

<기술논문>

3D프린팅 기술의 원전 적용을 위한 고찰

장경남[†]·최성남^{*}·이성호^{**}

Consideration for Application of 3D Printing Technology to Nuclear Power Plant

Kyung-Nam Jang[†], Sung-Nam Choi^{*} and Sung-Ho Lee^{**}
(Received 14 May 2020, Revised 10 June 2020, Accepted 16 June 2020)

ABSTRACT

3D printing is a technology that has significantly grown in recent years, particularly in the aerospace, defense, and medical sectors where it offers significant potential cost savings and reduction of the supply chain by allowing parts to be manufactured on-site rather than at a distance supplier. In nuclear industry, 3D printing technology should be applied according to the manufacturing trend change. For the application of 3D printing technology to the nuclear power plant, several problems, including the absence of code & standards of materials, processes and testing & inspection methods etc, should be solved. Preemptively, the improvement of reliability of 3D printing technology, including mechanical properties, structural performance, service performance and aging degradation of 3D printed parts should be supported. These results can be achieved by collaboration of many organizations such as institute, 3D printer manufacturer, metal powder supplier, nuclear part manufacturer, standard developing organization, and nuclear utility.

Key Words : 3D printing(3D 프린팅), Additive Manufacturing(적층제조), Nuclear Power Plant(원자력발전소), Code and Standard(기술기준)

1. 서 론

2013년 세계경제포럼(WEF, World Economics Forum)에서 적층제조(AM, Additive Manufacturing) 기술이라 불리는 3D프린팅 기술이 10대 유망기술로 선정되었다. 또한, 2016년 세계경제포럼에서는 제4차산업혁명을 이끌 기술 중의 하나로 선정되었다. 이처럼 3D프린팅 기술은 제조분야의 혁신을 주도하는 미래기술로 주목받고 있고, 지난 수년 동안 세계 여러 국가 및 기업들이 기술 개발 및 응용을 추진하고 있다. 특히 실시간으로 제작이 가능하고 제작비용 절감을 가능하게 하는 항공, 국방, 의료분야에서 적극

활용되고 있다. 신기술 적용에 상대적으로 보수적이라 평가받는 원전 산업계도 제조혁신 기술인 3D프린팅 기술 활용을 고려하는 것이 필요하다.

3D프린팅 기술은 원전 산업의 여러 분야에서 적용 가능하다. 원전 가동년수 증가에 따라 여러 가지 사유로 인해 원전 현장에서 지속적으로 단종품(Obsolete Item)이 증가하고 있고, 소량, 다품종 생산에 적합한 3D프린팅 기술은 단종품의 적기 공급을 위한 대체품 생산에 적극 활용할 수 있다. 또한, 신규 노형이나 SMR(Small Modular Reactor)의 설계 시 기존 방법으로 제작이 불가능한 설계 부품에 대한 제작에 활용될 수 있다. 하지만 현재 상황으로는 원전 현장에 3D프린팅 기술을 적용하기에는 여러 가지 선결해야 할 사항들이 있다. 본 논문에서는 3D프린팅 기술을 원전에 적용함에 있어 선행되어야 할 사항에 대해 고찰하고자 한다.

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원

E-mail: knamjang@khnpp.co.kr

TEL: (042)870-5659 FAX: (042)870-5999

^{*} 한국수력원자력(주) 중앙연구원

^{**} 한국수력원자력(주) 중앙연구원

2. 3D프린팅 기술의 개요

2.1 3D프린팅의 정의

3D프린팅이란 3차원 입체물을 데이터화하여 매우 얇은 단면을 한 층씩 쌓아 올려 3차원 부품을 제조하는 방식으로 신속 조형하는 기술을 의미하는 RP(Rapid Prototype)에서 유래하였다. 입체의 재료를 기계가공 또는 레이저를 이용하여 자르거나 깎는 방식으로 입체물을 생산하는 절삭가공(Subtractive Manufacturing)과 반대되는 개념으로 ASTM(American Society for Testing and Materials) F42 기술위원회 공식적인 기술용어는 적층제조이다^(1,2). 1892년 J.E Blanthier가 제안한 입체모형지도에서 최초로 고안되었다고 알려졌으며, 미국의 Charles W. Hull이 빛을 이용한 조형 시스템에 대한 특허를 등록하고, 1987년 3D Systems사에서 최초로 광조형장치(SLA, Stereolithography Apparatus)를 상품화하여 판매를 시작하면서 처음으로 세상에 알려졌다⁽³⁾. 이후 해당 특허가 만료되면서 본격적으로 3D프린터의 개발 및 응용이 여러 분야에서 진행되었다.

