
과학지도 작성을 통한 미래기술 발굴 및 정부R&D의 동적 투자방향성 설정 연구

양혜영* · 손석호** · 한민규*** · 한종민**** · 임현*****

<목 차>

- I. 서 론
- II. 정부R&D의 역할 및 전략
- III. 정부R&D 전략성 강화를 위한 새로운 방법론
- IV. 과학기술 미래비전 구현을 위한
연구개발 전략의 수립
- V. 결론 및 정책적 시사점

국문초록 : 정부는 과학기술이 실현할 긍정적 미래사회의 모습을 보여주고 장기적인 과학기술 발전의 가이드라인을 제시하기 위하여 『2040 과학기술 미래비전』을 수립하였다. 과학기술 미래비전은 글로벌 메가트렌드와 한국사회의 변화를 전망하고 이를 바탕으로 과학기술적 비전을 수립하였으며 비전달성을 위한 25대 미래핵심기술분야를 도출하였다. 이에 대한 후속작업으로, 과학기술 미래비전 구현을 위한 연구개발 전략이 수립되었다. 연구개발 전략은, 25대 미래핵심기술분야별로 특히 미래과학기술발전을 주도해나갈 미래주도기술을 선정하고 그에 대한 정부R&D 투자현황 분석과 향후 투자방향성으로 구성된다. 미래사회를 주도할 기술의 선제적 발굴과 그에 대한 정부의 전략적 정책설정은 기술선도국으로 도약하기 위한 필수조건이라고 할 수 있고, 이에 따라 미래기술 발굴 노력이 확대되고 있다. 기존의 미래

* 한국과학기술기획평가원 기술예측단, 교신저자 (hyyang@kistep.re.kr)

** 한국과학기술기획평가원 사업총괄조정실 (shson@kistep.re.kr)

*** 한국과학기술기획평가원 R&D타당성분석단 (mkhan@kistep.re.kr)

**** 한국과학기술기획평가원 기술예측단 (allbible@kistep.re.kr)

***** 한국과학기술기획평가원 기술예측단 (hyim@kistep.re.kr)

기술 발굴에는 전문가들의 패널토론이나 전문가평가를 통한 포트폴리오분석 등 정성적 방법론을 활용하였다. 그러나 일부 전문가에게 의존해야 하는 정성적 방법론은 객관성의 부족 등 한계가 존재한다. 따라서 이러한 한계점을 보완하기 위한 정량적 방법론이 시도되고 있는데, 본 연구에서는 논문서지자료를 분석하여 과학지도를 작성하는 방법을 활용한 미래기술 발굴 방법을 제안한다. 또한 미래기술에 대한 정부R&D 정책은 일반적으로 기술이 실현될 때까지 정부지원방향을 단일하게 제시하는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 이를 중간시점과 기술실현시점 등 2단계로 구분하여 구간별로 정부R&D에 대한 투자포트폴리오를 제시함으로써 전략적 측면을 강화할 수 있는 방안을 제안한다.

본 연구를 통해 다음과 같은 정책적 시사점을 확인할 수 있다. 첫째, 미래기술 발굴에 대한 정량적 방법론과 정성적 방법론의 결합 가능성을 통해 기존의 한계점을 보완할 수 있다. 둘째, 정부R&D의 투자방향성을 동적으로 제시하여 전략성을 제고하고 부처간 또는 연구수행주체간 연계를 강화할 수 있다. 향후 본 연구의 결과가 『2040 과학기술 미래비전』의 구현을 위한 실천적 전략으로서 유용하게 적용되는 한편, 미래기술 발굴 및 정책설정의 방법론으로서 널리 활용되기를 기대한다.

주제어: 과학지도, 미래기술, 과학기술 미래비전, 연구개발 전략, 동적 포트폴리오

An Exploration For Future Emerging Technologies by Science Mapping and a Dynamic Portfolio Setting for Government R&D Strategy

Heyoung Yang · Sukho Son · Min-Kyu Han ·
Jongmin Han · Hyun Yim

Abstract : Korean government built 「2040 Science and Technology Future Vision」 in order to show positive future scenarios and suggest a long-term guideline for a progress in science and technology. The S&T Future Vision was built based on an analysis of global megatrends and a prospect of domestic social change. After building S&T Future Vision, the 「Government R&E Strategy」 was established as a follow-up action plan. The Government R&D Strategy consists of lists of future emerging technologies for future leadership, government R&D investment status and investment portfolio plans. Exploring future emerging technologies aggressively and making a governmental R&D strategic policy are requirements for national competitiveness, leadership in the world. Therefore search and selection for future emerging technologies is getting more and more important recently. Generally qualitative methodologies have been used such as expert-panel discussion method and portfolio analysis with expert valuation method in order to explore future technologies. These experts-based qualitative methodologies are well defined but lacking in some objectivity because size of expert-panels has limitations. We suggest a quantitative methodology, science mapping method to compensate this shortcoming in this study. There is another limitation related governmental R&D strategy which is that general R&D portfolios are static until a point of technology realization. We also propose a dynamic R&D investment portfolio which present different portfolios at a intermediate point and a point of technology realization. We expect this try with science mapping method and a dynamic R&D portfolio could strengthen strategic aspect of government R&D policy.

Key Words : Science Map, Future Technology, S&T Future Vision, R&D Strategy,
Dynamic Portfolio

I. 서론

과학기술은 지식기반 시대의 사회 변화를 견인하는 핵심 동력이다. 산업과 지역혁신과 같은 경제영역뿐만 아니라 사회적 이슈와 개인적 일상에도 영향을 미치고 글로벌 이슈를 해결하기 위한 핵심적 열쇠이기도 하다. 정부는 미래의 지속가능한 성장을 위해 R&D의 역할을 매우 중요하게 인식하고 있다. 이는 정부R&D 예산의 연평균 증가율이 10%를 상회하는 등 타 분야에 비해 높은 증가추세를 보이고 있다는 점에서도 쉽게 확인할 수 있다.¹⁾ 이는 미래성장의 원동력으로서 과학기술의 역할이 더 중요해지고 있기 때문이다. 경제적 발전을 위한 성장동력으로서의 의미뿐만 아니라 이제는 글로벌 리더로서 세계적 기여도 함께 고려하여야 한다. 과거 정부주도적 R&D를 통해 산업화시대를 비교적 성공적으로 이끌었다면 이제는 G20 정상회의에서 개도국 지원과 지속가능한 성장 협력체제를 구축하기 위하여 녹색경제로의 전환, 인프라, 인적 자원 개발 등 지식을 기반으로 세계에 기여하기 위한 방안을 논의하는 시대가 된 것이다. 이처럼 다양한 시대적 요구에 부응하기 위하여 정부는 R&D전략을 수립하고 과학기술의 발전을 지원해오고 있다. 따라서 선진일류국가를 지향하는 시점에 과학기술을 기반으로 미래사회를 전망하고 국가발전의 장기비전과 전략을 수립하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 정부는 이와 같은 인식 하에 「과학기술 미래비전 2040」²⁾을 수립하여 발표하였다. 과학기술 미래비전은 미래 과학기술 발전을 위한 지침서이며, 우리가 희망하는 미래를 구현하기 위한 범부처적 가이드라인이라고 할 수 있다. 그러나 과학기술 미래비전은 미래사회 모습을 제시하는 역할을 하고 있으나, 정부R&D에 대한 구체적인 전략까지는 제시하지 못한다. 이에 본 연구에서는 과학기술 미래비전 구현을 위한 연구개발 전략을 수립하고자 한다. 미래기술에 대한 정부R&D 전략 수립은 그동안 여러 가지 방법으로 진행된 바 있다. 본 연구에서는 정부R&D가 국가적 미래 성장을 위해 어떤 역할을 해야 하는지 어떤 전략적 방향으로 나아가야 할지에 관한 논의를 토대로 정부R&D의 전략성을 강화하기 위한 방법을 제안하고자 한다.

1) 정부R&D 예산은 11.1조('08년), 12.3조('09년), 13.7조('10년), 14.9조('11년)로 '08년부터 '11년까지 연평균 증가율은 10.3%이다. 기획재정부, 정부R&D 예산편성결과(2010), 국가과학기술위원회, 2012년 정부연구개발 투자방향(2011).

2) 교육과학기술부·한국과학기술기획평가원, 2010.

II. 정부R&D의 역할 및 전략

정부R&D의 전략수립에 관해서는 다양한 연구가 진행되고 있는데 대부분은 미래에 유망할 것으로 기대되는 기술분야를 탐색하는 것과 기술적 특성에 따라 적절한 전략을 수립하는 것 등 두 가지로 구분할 수 있다. 유망한 미래기술을 탐색하는 것은 민간차원 뿐만 아니라 정부차원에서도 자주 시도되고 있다. 삼성경제연구소(2003)의 “산업판도를 바꿀 10대 미래기술”, 매년 미국 MIT에서 발표되는 10대 급부상기술(10 Emerging Technologies, <https://www.technologyreview.com/tr10/>), 매년 한국과학기술기획평가원에서 발표되는 10대 미래유망기술 등과 같이 유망기술이 발표되었고, 정부는 과학기술기본법에 따라 매 5년마다 20~30년 후 미래기술을 예측하는 과학기술예측조사를 비롯하여 정부차원에서 중점적으로 육성해야 할 다양한 미래유망기술을 발표하고 있다. 한편 미래기술이 발굴되었다면 이와 함께 제시되어야 하는 것은 미래기술의 특성에 따른 전략이다. 기술의 성숙단계, 투자현황 및 국내역량 등을 고려하여 기술획득을 위한 전략을 수립하는 것이다. 이는 대개의 경우 투자포트폴리오 등으로 나타난다. 한국과학기술기획평가원은 Total Roadmap(2007), 중장기발전전략(2008), 기술수준평가보고서(2009, 2011) 등에서 기술전략을 수립함에 있어 기술분야별 특성을 고려하여 정부의 역할이 포함된 정부R&D 투자전략을 제시한 바 있다. 또한 국가과학기술위원회와 한국과학기술기획평가원(2009), 삼성경제연구소(2009)는 기술·산업수명주기 및 국내역량의 2차원 분석틀에 따라 정부의 역할과 전략을 유형화하기도 하였으며, 양혜영 등(2009)은 이를 보다 발전시켜 정부 R&D 역할과 전략을 구체적 실천방안이 포함된 프레임워크로 제시한 바 있다.

