

인공강우 융합기술 개발을 위한 R&D 투자 우선순위 도출

Priority for the Investment of Artificial Rainfall Fusion Technology

임종연, 김광훈, 원동규, 여운동
한국과학기술정보연구원

Jong Yeon Lim(jylim@kisti.re.kr), KwangHoon Kim(kh.kim@kisti.re.kr),
DongKyu Won(dkwon@kisti.re.kr), Woon-Dong Yeo(wdyeo@kisti.re.kr)

요약

본 논문은 '무인기를 활용한 인공강우 기술'을 위한 투자전략 수립을 위해 적절한 방법론을 개발하는 것을 목적으로 하며 기술 분류체계수립, 기술평가지표 설정, 지표별 가중치 설정, 중요기술 도출을 전체 연구범위로 하며 계량분석을 활용한 최신 연구동향 분석 결과와 전문가 위원회의 의견이 보완되도록 설계하였다. 성공적인 융합과정의 진행을 위한 속성(복합성, 중심성, 실현성)을 정의하고 이를 기술성이라는 핵심 지표로 정의하였다. 기술평가를 위한 핵심지표는 3개의 대항목(활동성, 기술성, 시장성), 10개의 세부 지표로 구성되었으며, 설정된 지표의 중요도 분석을 위해 AHP설문을 수행하였다. 그 결과, 기술자체의 속성인 기술성이 가장 중요한 것으로 분석되었으며 기술의 핵심수준(중심성), 현재 기술수준으로 판단하는 실현가능성(실현성), 융합을 위한 복잡도 정도(복잡성) 순서로 중요한 지표인 것으로 분석되었다. 16개 기술군 중 우선 투자 상위 기술군은 지상시딩, 인공강우 수치모델링, 인공강우검증, 시딩물질 살포 및 확산, 무인기용 기상 센서 기술인 것으로 분석되었다.

■ 중심어 : | 인공강우 | 무인항공기 | 융합기술 | 핵심지표 | 투자우선순위 | 데이터 기반 |

Abstract

This paper aims to develop an appropriate methodology for establishing an investment strategy for 'demonstration of artificial rainfall technology using UAV' and that include establishment of a technology classification, set of indicators for technology evaluation, suggestion of final key technology as a whole study area. It is designed to complement the latest research trend analysis results and expert committee opinions using quantitative analysis. The key indicators for technology evaluation consisted of three major items (activity, technology, marketability) and 10 detailed indicators. The AHP questionnaire was conducted to analyze the importance of indicators. As a result, it was analyzed that the attribute of the technology itself is most important, and the order of closeness to the implementation of the core function (centrality), feasibility (feasibility). Among the 16 technology groups, top investment priority groups were analyzed as ground seeding, artificial rainfall verification, spreading and diffusion of seeding material, artificial rainfall numerical modeling, and UAV sensor technology.

■ keyword : | Artificial Rainfall | Unmanned Aerial Vehicle | Fusion Technology | Key Indicator | Priority | Data-Driven |

* 본 연구는 2018년도 "과학기술 종합조정지원사업" 과제로 수행한 것입니다.

접수일자 : 2019년 02월 27일

심사완료일 : 2019년 03월 12일

수정일자 : 2019년 03월 12일

교신저자 : 여운동, e-mail : wdyeo@kisti.re.kr

I. 서론

인공강우는 비를 내릴 만큼 발달되지 못한 구름에 인공적으로 구름씨를 뿌리거나 구름의 역학적 움직임을 유도하여 구름의 발달을 촉진시켜 더 많은 강수를 내리게 하는 기술이다. 일반적으로 인공적으로 날씨를 제어하려고 하는 기술이나 활동을 기상조절(weather modification)이라고 정의하며, 인공증우, 인공증설, 안개소산, 우박억제, 폭풍우 완화 등이 이에 속한다. 인공강우 기술은 강우 관련 기술인 인공증우 기술과 인공증설 기술을 포함하는 의미로 사용되고 있다.

특히 최근 기후변화로 인한 전 지구적인 환경변화로 인해 수자원 부족 현상이 진행되면서 2020년대에는 세계 인구의 40%가 물이 부족 환경에 처해질 것으로 예상[1]되면서 인공강우기술에 대한 필요성이 증대되고 있다. 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)는 현재 및 미래에 다가올 기후변화에 대응하기 위해 인공강우 기술을 수자원 확보의 주 기술로 인정하는 등 해당 기술을 물부족 문제 해결을 위해 적용하고자 하였다[2]. 미국, 중국 등을 중심으로 전세계 국가들이 국가 수자원확보를 위한 국가기술로서 인공강우 기술을 정책적으로 지원하고 있다.

인공강우 기술은 1940년대 Irving Langmuir가 구름 발달을 촉진시킬 수 있는 구름씨(cloud seeding)라는 개념을 도입하면서 발달되었다[3]. Benard Vonnegut [4]가 구름씨 물질인 요오드화은(AgI) 연소기를 개발하여 인공강우 항공실험에 성공하면서 세계 곳곳에서 인공강우 실험이 시행되었다. 1970년대 들어서면서 환경영향과 강우에 대한 이해관계로 인해 반대여론이 거세지면서 연구개발 및 정책 지원이 감소하게 되었다. 최근에 들어서는 측정장치, 데이터 분석 및 모델링 등의 기술이 발전하고 인공강우의 미세먼지 제거 가능성에 대한 기대가 높아지면서 인공강우기술이 다시 주목받고 있다.

Duncan 등[5]은 기상조절기술의 혁신을 위해 기존 기상관련 기술의 한계점을 극복하고자 타 영역 기술군을 포함한 후보기술군에서 유망 기술을 발굴하였다. 이는 일반적으로 기술혁신에서 요소기술 단위에서의 점

진적인 기술확산에 의한 혁신이 제한적인 경우, 타 영역과의 융합을 통해 이를 개선할 수 있다는 이론적 배경과 일맥상통한다[6]. 도출된 유망기술후보군들은 전문가 집단 위원회의 검토를 거쳐 재평가되었으며 이를 통해 무인기 관련 기술이 비용 대비 효과가 우수하며 단기간에 기술실현이 가능하다는 점에서 융합가능기술로 제안되었다.

무인항공기는 IT기술과 로봇기술의 급격한 발전의 산물로 이들의 융합을 통해 탄생된 융합제품이다. 전통적으로 사용되는 군사용도 이외 민간영역(물류, 보안, 통신, 건설, 농업, 환경, 의료, 방송 등)에서 이를 활용한 다양한 융합서비스와 수요의 증가가 예상되고 있어 도래하는 4차 산업혁명 시대에 새로운 융합산업으로 사회·경제적 파급효과가 큰 영역으로 전망되고 있다. 특히 고속 데이터 통신기술 및 인공지능 기술이 급속도로 발전됨에 따라 타산업과의 융합 속도는 더욱 빠르게 진행될 것으로 예상된다.

제한적인 기상조건에서만 운용이 가능한 유인기 시스템과 달리 다양한 기상조건에서 운용이 가능한 무인기를 활용하는 경우, 다양한 환경에서의 대기환경 정보 수집 및 모니터링이 가능하다. 특히 기상조절 기술 분야의 경우, 구름 시딩 활성 모니터링 및 시뮬레이션(Cloud seeding monitoring and simulation), 구름씨 살포(Seeding agent delivery and dispersion), 시딩 검증 및 평가(Cloud seeding evaluation technology, techniques and protocols) 분야를 중심으로 기술진보가 진행되었기 때문에 무인기를 활용한 다양한 조건에서의 자동화된 정보 수집의 증가는 기상조절 기술의 정확도를 높여 도약적인 발전을 이끌 것으로 전망된다.