2.2 3D프린팅 기술의 종류 및 비교

3D프린팅 기술은 적층방식과 입체물 제조에 활용 가능한 재료에 따라 다양하게 구분할 수 있다. 적층 방식은 압출, 분사, 광경화, 파우더 소결, 인발, 시트 접합 등으로 구분가능하며, 활용 가능한 재료는 폴리머, 금속, 종이, 목재, 식재료 등 매우 다양하다. ASTM에서는 3D프린팅 기술을 Table 1과 같이 7가지로 분류하고 있다⁽⁴⁾.

실제 원전 현장에서는 비금속 보다는 금속 3D프린팅 기술이 더 유용하게 활용될 것으로 판단되어, 이후로는 금속 3D프린팅 기술에 대해서만 논하고자 한다. 금속 3D프린팅 기술은 PBF(Powder Bed Fusion)와 DED(Directed Energy Deposition) 방식으로 나뉜다. PBF 방식은 Fig. 1과 같이 일정영역에도포된 금속분말에 레이저를 선택적으로 조사하여 금속 분말을 국부적으로 용융 또는 소결시키는 방식으로 열원의 종류에 따라 Selective Laser Melting 또는 Selective Electron Beam Melting으로 구분된다. DED 방식은 Fig. 2와 같이 실시간으로 공급되는 금속분말을 고출력 레이저로 즉시 용융시켜 적층하는 방식이다⁽⁵⁾.

Table 1 Process Categories of 3D printing

종류	설명
binder jetting	분말 재료를 결합시키기 위하여 액상 접착제가 선택적으로 적층되는 적층제조 공정
directed energy deposition	재료가 적층될 때 적층 재료를 용융에 의하여 용해 시키기 위해 접촉된 열 에너지를 사용하는 적층제조 공정
material extrusion	노즐이나 오리피스를 통해 재료가 선택적으로 토출되는 적층제조 공정
material jetting	적층 재료의 액적을 선택적으로 적층하는 적층제조 공정
powder bed fusion	열에너지가 분말 베드의 영역들을 선택적으로 용해시키는 적층제조 공정
sheet lamination	판형 재료를 붙여서 제품을 성형하는 적층제조 공정
vat photopolymerization	광중합반응에 의하여 액조 내에서 액상 광경화수지가 선택적으로 경화하는 적층제조 공정

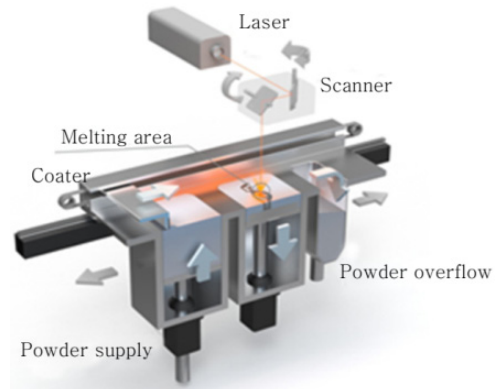


Fig. 1 PBF Technology

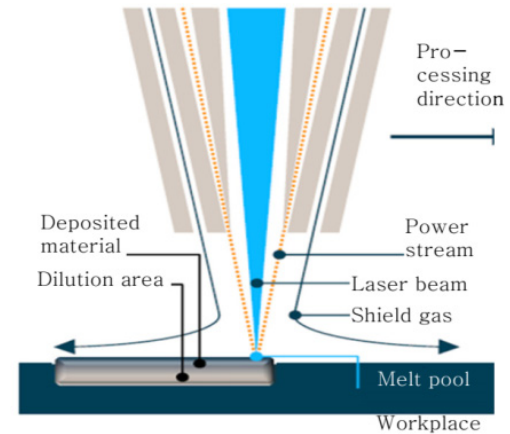


Fig. 2 DED Technology

Table 2 Comparison of Metal 3D Printing Technologies

항목	PBF	DED
적층속도	0.8~1.5 h/cm ³	0.2~0.3 h/cm ³
사용분말	구형 금속 분말	비구형 금속 분말
정밀도	0.04~0.2 mm	0.5~1.0 mm
표면조도	Ra 4-10 μm	Ra 7-20 μm
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 정교한 금속 제품에 유리 • 상부가 넓은 구조물 제작에 용이 • 정밀도 양호 	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 가지 분말 동시 사용 가능 • 비교적 생산속도 높음 • 강도 높음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 고가의 구형분말 사용 • 소결 및 용융 균일도 미흡 • 강도 취약 	<ul style="list-style-type: none"> • 복잡한 중공형태 제작 곤란 • 상부가 넓은 구조물 제작 곤란 • 정밀도 미흡

