ISSUES

일본과 독일의 기술 예측 조사 결과에 대한 비교 분석

朴在赫[1], 丁槿夏[2]

1. 배경

세계 시장에서 급격하게 증대되고 있는 기술 경쟁과 또한 그 중요성이 점증하고 있는 기술혁신은 특정 분야의 연 개발 활동을 촉진시키기 위해 국가의 모든 경제력과 조직을 강화하도록 하고 있다. 국가 경쟁력과 사회 복지에 가 크게 영향력을 미칠 핵심 기술들을 도출하기 위한 새로운 연구 결과가 미국, 일본, 유럽에서 이미 발표된 바 있다 이러한 연구 결과들은 각각의 국가들에게 가장 중요하고 유망하다고 판단되는 기술들을 도출하기 위한 목적으로 성된 것이다. 따라서 규모, 방법론 등에서 큰 차이를 나타내고 있다. 그중 가장 대표적인 사례는 일본의 기술 예 조사 사업을 들 수가 있다. 가장 최근(1992년)에 수행된 제5회 기술 예측 조사 사업은 Delphi 기법을 이용하여 분야의 전문가를 대상으로 16개 기술 분야 1,146개의 기술 과제를 2차에 걸쳐 설문 조사한 것이다. Delphi 기법 거대한 통계적 데이터 베이스를 이용하지 않고 전문가들의 의견 수렴을 높일 수 있는 방법이며, 데이터 풀(pool) 기본으로 여러 가지 항목을 평가할 수 있고 실제로 그 결과가 보고서에 게재되어 있다. 일본의 Delphi 조사는 역 가 오래되었고 실제로 확인된 방법론이며 중요한 사회 행태학적인 문제들을 개선시키기 위한 신기술력을 강조한 이다.

일본의 기술 예측 활동을 기초로 해서 독일 연방 정부의 연구 기술성에서도 자국의 수요에 적합한 기술들을 파악 기 위해 일본의 방법과 거의 동일하게 Delphi 조사를 수행하였다. 사실 그 동안 독일 정부는 연방 차원에서 기술 측 활동에 적극적이지 못했다. 그러나 최근 독일의 통일과 그에 따른 구동독의 경제 활성화에 필요한 재원 부족 제를 과학기술 예측의 필요성과 연계시키고 있다. 그리고 기술 예측 활동을 강화하려는 또다른 이유로는 미국과 본의 기술력이 다시 강해지고 있는 것을 크게 의식하는데서 비롯된다고 할 수 있다.

2. 방법 및 목적

Delphi 기법은 전문가들의 의견이 유용한 정보로서 작용할 때 장기 예측(20~30년)에 특히 유익하다. Delphi 기법 그룹간 상호 잠재력을 향상시키기 위하여 1950년대 미국의 민간기업(Land Corp.)에서 개발되었으며 설문서를 전문 집단에 몇 차례(2~4차) 반복적으로 보내어 의견을 수렴하는 방법이다. 일반적으로 설문 조사 회수가 많아질수록 견의 수렴도가 더 높아지며 1차 예측 결과를 2차에 다시 보내어 예측하도록 할 때 1차 결과를 참조하지만 반드시 정하는 것은 아니다. Delphi의 장점은 전문가가 자신의 의견과 주장을 자유롭게 표현할 수 있다는 것이다.

Delphi 기법으로 예측할 때에는 특히 두가지 중요한 문제가 있는데, 첫째는 예측 대상 과제를 일본의 경우에서처 분야별로 위원회와 하부 위원회를 구성해서 사전 예비 조사한 결과를 토대로 작성해야 한다는 것이다. 두 번째로 국제적인 기술 과제라 하더라도 한 국가에서 선정된 전문가 집단이기 때문에 문화적 관습, 정보의 부재, 은연중 나타나는 국수주의적 사고 등으로 그 결과가 편견으로 치우칠 우려가 있다.