국내에서도 인공강우를 포함한 기상조절 기술을 환경·에너지 프런티어 진흥 분야 핵심기술로 지정[7]하고 국립기상과학원에서 인공강우연구를 수행하고 있다. 특히 인공강우 기술은 기후변화로 인한 강수부족에 대한 대응, 미세먼지 저감을 위한 적용 등 다양한 사회적 문제 해결을 위한 정책 수립 과정에서 필요한 기술로 인식되고 있다. 그러나 2017년 도입된 국내 첫 기상항공기와 무인기를 활용한 인공강우 실증 실험 등이 실패하면서 인공강우 실증을 위한 기술 투자 전략 수립 등

에 대한 필요성이 요구되었다.

그러나 인공강우 기술 및 무인기 기술 개발은 서로 독립적인 영역으로 인식되어 부처별로 각자 기술개발 계획을 수립하였다[8][9]. 따라서 본 논문은 인공강우 기술 실증에 있어서 무인기 기술과의 융합을 통한 인공강우 기술에 대한 분류 체계를 수립하고 기술평가를 위한 적정 지표를 발굴하는 과정을 거쳐 투자 전략을 수립하고자 한다.

II. 관련연구

2.1 분류체계 수립

기술 투자전략을 수립하기 위해서는 우선 기술분류 체계를 수립해야 하는데 시장의 니즈를 통해 도출된 기능을 정한 후, 세부기능에 해당되는 기술을 도출하는 Technology tree 방식이 많이 사용된다[10]. 이는 기술의 연관관계를 체계적으로 보여주기 때문에 기술기획 및 투자전략 수립 초기에 수행되며 주로 전문가 위원회를 통하여 진행된다. 인공강우 분야의 기술 분류는 주로 cloud seeding 방법을 중심으로 기술되어져 왔으며, cloud의 종류(warm cloud, cold cloud), seeding 물질(dry ice, silver iodide, salt 등) 등으로 구분되었다. 반면, 무인기 분야의 기술분류는 무인기 플랫폼 기술, 감시 및 통제 운용, 자율 비행, 인식 및 탐지 기술, 통신 기술 등으로 구분된다[11].

2.2 융합기술 전략 수립을 위한 분석 방법

Kodama는 기존 기술의 돌파(breakthrough)를 위한 혁신이 다양한 방면으로 진행되다가 여러 기술 영역에서의 문제해결이 동시에 진행되는 과정에서 기술융합(technology fusion)이 이루어진다고 정의하였다[6]. 기술융합이란 서로 다른 기술 영역의 지식이 교환되어 새로운 기술을 발견하고 이것이 기존 기술 영역에 적용되어 새로운 시장을 창출하는 것을 의미한다. 이 과정에서 융합의 핵심은 이질적인 핵심 기술들의 상호보완적(complementary), 협력적(cooperative) 작용 여부에 달렸다고 볼 수 있으며 이를 위해 학습 과정(learning

system)과 학습시스템(learning system)을 거쳐 적응(adoption)하게 된다[12].

융합현상은 지식, 기술, 응용, 산업의 단계를 거쳐 발전하게 되는데[13], 논문, 특허 등의 계량데이터를 활용하여 초기 단계에 융합 가능성을 전망하거나 유망융합 기술을 예측해 국가 경쟁력을 높이기 위한 방법론 개발이 행해지고 있다. 융합기술을 예측하기 위해서는 특허데이터의 특허분류코드(IPC: International Patent Classification)나 특허인용정보를 활용할 수 있다. 특허분류코드를 활용하는 경우, 서로 다른 기술의 다양성 정도를 ‘해당 기술이 타 기술에 활용되는 정도, 타 기술을 활용하는 정도, 서로 유사한 기술을 활용하는 정도’ 등을 측정하여 융합성을 측정한다[14][15]. 특허인용정보를 활용하는 경우에는, 해당 기술이 ‘인용하는 기술, 타 기술에 인용되는 정도’, 등을 활용해 기술지식의 흐름을 분석한다[13].

그러나 융합과 같은 지식의 전달 과정에서 하나의 기술에 동일하게 연관된 두 개의 기술이 있는 경우에도 두 기술의 지식 수용도는 동일하지 않다. 이러한 이유로 실제 혁신사례를 적용하는 경우 실패하는 경우들이 많다[16]. 특히, 연관된 지식의 차이(gap)가 클수록, 전달하고자 하는 지식의 성격에 따라, 지식이 수용되는 속도는 달라질 수 있다[17][18].

본 연구에서는 기술의 융합과정은 한 기술을 타 기술이 그대로 수용하는 확산의 과정이 아니라 융합하는 과정에서 시행착오(trial and error)과정을 거치면서 새로운 재편성되고 재구성되어 적용되어야 하는 것이라고 판단하였다. 또한 본 연구의 목적이 융합가능 영역에 대한 전망이나 융합현상을 분석하기 위한 것이 아닌, 문제해결을 위한 융합기술의 적용과 실증이라는 점에서 상이한 기술의 이질적 요소를 극복하기 위해 고려할 정도(복합성), 현재 기술수준(실현성), 극복 후 기능 실현을 위한 중요도(중심성) 등이 중요하다고 판단하였다.

2.3 기술의 경제파급효과 분석

기술분류 체계를 활용한 R&D투자분석의 경우, 그로 인해 발생하는 경제적 이익이나 성과를 추산하기 위해서는 직접적인 경제성 분석 방법이나 간접적인 경제성 분

석 방법을 사용한다. 직접적인 경제성 분석 방법은 비용 접근법(Cost approach), 시장접근법(Market approach), 수익접근법(Income approach) 등의 방법을 통해 전문가의 정성적 평가에 의존하는 경우가 일반적이다. 간접적인 경제성 분석의 경우 고용창출효과, 부가가치효과, 비용절감 효과 등의 분석을 통해 투입요소가 타 산업분야를 포함하는 전체경제시스템에 미치는 파급효과를 해석하는 경우가 많다.

산업연관표는 실물 경제시스템에서 각 산업 영역에서 사용한 생산요소, 중간재 등의 투입요소(Input)와 판매, 구매 등의 산출요소(Output)관계로 연결되는 유기적인 선행연관관계를 나타내는 산업연관분석 모델[19]에 근거한다. 산업연관분석을 통해 최종수요(소비, 투자, 수출 등)의 변동이 각 부분의 생산 및 수입에 미치는 파급효과를 분석·예측할 수 있기 때문에 경제정책에 따라 생산, 수입, 고용, 물가 등에 가해지는 영향을 측정하기에 유리하다[20].

기술은 실물 경제시스템에서 무형의 투입요소[21]이기는 하나 일반적인 산업분류에 포함되지 않아 그 경제적 효과를 추정하는 것이 어려웠다. 이에 산업연관표를 활용하여 경제적 효과를 추정하고자 하는 대부분의 연구는 산업연관표를 제공하는 기관에서 제시한 산업분류를 그대로 활용하거나 연구자 목적에 따라 해당 부문과 밀접한 부분을 연결시키거나 재구성하는 방법으로 연구를 수행한다[22-24].