이와 같이 정부R&D의 전략을 수립함에 있어 가장 중요하다고 볼 수 있는 미래유망기술의 발굴과 투자전략에 관한 사례와 방법론을 다음 절에서 살펴보고자 한다.

1. 미래기술 발굴

미래기술의 발굴은 여러 가지 방법에 의해 이루어질 수 있는데, 일반적으로 전문가 의견을 수렴하는 방식으로 이루어진다. 가장 널리 쓰이는 방법은 브레인스토밍, 워크숍 등 패널토론이다. 국가과학기술위원회와 한국과학기술기획평가원이 매 5년마다 실시하는 과학기술예측조사는 미래사회를 전망하고 그것을 바탕으로 미래기술을 예측하는 대표적인 미래기술 예측사업이다. 과학기술예측조사는 기술분야별 전문가 패널을 구성하고 전

문가 토론을 거치는 방식을 통해 미래기술 목록을 도출한다. 또한 교육과학기술부와 한국과학기술기획평가원이 2008년 발표한 “국가연구개발사업 중장기 발전전략”에서는 90개 중점과학기술을 제시하였는데, 이때 중점과학기술이란 유망한 미래기술 중에서 정부에서 전략적으로 중점 육성해야 할 기술을 의미한다. 중점과학기술은 제3회 과학기술예측조사에서 발굴된 미래기술을 바탕으로 선정된 것이다. 최근에는 미래기술 예측을 위해 시나리오플래닝 기법을 사용하기도 한다. 이는 가능한 다양한 미래의 모습을 상정하여 이로부터 미래기술을 예측하는 기법으로 전문가들로 구성된 패널의 워크샵을 운영하여 의견을 수렴하는 방식이다. 전문가 기반의 미래기술 예측은 전문가 의견수렴과 합의과정을 거치므로 그 자체로 타당성을 갖는다고 볼 수 있다. 그러나 한편 패널토론이나 워크샵에 참여하는 전문가집단의 규모에 한계가 있기 때문에 최신 기술동향에 관한 모든 정보를 고려한다고 보기 어렵고 전문가에 의한 주관과 자의성이 개입할 여지가 있어 충분한 객관성을 확보하였다고 판단할 수 없는 것도 사실이다. 따라서 전문가 기반의 미래기술 예측은 객관성과 타당성을 뒷받침할 수 있는 방법론에 의해 보완될 필요가 있다.

2. 정부R&D 투자포트폴리오 설정

유망한 미래기술의 발굴이 R&D 전략 수립의 1단계 과정이라면, 발굴된 미래유망기술에 대한 R&D 투자전략을 설정하는 것은 2단계 과정이라고 할 수 있다. 발굴된 미래유망기술의 R&D 투자전략 수립은 일반적으로 전문가를 대상으로 하는 델파이조사를 바탕으로 이루어진다. 델파이조사는 주로 도출된 미래기술이 실현될 시점, 현재의 기술수준 정도 등의 정량적 수치를 예측하기 위하여 대규모 전문가를 대상으로 2회 이상의 설문조사를 통해 전문가 의견을 수렴하게 된다. 미래기술에 대한 정부R&D 투자전략은 일반적으로 기술의 특성에 따라 다르게 설정되는데, 기술수명주기, 기술개발에 대한 국내역량 또는 기술개발 가능성, 현재 투자현황, 인력수준, 인프라 등을 고려한다. 기술수명주기가 도입기인데 국내역량이 현재 낮은 편이라면, 기초연구 및 응용연구를 집중 지원하여 신기술을 확보할 수 있도록 전략을 세울 수 있다. 연구비 투자뿐만 아니라 신기술확보를 위한 전략적 국제공동연구를 확대한다거나 해당 기술분야에 대한 인력공급을 위하여 고급인력양성을 병행하는 전략을 수립할 수 있다. 이와 반대로 기술수명주기 상 해당기술이 상당부분 성숙되어 있는 분야인데 국내역량이 낮다면, 추격형 전략을 수립하는 것이 바람직할 것이다. 앞서 언급한 한국과학기술기획평가원의 여러 보고서에서는³⁾ 이

와 같은 기술분야별 또는 기술별 정부R&D 전략을 간략하게나마 제시하고 있으나 기술별 특성이나 현재 투자현황을 바탕으로 전략이 수립되지 못하였고, 또한 전략이 단편적으로 제시된 측면이 있다. 삼성경제연구소(2009)는 기술·산업수명주기 및 국내역량의 2차원 분석틀에 따라 정부의 역할과 전략을 유형화하였는데 이것은 기술의 특성을 고려한 맞춤형 정부R&D 전략의 시작점으로 볼 수 있다. 삼성경제연구소는 기술분야별 특성을 고려한 정부의 역할로서 기술공급자, 기술협력자, 기술공급자 및 시장조성자, 시장조성자 등으로 제시하였으나, 구체적 실천방안을 제시하지는 못하였다. 양혜영 등(2009)은 이를 보다 발전시켜 정부R&D 역할과 전략을 구체적 실천방안이 포함된 프레임워크로 제안하였다. 정부R&D 역할의 범주를 연구비지원, 인력양성, 네트워크구축, 기반구축 등으로 구분하였고 각각의 범주에 대한 실천방안을 2~3개가량 제시하였다. 예를 들어, 연구비지원 범주에는 기초연구 지원, 응용연구 지원, 개발연구 및 실용화 지원의 3가지 실천방안이 제시되었고, 정부역할에 따라 3가지 실천방안 중 특정한 방안이 전략으로 선택되는 방식이다. 이러한 정부R&D 역할과 전략의 프레임워크는 기술의 특성을 고려하여 구체적인 실천방안을 제시할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 대부분의 미래기술이 장기적인 관점에서 R&D가 추진되어야 한다는 점을 고려하면, 미래기술의 실현시점까지 단일한 전략으로 정부R&D를 추진한다는 것은 효용성의 관점에서 재고될 필요가 있다. 즉 미래기술이 연구되어감에 따라 기술의 특성은 바뀌게 된다. 따라서 기술의 특성이 바뀌는 시점을 고려하여 정부R&D 전략도 동적으로 수립될 필요가 있다.

Ⅲ. 정부R&D 전략성 강화를 위한 새로운 방법론

본 장에서는 앞서 기술한 바와 같이, 전문가 기반으로 이루어지는 미래기술 예측과 발굴에 객관성과 타당성을 보완할 수 있는 방법론의 개선과 미래기술에 대한 정부R&D의 동적 전략 수립을 위한 방법에 대해 논의하도록 한다.

1. 과학지도 작성을 통한 급부상기술 탐색

브레인스토밍, 워크숍 등 패널토론을 통한 전문가 의견수렴방식은 전문가들의 지식을

3) Total Roadmap(2007), 중장기발전전략(2008) 등.

근거로 하는 것으로, 의견수렴과정을 거치게 되어 그 자체로도 타당성을 가진다고 볼 수 있다. 그러나 한편으로는 패널의 규모는 매우 제한되어있어 지식 범위의 한계가 명확하고, 전문가의 자의성이 개입될 소지가 다분하여 객관성이 담보되지 못하는 단점이 존재한다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 과학지도 방법론을 제안하고자 한다. 과학지도는 논문DB나 특허DB 등 방대한 지식 데이터베이스에 대한 통계적 분석을 바탕으로 하여 지식구조를 시각화한 것이다. 객관적이고 전체적 지식동향을 파악할 수 있도록 작성된 과학지도를 전문가 패널에게 제공하면 전문가 의견수렴방식이 가지는 단점, 즉 지식 범위의 한계와 객관성의 부족과 같은 것들을 상당부분 보완할 수 있다. 전문가들은 과학지도로부터 최신 지식구조를 학습하고 이해하여 자신의 지식에 대한 수정 또는 보완을 할 기회를 가지게 된다. 이러한 과정을 거친 뒤 급부상기술 탐색을 위한 패널토론을 하게 될 경우 보다 객관적이고 광범위한 기술탐색이 가능해진다. 이처럼 전문가 패널토론을 보완하기 위한 방법으로 과학지도를 선택하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫째, 지식 데이터베이스에 지식이 축적되는 속도가 점점 가속화되어 그 어떤 전문가라 하더라도 인류가 생산하는 지식을 모두 알고 이해하기 어렵기 때문이다. 둘째, 지식 데이터베이스에 축적되는 지식의 양이 매우 방대하여 그 중에서 우리가 알고자 하는 핵심적 지식이 어떤 것인지 파악하기 어렵기 때문이다. 개별 지식을 하나하나 이해하려는 노력도 필요하지만, 이와 같은 두 가지 이유로 지식 데이터베이스의 전체적 특성을 파악할 수 있는 지식구조화 노력이 필요하다. 이를 위하여 최근 많은 시도가 이루어지고 있는 방법이 사회연결망분석법 또는 네트워크분석법(Social Network Analysis)이다. 네트워크분석법은 데이터와 데이터간의 연결관계를 분석하여 지식구조를 시각화, 또는 네트워크로 표현하는 것인데, 이를 지도화(mapping)한다고 표현한다. 이렇게 지식구조를 지도로 표현한 것을 흔히 지식지도라 부르는데, 과학의 산출물인 논문DB를 분석대상으로 하여 지도로 표현한 것을 본 연구에서는 과학지도⁴⁾라고 표현하겠다.

과학지도는 점(노드, node)과 선(링크, link)으로 이루어진 네트워크이다. 과학지도를 작성하는 방법은 목적에 따라 매우 다양하다(<표 1> 참고). 과학지도는 크게 노드를 무엇으로 정의할지와 노드간 연관성을 어떻게 정의할지 등 두 가지에 대한 정의로부터 출발한다. 일반적인 서지분석에서 사용되는 방법은 <표 1>과 같은데, 특히 동시인용(Co-citation)과 서지결합(Bibliometric), 그리고 공동저자(Co-authorship) 방법이 많이 활용된다. 동시인용과 서지결합은 논문간 연결관계를 분석하는 것으로, 개별 논문이 노

4) 과학지도라는 용어는 Small과 Garfield(1985, 1994, 1999)가 과학문헌의 계량서지정보로부터 지도를 만드는 것을 'map of science' 또는 'scientography'라고 칭하면서 등장하였다.

