

환경 변화를 반영한 미래 유망 기술 재평가 모델 개발

홍성화* · 김소영**

I. 서론

1. 미래 유망 기술 선정과 평가의 중요성

미래 과학기술에 대한 예측이나 유망기술을 선정, 발표하는 활동은 전 세계적으로 정부 부처 혹은 주요 민간 기관에서 활발하게 진행되고 있다. 기업이나 연구기관에서는 새로운 시장에 진출하거나 연구개발 영역 확장을 하고자 할 때 기존에 발표된 유망기술 중 적합한 기술을 선택하여 향후 전략 설정에 반영하기도 한다. 혹은 국가 과학기술 개발 전략 설정의 기초가 되기도 한다. 따라서 이런 미래 예측과 유망 기술 선정활동은 무엇보다 지속적인 신뢰성의 확보가 중요하다.

국내외에서 미래유망기술(또는 과학기술예측)의 선정(예측) 결과에 대한 평가(Evaluation)에 관심이 높아지고 있지만, 그동안 많은 나라에서 미래유망기술 발굴 활동이 진행되었음(Grupp and Linstone, 1999)에도 불구하고 그 결과에 대한 평가는 제한적으로 이루어졌다. 최근에는 미래 예측 자체가 너무 많이 생산되어 충분히 활용되지 않고 있다는 관측도 있다. (van der Steen and van der Twist, 2012)

오랜 기간 국가 차원에서 미래유망기술을 선정해온 영국, 독일 등 일부 유럽 선진국과 일본 등에서는 사전/사후적으로 미래예측활동을 평가하여 그 신뢰성을 확보하고자 노력해왔다. (Poteralska and Sacio-Szymańska, 2012) 그러나 대규모 미래예측사업을 평가하는 과정은 사업 수행 과정의 전반을 평가하는 프로젝트평가의 측면이 강하여 기술 사회적 변화를 반영한 미래기술의 유망성 지속 여부에 대한 아이템 수준의 접근은 부족한 편이다.

미래기술 아이템의 수준의 접근이란, 주로 실현여부를 평가하여 예측의 정확성을 검증하는 것에 초점을 두고 있다. 빠른 환경 변화는 매년 새로운 아이템을 미래기술로 선정하여 발표하도록 해주지만, 그만큼 기간이 지난 기술 아이тем들이 여전히 채택 가능한 아이тем인지 판단하기 어려워졌다. 특히 미래기술로 발표되는 아이тем은 발표 시기에 기술의 최첨단에 있는 경우가 많아 새로운 사업 아이тем을 발굴하고자 하는 기업과 연구자들이 시기 적절하게 채택할 수 없는 수준인 경우가 많다. 이런 경우에는 이전에 발표된 미래기술 아이тем이 더욱 적절할 수 있으나, 발표 시점에 평가된 유망성과 시장성 등 여러 가치들이 현 시점에서 어떻게 변동되었는지를 고려하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 다양한 관점의 미래기술선정·예측활동 평가에 대한 사례들을 분석하고, 미래기술 아이тем을 선정한 정량적·정성적 근거들이 시간이 경과한 후에도 여전히 유효한지를 지속적으로 추적할 수 있는 동적인 미래기술아이템 재평가 모델을 제안하고자 한다.

2. 선행 연구

미래 기술 예측과 선정에 대한 평가와 관련한 연구는 주로 미래예측 활동과 관련된 연구 활동 중심으로 일부 수행되었다. 대규모 미래기술 예측사업에 대한 평가는 주로 사업 수행과정 자체를 평가하는 프로젝트평가의 측면으로 주로 이루어져 왔다. 프로젝트 평가의 시각으로 보면 미래기술 예측사업의 경우에도 예측의

* 홍성화, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6133, shong@kisti.re.kr

** 김소영, 한국과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6128, sykim8171@kisti.re.kr

목적이 무엇인가에 따라 평가 방법 또한 달라져야 한다. Georghiou and Keenan(2006)은 예측의 목적을 총 4가지(효율성, 효과성, 적절성, 행동 부가성)로 분류하여 이에 따라 평가의 초점이 달라져야 한다고 하였다.

