

# AHP를 이용한 기술개발 대안평가에 관한 연구

## - A Study on the selection of technology alternatives using AHP -

이 병 욱\*\*  
정 수 일\*\*\*

### Abstract

The AHP is a good methodology for the multicriterion decision-making process such as nuclear fuel cycle technology selection, which requires consideration of international circumstances, social factors, economic factors as well as technological factors. This paper presents the prioritization of technologies using AHP at back-end fuel cycle development strategy and it would be useful for the national nuclear development planners.

### 1. 서론

일반적으로 원자력 사업과 같은 대규모사업에는 다양한 기술대안이 존재하며, 다수의 요인이 복합적으로 의사결정에 영향을 미치는 양상을 나타내고 있다. 특히 원자력 사업의 의사결정에는 국제 정치, 국내 사회, 경제, 기술 측면이 복잡하게 얽혀 있다. 이러한 문제는 수학적 모델에만 의존하여 해결하기가 곤란하므로 정성적인 평가기준을 적절히 정량화하는 것이 필요하며, 여러 기준을 고려하여야 하기 때문에 체계적인 문제해결방안이 필요하다. 이상의 문제는 다기준 의사결정 문제에 해당하며, 각 대안을 평가 기준에 의하여 평가하여 가장 좋은 대안을 선택하는 것으로서, 각각의 평가 기준에는 평가 기준간의 상대적인 중요도를 나타내는 가중치의 결정이 의사결정에 중요한 영향을 미친다. 가중치 결정에 대한 연구로서 T. L. Saaty에 의한 AHP(Analytic Hierarchy Process : 계층화 의사결정기법)가 제안되어 정성적인 평가기준을 정량화하는데 유용한 도구로 이용되고 있다[7].

AHP 기법은 주관적인 평가요인을 수용하는 매우 유연한 의사결정 분석기법으로 수학적 이론보다는 직관(intuition)을 바탕으로 하고 있기 때문에 그 논리가 매우 쉽다는 장점을 지니고 있다[8]. 또한 AHP는 계층구조를 이용하여 반복적으로 분석하는 방법으로서 이해하기 쉽고 간단해서 여러 분야에 응용되고 있으며, 특히 개발할 기술의 대안을 선정하는데 많이 이용되고 있다[5,6,9].

본 연구는 AHP를 이용하여 다수의 평가기준이 포함된 후행핵연료 주기 기술개발의 대안을 평가하는데 목적이 있다. 이를 위해 문제의 구조를 계층화하고 각 평가기준과 대안을 정의한 다음 각 분야의 전문가를 대상으로 설문조사를 행하였다. 본 연구의 결과와 기술개발 대안의 평가과정은 향후 유사한 분야의 기술개발 선정에 적용될 수 있을 것이다.

---

\* 본 연구결과는 한국원자력연구소의 공식적인 입장을 표명한 것은 아님

\*\* 인하대학교 산업공학과 박사과정/한국원자력연구소 선임연구원

\*\*\* 인하대학교 산업공학과

## 2. AHP 기법의 적용 사례

### 2.1 문제의 개요

우리나라는 에너지 부존자원이 빈약하여 거의 대부분의 에너지를 수입에 의존하고 있으며, 경제의 고도성장에 따라 에너지 이용량이 많아지면서 수입량도 증가하고 있다. 전력의 경우 수력발전을 제외한 모든 발전원 즉, 우라늄, 중유, 석탄, LNG 등이 모두 수입 에너지이다. 전력의 발전단가는 주로 고정비와 연료비로 구성되며, 발전단가중 연료비 비중은 원자력, 석탄, 중유, LNG의 순으로 14.7%, 45.8%, 75.8%, 77.4%를 차지하고 있다[4]. 원자력의 경우 핵연료를 재이용하면 에너지 수입 의존도를 줄일 수 있다.

핵연료를 취급하는 전 과정을 핵연료주기(nuclear fuel cycle)라고 부르며, 원자로에서 연소시키기 전까지의 과정 즉, 우라늄 원광의 채굴에서부터 농축 및 성형가공 까지를 선행 핵연료주기(front-end nuclear fuel cycle), 원자로에서 연소시키고 난 사용후 핵연료의 처분, 재처리 또는 부분적인 처리과정을 거쳐 기존의 원자로나 고속증식로에 이용하는 과정을 후행 핵연료주기(back-end nuclear fuel cycle)라 부른다.

