

3P기반 거대과학 기술개발 전략수립을 위한 연구 : 중이온 입자 가속기 핵심부품 국산화 전략수립 사례를 중심으로

A Study for Establishment of 3P-based Big Science and Technology Development Strategy: Focusing on Localization Strategies of Core Components for Heavy-Ion Particle Accelerator

윤성욱*, 김유빈**, 최원재***, 도현수****, 권순원*****

목 차	
I. 서론	IV. 연구 결과 및 구성
II. 선행 연구	V. 결론
III. 연구 방법 및 구성	

논문 요약

정부 R&D성과의 질적 수준을 제고하고 중장기 국가 재정사업의 효율성을 높이기 위한 각 연구기관의 시도들이 있어 왔다. 연구사업의 발굴, 기획 및 수행에 있어 효과적인 정부 R&D 예산의 배분, 우선순위를 도출, 기술개발 전략 수립을 하는 것이 매우 중요해지고 있다. 정부 재정사업인 국가 R&D사업은 국가 기간산업을 활성화하고 경제발전을 수반할 수 있는 중요한 모멘텀으로서의 역할을 하고 있다. 또한, 국가 R&D사업의 한 축인 거대과학은 최첨단 기술의 개발과 미래성장동력의 발굴이라는 대명제로 그 중요성이 강조되고 있다. 거대과학 연구는 그 분야의 특수성으로 인해 대학의 과학자, 공공 연구기관의 연구원, 기업의 엔지니어가 함께 참여하여야 하고 대규모 국가 예산을 동원하는 과학 연구 사업이다. 이는 대규모 예산을 기반으로 하고 있기에 집중적 투자가 수반된다면 단기적으로 기초과학의 발전을 이뤄낼 수 있다. 이것은 산업발전에 밑거름이 되어 그 분야 자체로 하나의 산업생태계를 구성하고 요소 기술들의 응용으로 파생기술이 전파된다면 새로운 신산업 창출 등 국가산업에 많은 혜택을 줄 수 있다. 하지만 많은 인력과 대규모 투자 그리고 중장기 프로젝트라는 특성으로 인해 실패 가능성도 높아 전략적 선택 및 추진이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 거대과학의 기술개발전략의 수립을 위하여 중이온 입자가속기 핵심부품 국산화 전략수립 사례를 중심으로 효율적인 R&D추진 방안을 도출해보고자 한다. 또한, 논문, 특허를 기반으로 한 3P분석을 통하여 중이온 가속기 핵심부품의 국산화 전략을 제안하고, 추진 우선순위 및 전략을 제시하고자 한다.

Keyword : 3P분석, 거대과학, 기술사업화, 기술 전략 수립, 중이온 가속기

* 국가핵융합연구소 미래전략실 기술원, 042-879-5913, yunsu@nfri.re.kr

** 국가핵융합연구소 미래전략실 실장, 042-879-5085, ybkim@nfri.re.kr

*** 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5082, cwj147@nfri.re.kr

**** 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5086, ths5001@nfri.re.kr

***** 국가핵융합연구소 행정원, 042-879-6233, kwonsw@nfri.re.kr

I. 서론

정부 R&D성과의 질적 수준을 제고하고 중장기 국가 재정사업의 효율성을 높이기 위한 각 연구기관의 시도들이 있어 왔다. 연구사업의 발굴, 기획 및 수행에 있어 효과적인 정부 R&D 예산의 배분, 우선순위를 도출, 기술개발 전략 수립을 하는 것이 매우 중요해지고 있다.

정부 재정사업인 국가 R&D사업은 국가 기간산업을 활성화하고 경제발전을 수반할 수 있는 중요한 모멘텀으로서의 역할을 하여 왔다. 또한, 국가 R&D사업의 한 축인 거대과학은 최첨단 기술의 개발과 미래성장 동력의 발굴이라는 대명제로 그 중요성이 강조되고 있다. 최근 우리나라에서도 거대과학 분야는 나로호 발사, 핵융합장치인 KSTAR, 대형 가속기 건설사업, 슈퍼컴퓨터, 인간게놈프로젝트 등으로 관심이 높아지고 있다. 거대과학 연구는 그 분야의 특수성으로 인해 대학의 과학자, 공공 연구기관의 연구원, 기업의 엔지니어가 함께 참여하여야 하고 대규모 국가 예산을 동원하는 과학 연구 사업이다. 이는 대규모 예산을 기반으로 하고 있기에 집중적 투자가 수반된다면 단기적으로 기초과학의 발전을 이뤄낼 수 있다. 이것은 산업발전에 밑거름이 되어 그 분야 자체로 하나의 산업생태계를 구성하고 요소 기술들의 응용으로 파생기술이 전파된다면 새로운 신산업 창출 등 국가산업에 많은 혜택을 줄 수 있다. 하지만 많은 인력과 대규모 투자 그리고 중장기 프로젝트라는 특성으로 인해 실패 가능성도 높아 전략적 선택 및 추진이 필요하다.

그동안 우리나라를 비롯한 주요 선진국에서 국가 재정사업 및 거대과학 투자효율화를 위한 여러 국가 과학기술정책과 추진체계, 전략 방안 등을 내놓았지만, 아직 3P분석과 같은 구체적 Tool을 적용하여 국산화 전략 마련 등 실질적인 Action Plan 마련을 위한 선행 연구 사례는 없었다. 본 연구에서는 이러한 실무적 프로젝트 추진 전략 마련을 위한 핵심부품 국산화 전략수립을 3P분석의 Tool을 활용하여 접근해보고자 한다. 거대과학중 가속기 분야의 거대시설인 중이온 가속기 사례를 통해 우선 추진 아이টে임을 발굴하여 향후 추진 실패 가능성을 줄여나가고 거대과학 프로젝트의 파급효과를 극대화할 수 있는 방안을 마련해보고자 한다.

II. 선행 연구

1. 주요 거대과학기술 적용분야

빅사이언스(Big Science)라고도 불리는 거대과학기술은 우주개발이나 가속기, 핵

융합 연구와 같이 인류의 발전과 생존을 위해 풀어야 하는 문제를 해결하기 위한 연구분야로 막대한 자본 및 인력투입이 필요하고 대형연구시설을 요구하는 과학기술 분야이다.(이민형, 안두현 등, et al 2010)

우리나라에서는 2008년 과학기술기본계획('08년-'12년)에 따라 7대 중점투자(50대 중점육성기술)분야중 국가주도기술에 우주, 항공, 원자력, 핵융합 등의 거대과학의 기술개발 강화가 강조되었다. 또한, 2013년에는 제3차 과학기술기본계획('13년~'17년)에서도 5대 전략 분야중 국가 전략기술개발에 우주, 항공, 핵융합, 가속기 등 거대과학기술이 포함되었다. 이를 통해 정부에서는 국가의 미래성장동력을 발굴하는 정책을 꾸준히 추진해왔다. 국가대형연구시설 구축지도에 보고된 국내 12대 거대과학기술 분야를 살펴보면 아래의 <표 1>와 같다.