가장 대규모적인 Delphi 예측의 경험은 일본 과학기술청(STA)에서 1971년 제1회 조사사업을 시작한 이래 매 5년마 수행하고 있는 기술 예측 조사 사업이다. 따라서 독일에서도 기술 예측의 목적, 과제, 설문 항목, 특성, 방법론 을 일본의 제5회 사업과 거의 동일하게 원용하여 Delphi 조사를 하였다.

독일과 일본에서 서로 독립적으로 수행하기 위하여 주어진 실현 시기 기간을 조정하고 독일의 전문가에게 일본의 례를 알려주지 않고 동시에 실시하였다. 두 국가에서 약 3,000명의 전문가가 참여하였는데 1차 조사에서 응답률 일본이 80% 이상, 독일이 약 30%였다. 독일의 응답률은 비교적 낮은 것이라고 할 수 있으나 독일에서는 처음 실시 것을 감안하면 적정 수준이라고 할 수 있다. 2차 조사에서의 응답률은 두 국가 모두 1차 응답자의 80% 이상이 응 하였다.

독일에서 1차 조사 때 비교적 낮은 응답률을 보인 것은 최소한 두 가지 이유가 있다. 첫째는 최근까지만 해도 독일 정부에서 기술 예측 활동에 대해 적극적이지 않았다. 과학기술 사건에 대한 비예견성으로 이러한 예측 활동을 다른 공공 과학 단체들에게 이해시킬 수 없었으며 기술 예측 결과에 대한 신뢰성도 낮았기 때문이다. 두 번째는 각 응답자의 전공 분야에 대하여 예측하기가 어려웠던 것이다. 반대로 일본에서는 전문가 목록이 1971년 제1회 조사 사업 이후에 잘 개발되어 있다는 사실을 감안하면 이해가 될 것이다.

일본 뿐만 아니라 독일에서도 전문 인력의 1/3 이상이 대학이나 기타 교육 기관에 있고, 약 40% 정도가 산업계, 그리고 25%가 정부 출연 연구 기관 및 비영리 독립 기관에 있다. 응답자의 연령을 보면 두 국가 모두 50~60세가 가장 많았으며, 그 다음이 40~50세였다.

Delphi 기술 예측 조사의 목적은 주어진 기술 과제에 대하여 전문가들의 전문도, 중요도, 1995년에서 2020년까지의 실현 시기, 실현상의 제약 또는 비실현 이유, 실현 시기 예측의 확신도, 현재의 R&D 수준 및 국제 공동 협력의 필요성 등을 알아보기 위한 것이다. 일본에서의 조사 결과 보고서는 1992. 11.(일본어판), 1993년 여름(영문판)에 발간되었고 독일에서의 조사 결과 보고서는 1993년 여름에 발간되었다.

주요 분석 결과를 살펴보기 전에 Delphi 조사의 분석 결과가 미래 과학기술 정책 수립에 중요한 정보를 제공해 줄 뿐만 아니라 두 국가의 전문가 자신에게도 영향을 미친다는 사실에 주목하는 것이 아주 중요하다. 질문에 응답하고 익명의 다른 전문가들이 평가한 의견을 검토함으로써 조사에 참여한 전문가들에게 학습효과(learning effects)가 일어날 수 있다는 것이다. 그리고 연구 과정에서 다른 전문가들의 모든 평가 결과를 제공받고 그들의 연구 분야에 중요한 정보로서 자유롭게 활용할 수 있기 때문이다.

3. 조사 결과의 비교 분석

연구 조사 결과를 분석해 보면, 두 국가에서 많은 결과들이 거의 동일하게 나타났다. 1차 조사에서는 일반적으로 독일 전문가들이 일본 전문가들 보다 실현 시기가 몇 년 앞당겨질 것으로 예측하였고 기술적 장애도 적은 것으로 예측하는 경향이었다. 그러나 1차 조사 결과를 보여준 2차 조사에서는 두 국가가 서로 접근하는 결과가 나타났다. 결국 전체 기술 분야를 종합해서 분석해도 두 국가에서의 예측 결과가 큰 차이가 없었다. 여기서 Delphi 조사 과정이 국가적인 영향력과 특색에 의존하지 않는다는 것을 증명한 것이다. 따라서 기술 발전은 실제로 많은 분야에서 진정한 국제성이 있는 것처럼 보인다. 이것은 언어 장벽이 있음에도 불구하고 세계적인 과학기술 정보의 개방성에 기인한다고 할 수 있다.

