

3D프린팅용 분말소재 기술개발 전략

이재성

한양대학교 재료화학공학과

R&D Strategy for 3D Printing Metal Powders

Jai-Sung Lee

Department of Materials Science and Chemical Engineering,
Hanyang University, ERICA Campus Ansan 426-791, Korea

본 리뷰에서는 금속 3D프린팅 산업과 시장에 결정적인 역할을 하는 금속 분말소재와 관련기술의 R&D 전략 수립을 위한 최근 우리 정부의 노력을 살펴보고 이를 토대로 우리나라의 분말야금분야 R&D 및 새로운 PM 시장창출에 관한 발전을 전망해보고자 한다. 따라서 본 리뷰의 내용은 2014년 12월에 미래창조과학부와 산업통상자원부가 공동으로 수립하여 발간한 3D프린팅 전략기술 로드맵을 기초하여 작성되었다.

1. 서론

최근 금속분말을 이용한 3D프린팅 기술이 새로운 제조산업의 도약을 가져 올 돌파구 기술로 전세계적으로 이슈화 되고 있다. 플라스틱 소재를 이용하여 제품모형을 제조하는 Rapid prototyping 기술로 출발한 3D프린팅 기술은 3D프린팅용 금속분말의 공급이 가능해지면서 급기야 분말사출성형과 같은 기존의 실형상 PM 기술과 경쟁기술로 대두되고 있다. 국내에서 3D프린팅 기술로 통용되는 이 기술은 국제적으로 Additive manufacturing(적층제조)로 표준화되고 있다.

2차원 패턴의 층상 배열을 통해 3차원 제품을 제조하는 3D프린팅 기술은 디자인의 자유도가 높다는 점에서 항공이나 바이오 디바이스 분야에서 성능개선과 무게감량이 가능한 장점이 있다. 3차원 가상 모델로부터 별도의 생산 tool 없이 제품 생산이 가능하여 제품수정을 포함한 개발의 주기와 비용이 절감될 수 있다. 또한, 이종 소재 간 연속적인 적층을 통해서 접합공정 생략 등이 이루어질 수 있어 수요분야의 다양한 요구를 충족할 수 있는 가능성이 높다. 반면에, 현 기술로는 대량생산의 제한성이 있고, 단

순한 형태의 범용 소재는 기존 제조기술 대비 경쟁력이 낮다. 뿐만 아니라, 높은 장비/소재 가격, 낮은 생산속도, 생산기술의 신뢰성과 재현성, 참고 사례의 부족 및 표준화와 인증 인프라 부족이 주요한 문제점으로 제기되고 있다 (표 1).

현재 3D프린팅 기술 및 산업, 특히 금속 3D프린팅 기술과 관련한 세계 선도국가는 미국, 독일 등으로, 기술축적이나 산업인프라 측면에서 우리나라의 환경과 현저한 차이를 보이고 있다. 따라서 한국의 3D프린팅 기술산업의 발전전략으로 단순히 선진국에 대한 fast follower로서의 전략은 유리하지 않다. 미국의 경우, 제조업의 근간이 무너진 상태에서, 새로운 형태의 제조업 육성이라는 뚜렷한 목표를 띠고 있어, 제조업의 기초가 튼실한 한국의 상황과 다르며, 기계산업 분야에 강소기업군을 보유하고 있는 독일의 경우는 전자 IT산업에 강점을 보이는 한국의 상황과 다르다. 외형적으로, 3D프린팅 제조기술은 3차원 모델을 입력하면 동일한 제품이 생산되는 것처럼 인식되고 있으나 실질적으로 매우 광범위한 인자가 복합적으로 작용하는 복잡계의 구조를 나타낸다. 아울러, 불연속적인 신기술로 인식되나 사실은 오랜 기간 동안 산업에서 적용되고 있는 요소기술들이 배경기술의 발전에 따라 새로운 조합을 구성하고 있다. 표 2는 금속 3D프린팅 공정기술과 적합한 소재형태를 나타낸다. 각각의 공정기술과 소재기술

표 1. 금속 3D프린팅 기술의 보편화 및 보급을 위한 요소

기술적 측면	경제적 측면
제조공정기술의 선택 신뢰성	장비가가격과 분말가격
장입소재의 선택 신뢰성	장입소재/특성 표준
공정변수 제어와 제품특성제어	3D프린팅 기술의 사업화 가능성
신뢰성	

*Corresponding Author: Jai-Sung Lee, TEL: +82-31-400-5225, FAX: +82-31-406-5170, E-mail: jslee@hanyang.ac.kr

표 2. 금속 3D프린팅용 소재

3D프린팅 공정	장입소재	금속분말	요구특성
Binder jetting	금속분말 잉크	> 1 μm	분산성 유연학적특성
Material extrusion	슬러리	> 10 μm	분산성 유연학적특성
Powder bed fusion	금속분말 코팅 금속분말	10 ~ 100 μm	유동성 충진밀도
Directed energy deposition	금속분말 금속분말 함유 선재	10 ~ 100 μm	유동성 화학적안정성

