



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 청구논문

2023학년도

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석 및 적용방안 제시

For expanded application of 3D printing technology
to weapon systems Analysis of key elements and
presentation of application plans



광운대학교 대학원

방위사업학과

정인영

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석 및 적용방안 제시

For expanded application of 3D printing technology
to weapon systems Analysis of key elements and
presentation of application plans



광운대학교 대학원

방위사업학과

정인영

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석 및 적용방안 제시

For expanded application of 3D printing technology
to weapon systems Analysis of key elements and
presentation of application plans

지도교수 정 석 재

이 논문을 국방경영학 석사학위 청구논문으로 제출함.

2023년 12월 일

광운대학교 대학원
방위사업학과
정 인 영

정인영의 국방경영학 석사학위논문을 인준함

심사위원장 김 장 엽 인

심 사 위 원 정 석 재 인

심 사 위 원 김 홍 빈 인

광운대학교 대학원

2023년 12월 일

감사의 글

2022년 남들보다 다소 늦은 나이에 광운대학교 방위사업학과 석사과정에 입학하여 방위사업 분야의 전문가이신 교수님들의 지도를 받으면서 새로운 분야의 지식을 함양한다는게 제 인생에 있어서 무척 소중한 의미가 있었습니다.

지금의 졸업논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움과 격려가 있었지만, 특히 지도교수님이신 정석재 교수님께서 논문의 제목 선정에서부터 목차 구성, 연구방법론까지 지도해주시고 논문 작성중에 어려움이 발생할 때마다 아낌없는 조언과 지도를 해 주셨기에 논문을 완성할 수 있었습니다. 다시 한번 저에게 항상 할 수 있다는 용기와 희망을 심어주신 것에 대해 깊은 감사를 드립니다.

아울러, 바쁘신 학사일정 속에서도 심사위원장님을 맡아 논문심사를 꼼꼼하게 해주셔서 완성도를 높여주신 김장엽 교수님과 진심어린 조언을 해주신 김홍빈 교수님께 감사드립니다. 그리고 논문 작성을 위해 총 3회의 설문 시에도 매번 성심성의껏 답변해준 3D프린팅 분야의 전문가이신 분들에게도 감사의 말씀을 전합니다.

늦은 나이에 석사과정을 공부한다고 했을 때 홀로 육아를 전념해야 하는 부담이 있음에도 항상 응원해준 사랑스러운 아내 서윤희와 늘 저의 삶에 있어 가장 큰 원동력인 사랑스런 두 딸 다연·다엘 자매, 하나밖에 없는 아들을 위해 늘 애쓰시는 존경하는 어머니께도 정말 고맙고 사랑한다는 마음을 전합니다.

그동안 석사학위 과정을 통해 배운 다양한 지식들을 제가 수행하는 업무에 잘 반영하여 군(軍)의 발전과 전투준비태세에 조금이라도 기여할 수 있도록 남은 군생활도 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

국문요약

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석 및 적용방안 제시

최근에 획득되는 무기체계는 과학기술의 발달로 점차 첨단화, 정밀화되어 부품의 형상과 구조가 복잡해지고 정교화가 요구되는 추세이며 무기체계 수명주기도 과학기술과 정비능력의 발전에 맞춰 30년 이상 운영중으로 실제 설계 시 판단한 수명주기를 경과한 장비들이 현재까지 현존전력으로 운영 중이다.

또한 획득기간의 장기화로 인해 설계시 적용됐던 부품이 전력화 초기에 단종되어 장비가동률 목표 미달 및 수리부속 조달률 저조현상이 발생하고 유무인 복합체계 등 무기체계의 특성이 점차 다품종 소량으로 획득되면서 전력화 이후 부품단종, 조달애로 등의 문제 발생 가능성이 매우 높아졌다.

이러한 문제해결을 위한 하나의 대안으로 4차 산업혁명의 신기술인 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용이 필요한 시점이지만 제도적, 기술적인 부분과 인프라 구축 미흡 등의 사유로 확대 적용이 제한되고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위해 선행되어야 할 핵심요소를 선행연구 분석을 통해 총 24개의 핵심요소를 식별하였으며 이를 토대로 전문가 설문용을 위한 델파이 설문지를 작성하였다.

전문가 설문은 무기체계 획득 및 운영유지기관, 국방 및 3D프린팅 관련 정부출연 연구기관 등을 포함하여 총 15명의 전문가를 구성, 델파이 방법을 통해 핵심요소 20개를 선정하고 유형별 그룹화 설정을 통해 핵심요소를 제도적, 기술적 요소 등 총 4개 분야로 구분하였다.

2차 설문은 1차 설문결과 선정된 핵심요소에 대해 정제화를 진행하여 불필요항목은 삭제하고 그룹별 가장 우선되어야 할 핵심요소 3가지를 분석하여 최종 계층구조 설정을 통한 AHP 분석을 위해 핵심요소 12개를 확정하였다.

3차 설문은 그룹별·핵심요소별 AHP 조사를 통해 우선순위를 선정하였고 그 결과 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 그룹별 상위요소는 제도적 > 기술적 > 인프라 구축 > 정보관리 순으로 나타났으며, 핵심요소별 우선순위는 제도적 요소에서는 품질인증체계 정립 > 국방분야 3D프린팅 운영지침 제정 > 제작부품 국방규격 제정 활성화, 기술적 요소는 제작 가능부품의 수요발굴 > 전문연구기관과의 기술협력 > 소재의 다양화 순이었다.

인프라 구축 요소는 군 3D프린팅 전문조직 구성 > 군 인프라 확대 > 민·관·군 협력조직 구성 순으로 나타났으며, 정보관리 요소는 3D프린팅 데이터의 DB화 > 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리 > 기술자료 보안대책 순으로 나타났다.

그룹별·핵심요소별 우선순위 결과를 토대로 가중치 및 최종 핵심요소별 우선순위를 분석한 결과 제작부품의 신뢰성 확보를 위한 품질인증체계 정립이 전체 12개 핵심요소 중 가장 중요한 요소로 판단되었으며 이어서 제작 가능부품의 수요발굴, 국방분야 3D프린팅 운영지침 제정 순으로 나타났다.

본 연구를 통한 학술적 기여는 3D프린팅 기술개발을 위한 연구의 기초자료 제공이 가능하고 실무적 측면은 적용방안을 세부적으로 제시한 점이다.

향후 연구방향은 3D프린팅 기술이 활용되는 다양한 분야로의 연구범위 확장을 통해 무기체계에 국한하지 않고 국방 관련 모든 분야에 3D프린팅 기술 확대 적용을 위한 연구와 본 연구에서 제시했던 핵심요소별 적용방안에 대한 심도 있는 추가 연구가 필요하며, 또한 전문가 설문을 위한 구성도 30~40명 정도의 좀 더 많은 Pool 구성을 통해 다양한 의견수렴이 필요하다.

Abstract

For expanded application of 3D printing technology to weapon systems Analysis of key elements and presentation of application plans

Recently acquired weapon systems have become increasingly advanced and precise due to the development of science and technology, and the shape and structure of parts have become complex and require more sophistication. The weapon system life cycle has also been in operation for more than 30 years in line with the development of science and technology and maintenance capabilities. Equipment that has passed its life cycle determined at the time of design is still operating at existing power.

In addition, due to the prolongation of the acquisition period, parts that were applied at the time of design were discontinued in the early stages of deployment, resulting in equipment operation rate targets falling short and repair parts procurement rates being low, and the characteristics of weapon systems such as manned and unmanned complex systems gradually being acquired in small quantities of various types, leading to deployment after deployment. The possibility of problems such as discontinuation of parts or difficulties in procurement has increased significantly.

As an alternative to solving this problem, it is time to expand the weapon system of 3D printing technology, a new technology of the 4th industrial revolution, but the application is limited due to institutional and technical aspects and insufficient infrastructure construction.

A total of 15 experts, including weapons systems acquisition and operation maintenance agencies, and government-funded research institutes related to defense and 3D printing, selected 20 key elements through Delphi methods, and classified key elements into four areas: institutional and technical elements through group setting by type.

In the second questionnaire, the core elements selected as a result of the first questionnaire were refined to delete unnecessary items and analyze the three core elements that should be prioritized for each group to determine the 12 core elements for the final AHP analysis.

The priorities of the 3rd survey were selected through AHP surveys by group and key elements, and as a result, the top elements for expanding the weapon system of 3D printing technology by group were institutional > technical > infrastructure construction > information management. The priorities for each key element were establishment of a quality certification system > establishment of 3D printing operation guidelines in the defense sector > activation of the establishment of defense standards for manufacturing parts, and technological factors were discovery of demand for manufacturable parts > technical cooperation with specialized research institutes > diversification of materials.

The infrastructure construction elements were in the order of military 3D printing specialized organization composition > military infrastructure expansion > civil, government, and military cooperative organizations, and information management elements were in the order of DB of 3D printing data > data accumulation and management of weapons system components > technical data security measures.

Based on the results of priorities by group and key elements, the establishment of a quality certification system to secure the reliability of manufacturing parts was judged to be the most important factor among the 12 key factors, followed by the discovery of demand for manufactured parts and the establishment of 3D printing operation guidelines in the defense sector.

The academic contribution through this study is that it is possible to provide basic data for research for the development of 3D printing technology, and the practical aspect is that the application plan is presented in detail.

The future research direction is not limited to weapons systems by expanding the scope of research to various fields where 3D printing technology is used, but in-depth additional research on the application of 3D printing technology to all defense-related fields and in-depth additional research on the application of each key element suggested in this study.

차 례

국문요약	i
영문요약	iii
차 례	vi
그림차례	viii
표 차례	ix
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 연구범위 및 방법	3
II. 이론적 배경	5
1. 3D프린팅 기술동향 및 적용분야	5
2. 3D프린팅 기술의 국방분야 적용사례	13
3. 선행연구 고찰	18
III. 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석	21
1. 선행연구 고찰을 통한 핵심요소 분석결과	21
2. 델파이 분석을 통한 핵심요소 선정 및 그룹화	23
3. 핵심요소 재분류 및 확정	30
4. AHP 분석을 통한 핵심요소 가중치 분석 및 우선순위 선정	33

IV. 핵심요소 적용방안 도출	38
1. 제도적 요소	38
2. 기술적 요소	45
3. 인프라 구축 요소	47
4. 정보관리 요소	49
V. 결 론	51
1. 요약 및 시사점	51
2. 연구의 한계 및 추후 발전방향	52
VI. 참고문헌	54



그림 차례

[그림 1] 연구수행 절차	4
[그림 2] 3D프린팅 공정 절차 및 방식	5
[그림 3] 3D프린팅의 장점	8
[그림 4] 3D프린팅 산업 동향	9
[그림 5] 3D프린팅 적용분야	11
[그림 6] 3D프린팅 기술의 적용사례	12
[그림 7] 국방분야 3D프린팅 기술동향	13
[그림 8] 해외 3D프린팅 추진현황	14
[그림 9] 미군 적용사례	15
[그림 10] 식약처 3D프린팅 가이드라인	38
[그림 11] 품질인증체계 절차(안)	39
[그림 12] 품질인증체계 평가요소별 세부항목(안)	41
[그림 13] 3D프린팅 장점을 활용한 사례	45
[그림 14] 3D프린팅 전문조직 구성(안)	47
[그림 15] 3D프린팅 디지털 전환 플랫폼 기술개발(안)	49

표 차례

[표 1] 장비가동률 저조사례	2
[표 2] 수리부속조달 저조사례	2
[표 3] 3D프린팅 제작방식	7
[표 4] 3D프린팅 부품 제작현황	17
[표 5] 선행연구 확인결과	18
[표 6] 선행연구에서 제시한 핵심요소	21
[표 7] 전문가 구성	23
[표 8] 제도적 요소	26
[표 9] 기술적 요소	27
[표 10] 인프라 구축 요소	28
[표 11] 정보관리 요소	29
[표 12] 2차 설문결과	31
[표 13] 그룹별 최종 핵심요소 선정결과	32
[표 14] 그룹별 AHP 조사결과	33
[표 15] 그룹별 핵심요소 AHP 조사결과	34
[표 16] 최종 핵심요소에 대한 가중치 분석결과	37
[표 17] 국방분야 3D프린팅 업무 기본지침 목차(안)	42
[표 18] 3D프린팅 관련 정부부처 주요사업 현황	46
[표 19] 군 3D프린팅 전문조직 구성(안)	48

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근에 획득되는 무기체계는 과학기술의 발달로 점차 첨단화, 정밀화되어 부품의 형상과 구조가 복잡해지고 정교화가 요구되는 추세이며 이로 인해 복잡한 형태의 부품은 기존 제조기술 (주물, 금형, 용접 등)로 형상구현이나 성능향상을 위한 경량화 및 특수소재 적용 등이 제한되고 있다. 또한 기술의 빠른 변화에 대응하기 위해 무기체계의 신속한 획득이 요구되고 있으나 첨단화, 복잡화로 인해 제조공정 단축은 제한되고 있는 실정이다.

