

AHP를 이용한 거대과학 산업 생태계 활성화 전략의 우선순위 결정에 관한 연구

-핵융합과 가속기 장치를 중심으로

최원재*·김유빈**·도현수***·최유진****·장한수*****·윤정식*

I. 서론

1. 연구배경

우주개발, 가속기, 핵융합과 같이 인류의 발전과 생존을 위해 풀어야 하는 문제를 해결하기 위한 거대과학은 장기간의 대규모 예산 투자 및 인력, 그리고 관련 첨단기술이 필요하다는 공통점을 가지고 있다.

이처럼 대규모의 예산과 시설을 필요로 하면서 실패 가능성을 안고 있는 거대과학의 특성 상 대부분의 사업이 정부 주도로 이루어지고 있지만, 사실 그 내면을 살펴보면 뛰어난 기술력을 가진 중소기업들과 협력 관계 형성을 통해 사업을 수행하고 있는 경우가 많다.

수많은 첨단, 극한 기술의 연구개발이 이루어지는 거대과학 시설 제작과 운영 과정에 중소기업의 활발한 참여가 이루어지며, 첨단 기술력을 중심으로 하는 중소기업 생태계가 만들어 지는 것이다. 그 대표적인 사례를 핵융합과 가속기 연구 분야에서 찾을 수 있다.

이처럼 자연스럽게 형성된 핵융합·가속기 산업 생태계는 초전도 자석 및 전원공급 장치 제작 등 주요핵심기술 개발과 관련한 많은 강소형 기업 양성에 기여하였다. 그러나 기업의 거대과학 산업 생태계 진입이 자유롭지 못하고, 또 한 번 거대과학에 진입한 기업도 단일 품목 납품이후 개발된 기술의 판로를 찾지 못해 기술력이 사장되는 경우가 많은 것이 현실이다.

선진국에서는 1980~90년대에 건설되었던 거대과학 연구장치 건설에 대한 파급효과 분석에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다(Vuola et al, 2006; Autio et al, 2004; Vuola et al, 2003). 특히 건설과정에 참여하였던 산업체와의 파트너십과 기술혁신 등에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나, 국내에서는 아직까지 거대과학 연구시설 장치 건설이 산업체에 미치는 효과에 대해 체계적으로 연구한 논문은 거의 없는 실정이다.

최근 들어, 정부는 R&D 사업의 종료 후 평가 즉, 과학기술적 파급효과 등에 관심이 높아지고 있으며, 미국, EU 등에서는 R&D 사업 추적평가가 이미 R&D 평가의 중요요소로 자리 잡고 있다. 또한 정부의 핵융합과 가속기 관련 거대과학 산업 생태계 활성화를 위한 정책수립은 이번이 처음으로 국내 거대과학 연구기관과 관련 산업체, 정부 모두에게 매우 중요한 정책이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 거대과학 연구소-기업 파트너십 활성화를 위한 전략 수립에 대해 정부에서 어느 정책과제를 우선해서 추진해야 하는지에 대해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 이용하여 분석하고, 대안을 제시하고자 한다.

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

** 김유빈, 국가핵융합연구소 선임연구원, 042-879-5085, ybkim@nfri.re.kr

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

**** 최유진, 국가핵융합연구소 연구원, 042-879-5087, cyj1327@nfri.re.kr

***** 장한수, 국가핵융합연구소 연구정책팀장, 042-879-5080, jjang@nfri.re.kr

* 윤정식, 국가핵융합연구소 정책부장, 042-879-6250, jsyoon@nfri.re.kr

2. 연구의 목적 및 내용

본 논문에서는 위에서 언급한 문제의식을 바탕으로 거대과학 산업 생태계 활성화 전략 수립 및 실천과제의 우선순위 분석을 위한 톨로서 사례연구 및 AHP분석을 제안한다. 이를 위해 다음과 같은 문헌분석과 실증분석을 수행한다.

우선, 문헌분석은 거대과학 및 산업 생태계, AHP에 관한 기존 문헌을 검토하고 각각의 개념에 대해 살펴본다. 또한 관련 선행연구 검토를 통해 이론분석의 틀을 제시한다.

제안된 틀을 검증하기 위한 실증분석은 핵융합·가속기 산업 생태계에 대한 사례분석을 바탕으로 진행한다. 이를 위하여 먼저, 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 현황 및 이슈를 분석하고, 핵융합·가속기 장치 산업 활성화 전략을 도출한다. 마지막으로 도출된 전략 및 실천과제의 우선순위 분석을 위해 AHP 분석을 적용하여, 도출된 전략의 유용성을 검증하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 거대과학과 산업생태계

1) 거대과학

(1) 거대과학의 개념

‘빅 사이언스(big science)’라고도 불리는 거대과학은 우주개발이나 가속기, 핵융합 연구와 같이 인류의 발전과 생존을 위해 풀어야 하는 문제를 해결하기 위한 연구 분야로 막대한 자본과 인력 그리고 거대연구 시설물을 필요로 하는 기초과학 연구를 말한다(이민형, 2010).

거대과학의 효시는 소위 ‘맨하튼 프로젝트’라고 하는 원자핵폭탄 개발 프로젝트로 알려져 있다. 그러나 최근들어 거대과학 연구는 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor) 프로젝트 등 인류가 당면한 문제를 해결하기 위한 국제협력이 주류를 이루고 있다(Giudice, 2012).

(2) 거대과학의 특성

거대과학은 대규모 인력과 자본을 집중적으로 투자함으로써 단기간에 다양한 분야의 기초과학 육성이 가능하고, 다양한 분야의 과학자가 명확한 목표를 갖고 집중적으로 협력연구를 수행함으로써 한 번에 큰 도약이 가능하다. 또한 거대과학 시설의 존재는 우수 과학자의 유치와 국제협력을 통하여 기초과학의 수준을 향상시키는 선순환 구조를 형성하기 때문에 오늘날 미국, EU, 중국, 일본 등 주요 선진국 들은 거대과학 연구시설 투자에 적극적으로 나서고 있다.(이원희, 2009)

(3) 거대과학의 유형화

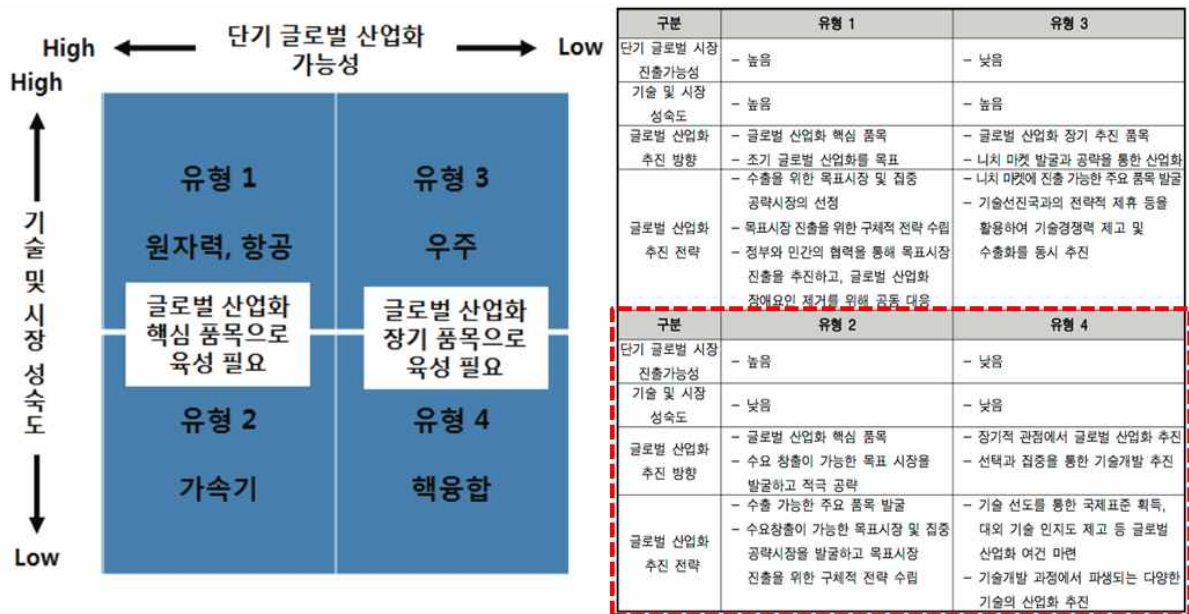
거대과학은 5대 거대과학분야를 그 특성에 따라 3개의 유형으로 분류할 수 있다(이민형, 2010). 즉, 거대시설형 거대과학, 글로벌 네트워크형 거대과학, 혼합형 거대과학 등이다. 본 논문에서 다루고자 하는 가속기와 핵융합은 대표적인 거대시설형 거대과학으로 볼 수 있다.

