

선도적 R&D 기획을 위한 기술로드맵 및 미래 유망기술 탐색 동향

Trends in Technology Roadmap and Exploration of Emerging Technologies for Leading R&D Planning

최윤호 (Y.H. Choi, wing0123@etri.re.kr) 전략기술기획실 선임연구원
김기덕 (K.D. Kim, paul.kdkim@etri.re.kr) 전략기술기획실 선임기술원
정형석 (H.S. Chung, chunghs@etri.re.kr) 전략기술기획실 책임연구원/실장

ABSTRACT

As the scale of research and development (R&D) increases, countries and companies are consistently establishing R&D directions to meet strategic goals and market demands as well as roadmaps to increase efficiency through concentration and selection. However, establishing an effective roadmap and discovering promising technologies are challenging under the current numerous technological possibilities and uncertainties. The importance of discovering promising technologies to secure future technological competitiveness is recognized worldwide, and Europe, the United States, and Japan are establishing processes to identify promising future technologies and support related R&D. Methods for discovering promising future technologies can be classified into future social needs analysis, forecasting, surveys, use of expert opinions, and data analysis. We describe the types and limitations of technology roadmaps and investigate the status of domestic and foreign organizations using weak signal search through quantitative data analysis.

KEYWORDS weak signal, 기술로드맵(TRM), 미래 유망기술

1. 서론

국가 및 기업에서는 R&D의 규모가 증대됨에 따라 전략 목표와 시장요구에 부합하도록 연구개발 방향을 계획하고, 선택과 집중을 통해 효율성을 높이고자 로드맵을 수립하고 있다. 그러나 빠른 기술

적 변화와 미래에 대한 불확실성이 존재하는 상황에서 실효성 있는 로드맵 수립과 유망기술의 발굴은 매우 어렵다.

미래 기술 경쟁력을 확보하기 위해 유망기술 발굴의 중요성은 전 세계적으로 인식되고 있으며, 유럽, 미국(DARPA), 일본(NEDO) 등에서는 미래 유망

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390209>

* 이 논문은 한국전자통신연구원 내부연구사업 기획·정책연구사업[미래 선도를 위한 혁신 ICT 기술 발굴 및 기획 연구, 23YE1100]의 논문임.



기술 발굴 및 연구를 지원하는 프로세스를 정립하고 있다. 미래 유망기술을 발굴하는 방법은 미래 사회 니즈(Needs) 분석, 미래 예측, 설문조사, 전문가 의견(Delphi), 데이터 분석 등으로 분류할 수 있다 [1].

이 동향분석에서는 기술로드맵의 종류와 한계를 알아보고, 이러한 한계 극복을 위해 정량적 데이터 분석에 의한 weak signal 탐색을 활용한 국내외 기관의 현황을 소개한다.

II. 기술로드맵

기술로드맵(TRM: Technology Roadmap)은 언제 어떠한 기술을 개발해야 할지를 선택할 수 있도록 도와주는 도구이다. 즉, 기술 요소들 간의 시간적/구조적 관계를 시각적으로 표현한 것이다. 특히 미래의 불확실성에 대한 기술 전략으로서 핵심기술을 확보하고 조직의 목표와 전략을 공유할 수 있는 방법론 중 하나이다. 일반적으로 5~10년 또는 그 이상 중장기적 기간에 필요한 기술들을 명확히 규정하며, 목표 달성에 필요한 일련의 기술과 보유한 기술 및 핵심역량 등을 명시한다[2].

1. 기술로드맵 종류

기술 전략과 기술 전환을 시간이라는 차원과 함께 계층적 구조로 통합하는 기술로드맵의 종류는 다음과 같다.

① Product planning(제품 계획)(그림 1)

가장 일반적 유형의 로드맵으로 제품 개발에 필요한 기술 계획을 연결한 형태이다.

② Service/capability planning(서비스/역량 계획)(그림 2)

서비스 기반 사업에 주로 사용하는 로드맵으로

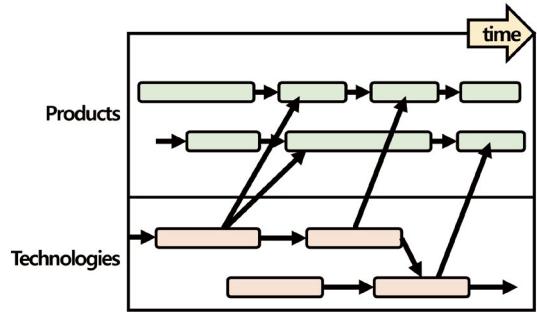


그림 1 Product planning TRM 예시

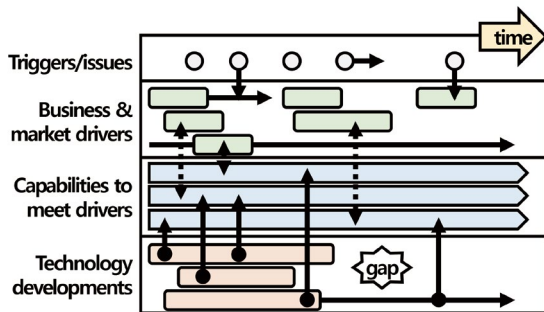


그림 2 Service/capability TRM 예시

제품보다 기술과 서비스, 시장 사이의 가교 역할을 표현한다.