현재 우리나라는 후행 핵연료주기 정책을 2000년대 초반에 결정할 예정이며, 사용후 핵연료를 재이용 할 경우 어떠한 기술을 개발 할 것인가가 주요 과제로 대두 된다. 핵연료 주기 개발에 관한 의사결정에서 주로 영향을 미치는 요인들은 크게 핵비확산 및 국제 환경, 경제, 사회, 기술적 측면의 요인 등을 들 수 있다[1]. 새로운 원자로를 건설하지 않고 기존의 로형을 사용하여 사용후 핵연료를 재이용하는 기술개발 대안에는 4가지가 있다.

### 2.2 대안 기술의 분류

사용후 핵연료를 재이용하는 방안은 현재 크게 6가지로 분류할 수 있다. 이 중에서 새로운 원자로를 건설하지 않고 이용할 수 있는 방안은 4가지로 압축되며, 각각의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 여기서의 사용후 핵연료는 모두 경수로에서 연소되고 난 후의 사용후 핵연료를 말한다.

첫번째는 사용후 핵연료를 재처리하여 플루토늄을 추출한 후 이를 경수로에 재이용 하는 방법이며(대안 A), 두번째는 사용후 핵연료를 재처리하여 플루토늄과 잔존하는 우라늄을 추출하여 플루토늄은 경수로에서 연소시키고 우라늄은 중수로에서 연소시키는 방법이며(대안 B), 세번째는 사용후 핵연료를 화학적 처리는 거치지 플루토늄을 추출하지 않고 일부 필요없는 물질을 제거한 다음 이를 이용하는 방법이다(대안 C). 마지막 방법으로서 사용후 핵연료를 약간의 처리 즉, 화학적 처리를 하지 않고 이를 성형/가공하여 중수로에 직접 이용하는 방법이다(대안 D).

### 2.3 평가기준의 설정과 문제의 계층화

기술 대안을 평가하기 위해 원자력연구소내 전문가들의 브레인스토밍을 통하여 평가기준을 설정하고 이를 계층화하였다.

평가기준은 후행핵연료주기 기술개발에 관련된 모든 가능한 기준을 도출한 후 상호 중복되지 않도록 조정하였다. 전문가 토의를 통해 도출된 평가기준은 크게 국제환경, 경제, 사회, 기술적 측면 등 4가지 이며, 각 평가기준에 영향을 미치는 세부 평가요소를 설정하였다. 이를 간단히 요약하면 다음과 같다.

#### 2.3.1 국제환경 측면

사용후 핵연료를 처리하여 재이용하는 과정은 플루토늄을 생산할 수 있거나 또는 플루토늄을 포함한 물질을 다루는 분야이기 때문에 실사 재처리를 하지 않더라도 국제 핵비확산 체제

의 통제와 감시의 대상이 되고 있다. 여기에 포함되는 평가 요소로는 안전조치 적용성 (Safeguardability), 수출통제, 쌍무위협상의 사전동의 등을 통한 공급국들의 간섭 그리고 핵물질의 국제적 수송에 따른 연안국들의 반대 등을 고려한 국제수송 용이성 등 4개의 평가 요소로 세분화 할 수 있다.

2.3.2 경제적 측면

경제적 측면은 각 기술 대안을 사용한 경우 발전단가(평균화 비용)와 상용공장의 건설에 소요되는 자금의 조달 용이성 등 2가지로 분류할 수 있다. 기술개발에 투입되는 연구비는 기술적 측면에 포함시켰다.

2.3.3 사회적 측면

사회적 측면은 기술개발후 사업화에 따른 대중의 수용성 즉, 방사성폐기물처분장 건설에 대한 반대와 같이 특정 기술을 개발하여 이용할 경우 대중이 수용하는 정도, 환경에 미치는 영향, 소요부지 조달 및 인허가 요소로 세분화 할 수 있다.