표 3. 금속 3D프린팅 산업용 금속 소재의 문제점

구분	내용	해결방안
소재선택의 제한성	3D프린팅 분야에 적합성이 인정된 소재의 종류가 부족하다(Fe계, Ti계, Al계, Ni계, 귀금속 등). 실제로, ASTM 표준소재는 4종 수준	표준소재화 및 소재 다양성을 확보
높은 소재가격	3D프린팅 금속 소재분야에 참여하는 소재기업이 부족하고, 소재 수요기업의 정보부족 및 소재 수요기업의 경험부족과 고가 장비에 대한 보수적 관점이 밸류체인 활성화가 저하되어 가격이 상승하는 원인이 되고 있다. 또한, 장비제작업체가 소재공급에 관여(장비 보증 연계)하여 가격이 높게 형성되는 문제도 함께 작용	다양한 소재기업의 참여를 확대하고, 소재 검증을 위한 공공 테스트 베드의 활성화 및 공동구매 방식 (예, 생산자 COOP)
3D프린팅 공정의 불확실성	공정기법과 공정전략에 따라서 제품특성에 영향을 미치는 소재의 민감도가 높고, 소재변수와 공정변수의 스펙트럼이 넓어 대규모의 소재-공정 최적화 과정이 요구되는 등 투자에 대한 불확실성이 높음	소재-장비-공정전략-평가 전 과정에 대한 다양한 자료를 발생하고, 모델링-모니터링 기술의 확보

은 기존의 부품제조기술로써 다양한 응용분야에서 활용되어 왔으며, 3차원 부품제조 특징과 각 공정기술에서 요구되어지는 특성에 따라 소재기술의 적절한 조합이 이루어져있음을 알 수 있다.

결국, 금속 3D프린팅 기술은 산업경제 및 사회전반에 걸쳐 파급효과가 큰 혁신 요소기술의 가능성을 가지고 있는 동시에 현 기술수준에서 상업화에 한계를 가지고 있다 (표 3). 따라서 기존의 금속 3D프린팅 기술이 장비개발 중심으로 제품화의 타당성을 검증하는 단계였다면, 향후 3D프린팅 기술은 금속 소재 중심으로 현재의 생산성과 경제성을 극복할 수 있는 다양한 사업화 사례를 도출하고 동시에 산업 생태계의 다양한 참여주체가 나타날 수 있어야 한다. 또한, 앞서 언급한 선진국은 공통적으로 한국보다 최소 2배 이상의 내수시장을 가지고 있는데, 특히 부가가치가 높은 금속 3D프린팅 기술적용 분야인 우주-항공, bio-medical 분야에 거대한 산업 인프라를 보유하고 있다. 이는 그간의 연구개발을 통해 축적된 기술력, 노하우의 비교 우위뿐만 아니라, 개발 과정에서 발생하는 경제적 위험을 각 국가 내부에서 흡수할 수 있어 보다 과감한 기술개발 투자가 가능함을 의미한다.

본 리뷰에서는 금속 3D프린팅 산업과 시장에 결정적인 역할을 하는 금속 분말소재와 관련기술의 R&D 전략 수립을 위한 최근 우리 정부의 노력을 살펴보고 이를 토대로 우리나라의 분말/금속분야 R&D 및 새로운 PM 시장창출에 관한 발전을 전망해보고자 한다. 따라서 본 리뷰의 내용은 2014년 12월에 미래창조과학부와 산업통상자원부가 공동으로 수립하여 발간한 3D프린팅 전략기술 로드맵

을 기초하여 작성되었다.

2. 3D프린팅용 분말소재 R&D 수립전략

최근 우리 정부는 3D프린팅 소재의 기술개발전략을 수립함에 있어, 단기간에 상용화가 가능하고 즉시 부품제조 산업에 사용될 수 있는 3D프린팅 소재기술 개발에 초점을 두고 중점지원을 통해 성공사례를 만들고 동시에 장기적으로는 민간 기업들이 자발적으로 R&D를 추진하는, 정부의 지원과 민간의 연구개발 투자가 동시에 이루어지도록 하는 기본 개념을 정립하였다. 이러한 기본철학을 토대로 2015-2025년 10년간의 R&D 기술로드맵을 수립하였다. 세부적으로는 단기, 중기, 장기의 시기적으로 구분하여 순차적인 개발전략을 금속 소재의 경우에 대해 다음과 같은 기준으로 개발전략을 수립하였다.

