

AHP를 이용한 수소에너지 제조원별 믹스 전망

이 덕기¹⁾, 박 수억²⁾, 강 석훈³⁾, 최 봉하⁴⁾ 부 경진⁵⁾ 이 상설⁶⁾

Perspective on Mix Weight of Hydrogen Energy Production Using the AHP

Deokki Lee, Soo-Uk Park, Seok-Hun Kang, Bongha Choi, Kyung-Jin Boo, Sang-Sul Lee

Abstract : AHP analysis was carried out to derive the optimum mix weight of hydrogen energy production material presented in a "national vision of the hydrogen economy and the action plan" and aimed to be commercialized by 2030~2040 year. Six kinds of hydrogen production materials(natural gas, spare electric energy, fleeting gas, renewable energy, coal, nuclear energy) was selected as subjects of study and the perspective of optimum mix weight was derived through AHP analysis.

Key words : Hydrogen energy, impact factor, AHP

subscrip

AHP : Analytic Hierarchy Process
CR : Consistency Ratio
CI : Consistency Index
RI : Random Index

1. 서 론

현재의 에너지시스템은 석유중심의 탄소시대를 이끌고 있으며 전 세계의 에너지 소비에서 화석연료의 집중도가 65%를 차지하는 시점에서 볼 때 앞으로의 에너지시스템을 만족시켜줄 수 있는 새로운 에너지원 확대를 갈망하고 있다.

현실적으로 살펴보면, 석유 고갈이 가까워 오고 온실가스의 주범인 화석연료의 이용을 제한해 나가는 분위기에서 새로운 에너지원으로 오일샌드 등 다양한 대안을 찾아 나서고 있다. 그러나 이 또한 경제성과 환경문제의 대두로 인한 제한성으로 새로운 에너지원으로서의 수소에너지가 유력한 대안으로 부상하고 있다.

수소경제의 도래가 점차 현실적인 문제로 다가옴에 따라 우리나라도 수소경제의 국가비전을 수립하고 장기 기술 및 정책 로드맵의 작성을 통해 효율적인 대응책을 강구하고 있다.

본 논문에서는 "수소경제 국가비전 및 실행 계획 수립" 에서 제시하고 있는 수소에너지 제조원을 대상으로 최적 믹스를 도출하기 위해 수행되었다. 이를 위해 6개 수소제조에너지원(천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력)을 각각의 대안으로 설정하고 이를 대상

으로 평가와 함께 분석을 실시하여 최적믹스 전망치를 도출하였다.

2. 방법론의 선정

본 논문에서는 2030~2040년에 수소에너지 제조원별 최적 배분을 구하는 것에 방향성을 두었으며 이를 위해 각각의 분야별 전문가들의 평가를 통한 최적이중치를 산출하는 방법으로 수행되었다. 따라서 이를 수행하는 방법론으로서 의사결정이론을 적용하였다.

최적 자원배분을 위한 평가의 경우 여러 학자들에 의해 다양하게 분류되고 있는데 Rubenstein

-
- 1) 혜천대학
E-mail : leess@hcc.ac.kr
Tel : (042)5806400 Fax : (042)580-6359
 - 2) 한국에너지기술연구원, 정책연구부
E-mail : deokki@kier.re.kr
Tel : (042)860-3753 Fax : (042)860-3135
 - 3) 한국에너지기술연구원, 정책연구부
E-mail : supark@kier.re.kr
Tel : (042)860-3045 Fax : (042)860-3135
 - 4) 한국에너지기술연구원, 정책연구부
E-mail : shkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3545 Fax : (042)860-3135
 - 5) 한국에너지기술연구원 에너지정책연구부
E-mail : bigunit@kier.re.kr
Tel : (042)860-3489 Fax : (042)860-3135
 - 6) 에너지경제연구원, 신재생에너지연구실
E-mail : kjboo@keei.re.kr
Tel : (031)420-2139

은 결정론적 평가법, 경제론적 평가법, 경영과학적 평가법으로 분류하고 있다. 또한 불확실성(uncertainty)아래에서 최적 대안 선정을 위한 방법론으로서 Hwang and Lin은 다목적 의사결정(MODM, Multiple Objective Decision Making)과 다속성 의사결정(MADM, Multiple Attribute Decision Making)으로 분류하고 있다.

이러한 여러 가지 분석 및 평가 방법들을 근거로 본 연구에서는 다속성 의사결정방법중 AHP를 선정하여 수행하였다.

3. 분석대안 및 요인 선정

3-1. 분석대안 선정

본 연구에서 대상이 되는 수소에너지 보급/확산을 도모하기 위해 현시점에서 적용이 가장 적합하다고 판단되는 수소 제조원을 선정하여야 하며 선정에 따른 근거가 객관적이어야 한다.