2.3.4 기술적 측면

일반적으로 기술개발에 영향을 미치는 요소로는 연구인력 확보 유.무, 연구비의 소요 정도, 장비 및 시설의 확보 정도가 있다. 따라서 이 3가지 요소와 기술개발을 위한 외국 기술의 도입 선을 추가하여 기술적 측면의 세부 요소로 설정하였다.

본 연구에서 설정한 4가지 평가기준과 앞에서 언급한 4가지 기술대안의 AHP의 계층도를 도식화하면 그림 1과 같다.

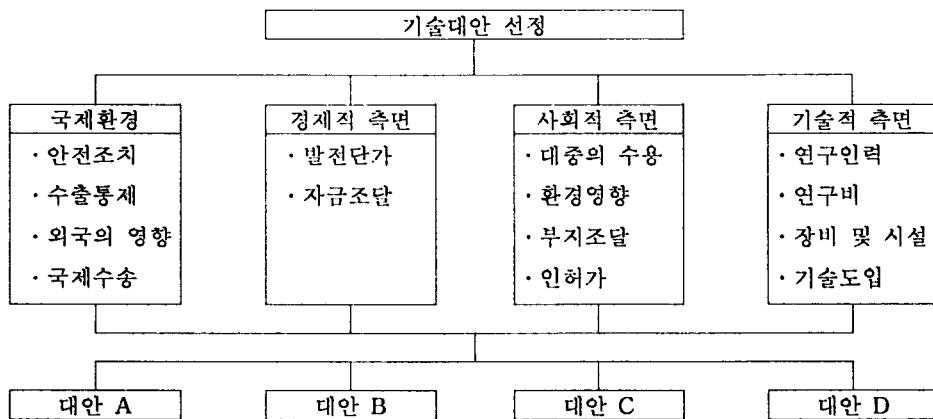


그림 1. 후행 핵연료주기 기술대안 평가 의사결정 계층도

2.4 설문서 작성과 정량적 데이터의 제공

직계 상위계층의 평가기준에서 직계 하위계층 요소들의 상대적인 중요도를 쌍별비교 행렬을 통하여 작성하기 위하여는 쌍별비교의 결과를 계량화 하는 것이 필요하다. 여기에 이용되는 비율척도(ratio scale)로는 통상 9점 척도가 널리 이용되고 있다[11]. 따라서 본 연구에서도 9점 척도를 이용하여 설문서를 작성하였다.

정성적 요인과 정량적 요인이 함께 포함되어 있는 경우 정량적 요인의 중요도 척도가 정성적 요인의 척도와 같을 때는 문제가 없으나 중요도의 척도가 상이할 경우에는 이를 동일한 척도로 변환(transformation)하는 작업이 필요하다[10]. M.N Sharif와 V. Sundararajan[9]은 정성

적인 요소와 정량적인 요소를 통합하는 수학적 모형을 개발하였다. 그들은 정성적 요인을 AHP를 이용하여 정량화 하고, 이를 정량적 데이터와 함께 요인분석(factor analysis)를 통해 가중치를 계산하였다. 또한 Emanuel Melachrinoudis와 Ken Rice[6]는 정성적 요소와 하나의 정량적 요소를 통합하는 모형을 개발하였다. 그들은 정량적 요소를 piecewise concave linear function을 이용하여 정성적 요소의 집수와 같은 척도로 변환하였다.

이러한 변환 과정은 정성적 요인의 중요도 척도로서 AHP의 9점 척도를 이용하였을 경우 정량적 요인의 중요도도 9점 척도로 변환하는 것이다. 정량적 데이터를 비율척도로 변환하여 사용하는 경우 설문 실시하지 않아도 되는 장점이 있지만 정량적 데이터에 대한 설문집단의 중요도를 적절히 반영할 수 없는 단점이 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 각 기술개발 대안들에 대한 경제성 데이터 중 발전단가를 추정하여 제시하였다.

## 2.5 가중치 부여

쌍별 비교를 행한 후에는 상대적인 비중을 추정하여야 한다. 상대적인 비중을 추정하는 방법으로는 산술평균법, 기하평균법, 최소자승법 및 고유치법(eigenvalue method) 등이 있는데 이 중에서 고유치 방식이 가장 널리 이용되고 있다[11]. 따라서 본 연구에서도 고유치 방법을 이용하여 가중치를 계산하였다.