<표 1> 거대과학 시설의 유형화

유형		정의	대표 사례	특성/고려점	기대효과
I 거대시설형 거대과학	거대설비형	경성적 설비 및 공간에 의지하는 유형 하드웨어 또는 설비가 거대하고 고가인 유형	대형가속기	• 투자액이 크기 때문에 투자대비 편익의 고려	• 기술개발 및 실용화 기반 제공 • 신산업이나 신비즈니스 모델 창출
	지역 응집·클러스터형	거대 지역/공간(예 지하의 수 km 공간)을 확보해야 가능한 유형	유럽 핵융합	• 지역의 수용성 및 인프라, 과학적 클러스터 형성 가능성의 고려	
II 글로벌 네트워크형 거대과학		전자구적 협력이 중시되는 유형	• 전자관측시스템 • 생물다양성 • 해양과학 • 인간기능 연구	• 국가, 많은 국제기구와 이해당사자의 참여가 필수적 요소 • 투자규모는 다른 유형보다 상대적으로 적음 • 메타 시스템 연구	• 국제기구의 크고 작은 연구프로그램과 연결되어 분산형 시너지 효과 • 새로운 지식탐구를 통한 사회경제적, 환경적 문제 해결
III 혼합형 거대과학		거대시설형과 글로벌 네트워크형이 혼합되는 유형	우주 개발	• 거대투자자 시설+다학제 및 다중 주체의 네트워킹 • 국가비전을 포함한 장기적 추진계획 수립 요 • 다양한 수행 주체들을 효과적으로 통합할 리더십과 운영체계 중시	• 국가 위상제고 등 국가적 전략 우위 확보를 추구

출처 : 이민형(2010)

또한 거대과학의 산업화와 관련한 유형 분류를 살펴보면, 기술 및 시장의 성숙도와 단기 글로벌 산업화 가능성에 따라 유형1~4까지의 분류가 가능하고, 가속기와 핵융합은 기술 및 시장성숙도가 낮은 공통점을 가지고 있다



출처 : 정기철(2010)을 재구성

(그림 1) 거대과학 글로벌 산업화의 유형

2) 산업 생태계

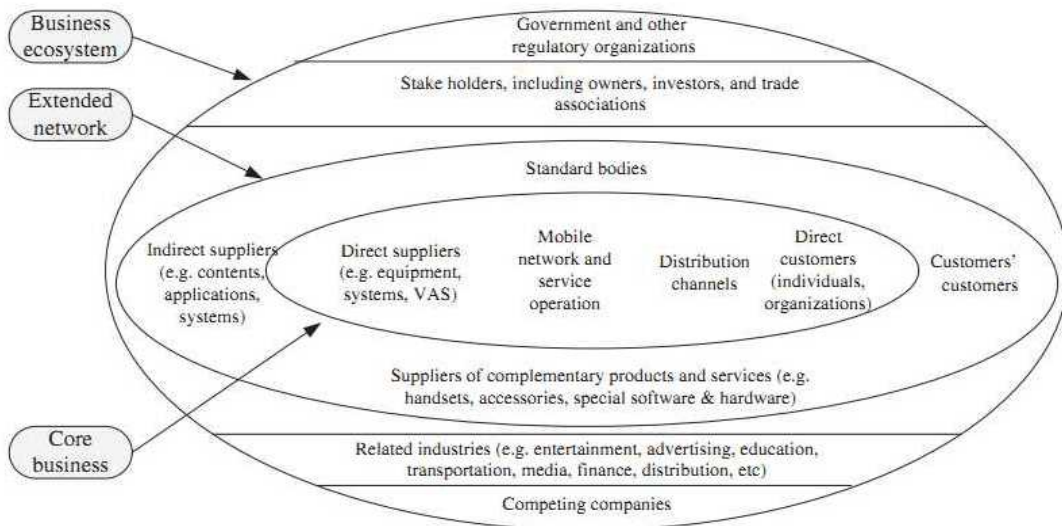
(1) 산업 생태계의 정의

Moore(1993)는 산업 생태계를 조직과 개인이 상호작용하는 토대에 의해 지지되는 경제적 커뮤니티, 즉 산업세계의 공동체라고 정의하였다. 다시 말해서 산업생태계는 산업 환경 내의 모든 이해관계자들이 생태계의 유기체들처럼 긴밀하게 연결되어 있어 서로 상호작용하는 시스템 또는 경제공동체를 말한다.

(2) 산업 생태계의 구조

산업생태계는 특정 제품 및 서비스를 생산하는 주요기업들뿐만 아니라 공급자와 수요자, 경쟁자 및 보완재를 생산하는 업체들을 포함하는 확장된 네트워크(Extended network), 이외에 제도기관 및 관련 산업의 기타 모든 이해관계자들을 아우르는 개념으로 아래 <그림2>과 같이 나타낼 수 있다.

산업생태계는 일반적으로 계층구조를 가지고 있으며, 하위 레벨의 공급자부터 상위레벨의 소비자까지 동반자적 관계 또는 공생관계를 갖는 것이 특징이다. 산업 생태계 관점에서 거대과학 R&D를 바라보면 공급자는 거대과학 사업 참여 기업이 될 수 있고, 소비자는 거대과학 장치를 건설하는 연구기관으로 볼 수 있다.



출처 : Iansiti & Levien, 2004; 장석인(2011)에서 재인용

(그림 2) 산업생태계의 기본구조

(3) 산업 생태계의 발전단계

Moore(1993)에 따르면, 모든 산업 생태계는 뚜렷한 탄생(birth), 확장(expansion), 성숙 또는 리더십(leadership), 자기재생 또는 쇠퇴단계의 네 가지 단계로 구분하고 있다. 아래 <표 2>의 단계별

특성에 따르면 핵융합과 가속기 장치 산업의 경우 새로운 가치 창출의 네트워크가 형성되었고, 주요 고객(연구기관, 정부)과 강력한 공급자(산업체) 등이 생태계로 편입되고 있으므로, 핵융합과 가속기 장치 산업 생태계는 출현단계를 지나 확장단계로 접어들고 있음을 알 수 있다.

<표 2> 산업 생태계의 단계별 특성

구분	단계별 특성
출현단계 (Birth)	- 새로운 가치 창출 네트워크의 형성 - 잠재 시장에 서비스할 수 있는 비즈니스 모델 디자인에 주력하는 시기 - 새로운 기회와 통합 패러다임을 축으로 현실적으로 가능한 가치사슬을 설계하고 창조
확장단계 (Expansion)	- 주요 고객, 강력한 공급자, 중요 유통경로 등을 모두 생태계로 편입 ⇒ 상호 상승작용 관계 형성 및 규모와 범위 확대
성숙단계/ 리더십 확보 단계 (Leadership)	- 중심 고객 및 공급자들의 투자를 이끌어내는 능력 유지 및 강화필요 - 미래에 대한 강력한 비전 제공 - 내·외부적 경쟁관계 발생 - 생태계 전체의 혁신과 공진화 진작 - 자신의 권위와 생태계 기여를 위한 독창성 유지
자기재생/ 쇠퇴단계 (Self-Renewal)	- 끊임없는 성과의 개선으로 생태계의 리더로서 입지를 구축한 기업들은 생명연장을 가장 우선시 · 새로운 혁신을 통한 안정성 유지와 변화와의 균형 중요

3) 거대과학과 산업 생태계에 관한 선행연구

그동안 국내에서는 거대과학과 산업 생태계에 관한 학술적 연구가 거의 진행되지 않았다. 국내의 대표적인 거대과학관련 연구로는 정기철(2010), 이민형(2010) 등이 국내 거대과학의 글로벌 산업화를 위한 전략 및 거대과학에 대한 종합관리체계 추진전략에 대해 연구한 정도이다. 산업 생태계와 관련한 연구로는 장석인(2011) 등이 전기차, 태양광, 차세대 모바일, 바이오의약품, IPTV 등 5개 신성장동력 산업에 대해 산업생태계 분석을 한 것과, 유길상(2012) 등이 생태계 관점에서 게임콘텐츠 산업구조를 분석 한 것이 대표적이라고 볼 수 있다.

