

융합연구리뷰

Convergence Research Review



융합연구 분석 방법에 대한 고찰:

융합연구과제 식별 및 융합지수를 중심으로

-

논문과 다양성 지표를 활용한

국내 연구의 융합도 도출 및 분석

-

바이오의료기기산업의 중심으로 성장하다

디지털 헬스케어

목차

융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2016 February vol.2 no.2

03 편집자주

융합연구 분석 방법에 대한 고찰: 융합연구과제 식별 및 융합지수를 중심으로

04 (리뷰) 융합R&D 과제의 식별과 융합지수의 연구현황

논문 피인용 다양성지표를 활용한 학문간 융합도 분석

34 (리뷰) 다양성지표를 활용한 우리나라 국제학술논문의 다학제연구 특성 분석

바이오의료기기산업의 중심으로 성장하다. 디지털 헬스케어

58 (위클리팁) 디지털 헬스케어 동향

70 (위클리팁) 바이오의료기기산업 핵심기술개발사업



융합연구정책센터

Convergence Research Policy Center

발행일 2016년 2월 1일

발행인 하성도

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
tel. 02-958-4984 | <http://crpc.kist.re.kr>

편집 (주)디자인플로림 tel. 051-202-9201



BU
Inno
Brar
Solu
Mar
Ana
Idea
Suc
Man

| 편집자주 |

융합연구 분석 방법과 우리나라 학술논문의 다학제연구 특성 분석

21세기 초, 융합기술 개발을 중심으로 이루어지던 융합연구는 이제 과학기술계를 넘어 인문사회예술 분야까지 그 범위를 넓혀가고 있다. 미국이나 EU 등 많은 나라들은 일찌감치 이러한 융합연구의 범확장성 및 중요성을 인지하고 다양한 연구개발 프로그램이나 정책을 마련, 수행 중에 있다. 이처럼 정부차원에서도 융합연구에 대한 지원이 확대되고, 실제 사회에서도 융합연구가 활발해 지고 있다는 사실에 대해 부정하는 이는 없다. 그러나 이러한 융합연구의 활성화에 대하여 객관적이고 정량적인 분석을 수행하여, 융합연구가 과학기술계 내에서 활성화 되고 있으며, 인문사회예술 분야로까지 넓어지고 있는 현상에 대하여 체계화 하고, 그 방향성과 합의를 고찰한 연구는 많지 않다.

우리나라는 전 세계에서 유일하게 매년 국가융합기술 발전 시행계획을 통하여 정부차원에서의 융합기술 R&D에 대한 통계를 발표하고 있다. 하지만 이는 R&D 내용 분석을 바탕으로 조사된 통계가 산업단위의 특성에 따라 분류된 기준을 바탕으로 작성한 통계이기 때문에, 과제단위 또는 연구 내용에 따른 융합의 실체를 이해하기에는 부족하다. 해외에서는 논문을 중심으로 융합연구(정확히 말하면 다학제간 연구)의 활성화 정도를 측정하려는 학문적인 시도들은 이루어지고 있으나, 아직 이를 활용하여 통계적으로 융합연구의 활성화 정도나 분야의 확장성을 보여준 적은 없다. 즉, 융합연구의 중요성은 21세기 시작과 함께 계속 강조되어 왔음에도 불구하고 아직까지 융합연구를 제대로 분석할 수 있는 방법은 존재하지 않는 상황이다.

이에 본 호의 1부에서는 국내외에서 융합연구를 분석하기 위해 어떠한 시도들이 이루어지고 있는지 살펴보고자 한다. 국내 국가연구개발사업 내에서 융합연구를 분류하는 방법과 연구의 융합성을 측정하기 위한 국내외 융합지수 개발 현황을 비교 분석함으로써 융합연구 분석을 위해 필요한 방안을 도출하고자 한다.

이어 2부에서는 다양성 지표를 통한 논문의 다학제성 분석 방법을 활용하여 국내의 연구분야별 융합연구 정도를 살펴보고, 융합도와 연구성과간의 상관관계를 도출해 보고자 한다. 국내의 연구결과를 중심으로 다양성 지표를 활용한 융합연구 분석 및 국가연구개발사업 중 융합연구로 분류된 사업 결과물에 대한 융합도 분석을 최초로 시도한 만큼 향후 융합연구정책 수립 및 분석에 새로운 시각을 제시할 수 있을 것이라 기대된다.

바이오의료기기산업의 중심으로 성장하다

디지털 헬스케어

최근 정보통신기술과 생명공학기술의 급속한 발전과 함께 융합연구의 활성화는 이 두 분야간의 융합을 유도하였으며, 이는 디지털 헬스케어라는 새로운 분야의 탄생으로 이어졌다. 그리고 이렇게 탄생한 디지털 헬스케어는 이제 학문적 개념에서의 융합분야를 넘어 산업에서의 독자적인 분야로 거듭나고 있다.

이에 본 호의 3부에서는 최근의 디지털 헬스케어 움직임에 대해 간략히 살펴보고, 이러한 디지털 헬스케어와 관련된 국가연구개발사업에 대해 한번 살펴보고자 한다. 본 내용을 통해 디지털 헬스케어 관련 연구자들이 산업 현황을 파악하고, 관련 정부 R&D 지원 사업에 대해 파악할 수 있기를 기대한다.

융합R&D과제의 식별과 융합지수의 연구현황

▣ 융합연구정책센터 송가은 (gaeunsong@kist.re.kr), 서덕록 (dukrok@kist.re.kr)



01

서론

21세기에 들어 기후변화, 고령화, 환경오염 등 인류가 직면한 이슈와 문제들이 글로벌화되고 복잡해지면서, 지식 간 융합을 통한 문제해결과 가치창출이 새로운 경제사회 패러다임으로 등장하였다. 기술융합은 차세대 기술혁신을 이끄는 주요 동인으로 여겨져 왔으며, 연구개발과 제품혁신, 나아가 사회문제해결에 있어 그 역할이 증대해졌다². 이에 융합적 사고에 대한 중요성이 지속적으로 강조되었고, 융합은 연구뿐만 아니라 기술, 제품, 산업 등 전 분야에 걸쳐 광범위하고 일상적으로 일어나는 활동으로 확대되어 그 입지를 다지고 있다. 이러한 이유로 각 국에서는 융합기술 조기 선점의 중요성을 강조하며 이를 구체화할 수 있는 융합 관련 연구사업과 이를 수행하는 융합형 기관의 수를 급격하게 늘려왔다.

융합기술의 규모와 역할이 확대되면서 우리나라는 이에 대한 정책적 지원을 위해 2009년 ‘국가융합기술발전 기본계획’을 수립하고, 2013년까지 융합기술 수준을 선진국 대비 70~90%까지 끌어 올리기 위해 융합기술에 대한 투자를 확대하였다³. 이에 따라 우리나라는 융합기술 R&D에 대한 투자를 1.54조원(2009년)에서 3.26조원(2015년)으로 지속적으로 확대하며(연평균 13.2%), 지난 7년간 총 15.1조원을 투자하였다. 이러한 정책적 지원을 바탕으로 융합기술 R&D는 일반 R&D 대비 높은 성과를 이뤄낼 수 있었으며, 특히 사업화 성과에서 탁월한 성과를 드러냈다⁴.

하지만 국내 융합연구의 양적 확대에 비해 융합연구 자체에 대한 개념 및 체계적인 분석방법 등에 대한 연구는 다소 미흡하였다⁵. 융합연구 관련 정책은 추진 중에 있으나, 융합연구 현황 진단 및 평가 방식은 체계적으로 정립되어 있지 않은 상황인 것이다. 여기에 최근 R&D 효율화 논의 속에 질적성과의 확대와 R&D투자확대에 대한 재검토의 필요성이 일각에서 제기되고 있어, 지난 10년간 지속적으로 양적 확대가 이루어진 융합연구에 대한 체계적이고 합리적인 분석이 시급한 상황이다⁶.

이에 본 리뷰에서는 국가 연구개발사업 내 융합연구에 대한 체계적인 분석방법을 모색하기 위하여 융합연구 분석방법들과 이의 한 척도인 융합연구지수에 대한 국내외 활용 현황을 살펴보고자 한다. 이를 바탕으로 우리 실정에 적합하고 체계적인 융합연구과제의 분류 및 융합성 평가방법 마련 방안을 제안함으로써 향후 융합연구의 활성화 정책 제언의 객관적인 근거를 마련해 보고자 한다.

02

국내·외 융합연구 분석 방법

1. 미국: 대학에서 이루어진 ‘연구 성과’ 중심의 융합성 평가

2002년 NBIC 전략보고서를 발표하며 융합연구 활성화를 표명한 미국은 융합연구에 대한 정책연구도 병행되었다. 학제 간 연구 활성화 등을 목적으로 융합연구가 이루어지는 대학에서 이에 대한 정책 연구가 활발히 진행되었으며, 몇몇 대학에서는 학제 간 연구를 장려하기 위해 R&D 관리방식에 직교(orthogonal, cross-cutting) 매트릭스 구조를 도입하였다²⁾. 이는 연구비나 교수진 등을 분야에 따라 나누지 않고, 서로의 영역을 넘나들 수 있도록 통합하여 관리하는 체계로, 후에 미국립과학재단(National Science Foundation, 이하 NSF)에서도 융합연구의 발전을 위해 도입되어 적용된 바 있다.

한편, 미국 내 다수의 공공기관과 대학에서 융합연구가 활발해지면서 이를 총체적으로 관리하고 현황을 진단할 수 있는 기관이 필요하였고, 미국립과학한림원(National Academy of Sciences), 국립공학한림원(National Academy of Engineering), 의학협회(Institute of Medicine)는 2003년 미국 내 학제 간 연구 장려를 목적으로 NAKFI(National Academies Keck Futures Initiative)를 구성하였다. NAKFI는 4천만 달러 규모의 예산을 투입한 15년 장기 국가 이니셔티브 프로그램으로 미국 내 융합연구 현황을 평가하고 활성화하기 위해 융합연구 관련 컨퍼런스를 구성하고, 지속적으로 융합연구 기금을 구성하는 등의 활동을 수행하였다.

NAKFI는 ‘Facilitating Interdisciplinary Research(2004)’를 통해 융합연구^{가)}를 ‘팀이나 개인단위의 연구방식 중 하나로, 정보, 데이터, 기술, 도구, 관점, 개념, 이론들을 둘 이상의 학제 혹은 전문지식분야에서 통합하여, 하나의 학제나 분야에서 해결할 수 없는 연구의 근본적인 이해를 증진시키거나 문제를 해결하는 것^{나)}’으로 정의하였다²⁾. 이 정의는 NSF에도 명시되어, 현재 미국 내 융합연구의 정의로 통용되어 사용되고 있다.

NAKFI는 융합연구에 대한 지원과 함께 융합연구 활성화를 위한 융합성 평가 업무도 수행해왔다. 융합성 평가를 위해 NAKFI는 융합성을 측정하려고 시도하였지만, 융합성 평가에 대한 정확한 척도와 체계의 부재로 미국 내 융합연구가 얼마나 활발히 수행되는지, 지원하는 연구에 얼마나 다양한 학제가 융합되는지를 측정할 수는 없었다. 이후 이를 뒷받침하는 연구가 대학과 연계하여 활발히 이루어졌으며, 이에 대한 자세한 설명은 ‘해외 융합지수 연구 현황’에서 다루기로 한다.

가) 융합연구(converging research)는 학제 간 연구(interdisciplinary research)의 새로운 유망 연구방법^{으로}, 본 연구에서는 동일한의미로 사용함
나) Interdisciplinary research (IDR) is a mode of research by teams or individuals that integrates information, data, techniques, tools, perspectives, concepts, and/or theories from two or more disciplines or bodies of specialized knowledge to advance fundamental understanding or to solve problems whose solutions are beyond the scope of a single discipline or area of research practice.

2. 한국: 융합연구사업 분류를 위한 '과제' 중심의 분석

우리나라는 융합연구의 경쟁력 강화와 신속한 확산을 위하여 정부에서 전반의 계획을 수립한 후, 시행하는 하향(top-down)방식을 채택하였다. 특정 주제에 대해 기술 측면에서 문제를 해결하기 위한 단기 프로그램 형식으로 융합사업을 추진하고 있다. 따라서, 각 대학의 연구실에서 후속연구를 지속적으로 진행하는 해외와는 추진체계에 큰 차이가 있으며, 우리나라는 중장기계획의 수립과 성과의 모니터링을 위해 융합연구 현황 파악이 필수적이다.

국가연구개발사업의 과학기술과 연구분야를 분류하기 위해 우리나라는 다양한 관점의 분류체계가 수립되어 있다. 국가연구개발사업의 기획·평가·관리 기본체계로 활용되는 과학기술표준분류체계가 대표적이며, 이 외에도 산업분야, 연구개발 단계 등에 따라 다양한 형태의 분류체계를 구축하여 활용하고 있다. 이는 연구개발투자의 특성과 방향을 이해하는데 기반을 제공하고 있으며, 정책의 방향 설정과 그 성과의 이해에 가장 기초적인 자료로 활용되고 있다(표 1). 하지만 현재 융합연구를 분석하기 위한 별도의 분류체계는 만들어져 있지 않기 때문에, 국내의 여러 정책연구기관에서는 다양한 접근 방식으로 융합연구 분류체계 수립을 시도하고 있다.

표 1. 국가연구개발사업의 주요 분류체계*

분류 체계	분류 방식	분류 개수	
		대분류	소분류
표준산업분류	산업분야별 분류	대분류	7
		중분류	65
		소분류	547
국가과학기술표준분류 (과학기술 분야)	과학기술분야 분류체계	대분류	16
		중분류	207
		소분류	1,648
미래유망 신기술(6T)	정보통신(IT), 생명(BT), 나노(NT), 우주항공(ST), 환경(ET), 문화콘텐츠(CT)의 6T 기술별 분류	대분류	7
		중분류	15
		소분류	88
국가과학기술지도 (NTRM)	국가경쟁력 확보를 위한 핵심기술 (2008~2012)	대분류	5
		중분류	99
		소분류	-
국가중점과학기술	국가경쟁력 확보를 위한 핵심기술 (2013~2017)	대분류	5
		중분류	120
		소분류	-
녹색기술 분류	녹색기술 정의에 의한 분류	대분류	6
		중분류	14
		소분류	57

국가연구개발사업조사분석의 과학기술표준분류 활용한 분류

한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발행하는 매년 ‘국가연구개발사업 조사 분석’에서는 ‘국가융합기술발전 기본계획’에 따라, 2009년부터 융합연구에 대한 분석을 별도로 수행하였다. 과학기술표준분류 대분류를 기준으로 2개 이상의 분야를 활용하여 수행되는 과제를 융합연구과제로 분류하였다⁹.

표 2. 국가연구개발사업 조사분석에서의 융합연구과제 산출방식

과제	사업명	과학기술 표준분류 연구분야	연구분야 비중1	과학기술 표준분류 연구분야 2	연구분야 비중2	과학기술 표준분류 연구분야 3	연구분야 비중3	연구비 (천원)
A	가	NA03	100	-	-	-	-	100,000
B	나	NB04	70	NB01	30	-	-	100,000
C	다	NB07	50	NA03	30	NC02	20	100,000

표2의 예시에 따르면 단일분야 연구로 이루어진 과제 A는 과학기술표준분류상 연구분야 비중이 NA분야 100%이므로, 융합연구과제에서 제외된다. 과제 B의 경우에도 연구분야 1과 2가 동일한 대분류(NB)이기 때문에, 융합연구과제에서 제외된다. 과제 C의 경우 연구분야 1, 2, 3의 대분류가 모두 NB, NA, NC로 다르기 때문에 융합연구과제로 분류된다.

이렇게 대분류만을 기준으로 융합연구를 분류할 경우, 같은 대분류 내에서도 서로 성격이 크게 다른 분야가 있는데, 이들간의 융합연구가 이루어질 때, 이를 융합연구로 식별할 수 없다는 한계가 있다. 예를 들어, 물리학 대분류(NB) 내에는 반도체(NB0607)와 천체물리(NB0802)라는 소분류가 존재하는데⁸, 연구과제에서 이 두 분야를 융합한 연구를 수행하더라도 국가연구개발사업 조사분석의 식별체계에서는 비융합연구과제로 분류되게 된다. 또한 역으로 촉매화학(NC0307), 미생물/효소촉매(LA0903), 촉매/반응기술(EC0101)과 같이 소분류 단위에서 상당히 유사한 분야간의 융합연구는 속한 대분류가 다르기 때문에 융합연구로 분류하게 된다는 한계가 있다. 국가연구개발사업 조사분석의 융합연구 식별방법은 과학기술표준분류를 기반으로 융합연구과제를 쉽게 식별할 수 있는 방식이며, 정부에서 공식적으로 발표하는 통계라는 점에서 의미가 있다.

융합연구사업의 실태조사에거의 복수기술 활용 비중에 따른 분류

이광호(2013)는 융합연구과제를 분류하고, 융합연구에 대한 투자특성을 분석하기 위해 ‘융합연구사업의 실태조사와 연구개발 특성 분석’을 수행하였다. 해외와 국내 융합연구사업을 나누어 분석하였으며, 융합연구를 정책단위와 사업단위로 나누어 분석하고 시사점을 도출하였다. 국내 정책단위 분석은 제1차 국가융합기술발전 기본계획과 제1차 산업융합발전 기본계획을 대상으로 진행하였다. 사업단위의 경우 연구분야 비중과 관계 없이, 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)의 연구개발 조사분석자료에 등재된 전체 연구개발사업을 모집단으로, 단일기술 분류 비중이 80% 이하인 사업 59개를 융합연구사업이라 분류하였다¹⁰. 이를 대상으로 기술특성과 투자특성, 성과특성의 세 가지 분석을 수행하였다. 해당 연구의 융합연구 투자금액은 위의 분류에서 융합연구에 해당되는 과제의 연구비를 합산하였다. 과제의 연구비를 그대로 반영함으로써, 융합연구 전체에 대한 투자현황을 비교적 간단하게 산정할 수 있지만, 융합연구 지원 사업에서 수행하는 모든 과제를 융합연구로 간주하여 실제 연구내용은 반영되지 않는다는 단점이 있다.



국가 융합기술 R&D 조사분석에서의 다기준 전문가 식별

융합연구정책센터에서는 ‘국가 융합기술 R&D 조사분석’에서 2012년도 미래창조과학부 연구개발사업과제 18,972개에 대한 과제요약정보를 기준으로, 전문가들의 융합연구과제 선정 작업을 통해 2,133개의 융합연구과제를 도출하였다¹⁾. 과학기술표준분류상의 대분류기준 2개 이상의 분야과제 중에서 타 분야로부터 아이디어나 방법론이 접목되거나, 기술 간의 결합이 있는 과제 등을 융합연구로 분류하였다. 이를 각각의 분류기준 항목으로 두고, 각 항목에 대한 결정은 외부전문가의 검증을 통해 수행하였다.

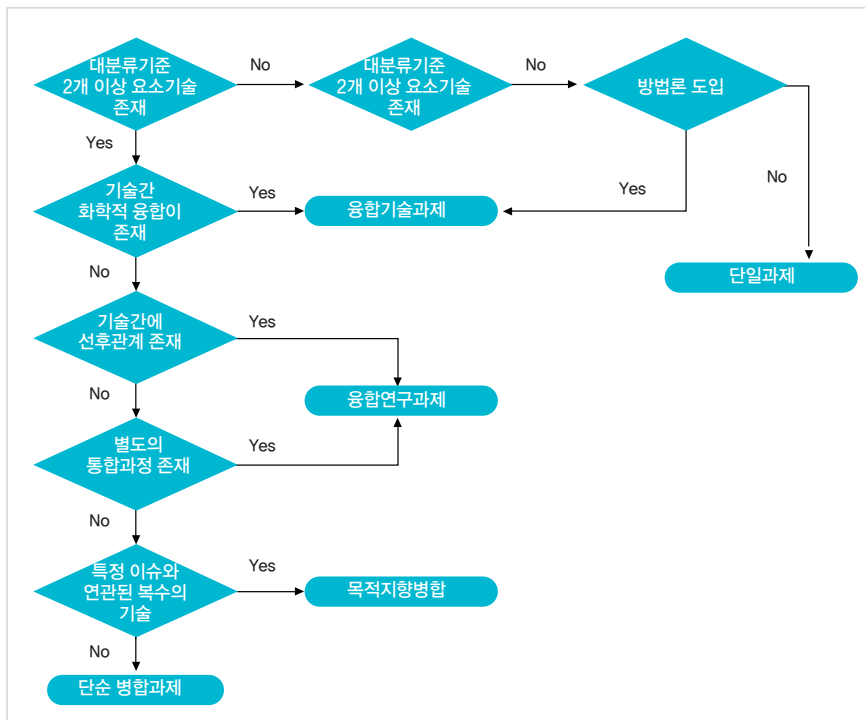


그림 1. 국가 융합기술 R&D 조사분석에서의 융합연구과제 분류절차

해당 식별방법을 이용한 ‘국가 융합기술 R&D 조사분석’에 따르면 2012년 미래부 주요 연구개발사업 중 융합연구과제 투자 규모는 3,219억 원으로, 전체 미래부 연구개발 투자 규모의 14.28%를, 융합연구과제 수는 2,133개로 전체 연구과제 수의 11.24%를 차지하였다. 국가 융합기술 R&D 조사분석에서 활용한 식별방법은 융합의 성격을 다양한 관점으로 반영하여 정밀하게 융합과제를 가려낼 수 있다는 점에서 의미가 있다. 형식적인 측면이 아닌 연구 내용을 분석하여 융합연구를 식별했다는 점에서 다른 식별방법들과 차별화되는 것이다. 하지만 해당 연구는 ‘아이디어 유입’, ‘기술 간 화학적 융합’ 등 객관적으로 파악하기 어려운 요소들을 평가지표로 사용하여, 전문가의 주관을 크게 개입시킨다. 또한, 이로 인해 새로운 과제가 생길 때마다 전문가가 융합연구과제 여부를 식별해야하기 때문에, 실용적인 측면에서 문제가 있을 수 있다.

3. 융합연구 식별·분류체계 비교분석

세 가지 융합연구 분류방법은 각각의 장단점이 있다. ‘융합연구사업의 실태조사’에서는 연구개발사업단위 분류로 인하여, 융합연구의 비율이 실제보다 과잉 추정되어 있을 가능성이 있다. ‘국가연구개발사업 조사분석’의 식별방법은 융합연구 식별 기준이 까다롭지 못하여, 분류된 융합연구가 실제 융합연구와 괴리가 있을 수 있다. ‘국가 융합기술R&D 조사분석’에서 활용한 방법은 대상이 넓어졌을 경우 과도한 시간이 소요되며, 전문가의 주관이 상당부분 개입되는 문제가 있다.

표 3. 융합R&D분류 및 식별방법론 비교분석

	국가연구개발사업조사분석 (한국과학기술기획평가원)	융합연구사업 실태조사 (과학기술정책연구원)	융합R&D 조사분석 (융합연구정책센터)
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 과제단위로 융합연구 분석 가능 · 융합연구의 방법론적 관점을 충실하게 충족 	<ul style="list-style-type: none"> · 융합연구사업 내 과제 단위분석까지 가능하여 거시적 관점과 미시적 관점에서의 분석 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 실질적 융합연구 분석 가능 · 거시적, 미시적 융합연구 분석 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 단순한 식별체계로 정확함이 떨어짐 · 실제 융합연구를 비융합연구로 분류할 여지가 높아 현황, 특성, 동향 등을 파악하기 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> · 융합연구사업을 선정하는 과정에서 정부의 시행계획과의 차이가 있음 · 융합연구사업내의 모든 과제를 융합연구로 분류 	<ul style="list-style-type: none"> · 융합연구 선정과정에서 전문가의 주관개입 우려 · 단일부처 과제 만들 대상으로 하였으며, 전수조사로의 확장은 어려움

국가 연구개발 사업 내 융합연구과제의 분석과 진단을 위한 융합연구 분류체계의 정립은 향후 국가 R&D 전략 수립과 R&D 예산의 효율적인 사용에 직결되는 문제이다. 또한 장기적으로 정부 차원에서 융합연구를 발전시켜 나가기 위해서는 융합연구 진행현황을 한눈에 볼 수 있어야 한다. 하지만 현재까지 국내 정책연구기관에서 제시한 융합연구 분류체계는 분류기준 자체가 광범위하거나 명료하지 않아 표준화 할 수 있는 분류체계로는 미흡한 것이 사실이다. 이에 다음 장에서는 이러한 분류체계의 한계를 보완해 줄 수 있는 융합지수의 개발현황에 대해 살펴본다.