③ Strategic planning(전략 계획)(그림 3)

미래 비전과 현재 위치를 비교하여 격차(Gap)를 도출하기 위해 주로 사용한다. 이 격차를 해소하기 위해 전략적 옵션 개발, 미래 비전의 구체화 등 전략적 선택을 담는다.

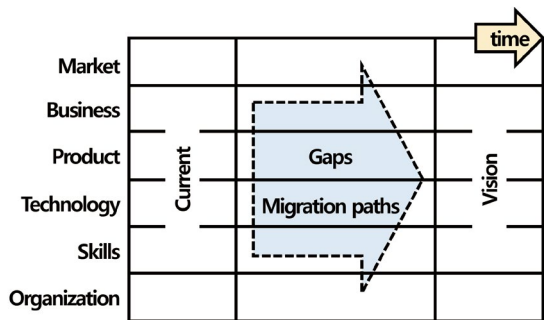


그림 3 Strategic planning TRM 예시

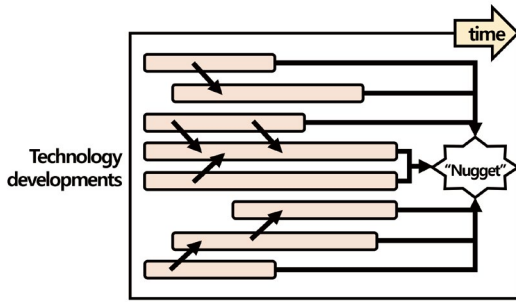


그림 4 Long-range planning TRM 예시

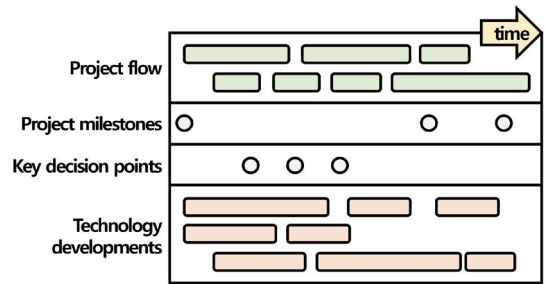


그림 6 Program planning TRM 예시

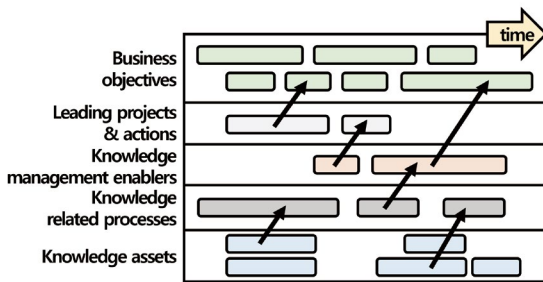


그림 5 Knowledge asset planning TRM 예시

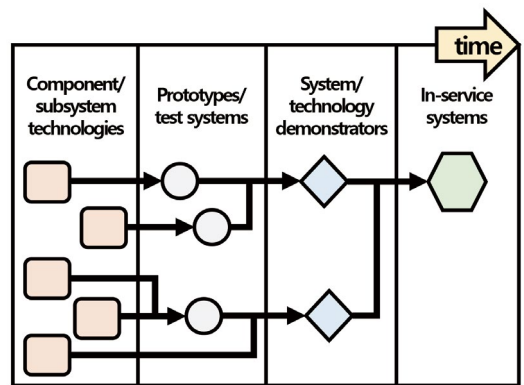


그림 7 Integration planning TRM 예시

④ Long-range planning(장기 계획)(그림 4)

장기 계획의 지원을 위해 잠재된 기술과 시장을 식별할 때 사용하는데, 각각의 기술 발전이 집약된 최종성과(Nugget)로 수렴하는 것이 특징이다.

⑤ Knowledge asset planning(지식재산 계획)(그림 5)

지식재산 관리를 목표에 맞게 조정하기 위해 사용한다. 미래 시장 수요 충족에 필요한 스킬, 기술, 역량 연관성 등을 시각화하는 데 초점을 두고 있다.

⑥ Program planning(프로그램 계획)(그림 6)

전략의 실행에 중점을 두며, 프로젝트 계획과 직접적으로 관련되어 있다. 기술개발과 프로그램(프로젝트) 단계, 마일스톤 간의 관계를 시각화하는 데 적합하다.