그러나 면밀하게 살펴보면 각각의 분야와 개별 과제에서 심하게 일치하지 않는 것을 알 수있다. 많은 세부 항목에서 국가 공동체의 위상과 혁신 시스템이 분명하게 나타났다. 이런 경우의 주요 결론은 기술 예측에 대한 Delphi 설문이 한 국가나 대륙 이상의 보다 국제적인 전문가 집단을 대상으로 해야 한다는 것이다. 그러나 그러한 극단적인 경우가 있었다 하더라도 많은 기술 과제들이 실현 시기 예측에서는 대부분 의견의 일치를 보였다. 몇 가지 사례를 보면 우주, 소재·공정, 문화·생활의 세 분야에서 일본과 독일의 사이에 실질적인 차이가 있었다. 그 이유는 문화·생활 분야의 경우 과제의 특성상 문화적인 어색한 내용이 기술 과제에 많이 포함되어 있고, 우주 분야의 경우 독일의 입장은 유럽 우주 기구(European Space Agency) 회원으로서 R&D를 수행하고 있고, 반대로 일본의 경우에는 독자적으로 R&D 활동을 하고 있기 때문이다. 따라서 두 국가에서의 격차는 아주 현저하게 나타나고 있다.

첨단 기술의 세 분야(소재·공정, 정보·전자, 생명 과학)의 경우, 소재·공정 분야에서 독일의 전문가들이 일본의 전문가들보다 더 중요하다고 응답하였으며 실현 시기에서도 더욱 낙관적으로 응답하였다. 반면에 일본의 전문가들은 정보·전자 분야에서 독일 전문가들보다 더 빨리 실현된다고 응답하였다. 이러한 현상은 두 국가의 산업 전문화(industrial specialisation)의 영향으로 보인다. 신소재 개발과 공업화 공정은 독일의 비교 우위 산업의 하나인 화학 산업과 관련이 있다. 반대로 일본은 화학 산업보다 훨씬 강하게 인식되고 있는 전자 및 그 관련 산업이 세계의 선두를 달리고 있기 때문이다.

생명 과학 분야는 식품, 농업 또는 의약 산업 및 화학 산업과 관련이 있는데 이 분야에서는 현저한 차이가 없었다

일본과 독일의 전문가들은 세 분야에서의 국제 공동 협력에 대해서 다른 의견을 갖고 있었다. 즉, 일본 전문가들은 생명 과학 분야에서, 독일 전문가들은 소재·공정 분야에서 국제 공동 협력의 필요성이 높다고 생각하는 것으로 나타났다.

반대로 세 가지 하부 구조 분야(도시·건설, 통신, 교통)에서는 두 국가의 전문가들이 중요도에서 비슷한 견해를 나타내었으나 독일 전문가들이 통신 분야에서, 일본 전문가들이 교통분야에서 각각 더 빠른 실현 시기를 예측하였다. 또한 독일 전문가들이 위의 세 분야에서 일본 전문가들 보다 국제 공동 협력의 필요성을 더 강하게 나타내었다.

전체적으로 독일의 전문가들이 일본의 전문가들보다 국제 공동 협력이 중요하다고 응답하였다. 그러나 일반적으로 두 국가 모두 각 분야에서의 경향은 비슷하였으며 큰 차이가 없었다. 대체적으로 그 차이는 두 국가의 지리적 환경의 영향 때문이라고 판단된다. 이같은 보급(widespread use) 단계에 있는 기술 과제에 대한 국제 공동 협력의 필요성을 일본보다 독일에서 더 느끼고 있다는 사실은 기술적 단계의 분석에서 강조된 것이다. 또다른 의견으로는 세 가지 첨단 기술 분야에서 두 국가사이에 약간의 차이가 있다고 하더라도 독일 전문가들이 세가지 하부구조 분야에서 일본 전문가들보다 국제 공동 협력의 중요성을 더욱 인식하고 있었다.