즉, 금속 소재는 치과, 의료 및 prototyping 등 특정 분야의 경우, 3D프린팅 기술의 상용화가 이미 시작되었거나, 곧 상용화가 될 만큼 기술성숙 단계에 접어든 반면, 복합/합금 소재, 에너지 소재, 기능성 소재 및 양산 수준의 기계부품류 등은 상용화까지 많은 시간이 필요하며 응용분야별 상용화에 큰 차이를 보이고 있다. 항공/우주분야의 경우 선진국은 이들 금속 3D프린팅 소재를 수용할 수 있는 전방 산업을 가지고 있는 반면, 우리나라는 그렇지 못하다. 이런 상황에서 고부가가치형 금속 3D프린팅 소재 개발을 단기적으로 추진하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다. 아울러 소재기술의 성숙 단계 및 시장의 규모를 고려하였을 때, 공구 및 금형강과 같은 저부가가치 기술의

경우, IT 용·복합기술을 접목하여 부가가치를 높이는 전략을 활용하는 것이 바람직하다.

또한, 치과 및 의료용 3D프린팅 산업은 이미 상용화 되고 있는데, 우리나라의 경우 유럽 등 해외에 비해 높은 생체 임플란트 기술 비율 및 고령화 경향을 고려할 때 국내외 시장 모두를 목표로 전략화 할 필요가 있다. 이러한 국내 의료/치과 부품 분야의 시장성과 경제성은 최근 5년간 국내 임플란트 상위 5개사 중 3개사가 외국 자본에 의해 공격적으로 인수된 사실에서 증명되고 있다. 이와 같은 점에서 한국의 3D프린팅 R&D 지원전략은 최우선적으로 국내 기존 산업을 지원하는 방향으로 이루어져야 한다. 그러나 소재산업의 특성상 국내에 목표하는 응용분야에 해당하는 관련 소재산업이 없거나, 국내에 해당 장비기술이 선진국에 비해 없거나 취약한 경우라도 독자적으로 태동, 성장할 수 있는 토양을 마련하는 것이 중요하다. 즉, 이를 통해 3D프린팅 소재의 수출전략을 추구할 수 있음을 간과하지 말아야 한다.

현재 진행되는 3D프린팅 사업화 모델은 장비 업체가 소재를 함께 공급하는 형태로 정착되어 가고 있다. 3D프린팅 장비 업체 중 대다수는 기초 소재 기술은 보유한 경우가 많으나, 고급 3D프린팅용 소재기술도 함께 보유한 업체는 많지 않다. 이에 따라, 국내외 3D프린팅 장비 업체들은 전문 소재업체와 제휴를 통한 사업을 하거나 전문 소

재업체의 인수-합병을 통해 시장 점유율을 높이고 있어, 결국 우수한 소재의 확보가 장기적 관점에서 핵심 역량이 증명되고 있다. 따라서 앞서 언급한 우리나라가 강점을 가지고 있는 분야가 아닌 경우에도 소재만을 사업화 목표로 하는 ‘수출 전략형 3D프린팅 소재’의 개발 전략도 함께 병행되어야 한다. 이와 같은 형태의 대표적인 소재 전문업체로 스웨덴의 회가네스가 있으며 이들의 사업화 방식을 참고할 필요가 있다. 아울러 대부분의 3D프린터 장비들은 소재에 대한 제한을 두는 것이 원천적으로 불가능한데, 이와 유사한 사례는 과거 잉크테크, 엘지화학 등의 잉크 및 토너 공급업체를 포함하는 출판용 프린터 시장에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 따라서 국내 산업 현황과는 별도로 전세계 3D프린터 장비 보유자를 대상으로 하는 직접적인 B2C 시장 공략도 함께 고려하여야 한다.

3. R&D 목표선정

3D프린팅 소재의 Target 시장은 실로 방대하며, 사실상 현재 제조업 전 분야를 포괄한다고 해도 과언이 아니다. 더욱이, 소재산업의 특성상, 국내의 산업 기반이 없지만, 해외 수요가 존재하는 시장을 고려하면 그 범위는 더욱 증가하게 된다. 표 4에 소재별 목표시장을 요약하였다.

3D프린팅 소재기술 로드맵 수립을, 단기(1단계) - 중기(2

표 4. 3D프린팅 소재의 Target 시장

Target 시장	
금속 소재	기계, 자동차, 항공, 국방, 조선해양, 전기/전자부품, 정보통신 IoT, 메디컬 헬스케어 금형, 공구
세라믹 소재	기계, 자동차, 항공, 국방, 금형기구, 전기/전자부품, 정보통신 IoT, 에너지 부품 소자, 메디컬 헬스케어, 건설, 인테리어, 식기, 문화재 및 예술품, 수처리 및 공기정화용 필터
고분자 소재	기계, 자동차, 항공, 전기/전자부품, 정보통신 IoT, 에너지 부품 소자, 메디컬 헬스케어, 개인 엔터테인먼트, 개인 보호장비, 스포츠, 인테리어
창의 소재	기계부품, 항공, 전기/전자 부품, 정보통신 IoT, 메디컬 헬스케어