⑦ Integration planning(통합 계획)(그림 7)

제품 또는 시스템 내에서 서로 다른 기술의 결합을 지원하기 위한 것이다. 기술의 통합이나 목표로

나아가는 단계를 중심으로 표현하는데, 기술이 테스트 및 시연 시스템에 어떻게 적용되는지를 보여주는 기술 흐름을 담는다.

2. 기술로드맵 한계

대부분의 기술로드맵은 기술 이외의 외부 환경에 의한 영향이나 미래에 대한 불확실성을 반영하고 있지 않다. 이에, 다른 요인에 의해 목적 달성이 어려운 경우가 배제되거나 연속적인 기술 흐름이 이루어지지 않는다.

기술로드맵의 한계 및 단점은 다음과 같다.

- 과학 기술 전반의 Map 작성의 어려움 → 현재 필요 기술 분야만으로 국한되지 않아야 함
- 과거에 대한 추적 분석의 미흡 → 이전의 기술

- 발전과 현재 기술의 이해관계가 반영되어야 함
- 유연한 시나리오 작성의 어려움 → 환경변화에 적응할 수 있도록 주기적인 업데이트가 되어야 함
- 기술 node와 link에 대한 채택기준 모호 → 핵심 기술과 연계도의 채택/배제에 대한 명확한 기준이 제시되어야 함
- 구체적인 실행절차의 부재 → 조직의 기술로드맵 간의 연계 관계를 분야별 또는 기능별로 파악할 수 있어야 함

III. 해외 기관의 weak signal 탐색

1. 유럽연합(EU) JRC

과학과 정책 사이의 인터페이스 역할을 하는 유럽연합 JRC(Joint Research Centre)에서는 EU 과학기술정책 입안자에게 잠재적 기술에 대한 조기 인지, 파괴적 기술에 대응하기 위한 안정적 정책 입안, 산

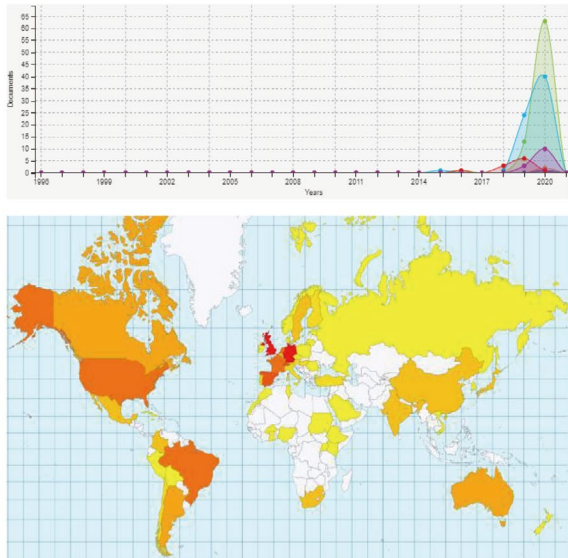
업 주체들에게는 기업환경 변화에 대한 준비 등을 위한 정보를 제공하기 위해 텍스트 마이닝 및 클러스터링 알고리즘을 사용하여 weak signal을 탐지·추출하였다.

① 데이터 세트 구축

지난 5년(2016~2020)의 SCOPUS 데이터베이스에서 문헌의 제목, 초록 또는 저자 키워드에서 단일 단어, 다중 단어 용어 등을 추출하였다. 추출한 단어에 대해 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) 방법을 사용하여 가장 관련성이 높은 키워드를 선택하고 기본 의미가 유사한 단어를 그룹화하였다. 그 결과 400만 개 이상의 관련 개념으로 사전을 구성하였고, 각 개념은 동일한 수의 데이터 세트를 구축하는 자동화 프로세스에 적용하였다.

② Weak signal 감지

텍스트 마이닝 프로세스에서 얻은 데이터 세트를 정렬하는데 ‘활성도(Activeness)’라는 맞춤형 지표를



Universitat de Barcelona	Y	7.0
University of Ljubljana	Y	3.0
Center for Disease Analysis	Y	3.0
Utrecht University	Y	2.0
Université Catholique de Louvain	Y	2.0
University School of Medicine	Y	2.0
University of New South Wales (UNSW)	Y	2.0
University Medical Centre Ljubljana	Y	2.0
University Hospitals	Y	2.0
McGill University	Y	2.0
Imperial College	Y	2.0
Humanitas Hospital	Y	2.0
Hospital Universitario Virgen del Rocío	Y	2.0
Hospital Universitario San Cecilio	Y	2.0
Hospital Universitario Marqués de Valdecilla	Y	2.0
Hospital Universitario Fundación Alcorcón	Y	2.0
Hospital Universitario	Y	2.0
Diakonesson Hospital	Y	2.0
CNRS	Y	2.0



출처 Reproduced from [3], CC BY 4.0.