Table 2에서 제시한 바와 같이, PBF 방식은 정밀도가 높아 정교한 금속 제품 제작에 유리하고, 하부에 서포트를 만들어 적층할 수 있으므로 상부가 넓은 구조물을 제작하기 용이하다. 하지만 고가의 구형분말을 사용하여야 하며, 소결 및 용융 균일도가 미흡하여 결함이 생길 확률이 높으며, 상대적으로 강도가 취약하다는 단점이 있다. DED 방식은 금속 분말을 실시간으로 공급하기 때문에 한 가지 재료뿐만 아니라 여러 가지 분말을 동시에 분사하여 적층할 수 있다는 장점이 있다. 용융되는 melting pot이 넓어 비교적 생산속도가 높다는 장점이 있지만, 반면 적층 정밀도는 낮다. 그리고 DED 방식은 PBF 방식과 달리 서포트를 제작할 수 없고, 적층 시 분말이 위에서 아래로 분사되기 때문에, 베이스면이 없는 복잡한 중공형태나 상부가 넓은 구조물 제작이 어렵다.

2.3 국내외 3D프린팅 개발 현황

3D프린팅 기반의 혁신 제조공정의 중요성을 인식한 미국, 유럽, 일본, 중국 등은 일찍이 3D프린팅 관련 주요 정책들을 발표하고 대규모 투자 계획을 수립하였다. 우리나라 정부도 2014년 “3D프린팅 발전 전략”을 수립하여 3D프린팅 산업을 종합적으로 발전시키기 위한 지원방안을 마련하였으며, 2014년말에는 10가지 중점 지원분야가 포함된 “3D프린팅 기술 로드맵”을 발표하였다. 10가지 중점 지원분야에는 발전용 부품이 한 분야로 선정되었다. 또한 2015년 “삼차원프린팅진흥법”을 제정하고, 그에 따라 3년마다 수립하는 “3D프린팅 산업진흥 기본계획”을

2016년 수립하였고, 2017년, 2018년, 2019년 “3D프린팅 산업진흥 시행계획”을 각각 수립하여 3D프린팅 산업을 전략적으로 지원하고 있다.

3D프린팅 기술은 생활 활용, 식품, 엔터테인먼트, 가전 등의 실생활에 적용되는 분야부터 의료, 기계, 건축 분야 등의 전문분야까지 널리 활용되고 있다. 특히 국내에서는 고기능성 금형, 고기능성 자동차 부품, 의료-치과 분야 등에서 활발하게 연구되고 있다⁽¹⁾. 해외의 경우, NASA는 금속 3D프린터로 로켓 엔진 부품을 생산하였는데, 163개의 작은 부품을 조립하여 만들던 부품을 단 2개의 3D프린팅한 부품만으로 제작하였다. 독일 Siemens사는 2017년 3D프린팅 기술로 생산된 가스터빈 블레이드 테스트를 성공하였고, 미국 GE사도 금속 3D프린팅 기술로 새로운 기하학적 형상이 적용된 가스터빈을 제작하였다. 국내 발전분야에서는 산업부 주관 정부과제를 통해 화력발전소의 단종품에 대한 3D프린팅 제품의 실장을 추진 중에 있다.

2.4 국내외 3D프린팅 기술기준 개발 현황

3D프린팅 관련 기술기준은 ASTM과 ISO(International Organization for Standardization)를 중심으로 활발히 개발되고 있다. ASTM은 2009년 3D프린팅 기술에 대한 기술기준의 필요성을 인식하고 22개국 600여 회원이 참가한 F42 기술위원회를 조직하였고 이 위원회에서 현재까지 22개의 3D프린팅 관련 기술기준을 승인하였다. ISO도 261 기술위원회를 조직하여 15개의 기술기준을 발행하였으며, 약 30개 기준을 새로 개발 중에 있다. 이 밖에도 ASME(American Society of Mechanical Engineers), AWS(American Welding Society), IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 등 여러 기술기준 개발 조직이 3D프린팅 기술기준 개발에 참여하고 있다.