표 5. 3D프린팅 소재기술의 추진 목표, 전략 및 비전

내용	요약
4대 원칙	1. 시장, 2. 기술, 3. Resources, 4. 제도
타 국가 상황의 학습 및 이용 방안	시장의 규모, 기술적 강점 및 성숙도, 산업 자원의 존재, 관련 제도의 정비 및 지원 상황이 국가별로 다르며, 3D프린팅 기술이 유발할 산업구조의 재편을 고려할 때, 선진국의 상황에 대한 맹목적 학습 금지
기술개발 지원 우선순위	국내 산업의 현황과 장점을 고려, Synergy 효과를 노릴 수 있는 3D프린팅 소재기술 개발을 우선적으로 지원
소재산업의 특성을 반영한 시장공략 전략 (Two track)	3D프린팅 산업의 양대 business 모델을 고려, 3D프린팅 소재만을 해외 및, 기존 3D프린터 보유 소비자에게 직접 판매하는 Two track 전략 수립 필요
3단계 추진전략	Catch-up 전략, Leading 전략, Quantum jumping 전략
창의소재	금속, 고분자, 세라믹 및 이들의 복합 소재에 기존의 가공 방법으로는 구현되지 않는 창의적인 기능을 부여하는 데에 중점을 둔다. 장기 개발 전략 말기에는 각 개별 소재의 장기 전략과 수립함
병행지원	3D프린팅 소재기술 표준화 작업, 3D프린팅 소재 인력 양성

단계) - 장기(3단계)로 나뉘어 있어, 각각의 단계에서 개발되어야 하는 소재 자체는 기반기술을 확보하는 Anchor 소재, 상업화 기술을 확보하는 Niche 소재, 선도 기술을 확보하는 Hybrid(Smart) 소재로 구분한다. 이러한 분류는 시장 환경과 시장 참여자, 요구기술의 개발상황 및 난이도, 국가의 공공 투자의 논리를 동시에 고려하여 선정하였다(표 5).

3.1. 소재

1) Anchor 소재는 Star-brand와 유사한 개념으로써, 현재 시점에서 3D프린팅 시장을 주도하는 대표소재이다. 향후 표준화 경쟁이 높고, 대량생산 - 대량소비가 가능한 소재로 예측되기 때문에, 단기(1단계)로 정의된 기간에 개발지원이 이루어져야 한다. 금속 3D프린팅 소재 중에서는 Fe계 합금소재(Maraging steels/tool steels), Al계 합금소재(Al-Si/Al-Cu), Ti계 합금소재(TiAlV), Co계 합금소재(Co-Cr)가 이에 해당한다.

2) Niche 소재는 현재 경쟁 중인 Anchor 소재를 3D프린팅 기술별로 최적화한 소재(화학조성 최적화, 소재특성 최적화)이며, 3D프린팅 최적화라는 측면에서 상당 기간의 검증과정이 필요한 소재이다. 금속 소재의 경우 나노석출상 분산형 합금소재, 고온/고용점용 합금, 저가보급형 Ti 및 Ti합금 분말 등이 이에 해당된다.

3) Hybrid(Smart) 소재는 소재복합화나 다층구조, 경사구조 등의 소재구조설계를 통해 새로운 물성을 제시하는 것으로, 시장이 성장기에 도입한 이후에 요구될 전망이다. 금속 소재로는 환경 능동대응형 신소재(자기 치유형 고강도/고기능성 금속 및 하이브리드 3D프린팅 소재), 기능성 표면코팅 소재 및 공정(전자기파 흡수소재, 나노-마이크로 복합분말 등), 산업공정용 flux coated 분말(대형화/대량생

산용 대기 분위기 3D프린팅 장비 대응형 소재), 기능소재 임베디드 스마트 부품용 소재가 이에 해당된다.

3.2. 공정기술

상기한 소재 자체에 대한 개발 이외에, 소재 제조 및 전/후처리 공정 기술, 신뢰성 향상 방안에 대한 기술개발이 함께 필요하다(표 6).

1) 1단계인 Anchor 소재 개발에서는, Atomization 기술 및 생산기반기술 개발을 통한 소재활성 및 소재특성제어 양산기술 개발이 필요하며, 산업 확장 및 market share 확장이 중요시되는 1단계의 특성상, 전략적으로 1500°C이하 금속 소재에 대한 기술 개발에 집중해야 한다. 또한, 금속 기반 3D프린팅의 보급 확산에 큰 걸림돌 중 하나인 전처리, 후처리 공정 기술 개발이 필요하다. 아울러, 표준화 이슈를 해결하기 위한 글로벌 전략 표준소재 신뢰성에 관한 전 주기 표준 프로토콜 개발이 이루어져야 한다.