드가 되고, 링크는 인용관계 또는 동일참고문헌 등에 의해 정의된다. 동시인용과 서지결합에 의한 과학지도는 개별 논문이 노드가 되므로, 지도 해석 시 개별 논문의 내용을 파악하는 과정이 필요하다. 공동저자에 의한 과학지도는 연구기관 또는 연구자가 노드가 되고, 공동저자 여부가 링크로 정의된다. 공동저자에 의한 과학지도는 연구기관 또는 연구자간 연결관계를 통해 주요 연구그룹이나 핵심연구자를 탐색할 때 활용된다. 키워드동시출현에 의한 과학지도는, 기술키워드를 노드로 정의하고, 기술키워드가 임의의 논문에 동시에 출현할 경우 기술키워드 간 연관성이 있는 것으로 정의하여 지도를 작성하는 것이다. 동시인용은 두 논문이 다른 논문에 동시에 인용되었을 때 연관성이 계산되는 방식이다. 따라서 관찰하고자 하는 두 논문 이후에 출판된 다른 논문집합에 대한 분석이 이루어져야 한다. 서지결합, 공동저자 및 키워드동시출현 또한 동시인용과 기술적으로는 크게 다르지 않다. 관찰하고자 하는 논문의 서지정보를 활용하여 특정 부분이 동시에 나타날 경우 연관성을 계산하는 것으로 계산방식은 동일한데, 서지정보 중 연관성을 정의하기 위한 부분을 참고문헌, 저자, 핵심키워드 등으로 다르게 선택한다는 점이 차이점이다. 과학지도 작성 방법의 선택은 <표 1>의 과학지도 특성에 나타난 바와 같이, 과학지도를 통해 나타내고자 하는 목적에 따라 달라진다.

문헌정보를 이용하여 과학지도를 작성한 첫 사례라고 할 수 있는 연구는 Small과 Garfield(1985)의 그것이다. Small과 Garfield는 동시인용분석을 통해 사회과학 및 자연과학분야 논문서지자료를 분석하여 학문영역에 대한 광역적 과학지도를 작성하였다. Small과 Garfield 연구 이후, SCIE, SSCI 등 논문DB에 대한 동시인용분석을 통한 광역적 과학지도를 작성한 연구가 많이 이루어졌다. Moya-Anegón 등(2004)은 스페인의 논문자료를 이용한 광역적 과학지도를 작성하였고, Boyack 등(2005)은 학술지 동시인용을 통한 광역적 과학지도를 작성한 바 있다. 이러한 광역적 과학지도 작성은 학문영역간 관계와 구조를 이해하기 위한 시도였다. 최근에는 과학지도를 통해 유망기술분야를 탐색하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 이는 주로 과학자들로부터 관심을 받는 고피인용 논문자료에 대한 분석으로 이루어진다. 톰슨사(Thomson Scientific)는 자사의 Web of Science 논문DB를 분석하여 리서치프론트(Research Fronts)라는 핵심연구분야를 발표한다. 리서치프론트는 고피인용논문을 추출하고 동시인용법을 이용하여, 현재 연구자들의 관심이 집중되고 있는 중요한 연구분야를 선정하는 것이다. 리서치프론트의 동시인용은 기본적으로 Small(1973)의 방법을 토대로 한다. 리서치프론트는 2개월마다 업데이트 되는데, 처음 등장한 리서치프론트는 이머징 리서치프론트(Emerging Research Front)로 분류된다.⁵⁾ 일본 NISTEP은 2004년부터 매 2년마다 약 10,000개 정도 되는 톰슨사의

Research Fronts를 재분석하여 급부상유망기술목록을 발표하는데, 이때 Web of Science DB를 시각화한 지도를 Science Map으로 표현하고 있다.(NISTEP, 2004, 2006) 우리나라에서는 KISTI에서 논문DB나 특허DB 전반을 동시인용 등으로 분석하여 유망 기술목록을 탐색한 시도가 있었다(KISTI, 2007, 2008). 키워드동시출현법에 의한 지식맵 작성사례는 이우형 등(2006, 2008)에 의한 것이 있다. 이때의 지식맵은 키워드들의 유사도행렬을 통해 클러스터링을 하고 클러스터 간 상관도를 측정하여 클러스터를 다차원척도법(Multidimensional scaling; MDS)으로 시각화한 것이다. 이는 키워드 간 유사도, 클러스터링, 클러스터 간 상관도, 클러스터 다차원척도법에 의한 매핑 등 4단계 계산과정이 이루어지며, 이때 작성된 지식맵은 키워드사이의 연관관계를 직접적으로 표현하기 위해 노드와 선으로 구성된 과학지도와는 다소 차이가 있다.

이처럼 논문DB에 대한 과학지도를 활용하여 급부상기술을 탐색하는 시도는 최근 활발하게 이루어지고 있고 이때 과학지도는 주로 동시인용방법에 의해 작성되고 있다. 본 연구에서는 과학지도 작성을 위한 방법으로 키워드동시출현법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 목적으로 하는 급부상기술분야 탐색은 동시인용, 서지결합, 키워드동시출현 등의 방법이 모두 가능하다. 동시인용, 서지결합 방법의 경우, 개별 논문을 노드로 정의하는 것으로, 과학지도 작성 후 지도 상에 나타나는 기술에 대한 해석을 위해 노드, 즉 개별 논문을 직접 확인해서 그 주제와 내용을 파악해야 하는 추가 노력이 필요하다. 이와 달리, 키워드동시출현 방법의 경우, 과학지도 상에 나타나는 기술키워드의 연관관계만을 살펴봐도 기술분야를 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 동시인용은 데이터를 확보하는 시점을 기준으로 모집단이 형성되어 최근 인용정보가 결여되어 있거나 자기인용의 문제가 있다. 이밖에도 학자들의 불규칙 인용습관으로 두 논문간의 동시인용빈도수(또는 서지결합빈도수)가 한없이 증가되는 반면, 어떤 경우는 거의 인용이 안 되는 경향이 나타날 수 있다는 점도 동시인용과 서지결합 방법의 단점이다(서은경, 1992). 또한 동시인용은 관찰하고자 하는 두 논문 이후의 논문집합 전체에 대한 분석을 수행해야 하므로, 관찰하고자 하는 두 논문 간 비교만으로 분석이 이루어지는 키워드동시출현에 비하여 분석작업량이 매우 방대하다. 이와 같은 특성을 비교하여 볼 때, 급부상기술의 내용을 파악하기 위한 과학지도 작성 방법으로 본 연구에서는 상대적으로 분석이 간단한 키워드동시출현법을 제안한다. 또한 키워드동시출현법에 의한 과학지도를 트리(Tree)구조로

5) <http://sciencewatch.com/about/met/rf-methodology/>, <http://www.sciencewatch.com/dr/erf/>, http://thomsonreuters.com/products_services/science/free/essays/research_fronts/, 연합뉴스 2007. 10. 2일자 기사, “툼슨, 국제적인 R&D 공헌한 일본 과학자들 표창” 등 참조

표현하여, 키워드와 키워드사이의 연관관계를 직접적으로 표현할 수 있는 동시에 클러스터링을 별도로 수행하지 않으면서도 키워드가 그룹핑되는 효과를 얻을 수 있도록 한다. 따라서 계산과정이 비교적 간단하고 과학지도에 대한 직관적인 해석이 가능하다. 이처럼 논문DB에 대한 과학지도의 작성 및 이를 통한 급부상기술 탐색방법과 전문가 패널토론 방법을 결합하여 미래기술을 발굴할 경우 전문가 패널토론의 한계를 보완하여 객관성과 타당성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

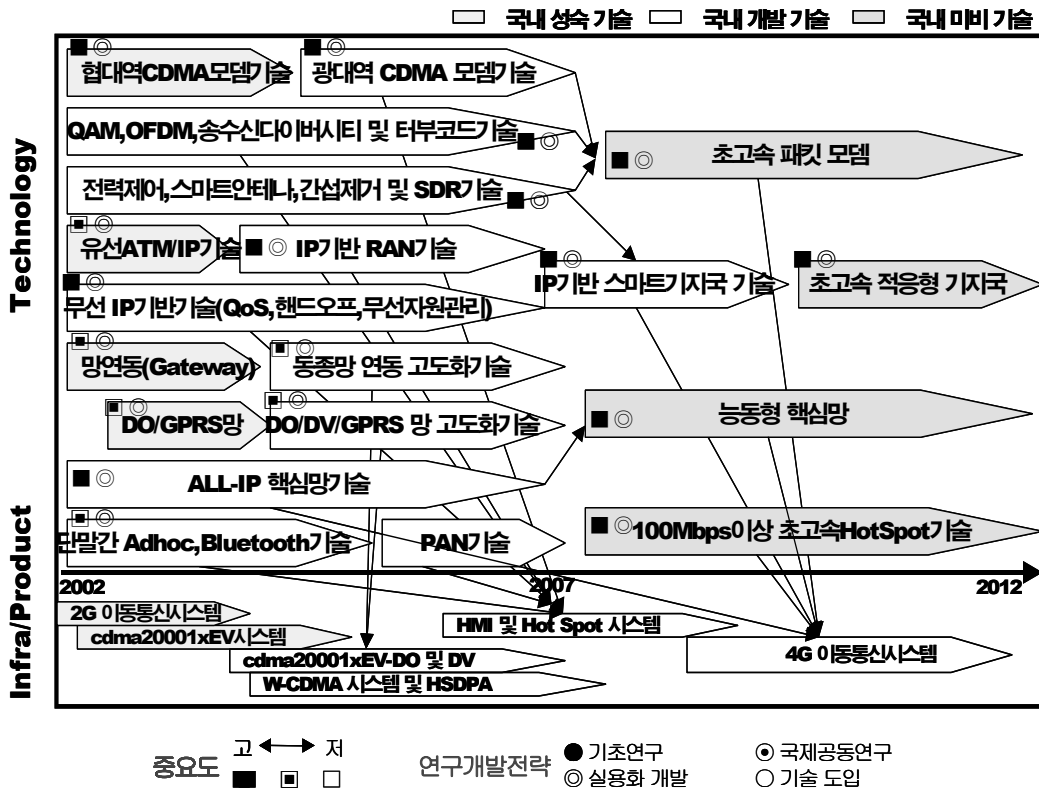
<표 1> 노드간 연관성 계산방법

방법	내용	과학지도 특성
동시인용 (Co-citation)	논문A와 논문B가 논문C에 동시에 인용되었을 경우 ⇒ 논문A와 논문B 간에 연관성이 있는 것으로 판단, 연결선을 그림	논문간 연관성을 나타내는 과학지도
서지결합 (Bibliometric)	논문A의 참고문헌과 논문B의 참고문헌 중 동일참고 문헌이 있을 경우 ⇒ 논문A와 논문B 간에 연관성이 있는 것으로 판단, 연결선을 그림	논문간 연관성을 나타내는 과학지도
공동저자 (Co-authorship)	연구기관(또는 연구자) A와 연구기관(또는 연구자) B가 임의의 논문의 공동저자인 경우 ⇒ 연구기관(또는 연구자) A와 연구기관(또는 연구자) B 간에 연관성이 있는 것으로 판단, 연결선을 그림	연구기관(또는 연구자) 간 연관성을 나타내는 과학지도
키워드동시출현 (Co-occurrence)	핵심키워드A와 핵심키워드B가 논문에 동시에 나타나는 경우 ⇒ 핵심키워드A와 핵심키워드B 간에 연관성이 있는 것으로 판단, 연결선을 그림	핵심기술키워드 간 연관성을 나타내는 과학지도

