

AHP 방법론을 이용한 대북지원 최적 신재생에너지원 선정 연구

*이 슬기¹⁾, 김 화영²⁾, 김 지호³⁾, **허 은녕⁴⁾

Analysis on Renewable Energy Aid to North Korea

*Sul-Ki Yi, Hwa-Young Sin(Kim), Jihyo Kim, **Eunnyeong Heo

Abstract : 지속가능한 대북 에너지 지원체제 정립을 위한 논의의 일환으로서 대북지원 최적 신재생에너지원을 선정하기 위하여 AHP 방법론을 이용한 분석을 수행하였다. BCR을 이용하여 속성을 구성하였으며, 정책전문가, 기술전문가, 외국인 및 내국인 등 15인의 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 분석 결과 풍력에너지가 가장 적합한 에너지원이라는 결론이 도출되었다. 또한 응답자들의 특징에 따라 그룹을 설정하여 분석한 결과 기술전문가들은 태양열에너지를, 정책전문가들은 풍력에너지를 최적의 대안으로 평가했으며, 정책전문가들 중 국내 전문가들은 소수력에너지, 국외 전문가들은 풍력에너지가 최적 대안인 것으로 평가하였다.

Key words : AHP, New and Renewable Energy(신재생에너지), North Korea(북한)

1. 서론

잘 알려진 북한의 심각한 에너지 부족 현상은 1980년대에 시작되었다. 북한의 에너지 수급 상황이 악화된 데에는 여러 원인이 있는데 일반적으로 에너지 자원 생산 차질, 상당한 양의 원유 원조를 받아오던 구 소련의 붕괴로 인한 원유 공급의 어려움, 90년대 중반 이후 연이은 자연재해로 인한 에너지 공급 설비의 훼손 및 손실을 들 수 있다. 일반적으로 거론되는 이러한 이유들 이외에도 (1) 북한 에너지 행정 체제의 불합리, (2) 북한 경제 체제의 모순, (3) 사회주의 몰락과 북한 대외 정책의 실패, (4) 북한 에너지 수급 체계 불안정성 등 역시 북한의 에너지 부족현상의 원인으로 들 수 있다.

그간 이러한 북한의 에너지 문제를 해결하기 위해 경수로를 통한 기술지원 및 설비 제공, 중유 및 전력 지원 등 여러 가지 에너지 지원 정책이 시행되었다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 즉, 향후 대북 에너지 지원 정책은 단기적이고 일방적인 원조를 벗어나 북한의 에너지 부족 현상을 타개함과 동시에 기술이전 및 설비지원, 에너지 인프라 확충 및 대외 협력 등을 통해 북한 내부의 변화와 발전을 도모하는 방향으로 이루어져야 한다는 것이다.

본 연구는 이러한 관점에서 향후 지속 가능한 에너지 지원체제 정립을 위한 논의의 일환으로서 대북 신재생에너지 지원에 대해 논하고자 한다. 대북 신재생에너지 지원은 기술 및 정책적 관점에서 북한 에너지난 해결을 위한 지속가능한 남

북 에너지 협력방안 중 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서는 어떤 신재생에너지원을 지원하는 것이 지속 가능성을 고려한 최적 대안일지를 AHP 방법론을 이용하여 분석하였다.

2. 방법론

2.1 AHP

Saaty에 의해 제안된 AHP(Analytical Hierarchy Process)는 다수의 대안에 대하여 다면적인 평가 기준과 다수 주체에 의한 의사결정을 위해 설계된 의사결정 방법의 하나이다. 평가자의 직관적이고 합리적 또는 비합리적 판단을 근거로 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려함으로써 포괄적인 의사결정 틀을 제시한다(정연재, 2004). AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 나누고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교를 통해 중요도를 도출하는데 있다. 이 기법은 인간의 사고와 유사한 방법으로 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있으며, 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비율척도화 하여 정량적 형태의 결과를 얻을 수 있도록 한다.

