

## 연구/ISSUES

## 국가별 원자력 기술 평가비교

정환삼<sup>1)</sup>, 김형수<sup>2)</sup>

우리나라를 포함한 각국의 기술예측, 평가로 본문에 수록된 원자력 기술들은 현재 각국에서 원자력 기술개발이 수행되고 있거나 또는 고려되고 있는 것에 대한 평가가 아니고, 장차 인류가 개발할 가능성이 높은 원자력기술을 예측하고, 그에 대한 평가를 수행한 것입니다.

## 1. 국가별 원자력 미래기술 예측

## 1. 원자력 미래기술 예측비교를 위한 외국의 예측

본 고에서는 각국의 다양한 과학기술 예측조사들 중에서 원자력기술이 주도적으로 포함되어, 유사한 관점의 기술예측이 정량적 평가로 수행된 국가별 예측 사례를 비교하였다. 이와 같은 점을 고려하여 조사된 외국의 예측사례는 일본, 독일 그리고 프랑스의 예측이 인용, 비교되었다.

이러한 비교에서 특히 원자력 이용 규모가 가장 큰 미국의 경우는 1972년 설립된 의회의 Office of Technology Assessment(OTA)가 1980년 후반에 활발한 연구를 수행한 것으로 조사되었으나, 이 조사들은 주로 원자력기술보다는 신·재생에너지를 대상으로 포괄적 예측을 행한 관계로 본 고의 비교에 부적절하여 인용치 않았다. 따라서 본 고의 비교는 우리나라의 사례 이외에 외국의 예측사례는 일본, 독일 그리고 프랑스의 경우에 국한하였다.

우선 일본의 사례는 1992년 수행된 제5회 과학기술예측 조사 결과인 2020年の科學技術로 평가기간은 조사시점인 1991년으로부터 2020년까지 30년에 걸친 기술예측조사를 실시한 것이다. 조사의 수행체계는 과학기술청 과학기술정책국 산하에 과학기술예측위원회를 설치하고 기술예측조사의 실행방침 등을 검토한 후 과제의 설정, 조사대상자의 선정, 앙케트 조사, 조사결과의 분석, 기술발전에 따른 사회적 환경요인의 검토 등을 수행하였다. 이 조사는 1971년 최초의 수행 이래 매 5년마다 반복적으로 하여 현재 제6회 기술예측조사가 수행중이며, 따라서 가장 최근의 조사결과와는 제5회 조사결과를 들 수 있다. 이 조사는 다음과 같은 16개 대분야로 나누어 예측되었다.

1. 재료·공정 2. 정보·전자 3. 생명과학 4. 우주 5. 소립자 6. 해양·지구 7. 광물·수자원 8. 에너지 9. 환경  
10. 농림수산 11. 생산 12. 도시·건축·토목 13. 통신 14. 교통 15. 보건·의료 16. 사회생활

독일의 미래기술예측은 연방연구기술부(BMFT)를 중심으로 수행되고 있으며, 본 고의 비교연구에 인용된 사례는 BMFT와 일본의 과학기술정책연구소(NISTEP) 사이의 긴밀한 협력하에 독일의 Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research(FhGISI)에 의해 수행되어 1993년 8월 발표된 Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik을 이용하였다. 이 조사는 일본의 경험을 토대로 하여 수행된 관계로 예측된 원자력 미래기술과 평가방식을 그대로 일본의 경우를 도입하였으나 기술평가시 동원된 전문가는 독일의 전문가들을 활용한 관계로 독일의 과학기술환경을 반영하고 있다.

본 고에서 인용한 프랑스의 시계는 독일의 예측과 같이 고등교육 및 연구부의 주판으로 프랑스의 민간 여론조사기관(Private Pollster)인 SOFRES가 수행하여 1994년 10월 발표된 Enquete sur les Technologies D'avenir par la Methode Delphi가 인용되었다. 이 예측은 전술한 일본과 독일의 기술예측 경험을 토대로 시험적으로 수행하였다. 즉 프랑스의 예측도 예측 대상기술의 도출과 예측과정이 일본, 독일의 경우와 유사하게 전개되었으나, 기술의 평가시 프랑스의 전문가를 활용한 관계로 이들 국가와는 다른 사회/문화적 배경과 과학기술정책의 차이를 반영한 독자적인 평가결과를 도출하고 있다.

이상과 같은 외국의 미래기술 예측에서 도출된 단위 기술은 전체 16개의 과학기술분야에서 전체 천여 가지의 기술이 이른다. 이중 원자력에 관련된 미래기술은 우주분야외 2개 기술, 에너지분야의 9개 기술, 생산분야의 2개 기술 그리

고 도시 건축·토목부문과 교통분야에서 각각 1개 기술 등 모두 5개 분야에서 15개의 기술이 조사되었다.

이에 비해 우리나라의 사례는 과학기술정책관리연구소(STEPI)와 원자력분야에 국한되었으나 본 비교 의도에 적합한 한국원자력연구소(KAERI)의 연구를 들 수 있다.