03

융합 지수 개발과 활용

융합연구과제의 융합성 평가를 위해서는, 체계적으로 구축된 융합연구 분류체계 외에도 연구과제별 융합된 정도를 측정할 수 있는 융합지수의 개발이 필요하다. 우리나라는 제품, 특히, 과제의 융합성을 평가하기 위해 산업통상자원부, 중소기업청, 융합연구정책센터 등의 기관에서 각 융합연구 대상의 성격에 따른 융합지수를 개발하였다. 이 중 일부는 실제 현장에서 제품이나 과제의 융합성 평가의 척도로 활용되고 있다.

1. 활용목적에 따라 개발된 국내 융합지수 연구 현황

산업통상자원부의 제품융합지수

산업통상자원부는 2010년에 국가산업융합지원센터와 함께 제품융합지수를 개발하였다. 제품융합지수는 제품에서 사용된 융합기술에 대한 특허 데이터를 토대로 개발된 지수로, 제품개발에 사용된 기술의 수, 제품이 구현할 수 있는 기능의 수, 동종 및 이종산업간의 결합여부 등을 종합적으로 고려하여 도출된 융합지수이다. 대상 제품이나 서비스의 특허정보를 이용, 다음과 같은 절차를 거쳐 제품융합지수가 산출된다.

제품융합지수 산출절차

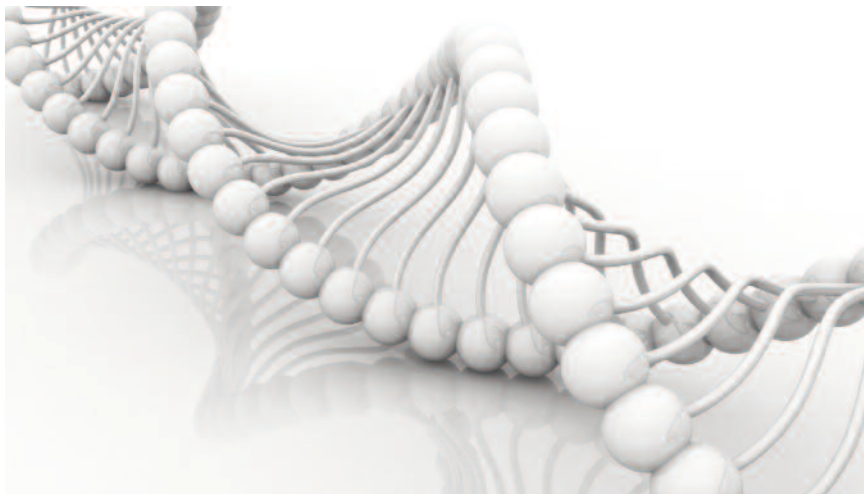
- ① 융합지수 서비스 시스템 사용자가 특허 데이터 입력
- ② 시스템에서 특허별 시간 정보, 분류 정보 및 대응 산업분류 정보를 분석
- ③ 기술발전점수, 기술융합점수, 산업연계점수를 각각 산출
- ④ 대/중/소 분류로 각각 측정된 것을 합산하여 총 융합지수 산출

표 4. 산업융합 제품의 융합지수 주요 평가 요소

요소	지수산정 방식
기술발전점수(20점)	융합제품에 최근 특허 출원된 기술이 많이 사용될수록 고득점 * 기능 점수와 시기 점수로 구성
기술융합점수(40점)	융합제품 제조과정에서 사용된 기술 개수가 많을수록, 다양한 서비스영역에 사용된 기술일수록 고득점 * 스마트폰의 경우 금융·통신·디지털컨텐츠 등 서비스 연계성이 높음 * 서비스 점수와 기능융합 점수로 구성
산업연계점수(40점)	사용기술이 특정 산업을 벗어나 여러 산업군에 폭넓게, 균등하게 사용될수록 점수가 높음 * 이종산업연계 점수와 동종산업연계 점수로 구성

※ 모든 평가요소는 특허자료를 이용하여 산출

제품융합지수는 융합의 다양한 성격을 평가항목에 반영하였다는 점에서 융합지수로서의 타당성이 높다. 즉, 얼마나 다양한 기술이 사용되었는지 여부를 고려하고, 해당 기술들 간의 산업적 격차까지 정량적으로 평가하여 융합성 평가의 완성도가 높다. 하지만, 특허를 중심으로 지수를 측정하고 있어, 특허를 활용하지 않은 제품에 대해서는 평가가 불가능하다는 단점이 있고, 이 때문에 사용이 제한적이다.



중소기업청의 기술융합지수

중소기업청은 기술융합지수를 개발하여 2012년부터 '중소기업 융복합기술개발 사업'의 과제선정지표로 활용하고 있다. 기술융합지수는 '융합'의 기술적 개념 부재를 보완하고, 제품을 사업화할 때 적용된 기술의 융합성을 객관적으로 측정하기 위해 개발되었다. 개발되는 기술의 핵심기술과 그 기여도를 활용하여, 일반 협업성 과제와 첨단 융합형 과제에 대한 융합성의 판단기준을 마련하였다.

기술융합지수 산출절차

- ① 국가과학기술표준분류체계의 대분류, 중분류, 소분류에 따라 개발 기술에 투입된 요소 기술 도출
- ② 국가과학기술표준분류 대, 중, 소 기준에 따라 요소기술별 개발기술에 반영되는 기여도 (비중, %) 산정
- ③ 계산한 기술집중도 ($\sum_{i=1}^n x_i^2$, x_i 특정제품의 개발에 기여하는 해당기술의 기여도)를 1에서 뺀 값으로 융합지수(Berry-herfindahl Index) 측정
- ④ 대, 중, 소분류로 각각 측정한 것을 합산하여 총 융합지수 산출

기술융합지수는 ①얼마나 많은 수의 기술이 사용되었는지, ②각 기술의 기여도는 고르게 분포되었는지, ③사용된 기술은 서로 얼마나 상이한지를 융합성의 평가항목으로 두고 있다. 이중 ①와 ②는 Berry-Herfindahl지수^{다)}(이하 Herfindahl지수)를 활용하여 산출하였으며, 요소기술 간 이질성(③)은 국가과학기술표준분류체계에 따라 측정하였다.

표 6과 같이 중소기업청의 기술융합지수는 제품 및 서비스의 생산에 필요한 다수의 기술이 과학기술표준분류상에서 상위분류로 나뉘어 구성될수록 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

다) Herfindahl지수는 생태계학에서 사용하는 종의 다양성지수를 경제학개념에 도입한 척도로, 얼마나 많은 수의 요소들이 고르게 분포되어 있는지를 나타내주는 지수

표 5. 기술융합지수 도출 예시

대분류		중분류		소분류		제품1	제품2	제품3	제품4
K	전기 / 전자	K04	반도체소자	K0402	회합물 소자	1.00	0.5	0.2	0.1
				K0403	반도체재료		0.2	0.2	0.1
				K0407	설계 Tool			0.2	0.1
				K0409	기타			0.2	0.1
		K06	가정용기기	K0603	조명기기		0.1	0.2	0.1
				K0609	기타				0.1
L	정보 / 통신	L09	RFID/USN	L0901	RFID 기술		0.1		0.1
				L0903	모바일				0.1
				L0909	기타				0.1
J	항공	J02	나노화학	J0202	나노화학		0.1		0.1
합계						1	1	1	1
융합지수		소분류기준				0.00	0.68	0.80	0.90
		중분류기준				0.00	0.48	0.32	0.74
		대분류기준				0.00	0.34	0.00	0.54
		전체				0.00	1.50	1.12	2.14

하지만 기술융합지수에서 융합연구 분류에 국가과학기술표준분류를 그대로 사용한 것에는 다소 문제가 있다. 국가 과학기술표준분류상 서로 다른 대분류에 속해있는 기술은 상호 이질성이 높다고 가정하였지만, 유사한 성격의 기술도 전혀 다른 대분류에 속해있는 경우가 많기 때문이다. 그럼에도 불구하고 기술융합지수는 융합성의 다각적인 면을 모두 반영하였고, 국가과학기술표준분류체계상의 대·중·소 분류를 모두 다르게 다루어 기술의 융합성을 정교하게 평가할 수 있도록 한 점에서 의미가 있다.

6T 기술분포를 활용한 기술융합지수

이관영(2014)은 6T 분류를 이용하여 기술에 대한 융합지수를 개발하였다¹³. 기술상의 ‘융합성’을 ‘타 기술과 융합하려는 성질, 또는 특정 기술 분야가 지향하는 목적을 위해 다양한 하위 요소 기술들을 병합·흡수하려는 성질’로, ‘융합지수’는 ‘어떤 기술이 타 기술과 융·복합이 일어날 가능성 정도를 나타내는 수치’로 정의하였다. 과학기술표준분류체계상 중·소분류 단위 기술군의 기술 융합성을 평가하여, 국가연구개발사업의 융합기술 현황 및 발전 가능성을 살펴보았다.

기술융합지수의 측정을 위해 먼저 총 연구비 투자액 중 6T분류의 투자액 비율을 산정한 기술요소분포($P_{\alpha,i}$)를 계산하였다. 기술요소분포 n 개의 기술 요소 i 로($i=1,2,\dots,n$) 구성된 특정 기술군 α 의 기술요소분포를 $P_{\alpha,i}$ 로 표현하고 기술요소분포 데이터는 정부 연구비로 산출하였다. 기술융합지수는 요소기술 비집중도(D_{α})와 요소기술 혼재도(S_{α})로 융합성을 정량적으로 표현할 수 있도록 하였으며, 기술요소 분포 다이어그램(p-다이어그램)을 도출하여 정량화된 지수를 시각화하였다.

① 요소기술 비집중도(D_{α})

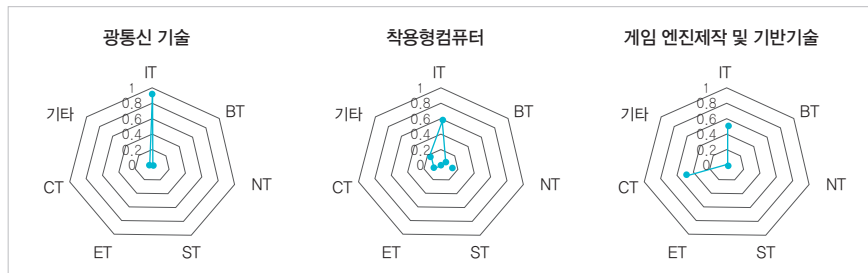
- n 개의 기술 요소 i 로 ($i=1,2,\dots,n$) 구성되어 있는 특정 기술 α 의 기술요소 분포 $P_{\alpha,i}$ 에서 최대값은 $P_{\alpha,\max}$ 라 할 때, 어떤 특정 기술 α 의 요소기술 비집중도(D_{α})는 $D_{\alpha}=1-P_{\alpha,\max}$ 로 정의함
- 기술 요소의 비집중성(decentralization)을 나타내는 계량적 융합성 표현으로서 특정 요소 기술에 의존하지 않을수록 기술 융합성이 크다는 것을 함의함
- 기술 요소의 i 의 분류가 6T 분류체계를 따를 경우 D_{α} 는 최소치 0과 최대치 $D_{\max}=0.8571$ 사이의 값을 가짐

② 요소기술 혼재도(S_{α})

- n 개의 기술 요소 i 로 ($i=1,2,\dots,n$) 구성되어 있는 특정 기술 α 의 기술요소 분포 $P_{\alpha,i}$ 라 할 때, 어떤 특정 기술 α 의 요소기술 혼재도(S_{α})는 $S_{\alpha}=-\sum_i P_{\alpha,i} \ln P_{\alpha,i}$ 로 정의함
- 기술 요소의 혼재성(mixing)을 나타내는 계량적 융합성 표현으로서 요소기술이 다양하게 존재할수록 기술 융합성이 크다는 것을 함의함
- 기술 요소의 i 의 분류가 6T 분류체계를 따를 경우 S_{α} 는 최소치 0과 최대치 $S_{\max}=1.946$ 사이의 값을 가짐

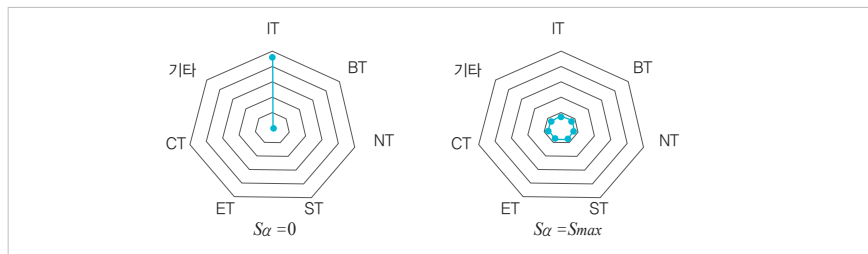
그림 3의 기술요소분포 다이어그램은 기술군 α (NTRM 또는 국가과학기술표준분류 체계상의 중분류 기술)의 6T 기술요소분포($P_{\alpha,i}$)를 다각 방사형 다이어그램으로 나타낸 것이다. 이를 통해, 기술군 α 요소기술의 기술분야(6T) 편중정도를 파악할 수 있다. 그림3에서 광통신기술 분야는 IT에 매우 편중되어 융합성이 적은 기술 분야로 해석되며 게임 엔진제작 및 기반기술 분야는 IT와 CT에 골고루 활용되는 융합형 기술로 해석된다. p-다이어그램만을 보고도 기술융합성을 평가하고, 융합 지수를 추측해볼 수 있다.

그림 2. 기술별 p-다이어그램 (광통신 기술, 착용형 컴퓨터, 게임엔진 및 기반기술)



이렇듯 요소기술 혼재도가 최대치를 갖는 경우($S_{\alpha}=S_{max}$) 중심대칭의 폐각형 형태의 p-다이어그램을 보이며, 기술 α 는 기술 종류와 관계없이 타 기술과 융·복합하려는 성질이 최대인 상태로 해석할 수 있다(그림4).

그림 3. 융합성이 최소인 경우($S_{\alpha}=0$)와 최대인 경우($S_{\alpha}=S_{max}$)의 p-다이어그램 패턴



요소기술 비집중도와 요소기술 혼재도를 통해 유망 융합기술 분야 선별 기준을 정립할 수 있고, 융합기술 현황 평가의 정량적 준거 또한 제공할 수 있다. 추가로, 융합기술의 구성요소, 융합성의 연도별 변화 분석을 통하여 특정 기술군의 융합성 변화추이 등, 기술 융합의 동적 경로 분석에도 활용할 수 있다. 또 한가지 주목할만한 것은 p-다이어그램을 통하여 기술의 융합도가 얼마나 높은지 한눈에 파악할 수 있도록 하였다. 하지만, 기술이 속해있는 분야를 6T로만 분류하여 요소기술의 세부적인 분류가 불가하며, 요소기술 간 상이함을 융합성 개념에 포함시키지 못하였다는 한계도 존재한다.

과학기술 표준분류와 6T 기술분류를 활용한 과제융합지수

이남우(2015)는 과학기술표준분류에 따른 과제의 연구분야와 6T분류에 따른 기술분야의 상관관계를 계량적으로 나타낸 융합연구지수($P_{i,x}$)를 통하여 융합R&D 과제 식별방법을 활용하였다¹⁴. 기술분야(6T) i 를 연구개발하기 위해 연구분야(과학기술표준분류) α 가 활용되는 정도를 $n_{i,\alpha}$ 라 하고, 전체 기술분야 i 를 연구개발하는데 있어 밑에서 연구분야 α 가 활용되는 비중을 $P_{i,\alpha} = \frac{n_{i,\alpha}}{\sum n_i}$ 로 표현하여 계산하였다.

기술분야 i 와 연구과제 x 의 관계는, 기술분야 i 와 이를 연구하기 위한 연구과제 x 의 상관관계를 $P_{i,x}$ 라 할 때 $P_{i,x} = P_{i,\alpha_1} \cdot X\alpha_1 + P_{i,\alpha_2} \cdot X\alpha_2 + P_{i,\alpha_3} \cdot X\alpha_3$ 로 나타내었다. $P_{i,x}$ 의 값이 작을수록, i 라는 기술 개발에 있어 x 라는 연구과제는 융합성이 높은 연구과제라 분석하였다.

이 연구는 과제단위로 융합도를 판별 할 수 있는 지수로 융합연구 현황 파악 및 전략수립에 큰 도움이 될 수 있다. 하지만, 과제단위의 연구분야 비중을 6T분야 별 총합에서 나누어 기술과 연구분야의 상관관계를 구하는 산출방식에는 보완이 필요하다. 예를 들어, 과제의 연구분야별 비중은 과제를 구성하는 연구분야 간의 상대적인 값이기 때문에 각각 다른 과제의 연구분야 비중 간 연산은 타당하지 않다. 또한, 한 연구분야에 특정기술의 비중이 낮다는 것만으로 기술 간 융합성이 높은 연구라고 판단하는 것에도 무리가 따른다. 이와 같은 연산과정의 부족함을 개선한다면, 향후 과제의 융합성 평가에 큰 도움이 될 것이다.

특허-기술 연관표를 활용한 특허융합지수

최재영 외(2015)는 특허-기술 연관표(IPC-TCT: International Patent Classification-Technology Concordance Table)를 활용하여 특허의 기술융합성을 측정하는 방법을 개발하였다. 세계지적재산권기구(WIPO)의 기술 분류체계를 활용하여 연구를 수행하였는데, 복수의 IPC를 갖고 있는 특허기술 중, 세계지적재산권기구의 중분류 및 대분류 상 각각 다른 분류에 속하는 경우 융합기술이라고 판단하였다¹⁵.

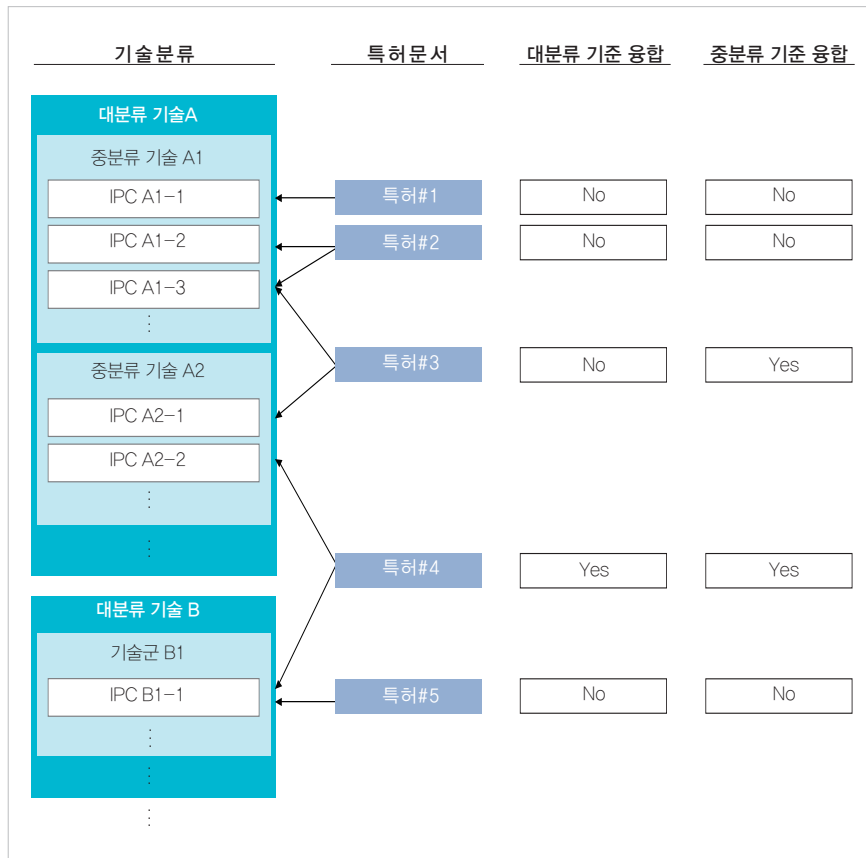


그림 4. 특허융합지수의 융합식별방법 개념도

그림 4의 개념도에서 중분류기준의 융합기술은 A1과 A2에 중복 분류된 특허3과 A2과 B1에 중복 분류된 특허 4이며, 대분류기준 융합기술은 대분류 A와 B에 중복 분류된 특허 4만 존재한다. 위와 같이 식별된 융합기술 특허를 전체 특허와 비교하여, 출원 연도별로 기술융합성을 계산하고 추세를 확인하였다. 특허융합지수를 이용하여 기술별 기술융합성의 추이, 융합기술의 비중, 융합특허기술과 비융합특허기술의 성과차이 등 다양한 분석을 시행하였다. 또한, 연도별로 도출된 기술별 기술융합성에 확산 모형을 적용하고 기술별 융합 확산속도 및 잠재력을 추정하였다.

이렇듯 특허융합지수는 기술별 또는 연도별 기술 융합성의 파악을 가능하게 하고, 다른 융합지수들에 비해 비교적 도출과정이 간단하여 다양한 주체에 의해 활용될 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만, 특허융합지수는 융합성의 다각적인 측면을 반영하지 못하는 단점이 있다. 두 가지 기술이 활용된 특허와 세 가지 기술이 활용된 특허가 동일하게 하나의 융합특허기술이라는 개체로 식별되고 융합정도의 차이를 중분류나 대분류 상의 융합으로만 구분할 수 있다. 또한 융합된 기술이 얼마나 고른 비중으로 분포되어있는지를 나타내지 못하여 융합성의 다각적인 면을 반영하지 못한다.



3. 학문적 연구 목적의 융합성 평가를 위한 해외 융합지수 연구 현황

생태학의 다양성 개념을 융합 지수 개발에 적용

해외에서 이루어진 융합성에 관한 연구는 주로 ‘다양성’에 대한 분석을 기본으로 한다. Weitzman은 생존에 위협 받는 생물학적 종 보존정책을 마련하기 위해 다양성 이론체계의 필요성을 주장하였으며¹⁶, 이후로 다양성 이론체계의 정립을 위한 많은 연구가 수행되었다. 이 중에서 다양성의 정도를 측정할 수 있는 다양성 지수에 대한 연구도 활발히 이루어졌다.

다양성 개념은 많은 분야에서 매우 중요한 역할을 하는데, 이에 따라 현재까지 다양성지수는 경제학, 과학기술, 융합연구 등의 분야에, 특히 정책연구에서 활발하게 사용되어 왔다. 대표적인 예로, 에너지 공급 보안이 쟁점인 에너지 정책 분야에서는 연료 다양성을 평가할 때에 종의 다양성 개념을 사용한다¹⁷. 또한, UN-ESCO는 ‘Applying the Stirling Model of Diversity in Culture’을 발간하며 문화정책 수립의 일환으로 문화적 표현의 다양성을 연구하는데 생태학의 다양성 모델을 적용하여, 문화적 다양성이라는 개념을 계량화하였다^{18,라)}.

특히 융합의 파급효과가 지대할 것으로 예상되는 과학기술 R&D의 정책 수립에 다양성 개념은 필수적으로 도입되어야 한다는 주장도 제기되었다¹⁹. Stirling 또한 다양성의 개념이 사회·경제관련 정책 연구에서 뿐 아니라, 과학기술 정책에도 굉장히 큰 영향력을 지닌다고 언급한 바 있으며²⁰, 다양성지수를 구성하는 다종성(Variety), 균등성(Balance), 상이성(Disparity)은 우리가 다루는 융합성의 개념과 상당히 유사하여 다양성지수를 융합성 평가에 사용하는 것에 무리는 없어 보인다.