2) 2단계인 Niche 소재 개발에 있어서는 고용점 금속 소재에 대한 전략적 개발이 필요하며, 물질순환기술과 연계한 극한환경/고용점 소재의 구상화 기술 개발이 필요하다.

3) 3단계인 Hybrid 소재에 있어서는, 환경인식형 능동소재 등과 같은 응용분야 별 맞춤형 소재 개발에 주력해야 하며, 신뢰성 확보를 위한 전주기 고장발생 억제기술에 대한 완성이 요구된다.

4. 전략기술 로드맵과 추진 전략

상기한 바와 같은 목표, 비전, 목표시장, 핵심제품 및 기술 선정을 바탕으로 소재별 3D프린팅 전략 기술 로드맵을 정리하면 다음과 같다. 전략기술 로드맵 2025에서 제시한

표 6. 금속 3D프린팅 소재의 종류별 문제점

구분	소재	문제점
Fe 합금	공구강, SUS, 17-4PH	<ul style="list-style-type: none"> 가장 많이 사용되고 있음 다원계 합금 조성 필요 고밀도화를 위한 극미세화 저비용 분말 대량생산
Al 합금	Al-Si, 6000계, 7000계	<ul style="list-style-type: none"> 고반사율로 인한 고출력 열원 필요 다원계 합금 조성 필요
Ti 합금	Ti-6Al-4V, TiAl, TiNi	<ul style="list-style-type: none"> 고용점으로 인한 분말 제조 어려움 금속간화합물의 낮은 인성
Refractory Metals	W, Mo, Re	<ul style="list-style-type: none"> 고용점으로 인한 분말 제조 어려움 금속간화합물의 낮은 인성 조형시 고출력 열원 필요
Ni 및 Co 합금	Superalloy, Co-Cr	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 고용점에 따른 낮은 치밀화도 (후가공 필요) 낮은 점성으로 인한 분말 내부 Void 형성
Mg 합금	Mg 합금	<ul style="list-style-type: none"> 폭발적인 산소친화력 높은 증기압에 따른 증발 문제 (합금조성 제어 어려움)

표 7. 금속 소재 전략기술 로드맵 2025

단계구분		1단계				2단계			3단계			기대효과
산업 니즈	단계목표	Catch-up 전략 (backward)				Leading 전략 (forward)			Quantum jump 전략 (emergency)			
		산업의 불확실성 제거				산업의 투자 활성화			산업의 수익체증			
연차구분		글로벌 표준화 기술 확보 및 검증				글로벌 경쟁기술 선점			산업생태계 활성화 지원			
응용분야		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	금속 3D프린팅 활성화
제품성능	금형/툴 (고강도)	Fe 계 합금 소재 (Maraging steels/tool steels)										감성지극 제품화 기술 (자동차, 전기전자정보통신)
		나노석출상 분산형 합금 소재 (나노분산/비정질)										
		자기치유형 고강도/고기능성 금속 및 하이브리드 3D프린팅 소재 (환경능동대응형 신소재)										
생산성	수송기기 (비강도)	Al 계 합금 소재 (Al-Si/Al-Cu)										에너지/환경/안보대응 (자동차, 우주항공, 국방, 조선해양)
		고온/고응점용 합금 (Nickel superalloys/refractory metals)										
		전자기와 흡수 3D프린팅 소재 및 나노-마이크로 복합분말 (functional 표면코팅 소재 및 공정)										
경제성	생체디바이스 (생체적합성)	Ti 계/Co 계 합금 소재 (TiAlV/CoCr)										사람을 배려하는 기술 (바이오, IoT, 웨어러블제품, 소비재)
		저가형 금속분말 및 후공정기술 (Ti/Ti합금)										
		대형화/대량생산용 대기분위기 3D프린팅 장비 대응형 소재 (상압공정용 flux coated 분말)										
산업생태 조성	전후방 3D프린팅 기술 연계	3D프린팅 맞춤형 전공정-후공정 생산기반기술										SME/IDE 육성 (뿌리산업, 주력산업, 미래산업)
		하이브리드 소재 제품 in-situ 적층기술										
		기능소자 임베디드 스마트 부품기술										
전략소재	시장전략연동	Anchor 소재 (Star-brands) 융집 1,500°C 이하 금속 소재 (분말/선재)				Niche 소재 (Follow-on 시장) 고용점 금속 소재 (분말/선재/판재)			Hybrid (스마트 소재) (미래 시장) 응용분야별 맞춤형 소재			글로벌표준 스타소재 고부가 특화소재
소재제조	대량생산기술	Atomization 기술 및 생산기반 기술 (소재활성/소재특성제어 양산기술)				극한환경/고용점 소재 구상화기술 (물질순환기술 연계)			특화분야별 최적소재 및 full-3D프린팅 소재 (환경인식형 능동소재)			글로벌혁신기업 (IDE) 고부가중소기업
3D프린팅 공정	소재중심 3D프린팅 플랫폼	융용기반 금속 3D프린팅 기술 금속특성고려 제품디자인 (pre-3D프린팅) 및 후 공정 기술				고밀도 에너지원-금속반응 활용 3D프린팅 기술 저가격분말 3D프린팅 후 정련기술			신소재에 의한 새로운 개념의 3D프린팅 기술 응용분야별 맞춤형 기술			뿌리기술활성화 지식기반생산기반 기술
신뢰성	시장불확실성감소 생산기술지원	글로벌 전략 표준소재 신뢰성 (dependability) 전주기 표준 프로토콜 개발				Niche 소재/응용분야 글로벌 표준 도출			전주기 고장발생 억제 기술			산업표준/기술표준 시장확실성 (chasm극복)