무기체계 수명주기도 과학기술과 정비능력의 발전에 맞춰 30년 이상 운영중이며 실제 설계 시 판단한 수명주기를 경과한 장비들이 현재까지 현존전력으로 운영중에 있다. 이로 인해 무기체계를 구성하고 있는 부품들은 무기체계보다 부품의 수명주기가 짧은 구조적인 문제로 인해 운영유지간 기술진부화, 부품단종, 조달애로 등의 현상이 발생하고 있으며 무기체계의 부품조달 제한에 따른 정비지연으로 장비가동률은 저하되고 부품조달을 위한 비용은 지속 증가되어 군의 전투준비태세 유지제한과 국방예산 증가 초래의 원인을 제공하고 있다.¹⁾

무기체계의 획득기간 장기화로 인해 설계시 적용됐던 부품이 전력화 초기에 단종되어 장비가동률 목표 미달 및 수리부속 조달률 저조현상도 발생하고 있다. 전력화중인 무기체계가 부품단종으로 인해 수리부속의 조달률이 48% 수준까지 떨어지고 이로 인해 부품을 확보하지 못해 정비 제한에 따른 장비가동률이 65% 수준까지 저하되는 현상도 발생하고 있다.

1) 정인영, 김병재 외, “무기체계 3D프린팅 제작부품 확대 적용방안”. 국방과학기술, 2023. p 97.

[표 1] 장비가동률 저조사례²⁾

구 분(전력화)	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년
000('09 ~ '16년)	86%	78%	87%	85%	77%
000('12 ~ '24년)	77%	65%	69%	72%	78%
000('08 ~ '14년)	79%	73%	80%	87%	86%

[표 2] 수리부속 조달 저조사례³⁾

구 분(전력화)	000('09 ~'16년)	000('08 ~'14년)	000('18 ~'20년)
조달률(%)	63%	57%	48%

유무인 복합체계 등 무기체계의 특성이 점차 다품종 소량으로 획득되면서 전력화 이후 부품단종, 조달애로 등의 문제 발생 가능성이 높으며 특히 소형 드론 및 로봇 등의 무기체계 경우 경제성 확보 제한으로 전력화 이후 협력업체의 생산라인 폐쇄 등 부품조달의 제한사항 발생이 우려되는 실정이다. 실례로 최근 우리 군에 도입된 무인체계인 EOD로봇 23대 중 수리부속 확보 제한, 정비 지연 등의 사유로 7대만 운용이 가능한 상태이다.⁴⁾

또한 부품국산화, 현존전력성능극대화 사업 등이 수행되고 있지만 운영유지단계 무기체계 가동률에 영향을 미치는 단종, 조달애로 등의 부품개선은 기술수준과 경제성이 낮은 이유로 사업화 추진이 제한되고 있으며 각 군에 의한 운영유지단계 부품국산화 개발 성공률은 약 1.9%('16~'20년)⁵⁾ 수준으로 성공확률이 매우 낮은 걸 알 수 있다.

2) 국방부 장비관리과, “국방 부품관리정책 추진계획”, 2022, p. 14.

3) 국방부 장비관리과, “국방 부품관리정책 추진계획”, 2022, p. 14.

4) 한국국방연구원, “2021 육군 무기체계 운영유지비 분석 연구”, 2021, p. 107.

5) 한국국방연구원, “총수명주기관리 개념을 적용한 부품관리정책 연구”, 2021, p.57.

위에서 살펴봤듯이 이러한 문제해결에 대해 하나의 대안으로 4차 산업혁명의 신기술인 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용이 필요한 시점이지만 제도적, 기술적인 부분과 인프라 구축 미흡 등의 사유로 확대 적용이 제한되고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 이러한 제약사항 극복을 위해 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위해 선행되어야 할 핵심요소를 전문가 설문을 통해 분석하고 핵심요소별 우선순위 선정 및 이행방안을 제시하여 이를 통해 무기체계의 성능 및 운용성 향상, 운영유지비 절감 등 군의 전투 준비태세 유지 및 국방예산 절감에 기여하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소와 가중치 선정을 위해 연구의 분석범위는 3D프린팅 기술동향 및 적용분야, 국내·외 국방분야 적용사례 수집 및 우리군의 능력 확인, 3D프린팅 기술 확대 적용을 위한 핵심요소 선정 및 우선순위 분석이다.

자료조사 방법은 관련 문헌 및 선행연구 고찰을 통해 3D프린팅 기술 확대 적용을 위한 핵심요소를 분석하고 무기체계 획득기관, 운영유지기관, 군 3D프린팅 제작업무 종사자, 체계업체, 3D프린팅 전문업체, 정부출연 연구기관, 3D프린팅 기술특화 대학교 등 산·학·연·관으로 구성된 전문가 설문을 하였다.

연구의 분석방법은 우선 ① 핵심요소 선정을 위한 선행연구 고찰을 통해 선행연구에서 제시했던 3D프린팅 기술의 국방분야 확대 적용에 필요한 핵심요소를 분석하여 전문가 델파이 설문을 위한 핵심요소를 선정하였다.

② 전문가 설문(1차 : 델파이 조사)을 통해 선행연구에서 제시됐던 핵심요소를 참고하여 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소를 선정하고 유형별 그룹화를 설정하였다.

③ 전문가 설문(2차 : 델파이 조사)을 통해 1차 설문결과 선정된 20개의 핵심요소를 그룹화에 대한 이동소요, 불필요항목 삭제, 그룹별 가장 우선되어야 할 핵심요소에 대한 선정 (그룹별 3가지 요소) 등의 정제화를 진행했다.

④ 전문가 설문(3차 : AHP 조사)을 통해 그룹별 · 핵심요소별 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 가중치 및 우선순위를 선정하였다.



[그림 1] 연구수행 절차

II. 이론적 배경

1. 3D프린팅 기술동향 및 적용분야

3D프린팅 기술은 학술용어로는 적층제조(Additive Manufacturing)라고 하며, 디지털화한 임의의 3차원 형상 데이터를 기반으로 하여 2차원 단면의 데이터를 생성하고 소재를 얇은 막으로 형성하여 적층하는 방식으로 제품을 제조하는 생산기술로서 주요 구성 요소로는 3차원 설계(3D스캐너, 역설계 SW 등), 3D프린팅(비금속 및 금속 3D프린터), 소재(플라스틱, 금속, 바이오, 식재료 등), 후공정(열처리, 표면처리, 기계가공 등) 등으로 구성되어 있다.



[그림 2] 3D프린팅 공정 절차 및 방식⁶⁾

6) 한국생산기술연구원, “Additive Manufacturing, 적층제조 기술”, 2023, p. 4.

각 단계별로 살펴보면 1단계는 3차원 부품을 설계하는 과정으로 3차원 스캐너를 통하여 형상을 취득하거나 3D CAD 등의 설계 SW를 이용하여 사용자가 직접 3차원 디지털 도면을 설계하게 된다. 2단계로는 3D프린팅 과정으로 3차원 디지털 도면을 이용하여 한 층씩 적층 공정을 최적화하여 다양한 방식으로 적층하여 부품을 제작하게 된다. 마지막 3단계는 후처리 과정으로 3D프린팅으로 출력된 부품의 완성도를 높이기 위하여 열처리, 표면처리, 서포트 형상 제거 등의 화학적, 물리적 후공정을 실시하고 시험평가 등 품질검증을 통해 최종 부품을 완성하게 된다.

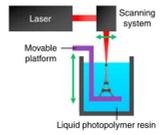
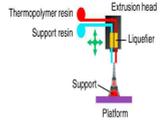
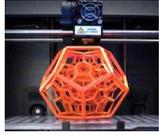
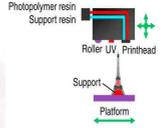
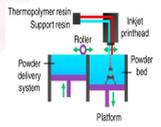
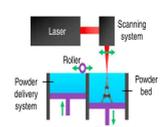
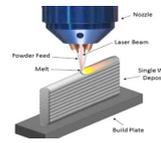
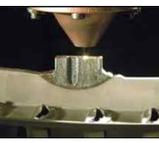
이러한 3D프린팅 기술은 ASTM⁷⁾ 52900에서 적층제조에 대한 일반원칙, 용어 및 기본개념과 함께 제작방식을 액조 광경화, 재료 압출, 재료분사, 접착제 분사, 분말 베드 용해, 에너지 제어 용착 등 크게 6가지로 제시하고 있다.

제작방식별로 살펴보면 액조 광경화 방식은 액상 플라스틱 수지를 레이저로 선택적으로 경화하여 형상을 적층하는 방식이며 재료 압출 방식은 플라스틱 필라멘트 소재를 금속 노즐을 통해 열로 녹여서 압출하는 방식이다.

재료분사 방식은 액상 플라스틱 수지를 선택적으로 잉크젯팅 하고 UV 빛으로 경화시켜 적층하는 방식이며 접착제 분사방식은 모래 파우더를 한층씩 코팅하고 접착제를 선택적으로 적층하여 모래 주형틀을 제작하는 방식이다. 분말 베드 용해방식은 금속이나 플라스틱 파우더를 한층씩 코팅하고 레이저로 소결하여 적층하는 방식이며 마지막으로 에너지 제어 용착방식은 금속 파우더 및 레이저 에너지를 동시에 선택적으로 조사하여 형상을 적층하는 방식이다.

7) American Society for Testing Materials

[표 3] 3D프린팅 제작방식8)

방식	정의	적층방법	출력 예제
VPP	액상 플라스틱 수지를 레이저 에너지로 선택적으로 경화하여 형상 적층 * 레이저를 활용하는 SLA 방식 및 광모듈을 활용하는 DLP 방식으로 구분 가능		
MEX (FDM)	플라스틱 필라멘트 소재를 금속 노즐을 통해 열로 녹여서 압출하여 형상 적층		
MJT	액상 플라스틱 수지를 선택적으로 잉크젯팅 하고 UV 빛으로 경화시켜 형상 적층		
BJT	모래 파우더를 한층씩 코팅하고 접착제를 선택적으로 잉크젯팅하여 모래 주형을 적층		
PBF	금속 파우더를 한층씩 코팅하고 레이저 에너지로 선택적으로 녹여서 형상 적층		
	SLS: 플라스틱 파우더를 한층씩 코팅하고 레이저 에너지로 선택적으로 소결하여 형상 적층		
DED	금속 파우더 및 레이저 에너지를 동시에 선택적으로 조사하여 형상 적층		

8) 한국생산기술연구원, “적층제조 기술동향 보고서”, 2023, p. 4.



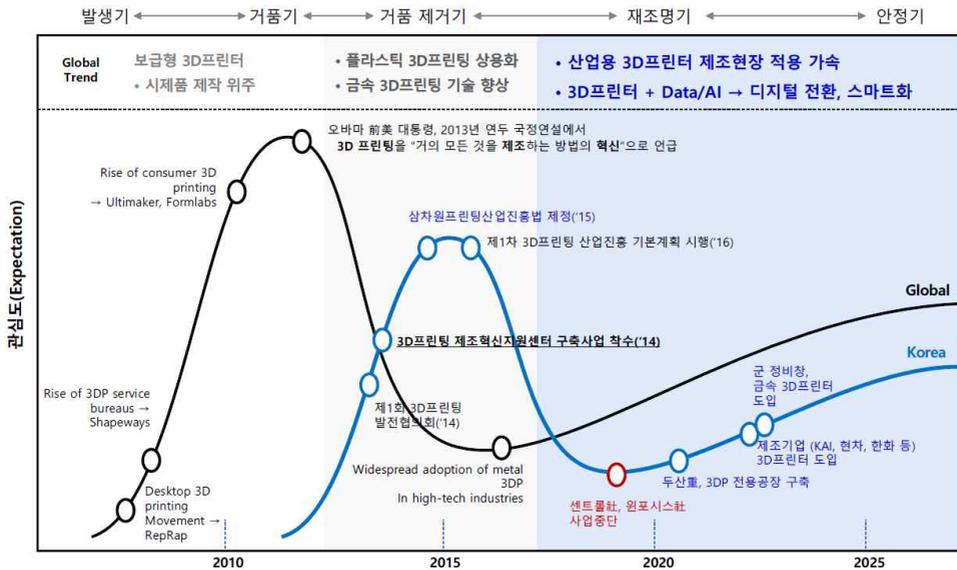
[그림 3] 3D프린팅의 장점⁹⁾

이러한 3D프린팅 제조방식의 장점으로서는 원하는 부품 형상에 맞추어 소재를 사용하기 때문에 기존 절삭가공과 비교하여 필요한 만큼의 소재 사용으로 소재를 절감할 수 있으며, 이러한 장점은 특히 고가의 금속, 즉 타이타늄, 니켈계열, 코발트 계열 등 값비싼 금속부품을 제작하는데 유리하다.

두 번째로는 한 층씩 쌓아 올리는 방식이라 내부에도 형상을 만들 수가 있어 3차원 내부 냉각 유로를 효율적으로 만들어서 냉각효율을 올리거나, 힘을 받지 않는 부분을 격자구조로 제작하여 경량화할 수 있으며, 여러 개의 부품을 조립하여 만들어야 했던 복잡한 형상을 한 개의 부품으로 일체형으로 만들 수 있다.

9) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 제조혁신센터 소개”, 2022, p. 8.

세 번째로는 맞춤형 제작이 가능하며, 국방 분야와 같이 해외에서 조달하는데 오랜 시간이 걸리거나, 그 요구수량이 적은 경우에는 금속 3D프린팅 기술로 제작하는 것이 비용 및 시간 측면에서 유리하다.



[그림 4] 3D프린팅 산업 동향¹⁰⁾

3D프린팅 산업 동향을 살펴보면 크게 발생기부터 거품기 → 거품 제거기 → 재조명기 → 안정기로 구분할 수 있으며 우선 태동기라 할 수 있는 3D프린팅 기술의 발생기는 보급형 3D프린터의 제작이 시작되면서 일부 생산공정의 시제품 제작 위주로 처음 활용되어 꾸준히 기술의 발전과 함께 성장하였으며 2013년 미국의 오바마 대통령이 국정연설에서 3D프린팅을 “거의 모든 것을 제조하는 방법의 혁신”으로 언급한 이후 플라스틱 3D프린터가 상용화되고 금속 3D프린팅의 기술이 향상되면서 산업현장에서도 적용되는 등 기술적 부흥기가 찾아왔다.