라) 국내에서도 장용철 등(2014)은 에너지안보수준분석연구를 위해 연료의 다양성 수준을 측정하는데 다양성지수를 사용하였으며¹⁹, 정은선(2014)은 학생들의 과학개념이 얼마나 다양하게 구성되어 있는지 분석하기 위해 연구에 Shannon지수를 사용하였다²⁰.

Notation	Ecological Meanings	Interpretation for Economic Systems
A	defined area	defined system parameter
ln	logarithm (usually natural)	logarithm (usually natural)
N	total number of individuals	total system scale
N _i	number of individuals of species i	scale of option i
N _{max}	number of individuals in most populous species	scale of dominant option in portfolio
n	number of individuals in sample	<i>sampling unlikely to be employed</i>
n _i	number of individuals of species i in sample	<i>sampling unlikely to be employed</i>
p _i	proportion of all individuals in species i	proportional contribution of option i
S	number of species	number of options

Index of	Index Name (and source reference)	Diversity =
variety	Species Count (eg: MacArthur, 1965)	S
	Numerical Richness (eg: Magurran, 1988)	$\frac{S}{N}$
	Numerical Richness (eg: Odum et al, 1960)	$\frac{S}{\ln N}$
	Margalef (1958)	$\frac{S - 1}{\ln N}$
	Menhinnick (1964)	$\frac{S}{\sqrt{N}}$
	Species Density (eg: Magurran, 1988)	$\frac{S}{A}$
	Species Density (Gleason, 1922)	$\frac{S}{\ln A}$
balance	Berger-Parker (Berger and Parker, 1970)	$\frac{N_{max}}{N}$
	Shannon Evenness (Pielou, 1969)	$\frac{-\sum p_i \ln p_i}{\ln S}$
	McIntosh Evenness (Pielou, 1969)	$\frac{N - \sqrt{\sum n_i^2}}{N - N\sqrt{S}}$
'dual concept'	Brillouin (Pielou, 1969)	$\frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$
	Huribert 'rarefaction' (1971)	$\sum_i \left[1 - \frac{\binom{N-N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$
	McIntosh (1967)	$\sqrt{\sum n_i^2}$
	McIntosh Diversity (Pielou, 1969)	$\frac{N - \sqrt{\sum n_i^2}}{N - \sqrt{N}}$
	Shannon-Wiener (Shannon and Weaver, 1962)	$-\sum p_i \ln p_i$
	Simpson (1949)	$\sum p_i^2$

그림 5. 다종성과 균등성을 고려하여 개발된 다양성 지수들²⁾

다양성지수의 개발과정은 Magurran의 저서 ‘Measuring Biological Diversity(1988)’에 상세히 기록되어있다. 가장 처음에 등장했던 Gleason의 종 밀도 (Species Density) 연구부터 한 집단에서 다양한 종이 고르게 분포되어 있는 정도인 균등성(Balance, Evenness)은 측정할 수 있는 다양성지수까지 소개되었다²². 균등성을 반영한 다양성지수들은 수식이 점차 복잡해졌는데, 이에 다종성과 균등성을 모두 반영하면서도 수식이 비교적 간단한 Shannon-Wiener지수 (1949)(이하 Shannon지수)가 가장 널리 사용되었다. 처음 Shannon지수는 생태학적 문헌에서 문자열의 엔트로피를 정량화하기 위하여 고안되었으며²³, 이는 생태학 외의 분야에서도 많이 사용되어왔다. 이후 개발된 다양성지수들은 Shannon지수와 그 기능을 같이 하면서, 보다 수식을 단순화하기 위해 Shannon지수에 특정 조건을 대입하여 구체화되었다.

$$\text{Shannon's diversity: } H = \sum_i P_i \ln P_i = - \sum_i P_i \ln P_i$$

Shannon지수와 함께 생태계학 이외의 분야에서도 자주 사용되는 Herfindhal 다양성지수는 1950년에 개발되었다. 동일한 수식을 두고, 경제학 분야에서는 경제학자 Herfindhal(1950)이 고안하여 Herfindhal지수로, 생태학 분야에서는 생태학자 Simpson(1949)이 고안하여 Simpson지수로 불린다²⁴. 다양성지수의 가장 일반화 된 수식(True Diversity)에서 변수 중 하나에 특정수를 대입하고 도출된 근사식으로, 특히 경제학 분야에서 자주 사용된다.

$$\text{Herfindhal's diversity: } H = \sum_{ij(i \neq j)} P_i P_j = \sum_i P_i^2$$

위 식에서 P_i 는 집단 전체에서 종 i 의 비중으로, 집단을 구성하는 종의 개수, 즉 다종성이 고정되었을 때 하나의 종에 비율이 치우친 경우 균등성이 낮아지며 Herfindhal지수가 높아진다. 또한, 균등성이 동일할 때는 집단을 구성하는 종의 개수인 다종성이 낮을수록 지수가 높아지게 된다. 결론적으로, Herfindhal 지수가 낮을수록 다양성은 떨어진다.

Shannon지수와 Herfindhal지수는 2000년대 중반까지 다양성지수로서 지배적으로 사용되어왔다. 하지만, 두 지수로는 한 집단에 속해있는 각 종 간의 거리는 파악할 수가 없다. 이 개념을 상이성(Diversity)이라 하며, 이를 반영한 것이 2006년에 개발된 Stirling지수이다. 생태학적으로 종 간 거리가 멀수록 다양성 지수 값이 커지도록 하였다. 즉 서로 다른 종들이 모여 하나의 집단을 구성할 때, 해당 집단에서 종이 다양하게 분포한다는 것이다.

$$\text{Stirling's diversity: } H_{st} = 1 - \sum_{ij} d_{ij} P_i P_j$$

이 밖에도 다양성에 대한 많은 연구가 수행되고 지수가 개발되었지만, 현재 다양성의 가장 많은 성격을 반영하면서, 비생태학 분야에서도 널리 쓰이는 지수는 Stirling지수이다. 이를 과학정책연구에 적용하면, Stirling지수로 연구에 얼마나 많은 분야의 과학기술 지식이 사용되어있는지 파악하는 ‘다종성’, 그 중 한 분야에 치우치지 않고 분야 간 지식이 얼마나 고르게 연구에 기여하였는지 파악하는 ‘균등성’, 얼마나 다른 성격의 과학기술이 연구에 기여하였는지 파악하는 ‘상이성’, 이 세 가지 성격을 모두 파악할 수 있다. 세 가지 요소는 다양성의 상호 배타적 개념이며, 이 중 하나라도 제외 하고는 다양성을 설명할 수 없다²⁰. 그림 6은 이러한 Stirling지수의 세가지 요소 개념을 잘 보여주고 있으며, 요소의 변화에 따른 Stirling지수 도는 Stirling지수의 변화가 잘 나타나 있다.

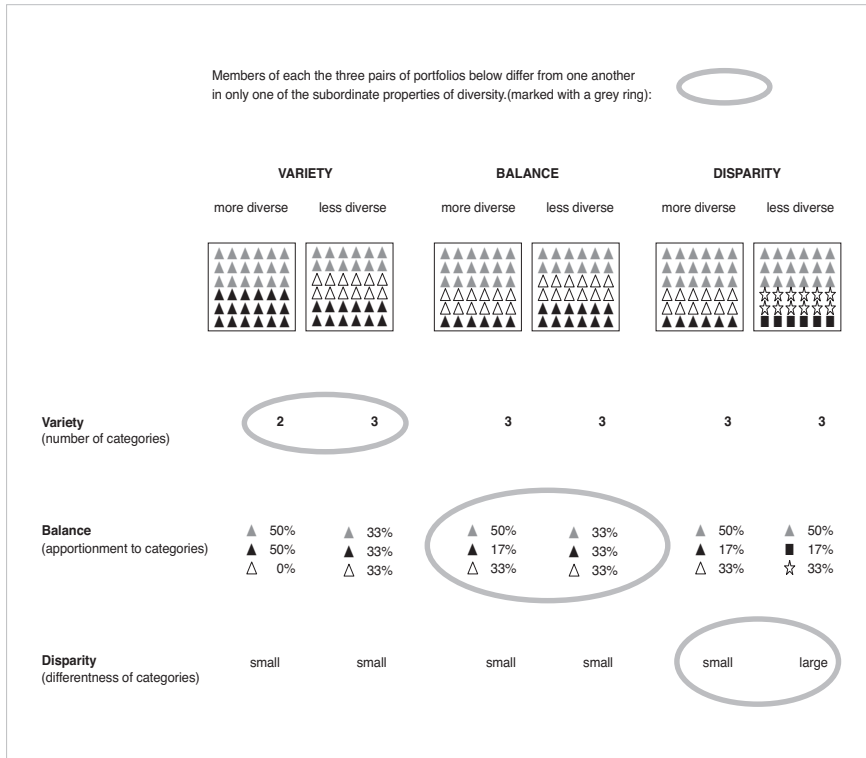


그림 6. Stirling지수로 판별할 수 있는 다양성 속성²⁾

이전까지 단순히 융합된 정도를 숫자의 크기로만 표현할 수 있었던 융합지수들과 달리, Stirling지수의 분석결과로는 과학기술분야 간 상관관계를 보여주는 과학지도(Science map)나 버블차트를 만들어 시각적인 표현을 가능하게 한다. 대부분 학문분야 간의 관계를 파악하기 위한 과학지도는 PubMed, Thomson Reuter의 Web of Science, Elsevier의 Scopus 등 서지학(Bibliometrics) 데이터를 사용해왔지만, 목적에 따라 다른 데이터를 적용할 수 있다. Balaban은 화학과목과 연계하여 연구될 수 있는 타 학문들을 살펴보기 위해, 대학에서의 선수과목 데이터를 활용하여 과학지도를 만들었다²⁵⁾. 이와 같이, 국가연구개발사업을 분석 할 때에도, 융합연구과제를 주제로 하여 과학지도를 만들 수 있다면 현재 융합연구과제의 총체적인 진단과 이해에 훨씬 더 도움이 될 수 있을 것이다.

다양성지수를 활용한 융합연구 분석

Alan과 Rafols(2009)는 Stirling지수에 서지학 데이터를 활용하여 지난 30년간 미국 과학기술 R&D의 융합성을 분석해보고, 과거의 다양성지수를 이용한 분석 결과와 비교하였다²⁶. 과거의 연구들은 최근 30년 간 융합연구가 상당히 활성화(약 50% 향상)되었다고 증명해왔지만, Stirling지수를 이용한 Alan의 연구에서는 전체적으로 연구의 융합성이 약 5% 향상되었다는 결론이 도출되었다. 기존 연구결과와 큰 차이는 과학 지도에서 원인을 파악할 수 있었다. 이전의 연구들은 서로 다른 분야를 구분은 하였지만, 구분된 분야가 상호 얼마나 상이한가는 고려하지 않았기 때문에, 유사 분야 간 융합연구와 서로 크게 다른 분야 간 융합연구의 융합성이 동일하게 측정되었다. 따라서 과거 30년간 유사한 분야 간의 융합연구가 차지하는 비중이 높았으며, Alan의 연구는 융합성 측정에 상이성 개념이 얼마나 중요한지를 보여준다는 점에서 의미가 있다.

이와 같은 연구는 국내에서도 이루어졌다. 과학기술정책연구원(STEPI)은 생명과학분야의 학문융합지수를 연구하였으며, 총 154개의 저널에 약 2년간 등재된 한국과 미국 저자의 논문을 대상으로 인용관계를 조사하고 결과를 가시화하는 작업을 수행하였다²⁷. 해당 연구에서는 Stirling지수를 사용하지는 않았지만, 다중성, 균등성, 상이성을 각각 가중치가 동일한 변수로 더하여 융합성을 도출하였다. Alan의 연구와 마찬가지로 인용-피인용 연구 행렬을 만들어 다중성은 전체 분야 중 서로 인용관계가 있는 분야의 비중을, 균등성은 Simpson지표를, 상이성은 행렬에서 벡터 값을 삼각함수 값으로 변환하여 사용하였으며, 이를 통해 미국과 한국 두 국가 간 학문의 네트워크 양상을 비교하였다(그림 6).

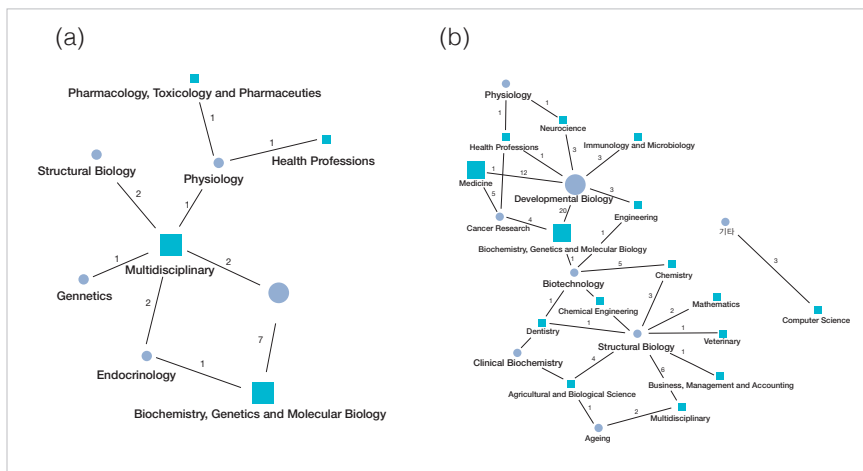


그림 6. 미국(a)과 한국(b)의 생명과학 관점에서의 학문간 네트워크 현황 비교

융합성과 영향력의 상관관계에 대한 연구

융합연구 활성화 분석 뿐만 아니라 융합지수를 이용한 융합연구의 경제적·기술적 파급력을 알아보고자 하는 시도들도 이어지고 있다.

2015년 Alfredo Yegros와 Rafols는 융합성과 인용 영향력의 상관관계를 연구하였다²⁸. 융합성에 대한 평가지수는 Stirling지수를 이용하였으며, 지수의 세 가지 요소인 다중성, 균등성, 상이성을 각각의 독립변수로, 종속변수인 영향력은 융합연구의 논문 인용 수로 측정했다. 다중성은 융합연구의 영향력과 비례하고, 균등성과 상이성의 값이 클수록 후속연구에 대한 영향력은 감소하는 결과를 얻었다. 이에 Rafols는 다양한 분야의 지식을 융합하는 것은 지식창출 관점에서 연구를 성공적으로 이끌 수는 있지만, 융합된 각 분야가 지나치게 서로 상이한 경우 연구의 위험도가 높아 실패할 확률이 높다고 해석하였다.

한편, Jian과 Bart는 같은 방식으로 연구를 수행하였지만 결과가 조금 달랐다²⁹. 다중성이 증가함에 따라 논문 인용수가 증가하였고, 균등성이 증가함에 따라 논문 인용 수는 오히려 급격하게 감소하였다. 또한, 상이성이 증가함에 따라서 가장 큰 폭으로 논문 인용수가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 즉, 많은 분야가 융합되고, 해당 분야들이 상이할수록 연구의 영향력은 높아지는 반면, 융합된 분야 간 기여도의 우위가 비등할수록 영향력은 떨어진다는 것이다. 이는 Uzzi(2013)의 연구에서 과학기술의 경제적 성과와는 별개로 하나의 분야를 핵심적으로 다룬 연구가 좋은 저널에 실린다는 결과와 비슷한 맥락으로 보인다³⁰. 이에 대해 Jian은 상이한 분야의 논리를 동일하게 적용하는 것보다는, 하나의 핵심 분야를 설정하고, 이의 문제를 해결해나가는 과정에 타 분야의 지식을 도입하는 방법이 과학계에서 영향력을 행사하는데 더욱 효과적인 연구방법이라고 주장하였다²⁹.

하지만 분야가 분명하게 구분되어있는 저널이라는 발간물에 게재되는 논문의 영향력이 과학기술의 영향력을 모두 대변할 수는 없을 것이다. 그렇기 때문에 실제 국가연구개발사업 내 융합연구과제의 장기적인 성과를 다중성, 균등성, 상이성 요인으로 각각 분석해볼 필요가 있으며, 이를 위해서는 융합연구과제를 위한 분류체계와 융합을 측정할 수 있는 지수의 통합이 필요하다.

연구 결과 중심 융합지수의 한계

해외에서는 융합연구를 측정하는 척도로 생태학에서 사용하는 종의 다양성지수가 통용되어 왔다. 경제, 경영, 정치 등 많은 분야에서 특정대상의 다양성이나 융합성을 평가 할 때, 생태학의 다양성지수를 사용해왔으며, 학문의 발전에 따라 이 지수는 융합성과 다양성의 다각적인 측면이 추가적으로 반영되어 지속적으로 정교화 되고 있다. 다만, 해외에서의 융합성 평가는 학문 중심의 연구결과물인 논문의 인용관계를 데이터로 사용하여 연구의 융합성을 평가하고 있다. 이는 미국의 NAFKI에서 명명한 융합의 정의 중 ‘연구 내용물 중심의 융합’ 개념에 입각한 것이며, 해외에서는 이에 따라 일관된 연구가 이루어 지고 있다.

하지만, 인용 중심 분석 방법은 분석 대상의 정보가 그 자체가 아닌, 분석 대상의 생성에 필요한 정보라는 점에서 다소 신뢰도가 떨어진다. 또한, 어떤 융합연구에서는 핵심이 되는 분야가 두 가지 이상 있음에도, 이를 다른 논문에서 한 분야만 인용한 경우 융합연구로 인정되지 않기 때문에 실제 상황과 분석결과에 괴리가 있을 수 있다. 서지학 연구의 권위자인 Rafols도 실제 저널의 분류와 그 저널에 출간된 논문의 내용 간 불일치가 50% 이상 발생하고 있다고 밝힌 바 있어³⁰, 서지학의 방법론을 실제 정책연구에 사용하기는 어려울 것으로 보인다.



결론 및 시사점

본 리뷰에서는 점차 커져가는 융합 연구의 중요성을 바탕으로, 기존의 국내 융합연구 분류체계 및 지수개발현황과 해외 융합연구방식의 배경적 차이점을 살펴보았다. 융합연구에 하의상달식(Bottom-up) 전략을 채택하는 해외에서는 생태학의 다양성지수를 융합연구 결과물 분석에 활용해왔다. 이는 오랜 시간을 거쳐 발전되어 최종적으로 ‘다중성’, ‘균등성’ 및 ‘상이성’으로 대표되는 융합연구 진단 방법으로 자리매김하고 있다. 반면, 과학기술정책 수립 시 정부 주도 하에 기존 성과 평가를 반영하는 우리나라에서는, 융합연구과제의 융합성을 평가하기 위한 실용적 측면을 고려한 분류체계의 개발이 매우 필요한 상황임을 알 수 있었다.

앞서 언급하였듯이, 최근 국내에서 융합성의 계량화와 정량적 평가에 대한 필요성이 대두되고 있는 것은 기존의 논문·특허 성과 평가만을 이용한 융합연구의 진단에 한계가 드러났기 때문이다. 박찬진 등의 연구에서도 연구의 논문·특허 기반 경제적 성과는 필요한 정보이지만, 이를 전반적인 융합연구 평가에 그대로 적용하는 것은 실질적인 융합 현황 파악에 어려움을 가져온다고 밝혔다. 2014년에 수립된 ‘창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략’에서와 같이 가시적인 경제적 가치 창출이 아닌 ‘사회적 문제해결’을 목표로 수립된 융합정책에는 이에 적합한 융합과제의 평가방법이 적용되어야 한다. 또한, 다양한 학문의 상호이해를 필요로 하는 융합연구의 특성 상, 단기간의 성과평가는 의미가 있다고 판단하기 어렵다.

비록 국내에서는 해외보다 다소 늦은 시점에 융합연구진단에 대한 연구가 이루어졌으나, 다양한 정책 연구기관이 주도하여 국내 실정에 맞는 실용적인 지표나 분류체계 개발에 노력을 기울여왔다. 국내 분류체계의 경우, STEPI나 KISTEP 등에서는 국가과학기술표준분류를 중심으로 융합연구 식별체계 확립을 시도했으며, 산업연구원, 중기청, 고려대학교 등에서도 다양한 목적의 융합지수 연구가 이루어져 왔다. 이와 같이 다양한 연구의 수행이 가능할 수 있는 배경에는, 국가과학기술표준분류체계와 국가과학기술지식정보서비스의 다양한 자료가 있다. 이것이 연구 수행과정에 대한 융합성 평가가 가능한 이유이기도 하다.

이처럼 국내는 해외에 비해 사용할 수 있는 척도들이 다양하지만, 아직 융합연구과제의 융합성 평가 시 국내실정에 최적화된 방법에 대한 연구가 활발하게 이루어지지 않았다. 따라서, 처음부터 지수나 분류체계를 개발하고 데이터를 수집하기 보다는 기존 융합척도와 분류체계의 문제점을 파악보완하고 표준화하여 연구의 질적 향상을 모색할 필요가 있다. 앞서 해외의 융합성 평가지수 개발현황을 심도 있게 살펴본 바, 해외의 인용관계중심 방법론은 학문중심적 성격이 강하기 때문에 국내에 적용하기는 어려운 것으로 보인다. 다만, 사용되는 다양성지수는 융합의 성격을 다각적으로 반영하기에 국내에서도 방법론과 사용 데이터를 달리하면 충분히 사용 가능할 것으로 보인다.

이를 위해 본 필자는 다음과 같은 개선방향을 제시해 본다.

첫째로, 융합연구 분류체계의 정확도를 높이기 위해 국가과학기술표준분류와 다른 기준으로 분류한 6T나 NTRM, 혹은 해외의 분류체계를 함께 접목하고 기준에 벗어나는 항목들을 재배치하여 별도로 융합연구 분류를 위한 체계 정교화 작업이 필요하다. 국가과학기술표준분류 상에서 본질적인 연구내용이 유사한 과제가 서로 다른 중분류에 소속되어 있는 경우가 상당수 존재하였으며, 이를 중심으로 보완작업이 필요하다. 국가차원에서도 분야별 융합연구 활동의 총괄적이고 체계적인 파악과 새로운 과학기술영역의 R&D사업 반영정도, 연구활동과

산업활동 분야 사이의 연계관계 파악, 분야 간 폐쇄성 파악 등을 위해서 반드시 필요한 과정으로 보인다.

둘째, 현재 시스템에서는 전문가가 검증하는 과정을 거치기는 하나, 국가과학기술표준분류상 과제별 연구 분야와 비중을 과제제안자가 지정하도록 되어있으며, 과제단위로 융합성을 평가하는 연구마다 이 수치가 그대로 사용되고 있다. 즉, 융합성 진단을 위해 매우 중요한 데이터임에도 객관적임 검증이나 기준 없이 임의로 기재되고 있어 데이터의 신뢰성을 떨어뜨리고 있다. 따라서 과제 선정 시, 과제책임자가 비중을 책정하기 보다는, 전문가 평가나 연구계획서에 대한 서지 분석을 통해 분야 비중이 자동 기입된다면 데이터의 정확성을 높일 수 있을 것이다. 예를들어, 과제제안서 내 요약문의 핵심 단어들을 기반으로 연구분야와 그 비중을 도출한다면 객관적인 융합지수를 얻을 수 있을 것이다. 이렇게 신뢰도가 향상된 데이터와 융합연구 관점에서 정교화 된 분류작업을 거친다면 과학기술 분류체계를 통하여 국내 융합연구의 미시적·거시적 분석이 모두 가능해질 수 있을 것이다.

융합기술은 단순히 21세기에 들어 잠시 유행하는 기술 트렌드가 아니다. 과학기술연구 방법 중 하나의 큰 틀로써, 아직 학문의 깊이와 적용방식이 자리 잡지 못했을 뿐, 체계를 갖추고 이를 바탕으로 지속적인 질적 성장이 이루어진다면 많은 사회적 낭비의 방지와 단일기술로 해결할 수 없는 기술적 진보를 이루어낼 것이다. 따라서, 임시방편적인 정책이나 협소한 연구보다는 전체를 아우를 수 있는 융합연구정책에 대한 깊이 있는 연구와 통합체계의 확립이 필요하며, 지금이 바로 그 시점이다.

