

# T.M.B Analysis Report

(Technology · Market · Business)

KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE

Title(Name of Technology) :

초전도 자석 및 시스템

May 15, 2017

## 스핀공학물리연구팀

### ■ Introducing to the Research Field

- 주요수행연구
  - 자기 및 초고주파 물성 측정
  - 스핀 동역학 연구
  - 제일 원리 계산을 통한 전자 동역학 연구
  - 극저온 열 및 물질 전달 연구
  - 열전달 나노 유체용 나노 소재 개발
  - 무냉매 고온 초전도 NMR 개발
- 대표적 연구사례
  - 스핀 소자 측정 기술 개발
  - 스핀-궤도 결합을 이용한 반금속 p-MRAM 기술
  - 물질 내 전자 동역학 연구
  - 소형 극저온냉동기를 이용한 무냉매 전도냉각 기술 개발
  - 열전달 향상용 금 나노입자 개발 연구
  - 무냉매 고온 초전도 NMR 개발 연구
- 보유장비현황
  - 16 T Physical Property Measurement System
  - Complex AFM-RAMAN Spectroscope
  - Cryogenic Probe Station
  - SQUID-Vibrating Sample Magnetometer
  - Thermophysical Properties Measurement System

### ■ Related researcher\*

(스핀공학물리연구팀은 총 28명의 연구진으로 구성됨)

연구자	연구분야
최연석 (팀장)	▪ 고자기장/극저온/초전도 시스템 개발, 열물성 분석지원, 열 및 물질전달, 전도냉각/초전도 응용
황영진	▪ NMR용 초전도 마그넷 연구 개발
이상갑	▪ 전자스핀공명
장재영	▪ 초전도 자석 특성해석 및 평가, 자석 시스템 제어/계측
박승영	▪ 전기-자기계측 분석지원 및 장비 개발, 스핀트로닉스 관련 연구과제 수행

\* 연구자 기재 기준은 아래 특허의 발명자이면서, 기관 홈페이지에서 확인가능한 자를 우선기재함.

\* 추가기입이 필요한 경우 기관 홈페이지를 참고하여 연구팀별 상위 등재자를 임의로 선정하여 기입함.

### ■ Classification of Industrial Technology

- 대분류 : 전기·전자
- 중분류 : 충전기기
- 소분류 : 초전도 기술/제품

### ■ Informations of related to the Intellectual Property

No	발명의 명칭	출원번호	출원일	등록번호	등록일	청구항수
1	도전성 물질로 함침된 무절연 초전도 코일 및 그의 제조장치	2016-0003285	2016.1.11	1665038	2016.10.5	16
2	고온 초전도 무접점코일을 위한 초전도 플럭스펌프	2015-0173802	2016.07.13	1640869	2016.07.13	11
3	병렬방식을 이용한 초전도 마그넷 장치	2015-0173305	2015.12.07	1651486	2016.08.22	6
4	초전도 자석의 초기냉각 예측 시스템 및 방법	2012-0149861	2012.12.20	1345776	2013.12.20	10
5	보조 코일을 구비하는 더블 팬케이크형 초전도 자석	2011-0129718	2011.12.06	1343594	2013.12.13	3
6	극저온 냉동기를 이용한 초전도 자석 시스템	2010-0115358	2010.11.19	1205816	2012.11.22	4

### ■ Assessment of Intellectual Property Level

지재권현황		기술수준평가			
출원번호	발명의 명칭	기술성 (30)	권리성 (40)	시장성 (30)	합계 (100)
2016-0003285	도전성 물질로 함침된 무절연 초전도 코일 및 그의 제조장치	24	27.5	19	70.5
2015-0173802	고온 초전도 무접점코일을 위한 초전도 플럭스펌프	24	22.5	17	63.5
2015-0173305	병렬방식을 이용한 초전도 마그넷 장치	17	22.5	17	56.5
2012-0149861	초전도 자석의 초기냉각 예측 시스템 및 방법	13	30	21	64
2011-0129718	보조 코일을 구비하는 더블 팬케이크형 초전도 자석	10.5	22.5	17	50
2010-0115358	극저온 냉동기를 이용한 초전도 자석 시스템	12	25	13	50