2016년 ANSI(American National Standards Institute)와 America Makes는 위와 같은 여러 기술기준 개발 조직이 다양한 방면에서 3D프린팅 기술의 표준화에 참여하고 있고, 각 표준이 일관되고, 융합되고, 모순되지 않도록 조정이 필요하다는 것을 인식하여 AMSC(Additive Manufacturing Standardization Collaborative)를 발족하였다. 이 협력을 통해 2018년 “Standardization Roadmap for Additive Manufacturing”⁽⁶⁾을 발행하였고, 이 보고서는 발행된 표준과 개발 중인 표준을 정리하고, 각 표준 간 차이를 분석하고, 추가적으로 표준화가 필요한 항목

에 대해 우선 순위를 부여하여 추천하였다. 또한, 3D프린팅 기술에 대해 1)설계(Design), 2)공정 및 재료(Process and Materials), 3)검증과 인증(Qualification and Certification), 4)비파괴 평가(Nondestructive Evaluation), 5)유지보수(Maintenance) 등의 총 5개 주제 영역으로 분류하여 표준화 권장 사항을 기술하였다.

국내에서는 KS규격에 ISO와 동일하게 3D프린팅 관련 기술기준이 등재되어 있으며, 아직 KEPIC(Korea Electric Power Industry Code)에는 3D프린팅 관련 기술기준이 등재되어 있지 않은 상태이다.

3. 3D프린팅 기술의 원전 적용 요건

3.1 원전 기기 및 부품 적용 체계

원전에 기기 및 부품을 적용하기 위해서는 기본적으로 원자력 안전성이 확보되어야 하며, 원자력 안전성은 Fig. 3에서 표현한 바 같이 원자력 규제기준과 기술기준에 근거하고 있다. 현재 한국의 원자력발전소는 원자력안전위원회 고시 제2018-6호 ‘원자력시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정’에 따라 KEPIC 또는 ASME 코드를 적용하도록 되어 있다. KEPIC 또는 ASME 코드는 원자력발전소의 설계, 제작, 검사, 시험, 환경, 화재방호 등의 대부분의 기술기준이 포함되어 있으며, 이러한 기술기준을 근거하여 원자력발전소의 설비 또는 기기를 설계·제작·설치·시험 등을 수행하여야 한다. 또한, 기술기준에 근거한 품질인증제만이 원자력발전소의 설비 및 기기를 납품할 수 있으며, 건설 시 뿐만 아니라 가동중검사 및 보수·교체 활동 시에도 관련 기술기준을 적용하여야 한다. 위와 같은 기술기준 중 3D프린팅 입장에서 가장 고려해야할 부분은 재료관련 부분이다. 기기 제작·설치·보수·교체 활동 중에 재료에 대한 검사는 현재 제작된 제품의 결함 유무를 판단하는 비파괴검사와 향후 제품에 생길 결함 유무를 판단하는 파괴검사를 수행하여야 한다. 제작 또는 보수 중에 사용하는 용접에 있어서도, 현재의 용접부의 결함여부를 판단하기 위한 비파괴검사와 향후 이 용접부에 결함이 생기지 않도록 기술기준에 따른 인증된 용접방법과 용접절차시방서를 사용하도록 되어 있다. 마찬가지로 3D프린팅 기술에 대한 기술기준도 현재결함 유무를 판단하는 비파괴검사와 미래결함 확률을 최소화하기 위한 파괴검사에 대한 내용이 포함되어야 한다.

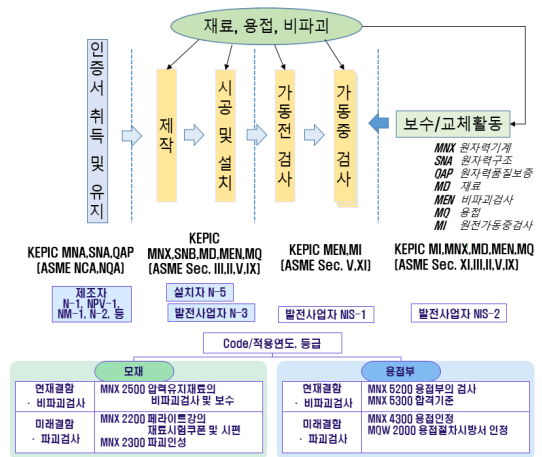


Fig. 3 Structure of Code & Standards for NPP

원전에 설치되는 안전등급 기기는 Fig 4와 같이 규제기준, 인허가문서 및 기술기준에 따라 설계·제작·검사·시험 후 설치된다. 국내에서는 원자력안전위원회 고시 제2018-6호에 따라 KEPIC MN 또는 ASME Code Sec. III를 따르도록 되어 있다. 또한 원전의 최종안전성평가보고서(FSAR) 3장 ‘구조물, 부품, 기기, 계통의 설계’에서는 안전등급 기기에 대해 원자력안전위원회 고시에 따른 기술기준을 적용한다고 명시되어 있다. 이를 근거로 하여 안전등급 기기의 경우 KEPIC MN을 적용하며, 이와 관련된 여러 참조기술기준인 KEPIC MD(재료), KEPIC ME(비파괴검사), KEPIC MF(성능시험), KEPIC MQ(용접) 등을 적용한다. 해외구매품의 경우 KEPIC 코드에 매칭되는 ASME 코드를 적용한다. 비안전등급의 경우, 법적인 요건은 없으나, 기계기기의 경우 KEPIC MG를 따라 설계·제작한다.

