

AHP를 이용한 열공급시스템 대안 선정 평가

An Assessment of the Alternative Selection of Thermal Supply System using AHP

이덕기*, 박수익*, 양종택**

한국에너지기술연구원* 충북대학교**

Deok-ki Lee*, Soo-uk Park*, Jong-taek Yang**

Korea Institute of Energy Research*, Chung-Buk National University**

1. 서 론

본 연구에서는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용한 열 흐름상 에너지시스템의 평가와 함께 그 결과로서 시스템 대안들에 대한 우선순위를 제시하였으며 이를 통해 열공급 시스템에 대한 최적 의사결정을 도출할 수 있는 평가모형을 정립코자 하였다.

일반적으로 AHP 방법은 복잡한 의사결정 문제를 체계적으로 세분하여 분석할 수 있도록 하는 도구를 제공한다. 열 흐름상의 에너지시스템 최적화를 이루기 위해서는 다속성, 다기준에 의한 최선의 대안 선정이 필요하며 평가 요소들을 계층적으로 세분화한 후 이를 종합하는 과정이 필요하다. 따라서 이를 만족할 수 있는 방법으로 AHP방법은 열 흐름상의 에너지시스템 대안 우선순위 결정에 적합한 의사결정 방법으로 평가된다. 이는 AHP가 가지는 장점에서 오는 것으로서 그 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, AHP는 판단의 일관성 유무에 대한 점검도구를 제공해 준다. 둘째, 기준들간 상호 작용 효과를 고려해 줄 수 있다. 셋째, 평가체계를 목표체계와 연결시킬 수 있다. 넷째, 다수 의사결정자 참여시 단순 가중치 부여를 피하고 갈등문제를 해결할 수 있다. 다섯째, 정성적인 요소를 모형에 고려함으로써 주관적 판단을 체계적으로 계량화시킬 수 있다. 여섯째, 문제를 분해해서 평가하고, 이를 다시 종합하여 최종결정을 내리는 AHP의 문제해결 구조가 인간의 논리적인 문제해결 구조와 유사하므로, 현실에 실제로 적용하기가 용이하기 때문에 미래를 투영하고 위험과 불확실성으로부터 방어를 위한 다양한 체제의 계획수립이 가능하다. AHP기법은 여러 대안들을 다수의 목표 또는 요인에 의하여 평가하는 방법이며 정성적 또는 무형적 기준과 정량적 또는 유형적 기준을 동시에 평가할 수 있는 방법으로서, 기술성 및 파급효과 등의 정성적 평가기준과 경제성 및 환경성 등의 정량적인 평가기준이 혼재된 열흐름상의 열흐름시스템 최적화 대안 선정에 적합한 방법으로 판단된다.

2. AHP를 적용한 기술평가 및 선정

2-1. 시스템 대안의 선정

폐열활용기술 체계도에 따른 13가지의 폐열회수기술, 3가지의 열수송기술, 3가지의 열공급이용기술의 조합에 의한 가능한 시스템대안은 117가지이다. 그러나 가능한 모든 대안을 고려하는 것은 기술적으로 불가능하므로 본 연구에서는 각 요소기술들의 특성분석을 통해 현실적으로 실현 불가능하거나 경제성이 없다고 판단되는 기술들을 제거하여 선정하였다.

이와 같은 기준을 토대로 폐열공급처 및 열수요처의 조건을 감안하여 분석 가능한 5개의 시스템 대안을 선정하였으며 이를 TSS(Thermal Supply System)라 하였다.

Table 1. 시스템 대안

sys.	recovery	transportation	supply
TSS ₁	general heat exchanger	hot water or steam	high-efficiency boiler
TSS ₂	general heat exchanger	hot water or steam	absorption heat pump
TSS ₃	ceramic heat exchanger	metal hydride	absorption heat pump
TSS ₄	heat exchanger using solid particles	hot water or steam	high-pressure using MVR
TSS ₅	heat exchanger using solid particles	metal hydride	high-pressure using MVR

2-2. 시스템 대안의 평가

1) 평가대상 관련요소의 분해

열흐름상의 에너지시스템에 대한 평가기준을 AHP모형에 적용하기 위해 크게 제1계층(hierarchy 1)과 2계층(hierarchy 2)으로 구분하여 기본 모형을 설계하였다. 제1계층으로는 경제성, 기술성, 환경성, 파급효과 등으로 구분하였으며 이는 다시 특성별 요인에 따라 제2계층으로 나누었다.