이 네 가지 기준은 이후 여러 연구자들의 연구에서 꾸준히 사용되면서 미래기술 예측사업 평가를 위한 기준으로 자리 잡았다. Destatte(2007)는 이들 네 가지를 평가의 기준으로 채택하면서 동시에 기능성, 지속가능성, 공정성의 세 가지 기준을 추가하여 총 7가지 기준을 제시하였으며 미래기술 예측사업을 크게 과정과 성과의 두 차원으로 분리하여 평가의 틀을 제시하였다. 제시된 모델은 미국을 비롯한 여러 유럽 국가들에 적용되었다. 특히 영국의 두 번째 예측사업의 영향 분석에 활용된 바 있다.

Li et al.(2009)은 Destatte의 모델과 평가 기준을 더욱 세부적으로 정의하여, 각 차원과 관점별로 활용 가능한 지표를 제시하였다. Li의 지표들은 전통적인 4가지 관점에 기초를 두고, 8가지 평가대상 핵심요소를 대상으로 제시되었다. 이 8가지 평가대상 요소들은 유럽 각국의 미래예측의 평가 활동을 참조하여 도출한 것으로, 프로세스평가 요소로 전체 정책 목표, 투입물, 전략적 목적, 예측활동을, 결과평가요소로 산출물, 효과, 성과, 영향력을 제시하였다. 그 외에도 Makarova and Sokolova(2012)의 연구는 프로젝트 관리 측면에서 미래예측을 평가하는 체계를 제시하였고, Piirainen et al.(2012)의 연구는 사전평가 및 사후평가 모두에 사용 가능한 투입-산출-영향 체계를 제시하였다.

미래기술 예측사업을 평가하기 위한 평가 체계를 제시하는 연구자들 외에도, 최근에는 미래기술 예측의 영향을 분류하고 이를 중심으로 평가하려는 활동도 활발해지고 있다. Poteralska and Sacio-Szymanska(2013)는 최근까지 수행된 미래예측 평가에 대한 연구들을 종합하여 보여준 바 있는데, 특히 예측의 영향에 대한 연구들을 정리하여 제시하였다. Havas et al.(2007)에 따르면, 미래기술 예측활동 자체는 정보의 제공, 카운슬링, 그리고 촉진의 기능을 수행하게 되는데, 각 기능의 작동 결과와 결과가 나오는 데 걸리는 시간에 따라 목표하거나 의도하지 않은 영향을 발생시킨다고 보았다. Johnston(2012)과 Smith(2012)의 연구에서도 예측의 영향을 중심으로 평가 체계 재구성하고자 하는 시도가 있었다. 특히 Smith(2012)는 예측의 영향을 4가지 종류(인식 제고, 정보 전달, 가능성 제고, 영향력 행사)로 분류하고 각 분류마다 평가를 위한 성과와 지표 체계를 도출하였다. <표 1>에 관련 선행연구를 정리하였다.