10) 한국생산기술연구원, “Additive Manufacturing, 적층제조 기술”, 2023, p. 15.

국내에서도 미국의 성장기에 맞춰 ‘제1회 3D프린팅 발전협의회’가 개최(’14년)되면서 정부 부처 주도하에 관련 산업의 육성을 위한 지원방안과 제도 마련을 위한 사항이 논의되었으며 정부출연연구기관에서는 ‘3D프린팅 제조혁신지원센터 구축사업’에 착수(’14년) 하고 제도적으로 「삼차원프린팅산업진흥법」이 제정(’15년) 되는 등 급속한 성장이 이뤄졌다. 이후 국내에서도 3D프린팅 붐이 조성되면서 3D프린터 제작업체의 등장과 많은 연구기관에서 3D프린팅 관련된 연구에 착수하고 군에서도 산업용 3D프린터를 공군에서 최초로 도입(’12년)하는 등 제1의 부흥기를 맞이하였으나 국내 보유 기술력과 산업 규모의 한계로 인해 더 이상 확장성을 갖지 못했다.

이후 제조명기를 거치면서 국내에서도 3D프린팅 기술력의 향상을 위한 다양한 연구를 통해 산업현장에서 바로 적용할 수 있는 기술력을 확보했으며 기술력을 보유한 업체들을 중심으로 산업용 3D프린터의 제조현장 적용을 가속화하며 3D프린팅 양산품을 생산하는 대형공장을 설립하고 회사 내 전문조직을 신설하는 등 지속적으로 성장세를 보이고 있다.

군에서도 전문 연구기관과의 협업 등을 통해 무기체계 구성 부품에 대한 3D프린팅 제작능력을 향상시켰으며 이를 통해 각 군의 정비창을 중심으로 금속 3D프린터를 도입하여 단종, 조달애로 부품에 대해서 자체 생산능력을 갖추고 있다.

또한 최근에는 AI기술을 3D프린팅 기술에 접목시켜 3D프린팅의 전주기에서 발생하는 데이터를 활용하여 제조공정에 대한 디지털 전환, 스마트화를 통해 자동화 시스템을 도입중에 있는 추세이다.

- 세계시장은 산업 성장폭이 저가 보급용에서 고가 산업용으로 이동 → 고부가가치 시장 중심의 성장세
- 국내시장은 시장의 기대치가 현실적 조정을 거쳐, 고부가가치의 맞춤형 다품종 소량 중심으로 기술 개발
* 대량생산시, 전통적 제조방식 대비 제작 비용·시간, 신뢰도 등 열위

3D프린팅 제품 활용 주요산업 사례				
소비재	주얼리  캐나다, Hot Pop Factory	안경  일본, Hoya	자전거  이탈리아, Fizik	식품  이스라엘, Redline Meat
	국방  미국, 육군연구소	발전  일본, Mitsubishi Heavy	의료기기  일본, Stryker	원자력  미국, Westinghouse
주력산업	뿌리-금형  프랑스, Michelin	자동차  독일, BMW	조선  네덜란드, RAMLAB	건축  미국, ICON
	항공  미국, GE	우주  미국, Space X/Relativity	로봇  미국, Moog	바이오  캐나다, Javelin

[그림 5] 3D프린팅 적용분야¹¹⁾

3D프린팅 기술 적용분야를 살펴보면 최근 3D프린팅 기술은 맞춤형 부품에 대한 수요가 높은 산업에서부터 활용이 되고 있고 실생활에서 활용하고 있는 개인 맞춤 주얼리, 안경, 자전거 안장 등에 적용되고 있으며, 채식주의자가 늘어남에 따라 대체육 개발에도 활용되고 있다.

국방, 발전, 원자력, 의료기기 등의 산업에서는 그 형상이 복잡하거나 요구되는 부품의 수량이 적은 분야로 외국에서는 이미 해당 산업현장에서 활발히 적용되고 있으며 미래산업인 항공, 우주, 로봇, 바이오 등에서도 맞춤형상의 신속제작이 필요한 영역에서 시제품 제작 수준을 벗어나서 완성품에 3D프린팅 기술을 적용중에 있다.

특히 국방분야에서는 다품종 소량생산이라는 무기체계의 특성으로 인해 3D프린팅 기술을 활용한 부품생산이나 정비기술을 확대 적용중에 있다.

11) 한국생산기술연구원, “Additive Manufacturing, 적층제조 기술”, 2023, p. 17.

Catalyst engine

Compressor test schedule reduced
From 12 months to 6 months

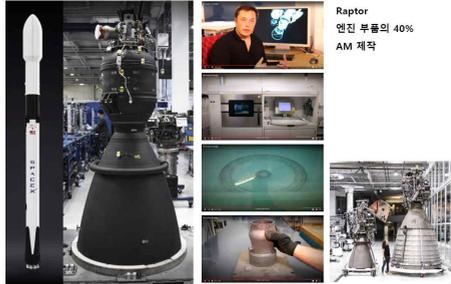


3D printed fuel nozzle (2018)

- 무게 감소 : 5%
- 효율 향상 : 20%
- 파트 개수 : 855개 → 12개

GE Catalyst™ engine, made with 3D printed components, completes first flight in 1h40mn from the Berlin Airport

By Wiley & Co. - October 1, 2020



Raptor 엔진 부품의 40% AM 제작

Relativity Space (2015)

- Terrain 1 rocket: **85%** of its parts made using "the world's largest 3D-printers"
- Reliability: **1/100** Fewer Parts
- Speed: **10x** Faster Production Time



3D PRINTING ENTIRE ENGINES
FROM RAW MATERIAL TO FLIGHT IN 60 DAYS

Terran 1 is the only medium payload launch vehicle engineered to adapt to the changing needs of satellite operators.

- + Launching up to 1,250 kg to Low Earth Orbit
- + Best-in-class payload fairing volume
- + 100x fewer parts than traditional rockets
- + Entirely designed, built and flown in the United States



[그림 6] 3D프린팅 기술의 적용사례12)

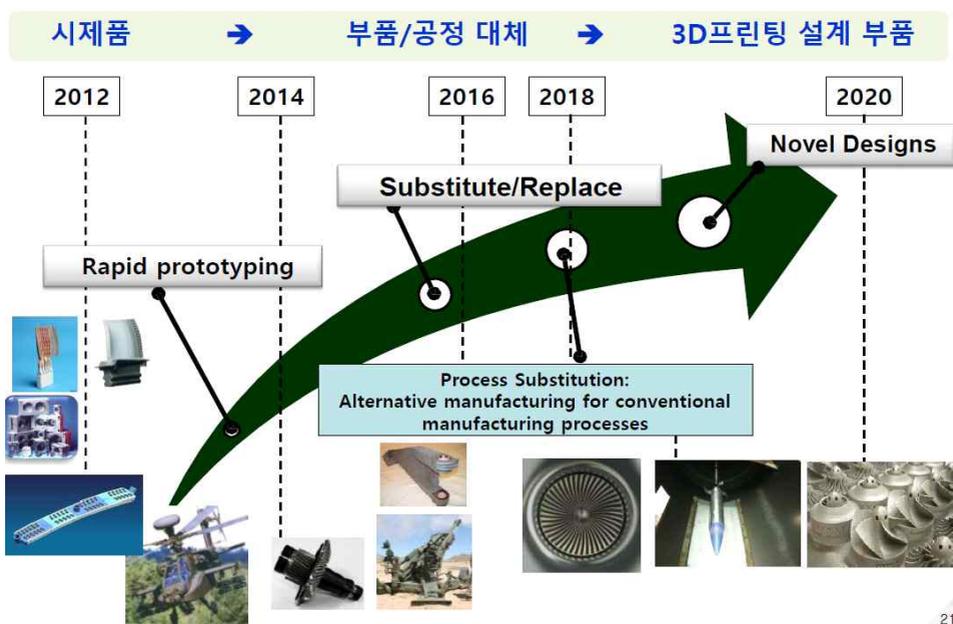
3D프린팅의 주요 적용사례를 살펴보면 GE社は 인코넬 등의 재료를 활용하여 Catalyst 항공기 엔진을 일체형으로 제작(부품수 : 855→12개)하여 경량화(무게 : 5% 감소) 및 엔진 효율성을 향상(20%)시켰으며 Space-x社は 우주발사체 엔진의 40%를 3D프린팅으로 제작하여 활용중에 있다.

최근에는 Relativity Space社에서 로켓의 85% 이상을 3D프린팅 부품으로 제작하여 부품 수를 기존 설계 대비 100분의 1로 줄이고 제작기간을 60일로 단축하였으며 인공위성에도 각 구성품별로 3D프린팅에 특화된 소재와 기술이 적용되어 제작하는 등 3D프린팅 기술은 항공 우주산업 등 고부가 가치 산업을 중심으로 발전하고 있다.

12) 한국생산기술연구원, “Additive Manufacturing, 적층제조 기술”, 2023, pp. 19-22.

2. 3D프린팅 기술의 국방분야 적용사례

국방분야에서 3D프린팅의 기술은 2012년부터 다른 산업과 동일하게 최초에는 무기체계 연구개발 단계에서 시험평가를 위한 시제품 위주의 개발을 통해서 적용이 되었으며 이후에는 기존 부품 또는 공정을 대체할 수 있는 방안으로 대체했다가 최근에는 기술력 향상과 연계하여 최초 무기체계 연구개발 단계부터 성능향상이나 고성능 소재 사용, 공정 단축을 위한 일체형 제작, 복잡한 형상을 위한 맞춤형 제작 등의 수요로 3D프린팅으로 특화된 설계 부품이 적용되고 있으며 우주·항공분야로 영역이 확장되고 있다.



[그림 7] 국방분야 3D프린팅 기술동향¹³⁾

13) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 기술동향 및 발전추세”, 2022. p. 21.

가. 해외 사례

이미 해외에서는 미국을 중심으로 중국, 싱가포르, 유럽에서 다양한 프로젝트 조직과 산업단지 육성, 산학연 조직 구성을 통해 국방분야에 3D프린팅 기술을 확대 적용하기 위한 다양한 노력들을 하고 있으며 특히 글로벌 3D프린팅 전문업체와의 협업을 통해 군의 기술력 향상과 적용 분야의 수요발굴이 이뤄지고 있다.

또한 첨단 무기체계 개발 시 3D프린팅 기술의 적용을 통해 성능향상을 구현중에 있으며 대규모 산업단지까지 조성하여 무기체계에 적용되는 국방부품의 개발과 생산을 진행중에 있다.



[그림 8] 해외 3D프린팅 추진현황14)

14) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 기술동향 및 발전추세”, 2022. p. 13.

나. 미군 적용사례

미군에서는 맞춤형 신속제작의 장점을 활용하여 기술 초기에는 단종된 부품을 제작하거나 작전 수행 중 파손된 부품을 수리하는 기술로 활용되어 왔으며 주요 사례로 해군의 경우 어뢰, 잠수정 등의 부품을 제작하거나 보수하고 있으며, 항모에 3D프린터가 설치되어 긴급 정비가 필요한 품목에 대해서 실시간 제작지원을 통해 운용되고 있다.

또한 컨테이너형으로 제작된 이동식 병기창에 3D프린터가 포함되어 있으며 현장에서 부품 수리 및 수급을 용이하게 하는 차량 적재용 이동식 3D프린팅 차량을 도입중에 있어 전·평시 신속하게 필요한 부품의 제작 및 재생수리가 가능하다.

최근에는 3D프린팅 기술에 맞는 보다 강하고, 내부식성등의 가능성이 좋은 소재도 개발되고 있어 미래 국방 무기체계 부품 개발로도 연구가 활발히 진행되고 있다.



[그림 9] 미군 적용사례¹⁵⁾

15) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 기술동향 및 발전추세”, 2022. p. 16.

다. 국내 사례

우리 군에서는 획득 및 양산단계 적용된 사례로 현재 체계개발이 완료되어 시험평가중인 KF-21 시제품에 3D프린팅 제작부품이 적용되어 신뢰성 검증을 통해 국방규격 지정을 진행중에 있으며 양산단계에서는 천궁 2차 양산사업에서 레이다 송신혼 8대를 일체형(11→1개)으로 제작하여 기존 공법 대비 비용절감(60%) 및 공정기간을 단축한 사례가 있다.

운영중인 무기체계에서는 대공무기인 발칸의 단종부품인 하우징 조절팬을 일체형으로 제작하여 국방규격 개정을 통해 기술자료(도면)에 대체 공법으로 3D프린터를 추가하여 최초의 3D프린팅 규격을 반영하였고 최근에는 해군의 광개토대왕함이 청해부대 파병 전 클리치 잠금장치가 마모되어 긴급정비를 요청, 3D프린팅 재생수리 기술을 활용하여 정비를 완료하였고 11월에 이상없이 임무를 마친 사례가 있다.

또한 현재 우리 군은 '12년에 공군에서 최초로 산업용 프린터를 도입한 이래에 각 군 정비창 등에 금속프린터 3대를 포함한 총 32대의 3D프린터를 도입하여 3D프린팅 기술을 활용한 국방부품의 생산기반을 구축중에 있으며 국방분야의 3D프린팅 전문교육 과정을 '18년부터 교육대상자의 수준에 따라 기초/입문과정과 심화과정으로 구분하여 맞춤형 교육과정을 운영, 총 139명의 전문인력을 양성하고 있다.