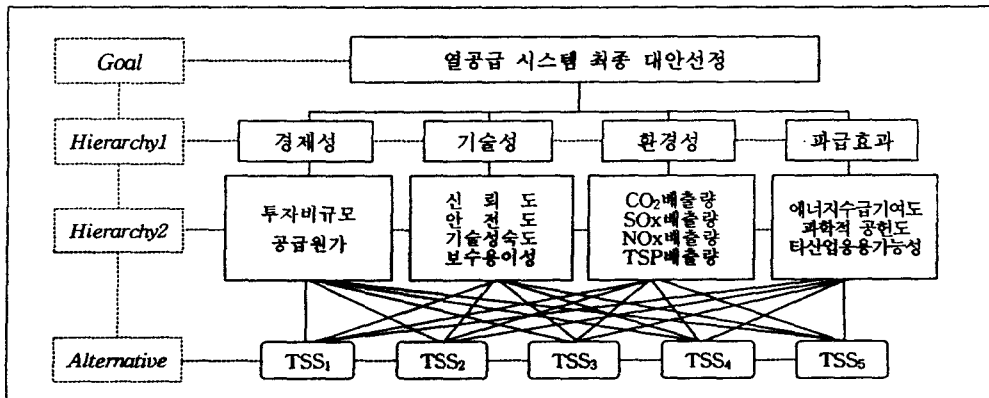


Fig1. 열흐름상의 에너지시스템 계층 구성 모형

2) 관련요소의 쌍대비교

본 연구에서는 AHP를 이용하여 열흐름상의 에너지시스템에 대한 각 평가특성의 중요도와 각 대안의 기술성 및 파급효과에 대한 평가점수를 구하기 위하여 열공급시스템과 관련이 있는 실무자를 대상으로 두 차례 설문조사를 실시하였다. 첫 번째 설문지는 AHP를 이용하여 열공급시스템기술에 관한 평가항목 중요도 산출과 평가요인의 중요도 산출을 위한 문항으로 구성되었으며, 두 번째 설문지는 폐열회수 프로세스, 열수송 프로세스, 열공급이용 프로세스 등의 네트워크 시스템으로 구성된 열흐름상의 에너지시스템에 대한 대표적인 5개 시스템(대안)에 대한 전문가의 평가특성별 점수를 얻기 위한 문항으로 구성되었다. 첫 번째 설문지는 총 50매 배부, 45매의 회수하였으며, 두 번째 설문평가서는 21명 전문가에게 설문평가서를 배부, 모두 회수/분석을 실시하였다.

3) AHP적용 중요도 산출

(1) Hierarchy 1의 요인별 중요도 산출

계층1에 대해 기하평균한 평가치를 입력하여 중요도를 산출하였다(Fig2). 계층 1의 특성

으로 분류된 4 가지 요인은 경제성, 기술성, 환경성, 파급효과 등의 순서로 평가되었다. 이 중에서 경제성의 가중치는 42.1%로 가장 높게 나타났으며 다음이 기술성으로 24.5%, 환경성 20.8%, 파급효과 12.5%의 순서로 가중치를 지니고 있는 것으로 계산되었다.

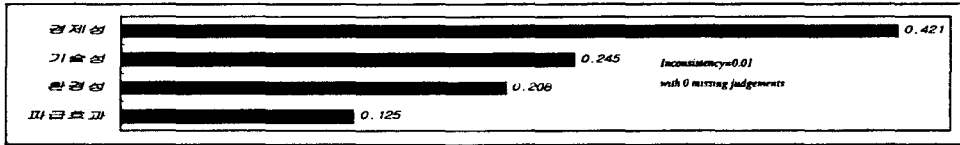


Fig2. hierarchy1 factor의 가중치

(2) Hierarchy 2의 요인별 중요도 산출

계층1의 4가지 요인의 13개 하위요인들에 대한 총체적인 중요도 각각이 지닌 비중을 살펴보면 초기투자비가 가장 높은 0.197, 신뢰성이 0.115, CO₂저감이 0.097 순으로 나타났다. 경제성의 하위 특성은 투자비 규모의 가중치가 76.7%이고 공급원가의 가중치가 23.3%로 투자비 규모가 공급원가보다 더 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났다(Fig.3).

기술성의 하위요인은 신뢰도, 안전도, 기술성속도, 보수용이성 등으로 평가되었다. 신뢰도는 36.8%로 기술성의 하위요인 중에서 가장 높은 가중치를 나타내었으며 다음으로 안전성이 23.2%, 기술성속도는 22.2%, 보수용이성은 17.8%로 가장 낮은 가중치를 나타냈다(Fig4).