2. 정부R&D 동적 투자포트폴리오 설정

유망한 미래기술에 대한 정부R&D 전략 수립 시 일반적으로는 미래기술에 대한 R&D 현황과 기술적 특성의 변화를 고려하지 않고 단일한 전략이 수립되는 경우가 많으며 따라서 기술의 특성이 바뀌는 시점을 고려하여 정부R&D 전략도 동적으로 수립될 필요가 있음을 앞서 서술하였다. 과학기술부가 2002년 발표하였던 국가기술지도(<그림 1> 참고)에는 핵심기술별로 연구개발전략을 제시한 바 있는데, 국내 성숙 기술, 국내 개발 기술, 국내 미비 기술 등으로 구분하고 각 기술별로 기술의 중요도와 함께 기초연구, 실용화연구, 국제공동연구, 기술도입 등 4가지로 구분된 연구개발전략을 제시하였다. 과학기

술부와 한국과학기술기획평가원이 함께 수행하였던 제3회 과학기술예측조사(2005~2030)(<그림 2> 참고)에서는 미래기술을 총 761개 발굴하여 제시하였는데, 대규모 전문가집단 대상 델파이조사를 실시하여 미래기술별로 실현시기뿐만 아니라 기술개발을 위한 연구개발주체와 연구비투자주체를 조사하였다. 연구개발주체는 산, 학, 연, 산·학·연 공동, 국제공동 등 5가지로 구분되었고, 연구비투자주체는 민간, 정부, 공동 등 3가지로 구분되었다. 2008년 신정부의 과학기술기본계획과 함께 발표된 국가연구개발사업 중장기 발전전략(<그림 3> 참고)에서는 90개의 국가육성기술을 제시하였는데, 각 기술에 대한 기초원천·산업응용·개발연구로 구분된 기술특성, 정부·민간으로 구분된 R&D주체, 자체개발·국제협력으로 구분된 기술확보방안, 산·학·연간 역할분담 등을 제시하고 이에 대한 추진전략을 설명하였다.



<그림 1> 이동통신분야 국가기술지도(과학기술부 등, 2002)

I	과제명	설문 구분	응답수 현황	전문도(%)			중요도	실현시기						세계 중위수				
				대	중	소		국내(년)										
								2005	2010	2015	2020	2025	2030					
7	곤충이나 새처럼 나는 소형 비행체가 개발된다.	1	96	40.4	41.5	18.1	61.5											2013
		2	61	42.6	39.3	18.0	64.7											2012
		전	26				72.8											2012

(과학기술부 · 한국과학기술기획평가원, 2005)

<그림 2> 제3회 과학기술예측조사 미래기술 예시

1. 차세대 네트워크 기반 기술 (중점육성기술)							
개요	○ 각종 통신망에 존재하는 다양한 정보들에 기반하여 실생활에 직결된 창조적 통신 서비스 제공이 가능한 기술로 가입자당 수Gbps급 유선고속능력, 수십Mbps급의 무선 접속 능력이 제공되는 광대역 통합망 구축, 고도화된 제반기술 확보를 통한 고품질 네트워크 구현 관련 기술						
기술특성분석	경제·산업적 파급효과	기술적 파급효과	경쟁우위 확보성	정부지원 타당성			
	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★			
	기술특성		R&D 주체		기술확보방안	역할분담	
				국제협력(자체개발)	산·학·연		
추진전략	<ul style="list-style-type: none"> 통신사업자의 국제 R&D참여 확대 유도 연구소, 업체 등의 기술개발 과정에 통신사업자를 참여시켜 사업자의견을 반영하고, 사업자로 하여금 기술개발 투자를 유도할 수 있는 환경마련 필요 원천기술 risk 크고 다른 세부기술간 연계성이 중요하므로 기초·기반연구를 강화함과 동시에 관련 기술군을 선정, 전체적 수준 제고시키는 전략적 지원 필요 대기업 Value-chain 내 중소기업 경쟁력 계고 및 혁신을 위한 RFID/USN 정보시스템 비용 지원 등 확산 유도·에너지, 국방, 우편 등 주요 공공적 분야에 법·제도적 기반 마련을 통해 RFID/USN 조기확산노력 						

(교육과학기술부 · 한국과학기술기획평가원, 2008)

<그림 3> 국가연구개발사업 중장기발전전략 중점육성기술 예시

그러나 이와 같은 미래기술에 대한 정부R&D 전략은 미래기술의 개발시점까지 장기간이 소요되고 미래기술의 특성이 변화할 수 있다는 점을 간과하였다. 본 연구에서는 미래기술의 실현시점까지 적용할 정부R&D 투자포트폴리오를 수립함에 있어 현재 투자현황으로부터 출발하여 중간시점을 거쳐 실현시점까지 이어지도록 하는 동적 포트폴리오를 구성하고자 한다. 이는 대규모 전문가집단을 대상으로 하는 델파이조사로부터 마련될 수 있으며, 현재 투자현황을 시작점으로 하여 중간시점을 거쳐 실현시점까지 이어지는 투자포트폴리오를 구성하는데, 이때 투자포트폴리오 항목은, 기초연구, 응용연구, 개발연구 등 연구개발단계별 투자, 국공립연구소·출연연구소, 대학, 대기업, 중소기업 등 연구수행주체별 투자, 산·학·연, 산·학, 학·연, 산·연 등 산·학·연 협력유형별 투자, 국제협력 투자, 그리고 부처별 투자와 같은 주요 항목별로 구성이 가능하다. 이러한 동적 투자포트폴리오의 장점은 미래기술의 특성이 변화하는 것을 고려하여 보다 전략성이 강화될 수 있다는 것이며, 특히 연구수행주체별 투자포트폴리오나 부처별 투자포트폴리오와 같은 항목은 연구수행주체 간 R&D활동의 연계와 부처 간 연계에 관한 가이드라인을 제시하여 정부R&D의 효율성을 제고할 수 있다는 점에서 그 의미가 매우 크다.

IV. 과학기술 미래비전 구현을 위한 연구개발 전략의 수립

1. 과학지도 작성과 미래주도기술

1.1 과학지도 작성을 통한 미래주도기술 발굴

과학기술 미래비전은 30년 후 미래사회모습과 함께 25개 미래핵심기술분야를 제시하였는데, “신재생에너지 개발로 에너지원 안정적 확보 기여”, “IT·환경·에너지 등 첨단 기능소재 기술개발로 미래성장 주도”, “개인별로 맞추어 치료하고 기능을 복원해주는 신 개념 의약의 개발로 질병의 근본적 치료 가능”, “유비쿼터스 컴퓨팅 기술과 인프라 지속 투자로 유비쿼터스 지능공간 실현” 등 매우 광범위하고 기술적 구체적이 떨어지므로, 현재부터 2040년까지 R&D를 추진해야 할 세부기술목록을 도출할 필요성이 제기되었다. 이에 따라 25개 미래핵심기술분야별 과학지도 작성을 통해 급부상 유망기술을 탐색하였고, 도출된 세부기술 중 전문가회의를 통해 미래비전 구현에 주도적 역할을 할 것으로

판단되는 유망기술을 선정한 뒤 “미래주도기술”로 명명하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 과학지도를 작성하는 방법은 여러 가지가 존재하나, 본 연구에서는 SCOPUS 논문인용DB로부터 기술키워드 연관성을 계산하여 기술키워드 네트워크를 시각화하는 것으로 정의한다. 과학지도를 작성하는 방법은 구체적으로 다음과 같다. 첫째, 최근 5년간 고피인용논문데이터를 확보한다. SCOPUS 논문인용DB의 2005년부터 2009년까지의 5년간 출판된 논문 중 연도별 주제분야별 피인용도 상위 1%에 해당하는 논문서지데이터를 추출한다. 매년 너무나 많은 수의 논문이 발표되고 있는데⁶⁾ 이중 양질의 논문만을 고려하기 위하여 피인용도 기준 상위 1%만을 분석대상으로 정하였다. 이는, 미래기술은 새롭게 출현하는 기술이기도 하지만, 톱슨사에서 리서치프론트를 분석할 때와 마찬가지로, 많은 전문가들이 관심을 가지고 연구를 진행하고 있는 기술이어야 하기 때문이다. 피인용수는 분야에 따라 편차가 나타나고, 발표된 지 오래된 논문일수록 피인용수가 높아지는 연도별 불균형이 나타난다. 이러한 편차 및 불균형을 제거하기 위하여 본 연구에서는 SCOPUS에서 제공하는 334개의 논문주제분류별로, 그리고 동일 주제분류내에서도 연도별로 각각 피인용도 상위 1%의 논문을 추출하였다. 이처럼 주제분류별, 연도별 별도 논문 추출방식은 표준화된 피인용도⁷⁾를 사용하는 것과 같은 효과가 있다. 표준화된 피인용도 기준으로 추출된 상위 1% 논문과 주제분류별로 피인용도 기준으로 별도 추출된 상위 1% 논문은 하나의 주제분류 내에서는 동일하기 때문이다. 마찬가지로 연도별 별도 추출을 통해 연도별 논문 수에 비례하여 상위 1% 논문집합을 구성하였다. 이러한 방법으로 특정 분야나 특정 연도에 치우침 없이 상위 1% 논문집합을 구성할 수 있다. 둘째, 논문데이터를 재그룹화한다. 334개의 SCOPUS 논문주제분류를 25개 미래핵심기술분야별⁸⁾로 재매칭하여 재그룹화한다. 셋째, 미래핵심기술분야별로 재그룹화된 논문집합에 대하여 기술키워드 목록을 도출하고 키워드 정제작업을 한다. 기술키워드란, 논문마다 저자가 제시하는 3~5개가량의 핵심키워드를 의미한다. 이러한 핵심키워드를 정리하여 목록을 작성한다. 기술키워드 정제작업은, 동일한 의미의 키워드

6) SCOPUS DB 기준, 매년 30~40만 건의 논문 등록.