위에 언급한 두 그룹의 기술 분야에서 모든 변수를 전체적으로 비교해 보면, 두 국가에서 차이가 더 나는 것은 하부 구조와 관련이 있는 기술들이다. 이러한 기술들은 첨단 기술보다 사회·경제와 더 밀접하게 연결되어 있다. 반면에 첨단 기술 분야에서 나타날 수 있는 차이가 거의 없고 사회에 대한 과학기술의 관련성이 다르다는 것을 나타내는 것이다.

중요도와 국제 공동 협력간의 관계를 보면, 국제 공동 협력의 필요성이 과제의 중요도와 함께 증가한다는 점에서 일본과 독일의 전문가들이 의견의 일치를 나타내었다. 기술이 중요할수록 국가를 초월해서 비전(vision) 있는 기술 개발을 촉진할 필요성이 더욱 강하다. 이러한 경향은 현대의 기술 발전 추세를 보면 확실하게 알 수 있다. 즉 오늘날의 중요한 기술은 대부분 국제성을 갖는 기술이다.

국제 공동 협력과 관련된 중요도와 R&D 수준에서는 일본과 독일이 차이가 있는 것으로 나타났으나, 과제의 실현 시기 예측에 관해서는 비슷하게 나타났다. 실현 시기 예측에 대해서 일반적으로 의견 일치를 보인 이유는 오늘날 과학기술이 많은 경우에 자기 국가에서 특정 분야의 R&D 활동을 적극적으로 수행하지 않는다 해도 해외의 성공 사례와 R&D 동향에 관한 정보를 비교적 빠르게 얻을 수 있기 때문이라고 판단된다. 반대로 기술의 중요도는 국가의 과학 기술 현황과 그 나라의 역사나 사회·경제적 조건 등의 요인에 의해서 형성되는 그 국가의 특성 자체를 반영하기 때문이다. 중요도와 R&D 수준과의 관계를 보면, 독일의 전문가들은 과제의 중요도가 높으면, R&D 수준도 높다고 생각하고 있으나, 일본에서는 두 가지 기준간의 관련성을 확인하기가 확실하지 않다.

독일의 경우를 설명하면, 역사적인 변천에서 나타나는 중요한 과학기술 분야의 R&D 활동이 우선 순위가 높으므로 R&D 수준이 높은 것으로 나타났으나, 반면에 일본에서는 역사적으로 따라 잡을 수 있는 과학기술 분야를 R&D 수준이 높은 것으로 인식하였다.

예측 대상 기술 과제에 대한 제약 요인과 다른 항목간의 관계를 보면 자금, 인력 및 중요도에 있어서 큰 차이가 있는 것으로 보인다. 일본에서는 중요도가 높으면 자금과 인력의 제약 요인이 갑자기 증가하고, 반면에 독일에서는 그러한 경향을 나타내지 않았다. 자금적인 제약 요인에서는 자금이나 자본의 부족이라는 단어를 일본어를 독일어로 번역하는 데서 오는 어려움을 참작할 필요가 있다. 독일에서는 종종 비용 문제로 언급하기 때문이다. 이러한 평가는 Delphi 전문가 집단의 개인적인 판단에서 나오는 것이다. 미래의 확실한 사건은 존재하지 않고 Delphi 기법의 모든 한계를 마음에 둘 필요는 없다.

그러나 두 국가간의 차이는 일본의 경우에 기술 개발에 요구되는 자금과 인력을 포함한 장기적인 R&D에 많은 투자를 하고 있다는 것이다. 이것은 기술 과제가 해명 단계 즉 기초 연구에서 제약 요인을 지적한 일본의 많은 전문가들이 강조한 것이다. R&D 시스템에 대한 두 국가에서의 응답 결과는 현재의 시스템이 급격한 과학기술 발전에 충분히 따라갈 수 있도록 개발이 안 되었든지 또는 개선을 해야 한다든지를 감안해서 기술 과제의 중요도가 높음에 따라 제약

요인이 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 우선 순위 결정을 위한 과학기술 예측 활동이 더욱 중요하다는 것을 보여 준 것이다.