따라서 AHP에 의한 최적 믹스 도출을 위한 대상 제조원은 “수소경제 실현을 위한 로드맵”에 근거하여 2030년-2040년 상용화를 목표로 하는 최적 믹스 도출에 방향성을 두고 있는 제조원인 천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력의 6개 제조원을 대상으로 하였다.

3-2. 영향요인 선정

영향요인(IF, Impact Factor)이란 개발기술에 직접 또는 간접적으로 영향을 끼칠 수 있는 요인들로서 이는 유/무형적, 정성적, 정량적 특성을 모두 포함하고 있는 총체적 요인들을 말한다.

본 연구에서는 영향요인을 정량적 지표와 정성적 지표로 구분하여 발굴하였는데 이러한 요인들은 수소에너지 보급사업에서 쟁점화되고 비중있게 논의되고 있는 내용과 에너지기술 측면에서 고려되어야 할 내용들을 대상으로 발굴하였다.

Table 1. Impact Factor Category

대항목	중항목	비고
1. 경제성	1-1. 투자비 규모 1-2. 공급원가 1-3. 투자회수	- 기술개발에 따른 사업화 실시 시에 있어서 경제적 가치 창출의 척도 - 고려해야 할 세부 항목으로는 공급원가, 투자비 규모(초기투자비, 토지구입비, 운영자본 등), 투자회수 등
2. 기술성	2-1. 수소제조 우수성 2-2. 기술개발 자립성 2-3. 기술의 성숙성 2-4. 기술적용의 안전성	- 개발기술과제가 지니고 있는 기술적 특성을 고려하여 평가 - 고려해야 할 세부 항목으로는 수소제조 우수성, 기술개발 자립성 등
3. 시장성	3-1. 부가가치 창출 3-2. 상용화 가능성 3-3. 시장 진입 가능성 3-4. 시장규모	- 기술개발에 따른 상업적 가능성을 고려한 요인들로 구성 - 고려해야 할 세부 항목으로는 부가가치 창출, 상용화 가능성 등
4. 파급효과	4-1. 에너지공급기여도 4-2. 과학적 공헌도 4-3. 타 분야와의 연계성 4-4. 국제협력 가능성	- 파급효과는 개발 및 적용에 따른 부과적 효과를 고려하여 평가 - 고려해야 할 세부 항목으로는 에너지공급기여도, 과학적 공헌도 등

본 연구에서 선정된 영향요인으로는 경제성,

기술성, 시장성, 파급효과의 4개 상위 요인과 함께 15개 하위요인으로 발굴하여 분석/평가하였다.

각 항목별 구성요인은 다음과 같다. 첫째, 경제성은 기술개발에 따른 사업화 실시 시에 있어서 경제적 가치 창출의 척도를 평가하는 것이며 고려해야 할 세부 항목으로는 공급원가, 투자비 규모(초기투자비, 토지구입비, 운영자본 등), 투자회수 등으로 구성된다. 둘째, 기술성은 개발기술과제가 지니고 있는 기술적 특성을 고려하여 평가하며 고려해야 할 세부 항목으로 수소제조 우수성, 기술개발 자립성, 기술의 성숙성, 기술적용의 안전성으로 구성된다. 셋째, 시장성은 기술개발에 따른 상업적 가능성을 고려한 요인들로 구성되며 고려해야 할 세부 항목으로 부가가치 창출, 상용화 가능성, 시장 진입 가능성, 시장규모로 구성된다. 넷째, 파급효과는 개발 및 적용에 따른 부과적 효과를 고려하여 평가하며 고려해야 할 세부 항목으로 에너지공급기여도, 과학적 공헌도, 타 분야와의 연계성, 국제협력 가능성으로 구성된다.

4. 분석 및 평가

4.1 관련요소의 분해

수소에너지 제조원별 최적믹스 도출에 대한 평가기준의 계층구조 기본설계를 위해 평가특성은 여러 요인으로 구분될 수 있다. 이를 AHP모형에 적용하기 위해 각각의 요인들로 구성된 모형을 설정하고 평가를 실시하였다.

첫째, 수소제조원별 평가에서는 천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력에 대한 중요도 항목을 쌍별 비교하여 가중치를 산출하였다.

둘째, 수소에너지 제조원별 최적믹스 도출에 영향을 끼치는 영향요인을 발굴하고 이를 1계층과 2계층으로 구분하여 기본 모형을 설계하였으며 이에 따른 평가를 실시하였다.