7) 일반적으로 널리 사용되는 표준화된 피인용도는 개별 피인용도를 분야별 평균 피인용도로 나눈 값임(Moed, et al., 1995). 본 연구에서는 주제분야별로 각각 피인용도 상위 1%를 추출하였기 때문에 굳이 표준화된 피인용도의 사용이 필요치 않음.

8) 25개 미래핵심기술분야 중 “재난재해 및 테러대응기술개발로 안전한 사회 시스템 유지”는 재난재해관련분야와 테러대응기술분야가, “새로운 운송수단 개발로 인류의 생활권 확장”은 도로교통분야와 항공분야 등 하나의 과학지도로 표현하기에는 이질적인 두 분야가 묶여있어, 두 개의 과학지도를 작성하였다. 따라서 25개 미래핵심기술분야에 대한 과학지도는 총 27개가 산출되었다.

를 통합하고, 불명확한 키워드나 너무 광범위하여 기술키워드로 볼 수 없는 키워드를 삭제하는 등 과학지도에 유의미하게 사용될 키워드목록으로 정리하는 작업을 의미하며, 일반적으로 2~3차례에 걸쳐 실시된다. 넷째, 기술키워드 간 연관성 행렬을 추출하여 과학지도를 작성한다. 임의의 두 기술키워드가 동일한 논문에 동시에 등장할 경우, 두 기술키워드간 연관성이 있는 것으로 판단하여 연결선(링크)을 그린다. 임의의 두 기술키워드가 N개의 논문에서 동시에 등장할 경우, 두 기술키워드 간 연관성의 가중치를 N으로 정의한다. 이와 같이 계산하여 기술키워드 간 연관성 행렬을 만들고, 연관성 행렬을 바탕으로 과학지도를 작성한다. 이때 모든 연결선이 표현된 전체 네트워크는 매우 복잡하여 해석이 불가능하므로, 기술키워드를 그룹핑하거나 네트워크 연결선을 일부 삭제하는 방법을 적용한다. 본 연구에서는, 비효율적 연결선을 제거하는 방식의 패스파인더 네트워크(Pathfinder Network) 알고리즘을 적용하여 과학지도를 완성하였다. 패스파인더 네트워크는 모든 연결선을 생성한 후 삼각부등식(triangle inequality)을 위반하는 경로를 제거하여 생성되는 네트워크이다(Schvaneveldt, 1990; Quirin, 2008; 이재운, 2006). 삼각부등식을 위반한다는 것은, 직접 연결되는 경로가 여러 개의 링크를 통해 간접적으로 연결되는 경로보다 더 길다는 것을 의미한다.⁹⁾ 즉 직접 연결되는 경로가 비효율적인 연결선이라는 의미이다. 패스파인더 네트워크 알고리즘은 이러한 비효율적인 연결선을 제거하고 전체 네트워크를 시각적으로 해석가능한 나무(Tree) 구조의 네트워크로 표현해준다. 나무 구조 네트워크의 장점은 나무에서 뺏어나간 가지별로 유사 노드가 그룹핑되어 해석이 용이하다는 점이다. 이러한 패스파인더 네트워크는 네트워크의 전체적인 구조를 표현하는 능력이 뛰어나면서도 개별 개체의 역할이나 세부 구조를 비교적 잘 나타내주는 장점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 도출한 과학지도는 전체 네트워크에서 패스파인더 네트워크 알고리즘을 적용하여 완성된 것으로, 패스파인더 네트워크 작성단계에서 전문가의 해석이 이루어졌다.

과학지도 작성과 기술키워드 정제 작업은 유의미한 급부상 유망기술도출로 해석이 가능할 때까지 수차례에 걸쳐 수정·보완되는 과정을 거친다. 마지막으로 기술키워드 네트워크로 표현된 과학지도를 전문가 위원회에서 해석하여 급부상 유망기술을 발굴하고 이를 바탕으로 149개 미래주도기술을 확정하였다. 이때 과학지도에서 나타나지 않는 미래기술을 놓치지 않기 위하여 전문가 패널방식을 병행하였고 이를 통해 미래 사회경제적 수요를 만족시킬 새롭게 등장할 기술을 추가하여 미래주도기술을 도출하는 노력을 기울였다.

9) 자세한 수식은 Schvaneveldt(1990), Quirin(2008), 이재운(2006) 등을 참고.



<그림 4> 과학지도 작성 업무흐름도

1.2 미래주도기술의 크기 및 발전속도 측정

한편 미래주도기술의 특성을 파악하기 위하여, 기술키워드 네트워크의 크기 및 발전속도를 측정하였다. 과학지도로부터 도출된 미래주도기술에 대하여 과학지도에 나타나는 기술키워드 네트워크에서 핵심기술키워드를 선별한다. 핵심기술키워드가 포함된 논문DB를 추출하여 2005년부터 2009년까지 연도별 기술키워드 네트워크를 다시 작성한다. 5년간의 연도별 기술키워드 네트워크에 대하여 5년간 평균크기와 네트워크의 평균 발전속도를 계산하였다. 이때 전세계와 한국의 비교를 위하여, 전세계논문집합과 한국저자 논문집합을 별도로 추출하고 5년간 평균크기와 증가속도를 각각 계산하였다. 핵심기술키워드 네트워크의 5년간 평균크기와 네트워크의 발전속도로부터, 해당 기술키워드가 나타내는 기술의 크기와 발전속도를 간접적으로 해석할 수 있는데, 전세계논문집합에 대한 크기 및 발전속도를 Y축, 한국저자 논문집합에 대한 크기 및 발전속도를 X축으로 하는

2차원 그래프를 그릴 때, 우상단의 기술들은, 전세계적으로나 한국에서나 모두 기술크기가 크고 발전속도도 비교적 빠른 기술분야로 해석할 수 있고, 좌하단의 기술들은 전세계적으로나 한국에서나 모두 기술크기가 작고 발전속도도 비교적 느리거나 정체되어 있거나 또는 감소하는 기술분야로 해석할 수 있다. 좌상단의 기술들은 전세계적으로는 기술크기가 크고 발전속도도 빠른 편이나 한국에서는 기술크기가 비교적 작고 발전속도는 정체 또는 감소상태로 볼 수 있다. 이와 반대로 우하단의 기술들은 전세계적으로는 기술크기가 비교적 작고 발전속도도 비교적 정체 또는 감소하고 있으나 한국에서는 기술크기가 비교적 크고 발전속도도 빠른 편으로 볼 수 있다. 이때 기술크기 및 발전속도의 해석 시 유의할 점은, 전세계적 기술크기와 발전속도를 한국의 기술크기와 발전속도로 직접 비교해서는 안 된다는 점이다. 여러 기술분야에 대하여 전세계적 현황을 보고 기술간 상대적인 좌표를 파악해야 하고, 한국의 현황을 보고 기술 간 상대적인 좌표를 파악해야만 한다.

<표 2> 기술키워드 네트워크의 크기 및 발전속도에 대한 해석

Y 축 (전 세계 논 문 기 준)	세계: (크기) 비교적 큼(발전속도) 비교적 빠름 한국: (크기) 비교적 작음(발전속도) 비교적 정체 또는 감소	세계, 한국 (크기) 비교적 큼 (발전속도) 비교적 빠름
	세계, 한국 (크기) 비교적 작음 (발전속도) 비교적 정체 또는 감소	세계: (크기) 비교적 작음(발전속도) 비교적 정체 또는 감소 한국: (크기) 비교적 큼(발전속도) 비교적 빠름

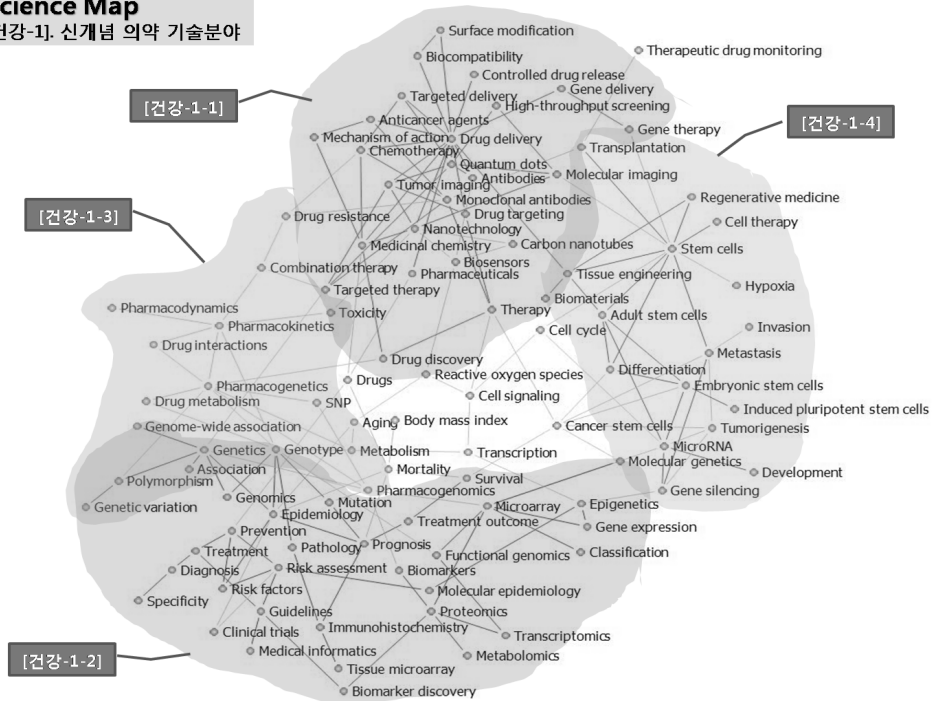
X축 (한국저자 논문기준 기술키워드 네트워크의 크기/발전속도)

1.3 결과

과학기술 미래비전에 대한 과학지도가 총 27개 작성되었고, 과학지도에 나타난 급부상기술을 토대로 전문가패널토론을 통해 총 149개의 미래주도기술이 도출되었다. 과학지도 예시를 살펴보면 다음과 같다.