먼저 STEPI의 연구는 우리나라 과학기술의 장기적인 발전방향모색을 통해 과학기술정책 및 기술개발계획 수립에 이바지하고 민간 부분의 연구개발방향 설정과 계획수립에 토대가 되는 기초정보를 제공하기 위해 수행되었다. 이와 같은 예측은 일본의 사례를 참조하여 기획되었으며 예측기간은 향후 20년간의 기간으로 하여 1994년 제1회 과학기술예측조사(1995~2015년) 한국의 미래기술로 발간되었다. 따라서 예측은 미래의 과학기술을 대상으로 하여 일본의 사례와 유사하게 조사의 형태로 진행되었다. 그러나 이 조사는 독일과 프랑스의 평가와 달리 미래기술 예측까지도 우리나라의 전문가를 통해 수행하였다. 이러한 이유로 STEPI의 사례는 우리나라의 환경을 반영하는 독자적인 결과를 도출할 수 있었으며 조사의 진행은 총 15개 분야로 나누어져 조사되었다.

1. 정보·전자·통신 2. 기계·생산가공 3. 소재 4. 정밀화학 5. 생명공학 6. 농림수산 7. 의료·보건 8. 에너지 9. 환경·안전 10. 광물·수자원 11. 도시·건축·토목 12. 교통 13. 해양·지구 14. 천문·우주 15. 극한기술

총 15개 분야에서 예측된 미래기술은 총 1,174개로 이중 원자력 관련기술은 에너지분야의 21개 기술을 포함하여 모두 30건이 조사되었다. 마지막으로 KAERI의 연구는 우리나라 유일의 원자력 전문 연구기관인 한국원자력연구소가 국가원자력 연구개발을 위한 기술정책 수립의 기초자료를 마련하기 위해 1993년 작성된 것으로 KAERI에 의해 독자적으로 기획, 평가된 것이다. 이 연구는 앞서 인용한 연구들과는 달리 기술예측은 기술나무(technology tree) 형태로 3단계로 수행하였고 예측된 개별기술의 평가에는 앞서 약술한 평가사례에서와 같이 전문가의 식견을 활용한 Delphi법을 사용하였다. 이상과 같이 본 고에서 인용한 개별 예측별 과학기술의 예측, 평가 사례를 요약하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 국가별 미래기술 예측 연구

		일본	독일	프랑스	한국	
예측기관 NISTEP		IFTECH.	FvC-ISI	SOFRES	과학기술정책 관리연구소 (STEPD)	한국원자력 연구소 (KAERI)
예측명		2020年の 科学技術	Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik	Enqu te sur les Technologies D'avenir par la Methode Delphi	한국의 미래기술	원자력 기술계통도를 이용한 기술개발 전략 연구
시행년도		1992	1993	1994	1994	1993
예측기간		30년	30년	30년	20년	20년
예 측 결 과	전 체 기 술	1.150	1.147	1.061	1.174	해당없음
	인 용 기 술	15	15	15	30	113
예 측 및 평 가 기 법		Delphi 법	Delphi 법	Delphi 법	Delphi 법	기술나무와 Delphi 법 혼용
특 징		1971년 이래 3회씩 수행 중	일본의 경우를 시험적 으로 그대로 적용	독일에 비해 소규모로 수행	일본의 경우를 일부 적용	일본의 경우를 참조하여 수행

## 2. 기술평가에 사용된 평가요소

국가별로 예측된 기술을 평가할 때 도입되는 평가요소는 연구 목적에 따라 제각기 달리 설정한다. 이와 같은 예측사  
레별 차이를 감안하여 예측간 비교를 위해 본 고에서 인용한 예측은 공통적으로 예측된 개별기술의 기술현황 및 기  
술개발환경평가에 주안점을 두고 평가하고 있다. 개별사례의 예측에서 기술의 평가시 나타난 평가요소는 STEP I 의  
예측과 일본, 독일 그리고 프랑스의 연구에서는 공통적으로 전문도, 중요도, 혁신도, 국제협력의 필요성, 현재의 연  
구개발수준비교 그리고 실현상 제약요인을 평가하였다. 개별기술의 평가요소에서 전문도는 설문응답자의 전문성을  
중요도는 해당기술의 중요성을, 예상 실현시기는 해당기술의 실현이 예상되는 연도를 혁신도는 실현예측시기를 답할  
때 갖는 혁신의 정도를, 국제협력의 필요성은 예측국가가 기술을 확보하고자 할 때 국제협력의 필요정도를 현재의  
연구개발수준 비교는 예측국가와 국외 기술수준의 상대비교를 그리고 마지막으로 실현의 제약요인을 각각 평가하고  
있다.

한편 KAERI의 평가요소는 위의 사례들과 다소 차이가 있어, 중요성, 전문성, 국제우위성 그리고 기술개발전망 등으  
로 평가요소를 설정하였다. 여기에서 먼저 중요성은 대상기술에 대한 기술개발의 우선순위가 앞서는 정도를 평가하  
였고, 전문성은 대상기술을 실현하기 위해 필요한 노력의 전문적 수준을 그리고 국제우위성은 우리나라가 해당 기술  
을 완전히 확보할 시점에서 가질수 있는 기술경쟁력을 평가하였다. 끝으로, 기술개발전망은 기술수준 전망과 경제  
적, 기술적, 사회적 제약요인 등의 제약요인에 대해 평가하였다.