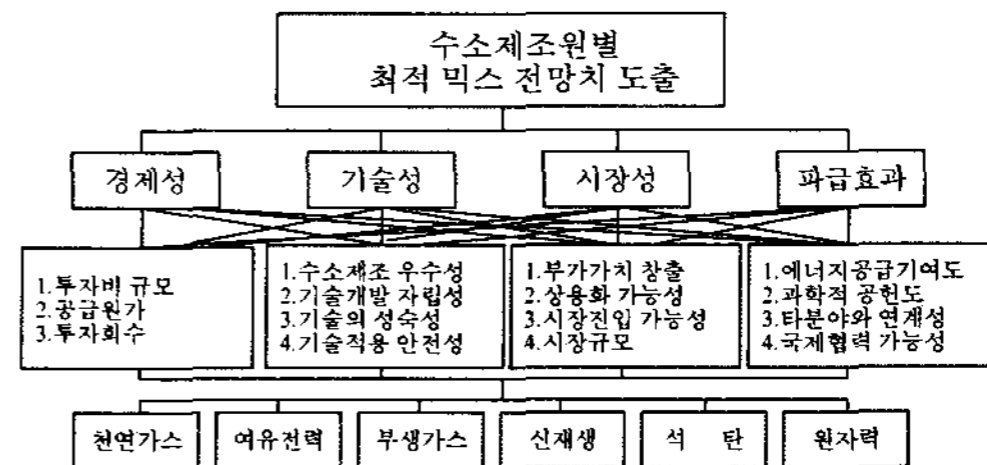


Fig.1 Hierarchy Model of AHP

4.2 관련요소의 비교평가

본 연구에서는 AHP를 이용하여 수소에너지 제조원별 최적믹스 도출의 평가 중요도를 산출하기 위해 산, 학, 연을 망라한 수소에너지 관련 전문가들을 대상으로 설문평가 조사를 실시하였다.

수소제조원별 설문평가는 6개 제조원별간(천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력)의 중요도 산출 및 영향요인들에 대한 중요도 가중치를 산출하기 위해 수행되었다.

1차 평가는 AHP 9점 척도에 의한 쌍대비교평가를 실시하였으며 2차 평가는 6개 제조원별간 리커트척도식 질문(Likert Scale Question)인 5점 척도를 부여하여 중요도 가중치를 산출하기 위해 수행되었다.

1차 평가는 산/학/연 전문가 총 120명을 대상으로 실시하였다. 이중(120명중) 29매를 회수(회수율 24.2%)하여 회수된 AHP설문평가서의 일관성(CR, Consistency Ratio))을 점검한 결과 AHP적용이 가능한 제조원별 평가는 19매, 영향요인에 대한 평가는 17매를 채택하여 분석을 실시하였다.

2차 평가인 영향요인에 대한 평가서는 관련 산/학/연 전문가 총 120명을 대상으로 우편조사와 이메일 조사를 병행하여 실시하였다. 이중(120명중) 30매를 회수(회수율 25%)하여 평가서로서 가치를 상실(일부 누락 등 불성실한 답변)한 7매를 제외하고 평가로서 가치를 지닌 23매(19.2%)를 대상으로 하여 분석을 실시하였다.

평가서는 AHP를 이용하여 수소에너지 제조원별, 영향요인별 도입 분석을 위한 평가요인의 중요도 산출을 위한 문항으로 구성되었으며 응답자의 이해를 돕기 위하여 응답방식에 대한 설명을 첨부하였다.

또한 설문조사 결과가 몇 개의 극단치에 좌우되는 단점을 극소화하기 위하여 기하평균을 이용하여 중요도를 산출하였으며 개발기술에 대한 각 평가특성의 중요도는 AHP전용 S/W인 Expert Choice2000을 사용하였다.

4.3 AHP 적용 중요도 산출

4.3.1 제조원별 우선순위에 대한 중요도 가중치 산출

수소제조를 위한 에너지원별 평가서에 대한 각각의 AHP평가서를 일관성(CR) 검증을 실시하고 검증이 완료된 평가서의 데이터를 기하평균하여 입력 데이터로 변환한 후, S/W에 입력하여 각각의 중요도를 산출하였다. 산출된 제조원별 중요도 가중치는 신재생에너지(0.314)가 가장 높게 산출되었으며, 그 다음이 원자력(0.227), 천연가스(0.158), 여유전력(0.133), 부생가스(0.094), 석탄(0.073)순으로 산출되었다 <Table 2>.

Table 2. Importance Weights by Resource

원 별	신재생 에너지	원자력	천연 가스	여유 전력	부생 가스	석탄	Total
가중치	0.314	0.227	0.158	0.133	0.094	0.073	1.000
순 위	1	2	3	4	5	6	

4.3.2 제조원별 우선순위에 대한 직관적 평가 결과

본 평가에서는 제조원별로 전문가를 통해 직관적으로 서열을 정하는 직관평가를 실시하였다.

본 평가를 실시하는 목적은 AHP를 통해 분석된 평가와 직관적 평가의 차이점을 비교하기 위한 것으로서 전문가의 직관적 평가와 AHP에 의한 일관성 검증 결과에 차이를 비교하기 위해 실시한 것이다.

평가 방법은 6개 제조원별로 1에서 6위까지 각 평가 전문가들이 우선순위 서열을 부여하여 결정토록 하였으며 중요도가 큰 속성의 계수가 큰 수로 들어가야 하므로 평가된 우선순위를 역으로 한 후 각 수치를 속성별로 표준화 하였다.