# Technology Overview(1)

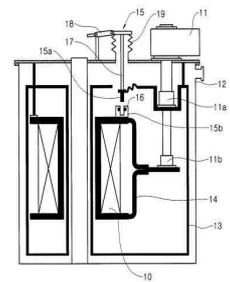
## Abstract

본 발명은 초전도자석에 대한 기술로써 구체적으로는 극저온 냉동기를 이용한 초전도 자석 시스템, 보조코일을 구비하는 더블 팬케이이크형 초전도 자석, 초전도 자석의 초기냉각 예측 시스템 등에 관한 기술임

## Discovery and Achievements

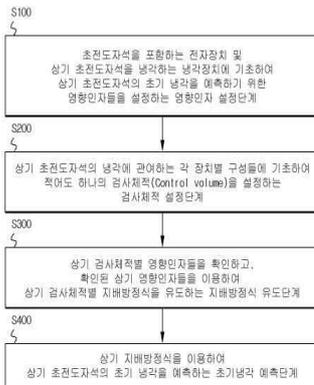
<P. 1> 극저온 냉동기를 이용한 초전도 자석 시스템	
요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 써멀링크를 통해 초전도 자석에 대한 극저온 냉동기의 냉각효율을 극대화시킬 수 있는 초전도 자석 시스템임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 극저온 냉동기와 열전도체를 선택적으로 연결하여, 초전도 자석의 초기냉각 시간을 단축시킬 수 있는 효과가 있음</li> <li>■ 극저온 냉동기를 구성하는 1단 냉동부의 냉각용량과 2단 냉동부의 냉각용량이 동시에 초전도 자석에 적용되도록 제어함으로써 초전도 자석의 냉동효율을 증가시킬 수 있는 효과가 있음</li> </ul>

<P. 1> 대표도면



[초전도 자석 시스템 개략도]

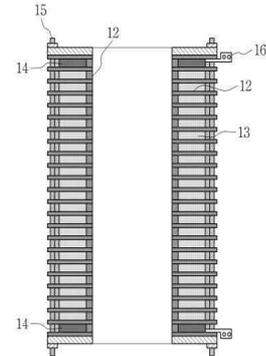
<P. 3> 대표도면



[초전도자석의 초기냉각 예측 방법을 설명하는 흐름도]

## 초전도 자석 장치 및 시스템

<P. 2> 대표도면



[보조 코일을 구비하는 더블 팬케이이크형 초전도 자석의 개략도]

### <P. 3> 초전도 자석의 초기냉각 예측 시스템 및 방법

요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 초전도 자석의 초기냉각 예측 시스템 및 방법에 관한 기술임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 극저온 냉동기를 이용하여 초전도자석을 냉각함에 있어, 초전도 자석에 대한 초기 냉각온도의 변화를 정확하게 예측가능함</li> <li>■ 냉동기를 이용하여 극저온 환경을 형성하는 고자기장 계측장치의 설계에 필요한 기초자료의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있음</li> <li>■ 보다 향상된 정확도의 계측결과를 얻을 수 있는 극저온 고자기장 계측장치를 설계 및 제작할 수 있음</li> </ul>

### <P. 2> 보조 코일을 구비하는 더블 팬케이이크형 초전도 자석

요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 더블 팬케이이크형 코일의 적층으로 구성된 초전도 자석에 관한 기술임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 메인 코일부의 상하단에 보조 코일부를 구비하여, 메인 코일부의 상하단에서 발생하는 수직 자기장을 감소시킴</li> <li>■ 초전도 코일의 임계전류 감소와 이로 인하여 발생하는 중심 자기장의 저하를 제거하고 초전도 기기의 효율을 극대화시킬 수 있음</li> </ul>

# Technology Overview(2)

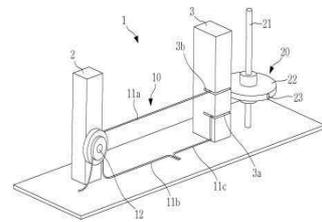
## Abstract

□ 본 발명은 초전도자석에 대한 기술로서 고온 초전도 무절연코일을 위한 초전도 플렉스 펌프, 병렬방식을 이용한 초전도 마그넷 장치, 무절연 초전도 코일 등에 관한 기술임