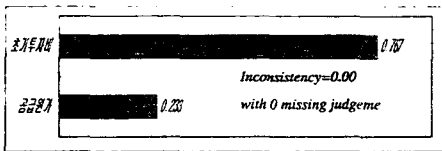


Fig. 3 hierarchy2(경제성) ; 우선순위

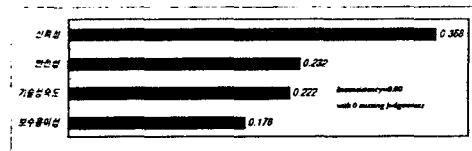


Fig4. hierarchy2(기술성) ; 우선순위

환경성의 하위 특성은 CO₂배출량이 32.2%로 환경성의 하위 특성 중에서 가장 높은 가중치를 나타내었고, SO_x가 28.1%, NO_x 23.1%, TSP배출량은 16.6%로 가장 낮은 가중치를 나타냈다(Fig5).

파급효과 하위 특성은 에너지수급 기여도, 타 산업 응용가능성, 과학적 공헌도 등의 순서로 가중치가 높은 것으로 평가되었다. 에너지수급 기여도의 가중치는 45.4%로 파급효과의 하위 특성 중에서 가장 높은 가중치를 나타내었고, 타 산업 응용가능성은 27.8%, 과학적 공헌도는 가장 낮은 26.8%의 가중치를 가진 것으로 나타났다(Fig6).

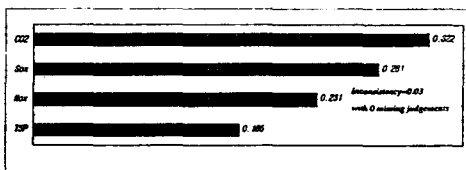


Fig5. hierarchy2(환경성) ; 우선순위

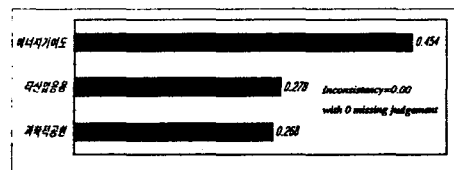


Fig6. hierarchy2(파급효과) ; 우선순위

(3) Hierarchy 1, Hierarchy 2의 요인별 가중치 산출 종합

전 절에서 산출된 계층 1의 중요도를 기준으로 하위 계층의 중요도를 승산하여 최종 하위계층의 중요도를 산출하였다. 전체적인 가중치 분포를 살펴보면 경제성 부문에서 상위 1,2 순위를 차지하고 있는 가운데 초기 투자비가 0.32291, 공급원가 0.09809를 점유하고 있는 것

으로 나타났다.

Table 2. 계층별 가중치 산출 종합

hierarchy 1		hierarchy 2			
요 인	가중치(A)	세부요인	가중치(B)	종합가중치 (C=A*B)	순위
경제성	0.421	투자비 규모	(0.767)	0.32291	1
		공급원가	(0.233)	0.09809	2
기술성	0.245	안전도	(0.348)	0.09016	3
		신뢰도	(0.249)	0.05684	6
		기술성숙도	(0.244)	0.05439	8
		보수용이성	(0.179)	0.04361	10
환경성	0.208	emission of CO ₂	(0.322)	0.06698	4
		emission of SO _x	(0.281)	0.05845	5
		emission of NO _x	(0.231)	0.04805	9
		emission of TSP	(0.166)	0.03453	12
과급 효과	0.125	과학적공헌도	(0.268)	0.03350	13
		타산업융용가능성	(0.278)	0.03475	11
		에너지수급기여도	(0.454)	0.05675	7
total	1.000	total		1.00000	

(4) 복합 가중치 계산

기술성 평가, 경제성 평가, 환경성 평가, 과급 효과 등 여러 가지 상반된 기준들을 종합적으로 고려하여 열 흐름상의 에너지시스템을 종합 평가하기 위해 다양한 평가 속성에 대한 합리적인 가중치 결정과 적절한 평가 모형의 확립이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 비교적 정확한 정량 비교가 가능하고 구조 분석의 장점을 갖고 있는 계층분석과정을 이용하여 열흐름상의 에너지시스템에 대한 종합 평가를 하였다.