Science Map

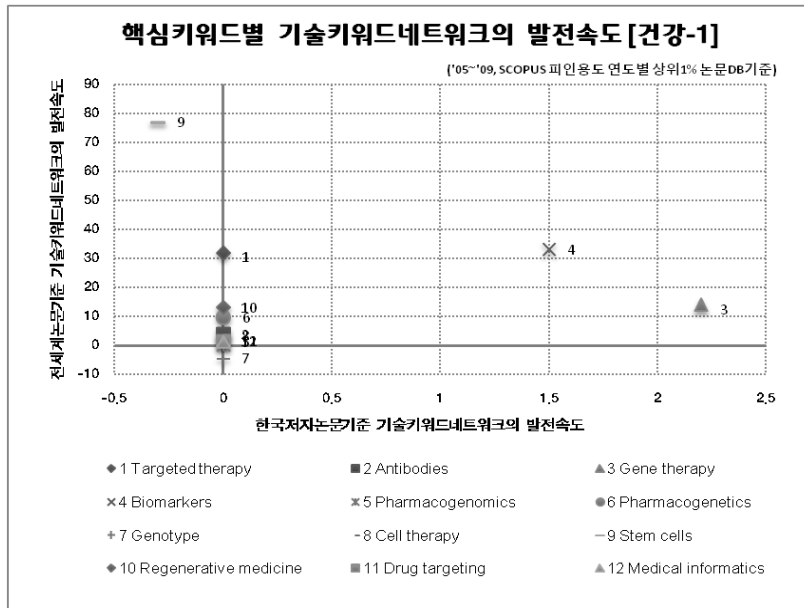
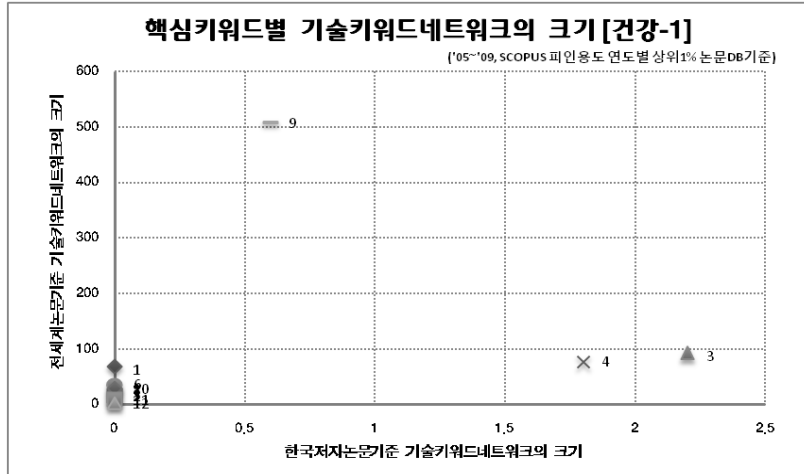
[건강-1]. 신개념 의약 기술분야



<그림 5> 신개념 의약기술분야 과학지도

<표 3> 신개념 의약기술분야 미래주도기술

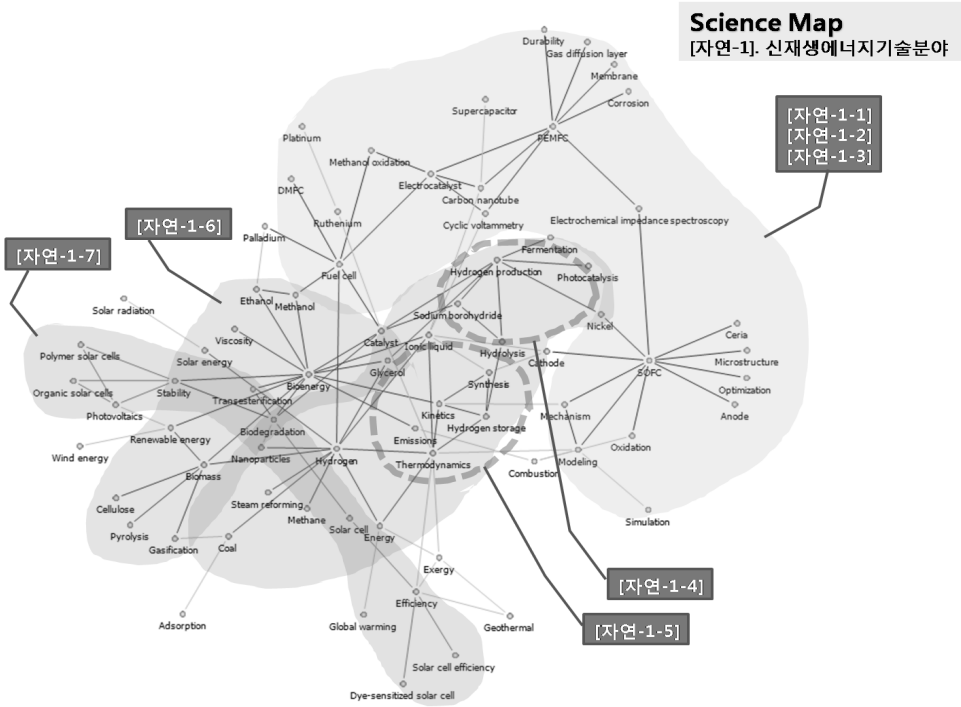
구분	미래주도기술명	과학지도 핵심키워드
[건강-1-1]	표적치료기술	Targeted therapy, Antibody, Drug targeting, Gene therapy
[건강-1-2]	바이오마커 개발 및 조기진단기술	Biomarkers, Medical informatics
[건강-1-3]	환자맞춤약물처방기술	Pharmacogenomics, Pharmacogenetics, Genotype
[건강-1-4]	세포치료 및 재생의학기술	Cell therapy, Stem cells, Regenerative medicine



<그림 6> 신개념 의약기술분야 핵심키워드별 기술크기 및 발전속도

<그림 5>는 신개념 의약기술분야 과학지도를 나타낸다. 기술키워드 연결관계를 분석한 결과 표적치료기술, 바이오마커 개발 및 조기진단기술 등 총 4개의 급부상기술을 발굴하였고, 전문가패널토론을 통해 4개의 급부상기술을 미래주도기술로 선정하였다. 신개념 의약기술분야 과학지도에 대한 전문가 검토결과, 4개의 급부상기술에 대한 키워드그룹의 영역이 쉽게 구별되고 기술내용을 비교적 명확히 도출할 수 있었다. 각 기술별 핵심키워드에 대한 기술크기와 발전속도는 <그림 6>과 같다. 전세계적으로 볼 때 기술크기가 크

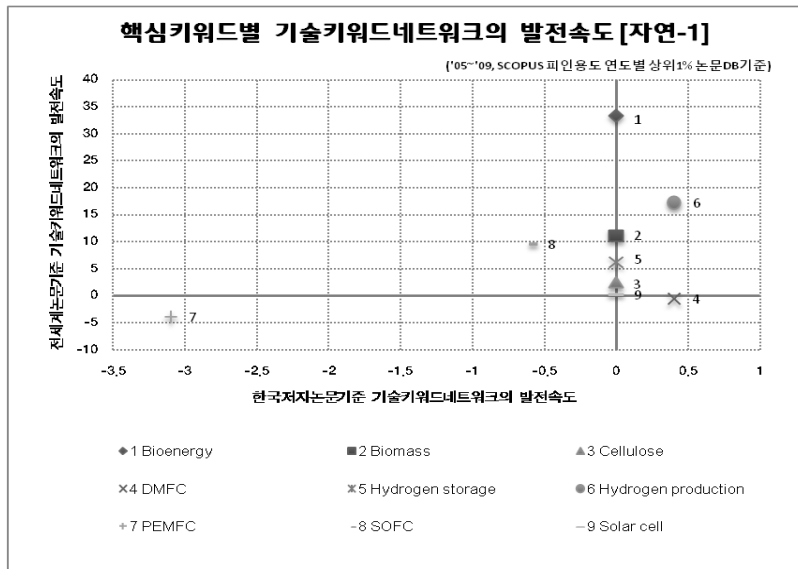
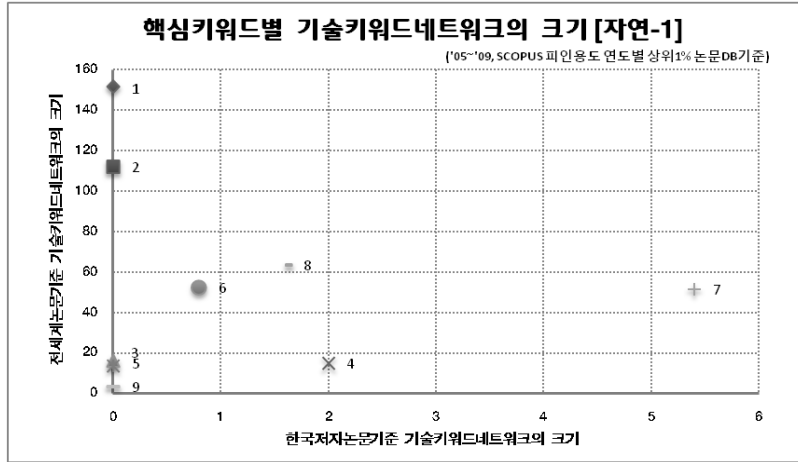
고 발전속도도 빠른 분야는 Stem cells이고, 한국에서는 Gene therapy와 Biomarkers가 비교적 기술크기가 크고 발전속도도 빠른 편이다.