## Discovery and Achievements

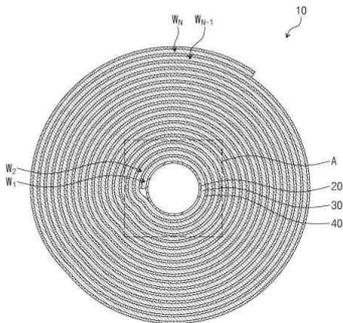
<P. 4> 고온 초전도 무절연코일을 위한 초전도 플렉스 펌프	
요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>테이프 형태의 고온 초전도 선재를 이용한 고온초전도 플렉스 펌프에서 초전도 폐회로의 충전 전류의 경로를 단절하지 않고 또한 상전도 접합부로 인한 저항이 없이 전류충전 성능을 향상시킬 수 있는 고온 초전도 무절연코일을 위한 초전도 플렉스 펌프에 관한 것임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>테이프 형태의 고온 초전도 선재를 이용하여 고온초전도 플렉스 펌프를 구성하면서도 초전도 폐회로의 충전 전류의 경로를 단절하지 않고 상전도 접합부로 인한 저항이 없이 전류충전 성능을 향상시킬 수 있음</li> <li>폭이 넓은 초전도 선재를 이용하여 충전효율을 높이면서도 전체적인 초전도 전원장치를 경제적이고 효율적으로 제작할 수 있음</li> </ul>

<P. 4> 대표도면



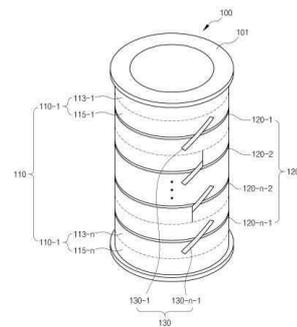
[초전도 플렉스 펌프의 실시도]

<P. 6> 대표도면



[도전성 물질로 함침된 무절연 초전도 코일을 보여주는 단면도]

<P. 5> 대표도면



[초전도선재 마그넷 코어의 사시도]

### 초전도 자석 코일부

<P. 6> 도전성 물질로 함침된 무절연 초전도 코일 및 그의 제조장치	
요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>무절연 초전도 코일 제작 시 도전성 물질을 함침함으로써 기계적 응력으로부터 무절연 초전도 코일을 보호함과 동시에 무절연 초전도 코일이 갖는 권치에 대한 자가 보호 특성을 유지할 수 있는 기술에 관한 것임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>도전성 물질로 함침된 무절연 초전도 코일은 보빈에 감기는 초전도 선재의 복수개의 인접하는 권선 턴들 사이에 도전성 물질을 포함함</li> <li>도전성 물질은 권치에 의한 핫스팟 발생 시 초전도 코일의 복수개의 인접하는 권선 턴들 사이로 전류를 우회시켜 초전도 코일을 보호할 수 있으며, 권선 턴들 간 함침으로 인해 무절연 초전도 코일의 기계적 안정성을 향상시킬 수 있음</li> </ul>

<P. 5> 병렬방식을 이용한 초전도 마그넷 장치	
요 약	<ul style="list-style-type: none"> <li>초전도 마그넷 장치의 제작 시 양단 측에서의 수직 자기장의 증가에 따른 임계전류의 감소를 방지하면서도, 마그넷의 길이를 감소시킬 수 있도록 하는 병렬 방식을 이용한 초전도 마그넷 장치에 관한 것임</li> </ul>
특징 / 장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>무절연 병렬 초전도체를 적용하여 고자장 고온초전도 마그넷의 임계전류를 향상시킴과 동시에 다중폭(Multi-Width) 방식 대비 외전류 발생 문제점 개선이 가능함</li> <li>초전도 마그넷 장치의 제작 시 양단 측에서의 수직 자기장의 증가에 따른 임계전류의 증가를 방지하면서도, 코어의 길이를 감소시킬 수 있도록 하는 효과가 있음</li> </ul>