### II. 국가별 원자력 미래기술 예측 비교

## 1. 원자력 기술평가 결과의 국가간 비교

이상에 소개된 국가별 기술예측 결과를 원자력 분야에 대한 국가간 비교를 위해서는 개별예측, 평가사례의 차이를 극복하기 위해 개별예측의 특성을 변질시키지않는 범주에서 가공작업이 필요하게 된다.

본 고에서는 이러한 점을 고려하여 국가별 예측결과를 비교하기 위해 우선 개별예측에서 도출된 원자력 미래기술의 속성을 분석하여 유사목표를 갖는 관련기술을 도출하고, 이들 관련기술의 상대적 중요성을 평가하여 가중치를 부여하여 국가간 비교 가능한 원자력 기술을 도출하였다. 다음으로 평가요소는 각 요소의 평가취지를 고려하여 비교 가능한 평가요소를 도출하여 이들을 사례간 비교가 가능하도록 하였다.

### 1) 비교을 위한 원자력기술의 구성

원자력기술 평가의 국가간 비교를 위해서는 가장 먼저 사례별로 달리 예측된 평가대상 기술을 동일하게 설정하는 것이다. 이를 위해 본 고는 일본, 독일, 그리고 프랑스의 평가에 인용된 15개 원자력기술을 기준으로 하여 STEP I 오 KAERI의 연구에서 평가된 기술중 이들과 관련된 기술을 조사하여 비교하였다. 이는 각 예측에서 동일한 기술을 분석한 경우는 전체 15개 기준기술 가운데 방폐 소멸처리기술과 원자

<표 2> 원자력 기술비교를 위한 관련기술의 도출

STEP1	Code	일본, 독일, 그리고 프랑스	KAERI	Code
우주발전소	S1417	월면기지 원자력발전장치의 실용화(0428)	지역난방로	K5
국지동 복수소재	S1516		우주동력로	K8
원자력상선	S1250	원자력 추진시스템의 실용화(0432)	우주동력로	K8
국지동 복수소재	S1516			
레이저 기술을 활용한	S29	레이저빔 등에 의한 우주용 농축기술의 실용화(0821)	우주용농축 레이저용	K26 K41
가온 경수로 대비	S22	핵연료사이클을 포함한 FBR시스템의 실용화(0822)	LMR 기술 LMR용 핵연료 원자로재료 경수로 및 LMR용 금속연료재료	K3 K22 K47 S24 K52
핵융합로 개발에 필요한	S26	핵융합반자로 개발(0823)	노심기술개발 노심기술개발 제동공학 확보	K11 K12 K13
추진정 (2n)	S27		핵융합로개발 기술 고온초전도체 기술	K83 K61
-	-	원자로 많이이용해 수소등 2차 물질 생산플랜트 실용화(0824)	지역난방로 공정열 이용로	K5 K6
원자로내 자동화	S28	원자로내(로부들 이용)에 무인화 원격원 원자로시설 실현(0825)	원자로원격기술 원자로보수 검사 원자로원격관리 원자로안전성 방사선 환경안전	K14 K15 K16 K17 K18
원자로내 정보	S31		원자로 안전규제 지능형 원격작업 원자로점검, 보수작업 제출, 제어 제출, 제어설계	K19 K42 K43 K56 K57
방폐처리역사	S33	구분지도 가능한 고도화 폐처리시설 실용화(0826)	원자구조해체 분류기술 분류분리기술 장수명핵종	K44 K45 K46 K80
-	-	저준위 방사성폐기물의 재활용기술 실용화(0827)	방폐관리기반 방사능계량 화확분석	K34 K113 K75
고준위 방폐	S35	고준위 방사성폐기물의 고도화 처리기술 실용화(0828)	방폐 수송 방폐 처분	K31 K32
사용후핵연료 처분	S36		사용후핵연료 기반	K33
유용한 방폐고화	S366		방폐관리 기반	K34
방폐처리역사	S29	고에너지 소멸자에 의한 방폐 소멸처리기술 실용화(0829)	삼수명핵종 소멸처리	K80
재용열 모듈설계	S30	원자로의 소형화가 진전되어 산업용으로 응용(1125)	지역난방로 공정열 이용로	K5 K6
지진 동 내판성	S40	원자력시설의 지진 초기단계 방진시스템이 개발, 보급(1172)	경수로기술	K1
지반진동 영향평가	S369			
원전구조물 내진설계	S1119		원자로 안전성	K17
방진 구조재료	S1143			
원전수명후	S37	상용 원전의 안전하고 합리적인 폐쇄설계기술이 확립(1265)	방폐관리 기반 방사능 계량	K34 K113
원자력상선	S1250	원자력 상선의 실용화(1435)	선박용 동력로	K7

력 상선기술 뿐이며, 외국의 사례에서 예측된 기술이 대부분 규모가 크고, 독립된 기술을 예측단위로 하고 있는데 비해 우리나라 특히 KAERI의 예측에서는 이들 기술을 구성하고 있는 상세기술요소를 평가대상하고 있기 때문이다. 이러한 고려해 국가별 원자력 미래기술예측에서 도출된 기술은 <표2>에서 보이는 바와 같다. 이들 기술은 외국의 1,147개 기술 중 원자력 관련 15개 기술을 기준기술로 삼았을 때, 우리나라의 연구에서 도출된 관련기술은 중복 사용된 경우를 제외하며 STEP 1의 예측이 20개 그리고 KAERI의 예측은 36개의 기술이 요소기술 혹은 비교기술도 도출

되었다.