해외에서는 2000년대 접어들어, CERN 등을 중심으로 거대과학과 산업체의 파트너십관련 연구가 진행되어 왔다. 유럽의 대표적 거대과학연구기관인 입자물리연구소(CERN)를 대상으로 거대과학과 산업체와의 파트너십을 통한 기술혁신에 관한 연구(Vuola et al, 2006; Vuola et al, 2003)와 거대과학에서 공공과 민간, 대학의 파트너십(Public-Private Academic Partnerships; PPAPs)에 대한 분석(Anderson et al, 2012), 거대과학 연구기관에서 산업체의 지식 전파의 프레임워크에 대한 연구(Autio et al, 2004) 등이 그것이다.

Vuola(2006)에 따르면 과거의 거대과학 장치개발은 산업체의 미참여로 인해 연구소에서 in-house 형태로 직접 건설되었으며, 복잡성과 Scale이 커짐에 따라 새로운 산업(industry)이 형성되게 되었다. 그러나 거대과학의 시장이 매우 작고, 기술도 세분화되고, 개발하기 어려울뿐더러 경제성도 떨어지기 때문에 대기업에서는 외면하고, 중소기업은 기술이 없어서 참여를 못하는 상황에 직면하게 되었다고 설명하였다. 이를 해결하기 위해 거대과학과 산업체의 새로운 파트너십 기술혁신 모델을 제시하였고, 사례분석을 통해 10년 동안의 LHC(Large Hadron Collider) 프로젝트를 통해 모델의 증명을 제시하였다. 이러한 문제는 우리나라의 거대과학 장치 산업 생태계 문제와 비슷한 상황이라고 볼 수 있다.

Anderson(2012)은 거대과학이 점차 공공, 민간, 대학의 통합에 대한 수요를 증가시키고 있으며, 만약 파트너 간의 역할이 분명하게 정의된다면, PPAPs가 성공할 수 있다고 주장하였다. 한편, Autio(2004)는 거대과학 연구기관에서 산업체에 지식이 이전되는 과정을 사회 네트워크, 사회적 자본, 조직학습이론 등을 통해 분석하였다. 이를 통해 실제로 거대과학 연구기관이 산업체에 광범위한 지식이전을 하고 있음을 실증분석을 통해 보여주고 있다.

2. AHP(Analytical Hierachical Process) 기법

1) 개념 및 특징

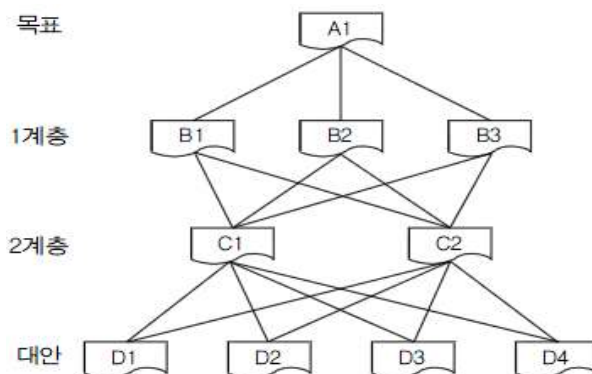
AHP 분석은 Saaty(1980)에 의해서 개발된 다기준의사결정 방식으로 계획과 자원배분, 갈등해소, 예측 등의 다양한 연구목적에 위해서 사용되어 왔다. 그리고 그 적용분야도 행정, 경영, 정책, 공학 등 다양한 영역에서 적용되어 왔다(Vaidya & Kumar, 2006; Ho 2008;).

Saaty(1990)는 AHP의 세 가지 원리를 제시하고 있는데, 이 세 가지 원리는 계층적 구조설정(hierarchical Structurinh), 상대적 중요도 설정(Weighting), 논리적 일관성(Consistency)이다(한범수, 2005; 권기현, 2010에서 재인용).

AHP 기법은 평가요소간의 가중치를 체계적인 계량적 절차를 통해 결정할 수 있으며, 최적대안의 선택에 있어서 기존의 효용이론 혹은 통계적 의사결정에 비해서 이해하기 쉽고, 전문가의 주관적 정보를 종합적으로 사용할 수 있다. 그리고, 의사결정자들의 일관성을 판단할 수 있는 지표를 제공하며, 분석절차가 합리적 의사결정의 절차와 부합한다는 점이다(고길곤, 2008)

2) AHP 분석과정

AHP를 이용하여 의사결정에 영향을 미치는 여러 속성들 간의 체계적인 가중치 혹은 순위를 부여하기 위해서는 다음과 같은 단계를 거친다. 우선 대상의 목표를 선정하고, 그 목표에 영향을 미치는 관련 속성들을 계층적으로 세분화하여 의사결정구조를 설정한다. 계층구조를 완성하기 위하여 최상위 계층에 목표를 두고 최종적인 목표로 나타내고 다음 계층은 목표를 달성하기 위한 기준으로 표현한다. 그 다음 계층은 앞 계층에 영향을 미치는 부속성을 나타낸다. 이를 도식화 하면 <그림3>과 같다.



출처 : 이덕주 외, 2004

(그림 3) AHP 의사결정구조

3) AHP 관련 선행연구의 검토

AHP 관련 선행연구를 살펴보면, Vaidya & Kumar(2006)는 주요국제학술지를 중심으로 AHP를 적용한 논문을 분석했으며, AHP 기법을 적용한 목적을 보면, 여러 가지 대안들 중에서 선택을 위해서 가장 많이 사용한 것으로 나타났으며, 그 다음이 평가, 의사결정, 우선순위 등으로 사용되었다. 적용분야는 엔지니어링, 인사, 사회문제, 제조업, 정부 문제해결 등으로 많이 사용되고 있었다.

과학기술정책관련 논문에서 AHP를 사용한 사례는 전자정부 구현전략의 우선순위 결정(성도경, 2002), IT 프로젝트 관리 우선순위 수립(경태원외, 2007), 수출유망 원자력 기술분야 선정(이덕주, 2004), 미래유망기술 투자 우선순위 설정(조근태외, 2003) 등이 있었다.

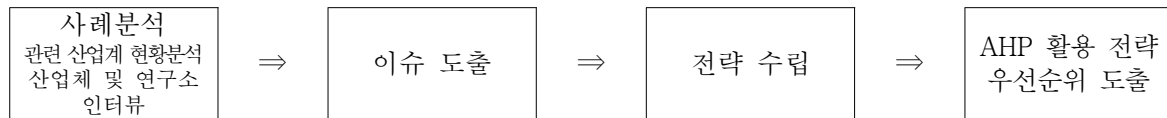
III. 사례분석

1. 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 현황 및 이슈 분석

1) 분석 방법

그동안 핵융합·가속기 관련 거대과학의 산업 생태계가 형성된 과정을 분석하기 위해 핵융합 및 가속기 장치 제작 사업의 참여기업 약 400여개에 대한 현황 데이터를 분석하였다. 또한 주요 공통기술 참여 기업에 대한 A&P Capital IQ를 이용하여 3년 매출 증가율을 동종업계 평균과 비교분석하였다. 그리고, 핵융합 및 가속기 산업 생태계 이슈도출을 위해 핵융합·가속기 참여 기업(11개) 및 연구소(국가핵융합연구소 및 4개 가속기연구소), 정부 등을 대상으로 심층 인터뷰를 진행하였다. 또한, 인터뷰를 통해 도출된 이슈를 중심으로 생태계 활성화 전략을 수립하였고, 전략의 우선순위 선정을 위한 AHP 분석을 실시하였다.