<표 1> 12대 거대과학기술 분야

분야	주요 내용	관련 시설
우주	우주기반 지구 관측시설, 우주수송체 개발시설, 위성탐지 관련 지상시설, 우주물체 추적·감시시설, 위성통신시설, 우주자원 개발 시설 등 연구시설	KSLV-1발사시스템
천문	우주 생성원리 탐구시설(우주로부터 이동), 광학망원경, 전파망원경 등 천체(태양 포함) 관측하는 연구시설	거대 마젤란 망원경 보현산 천문대
기상	기구, 위성, 항공기 및 기상기반 설비를 이용한 기상현상의 변화관측이 가능한 연구시설	기후변화감시센터 국가기상위성센터
해양	해양자원 및 에너지 개발, 해양 과학조사 및 심해탐사, 해양환경기술 지원을 위한 연구시설(운송체 포함)	대형 해양과학조사선 산해용 무인잠정해태
극지	미개척지역인 극지 관측을 통해 자원 및 기후, 생태계 연구 관련 연구시설	남극 장보고과학기지 쇄빙연구선 아라온호
생명	인간 유전자 및 단백질의 기능, 생체의 구조 등을 규명을 위한 연구시설 생태계 안정성 유지와 생물자원 확보 및 보존을 위한 생물 다양성 등의 연구시설	의료용 중입자 가속기 동물세포배양시스템
원자력	핵분열 반응(중성자로 충돌 또는 자발적으로 원자핵이 2개 이상의 원자핵으로 분열되는 현상)을 이용한 각종 원자력 관련 연구시설	하나로 연구용 원자로 냉중성자 연구시설
핵융합	핵융합반응(2개의 수소 원자핵이 합쳐지는 반응)을 이용한 관련 연구시설	차세대 초전도핵융합 연구장치 국제핵융합실험로
가속기	전자, 이온 등을 초고속으로 가속 또는 충돌시켜 자연의 근본법칙을 탐구 하거나 산업기술에 응용하기 위한 연구시설	중이온 가속기 포항방사광 가속기 양성자 가속기
IT	컴퓨팅(정보처리, 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어, 멀티미디어) 방송, 정보통신망 등의 연구시설	슈퍼컴퓨터 4호기 슈퍼컴퓨터 3호기
기계	금속재료, 주조/소성가공, 표면처리, 산업기계, 조선해양, 항공우주의 기계 소재 관련 연구시설	금형기술지원센터 합성투입시험설비
건설 교통	건설교통 분야의 신기술의 검·인증, 시설물의 안전성평가, 표준제·개정을 지원하기 위한 연구시설	건설연구인프라실험시설

* 자료 출처 : 국가대형연구시설 구축지도(2011)

2. 국내 거대과학 투자 현황

시설장비전자도서관(NFEC)에 따르면, 거대과학기술 분야별 대형연구시설 구축현황을 보면 우주분야가 14개 시설에 3조 1,261억 원(35.2%), 가속기분야가 9개 시설에 1조 9,555억 원(22%), 핵융합 분야는 3개 시설에 1조 1,798억 원(13.3%) 순으로 투자한 것으로 조사되었고, 거대과학기술 분야별 운영주체별 대형연구시설 구축현황은 정부출연(연)이 가장 많은 분야의 대형연구시설을 보유하고 있으며, 우주 및 핵융합 분야는 단독으로 보유하고 있는 것으로 조사되었다. 우주 및 핵융합 분야는 산업기반이 부족한 기초기술개발의 성격이 강하기 때문에 정부출연연구소 차원의 연구개발이 집중된 것으로 분석되었다.

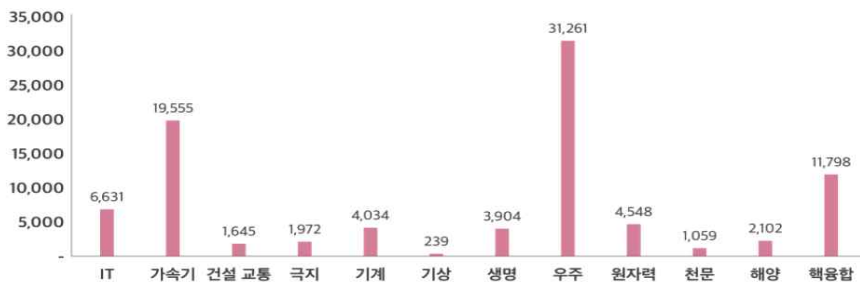
<표2> 국내 거대과학 투자 현황 및 투자집중도

(단위 : 개, 억원, %)

분류	우주	천문	기상	해양	극지	생명	원자력	핵융합	가속기	IT	기계	건설교통	합계
시설수 (A)	14 (10.6)	3 (2.3)	1 (0.8)	9 (6.8)	3 (2.3)	17 (12.9)	13 (9.8)	3 (2.3)	9 (6.8)	15 (11.4)	32 (24.2)	13 (9.8)	132 (100.0)
구축비 (B)	31,261 (35.2)	1,059 (1.2)	239 (0.3)	2,102 (2.4)	1,972 (2.2)	3,904 (4.4)	4,548 (5.1)	11,798 (13.3)	19,555 (22.0)	6,631 (7.5)	4,034 (4.5)	1,645 (1.9)	88,748 (100.0)
투자 집중도 (B/A)	2,233	353	239	234	657	230	350	3,933	2,173	442	126	127	672

※ 투자집중도 : 대형연구시설별 평균 투자액, 구축비/시설수

* 자료 출처 : 시설장비전자도서관(2015)



<그림 1> 국내 거대과학 투자 현황(단위:억원)



<그림 2> 국내 거대과학기술 운영주체별 구축현황(단위:억원)

* 자료 출처 : 시설장비전자도서관(2015)

3. 거대과학기술 추진 효과

거대과학은 새로운 발견과 난해한 문제의 해결을 위해 대형연구시설의 건립 등 많은 인적·물적 자원이 투입된다. 이를 통해 아직 도달하지 못한 연구의 영역을 탐구하고 또한 개척하여 인류의 가능성을 확대하는 순기능이 있다. 그리하여 장기적으로는 거대과학기술 연구분야의 파급 효과로 인해 국가의 이익과 지위 향상에 기여한다. 그리고 일부의 학자들은 거대과학이야말로 최첨단 기술에 최적의 기술을 합리적인 비용으로 접근할 수 있다고 주장한다.(Vuola, O. et al.,2006:26,3)