참고문헌

1. Roco, M. C. & Bainbridge, W. S. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale. *J. Nanoparticle Res.* 4, 281-295 (2002).
 2. Policy, C. on S. Engineering, and Public et al. *Facilitating Interdisciplinary Research*. National Academies Press, (2005).
 3. 한국과학기술기획평가원(2015), 2014년도 국가연구개발사업 조사분석보고서.
 4. 융합연구정책센터(2015), 2015년도 융합기술 발전전략 시행계획.
 5. 이자람(2015), 특허정보를 활용한 융합기술 분류체계 및 특성에 관한 연구.
 6. 한국과학기술기획평가원(2011), R&D예산 조정체계와 사업평가 연계강화를 위한 기반조성에 관한 연구.
 7. Reindert K. Buter & Ed. C. M. Noyons. Searching for converging research using field to field citations. *Scientometrics* 86, 325-338 (2011).
 8. 국가과학기술위원회(2012), 국가과학기술표준분류체계
 9. 한국과학기술기획평가원(2014), 2013년도 국가연구개발사업 조사분석보고서.
 10. 이광호 외(2013), 융합연구산업의 실태조사와 연구개발 특성 분석, 과학기술정책 연구원.
 11. 융합연구정책센터(2014), 국가 융합기술 R&D 조사분석.
 12. NDSL 특허검색(2013), 융합 지수 산출 방법.
 13. 이관영 외(2014), 과학기술과 인문사회간의 융합연구 촉진을 위한 기반체제 연구.
 14. 융합연구정책센터(2015), 융합연구 식별 방법에 대한 고찰.
 15. 최재영 외(2013), 특허자료를 이용한 기술융합 측정 및 확산 트렌드 분석.
 16. Weitzman, M.L. *Quarterly Journal of Economics* 107, 363-405 (1992).
 17. Grubb, M., Butler, L. & Twomey, P. Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives. *Energy Policy* 34, 4050-4062 (2006).
 18. <http://www.uis.unesco.org/culture/Pages/cultural-diversity.aspx>
 19. Danermark, B. Review of Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty. *Acta Sociol.* 46, 166-169 (2003).
 20. Stirling, A. A general framework for analysing diversity in science, technology and society. *J. R. Soc. Interface* 4, 707-719 (2007).
-

-
21. Stirling, A. On the economics and analysis of diversity. SPRU Electronic Working Papers, 28 (1998).
 22. Magurran, A. E. Measuring Biological Diversity. (Wiley, 2004).
 23. Shannon, C.E. & Weaver, W. The Mathematical Theory of Communication. UThe Bell System Technical Journal 27, 379-423 and 623-656. (1948).
 24. Simpson H, E. Measurement of diversity. Nature 163, 688 (1949).
 25. Alexandru, T.B. & Douglas, J. Is chemistry "The Central Science"? How are different sciences related? Co-citations, reductionism, emergence, and posets. Scientometrics 69, 615-637 (2006).
 26. Porter, A. L. & Rafols, I. Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time. Scientometrics 81, 719-745 (2009).
 27. 강희종 외(2012), 학문융합지표 연구-생명과학을 중심으로, 과학기술정책연구원.
 28. Yegros-Yegros, A., Rafols, I. & D' Este, P. Does Interdisciplinary Research Lead to Higher Citation Impact? The Different Effect of Proximal and Distal Interdisciplinarity. PLoS ONE 10, e0135095 (2015).
 29. Wang, J., Thijs, B. & Glänzel, W. Interdisciplinarity and Impact: Distinct Effects of Variety, Balance, and Disparity. PLoS ONE 10, e0127298 (2015).
 30. Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M., & Jones, B. Atypical combinations and scientific impact. Science, 342(6157), 468-472 (2013).
 31. Rafols, I., Leydesdorff, L., O'Hare, A., Nightingale, P. & Stirling, A. How journal rankings can suppress interdisciplinary research: A comparison between Innovation Studies and Business & Management. Res. Policy 41, 1262-1282 (2012).



다양성지표를 활용한 우리나라 국제학술논문의 다학제연구 특성 분석

▣ • 융합연구정책센터 김준혁(joonhuck.kim@kist.re.kr), 이남우(thistree83@kist.re.kr), 서덕록(dukrok@kist.re.kr)



1.서론

융합연구는 새로운 기술의 창출과 과학 난제의 해결을 위한 창의성의 원천이며 혁신의 열쇠로서 주목받고 있다. 그러나 학문간 교류를 위한 환경 조성과 융합연구 육성에는 연구개발 투자와 별도로 많은 자원이 소모된다. 또한, 융합연구가 다루는 주제는 대부분 다양한 학문 분야가 연관되어 있는데, 전문가들은 각각 전문 분야의 기반 지식을 바탕으로 연구에 참여하고 평가한다. 그렇기 때문에 융합연구 성과물에 대한 편이(bias)가 발생할 가능성이 다른 연구에 비해서 높다.

전략적 자원 투자와 편견 없는 융합연구 분석을 위해서는 융합연구를 위한 새로운 정량적 지표가 필요하다. 정량분석 기준으로 가장 널리 활용되는 것이 학술논문 분석이다. 융합연구에 대한 고유한 특성도 논문을 활용하여 정량적으로 분석할 수 있는 선행 지표들이 존재한다. 또한 논을 활용한 융합분석지표는 기존의 논문 성과지표와도 연계하기 쉬우며, 여러 분야에서 공통적으로 활용되는 기준이기 때문에 신뢰성을 확보하기 용이하다는 장점이 있다.

그리고, 논문을 활용한 융합분석 지표를 정부의 융합연구사업 성과 분석에 사업이나 과제 단위 융합연구 투입에 대한 분석은 이루어진 바 있지만, 성과를 기반으로 한 융합연구 분석은 아직 많은 연구가 이루어 지지 않았다. 또한 기존 성과지표 뿐만 아닌 융합도지표를 통해서 융합연구사업을 분석할 수 있다면 융합연구 현황을 보다 체계적으로 이해할 수 있는 것으로 기대된다.

전 세계적으로 융합연구가 활성화되는 추세와 더불어 우리나라의 융합연구 활성화에도 고유의 분야별 특성의 존재를 예상할 수 있다. 우리나라의 융합연구의 시간에 따른 경향성이나 학문의 특성이 미치는

영향에 대한 분석을 바탕으로 우리나라에서 일어나는 다양한 융합연구에 대한 이해도를 높일 수 있다. 융합연구 추이 외에도 융합연구와 연구의 질 사이의 관련성은 주요한 주제이다. 융합도지표와 연구의 질적 성과의 인과관계 분석은 융합연구의 실질적 효과를 보여준다는 의의가 있다. 또한 융합도지표와 기존 논문 질적성과의 의미를 연결지을 수 있다면 융합도지표의 활용 범위가 더 넓어질 것이다. 융합연구는 가까운 분야간(proximal) 혹은 먼 분야간(distal) 융합연구로 분류되며 논문에서 활용한 다양성 지표를 통해서 두 종류의 융합연구를 분리해서 분석할 수 있다. 이를 통해서 우리나라 융합연구에서 어느 종류의 융합연구가 활발한지에 대해 학문간 협력 양상의 분석이 가능하다^{2,3}.

이 논문에서는 정량적 지표를 이용해서 융합연구를 비교분석하기 위해 크게 두 가지 주제를 연구하였다. 첫번째로 다양한 융합도지표를 이용해서 이들 지표들의 시간에 따른 변화를 분야별로 분석하여 융합연구의 경향성을 살펴보는 것이다. 이 과정에서 정부의 융합연구사업 성과를 융합도지표 기준으로 일반적인 연구사업 성과와의 차이점을 분석하였다. 두 번째는 융합도지표와 성과지표의 분석을 통해 융합도지표와 실제 연구성과의 인과관계를 분석하고, 융합성이 높은 성과가 장기적으로 더 많이 피인용되는지 분석하였다.

이 두 가지 주제에 대한 연구 결과는 추후 개발연구의 융합도를 판정하거나, 사업의 융합적 특성 분석, 분야별 융합연구역량 등을 이해하는 데에 참고할 수 있다. 또한 융합연구에 대한 정량적 분석, 그리고 융합연구 전략 수립에 참고자료로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

본 논문에서는 다학제성 측정 지표들을 융합도 측정에 활용하였으며, 이에 따라 논문에서 기술한 융합성 관련 내용은 엄밀하게는 다학제성과 연관된 내용임을 미리 밝힌다. 주요국에서는 다학제성(Interdisciplinarity)을 융합(Convergence)보다 더 널리 사용한다. 학제(discipline)는 주요한 공동 문제와 문제 해결 방법론, 이론, 목표를 공유하는 학문 분야로 정의된다.¹ 다학제성은 여러 학문분야가 같이 연구하는 것만이 아닌 여러 분야 공통의 주요 문제를 해결하기 위한 분야간의 상호작용을 나타낸다.

2. 다양성: 개념과 사례

1. 다양성 개념 정리 및 지표

다학제성

다학제성은 다양성(Diversity)^{가)}과 중개중심성(Betweenness Centrality)으로 구분된다⁴. 중개중심성은 연구주체간의 네트워크 분석에 사용되며 연구주체가 인용 네트워크에서 중심적인 역할을 차지할수록 크기가 커진다. Diversity는 인용 논문과 피인용 논문의 출처가 다양하고 분포가 고를 때 크기가 커진다.

다양성(Diversity)

생태계 내의 종 다양성에서 출발한 Diversity 개념은 다방면으로 확장되었으며 최근에는 과학기술정책 분야에서 활용도가 주목받고 있다. 여러 학문 분야와 연구 주체간의 상호작용을 측정하는 데에 적합한 지표로 생각되고 있기 때문이다.

Diversity가 기술 혁신에 긍정적인 영향을 미친다는 주장은 유명한 저술 'Inside the black box: technology and economies'에서 시작되었다⁵. 또한 10여 년 전부터 과학기술과 사회 간의 상호작용이 주목받으면서 과학기술 내의 Diversity뿐만 아니라 과학기술 외의 분야까지 포괄하는 더 넓은 개념의 Diversity가 쓰이기 시작했다⁶. 더 나아가 그림 1과 같이 Diversity를 Variety, Disparity, Balance의 3가지 특징을 기반으로 분류하면서 Diversity를 과학, 기술 분석에 포괄적으로 활용할 수 있는 이론적 기반이 마련되었다⁷.

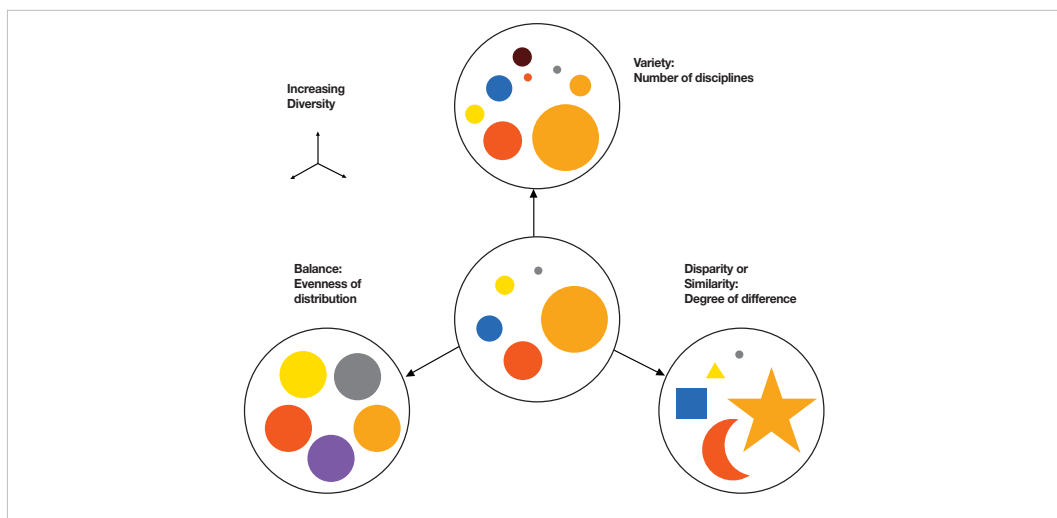


그림 1. Stirling[7]에 기반한 Diversity의 3가지 구성요소

가) 다양성의 용례가 아주 다양하여 뜻을 특정하기 어렵다고 판단, 이 논문에서는 Diversity로 표시



다양성 지표

이를 기반으로 Diversity 분석에 세가지 특징(Variety, Balance, Disparity)을 반영한 지표들이 다양하게 활용되고 있다. Variety와 Balance를 반영한 지니계수(Gini Coefficient), 섀넌 엔트로피(Shannon Entropy), 지니-심슨지수(Gini-Simpson Index)⁷ Disparity를 반영한 비유사도 평균(Average Dissimilarity)⁹, Variety, Balance, Disparity가 모두 반영된 라오-스털링 다양성(Rao-Stirling diversity)^{7,8}, 확산지수(Diffusion Score) 등이 현재 Disparity 분석에 다양하게 활용되고 있다¹².

라오-스털링 다양성과 확산지수

라오-스털링 다양성은 가중치를 부여할 수 있고 다양한 상황에 적용할 수 있는 일반화된 형태로서 다양성 측정에 널리 쓰인다. 본래 확률분포 사이의 Metrization(모든 분포 사이의 거리를 계산)을 위해 만들어진 라오 이차 엔트로피(Rao' quadratic entropy)에 인용논문 분석 분야에서의 학제간 거리 개념을 적용한 것이 라오-스털링 다양성이다. 처음 라오-스털링 다양성이 만들어졌을 때 분포 사이 거리는 Geodesic(선이나 구부러진 공간을 일반화한 표현) Distance을 의미했으나⁹ 이후 생태학적 유사도(Disparity) 등 다른 개념의 거리도 라오-스털링 다양성에 적용·활용되기 시작하였다¹⁰.

확산지수는 분야별 전방인용(Forward Citation) 데이터에서 구한 분야간 코사인 유사도와 분야별 논문 비율을 활용한 라오-스털링 다양성의 응용 형태이며, 주로 융합연구의 파급효과를 측정하는 데에 활용되고 있다¹¹⁻¹⁴.

학제간 거리와 비유사도합

학제간 거리는 Science Mapping에서 개발된 개념이며 학제, 저널, 지역, 특정 기술 등 다양한 주제간 연구 상호관계를 분석하는 데에 활용되고 있다¹⁵⁻¹⁷. 학제간 거리가 클수록 분야간의 유사도가 낮아진다.

학제간 거리에는 코사인 유사도(Cosine Similarity), 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient), 자카드유사도(Jaccard Similarity), 마하라노비스 거리(Mahalanobis Distance), 유클리드 거리(Euclidean Distance), 푸도프킨-가필드 유사도(Relatedness factor of Pudovkin and Garfield)등 여러 유사도 기준들이 활용 가능하다^{18,19}. 분야별 논문, 특허간의 유사도 측정에 코사인 유사도가 활발하게 활용되고 있다. 특히, 회사간 기술역량 연관성, 국제특허분류(IPC) 유사도, 나노 기술 맵핑, 저널의 분야(Subject Category)기준 분류, 저널 피인용간 유사도 등의 분석에 코사인 유사도가 사용되었다^{14,20-24}. 그 외에도 공저자·공동인용·유사주제간 네트워크, 텍스트마이닝 기반 논문 분석에도 코사인 유사도를 적용한 사례를 찾아볼 수 있었다^{25,26}. 또한 각 저널을 인용한 논문들을 저널별로 분류하는 표를 제작성한 다음 행간의 코사인 유사도를 네트워크 분석에서의 거리 측정에 활용하기도 하였다²⁰. 비유사도합(Total Dissimilarity)은 학제간 거리를 나타내는 코사인 유사도를 활용하여 구할 수 있다.

2. 활용지표

본 논문에서는 피인용과 융합도 분석을 수행한 여러 논문에서 다양성 측정 지표로 활용되었던 지니계수, 섀넌 엔트로피, 지니-심슨 지수, 비유사도합, 확산지수 총 5개 지표를 활용하여 분석하였다. 5개의 지표는 특성에 따라 Evenness 지표(지니계수, 섀넌 엔트로피, 지니-심슨 지수와 Diversity 지표(비유사도합, 확산지수)로 분류할 수 있다.

표 1. Diversity 측정을 위한 non-parametric 지표들과 측정 가능한 구성요소

구성요소	지표명	수식
Variety	분야의 수	N
Variety / Balance	섀넌 엔트로피(Shannon Entropy)	$H = -\sum_{i=1}^n p \log p_i$
	지니-심슨 지수(Gini-Simpson Index)	$S = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$
	지니계수(Gini Coefficient)	$G = \frac{n+1}{n} - \frac{2\sum_{i=1}^n (n+1-i)x_i}{n\sum x_i}$
Disparity	비유사도합(Total Dissimilarity)	$A = \sum_{i,j} (1-s_{ij})$
Disparity / variety / balance	확산지수(Diffusion Value)	$V = 1 - \sum_{i,j} (p_i p_j s_{ij})$





Evenness 지표

지니계수

지니계수는 소득 불평등을 표현하기 위해 경제학에서 주로 쓰이는 개념이다. 소득이 완전 평등 상태이면 지니계수가 0, 완전 불평등 상태이면 1이 되며, 본 연구에서는 인용이 분야마다 균일하게 나타나는가 판별하는 지표로 활용하였다. 특정 분야를 여러 분야에서 균등하게 인용한다는 것은 해당 분야가 여러 분야의 관심을 끄는 범용의 주제라는 의미이므로 융합연구와 연관이 있다고 추론할 수 있다.

분야의 수를 n , i 번째 분야의 인용 논문 수를 x_i 라하면, 지니계수 G 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{n+1}{n} - \frac{2\sum_{i=1}^n (n+1-i)x_i}{n\sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

새넨 엔트로피

새넨 엔트로피는 통계역학에서 활용하는 일반화된 엔트로피로 정보량을 다루는 개념이다. 확률 분포에 내재한 불확실성을 표현하며 더 많은 분야를 인용하거나 인용 분야간 Evenness가 높아질수록 새넨 엔트로피가 커진다.

i 번째 분야에 인용논문이 속할 확률을 p_i 라 정의하면 새넨 엔트로피 H 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (2)$$

지니-심슨 지수

지니-심슨 지수는 허핀달 지수(Herfindahl Index)와 흡사한 개념이다. 한 분야에서 인용을 독점하거나 여러 분야에서 과점하고 있을수록 지니-심슨 지수는 감소한다. i 번째 분야에 인용논문이 속할 확률을 p_i 라 정의하면 지니-심슨 지수 S 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (3)$$

Diversity 지표

비유사도합

일반적으로는 비유사도 평균(Average Dissimilarity)이 다양성 분석에 활용되지만, 본 논문에서는 모든 분석 대상 분야에서 분야의 수가 동일하다는 점과 분석상의 편의를 고려하여 코사인 유사도(S_{ij})의 합인 비유사도합(Total Dissimilarity) A 를 식(4)와 같이 구하여 계산된다.

$$A = \sum_{i,j} (1 - S_{ij}) \quad (4)$$

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n p_{ik} \cdot p_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n p_{ik}^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^n p_{jk}^2}} \quad (5)$$

p_{ik} 는 i 분야 논문이 k 분야에 속할 확률을, p_{jk} 는 j 분야 논문이 k 분야에 속할 확률이라 하면, i 분야와 j 분야의 코사인 유사도 S_{ij} 를 구할 수 있다. 인용논문이 속할 확률을 의미하며 인용의 분야별 분포가 유사할수록 두 분야의 파급효과가 유사하기 때문에 코사인 유사도가 높아진다. 유사도가 낮아질수록 해당 분야들의 분야별 인용은 겹치지 않는다.

확산지수

확산지수는 특정 분야의 논문이 인용되어 타 분야로 퍼져나가는 양상을 볼 수 있는 지표로 값이 클수록 해당분야의 논문이 타 분야로 널리 확산되는 것을 의미한다. 특정분야를 인용한 논문을 대상으로 i 분야에서 인용될 확률을 p_i , j 분야에서 인용될 확률을 p_j , i 분야와 j 분야간의 코사인 유사도를 S_{ij} 라 하면 해당분야의 확산지수 V 는 다음과 같다.

$$V = 1 - \sum_{i,j} p_i p_j S_{ij} \quad (6)$$

두 지표군 간의 차이

Diversity 지표(비유사도합, 확산지수)의 장점은 분야별 유사도와 분야의 크기에 대해 가중치 부여가 가능하다는 것이다. 다양성 지표들은 관계도가 낮은 분야와 인용 관계가 생길 때 크게 증가한다. 예를 들어 물리학과 화학 사이의 인용관계보다 물리학과 사회과학 사이 인용관계가 다양성 증가에 더 기여한다. 또한 확산지수는 논문수가 적은 분야와 인용관계가 생길 때 증가하는 경향이 있다. 반면 Evenness 지표(지니계수, 새넨 엔트로피, 지니-심슨 지수)는 특정 분야를 인용한 논문의 분야별 분포 균등성을 측정하는 지표들이며 분야별 가중치와 관계 없이 인용 논문의 분포가 균등할수록 지표의 크기가 증가한다.



3. 다양성지표 활용 사례

다양한 지표의 활용 사례

실제 사례를 보면 지니계수, 라오-스텔링 다양성¹⁴, 새년 엔트로피²⁷ 등이 저널의 융합도 분석에 활용되었으며^{14,27}, 새년 엔트로피, 중개중심성, 논문수, 임팩트팩터(Impact Factor)간의 상관관계를 분석한 사례²⁸, 새년 엔트로피와 라오-스텔링 다양성의 상관관계를 분석한 사례가 있다²⁹. 융합연구 성과에 Variety, Balance, Disparity가 각각 끼치는 독립적인 영향을 분석하기도 하였으며² 새년 엔트로피, 지니계수, 지니-심슨지수, 라오-스텔링 다양성을 단기, 장기 인용 파급력과 인과관계와 상관관계를 분석한 사례도 있다³⁹.

확산지수 활용사례

확산지수는 Diversity의 시간에 따른 추세분석에 적용되고 있다. 1995년에 WoS(Web of Science)의 6개 분야(Subject Category) 논문의 인용을 시계열 분석을 통해 시간이 지날수록 인용 논문의 확산지수가 커진다는 것을 관찰한 사례가 존재하며¹², 1975년과 2005년 사이 6개 분야(Subject Category)에서 통합지수가 증가했으며 라오-스텔링 다양성은 공저 여부, 인용 분야의 수 등 다른 지표들과 증가율이 크게 다른 것으로 분석되어, 확산지수의 독자적 의미가 강조된 논문도 있었다¹¹.

다학제성과 피인용지수

일반적으로 다학제성이 연구성과에 역U자(Inverted-U) 형태로 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 이는 극단적으로 크거나 작은 다학제성보다는 적당한 다학제성이 연구성과에 가장 긍정적 영향을 미친다는 것이다^{2,3,30}. 연관성이 적은 분야 사이 다학제성(Long-distance Interdisciplinarity)이 연구성과에 긍정적 영향을 미침을 주장한 사례도 있다³. 다학제성을 Variety, Balance, Disparity로 나눠서 연구성과와 회귀분석한 뒤 전체 추세상으로는 Variety는 연구성과에 긍정적이

나 Disparity, Balance는 음의 영향을 미친다는 점을 분석하기도 했다².

융합도를 Variety, Balance, Disparity로 나눈 다음 Variety와 Disparity의 증가는 논문의 장기적 인용(13년)과 긍정적 연관관계가 있음을 분석한 사례⁹가 있기는 하나 융합도, 분야간 거리, 연구성과 간의 연관관계는 아직 확립되어 있지 않다.

한국논문 분석사례

한국의 융합연구 사례를 분석하고자 하는 시도도 있었다. 한국의 일반연구자 지원 프로그램(General Research Grant Program)을 네트워크 방법론을 이용해서 분석한 사례가 있다. 이 논문에서는 논문들을 JCR(Journal Citation Report) 분야(Subject Category)별로 분류, 연구책임자(Principal Investigator)들의 전공과 함께 네트워크 방법론을 활용하여 분석했다. 결과적으로 융합 네트워크에서의 주도적 관계가 연구성과에 좋은 영향을 미친다는 점을 설명하였다³². 또 다른 사례는 한국연구재단에 접수된 연구제안서 데이터베이스를 기반으로 과학기술연구(개인, 집단)에서 융합연구가 차지하는 비율, 그리고 지식의 흐름에 대해서 분석하였다³³.