각 요소를 표준화하는 방법으로 벡터 표준화(vector normalization)를 들 수 있으며 이 방법은 각 열벡터(column vector)를 자신의 norm으로 나눔으로써 얻어진다. 이 방법은 모든 요소가 무차원 단위(non-dimensional unit)로 표현됨으로써 요소들간의 비교가 가능하게 한다. 본 연구에서 수행된 6개의 제조원을 하나의 속성으로 보고 각 속성값 x_i 에 대한 표준화 값을 r_i 라 한다면 이를 구하기 위한 식은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = \frac{x_i}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}} \quad (i=1, \dots, 6)$$

이에 따라 산출된 결과를 살펴보면 신재생에너지(0.215)가 가장 높게 나왔으며 다음으로 원자력(0.195), 천연가스(0.192), 여유전력(0.171), 부생가스(0.128), 석탄(0.099)순으로 나타났다.

Table 3. Priorities by Ranking Evaluation

전문가	천연 가스	여유 전력	부생 가스	신재생	석 탄	원자력	Total
spe.1	0.190	0.095	0.143	0.286	0.048	0.238	1.000
spe.2	0.143	0.190	0.048	0.095	0.286	0.238	1.000
spe.3	0.238	0.048	0.095	0.286	0.143	0.190	1.000
spe.4	0.286	0.143	0.190	0.238	0.048	0.095	1.000
spe.5	0.095	0.190	0.143	0.286	0.048	0.238	1.000
spe.6	0.143	0.286	0.095	0.238	0.048	0.190	1.000
spe.7	0.286	0.095	0.238	0.190	0.048	0.143	1.000
spe.8	0.238	0.143	0.095	0.190	0.048	0.286	1.000
spe.9	0.095	0.238	0.190	0.286	0.048	0.143	1.000
spe.10	0.286	0.143	0.095	0.190	0.048	0.238	1.000
spe.11	0.190	0.143	0.048	0.238	0.095	0.286	1.000
spe.12	0.286	0.095	0.048	0.190	0.238	0.143	1.000
spe.13	0.143	0.190	0.095	0.286	0.048	0.238	1.000
spe.14	0.143	0.095	0.048	0.190	0.238	0.286	1.000
spe.15	0.238	0.286	0.143	0.095	0.048	0.190	1.000
spe.16	0.238	0.143	0.190	0.286	0.095	0.048	1.000
spe.17	0.143	0.190	0.048	0.238	0.095	0.286	1.000
spe.18	0.048	0.143	0.190	0.238	0.095	0.286	1.000
spe.19	0.048	0.190	0.238	0.286	0.143	0.095	1.000
spe.20	0.190	0.095	0.143	0.286	0.048	0.238	1.000
spe.21	0.238	0.190	0.286	0.143	0.048	0.095	1.000
spe.22	0.190	0.143	0.095	0.286	0.048	0.238	1.000
spe.23	0.238	0.190	0.143	0.286	0.048	0.095	1.000
spe.24	0.286	0.095	0.048	0.143	0.190	0.238	1.000
spe.25	0.238	0.286	0.048	0.095	0.143	0.190	1.000
spe.26	0.286	0.190	0.238	0.048	0.095	0.143	1.000
spe.27	0.048	0.238	0.095	0.286	0.143	0.190	1.000
spe.28	0.190	0.238	0.095	0.048	0.143	0.286	1.000
spe.29	0.190	0.238	0.143	0.286	0.048	0.095	1.000
total	5.571	4.952	3.714	6.238	2.857	5.667	29.000
Ave.	0.192	0.171	0.128	0.215	0.099	0.195	1.000
rank	3	4	5	1	6	2	

4.3.3 영향요인의 중요도 가중치 산출

수소에너지 제조원별 영향요인의 대분류로 경제성, 기술성, 시장성, 파급효과간의 우선순위에 대한 중요도 산출을 위해 AHP 설문평가서 조사 결과를 토대로 기하 평균된 수치를 입력하여 각각의 중요도를 산출하였다.

각각의 대항목과 소항목별로 산출된 가중치를 승산하여 최종 영향요인별 가중치를 환산한 결과는 다음과 같다.

영향요인에 대한 최종 우선순위 가중치는 공급원가(0.126)가 가장 높게 산출되었으며, 그 다음이 에너지 공급 기여도(0.121), 상용화가능성(0.098) 순으로 나타났다. 가장 적은 하위 3가지 영향요인의 가중치는 과학적 공헌도(0.043), 타분야와의 연계성(0.039), 국제협력가능성(0.031)으로 나타났는데 최상위 영향요인과 최하위 영향요인간의 가중치 편차는 0.095인 것으로 나타났다.