AHP 분석은 각 계층간의 쌍대비교에서 시작된다. n 개의 항목으로 이루어진 계층에서, 항목 i 와 항목 j 의 선호를 비교하도록 하고 그 결과를 a_{ij} 로 하여, 비교행렬 $A = (a_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$

을 얻을 수 있다. 각 항목의 가중치를 다음과 같이 산정한다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (for\ i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

이를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{i,j} w_j \quad (for\ i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$n w_i = \sum_{j=1}^n a_{i,j} w_j \quad (for\ i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

위의 식을 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}w_1 + a_{12}w_2 + \dots + a_{1n}w_n \\ a_{21}w_1 + a_{22}w_2 + \dots + a_{2n}w_n \\ \vdots \\ a_{n1}w_1 + a_{n2}w_2 + \dots + a_{nn}w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

즉, $AW = nW$ 이며, 이 식의 해는 λ_{max} 가 되고, 이에 대응하는 행렬 A 의 eigenvector W 를 구할 수 있다.

$$\hat{A} \hat{W} = \lambda_{max} \hat{w} \quad (5)$$

다음으로 응답자들의 사고에 대해 일관성 평가를 하게 된다. CI(consistency index)는 다음 식으로 정의된다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

그러나 n 이 커지면 CI값도 커지므로 일관성의 판정이 어려워지기 때문에 이를 RI(random index)로 보정한 CR(consistency ratio)를 사용한다. CR은 다음과 같이 정의된다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

CR이 10% 이하 정도면 일관성이 있다고 판단해도 좋다고 알려져 있다.

2.1 Benefit, Opportunity, Cost, Risk(BOCR)

본 연구를 진행하는 과정에서 겪은 어려움 중 하나는 속성의 선정과 관련된 부분이다. AHP 방법론에서는 대안을 평가하기 위한 속성을 선정하게 되는데, 대북 신재생에너지 지원과 관련된 AHP 연구가 많이 수행된 바 없기 때문에 속성의 선정 과정에서 참고할만한 자료나 기존에 형성된 전문가 집단의 합의가 존재하지 않았다. 이를 타개하기 위하여 Benefit, Cost, Opportunity, Risk의 네 가지를 속성으로서 설정하는 Saaty and Ozdemir(2003)의 방법론을 이용하였다.

Saaty and Ozdemir(2003)는 음의 중요도(Negative Priority)를 AHP에 적용시키는 방안을 제안한 그들의 연구에서 Benefit, Cost, Opportunity, Risk(BOCR)를 상위 속성으로 설정한 연구를 소개했다. 일반적으로는 의사결정에서

양의 중요도(Positive Priority)만을 고려하기 마련이다. 예를 들어 어떤 자동차를 살 것인지를 결정하는 의사결정의 사례에서는 Cost의 측면에서, 적은 Cost를 유발하는 대안이 더 많은 Benefit을 주는 것으로 해석될 수 있다. 즉, 음의 중요도를 양의 중요도로 환산해서 측정할 수 있다. 하지만 기쁨-고통의 관계 또는 획득-분실의 관계에서는 앞선 자동차 결정의 예처럼 두 속성이 서로 역의 관계를 형성하지 않는다. 즉, 고통은 기쁨의 역으로 해석할 수 없으며, 아무리 약한 고통이라도 기쁨에 비한다면 거의 무한대로 열등하다. 이러한 사례를 통해 음의 중요도가 어찌서 AHP 분석에서 고려되어야 하는지에 대한 답을 얻을 수 있다. 그런데 Cost와 Risk 등 음의 중요도를 나타내는 속성은 양의 중요도와는 반대되는 가치를 갖기 때문에 두 가지 유형의 속성을 동시에 고려하는 데에 있어서 기존과는 다른 방법이 필요하다. 관련하여 본 연구에서는 Saaty and Ozdemir(2003)은 그들의 연구에서 소개한 방법을 이용하였다.