그림 8 EU JRC weak signal 도출 결과 시각화(Visualization)

사용하였다. 이 지표는 특정 기간 동안 검색된 문서 수와 1996~2020년 기간 동안 검색된 총 문서 수 간의 비율로 정의된다. 예를 들어 2018~2020년 *activeness*는 (2018~2020년 출판된 문서 수) / (1996~2020년 출판된 문서 수)의 비율에 해당한다. 높은 활성 점수는 선택한 기간 동안 더 높은 비율의 문서가 게시되었음을 의미한다.

③ Weak signal 도출

의미 있는 *weak signal*을 감지하기 위해서 다양한 필터를 사용하였다. 먼저, 최소 문서 수에 도달하지 않는 데이터 세트를 제외하기 위해 간단한 필터를 적용하였다. 그런 다음 의미적으로 유사하지 않은 문서에 포함된 *weak signal*을 제외하는 보다 정교한 필터를 사용하였다. 예를 들어 문서 사이의 유일한 공통 용어가 해당 회의의 이름인 회의 관련 문서와 같이, 서로 다른 개념 영역에 관련되지만 하나 또는 두 개의 의미적 개념이 공통인 *weak signal*은 고려하지 않았다. 마지막으로 맞춤형 지표를 사용하여 *weak signal* 목록을 세분화한 결과, 75개의 *weak signal*을 추출하였다(그림 8 참고)[3].

2. 캐나다 Policy Horizons

캐나다 고용사회개발부(ESDC: Employment and Social Development Canada) 산하 Policy Horizons 센터는 미래지향적 사고방식과 전망으로 학계, 대중 및 국제적 관심을 끌 수 있는 콘텐츠를 제작하고 있다.

Policy Horizons에서는 증거 기반 예측과 의사 결정 과정을 만들기 위해 *weak signal* 분석을 활용하고 있는데, *weak signal*을 '파괴적 변화가 있을 수 있다는 신호'로 정의하고, 분석된 신호를 바탕으로 전문가의 분석을 추가하여 통찰력을 확보하고 있다[4].

Policy Horizons에서 *weak signal*의 유용성 판단기준은 다음과 같다.

- *Weak signal*이 실현될 때 혁신적 변화가 일어날 가능성이 있는가?
- 들어보지 못했거나, 고려 대상이 된 적이 없는 신호인가?
- *Weak signal*을 통해 기존 시스템을 변경할 방법이 있는가?
- *Weak signal*의 변화가 연구 기간 내 영향을 미칠 수 있는가?

3. 핀란드 SITRA

핀란드의 지속 가능한 발전을 위한 미래 전략을 수립하는 싱크탱크인 국립연구개발기금(SITRA)은 1967년 창립된 핀란드 혁신기금으로, 독립적 공공 재단으로서 핀란드 의회의 감독 아래 운영되고 있다. SITRA는 생태적 지속 가능성 위기에 대한 해결책 찾기, 공정한 데이터 경제 촉진, 민주주의 및 참여 강화라는 세 가지 주제에 중점을 두고 있다.

SITRA 역시 미래 지식, 미래 지향적 사고, 변화를 위한 역량 및 협력을 증가시키기 위해 *weak signal* 탐색을 활용하고 있다. SITRA에서는 미래에 대한 세 가지 접근방법을 제시하고 있다. 첫 번째는 현시대를 파악하고 다가올 변화에 대비하는 미래에 대한 준비, 두 번째는 원하는 미래와 이를 구성하는 방법인 미래 계획, 세 번째는 미래의 선택을 확장하고 미래에 대한 가정에 도전하는 것으로 생각하지 못한 미래를 대비하는 것이다. 여기에서 *weak signal*을 미래에 중요해질 수 있는 변화의 지표로 인식·해석하고 있다.

SITRA가 생각하는 *weak signal*의 특성은 다음과 같다.

- Novelty(참신함): 알려진 주제에 대한 새로운 관점
- Surprising(놀라움)
- Challenging(도전): 기존 가정에 대한 도전

- Significance(중요성): 미래에 대한 영향
- Delay(지연): 아직 중요하지 않지만 성숙하는 데 시간이 필요함

2018년부터 다양한 유형의 신호를 방대한 규모로 수집하기 위해 미디어 모니터링, 워크숍, 블로그 및 트위터 계정 등을 활용하였다. 수집된 데이터를 PESTEC 분류(정치, 경제, 사회, 기술, 환경 및 문화적 신호)와 VERGE 분류(정의, 관계, 상호작용, 생산 및 소비와 관련된 신호)로 데이터베이스(DB)화하였다[5].