## 2.6 복수의 평가자 자료의 결합

추정의 정확성을 위하여 여러 전문가, 의사결정자 또는 관련자에 의하여 쌍별비교 행렬을 얻을 수 있으나 각자의 주관적 사고가 서로 다를 수 있으므로 같은 행렬을 얻는 것은 어렵다. 이때 좋은 방법은 평가자들의 판단이 일치될 때까지 토의를 통해 합의된 쌍별비교 행렬을 얻는 것이다.

그러나 이러한 합의에 실패하거나 합의에 도달하기 위한 토론을 피하려면 평가자 각자의 판단을 통합해야 한다. 이러한 방법으로 여러가지가 있을 수 있으나 쌍별비교에 의한 역수특성(reciprocal property)을 만족해야 하므로 여러 전문가의 판단이 결합된 행렬도 이 특성을 만족해야 한다. 이 특성은 쌍별비교 행렬의 각 성분이 기하평균으로 결합될 때 유지될 수 있다[3].

즉, k번째 평가자의 판단 행렬이  $A_k = (a_{ijk})$ 라면 평가자 n명의 결합된 판단행렬은 다음과 같다.

$$\bar{A} = (\bar{a}_{ij}) \quad \text{단,} \quad \bar{a}_{ij} = \left( \prod_{k=1}^n a_{ijk} \right)^{1/n}$$

따라서 각 평가자들의 쌍별비교 행렬의 일관성을 평가하고 일관성이 좋지 않은 평가자의 자료는 평가에서 제외하고 나머지 평가자들의 판단행렬들을 앞에서 언급한 방법으로 결합한 후에 요인들의 정규가중치를 추정하였다.

## 2.7 적용결과의 분석

앞에서 설명한 평가기준을 AHP를 적용하여 도출된 결과를 분석하면 다음과 같다.

### 2.7.1. 각 평가기준의 중요도 평가

그림 1의 2단계에서 기술대안의 선정에 각 평가기준이 미치는 중요도를 평가한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 평가기준의 중요도 분석 결과

항목	국제환경 측면	경제적 측면	사회적 측면	기술적 측면
상대 중요도	0.427	0.323	0.123	0.128
Max 고유값 : 4.022	C.I : 0.0072		C.R : 0.008	

표 1에서 국제환경 측면이 후행해연료주기 추진에 가장 중요한 비중을 차지하는 것으로 평가되었다. 이는 후행해연료 주기의 기술개발 자체가 해무기 개발에 중요한 물질인 플루토늄을 취급하는데서 기인한 것이며, 특히 국제적으로 해무기의 확산을 방지하기 위한 여러가지 통제 제도들이 존재하고 있어 기술개발 활동에 영향을 미치고 있기 때문이다.

2.7.2. 세부 평가요소의 중요도 평가

상위 평가기준에 대한 세부평가 요소의 중요도를 구한 결과는 표2에서 표 5와 같다.

표 2. 국제환경 측면에서 세부 평가요소의 중요도

항목	안전조치	외국의 영향	수출통제	국제수송
상대 중요도	0.172	0.387	0.198	0.243
Max 고유값 : 4.019	C.I : 0.0063		C.R : 0.007	

국제환경 측면의 평가기준에서는 외국의 영향이 가장 중요한 요소로 평가되었다. 이러한 이유는 후행해연료 주기 기술개발이 국제적으로 민감한 플루토늄을 다루는 기술이며, 특히 해연료 물질을 전량 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 이들 핵물질의 형태나 형상 변경시 공급국의 사전동의를 받아야 하는 의무 등의 문제가 있기 때문이다[2]. 또한 핵물질의 국제수송도 중요한 것으로 평가되었는 바, 이는 핵물질의 국제수송시 연안국들의 반대가 심화되고 있는 상황을 반영한 것으로 평가된다.

표 3. 경제적 측면에서 세부 평가요소의 중요도

항목	평준화 비용	자금조달
상대 중요도	0.71	0.29
Max 고유값 : 2	-	-

경제적 측면에서 평준화 비용(levelized cost)이 자금조달 측면보다 상당히 우세한 것으로 평가되었다. 이는 발전단가가 저렴한 대안의 기술개발이 추진되어야 함을 보여준다.