그러나 거대과학이 미래에 큰 파급효과를 창출하는 과정은 쉽지 않다. 새로운 과학기술적 도전 그리고 거대한 자본과 많은 인력 투입에 따른 성공의 불확실성이 상존함에 따른 실패의 위험성이 높다. 또한 다루는 주제의 높은 난이도, 프로젝트 추진의 복잡성과 난해성으로 인해 효율적으로 프로젝트를 추진하기가 쉽지 않다. (이민형, 안두현 등, et al 2010)

거대과학의 신지식의 창출이라는 명제는 분명하다. 하지만 거대과학의 특성상 막대한 자본의 투입을 위해 정부 주도의 공공의 영역으로 추진되어왔기에 제한된 예산으로 거대과학이 인류에 공헌한다는 인식적 기여(epistemic contribution)만으로도 그 존재를 정당화하기는 어렵다.(Autio et al.,1996:301~314) 또한, 그동안 국가 재정 사업을 통해 거대과학을 추진하는 연구기관들은 산업용 어플리케이션을 충분히 지원하지 않았었다. 그래서 거대과학의 연구기관 경영진들에게도 산업체의 기술이전 및 자회사 설립 등의 기술사업화가 권고되어지고 있다.

4. 가속기 산업

가속기는 크게 연구용, 산업용, 의료용으로 구분되며 이중에 99%가 산업 및 의료용으로 세계적으로 가속기 장치는 약30,000개에 이르고 있다. 가속기 시장의 규모는 산업 및 의료용 시장이 약5.4조원으로 추산되고 있고, 향후 연구용 장치는 EU, 일본, 중국, 인도 등에서 20조원 규모의 투자가 예상되고 있다.(최원재, 김유빈 등 et al, 2014) 세계입자방사선치료학회(PTCOG, Particle Therapy Co-Operative Group)에서 발표한 자료에 따르면 세계적으로 건설중인 치료용 입자 가속기는 41곳에 이르고 있다.(2017년 6월 기준)

이와 같이 가속기산업은 글로벌 산업에서 중요한 위치를 선점하고 있으며 고도의 첨단기술이 집약되는 산업으로 높은 수준의 부가가치를 가지고 있다. 국내에서도 전략적으로 가속기 관련 부품 산업체를 육성할 필요가 있다.

<표 3> Particle therapy facilities under construction(2017.6월 기준)

COUNTRY	WHO, WHERE	PARTICLE	MAX. ENERGY (MeV) ACCELERATOR TYPE (VENDOR)*	BEAM DIRECTIONS	START OF TREATMENT PLANNED
Belgium	ParTICLe, Leuven	p	230 / SC cyclotron (IBA)	1 gantry (PBS), 1 horiz. beamline (research)	2019
China	HITFil, Lanzhou	C-ion	400/u / synchrotron (?)	4 horiz, vertical, oblique, fixed beams	2017
China	Ruijin Hospital, Jiao Tong University, Shanghai	p	250 / synchrotron (?)	1 gantry, 2 horiz. fixed beams	2018
China	Yizhou Proton Therapy Center, Baoding, Hebei	p	230 / cyclotron (IBA)	4 gantries, 1 horiz. fixed beam	2017
China	Guangdong Hen Ju Medical Technologies Co., Guangzhou	p	230 / cyclotron (IBA)	3 gantries	2018
China	Qingdao Zhong Jia Lian He Healthcare, Shandong	p	230 / cyclotron (IBA)	4 gantries, 1 fixed beam	2018
China	Beijing Proton Center, Beijing	p	230 / cyclotron (?)	3 gantries, 1 horiz. fixed beam	2019?
China	HIMC Center, Hefei, Anhui	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries, 1 horiz. fixed beam	2018
Denmark	DCPT, Aarhus	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries, 1 horiz. fixed beam	2018
Emirate of Abu Dhabi	Proton Partners Int., Abu Dhabi	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry, 1 horiz. fixed beam	2018
France	ARCHADE, Caen	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2017
India	Apollo Hospitals PTC, Chennai	p	230 / cyclotron (IBA)	2 gantries, 1 horiz. fixed beam	2018
India	Tata Memorial Centre, Mumbai	p	230 / cyclotron (IBA)	3 gantries	2019
Japan	Hakuhokai Group Osaka Proton Therapy Clinic, Osaka	p	235 / synchrotron (Mitsubishi)	1 gantry	2017
Japan	Hyogo Prefectural Kobe PTC, Hyogo	p	235 / synchrotron (Mitsubishi)	1 gantry	2017?
Japan	Social Medical Corporation Kouseikai Takai Hospital, Tenri City, Nara Pref.	p	230 / cyclotron (Sumitomo)	1 gantry	2017
Japan	Teishinkai Hospital, Sapporo, Hokkaido	p	235 / cyclotron (Sumitomo)	1 gantry	2017
Netherland	HollandPTC, Delft	p	250 / SC cyclotron (Varian)	2 gantries, 1 horiz. fixed beam	2017
Netherland	UMC PTC, Groningen	p	230 / cyclotron (IBA)	2 gantries	2017
Russia	PMHPTC, Protvino	p	250 / synchrotron (?)	1 horiz. fixed beam	2017?
Russia	Federal HighTech Center of FMBA, Dimitrovgrad	p	230 / cyclotron (IBA)	4 gantries	2018
Saudi Arabia	King Fahad Medical City PTC, Riyadh	p	250 / SC cyclotron (Varian)	4 gantries	2017
Singapore	National Cancer Center Singapore (NCCS)	p	250 / synchrotron (Hitachi)	4 gantries, 1 horiz. fixed beam	2021
Slovak Rep	CMHPTC, Ruzomberok	p	250 / synchrotron (?)	1 horiz. fixed beam	2017?
South Korea	KIRAMS, Busan	C-ion, p	430/u, 230 / synchrotron	2 vertical and horiz. fixed beams, 1 horiz. fixed beam	2018
Taiwan	National Taiwan University CC, Taipei	p	250 / SC cyclotron (Varian)	2 gantries, 1 experimental room	2018
United Kingdom	The Christie Proton Therapy Center, Manchester	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries	2018
United Kingdom	PTC UCLH, London	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries	2019
United Kingdom	Proton Partners Int., Northumbria	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2018
United Kingdom	Proton Partners Int., Newport, Wales	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2017
United Kingdom	Proton Partners Int., Reading	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2018
United Kingdom	Proton Partners Int., Imperial-West, London	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2019
USA	Oklahoma University, Oklahoma City, OK	p	250 / SC synchro-cyclotron (Mevion)	1 gantry	2017
USA	McLaren PTC, Flint, MI	p	250/330 / synchrotron (ProNova)	3 gantries	2017
USA	Emory Proton Therapy Center, Atlanta, GA	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries, 2 horiz. fixed beams	2017?
USA	Dallas Proton Treatment Center, Dallas, TX	p	250 / SC cyclotron (Varian)	3 gantries, 2 horiz. fixed beams	2017?
USA	Lombardi Comprehensive CC, Georgetown Univ., Washington D.C.	p	250 / SC synchro-cyclotron (Mevion)	1 gantry	2017
USA	MGH, Boston, MA	p	330 / synchrotron (ProTom)	1 gantry	2017
USA	UFHPTI, Jacksonville, FL	p	230 / cyclotron (IBA)	1 gantry	2018
USA	Miami Cancer Institute, Baptist Health, FL	p	230 / cyclotron (IBA)	3 gantries	2018
USA	Sibley Memorial Hospital, Washington D.C.	p	250 / synchrotron (Hitachi)	3 gantries, 1 horiz. fixed beam	2019