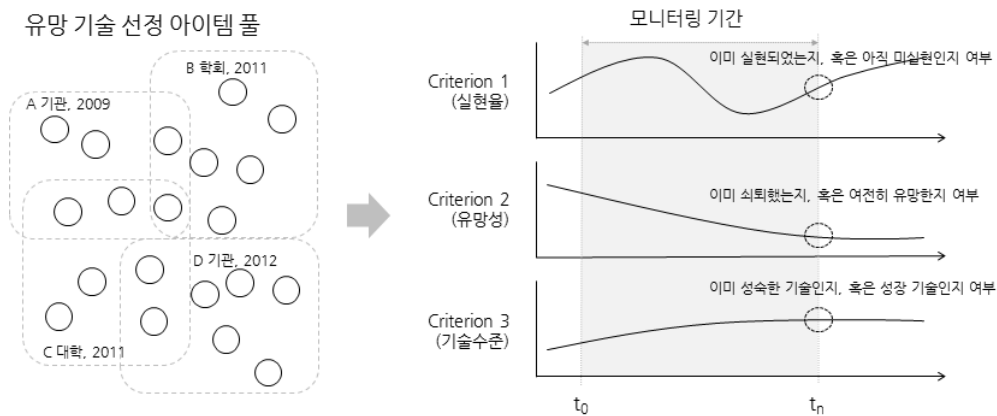
<표 1> 예측 평가 주요 문헌과 특징

분류	저자	연도	주요 내용
예측 목적에 따른 예측 프로젝트에 대한 평가	Georghiou and Keenan	2006	예측 목적에 따른 평가 기준 도출 (4 기준) 기능성(Utility), 지속가능성(Sustainability), 공정성(Fairness) 추가 8가지 평가대상 핵심요소를 대상으로 제시 로젝트 관리 측면에서 미래예측을 평가 체계 사전평가 및 사후평가 모두에 사용 가능한 투입-산출-영향(input-output-impact) 체계
	Destatte	2007	
	Li et al	2009	
	Makarova and Sokolova	2012	
	Piirainen et al.	2012	
예측 활동의 결과로서 영향에 대한 평가	Poteralska and Sacio-Szymanska	2013	예측의 영향에 대한 연구들을 정리하여 제시 예측이 수행하는 기능과 작동 지연(time lag)에 따라 목표하거나 의도하지 않은 영향 발생 가능 예측의 영향(impact)을 중심으로 평가 체계 재구성하고자 하는 시도 예측의 영향을 4가지 종류(Awareness raising, Informing, Enabling, Influencing)로 분류하고 각 분류마다 평가를 위한 성과와 지표 체계를 도출
	Havas et al.	2007	
	Johnston	2012	
	Smith	2012	

II. 평가 모델

본 연구에서 제안하는 미래유망기술 재평가모델은 과거에 수행된 미래예측사업의 결과로 혹은 별도의 과정을 통해 제시된 미래유망기술들이 시간이 경과한 후에도 여전히 미래유망기술로서 유효한지 여부를 모니터링 하는데 목적이 있다. 뿐만 아니라, 시간에 따른 유효성의 변동과 원인을 분석하여 그 함의점을 향후 선정 과정에 피드백 하여 유망기술 선정의 신뢰도 제고를 모색하고자 설계되었다.

전체 과정은 <그림 1>에서 제시하는 바와 같이 총 3개의 평가 기준으로 구성되어 있다. 첫 번째 기준은 실현을 평가로, 해당 기술이 현재 시점에서 이미 실현되었는지, 혹은 실현되지 않았다면 부분적 실현율은 어느 정도이며 기술 실현의 장애요인은 무엇인지를 평가한다. 두 번째 기준은 미래 유망 기술 발표 시점 이후에 기술의 파급도나 시장 환경, 실현 가능성 등이 얼마나 변화하였는지를 평가한다. 마지막으로 기술수준평가는 해당 기술이 기술수명주기 상의 위치가 어떻게 달라졌는지를 평가한다.



<그림 1> 평가 모형의 개념도

1. 실현을 평가

첫 번째 기준인 실현을 평가는 과거 미래유망기술로 선정된 아이템이 현재 시점에서 기술적으로 또한 사회적으로 실현되었는지 여부를 평가한다. 기술적 실현은 해당 기술이 목표성능을 획득하고 시제품이 개발되는 등 기술적으로 구현되는 것을 뜻하며, 사회적 실현은 구현된 기술이 제품과 서비스에 체화되어 소비자가 사용할 수 있는 것을 뜻한다. 두 기준에 대한 실현 여부는 미실현-일부실현-실현 및 조기실현으로 구분하여 평가한다.