2.4 계층분석법(Analytic Hierarchy Process)

의사결정을 위한 목표, 평가기준이 다수이며 복잡한 경우, 복수의 대안에 대해 복수의 평가기준을 적용하여 상대적 선호도를 측정하는 다기준의사결정(MCDM :Multiple criteria decision making)은 R&D 파제의 우선순위를 측정하기 위해 사용되는 기법이다. 이 중 AHP(Analytic Hierarchy Process : 계층화 분석법)는 의사결정시 고려할 평가항목들을 계층화하여 의사결정 기준이 되는 항목의 중요성과 의사결정 대상이 되는 대안 간 비교를 종적으로 수행하는 의사결정 기법이다. 각 계층 내에서 대안 간의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 정성 평가를 하며 이를 체계적으로

정량화할 수 있어 신뢰도가 높다[25]. 본 연구에서도 인공강우 기술 우선순위를 선정하기 위한 정량적, 정성적 지표를 체계적으로 반영하기 위해 AHP를 적용하였다.

III. 연구방법

3.1 연구절차

본 연구에서는 무인기 기술과 인공강우 융합기술 연구영역이 활성화되지 않아 전문가가 거의 부재한 상황을 극복하고 융합기술지식에 대한 최근의 동향을 반영할 수 있도록 특허 및 논문데이터 분석을 기술분류체계 수립 단계에서부터 활용하였다. 단계적으로는 분류체계 수립, 기술 평가를 위한 중요지표 정의 및 설계, 지표별 중요도 설정을 위한 AHP 설문, 각 기술에 대한 지표별 기술평가, 조정된 지표별 가중치를 적용한 중요 기술군 최종 도출을 전체 연구의 범위로 설정하였다[그림 1].

이를 구체적으로 살펴보면, 융합연구 영역의 기술분류체계 수립을 위하여 인공강우 분야와 무인기 분야 각각의 선행적 관점의 기술 분류체계를 수립하였다. 이를 다시 프로세스적 관점에서 전체 기술군을 재배치하고 기술군의 규모 및 레벨을 조정하여 분류 초안을 마련하였다. 분류된 기술군은 무인기 분야와 기상분야에서 상호보완적인 기술발전 등이 필요한 경우에 융합기술군으로 분류하였으며 타 분야에 의존도가 낮은 경우 고전적인 기존 영역의 기술로 분류하였다. 또한 각 기술군이 가지고 있는 특성에 따라 기초연구, 응용연구, 실험개발, 검증평가 기술로 재분류하였다[26].



그림 1. 연구절차

본 연구는 기술분류 체계 수립 과정에서 전문가 집단을 위원회(기상연구원, 항공우주연구원, 기상청, 대학 전문가)로 구성하여 이들의 의견을 종합하는 과정에 논문, 특허 기반의 데이터 분석 결과와 수 차례 대조비교하여 수정하는 프로세스를 적용하였다[그림 2]. 이를 통

해 최근의 연구개발 동향을 전문가와 함께 반영하며, 전문 영역별로 제한된 전문가의 지식을 데이터 기반 근거로 보완하면서 진행하였다. 인공강우 기술분류인 cloud의 종류(warm cloud, cold cloud), seeding 물질(dry ice, silver iodide, salt 등)에 따른 분류와 무인기 분야의 무인기 플랫폼 기술, 감시 및 통제 운용, 자율 비행, 인식 및 탐지 기술, 통신 기술이 전문가 회의를 거쳐 인공강우 실증을 위한 기술로 재분류되었으며, 기술별 레벨 조정, 분류별 독립성 등의 점검 과정을 거쳐 최종 수정되었다. [표 1]은 전문가 회의에서 결정된 1차 기술 분류와 최종확정된 기술분류를 나타낸다.

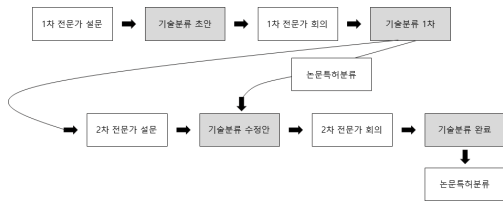


그림 2. 무인기 활용 인공강우 기술분류 프로세스

표 1. 1차 및 최종 기술분류 결과

〈1차 기술분류〉		〈최종 기술분류〉		
기술명	기술영역	기술명	구분	
강수발달이론	기상 기술	강수발달이론	기초 연구	
구름역학및미세물리이론		구름역학 및 미세물리이론		
시딩적합성예측		응결/방정핵 특성	응용 연구	
구름3차원입체분석예오로졸 분포특성		구름 입체분석		
소형기상센서	융합 기술	시딩 적합 예측기술	실험 개발	
시딩재료		인공강우 수치모델링		
자율지상시딩		시딩재료		
기상항공기시딩		지상시딩		
강수수치모델링	무인기 기술	항공시딩	검증 평가	
측정데이터분석		시딩물질 살포 및 확산기술		
유·무인기시딩통합관제시스템		무인기용 기상센서		
방수결빙장치		인공강우 무인기 운용		
낙뢰보호	융합 기술	시딩 통합 관제 시스템		
위험기상무인기운영		구름챔버		
기상센서통합운용		인공강우 검증		
연소탄 발사장치		인공강우 영향평가		
구름챔버실험				
인공강우지상검증				
인공강우항공검증				
환경영향평가				
인공강우영향평가				

3.2 핵심선정요인 도출

AHP의 평가지표는 상호배타성, 완전결합성, 처리성이라는 평가항목선정의 기본원리를 따라야 하며[27], 정량적인 지표뿐만 아니라 정성적인 지표도 동시에 고려할 수 있도록 설계할 수 있다[28]. 본 연구에서는 AHP를 활용하여 기술의 투자 우선순위를 결정하는 선행연구[27-30]와 기술의 특성을 분석하는 서지정보학적 선행연구[31][32]을 참고하였다.

정부 R&D 투자 예산심의 시 주요항목은 ‘사업추진근거 및 원동력’, ‘사업내용 타당성’, ‘사업 성과 및 파급효과’, ‘사업 간 연계·중복 가능성’이다[33]. 본 연구는 실증사업 기획을 위해 연구개발 효율성과 효과성을 주요 항목으로 선정하였다. 효율성(Outcome) 측정은 논문 및 특허의 양적 분석을 활용하였으며 효과성(Outcome) 측정은 경제적 성과 분석을 활용하고자 하였다. 또한 실증 가능성 분석을 위해 효율성(Output) 및 효과성(Outcome)과는 독립적이면서, 기술의 고유한 특성을 반영하고자 기술성 지표를 구성하였다.

본 연구에서 효율성은 개발투자로 인한 R&D 고유활동의 직접적인 결과물의 의미인 활동성(Activity)으로 정의하였으며, 기술개발의 효과성(Outcome)은 해당 제품 및 서비스를 통해 발생하는 경제적 효과를 의미하므로 시장성(Marketability)으로 정의하였다. 전체 기술군 내에서의 위치, 기술 수준 등의 고유한 특성은 기술성(Technology)으로 정의하였다.