Delphi 설문으로부터 가장 효율적인 혁신 프로젝트를 골라내기는 쉬운 일이 아니다. 대부분 효율성의 전략적 개념이 요구된다. 만일 우리가 중요도가 높은 개별 과제와 낮은 제약 요인과의 관계를 설명하자면 일종의 I/O 개념이 있어야 하고 효율성을 계산하여야 할 것이다. 유망한 과제들은 중요도가 높고 제약 요인의 수준도 낮을 것이다. 또한 유망한 혁신 테마(theme)는 중요도가 가장 높을 필요가 없지만 비교적 중요도가 높은 수준이고 투입량(inputs)이 낮은 수준이면 좋을 것이다.

일본과 독일에서 자금과 기술적 문제로 보아 가장 유망한 과제들은 큰 차이가 있다. 일본은 독일에 비해 기초 연구 분야에서 공공 R&D 하부 구조가 더 적게 개발되어 있다고 할 수 있으며, 반면에 독일은 일본에 비해 신기술 개발에 대해서 조직적인 공공 활동이 더 효율적이라고 할 수 있다. 일본에서 유망하다고 판단된 혁신 프로젝트들은 R&D상의 하부 구조 문제와 확실하게 관련되어 있다. 독일에서는 반대로 혁신 프로젝트들이 종종 낮은 사회적 수용성(PA:public acceptance)과 관련되어 있다.

마지막으로 국제적인 기술 예측 사업은 분야별 전문가들이 한 국가만으로는 충분하지 않다는 사실 때문에 중요하다고 보여진다. 사회학적으로 보면 최고의 과학자는 연구 분야에의 참여와 평가 사이에 명확한 관계가 있고 이러한 경향은 성공적인 해결과 경력에 대한 높은 보수가 보장되는 분야에서 문제를 선택하려는 과학자들의 풍조에 기인한다고 가정한다. 자기의 분야를 과대 평가하는 것을 편견(bias)이라고 하는데 여러 가지 문헌에 의하면, 연구자가 활동적인 분야에서 정(positive)의 편견이 있을 뿐 아니라 혁신적인 하위 분야에서 이러한 편견은더 강하게 나타난다. 장기적인 기술 개발 전략과 전문가의 평가는 항상 객관적이지 못하기 때문에 Delphi 조사는 기술 혁신 관리에 있어서 좀 더 나은 기술 정보 베이스(information base)로서 활용할 수 있다.

일본과 독일에서 수행한 Delphi 데이터베이스는 매우 유용하고 기술을 분석하기 위해서 뿐만 아니라 기술 혁신 전략과 기술 정책을 위한 우선 순위 결정에도 많은 도움을 줄 수 있다고 기대된다.

4. 조사 결과의 기본 통계

가. 분야별 기술 과제수 및 응답자수

분 야	기술과제수	응답자수 (명)			
		일본		독일	
		1차	2차	1차	2차
소재 · 공정	108	252	203	77	64
정보 · 전자	106	187	151	66	47
생명 공학	98	217	181	76	47
우주	46	294	248	33	29
소립자	40			25	22
해양 · 지구	82	288	255	46	32
광물 · 수자원	39	103	89	43	37
에너지	51	156	144	178	146
환경	50	150	119	76	62
농림 · 수산	73	232	201	56	52
생산	72	128	116	66	55
도시 · 건설	65	133	115	89	66
통신	62	202	182	65	53
교통	108	164	139	52	38
의료 · 보건	81	138	119	62	53
문화 · 생활	81	138	119	62	53
합계	1146	2781	2385	1056	857