## Market Overview

### Application Market

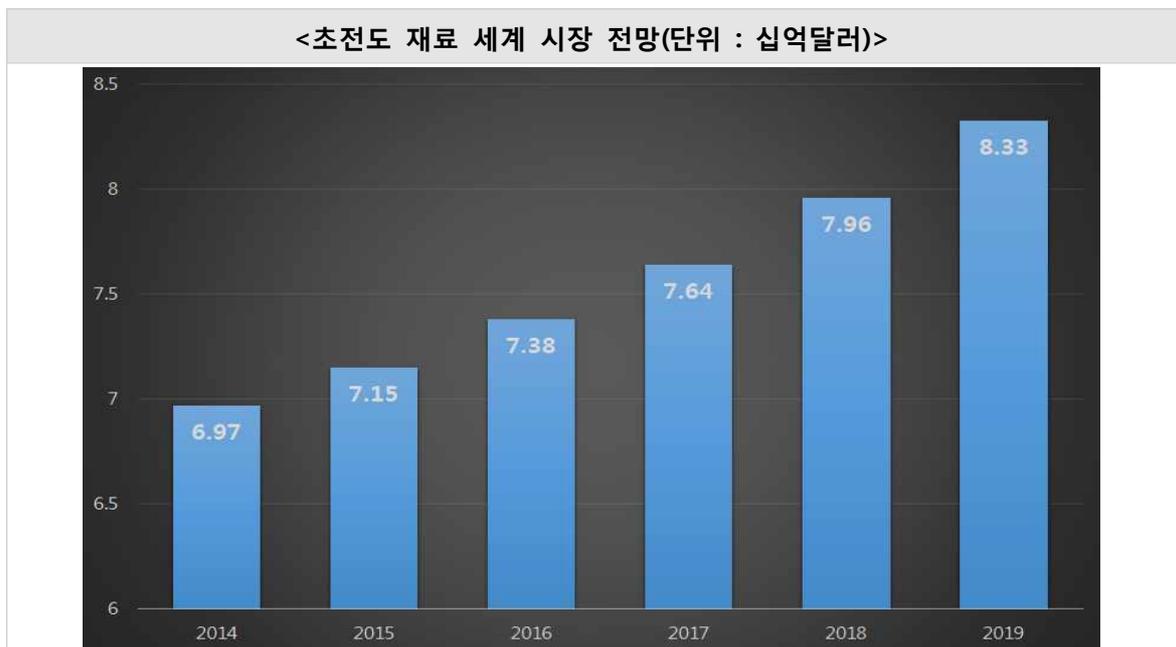
- 초전도 관련 시장은 LTS(Low Temperature Superconductor)를 이용한 재래시장과 HTS(High Temperature Superconductor)를 이용하는 신기술 시장으로 구분 할 수 있으며, LTS관련 시장 중 MRI에 사용하는 LTS자석시장이 최대 시장이며, 다음은 초전도 관련 연구·기술개발(RTD) 시장의 순서임

### Market Tendency

- 이미 시장이 형성되어 있는 저온 초전도체는 지속적인 성장이 이루어지고 있으며, 고온 초전도체는 과학자나 기술자들의 기대보다 매우 빠르게 적용분야가 확대되고 있음
- 초기의 저온 초전도 재료 중심의 시장에서 점차 고온 초전도 재료 시장이 확대되는 양상을 보이고 있으며, 성장 면에서도 고온 초전도재료 부문이 동일한 기간 동안 저온 초전도 재료보다 더 급속하게 증가함
- 고온 초전도 재료의 가장 큰 응용분야는 전자·통신 분야로서 초전도 필터, 공진기(resonator) 및 PCS의 구성 요소로 사용되고 있음
- 전력 및 에너지 분야에 사용되는 선재 및 케이블은 테스트와 프로토타입 단계에 있으며, 의료분야인 MRI와 입자 가속기 등에 사용되는 전류도입선의 고온 초전도 선재 사용도 새롭게 시도되는 형태임
- 현재 국내의 저온 초전도 재료는 중소기업에서 대기업의 연구소에 납품하고 있으나 고온 초전도 재료는 연구소 등의 일부사용 이외에 시장 형성이 극히 미미한 상태임