투자 우선기술을 발굴하기 위한 핵심지표를 크게 활동성, 기술성, 시장성의 3가지 대항목, 10개 세부항목으로 구성하였다[그림 3][표 2]. 평가지표들은 전문가들의 평가에 의해 이루어지는 정성지표와 논문, 특허, 산업연관표 등의 데이터 분석을 통해 이루어지는 정량지표로 구성하였다[표 2]. 연구활동량과 연구성장성의 정량지표 도출을 위해서는 논문을 활용하였고, 기술개발활동량, 기술개발성장성, 복잡성, 고유유발성, 부가가치유발성, 산업파급성을 위해서는 특허를 활용하였다. 각각의 정량지표는 WEKA[34]에서 제공하는 등구간 이산화 기능을 사용하여 5점 척도로 변환하였다.

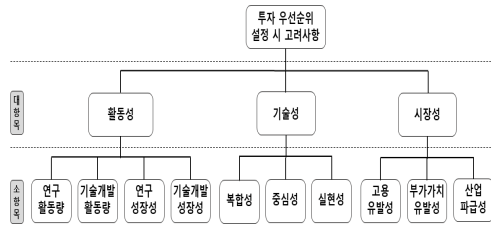


그림 3. 무인기 활용 인공지능 투자분석지표의 계층적 구조

표 2. 무인기 활용 인공지능 핵심선택지표 정의

대항목	소항목	소항목 내용설명	평가방법
활동성	연구활동량	연구 활동량 (2011~2018사이 SCOPUS 논문발표 수)	정량평가
	기술개발활동량	기술개발 활동량 (2011~2018사이 미국 특허 출원 수)	
	연구성장성	연구 활동이 성장하는 수준 (2011~2018사이 SCOPUS 논문발표 평균연도)	
	기술개발성장성	기술개발 활동이 성장하는 수준 (2011~2018사이 미국 특허 출원평균연도)	
기술성	복합성	구성 기술이나 부품의 다양성 및 상호의존성 수준 (복합성이 높은 기술은 개발이 어려우나 성공 시 보상이 큼)	정성평가
	중심성	핵심기술, 주변기술 등 “유무인기 협업 인공지능 시스템” 기술에서 차지하는 위상 (자동차기술에서 중심성이 높은 기술은 엔진기술임)	
	실현성	기존 기술 활용을 통해 인공지능 시스템 실용성 입증 가능한 수준 (현재 기술성숙도 단계가 높을수록 실현성 높은 기술임)	
시장성	고용유발성	해당산업의 최종수요에 따른 생산 파급 과정에서 직간접적으로 발생하는 노동량의 규모 (취업유발효과를 내포)	정량평가
	부가가치유발성	해당산업의 최종수요 단위증가에 따른 연관산업 생산유발에 따른 부가가치 규모(세후영업이익의 규모 - 자본비용 규모) 정도	
	산업파급성	해당산업의 최종수요 단위변화가 타산업의 생산량에 미치는 영향 정도(예 : 자동차부품-자동차 제조-자동차 서비스 산업에서 자동차 제조산업이 전망 및 후방 산업에 미치는 영향을 의미)	

3.3 활동성 분석

활동성 지표는 기술개발의 산출물인 특허 및 논문 데이터 분석을 통해 해당 기술의 생산성을 정량화하는 지표이다. 활동량은 해당 기술의 양적 규모를 의미하는 지표이며 연구활동량은 논문 발표수를 의미하고 기술

개발활동량은 특허 출원 수를 의미한다. 성장성은 기술 간 활동량의 양적 규모의 차이에 따른 문제점을 보완하기 위해 분석하는 개념으로, 연구성장성은 논문의 성장 수준을, 기술개발성장성은 특허의 성장 수준을 의미한다. 인공지능 관련 논문·특허 검색 후 전문가와의 정제 작업을 통해 분석 대상 데이터 셋을 선정하였으며, 2013~2018년 SCOPUS논문과 G-PASS(Global patent Analysis System)특허를 대상으로 하였다.

3.4 기술성 분석

본 논문에서는 융합이 서로 다른 기술의 상호작용을 통해 진행되는 과정으로 보고 각 기술군들의 고유한 특성이 중요하다고 가정하여 Sorenson[35]의 복잡성 개념을 적용하였다. 세부적으로는 구성 기술이나 부품의 다양성 및 상호의존성 수준(복합성), ‘유무인기 협업 인공지능 시스템’ 기술에서 차지하는 위상 (중심성), 현재의 기술 수준으로 실용성 입증 가능한 수준(실현성)으로 구분하여 구성하였으며 이를 기술성으로 정의하였다.

특히 복잡성은 융합 난이도를 해석할 수 있는 지표로 정의하였다. 예를 들어, 타 기술과 동시 활용도가 빈번한 기술군(B타입: 융합용이도가 높은 기술)과 타 기술에 활용이 거의 되지 않는 기술군(C타입: 융합용이도가 낮은 기술)이 있는 경우, C타입의 기술군 구성이 많을수록 해당 기술은 구현하기 어려운 기술로 해석할 수 있으며 이를 상호의존도가 높다고 한다[35].

본 연구에서는 특허IPC 분석을 통해 복잡성을 분석하였다. 특허*j*의 분류코드는 IPC*j*를 포함하는 여러 개의 IPC로 구성되게 되는데 IPC*j*와 동시 출현하는 IPC*i* 경우, 복잡성을 계산하기 위해서는 IPC*i*의 융합용이도 (E_i ; Ease of recombination of subclass *i*)를 계산해야 하며 이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_i = \frac{\text{특허에서 } IPC_i \text{와 동시 출현한 다른 } IPC \text{ 개수}}{IPC_i \text{에 해당하는 특허수}}$$

IPC*j*의 상호의존도는 관련된 IPC들의 융합용이도에 영향을 받게 되는데, 상호의존성 K_j (interdependence)

는 IPC의 개수가 많을수록, IPC들의 융합용이도 합이 낮을수록 높아진다.

$$K_j = \frac{C_j}{\sum_{i \in j} E_i}$$

여기서 C_j 는 특허 j의 IPC 개수를 나타낸다. 상호의 존성(K)를 전체 특허 수(N)로 정규화한 값을 복잡성으로 정의한다.

$$\text{복합성(Complexity)} = \frac{\sum_{j=1}^N (K_j / C_j)}{N}$$

즉, 복잡성이 높은 기술들은 융합이 진행되기 위한 구성기술 개수가 많거나 융합이 어려운 기술들로 구성된 경우이다.

중심성은 해당 기술이 무인기 협업 인공강우 시스템 기술에서 차지하는 위상을 의미하는 지표로 핵심기능 수행 정도를 기준으로 핵심기술, 주변기술 등으로 표현되는 정도를 의미한다. 이를 위해서는 우선 해당 제품 및 서비스를 활용한 핵심기능(core function or core benefit)이 무엇인지를 정의해야 한다. 핵심기능을 기준으로 단계별로 핵심기능을 제공하는 기술, 핵심기능에 준하는 기능을 제공하는 기술, 핵심기능을 직접적으로 지원하는 기술, 핵심기능을 간접적으로 지원하는 기술, 핵심기능과 무관한 주변기술로 구분하였다(예: 엔진, 미션, 조향장치, 자율주행장치, 음향장치). 본 연구에서는 전문가의 정성평가를 기준으로 해당 지표를 분석하였다.