<그림 7> 신재생에너지기술분야 과학지도

<표 4> 신재생에너지기술분야 미래주도기술

구분	미래주도기술명	과학지도 핵심키워드
[자연-1-1]	휴대용 연료전지 개발 기술	DMFC, PEMFC, SOFC
[자연-1-2]	수송용 연료전지 개발 기술	
[자연-1-3]	발전용 연료전지 개발 기술	
[자연-1-4]	수소제조 기술	Hydrogen production
[자연-1-5]	수소저장 기술	Hydrogen storage
[자연-1-6]	바이오에너지 기술	Bioenergy, Biomass, Cellulose
[자연-1-7]	태양광 발전기술	Solar cell
[자연-1-8]	태양열 발전기술	전문가 추천기술



<그림 8> 신재생에너지기술분야 핵심키워드별 기술크기 및 발전속도

<그림 7>는 신재생에너지분야 과학지도를 나타낸다. 전문가 검토결과, 기술키워드 연결관계를 분석하여 총 4개의 급부상기술영역(과학지도에 다른 색깔로 구분된 네 영역)을 확인하였다. 4개의 영역은 각각 연료전지 관련 기술분야, 수소제조 및 저장 관련 기술분야, 바이오에너지 기술, 태양광 발전기술 등이다. 이 중 수소제조 및 저장 관련 기술분야 영역은 해당 영역 내에서 다시 수소제조 기술분야와 수소저장 기술분야를 구분할 수 있어 큰 영역 내에 점선으로 별도 표시하였다. 연료전지 관련 기술분야는 과학지도에 커다란 영역으로 나타나지만 세부기술로 분류하기 적합하지 않았다. 전문가 패널토론에서

는 연료전지 개발 기술이 광범위하므로 사용목적에 따라 휴대용, 수송용, 발전용 연료전지 개발 기술 등 3개의 미래주도기술로 구분하여 제시하였다. 한편 과학지도에는 태양열 발전기술에 대한 영역을 확인하기 어려웠으나, 해당 기술의 중요성이 전문가 패널토론에서 인정되어 미래주도기술로 추가되었다. 이처럼 신재생에너지기술분야 과학지도로부터 탐색된 급부상기술을 토대로 전문가 패널토론을 통해 <표 4>와 같이 8개의 미래주도기술을 선정하였다. 각 기술별 핵심키워드에 대한 기술크기와 발전속도는 <그림 8>과 같다. Bioenergy와 Biomass 등은 전세계적으로 볼 때는 기술크기가 크지만, 한국에서는 잘 나타나지 않고 있다.¹⁰⁾ 한국에서는 PEMFC, DMFC 등 연료전지분야가 비교적 활발한 것으로 해석된다. 전세계적으로 볼 때 발전속도가 비교적 빠른 분야는 Bioenergy분야이다. 한국에서는 Hydrogen production 분야의 발전속도가 가장 빠르게 나타났다.

신재생에너지기술분야에서는 과학지도를 통한 급부상기술 탐색의 한계점이 두 가지 나타났다. 첫째, 기술분야 간 뒤얽힘 현상이 나타났다. 연료전지분야는 비교적 광범위하고 세부기술이 매우 다양한데 과학지도에서는 세부기술로 명확히 구분하기 어려웠다. 이러한 문제에 대한 원인은 다음의 두 가지 가능성으로 추측된다. 첫 번째 가능성은 과학지도가 나타내는 기술분야가 신재생에너지기술분야 전체를 대상으로 하기 때문으로 추측된다. 즉 거시적 지도를 작성하다보니 미시적 영역에 대한 매핑(mapping)의 정확도가 떨어지는 것이다. 두 번째 가능성은 연료전지분야의 특성이다. 만일 해당 기술분야의 특성 상 기술키워드가 세부기술분야별로 명확히 구분되지 않고 공통적으로 사용된다면 과학지도에서 세부기술이 구분되어 나타나기 어려울 것이다. 과학지도를 통한 급부상기술 탐색의 두 번째 한계점은 과학지도 상에 나타나지 않는 기술분야가 존재한다는 것이다. 이는 과학지도 작성에 사용된 논문자료의 한계 때문으로 이해된다. 효율적인 과학지도 작성을 위해 피인용도 기준 상위 1%, 최근 5년간 등 논문을 추출하여 분석에 사용하는데, 추출된 논문집합은 어느 정도 불완전성을 가지게 된다. 이와 같은 과학지도의 한계점에도 불구하고 과학지도는 3장에서 기술한 바와 같이 전문가 패널토론방식을 보완할 수 있는 지식구조화 방법론이다. 따라서 과학지도의 작성과정과 해석 시에 전문가의 참여와 검토를 통해 과학지도의 유용성을 높이고, 전문가 패널토론방식을 보완하기 위한 방법론으로서 과학지도가 활용되는 것이 적합하다.

10) 한국에서 해당 핵심키워드가 나타나지 않는 이유는 여러 가지로 추측할 수 있지만 가장 큰 이유는, 본 분석이 SCOPUS 논문인용DB에서 피인용도 상위 1%의 논문데이터집합을 대상으로 했다는 것이다. 따라서 해당 논문데이터집합에 한국저자의 논문이 많지 않아 과학지도에 나타나지 않았을 가능성이 매우 크다.

2. 미래주도기술에 대한 정부R&D 동적 투자포트폴리오

2.1 동적 투자포트폴리오 마련을 위한 델파이조사

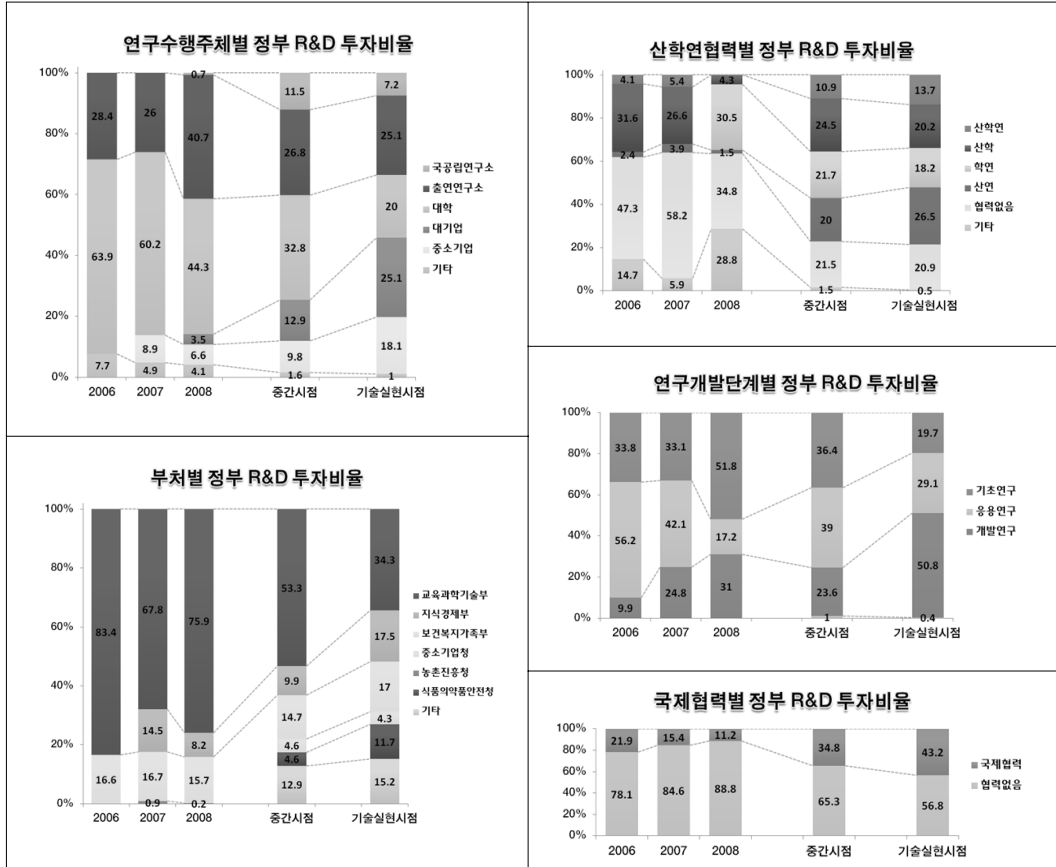
미래주도기술 목록이 확정된 후 대규모 전문가집단을 대상으로 하는 델파이조사를 실시하였다. 이때 과학지도, 기술크기 및 발전속도 등은 미래주도기술에 대한 근거자료로 제공되었다. 이와 함께 제공된 것은 최근 정부투자현황으로, 연구수행주체별, 부처별, 산·학·연 협력유형별, 연구개발단계별, 국제협력유형별 투자비율 등이다. 이를 토대로 미래주도기술의 개발을 위한 바람직한 정부R&D 투자포트폴리오를 조사하였다. 한편 미래주도기술의 실현시점이나 바람직한 정부투자유형, 바람직한 정부전략 방향성과 같은 항목들도 함께 조사되었다.

2.2 결과

<그림 9>는 표적치료기술분야의 정부R&D 동적 투자포트폴리오의 예시이다. 2006, 2007, 2008년도의 데이터는 정부연구개발사업에 대한 투자현황을 분석한 실제 데이터값으로 델파이조사 시 전문가들에게 과학지도와 함께 제공된 정보이다. 델파이조사 시 전문가들은 움직이는 막대그래프를 이용하여 기술개발의 중간시점과 기술실현시점 등 두 시점에 대한 포트폴리오를 조정하는 방식으로 의견을 제시하였고, 여러 전문가들의 응답을 수집하여 세부항목별 비율에 대한 평균값을 계산하였다. 델파이조사는 총 2회의 온라인 설문조사로 이루어졌고, 1차 조사의 결과값이 2차 조사 시에 제공되었다. 동적 투자포트폴리오의 결과¹¹⁾에 의하면, 현재 출연연구소와 대학에 집중되어있는 R&D투자가 향후 국공립연구소, 대기업, 중소기업 등으로 다각화되어야 함을 알 수 있다. 특히 기술실현시점에 대기업의 역할이 상당히 중요하게 평가되었음을 알 수 있다. 이는 표적치료기술의 시장선점과 상용화를 위한 것으로 해석된다. 이는 산·학·연 협력유형에서도 나타나는 데, 산·학·연 및 산·학 협력이 기술실현시점까지 점차 확대되어야 함을 알 수 있다. 부처별 포트폴리오 결과는, 현재 교육과학기술부와 보건복지가족부가 주로 R&D를 투자하고 있으나, 향후 식품의약품안전청의 역할이 반드시 필요하고, 이와 함께 지식경제부

11) 2006년부터 2008년까지의 수치는 실제로 정부가 투자한 R&D비용을 근거로 산출된 비율 데이터이다. 그러나 중간시점과 기술실현시점의 데이터는 전문가 대상 델파이조사로부터 산출된 비율이다. 따라서 델파이조사로부터 산출된 데이터는 수치적 의미보다는 투자비율의 증감 방향성에 의미를 두어야 할 것이다.