### Scale of a Market

- 세계 초전도 재료 시장은 초기에 저온 초전도 재료를 중심으로 시장이 성장되어 왔으나 점차 고온 초전도 재료 시장이 확대됨에 따라 더욱 커질 것으로 전망되고 있음
  - 세계 시장규모는 2014년에 69억 7,000만달러로 파악되었고 연평균성장률(2014-2019) 3.63%의 성장률을 보여주며 2019년에는 83억 3,000만달러에 이를 것으로 전망하고 있음
  - 성장률의 증가는 주로 MRI, NMR, RTD를 위한 SQUID 센서, 모터, 발전기, 전선케이블, NMR 고출력 센서 등과 같은 제품시장에서 영향을 미치는 것으로 조사됨



\*출처 : Technavio Research, Global Superconductor Market, 2015-2019.

## Business Overview

### ■ N.E.T analysis

구 분		수요요인(Needs)	환경요인(Environment)	기술요인(Technology)
환경분석 (NET분석)	구동요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>고자기장 초전도자석 기술은 기초물성 연구뿐 아니고 MRI, 입자가속기, Axion 등 암흑물질 탐색, 핵융합장치, 초전도 자기 부상열차, 전력송전, 풍력 발전 등 다양한 과학기술 및 산업분야에도 파급효과가 큰 기술임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고자기장을 발생시키는 초전도 자석은 연구 및 산업분야 전반에서의 수요가 증가하고 있음</li> <li>일부 선진국에 한하여 정부적 차원의 지원 아래 꾸준히 연구가 진행되고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 KBSI 및 국내외 기관에서 HTS 또는 하이브리드자석에 대한 연구가 진행 중이며 조만간 30T 이상의 고자기장 초전도자석이 등장하게 될 것으로 예상됨</li> <li>HTS 기술의 발전으로 인하여 향후 50T 이상의 차세대 고자기장 자석의 개발이 가능하게 될 것임</li> </ul>
	제한요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>MRI나 NMR, SMES, 단결정 성장용 초전도 마그네트 등을 제외하고는 산업화로 진전되지는 못하고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>우리나라 시장의 경우 중국 전자석 대비 가격경쟁력에서 열위를 점하고 있어 전량 수입에 의존하고 있음</li> <li>국내의 경우 소수 기업(서남, KAT 등)만이 초전도 관련 연구를 수행하고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초전도자석과 수냉식자석을 비교해 볼 때, HTS는 자석의 inductance가 크므로 30T 자기장까지 도달에 1시간 정도 소요됨</li> </ul>
개발제품 요구성능		<ul style="list-style-type: none"> <li>타 산업에 적용할 수 있는 기술개발 요구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전자석의 국산화 필요하며, 이를 위해서는 국내 산업의 체계적인 가치사슬구조 구축이 필요함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>장치구축 경비와 운영비를 고려할 경우 고자기장 초전도자석을 여러 대 설치하여 운영하는 것이 큰 비용 절감과 연구자들에게 더 많은 실험시간을 제공할 수 있을 것임</li> </ul>

### ■ Implications

- 초전도 관련 시장은 크게 저온초전도체와 고온초전도체시장으로 구분할 수 있으며, 현재에는 저온초전도체 관련 시장이 주를 이루고 있음
- 초전도 기술은 그 적용범위가 매우 방대할 것으로 예상됨에 따라, 향후 꾸준한 성장을 기록할 것으로 판단됨
- 현재 국내의 저온 초전도 재료는 중소기업에서 대기업의 연구소에 납품하고 있으나 고온 초전도 재료는 연구소 등의 일부사용 이외에는 시장형성이 극히 미미한 상태임
- 국내의 경우 일부 공공기관을 중심으로 연구가 진행되고 있으나, 초전도 자석을 구성하는 부분품은 대부분 해외에서 수입하고 있음
- 국가 경쟁력 확보를 위해 국내 중소기업의 역량을 기관-기업간 공동연구를 통해 꾸준히 신장시킬 필요가 있음
- 한국기초과학지원연구원 스핀공학물리연구팀은 초전도 자석 및 시스템 관련하여, 꾸준한 연구를 수행해 오고 있음
  - 기술이전 시, 축적된 노하우와 보유 연구장비 등을 기반으로 사업화를 적극적으로 지원할 수 있음