바와 같이, 기술개발 단계는 1단계(단기, Anchor 소재), 2단계(중기, Niche 소재), 3단계(장기, Hybrid(스마트) 소재)로 나누게 되며, 각각의 단계는 Catch-up 전략(1단계), Leading 전략(2단계), Quantum Jump 전략(3단계)로 나누어 진행하게 된다(표 7, 8).

4.1. 1단계: 단기 Anchor 소재 Catch-up 전략

시장진입 및 팽창전략상, Anchor 소재를 확보한 참여자가 Niche 시장과 Hybrid 시장을 확보할 가능성이 높으므로, Anchor 소재 확보는 단기적 차원의 기술개발 그 이상

의 의미를 갖게 된다. Anchor 소재는 대량생산 - 대량소비의 성격이 강한 시장이므로, 규모가 큰 기업이 글로벌 시장을 대상으로 사업화 할 가능성이 높은 반면, Niche 시장의 경우 지역기반의 산업생태계에서 중소기업에 특화된 소재로 밸류체인에 참여하는 형태의 시장으로 진행될 가능성이 크다. Hybrid 시장은 혁신기업이 새로운 소재기술을 통해 글로벌 시장을 확보하는 시장이 될 것으로 예상된다.

금속 및 세라믹 소재 3D프린팅 소재기술은 후발주자인 동시에 기초 산업생태계가 불안정한 우리나라는 국내산업

표 8. 세라믹 소재 전략기술 로드맵 2025

단계목표	1단계			2단계			3단계			기대효과							
	Catch-up 전략 (backward)	Leading 전략 (forward)	Quantum jump 전략 (emergency)														
산업 니즈	기술적 한계점 분석 · 해결	응용 산업기술분야 확보	3D프린팅 소재산업의 수익제증	원천 · 표준소재 DB구축 (개발 후처리 공정조건 포함)	글로벌 표준화 기술 확보	글로벌 혁신/신도 기술개발 신산업생태계 활성화	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	세라믹 3D프린팅 활성화
응용분야	연차구분																
개인·기호 맞춤형시장 수요 증가	고성형성, 내열성, 고강도 소재 (ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ 계 범용 산화물) 친환경, 생체합성, 투명성 소재 [TiO ₂ , SnO ₂ , SiO ₂ 계 (Glass포함) 산화물] 용도 맞춤형 고기능성 소재 (금속/세라믹, 폴리머/세라믹 등의복합체)																
건강 · 헬스케어 시장 확대	생체활성 · 불활성, 생체친화성 소재 (ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ 계 범용 산화물) 고강도, 고정밀, 심미성 소재 (calcium phosphates, bioglasses, porcelain, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ 복합체) 이식부위 맞춤형 기능성 생체소재 (calcium phosphates, bioglasses, porcelain, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ 외 다성분 복합체)																
에너지시장 증가	고정밀, 경사기능성 소재 (ZrO ₂ , CeO ₂ 계 범용 산화물) 이종복합, 다성분계 소재 (MnO _x , CoO _x , ZnO, Chalcogenide계 화합물) 고집적화, 저온반응형, 복합기능 소재 (perovskite, fluorite, rocksalt, spinel계 화합물)																
전기전자부품 시장 확대	벌크형 3차원 성형 기술 소재 (Al ₂ O ₃ , CeO ₂ , SiO ₂ 계 범용 산화물) 고기능성 미세 성형 기술 소재 (Fe ₂ O ₃ , MnO _x , SnO ₂ , ZnO계 산화물) 하이브리드 일체형 세라믹 소재 (PZT, BST, BTO, STO, ITO계를 포함한 복합체)																
환경 및 삶의 질 개선용 시장 확대	경사기능성, 내열, 내식성 소재 (Al ₂ O ₃ , Silicate계 산화물) 자가수복형 친환경 소재 [CeO ₂ 류, TiO ₂ 류, CaO류, 여러 Silicate류 (mullite, cordierite, zeolite 등)] 상온반응형, 자가경화, 수복형 기능소재 (perovskite, fluorite, rocksalt, spinel계 화합물)																