3D프린팅 기술력을 향상시키기 위해서도 '17년부터 산업부 업무협약을 통해 한국생산기술연구원과 협업으로 해군의 밸브 이너볼 등 총 37개 품목에 대한 금속 부품 제조기술 개발을 완료하였고 '22년부터는 국방분야 3D프린팅 활용사례 경진대회를 국방부 주관으로 개최하여 국방부품 제작능력의 우수성을 대외적으로 입증하고 있다.

이를 통해서 무기체계에 적용된 부품 중 조달이 제한되거나 단종된 부품에 대한 자체 제작을 통해 무기체계의 운용성을 향상시키고 있으며 '22년 기준 한 해 동안 총 366품목 1만여 점의 부품을 제작하여 약 6.3억 원의 예산 절감 효과를 달성하였다.

[표 4] 3D프린팅 부품 제작현황¹⁶⁾

구 분		계(금속)	'15~19년(금속)	'20년(금속)	'21년(금속)	'22년(금속)
계	품목	1,510(83)	612(54)	290(4)	242(4)	366(21)
(EA)	수량	29,692(509)	6,891(349)	4,004(16)	8,703(26)	10,094(118)

최근에는 체계업체를 중심으로 방산수출과 연계하여 후속 군수지원을 위한 다양한 노력 중 3D프린팅을 통한 부품의 안정적인 공급을 꾀하고 있으며 이를 위해서 체계업체별로 3D프린팅 전문조직이 구성되어 학계와 전문 연구기관, 글로벌 3D프린팅 업체와의 협업을 통해 기술력 향상과 3D프린팅 기술의 적용 가능한 구성품의 수요발굴을 위해 노력중에 있다.

또한 우주항공분야 산업의 성장과 더불어 악조건하에 기능발휘를 할 수 있는 항공기 엔진, 가스터빈, 발사체 등에 대한 고성능 구성품 개발을 추진중에 있다.

그 예로 대우조선해양에서는 3D프린팅으로 10m급 시험용 모형선 제작에 성공했으며 LIG넥스원은 금속 3D프린팅 안테나 분야의 글로벌 업체인 옵티시스와 방산·항공우주 분야의 금속 3D프린팅 기술 업무협약을 체결하였다. 이밖에도 다양한 방산업체에서 기술혁신센터 설립, 글로벌 3D프린팅 업체와의 기술제휴 등 3D프린팅 제조기술 개발을 위한 다양한 노력을 진행중이다.

16) 국방부 장비관리과, "22년 3D프린팅 부품생산 및 예산절감 실적 현황 보고", 2022. p. 1.

3. 선행연구 고찰

본 연구를 수행하기 앞서 국방분야에 3D프린팅 기술을 적용하기 위한 핵심요소 도출과 다기준 의사결정 연구방법론 적용을 위한 다양한 참고문헌을 고찰하였으며 아래와 같이 학위논문부터 학술지 등 다양한 선행연구를 확인할 수 있었다.

[표 5] 선행연구 확인결과

구 분	연구내용
허진영(2021)	SWOT분석을 이용한 3D프린터 군 적용방안 연구
송영근 외(2017)	3D프린팅 기술 동향 및 국방분야 적용을 위한 제언
유승희 외(2019)	3D프린팅 수리부품의 작전현장 적용을 위한 방안
홍록지 외(2019)	3D프린팅의 국방분야 적용
남정범(2014)	3D프린팅 기술의 국방 군수분야 적용방안
백성욱(2019)	3D프린팅 활성화를 위한 국방정책 패러다임 전환
정인영 외(2023)	무기체계 3D프린팅 제작부품 확대 적용방안
한국생산기술연구원 (2023)	Additive Manufacturing, 적층제조 기술 3D프린팅 제조혁신센터 소개 3D프린팅 기술동향 및 발전추세
천종웅(2019)	다 기준 의사결정 방법을 활용한 무기체계 진화적 작전운용성능(ROC) 평가지표 연구

표에서 제시한 선행연구에 대해 살펴보면 우선 허진영(2021)의 SWOT 분석을 이용한 3D프린터 군 적용방안 연구에서는 SWOT 분석을 통해 3D프린터의 군 확대 도입을 통한 적용 시 강·약점을 분석하고 약점에 대한 극복을 위해 선행되어야 할 과제로 품질인증체계 정립, 국방분야 3D프린팅 전문센터 도입, 제도 및 규제 혁신 등을 제시하였다.

송영근 외(2017)는 3D프린팅 기술 동향 및 국방분야 적용을 위한 제언에서 3D프린팅 기술의 급성장과 기술동향에 따른 핵심 활용분야와 사례등을 제시하였으며 국방분야의 적용을 위해서는 3D프린팅 기술의 분야별 전략적 활용, 3D프린팅 기술 전문가 및 역설계 전문인력 양성, 3D모델링 파일에 대한 보안관리, 설계기술 및 제조공정기술에 대한 공유, 품질인증체계 정립 등이 선행되어야 국방분야 적용이 가능하다는 의견을 제시하였다.

유승희 외(2019)는 3D프린팅 수리부품의 작전현장 적용을 위한 방안에서 작전현장에서 3D프린팅 기술의 군사적 활용사례와 표준화 및 품질평가체계 동향을 제시하면서 확대 적용하기 위한 방안으로 군 인프라 구축, 3D프린팅 제작부품에 대한 선정기준 분류, 획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용 등을 통해 무기체계 획득단계부터 3D프린팅 제작부품의 적용이 선행되어야 한다고 강조하였다.

한국국방연구원 홍록지 외(2019)는 미국의 국방분야 적용사례와 우리군의 활용사례를 제시하면서 3D프린팅의 국방분야 적용을 위해서 3D프린팅 적용 분야와 범위 설정, 규격 인증 및 품질보증 등을 제시하였으며, 남정범(2014)은 3D프린팅 기술의 국방 군수 분야 적용방안에서 소재의 다양화, 공정표준, 제작단가 감소, 생산속도 향상, 기술 보안대책 등을 제시하였다.

백성욱(2019)은 3D프린팅 활성화를 위한 국방정책 패러다임 전환이라는 연구에서 3D프린팅 동향과 기술수준, 군의 3D프린팅 운영의 현재를 제시하면서 지리공간 정보분야의 활용, 교육훈련용 교보재 등의 다양한 분야에서의 3D프린팅 활용에 대해서 제시하였다.

정인영 외(2023)는 무기체계 3D프린팅 제작부품 확대 적용방안에서 무기체계에 3D프린팅 제작부품의 적용시 장점과 국내·외 사례에 대해서 제시하면서 무기체계 기준 3D프린팅 기술의 확대 적용을 위해서 품질인증체계 정립, 3D프린팅 제작 가능부품의 수요발굴, 국방규격 제정 활성화 등을 제시하였다.

그밖에도 한국생산기술연구원의 Additive Manufacturing, 적층제조 기술 등(2022)에서는 3D프린팅의 기술동향과 해외 적용사례 등을 확인할 수 있었으며 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 도출 후 이행방안 제시를 위한 참고자료로 활용하였다.

천중용(2019)은 다 기준 의사결정 방법을 활용한 무기체계 진화적 작전운용성능(ROC) 평가지표연구에서 무기체계 진화적 작전운용성능 평가지표에 대한 분석과 가중치 분석을 위한 우선순위를 선정하였으며 이때 전문가 설문문을 통해 델파이와 AHP 기법을 활용한 연구방법론을 본 연구에 적용하였다.

위에서 제시한 선행연구 중 3D프린팅 관련 내용의 고찰 결과 대부분 3D프린팅 기술의 군 적용방안에 대해서 자료 수집, 개인의 실무경험을 토대로 제시한 의견과 전문가 인터뷰 수준의 연구였으며 전문가 설문문을 통해 심도 있고 체계적으로 3D프린팅 기술의 군 확대 적용을 위한 핵심요소 분석과 이행방안에 대한 구체적인 제시가 필요(타이틀 위주 / Action Plan 부재)하였다.

III. 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 분석

1. 선행연구 고찰을 통한 핵심요소 분석결과

3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소를 선정하기 위해 관련 선행연구를 확인한 결과 무기체계로 국한되진 않았지만 국방분야에 3D프린팅 기술의 확대 적용과 다양한 분야의 활용을 위해 아래와 같이 핵심요소를 제시한 것을 알 수 있었다.

[표 6] 선행연구에서 제시한 핵심요소

선행연구	내 용
3D프린팅 기술 동향 및 국방분야 적용을 위한 제언	① 제작 가능부품 수요발굴 ⑤ 품질인증체계 정립 ② 전문인력 양성 ⑥ 기술자료 보안대책 ③ 우수한 소재 개발 및 도입 ⑦ 3D프린팅 데이터 DB화 ④ 軍 인프라 확대 구축
SWOT 분석을 이용한 3D프린터 군 적용방안 연구	① 정부주도 기술개발 ⑤ 제도 및 규제 혁신 ② 제조공정 및 설계 데이터 공유 ⑥ 軍 3D프린터 확대 도입 ③ 전문인력 양성 ⑦ 국방분야 3D프린팅 전문센터 도입 ④ 품질인증체계 정립 ⑧ 기술자료 보안대책
3D프린팅의 국방분야 적용	① 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리 ④ 활용능력 향상 ② 3D프린팅 적용분야와 범위 설정 ⑤ 규격 인증 및 품질보증 ③ 전문인력 양성 ⑥ 기술자료 보안대책

선행연구	내 용
3D프린팅 기술의 국방 군수분야 적용방안	① 소재의 다양화 ② 공정표준 ③ 제작단가 감소 ④ 기술자료 보안대책 ⑤ 생산속도 향상
3D프린팅 수리부품의 작전현장 적용을 위한 방안	③ 제작 가능부품 수요발굴 ④ 획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용
지능형 적층 가공의 이해 및 군 적용 확대 방안	① 품질인증체계 정립 ② 군 인프라 확대 구축 ③ 기술소요, 전력소요 창출
무기체계 3D프린팅 제작부품 확대 적용을 위한 연구	① 제작 가능부품 수요발굴 ② 품질인증체계 정립 ③ 국방규격 제정 ⑤ 전문연구기관과 기술협력 ⑥ 3D프린팅 기술자료 관리 ⑦ 3D프린팅 공정 표준화

선행연구 고찰결과 다양한 핵심요소가 제시되었으며 이중 중복되는 요소에 대해 살펴보면 3D프린팅 기술을 활용하여 제작된 부품에 대한 신뢰성 확보를 위해 품질인증체계 정립이 필요하다는 사항이 가장 다수의 연구에서 제시되었으며 다음에는 3D프린팅의 장점을 극대화하면서 성능향상이나 제조공정 단축 등을 구현할 수 있는 3D프린팅 제작 가능부품의 수요발굴이 중복되어 제시되었다. 그 외에도 3D프린팅 전문인력의 양성과 기술자료의 보안대책, 공정표준, 제작공정에서 발생하는 데이터의 DB화 등이 제시되었으며 이를 토대로 전문가 설문을 통한 델파이 분석을 위해 선행연구간 제시한 핵심요소들에 대해서 중복성과 유사성을 고려 24개의 핵심요소로 구성하여 설문지 작성의 기초자료로 활용하였다.

2. 델파이 분석을 통한 핵심요소 선정 및 그룹화

우선 설문을 통한 델파이 분석을 하기 앞서 관련 분야의 전문가 집단을 구성하기 위해 산·학·연·관 각 분야별로 무기체계 및 3D프린팅 관련 직무종사한 기간이 5년 이상의 전문가 15명을 아래 표와 같이 구성하였다.

[표 7] 전문가 구성

구 분	대상인원	소 속	근무기간
무기체계 획득	2명	방위사업청	10년 이상
무기체계 운영유지	2명	육·공군 군수사령부	10년 이상
정부출연 연구기관	3명	국방과학연구소 국방기술품질원 한국생산기술연구원	10년 이상
軍 3D프린터 운영	3명	육·해군 정비창	7~9년
3D프린팅 전문 업체 (체계업체 포함)	3명	두산 에너빌리티 LIG 넥스원 링크솔루션	5~7년
기술특화 대학교	2명	한밭대학교 경북대학교	5~10년

무기체계 획득과 관련된 기관으로는 방위사업청의 전력화지원요소를 관리하고 있는 부서와 3D프린팅 제작부품의 규격화 및 기술자료 관리 등을 담당하고 있는 부서를 대상으로 전문가 집단을 구성하였으며 무기체계 운영유지 관련된 기관으로는 육군과 공군 군수사령부에서 군의

3D프린팅 관련 장비 도입, 제조기술 개발, 부품의 자체 생산실적 유지, 기타 안전관리 등의 모든 3D프린팅 업무를 주관하는 부서 담당자로 구성하였다.

정부출연 연구기관은 우선 국방분야에서 무기체계의 연구개발을 수행하고 있는 국방과학연구소에서 3D프린팅을 전문적으로 연구하는 부서와 무기체계의 양산품에 대한 품질보증과 부품관리를 전문적으로 수행하는 국방기술품질원, 그리고 국방분야에서 국방부와 업무협약을 통해 금속부품에 대한 제조기술 개발, 전문인력 양성교육 등을 지원하고 최근에는 우주항공 분야로 영역을 확장하고 있는 한국생산기술연구원의 3D프린팅제조혁신센터장을 구성하였다.

각 군에서는 육군과 해군 정비창 현장에서 3D프린팅 부품의 제작을 위한 공정관리, 장비관리, 제작된 부품의 품질확인까지 3D프린팅 공정의 전주기를 수행하는 업무담당자를 구성하였다.