실현 판단을 위한 근거로는 기술적 실현의 경우 논문, 특허, 시제품 등을 활용하며 사회적 실현의 경우에는 제품명, 기업명, 시장규모 등을 활용한다. 특히 평가시점이 실현 예측 시점을 지났거나 또는 현재시점이 충분히 기술적, 사회적 실현이 가능한 시기 임에도 불구하고 평가 아이템이 미실현 상태로 평가되었을 경우 실현 장애요인을 분석한다. 반대로 예측보다 이른 시기에 실현 되었다면 실현 촉진요인을 사회, 기술, 경제, 정치 및 환경 관점 (STEEP; Social, Technological, Economic, Ecological, Political) 관점에서 분석한다. <표 2>에서 평가의 주요 항목을 확인할 수 있다.

<표 2> 실현을 평가 주요항목

항목	내 용
기술 실현여부	<ul style="list-style-type: none"> · 이 기술이 기술적/사회적으로 실현 되었는가? · 이 기술의 기술적/사회적 실현시기는 언제인가? · 기술적/사회적 실현근거는 무엇인가? · 이 기술의 기술적, 사회적 실현 주체(산/학/연/관/공동 등)는? · 이 기술의 기술적, 사회적 실현을 선도하는 국가와 주체는? · 한국과의 격차는 어느 정도인가?
실현 장애요인 (주요 예시)	· 기술적 한계(A), 시장 수익성 부족(B), 대체기술의 실현(C), 사회적 수요 부족(D), 정책/규제/표준화의 문제(E), 윤리적 문제(F), 제품화 어려움(G), 연구비/인프라(H) 부족, 인력 부족(I)
실현 촉진요인	· STEEP 관점의 촉진요인 분석
일부실현	· 평가대상기술이 복합기술로, 독립 활용이 가능한 일부분이 실현된 경우

2. 유망성 평가

두 번째 기준인 유망성 평가에서는 실현을 평가에서 평가 대상 기술이 미실현, 일부실현 혹은 기술적 실현 등 완전 실현이 아닌 기술로 평가된 경우에 대해 해당 기술의 유망성이 앞으로 지속될 것인지 여부를 평가한다. 유망성 평가는 해당 기술 아이템을 미래 유망 기술로 선정한 당시에 적용한 기준을 고려할 필요가 있다. <표 3>에서 제시하는 유망성 평가 기준은 국내외에 미래 유망 기술 선정 주체의 평가 기준을 적절히 고려한 세부 기준이다.

주요 세부평가항목은 이머징 시그널(Emerging signal), 기술 실현 가능성, 실현 시기, 파급도, 경쟁 환경, 시장 지역, 예상 시장 규모 등으로 구성할 수 있다. 이머징 시그널은 해당 기술이 과거의 기술을 넘어 새로운 트렌드를 형성할 수 있는 잠재력을 가진 신호(signal)성 기술인가를 평가한다. 기술 실현 가능성은 미래 사회의 중심적 기술로 발전할 수 있는지 여부와 기술 실현의 촉진/저해 요인을 평가한다. 실현시기는 향후 기술적/사회적 측면의 실현시점을, 파급도는 문화, 기술, 환경, 경제, 정책적 측면에서 우리의 생활 또는 사고방식을 바꿀 수 있는 기술인지를 평가한다. 경쟁상황은 기존 기술과의 경쟁 정도를, 시장규모는 기술이 실현된 후 가능한 시장 지역에서의 시장규모를 말한다.