Table 4. Result of 1st Evaluation

대항목	개별 가중치 (①)	개별 순위	소항목	개별 가중치 (②)	개별 순위	환산 가중치 (③=①×②)	전체 순위	
경제성	0.279	1	투자비규모	0.247	3	0.069	5	
			공급원가	0.451	1	0.126	1	
			투자회수	0.302	2	0.084	4	
기술성	0.223	4	수소제조우수성	0.298	1	0.066	6	
			기술개발자립성	0.255	2	0.057	8	
			기술의 성숙성	0.209	4	0.047	12	
			기술적용의 안전성	0.238	3	0.053	9	
시장성	0.264	2	부가가치 창출	0.245	2	0.065	7	
			상용화가능성	0.373	1	0.098	3	
			시장진입가능성	0.191	4	0.050	11	
			시장규모	0.192	3	0.051	10	
파급효과	0.234	3	에너지 공급 기여도	0.518	1	0.121	2	
			과학적 공헌도	0.185	2	0.043	13	
			타분야와의 연계성	0.166	3	0.039	14	
			국제협력 가능성	0.131	4	0.031	15	
			합 계				1.000	

4.3.4 제조원을 고려한 영향요인 가중치 산출

본 2차 설문 평가는 AHP를 이용하여 수소에너지 제조원별 최적믹스 도출의 평가 중요도가 유용성 있게 도출됨에 따라, 각 제조원별에 대한 영향요인을 고려한 중요도를 구하기 위하여 산, 학, 연을 망라한 수소에너지 관련 전문가들을 대상으로 실시하였다. 수소제조원별 설문평가서는 경제성, 기술성, 시장성, 파급효과의 대항목에 대한 소항목들의 영향요인들에 대하여 6개 제조원별간(천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력) 리커트척도식 질문(LSQ, Likert Scale Question)인 5점 척도를 부여하여 중요도 가중치를 산출하기 위해 수행되었다.

그결과 경제성의 경우 천연가스(10.82)가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로 석탄(10.57), 여유전력(9.74), 부생가스(9.48), 원자력(8.57), 신재생에너지(7.18)순으로 평가결과가 산출되었다.

기술성의 경우 역시 천연가스(15.14)가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로 여유전력(14.17), 부생가스(12.79), 신재생에너지(12.22), 석탄(12.21), 신원자력(11.34)순으로 평가결과가 산출되었다.

시장성의 경우는 천연가스(15.57)가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로 원자력(13.12), 신재생에너지(12.05), 부생가스(11.88), 여유전력(11.52), 석탄(11.48)순으로 평가결과가 산출되었다.

파급효과의 경우는 신재생에너지(15.34)가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로 원자력(15.26), 천연가스(12.39), 석탄(10.27), 부생가스(9.22), 여유전력(8.35)순으로 평가결과가 산출되었다.

전체적으로 보아 천연가스가 다소 높게(3.59) 나타났으며, 원자력(3.12), 신재생에너지(3.12) 순으로 나타난 반면 여유전력, 부생가스, 석탄은 다소 낮게 평가 되었다.

Table 5. Result of 2nd Evaluation

대항목	소항목	제조원별						
		천연가스	여유전력	부생가스	신재생	석탄	원자력	합계
경제성	투자비규모	3.43	3.30	3.35	2.52	3.43	1.96	17.99
	공급원가	3.65	2.96	3.04	2.57	3.57	3.61	19.40
	투자회수	3.74	3.48	3.09	2.09	3.57	3.00	18.97
	소 계	10.82	9.74	9.48	7.18	10.57	8.57	56.36
규준화		0.192	0.173	0.168	0.127	0.188	0.152	1.000
기술성	수소제조우수성	3.61	3.17	3.09	3.17	2.39	3.39	18.82
	기술개발자립성	3.83	3.43	3.13	3.22	3.48	3.13	20.22
	기술의 성숙성	3.96	3.70	3.09	2.26	3.04	2.52	18.57
	기술적용의 안전성	3.74	3.87	3.48	3.57	3.30	2.30	20.26
소 계		15.14	14.17	12.79	12.22	12.21	11.34	77.87
규준화		0.194	0.182	0.164	0.157	0.157	0.146	1.000
시장성	부가가치 창출	3.39	2.48	2.96	3.70	2.61	3.43	18.57
	상용화가능성	4.13	3.35	3.39	2.91	3.17	3.30	20.25
	시장진입가능성	4.09	3.04	2.96	2.83	2.87	3.13	18.92
	시장규모	3.96	2.65	2.57	2.61	2.83	3.26	17.88
소 계		15.57	11.52	11.88	12.05	11.48	13.12	75.62
규준화		0.206	0.152	0.157	0.159	0.152	0.173	1.000
파급효과	에너지 공급 기여도	3.87	2.35	2.17	2.52	2.70	3.96	17.57
	과학적 공헌도	2.65	1.96	2.57	4.43	2.43	3.91	17.95
	타분야와의 연계성	3.09	2.13	2.39	4.17	2.57	3.35	17.70
	국제협력 가능성	2.78	1.91	2.09	4.22	2.57	4.04	17.61
소 계		12.39	8.35	9.22	15.34	10.27	15.26	70.83
규준화		0.175	0.118	0.130	0.217	0.145	0.215	1.000
평균		3.59	2.92	2.85	3.12	2.97	3.22	18.71
규준화		0.192	0.156	0.154	0.167	0.159	0.172	1.000