본 논문에서는 Diversity를 구성하고 있는 3개 요소를 측정할 수 있는 선행 연구의 지표들을 활용하였으며, 일반화된 지표인 확산지수 뿐만 아니라 지니-심슨 지수, 지니계수, 새년 엔트로피, 비유사도합도 동시에 측정하여 지표별 의미와 경향성 차이를 분석하였다. 선행 논문과 같은 방식으로 분야를 인용한 논문을 분야별로 다시 나누어 거리 측정과 지표 분석에 활용하였다²⁰. 본 논문에서는 시간에 따른 추세의 변화, 우리나라 국가연구개발사업 성과의 융합도, 융합도지표간 상관관계 등의 다양한 논문의 주제들을 종합적으로 연구하였다.

3. 데이터

본 논문에서는 융합도지표를 분석하기 위해 국가연구개발사업의 결과물 만을 대상으로 한 기존 연구와는 달리 Scopus에 2008년에 등재된 우리나라 논문 50,665개, 2013년에 등재된 우리나라 논문 73,496개를 전수조사함으로써 우리나라 학술 연구 전반에 대한 융합도 분석을 수행하였다.

표 2. 27개 분야의 논문수와 피인용도 *Nature, Science, PNAS, Plos One 등 전 분야를 다루는 논문을 묶은 분야로 다른 분야를 의미함.

	2008년			2013년	
	논문수 (2008)	평균피인용 (2009-2010)	평균피인용 (2014-2015)	논문수 (2013)	평균피인용 (2013-2015)
Engineering	14223	1.935	1.863	19718	3.071
Medicine	8470	4.263	4.198	18360	4.511
Material Sciences	8223	3.382	3.260	12260	5.518
Physics and Astronomy	9316	3.871	2.348	11884	4.782
Biochemistry	6553	5.338	5.041	10322	6.290
Computer Sciences	7794	1.289	1.151	9805	1.665
Chemistry	5477	5.069	5.010	9259	6.996
Chemical engineering	3470	4.369	4.220	5326	6.774
Agriculture	3040	2.817	3.283	4954	3.599
Mathematics	3076	1.879	1.458	4603	1.928
Environmental Science	1442	3.405	4.401	2951	4.737
Immunology	2275	3.973	4.560	2805	4.510
Pharmacology	1886	5.160	5.321	2646	5.152
Energy	1707	2.982	3.330	2569	5.579
Social Sciences	1433	1.058	1.549	2074	1.770
Earth and Planetary Sciences	1132	3.515	4.279	1890	3.857
Neuroscience	1105	4.824	4.963	1575	4.686
Nursing	606	2.294	2.614	1225	2.748
Business	518	2.454	5.021	873	2.470
Health Professions	604	4.072	4.024	842	2.713
Art and Humanities	190	0.537	0.616	787	1.774
Economics	341	1.730	3.217	669	1.910
Multidisciplinary*	113	24.478	23.195	631	9.740
Decision Sciences	371	2.388	3.073	490	2.414
Psychology	245	4.616	6.465	489	3.315
Dentistry	214	3.318	4.206	446	2.948
Veterinary	331	1.749	1.688	444	1.649

이와 함께, 이렇게 분야별로 분류된 2008년과 2013년 논문에 대하여 각각 2008-2010년, 2013-2015년에 인용한 논문들을 조사하고, 이 또한 27개 분야로 정리하여 융합도 분석에 활용하였다.

이와 더불어 융합도에 따른 연구성과(피인용지표) 분석을 위하여 2008년 논문에 대해서는 2009-2010년, 2014-2015년을 기준으로, 2013년 논문에 대해서는 2013-2015년을 기준으로 평균피인용 수치(해당 분야 전체 인용논문 수/해당 분야 논문수)를 구하여 회귀분석에 활용하였다.



4. 분석결과

1. 다양성 추이 분석

지표군 추이분석

2008년, 2013년에 발표된 우리나라 논문의 분야별 지니계수(그림 2), 지니-심슨 지수(그림 3), 새년 엔트로피(그림 4)를 구하였다.

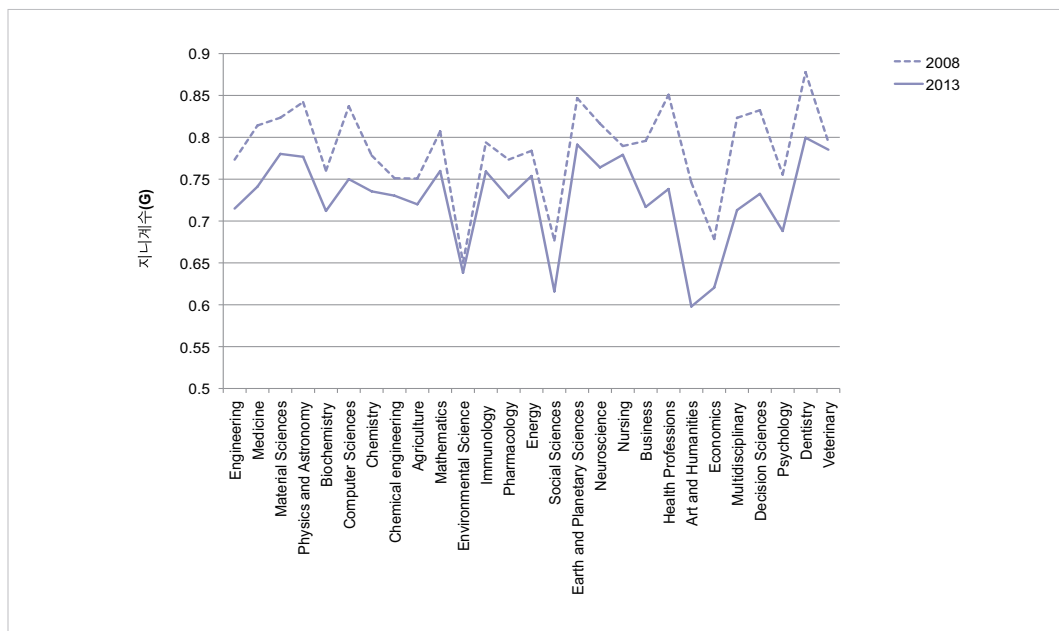


그림 2. 2008년 2013년의 분야별 지니계수 변화

2008년과 2013년의 Evenness 지표들을 분석한 결과 2013년에 분야별 인용의 집중도가 완화되는 현상을 확인하였다. 27개 전 분야에서 지니계수가 감소했고 지니-심슨지수와 새년 엔트로피는 대부분의 분야에서 증가했다(3개 지표의 81개 비교 중에서 74개는 분야별 인용의 집중도가 완화되는 경향을 보였다).

시간이 지날수록 여러 분야간 교차인용이 늘어나고 있으며, 이는 우리나라에서 융합연구가 활성화되고 있음을 시사한다.

분야별 Evenness 지표들의 편차를 살펴보면 2008년과 2013년에 경향성이 매우 유사하다. 두 해의 모든 성과에서 최상위권에 포함되는 분야들은 Multidisciplinary와 Social Science, Art and Humanities, Economics 등의 인문사회 분야에 지표들이다. 두 해 사이 Evenness 지표들이 많이 증가한 분야들 또한 Computer Science, Decision science, Health profession, Economics, Art and Humanities등으로 세 지표에서 모두 유사하게 나타났다.

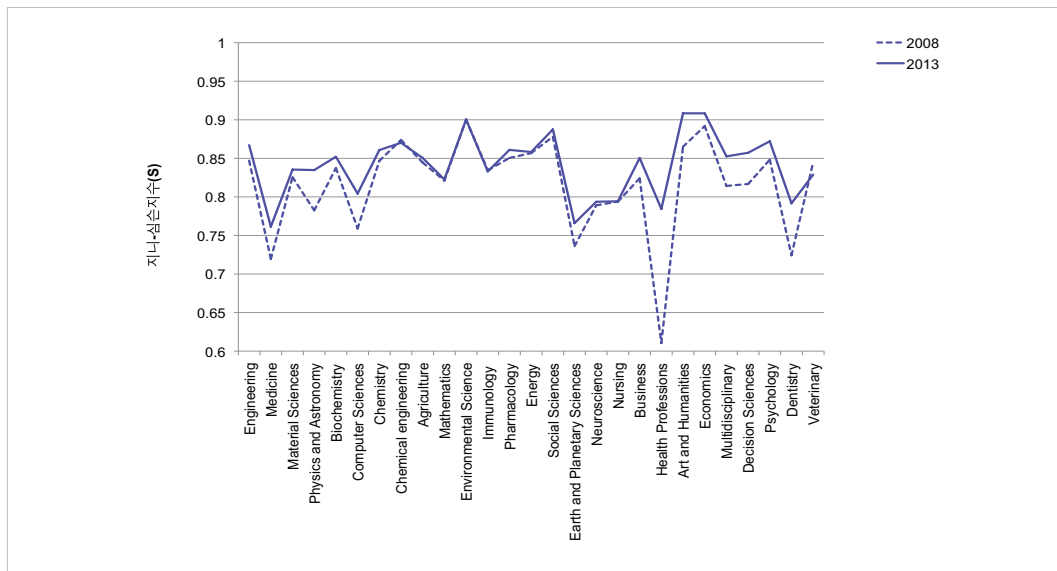


그림 3. 2008년과 2013년의 분야별 지나-십손지수 변화

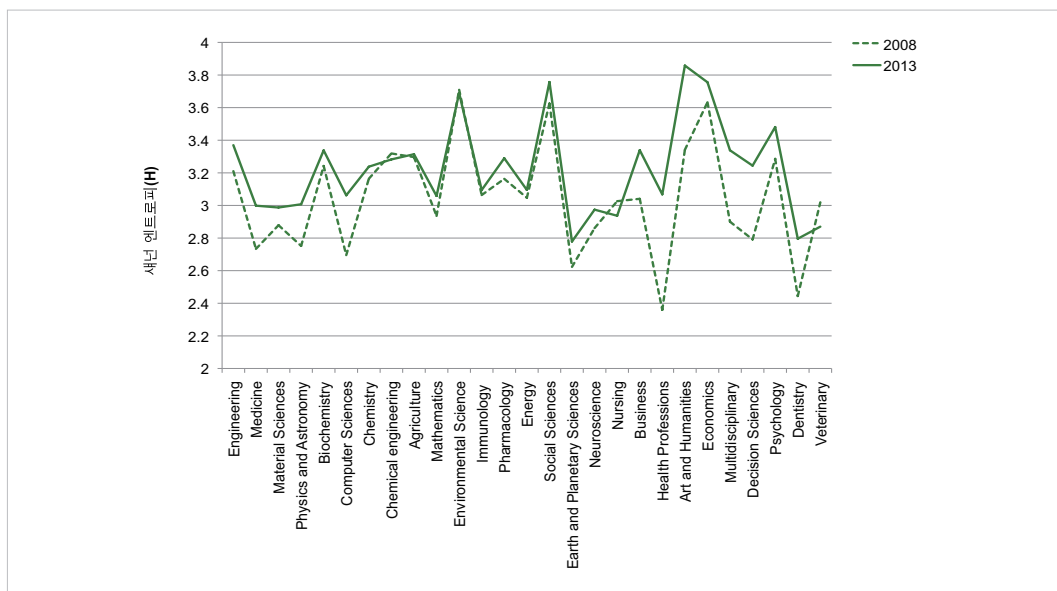


그림 4. 2008년과 2013년의 분야별 새년 엔트로피 변화



Diversity 지표군 추이분석

비유사도합과 확산지수, 두 가지 Diversity 지표에 대해서도 2008년과 2013년의 값을 구하여 시간에 따른 경향성을 비교하였다. 비유사도합은 2008년에 비해 2013년에 크게 줄어들어 분야간의 인용 양상이 유사해지고 있음을 보였다(그림5). 반면, 확산지수는 일부 분야에서는 증가하고 일부 분야에서는 감소하였다(그림 6)

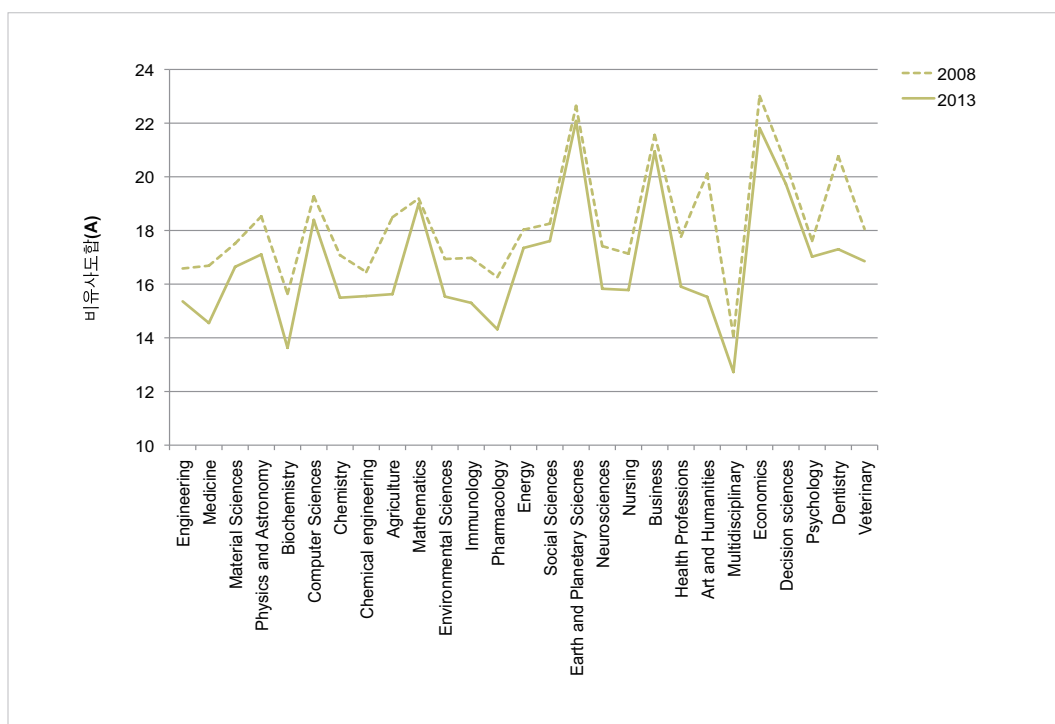


그림 5. 2008년과 2013년의 분야별 비유사도합 변화

모든 분야에서 비유사도합이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 분야간의 유사도가 점점 증가하고 있음을 의미하며, 이는 앞에서 살펴본 Eveness 지표의 변화와도 일관된 결과라 할 수 있다. 이는 국내 융합연구의 활성화를 통해 분야간의 교류가 활발해진 것으로 인한 결과임을 알 수 있다.

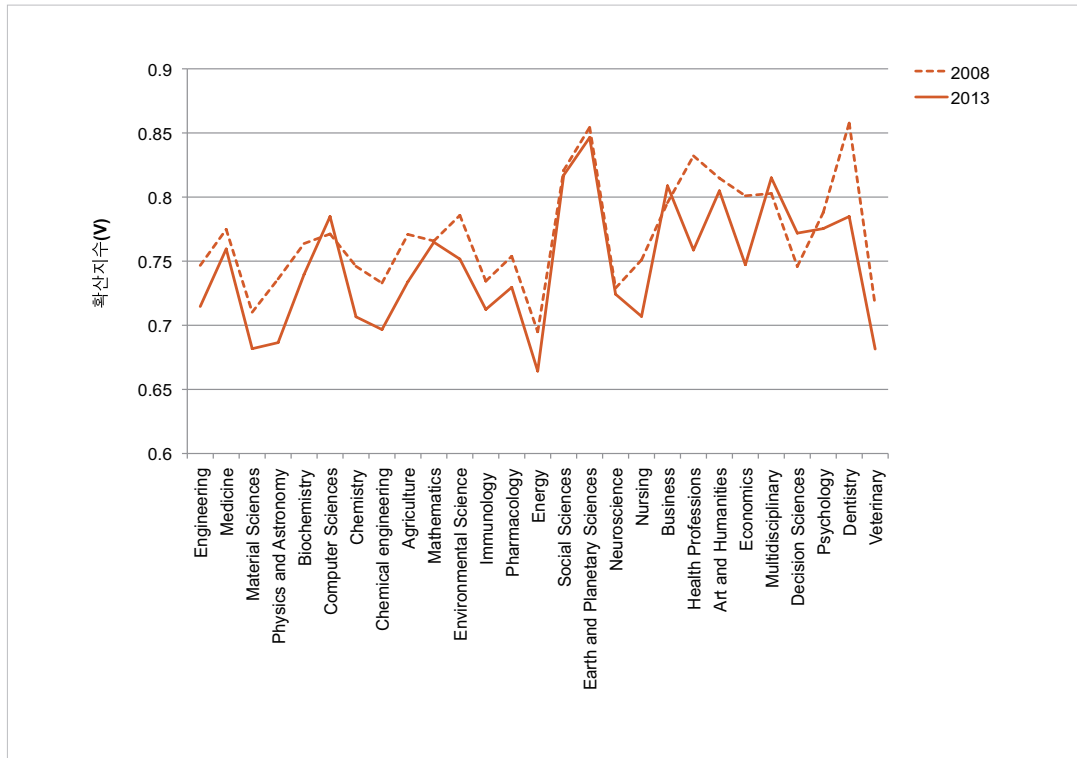


그림 6. 2008년 2013년의 분야별 확산지수 변화

연도별 지표 크기의 변화를 살펴보면 확산지수는 27개 분야 중 2008년 대비 2013년에 4개 증가 분야와 23개 감소 분야가 나타났다(그림6). 이는 2008년 대비 2013년의 코사인 유사도가 14% 정도 높게 나타났기 때문인 것으로 사료된다. 확산지수가 감소한 23개 분야의 감소폭은 4%이기에, 전 세계 논문에 대한 분야별 코사인 유사도를 활용하거나 연도별 코사인 유사도를 평균하여 2008년과 2013년 확산지수 계산시 동일한 코사인 유사도를 활용한다면 확산지수를 분석이 좀 더 유의미해질 것으로 기대된다. 실제로 다른 선행 연구에서도 시계열 분석 시 연도에 따라 통일된 코사인 유사도를 적용하였으며¹¹, 그로 인해 연도에 따른 확산지수가 일정한 증가 경향이나 감소 경향을 보이지 않거나¹², 30년간의 증가폭이 5% 내외로 작았다¹¹.

또 다른 영향 요인은 기존 라오-스털링 다양성 계산에서는 ppd_{ij} 에서 $i=j$ 인 경우를 고려하지 않는다는 것이다⁷. 그러나 확산지수의 경우 $i=j$ 인 경우에도 거리가 0인 특이점이 되지 않으며 확산지수를 다루는 논문들에서도 $i=j$ 인 경우를 제외한다는 사실이 명시되어 있지 않다^{12,14}. $i=j$ 인 경우를 계산에 반영



하면 확산지수의 감소는 1.4%로 줄어든다.

5년 사이에 확산지수가 증가한 분야들은 Computer Science, Decision Science, Business, Multidisciplinary이다. 확산지수의 증가는 이들 분야의 연구결과물이 점점 더 많은 분야에서 활용되고 있는 추세를 반영하고 있다. 나머지 23개 분야에서는 확산지수가 감소했는데, 확산지수의 감소는 가까운 분야간의 인용이 증가했으며 가까운(proximal) 융합이 강화되고 있음을 나타낸다. 다만 연도별 경향성 분석은 여러 오차 요인을 고려하여 신중한 접근과 해석이 필요하다.

비유사도평균과 확산지수가 높은 분야들은 Earth and Planetary science, Computer science, Social science, Economics 등의 분야들이다. 이들 분야에서는 먼 분야간 융합이 비교적 활발하다고 결론지을 수 있다. 비유사도평균이 높고 확산지수가 낮거나 그 반대인 분야들도 존재한다. Multidisciplinary는 비유사도평균이 가장 낮지만 확산지수는 그렇지 않다. Energy는 확산지수가 가장 낮지만 비유사도평균에서는 중상위권에 머무른다.

특정 융합도 지표의 크기가 증가가 반드시 바람직한 융합과 연구성과의 질적 개선을 의미하는 것은 아니다. 융합도 지표의 크기 증가는 연구성과의 파급력과 역U자 형태의 상관관계가 있다고 보고되고 있다^{2,3,9}.

바람직한 융합 양상은 여러 지표를 동시에 고려해서 분석해야만 한다. 비유사도평균이 낮고 확산지수가 높다는 것은 다른 분야와 연관성 있는 주제를 다루고 있음과 동시에 먼 분야에서의 인용도 활발하다는 뜻이므로 이상적 융합의 형태가 될 수 있다.

Evenness 지표군과 Diversity 지표군의 분야별 순위를 비교한 결과 Diversity 지표군에서는 Earth and Planetary Science와 Computer Science의 순위가 높았다. Evenness 지표군에서는 Health Profession, Social science, Art and Humanities, Decision science 등의 분야가 높았다.

하위권 분야들은 지표군마다 약간의 차이가 있다. 확산지수의 경우는 Energy, Veterinary, Material Sciences, Physics and Astronomy 등 분야가 하위권이였다. Evenness 지표에서는 Earth and Planetary Science, Medicine, Dentistry 등이 하위권이다. Earth and Planetary science는 분야별 인용 분포가 불균등하여 Evenness 지표 기준으로는 융합이 활발하지 않지만 확산지수 기준으로는 여러 분야와 활발하게 융합하고 있는 분야이다.

분야별 지표 순위를 살펴보면 Diversity의 2개 지표와 Evenness의 3개 지표 간에는 경향성 차이가 존재한다. 5개의 지표 의미와 경향성에 차이가 있다는 것을 감안할 때, 이들 지표간의 연관관계를 파악하는 것은 향후 융합도 측정에 있어서 매우 중요한 요소이다. 또한 이들 지표의 증가나 감소가 실제 연구성과에 어떤 영향을 미치는지도 분석할 필요가 있다.

2. 다양성 지표 기반 융합연구사업 분석

표 3. 정부 융합연구사업과 일반연구의 융합도지표 비교

	지니계수	지니-심슨지수	새년 엔트로피	비유사도 합	확산 지수
융합연구사업	0.675	0.901	3.639	15.212	0.734
27개 분야 평균	0.727	0.841	3.223	15.749	0.748

융합연구사업의 특성을 살펴보기 위해 20103년의 665개 정부 융합개발사업의 학술논문 성과를 NTIS에서 추출하여 분석을 실시하였다. 융합연구사업 성과물이 27개 분야 평균에 비해 지니계수가 낮고 지니-심슨 지수, 새년 엔트로피가 높은 경향성이 나타났다. 그 결과 융합연구사업 성과물의 Evenness가 높게 나타났다.

융합연구사업 성과물은 27개 분야 평균에 비하여 비유사도 합과 확산지수가 낮게 나타났다. 우리나라의 융합연구사업에서는 기술-인문과 같은 새로운 분야간의 융합보다는 재료공학-물리학과 같은 가까운 분야간의 융합이 더 빈번히 나타났다고 해석할 수 있다.

융합연구사업 성과물 발표로부터 지금까지의 평균피인용을 살펴보면 융합연구사업 성과물의 평균 피인용은 8.467로 27개 분야의 평균 3.967보다 2배 이상 높았다(표 4).

표 4. 정부 융합연구사업과 일반연구의 평균피인용 비교

	평균피인용
융합연구사업	8.467
27개 분야 평균	3.967

종합해 보면 융합연구사업 논문에서는 분야간의 교차 인용이 전체 평균에 비해 더 활발하고 분야간의 거리도 평균에 비해 낮다. 또한 확산지수를 기준으로 볼 때 융합연구사업은 대체로 가까운 분야간의 융합에 집중되고 있으며, 먼 분야간의 융합은 평균에 비해 활발하지 않게 나타났다.

