
Tel : (042)712-2170 Fax : (042)712-2299
 - 3) 두산중공업 미래사업기술개발센터
E-mail : kilho.moon@doosan.com
Tel : (042)712-2103 Fax : (042)712-2299
 - 4) 두산중공업 플랜트제어시스템개발팀
E-mail : hongwoo.rhew@doosan.com
Tel : (042)712-2214 Fax : (042)712-2230
 - 5) 두산중공업 연료전지개발센터
E-mail : taewon.lee@doosan.com
Tel : (042)712-2102 Fax : (042)712-2184
 - 6) 두산중공업 풍력기술팀
E-mail : jongpo.park@doosan.com
Tel : (042)712-2104 Fax : (042)712-2299
 - 7) 전력연구원 녹색성장연구소
E-mail : jhyeokchoi@kepri.re.kr
Tel : (042)865-7556 Fax : (042)865-7569
 - 8) 전력연구원 녹색성장연구소
E-mail : parkte@kepco.co.kr
Tel : (042)865-5312 Fax : (042)865-7569
 - 9) 전력연구원 원자력발전연구소
E-mail : kbyoo@kepri.re.kr
Tel : (042)865-5403 Fax : (042)865-7569

이용하여 수소를 생산 및 저장하고, 생산된 수소를 사용하여 연료전지에서 전력을 생산하여 계통에 공급하도록 한다. 이는 시스템 효율은 낮아지만 신재생에너지에서 생산된 전력을 활용하여 전력 부하에 공급하면서 전기품질을 확보할 수 있는 방안이 될 수 있다.

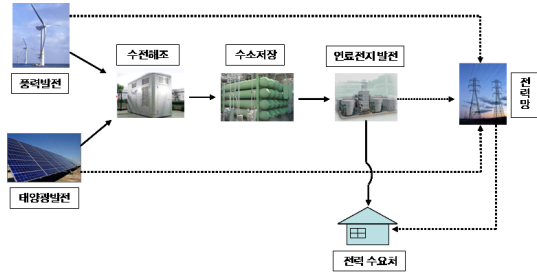


Fig. 1 Green City 실증단지(안)

이러한 Green City 실증단지 구현을 위한 도서 선정단계에서 입지선정을 위한 절차와 평가항목, 평가기준, 항목별 배점 등이 분석자의 의도에 따라 조정될 수 있고, 입지선정에 직접 적용하기 어려운 추상적이거나 객관적이지 않은 기준으로 인한 문제점이 있다. 또한 자연환경, 사회경제, 법제, 입지조건, 부하특성, 지자체 호응 등 전 분야의 인자들이 분석과정에 고르게 고려되지 않는 등 형평성이 결여될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 의사결정도구로 이용되는 계층분석법(Antalytic Hierarchy Process; AHP)을 입지선정 절차에 적용하여 객관적인 정보가 제공되는 평가항목을 설정하고, 관련전문가들의 설문조사를 통하여 주관적인 중요도 결과를 취합하였다. 이 결과를 계층분석법을 활용하여 평가항목별 가중치를 부여하였고, Green City 실증단지 구현을 위한 후보도서의 순위를 제시하였다.

2. 입지선정을 위한 평가대상

본 연구에서 수행한 Green City 실증단지 구현을 위한 도서 선정절차를 Fig. 2에서 나타내었다. 도서선정을 위한 평가항목은 A.일반사항, B. 부하특성, C. 자연조건, D. 입지조건, E. 경제적 조건, F. 지자체 호응의 큰 카테고리로 1차로 도출하였다. 여기에서 객관적인 검토기준을 지정할 수 없는 D. 입지조건과 F. 지자체 호응은 제외하고 기초자료 조사로서 객관적인 규격화와 점수화가 가능한 나머지 항목을 추출하여 2차 평가항목으로도 출하였다. D. 입지조건과 F. 지자체 호응과 관련된 평가항목은 2차 후보도서(5개 도서) 선정 후 관련지자체 대상 설명회와 공청회, 그리고 방문 조사를 통해 제시될 예정이다. 도서선정을 위한 자세한 평가항목은 Table 1에서 나타내었다.