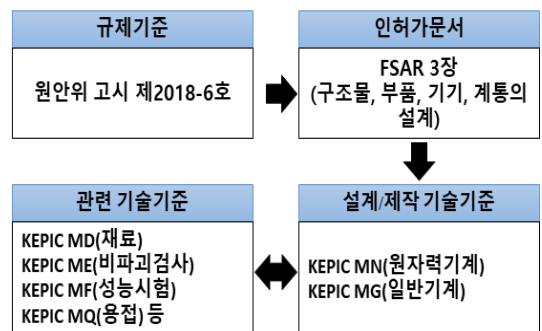


Fig. 4 Rules and Code & Standards for Mechanical Equipments of NPP

위에서 언급한 바와 같이 3D프린팅 관련한 기술 기준 중 가장 중요한 부분은 재료관련 기술기준이다. 안전등급 기기에 적용하는 기술기준인 KEPIC MNX 2121에 따르면 압력유지재료는 KEPIC MDP, 부록 II A 및 II B에 수록된 재료만 사용하도록 되어 있으며, 이 재료를 사용하는 제품은 MNX 2000의 요건 전부를 준수해야 한다⁽⁷⁾. 압력유지재료란 (1) 용기의 동체(shell), 경관(head), 노즐, (2) 관, 튜브, 관이음쇠, (3) 밸브의 몸체, 보닛 및 디스크, (4) 펌프의 케이싱 및 덮개, (5) 압력유지품목을 결합하는 볼트류이다. 다만, 축, 스텝, 트림(trim), 분무노즐, 베어링, 부상, 스프링 및 마모판과 같이 기기의 압력유지기능과 관련이 없는 품목, 그리고 시일, 패키징, 개스킷, 밸브시트와 전기관통구의 밀봉 재료로 사용하는 세라믹 단열재 및 특수합금에는 MNX 2000의 요건을 적용하지 않는다. 또한 안전밸브의 디스크 및 외부 몸체구조물 속에 들어 있는 노즐, 유량조절 기능만을 가진 제어밸브의 디스크 및 케이싱(cage), 입구연결부가 호칭지름 NPS 2(DN50) 이하인 라인 밸브의 밸브디스크는 KEPIC MDP, 부록 II A 및 II B에 정한 규격 이외의 재료를 사용해도 된다.

일반등급 기계기기의 경우는 KEPIC MG(일반기계) 기술기준을 적용한다. KEPIC MG는 배관, 펌프, 밸브, 복수기, 급수가열기, 탈기기에 대한 설계, 제작기준을 기술하고 있으며, 사용 가능한 재료에 대한 기준도 기술되어 있다. 한 예로, 밸브에 관한 기술기준인 KEPIC MGG는 몸통, 보닛이나 덮개, 몸통연결 볼트류, 몸통-보닛이나 몸통-덮개 연결 볼트류는 기준에 명시된 ASTM 규격의 재료로 건조해야 하며, 동일한 KEPIC MD 재료도 사용할 수 있다고 기술하고 있다⁽⁸⁾.

위에서 기술한 바와 같이, 원전에 설치되는 모든 압력유지재료는 안전등급 여부에 관계없이 해당 기술기준에 명시된 KEPIC MDP(해외 구매품의 경우 ASME Sec. II, Part D) 또는 ASTM을 사용해야 한다. 압력유지재료가 아닌 경우는, 위 기술기준에 명시되지 않아 KEPIC MDP 또는 ASTM 이외의 재료를 사용할 수 있지만, 부품에 사용하는 모든 재료의 종류를 규격과 함께 명시하도록 되어 있다. 따라서, 원전에 설치되는 모든 기기·부품은 기술기준에 근거한 재료만이 사용될 수 있다. KEPIC MD 또는 ASTM 재료 기술기준에는 재료의 성분, 제작방법,

후처리방법, 시험방법, 검사방법, 그에 따른 허용기준 등이 명시되어 있고, 그 중 제작방법으로 단조, 주조 등의 전통적인 방법의 재료만이 등재되어 있어, 적층제조법을 이용한 재료의 기술기준은 아직 미비한 상태이다. 2장에서 기술한 바와 같이 ASTM이나 ISO에서 적층제조에 대한 여러 가지 기술기준을 발행하였으나, 기존 제조방법 대비 기계적 특성 변화, 적층제조 공정변수 표준화, 품질보증 등의 기술기준 부재로 원전 현장에 적용하기에는 부족한 상황이다.