V. 국내 미래 유망기술 도출

1. 한국과학기술기획평가원(KISTEP)

한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서는 「과학기술기본법」 제13조에 근거하여, 5년마다 과학기술 예측조사를 실시하고 있다.

KISTEP은 제6회 과학기술예측조사에서 데이터

표 1 KISTEP 과학기술예측조사 추진 경과

	발표	추진방법	미래 기술	예측 시기
제1회	1994년	브레인스토밍, 델파이	1,174개	20년 (1995~2015)
제2회	1999년	브레인스토밍, 델파이	1,155개	25년 (2000~2025)
제3회	2004년	환경스캐닝, 델파이, 시나리오	761개	25년 (2005~2030)
제4회	2011년	환경스캐닝, 구글 네트워크 분석, 델파이, 시나리오	652개	25년 (2012~2035)
제5회	2017년	환경스캐닝, 구글 네트워크 분석, 델파이, 지식맵분석	267개	25년 (2016~2040)
제6회	2020년	환경스캐닝, 기술트렌드 분석, 델파이, 기술확산점	241개	25년 (2021~2045)

출처 Reproduced with permission from [6].

기반의 예측을 위해 학술논문을 대상으로 딥러닝을 활용한 토픽모델링을 사용하였다. 먼저, 클래리베이트(학술정보 데이터베이스 분석업체)에서 선정한 논문 피인용 횟수가 가장 많은 상위 1% 연구자의 10년간 학술논문을 분석하였다. 다음으로 제5회 과학기술예측조사에서 선정한 학술분야별 대표논문 초록을 대상으로 2015년 이후에 발간된 논문의 키워드를 도출하고 분석하여 기술트렌드 변화를 조사하였다.

이 조사에서 논문 데이터로 학습시킨 임베딩 벡터를 활용하여 잠재된 세부 토픽을 추출하는 임베딩 기반 토픽모델링(ETM: Embedded Topic Model)을 사용하였다. 이 방법은 안정적인 토픽 추출이 가능하며, 전처리 작업에 따른 모델의 성능 변화가 적다. 또한, 단어 및 토픽 간의 유사성을 알 수 있다[6].

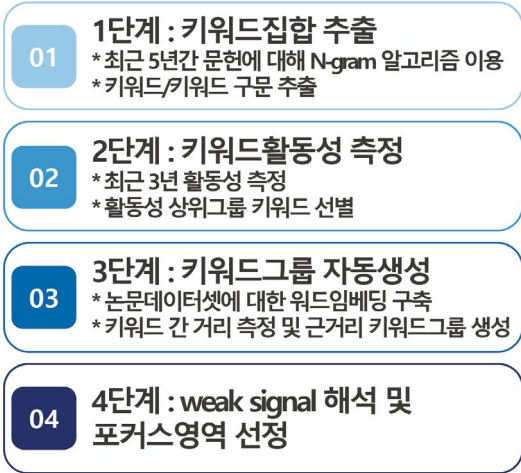
데이터의 전처리 작업은 다음과 같다.

- 데이터의 매칭을 위해 모든 연구자의 이름(First Name)을 약자로 변환
- 연구기관명, 기관의 소속 국가 등이 같은 연구자는 동일 연구자로 간주
- 연구기관명, 기관의 소속 국가 등이 다른 경우, HCR(Highly Cited Researchers) 리스트와 논문의 연구기관명을 기준으로 fuzzy-matching 알고리즘을 통해 가장 유사한 연구기관 명칭을 가진 연구자로 매칭 후 직접 조사하여 동명이인은 데이터에서 제외

2. 한국과학기술정보연구원(KISTI)

가. Weak signal 자동탐지 프로세스

한국과학기술정보연구원(KISTI)은 과학기술분야에서 10년 후 고성장이 예측된 weak signal 탐지를 위해 weak signal을 자동으로 탐지하는 기술을 개발하였다. 5년간의 SCOPUS 논문 빅데이터를 이용하여



출처 Reproduced with permission from [7].

그림 9 KISTI 데이터기반 weak signal 자동탐지 프로세스

키워드/키워드 구문을 추출하고, 키워드/키워드 구문의 움직임을 측정하는 파라미터를 이용하여 팝핑 키워드(Popping Keywords)를 선별하였다. 그리고 워드임베딩 모델에 기반하여 팝핑 키워드 사이의 문맥적 유사도를 측정하였다. 이러한 과정을 통하여 도출된 팝핑 키워드그룹을 weak signal로 정의하였다(그림 9 참고).

① 키워드 집합 추출

문헌의 제목, 초록, 저자키워드에 대하여 입력한 문자열을 n개의 기준 단위로 절단하여 분석하는 방법인 N-gram 알고리즘을 적용하여 키워드/키워드 구문을 추출하였다. 추출한 키워드 목록에 대하여 TF-IDF(≥ 0.8)와 5년 내의 성장 경향성(= 빈도수(후반 3년) - 빈도수(전반 3년) > 0) 조건을 적용하여 분석할 키워드 목록을 도출하였다.