## Investment Overview

### ■ 사업성

- 국내에서는 2001년 '21C 프론티어 연구개발 사업'으로 초전도 연구개발이 본격화됐고 산업화가 늦어지면서 일부 분야를 제외하고 아직 연구개발 단계에 머무르고 있으나 향후 성장 가능성은 매우 큰 분야임
- 본 기술은 냉각효율을 극대화하고, 초기 냉각온도의 변화를 정확하게 예측하고, 전류충전 성능을 향상시키고, 임계전류의 감소를 방지하면서 마그네티의 길이를 감소시키고, 기계적 응력으로부터 무절연 초전도 코일을 보호함과 동시에 무절연 초전도 코일이 갖는 퀘칭에 대한 자가 보호 특성을 유지하는 등의 방법으로 초전도 기기의 효율을 향상시킬 수 있어 경쟁력이 있음

### ■ 성장성

- 초전도 기술은 전선, 한류기, 모터, 자석, 변압기 같은 전기산업 뿐 아니라 자기부상열차나 MRI 같은 의료기술, 운송이나 생산 등 적용분야가 매우 다양하며 향후 매우 중요한 산업으로 자리잡을 것으로 예상됨
- 국내에서 초전도 기술 적용 시장 중 가장 앞선 분야는 초전도 케이블로 한국전력의 전폭적인 지원으로 세계에서 4번째로 초전도 전력케이블 시스템 상용화에 성공했으며 최근 제주도에서 세계 최고 용량과 최장 길이를 자랑하는 초전도 케이블 실증 실험이 진행 중임
- 우리나라의 인공태양이라 불리는 초전도핵융합장치(KSTAR)도 핵융합에너지 상용화 핵심기술 중 하나인 고성능 플라즈마 운전(H-모드) 세계 최장 기록을 달성하며 세계적으로 앞선 기술력을 갖춰 향후 시장을 선도하기 위한 경쟁력을 확보함