사례별로 도출된 원자력 비교기술을 기준기술과 비교하기 위해서는 도출된 하나 이상의 비교기술을 중요성에 따라 개별 가중치를 부여하였다. 본 고에서는 국외의 예측에서 평가된 기준기술과 비교하기 위해 도출된 국내의 STEP1 오 KAERI의 기술, 즉 비교기술의 가중치 부여는 각 비교기술들에 부여된 가중치의 전체 합이 1이 되도록 하여 결과적으로 우리나라의 두가지 예측치가 기준기술을 구성하는 요소기술 평가결과의 가중평균치로 나타나도록 하였다.

## 2) 비교를 위한 평가요소의 설정

국가별 비교의 수행과정에서 예측기술의 설정에 이어 중요한 것은 예측된 기술을 어떠한 속성에 대해 비교할 것인가를 결정하여야 한다. 본 고에서는 인용한 개별 연구에서 설정한 개별 평가요소는 전술한 바와 같이 STEP1의 예측을 비롯하여 일본, 독일 그리고 프랑스의 연구는 공통적으로 전문도, 중요도, 확산도, 국제협력의 필요성, 현재의 연구 개발수준 비교, 그리고 실현상 제약요인으로 설정하여 평가하였다. 이에 비해 KAERI가 설정한 평가요소는 위의 예측과 다소 차이가 있어 중요성, 전문성, 국제우위성, 그리고 기술개발전망들로 평가요소를 설정하였다.

본 고에서는 이와 같이 예측사례별로 달리 설정되어 있는 평가요소들 중에서 공통적으로 평가된 기술의 중요성과 실현시기 그리고 제약요인에 대한 평가 결과를 비교하였다. 또한 제약요인의 평가는 연구 사례별로 구분을 달리하여 평가된 것으로 본 고에서는 <표 3>에서 보이

<표 3> 사례별 제약 평가요인의 재조합

KAERI	일 본	독 일	프랑스	STEP1
경제적	- 코스트면 - 자금적	- 비용 - 자금	- 가격 - 자본	- 자금적
기술적	- 기술적 - 인재양성, 확보	- 기술 - 인력양성, 확보	- 기술적 문제 - 교육 - 과학정보의 접근	- 기술적 - 연구인력
사회적	- 제도적 - 문화적 - R&D 체계	- 규정, 제도 - 문화 - R&D 체계	- 법과 제도 - 문화와 도덕 - 연구개발 조직	- 제도적 - 사회, 문화적
기 타	- 기 타	- 기 타	- 기 타	- 기 타

는 바와 같이 KAERI의 연구를 기준으로 재조합하여 비교하였다.

## 3) 사례별 평가척도의 통일

지금까지 기술한 비교대상기술의 구성과 해당기술에 대한 평가요소설정에 이어, 마지막으로 각 사례별로 평가요소의 평가결과를 표현하는 방법의 차이 즉 평가척도의 차이도를 통일하여야 한다. 즉 예측평가에 있어서 KAERI의 경우는 10점 척도와 퍼센트 척도를 사용하였고, 다른 예측연구에서는 3,4점 그리고 퍼센트 척도를 혼용하고 있다. 또한 측정된 결과의 서술방법에서도 KAERI의 경우는 각 척도 측정치의 평균치로 나타내었고, 기타의 사례에서는 3점 혹은 4점 척도의 퍼센트 비율로 표현하는 등 표현방법이 사례별로 차이를 보이고 있다.