3D프린팅 전문 업체로는 현재 KF-21의 시제기에 3D프린팅 제작부품을 공급했으며 자체 양산부품에 대한 3D프린팅 공장을 보유하고 있는 두산 에너지빌리티와 3D프린팅 전문조직을 신설하여 무기체계 구성품에 대한 3D프린팅 제작부품의 수요를 발굴중인 LIG 넥스원, 그리고 국내 3D프린팅 전문업체로서 3D프린터 생산, 제작공정에 대한 솔루션 지원, 전문교육 등을 수행 중인 링크솔루션의 업무담당자를 구성하였다.

마지막으로 3D프린팅 기술특화 대학교는 국방분야의 3D프린팅 전문인력 양성교육을 지원하고 자체 3D프린팅 연구실을 보유하여 정부출연 연구기관의 전문용역사업을 수행중인 한밭대학교와 의료분야에서 3D프린팅 제작부품의 상용화를 실현시킨 경북대학교 교수님들을 구성하였다.

1차 전문가 설문은 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위해서 선행연구간에 제시됐던 핵심요소 24개를 예시로 나열하고 이 중 개인별로 가장 선행되어야 할 핵심요소에 대해 6가지 이상을 선정하는 방식으로 진행하였으며 이때 선행연구에서는 제시되진 않았지만 추가적으로 핵심요소로 반영해야 할 사항과 확대 적용을 위해 핵심요소 외에도 선행되어야 할 사항에 대해서 설문을 하였다.

1차 설문을 종합한 결과 품질인증체계, 제작부품의 수요발굴 등 중복성과 유사성 등을 고려 총 20개의 핵심요소가 도출되었고 핵심요소별 유형 분석을 통해 제도적인 부분과 기술적인 부분, 인프라 구축과 정보관리 부분으로 구분하여 그룹을 가분류하였다. 또한 분류간에 소수의견으로 제시되었던 경제성 문제나 소재 개발 등은 타 핵심요소와의 중복성 등을 고려 제외하였다.

전문가 설문을 통해 도출된 핵심요소를 가분류한 그룹별로 살펴보면 우선 제도적 요소로 소재, 공정, 시제품에 대한 개발시험평가 방안 마련 등 3D프린팅으로 제작된 부품의 신뢰성 확보를 위해 품질인증체계 정립과 3D프린팅의 다양한 공정방식별 공정절차 인증을 위한 공정표준서 작성을 통해 3D프린팅 공정의 표준화, 제작된 부품의 신뢰성 검증 및 조달과 연계하기 위해 제작부품의 국방규격 제정 활성화 등이 선정되었다.

추가적으로 획득단계부터 체계업체에 의한 3D프린팅 기술의 활용 유도를 위해서 제안서 평가항목상 3D프린팅 기술의 활용계획 반영과 연구개발 사업의 경우 최초부터 3D프린팅 기술개발을 위한 추진계획 작성을 통해 3D프린팅으로 제작 가능한 부품의 수요발굴 및 무기체계 적용을 위한 획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용이 선정되었다.

설문결과 제도적 요소에 포함된 품질인증체계 정립과 3D프린팅 공정 표준화를 기술적 요소로 분류한 전문가 의견이 있었지만 기술적 부분이 선행되더라도 최종적으로 제도화가 필요한 사항으로 판단하여 기술적 요소에서 제외하여 제도적 요소에 포함하였다.

[표 8] 제도적 요소

구 분		내 용
제도적 (5)	① 품질인증체계	· 3D프린팅으로 제작된 부품의 품질인증을 위해 소재, 공정, 시제품에 대한 개발시험 평가방안 마련 필요
	② 3D프린팅 공정 표준화	· 3D프린팅 공정방식별 표준안을 기준으로 공정절차 인증을 위한 공정표준서 작성 필요
	③ 제작부품 국방규격 제정 활성화	· 3D프린팅 제작부품의 신뢰성 검증 및 조달과 연계하기 위해 국방규격 제정 필요(현실태 :시제 위주 제작 후 기존 공정으로 규격화)
	④ 획득단계 제안서 평가항목 3D프린팅 활용계획 반영	· 획득단계부터 체계업체에 의한 3D프린팅 기술적용 활성화 유도를 위해 제안서 평가항목에 3D프린팅 활용계획을 반영
	⑤ 획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용	· 연구개발 사업의 경우 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성을 통해 3D프린팅으로 제작 가능한 부품의 수요 발굴 및 체계 적용 필요

기술적 요소는 무기체계 유형별로 3D프린팅 기술의 적용 가능분야와 무기체계 구성품 중 어느 수준(WBS¹⁷⁾ 레벨)까지 적용이 가능한지에 대한 분석을 위해 3D프린팅 적용분야와 범위 설정이 선정되었으며 획득단계부터 성능향상, 제조공정 단축 등이 가능한 3D프린팅 제작부품의 수요발굴, 전문연구기관과의 기술협력을 통한 기술개발 등이 중요한 요소로 선정되었다.

추가적으로 획득단계부터 3D프린팅 부품 제작을 통한 기술개발과 다양한 부품의 3D프린팅 제작이 가능하도록 소재의 다양화도 선정되었다.

[표 9] 기술적 요소

구 분		내 용
기술적 (5)	① 3D프린팅 적용 분야와 범위 설정	· 무기체계별 3D프린팅 기술이 적용 가능한 분야와 어느 수준(WBS레벨)까지 적용이 가능한지에 대한 분석이 필요
	② 제작 가능부품 수요발굴	· 획득단계부터 성능향상, 제조공정 단축 등이 가능한 3D프린팅으로 제작 가능한 부품의 수요발굴 필요
	③ 전문연구기관과 기술협력	· 정부부처 전문 연구기관과의 협력을 통한 기술개발 필요
	④ 획득단계 3D프린팅 기술개발	· 획득단계부터 3D프린팅 부품 제작을 통한 기술개발 필요
	⑤ 소재의 다양화	· 다양한 부품의 3D프린팅 제작이 가능하도록 소재 다양화 필요

17) Work Breakdown Structure

인프라 구축 요소로는 군 및 방산업체에서 3D프린팅 제작 공정별 역할을 수행할 수 있는 전문인력의 양성과 군 자체적으로 3D프린팅을 통해 대량으로 부품을 생산할 수 있는 전용 FAB¹⁸⁾ 구성 및 품질평가를 위한 시험설비 구비, 소재별·제작방식별 전용 3D프린터의 확대 보급 등, 군 인프라 확대 구축, 3D프린팅을 통한 부품 제작을 전문적으로 수행할 수 있는 조직 구성, 군의 3D프린팅 부품 제작소요를 민간과 전문연구기관과의 기술교류를 통해 해결하기 위한 민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성이 선정되었다.

[표 10] 인프라 구축 요소

구 분		내 용
인프라 구축 (4)	① 3D프린팅 전문인력 양성	· 무기체계 3D프린팅 기술 적용을 위해 군 및 방산업체에서 제작 공정별(설계~평가) 수행할 수 있는 전문인력 양성 필요
	② 군 인프라 확대 구축	· 3D프린팅 전용 FAB 구성, 설계 및 품질평가를 위한 지원장비 구비, 소재·제작 방식별 전용 3D프린터 확대 보급 등이 필요
	③ 군 3D프린팅 전문조직 구성	· 3D프린팅을 통한 부품 제작 등을 전문적으로 수행할 수 있는 조직 구성을 통해 자체 제작 및 인증여건 보장
	④ 민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성	· 군의 3D프린팅 부품 제작소요를 민간과 전문연구기관의 기술교류를 통해 해결이 가능

18) Fabrication Facility

정보관리 요소로는 데이터 기반의 제조기술인 3D프린팅의 기술력 축적과 데이터 활용 측면 전주기 공정 데이터의 관리를 위한 3D프린팅 데이터 DB화와 3D프린팅 기술자료의 유출방지, 위조품 제작 장비, 지식재산권 보호 등을 위한 기술자료에 대한 보안대책, 3D프린팅으로 제작 가능여부 확인을 위한 무기체계 구성품의 규격제정 및 관리, 마지막으로 3D프린팅 제작부품에 대한 제작 소요 발생 시 적시적인 생산이 가능하도록 3D프린팅 데이터의 공유체계 구축 등이 선정되었다.

[표 11] 정보관리 요소

구 분		내 용
정보 관리 (4)	① 3D프린팅 데이터 DB화	· 3D프린팅은 데이터 기반의 제조기술로 기술력 축적과 데이터 활용측면에서 전주기 공정 데이터의 관리가 필요
	② 기술자료 보안대책	· 3D프린팅 기술자료의 유출방지, 위조품 제작 방지, 지식재산권 보호 등을 위해 기술보안 대책 필요
	③ 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리	· 3D프린팅으로 제작 가능여부 확인을 위한 규격제정 및 관리 필요
	④ 3D프린팅 데이터 공유체계 구축	· 3D프린팅 제작부품에 대한 데이터 공유체계 구축을 통해 제작 소요 발생 시 적시적인 생산 가능

3. 핵심요소 재분류 및 확정

1차 설문결과 선정된 20개의 핵심요소에 대해 전문가 2차 설문을 진행하여 가분류하였던 그룹화에 대해 재분류가 필요한 핵심요소와 핵심요소로 선정되었지만 중복성과 유사성 등을 고려하여 불필요한 요소에 대한 삭제, 마지막으로 제시된 핵심요소 중 그룹별 중요도를 고려 가장 선행되어야 할 3가지 핵심요소를 선정하였다.

그 결과 제도적 요소에서 ‘3D프린팅 공정 표준화’는 품질인증체계 정립을 위한 내용에 공정인증을 위한 절차가 포함되어 ‘품질인증체계’와 중복됨을 고려 제외하였으며 기술적 요소에서는 ‘획득단계 3D프린팅 기술개발’은 제도적 요소에서 ‘획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용’과 내용면에서 유사하여 삭제하였다.

인프라 구축면에서 ‘전문인력 양성’은 군 인프라 확대 구축에 인력양성 부분이 포함되어 있어 중복성을 고려 삭제하였으며 정보관리 측면에서 ‘3D프린팅 데이터 공유체계 구축’은 데이터 DB화를 통해 공유체계 구축이 가능하여 ‘3D프린팅 데이터 DB화’라는 큰 범위에 포함되는 것으로 판단하여 삭제하였다. 또한 품질인증체계, 제작부품의 국방규격 제정 활성화는 기술적인 부분이 선행되더라도 최종적으로 제도화가 필요한 사항이라 ‘제도적 요소’로 분류하였다

그룹별 삭제 요소를 제외하고 가장 우선되어야 할 핵심요소로는 제도적 요소에 품질인증체계, 제작부품 국방규격 제정 활성화, 국방분야 3D프린팅 운영지침 제정이 선정되었으며 기술적 요소에는 · 제작 가능 부품 수요발굴, 전문연구기관과 기술협력, 소재의 다양화가 선정되었다.

인프라 구축 요소에서는 군 인프라 확대 구축, 군 3D프린팅 전문조직 구성, 민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성이, 정보관리 요소에서는

3D프린팅 데이터 DB화, 기술자료 보안대책, 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리가 선정되었다.

[표 12] 2차 설문결과

구 분	핵심요소	삭제요소
제도적(6)	<ul style="list-style-type: none"> · 품질인증체계(★) · 제작부품 국방규격 제정 활성화(★) · 국방분야 3D프린팅 운영 지침(또는 훈령)제정(★) · 획득단계 제안서 평가항목 3D프린팅 활용계획 반영 · 획득단계 3D프린팅 기술개발 추진계획 작성 및 활용 	<ul style="list-style-type: none"> · 3D프린팅 공정 표준화
기술적(6)	<ul style="list-style-type: none"> · 제작 가능부품 수요발굴(★) · 전문연구기관과 기술협력(★) · 소재의 다양화(★) · 생산속도 향상 · 3D프린팅 적용분야와 범위 선정 	<ul style="list-style-type: none"> · 획득단계 3D프린팅 기술개발
인프라 구축(4)	<ul style="list-style-type: none"> · 군 인프라 확대 구축(★) · 군 3D프린팅 전문조직 구성(★) · 민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성(★) 	<ul style="list-style-type: none"> · 전문인력 양성
정보관리(4)	<ul style="list-style-type: none"> · 3D프린팅 데이터 DB화(★) · 기술자료 보안대책(★) · 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리(★) 	<ul style="list-style-type: none"> · 3D프린팅 데이터 공유체계 구축

1차 설문을 통한 핵심요소 선정과 그룹별 가분류 이후 2차 설문을 통해 중복성, 우선순위 등을 고려 핵심요소를 정제화한 결과 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 그룹별 최종 핵심요소와 우선순위 선정을 위한 계층구조를 선정하였으며 그 결과는 아래와 같다.

[표 13] 그룹별 최종 핵심요소 선정결과

구분	핵심요소
제도적(3)	<ul style="list-style-type: none"> ① 품질인증체계 정립 ② 제작부품 국방규격 제정 활성화 ③ 국방분야 3D프린팅 운영 지침(또는 훈령)제정
기술적(3)	<ul style="list-style-type: none"> ① 제작 가능부품 수요발굴 ② 전문연구기관과 기술협력 ③ 소재의 다양화
인프라 구축(3)	<ul style="list-style-type: none"> ① 군 인프라 확대 구축 ② 군 3D프린팅 전문조직 구성 ③ 민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성
정보관리(3)	<ul style="list-style-type: none"> ① 3D프린팅 데이터 DB화 ② 기술자료 보안대책 ③ 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리

4. AHP 분석을 통한 핵심요소 가중치 분석 및 우선순위 선정

2차 설문을 통해 최종 선정된 핵심요소에 대해 그룹별 ·핵심요소별 가중치 분석 및 우선순위 선정을 위한 AHP 조사를 실시하였으며 그 결과 모든 핵심요소 그룹 중 제도적 요소가 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위해 가장 선행되어야 할 요소로 분석되었으며 두 번째로는 기술적 요소, 그 다음 인프라 구축과 정보관리 순으로 분석되었다.