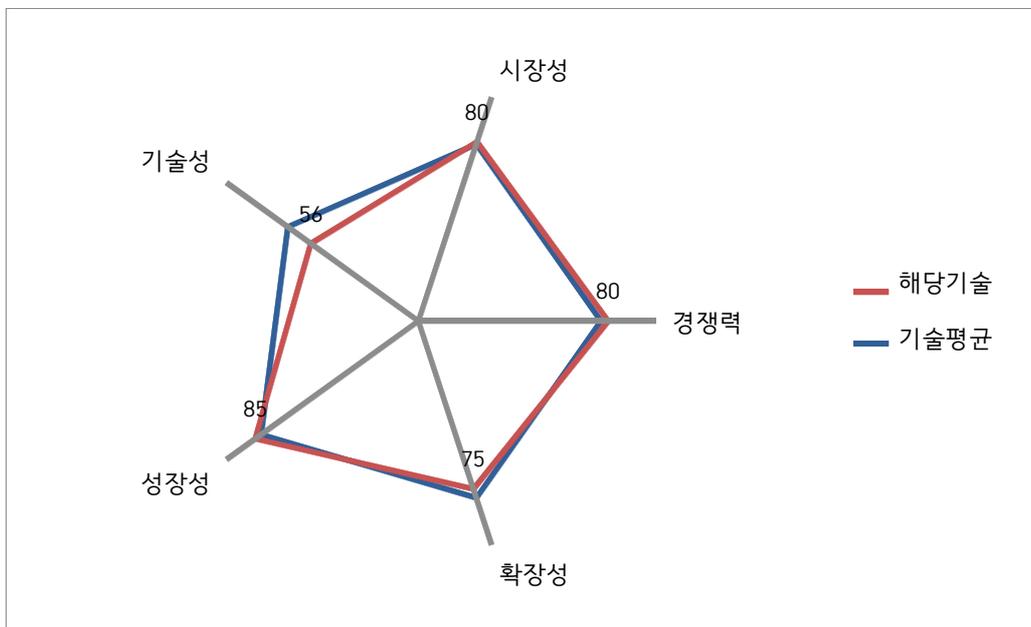
### ■ 투자유치 시 참고사항

- 초전도 관련 주요 기업으로 초전도 케이블을 개발하고 있는 LS전선, 코스닥 상장사로는 KSTAR에 초전도 전원장치를 공급한 다원시스, 서남(초전도 전력기기의 핵심소재인 2세대 고온 초전도 선재 생산) 지분 11%를 인수한 우노엔컴퍼니 등이 있으며 이 중 유일하게 관련 분야에서 매출이 본격적으로 발생되고 있는 다원시스는 2016년 총 매출의 11%인 80억 원이 초전도 전원장치에서 발생됨
- 초전도 관련 시장은 아직까지 대부분의 적용 분야에서 시장이 본격적으로 형성되지 않아 Player가 한정된 특수마켓으로 기술이전 또는 사업화를 위해서는 국내외 시장 현황 및 니즈를 구체적으로 파악하고, 상용화에 앞선 분야에 적용될 수 있는 기술에 대한 개발 및 상용화 참여에 집중해야 하며 성공 가능성을 높이기 위해 시장 범위를 최대한 좁혀 Targeting하는 것이 필요함
- 최근 소재부품기업에 대한 벤처캐피탈의 관심이 조금씩 늘면서 2013년 이후 급격히 줄어들었던 투자 규모도 다시 살아나는 분위기임
- 하지만 소재부품기업들은 차별화된 기술력을 확보하고 있거나 확실한 매출처를 갖고 있지 않으면 투자수익을 기대하기 어려워 양극화가 심화될 것으로 예상됨: 소재부품기업 중 경영위기를 극복하고 버텨낸 기업들은 기술력을 인정받아 승승장구할 수 있는 반면 이제 막 설립한 신생사는 투자유치나 매출처 확보에 어려움을 겪을 수 있음
- 소재부품 분야에 투자 가능한 펀드 현황

펀드명	운용사	펀드만기	펀드규모
스마일게이트소재부품투자펀드2014-3호	스마일게이트인베스트먼트	2023년 11월	300억 원
SLi소재부품투자펀드2014-1호	에스엘인베스트먼트	2023년 7월	300억 원
코오롱소재부품투자펀드2014-2호	코오롱인베스트먼트	2023년 10월	430억 원

- 최근 엔젤투자, 마이크로VC, 교육부 펀드, 인큐베이팅/엑셀러레이팅 프로그램, 초기기업 1억 원 투자유치 시 9억 원까지 지원되는 TIPS 프로그램, 대학창업기업에 담보/투자 형태로 30억 원까지 지원하는 기보 프로그램 등 창업 및 초기기업에 대한 자금조달 방안이 다양화되는 추세이나 ICT, 모바일, 게임, VR, 콘텐츠 관련 기업에 대한 투자가 대부분임
- 본 기술을 사업화하고 투자를 유치하는 과정에서 한국소재부품투자기관협의회의 다양한 지원프로그램을 활용할 수 있음: 투자유치 전문가의 자문 비용의 80%를 지원해주는 투자유치 전문 서비스 지원사업이 있으며 투자를 유치한 기업만 신청할 수 있는 투자연계 R&D지원사업 투자자금의 2배 또는 최대 3년 21억 원까지 지원받을 수 있음
- 연구성과실용화진흥원의 Tech-BM Workshop 참여를 통한 중대형복합기술사업화지원사업도 본 기술의 기술이전 및 사업화에 활용할 수 있음: 산학연 컨소시엄의 신제품, 서비스 상용화 공동 R&D 지원사업으로 정부자금을 20억 원까지 지원받을 수 있으며 시장을 잘 알고 있는 관련 분야의 유망기업이 참여해 사업화를 지원 또는 주도하기 때문에 성공 가능성을 높일 수 있음

■ 종합 투자 매력도



\* 기술성은 기술수준평가를 반영함.