나. 분야별 기술 발전 단계별 과제수

분 야	해명	개발	실용화	보급	합계
소재 · 공정	2	50	49	7	108
정보 · 전자	3	37	40	26	106
생명 공학	37	45	12	4	98
우주	0	26	20	0	46
소립자	5	14	17	4	40
해양 · 지구	9	19	43	11	82
광물 · 수자원	1	5	22	11	39
에너지	0	6	29	16	51
환경	16	11	16	7	50
농림 · 수산	2	25	34	12	73
생산	0	12	29	31	72
도시 · 건설	0	10	29	26	65
통신	0	14	38	13	65
교통	0	14	37	11	62
의료 · 보건	9	36	44	19	108
문화 · 생활	3	20	17	41	81
합계	87	344	476	239	1146

다. 응답자의 성별, 연령별 분포

국가	성		연령					
	남	여	20대	30대	40대	50대	60대	70대 이상
일본	99%	1%	0%	5%	31%	45%	18%	1%
독일	96%	4%	2%	20%	25%	41%	12%	1%

라. 응답자의 직업별 분포

	직업				직업의 범주	
국가	기업	대학	공공 연구 기관	단체	연구직	기타
일본	38%	37%	15%	10%	79%	21%
독일	41%	38%	15%	6%	81%	19%

5. 주요 분석 사례

가. 일본에서 중요도가 높은 과제

과제 번호		기술 과제	중요도(%)	
독일	일본		일본	독일
G 3-42	J 3-42	암의 전이를 막는 유효한 방법이 실용화된다.	97	97
G 16-10	J 16-10	현재 대기 오염의 원인이 되고 있는 오염 물질(NOx 등)을 제거하는 기술이 실용화된다.	97	95
G 4-26	J 5-72	연산 속도 10TFLOPS를 넘는 컴퓨터가 실용화된다.	96	85
G 15-4	J 15-4	거의 모든 종류의 암에 대한 암화 기구가 해명된다.	96	96
G 10-30	J 11-30	이산화탄소의 흡수, 인공 광합성, 폐기물의 무해화 기술, 사막화 방지 기술 등의 기술 개발이 진행되며 전세계적으로 지구 환경 보전 대책이 보급된다.	96	95
G 2-3	J 2-3	1칩당 1Gb 메모리급 이상의 VLSI가 실용화된다.	96	87
G 2-2	J 2-2	10 나노미터의 최소 치수를 갖는 패턴을 자유롭게 가공할 수 있는 기술이 실용화된다.	95	79
G 3-12	J 3-12	모든 암 억제 유전자가 동정되고 암화와의 관계가 해명된다.	94	90
G 13-11	J 4-11	인공위성을 이용한 세계적 항공 관제 시스템이 실용화된다.	94	91
G 4-27	J 5-73	처리 속도 1GB/sec 이상의 대용량 기록 장치가 실용화된다.	94	97

나. 독일에서 중요도가 높은 과제

과제 번호		기술 과제	중요도(%)	
독일	일본		독일	일본
G 11-43	J 12-43	자연 환경과 조화된 도시 개발이나 도시 재개발을 행하는 계획 기술 및 건설 기술이 실용화된다.	98	85
G 11-51	J 12-51	도시 폐기물을 반감시키는 폐기물 재이용 기술이 개발된다.	98	91
G 3-41	J 3-41	혈청 등을 이용한 고감도의 간편한 암의 조기 진단 기술이 개발된다.	98	94
G 4-35	J 5-81	중성미자(neutrino)의 질량 유무가 해명된다.	98	84
G 5-66	J 6-66	자연 에너지 이용 기술이 향상되어 인위적인 열의 발생이나 대기중의 열축적이 억제되어 지구의 열수지 균형이 이루어지게 된다.	98	88
G 11-53	J 12-53	자연 에너지의 장기 축열 등 에너지 유효 이용의 기술이 진보되어 에너지 자립형의 건축물이나 주택이 보급된다.	98	68
G 4-27	J 5-73	처리 속도 1GB/sec 이상의 대용량 기록 장치가 실용화된다.	97	94
G 14-15	J 14-15	세라믹스, 알루미늄, 수지 등 신재료의 대폭 도입으로 경량화와 엔진의 고효율화(예, 2사이클 직접 분사 엔진의 채용)에 의한 출력 향상으로 같은 실내 크기에서 현재보다 연비가 30% 적은 초저연비 자동차가 보급된다.	97	79
G 3-11	J 3-11	면역 응답의 분자 생물학적 기구의 전도가 해명된다.	97	93
G 3-42	J 3-42	암의 전이를 막는 유효한 방법이 실용화된다.	97	97