융합연구사업 성과물은 융합도와 피인용 성과 측면에서 평균에 비해서 더 높는데 이런 측면에서 융합연구사업은 목적에 부합하게 운영되고 있다고 보여진다. 여러 연도의 융합연구사업에 대한 시계열 분석이 이루어진다면 앞으로 보다 더 정확한 융합연구사업의 파급효과 분석이 가능해질 것으로 기대된다.



3. 다양성 지표간 상관관계 분석

2013년 27개 분야별 전체 인용 데이터를 대상으로 5개 다양성지표에 대한 상관관계분석을 시행했다. (표 5)에 상관관계분석 수치를 나타냈다.

표 5. 2013년 다양성 지표간 상관관계

	지니계수	지니-심슨지수	새년 엔트로피	확산지수	비유사도합
지니계수	1				
지니-심슨지수	-0.782	1			
새년 엔트로피	-0.978	0.876	1		
확산지수	-0.353	-0.058	0.267	1	
비유사도합	0.275	-0.251	-0.272	0.539	1

지니계수는 지니-심슨지수, 새년 엔트로피와 음의 상관관계를 나타냈다. 비유사도합과 확산지수, 지니-심슨지수와 새년 엔트로피는 양의 상관관계를 나타냈다. 지니-계수가 증가하면 지니-심슨지수와 새년 엔트로피는 감소하지만 다른 두 지표는 변하지 않는다. 2008년의 다양성 지표간 상관관계도 유사하게 나타났다.



4. 다양성지표와 피인용수 분석

다양성지표와 논문의 질적인 성과와의 상관관계를 확인하기 위하여,

2013년 논문을 27개 분야로 나누어 평균피인용(연구 성과)을 종속변인으로, 다양성지표를 독립변인으로, 그리고 분야별 논문수를 통제변인으로 회귀분석을 시행했다. 다섯 개의 다양성지표는 상호 독립적이지 않기 때문에 각각 별도로 분야별 논문수(자연로그가 피인용에)와 함께 다중회귀분석을 시행하였다(표6). 그 결과, 지니-심슨지수는 양의 영향을 주는 것으로 나타났으나, 나머지 지표들은 평균 피인용과 통계적으로 유의하지 않았다.

표 6. 2013 논문 피인용지수와 다양성지표 간 회귀분석결과

	종속변수 : 2013 평균피인용				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Constant	5.304(5.613)	-15.921 †(8.159)	-6.380(5.099)	4.204(6.968)	-2.609(4.597)
지니계수	5.306(5.613)				
지니-심슨 지수		18.205 †(9.055)			
새넨 엔트로피			1.805(1.307)		
확산지수				-4.678(8.195)	
비유사도합					0.115(0.187)
논문수	0.608(0.325)	0.600 †(0.307)	0.595 †(0.319)	0.393(0.341)	0.628(0.346)

** , * , †는 각각 99%, 95%, 90%의 유의도 수준을 의미

확산지수는 기존에 연관관계가 없는 새로운 분야, 논문수가 작은 분야와 인용관계가 생길 때 증가하기 때문에 다른 지표보다 유사도가 낮은 분야간의 융합, 크기가 작은 분야로의 융합을 잘 표현한다. 새넨 엔트로피는 분야별 인용수의 균등함을 나타내는 지표이며 특정 분야가 인용수에서 독점이나 과점을 나타내지 않을 때 지표가 증가한다. 즉, 먼 분야간의 융합은 피인용에 특별한 영향을 끼치지 않으나 일반적인 융합(새넨 엔트로피의 증가)은 연구 성과에 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다(평균 피인용이 증가).



융합연구가 장·단기에서 어떤 영향을 주는지 알아보기 위하여 동일한 한 방법으로 2008년 우리나라 논문을 대상으로 회귀분석을 하였다. 여기서는 종속 변인을 단기 연구성과(2009-2010년 평균피인용)와 장기 연구성과(2014-2015년 평균피인용)로 나누어 수행하였다(표7,8).

표 7. 2008 논문 단기 피인용지수와 다양성지표 간 회귀분석

	종속변수 : 단기 피인용지수(09-10)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Constant	-0.934(4.547)	4.012(3.748)	2.523(2.873)	7.168(5.702)	9.043*(3.620)
지니계수	2.564(5.321)				
지니-심슨 지수		-3.646(4.330)			
새년 엔트로피			-0.483(0.840)		
확산지수				-7.863(7.158)	
비유사도합					-0.344*(0.145)
논문수	0.282(0.206)	0.288(0.204)	0.285(0.206)	0.178(0.221)	0.014(0.216)

** , * , †는 각각 99%, 95%, 90%의 유의도 수준을 의미

표 8. 2008 논문의 장기 피인용지수와 다양성지표 간 회귀분석

	종속변수 : 장기 피인용지수(14-15)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Constant	4.224(5.209)	5.632(4.325)	4.288(3.298)	5.592(6.661)	10.247*(4.393)
지니계수	-0.058(6.095)				
지니-심슨 지수		-1.839(4.996)			
새년 엔트로피			-0.038(0.965)		
확산지수				-1.842(8.362)	
비유사도합					-0.261(0.176)
논문수	-0.090(0.236)	-0.085(0.236)	-0.090(0.237)	-0.114(0.258)	-0.292(0.262)

** , * , †는 각각 99%, 95%, 90%의 유의도 수준을 의미

2008년 결과에서는 2013년 결과와 마찬가지로 확산지수가 단기 피인용지수에 음의 영향을 주지 않는 것으로 나타났으나, 양의 영향을 주는 것으로 나타났던 새년-엔트로피는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한 비유사도합은 단기 피인용지수에 음의 영향을 주는 것으로 나타났다.

즉, 2008년에는 서로 연관성이 적은 분야간의 융합(비유사도합의 증가)이 단기적 연구성과에는 부정적인 영향을 끼치고 있으나, 장기적으로는 어떠한 영향도 끼치지 않는 것으로 나타났다.

융합도와 장기 피인용 양상 간의 회귀분석

융합도가 높은 논문이 장기적으로 인용이 유지되는지 알아보기 위하여, 2008년 Scopus 논문에서 2014년~2015년 동안 발생한 인용이 2009년~2010년 동안 발생한 인용에 비해 얼마나 늘어났는지를 계산했다. 피인용이 늘어난 비율(Recentimpact/Initialimpact)을 Improvement라고 명명하고 종속변인으로 둔 뒤 다중회귀분석을 시행했다(표 9). 회귀분석 결과 Improvement는 확산지수와 비유사도합과 유의한 양의 인과관계를 보였으나, Evenness 지표들과는 유의한 결과가 나타나지 않았다.

표 9. 2008 논문의 장기적 평균피인용 증가와 다양성지표 간 회귀분석

	종속변수 : Improvement				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Constant	3.057**(0.834)	1.453*(0.698)	1.552**(0.524)	-0.041(0.993)	0.841(0.703)
지니계수	-1.147(0.976)				
지니-심슨 지수		0.861(0.806)			
새넨 엔트로피			0.202(0.153)		
확산지수				2.832*(1.247)	
비유사도합					0.055 †(0.028)
논문	-0.137(0.038)	-0.137**(0.038)	-0.138**(0.038)	-0.099*(0.038)	-0.093*(0.055)

** , * , †는 각각 99%, 95%, 90%의 유의도 수준을 의미

Improvement가 증가할수록 논문이 발간 후에 오랜 시간이 지나서도 높은 피인용을 유지한다는 의미므로 먼 분야와 활발히 융합하는 연구 및 기존의 분야와 연관성이 낮은 새로운 융합 성과는 장기적 효과가 더 크다는 뜻으로 해석할 수 있다.



5. 결론 및 시사점

융합연구 활성화와 객관적 전략 수립을 위해 융합연구를 정량적으로 분석할 수 있는 지표가 절실히 필요하다. 본 논문에서는 융합도를 분석한 여러 선행 논문들을 참고하여 분야별 인용논문 분포의 균등성을 측정하는 Evenness 지표 3개(지니계수, 지니-심슨 지수, 새년 엔트로피)와 분야의 크기와 분야간 거리에 가중치를 부여한 Diversity 지표 2개(비유사도합, 확산지수)의 5개의 지표를 활용하여 우리나라 학술논문의 융합도를 분석하였다.

Diversity 지표와 Evenness 지표는 융합도를 구성하는 3가지 요소(Disparity, Evenness, Variety)를 포함하는 방식에 차이가 있다. 선행 논문에 따르면 각 3가지 요소는 융합성과에 독립적 인과관계를 보인다. 여러 지표군을 구성한 것은 융합연구 분석에 있어 반영 요소에 따른 편차를 객관화하기 위한 노력의 일환이다.

본 논문에서는 우리나라의 융합연구 활성화 정도를 알아보기 위해 2008년과 2013년 우리나라 Scopus 논문의 융합도를 비교하였다. 2013년의 융합도가 2008년 보다 대체적으로 더 높았으며 Evenness 지표에서는 81개의 비교 중 74개에서 융합도가 증가하는 뚜렷한 경향성을 보였다. 비유사도합은 모든 분야에서 감소하였는데 이는 분야간의 장벽이 허물어지고 있는 상황이 지표상에 확연히 나타났다고 볼 수 있다. 이러한 융합연구 활성화를 의미하는 지표들의 변화는 일면 정부의 융합연구 육성 정책이 효율적임을 입증하는 결과라고 볼 수 있다.

2013년 융합연구사업 성과는 2013년 전체 논문 성과보다 Evenness 지표가 더 높고 비유사도합과 확산지수는 더 낮게 나타났다. 융합연구사업 성과는 피인용 측면에서도 월등했다. 확산지수가 낮은 것은 융합연구사업 성과에서 유사도가 높은 분야간의 상호작용이 더 활발하다는 의미이며, 비유사도합이 더 낮다는 것은 융합연구사업 성과가 다른 분야에서 창출한 성과와 평균에 비해 더 밀접한 관계에 있다는 것을 의미한다. 이를 기반으로 볼 때 융합연구사업은 피인용 성과 측면에서 월등한 성과를 창출하고 분야별 융복합화도 더 활발하지만 먼 분야보다는 가까운 분야와의 융합이 더 활성화되어 있는 것으로 나타난다. 이는 먼 분야간 융합을 육성하기 위해 기술-인문 융합이나 학제간 연구 사업과 같은 새로운 형태의 융합을 촉진하는 지원이 필요가 있음을 시사한다.

융합도지표와 연구성과 간 인과관계 분석 결과 비유사도합은 단기적 인용의 경우 연구성과와 음의 인과관계를 보이거나 논문의 장기적 피인용과는 양의 인과관계를 보였다. 확산지수도 논문의 장기적 피인용 양의 인과관계를 보였다. Evenness 지표 중에는 유일하게 지니-심슨지수가 단기적 인용과 양과의 인과관계를 보이는 것으로 나타났다. 이를 기반으로 볼 때 연구 분야와 유사도가 높은 여러 분야에서 관심을 가지는 연구일수록 논문의 단기적 피인용이 높지만 기술-인문과 같이 유사도가 낮은 분야간의 융합은 논문의 단기적 피인용에 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 반대로 유사도가 낮은 분야의 융합연구일수록 피인용은 장기적으로 유지되었다.

유사도가 낮은 분야(예, 기술-인문)간의 융합은 실패의 위험성을 안고 있으며 융합연구 환경 조성에 추가적 자원을 투입해야 한다. 단기적 관점에서는 연구역량 제고에 큰 도움이 되지 않을 가능성이 크지만 장기적으로는 이득이 될 가능성이 있다. 그렇기에 현재 시행되고 있는 융합연구 또한 정책적으로 장기 지원하는 것이 우리나라의 총체적 연구역량 제고에 도움이 된다 볼 수 있다.

본 연구에서 분야별 다양성지표를 구하고 논문 피인용수와 함께 분석했으나 여러 한계점이 있어 보완 연구가 필요하다. 확산지수의 추이 분석에서는 우리나라 논문의 분야간 코사인 유사도가 증가함에 따라 2013년의 확산지수가 2008년보다 낮아지는 효과가 작용했기 때문에 연도에 따른 정확한 변화를 파악하기 어려웠다. 그렇기 때문에 객관적 확산지수 변화를 분석하기 위해서는 한국 인용논문이 아닌 전세계 논문을 기준으로 코사인 유사도를 계산하거나 두 년도에 통일된 코사인 유사도 기준을 적용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

또한 현재 평균피인용 기준은 분야마다 평균 인용 빈도가 다르다는 사실을 고려하지 못하고 있다. 분야별 세계 평균 피인용도를 고려하는 FWCI 개념*을 적용했다면 분야별 평균 IF 격차를 고려한 객관적인 성과 계산이 가능했을 것으로 보여진다. 선행논문에서는 융합도를 Variety, Disparity, Evenness로 나눠 분석할 때 성과지표를 FWCI 개념을 활용해서 구한 사례가 있다².

본 논문은 단순히 시간에 따른 피인용의 증가만 분석했지만 타 논문들은 피인용의 시간적 변화를 추적하여 융합연구의 장기적 효과를 볼 수 있는 보다 정밀한 방법들을 활용하였다. 융합도가 높은 분야의 논문이 다른 논문들보다 빨리 피인용되기 시작하는지, 오랫동안 계속 피인용률을 유지하는지 등의 분석이 시행된 다른 사례들이 존재한다. 분석 대상 분야가 27개(Scopus 기준)에 불과하여 분야간 편차가 크고, 정밀한 결과물을 얻기 어려웠으며 지표간 분야별 순위 차이를 명확하게 설명하지 못했다. 한 분야 안에 여러 학문이 포함되어 있는 경우가 많아 분야의 고유한 특성을 추론하기 어려우며 분야 내의 어떤 특성이 인용논문의 분포를 다르게 만드는지 알 수 없었기 때문이다. 추후에는 Web of Science 기반의 244개 분야 혹은 더 나아가서 저널이나 논문 수준의 분석을 통하여 좀 더 입체적인 결과를 얻을 수 있을 것이다.

선행논문에서도 아직까지 융합도와 실제 연구성과 간의 인과관계나 상관관계가 명확하게 밝혀져 있지 않다. 인과관계의 경우 역U자 결과가 나온 논문들이 있으나 이와 일치하지 않은 결과도 다수 존재한다. 향후 더 정밀한 단위로 분석을 시행하여 다양한 융합연구의 양상이 어떻게 실제 연구성과로 이어지는지 분석한다면 좀 더 가치있는 연구가 될 것이다.

* FWCI=분야별 한국 논문 IF/분야별 세계 평균 IF³⁴

참고문헌

1. Darden, L & Maull, N. (1977) Interfield theories. *Philosophy of Science*, 44, 43-64
2. Yegros-Yegros, A., Rafols, I., D'Este, P. (2015) Does interdisciplinary research lead to higher scientific impact? The different effect of proximal and distal interdisciplinarity. *Plos One*, 10: e0135095-3n
3. Lariviere, V., Huastein, S., Boerner K. (2015) Long-distance interdisciplinarity leads to higher scientific impact. *Plos One*, 10: e0122565-4n
4. Wagner, C, S., Roessner, J, D., Bobb, K., Klein, J, T., Boyack, K, W., Keyton, J., Rafols, I. and Boerner, K. (2011). Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research(IDR): A review of the literature. *Journal of Infometrics*, 165, 14-26.
5. Rosenberg, N. *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press. 1982
6. Gibbons, M. (1999) Science's new social contract with society, *Nature*, C81-C84
7. Stirling, A. (2007) A general framework for analysing diversity in science, technology and society. *Journal of the Royal Society Interface*, 4, 707-719
8. Wang, J., Thjis, B., Gianzel, W. (2015) Interdisciplinarity and impact: distinct effects of variety, balance, and disparity. *Plos One*, 10: e0127298
9. Burbea, J and Rao, C, R. (1982) Entropy differential metric, distance and divergence measures in probability spaces: A unified approach. *Journal of Multivariate Analysis*, 12, 576-596
10. Solow, A., Polasky, S & Broadus, J. (1993) On the measurement of biological diversity. *Journal of Environmental Economy Management*, 24, 60-68
11. Porter, A, L and Rafols, I. (2009) Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time. *Scientometrics*, 81, 719-745.
12. Carley, S and Porter, A, L. (2010) A forward diversity index. *Scientometrics*, 90, 407-427.
13. Garner, J., Porter, A, L., Newman, N C. (2014) Distance and velocity measures: using citations to determine breadth and speed of research impact. *Scientometrics*, 100, 687-703.
14. Roessner, D., Porter, A, L., Nersessian, N, J., Carley, S. (2013) Validating indicators of interdisciplinarity: linking bibliometric measures to studies of engineering research labs. *Scientometrics*, 94, 439-468.

참고문헌

15. Leyserdorff, L and Rafols, I. (2011) Indicators of the interdisciplinarity of journals : Diversity, centrality, and citations. *Journal of Infometrics*, 5, 87-100
 16. Leyserdorff, L., Hammarfelt, B., A, A, A, Slah. (2011) The structure of the Arts & Humanities citation index: A mapping on the basis of aggregated citations among 1,157 journals. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62, 2414-2426
 17. Olsson, O., Frey, B. (2002). Entrepreneurship as recombinant growth. *Small Business Economics*, 19, 69-80
 18. Boyack, K, W. Klavans. R., and Boerner, K. (2005) Mapping the backbone of science. *Scientometrics*, 64, 351-374.
 19. Zoltan, B, D. (2005) Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science*, 16, 533-540.
 20. Leyserdorff, L. (2007) Mapping interdisciplinarity at the interfaces between the Science Citation Index and the Social Science Citation Index. *Scientometrics*, 3, 391-405
 21. Jaffe, A. (1986) Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value. *The American Economic Review* 76, 984-1001.
 22. Lytton, W. (2002). *From computer to brain: foundations of computational neuro science*. Springer. New York.
 23. McNamee, R, C. (2013) Can't see the forest for the leaves: Similarity and distance measures for hierarchical taxonomies with a patent classification example. *Research Policy*, 42, 855-873.
 24. Stopar, K., Drobne, D., Eler, T., Bartol, T. (2015) Citation analysis and mapping of nanoscience and nanotechnology: identifying the scope and interdisciplinarity of research. *Scientometrics* Published online
 25. Yan, E., Ding. Y. (2012) Scholarly network similarities: How bibliographic coupling networks, citation networks, cocitation networks, topical networks, coauthorship networks, and cword networks relate to each other. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 63(7), 1313-1326
 26. Janssens, F., Glanzel, W., Moor, B, D. (2008) A hybrid mapping of information science. *Scientometrics*, 75(3), 607-631
-

-
27. Van den Besselaar, P., & Heimeriks, G. (2001). Disciplinary, multidisciplinary, interdisciplinary: Concepts and indicators. Proceedings of the 8th international conference on scientometrics and informetrics(pp.705-716)
 28. Silva, F. N., Rodrigues, R. N., O, N, Oliveira Jr, Luciano da F. Costa. (2013). Quantifying the interdisciplinarity of scientific journals and fields. Journal of Infometrics, 7, 469-477
 29. 박진서, 이방래, 이준영, 권오진, 박선영, 고병열. (2007), 생태학적 다양성 개념을 이용한 기술의 융복합화 지수 개발. 한국기술혁신학회 학술대회, 203-216
 31. Lariviere, V., Gingras, Yves. (2010) On the relationship between interdisciplinarity and scientific impact, Journal of the American Society for Information Science and Technology, 61(1) 126-131
 32. Yang CH., Park HW., and Heo J. (2010) A network analysis of interdisciplinary research relationships : the Korean government's R&D grant program. Scientometrics, 83, 77-92.
 33. Song CH. (2003) Interdisciplinarity and knowledge inflow/outflow structure among science and engineering research in Korea. Scientometrics, 58, 129-141
 34. Elsevier Korea. (2014) Reserch Trends & Performance Volume 6.



디지털 헬스케어 동향

● 한국전자통신연구원 김승환

01 선정사유

● ICT 기술의 발전으로 정보기반의 디지털 헬스케어로 건강관리 트렌드가 급격히 변화되고 있는 추세

- 웨어러블 형태의 개인건강 측정기기와 건강관리 앱이 연계된 새로운 형태의 비즈니스 모델이 다양하게 만들어지고 있는 상황
 - ※ 4만개 이상의 모바일 헬스케어 앱이 등록되어 있고, 매월 1,000개 이상의 의료관련 앱이 신규로 출시
- 스마트 폰 등 디지털 기기와 서비스에 익숙한 세대의 증가로 디지털 문화 전환 시기가 도래하여 의료서비스도 디지털화가 급속히 진행
 - ※ 장노년층 스마트폰 보급률이 41.5%('13년 장노년층 정보격차 실태조사, 한국정보화진흥원)



●● 글로벌 IT기업들이 디지털 헬스케어 산업을 신성장동력으로 집중 투자

- 애플, 구글, 마이크로소프트, 삼성 등에서 디지털 헬스케어 플랫폼을 발표하여, 디지털 헬스케어 생태계 구축을 시도
- Fitbit, Withings 등 디지털 헬스케어 기기 기업들이 다양한 제품을 출시
- 미국의 디지털 헬스케어에 대한 지속적인 투자 확대

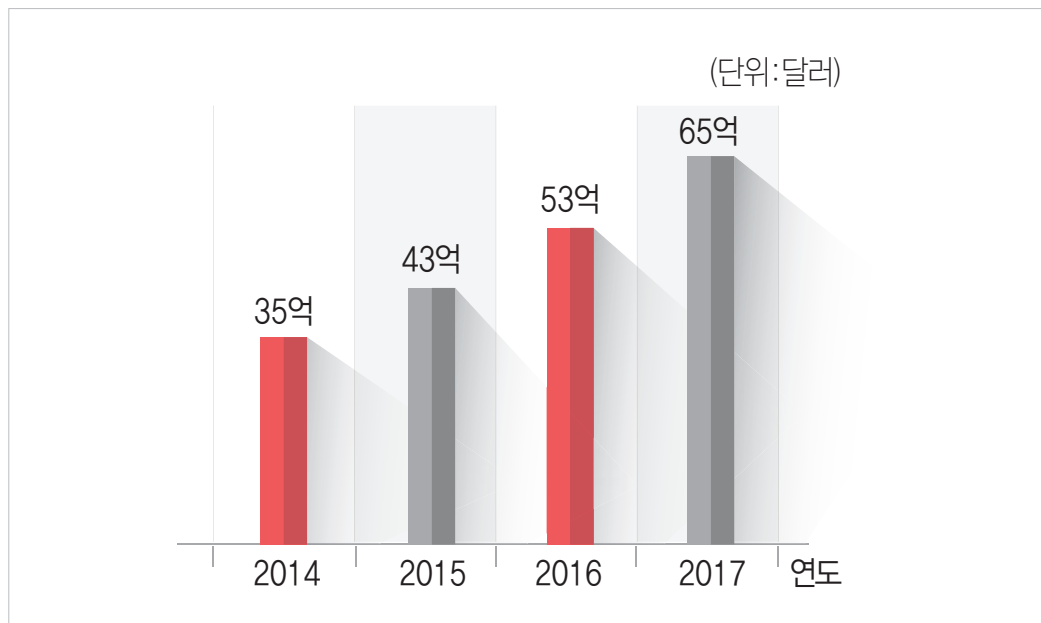


그림1. 미국의 디지털 헬스케어 투자
(출처: 조선비즈 특집, '헬스케어 산업혁명이 일어나고 있다', 2014. 11. 4.)