기계 부품 및 극한환경 응용시장의 확대	고강도, 고정밀, 고성능, 경량 소재 (SiO ₂ 계 산화물, Si ₃ N ₄ 계 질화물, SiC계 탄소물) 자가수복, 이종복합, 투명성 소재 (TiO ₂ , SnO ₂ 등 산화물, TiC, AlN 등 탄/질화물) 환경인식형 고신뢰성, 고기능 소재 (TiO ₂ , SnO ₂ 등 산화물, WC, BC, BN 등 탄/질화물)																
교육 및 문화 수요의 증가	고정밀, 고성형성, 심미성 소재 (ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ 계 범용 산화물) 친환경 소재 [CeO ₂ 류, TiO ₂ 류, CaO류, 여러 Silicate류 (mullite, cordierite, zeolite 등)] 용도 맞춤형 기능성 소재 (금속/세라믹, 폴리머/세라믹 등의복합체)																
전략소재	Anchor 소재 (구조 세라믹 소재) Niche 소재 (환경바이오 세라믹 소재) Hybrid 소재 (기능세라믹소재)																
소재제조	성형성, 소결, 후처리, 신뢰성 기술 성형성, 후처리 최소화형, 안전성, 극부소결 부합화, 고기능화, 고정적, 고정밀, 고속화, 저온반응성 (후처리 불필요형)																
3D프린팅 기술	BI, PBF, VP, SL, ME BI, PBF, VP, SL, ME PBF, VP, SL, ME, DEED																
응용분야	기계부품, 생산/금형기구, 건축/인테리어, 스포츠 및 패션/생활-용품 생체기능 부품, 생체치료기구, 미생물(생체) 반응소재, 환경 촉매 에너지 소재, 전기전자 소재, 문화재 복원																
대표 소재	산화물계 범용 소재: ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ 계(sand, glass), 여러 Silicate계 (mullite, cordierite 등), Cement류 탄화물계 소재: SiC계, TiC계 질화물계 소재: Si ₃ N ₄ 계, AlN계 - 생체 소재: Calcium phosphates, bioglasses, porcelain, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ 외 복합체 - 전기/전자 소재: PZT, BST, BTO, STO, ITO, ZnO, Fe ₂ O ₃ 계, 외 복합체																

육성 및 보조, 해외로의 소재수출은 염두에 둔 catch-up 전략과 leading 전략의 이원적인 추진이 필요하다. 1단계 기술은 catch-up 전략으로 현재 표준화된 대표 소재를 이용한 기술의 체계를 구축하고, 산업이 검증 가능한 형태의 결과물을 제시하는 추진전략을 취해야 한다. 시장의 불확실성과 기술개발의 불확실성을 극복하기 위해서 비교 가능한 분야에서 비교우위의 기술을 확보하여야 한다(예: 샌드캐스팅용 몰드, 생체부품, 소형 기계부품 등). 또한, 소비자용 개인기호 제품 등 대규모 잠재수요 분야의 기술수요를 토대로 차별화된 시장을 창출하고 기술과 시장 참여자를 확대하여야 한다.

4.2. 2단계: 중기 Niche 소재 Leading-up 전략

국가적 차원에서 전략 로드맵을 작성하는 목적에서 살펴보면, 공공투자는 다양한 시장 참여자가 적극적으로 참여할 수 있는 환경을 조성하는 역할을 해야 한다. 글로벌 시장의 진입, 시장 확대 및 시장 리더를 지속할 수 있는 모멘텀을 제시할 필요가 있고, 대기업에 의한 초기 Anchor 시장의 확보는 투자기업 자체에도 유리하며, 대기업에 의해 조성된 글로벌 밸류체인을 후발 주자가 이용할 수 있는 장점을 가지게 된다. 중소기업의 경우, 시장참여를 위한 불확실성과 위험성이 더 크므로, 시장 세그먼트를 소량 다품종-고부가가치 소재로 유도하면서, 중소-중견수요기업과 연계하는 전략이 필요하며, 이를 견인하는 역할을 하게 될 것이 Niche 소재로 전망된다. Niche 소재는 현재 시점에서는 시장 참여자가 적거나 없을 수 있지만 3~4년 사이에 시장참여자와 밸류체인 형성 가능성이 매우 높은 소재 위주로 선정하였다.