* 자료 출처 : PTCOG 자료(2017)

5. 중이온 가속기(RAON, Rare isotope Accelerator complex for ON-line experiments)

가속기(Accelerator)는 원자로부터 전자를 떼어낸 양성자, 전자 등 전기를 띤 입자를 강력한 전기장을 사용하여 빛의 속도(30만km/초)에 가깝게 속도를 높여주는 장치이다. 가속기는 자연계의 근본원리를 규명하기 위한 장치로서, 구동하는 데에 매우 큰 에너지를 필요로 하는 거대과학의 대표적인 장치이다.(이민형, 안두현 등, et al 2010) 입자 가속기는 의료, 생명과학, 재료공학 분야 등에 응용된다. 소형 입자가속기는 3대 암치료의 방사선 요법에 널리 쓰이고 있으며, 최근 중대형 입자가속기의 중 입자빔을 이용한 암치료가 확대되고 있는 추세이다.(정기철 외 et al,2010:1~204)

중이온 가속기는 양성자에서 우라늄까지 다양한 중이온을 가속해 물질의 구조를 변화시켜 희귀동위원소를 생성하는 대형 연구시설이다. 이렇게 생성된 희귀동위원소는 생명과학, 기초의학, 물성 및 재료 분야, 우주과학, 원천기술 등 각종 첨단기초과학 분야의 연구에 활용할 수 있다. 우리나라는 세계 최고 수준의 이온 빔(가속에너지 200MeV, 가속출력 400kW)을 생성할 중이온가속기 '라온(RAON)'을 현재 기초과학연구원(IBS)의 주도로 중이온입자가속기가 총 예산 1조4,000억원 규모(시설사업비 6000억원, 장치구축 4602억원, 2012년 완공 목표)로 대전 유성 신동 지구내 구축 중에 있다.(IBS et al, 2017.1.26.)

하지만 막대한 예산이 투입이 되고 민관이 합동 컨소시엄을 구성하여 추진해온 중이온 가속기 건설 사업에서 지나치게 해외장비에 의존한다는 지적을 받아 왔다. 중이온 가속기 구축을 위해 지난 2014년부터 2016년까지 해마다 195억 4100만 원, 237억 6700만 원, 357억 2300만 원이 투입됐지만, 이 중 국내 업체 발주액은 80억 9300만 원에서 147억 1700만 원으로 늘어났으나 비중은 63.2%에서 54.6%로 줄어든 반면에, 해외 업체 발주액은 26억 700만 원에서 115억 1500만 원으로 20.3%에서 42.7%로 급증하였다.(대전일보 et al, 2017)

6. 거대과학 산업 생태계

앞서 살펴본 바와 같이 국내 거대과학 프로젝트의 수주 현황에서 국내 업체 비중을 높이는 것에서 벗어나 관련 산업의 생태계를 활성화하여야 한다는 연구도 주목할 필요가 있다. 국가핵융합연구소가 제시한 “핵융합·가속기 산업 생태계 활성화 전략”에 따르면, 핵융합 및 가속기 분야는 초전도, 초정밀가공, 극저온, 초고진공, 대용량 전력 공급 등 공통의 극한기술을 공유하고 있으며, 약 400여개 이상의 중소·중견 기업이 산업 생태계를 구성하고 있고 산업 생태계 활성화 위한 방안으로 핵융합과 가속기 공통의 기술을 개발할 수 있는 기업을 육성하여야 한다고 주장한다. 이를 통

해 고유의 영역인 핵융합·가속기 기술에서 축적된 기술을 바탕으로 타분야(우주, 항공)에 진출하는 ACE-I전략*을 제시하고 있다.(최원재, 김유빈 등 et al, 2014)

※ ACE-I전략 : 핵융합·가속기 산업생태계 활성화 전략(ACE-I:Approach Care Expansion-Infrastructure)

7. 3P기반 중이온가속기 핵심부품 분석

다양한 접근 방법에 의한 전략 시뮬레이션과 미래 전망은 정책적 판단에 중요한 출처가 되어 왔다. 특히 3P분석은 특허, 논문, 시장의 사례 분석을 통해 연구생산성의 현주소를 분석하는 것으로, 경쟁력 확보에 방해되는 요인을 파악하고 미래의 R&D 연구생산성 향상을 위해서 어떤 부분에 초점을 두고 연구해야 할지 방향을 제시하는 것이다.(김철 외 et al, 2008:14:121-9)

3P분석 Raw-Data를 기반으로 중이온 가속기 핵심부품의 국내 기술 수준 및 산업 경쟁력을 판단하기 위하여 논문과 특허는 기술성지표로 제품 시장 데이터는 시장성 지표를 도출하였다. 이를 근거로 중이온 가속기 핵심부품에 대한 국산화 전략을 마련하였다.

III. 연구 방법 및 구성

1. 데이터 수집

중이온 가속기 건설에 필요한 부품으로 43개 항목을 핵심부품으로 도출하였다. 이에 대한 Raw-Data를 수집하기 위하여 논문은 Web of Science(Thomson Reuters) DB를 사용하여 총 2,692건의 논문을 분석하였으며, 특허는 KISTI COMPAS 데이터베이스를 통해 미국등록특허(미국특허청), PATSTAT(유럽특허청)의 자료(총 3,522건)를 분석하였으며, 제품시장 분석에는 Standard&Poors(Capital IQ) DB를 사용하여 국가별·산업별 분포현황, 매출액 규모, 영업이익 규모 및 기업가치 등의 정보를 추출하였다.