Green City 실증단지 구축을 위한 1차 후보도서는 한전에서 관리되고 있는 49개 도서^[3]와 기상청의 자동기상관측시스템(Automatic Weather System: AWS)이 설치되어 기상자료^[4]를 보유중인 도서 중 교차되는 도서를 선정하였다. 이 중에서 평균전력량 순위에 따른 상위 16개 도서를 1차 후보도서군으로 추출하여 Green City 실증단지 구현을 위한 평가대상으로 선정하였다.

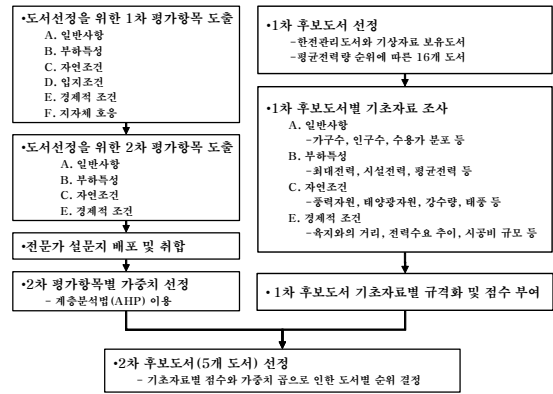


Fig. 2 후보도서 선정과정

Table 1 Green City 실증단지 구현을 위한 도서선정 평가항목 분류

대분류	평가항목		비고
	중분류	소분류	
A. 일반사항	A-1. 가구수	가구수(호)	적용
	A-2. 인구수	인구수(명)	적용
	A-3. 수용가 분포	배전설비공장(km)	적용
B. 부하특성	B-1. 시설용량	시설용량(kW)	적용
	B-2. 최대전력용량	최대전력용량(kW)	적용
	B-3. 부하량	평균전력(kW)	적용
	B-4. 전력수요	부하율(%) 이용률(%)	적용 제외
C. 자연조건	C-1. 풍력자원	년평균풍속(m/s)	제외
		풍향	제외
	C-2. 태양광자원	풍력에너지밀도(W/m ²)	적용
		일사량(MJ/m ²), 일조량(hr), 일수(≥80%)	적용 제외
C-3. 강수량 및 적설량	년평균강수량(mm) 년평균적설량(mm)	적용 제외	
C-4. 태풍	순간최대풍속(m/s)	적용	
D. 입지조건	D-1. 옥지와의 접근성	-	제외
	D-2. 제한적요소 (그린벨트, 환경보전, 군사보호지역 등)	-	제외
	D-3. 설치부지의 접근성 및 시공 용이성	-	제외
	D-4. 부지확보 용이성	-	제외
	D-5. 인허가 용이성 (거주민 수용의사)	-	제외
	D-6. 계통연계의 용이성	-	제외
	D-7. 승압 및 보호설비의 건설가능성	-	제외
E. 경제적 요소	E-1. 옥지와의 거리	최단거리 과 거리	여객터미널 적용
	E-2. 전력수요 추이	예비율(%) 최대전력증가율(%)	적용 제외
	E-3. 시공비 규모	발전단가(원/kWh)	적용
F. 지자체 호응	F-1. 지자체 참여의지 및 예산지원 규모	-	제외

3. 계층분석법(AHP)

AHP 모형^[5]은 미국의 Thomas L. Saaty 교수에 의해 1970년대에 제안된 다요인 의사결정기법(Multiattribute Decision Making Technique)의 한가지로서, 의사결정자가 복잡한 의사결정을 내릴 때 의사결정자의 목적을 정확히 파악하고, 문제와 관련이 있는 여러 요소들을 계층적으로 분해, 조정하여 문제의 전체구조를 명확하게 함으로써 의사결정자에게 최선의 선택을 할 수 있도록

Table 2 쌍대비교 기본 척도

중요도	정의	설명
1	비슷함 (equal important)	어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨.
3	약간 중요함 (moderate important)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 약간 선호됨.
5	중요함 (strong important)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 확실하게 선호됨.
7	매우 중요함 (very strong important)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 강하게 선호됨.
9	극히 중요함 (extreme important)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 극히 선호됨.
역수값	활동 i 가 j 에 대하여 위 특정값을 갖는다고 할 때, 활동 j 는 i 에 대하여 그 특정값의 역수 값을 갖는다.	