표 4. 사회적 측면에서 세부 평가요소의 중요도

항목	대중의 수용	환경영향	부지조달	인허가
상대 중요도	0.444	0.171	0.286	0.099
Max 고유값 : 4.146	C.I : 0.0486		C.R : 0.054	

사회적 측면에서는 특정 기술개발에 대한 대중의 수용이 가장 중요한 요소로 평가되었다. 이는 최근의 핵폐기물 처분장 선정과 같이 대중의 수용성 여부가 원자력사업 추진에 큰 영향을

미치고 있음을 반영한 것이다.

표 5. 기술적 측면에서 세부평가요소의 중요도

항목	인력	연구비	장비 및 시설	기술도입
상대 중요도	0.345	0.224	0.163	0.268
Max 고유값 : 4.004		C.I : 0.0013		C.R : 0.0014

기술적 측면의 평가기준하에서는 연구 인력이 가장 중요한 요소로 평가 되었으며, 연구비와 기술도입선의 존재유무가 비슷한 수준으로 평가되었다. 이러한 결과는 기술개발시 연구인력의 확보 유무가 기술개발의 성공 가능성에 중요한 영향을 미친다고 평가하기 때문이다.

표 6. 세부 항목 중요도 분석 결과 및 대안의 우선순위

세부항목		대안 A	대안 B	대안 C	대안 D
안전조치	0.074	0.372	0.278	0.114	0.237
외국의 영향	0.165	0.15	0.33	0.142	0.378
수출통제	0.085	0.155	0.339	0.134	0.372
국제수송	0.104	0.104	0.172	0.225	0.449
발전단가	0.229	0.235	0.401	0.134	0.231
자금조달	0.094	0.216	0.340	0.118	0.326
대중의 수용	0.055	0.155	0.289	0.171	0.385
환경영향	0.021	0.179	0.343	0.176	0.302
부지조달	0.035	0.220	0.318	0.238	0.224
인허가	0.012	0.399	0.285	0.120	0.197
연구인력	0.044	0.286	0.341	0.118	0.255
연구비	0.029	0.357	0.341	0.139	0.163
장비 및 시설	0.021	0.219	0.298	0.140	0.343
기술도입	0.034	0.191	0.358	0.131	0.320
대안의 최종 복합 상대 중요도		0.2086	0.3258	0.1476	0.3179

## 2.8 평가 결과의 분석

표 6의 마지막 행에 나타난 대안의 통합비중을 보면 대안 B가 0.3258로 가장 높은 비중을 나타내고 있으며, 다음은 대안 D가 0.3179로 나타나고 있다. 대안 B는 사용후 핵연료를 재활용할 경우 플루토늄과 우라늄을 모두 이용할 수 있는 기술로서 재활용도가 높은 대안이다. 특히 모든 세부 요소중에서 발전단가 요소 비중이 제일 크며, 기술 대안중에서는 대안 B가 발전단가 요소에서 상당한 비중을 차지하고 있어서 전체 기술대안중에서 가장 높은 비중을 차지하는데 결정적인 요인으로 작용한 것을 볼 수 있다. 그러나 대안 B는 비핵화 선언하에서는 외국에서 위탁 재처리를 해야하는 기술대안이므로 특히 국제수송에서 낮은 비중을 차지하고 있음을 볼 수 있다.

대안 D는 발전단가 측면에서 높은 비중을 차지하지 못하였으나 사용후 핵연료를 약간의 처리과정을 거쳐 중수로에 이용하는 기술로서 국내에서도 처리가 가능하고 핵무기 확산측면의 문제가 없기 때문에 국제환경 측면에서 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

의상의 결과를 요약하면 외국에서 위탁 처리하여 이용할 경우에는 제한용도가 높은 기술을 선택하는 것이 바람직하며, 국내에서 처리하여 이용할 경우에는 국제환경측면에서 유리한 기술을 선택해야 하는 것으로 나타났다.