●● 미래부에서도 미래성장동력으로 '맞춤형 웰니스 케어' 를 선정하여 추진 중

- 2020년 맞춤형 웰니스 해외시장 세계 5위권 진입을 목표로 2020년까지 3단계로 나누어 단계별 추진전략 및 실천계획을 마련
 - ※ 1단계('14~'15년): 웰니스 서비스 촉진을 위한 기반 조성, 2단계('16~'17년): 신시장 창출을 위한 웰니스 IT기기 서비스 확산 추진, 3단계('18~'20년): 국내외 경쟁력 강화를 통한 글로벌 시장 진출

02 개요

• 디지털 헬스케어는 ICT를 기반으로 건강 상태에 대한 정보를 수집하고 이를 효율적으로 관리하여 개인 맞춤형 건강관리 및 의료서비스를 제공

- 운동량, 체중, 식이정보, 혈당, 혈압, 심전도 등 건강 상태를 나타내는 정보를 간편하게 측정하고, 네트워크 연결을 통해 전달하여 건강증진, 질병예방, 건강관리 및 치료 예후관리 등의 ICT 기반 헬스케어
- 디지털 헬스케어는 웨어러블 헬스케어 디바이스와 같은 건강정보 측정을 위한 하드웨어, 헬스케어 앱 등 소프트웨어, 헬스케어 정보 전달을 위한 통신 및 데이터 관리와 분석을 위한 플랫폼, 그리고 이와 연계된 서비스로 구성
- 개인의 건강정보를 수집하는 기기, 헬스 앱 등 제품 공급자와 건강관리 및 의료 서비스 제공자가 개인건강정보를 효율적으로 관리할 수 있는 디지털 헬스케어 플랫폼을 중심으로 생태계가 구성
 - ※ 애플, 구글, 마이크로소프트, 삼성 등 글로벌 IT기업들이 디지털 헬스케어 생태계의 중심점 역할을 하는 개인건강정보 플랫폼을 선점하기 위해 경쟁이 치열

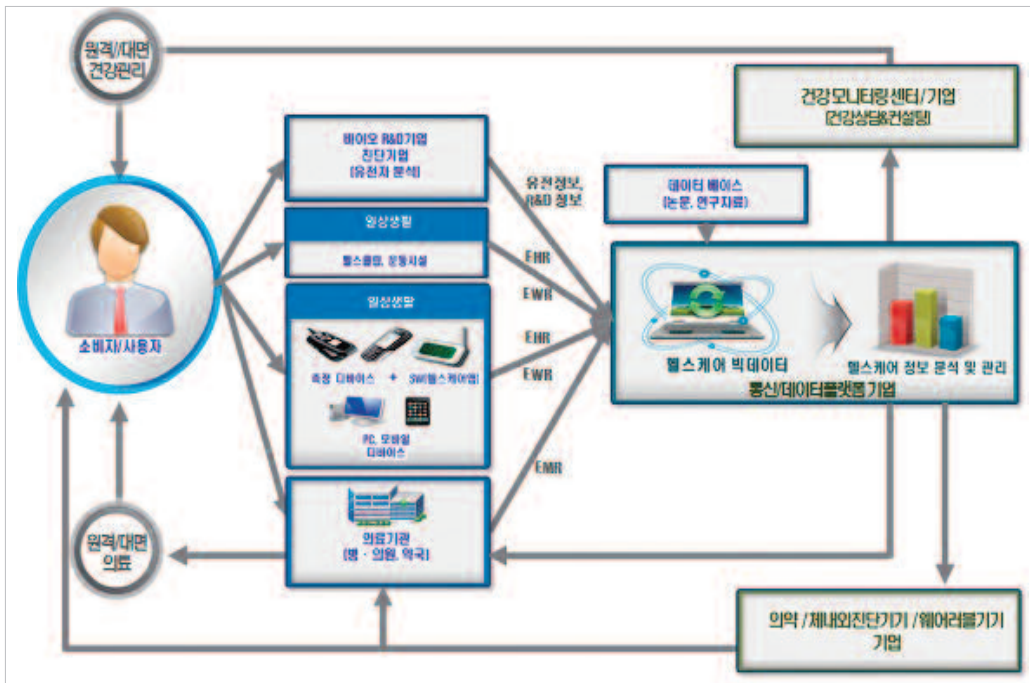


그림2. 스마트 헬스케어 생태계

(출처: e-KIET 산업경제정보, '모바일 세계가 주목하는 미래 스마트헬스케어산업', 2015. 4. 9.)



03 주요내용

- ❖ (핵심기술) 디지털 헬스케어의 주요 핵심기술은 ① 비침습 무구속 무자각 건강정보 측정 기술, ② 맞춤형 진단 및 현장진단 기술, ③ 개방형 건강관리 플랫폼 기술, ④ 맞춤형 건강관리 서비스 기술로 구분이 가능

표1. 디지털 헬스케어의 핵심기술 (출처: KIST, 2014년도 15대 국가 융합기술 수준조사)

핵심기술명	과제명	요소기술의 세부내용
비침습 무구속 무자각 건강정보 측정 기술	비침습 자가건강진단 기술	<ul style="list-style-type: none"> 비침습성 추출 생체시료(노, 머리카락, 타액, 눈물 등) 측정/분석 기술 간소화 약침습성 생체시료(혈액, 뇌척수액) 추출 기술
	무구속 생체신호 측정 기술	<ul style="list-style-type: none"> 전기적 비접촉 생체 신호 측정 기술 신체 접촉용 임피던스 센서 활동 모니터링 및 일상성 추출 기술
	무자각 생활정보 패턴 측정 기술	<ul style="list-style-type: none"> 웨어러블 디바이스(옷, 시계, 안경 등) U-헬스 기능성 생활용품(가전제품, 가구, 주택, 자동차 탑재 센서)
	인체 이식형 생체신호 측정 기술	<ul style="list-style-type: none"> 생체적합 바이오칩/센서 무선 인체 삽입 센서 원격 신호 전달 장치 무전원 센서
맞춤형 진단 및 현장진단 기술	유전정보 기반 맞춤형 진단 기술	<ul style="list-style-type: none"> 맞춤형 질병진단이 가능한 DNA 유전정보 기반 질병진단 칩/센서 기술
	현장진단 바이오칩/센서 기술	<ul style="list-style-type: none"> 혈액/소변/타액 등의 질병 바이오마커 농도를 현장에서 바로 측정할 수 있는 바이오칩/센서 기술
개방형 건강관리 플랫폼 기술	개인 건강 레코드 구축 / 공유/활용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 개인 건강 정보를 레코드로 구축하고, 공유하며 활용하기 위한 기술로 개인 건강 레코드의 표준화, 개인 건강 레코드의 교류 등의 기술을 포함
	건강 빅데이터 분석 기술	<ul style="list-style-type: none"> 건강관련 코호트 빅 데이터 분석 기술 축적된 개인 건강정보의 빅 데이터 분석을 통한 개인 건강 추이 예측 기술
	모바일 건강관리 서비스 플랫폼 기술	<ul style="list-style-type: none"> 표준 기반 건강정보 수집/활용 인터페이스 기술 서비스를 위한 개방형 API 기술
맞춤형 원격 건강관리 서비스 기술	원격 건강 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 원격시스템에 의한 환자의 실시간 모니터링 실시간 모니터링에 의한 실시간 진단
	맞춤형 원격진료 기술	<ul style="list-style-type: none"> 생명-의료 빅데이터 기반 환자의 맞춤형 진단 원격의료시스템에 의한 환자의 원격진단-원격상담, 원격병리진단, 원격방사선진단 등
	맞춤형 원격치료 기술	<ul style="list-style-type: none"> 원격시스템에 의한 환자의 실시간 관리-원격간호, 원격처방, 원격재활 등 원격의료시스템에 의한 맞춤형 원격 치료-원격 심장치료, 원격 정신치료, 원격 방사선치료, 원격 피부치료, 원격치과질환 치료, 원격수술 등

* 핵심기술 및 요소기술 구분은 구분 방법에 따라 다르게 표현이 될 수 있음

04 도입의 주요 정책

●●(활용 · 연구 분야) 디지털 헬스케어는 개인의 건강증진, 질병예방, 만성질환관리 및 치료 후 예후관리 등 다양한 형태로 헬스케어 서비스를 제공

- 애플은 외부의 다양한 디바이스와 어플리케이션을 통해 개인건강정보를 수집하고, 수집된 정보를 통합 저장하고 관리하는 헬스케어 플랫폼인 HealthKit을 발표
 - ※ HealthKit에는 900여개의 앱과 디바이스가 연동되어, 70여 가지의 헬스케어 및 의료 관련 데이터를 통합 관리
- 구글은 다양한 기기에서 생성되어 여러 군데 흩어져있는 각종 피트니스 데이터를 한 플랫폼에서 통합할 수 있게 해주고 이를 다른 앱이 접근해 활용할 수 있도록 해주는 피트니스 플랫폼인 Google Fit을 발표
 - ※ Google Fit에는 나이키, 아디다스, 에이수스, HTC, 인텔, LG, Withings, Mio, 모토로라, Runtastic, Polar, Basis, 뉘 등 다양한 기업들이 파트너로 참여
- 마이크로소프트는 웨어러블 기기나 앱에서 수집된 데이터를 기반으로 새로운 지식을 창출하고 제공하여 더 건강한 생활을 돕는 것을 목표로 건강 관련 데이터를 분석하고 활용할 수 있는 헬스케어 플랫폼인 MS헬스를 발표
 - ※ 마이크로소프트는 2007년부터 일상적인 건강정보에서부터 병원, 약국 등의 정보까지 저장하여 관리할 수 있는 헬스볼트(HealthVault) 서비스를 제공
- 삼성은 인체의 신호를 감지하는 센서와 그로부터 건강상태에 대한 데이터를 수집하고, 다양한 알고리즘을 통한 분석을 시행하는 하드웨어 플랫폼인 '심밴드'와 웨어러블 기기를 위한 클라우드 기반 데이터 플랫폼인 '사미'를 발표
- 미국의 보훈청의 Blue Button, 미국 Kaiser의 My Health Manager 등은 병원과 보험사, 정부 기관이 연계하여 개인건강기록 서비스를 제공

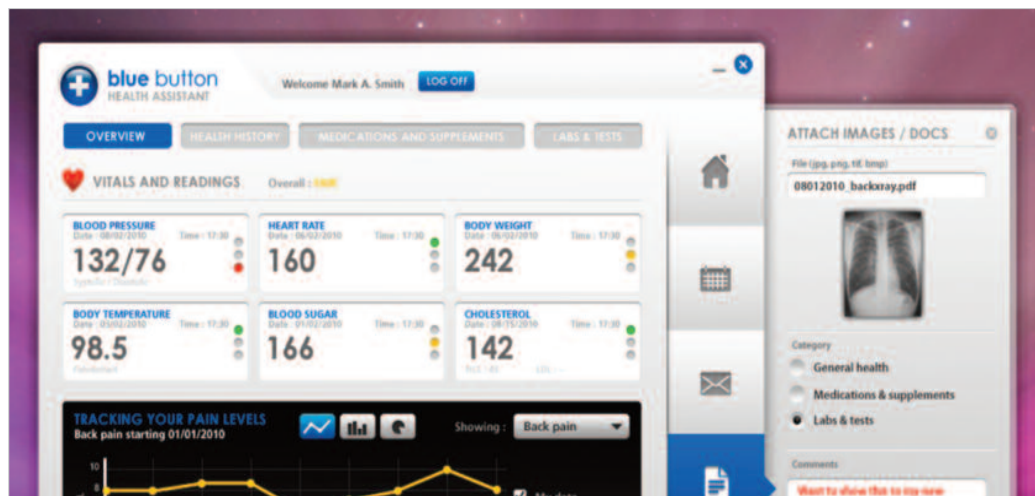


그림3. 미국 보훈청의 Blue Button 서비스
(출처: <http://publicpolicylab.org/2011/02/blue-button-for-health-data/>)

- 미국의 23andMe에서는 유전정보 기반 정보서비스를 제공하고 있으며, TrialX에서는 임상시험 정보서비스를 WebMD에서는 의학정보서비스를 제공
- 미국의 PatientLikeMe는 환자들 사이의 페이스북과 같은 형태의 서비스로 1,800개 이상의 질병에 대해 22만명 이상의 환자들이 모여 질병에 대한 정보를 교류하고, 특정 약에 대한 효능과 부작용에 대한 데이터를 축적
- 미국의 건강보험회사인 WellPoint에서는 IBM 왓슨 솔루션을 도입하여 건강보험 자료와 회사에 등록된 3,400만명에 대한 환자정보를 통합 분석하여 효율적인 환자치료법을 검색할 수 있도록 하는 시스템을 개발

- 개인이 건강에 관한 현명한 의사결정을 내릴 수 있도록 지원하는 비영리 단체인 미국의 Dossia는 개인의 의무기록 관리를 통해 의료진과의 의사소통의 효율성을 높이고, 불필요한 검사와 시술을 줄이는 헬스 매니저 시스템을 제공
- 국내에서도 서울대학교에서 병원에 산재한 진료정보 등 임상정보를 개인건강기록을 통해 스마트폰과 같은 개인 휴대단말로 공유하고자 하는 진료정보 교류 시스템인 헬스아바타를 개발
- 서울아산병원에서는 건강관리, 내차트, 투약관리, 진료서비스 기능, 건강정보 등으로 구성되어 건강관리 기능과 심혈관질환 발생확률 정보 등을 제공하는 모바일 개인건강기록서비스인 내손안의 차트를 개발
- 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개인건강정보를 개인 중심으로 수집하여 My Own Health Big Data를 구축하고, 이를 기반으로 건강추이를 예측하여 다양한 서비스 제공이 가능하도록 하는 플랫폼 개발이 진행 중



그림4. ETRI에서 개발 중인 ICT 힐링 플랫폼 개념도



05 국내·외 정책동향

❖ (미국) 건강보험 확대 법안인 PPACA(Patient Protection and Affordable Care Act) 추진을 통해 시장규모 급성장

- NHIE(National Health Insurance Exchange)를 통해 필수 임상 예방서비스를 보험화하고 개인화된 맞춤 예방 플랜 등의 서비스를 제공
- HHS(Department of Health and Human Services)에서 10년 단위로 국가 공중보건 및 건강 증진 계획 등 국가적 종합 정책 발표
 - ※ Healthy People 2020에서 건강평등과 기대수명 연장 정책 발표
- GAO(Government Accountability Office)는 Medicare and Medicaid 기관 담당 의사들이 의료 정보화 전략을 적용할 수 있는 전략을 제시
 - ※ 2014년까지 전 국민에게 EHR 시스템 구축을 Health IT계획과 함께 진행

❖ (일본) 'i-Japan2015' 를 통해 인간 중심의 디지털사회 구현을 위해 의료건강, 교육, 전자정부 등에 ICT를 활용한 전략 수립

- 웰니스와 메디컬이 결합된 '어디서나 My 병원' 서비스를 '13년부터 시행

❖ (유럽) 2008년 23개 국가가 참여하고, 2013년까지 총 6억 유로가 투입된 AAL(Ambient Assisted Living) 프로젝트 추진

- 독일에서 'Innovation with Services' 주요 과제로 고령화 대응 서비스 개발에 282억원 투입하여 13개 과제 지원
- 영국은 개인의 건강요약기록을 언제 어디서나 안전하게 접근할 수 있는 NHS CRS(Care Records Service) 정책 시행

❖ (국내) 1990년대 기술검증을 위한 시범사업을 시작으로 다양한 산업육성 정책을 추진

- 미래부, 산업부, 복지부 등 정부 부처에서 스마트 헬스케어 등 다양한 시범사업 및 실증사업을 진행
- 미래부는 ICT 힐링 서비스를 15대 미래서비스로 선정하여 추진(ICT R&D 중장기전략, 2013.10월)
- 미래부는 맞춤형 웰니스 케어를 미래성장동력으로 선정하여 추진
 - ※ 2020년까지 개인의 건강관리 및 생활관리 기반의 맞춤형 웰니스 해외시장 세계 5위권 진입을 목표로 2020년까지 실행계획 마련

06 국내·외 R&D 지원 현황

●● (국내) 관련 R&D 사업은 미래부, 산업부, 복지부 등에서 다양한 과제로 추진

- 미래부에서는 ICT 힐링 서비스 플랫폼 개발 과제 등을 추진 중
- 산업부에서는 PHR 건강관리시스템 개발 과제 등을 추진 중
- 복지부에서는 고령자 맞춤형 건강관리증진 모형 개발 과제 등을 추진 중

표2. 주요 지원 과제 현황 (출처: NTIS 국가R&D사업관리서비스)

부처명	과제명	연구기간	주관기관
미래부	개인 건강정보 기반 개방형 ICT 힐링 서비스 플랫폼 개발	'14~' 16	ETRI
	정신질환 모니터링 및 징후예측을 위한 피부부착형 센서 개발	'15~' 17	ETRI
	아동, 청소년 비만 예방 관리 플랫폼 개발	'13~' 15	가톨릭대, 인제대
	미병군에 대한 한의학 기반 관리시스템 개발	'14~' 17	한국한의학연구원
	수요연계형 Daily-healthcare 실증단지 조성	'15~' 17	대구TP
	행복지수 기반의 시니어 웰니스IT 서비스 플랫폼 사업	'14~' 15	오픈잇
	웰니스 삶을 위한 WellTEC 코칭 서비스 및 콘텐츠 개발	'14~' 17	순천대학교
산업부	웰니스 휴먼케어 플랫폼 구축 사업	'13~' 16	DGIST
	PHR 기반 개인 맞춤형 건강관리 시스템 구축	'15~' 17	라이프시맨틱스
	모바일 개인건강기록(PHR) 기반 진료정보교류 플랫폼 표준화 및 개발	'15~' 17	라이프시맨틱스
	의료IT시스템 간 상호운용성을 위한 통합 아키텍처 표준 개발	'12~' 15	한국전자정보통신 산업진흥회
	바이오 GMP기술인력양성사업	'14~' 19	한국바이오협회
	치매 원격치료를 위한 빅 데이터 플랫폼	'14~' 17	와이브레인
	퍼스널 빅데이터를 활용한 마이닝마인즈 핵심기술 개발	'14~' 18	경희대학교
복지부	Wearable activity tracker와 스마트폰센서를 이용한 우울-조울증 및 수면장애의 생체리듬 조절 치료기술개발	'14~' 17	고려대학교
	건강상태 정보수집 기술개발과 행동 변화 UX 디자인	'14~' 17	서울대학교
	고령자 맞춤형 건강관리증진 모형 및 가이드라인 개발/실증	'14~' 19	길의료재단



07 국내·외 기술수준 분석

❖ (국내) 디지털 헬스케어 국내 기술 수준은 세계 최고 기술 보유국인 미국 대비 약 80.9%로 기술격차는 약 1년

- 비침습 무구속 무자각 건강정보 측정 기술 분야는 국내 기술 수준이 세계 최고 기술 보유국인 미국 대비 약 75%로 기술격차는 약 1.5년
- 맞춤형 진단 및 현장진단 기술 분야는 국내 기술 수준이 세계 최고 기술 보유국인 미국 대비 약 75%로 기술격차는 약 1.5년
- 개방형 건강관리 플랫폼 기술 분야는 국내 기술 수준이 세계 최고 기술 보유국인 미국 대비 약 85%로 기술격차는 약 1년
- 맞춤형 원격 건강관리 서비스 기술 분야는 국내 기술 수준이 세계 최고 기술 보유국인 미국 대비 약 88.6%로 기술격차는 약 1년

표3. 국·내외 기술수준

기술분야	세부기술분야	국내 수준
비침습 무구속 무자각 건강정보 측정 기술	비침습 자가건강진단 기술	미국 대비 75%
	무구속 생체신호 측정 기술	
	무자각 생활정보 패턴 측정 기술	
	인체 이식형 생체신호 측정 기술	
맞춤형 진단 및 현장진단 기술	유전정보 기반 맞춤형 진단 기술	미국 대비 75%
	현장진단 바이오칩/센서 기술	
개방형 건강관리 플랫폼 기술	개인 건강 레코드 구축/공유/활용 기술	미국 대비 85%
	건강 빅데이터 분석 기술	
	모바일 건강관리 서비스 플랫폼 기술	
맞춤형 원격 건강관리 서비스 기술	원격 건강 모니터링 기술	미국 대비 88.6%
	맞춤형 원격진료기술	
	맞춤형 원격치료기술	

(출처: NTIS, 2014년도 15대 국가 융합기술 수준조사)

08 기대효과

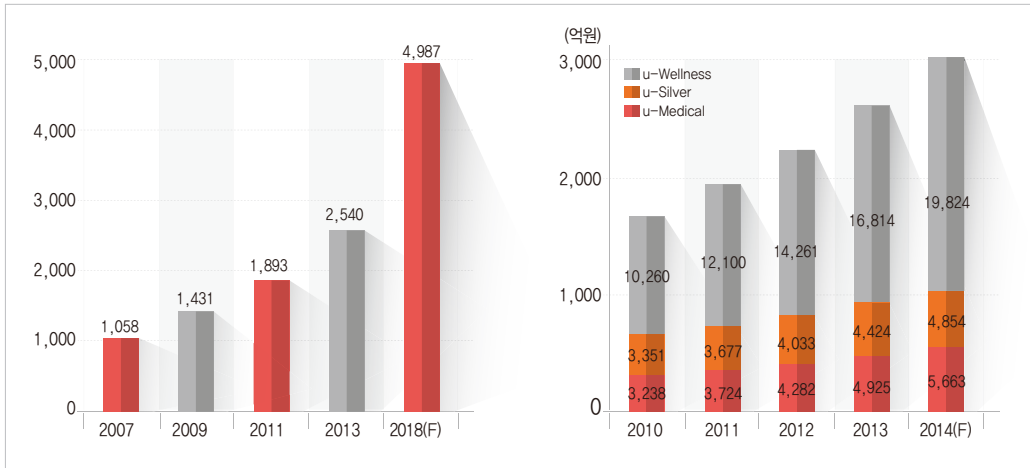
● 디지털 헬스케어를 통해 국민 개인이 스스로 건강을 관리하는 자기 주도형 헬스케어 산업 창출이 가능

- 디지털화된 개인 건강기기를 기반으로 개인의 건강에 대한 정보를 수집하고, 수집된 정보의 자동 분석을 통해 수요자 맞춤형 건강관리서비스 제공이 가능
- 개인이 자신의 건강상태를 정량화하여 관리함으로써, 효과적인 건강관리가 가능하여 건강한 삶을 유도하고 질병에 의한 사회적 비용을 낮추는 효과

● 급속한 시장확대가 예상되는 디지털 헬스케어 산업 육성을 통해 미래 신성장동력 확보

- 디지털 헬스케어는 애플, 구글, 마이크로소프트, 삼성 등 글로벌 IT기업이 차세대 성장동력으로 추진하고 있는 분야
- ICT 헬스케어 세계 시장 규모는 2018년 4,987억 달러로 연평균 15.7% 성장하고, 국내 시장 규모는 2014년 약 3조원 규모

그림5. 디지털 헬스케어 시장규모 (출처: 유헬스 관련 시장 현황 및 사업 기회, 현대경제연구원, 2014)



● 디지털 헬스케어를 통해 급증하는 국가 의료비 부담을 완화하여 국가재정 건전성에 기여

- 국민의료비가 2008년 68조원(GDP 대비 6.2%)에서 2013년 102.9조원(GDP 대비 7.2%)으로 5년간 51% 급증
- 미국의 경우 국민의료비가 GDP의 17%에 달해 국가 재정에 심각한 문제 야기
- ※ 출처: 보건복지부, 2013 국민의료비 및 국민보건계정, OECD Health Data 2015



09 정책재언

❖ 스마트 헬스케어 활성화를 통해 의료서비스의 질 제고, 국가 의료비용 부담 완화, 의료 복지 혜택 확대 등이 가능

- 선진국에서는 의료 패러다임이 치료 중심에서 예방 중심으로 전환하고 있고, 고령화 추세에 따라 증가하는 의료서비스 수요에 대응하기 위해 스마트 헬스케어 산업에 투자
 - ※ 영국에서는 2014년 Personalised Health and Care 2020을 발표하여 디지털 헬스케어 활성화를 위한 장기적인 로드맵을 수립하여 추진

❖ 디지털 헬스케어 산업 육성을 위해 수요자 중심의 서비스를 발굴하고 서비스의 효과성을 검증하기 위한 시범사업 추진이 필요

- 다양한 건강관리기기 및 서비스가 개발되어 추진되었으나, 국민이 체감할 수 있는 서비스는 부족하여 사업화에 한계
- 해외시장 진출을 위해서나 해외에서 요구하는 효과성에 대해 검증할 수 있는 국내 레퍼런스 사이트가 필요하나 이를 맞출 수 있는 테스트베드는 전무
 - ※ 53개 기업대상 설문결과, 해외진출이 어려운 원인으로 막대한 초기 투자비용(31%), 마케팅 역량 부족(31%) 응답 (서울시 u-Healthcare 산업육성전략, '11)