실현성은 현재의 기술 수준을 기준으로 판단하여 기술의 실증이 가능한 정도를 의미하는 지표이다. 이를 위해 기술의 성숙도 지표(TRL: Technology Readiness Level)¹⁾를 기준으로 전문가 정성평가에 활용하였다. 사업화 직전 단계인 level 9는 제외하였으며, 해당기술의 투자목적이 실증이면서 동시에 기술개발 투자라는 점을 감안하여 기초연구 단계인 level 1과 level 2, 사업화 직전 단계인 level 8은 가장 낮은 점수로 배치하였다. [표 3]에는 중심성 및 실현성 평가기준을 나타내었다.

표 3. 중심성 및 실현성 평가 기준

지표	1점	2점	3점	4점	5점
중심성	핵심기능과 무관한 주변기술	핵심기능을 간접적으로 지원하는 기술	핵심기능을 직접적으로 지원하는 기술	핵심에 준하는 기능을 제공하는 기술	완제품(기술)에서 핵심기능을 제공하는 기술
	ex) 음향장치	ex) 자율주행장치	ex) 조향장치	ex) 미션	ex) 엔진
실현성	TRL 1, 8, 9	TRL 2	TRL 3~4	TRL 5~6	TRL 7

3.5 시장성 분석

정부 R&D투자 의사결정을 수행하는 경우에도 재원의 투입에 따른 경제적 효과를 추정하여 경제적 타당성을 입증하는 경우가 일반적이다. 그러나 인공강우 기술 분야는 그 사업 성과가 재화 생산이라는 직접적인 형태로 도출되기보다는 공공서비스 형태로 도출되기 때문에 사회 시스템에 영향을 미치는 효과를 분석하는 것이 타당하다. 본 논문에서는 한국은행의 산업연관표를 활용한 간접적 경제성 분석결과를 시장성 지표로 구성하였다.

정부 R&D투자 시스템과 경제시스템으로의 연결과정에서 단위 기술이 중요 투입요소인 것은 분명하나 이들의 연관관계를 추출하기 어려워 대부분 연구자의 목적에 따라 산업 수준에서 산업연관표와 해당 산업을 연계시켜 분석하는 것이 일반적이었다[23][24].

본 연구에서는 한국은행이 공표하는 산업연관표상에 인공강우 산업을 추출할 만한 산업이 포함되지 않기 때문에 특허 분석 결과를 이용하여 인공강우 기술을 한국은행의 산업연관표와 매칭시키고자 IPC, KSIC, 산업연관표 간의 데이터 간의 상호 매칭을 통해 단위 기술별로 산업연관표와 매칭하는 방법을 사용하였다[36].

본 연구에서는 여러 차례의 매칭 작업을 통하여 분석 결과를 도출하고 있다. 첫째, 주요 기술군들의 특허 데이터 셋 분석을 통해 해당 기술군들의 IPC 분류 코드를 매칭한다. 이를 특허 IPC가 KSIC상에서 어느 분류에 해당하는지를 추출한다. 이를 위해 특허청이 제공하는 한국표준산업분류(KSIC)와 IPC간의 매칭테이블을 이용하였다. 마지막 단계에서는 통계청의 KSIC를 한국은행의 산업연관표와 매칭시킨다. 이러한 과정을 통하여 주요 기술군들이 한국은행의 산업연관표상 각 부문에서 차지하는 비중을 추정하였다.

1) 우주산업 기술투자의 위험도 관리를 목적으로 1989년 미항공우주국(NASA)에서 도입한 개념

이러한 배경 하에서 본 논문은 산업연관분석을 적용하여 무인항공기 산업과 관련된 기술별 경제적 파급효과를 분석하고자 한다. 구체적으로 고용창출효과와 부가가치유발효과, 감응도 계수, 영향력 계수를 산출할 수 있으며, 분석결과에 대한 시사점을 제시하기로 한다.

산업연관표의 고용표에서 제시하는 고용유발계수는 수요유도모형을 기반으로 한 투입액 10억원 당 해당산업에 필요한 직접고용 인원과 타 산업에 간접적으로 유발되는 추가 고용인원을 의미하며, 본 논문에서는 이를 고용창출효과로 정의한다. 산업연관표의 부가가치유발계수는 어떤 산업부문의 국내생산물에 대한 최종수요가 한 단위 증가한 경우 국민경제 전체에서 직·간접적으로 유발되는 부가가치 단위를 의미한다. 즉, 최종수요 1단위 증가에 따른 생산유발이 부가가치를 얼마만큼 유발시키는지 나타낸다.

각 산업에서 생산된 제품은 소비를 위한 최종재로 사용되며, 또한 다른 산업의 생산을 위한 중간재로도 사용되기 때문에 산업 간에는 연관관계가 존재하는데 이러한 산업간 연관관계의 지표가 산업연쇄효과이다[37][38]. 산업연쇄효과는 전방연쇄효과(forward linkage effect)와 후방연쇄효과(backward linkage effect)로 구분된다. 전방연쇄효과는 타산업에 중간재를 판매하는 정도를 나타내며, 후방연쇄효과는 타산업으로부터 중간재를 구매하는 정도를 나타낸다. 일반적으로 전방연쇄효과는 감응도 계수(index of the sensitivity dispersion)를 이용하고, 후방연쇄효과는 영향력 계수(index of the power dispersion)를 이용하여 측정한다[39][40].

국내 인공강우 산업 분야의 경우 산업영역으로의 성숙도가 낮고, 연구영역으로 제한적인 성격을 띄고 있어 전후방산업 연쇄효과를 통합하여 산업파급효과를 측정하였다.

3.6 핵심선정지표별 중요도 평가

10개의 핵심선정지표별 중요도 평가를 위해 인공강우 분야 및 무인기 분야 전문가들로 구성된 위원회에서 AHP분석을 실시하였다. 작성된 설문지는 쌍대비교의 일관성지수(Consistency ratio: CR)로 Saaty[41]가 제시한 합리적인 평가기준(0.1이하)의 일관성 지수를 충족하

여 신뢰성을 확보하였다. 평가자가 작성한 쌍대비교행렬의 각 원소에 대하여 전체 평가자들의 평가치를 기하평균을 이용하여 통합하고, 기하평균을 원소로 하는 쌍대비교행렬을 구하는 방식의 수치통합방법을 이용하였다.

IV. 결과 및 결론

4.1 16개 기술별 지표 분석 결과

16개 기술군을 10개의 지표를 기준으로 분석한 결과는 다음과 같다. 활동성, 기술성 및 시장성별로 분석 결과는 [표 4-표 6]과 같다.

활동성 분석 결과를 보면, 논문의 양적 수준은 인공강우 수치모델링과 인공강우 검증 분야가 높은 것으로 나타났다. 그러나 성장성은 무인기용 기상센서와 인공강우 무인기 운용 부분이 높은 것으로 분석되었다. 이는 기상분야의 인공강우 모델링과 인공강우 검증이 주요 기술분야이나 무인기 융합형 기술이 가파르게 성장하고 있다는 것으로 해석이 가능하다. 특히의 양적 수준은 지상시딩과 시딩물질 살포 및 확산기술이 높은 것으로 분석되었으며 시딩적합예측성 기술이 성장성이 높은 것으로 분석되었다. 이는 시딩 행위를 중심으로 특허권이 분포되어 있으며 최근 시딩적합예측을 활용해 성공률을 높이고자 하는 시도가 많은 것으로 해석 가능하다.