록 정보를 제공하는 방법이다. 의사결정에 참여하는 다수의 전문가들은 문제해결과정을 일목요연하게 볼 수 있고, 그 평가결과를 쉽게 이해할 수 있다. 또한 AHP는 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에 수치로 표현할 수 있는 정략적 평가기준은 물론 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 될 정성적 평가기준들도 비교적 쉽게 처리가 가능하다.

3.1 쌍대비교 및 가중치 산정

AHP는 상위계층에 있는 평가항목을 기준으로 하위계층에 있는 각 항목의 가중치를 측정하는 방식을 통하여 상위계층의 항목 하에서 각 하위 항목이 다른 하위항목에 비하여 우수한 정도를 나타내 주는 수치로 구성되는 쌍대비교행렬 (pairwise comparison matrix)을 작성하게 된다. 그리고 이 행렬로부터 고유치 방법 (eigenvalue method)을 이용하여 계층의 각 레벨마다 정규화한 하나의 우선순위벡터(priority vector)를 산출한다. AHP에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [6-8]을 참조하기 바란다.

AHP 과정의 핵심은 각 단계의 인자들 사이의 상대적 중요도를 결정하는 과정의 척도이다. 상대적 중요도는 동일한 단계의 두 개의 요소들을 상호 비교하는 쌍대비교에서 얻을 수 있으며, 본 연구에서 적용한 쌍대비교 척도의 범위는 Table 2와 같이 9점 척도이다. 즉 1에서 9까지의 수 또는 그 수들의 역수들로서 이루어진다.

3.2 일관성 지수

AHP는 의사결정자가 경험과 직관에 의해 주관적으로 측정하게 되는 요소도 평가에 고려하기 때문에 판단의 완전한 일관성을 기대하지는 않는다. AHP는 응답자들이 얼마나 일관된 사고를 하고 있는지에 대한 평가를 위한 일관성 지수 (Consistency Index: $C.I.$)를 구한다. 일관성 지수는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$C.I. \leq 10\%$ 이면 비교행렬의 적합도는 양호하며 해당 비교행렬은 신뢰성이 있다고 말할 수 있다. 그러나 평가항목의 수, n 이 크게 되면 $C.I.$ 의 값도 커지므로 그대로 일관성 판정에 이용하기 어려운 점이 있으므로 이를 보완한 일관성 비율 (Consistency Ratio: $C.R.$)이 이용된다. $C.R.$ 은 식 (2)와 같이 $C.I.$ 를 난수지수(Random Index: $R.I.$)로 나눈 값으로서, $R.I.$ 의 각 요소의 값을 랜덤하게 주어 발생하는 다수의 일대일 비교행렬 $C.I.$ 의 평균치이다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \times 100 [\%] \quad (2)$$

$C.R.$ 도 10% 이하이면 일관성이 있다고 규정하고 있지만, AHP 기법에 대한 이해도가 낮은 사람들을 대상으로 하는 경우에는 20%까지 허용 가능한 것으로 받아들일 수 있다.^[9]

$R.I.$ 는 1에서 9까지의 수치를 임의로 설정하여 역수행렬을 작성하고, 이 행렬의 평균 일관성 지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. n 이 1에서 14까지 변화할 때의 $R.I.$ 는 Table 3과 같다.