[표 14] 그룹별 AHP 조사결과

그룹	매우 중요		중요		대등		중요		매우 중요	그룹
	5	4	3	2	1	2	3	4	5	
제도적				○						기술적
제도적		○								인프라 구축
제도적	○									정보 관리
기술적				○						인프라 구축
기술적			○							정보 관리
인프라 구축				○						정보 관리

그룹별로 핵심요소 우선순위를 분석한 결과 제도적 요소에서는 제작된 부품의 신뢰성 확보를 위한 품질인증체계 정립이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났으며 다음으로 국방분야 3D프린팅 업무를 수행하는데 있어 근거가 될 수 있는 운영 지침(또는 훈령) 제정, 제작된 부품의 신뢰성 검증 및 조달과 연계될 수 있는 제작부품 국방규격 제정 활성화 순으로 분석되었다.

기술적 요소에서는 무기체계 연구개발 단계부터 제작 가능부품의 수요발굴, 전문연구기관과의 기술협력, 제작 가능한 부품의 확대를 위한 소재의 다양화 순이었으며, 인프라 구축 요소는 군의 3D프린팅 전문조직 구성을 가장 우선적으로 판단했으며 다음으로 군의 인프라 확대와 민·관·군 협력조직의 구성 순으로 나타났다.

정보관리 요소는 3D프린팅 데이터의 DB화를 최우선적으로 선정하였으며 무기체계 구성품 제원의 자료축적 및 관리와 기술자료의 보안대책 순으로 나타났다

[표 15] 그룹별 핵심요소 AHP 조사결과

그룹	핵심요소	매우 중요		중요		대등		중요		매우 중요		핵심요소	그룹
		5	4	3	2	1	2	3	4	5			
제도적	품질				○							규격	제도적
	품질		○									지침	
	지침				○							규격	

그룹	핵심요소	매우 중요		중요		대등		중요		매우 중요	핵심요소	그룹
		5	4	3	2	1	2	3	4	5		
기술적	수요			○							협력	기술적
	수요	○									소재	
	협력				○						소재	
인프라 구축	전문				○						인프라	인프라 구축
	전문	○									협력	
	인프라			○							협력	
정보관리	DB화				○						제원	정보관리
	DB화		○								보안	
	제원				○						보안	

그룹별, 핵심요소별 분석된 우선순위를 고려 Rank SUM 방식을 적용하여 가중치를 분석한 결과 그룹별로는 제도적 요소가 전체 전문가 설문 대상 15명중 11명이 최우선으로 선정하여 가중치로 환산결과 0.3733, 기술적 요소는 총 4명이 최우선으로 선정하여 0.3267, 인프라 구축은 0.1867, 정보관리는 0.1133 순으로 나타났다.

그룹별 핵심요소에 대한 가중치 분석결과 제도적 요인에서는 품질인증 체계가 총 15명 중 10명이 최우선으로 선정하여 가중치 환산결과 0.4444, 국방 3D프린팅 운영지침 제정은 총 5명이 최우선으로 선정하여 0.3444, 규격제정 활성화는 0.2111 순으로 분석되었다.

기술적 요소에는 총 15명 중 8명이 제작 가능한 부품의 수요 발굴을 가장 중요한 요소로 판단했으며 그 뒤를 이어 전문연구기관과의 기술협력, 소재의 다양화 순이었다.

인프라 구축면에서는 총 15명 중 9명이 군의 3D프린팅 전문조직 구성을 가장 중요한 요소로 판단했으며 군 인프라 구축과 민관군 3D프린팅 협력조직 구성순이었다. 정보관리면에서는 총 15명 중 9명이 3D프린팅 데이터의 DB화를 선정하여 데이터 DB화가 선행되어야 기술보안이나 자료축적이 가능할 것으로 판단했다.

최종 그룹별 가중치에 핵심요소별 가중치를 적용하여 종합 가중치를 분석한 결과 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소 중 가장 선행되어야 할 요소로 품질인증체계 정립이 종합순위 1위였으며 그 뒤를 이어 제작 가능부품의 수요발굴, 국방분야 3D프린팅 운영지침 제정 순으로 나타났으며 본 연구에서는 그룹별 1순위와 최종 종합순위 5순위 內 핵심요소에 대해서는 세부적인 이행방안 제시를 통해 실효성 있는 연구결과를 제시하고자 한다.

[표 16] 최종 핵심요소에 대한 가중치 분석결과

상위요소			핵심요소				
명칭	가중치	우선 순위	명칭	그룹내 가중치	그룹내 순위	종합 가중치	종합 순위
제도적	0.3733	1	품질인증체계 정립	0.4444	1	0.1659	1
			국방분야 3D프린팅 운영지침 제정	0.3444	2	0.1286	3
			제작부품 국방규격 제정 활성화	0.2111	3	0.0788	5
기술적	0.3267	2	제작 가능부품 수요발굴	0.4222	1	0.1379	2
			전문연구기관과 기술협력	0.3444	2	0.1125	4
			소재의 다양화	0.2334	3	0.0763	6
인프라 구축	0.1867	3	군 3D프린팅 전문조직 구성	0.4000	1	0.0747	7
			군 인프라 확대 구축	0.3667	2	0.0684	8
			민·관·군 3D프린팅 협력조직 구성	0.2333	3	0.0436	10
정보 관리	0.1133	4	3D프린팅 데이터 DB화	0.4333	1	0.0491	9
			무기체계 구성품 제원의 자료 축적 및 관리	0.3333	2	0.0378	11
			기술자료 보안대책	0.2334	3	0.0264	12

IV. 핵심요소 적용방안 도출

1. 제도적 요소

첫 번째로 제작된 부품의 신뢰성 확보를 위해 표준화된 품질인증체계 구축이 필요하다. 이미 의료분야에서는 3D프린팅 제작품에 대해서 ASTM이나 ISO¹⁹⁾ 등 국제표준에 부합된 표준화된 품질인증체계를 구축하여 제작 부품에 대한 시험평가 가이드 라인을 제시하여 활용중에 있으며 이를 통해서 빠르게 다양한 분야로 확대중에 있다.

식약처 신고 품목 19건 / 허가품목 25건 / 복지부 건강보험 8건 등록			
등급	대표품목	식약처	보건복지부
1등급	시술기구, 수술 가이드, 임플란트보조기 등	신고 사항	19건 건강보험 적용여부 심의
2등급	보형기, 치아교정장치, 타우스프리스 등	허가 사항	8건 → 두개골 등
3등급	인공관절, 임플란트, 성형용 지지체 등		
4등급	인공장기, 인공 피부, 혈관, 인공 근육 등		

번호	제목	최초제정
1	3D프린팅을 이용하여 제조되는 맞춤형 의료기기 허가심사 가이드 라인	16.12.10
2	3D프린팅을 이용하여 제조되는 환자맞춤형 치과용 임플란트 고형체의 허가심사 가이드라인	16.10.21
3	3D프린팅을 이용하여 제조되는 환자맞춤형 맞춤형 생물학부품의 허가심사 가이드라인	16.10.21
4	3D프린팅을 이용하여 제조되는 귀보청용 청각용 지지체의 안전성 및 성능시험 가이드라인	16.12.21
5	3D프린팅을 이용하여 제조되는 혈관형상 복원용 지지체의 안전성 및 성능시험 가이드라인	16.12.29
6	3D프린팅 및 시제품을 제외한 허가신청심사 가이드라인	19.12.06
7	3D프린팅 치과용 임플란트 가이드 허가신청심사 가이드라인	19.12.06
8	3D프린팅을 이용한 환자 맞춤형 의료기기의 GMP 실시 준례를 위한 명문인 안내서	17.11.08
9	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(공정별/장비별)	19.08.28
10	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(시스템 분야)	19.06.28
11	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(인력관리 분야)	19.06.28
12	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(시험 분야)	19.06.28
13	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(유통 관리 분야)	19.06.28
14	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(수출 관리 분야)	19.06.28
15	3D프린팅 맞춤형 의료기기 제조공정별 GMP 현황의 안내서(품질 관리 분야)	21.08.03

①	②	③	④	
3D프린팅 의료기기 품목등록 (전문연구 산책료)	3D프린팅 제조기술 (전문연구 산책료)	3D프린팅 의료기기 연구개발 (식약처)	3D프린팅 의료기기 보형급여 심사 (보건복지부)	판매 공급 (기업)
- 맞춤형, 경량화 - 복잡형상 - 고기능성 등	- 3D프린팅 제조 - 복지부 공평 - 성능시험업자협	- 제조시설 심사 - 제품기술 심사 (P+2개년)	- 신의료기술평가, 일반 심사 - 보험코드등재 (급여서급여)	
3D프린팅 의료기기 제조기술 개발 과제			의료기기 관리·감독 부처	

[그림 10] 식약처 3D프린팅 가이드라인²⁰⁾

국방분야에서도 3D프린팅으로 제작된 부품에 대한 신뢰성과 성능을 보장하기 위해서는 제품을 제작하는 공정과 소재, 설비의 인증과 최종 제작된 부품의 품질평가에 대한 표준화된 기준 마련이 필요하다. 현재는 사용자가 국제표준 등을 참고하여 요구사항을 제시하고 업체에서 요구조건에 맞게 제작을 하고 있으나 사용자의 수준에 따라 과도 또는 과소하게 성능을 요구하는 경우가 있어 표준화된 품질인증체계 구축을

19) International Organization for Standardization

20) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 기술동향 및 발전추세”, 2022. p. 21.

통해 3D프린팅으로 제작된 부품의 품질과 안정성을 확보하고 과도한 성능 및 평가자료 요구로 인한 노력 낭비를 방지할 수 있다.



[그림 11] 품질인증체계 절차(안)²¹⁾

표준화된 품질인증체계 구축안을 살펴보면 우선 크게 4가지 분야로 구분할 수 있는데 우선 첫 번째로 3D프린팅을 위한 소재의 인증이 필요하다. 3D프린팅을 위한 소재는 그 종류가 액체, 분말, 고체 등 다양한 유형으로 개발되고 있는데 이러한 소재의 종류별로 3D프린팅 이전 소재의 입도, 성분, 흐름성, 불순물 유입 등을 확인하여 소재의 품질을 인증해야 한다.

두 번째로는 3D프린팅을 위한 각종 장비의 인증이 필요하다. 직접적으로 형상물을 출력하는 3D프린터의 파라미터 설정값에 따라 출력물이 정밀하고 정확한 치수와 밀도가 구현되는지 인증이 필요하며 또한 프린터 배드 및 헤드의 움직임, 자세 공차, 위치 정밀도 등의 구동

21) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 제조혁신센터 소개”, 2022, p. 17.

성능 확인도 필요하다. 프린터 외에도 형상물의 정밀한 제작을 위한 레이저 스캐너나 프린터의 성능을 검증하기 위해 레이저 출력이나 산소의 농도를 측정하는 지원장비 등은 주기적인 검정을 통해 오차범위 내에서 측정이 가능하도록 해야 한다.

세 번째는 출력물 제작 전 동일한 설정값으로 제작된 시편에 대한 물성 인증을 통해 밀도와 경도, 강도, 피로데이터, 크랙 등을 확인하여 3D프린팅 설계와 공정이 최적화되었는지 검증이 필요하다.

마지막으로는 최종 제작이 완성된 출력물 단위의 품질평가가 필요하다. 통상 국방분야에서는 제작된 부품단위로 형상의 정밀성, 인장강도, 표면형상 및 거칠기, 내충격성, 내후성 등을 평가하는 개발 시험평가와 필요시 무기체계에 장착하여 평가하는 운용 시험평가를 거치는데 이를 통해서 제작된 부품의 신뢰성 확보가 가능하며 이는 곧 국방규격 제정으로 이어진다.

3D프린팅으로 제작된 부품도 위와 같이 동일한 절차를 적용하여 제작된 부품에 대해서는 형상학적인 측면과 기계·화학적 측면, 신뢰성 측면에서의 개발 시험평가가 필요하며, 추가적으로 3D프린팅 이후 열처리 과정에서 기공이나 크랙이 발생하지는 않았는지 확인하기 위한 X-ray CT 검사 등을 활용할 필요가 있다. 또한 제작된 부품은 무기체계 장착하여 정상적으로 구성품과 상호 호환되어 작동이 되는지 여부를 반드시 확인할 필요가 있다. 추가적으로 이러한 출력물의 시험평가를 위해서는 시험평가를 지원하는 설비들도 정기 검정을 통해서 오차범위가 발생하지 않도록 지속적인 관리가 필요하다.

이러한 품질인증체계에 대해 금속부품을 예로 들어 3D프린팅 제작공정 절차별 세부적인 평가 기준과 시험 규격, 실증지원을 위한 장비 구축

등에 대해서 살펴보면 우선 3D프린팅 제작 이전 도면과 소재를 확인하여 3D프린팅 제작 가능여부를 확인하고 이후 재료관리 측면에서 제작 소재에 대한 입도와 흐름성을 ASTM에서 제시하는 시험 규격에 맞춰 평가를 실시한다. 이후 장비관리 측면에서 레이저 출력과 산소농도를 측정하여 3D프린터의 성능을 확인하고 제작품에 대한 형상 설계와 공정 설계 최적화 여부와 후처리 공정에 대한 열처리 및 기계가공을 실시한다. 다음은 완성품 제작 이전 시편을 제작하여 시편에 대한 재질검사, 결함 시험, 성능시험 등을 통해 밀도, 가공률, 인장강도, 피로, 충격, 내마모성 등을 시험평가하여 완성품의 출력 가능여부를 확인한다.