표 4. 활동성 평가 결과

기술명	활동성			
	연구 활동량	기술개발 활동량	연구 성장성	기술개발 성장성
강수발달이론	3	1	3	2
구름역학 및 미세물리이론	4	1	4	1
응결/방정해 특성	2	1	4	3
구름 입체분석	3	1	3	4
시딩 적합 예측기술	3	1	3	5
시딩재료	2	1	4	1
인공강우 수치모델링	5	1	3	2
지상시딩	4	5	4	2
항공시딩	3	2	4	2
무인기용 기상센서	1	2	5	3
인공강우 무인기 운용	1	1	5	4
시딩 통합 관제 시스템	1	2	4	2
시딩물질 살포 및 확산기술	1	5	3	2
구름챌버	1	1	1	4
인공강우 검증	5	2	3	4
인공강우 영향평가	2	1	2	3

기술성 지표의 분석 결과 복잡성이 가장 높은 기술은 인공강우 수치모델링 기술인 것으로 분석되었다. 이는 인공강우 수치모델링 관련 특허들이 다양한 기술로 구성되었거나 융합도가 낮은 기술들을 활용해 구성되어 있는 것으로 해석 가능하다. ‘유무인기 협업 인공강우 시스템’에서 핵심 기능 근접도가 가장 높은 기술은 지상시딩과 인공강우 검증 기술인 것으로 나타났다. 지상시딩과 인공강우 검증 기술은 현재 기술수준을 기준으로 판단한 실용성 여부에서도 실현성이 가장 높은 것으로 분석되었다.

표 5. 기술성 평가 결과

기술명	기술성		
	복합성	중심성	실현성
강수발달이론	3	2.40	2.28
구름역학 및 미세물리이론	3	2.60	2.32
응결/빙정핵 특성	2	2.40	2.48
구름 입체분석	2	2.60	2.52
시딩 적합 예측기술	1	2.60	2.52
시딩재료	2	2.00	2
인공강우 수치모델링	5	3.20	2.84
지상시딩	2	3.40	3.28
항공시딩	2	2.60	2.52
무인기용 기상센서	2	2.60	2.92
인공강우 무인기 운용	1	2.40	2.68
시딩 통합 관제 시스템	2	2.20	2.44
시딩물질 살포 및 확산기술	2	2.60	2.92
구름챔버	1	1.60	1.72
인공강우 검증	3	3.40	3.08
인공강우 영향평가	2	2.00	2

표 6. 시장성 평가 결과

기술명	시장성		
	고용유발 계수	부가가치 유발계수 (반올림)	전후방 파급효과
강수발달이론	3	5	5
구름역학 및 미세물리이론	3	5	5
응결/빙정핵 특성	1	1	1
구름 입체분석	5	5	4
시딩 적합 예측기술	5	5	4
시딩재료	4	5	5
인공강우 수치모델링	5	5	4
지상시딩	5	5	5
항공시딩	5	5	4
무인기용 기상센서	5	5	4
인공강우 무인기 운용	5	5	4
시딩 통합 관제 시스템	5	5	4
시딩물질 살포 및 확산기술	5	5	5
구름챔버	5	5	4
인공강우 검증	5	5	4
인공강우 영향평가	1	1	1

기술투자를 통한 간접적 경제과급효과를 분석한 결과, 기술별 차이가 거의 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 그러나 응결/빙정핵 특성과 인공강우 영향평가 기술은 경제적 효과가 낮은 것으로 분석되었는데 이는 기상분야 내에서도 인공강우 영역으로 극히 제한된 응결/빙정핵 분야의 특성으로 인해 IPC코드가 다양하게 분포하지 않기 때문인 것으로 해석되며, 해당 분야에서도 산업 최후방의 서비스 영역(인공강우 영향평가)에 해당되는 영향인 것으로 해석된다.

4.2 지표별 가중치 결과

AHP 설문 결과, 대항목 3개의 상위 평가지표(활동성, 기술성, 시장성)는 기술성(0.501)이 가장 높은 중요도를 나타냈으며, 시장성(0.349), 활동성(0.151) 순으로 나타났다[표 7]. 특허 및 논문의 양과 증가율을 활용해 분석한 활동성은 연구성장성(0.364), 기술개발성장성(0.352), 기술개발활동량(0.164), 연구활동량(0.120) 순으로 나타났다. 기술의 고유한 속성을 나타내는 값으로 정의한 기술성 평가지표 중 중심성(0.481)이 가장 높은 가중치를 가지며, 실현성(0.277), 복합성(0.242) 순으로 중요한 것으로 나타났다. 간접적인 경제 과급효과를 데이터 기반으로 분석한 시장성 지표는 부가가치유발성(0.448), 산업과급성(0.390)이 높은 가중치를 가지는 것으로 나타났으며 고용유발성 가중치는 0.162로 분석되었다. 대항목의 가중치를 반영한 소항목별 최종 가중치는 [표 8]과 같다.

표 7. 10대 지표 가중치 분석 결과

활동성	가중치
연구활동량	0.120
기술개발활동량	0.164
연구성장성	0.364
기술개발성장성	0.352
합계	1.000

기술성	가중치
복합성	0.242
중심성	0.481
실현성	0.277
합계	1.000

시장성	가중치
고용유발성	0.162
부가가치유발성	0.448
산업과급성	0.390
합계	1.000

대항목	가중치
활동성	0.151
기술성	0.501
시장성	0.349
합계	1.000

표 8. 10대 평가지표 최종 가중치 결과

세부항목	핵심기술 확보
연구활동량	0.018
기술개발활동량	0.025
연구성장성	0.055
기술개발성장성	0.053
복합성	0.121
중심성	0.241
실현성	0.139
고용유발계수	0.056
부가가치유발계수	0.156
산업파급성	0.136
합계	1.000

4.3 16대 기술 기술평가 결과

표 9. 16대 기술 최종 평가 결과

세부항목	평가 결과
강수발달이론	3.236
구름역학 및 미세물리이론	3.310
응결/방정학 특성	3.211
구름 입체분석	3.279
시딩적합예측	1.953
시딩재료	3.02
인공강우수치모델링	3.780
지상시딩	3.253
기상항공기시딩	3.761
무인기용기상센서	3.109
위험기상무인기운영	3.206
시딩통합관제시스템	3.380
시딩물질살포및확산	3.428
구름챔버	2.660
인공강우검증	3.732
인공강우영향평가	1.68

무인기 활용 인공강우 16개 기술군에 대한 최종 평가 결과는 [표 9]과 같다. 중간값을 기준으로 상위우선순위를 도출한 결과 5개 기술군이 상위 중요기술군으로 분석되었으며 그 결과는 [표 10]과 같다.

평가 결과 상위 5개의 기술군을 살펴보면 응용연구 분야의 인공강우수치모델링 기술, 실험개발 기술 중 지상시딩기술, 무인기용기상센서, 시딩물질 살포 및 확산 기술이며, 검증 평가 기술군 중 인공강우검증기술이 선정되었다.