② 키워드 활동성 측정

도출된 키워드 목록에 대해 최근 규모성(= 빈도수(최근 3년) ≥ 9)과 활동성(= 빈도수(최근 3년)/빈도수(총 데이터 기간) ≥ 0.5)을 측정하여 ‘팝핑 키워드’를

선별하였다.

③ 키워드그룹 자동 생성

키워드 관계를 자동 측정하기 위해 SCOPUS 5년 데이터에 대하여 워드임베딩 모델을 구축하여 키워드 쌍의 거리를 측정하였다. 이때 기존 팝핑 키워드는 연관 키워드와의 거리가 가깝게 모여있는 상태로 존재하지만, 신규 등장한 팝핑 키워드는 연관 키워드와 거리가 비교적 먼 상태로 존재한다.

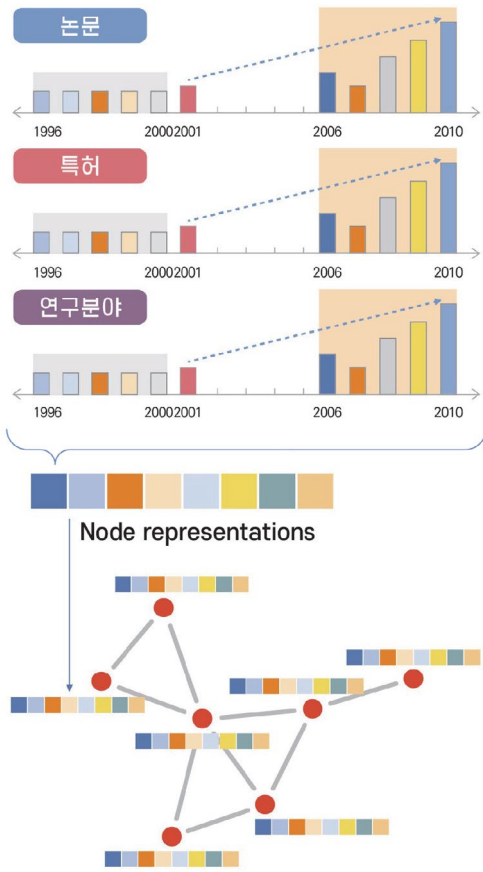
수명이 3년 초과인 일반 팝핑 키워드의 경우, 거리 0.1 이내(유사도 0.9) 연관 팝핑 키워드 집합에 대하여 연결 컴포넌트(Connected Component)를 탐지하여 키워드그룹을 도출하였다. 최근 3년 이내 신규 등장한 팝핑 키워드의 경우, 거리 0.3 이내(유사도 0.7) 연관 팝핑 키워드 집합에 대하여 클릭크(Clique)를 탐지하여 키워드그룹을 도출하였다[7].

나. Weak signal 성장예측 모델

Weak signal은 현재의 상태와 트렌드를 설명하는 좋은 자료이지만, 미래에 강신호(Strong Signal)로 발전하지 아니면 현재의 급성장 추이가 둔화할지 알 수 없다는 한계가 존재한다. 이에 KISTI에서는 weak signal의 미래 성장성을 예측하는 인공지능 모델 또한 개발하였다.

자동탐지 프로세스에 의해 추출된 weak signal은 키워드그룹과 키워드 사이의 연관성(거리)으로 구성된 키워드 네트워크로 볼 수 있다. 이 네트워크 특성을 분석하고 분류할 수 있는 GCNN(Graph Convolutional Neural Network) 모델을 적용하여 weak signal 성장성 예측을 하였다(그림 10 참고).

자동탐지 프로세스를 과거 SCOPUS 데이터에 적용하여 과거 weak signal을 탐지·도출하고, 그것들의 10년 후 성장 추이를 관찰하여 고성장하는 weak signal 키워드 네트워크와 일반 weak signal 키워드 네트워크를 분류하는 모델을 개발하였다.



출처 Reproduced with permission from [8].

그림 10 Weak signal 성장예측을 위해 적용한 DeepGraphCNN 모델 구조

❶ 과거 weak signal 기준 데이터

GCNN 모델의 학습데이터로 활용하기 위해 2001년 weak signal을 1996~2000년 5년간의 데이터로부터 도출하였다. 기준시점 데이터로, 논문 데이터의 5년간 연도별 빈도수 데이터, 5년간 해당 weak signal이 등장한 주제 분야 수 데이터, 특허 데이터의 5년간 연도별 빈도수 데이터를 확보하였다. 이를 통해 키워드 네트워크 학습데이터를 구축하였다.