마지막으로 시편의 시험평가 결과 규격을 충족할 경우 완성품을 제작 후 외관검사를 통해 치수와 거칠기 등을 확인하고 비파괴 검사를 통해 기공이나 크랙 여부를 확인하여 이상이 없을 경우 현장평가를 통한 부품의 신뢰성을 확보한다.



[그림 12] 품질인증체계 평가요소별 세부항목(안)22)

22) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 제조혁신센터 소개”, 2022, p. 18.

두 번째론 국방분야 3D프린팅 운영 지침(또는 훈령) 제정이다. '12년도에 공군에서 산업용 3D프린터를 도입한 이래 현재까지 군 내부적으로 부품 제작부터 전문인력 양성, 전문 연구기관과의 협업 등 다양한 분야에서 3D프린팅 업무를 수행중에 있으나 이를 수행하기 위한 근거가 마련되어 있지 않아 업무수행에 대한 기준 정립이 필요하다. 이를 위해서는 관련 내용들을 포괄할 수 있는 기준서 작성이 필요하며 아래와 같은 목차 구성을 통해 국방 3D프린팅 운영지침안을 제시할 수 있다.

[표 17] 국방분야 3D프린팅 업무 기본지침 목차(안)

구 분	구성내용	구 분	구성내용
제1장 총 칙	제1조 목적 제2조 용어의 정의 제3조 적용범위 제4조 업무분장 제5조 관련법규	제4장 품질인증 절차	제15조 기본 절차 제16조 소재 인증 제17조 설비인증 제18조 공정인증 제19조 부품인증
제2장 장비의 운영	제6조 장비 구분 제7조 장비 구성 및 용도 제8조 관리자 임명	제5장 안전관리 체계	제20조 기본개념 제21조 안전교육 제22조 장비관리 제23조 작업환경 안전관리 제24조 작업자 안전관리
제3장 3D프린팅 부품 제작	제9조 기본 절차 제10조 제작부품 선정기준 제11조 제작소요 발굴 제12조 제작계획 수립 제13조 제작 절차 제14조 금속부품 제조기술 개발	제6장 전문인력 양성 및 관리	제25조 기본개념 제26조 교육대상 제27조 교육과정 운영 제28조 기초 /입문과정 제29조 심화과정 제30조 전문인력 관리

세부적으로 목차를 살펴보면 우선 제1장에는 총칙을 구성하여 기본지침을 작성한 목적과 이 문서에서 명시하고 있는 용어의 정의, 이 문서가 적용되는 제대의 범위를 제시할 필요가 있으며 관련 연구기관, 각 군 등 국방분야의 3D프린팅 업무를 수행하는 모든 기관들의 업무 분장을 명시할 필요가 있다. 추가적으로는 이 문서와 연관된 법규와 규정을 포함하여 국방분야 3D프린팅 업무가 어디에 근거를 두고 수행되고 있는지에 대한 것도 명시해야 한다.

제2장에는 군에 3D프린터가 확대 도입됨에 따라 부수적인 장비가 패키지화되어 도입되고 있어 장비 도입에 대한 표준안 제시를 위해 장비 종류와 장비의 구성 및 용도 등을 명시하고 이러한 장비들을 운영하기 위해서 관리자 임명을 통해 장비관리에 관한 사항을 포함하여야 한다.

제3장에는 부품 제작시 준수해야할 기본 절차와 제작부품에 대한 선정기준, 제작 절차 등을 명시하고 추가적으로 전문 연구기관과의 협업을 통해서 진행하는 사항도 포함하여 관련된 절차를 수행하기 위한 근거를 마련해야 한다.

제4장에서는 제작된 부품의 신뢰성을 확보하기 위한 품질인증절차와 관련된 사항을 인증 절차별로 제시하여 각군에서 3D프린팅 부품을 제작하는 종사자로 하여금 품질인증에 대한 기준을 마련해줄 필요가 있다.

제5장에서는 3D프린터가 점차 사단급 부대까지 도입됨에 따라 3D프린터의 유해성에 대해서 안전관리를 통해 사고를 예방할 수 있도록 안전관리 체계 관련된 사항의 포함이 필요하다.

제6장에서는 3D프린팅 관련 전문인력의 양성을 위해 현재 시행중인 교육과정을 명시하고 추가적으로 전문인력의 인사관리 방안도 제시하여 국방분야의 3D프린팅 전문인력 관리에 관한 사항이 포함되어야 한다.

세 번째로 3D프린팅 제작부품의 국방규격 제정 활성화 방안으로 무기체계 개발시 시제품에 적용된 3D프린팅 부품에 대해서도 국방규격에 포함하여 제정이 필요하다.

체계개발단계에서 부품의 형상구현이나 기존 제조방식의 적용이 제한되어 제작되었던 3D프린팅 제작부품을 체계 시험평가 이후 경제성 등의 사유로 기존 제조방식으로 대체되면서 정식 규격 제정시에는 제외하는 경우가 빈번하다. 실례로 KF-21 체계개발에 적용되었던 많은 3D프린팅 제작부품 중 한 개 품목만 규격화를 진행중에 있는 실정이다.

앞으로는 체계개발단계부터 적용이 되어 시험평가 등을 통해 신뢰성이 입증된 3D프린팅 제작부품에 대해서는 양산단계 경제성 등의 사유로 기존 제조방식으로 국방규격을 제정하더라도 추가적으로 국방규격을 제정하여 진력화 이후 원활한 부품 조달 및 추후 부품 조달이 제한될 경우 군 자체 제작 여건을 보장할 필요가 있다. 또한 체계개발단계부터 3D프린팅으로 제작된 부품의 신뢰성 검증을 위한 시험평가 항목들과 기준들이 개발되어 향후 이러한 데이터가 축적되면 3D프린팅 제작부품의 품질인증에 있어서도 많은 발전을 이뤄낼 수 있다.

추가적으로 국방규격 활성화 측면에서 3D프린팅 부품 제작에 활용된 3D설계도면, 프린터 검정값, 품질평가 기준 등은 특수기술 자료로 관리될 필요가 있다.

국방규격을 제정할 때 규격서 기술자료 묶음에 관련된 데이터들을 포함하여 규격을 제정한다면 향후 업체나 군에서 동일한 소재의 부품을 제작할 때 품질인증이나, 제작공정에 대한 사항을 활용할 수 있으며 타 업체나 군에서 제작을 하더라도 동일한 치수와 성능 등이 구현이 가능하다.

2. 기술적 요소

무기체계 설계시부터 기존 부품 대비 성능향상 및 제조공정의 단축 등이 구현 가능한 3D프린팅 제작부품의 적극적인 수요발굴이 중요하다.

특히 경량화 및 고강도 특수소재, 복잡한 형상으로 제작이 필요한 부품과 다수의 구성품으로 결합되어 제조공정이 복잡하고 장기간이 소요되어 일체형 제작이 필요한 부품의 수요발굴을 통해 무기체계의 성능향상을 구현하고 제조공정을 단축시킬 수도 있다.



[그림 13] 3D프린팅 장점을 활용한 사례²³⁾

위에서 제시된 해군 사례를 살펴보면 해군의 트라이플랜은 주물로 제작할 경우 40개의 부품을 기계 가공과 용접을 거쳐 제작해야 하지만 3D프린팅으로 제작할 경우 1개의 일체형으로 제작하여 제작공정을

23) 한국생산기술연구원, “3D프린팅 제조혁신센터 소개”, 2022, p. 15.

단축시킬 수 있었으며 특히 복잡한 형상구현에 있어 3D프린팅 제작방식이 기존 제작방식보다 최적화된 제작방식이라는 것을 확인할 수 있었던 사례이다.

두 번째로 해군의 펌프 임펠러는 정밀주조 공정으로 제작을 하는데 있어 그 형상이 아주 복잡하고 주형틀 제작의 어려움이 있었으며 특히 임펠러의 날개 각도 구현은 기존 제작방식으로 제작하기가 상당히 어려운 조건이었다. 이 역시도 3D프린팅을 통해 일체형 제작으로 제작공정의 단축과 복잡한 형상을 구현한 사례이다.

세 번째로 해군의 체인지 블록은 11회의 기계 가공을 통해 제작해야 하는 소요로 제작공정이 길고 치수 정밀도 확보의 어려움이 있었으나 이 역시도 3D프린팅 기술을 활용한 일체형 제작을 통해 제작공정 단축과 치수 정밀도를 확보하였으며 추가적으로 기존 공정 적용 시 재료폐기율이 64%에 이르렀지만 3D프린팅 제작공법 적용을 통해 재료 폐기율도 거의 제로화하여 비용절감 측면에서도 효과를 나타낸 사례이다.

네 번째로는 음탐기 조립용 치공구 제작사례로 맞춤형 형상의 정밀 기계가공 공정이 다수 필요한 품목으로 부위별로 보링, 밀링, 선반, 홀 가공 등 다수의 제작공정이 필요했으며 기존 완성품의 재료폐기율이 83%에 이르는 등 경제적인 부분도 문제가 있었다. 이러한 부분을 해결하기 위해 3D프린팅 제작방식을 적용, 부위별 다수의 공정이 필요했던 부분은 설계단계부터 부위별 공정에 부합하는 설계 반영을 통해 적층간에 기존 공정에 맞게 바로 제작이 가능했으며 이로 인해 공정별로 제작소요가 있던 사항을 하나의 공정으로 통합하여 제조공정 단축, 비용절감 등을 구현하였다.

추가적으로 무기체계를 개발하는 연구개발주관기관의 3D프린팅 제작부품 적용에 대한 기술력과 개발비용에 대한 부담을 완화시키기 위해서 타 정부 부처 및 민군기술협력 사업 등을 적극 활용할 필요가 있다. 3D프린팅 관련 전문성과 기술력을 보유한 다양한 정부출연 연구소와 전문업체 등과의 협업을 통해 무기체계 적용을 위한 기술개발이나 비용을 지원받을 수 있으며 국방부에서도 '17년부터 한국생산기술연구원과 협업을 통해 무기체계 금속부품에 대한 제조기술 개발, 제품에 대한 품질평가, 전문인력 양성교육 등을 지원받아 군의 기술력 향상을 추진중에 있으며 이로 인해 군의 3D프린팅 기술력 향상에 큰 기여를 하고 있다.

[표 18] 3D프린팅 관련 정부부처 주요사업 현황²⁴⁾

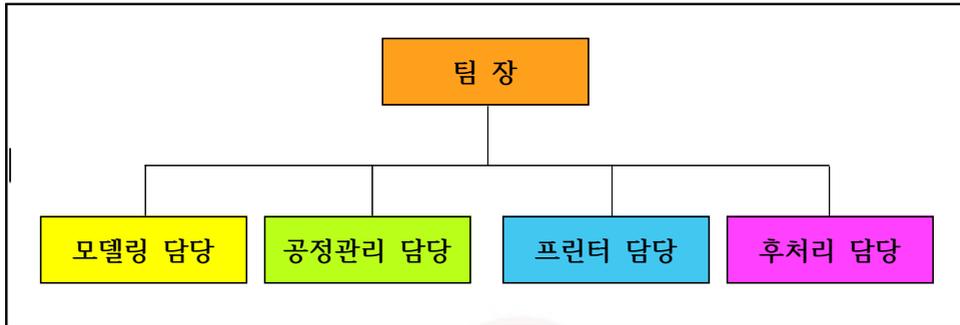
구 분	과제명	수행부처
'18~'21년	국방수요부품 국산화를 위한 금속 3D프린팅 제작 및 유지보수 상용화 기술개발	산업부 (생기원)
'19~'24년	비행체 저가화 및 성능향상을 위한 대형(800mm급) 및 정밀($\pm 15\mu\text{m}/200\text{mm}$ 급) 금속 3D프린팅 기술 및 제조공정 개발	산업부-방사청 (기계연)
'21~'22년	3D프린팅 특화설계기반 다중재료 국방부품 재생·수리기술 개발	산업부 (생기원)
'22~'26년	금속 3D프린팅 국방부품 국산화 및 실증지원 기술개발	과기부 (생기원)
'21~'24년	3D프린팅을 이용한 경량/고강도의 복잡형상 SiC 부품 제조공정개발	산업부-방사청 (세라믹연구원)
'24~'28년	다중소재 DED 금속 3D프린팅 기술기반 중·대형 국방부품의 재생 및 기능강화 제조기술개발	산업부-방사청 (생기원)

24) 국방부 전력정책과, “제17차 방위사업협의회 안건 4안”, 2023, p. 4

3. 인프라 구축 요소

인프라 구축요소 중 가장 선행되어야 할 사항은 3D프린팅의 공정관리가 가능한 준의 3D프린팅 전문조직 구성이 필요하다.

[그림 14] 3D프린팅 전문조직 구성(안)



제작부품에 대한 스캐닝 및 설계, 제작방식별 프린팅, 후처리 공정별 전문인력 구성과 장비 구성을 통해 자체적으로 수요 발굴한 부품을 제작부터 품질인증까지 병행할 수 있는 조직 구성이 필요하며 이를 위해서는 우선 이러한 업무를 총괄할 수 있는 능력과 전문지식을 갖춘 팀장급 부서장이 편성이 되어 전체적인 3D프린팅 공정에 대한 관리, 제작부품의 수요발굴, 공정별 기술개발 등을 수행하여야 한다.