기술영역으로 구분할 경우, 기상기술 분야에서 인공강우수치모델링 기술이 선정되었으며 융합기술 분야는 지상시딩기술, 시딩물질 살포 및 확산 기술, 인공강우검증 기술이 선정되었다. 대체적으로 융합기술군 중 실험개발이나 검증평가 기술이 중요한 것으로 선정되었

으며 무인기 분야에서는 무인기 탑재를 위한 소형 기상센서 등을 목적으로 하는 무인기용 기상센서 기술이 포함되었다. ‘인공강우’라는 명확한 투자목표가 설정되어 기상분야 기초 연구 들은 낮은 가중치를 가진 것으로 해석되며 기상기술 중 응용연구에 해당되는 인공강우수치모델링 기술이 선정되었다.

우선순위를 확대하여 중간값 이상의 평가를 받은 기술군까지 포함시키는 경우, 3개의 기술군이 분석되었으며 구름 입체분석 기술, 구름역학 및 미세물리이론, 기상항공기 시딩 기술이 포함되었다. 구름역학 및 미세물리이론 기술은 기상분야 기초연구 기술이나 인공강우실현을 위한 핵심기술인 것으로 해석된다[표 11].

표 10. 상위 우선투자기술 분석 결과

기술영역	기술명	기술구분
기상기술	인공강우 수치모델링	응용연구
융합기술	지상시딩	실험개발
	시딩물질 살포 및 확산기술	
무인기 기술	무인기용 기상센서	검증평가
융합기술	인공강우 검증	

표 11. 중위 우선투자기술 분석 결과

기술	기술명	기술구분
기상기술	구름역학 및 미세물리이론	기초연구
	구름 입체분석	응용연구
융합기술	항공시딩	실험개발

본 연구는 인공강우 기술 확보를 위한 지표를 설정하고 해당 지표별 결과를 분석하여 중요기술을 도출하였다. 지표는 활동성, 기술성, 시장성의 3가지 대항목에 10개의 세부지표로 구성되었다. 활동성의 세부항목으로는 연구개발활동량, 기술개발활동량, 연구개발성장성, 기술개발성장성의 네 가지 항목이, 기술성의 세부항목으로는 복합성, 중심성, 실현성의 세 가지 항목이 선정되었으며, 시장성은 고용유발계수, 부가가치유발계수, 전후방파급효과가 선정되었다.

6명의 전문가 설문을 통한 평가지표들간 중요도 평가 결과, 대항목 중에서 기술성(0.501)이 가장 중요한 것으로 나타났으며, 세부항목 중 중심성(0.241), 실현성(0.189), 산업파급성(0.186), 부가가치유발계수(0.156), 복합성(0.121) 순으로 중요하게 나타났다.

전체 무인기 활용 인공강우 16개 기술군들은 상호 경쟁적인 기술이 아닌 병렬적이고 인공강우 기술확보를 위한 요소기술이기 때문에 중요기술만 확보해서 인공강우 기술을 확보했다고 보기는 어려울 수 있다. 그러나 투자전략 수립 관점에서는 중요 기술을 파악하고 이를 통해 장기적인 투자계획을 수립하는 데 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서 전체 기술군 중 인공강우수치모델링, 지상시딩기술, 무인기용 기상센서, 시딩물질 살포 및 확산 기술이 중요도가 가장 높게 나타났으며 융합기술 영역의 실험개발이나 검증영역의 기술들이 중요한 것으로 나타났다. 따라서 무인기 활용 인공강우 기술의 확보를 위해서는 융합영역의 실험개발 기술 및 검증기술 확보가 중요할 것으로 판단된다.

V. 시사점

정부의 과학기술R&D투자가 성장 중심에서 사회적 문제해결로 확대되고 있는 상황에서 새로이 기술영역을 정의하고 투자전략을 수립해야 하는 경우가 빈번하게 발생한다. 또한 4차 혁명의 주요 특징인 융합의 빈번함, 빠른 혁신의 속도, 사회적 변화 등에 적절히 대응하고 변화하는 상황을 반영할 수 있는 투자 전략 수립을 위한 방법론이 필요하다. 이에 기술투자전략 수립을 위한 전체 프로세스에서 데이터를 기반으로 한 분석이 전문가 위원회의 결과와 적절히 활용되어 국가혁신시스템의 추진력에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다. 새로운 융합영역 발굴을 전문가의 의견에만 의존하는 경우, 기존 분야 중심의 전문가 참여로 제한되어 신규 발굴 및 혁신에 한계가 있을 수 있다. 또한 데이터 분석 결과에만 의존하는 경우, 전문성의 부족 등이 발생할 수 있는데 이를 전문가 집단의 보정을 통해 개선하였다. 본 연구는 이러한 개선된 방법을 통해 융합영역의 기술분류 체계를 수립하고 프로세스를 설계한 측면에서 의의가 있다.

또한 본 논문은 융합기술 영역의 특수성을 반영한 기술평가를 위해 중요한 핵심지표 중 기술성을 새로이 정의하고 융합기술 연구에 활용할 수 있음을 제안하였다.

다. 기존 융합관련 연구가 융합이 빈번하게 일어날 수 있는 기술을 중심으로 진행되던데 비해, 융합난이도 관점의 융합 빈도가 낮으나 핵심 중요기술로 발전이 가능한 기술의 발굴 등에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 인공강우의 경우, 융합기술 전략 수립을 위해서는 기술성을 가장 중요한 판단 지표로 설정해야 하는 것으로 나타났다. 이는 앞으로 다양한 사회문제해결형 융합기술 개발을 위해 기술투자 전략을 수립하는 경우, 융합과정 관점에서의 기술의 속성(기술성)을 중요하게 적용해야 한다고 해석할 수 있다. 특히 각 지표는 융합 진행 전의 구성 기술(복합성), 현재의 기술 수준(실현성), 융합 진행 후의 기능(중심성)적 측면을 내포하고 있는데 이는 융합이 진행되는 프로세스적 관점을 내포하고 있다고 볼 수 있다.

본 논문은 전문가의 평가에 의해 이루어지는 경제성 분석을 데이터를 활용한 객관적 근거를 기반으로 제안한 부분에 의의가 있지만, 산업연관표의 분류가 400여 개에 불과하여 세부 기술 간의 유발계수 간 차이점이 크지 않다는 한계점을 가진다.

우선순위 선정은 비즈니스 관점으로 볼 때 순위의 개념이 아닌 중요도와 자원 배분을 위한 의사결정 고려요인의 개념이다. 본 연구에서는 기술실증 목적을 위한 관점으로 연구가 수행되었으나, 투자우선순위 수립의 목적 및 정부정책 과정에서의 복잡한 고려요인에 따라 그 결과는 달라질 수 있다.

본 연구에서는 기술속성 파악을 위한 기술성이라는 지표를 제안하였다. 특히 세부 속성들(복합성, 중심성, 실현성)의 관계가 과학기술지식의 변화에 따라 서로 유동적으로 변화할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 학문적인 관점에서의 전문적인 분석을 위해 실증분석 등의 추가 연구가 필요하다.