❷ 과거 weak signal 성장 데이터

GCNN 모델의 라벨링에 활용하기 위해 2001년 weak signal을 2006~2010년의 성장추이 데이터로

사용하였다. 기준 데이터와 동일 조건의 데이터를 확보하여, weak signal 탐색한 기준으로부터 10년 후 데이터를 구축하였다.

❸ 고성장 weak signal 조건

고성장 weak signal을 다음의 세 가지 조건을 충족하는 weak signal로 라벨링하였다.

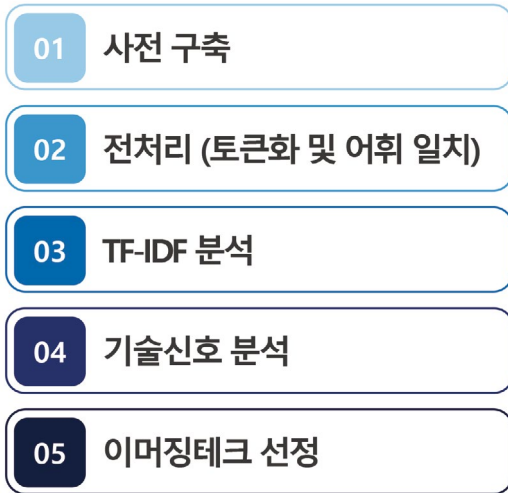
- 조건1. 논문수(성장데이터) - 논문수(기준데이터) ≥ 100
- 조건2. 특허수(성장데이터) - 특허수(기준데이터) ≥ 10
- 조건3. [논문분야수(성장데이터) > 논문분야수(기준데이터)] or [특허/논문비율(성장데이터) > 특허/논문비율(기준데이터)]

조건1은 weak signal을 탐지한 기준데이터에 비해 미래의 논문 수가 100개 이상 증가하는 조건을 의미하고, 조건2는 기준데이터에 비해 미래에 특허수가 10개 이상 증가하는 양적 조건을 의미한다. 조건3은 weak signal의 파급도와 시장성을 보여주는 간접지표로, 논문 분야수가 증가하는 것은 다른 분야에 대한 파급도가 강화되는 것을 의미하고, 특허/논문 비율이 증가하는 것은 시장이 확대되는 질적 조건을 의미한다[8].

3. 한국지능정보사회진흥원(NIA)

한국지능정보사회진흥원(NIA)은 국내 뉴스, 국내 학술논문, 해외 학술논문 등의 ICT 분야 문서를 대상으로 데이터 분석 방법론을 적용해 분석한 후 이머징 테크를 도출하였다. 여기에서 최근 3년 동안 많이 언급되지 않았으나 연도별 증가율이 높아진 ICT 기술을 이머징 테크로 정의하였다.

사용 데이터는 최근 3년 동안의 국내 언론 보도 데이터 및 국내외 학술 연구 데이터를 사용하였다.



출처 Reproduced from [9].

그림 11 NIA의 이머징 테크 분석 프로세스

뉴스는 포털사이트 내 IT 섹션에서 2019~2021년 10월까지 발행한 전체 뉴스의 제목과 본문을 수집하였다. 국내 학술논문의 경우 KCI(한국학술지인용색인)의 공학 카테고리에서 ICT 관련 학술지 확인 및 학술지의 영향력 지수를 고려해 143개를 선정하고 등록된 논문을 수집하였다. 해외 논문의 경우 Google Scholar Engineering & Computer Science로 분류된 56개의 카테고리 중 ICT 관련 범주에 해당하는 18개를 선정하고, 인용 관련 지수를 고려해 5개의 대분류(인공지능(AI), 컴퓨터 비전 & 패턴 인식, 컴퓨터 언어학, HCI(Human Computer Interaction), 생물 정보공학 & 계산 생물학) 선정 및 732개 학술지에 등록된 논문을 수집하였다.

NIA는 이렇게 수집한 데이터의 효율적인 분석을 위해 양적 분석 방법인 텍스트 마이닝(TF-IDF) 및 기술신호 분석을 적용하였다(그림 11 참고).

① 사전 구축

수집한 데이터를 적절한 분석을 수행하기 위해 불필요한 단어는 가급적 배제하고 분석 목적에 맞는

기술 용어들에 초점을 맞춰야 한다. 이에 정확한 기술 용어 도출을 위한 기술 용어 사전을 구축하였다.

② 전처리 - 토큰화 및 어휘 일치

데이터 내의 텍스트를 토큰(알고리즘의 기초 분석 단위)으로 변환 후 조사나 띄어쓰기, 문장 부호, 번역어의 차이로 어휘가 누락되지 않도록 하였다. 그리고 미리 구축한 기술 용어 사전에 있는 어휘와 동일한 대상을 지칭하는 경우, 사전에 있는 어휘로 단일화하였다.