Table 3. 시스템 대안들의 평가 결과

계층1 (weight)	계층2 (weight)	TSS ₁	TSS ₂	TSS ₃	TSS ₄	TSS ₅	비고
경제성 (0.421)	공급원가(0.09809)	35.31	34.76	248.34	30.54	212.83	원/Mcal
	투자비규모(0.32291)	6,788	6,923	16,746	6,752	16,572	억원
기술성 (0.245)	안전도(0.09016)	3.25	3.75	3.50	3.60	3.75	5점기준
	신뢰도(0.05684)	3.75	3.50	3.25	3.50	3.25	5점기준
	기술성숙도(0.05439)	3.75	3.50	3.25	2.75	2.50	5점기준
	보수용이성(0.04361)	3.75	3.75	3.25	3.00	3.25	5점기준
환경성 (0.20)	emission of CO ₂ (0.06698)	1	1	1	1	1	동일량
	emission of SO _x (0.05845)	4,451	4,684	4,901	5,794	5,840	kg
	emission of NO _x (0.04805)	36	37	33	39	36	kg
	emission of TSP(0.03453)	9	9	10	11	12	kg
과급 효과 (0.125)	과학적공헌도(0.03350)	3.00	3.25	4.00	4.00	4.00	5점기준
	타산업융용(0.03475)	3.25	3.25	3.00	3.25	3.50	5점기준
	에너지수급(0.05675)	2.75	3.50	3.50	3.75	3.50	5점기준

(5) 대안평가 및 분석

대안들에 대한 평가 결과는 서로 다른 측정 단위를 사용하므로 이 들을 비교 가능한 척도로 변환하는 표준화(normalize) 절차가 필요하다.

본 연구에서는 수치가 높을수록 높은 선호도를 갖는 요소에 대해서는 최대치를 기준하고, 수치가 낮을수록 높은 선호도를 갖는 요소에 대해서는 최소치를 기준하여 각 요소를 변

환하는 선형변환 방법을 사용하였다.

Table 4. 시스템 대안들의 평가 결과 표준화

계층1(weight)	계층2(weight)	TSS ₁	TSS ₂	TSS ₃	TSS ₄	TSS ₅
경제성 (0.421)	공급원가(0.09809)	0.86491	0.87860	0.12298	1.00000	0.14349
	투자비규모(0.32291)	0.99470	0.97530	0.40320	1.00000	0.40743
기술성 (0.245)	안전도(0.09016)	0.86667	1.00000	0.93333	0.96000	1.00000
	신뢰도(0.05684)	1.00000	0.93333	0.86667	0.93333	0.86667
	기술성숙도(0.05439)	1.00000	0.93333	0.86667	0.73333	0.66667
	보수용이성(0.04361)	1.00000	1.00000	0.86667	0.80000	0.86667
환경성 (0.208)	emission of CO ₂ (0.06698)	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
	emission of SO _x (0.05845)	0.76216	0.80205	0.83921	0.99212	1.00000
	emission of NO _x (0.04805)	0.92308	0.94872	0.84615	1.00000	0.92308
	emission of TSP(0.03453)	0.75000	0.75000	0.83333	0.91667	1.00000
과급 효과 (0.125)	과학적공헌도(0.03350)	0.75000	0.81250	1.00000	1.00000	1.00000
	타산업융용가능성(0.03475)	0.92857	0.92857	0.85714	0.92857	1.00000
	에너지수급기여도(0.05675)	0.73333	0.93333	0.93333	1.00000	0.93333

본 연구에서는 각 평가특성의 가중치를 계층분석과정에 의해 구하고 여기에 대응되는 평가특성의 값을 표준화한 평가점수에 곱하여 얻은 총 점수가 가장 큰 대안을 선택한다. 이러한 방법은 단순가중치 방법과 흡사한 방법으로 단순가중치 방법과는 의사결정자가 각 요소에 대한 가중치를 직접 부여하는 차이점이 있다.

Table 5에서 보면 TSS₄는 거의 전 분야에 걸쳐 가장 높은 점수를 기록하였으며 1점 만점에 0.91801점을 얻어 가장 높은 점수를 기록하였다. 이에 따라 TSS₄는 계층분석과정에 의한 종합평가에 의해서 가장 우수한 대안으로 평가되었다. TSS₂는 0.90355점을 기록하여 두 번째 높은 점수를 얻었다. 결국, 경제성 측면에서 열수송 시스템의 요소기술에 따른 공급원가와 투자비규모가 많은 차이를 보였고 금속수소화물을 이용한 열수송시스템 보다는 운수 또는 중기를 이용한 열수송기술이 더 경제적임을 보여주고 있으며 종합평가 결과에서도 높은 점수를 기록하였다.