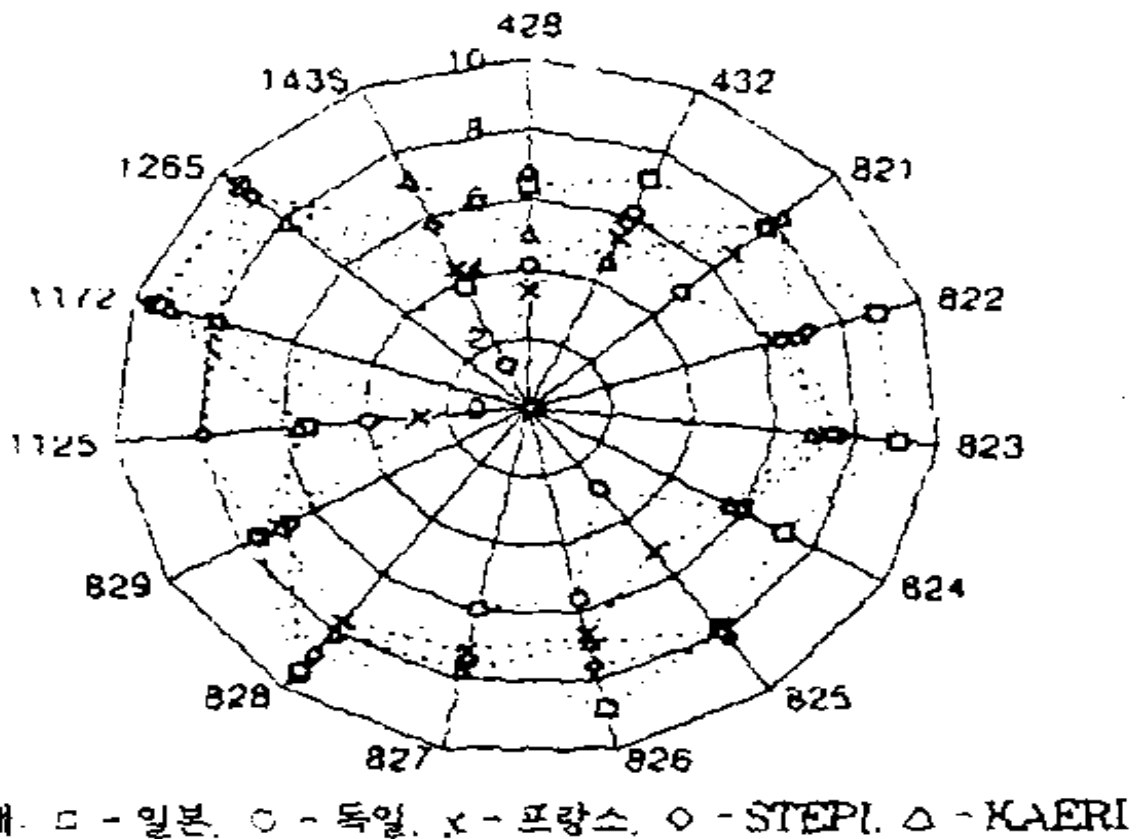
따라서 본 고에서는 국가간 비교를 위해 평가요소로 설정한 기술의 중요성과 기술실현의 제약요인은 평가척도를 10점척도로 단일화하였다. 이밖에도 예측된 기술의 실현시기에 대해서는 STEP I 와 외국의 평가에서는 각 사례의 중위수(Median)를 기준으로 하였고, 이에 비해 KAERI의 사례는 10년 단위의 관측 구간간에 기술발전은 선형적으로 증가한다고 보고, 이러한 구간별 선형 증가치가 95%되는 시점을 해당 기술의 실현시기로 간주하였다.

## 2. 원자력기술 예측 결과 비교

### 1) 기술의 중요성 평가결과 비교

조사된 기술예측 사례들에서 평가된 요소들에서 우선 개별기술의 중요성 평가를 살펴보면 <그림 1>에 보이는 바와 같이 예측된 기술에 따라 거의 유사한 평가양상을 보이고 있다. 이중 공통적으로 중요성을 높이 평가하고 있는 기술은 고준위 방사성폐기물의 고화처리기술의 실용화(828번 기술)와 원전의 초기단계 내진, 방진 기술(1172번 기술)과 기존 원전의 안전하고 합리적인 해체기술(1265번 기술) 그리고 고속증식로 기술 실용화(822번 기술)등을 들 수 있다. 이들 기술의 특성은 이미 활용 중인 기술로 기존 시설의 안전성을 향상시키는 기술과 머지

<그림 1> 사례별 예측기술의 중요성 평가비교



않아 미래에 인류가 당면할 에너지 위기를 보완할 것으로 기대되는 기술이다.

이중에서 특히 현재 운전중인 원자력시설의 가동 부산물인 방사성폐기물 관련 기술은 미래에도 원자력이 계속해서 인류 발전의 귀중한 자원으로 남아 있기 위해 반드시 해결하여야만 하는 중요한 기술이다. 이 기술에서 가장 중요한 기술인 처리기술은 이미 여러 가지 방법을 통해 공학적으로 실증이 이루어졌으나 세계 어느 나라에서도 사회적 거부감이 주된 원인이 되어, 처분장의 건설과 같은 실용화 단계까지는 아직 이르지 못하고 있는 실정이다. 특히 일본의 평가에서는 자국의 에너지안전 확보 안정적 공급보장을 위한 고속증식로의 기술 실용화(822번 기술)와 재처리시설 실용화(826번 기술)와 미래에너지 공급기술의 선도력 유지를 겨냥하여 핵융합발전로 개발(823번 기술)을 여타 사례