❖ 디지털 헬스케어 서비스 육성에 걸림돌로 작용하는 법·제도를 개선하고, 국민 건강관리에 대한 인식전환을 통해 자가건강관리 확산이 필요

- 디지털 헬스케어 서비스 활성화를 위해 의료법, 의료기기법, 국민건강보험법 등 관련 법을 개선하고, 정책적인 지원책을 마련
 - ※ 의료인 이외의 사업자에 대한 헬스케어 서비스 진입 장벽을 완화하고 건강 정보의 소유와 교류 활성화를 위한 법제 도적 개선이 필요
- 일상적인 건강관리에 대한 효용성과 건강한 생활습관 유지의 필요성에 대하여 대국민 홍보를 통해 스스로 건강을 관리하는 문화 확산

개인건강기기, 헬스 앱 등 개인건강정보 공급자와 병원, 건강관리서비스 기업 등 서비스 공급자, 보험회사 등 비용 지불자간의 선순환 생태계 조성이 필요

- 개인건강정보 공급자와 서비스 공급자간의 이해 부족으로 개발 기기 및 앱등이 실제 현장에 적용되지 못하는 문제가 발생
- 법·제도 테두리 내에서 지속가능한 비즈니스 모델 발굴을 위해 개인건강정보 공급자, 서비스 공급자, 비용 지불자간의 이해가 필요

바이오의료기기산업 핵심기술개발사업

☞ 융합연구정책센터 이아름



(선정배경) 최근 IT-BT 융합을 통한 u-헬스케어, 디지털 헬스케어, 모바일 의료기기 등에 대한 사회적 관심 증대

- 헬스케어 산업의 발전 속에서 의료기기는 헬스케어 및 의료산업의 신성장동력으로써 중요성이 커지고 있어, 의료기기와 관련하여 현재 정부에서 추진 중인 R&D 사업에 대한 분석 필요
- '바이오의료기기산업핵심기술개발사업'은 산업부가 추진 중인 의료기기 분야 대표적인 사업으로 핵심 요소기술 확보 및 제품화 지원을 목표로 투자
- 이외에도 산업부, 복지부, 식약청에서 의료기기 관련 국가연구개발사업을 추진 중(14년 기준)
 - ※ (산업부) 전자의료기기부품소재산업화기반구축, 첨단의료기기개발지원센터, 첨단의료기기생산수출단지지원사업, 핵심의료기기제품화기술개발, (복지부) 의료기기기술개발, (식약청) 의료기기등안전관리

01 추진배경

- 최근 고령화, 소득증대로 인한 삶의 질 향상 등으로 건강이 핵심가치로 부상하고 있으며, IT 기술을 활용한 맞춤형 의료서비스, 스마트 헬스케어 산업의 발전으로 혁신 의료기기에 대한 수요 증대
 - 원격진료(u-헬스) 및 스마트폰 등 모바일 기기를 활용한 건강관리뿐만 아니라 인터넷 검색까지 가능한 헬스케어 사업으로의 발전
 - ※ 세계 의료기기 시장규모: 350조원(12년) → 510조원(18년), 연평균 성장률 6.7%
 - ※ 로봇수술기 등 혁신제품 생산기업들의 최근 5년간 매출액 성장률 30%



●● 글로벌 기업들은 새로운 가치창출을 위해 IT를 활용한 융합서비스에 주목하고 있으며 특히 스마트 의료 분야는 IT 기업들의 새로운 플랫폼 격전지로 부상

- (애플) '14년 6월 아이폰 운영체제인 iOS8부터 '헬스키트(HealthKit)' 라는 개인건강정보 플랫폼을 탑재하여 각종 헬스케어 웨어러블 디바이스와 앱 등을 통해 맥박수, 체중, 혈압 등 건강데이터 측정
- (구글X랩) 스위스 제약업체 노바티스와 함께 눈물 속 혈당 수치를 체크할 수 있는 의료용 스마트콘택트렌즈 개발

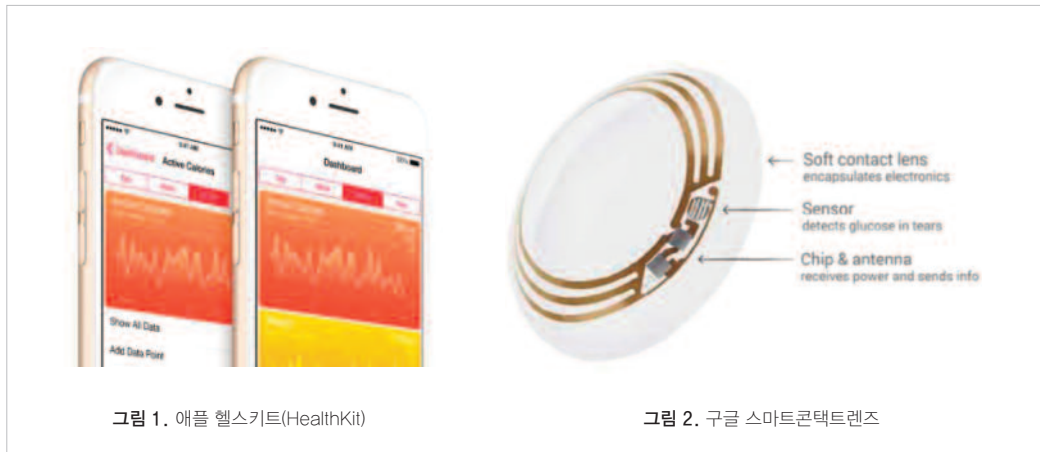


그림 1. 애플 헬스키트(HealthKit)

그림 2. 구글 스마트콘택트렌즈

- 국내 중소기업, 제약업체들도 의료기기 시장에 관심을 보이고 있으며 사업 다각화를 추진 중
 - ※ IT기업 디오텍은 자회사 힘스인터내셔널을 통해 체성분 분석기와 혈압계 등을 개발하는 자원메디칼 인수, 한독은 한국투자파트너스와 의료기기 신설법인 설립을 위한 투자협약을 체결하며 의료기기 사업을 시작

●● 그러나 국내 의료기기 시장은 영세한 기업이 과다경쟁하는 구조로, 고부가가치 개발 역량이 부족하고 R&D 투자에도 한계*

- 취약한 국내 의료기기 산업 구조에서 탈피하고 한-미, 한-EU 등 FTA 체결 확대에 대응하기 위한 사업화 투자전략 필요
 - ※ 국내 10대 의료기기 기업 R&D 투자 723억 vs 글로벌 의료기기 10대 기업 R&D 투자 11조원(의료기기산업 중장기 발전계획, 2014)

●● 국내 IT 융합기술의 성장잠재력을 바탕으로 의료기기 산업이 고부가가치 유망산업으로 발전할 수 있도록 핵심 기술개발 및 생산성 향상방안 마련 필요

02 사업개요

●● (사업목적) 바이오 첨단의료기반기술 분야의 고부가가치 창출이 가능한 핵심원천기술 확보를 통해 미래 신산업 육성

– 산업핵심기술개발사업*의 신산업 분야** 세부사업으로 추진 중

* 업종별 대규모 시장 창출이 가능한 세계 최고수준의 기술을 확보하고, 성장동력을 창출하는 전략적 선도형 기술개발

** 신산업: 산업융합기술, 바이오, 의료기기, 로봇, 지식서비스

●● (사업내용) 영상진단기기, u-헬스 기기 및 재활복지기기, 병원용 IT 융합기술을 대상으로 기업-병원-대학이 중심이 되어 기술개발

– 의료기기부품소재 상용화 기술개발을 목표로 5년 이내 세계시장을 선점할 수 있는 전략품목의 핵심기술을 선정하여 집중 지원

– 중소·중견기업의 기술경쟁력 제고를 위한 지원 강화 및 산업간 융합촉진을 위한 융합형 R&D 과제 발굴

●● (사업기간) 2009년부터 현재까지 계속 진행 중

※ 유사사업이 2009년부터 바이오의료기기산업원천기술개발사업으로 통합되었으며 2014년부터는 바이오의료기기산업핵심기술개발사업으로 명칭 변경

●● (사업규모) 5,454억원 투자(2009~2014)

– 2014년에는 743억원이 투자되었으며, 2015년에는 121억원이 증액되어 864억원* 투자

※ 2015년 신규 24,559백만원, 기존 61,912백만원으로 총 86,471백만원 지원

표 1. 사업 투자규모(2009년~2014년)

구분	사업기간	예산(억원)							
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계	
바이오 의료기기산 업핵심기술 개발	바이오 산업원천	2009~계속	781	545	451	424	467	460	3,128
	의료기기산업원천	2009~계속	296	339	298	267	260	244	1,704
	조기성과창출형 (R&D전략기획단)	2010~2013	-	9	174	130	125	-	438
	기획평가관리비	2009~계속	24	33	28	30	30	39	184
합계			1,101	926	951	851	882	743	5,454



03 사업평가

- ❖ (사업성과) 4년간(2009년~2013년) SCI 논문 478건, 특허 1,424건, 인력 6,425명을 배출하는 등의 성과창출**
 - ※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 상의 사업성과정보(기여율 반영성과) 활용
 - (SCI 논문) 2013년 바이오의료기기산업핵심기술개발사업의 SCI 논문 건수는 119건이며, 최근 4년간 연평균 26.1% 증가
 - (특허출원) 2013년에 발생한 특허출원 건수는 180건으로 전년대비 32.3% 감소하였으나, 최근 4년간 연평균 27.6% 증가
 - (특허등록) 2013년에 발생한 특허등록 건수는 105건으로 연평균 16.5% 증가
 - (인력양성) 2013년에는 2,010명의 인력을 배출하였으며, 인력양성 성과는 최근 4년간 26.2% 증가

- ❖ (사업기간) 2009년부터 현재까지 계속 진행 중**
 - ※ 유사사업이 2009년부터 바이오의료기기산업원천기술개발사업으로 통합되었으며 2014년부터는 바이오의료기기산업핵심기술개발사업으로 명칭 변경

표 2. 사업성과 (2009년~2013년)

구분	SCI(건)	특허(건)		인력(명)
		출원	등록	
2009년	47	68	57	793
2010년	52	203	76	1,914
2011년	119	276	69	1,588
2012년	141	266	124	120
2013년	119	180	105	2,010
합계	478	993	431	6,425

04 신규 추진 과제

● 2014년부터 신규로 추진 중인 대표적 연구과제

표 3. 신규 추진과제(2014년)

순번	과제명	주관기관	비고
1	바이오 핵심 IP 향노화 산업화 10% 성공을 위한 플랫폼 개발	제한없음	
2	식물발현계로부터 희귀질환 바이오베타 생산	중소·중견기업	
3	성장인자를 이용하여 효능을 증대시킨 뇌졸중 세포치료 응용기술 개발	중소·중견기업	병원참여 필수
4	관절질환 치료용 글로벌 천연물신약 개발	중소·중견기업	
4	방사성동위원소 표지물질 기반 ADME 평가 시스템 개발	제한없음	

● 향노화 산업화 성공을 위한 플랫폼 개발

- (연구내용) 대학·연구소·기업체 등에서 양산해 온 향노화 특허들 가운데 핵심 특허를 발굴하여 중견중소·벤처 바이오업체에 연결하고 사업화 추진
- 5년 이내에 '약물성 핵심평가기술개발 및 원스톱 평가' 수행
- (연구기간 및 연구비) 2014년부터 2019년(5년간), 연간 20억원 계획
 - ※ 향노화산업화플랫폼개발사업단을 구축하여 국비 100억원, 도비 50억원 및 대학지원금 15억원 등 총 165억원 투자

● 식물발현계로부터 희귀질환 바이오베타 생산

- (연구내용) 기존 동물형 효소대체제의 단점(경제성이 낮고 세포주의 개발기간이 길며 바이러스 오염문제)을 극복하고자 식물발현계 세포주를 이용한 폼페병* 치료제 개발
 - * 심장·골격계 근육세포에 당원(글리코겐)이 축적돼 근육약화, 호흡부전, 심근병증 등을 일으키고 심하면 사망에 이르는 희귀질환으로 리소좀 효소의 하나인 α -글루코시다제 결핍에 의해 발병하는 유전성 리소좀 축적장애
- (연구기간 및 연구비) 2014년부터 2019년(5년간), 8억원(2014년) 계획



❖ 성장인자를 이용하여 효능을 증대시킨 뇌졸중 세포치료 응용기술 개발

- (연구내용) 줄기세포와 복합을 위한 성장인자를 발굴하고 뇌졸중 치료를 위한 효능평가 수행
- (연구기간 및 연구비) 2014년부터 2019년(5년간), 7억원(2014년) 계획

❖ 관절질환 치료용 글로벌 천연물신약 개발

- (연구내용) 류마티스 관절질환 치료용 천연물 신약의 국내 허가 및 미국 식품의약국(FDA) 임상 진입을 목표로 신약 개발
- (연구기간 및 연구비) 2014년부터 2019년(5년간), 7억원(2014년) 계획

❖ 방사성동위원소 표지물질 기반 ADME* 평가 시스템 개발

* 흡수(Absorption), 분포(Distribution), 대사(Metabolism), 배설(Excretion)

- (연구내용) 신약개발 오픈 이노베이션시스템을 통해 연구 기본 역량이 부족한 제약바이오업체의 신약후보물질 전 임상 ADME 평가 서비스 제공
- (연구기간 및 연구비) 2014년부터 2019년(5년간), 6억원(2014년) 계획



04 융합과의 연관성

● IT와 바이오 융합, IT와 의료 융합에 대한 사회적 관심이 증대되고 있으며, IT 기술을 활용한 다양한 모바일 의료기기 등장

- 반도체 공정을 이용한 MEMS(미세전자기계시스템) 기술 도입으로 바이오센서는 점차 소형화, 고집적화
※ '소화가 가능한 센서(ingestible sensor)', 즉 먹는 센서를 개발하여 환자의 복약 모니터링 가능, GE헬스케어는 기존의 거대한 초음파 영상진단기기를 휴대폰 크기로 줄인 Vscan 출시



그림 3. 소화가 가능한 센서



그림 4. 초음파 영상진단기기(Vscan)

- 웨어러블 디바이스를 활용한 스마트 헬스케어 시스템 대중화
※ 건강관리를 위한 다양한 제품(핏빗(Fitbit), 미밴드(MIBAND), 조본 업(Jawbone Up) 등) 출시



그림 5. 핏빗(Fitbit)



그림 6. 조본 업(Jawbone Up)

- IT와의 융합을 통한 첨단의료 SW, 대용량 의료 및 바이오 정보처리 기술 등을 개발
※ 빅데이터, 클라우드 등을 활용하여 의료기록, 임상연구, 유전자 분석 등과 같은 대량 데이터를 분석이 가능하고 시공간 제약없는 의료서비스 제공



05 해외 정책 동향

- 전 세계적으로 고령화가 가속되어 치료 중심에서 예방 중심으로의 의료서비스 패러다임이 변화되면서 주요국을 중심으로 의료서비스 및 의료기기 산업 활성화를 위한 정책을 적극적으로 추진 중
- (미국) 식품의약국(FDA)은 의료기기 규제완화를 위한 제도개선 과 의료·ICT 융합을 통한 신기술·제품 개발을 활성화
 - 2015년 초에는 의료기기와 연동 가능한 모바일 헬스케어 앱을 공식 승인함으로써 모바일 헬스케어 시장 확대
 - ※ 의료기기 업체 텍스콤이 출시한 모바일 헬스케어 시스템 '텍스콤 세어 시스템(당뇨병 환자의 혈당수치를 의사에게 실시간으로 전달하고 간병인이나 보호자가 원격에서 데이터 모니터링. 연속혈당측정기(CGM)를 환자의 피부에 부착한 후 측정기 내부의 센서를 피부 아래 넣어 환자의 생체정보를 자동으로 모바일 앱에 공유)' 공식 승인
 - 국가적 차원의 의료 ICT 산업 활성화를 위한 움직임이 계속되고 있는 가운데 애플, 구글 등 글로벌 기업을 중심으로 민간 차원에서도 의료기기 산업 고도화를 위한 투자 가속

표 4. 민간기업의 의료기기 산업 고도화 투자 현황

구분	과제명
애플	<ul style="list-style-type: none"> · 헬스키트(HealthKit) 플랫폼 개발로 헬스케어 산업 주도 <ul style="list-style-type: none"> - 하나의 플랫폼 안에서 각종 헬스케어 웨어러블 디바이스와 앱을 사용해 건강 데이터를 측정 - 에픽 시스템즈에 이어 세너, 아테나 헬스 등 대형 EHR(electronic health records) 기업과 연동함으로써 현재 미국의 대형병원의 3/4 이상을 헬스키트 생태계에 연결
애플	<ul style="list-style-type: none"> · 구글 글래스 의료 활용 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 스타트업 오그메딕스(Augmedix)*는 의사가 진료를 하면서 구글 글래스를 통해 전자의료기록에 데이터를 입력 <ul style="list-style-type: none"> ※ 오그메딕스는 '14년 캘리포니아에서 진행된 임상연구에서 구글 글래스 앱을 2700건의 진료에 사용해보는 결과, 의사가 컴퓨터와 활동한 시간은 업무시간 중 50%에서 15%로 줄어들고, 환자화 의사소통하는 시간은 35%에서 70%로 늘어났다고 밝힘
IBM	<ul style="list-style-type: none"> · 슈퍼컴퓨터 왓슨의 헬스케어 및 의료분야 확대 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 암센터에서 환자의 데이터를 분석하여 최적의 치료법을 의사에게 권고해주는 역할 수행 - 태국 불문그라드 국제 병원은 메모리얼 슬론 캐터링에서 개발한 암 치료용 왓슨 솔루션을 5년간 도입하기로 결정

●● (일본) 2010년 ‘신성장전략’ 을 통해 의료·건강 산업을 국가성장동력 산업으로 육성하기 시작하였으며, 후생노동성에서 범부처 차원의 ‘의료기기산업 비전 2013’ 발표

- 의료기기 R&D 컨트를 타워로 국립보건원(NIG) 창설 및 내각에 의료기기 R&D 추진본부를 설치하여 의료분야 R&D 예산 일원화
- 지역내 산업 클러스터를 구축하여 의공(醫工)협력 및 산학연 네트워크 기반 수요자-공급자 연계 R&D 추진
 - ※ 후쿠시마현은 2018년을 완공을 목표로 ‘(가칭)의료기기개발·안전성평가센터’를 설립하여 치료계 의료기기 시장발전을 위한 개발거점을 마련하였고, 아오모리현은 수도권 의료기기 업체와 기술을 교류하고 있으며, GE헬스케어 재팬과 연계하여 낙후지역에서의 새로운 의료모델 구축하는 등 ‘아오모리 라이프 이노베이션 전략’을 추진

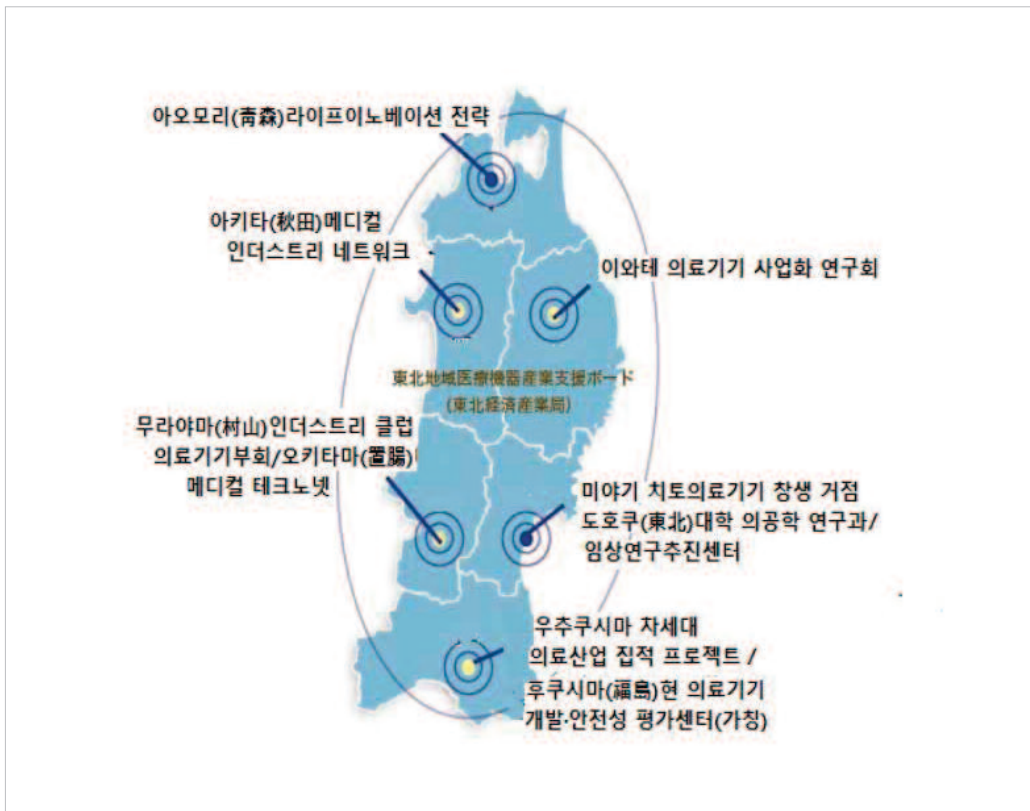


그림 7. 일본 지자체가 추진 중인 의료기기 관련 산업 프로젝트



- **건강에 대한 사회적 관심이 증대되고 국민들의 의료소비 수요가 커짐에 따라 의약품, 의료기기 등의 의료산업은 지속적으로 고성장이 기대되는 고부가가치 유망산업임**
 - 특히 의료기기 산업은 아이디어 비중이 높아 개발비·기간 면에서 유리하고, IT 등 국내 기술의 우수성과 기업의 적극성 등 강점을 활용하여 발전가능성이 높은 분야

- **현재 국내 의료기기 기술수준은 선진국을 추격하는 단계이며, 취약한 국내 의료기기 산업구조 개편 및 국내외 환경변화에 대응가능한 사업화 투자방안 마련이 필요**
 - 기술력과 마케팅 능력을 보유한 소수의 다국적 기업(존슨&존슨(미국), GE(미국), Siemens(독일), 필립스(네덜란드) 등)이 의료기기시장을 독과점
 - 국내 의료기기 제품의 낮은 브랜드 및 해외거점 구축 미비로 인한 A/S 문제 등을 해결하여 제품·서비스에 대한 글로벌 경쟁력 향상

- **규제중심의 제도에서 벗어나 신기술·신제품에 대한 적합한 규제기준 및 가이드라인을 마련하여 시장 확대 및 안전성 확보 필요**

참고자료

1. 보건복지부(2014), 창조경제 달성을 위한 의료기기 중소벤처기업 활성화 방안
2. 보건복지부 외(2014), 의료기기산업 중장기 발전계획
3. 산업통상자원부(2014), 2014년도 산업기술혁신사업 통합 시행계획
4. 융합연구정책센터(2015), 융합연구리뷰(디지털 헬스케어)
5. 의료기기 정책연구원(2011), u-Healthcare 산업 시장 및 기업 분석(의료기기와 원격진료행위 중심)
6. 정보통신기술진흥센터(2015), 해외 ICT R&D 정책동향
7. 정보통신정책연구원(2015), ICT인문사회융합 동향
8. 지식경제부(2012), 2011 산업기술로드맵(바이오)
9. 한국과학기술기획평가원(2014), 2014 국가연구개발사업 특정평가보고서
10. 한국과학기술기획평가원(2015), 헬스케어산업 활성화를 위한 의료기기 R&D 발전방안
11. 한국보건산업진흥원(2014), 2014 글로벌 보건산업 동향
12. 한국정보화진흥원(2013), ICT를 활용한 사회현안해결 해외사례 분석(의료/헬스케어)



융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

(02792) 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 t. 02-958-4984