Table 3 난수지수(Random Index)

n	1	2	3	4	...	13	14
$R.I.$	0.00	0.00	0.58	0.90	...	1.56	1.57

3.3 그룹의사 종합방법

AHP는 평가에 가장 적합한 한명의 평가자를 가정하여 개발되었으나 이후 다수의 평가자 참여가 필요하게 되었다. 이때 AHP에서 가장 큰 문제가 되는 부분은 바로 AHP의 기본공리인 역수성을 만족시켜야 한다는 것이다. 본 연구에서는 AHP에서 그룹의 평가치를 종합하는 방법 중에서 평가자가 작성한 쌍대비교행렬의 각 원소에 대하여 전체 평가자의 평가치들을 기하평균하여 통합하고, 이를 원소로 하는 단일 쌍대비교행렬을 구성하는 수치통합방법을 이용하였다.

4. 분석 및 평가결과

본 연구에서 Green City 실증단지 후보도서 선정을 위한 세부평가항목의 수(n)은 총 14개이며, 평가대상은 총 16개 도서이다. Figure 3에서 구성된 AHP의 계층모형을 나타내었다.

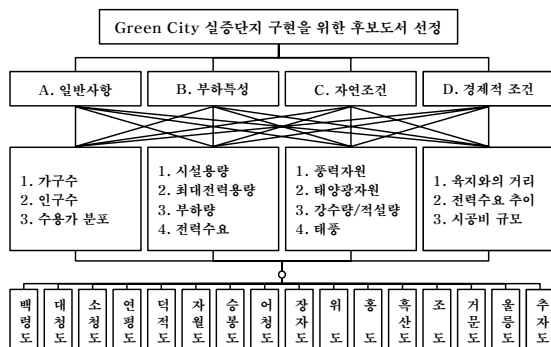


Fig. 3 Green City 실증단지 구현을 위한 후보도서 선정 AHP의 계층모형

평가항목에 대한 가중치 설문조사는 1차와 2차로 나누어 실시하였다. 1차 평가는 평가요소별

중요도를 부여하여 그 상대적인 차이로서 9점 척도를 부여하였고, 2차 평가는 AHP 9점 척도에 의한 쌍대비교평가를 실시하였다. 산학연 전문가 총 220명을 대상으로 실시한 설문조사에서 37매를 회수(회수율 16.82%)하였다. 회수된 AHP 설문평가서의 일관성비율을 조사한 결과 AHP 적용이 가능한 28매를 채택하여 AHP 분석을 실시하였다.

평가항목별 가중치 산출 결과 주로 자연조건과 부하특성에 관한 평가항목이 우선순위에 포함되었다. 세부순위는 풍력자원이 가장 높게 평가되었으며, 부하량, 태양광자원, 최대전력용량, 전력수요 등의 순서로 평가되었다.

도서 지역 전체를 대상으로 했기 때문에 풍력, 태양광자원 등의 자연조건이 다소 떨어지더라도 부하량과 인구수 등이 우세한 지역이 후보도시로서 선정될 가능성은 배제할 수 없다.

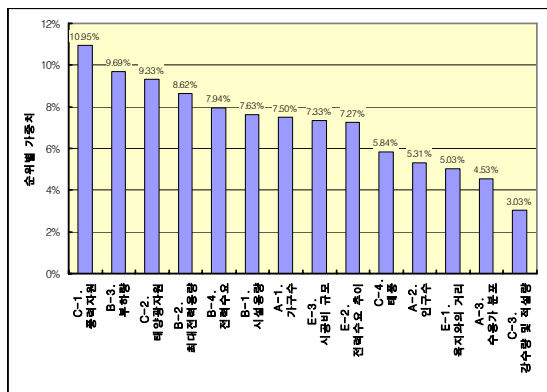


Fig. 4 AHP 분석에 의한 평가항목별 가중치 순위

Figure 5의 평가항목의 기초자료 중에서 부하특성은 한전 전력수급실적자료^[3]에서, 기상자료는 기상청^[4]에서 획득하여 점수화하였다.