〈표 4〉 논문 및 특허 분석을 위한 검색식

핵심 부품명	검색어
	("Superconducting Magnet" or "superconductive magnet") and ("accelerator" or "heavy ion")
14.5 GHz Post ECR	("14.5 GHz ECR") and ("accelerator" or "heavy ion")
	("Bending Magnet") and ("low energy accelerator" or "Low Energy Beam Transport" or "accelerator")

	or "heavy ion")
RFQ Cavity	("Radio Frequency Quadrupole") and ("low energy accelerator" or "accelerator" or "heavy ion")
	("Focusing Magnet") and ("low energy accelerator" or "Medium Energy Beam Transport" or "accelerator" or "heavy ion")
Beam Position Monitor	("Beam Position Monitor") and ("accelerator" or "heavy ion")
	("QW" or "quarter wave") and ("resona*" or "resonator") and ("cavity") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
QWR-Cryomodule	("QW" or "quarter wave") and ("resona*" or "resonator") and ("module") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
QWR-Coupler	("QW" or "quarter wave") and ("resona*" or "resonator") and ("Coupler") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
QWR-Tuner	("QW" or "quarter wave") and ("resona*" or "resonator") and ("Tuner") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
HWR-Cavity	("HW" or "half wave") and ("resona*" or "resonator") and ("cavity") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
HWR-Cryo module	("HW" or "half wave") and ("resona*" or "resonator") and ("module") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
HWR-Coupler	("HW" or "half wave") and ("resona*" or "resonator") and ("Coupler") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
HWR-Tuner	("HW" or "half wave") and ("resona*" or "resonator") and ("Tuner") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
	("Charge Stripper") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("cavity") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR1-Cryo module	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("module") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR1 Coupler	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("coupler") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR1 Tuner	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("tuner") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("cavity") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR2-Cryo module	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("module") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR2 Coupler	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("coupler") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR2 Tuner	("SSR" or "single spoke") and ("resona*" or "resonator") and ("tuner") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
MPS	("MPS" or "computer control system" or "software development") and ("particle accelerator" or "heavy ion")
Timing System	("Timing system") and ("control system") and ("particle accelerator" or "heavy ion")
	("cryo" OR "cryogenic") AND ("valve" OR "butterfly valve" "globe valve" OR "gate valve" OR "check valve" OR "ball valve" "safety valve" OR "relief valve" OR "control valve") AND ("accelerator" OR "heavy ion")
Compressor	("Compressor") and ("cryo" or "cryogenic") and ("accelerator" or "heavy ion")
Heat Changer	("Heat Changer") and ("cryo" or "cryogenic") and ("accelerator" or "heavy ion")
QWR RF	("QWR RF" or "quarter wave") and ("resonator") and ("radio frequency") and ("accelerator" or "heavy ion")
HWR RF	("HWR RF" or "half wave") and ("resonator") and ("radio frequency") and ("accelerator" or "heavy ion")
SSR1 RF	("SSR" or "single spoke") and ("radio frequency") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
SSR2 RF	("SSR" or "single spoke") and ("radio frequency") and ("superconducting linac" or "accelerator" or "heavy ion")
Cyclotron	("Cyclotron") and ("isotope separation on line" or "isd" or "radioactive isotope" or "accelerator" or "heavy ion")
	("Target Module") and ("isotope separation on line" or "isd" or "radioactive isotope" or "accelerator" or "heavy ion")
EBIS	("EBS" or "electron beam ion source") and ("isotope separation on line" or "isd" or "radioactive isotope" or "accelerator" or "heavy ion")

	("Graphite") and ("In flight fragmentation") and ("radioactive isotope" or "accelerator" or "heavy ion")
Dipole (HTS)	("Dipole HTS") and ("accelerator" or "heavy ion")
Wien Filter	("Wien Filter") and ("accelerator" or "heavy ion")
HPGE Detector	("HPGE Detector" or "high purity germanium detectors") and ("accelerator" or "heavy ion")
	("TPC") and ("accelerator" or "heavy ion")
MR-TOF	("MR TOF") and ("accelerator" or "heavy ion")
	("Laser System" or "Collinear Laser Spectroscopy") and ("accelerator" or "heavy ion")
NDPS/BIS/uSR	("NDPS" or "BIS" or "uSR") and ("accelerator") and ("heavy ion")

<표 5> 시장 분석을 위한 검색식

핵심 부품명	검색어
	product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn : accelerator (AND) product name : Superconducting Magnet (OR) product descriptionn : Superconducting Magnet
14.5 GHz Post ECR	product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn : accelerator (AND) product name : 14.5 GHz ECR
	product name : Bending Magnets (OR) product descriptionn : Bending Magnets (OR) business descriptionn : Bending Magnets (OR) long business descriptionn : Bending Magnets (AND) business descriptionn : accelerator
RFQ Cavity	product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (AND) product name : Radio Frequency Quadrupole cavity (OR) product descriptionn : Radio Frequency Quadrupole cavity (OR) Business description : Radio Frequency Quadrupole cavity
	(product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn : accelerator (AND) product name : Focusing Magnet (OR) product descriptionn : Focusing Magnet (OR) Business description : Focusing Magnet
Beam Position Monitor	(product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn : accelerator (AND) product name : "Beam Position Monitor"
QWR-Cryomodule	product name : wave resonators (OR) Product descriptionn : wave resonators (OR) business description :wave resonators
QWR-Coupler	
QWR-Tuner	
HWR-Cavity	product name : wave resonators (OR) Product descriptionn : wave resonators (OR) business description :wave resonators
HWR-Cryomodule	
HWR-Coupler	
HWR-Tuner	
	product name : "Charge Stripper" (OR) Product descriptionn : "Charge Stripper" (OR) business description : "Charge Stripper" (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
SSR1-Cryo module	product name : SSR (OR) Product descriptionn : SSR (OR) business description : SSR (AND) product descriptionn : accelerator
SSR1-Coupler	product name : Coupler (OR) Product descriptionn : Coupler (OR) business description : Coupler (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
SSR1-Tuner	product name : Tuner (OR) Product descriptionn : Tuner (OR) business description :Tuner (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
SSR2-Cryo module	product name : SSR (OR) Product descriptionn : SSR (OR) business description : SSR (AND) product descriptionn : accelerator
SSR2-Coupler	product name : Coupler (OR) Product descriptionn : Coupler (OR) business description : Coupler (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
SSR2-Tuner	product name : Tuner (OR) Product descriptionn : Tuner (OR) business description :Tuner (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
MPS	product name : "MPS" or "computer control system" or "software development" (OR) Product descriptionn : "MPS" or "computer control system" or "software development" (OR)business description : "MPS" or "computer control system" or "software development" (AND) product descriptionn : "particle accelerator" or "heavy ion"
Timing System	product name : Timing system (OR) Product descriptionn : Timing system (OR) business description : Timing system (AND) product descriptionn : accelerator
Compressor	product name : cryogenic valve (AND) product descriptionn : cryogenic valve Product Name : compressor (OR) Product Description : compressor (And) business descriptionn : "accelerator" or "cryogenic" or "nuclear fusion"
Heat Changer	product name : "heat changer" (OR) product descriptionn : "heat changer" (OR) business descriptionn : "heat changer" (OR) long business description : "heat changer" (AND) business descriptionn : accelerator
QWR RF	product name : "resonator" or "resona" (OR) product descriptionn : "resonator" or "resona"(OR) business descriptionn : "resonator" or "resona" (OR) long business description : "resonator" or "resona"(AND) business descriptionn : accelerator
HWR RF	product name : "resonator" or "resona"(OR) product descriptionn : "resonator" or "resona"(OR) business descriptionn : "resonator" or "resona" (OR) long business description : "resonator" or "resona"(AND) business descriptionn : accelerator
SSR1 RF	product name : SSR (OR) Product descriptionn : SSR (OR) business description : SSR (AND) product descriptionn : accelerator
SSR2 RF	product name : SSR (OR) Product descriptionn : SSR (OR) business description : SSR (AND) product descriptionn : accelerator
Cyclotron	product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn

	: accelerator (AND) product name : cyclotron (OR) product descriptionn : cyclotron
	product name : "Target Module System" (OR) Product description : "Target Module System" (OR) business description : Target Module System" (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
EBIS	product name : "EBIS" or "electron beam ion source" (OR)Productdescription: "EBIS" or "electron beam ion source"(OR)businessdescription: "EBIS" or "electron beam ion source" (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
	product name : Graphite (OR)Productdescription:Graphite (OR)businessdescription:Graphite (AND) product name : accelerator
Dipole (HTS)	product name : Dipole (HTS) (OR)Productdescription:Dipole(HTS) (OR) business description : Dipole(HTS) (AND) product name : accelerator
Wien Filter	Product name : "Wien Filter" or "KOBRA" (OR)Productdescription:"WienFilter"or"KOBRA" (OR)businessdescription:"WienFilter"or"KOBRA" (AND)productname:accelerator
HPGE Detector	Product name : "HPGE Detector" or "high purity germanium detector" (OR) Product descriptionn : "HPGEDetector" or "highpuritygermaniumdetector" (OR) businessdescription:Productname: "HPGEDetector" or "high purity germanium detector" (AND) product name : accelerator
	Product name : "GEM detector" or "Signal processing" or "Signal processing" or "DAQ for high energy detector" or "track finding algorithm" or "neutron detector"(AND) product descriptionn : "GEM detector" or "Signal processing" or "Signal processing" or "DAQ for high energy detector" or "track finding algorithm" or "neutron detector" (AND) product descriptionn : "LAMPS" or "TPC" (AND) product descriptionn : accelerator
MR-TOF	product name : "MR TOF" or "Multi-Reflection Time of Flight Mass "Spectrograph"(OR) Product descriptionn : "MR TOF" or "Multi-Reflection Time of Flight Mass "Spectrograph" (OR) business description : "MR TOF" or "Multi-Reflection Time of Flight Mass "Spectrograph" (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator
	product name : accelerator (OR) product descriptionn : accelerator (OR) business descriptionn : accelerator (OR) long business description : accelerator product name : laser system
NDPS/BIS/uSR	product name : "NDPS" or "BIS" or "uSR" (OR) product descriptionn : "NDPS" or "BIS" or "uSR" (OR) business descriptionn : "NDPS" or "BIS" or "uSR" (AND) product name : accelerator (AND) product descriptionn : accelerator

2. 데이터 분석

중이온 가속기 장치 분야의 R&D전략 수립을 위해 3P(Paper, Patent, Product)분석 기법을 활용하여 데이터 기반의 기술성 및 시장성 지표를 도입하였고 이를 도표화 하여 전략 방안을 도출하였다. 분석을 위한 Tool은 <표 6>과 같이 논문 분야는 KISTI Compas의 Journal Article Analysis, 특허는 Competitor Identifier Analysis, 제품시장 분석은 S&P Capital IQ Platform을 활용하였다.

<표 6> 3P 분석 Tool

분석 Tool	주요 분석 내용
KISTI Compas Journal Article Analysis (Paper)	특정 기술분야의 기초/기반 연구 중심의 현황을 파악하여 기술 개발 전략 수립에 활용, 국가/기관/연구자별 논문수, 수준지수, 공동연구네트워크/국제협력 강도 등의 정량 분석
KISTI Compas Competitor Identifier Analysis (Patent)	특정 기술분야내의 주요경쟁자(출원인)를 파악하여 기술개발 전략 수립에 활용, 연도별 특허수, 출원인 국가/출원인별 특허수, 특허수준지수, 패밀리 크기, 고 피인용 특허목록 등의 정량 분석
S&P Capital IQ Platform (Product)	상장 및 비상장 회사에 대한 사업정보, 산업군, 시장정보, 전문 인력, 주요 재무정보 등의 분석을 통해 시장 동향 분석

논문은 중이온 입자가속기 핵심 부품의 기반 기술 연구 수준을 판단하기 위해 발

표된 연구 논문의 수준지수를 기준으로 분석하였다.(WOS(Web of Science) DB검색 / 논문 검색 기준연도 : 1991 - 2017)

<표 7> 논문의 수준지수

구분	주요 내용
논문 수준지수	특정 기술 분야 전체 특허의 평균 피인용 수에 대한 특정 출원인 특허의 평균 피인용 수의 비로서 피인용 수에 기반을 둔 문헌의 질적 수준 평가 지표(1.0을 초과하는 경우는 해당 분야 평균 피인용 수에 비해 높음을 의미함)

특허는 핵심 부품 국산화를 위한 국내 기업의 기술 준비도 및 경쟁력을 판단하기 위해 미국/유럽 특허 출원 특허를 기준으로 분석하였다. 정확한 특허 분석을 위해 세부 장비명이 포함되도록 검색 키워드를 구체화하였다.(미국, 유럽 특허 DB 검색/특허 검색 기준연도 : 1998 - 2017)

제품시장 분석은 해당 분야 기업군의 매출 규모, 영업이익을 통하여 시장 규모를 예측하고 기업군의 미래가치는 기업가치(TEV/EBITDA) 및 주가수익율비율(PER)을 기준으로 나스닥 상위 100개 기업군과 비교 분석하였다.

<표 8> 기업군의 미래가치 및 시장가치 추정

구분	주요 내용
TEV/EBITDA(기업 가치)	기업의 가치가 영업활동을 통한 이익의 몇 배인가를 나타내는 지표로 기업가치(EV)를 세금·이자지급전이익(EBITDA)로 나눈 수치
PER(주가수익비율)	현재의 주가를 주당순이익으로 나눈 값으로 PER값이 크면 시장에서 해당 기업의 영업활동 대비 주가의 가치를 높게 평가함

시장성 지표는 매출규모, 기업가치를 활용하여 평가하고, 기술성 지표는 해당 분야의 특허 출원 연평균 성장률, 특허 수준지수, 논문 수준지수를 근거로 하였다. 이를 우선순위를 도출하기 위하여 산출된 지표에 가중치를 부여하여 이를 다시 순위화 하였다.