3.2 원전 적용 선결 요건

3D프린팅 제품을 원전 현장에 적용하기 위해서는 Fig. 5과 같이 선결해야 할 과제가 산적해 있다. 첫 번째로 3D프린팅 제조품의 재료 및 기계적 물성 강화 기술이 필요하다. 3D프린팅으로 제작한 제조품의 경우 금속분말을 고온에서 녹여 적층하기 때문에 기공(porosity)과 같은 결함이 생겨 피로강도, 크립 특성과 같은 기계적 물성치가 기존 제작방법에 비해 부족하다고 알려져 있다. 또한 수직으로 층을 쌓는 특성상 적층방향(상하방향)의 강도 및 인장특성이 상대적으로 낮은 특성이 있다. 기술개발을 통해 3D프린팅 제조품은 최소한 기존 제조방법인 단조 및 주조품 대비하여 동등 이상의 기계적 물성치를 유지할 수 있어야 한다. 또한 원전 운전환경(고온, 방사선 등)하에서 장기간 운전에서 따른 재료의 열화특성 및 성능저하 분석을 통해 내구성에 대한 보증도 필요하다.

두 번째로 다양한 3D프린팅 금속분말의 지속적인 개발이 필요하다. 현재 3D프린팅에 사용되는 금속분말은 스테인리스강과 같은 특수강 위주로 개발되고 있고 그 종류도 제한적이다. 물론 3D 프린팅 기술이 소량 다품종 생산에 적합하기 때문에 분말에 맞는 활용분야가 다양하지만, 원전에 사용되는 금속의 60~70%는 탄소강으로 되어 있어 오히려 탄소강에 대한 수요가 더 많을 수 있다.

세 번째로 3D프린팅 장비의 신뢰도 및 재현성 향상이 필요하다. 3D프린팅 장비 제작업체는 전세계에 널리 퍼져 있고, 장비별 공정변수나 제작방식이 상이하며 업체간 폭넓은 교류가 이루어지지 못하고 있다. 그에 따라 동일한 방식을 사용하는 장비라 할 지라도 출력품의 품질이 다를 수 있고, 같은 장비에

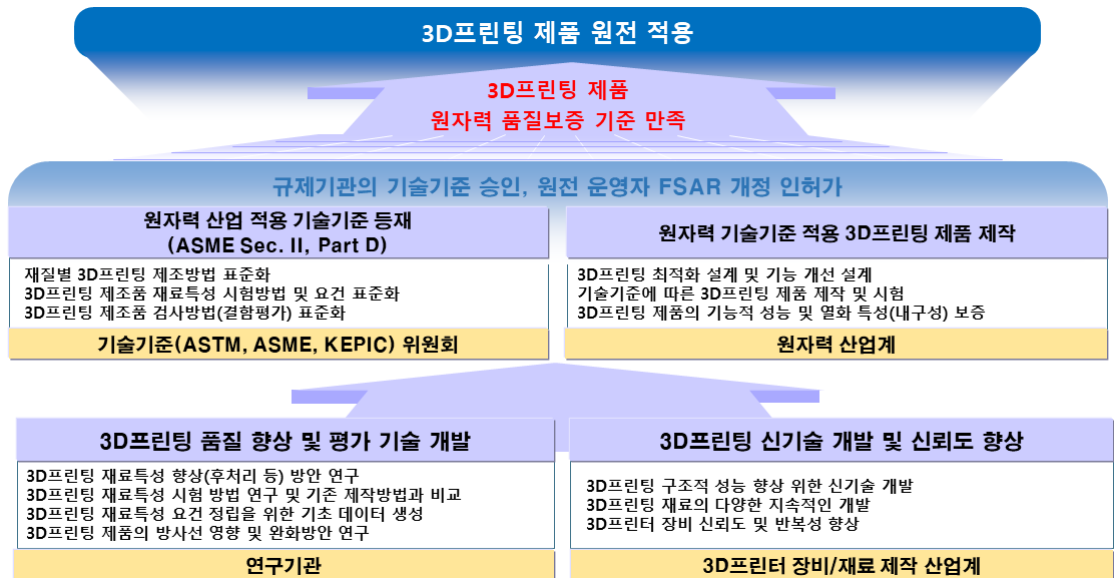


Fig. 5 Structure of Application 3D Printed Item to NPP

서 출력하더라도 장비 운용자의 숙련도에 따라 품질이 달라질 수 있다. 이를 위해 장기적으로는 3D프린팅 제조사 및 사용자에 대한 인증체계 구축도 필요하다.