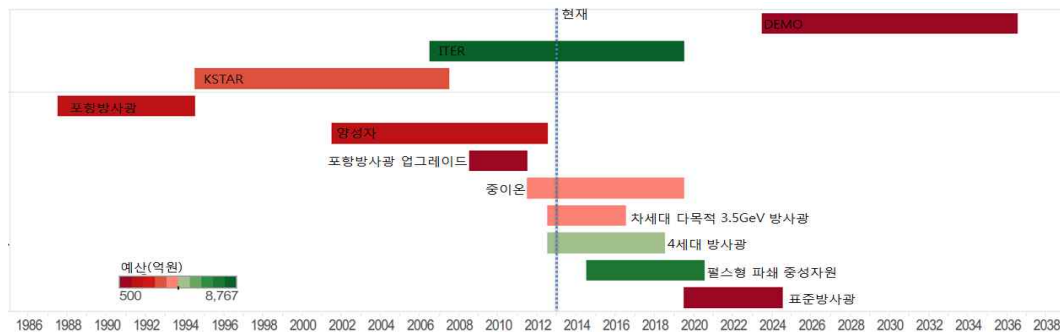
<표 3> 분석 틀



2) 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 현황 분석

(1) 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 형성과정

가속기와 핵융합은 '88년 포항가속기 건설을 시작으로 공통 극한 기술을 상호 공유하며 유지·발전되는 선순환 체제를 형성하였다. 포항가속기 건설('88~'94)로 시작된 거대과학 산업 태동의 역사는 KSTAR 건설('95~'07)로 연계되어 동 산업 기술력을 유지·발전시키는 계기가 되었다.



(그림 4) 가속기 및 핵융합 연구시설 제작 현황 및 계획(500억원 이상 시설)

당시, 포항방사광 가속기 건설에 참여하였던 기업은 130여개였고, KSTAR 건설('95~'07)에 참여했던 기업은 총 69개였으며, 현재는 ITER 건설 및 KSTAR 성능향상('04~현재)을 위해 약 171개 기업이 참여하고 있다. 즉, KSTAR 건설 이후 산업 생태계는 양성자 가속기 건설('02~'12)과 ITER 사업('07~'19) 등으로 연계되어 생태계 성장에 기여하고 있다고 볼 수 있다.

한편, 핵융합·가속기 장치 산업의 특성은 국가 주도로 형성된 생태계라는 점을 들 수 있다. 핵융합 가속기는 예산 및 설비시설 요구가 비교적 높은 분야로 정부에 의하여 생태계가 형성되고 유지되어 온 대표적인 사례이다. 핵융합, 가속기와 관련된 정부 투자는 현재까지 약 3.2조원¹⁾으로 생태계 생성 및 확장의 발판은 충분한 것으로 전망되고 있다.

또한 핵융합, 가속기의 공통된 특징으로는 대규모 장치기반 산업적 측면을 들 수 있으며, 정부 R&D 사업을 통해 약 400개 이상의 중소·중견기업이 연관된 생태계를 형성하고 있다.

<표 4> 국내 핵융합 및 가속기 장치 투자 현황

(단위 : 억 원)

구분	핵융합			가속기					
	KSTAR		ITER 조달	방사광가속기			양성자 가속기	중이온 가속기	중입자 가속기
	제작	성능향상		3세대		4세대			
			제작	성능향상					
투자 금액	3,090	811	6,112 (12,365)	1,500	1,000	1,700 (4,260)	3,143	854 (4,604)	145 (1,950)
기간	'95~'07	'08~'13	'07~'19	'88~'94	'09~'11	'11~'14	'02~'12	'12~'19	10~'16

핵융합과 가속기의 또 다른 특징으로는 극한기술 기반의 고부가가치 장치 산업이라는 점이다. 핵융합과 가속기는 공통적으로 초진도, 초고온, 극저온, 초고진공, 대용량 전력 공급 등의 극한기술을 요구하며 이는 국내외 연관 산업 진출로 연계되어 왔다.

일례로 국가핵융합연구소와 관련 산업체가 '13.6월 현재기준으로 약 1,808억원의 ITER 해외 수주를 달성하였으며, 포항가속기의 경우 3세대 방사광 가속기 건설을 계기로 관련 부품의 국산화율을 70%까지 끌어올렸다. 이는 약 7,000억원 이상의 수입 대체 효과 및 국내 우수기업의 해외 가속기 시장 진출의 계기가 되었다.



(그림 5) 핵융합·가속기 공통기술 분류

1) '13.6월기준 약 1.8조원 투자, '13~'19까지 1.4조원 투자 예정

(2) 핵융합·가속기 분야의 기술적 특성 및 관련 산업계 현황

핵융합·가속기 분야는 앞서 설명하였듯이 초전도, 극저온, 초고온, 고진공 등 첨단기술을 요구하는 극한 기술이 집약된 첨단 과학 분야로 고도의 전문 기술이 요구 된다. 또한 <그림5>와 같이 초정밀 가공 등 약 10여개 이상의 공통 기술 군을 가지고 있으며, 공통 극한기술 개발에 따른 시너지가 높은 것으로 분석되었다.

또한, 공통 기술 관련 산업체는 핵융합·가속기 관련 약 4백여 업체 중 16개 업체 규모로 생태계를 형성하고 있었으며, 관련 기술의 출현 시기 부터 상호 영역 간 협력을 통해 사업 성장성도 잘 유지하고 있었다. 또한, 사업 확장 경향을 분석한 결과, 아래 <표 4>와 같이 고유 영역에서 축적한 기술을 바탕으로 타 분야 협력(시너지) 단계로 진화하는 경향이 관찰되기도 하였다.

한편, 이들 기업 중 공통 기술을 확보한 기업은 타 분야 동종 업계 대비 재무/인력의 경쟁력 확보에도 성공하여 강소기업으로 도약 중에 있음을 확인하였다.

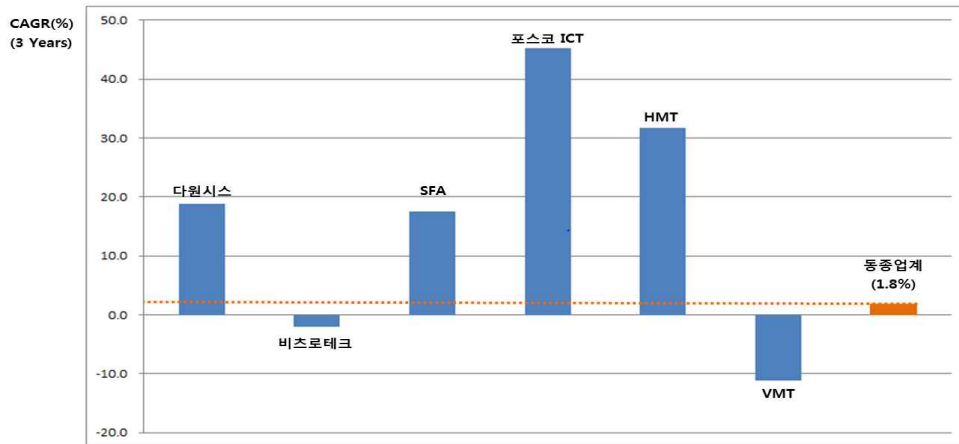
참고로, 사업성장성 확인을 위해 공시 정보 및 전화 인터뷰 등으로 재무/인력 현황 파악이 가능한 기업 6곳을 선정하여 최근 3년간 연평균성장률(CAGR) 및 인력 변동 추이를 조사하였다.