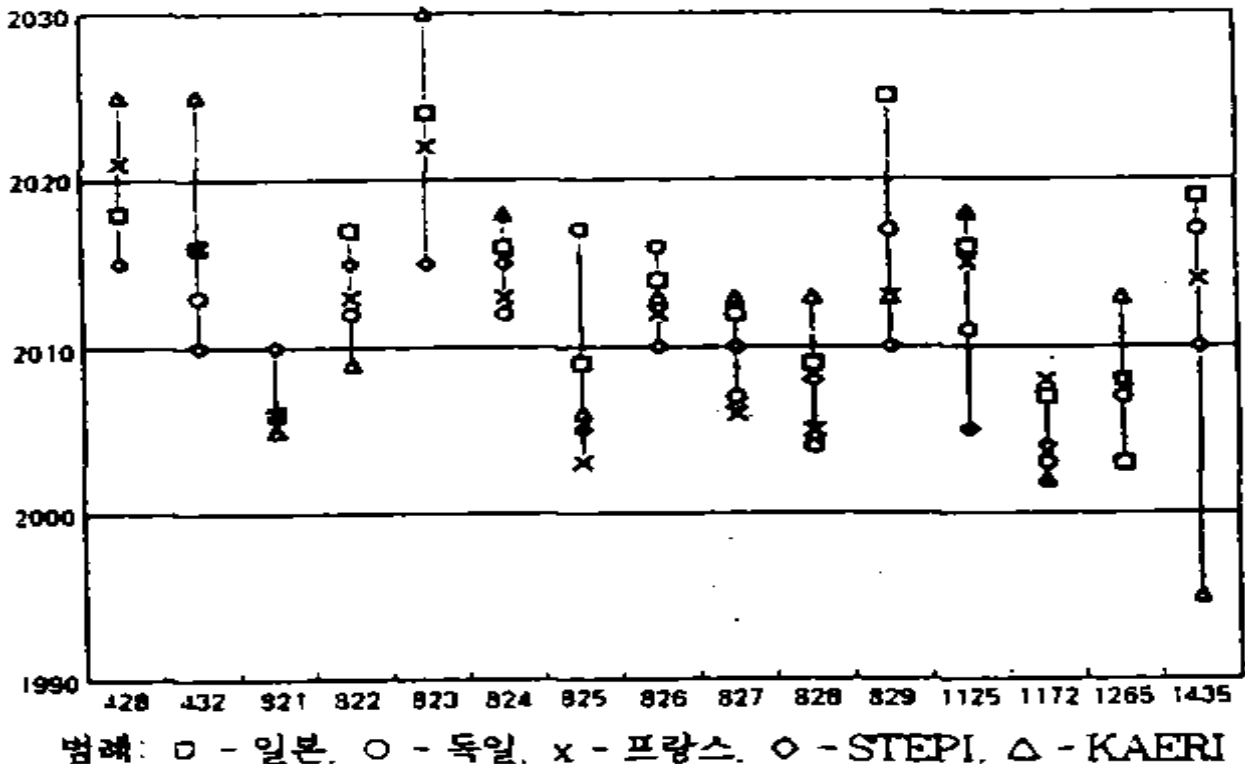
에 비해 중요한 것으로 평가하고 있다.

이에 비해 중요성이 비교적 낮은 것으로 평가된 기술은 소형원자로를 이용한 산업응용기술(1125번 기술)과 원자력상선의 실용화(1435번 기술) 그리고 월면기지 원자력 발전장치의 실용화(428번 기술)와 같이 원자력의 비에너지 분야에 독립적으로 활용되는 부류의 기술들이 있다. 그러나 여기에서 원자력 상선의 실용화기술은 비록 일본의 경우 중요성을 낮게 평가하고 있으나 우리나라의 평가에서는 우리나라의 기술개발능력과 지정학적 여건을 감안하여 다른 평가에 비해 중요성을 두드러지게 평가하고 있는 것으로 보인다.

## 2) 기술의 실현시기 평가결과 비교

다음으로 사례별 예측기술의 실현시기 평가는 <그림2>에서 보이는 바와 같이 레이저법 등에 의한 우라늄 농축법의 실용화(821번 기술)와 원자력시설의 초기단계 내진, 방진기술의 실용화(1172번 기술)의 실현시기가 사례별로 공히 2010년 이전에 이루어질 것으로 평가되고 있으며 이밖에도 자동화 시설로 무인화 진전된 원자력 시설의 실현(825번 기술)과 고준위 방사성폐기물의 고화처리기술 실용화(828번 기술) 그리고 상용 원전의 안전한 해체, 철거기술

<그림 2> 사례별 예측기술의 실현시기 평가 비교



의 확립(1265번 기술) 등을 거의 모든 국가의 평가에서 2010년 이전에 실현될 것으로 평가하고 있다.

이에 반해 비교적 실현시기가 늦을 것으로 평가되는 기술은 핵융합발전로의 개발(823번 기술)을 공통적으로 꼽고 있으며, 이 밖에도 월면기지 원자력 발전장치기술(428번 기술)과 원자력 추진시스템 기술(432번 기술) 그리고 고에너지 소립자 소멸처리기술(829번 기술)의 실용화 등이 비교적 늦은 시기에 실현될 것으로 평가하고 있다. 특히 원자력 상선의 실용화(1435번 기술)에 대한 실현시기의 평가에서 KAERI의 평가는 기존에 구소련과 미국, 일본 등 국가에서 가동중인 원자력선을 이미 실용화가 실현된 것으로 평가하여 다른 사례에서는 동일한 기술이 2010년 이후에 실현될 것으로 평가하고 있는 것과 좋은 대조를 보이고 있다.