본 연구가 활용한 R&D PIE는 기술-산업-시장-인력양성-정책 및 법제도가 횡적으로 연계되는 횡적연계혁신(cross-cutting innovation)플랫폼 설립을 위한 시스템으로, 최종 도출된 우선 투자 기술이 적용될 사회 시스템(제도 및 인력양성, 정책)을 투자전략 수립 시점부터 통합 고려하도록 설계되었다²⁾. 본 연구의 경우, 기

2) 본 연구에서는 2018년부터 과학기술혁신본부의 국가연구개발 중기

상법, 항공사업법, 항공안전법, 항공기 기술수준, 화평법, 화관법으로 관련 제도를 도출하였으며 기술 개발 및 적용 시 이들을 고려해야 하는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Alcamo, T. Henrichs, and T. Roesch, *World Water in 2025*, Centre for Environmental Systems Research, University of Kassel, 1999.
- [2] T. P. DeFelice, ASCE Standard Practice for the Design and Operation of Precipitation Enhancement Projects, In Public Ballotting, 2016.
- [3] I. Langmuir, Summary of results thus far obtained in artificial nucleation of clouds, Schenectady, 1948.
- [4] B. Vonnegut, "The nucleation of ice formation by silver iodide," *Journal of applied physics*, Vol.18, pp.593-595, 1947.
- [5] D. Axisa and T. P. DeFelice, "Modern and prospective technologies for weather modification activities: Developing a framework for integrating autonomous unmanned aircraft systems," *Atmospheric Research*, Vol.193, pp.173-183, 2017.
- [6] F. Kodama, *Technology Fusion and the New R&D*, Harvard Business Review, 1992.
- [7] 국가기술지도 수립, 과학기술통신부, 2012.
- [8] 기상기술로드맵(MTRM), 기상청, 2007.
- [9] 드론산업 발전 기본계획(안), 2017.
- [10] D. Baker and D. J. H. Smith, "Technology foresight using roadmaps," *Long Range Planning*, Vol.28, No.2, pp.21-28, 1995.
- [11] S. G. Gupta, M. M. Ghonge, and P. M. Jawandhiya, "Review of Unmanned Aircraft System (UAS)," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, Vol.2, pp.1646-1658, 2013.
- [12] M. Bell, *Learning and the Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries*, Macmillan, 1984.
- [13] F. Hacklin, C. Marxt, and F. Fahrni, "Coevolutionary Cycles of Convergence: An Extrapolation from the ICT Industry," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.76, No.6, pp.723-736, 2009.
- [14] F. Fai and V. N. Tunzelmann, "Industry-specific competencies and converging technological systems : Evidences from patents," *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol.12, No.2, pp.141-171, 2001.
- [15] D. J. Bryc, and S. G. Winter, "A general interindustry relatedness index," *Management Science*, Vol.55, No.9, pp.1570-1585, 2009.
- [16] M. E. Porter and J. W. Rivkin, *Matching Dell*, Harvard Business School Case, 1999.
- [17] V. Mahajan, E. Muller, and F. M. Bass, "New product diffusion models in marketing: a review and directions for research," *Journal of Marketing*, Vol.54, pp.1-26, 1990.
- [18] A. Hargadon, *Diffusion of innovations*, Boca Raton, 1998.
- [19] W. Leontief, "Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States," *Review of Economics and Statistics*, Vol.18, pp.105-125, 1936.
- [20] R. E. Miller and P. D. Blair, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, New Jersey: Prentice-Hall, 1985.
- [21] U. Schmoch, Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators, *Scientometrics*, Vol.26, No.1, pp.193-211, 1993.

- [22] 석왕현, 송영근, 박춘환, “M2M 부문에 대한 산업연관분석- RAS법을 활용,” 산업경제연구, 제28권, 제6호, pp.2303-2327, 2015.
- [23] 강성진, “녹색성장과 국토관리전략; 녹색산업의 경제파급효과와 국토관리전략,” 국토연구원, 제327권, pp.29-39, 2009.
- [24] 권승문, 김하나, 진의찬, “신재생에너지산업의 경제적 파급효과 분석,” Journal of Climate Change Research, Vol.7, No.1, pp.59-68, 2016.
- [25] O. S. Vaidya and S. Kumar, Analytic Hierarchy Process : An Overview of Applications, European Journal of Operational Research, Vol.169, No.1, pp.1-29, 2006.
- [26] *Frascati Manual “Guidelines for Collecting and reporting data on research and experimental development,”* OECD, 2015.
- [27] 조영우, 양용준, 조근태, 이종인, “AHP를 이용한 유통분야 미래유망기술의 우선순위 설정,” 한국식품저장유통학회지, 제11권, 제1호, pp.276-281, 2004.
- [28] 신용광, 김창길, 김태영, “계층적분석과정(AHP)을 이용한 친환경농업정책 프로그램의 우선순위 결정,” 농업경제, 제28권, 제2호, pp.39-56, 2005.
- [29] 이종인, 조근태, 신봉철, 김성철, “AHP를 이용한 생명공학분야 미래유망기술의 우선순위 설정,” 강원대학교 농업과학연구소 논문집, 제17권, pp.65-73, 2006.
- [30] 심용호, 변기섭, 이봉규, “AHP와 ANP 방법론을 이용한 그린 ICT 정책의 전략적 우선순위 도출 방안,” 한국 인터넷 정보학회, 제12권, 제1호 pp.85-98, 2011.
- [31] J. Bar-Ilan, “Informetrics at the beginning of the 21st century-A review,” Journal of Informetrics, Vol.2, No.1, pp.1-52, 2008.
- [32] Y. H. Tseng, Y. L. Lin, Y. Y. Lee, W. C. Hung, and C. H. Lee, “A comparison of methods for detecting hot topics,” Scientometrics, Vol.8, No.1, pp.73-90, 2009.
- [33] 국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률, 2005.
- [34] I. Witten and E. Frank, “Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques,” San Francisco 2nd Ed. Morgan Kaufmann, 2005
- [35] O. Sorenson, J. W. Rivkin, and L. Fleming, “Complexity, networks and knowledge flow,” Research policy, Vol.35, pp.994-1017, 2006.
- [36] 김광훈, 원동규, 여운동, “무인항공기 산업의 경제적 파급효과,” 한국콘텐츠학회논문지, 제18권, 제2호, pp.216-230, 2018.
- [37] *산업연관분석해설*, 한국은행, 1987.
- [38] *2014년 산업연관표*, 한국은행, 2016.
- [39] A. O. Hirschman, *The Strategy of Economic Development: New Haven*, Yale University Press, 1958.
- [40] L. P. Jones, “The Measurement of Hirschmanian Linkage Hypothesis,” Quarterly Journal of Economics, Vol.90, No.2, pp.323-333, 1976.
- [41] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.

저 자 소개

임종연(Jong Yeon Lim)

정회원



- 2009년 2월 : 고려대학교 생명공학박사 졸업
- 2010년 6월 ~ 2015년 6월 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 2018년 11월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 객원연구원

<관심분야> : R&D 투자분석, 산업시장 정보분석

김 광 훈(KwangHoon Kim)

정회원



- 2011년 8월 : POSTECH 전자전기공학과 박사 졸업
- 2011년 9월 ~ 2015년 5월 : 삼성전자 DS부문 책임연구원
- 2015년 7월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야> : 산업시장 정보분석, 텍스트 마이닝

원 동 규(DongKyu Won)

정회원



- 2002년 8월 : 서울대학교 대학원 도시계획학 박사 졸업
- 1994년 11월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야> : 복잡계모형, 개방형혁신, 과학기술정책

여 운 동(Woon-Dong Yeo)

정회원



- 2014년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과 박사 졸업
- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야> : 데이터마이닝, 과학기술계량정보분석