Table 5. 표준화된 시스템 대안들의 최종 평가 결과

계층1(weight)	계층2(weight)	TSS ₁	TSS ₂	TSS ₃	TSS ₄	TSS ₅
경제성 (0.421)	공급원가(0.09809)	0.08484	0.08618	0.01206	0.09809	0.01408
	투자비규모(0.32291)	0.32120	0.31493	0.13020	0.32291	0.13156
	sub-total	0.40604	0.40112	0.14226	0.42100	0.14564
기술성 (0.245)	안전도(0.09016)	0.07814	0.09016	0.08415	0.08655	0.09016
	신뢰도(0.05684)	0.00568	0.00531	0.00493	0.00531	0.00493
	기술성숙도(0.05439)	0.05439	0.05076	0.04714	0.03989	0.03626
	보수용이성(0.04361)	0.04361	0.04361	0.03780	0.03489	0.03780
	sub-total	0.18182	0.18984	0.17401	0.16663	0.16914
환경성 (0.208)	emission of CO ₂ (0.06698)	0.06698	0.06698	0.06698	0.06698	0.06698
	emission of SO _x (0.05845)	0.04455	0.04688	0.04905	0.05799	0.05845
	emission of NO _x (0.04805)	0.04435	0.04559	0.04066	0.04805	0.04435
	emission of TSP(0.03453)	0.02590	0.02590	0.02878	0.03165	0.03453
	sub-total	0.17439	0.17795	0.18546	0.20344	0.20801
과급 효과 (0.125)	과학적공헌도(0.03350)	0.02501	0.02710	0.03335	0.03335	0.03335
	타산업융용가능성(0.03475)	0.03227	0.03227	0.02979	0.03227	0.03475
	에너지수급기여도(0.05675)	0.04162	0.05297	0.05297	0.05675	0.05297
	sub-total	0.09890	0.11233	0.11610	0.12237	0.12107
total		0.88370	0.90355	0.61821	0.91801	0.63305
rank		3	2	5	1	4

3. 결론

본 연구는 에너지기술을 대상으로 하는 열공급시스템 최종대안을 선정함에 있어서 다속성효용이론인 AHP를 적용한 평가모형을 구축하고 이에 따라 수행하였다.

일반적으로 계층분석과정 방법은 복잡한 의사결정 문제를 체계적으로 세분하여 분석할 수 있는 도구를 제공한다. 열 흐름상의 에너지시스템 최적화를 이루기 위해서는 다속성, 다기준에 의한 최적 대안의 선정이 필요하므로 평가 요소들을 계층적으로 세분화한 후 이를 종합하는 과정이 필요하다. 이러한 과정에 따라 본 연구에서는 계층분석과정에 의하여 열 흐름상의 에너지시스템에 대한 평가모형을 제시하였으며 이에 따라 제시된 대안중 최적 열공급시스템 대안을 선정하여 제시하였다.

이상의 평가 결과에 따라 우선순위 측면에서는 TSS₄가 가장 우선하는 것으로 나타났으며 다음으로 TSS₂, TSS₁ 및 TSS₅순으로 나타났다.

참고문헌

- Amen M., "Using AHP for the Valuation of a Company: Combining Success Factors and Financial Numbers", *Proceedings of the Sixth ISAHP*, 2001. 8., pp .1-10.
- Basak I., "The Categorical Data Statistical Analysis for the Pairwise Comparisons in Ratio Scale", *Proceedings of the Sixth ISAHP*, 2001. 8., pp. 43-44.
- Chang, P. L., and Chen, Y. C., "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method for Technology Transfer Strategy Selection in Biotechnology", *Fuzzy Sets onto Systems*, Vol. 63, 1994. PP.131-139.
- H.-M Groscurth and R. Kümmel, "The Cost of Energy Optimization: A Thermo-economic Analysis of National Energy System", *Energy-The International Journal*, Vol. 14, No.11, 1989., pp.685-696.
- Saaty T.L., "Decision-Making with the AHP: Why is the Principal Eigenvector Necessary?", *Proceedings of the Sixth ISAHP*, 2001. 8., pp.383-396.
- _____, "Decision Making with the Analytic Network Process and it's Super-Decisions Software. The National Missile Defence(NMD) example", *Proceedings of the Sixth ISAHP*, 2001. 8., pp.365-382.
- _____, and L.G. Vargas, *The Logic of Priorities*, Kluwer nijhoff Publishing Co., London, 1982.
- _____, "How to make a Decision the Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 1990., pp.9-26.
- _____, "Deriving the AHP 1-9 Scale form First Principles", *Proceedings of the Sixth ISAHP*, 2001. 8., pp.397-402.
- _____, "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, 1977., pp.234-281.
- _____, "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, Vol. 32, No. 7, 1986., p.841.
- _____, "Eigenvector and Logarithmic Least Squares", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 1990., pp.156-160.