<표 9> 논문 및 특허 분석을 위한 검색식

기술성 지표	시장성 지표
<p>* 기술성평가 = 한국 논문(50%) + 한국 특허 (50%)</p> <p>※ 기술성평가 = (한국논문 인용지수 x 25) + ((특허출원CAGR 지수 (해당분야/전체)x1.25) + (한국 특허수준지수 x 1.25))</p> <p>* 도출된 순위 가중치 부여(총점/총순위)</p>	<p>* 시장성평가 = 매출규모(60%) + 기업가치 (40%)</p> <p>※ 시장성평가 = (해당분야 매출규모/전체평균 x 3) + (해당분야 평균 기업 가치/S&P100 평균 기업가치 x 2)</p> <p>* 도출된 순위 가중치 부여(총점/총순위)</p>

IV. 연구 결과

1. 기술성 지표 및 시장성 지표

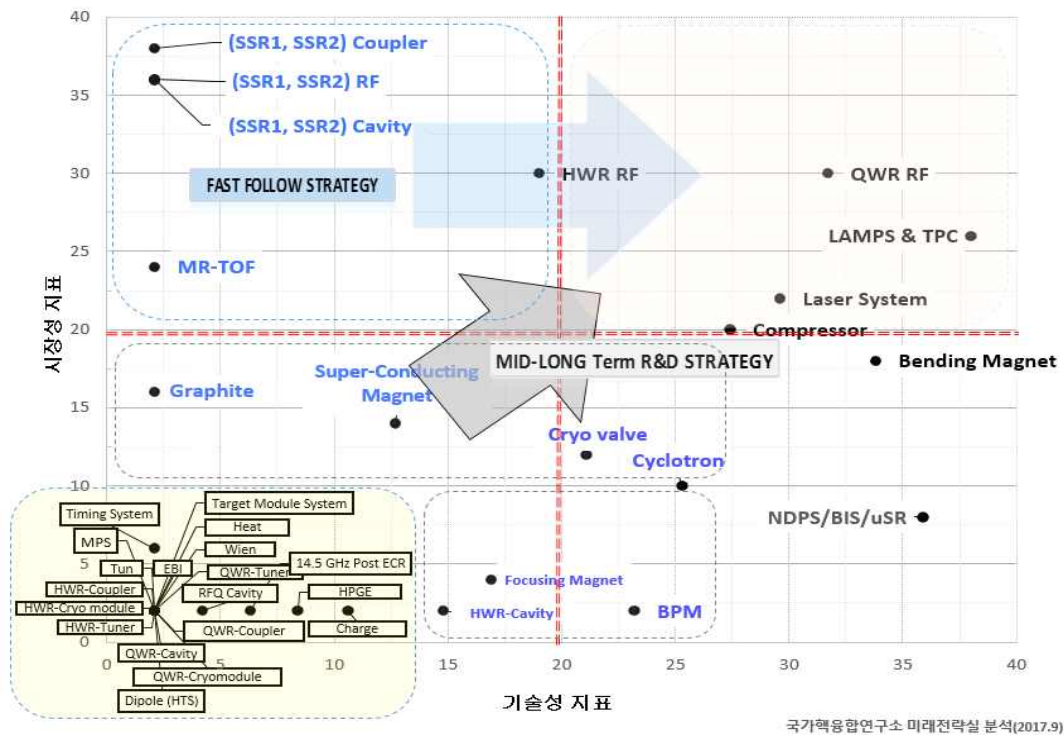
특히, 논문, 시장정보를 통한 중성자 가속기 핵심부품에 대한 기술성, 시장성분석의 결과를 아래의 <표 10> 같이 도출하였다.

<표 10> 기술성 및 시장성 지표

No	핵심부품명	기술성지표 (환산점수)	시장성지표 (환산점수)	기술성			시장성	
				논문	특허	매출규모	기업가치	
				(논문수준지수)	(특허출원 CAGR)	(한국특허수 증가율)	(mm D)	(TEV/EBITDA)
1	LAMPS & TPC	38	26	4.17	8.20%	0	1164	52.7
2	QWR RF	31.7	30	1.67		0	1781	84
3	Bending Magnet	33.8	18	3.18		0	347	22.8
4	Laser System	29.6	22	1.52		0.055	13191	10
5	HWR RF	19	30	0		0	1781	84
6	Compressor	27.4	20	0		0	6756	10.25
7	NDPS/BIS/uSR	35.9	8	0		0	1474	7.8
8	Coupler(SSR1)	2.1	38	0		0	48010	12.8
9	Coupler(SSR2)	2.1	38	0		0	48010	12.8
10	SSR1-Cavity	2.1	36	0		0	31220	13.5
11	SSR2-Cavity	2.1	36	0		0	31220	13.5
12	SSR1-Cryo module	2.1	36	0		0	31220	13.5
13	SSR2-Cryo module	2.1	36	0		0	31220	13.5
14	SSR1 RF	2.1	36	0		0	31220	13.5
15	SSR2 RF	2.1	36	0		0	31220	13.5
16	Cyclotron	25.3	10	0.2		0.138	1836	11.4
17	Cryo valve	21.1	12	0		0	1854	12.4
18	S-Conducting Magnet	12.7	14	0.28		0.105	1494	14.7
19	MR-TOF	.1	24	0		0	34	54.6
20	BPM	23.2	2	0.41		0	0	0
21	Focusing Magnet	16.9	4	0		0.147	7.4	9
22	Graphite	2.1	16	0		0	3908	9.8
23	HWR-Cavity	14.8	2	0		0	28	0
24	Charge Stripper	10.6	2	0.38		0	0	0
25	HPGE Detector	8.4	2	0.3		0	0	0
26	14.5GHz Post ECR	6.3	2	0.13		0	0	0
27	Timing system	2.1	6	0		0	967	8.8
28	RFQ Cavity	4.2	2	0.55		0	0	0
29	QWR-Cavity	2.1	2	0.17		0	28	0
30	QWR-Cryomodule	2.1	2	0		0	28	0
31	QWR-Coupler	2.1	2	0		0	28	0
32	QWR-Tuner	2.1	2	0		0	28	0
33	HWR-Cryo module	2.1	2	0		0	28	0
34	HWR-Coupler	2.1	2	0		0	28	0
35	HWR-Tuner	2.1	2	0		0	28	0
36	Tuner(SSR1)	2.1	2	0		0	12.3	0
37	Tuner(SSR2)	2.1	2	0		0	12.3	0
38	Target Module System	2.1	2	0		0	0	0
39	EBIS	2.1	2	0		0	0	0
40	Dipole (HTS)	2.1	2	0		0	0	0
41	Wien Filter	2.1	2	0		0	0	0
42	Heat Changer	2.1	2	0		0	0	0
43	MPS	2.1	2	0		0	0	0

2. 핵심부품 국산화 전략

이렇게 도출된 핵심부품의 기술성 및 시장성 지표를 사상(Mapping)과정을 통해 중이온 가속기 핵심부품의 국산화 추진 전략 분야를 도출하였다. 또한, 결과에 따라 이에 대한 추진 전략을 단기추격형(Fast Follower) 및 중장기형(Mid-Long Term R&D)로 구분하여 도표화하여 제시하였다.