<표 4> 핵융합·가속기 공통참여 기업 현황

No	업체명	3세대방사광 ('88-'94)	KSTAR ('95-'07)	양성자 ('02-'12)	ITER ('07-'19)	중이온 ('12-'19)	4세대방사광 ('13-'16)
1	다원시스	✓	✓	✓	✓		✓
2	비츠로테크	✓	✓	✓		✓	✓
3	모션하이테크	✓	✓		✓		
4	제너시스	✓	✓				
5	성우인스트루먼트	✓	✓				
6	HMT		✓	✓	✓		✓
7	VMT		✓	✓	✓		
8	SFA		✓		✓	✓	✓
9	포스코ICT		✓		✓		✓
10	금강기전		✓				✓
11	한라이비텍		✓				✓
12	씨브이		✓			✓	
13	금강테크	✓			✓		✓
14	동우옵트론	✓			✓		
15	플라스포	✓			✓		
16	알파플러스	✓			✓		

대표 기업의 연평균 성장률을 분석한 결과, 핵융합·가속기 관련 공통참여 기업들은 동종 산업 분야의 최근 3년간 연평균성장률(CAGR) 대비 우세한 성장세를 보였다²⁾. 즉, 핵융합·가속기 분야의 공통 기업은 매출 증가와 함께, 향후 해외 신규 시장 및 타 분야 진출로 높은 성장성을 예상할 수 있었다.

2) 비츠로테크, VMT의 CAGR은 동종 산업 분야 대비 저조하나 각각 평균 매출 900억원, 20억원으로 견고한 실적을 나타냈다.



(그림 6) 핵융합·가속기 주요기업의 최근 3년간 GAGR 현황

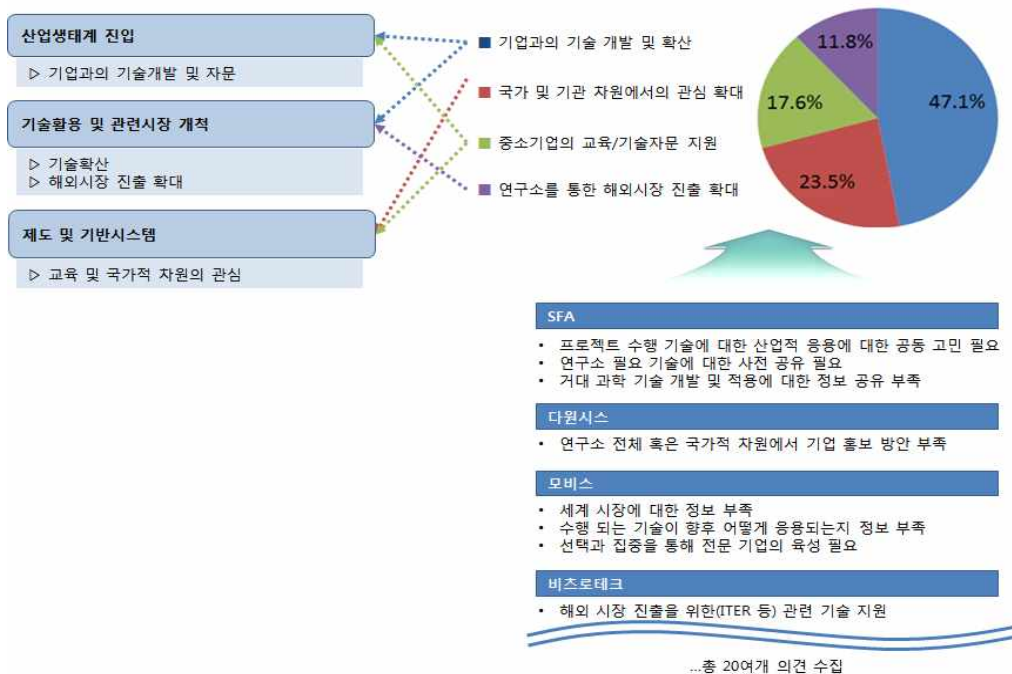
※ 산출근거: (상장) Standard & Poors Capital IQ / (비상장) 전화인터뷰

동종업계: Standard & Poors 국제 분류표 기준 (Electronic Equipment and Instruments)

3) 이슈 및 문제점 도출

11개 참여 기업과 연구소의 의견을 종합한 결과 기업에서 시급히 개선되어야 할 사항으로 ‘기업과의 기술개발 및 확산’이 전체 47.1%로 가장 비율이 높게 나타났고, ‘국가 및 기관 차원에서의 관심 확대’가 23.5%로 두 번째로 높은 비중으로 나타났다. 이밖에 중소기업의 교육/기술자문 지원, 연구소를 통한 해외시장 진출 등의 순으로 개선점이 도출되었다.

도출된 네 가지 이슈를 바탕으로 거대과학 산업 생태계의 문제점을 산업 생태계 진입, 기술 활용 및 관련 시장 개척, 제도 및 기반 시스템의 측면으로 구분하여 심층 분석하였다.



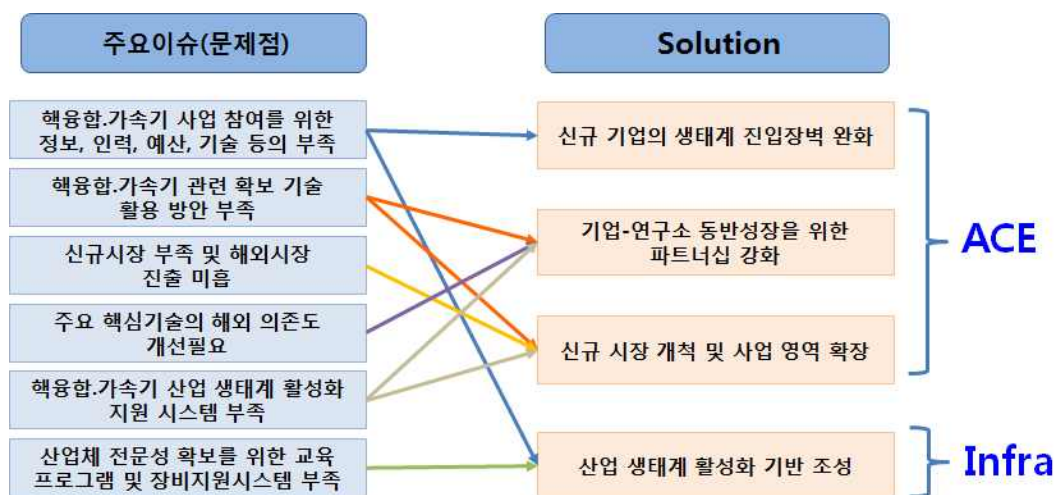
(그림 7) 핵융합·가속기 산업분야 활성화를 위한 주요 개선 테마 도출

핵융합·가속기 관련 거대과학 산업 생태계 관련 문제로는 첫째, 핵융합·가속기 산업 생태계의 높은 진입 장벽을 들 수 있다. 즉, 생태계 구성원 간에 로드맵, 정책 등 정보 공유의 부족으로 산업체의 거대과학 진입이 어렵다는 의견이 많았다. 또한 거대과학 분야 이공계 인력풀이 제한적이기 때문에 중소기업의 전문 인력 보유율이 낮다는 의견도 있었다. 무엇보다도 매출 대비 R&D 투자가 조조한 중소기업의 경우 기술 활용의 불확실성이 큰 거대과학의 특성상 신규투자의 부담을 많이 느끼고 있었다. 이는 우주과학 등 거대과학 관련 산업의 공통된 특성으로 볼 수 있다. 마지막으로 거대과학 특성상 고도의 기술력을 요구하는 대형 연구장치의 특성상 기술력 부족 등으로 중소기업의 참여가 어려운 상황이다.

두 번째 문제로는 핵융합·가속기 R&D사업에 참여하여 확보한 기술의 활용이 부족하다는 점이다. 구체적으로는 핵융합·가속기 사업 참여기업이 관련 기술을 활용하여 타 산업(항공우주, 원자력 등) 및 연관 사업에 진출하기 어렵다는 의견이 많았다. 또한, 거대과학의 특성상 관련 시장이 한정적이고, 차기 사업 참여까지 공백이 많기 때문에 기업의 기술 및 인력 손실에 대한 우려도 높았다. 또한 기업이 해외시장에 진출하고 싶어도, 해외 시장관련 정보, 인력, 마케팅 역량 부족으로 기업의 해외 진출 기회가 제한되고 있었다.³⁾ 연구소에서는 주요 핵심기술에 대한 해외 의존도를 단계적으로 개선하고, 국내 기업을 통한 장치제작의 국산화율 제고 필요하다는 의견이 있었다.