<표 3> 유망성 평가 주요항목

항목	내 용
이머징 시그널 (Emerging signal)	<ul style="list-style-type: none"> -이 기술이 향후 새로운 기술 트렌드를 형성할 수 있는 기술인가? -경제, 산업적으로 의미(Implication)가 있는 기술인가? -국내 중소기업(기술혁신형기업)이 사업화하기에 적합한 기술인가?
실현가능성(Likelihood)	<ul style="list-style-type: none"> -이 기술이 제품화가 가능한가? -미래 사회에서 중심적 기술로 발전할 수 있는가? -실현가능성을 제고/저해하는 요인은 무엇인가?
실현시기(When)	-국내외에서 해당 기술의 기술적/사회적 실현 예상 시점은?
파급도(Impact)	-문화, 기술, 환경, 경제, 정책적 측면을 종합적으로 고려한 이 기술의 파급도는?
경쟁상황(Competition)	-기존기술과의 기술경쟁 상황은?
시장형성지역(Where)	-국내, 아시아, 북미, 유럽, 전세계, 기타
시장규모(Market size)	<ul style="list-style-type: none"> -기술이 실현되어 성숙기(보편화)에 도달했을 때 시장규모는? -시장규모추정 관련 근거 자료를 제시

3. 기술수준 평가

마지막 기준인 기술수준 평가는 평가대상 아이템의 국내외 기술수준을 기술성장곡선을 이용해 평가한다. 일반적으로 새로 등장한 기술은 수명주기(Life Cycle)를 따라 기술성능의 발전과 관련 지식의 확산 과정이 진행되는데, 도입기→성장기→확장기→성숙기→쇠퇴기를 거치는, 보통 S자 형태의 성장곡선(Growth Curve)을 따른다.

기술수준평가에서는 기술수명주기와 성장곡선을 고려하였을 때 해당 기술이 도달할 수 있는 이론적 상한치 대비 현재 해당 기술의 수준을 평가한다. 또한 연구개발 단계 관점에서 해당 기술의 단계와 기술의 발전 속도를 함께 평가한다. <표 4>에서 세부 기준을 제시한다.

<표 4> 기술수준 평가 주요항목

항목	내용
기술 수준	-국내외 기술수준 및 기술 주체 -이론적 상한치에 이르기까지 예상 소요기간(년)
연구개발 단계	-기초/응용/개발 단계
기술 발전 속도	-국내외 발전 속도를 5단계 척도로 구분

III. 사례 분석

앞서 설명한 세 가지 기준을 종합적으로 활용하여 수행한 사례 분석의 기초 결과를 제시하고자 한다. 본 사례 분석은 국내외에서 유망기술로 선정된 바 있는 아이템을 유형별로 분류, 선별하여 수행하였으며, 각 기술별 국내 전문가를 대상으로 설문을 진행하였다. 총 25개 기술에 대해 평가를 진행하였으나, <표 5>에서는 7개 기술에 대해 진행한 사례 분석에 대해 일부 항목의 주요 결과를 요약하여 제시한다.

<표 5> 사례 분석의 일부 항목 주요 결과 요약

기술명	실현율 평가(실현/예상시기)			유망성평가				기술수준평가		
	기술적 실현	사회적 실현	실현장애요인	이머징 시그널	중소기업	기술경쟁	시장경쟁	국내수준	연구개발단계	기술발전속도
염료감응형 태양전지	일부실현 (2014)	미실현	B,E,I	매우높음	높음	보통	보통	5% 도입기	응용	빠름
고체산화물 연료전지	일부실현 (2012)	일부실현 (2016)	A,B,H	높음	보통	높음	높음	60% 성장기	개발	빠름
AIDS 백신	미실현 (2018)	미실현 (2021)	A,B	높음	보통	보통	낮음	-	-	-
그래핀나노 구조체	일부실현 (2016)	미실현 (2018)	-	매우높음	매우높음	높음	-	30% 성장기	응용	매우빠름
랩온어칩	일부실현 (2015)	일부실현 (2016)	A,H,I	높음	매우높음	높음	매우낮음	50% 성장기	응용	매우빠름
웨어러블 컴퓨터	일부실현 (2015)	일부실현 (2017)	A,G	매우높음	매우높음	보통	높음	50% 성장기	개발	보통
미세조류 바이오연료	일부실현 (2015)	미실현 (2020)	B,H,I	매우높음	높음	높음	낮음	70% 성장기	기초	빠름