마지막으로 상기한 과제의 해결을 통해 설계·제작·시험·검사·성능시험 등의 절차에 대한 원자력 분야 기술기준화가 필요하다. 재질별로 어떤 절차에 따라 3D프린팅할 것이며, 재료특성에 대해 어떤 허용기준에 따라 시험할 것이며, 최종제품에 대한 결함검사는 어떻게 할 것인지에 대한 표준화 방법이 제시되어야 한다. 기술기준의 개발에는 방대한 양의 시험 데이터와 시행착오가 있어야 하고, 기술기준 위원회의 타당성 검토가 선행되어야 하므로 장기간의 계획과 실행이 요구된다. 원자력 품질보증 기준에 만족할 만한 절차와 성능을 확보하기 위해서는 연구기관 및 3D프린팅 산업계 전체의 협업을 통한 기술개발이 필요하다.

3.3 3D프린팅 제조품의 원전 적용

3D프린팅 제조품은 상기한 바와 같이 3D프린팅 제품의 품질 문제와 원자력 기술기준의 미비로 원전 현장에 바로 적용하기는 어려운 실정이다. 하지만 3D프린팅 기술은 미래 제조업 분야의 유망기술이고, 향후 10년 후에는 모든 제조산업에서 적용 가능성이 높은 기술로 발전할 것이므로 지속적인 원

전 적용 노력이 필요하다. 3D프린팅 제품의 원전 적용은 단계적으로 이루어질 필요가 있다. 현재 상태에서는 기술기준 또는 성능에 영향을 받지 않는 일반등급의 비기능성 부품에 우선 적용할 수 있다. 또한, 원전에 직접 적용은 아니지만 단종품의 대체품 제작을 위한 리버스 엔지니어링(Reverse Engineering) 시 기 능검증용 시제품 개발, 시험·검사 장비 개발 시 성능 검증을 위한 목업(Mock-up) 제작 등에 활용될 수 있다. ASTM 또는 ISO 등에 3D프린팅 제품의 품질 검증에 충분한 기술기준이 등재된다면 안전등급 또는 일반등급의 밸브 스템, 펌프 임펠러 등의 기능성 부품에 적용될 수 있다. KEPIC MDP 또는 ASME Sec. II, Part D가 아닌 KEPIC MG 또는 그에 상응하는 ASME 코드의 압력유지재료로 3D프린팅 재료가 등재되면 밸브 바디, 펌프 케이싱과 같은 일반등급 압력유지재료로 사용될 수 있다. 마지막 단계로 KEPIC MDP 또는 ASME Sec. II, Part D에 3D프린팅 재료가 등재된다면, 기술기준에서 제시한 범위 내에서 안전등급 압력유지재료로 활용 가능할 것이다.

상기한 바와 같이 이러한 기술기준은 단시간에 등재되기는 쉽지 않다. 그에 따라 선제적인 원전 적용을 위해 국내외 연구기관에서는 정식 기술기준 등재에 앞서 코드 적용사례(Code Case) 등재를 추진하고 있다. 하지만, 코드 적용사례에 등재된다고 하여도,