세 번째 문제로는 생태계 확장을 위한 관련 인프라가 부족하다는 점이다. 우선, 핵융합·가속기 산업 생태계 유지, 확장을 위한 지원 시스템이 부족하다는 점을 들 수 있다. 구체적으로는 핵융합, 가속기를 포괄하는 네트워크 부족으로 거대과학 산업 생태계 이슈 발굴 및 대응이 부족한 상황이며, 중소기업 지원을 위한 전담 조직의 부재로 체계적인 모니터링 및 대응도 부족한 상황이다. 또한, 입찰제도, 기술료규정, 지적권 소유제한 등으로 인한 기업 활동 위축도 문제점으로 제기되었다. 이밖에도 산업체의 전문성 확보를 위한 교육프로그램 및 장비 지원시스템 등이 부족하다는 의견도 있었다.

이상의 주요현황 및 이슈분석을 바탕으로 아래 <그림 8>과 같이 핵융합·가속기 장치 산업 생태계의 주요 문제점에 따른 해결방안을 도출하였다. 이러한 해결방안을 바탕으로 구체적인 추진전략 및 실천과제를 도출하였다.



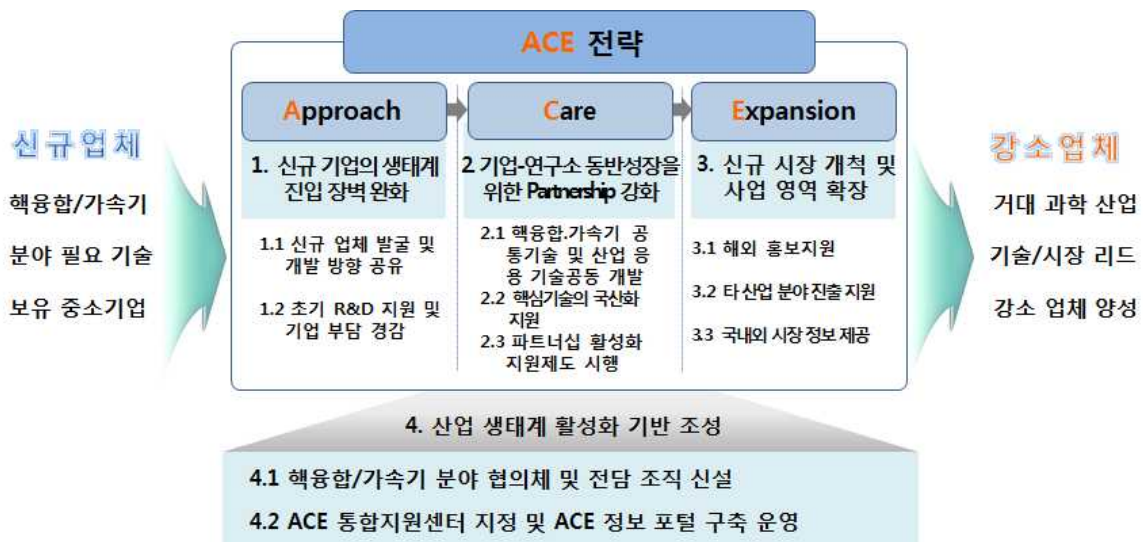
(그림 8) 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 주요 이슈 및 해결방안

3) 전 세계 가속기 시장 규모는 연 5조원 규모로 추정되나, 국내 업체는 대부분 중소기업으로 해외 시장 진출 경험이 부족한 상황이다.(STEPI, 2010)

2. 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화 전략 도출

핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화를 통해 관련 중소기업을 향후 기술/시장을 리드하는 강소 업체로 양성하기 위해 <그림 9>와 같이 ‘핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화 전략(ACE 전략)’을 도출하였다. ACE 전략의 핵심은 필요 기술을 보유한 신규 업체가 거대과학 산업 생태계로 안착(Soft landing)할 수 있도록 3단계로 구분하여 지원하는 방안이다.

첫째, 접근(Approach) 전략에서는 ‘신규 기업의 생태계 진입장벽 완화’를 통해 핵융합·가속기 분야 정보 공유 및 초기 R&D 지원을 통한 초기 개발 Risk 분산을 목표로 하였다. 둘째, 유지(Care) 전략에서는 ‘기업-연구소 동반성장을 위한 파트너십 강화’를 통해 개발된 기술을 통한 안정적 수익 모델 확보를 지원하여 기술적용 지연에 따른 기술력 손실을 방지하고자 하였다. 셋째, 확장(Expansion) 전략에서는 ‘신규 시장 개척 및 사업영역 확장’을 통해 기반이 확보된 기업의 해외 시장 진출 외에 타 산업 분야로 연계를 통한 시장 및 기술 리드를 강화하였다. 마지막으로 ACE 전략의 원활한 실행을 위해 핵융합·가속기 분야의 활발한 기술 교류 및 인적/물적 자원 공유를 위한 ‘산업 생태계 활성화 기반 조성’이라는 인프라 확대전략을 수립하였다. 여기에는 핵융합·가속기 분야 협의체 구성·운영 및 각 연구소별 중소기업 전담조직 신설을 통한 기업-연구소-정부 소통 강화 등이 있다. 또한 ACE 통합지원센터 및 포털 구축을 통한 온-오프라인 지원 강화 등의 정책도 담겨 있다.



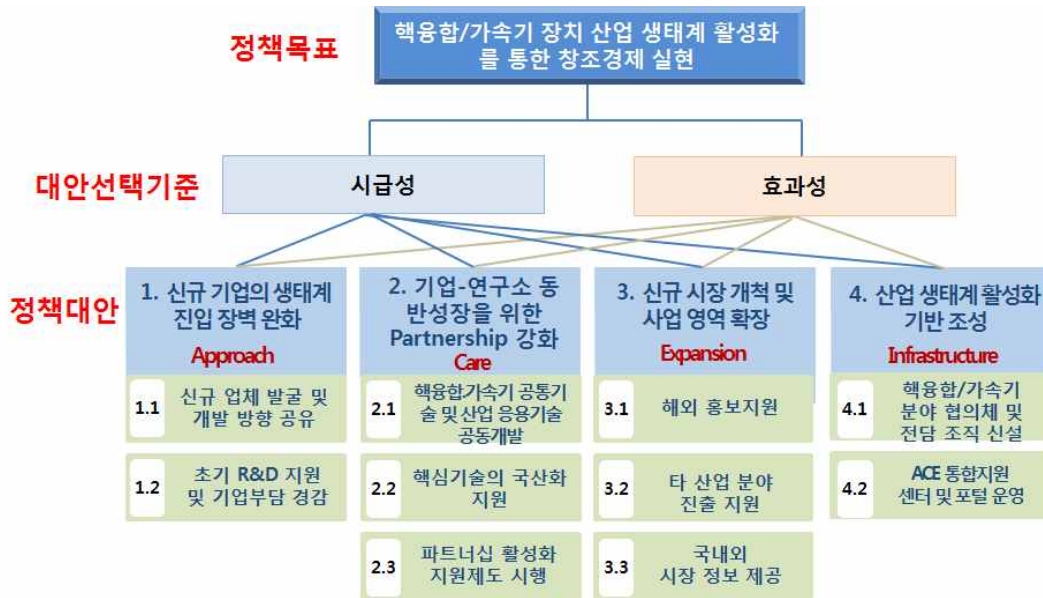
(그림 9) 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화 전략

3. AHP를 이용한 전략의 우선순위 도출

1) 분석 방법

앞에서 제시된 전략체계를 바탕으로 AHP를 이용한 우선순위 도출을 위한 체계는 <그림 10>와 같이 나타낼 수 있다. 이는 핵융합/가속기 장치산업 생태계 활성화를 위한 전략 수립을 위한 최상위의 의사결정 요인으로 시급성과 효과성 차원에서 구분하고 각 정책 대안을 평가하는 과정

을 보여준다.