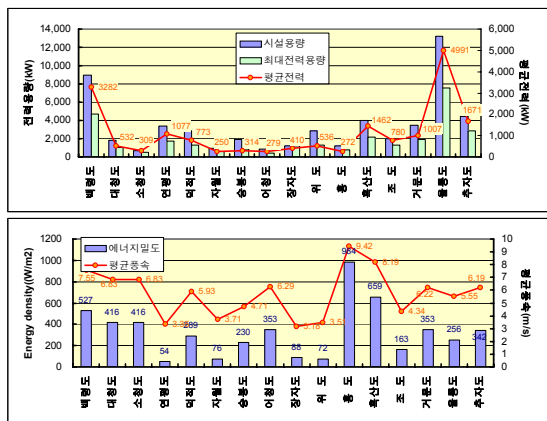


Fig. 5 평가항목별 기초자료 예시

평가항목별 가중치곱에 의한 Green City 실증단지 후보도시별 우선순위를 Fig. 6에서 나타내었다. 여기서 홍도는 1965년 섬 전체가 홍도천연보호구역으로 지정되었고, 백령도는 북한과 인접한 군사적으로 매우 중요한 곳으로서 선박 운항을 통제하며, 들어가려면 절차를 거쳐야 하는 해상교통의 취약지역이다. 따라서 백령도와 홍도를 제외한 우선순위 5개 도서는 울릉도, 흑산도, 추

지도, 조도, 거문도 순으로 후보도시가 선정되었다.

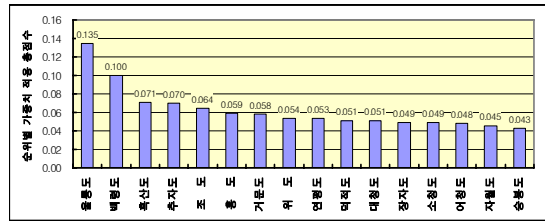


Fig. 6 후보도시별 우선순위

4. 결론

Green City 실증단지 구현을 위한 도서 선정과정에서 의사결정도구인 AHP를 적용하였다. 객관적인 정보가 제공 가능한 평가항목을 설정하고, 관련 전문가들의 설문조사를 통하여 주관적인 중요도 결과를 취합하였다. 평가항목별 가중치 산출 결과 주로 자연조건과 부하특성에 관한 평가항목이 우선순위에 포함되었으며, 세부순위로 풍력자원, 부하량, 태양광자원, 최대전력용량, 전력수요 등의 순서로 평가되었다. 평가항목 기초자료에 대한 점수값에 평가항목별 가중치곱으로 산출한 우선순위 도서지역 중 백령도와 홍도를 제외한 상위 5개 도서는 울릉도, 흑산도, 추지도, 조도, 거문도 순으로 선정되었다.

후기

본 연구는 지경부 신·재생에너지기술개발 사업인 “Green City 실증단지 구현을 위한 정책기획 과제” 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 장하나, 김수덕, 2006, “도서지역 신재생복합 전력시스템보급 타당성 분석 - 3개 도서지역 분석결과”, 자원·환경경제연구, 제15권, 제4호, pp.693-712.
- [2] 장하나, 김수덕, 2005, “도서지역 전화사업과 신재생복합 전력시스템 보급의 경제성분석”, 산업조직연구, 제13집, 제4호, pp.79-104.
- [3] 2008년도 한전운영도서 전력수급실적 자료
- [4] 기상청 기상자료(<http://web.kma.go.kr>)
- [5] Satty, T.L. 1980, The Analytic Hierarchy Process, McGrawHill.
- [6] 조근태, 조용근, 강현수, 2005, 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정, 동원출판사.
- [7] 이덕기, 이의준, 최상진, 박수역, 이상설, 2005, “AHP를 이용한 신재생에너지 보급확산제도 평가”, 한국신·재생에너지학회지, 제1권, 제2호, pp.79-90.
- [8] 이덕기, 박수역, 강성훈, 최봉하, 부경진, 이상설, 2007, “AHP를 이용한 수소에너지 제조원별 믹스 전망”, 한국신·재생에너지학회 2007년 춘계학술대회논문집, pp.753-758.
- [9] 노화준, “정부출연 연구기관 종합평가 모형에 관한 연구: 평가요소의 개발과 가중치 설정”, 한국정책학회보, 1996.