3D프린팅 제작방식별로 공정관리 담당도 편성하여 프린터 유형별 최적화된 공정조건 수립 및 공정개발, 소재의 적절성 검토, 후처리 공정 선정, 공정기록에 대한 데이터 관리를 위해 공정기록의 기록 및 관리가 필요하다.

모델링 담당은 기존 3D 설계 능력과 추가적으로 3D프린팅을 위한 슬라이스 공정 설계를 모두 수행할 수 있어야 하며 3D프린팅의 장점이라 할 수 있는 공정기간 단축, 효율성을 고려한 개선, 복잡한 형상 설계 등이 구현 가능해야 한다. 3D프린터를 유형별로 운영할 수 있는 제작담당도 별도로 편성하여 해당

공정을 전문적으로 관리하고 소재별 제작방법의 전문성을 갖춰야 하며 마지막으로 제작된 부품의 표면처리나 열처리, 제작된 부품의 규격 인증 등을 수행할 수 있는 후처리 담당도 공정별로 필요하다.

[표 19] 직책별 임무수행(안)

구 분	업무 세부내용
팀장	<ul style="list-style-type: none"> · 3D프린팅 업무 총괄 및 감독 · 3D프린팅 제작가능 소요발굴 · 3D프린팅 기반 기술개발 및 R&D 강화
공정관리 담당 (유형별)	<ul style="list-style-type: none"> · 프린터 유형별 최적 공정조건 수립 및 공정개발 · 소재 적절성 검토 · 절단 공정 선정 · 공정기록 전자화 기록·관리
모델링 담당	<ul style="list-style-type: none"> · 3D설계(DfAM²⁵) 최적화 · 구조/무게/응력/유체흐름 적절성 검토 · 공정기간 단축, 효율성 향상, 복잡한 형상 설계 · 위상최적화 설계, 경량화 설계
프린터 담당 (유형별)	<ul style="list-style-type: none"> · 3D프린팅을 활용한 금형설계, 시제품 제작지원 · 3D프린팅 대상품목 구조해석 및 최적화 설계지원 · 3D프린팅 적층 메카니즘 분석 및 수행 · 3D프린팅 적층 관련 열특성 분석 · 3D프린터 제어알고리즘 구성 · 제어프로그램 개발도구 및 운영체제 환경구축 · 3D프린팅 신뢰성 시험검사 · 성능보장을 위한 수정보완 및 인증 진행
후처리 담당	<ul style="list-style-type: none"> · 표면처리, 세정 및 잔류응력 열처리 · 열처리 공정 수립 · 강도, 표면조도, 치수 정밀도 확인 · 서포트 구조물 제거

25) Design for Additive Manufacturing

4. 정보관리 요소

정보관리 요소 중에는 3D프린팅 제작시 활용되었던 프린터별, 소재별 데이터에 대한 DB화를 통해 공정에 대한 자동화 구축 및 신뢰성 향상이 가능하도록 체계를 구축하는 것이 선행되어야 한다. 특히 최근 AI기술을 활용하여 3D프린팅의 자동화 공정을 관련 업계에서 추진중에 있으며 그러한 노력의 일환으로 산업부에서도 이러한 데이터 구축을 위해 ‘3D프린팅 디지털 전환 플랫폼 기술개발’이라는 사업을 추진중에 있다.



[그림 15] 3D프린팅 디지털 전환 플랫폼 기술개발(안)²⁶⁾

주요 내용으로는 3D프린팅 공정이 이뤄질 때 발생하는 모든 데이터를 공정별로 분류하여 소재, 설계, 프린터 유형별 검정값 등의 데이터를 구축하고 이를 디지털로 전환하여 누구나 손쉽게 3D프린팅을 할 수 있도록 하는 사업으로 제조공정의 단축과 자동화, 표준화 공정이 가능하다.

국방분야에서도 이러한 공정 데이터의 축적이 필요한 시점이며 현재 고도화사업을 추진중인 국방표준종합정보체계(KDSIS²⁷⁾)상 특수 기술자료

26) 3D융합산업협회, “3D프린팅 디지털 전환 플랫폼 기술개발”, 2023, pp. 17-18.

27) Korea Defense Standard Information System

항목으로 3D프린팅 관련 데이터 탑재 항목을 신설하여 관련 데이터의 DB구축 필요하고 이를 통해서 3D프린팅 제작부품에 대해서는 탑재된 공정 데이터를 활용, 언제든지 정보를 유통하여 누구나 원하는 시기에 부품을 제작할 수 있는 환경이 조성되어야 한다.

마지막으로 위 사항 외에도 방산업체에서 자발적으로 3D프린팅 부품 개발 활성화를 유도하기 위해서 제안요청서에 3D프린팅을 활용하여 공정단축이나 비용절감을 위한 계획을 항목으로 반영하고 제안서 평가시 가점 등을 부여하여 방산업체로 하여금 자발적으로 3D프린팅 제작부품의 확대 적용을 할 수 있는 환경의 조성이 필요하며 이를 위해서는 방사청의 관련 규정 개정 등을 통해 제도 마련이 필요하다.



V. 결 론

1. 요약 및 시사점

본 연구의 기존 연구 대비 차별점은 무기체계라는 플랫폼에 3D프린팅 제작부품을 확대 적용하기 위한 연구로서 기존 연구는 군이나 국방분야에 3D프린팅 기술의 활용을 위한 방안들을 큰 제목 위주로만 나열했다면 본 연구는 무기체계라는 플랫폼에 3D프린팅 기술을 확대 적용하기 위한 방안을 제시하였으며 핵심요소 도출과정을 3D프린팅 관련 다양한 전문가 설문을 통해 체계적으로 분석하였다.

또한 선행연구는 핵심요소에 대해 대부분 개인의 실무적 경험이나 자료 수집, 전문가 인터뷰 수준에서 분석하였으나 본 연구는 전문가 설문을 통해 확대 적용을 위한 핵심요소를 체계적으로 분석하였다.

연구결과의 학문적 / 실무적 시사점은 학문적 측면에서 도출된 핵심요소 중 산·학·연 전문가의 3D프린팅 기술개발을 통해 해결해야 할 소요를 제시함으로써 관련 연구의 기초자료 제공이 가능하며 실무적 측면에서는 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 핵심요소에 대해 이행방안을 세부적으로 제시하여 실무 적용이 가능할 수 있다.

최근 미 육군의 차세대 장갑차 사업(OMFV²⁸) 제안요청서에 3D프린팅으로 제작 가능한 부품의 리스트 제공을 요구하여 입찰에 참여중인 국내 방산업체에서 이를 준비한 사례가 있었다. 그만큼 무기체계의 운용성 유지를 위해서 3D프린팅 기술은 이제 국내·외를 불문하고 필수요소가 되었다.

28) Optionally Manned Fighting Vehicle

우리 군도 앞으로 무기체계의 성능향상, 복잡하고 정교화가 요구되는 부품의 제작, 제조공정 단축 및 정비여건 보장 등을 위해 3D프린팅 제작부품의 확대 적용이 필요하며 본 연구에서 제시한 핵심요소 우선 순위별로 실효성 있는 이행을 통해 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 여건이 마련될 필요가 있다.

이러한 노력은 결국 무기체계의 운용성 향상으로 이어져 전·평시 군의 전투준비태세 유지와 국방예산의 절감에 기여하게 될 것이다.

2. 연구의 한계 및 추후 발전방향

본 논문의 학문적·실무적 시사점에도 불구하고, 3D프린팅 기술의 확대 적용 대상을 무기체계로 한정했다는 점과 핵심요소별 제시했던 적용방안 중 기술개발을 요하는 사항에 대해서는 구체적인 방안 제시가 제한됐다는 점, 마지막으로 전문가 구성에 있어 국방분야로 한정하여 대상인원을 선정하다보니 대상이 적었다는 점은 연구의 한계로 생각되어 향후 연구과제로 다음 3가지를 제시해보고자 한다.

첫째, 국방분야 전체를 대상으로 연구범위를 확장하여 軍의 3D프린팅 기술 확대 적용을 위한 연구가 필요하다. 軍 내부적으로 3D프린팅 기술의 시작은 운영유지단계 무기체계의 부품 공급, 정비를 위한 목적으로 도입이 되었지만 최근에는 의료분야, 시설분야 등 다양한 분야로 3D프린팅 기술을 활용하고 있어 각 분야를 망라할 수 있는 연구를 통해 분야별 적용방안에 대한 제시도 필요하다.

둘째, 제시했던 핵심요소 중 기술개발이 필요한 사항에 대해서는 전문 연구기관과의 협업을 통해 과제별 프로세스 구축을 위한 추가 연구가 필요하다.

마지막으로 전문가 설문을 위한 구성도 국방분야 뿐만 아니라 3D프린팅 기술과 관련 다양한 분야의 전문가로 대상 Pool을 확대 구성하는 것도 필요하다.

연구의 한계점에도 불구하고 본 연구는 3D프린팅 기술의 무기체계 확대 적용을 위한 전문가들의 정성적인 판단을 정량적으로 분석한 연구라는 점에서 가치가 있으며 향후 이와 관련된 후속 연구들이 이뤄지기를 바란다.



VI. 참고문헌

- [1] 남정범, 김철, & 유기용. (2014). 3D 프린팅 기술의 국방 군수분야 적용방안. 국방과 기술 , (421), 94-103.
- [2] (주)센트럴(2016)한국항공우주산업 제안서 <금속 3D프린터 장비를 활용한 항공 부품 제작>, 항공우주시스템공학회 2016년도 춘계학술대회 논문집 142-209
- [3] 송영근&, 고덕진, 김호림 (2017). 3D프린팅 기술 동향 및 국방분야 적용을 위한 제언. 한국방위산업진흥회 학술지 7월호
- [4] 김연태, 오돈석, 유주희, 윤천석, & 이창영. (2017). 3D 프린팅 기술을 적용한 탄약 발전방향 연구. 국방과 기술 , (458), 136-145.
- [5] 김태운, 김장환, 박찬석, 차무현, 심철용, 명세현, & 문두환. (2017). 3D프린팅 기술을 활용한 부품 유지보수를 위한 분류체계 데이터 구조의 개발. 한국 CDE 학회 논문집, 22(4), 425-434.
- [6] 박주경, 양용모, 김수삼, 전용규. (2018.) 국방개혁 변화를 선도하는 군수개혁 추진 - 4차 산업혁명 핵심기술 군 적용으로 군수지원역량 확대 및 효율성 향상. 서울: 국방부.
- [7] 유승희, 허장완, & 이홍룡. (2019). 3D 프린팅 수리부품의 작전현장 적용을 위한 방안. 항공우주시스템공학회지 , 13 (1), 54-61.
- [8] 백성욱, 임형웅, & 양호진. (2019). 3D 프린팅 활성화를 위한 국방정책 패러다임 전환. 국방과 기술 , (483),140-149.

- [9] 천중웅(2019). 다 기준 의사결정 방법을 활용한 무기체계 진화적 작전운용성능(ROC) 평가지표 연구
- [10] 강창호, 변유성. (2019). 지능형 적층가공의 이해 및 군 적용확대 방안. 육군 교육사령부 군수지 제45호
- [11] 홍록지, 이형로, 이은아. (2019). 3D프린팅의 국방분야 적용. 한국국방연구원. 국방논단 제 1765호
- [12] 유승희, 허장완, 이홍룡.(2019). 3D프린팅 수리부품의 작전현장 적용을 위한 방안. 항공우주시스템공학회 학술지 54-61
- [13] 허진영(2021). SWOT 분석을 이용한 3D프린터 군 적용방안 연구 : 육군 수리부속지원체계 중심으로
- [14] 한국국방연구원(2021). 2021 육군 무기체계 운영유지비 분석 연구, 107
- [15] 한국국방연구원(2021). 2021 총수명주기관리 개념을 적용한 부품관리정책 연구, 57
- [16] 김주희. (2021). 3D 프린터로 제작된 소총 소음기 성능평가 방법. 대한기계학회 춘추학술대회, 235-235.
- [17] 유국남, 장민희, 이재민, 박규철, & 김동성. (2022). 상용품 적용 및 3D프린팅을 통한 군용장비 수리부속 설계 및 구현. 한국통신학회 학술대회논문집 , 517-518.
- [18] 최병훈, 윤정원(2022). 3D프린팅 기술 소재와 군 활용시 기대효과. 국방과학기술.(517).128-139

- [19] 정인영, 김병재, 정의진, 김용흡(2023). 무기체계 3D프린팅 제작부품 확대 적용방안. 국방과학기술.(532). 96-105
- [20] 한국생산기술연구원(2022). 3D프린팅 제조혁신센터 소개
- [21] 한국생산기술연구원(2022). 3D프린팅 기술동향 및 발전추세
- [22] 한국생산기술연구원(2022). Additive Manufacturing, 적층제조 기술
- [23] 한국생산기술연구원(2023). 적층제조 기술동향 보고서
- [24] 국방기술품질원 성능개량연구실(2023). 국방분야 적층제조(3D프린팅) 제작품목의 부품관리 업무 수행방안
- [25] 국방부 장비관리과(2023). 국방 부품관리정책 추진계획
- [26] 국방부 전력정책과(2023). 제17차 방위사업협의회 안건
- [27] 국방부 장비관리과(2022) '22년 국방 3D프린팅 업무 추진결과 및 '23년 시행계획