(그림 10) 전략 수립 체계에 대한 우선순위 도출을 위한 AHP 분석

설문은 산학연 전문가 25인을 대상으로 하였으며, 전체 설문을 취합하기 이전에 각 설문자의 신뢰도를 평가하기 위하여 CR 값을 계산하고 0.2 이하의 값을 나타낸 21인의 유효 설문에 대해서만 결과를 도출하였다.

2) 우선순위 결과

먼저 의사결정 요소인 시급성과 효과성은 각각 0.37, 0.63의 우선순위를 나타내어 효과성을 더 중요한 의사결정 요소로 판단하는 비율이 높게 나타났다.

각 정책대안을 시급성 측면, 효과성 측면에서 평가하고 대안별 세부 과제 간의 우선순위에 핵융합/가속기 장치산업 생태계 활성화를 위한 전략의 우선순위에 대한 AHP 설문 결과는 <표 6>과 같이 정리하였다.

각 정책대안을 시급성 측면에서 평가한 결과는 Infra(산업 생태계 활성화 기반조성)가 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 반면 효과성 측면에서는 Care(기업-연구소 동반 성장을 위한 Partnership 강화)가 중요한 것으로 나타나 의사 결정 요소에 따른 중요도의 차이가 확연히 다른 것으로 나타났다. 이는 당장 시급한 것은 인프라 등의 제도 개선이 중요하나, 정책 도구의 효과가 크게 나타나는 부분은 현재 활동하고 있는 기업체에 대한 지원이 더 중요하다고 판단한 것으로 분석할 수 있다.

가중치별 결과를 종합하여 계산된 각 정책대안에 대한 최종 우선순위는 Care가 가장 중요한 것으로 나타났으며 Approach, Infra, Expansion 순서로 중요하다고 판단한 것으로 분석되었다. 이는 현재 동 산업 생태계에서 활약하고 있는 기업체에 대한 지원이 가장 중요하며, 생태계에 진입하기 쉬운 환경을 조성하는 대안을 그 다음으로 중요시한다고 분석 할 수 있다.

정책대안별 세부 과제에 대한 최종 가중치는 '1.2 초기 R&D 지원 및 기업 부담 경감'이 가장 중요한 것으로 나타났다. 이는 시급성 측면의 우선순위와도 일치하며 효과성 측면에서도 두 번째로 중요한 것으로 평가되었다는 사실에도 부합하는 결과라고 할 수 있다.

최종 우선순위에서 두 번째로 중요한 것으로 나타난 '2.1 핵융합·가속기 공통기술 및 산업 응용 기술 공동개발'은 효과성 측면에서는 가장 높은 우선순위를 보였으나, 시급성 측면에서는 덜 중요한 것으로 평가되었다. 이는 2.1 항목이 연구개발과 관련된 내용이기 때문에 효과는 높으나 단기 간에 어떤 결과를 나타낼 수 없다는 점이 반영된 것으로 분석된다.

'2.2 핵심기술의 국산화 지원'은 최종 우선순위에서는 세 번째로 중요한 요인으로 분석되었다. 이는 효과성 측면의 평가와는 일치하였으나, 시급성 측면에서는 중요성이 다소 떨어지는 것으로 평가되었기 때문이다.

'4.1 핵융합·가속기 분야 협의체 및 전담 조직 신설'은 네 번째로 중요한 정책도구로 평가되었으나 의사결정 요인에 따라 상반된 결과를 나타낸다. 즉, 시급성 측면에서는 두 번째로 우선순위가 높은 것으로 평가되었으나, 효과성 측면에서는 중간 순위 정도로만 평가 되었다. 이는 조직 구성 등 출범은 빠르게 실시할 수 있는 정책 도구이나, 실제적 효용은 그 조직을 운용하는 주체의 역량, 의지 등이 중요하게 작용하는 점에 대한 우려가 내포되어 있다고 볼 수 있다.

<표 6> AHP 분석 결과

정책대안	가중치			대안별 과제	가중치	의사결정 요인별 가중치 및 최종 우선순위					
	시급	효과	최종			시급성 측면		효과성 측면		최종 결과	
						가중치	순위	가중치	순위	가중치	순위
Approach	0.26	0.29	0.28	1.1	0.37	0.10	6	0.10	4	0.01	5
				1.2	0.63	0.17	1	0.18	2	0.18	1
Care	0.26	0.44	0.37	2.1	0.43	0.11	4	0.19	1	0.16	2
				2.2	0.41	0.10	5	0.18	3	0.15	3
				2.3	0.16	0.04	10	0.07	6	0.06	7
				(CR=0.003)							
Expansion	0.19	0.13	0.15	3.1	0.36	0.07	7	0.05	8	0.05	8
				3.2	0.27	0.05	9	0.04	10	0.04	10
				3.2	0.36	0.07	8	0.05	9	0.05	9
				(CR=0.015)							
Infra	0.29	0.15	0.20	4.1	0.56	0.16	2	0.08	5	0.11	4
				4.2	0.44	0.13	3	0.07	7	0.09	6
시급성 CR=0.022											
효과성 CR=0.011											

VI. 결론

본 논문은 우주개발, 핵융합, 가속기 등 국내 거대과학 시설 제작과 운영 과정에 중소기업의 활발한 참여가 이루어지며, 첨단 기술력을 중심으로 하는 중소기업 생태계가 만들어졌다는 사실에 주목하였다. 즉, 자연스럽게 형성된 핵융합·가속기 산업 생태계를 활성화하기 위한 국가 차원의 전략 수립과 정책과제의 우선순위 분석이 필요하다는 문제의식을 바탕으로 하였다. 이를 위해 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 현황 및 이슈에 대해 사례분석을 실시하였고, 도출된 전략 및 정책과제에 대해 AHP 기법을 이용하여 우선순위를 결정하였다. 이에 따라 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

Approach, Care, Expansion, Infra 등 네 가지 정책대안에 대한 시급성 및 효과성을 기준으로 가

중치를 분석한 결과, Care(기업-연구소 동반성장을 위한 Partnership 강화)가 가장 높게 나왔고, 그 다음이 Approach(신규 기업의 생태계 진입 장벽 완화)로 나타났다. 이는 현재 핵융합·가속기 산업 생태계에 참여하고 있는 기업과 연구기관 간의 파트너십을 통한 동반성장이 가장 중요하다는 것을 보여준다.

각 정책대안을 시급성 측면에서 평가한 결과는 Infra(산업 생태계 활성화 기반조성)가 가장 우선 순위가 높은 것으로 나타났으나, 효과성 측면에서는 Care(기업-연구소 동반 성장을 위한 Partnership 강화)가 중요한 것으로 나타나 의사결정 요소에 따른 중요도의 차이가 확연히 다른 것으로 나타났다. 이는 당장 시급한 것은 제도, 인프라 같은 요소이나, 정책 도구의 효과가 크게 나타나는 부분은 현재 활동하고 있는 기업에 대한 지원이 더 중요하다고 판단한 것으로 분석할 수 있다.

세부 정책과제에 대한 우선순위는 '1.2 초기 R&D 지원 및 기업 부담 경감'이 가장 중요한 것으로 나타났다. 이는 시급성 측면의 우선순위와도 일치하며, 효과성 측면에서도 두 번째로 중요한 것으로 평가되었다는 사실에도 부합하는 결과였다. 두 번째로 중요한 것은 '2.1 핵융합·가속기 공동기술 및 산업 응용기술 공동개발'로 효과성 측면에서는 가장 높은 우선순위를 보였으나, 시급성 측면에서는 덜 중요한 것으로 평가되었다. 이는 2.1 항목이 연구개발이 관련된 내용이기 때문에 효과는 높지만, 단기간에 어떤 결과를 낼 수 없다는 점이 반영된 것으로 분석된다.

이러한 연구결과는 향후 정부에서 핵융합·가속기 장치 산업 생태계 활성화 전략을 추진할 때 한정된 재원을 가지고, 어느 정책과제를 우선해서 추진해야 할지에 대한 정책방향을 제시하는데 그 의의를 들 수 있다.