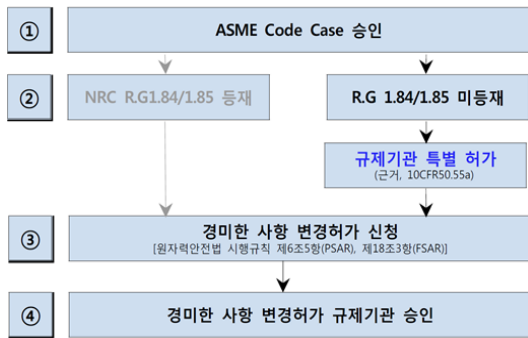


Fig. 6 Permission Process of ASME Code Case

바로 원전 현장에 적용할 수 있는 것은 아니다. 신규로 제정되어 규제지침서에 미등재된 ASME Code Case의 경우는 Fig. 6과 같이 10CFR50.55a(z)에 근거한 대체적용신청서를 제출하고, 원자력안전법 시행규칙 제6조 5항(PSAR) 및 제18조 3항 (FSAR)에 근거한 경미한 사항에 대한 운영변경허가를 신청한 후 원자력안전위원회의 승인을 받아야 한다⁹⁾. KEPIC 적용사례의 경우는 아직까지 원전 안전등급에 적용할 수 있는 근거는 없는 상태이다. 원자력안전위원회 규칙 제13호(원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙) 제12조(안전등급 및 규격) ②항에 의거, KEPIC 적용사례를 사용할 수 있는 법적 근거는 있으나 원안위고시 제2016-11호(원자로시설의 가동중 검사에 관한 규정)의 제10조(보수 및 교체작업) ③항(기술기준내용을 변경~중략~경우에는 제13조에 따라서 원자력안전위원회의 승인을 얻어야 한다.) 제13조(대체적용 및 완화요청) 및 동 고시 ⑤항 (ASME Code Case를 적용할 경우 ~중략~ 원자력안전위원회 승인을 얻어야 한다.) 등에 관련 고시에 명시 되어 있지 않아 원전 산업계에서는 주로 ASME Code Case만 사용하고 있다. 또한 KEPIC 적용사례들은 2010년판부터 본격적으로 발행되기 시작한 짧은 역사에 따른 규제 차원의 신뢰성 확보 미흡과 규제활용 실적 미비에 따른 정형화된 프로세스 부재 등으로 인해 실제 규제에 활용된 실적이 전무한 상황이다. 따라서 KEPIC 적용사례의 원전 적용을 위해서는 원자력안전위원회 고시 개정이 선행되어야 한다.

4. 결 론

3D프린팅 기술은 미래유망기술로 지난 수년간 많

은 발전을 이루어 왔다. 국내 원전 가동년수 증가에 따른 단종품의 지속적인 발생이 예상되고 있으며, 이를 위한 대체품 공급을 위해 3D프린팅 기술은 아주 유망하다. 원전의 모든 기기 및 부품은 관련 기술기준에 따라 설계·제작·검사·시험한 후 설치되어야 하며, 3D프린팅 제품도 마찬가지로 관련 기술기준에 따라 설치되어야 한다. 따라서 원전 현장에 3D프린팅 제품을 적용하기 위해서는 관련 기술기준의 등재가 선행되어야 한다. 아직 3D프린팅 관련 기술기준이 정립되지 않은 상태에서 완벽한 기술기준이 등재될 때 까지 기다리기 보다는, 기술기준 등재 추이에 따라 단계적으로 3D프린팅 제품을 원전 현장에 적용하는 것이 필요하다. 원전 사업자는 실제 현장에서 어떤 부품에 3D프린팅 기술이 적용 가능한지 지속적인 발굴이 필요하며, 이를 원전 산업계에 전파해야 한다. 또한 3D프린팅 제품에 대한 품질보증 및 구매기술규격 체계를 구축해야 한다. 원전 산업계 및 연구기관은 기술기준 등재를 위한 3D프린팅 제품 품질 향상, 평가, 시험, 검사 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 이 모든 것은 어떤 한 기관에서 이루어질 수 없고, 관련 연구기관 및 원전 산업계의 협력체계 구축 및 지속적인 협업을 통해 달성 가능할 것이다. 이를 통해 향후 원전 산업계에 안정적인 3D프린팅 제품 공급망(Supply Chain)이 형성됨으로써 원전의 안정적 운영에 기여할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업의 “발전수요부품 국산화를 위한 3D프린팅 상용화 기술 개발” 과제의 일환으로 수행된 연구입니다.

참고문헌

- (1) Choi, J. W. and Kim, H. C., 2015, “3D Printing Technologies-A Review,” *Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 1-8.
- (2) Choi, S. J, Bae, Y. H., Lee, I. H., and Kim, H., 2018, “Latest Research Trends of 3D Printing in Korea,” *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol 35, No. 9, pp. 829-834.

- (3) National IT Industry Promotion Agency, 2018, "2017 3D printer industry Survey," National IT Industry Promotion Agency.
- (4) ISO/ASTM 529200, 2015, "Standard Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology," ASTM International, West Conshohocken, PA.
- (5) Kang, M. C., Ye, D. H. and Go, G. H., 2016, "International Development Trend and Technical Issues of Metal Additive Manufacturing," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 34 No. 4 pp. 9-16.
- (6) America Makes & ANSI Additive Manufacturing Standardization Collaborative (AMSC), 2018, "Standardization Roadmap for Additive Manufacturing," Version 2.0, America Makes & ANSI Additive Manufacturing Standardization Collaborative (AMSC).
- (7) KEPIC MNB, 2015, "Nuclear Mechanical, Class 1 Components," Korea Electric Association, Seoul.
- (8) KEPIC MGG, 2015, "Valves," Korea Electric Association, Seoul.
- (9) Lee, S. H., Park, Y. C., Lee, Y. S., Park, J. H., and Lee, J. E., "Proposal of KEPIC Code Case Revision related to the Allowable Local Thickness Evaluation of Straight Pipe," 2016, *Proceedings of KPVP Annual Meeting*.