### 3. 정량적 데이터의 분석

본 연구에서는 발전단가의 계량 데이터를 설문 응답자에게 제공하였다. 이 때의 발전단가 측면에서의 설문결과는 대안 A가 0.235, B가 0.401, C가 0.134, 그리고 D가 0.231의 비중을 나타냈다. 반면 발전단가에 대한 설문을 하지 않고 각 대안의 발전 단가를 비교하여 10%의 차이에 해당하는 9점 척도중 9의 가중치를 주고 1%의 차이가 날 경우 3의 가중치를 주었을 경우 각 대안의 중요도는 0.245, 0.443, 0.057, 0.245로 나타났다. 발전단가에 대한 설문결과와 계량 데이터를 변환하여 계산한 중요도 결과를 비교해 보면 우선 순위에는 변동이 없으며 가중치의 차이도 거의 없음을 볼 수 있다. 단지 대안 C에서만 가중치의 차이가 약간 발생함을 알 수 있다. 따라서 정량적 데이터의 산출이 가능한 경우에는 적절한 단순 선형변환(linear transformation)을 통하여 9점 척도로 하여도 무방하다. 그러나 이러한 선형변환은 설문결단의 가치를 직접적으로 도출할 수 있는 변환식이 필요하다.

### 4. 결론 및 토의

다수의 대안과 평가기준이 포함되는 복잡한 의사결정 문제들은 이를 공통적으로 수용할 수 있는 절대적인 판단 기준이 없기 때문에 대안의 평가는 매우 어렵다. 이러한 관점에서 AHP는 매우 유용한 도구로 평가되고 있으며, 후행 핵연료주기 기술대안의 평가 문제와 같은 경제, 사회, 기술적 요소 등 하나의 공통의 척도로 정량화가 곤란한 요소들을 평가하는데 매우 유용한 도구라 할 수 있다. AHP가 계산에 의한 대안의 가중치를 측정할 수 있다는 의의도 있지만 특히 문제를 체계적으로 고려할 수 있도록 해주는 환경을 제공해 주는 장점이 있다.

본 연구에서는 이러한 AHP 기법을 적용하여 후행 핵연료주기 기술대안을 평가하기 위한 계층을 작성하고 9점 척도에 의한 가중치를 계산한 결과 대안B가 가장 높은 비중을 차지한 것으로 평가되었으며, 대안 D도 유사한 가중치를 나타내고 있다. 따라서 향후 다수의 평가기준을 고려하여 대안을 선택할 때 하나의 예도 적용할 수 있음을 제시 하였다.

특히 정량적 데이터의 처리에 있어서 설문조사를 통한 평가결과와 적절한 선형변환에 의한 계산 결과를 비교한 결과 유사한 결론을 얻었다. 따라서 정량적 데이터의 척도가 동일하고 여러 요소를 변환할 경우, 정량적 데이터의 한 요소에 대한 설문조사를 통하여 설문결단의 중요도를 도출한 다음 변환식을 만들어 변환하면 설문 의 횟수를 줄일 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) 한국원자력연구소, 국내 후행핵연료주기 추진환경 전망 분석 및 수용성증진 전략 개발, KAERI/CR-95/95, 1995.
- 2) 한국원자력연구소, 원자력국제협력강화연구, KAERI/IR-662/87, 1987.

- 3) 한국원자력연구소, 원전작업의 인적오류 특성분석, KAERI/CM-107/94, 1995.
- 4) 한국전력공사, 경영통계, 1995.
- 5) Akkineni V. Sivarama Prasad and Nanjundasatra Somasekhara, "The Analytic Hierarchy Process for Choice of Technologies", *Technological Forecasting and Social Change*, 38, 1990, pp.151-158.
- 6) Emanuel Melachrinoudis and Ken Rice, "The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory", *IEEE Transactions on Engineering Management*, VOL. 38, NO. 3, August, 1991.
- 7) Luis G. Vargas, "An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications", *European Journal of Operational Research*, 48, 1990.
- 8) M. Liberatore, "An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection & Resource Allocation", *IEEE Trans. Eng. Manag.*, EM 34(1), 12-18, 1987.
- 9) M.N. Sharif and V.Sundararajan, "A Quantitative Model for the Evaluation of Technological Alternatives", *Technological Forecasting and Social Change* 24, 1983, pp. 15-29.
- 10) S. R. Watson and A. N. S. Freeling, "Assessing Attribute Weights", *Omega*, Vol. 10, No. 6, 1982, pp. 582-583.
- 11) T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York : McGraw-Hill, 1980.