[참고문헌]

- 강제상 (2009), “고령화에 대응한 공무원 인사정책 방향에 관한 연구 : AHP 분석과 공무원 설문조사를 중심으로”, 『한국인사행정학회보』 제8권 제2호, 89-113.
- 경태원 (2007) “AHP 기법을 이용한 IT 프로젝트 관리 우선순위 수립에 대한 연구(A Study on the Establishment of Priority for IT Project Management Using AHP)”, 경태원 외 1인 공저, 『Information Systems Review』, 9(3) : 157-181.
- 고길곤 (2008), “정책학 연구에서 AHP 분석기법의 적용과 활용”, 고길곤 외 1인 공저, 『한국정책학회보』, 17(1) : 287-312, (2008.03.)
- 구자훈 (2001), “토지이용계획의 용도별 적지분석에 있어서 퍼지이론 및 계층분석과정(AHP)의 활용 : 포항시 첨단연구단지의 사례분석을 중심으로”, 구자훈 외 1인 공저, 『한국지리정보학회지』 4(1) : 34-46.
- 권기현 (2010), 『정책분석론』, 서울 : 박영사
- 박용성 (2009), 『AHP에 의한 의사결정』, 서울 : 교우사
- 성도경 (2002), “AHP 기법을 이용한 전자정부 구현전략의 우선순위 결정에 관한 연구”, 성도경 외 1인 공저, 『한국행정논집』, 14(2), 353-372.
- 성열용 (2012), “지식재산권 중심의 연구개발전략 도입 방안 : 정부출연연구기관을 중심으로”, 『Issue Paper』 2012-300, (2012.12.), 산업연구원.

- 양기근 (2013), “구제역 재난관리 정책의 우선순위 분석 : AHP 기법을 이용한 우선순위 측정을 중심으로”, 2013 한국정책학회 춘계학술대회.
- 오동윤 (2012), 「중소기업 발전 및 육성전략 수립(The Development and Promotion Strategies for SMEs)」, 오동윤 외 7인 및 한국공공행정학회 공저, 연구보고서, 중소기업연구원.
- 유길상 (2012), “생태계 관점에서의 게임콘텐츠 산업구성 및 구조분석”, 유길상 외 4인 공저, 「한국 컴퓨터게임학회논문지」, 25(4) : 235-244.
- 윤석환 (2011), 「미래인터넷 산업 생태계 분석」, 윤석환외 1인 공저, 정보통신정책연구원
- 이곤수 (2010), “사회적 위험과 위기대응적 사회정책의 평가 : AHP를 이용한 상대적 중요도 분석”, 이곤수 외 1인 공저, 「한국사회와 행정연구」, 21(2) : 193-214.
- 이덕기 (2003), “AHP를 이용한 에너지시스템 대안 선정 평가”, 이덕기 외 3인 공저, 「자원·환경경제 연구」, 12(4) : 611-635.
- 이덕주 (2004), “AHP를 이용한 수출유망 원자력 기술 분야 선정”, 이덕주 외 4인 공저, 「기술혁신 연구」 제12권 제1호.
- 이민형 (2010), 「거대과학 종합관리체계 구축 및 추진 전략」, 이민형 외 6인 공저, 정책연구 2010-11, 과학기술정책연구원.
- 이민형 (2011), 「거대과학 투자 효율화를 위한 종합관리체계 구축 방안」, 유의선 공저, STEPI Insight 제82호, 과학기술정책연구원.
- 이영주 (2012), 「글로벌 강소기업의 성공요건 및 정책과제」, 이영주 외 3인 공저, 연구보고서 2012-626, 산업연구원.
- 이영주 (2013), “글로벌 히든 챔피언 육성, 강소기업 성공요인이 체화된 정책 긴요”, 「e-KiET 산업 경제정보」 제558호, 2013-11, 산업연구원.
- 이영주 (2013), “중소·중견기업의 글로벌화와 강소기업 육성방안”, 「KIET 산업경제」 특집호, 산업연구원.
- 이원희 (2009), “우리가 주목해야 할 거대과학기술”, 이원희 외 3인 공저, 「CEO Information」 제 719호, 삼성경제연구소.
- 장석인 (2010), 「신성장동력 평가 및 발전방향 연구」, 장석인 외 19인 공저, 연구보고서, 산업연구원.
- 장석인 (2011), 「신성장동력 산업생태계 활성화방안 연구」 제1부, 제2부, 장석인 외 10인 공저, 산업연구원.
- 정기철 (2010), 「거대과학 글로벌 산업화 전략」, 정기철 외 7인 공저, 정책연구 2010-27, 과학기술 정책연구원.
- 정은미 (2011), 「신성장동력의 산업화 조건과 정책과제」, 정은미 외 4인 공저, 연구보고서 2011-604, 산업연구원.
- 조근태 (2003), “AHP를 이용한 미래유망기술 투자의 우선순위 설정 : 농촌개발 및 자원분야를 중심으로”, 「농촌계획」 .9(3) : 41-46.
- 진상기 (2009), “계층분석(AHP)을 활용한 국제정보격차해소정책 네트워크 분석”, 「한국정책학회보」 제18권 4호.
- 최영출 (2002), “행정서비스헌장제 평가지표개선 연구 : AHP 방법론의 적용”, 최영출 외 1인 공저, 「한국지방자치학회보」, 14(2) : 77-95.
- 키노시타 에이조우 편저, 강진규외 역 (2000), 「AHP의 이론과 실제」, 서울 : 인터비전
- 황인영 (2012), “콘텐츠산업 동반성장 생태계 조성을 위한 정책”, 한국행정학회 춘계학술대회 발표 논문집, 1582-1603.
- 황진수 (2010), “계층분석과정(AHP)을 이용한 향토산업 육성사업의 우선순위 분석”, 황진수외 2인 공저, 「산업경제연구」 제23권 제3호, 1557-1569.

- Anderson, T. S., Elizabeth, M., & Peirce, K., Jeffrey. J. (2010) Innovative Approaches for Managing Public-Private Academic Partnerships in Big Science and Engineering, *Public Organiz Rev* (2012) 12:1-22.
- Autio, E., Hameri, A. P., & Vuola, O. (2003), A framework of industrial knowledge spillovers in big-science centers, *Research Policy* 33 (2004) 107-126 (9 June 2003)
- Brent, A. C., Oelofse, S., & Godfrey, L. (2008), Advancing the concepts of industrial ecology in South African institutions, *South African Journal of Science* 104, January/February 2008.
- Feldman, M. P., & Kelley, M. R. (2006) The ex ante assessment of knowledge spillovers: Government R&D policy, economic incentives and private firm behavior, *Research Policy* 35 (2006) 1509-1521, USA.
- Giudice, G. F. (2012) Big Science and the Large Hadron Collider, *Phys. Perspect.* 14 (2012) 95-112.
- Ho, W. (2008) Integrated analytic hierarchy process and its applications: A literature review. *European Journal of Operational Research.* 186(1): 211-228.
- Jacob, M., & Hallonsten, O. (2012) The persistence of big science and megascience in research and innovation policy, *Science and Public Policy* 39 (2012) pp. 411-415, Sweden.
- Katz, E., & Solomon, F. (2008) Social science and technology development : A case study of moving from observation to intervention, *Technology in Society* 30 (2008) 154-162, Australia.
- Mohan, S. R., & Rao, A. R. (2005) Strategy for technology development in public R&D institutes by partnering with the industry, *Technovation* 25 (2005) 1484-1491, India.
- Moore, J. F. (1993) "Predators and Prey : A New Ecology of Competition," *Harvard Business Review*, May-June 1993.
- Saaty, T. L.(1980), *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* New York : McGraw-Hill Book Co.
- Vaidya, O. S & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications, *European Journal of Operational Research.* 169(1): 1-29
- Vuola, O., & Hameri, A. P. (2006) Mutually benefiting joint innovation process between industry and big-science, *Technovation* 26 (2006) 3-12, Switzerland.