③ TF-IDF 분석

전처리 과정에서 확보된 토큰에 대해 TF-IDF 기법을 적용해 키워드별로 중요도 값을 산출하였다. TF-IDF 기법은 알고리즘이 여러 문서에 빈번하게 나온 단어에 대해 일상 용어로 간주하여 낮은 가중치를 부여하고, 적은 수의 문서에 가끔 나오는 단어는 정보성이 높은 용어로 간주해 높은 가중치를 부여하게 된다.

④ 기술신호 분석

이머징 테크를 적절하게 도출하기 위해 추가적으로 가시성(Visibility)과 확산성(Diffusion) 기반 기술신호 분석을 진행하였다.

기술신호 분석에서 빈도 기반의 매핑 방법론인 KEM(Keyword Emergence Map)과 KIM(Keyword Issue Map)을 적용하였다. KEM과 KIM 매핑을 위해서 DoV(Degree of Visibility), DoD(Degree of Diffusion)라는 지표를 사용하는데, 두 지표는 키워드의 가시성과 확산성을 의미한다. KEM의 x축에는 평균 단어빈도를 나타내고, y축에는 DoV의 평균 증가율을 나타낸다. KIM의 x축에는 평균 문서빈도를, y축에는 DoD의 평균 증가율을 나타낸다. 각 수치의 증위값을 기준으로 나누어진 평면에서 1사분면은 강신호(Strong Signal), 2사분면은 약신호(Weak Signal), 3사분면은 잠재된 신호(Latent Signal), 4사분면은 둔화된 신호(Not Strong but Well Known Signal)를 의미한다[9].

V. 결론

지금까지 기술로드맵과 국내외 기관에서 weak signal이라 불리는 미래 유망기술을 도출하는 현황을 소개하였다.

현재 정부에서는 제5차 과학기술기본계획을 기반으로 임무별 중점기술을 도출하고 R&D 전략 로드맵 수립 및 로드맵을 토대로 전략적 투자를 확대하고 지원하고 있다.

기술 이외의 외부 환경에 의한 영향이나 미래에 대한 불확실성을 반영하고 있지 않은 기술로드맵에 과거 및 현재 데이터를 기반으로 미래를 예측하는 weak signal 탐색 등이 함께 병행되어야 사업 및 과제 기획을 선도적으로 해나갈 수 있다. 물론 급변하는 환경과 기술 트렌드에 맞춰 기술로드맵과 유망 기술 탐색·도출에 대한 주기적인 업데이트는 필수적이다.

용어해설

Fuzzy Matching(퍼지 매칭) 정확히 일치하지 않는 값을 기준으로 데이터를 통합하는 연결, 데이터베이스는 특정 백분율(임계값)과 100% 사이에서 가능한 일치 항목을 반환함

GCNN(Graph Convolutional Neural Network) 그래프의 특성을 convolutional neural network로 분석하는 방식, 그래프의 link prediction, node prediction, graph classification을 할 수 있음

TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) 텍스트 마이닝에서 이용하는 방법론, 여러 문서로 이루어진 문서

군에서 어떤 단어가 특정 문서 내에서 얼마나 중요한 의미인지를 나타내는 통계적 수치로 제공되며, 문서의 핵심어 추출이나 순위를 결정하는 데 사용할 수 있음

약어 정리

DoD	Degree of Diffusion
DoV	Degree of Visibility
ETM	Embedded Topic Model
HCR	Highly Cited Researchers
KEM	Keyword Emergence Map
KIM	Keyword Issue Map

참고문헌

- [1] 최수길, 김기영, 오진태, "미래 유망기술의 Weak Signal 탐지 방안," 전자통신동향분석, 제31권 제2호, 2016. 4.
- [2] 윤문섭 외, "국가연구개발의 전략기획을 위한 새로운 연구 기획방법론 개발," 과학기술정책연구원(STEPI), 2004.
- [3] O. Eulaerts et al., "Weak signals in Science and Technologies-Weak signals in 2020," JRC Technical Reports, 2021.
- [4] <https://horizons.gc.ca/en/our-work/>
- [5] <https://www.sitra.fi/en/articles/what-is-a-weak-signal/>
- [6] 정의진 외, "제6회 과학기술예측조사 연구," 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020.
- [7] 양혜영 외, "Emerging Weak Signals 2023 in Science and Technology," 한국과학기술정보연구원(KISTI), 2022.
- [8] 양혜영 외, "미래기술 워키시그널 성장예측보고서," 한국과학기술정보연구원(KISTI), 2021.
- [9] 이용진 외, "DATA Insight, 데이터로 보는 2022년 이머징 테크," 한국지능정보사회진흥원(NIA), 2021.