4.3.5 수소 제조원별 최종가중치 산출

Table 4. Result of 1st Evaluation의 영향요인에 대한 환산 가중치와 Table 5. Result of 2nd Evaluation의 2차 세부요인 평가치를 곱하여 영향요인에 대한 복합가중치를 계산하여 합계를 구하면 Table 6. Result of composition weights 과 같으며 그 결과 천연가스(3.672)와 원자력(3.257), 석탄(3.039)이 다소 높게 나타났으며, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지는 다소

낮게 평가되었다.

Table 2. Importance Weights by Resource 의 제조원별 도입 우선순위 가중치와 Table 6. Result of composition weights 의 영향요인에 대한 복합가중치의 합계를 곱하여 표준화(normalize)시키면 수소에너지 제조원별 최적믹스에 대한 최종 가중치인 Table 7. Result of Mix Weights와 같다.

제조원별 단순비교 가중치가 천연가스(0.158), 여유전력(0.133), 부생가스(0.094), 신재생에너지(0.314), 석탄(0.073), 원자력(0.227)의 가중치를 갖는 반면에 영향요인에 대한 복합 가중치를 고려한 가중치에서는 천연가스(0.185), 여유전력(0.126), 부생가스(0.088), 신재생에너지(0.295), 석탄(0.071), 원자력(0.236)으로 다소 비율이 상이하게 나타남을 알 수 있다.

Table 6. Result of Composition Weights

대항목	소항목	제조원별						합계
		천연가스	여유전력	부생가스	신재생에너지	석탄	원자력	
경제성	투자비규모	0.237	0.228	0.231	0.174	0.237	0.135	1.242
	공급원가	0.460	0.373	0.383	0.323	0.449	0.455	2.443
	투자회수	0.314	0.292	0.259	0.175	0.299	0.252	1.591
	소 계	1.011	0.893	0.873	0.672	0.985	0.842	5.276
	표준화	0.192	0.169	0.165	0.127	0.187	0.160	1.000
기술성	수소제조우수성	0.238	0.209	0.204	0.209	0.158	0.224	1.242
	기술개발자립성	0.218	0.196	0.178	0.183	0.198	0.178	1.151
	기술의 성숙성	0.186	0.174	0.145	0.106	0.143	0.119	0.873
	기술적용의 안전성	0.198	0.205	0.184	0.189	0.175	0.122	1.073
	소 계	0.840	0.784	0.711	0.687	0.674	0.643	4.339
표준화	0.194	0.181	0.164	0.158	0.155	0.148	1.000	
시장성	부가가치 창출	0.220	0.161	0.192	0.240	0.170	0.223	1.206
	상용화가능성	0.405	0.328	0.332	0.285	0.311	0.324	1.985
	시장진입가능성	0.204	0.152	0.148	0.141	0.143	0.157	0.945
	시장규모	0.202	0.135	0.131	0.133	0.144	0.166	0.911
	소 계	1.031	0.776	0.803	0.799	0.768	0.870	5.047
표준화	0.204	0.154	0.159	0.158	0.152	0.172	1.000	
과급효과	에너지공급기여도	0.468	0.284	0.263	0.305	0.326	0.479	2.125
	과학적공헌도	0.114	0.084	0.110	0.191	0.105	0.168	0.772
	타분야와의 연계성	0.120	0.083	0.093	0.163	0.100	0.131	0.690
	국제협력 가능성	0.086	0.059	0.065	0.131	0.080	0.125	0.546
	소 계	0.788	0.510	0.531	0.790	0.611	0.903	4.133
표준화	0.191	0.123	0.128	0.191	0.148	0.218	1.000	
합 계		3.672	2.964	2.920	2.950	3.039	3.257	18.802
표준화		0.195	0.158	0.155	0.157	0.162	0.173	1.000

Table 7. Result of Mix Weights

구 분	천연가스	여유전력	부생가스	신재생에너지	석탄	원자력
제조원별 AHP 가중치 (①)	0.158	0.133	0.094	0.314	0.073	0.227
영향요인에 대한 복합가중치(②)	3.672	2.964	2.920	2.950	3.039	3.257
최종가중치 (③=①×②)	0.580	0.394	0.274	0.926	0.222	0.739
최종가중치 표준화	0.185	0.126	0.088	0.295	0.071	0.236
순 위	3	4	5	1	6	2

5. 종합분석 및 결론

5.1 종합분석

수소에너지제조원별 최적믹스 가중치 산출을 위한 평가 영향요인들은 평가자의 주관성과 객관성을 고려할 때 그 값들이 서로 상이하게 산출될 수 있다. 그러나 본 연구에서 수행된 AHP의 경우 일관성 검증을 거친 결과임에 따라 다른 어떠한 방법론보다 신뢰성 측면에서 앞선다고 할 수 있다.