저자들에게 따르면, 의사결정에 있어서 benefit과 cost의 관계처럼 서로 반대방향의 기준들이 쓰일 경우가 있는데, 쌍대비교 과정에서 benefit은 ‘어떤 대안이 다른 대안에 비해 얼마나 더 편익이 큰가?’를 평가하지만, cost는 ‘어떤 대안이 다른 대안에 비해 얼마나 더 비용이 큰가?’에 대한 응답을 하게 된다. 이러한 양상은 opportunity와 risk에 대해서도 동일하게 적용될 수 있다.

BOCR을 이용한 연구로는 Amy H.I.Lee(2008), Liang and Li(2008), Erdoğmuş *et al.*(2006), Lee *et al.*(2009), Wijnmalen(2007) 등이 있다. 일반적으로 Benefit과 Opportunity의 구분은 장단기적 관점의 차이를 기준으로 하게 되는데, 이 구분이 다소 모호하다는 지적이 제기되기도 하였으며, 실제로 Poonikom(2004) 등은 Opportunity를 제외하고 BCR만을 적용하기도 하였다. 본 연구에서도 BCR만을 이용하여 연구를 수행하였다.

3. 분석 결과

3.1 설문설계

설문은 2단계로 구성되었다. 우선 1차 설문은 본격적인 설문에 앞서 ‘자문’의 형식을 띠었으며, 연구진의 내부 토의를 거쳐 구성된 속성의 초안을 여러 전문가들에게 감수받는 과정을 거쳤다. 1차 설문을 통해 수정된 속성 모형을 이용하여 1차 설문의 대상은 정치학, 행정학, 남북문제 및 에너지 분야의 교수 및 연구원 등의 전문가들로 설정하였다.

1차 설문 결과를 통해 초기 속성모형이 수정되었으며, 이를 이용하여 2차 설문을 수행하였다. 2차 설문은 본격적으로 속성 간 가중치 계산 및 최종 대안 선정의 목적을 갖고 수행되었다. 2차 설문 응답자들은 1차 설문 대상보다 더욱 다양한 전문가들로 이루어졌으며, 전문가들은 몇 가지 기준에 의해 그룹으로 설정되었다. 즉, 기술 전문가와 정책 전문가로 전체 응답자를 양분할

수 있으며, 또한 정책전문가 그룹은 내국인과 외국인으로 구분될 수 있다.

3.2 설문 결과

1차 설문 결과 다음의 Table 1 과 같은 속성 모형이 구성되었다. 또한, BCR을 이용한 AHP 분석에서 사용되는 전략적 기준(strategic creteria)으로는 ‘정치적 요인’, ‘안보 요인’, ‘인도주의적 요인’이 선정되었다.

Table 1 Employed Factors

1단계	2단계
Benefit	B1. 북한 내 에너지 공급
	B2. 북한 내 지역개발효과
	B3. 대북관계 개선
	B4. 남한 관련산업 육성
Cost	C1. 설비 설치 비용
	C2. 설비 유지보수비용
	C3. 관련 인프라 설치비용
Risk	R1. 기술이전문제
	R2. 북한 내 적합성
	R3. 남한의 기술적 산업적 준비도

또한 총 7개의 대안 - 바이오가스, 소수력, 지열, 태양광, 태양열, 폐기물, 풍력 - 이 제시되어 최종 가중치 분석을 통해 최적 대안이 계산되었다. 대안의 선정 역시 1차 설문을 통해 확정되었다.

2차 설문을 통해 각 속성간 가중치 및 전략적 기준의 가중치, 그리고 최종 대안이 계산되었다. 전략적기준을 이용한 전체 응답 계산 결과 BCR 각각의 가중치는 Benefit(0.353), Cost(0.335), Risk(0.310)으로 도출되었다. BCR의 가중치는 서로 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 2는 가중치의 전체 평균값이다. 의견상 BCR 각각의 하위속성들 역시 큰 차이를 보이지 않는 것처럼 보인다. 하지만, 설문 대상을 그룹으로 나누어 분석한 결과를 보면 그룹 간 의견에 큰 차이가 있음을 발견할 수 있다(Table 3). Benefit의 하위속성에 대한 기술전문가는 다른 속성에 비해 특히 “B4. 남한 관련 산업 육성”에 높은 가중치를 두었다. 또한 정책전문가는 평균적으로 “B3. 대북관계 개선”을 중요하게 생각하는 것으로 나타났다.