다. 중요도 격차가 큰 과제

과제 번호		기술 과제	중요도(%)		
독일	일본		독일	일본	격차
G 2-71	J 2-70	가정 또는 병원 등에서 간호용으로 사용할 수 있는 간호 로보트가 실용화된다.	21	77	56
G 9-50	J 10-50	모래 사장, 하구 등의 미개발 지역을 대상으로 수산 생물의 잠재적 생산 능력을 이용하기 위한 조장 조성 기술이 실용화된다.	15	66	51
G 14-44	J 14-44	속도 마하4(콩코드 2배), 정원 300인(콩코드 3배)으로 태평양을 2시간 이내에 횡단하는 여객기가 개발된다.	18	67	50
G 9-56	J 10-56	어군 행동의 제어 기술이 개발되어 임의의 수역에서 어획하는 유도어법이나 임의의 크기·어종을 어획하는 선택어법이 실용화된다.	10	60	50
G 5-18	J 6-18	수심 100m 정도까지의 연안 수역에 해상 투기 처리용 인공섬이 건설된다(폐기물을 완전히 해체·분해 처리하고 유해한 것은 투기, 유용한 것은 리사이클한다).	26	74	48
G 7-25	J 8-25	리모트 모니터링 시스템, 로보트 시스템을 이용한 무인화의 진전된 원자로 시설(원자로, 핵연료 사이클 시설)이 실현된다.	23	70	47
G 16-51	J 16-51	누워서 움직일 수 없는 노인이나 심신 장애자의 배설이나 입욕 등의 간호에 맞는 다목적 간호 로보트가 실용화된다.	34	79	45
G 10-58	J 11-58	광컴퓨터, 광교환기, 광정보 통신이 실용화되며 광응용에 의해 초고도 정보화 사회가 도래한다.	24	70	45
G 9-57	J 10-57	어군의 탐색, 어망에서 양망, 어체 선별, 보존까지의 일련의 작업이 자동화되어 승원은 기기의 모니터를 행하는 초에너지 절약 시스템의 어선이 보급된다.	13	57	44
G 2-82	J 2-81	인간의 의사 결정 기구가 뇌의 화학적, 물리적 측면에서 해명된다.	40	84	44

라. 실현 시기 격차가 큰 과제

과제 번호		기술 과제	실현 시기(연도)		
독일	일본		독일	일본	격차
G 11-43	J 12-13	우주 공간에 보통 사람이 장기(약 1년 이상) 체재하는 시설이 실현된다.	2003	2019	17
G 9-50	J 10-50	오래 사장, 하구 등의 미개발 지역을 대상으로 수산 생물의 잠재적 생산 능력을 이용하기 위한 조장 조성 기술이 실용화된다.	2020	2004	16
G 2-101	J 2-100	개인의 기분을 해명하여 정량적으로 계측할 수 있는 기술이 개발된다.	2020	2004	16
G 9-59	J 10-59	대양 규모의 환경 변화와 생물 생산의 관계를 예측하는 시스템이 개발되어 다랑어, 연어 등 대회유성의 자연 생물의 관리가 가능해진다.	2003	2018	16
G 10-59	J 11-59	이미지 통신의 연구가 진행되어 문자 언어 발명 이래 통신 시스템에 대혁명이 일어난다.	2002	2017	15
G 16-54	J 16-54	냄새의 성분 자체를 분해하여 단시간에 무취의 상태를 얻을 수 있는 기기가 개발되고 자신이 좋아하는 향을 낼 수 있게 된다.	2018	2003	15
G 14-28	J 14-28	대도시 주변에서 대량(300인 이상), 고속(30노트 이상)의 선박에 의한 통근 및 업무 교통 수송 네트워크 시스템(관제 시스템 포함)이 보급된다.	2019	2005	14
G 9-52	J 10-52	근해역에 있어서 신규 어장을 목적으로 하는 심층수의 대량 이용 기술이 실용화된다.	1999	2013	14
G 2-90	J 2-89	정보가 천재지변 또는 인위적 과괴에 의해 소멸되지 않는 안전 시스템이 실용화된다.	2017	2004	13
G 3-82	J 3-82	연료용으로서 탄화수소를 고농도로 축적하는 식물이 실용화된다.	1999	2012	13