본 논문에서는 수소제조원별 최적믹스 도출을 위해 2차에 걸친 전문가 설문평가를 실시하였다.

첫 번째 설문평가는 수소제조원별 6개 제조원별간(천연가스, 여유전력, 부생가스, 신재생에너지, 석탄, 원자력)의 중요도 산출 및 영향요인들에 대한 중요도 가중치를 산출하기 위해 1차 설문평가 조사를 실시하였다.

두 번째 설문 평가는 각 항목들에 대한 영향요인을 고려한 중요도를 구하기 위하여 산, 학, 연을 망라한 수소에너지 관련 전문가들을 대상으로 2차 설문평가 조사를 실시하였다.

1차 및 2차에 걸쳐 실시된 두 차례의 평가결과를 토대로 수소제조원별 최적 믹스를 도출하였으며 도출된 최적믹스를 비교하기 위해 직관적 평가에 의한 제조원별 믹스 가중치 도출과 AHP에 의한 제조원별 간의 믹스 가중치를 도출하여 비교 분석하였다. 결론적으로 본 연구에서는 크게 구분하여 다음과 같이 세가지 믹스를 도출하였다.

첫째, 전문가의 직관적 평가에 의한 제조원별 믹스 가중치 도출

둘째, AHP에 의한 제조원별 간의 믹스 가중치 도출

셋째, AHP를 이용한 제조원별간, 영향요인을 고려한 믹스 가중치 도출

각각의 믹스 도출 결과를 분석하여 보면 순위 측면에서는 세 가지 믹스 모두 변동이 없는 것으로 나타났으나 각각의 제조원별 간의 믹스 가중치는 차이가 있는 것으로 나타났다.

천연가스의 경우 직관적 평가에 의한 가중치가 가장 높은 0.192로 나타났으며 AHP를 이용한 제조원별 평가에서는 가장 낮은 0.158로 나타나 최종믹스 가중치(0.185)와는 높게는 0.003과 낮게는 0.027의 차이가 있는 것으로 나타났다.

여유전력의 경우 직관적 평가에 의한 가중치가 가장 높은 0.128로 나타났으며 AHP를 이용한 제조원별 평가에서는 0.094로 나타나 최종믹스 가중치(0.126)보다 모두 높게 나타났다.

부생가스의 경우 직관적 평가에 의한 가중치가 가장 높은 0.171로 나타났으며 AHP를 이용한 제조원별 평가에서는 0.133으로 나타나 최종믹스 가중치(0.088)보다 모두 높게 나타났다.

신재생에너지의 경우 AHP를 이용한 제조원별 평가가 가장 높은 0.314로 나타났으며 직관적 평가에 의한 가중치는 0.215로 나타나 최종믹스

가중치(0.295)를 기준으로 높게는 0.019, 낮게는 0.08의 차이가 있는 것으로 나타났다.

석탄의 경우 직관적 평가에 의한 가중치가 가장 높은 0.099로 나타났으며 AHP를 이용한 제조원별 평가에서는 0.073으로 나타나 최종믹스 가중치(0.071)보다 모두 높게 나타났다.

원자력의 경우 최종믹스 가중치가 가장 높은 0.236으로 나타났으며 AHP를 이용한 제조원별 평가에서는 0.227, 직관적 평가에 의한 가중치는 0.195로 가장 낮게 나타났다.

최종적으로 2030~2040년에 상용화를 목표로 하는 수소에너지 제조원별 최적 믹스 도출에 방향성을 두고 각각의 수소 제조원별 믹스를 산출하여 본 결과는 다음과 같다.

신재생에너지가 29.5%로 가장 많이 점유할 것으로 예측되고 있으며 다음으로 원자력(23.6%), 천연가스(18.5%), 여유전력(12.6%), 부생가스(8.8%), 석탄(7.1%)의 믹스 형태를 유지할 것으로 예측하고 있다.

명한 상태에서 신·재생에너지의 중요성이 크게 부각되고 있다.

신·재생에너지는 자원량의 공급에서도 중요하지만 자원량을 활용할 수 있는 기술확보가 자원량 확보라고 할 수 있는데 이는 신·재생에너지 기술개발 투자 선진국에서 기술확보에 따른 신·재생에너지 자원보유국로의 입지강화에서 알 수 있다.

우리나라의 경우 신·재생에너지 보급 목표를 2006년 총에너지의 3%, 2011년 5%를 설정하여 공급한다는 목표를 설정하고 있으나 이러한 목표는 집중적인 자금 투자와 그에 따른 기술개발이 이루어질 때 가능한 것이다.