Risk의 하위 항목에 대한 결과 역시 기술전문가들은 “R1. 기술이전문제”를 가장 큰 위험요인으로 꼽았으며, 비용에 대해 기술전문가들은 설비 설치비용을, 정책 전문가들은 인프라 비용에 비중을 두었다.

최종 대안의 순위는 Table 4.과 같이 분석되었다. BOCR(BCR)을 이용한 AHP 분석시에 일반적으로 최종 대안간 우선순위는 B/CR 혹은 bB-cC-rR의 식을 이용하게 된다. 본 연구에서는 두 방법을 모두 적용해 보았는데 A4. 태양광 과 A5. 태양열의 순위가 서로 달랐고, 다른 대안에서는 순위의 차이가 없었다.

Table 2 전체 가중치

속성		가중치
B (0.353)	B1. 북한 내 에너지 공급 (0.262)	0.092
	B2. 북한 내 지역개발효과 (0.166)	0.058
	B3. 대북관계 개선 (0.306)	0.108
	B4. 남한 관련산업 육성 (0.264)	0.093
C (0.335)	C1. 설비 설치 비용 (0.276)	0.092
	C2. 설비 유지보수비용 (0.325)	0.109
	C3. 관련 인프라 설치비용 (0.397)	0.132
R (0.310)	R1. 기술이전문제 (0.429)	0.132
	R2. 북한 내 적합성 (0.362)	0.112
	R3. 남한의 기술적 산업적 준비도 (0.207)	0.064

Table 3 그룹별가중치

속성	기술	정책		
		총 부문	국내	국외
B1.	0.17	0.21	0.25	0.31
B2.	0.13	0.09	0.12	0.22
B3.	0.24	0.42	0.37	0.27
B4.	0.43	0.26	0.25	0.18
C1.	0.57	0.18	0.18	0.18
C2.	0.15	0.39	0.37	0.42
C3.	0.27	0.41	0.45	0.38
R1.	0.67	0.31	0.24	0.42
R2.	0.14	0.47	0.47	0.43
R3.	0.17	0.21	0.29	0.14

Table 4 대안간 우선순위

속성	가중치			
	B/CR		bB-cC-rR	
	값	순위	값	순위
A1. 바이오가스	2.24	7	-0.18	7
A2. 소수력	3.32	4	-0.13	4
A3. 지열	2.68	5	-0.16	5
A4. 태양광	3.69	2	-0.11	3
A5. 태양열	3.66	3	-0.11	2
A6. 폐기물	2.66	6	-0.16	6
A7. 풍력	3.92	1	-0.10	1

3.3 토의

우선 설문 대상자들의 소속 집단에 따라 대북 신재생에너지지원에 대한 관점이 다르게 나타남을 알 수 있는데, 이는 대북 신재생에너지 지원을 어떠한 관점으로 바라보고 있는지에 대한 연구자들의 사전적 추측과 일치하는 결과이다.

Risk 및 Cost 항목 역시 해당 집단의 관심의 초점이 서로 다를 수 있음을 명확하게 보여주었다고 볼 수 있다.

정책전문가를 국적에 따라 나눈 국내/국외의 구분에서 역시 집단의 특성별로 다른 응답 결과가 나타났다. 즉, 국외 정책 전문가의 경우 Benefit의 하위 속성들 중 Benefit의 수혜대상이 한국에 한정되는 항목들(B3, B4) 보다는 B1에 더 큰 가중치를 두고 있는 것으로 나타났다.