IV. 결론

본 연구에서는 미래유망기술이 선정된 이후에 기술사회적으로 급변하는 연구개발 환경변화를 겪으며 애초에 판단되었던 유망성의 근거가 어떻게 변화하였는지 여부를 현재 시점에서 판단할 수 있는 미래유망기술의 재평가모형을 제시하고자 하였다. 특히 기술의 실현율, 유망성, 기술수준이라는 세 가지 기준을 통해 기존의 판단 근거와 앞으로의 전망을 함께 반영하여 유망기술을 평가할 수 있도록 구성하였다. 특히, 그간 미래예측 프로세스의 과정 평가 혹은 기술예측결과의 실현여부 통계에 국한되었던 미래유망기술 평가활동에서 나아가 유망기술 자체에 초점을 맞추어 환경 변화가 기술의 유망성에 미친 결과를 평가하여 이미 선정된 유망기술의 활용성을 높이고, 향후 유망기술의 선정과정에 시사점을 도출하고자 하였다.

본 연구는 환경변화와 미래유망기술의 관계를 동적으로 파악하고자 선도적으로 노력하였음에도 불구하고 몇 가지 한계점이 존재한다. 우선, 전문가 직관에 따른 평가로 사례연구를 진행하였다는 점이다. 전문가에 의한 평가는 효율적이나 편향이나 왜곡의 가능성이 있다. 따라서 전문가들이 제시한 실현근거(논문, 특허, 제품명, 기업명 등)에 대한 객관적인 점검체계를 비롯하여 논문, 특허, 웹 데이터 등 계량화된 데이터를 동시에 활용하여 보완할 수 있는 세부적인 기준과 혼합된 분석 모형에 대한 확장된 연구가 필요하다.

참고문헌

- Choi, M., Choi, H.-L., & Yang, H. (2014). Procedural characteristics of the 4th Korean technology foresight. *Foresight*, 16 : 198-209.
- Destatte, P. (2007). Evaluation of Foresight: How to take long term impacts into consideration? In *FOR-LEARN Mutual Learning Workshop Evaluation of Foresight, Brussels, IPTS-DG RTD, September 19, 2007*.
- Georghiou, L., & Keenan, M. (2006). Evaluation of national foresight activities: Assessing rationale, process and impact. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(7) : 761-777.
- Grupp, H., & Linstone, H. A. (1999). National technology foresight activities around the globe: Resurrection and new paradigms. *Technological Forecasting and Social Change*, 60 : 85-94.
- Havas, A., Schartinger, D., & Weber, K. M. (2007). Experiences and practices of technology foresight in the European region. In *Technology Foresight Summit 2007*
- Johnston, R. (2012). Developing the capacity to assess the impact of foresight. *Foresight*, 14(1) : 56-68.
- Li, S. S., Kang, M. H., & Lee, L. C. (2009). Developing the evaluation framework of technology foresight program: Lesson learned from European countries. In *Atlanta Conference on Science and Innovation Policy*.
- Piirainen, K. A., Gonzalez, R. A., & Bragge, J. (2012). A systemic evaluation framework for futures research. *Futures*, 44(5) : 464-474.
- Poteralska, B., & Sacio-Szymańska, A. (2013). Evaluation of technology foresight projects. *European Journal of Futures Research*, 2(1) : 26.
- Smith, J. (2012). *Measuring Foresight Impacts - EFP Brief No. 249*.
- Sokolova, A., & Makarova, E. (2013). Integrated framework for evaluation of national foresight studies.

In *Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies* (pp. 11-30). Springer.

Van der Steen, M., & van Twist, M. (2012). Beyond use: Evaluating foresight that fits. *Futures*, 44(5), 475-486.