특히 소요자금의 대형화와 연구개발의 불확실성 등과 같은 요인들과 함께 단기적 이윤을 추구하는 민간기업의 적극적인 참여가 없을 때에는 목표달성에 어려움이 있을 것으로 예견되고 있으며 이를 보완할 수 있는 제도적, 정책적 지원이 무엇보다 필요한 시점이라고 할 수 있다.

Table 8. Mix Weights of Hydrogen Energy Production

믹스도출의 구분	천연가스	여유전력	부생가스	신재생	석탄	원자력	Total
직관적 평가에 의한 제조원별 믹스 가중치	0.192	0.171	0.128	0.215	0.099	0.195	1.000
AHP에 의한 제조원별 믹스 가중치	0.158	0.133	0.094	0.314	0.073	0.227	1.000
AHP를 이용한 제조원별간, 요인을 고려한 최종믹스 가중치	0.185	0.126	0.088	0.295	0.071	0.236	1.000

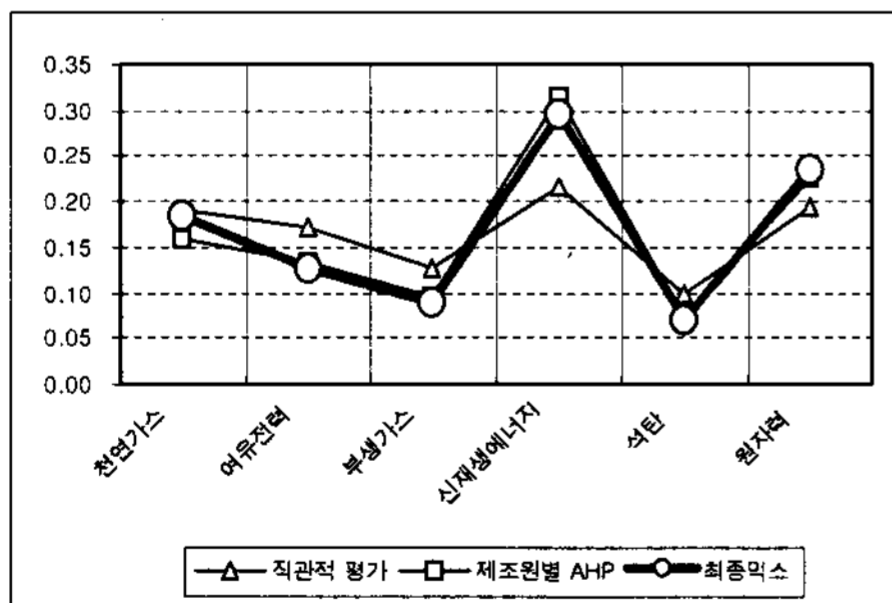


Fig.2 Comparison of Mix Weights

5.2 결론

현재 세계적인 에너지수요는 화석에너지가 전체 에너지공급량의 80%이상을 점유하고 있으며 특히 석유의 경우 안정공급체계의 불안정, 고유가에 대한 불안심리, 환경요인의 요인매체, 자원한계성 등으로 경제, 사회적 우위성을 상실하고 있다. 그러나 이러한 화석에너지의 경제적, 사회적 우위성의 상실에도 불구하고 향후 이를 획기적으로 대체할 만한 에너지 자원의 개발이 불투

References

- [1] 부경진외, 2006. 11, 수소경제의 실현을 위한 부문별 수소수요량 산정 및 공급방안 연구, 에너지경제연구원
- [2] 김진오외, 2003. 7., "대체에너지보급목표 달성을 위한 세부 실행계획수립 연구", 산업자원부
- [3] 이덕기, 2006.7., 다속성효용이론을 이용한 열공급 시스템 대안 평가, 자원.환경경제연구
- [4] 이덕기, 2005.6., AHP를 이용한 신재생에너지 보급 확산 제도 평가, 한국신재생에너지학회지 Vol.1 No.2 pp79-90
- [5] 이덕기, 2003. 4., "AHP를 이용한 에너지시스템 대안선정평가", 자원환경경제연구, 제12권 pp611-635
- [6] Deokki Lee, September 2004, "An Analysis on the CO₂ Reduction and Sequestration Technology Using the AHP", The Korea Society Energy Engineering, Vol. 13, No.3, pp219-227
- [7] Buede, D. M., 1992., "Software Review Three Packages for AHP : Criterium, Expert Choice and HIPRE3+", *Journal of Multi-Criteria Derision Analysis*, Vol. 1, Issue. 2, pp.119-121
- [8] Rubenstein, A. H., Jan.-Feb. 1975., "Setting Criteria for R&D", *Harvard Business Review*, pp.95~104.
- [9] Hwang, C. L., and Lin, M. J., 1987, "Group Decision Making under Multiple Criteria-Methods and Applications", Springer-Verlag, pp342-370
- [10] Saaty, T.L, 1986., "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, Vol. 32, No.7, pp.841-855
- [11] Saaty, T. L, 1977., "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp.234-281
- [12] Saaty, T. L, 1980., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, p.54., pp170-171