Table 5는 그룹별 대안 순위이다. 그룹별로 다소 차이가 나는 모습을 볼 수 있다. 특히 국내/국외의 구분에서 외국인들은 풍력에너지가 가장 적합한 대안이라고 응답한 반면 국내 전문가들은 풍력에너지가 비교적 적절치 않다고 응답(5위)하였는데, 이는 다음과 같은 원인에 기인하는 것으로 보인다. 즉, 국외 전문가들은 국내 전문가들에 비해 비교적 한국의 자연여건이나 기술현황에 대한 정보가 부족하며, 국제정세에 의한 대북 지원 문제에 관심이 많음에 따라 그 동안 국제사회에서 실제로 북한에 지원된 바 있는 풍력에너지가 유망한 대안이라 선정한 것으로 보인다.

Table 5 그룹별 대안 우선순위 선정 결과

순위	기술	정책		
		총 부문	국내	국외
1	A5	A7	A2	A7
2	A3	A4	A6	A4
3	A4	A5	A1	A5
4	A2	A2	A3	A2
5	A7	A6	A7	A6
6	A6	A1	A5	A3
7	A1	A3	A4	A1

4. 결론

본 연구는 향후 지속 가능한 에너지 지원체제 정립을 위한 논의의 일환으로서 대북 신재생에너지 지원에 대해 살펴보았다. 대북 신재생에너지 지원은 기술 및 정책적 관점에서 북한 에너지난 해결을 위한 지속가능한 남북 에너지 협력방안 중 하나이다. 신재생에너지는 기술에너지라는 특성상 국제적인 기술협력이 무엇보다도 필수적인 에너지원이며, 본 연구에서는 어떤 신재생에너지원을 지원하는 것이 지속 가능성을 고려한 최적 대안일지를 AHP 방법론을 이용하여 분석하였다.

북한에 지원하는 신재생에너지원의 선정은 다양한 분야의 전문가 의견을 수렴하는 것은 물론, 지원 당시의 국내외 상황 및 북한의 여건을 고려해서 결정되어야 할 것이다. 본 연구의 결과로 나타난 바로는 남한의 기술여건이나 국제적 여건을 고려할 때 태양열이나 태양광, 풍력 등이 가능한 대안이 될 것이다. 본 연구의 결과는 향후 남북간의 에너지 지원 문제 해결을 위한 각 전문가 집단의 의견을 수렴하고 대북 지원가능 신재생에너지원에 대한 대안을 확인한 바, 그 의의가 있다고 하겠다.

후 기

본 연구는 서울대학교 통일평화연구소에서 지원하는 “지속가능한 남북한 에너지 협력체제 구축을 위한 중·장기 정책연구”의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 정연재, 2004, “AHP 적용시 나타나는 의사결정구조 분석 연구-터널 환기/방재 시설 설계 및 고속도로 노선선정 사례를 중심으로-,” 서울대학교 석사학위논문.
- [2] Amy H.I. Lee, 2009, "A fuzzy AHP evaluation model for buyer-supplier relationships with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks," International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 15, pp.4255-4280.
- [3] Erdoğan Ş, H. Aras, E. Koç, 2006, "Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process(ANP) with group decision-making," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, No. 3, pp.269-279
- [4] Lee A. H.I., H.H.Chen, H-Y. Kang, 2009, "Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms," Renewable Energy, Vol. 34, No. 1, pp120-126.
- [5] Liang C. and Q. Li, 2009, "Enterprise information system project selection with regard to BOCR," International Journal of Project Management, Vol. 26, No. 8, pp. 810-820
- [6] Poonikom K, C. O'Brien and C.Chansa-ngavej, 2004, "An Application of the Analytic Network Process(ANP) for University Selection Decisions," ScienceAsia, Vol. 30, pp.317-326.
- [7] Saaty T.L., 2008, "Decision making with the analytic hierarchy process." International Journal of Services Sciences, Vol. 1. No.1, pp.82-98
- [8] Saaty T.L., 2005, "Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks," RWS Publications
- [9] Saaty T.L., M. Ozdemir, 2003, "Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process," Mathematical and Computer Modelling, Vol. 37, No. 9-10, pp.1063-1075.
- [10] Wijnmalen D. J. D, 2007, "Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks(BOCR) with the AHP-ANP: A critical validation." Mathematical and Computer modeling, Vol. 46, No.7-8, pp.892-905