마. 일본에서 국제 공동 협력의 필요성이 높은 과제

과제 번호		기술 과제	국제 공동 협력 필요성(%)	
독일	일본		일본	독일
G 11-14	J 12-14	화성에 유인 시험 시설이 건설된다.	99	100
G 8-31	J 9-31	대기, 수질 등의 각 오염 인자에 대한 지구적 규모의 모델링이 일반화되고 위성 통신 등에 의하여 환경 정보의 국제적 일원화 시스템이 완성된다.	98	97
G 3-6	J 3-6	인체의 전단백질의 data library가 완성된다.	98	98
G 5-41	J 6-41	성층권의 대기 조성 변동에 대한 국제적인 감시 시스템이 실용화된다.	98	98
G 10-30	J 11-30	이산화탄소의 흡수, 인공 광합성, 폐기물의 무해화 기술, 사막화 방지 기술 등의 기술 개발이 진행되면 전세계적으로 지구 환경 보전 대책이 보급된다.	98	95
G 3-7	J 3-7	인체 염색체의 DNA 전염기 배열이 결정된다.	97	99
G 8-12	J 9-12	세계 이산화탄소의 배출량이 현재의 20%까지 저하한다.	97	96
G 11-13	J 12-13	우주 공간에 보통 사람이 장기(약 1개월 이상) 체재하는 시설이 실현된다.	97	92
G 13-5	J 4-5	달 표면에 남극의 기지와 같은 우주 관측용 영구 유인 기지가 실현된다.	97	95
G 13-4	J 4-4	유인 우주선의 화성 착륙과 그 귀환이 행해진다.	97	100

바. 독일에서 국제 공동 협력의 필요성이 높은 과제

과제 번호		기술 과제	국제 공동 협력 필요성(%)	
독일	일본		독일	일본
G 5-2	J 6-2	우주 기술(VLBI. GPS. 위성 리모트센싱)과 검조 기술을 조합시킨 국제 해면 변동 검지 시스템이 실용화된다.	100	94
G 9-61	J 10-61	주요 어업 자원의 장기(10~20년) 변동 예측이 가능해지고 자원 및 어업의 관리를 위한 생산 조정 시스템이 개발된다.	100	73
G 11-14	J 12-14	화성에 유인 시험 시설이 건설된다.	100	99
G 11-58	J 12-58	지질 검지의 전국 네트워크가 구축되어 50㎞ 정도 이상 떨어진 지진에 관한 사전 정보가 전달되는 방재 시스템이 보급된다.	100	55
G 13-4	J 4-4	유인 우주선의 화성 착륙과 그 귀환이 행해진다.	100	97
G 13-7	J 4-7	화성에 유인 실험 시설이 건설된다.	100	95
G 13-27	J 4-27	달에 존재하는 물질(Si, 산소, 3He 등)을 자원으로 이용하는 것이 실용화된다.	100	80
G 14-41	J 14-41	전세계 규모로 10일간 정도의 기상 예보를 할 수 있는 시스템이 개발된다.	100	90
G 3-7	J 3-7	인체 염색체의 DNA 전 염기 배열이 결정된다.	99	97
G 14-50	J 14-50	인공 위성을 이용한 세계적 항공 교통 관제 시스템이 실용화된다.	99	94

* 본고는 일본 NISTEP에서 발간한 "Outlook for Japanese and German Future Technology"

Comparing Japanese and Technology Forecast Surveys"(1994)를 요약정리한 것이다.

주석1) 기술예측실, 책임연구원,

주석2) 기술예측실, 선임연구원