〈그림 3〉 시장/기술 지표에 따른 분석 결과

분석의 결과로 LAMPS & TPC, QWR RF, Compressor, Laser System, Bending Magnet 기술의 경우, 기술 준비도와 시장성 모두 높은 분야로 분석되며, 특히, 다목적 핵분광장치(LAMPS)의 소요기술인 GEM detector, Signal processing, Signal processing, DAQ for high energy detector, track finding algorithm, neutron detector 기술 분야는 제품 사양별로 개발 및 사업화 추진 경쟁력이 높아 향후 시장 창출력이 높은 분야로 분석되었다.

HWR RF 기술의 경우 시장성 지표는 높으나 기술성 평가지표가 평균 수준으로 기업이 본격적으로 진입하기는 어려운 상황이나, 기반 기술의 선제적 확보를 통한 단기추격 전략으로 시장 진출이 가능여부를 우선 검토할 필요가 있다.

특히, 분석 대상기술인 HWR(Half Wave Resonator), QWR(Quarter Wave

Resonator) 기반 기술은 중이온 가속기 기반시설인 “고주파 장치”에 응용·확대 적용이 가능한 것으로 기반기술의 확보로 얻을 수 있는 부가가치가 클 것으로 예상된다. 중이온 입자가속기 분야에서 현재 시장성이 큰 기술 분야로 (Coupler, Cryo Module, SSR Cavity, MR TOF, SSR RF) 부품 시장 분야가 유망한 것으로 조사되었으며 향후, 관련 부품시장에 대한 기술적 준비도를 높이기 위한 방안(이른바, Fast Fallow 전략 등)마련이 필요할 것으로 판단된다.

Superconducting Magnet, Graphite, Cryo valve, Cyclotron, Focusing Magnet, HWR Cavity, BPM 기술의 경우 시장성 지표와 기술성 평가지표가 평균 수준을 보이거나 다소 낮은 수준을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

향후, 4차 산업혁명으로 인한 헬스 케어산업의 성장 및 전력 분야의 수요 증가로 상기 부품군의 기술수요의 확대가 예상되며 경제 여건에 따른 시장성의 변동 상황에 대비하여 중장기 R&D개발 추진이 필요할 것으로 예상된다.

특히, Superconducting Magnet, Cryo valve 분야는 중이온 가속기 분야 뿐 아니라 우주항공, 의료, LNG 등 극저온이 필요한 분야에 범용으로 사용 가능한 분야로 해당 제품의 단가가 높아 수익창출의 부가가치가 높고 잠재 시장의 높은 성장이 예상되는 분야이다.

Timing System, Target Module System 등이 기술의 경우, 시장성 지표가 비교적 낮은 수준이나 타 산업 응용 가능 여부 및 기술의 개별 항목별 특성 검토를 통하여 중장기적으로 미래 사업화 추진이 전략적으로 필요한 기술 분야로 판단된다.

V. 결론

그동안 미국, EU 등 선진국에서는 거대과학 R&D를 통해 기초과학의 육성과 더불어 관련 산업이 함께 발전하는 성과를 거두어 왔고 새로운 혁신 체계를 만들어 내어 신산업 창출을 해온 선례가 있다. 우리나라도 막대한 예산의 투입이 들어가는 중이온 가속기와 같은 대형연구시설 건립사업이 순조로이 국내 산업에 정착하기 위해서 과학서지학적 접근법을 활용한 3P분석은 거대과학을 추진하는 실무자 그룹과 과학정책 결정자에게 아주 유용한 도구로 활용될 수 있다.

본 사례를 바탕으로 거대과학분야 연구개발 추진에 3P분석을 도입한 기술개발 전략 수립은 국가연구개발사업의 효율적인 투자를 효율성 제고에 유용한 전략 분석 방법으로 활용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

(1) 단행본

- 이민형, 안두현, 유의선, 박동배, 이주량, 박미영(2010), 「거대과학 종합관리체계 구축 및 추진 전략」, 과학기술정책연구원.
- 최원재, 김유빈, 도현수, 최유진, 장한수, 윤정식(2014), 「핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화 전략」, 국가핵융합연구소.
- 국가연구시설장비진흥센터(2011), 「국가대형연구시설구축지도」, 국가과학기술위원회.
- 국가연구시설장비진흥센터(2009), 「거대과학과 연구시설」, 한국기초과학지원연구원.
- 국가연구시설장비진흥센터(2015), 「2014년도 국가연구시설장비 조사·분석 보고서」, 미래창조과학부.
- 국가연구시설장비진흥센터(2016), 「국가대형연구시설 총람」, 미래창조과학부.
- 정기철, 황석원, 권혁, 김귀영, 김웅채, 장태진, 최남미, 김아름(2010), 「거대과학 글로벌 산업화 전략」, 과학기술정책연구원.
- 김철, 김상균, 송미영(2008), 「논문분석과 구축사례 조사를 통한 한의학 온톨로지 연구동향 분석」, 한국한의학연구원 논문집

(2) 학술 논문

- 최원재, 김유빈, 도현수, 장한수(2013), “산업생태계 활성화 전략의 우선순위 결정에 관한 연구: 핵융합과 가속기 장치를 중심으로”, 「기술혁신학회지」, 1163-1186.
- Autio, E; Hameri, AP; Nordberg, M(1996), “A framework of motivations for industry big science collaboration: A case study,” 「JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY MANAGEMENT」, 13, 301.
- Vuola, O; Hameri, AP(2006), “Mutually benefiting joint innovation process between industry and big-science”, 「TECHNOVATION」, 26, 3.

(3) 신문 기사

- 대전일보(2017), “중이온 가속기 건설, 해외장비 지나치게 의존”, (2017.08.27.)

(4) 온라인 자료 :

- IBS, 기초과학연구원 (2017), “IBS People, 최고수준의 중이온 가속기 건설에 모든 걸 걸었어요”
 (https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_00000000737/selectBoardArticle.do?nttId=14205&pageIndex=1&searchCnd=&searchWrd=)
- PTCOG (Particle Therapy Co-Operative Group) (2017), 「Particle therapy facilities under construction」, (https://www.ptcog.ch/index.php/facilities-under-construction)