## 3) 기술개발의 제약요인 평가결과 비교

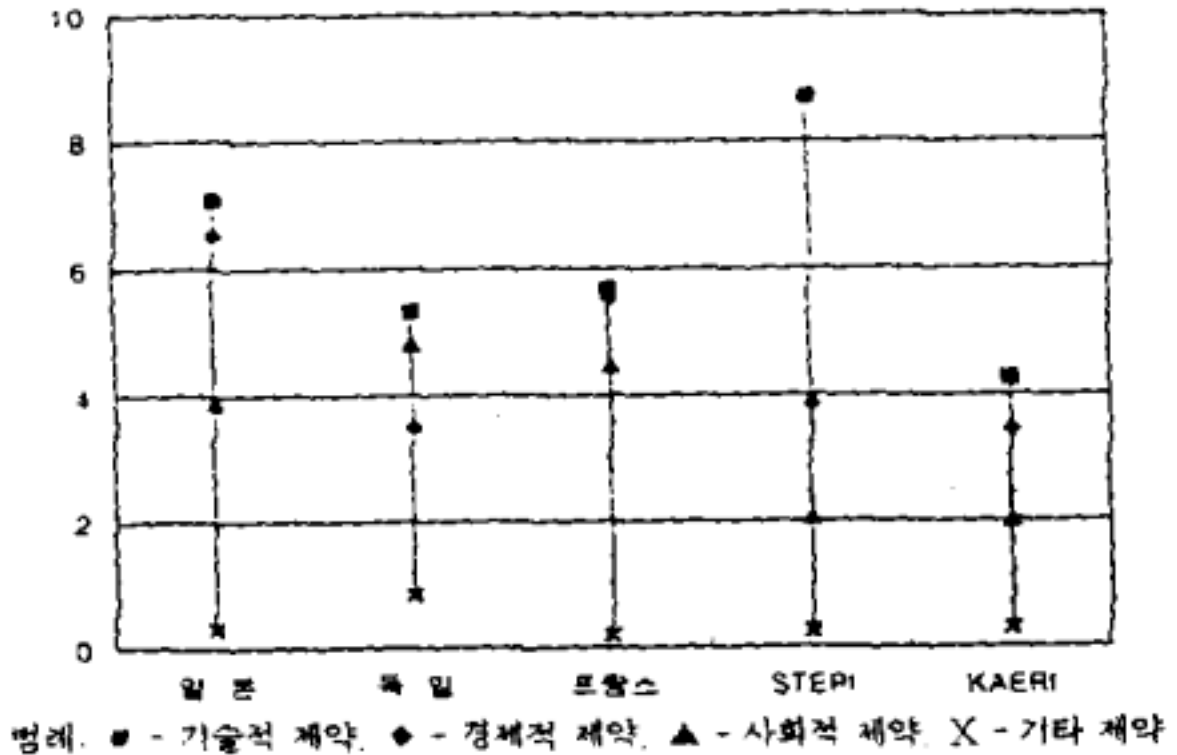


마지막으로 기술개발의 제약요인의 평가는 <그림 3>과 같이 예측 사례별로 그 정도의 차이는 있으나 기술적 제약요인이 가장 높고 다음으로 경제적 제약 그리고 사회적 제약의 순으로 큰 것으로 평가하고 있다.

특히 우리나라의 두 예측에서 평가된 제약은 거의 유사한 수준의 평가를 하고 있으나 기술적인 제약의 평가에는 다소 차이가 있다. 이는 우리나라의 에너지 혹은 원자력과 관련한 분야 종사자들 사이에 우리나라가 보유하고 있는 원자력기술에 대한 이해도의 차이가 매우 크다는 사실을 반증하는 것으로 이를 보완하기 위한 원자력계의 노력이 요구된다.

제약요인의 평가결과 해석에서 주의할 점은 개별기술의 기술개발 제약요인의 평가결과를 기술간 절대치 비교로 관점을 확대시키는 오류를 범하기 쉽다는 것이다. 이는 개별 평가시 종류별 제약요인에 대한 평가가 각 기술의 개별여건과 효용을 감안하여 기술별로 각기 독립적으로 이루어지고 있다는 것이다. 예를 들어 경제적 제약의 평가에 있어 월면기지 원자력 발전장치(428번 기술) 개발이 핵융합발전 기술(823번 기술)에 비해 경제적으로 덜 제약받는 것으

<그림 3> 사례별 제약요인 평가 비교



로 해석한다면 이는 오류를 범하고 있는 것이다. 이 관점은(823번 기술)의 개발이 소요예산의 절대치 측면에서 (428번 기술)에 비해 더 소요되기는 하나 그 기술의 완성에 따르는 기대효용을 감안할 때 유인효과가 더욱 커 경제적 제약요인이 낮게 평가되고 있는 것으로 분석하여야 한다.

제약요인의 평가 결과를 제약요소별로 살펴보면 우선 경제적 제약은 월면기지 원자력발전장치(428번 기술), 레이저 우라늄 농축(821번 기술), 원자로 열이용 플랜트 기술(824번 기술) 그리고 상용원전 해체기술(1265번 기술)들이 비교적 높은 것으로 평가하고 있다. 이에 비해 무인화 진전된 원자로 시설기술(825번 기술)과 고준위 방폐 고화처리 기술(828번 기술) 그리고 원자력 상선 기술(1435번 기술)들의 제약이 기술의 개발효용에 비해 비교적 낮은 것으로 평가하고 있다.

다음으로 기술적 제약은 핵융합발전 기술(823번 기술), 고도화 재처리 기술(826번 기술), 방폐소멸처리기술(829번 기술)의 실용화 등을 높게 평가하고 있다. 반면에 기술적 제약이 적은 것으로는 고준위 방사성 폐기물 재활용기술

(827번 기술)과 원자력상선(1435번 기술)의 실용화와 같이 기술개발의 부진이 공학적 이유보다는 대체재가 존재하는 기술들을 들 수 있다.