나 중소기업청의 역할도 중요하여 부처간 연계가 강화되어야 함을 알 수 있다. 연구개발 단계별 동적 포트폴리오에서 나타난 바도 부처별 포트폴리오의 해석결과와 유사하게 나타나는 바, 응용연구와 개발연구에 대한 향후 포트폴리오 변화를 주목할 필요가 있다.



<그림 9> 바람직한 정부R&D 동적 투자포트폴리오 예시(표적치료기술분야)

V. 결론 및 정책적 시사점

정부R&D 전략은 여러 가지의 형태로 표현될 수 있으나, 일반적으로는 미래유망기술의 목록을 도출하는 1단계, 도출된 미래유망기술에 대한 전략적 투자포트폴리오를 제시하는 2단계 등 두 단계로 구성된다. 즉 미래기술의 도출과 투자포트폴리오 설정이 핵심

적이며 두 가지가 전략적으로 제시되고 연계되어 실천될 때 비로소 정부R&D 전략의 효과성이 확보된다고 할 수 있다. 미래기술 발굴을 위한 과정이 급부상기술의 현황에 대한 충분한 분석없이 이루어지거나, 유망한 미래기술을 발굴하더라도 그에 대한 투자포트폴리오가 적절히 설정되지 못한다면 R&D 전략은 효과적으로 수립될 수 없다. 다시 말해, 미래유망기술 발굴과 투자포트폴리오 설정의 전략성 강화를 위한 시도가 동시에 이루어질 경우 R&D 전략의 효과성이 향상될 가능성이 높아진다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 과학기술 미래비전의 구현을 위한 미래주도기술을 도출하고 그에 대한 정부R&D 실천전략을 수립함에 있어 전략성을 강화하기 위한 두 가지 방안을 제안하였다. 첫 번째는 미래기술을 발굴함에 있어 전문가 패널토론의 한계를 보완하여 객관성과 타당성을 확보하기 위하여 과학지도를 작성하는 방법이다. 과학지도는 논문DB에 대한 통계적 분석을 통해 전문가 패널토론에서 미처 파악되지 못하는 기술동향이나 기술적 특성을 근거기반형 심층분석을 통해 정확히 파악하고 이를 바탕으로 급부상 유망기술을 도출하기 위함이다. 또한 미래기술간 연결관계를 통해 기술관 연관성을 이해할 수도 있다. 이러한 과학지도 작성과 전문가 토론을 거쳐 총 149개의 미래주도기술을 발굴하였다. 본 연구에서 작성한 과학지도는 급부상 유망기술을 탐색할 수 있다는 유용성과 함께 한계점도 나타내었다. 기술의 뒤엎힘 현상과 기술 누락 현상이 그것이다. 그러나 과학지도의 한계점에도 불구하고 과학지도는 전문가 패널토론방식을 보완할 수 있는 유용한 지식구조화 방법론이므로, 전문가 패널토론을 보완하기 위한 방법론으로서 과학지도를 활용하고 향후 과학지도 방법론을 보다 개선하기 위한 후속연구가 이루어지는 것이 바람직하다. 분석대상 논문집합의 불완전성을 보완할 수 있으면서 분석작업이 과도해지지 않는 논문추출 기준의 최적화 연구와 기술특성에 따른 과학지도의 형태 연구 등이 향후 수행된다면 과학지도 방법론이 보다 정교해질 것으로 기대된다. 한편 미래주도기술의 기술적 특성을 파악하기 위하여 기술크기 및 기술발전속도 측정을 위한 추가분석이 이루어졌는데, 이는 핵심기술키워드에 대한 기술네트워크의 5년간의 평균 크기와 평균 증가속도를 측정하는 것이다. 이로부터 미래주도기술에 대한 구체적 현황을 전세계적 및 한국적 특성을 비교·분석할 수 있었다.

두 번째는 미래주도기술에 대한 정부R&D의 동적 투자포트폴리오를 마련하는 것이다. 기존에는 일반적으로 미래기술에 대한 정부전략은 단일적으로 제시되었다. 그러나 미래기술이 장시간 연구되어야 하고, 중간에 기술의 특성이 변할 수 있다는 점이 고려되어야만 전략적 효용성이 확보될 수 있다. 이를 위하여 전문가 대상 델파이조사를 실시할 때 정부R&D 투자현황을 제공하고 이로부터 기술개발의 중간시점과 기술실현시점 등 두

가지 시점에 대한 투자포트폴리오 설정에 관한 전문가 의견을 수집하였다. 이러한 동적 투자포트폴리오의 장점은 미래기술의 특성이 변화하는 것을 고려하여 보다 전략성이 강화될 수 있다는 것이며, 특히 연구수행주체별 투자포트폴리오나 부처별 투자포트폴리오와 같은 항목은 연구수행주체 간 R&D활동의 연계와 부처 간 연계에 관한 가이드라인을 제시하여 정부R&D의 효율성을 제고할 수 있다.

본 연구에서 제시된 정부R&D 전략성 강화를 위한 두 가지 방법은 미래유망기술의 목록을 도출하는 1단계, 도출된 미래유망기술에 대한 전략적 투자포트폴리오를 제시하는 2단계에 적용되어 유기적으로 활용될 수 있으며, 특히 투자포트폴리오가 동적이며 구체적으로 제시됨에 따라 전략의 객관성과 실천가능성을 제고하였다는 점에서 의미가 있다. 이는 범부처적 전략으로 수립된 본 연구결과가 각 부처에서 반영할 수 있는 가능성이 확대됨을 의미하는 것으로 부처별 R&D 전략수립이나 R&D 사업 수행 시 참고자료로 활용되기를 기대하며 아울러 본 연구의 방법론이 새로운 후속연구를 통해 더 발전될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 교육과학기술부·한국과학기술기획평가원 (2010), “과학기술 미래비전 2040”.
- 교육과학기술부·한국과학기술기획평가원 (2007), “국가R&D사업 Total Roadmap 중장기 발전전략”.
- 교육과학기술부·한국과학기술기획평가원 (2008), “국가연구개발사업 중장기 발전전략”.
- 교육과학기술부·한국과학기술기획평가원 (2009, 2011), “기술수준평가 보고서”
- 국가과학기술위원회·한국과학기술기획평가원 (2009), “국가R&D 성과분석 및 시사점”.
- 국가과학기술위원회 (2011), “2012년 정부연구개발 투자방향”.
- 기획재정부 (2010), “정부R&D 예산편성결과”.
- 삼성경제연구소 (2009), “신성장동력 육성의 비결, 정부R&D”, Issue Paper.
- 서은경 (1992), “정보검색분야의 지적 구조와 변화에 관한 연구: 영어문화권 저자들을 중심으로”, 『정보관리학회지』, 제9권, 제1호 (통권 16호, 1992.6), pp. 55-82.
- 양혜영·김경화·정상기 (2009), “기술특성을 고려한 정부R&D 역할론 프레임워크에 관한 연구”, 『정책분석평가학회보』, 제19권, 제4호, pp. 257-281.
- 이재윤 (2006), “지적 구조의 규명을 위한 네트워크 형성 방식에 관한 연구”, 『한국문헌정보학회지』, 제40권, 제2호, pp. 333-355.
- 연합뉴스 2007. 10. 2일자 기사, “툼슨, 국제적인 R&D 공헌한 일본 과학자들 표창”.
- KISTI (2007), “미래기술 모니터링 및 분석”.
- KISTI (2008), “미래기술 탐색 및 분석연구”.
- 이우형·김윤명·박각로·이명호 (2006), “Co-ward Analysis을 통한 신기술 분야 도식화 방법에 관한 연구”, 『경영과학』, 제23권, 제3호.
- 이우형·정지범·이성휘 (2008), “지식맵을 활용한 IT R&D 유망영역 탐색: 가입자망 분야를 중심으로”, *Information System Review*, Vol. 10, No. 2.

2. 국외문헌

- Porter, A. (2005), Tech. Mining., *Compet. Int. Mag.*, 8(1), pp. 30-36.
- Porter, A. (2007), How “tech mining”, can enhance R&D management. *Res. Tech. Manage.*, 50(2).
- Quirin, A., Cordon, O, Guerrero Bote, V.P., Vargas-Quesada, B. (2008), Félix de Moya Anegón: A quick MST-based algorithm to obtain Pathfinder networks (INFINITY, $n-1$). *JASIST* 59(12), pp. 1912-1924.

- MIT 10 Emerging Technologies, <http://www.technologyreview.com/tr10/>
- Kajikawa, Y. and Takeda, Y. (2008), "Structure of research on biomass and biofuels: A citation-based approach", *Technological Forecasting & Social Change*, 75(9), pp. 1349-1359.
- Small, H. and Garfield, E. (1985), "The geography of science: disciplinary and national mappings", *Journal of Information Science*, 11, pp. 147-159.
- Garfield, E. (1994), "Scientography: mapping the tracks of science", *Current Contents: Social & Behavioral Sciences*, 7, pp. 5-10.
- Small, E. (1999), "Visualizing science by citation mapping", *Journal of the American Society for Information Science*, 50(9), pp. 799-813.
- Boyack, K. W., Klavans, R., and Börner, K.(2005), "Mapping the backbone of science", *Scientometrics*, 64(3), pp. 351-374.
- Moya-Anegón, F. et al. (2004), "A new technique for building maps of large scientific domains based on the cocitation of classes and categories", *Scientometrics*, 61(1), pp. 129-145.
- Thomson Scientific, <http://sciencewatch.com/about/met/rf-methodology/>,
<http://www.sciencewatch.com/dr/erf/>,
http://thomsonreuters.com/products_services/science/free/essays/research_fronts/.
- Small, H. (1973), "Co-citation in the scientific literature: a new measure of the relationship between two documents", *J. Amer. Soc. Inform. Sci.* 24, pp. 265-9.
- NISTEP (2004, 2006), "Science Map".
- Moed, H. F., Debruin, R. E., & Vanleeuwen, T. N. (1995), "New Bibliometric Tools for the Assessment of National Research Performance - Database Description, Overview of Indicators and First Applications", *Scientometrics*, 33(3), pp. 381-422.
- Schvaneveldt, R. W. (1990), *Pathfinder Associative Networks: Studies in Knowledge Organization*, Norwood, NJ: Ablex.

□ 투고일: 2011. 06. 28 / 수정일: 2011. 11. 22 / 게재확정일: 2011. 12. 12