2단계에서는 표준 기술 검증과정의 문제점을 개선할 수 있는 새로운 기술의 제시와 기존의 생산기반기술 및 제품화 기술과 연계하여야 한다. 또한, 양적 성장을 기본으로 한 기술적 우위 확보에 치중했던 1단계와는 달리, 기존 생산기반 기술과 연계 플랫폼을 통해서 경쟁우위의 요인을 확보해야 한다. 예를 들어 후처리 최소화형, 또는 불필요형 소재의 선점 개발 또는 다성분계 복합 소재의 확대 등을 통한 생산성 및 경제성 향상에 힘써야 한다. 금속 소재의 경우, 2단계 기술은 1단계 기술검증과정의 기술혁신인자를 상용화하는 기술로 대량소비 표준 금속 소재 확보와 niche 마켓용 소재 확보가 핵심이며, 고용점 3D프린팅 소재기술의 개발이 필수적이다.

4.3. 3단계, 장기 Hybrid(Smart) 소재 Quantum-jump 전략

Hybrid 소재는 혁신기술을 보유한 시장참여자가 중장기적으로 연구개발을 통해서 시장을 견인하도록 할 필요가 있고, 이러한 기업을 혁신기업(Innovation Driven Enterprise,

IDE)으로 육성하는 것이 국가적 차원에서 필요하다. 이 단계에서는, 대량소비 표준 소재와 특화 소재를 통해서 다양한 산업분야의 제품군을 생성하여 성장기 수익체증을 확대, Quantum-jump를 이룰 수 있는 전략수립이 필요하다.

3단계에서는 모든 소재의 표준화 정립이 완성단계에 접어들 것으로 예상되므로, Mass customization 분야의 표준 소재 위주의 전략과, 새로운 기능성(예: 자기 치유형, 에너지 흡수효율, 공정분위기 제어형, 등방응고)이 부여된 소재 위주의 전략 수립이 필요하며 이를 바탕으로 사업화와 직결되는 체인 형성이 이루어져야 한다. 또한, 친환경, 내구성, 인체친화성 등의 이슈가 해결되어야 한다.

5. 결 론

금속 3D프린팅 기술은 유럽을 중심으로 미국, 일본 등과 같은 선진국에서 정부차원의 집중적인 지원을 통해 기술을 개발하고 있으나, 아직까지 세계적으로도 초기단계 수준에 머물고 있다. 현재 금속을 포함한 3D프린팅 산업은 장비 및 시스템의 개발에 집중되어 있으나, 이 분야는 기존 선진국의 높은 기술 장벽을 극복하기 어려우며, 후발 국가인 우리나라의 3D프린팅 산업구조에는 맞지 않다. 금속 3D프린팅 기술 발전에 있어 가장 큰 한계는 느린 조형 속도와 고가의 원소재(전량 수입, 장비업체가 독점적으로 공급)이며 이로 인해 기존 제조가공 산업분야로의 확산에 큰 걸림돌이 되고 있다. 이러한 이유는 (1) 원소재 설계 및 특성 제어에 대한 이해 부족, (2) 기존 3D프린팅 기술에 종속된 소재 선택(소재 특성에 맞는 프린팅 공정의 개발이 이루어지지 않고 있음), (3) 고가의 제한된 소재를 장비 업체에서 독점적으로 공급하고 있는 등, 소재적인 관점에서 산업적 적용을 확대하려는 연구가 체계적으로 이루어지지 않고 있다.

현재 폴리머를 제외한 3D프린팅용 금속 및 세라믹 소재는 외국 프린터 제조업체에서 장비에 특화된 고가의 분말 소재 형태로 독점적으로 공급하고 있는 실정이다. 철계 분말소재의 경우에는 100% 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이며, 최근 현대제철과 포스코에서 순철 분말 제조공장을 설립하여 2014년부터 양산체제로 가동되고 있으나, 기존 고로의 선철로부터 수분사 방식으로 대량 생산하기 때문에 소량 다품종에 적합한 3D프린팅용 합금의 제조는 어렵다. 또한 제조된 분말의 입자크기가 수십~수백 μm 로 조대하므로 극미세를 요구하는 3D프린팅용 소재로는 적합하지 않다. 비철계 분말의 경우, (주)창성에서 Gas atomization 공정을 이용하여 동 및 동합금, 은, 알루미늄 등의 분말을 생산하고 있는데 최근 3D프린팅용 금속분말 개발을 추진하고 있다. 그러나 국내의 기존 제조산업의 경

우, 소품종 대량생산 구조를 취하고 있고, 소량 다품종 맞춤형 제품의 경우에는 시장이 협소하여 정부나 기업체가 기술개발 지원을 외면하고 있는 실정이다. 따라서 금속 3D프린팅 기술의 주요 이슈인 고속화, 정밀화, 복합화를

구현하기 위해서는 소재적인 관점에서 공정기술의 한계를 극복하는 방향으로 접근하여야 할 필요가 있으며, 3D프린팅 산업의 생태계 구조를 소재적인 관점에서 장비와 연계한 기술개발 체계를 구축해 나가는 것이 매우 중요하다.