마지막으로 사회적 제약은 방사성폐기물 관련 기술(827, 828번 기술)들과 같이 실용화 단계에 이르면 사회적 거부감을 야기할 수 있는 기술과 소형원자로의 산업 이용(1125번 기술)과 원자력 상선의 실용화(1435번 기술)기술의 사회적 제약이 큰 것으로 평가하고 있다. 이들 기술의 특성은 예측된 다른 기술에 비해 활용분야가 공공이용이 전제되어 있는 기술로 이를 미루어 원자력의 사회적 수용성 증대가 필요한 것임을 알 수 있다.

### III. 국가간 원자력 기술예측비교의 시사점

원자력과 같이 종합적이고 거대과학적인 특성을 갖고 있는 기술개발에 대한 기획은 보다 장기적인 비전을 통해 신중하게 수립되어야만 한다. 특히 연구개발의 부존자원이 절대적으로 부족한 우리나라의 경우는 기술개발의 직접적인 노력에 못지않게 선진국의 과학기술분야 연구개발동향과 정책추이를 지속적으로 수집, 분석하여 우리의 기술개발계획에 반영하는 정책적 지원도 동시에 강구되어야 한다.

본 고에서는 이러한 취지에서 국가간 원자력기술의 예측조사 결과를 비교하였고, 이중 본 문에서 소개한 평가요인들을 종합적으로 고려하여 개별 예측기술의 기술개발 전략을 수립할 수 있다. 예를 들어, 기술의 중요성과 실현시기 평가결과를 활용하여 다음과 같은 기술개발전략을 제안해보면, 우선 중요성이 낮고 실현이 먼 장래에 이루어 질 것으로 예측되는 기술군에 대해서는 우리나라의 환경을 고려하여 기존의 기술과 연구개발능력향상을 위해 규명된 원리와 연구개발 과정의 부산물을 인접분야로의 응용에 노력할 필요가 있다. 이에 비해 중요성이 높게 평가된 기술 중 실현이 먼 장래에 이루어질 것으로 예측되는 기술군은 우리의 경제적 능력을 감안하여 기술완성후의 과실분배를 위한 소극적 공동참여에 노력하고, 반대로 실현이 비교적 가까운 장래에 이루어질 것으로 예측되는 기술 중 우리나라가 필요한 기술은 중간진입기술의 대표적 성공사례로 평가되는 한국형 표준원전 개발 전략에서 보였던 바와 같은 적극적인 기술확보에 노력할 필요가 있다.

원자력기술의 성공적인 개발전략은 우리나라의 경제력, 여타 공학 분야 가용자원 그리고 구공산권을 포함한 외국의 원자력 기술개발 정책 등을 거시적으로 감안하여 수립되어야 한다. 특히 앞으로 수행될 원자력 기술개발도 역시 선진기술 개발정보의 수집·분석과 적절한 기술협력체제의 구축·유지 그리고 이들 기술의 개발을 결정하는 국가별 정책 등 정책적 요소를 고려할 때 보다 효과적으로 제2의 중간진입의 성공으로 이어질 수 있을 것이다.

**[참고문헌]**

- 1) 과학기술정책관리연구소. "제1회 과학기술예측조사(1995~2015년) 한국의 미래기술". 1994. 8.
- 2) 과학기술정책관리연구소 역. "독일의 미래기술 예측(1993~2020년)". 독일연방연구기술성 등. 1995. 4.
- 3) 산업기술정보원 역. "2020년의 과학기술". 미래공학연구소. 1993. 8.
- 4) 정근모, 이공래. "중간진입전략: 과학기술 세계화를 위한 전략적 선택". 과학기술처. 1996
- 5) 정환삼 외. "우리나라의 원자력기술 수준

- 평가”, 대한산업공학회/ 한국경영과학회  
총청지회, 추계학술발표 논문집, 1994.  
11.
- 6) 정환삼 외, “일본, 프랑스 그리고 독일의  
원자력 미래기술 평가비교”, 한국원자력  
학회, 춘계학술발표 논문집, 1996. 5.
- 7) 한국원자력연구소, “원자력기술계통도를  
이용한 기술개발전략 연구”, 1993.
- 8) Alexander Gerybadze, “Technology  
Forecasting as a Process of  
Organizational Intelligence”, R&D  
Management, 1994. 2.
- 9) NISTEP and ISI, “Outlook for  
Japanese and German Future  
Technology - Comparing Japanese  
and German Technology Forecasting  
Surveys”, 1994. 4.
- 10) Nuclear Engineering International,  
“1997 World Nuclear Industry  
Handbook”, 1997
- 11) Sibylle Breiner, Kerstin Cuhls and  
Hariolf Grupp, “Technology  
Foresight Using a Delphi Approach:  
A Japanese-German Co-operation”,  
R&D Management, 1994. 2.
- 12) SOFRES, “Enqu te sur les  
Technologies D’avenir par la  
Methode Delphi”, 1994. 10.

주석1) 한국원자력연구소 기술정책연구실, 선임연구원(Tel : 042-868-2146)

주석2) 연구기획관리단 연구개발정책실, 선임연구원(Tel : 02-250-3193)

