

폐 플라스틱의 친환경 업사이클링을 위한 3D프린터 기술개발

3D Printer Technology for Eco-Friendly Upcycling using Waste Plastic

이일형(IL-hyung Lee)*, 정호석(Ho-seok Chung)**, 조성진(Seong-jin Cho)***1)

목 차

- | | |
|----------------------|-----------|
| I. 서설 | IV. 시장 전망 |
| II. 폐플라스틱 산업동향 | V. 결론 |
| III. 플라스틱 재활용과 3D프린팅 | |

논문 요약

현재 3D프린터의 원료는 대부분 필라멘트를 사용하고 있는데 가격이 고가인 점과 제작 시간의 문제점으로 3D프린팅 하는데 많은 제약이 따르고 있다. 또한, 원료를 재생 및 재활용하는 3D프린터는 현재까지는 없다. 특히 대형 출력물은 많은 원료가 투입되어야 하기 때문에 제조단가가 상승하고, 그에 따른 3D프린터의 보급과 서비스 확장에도 한계가 있다. 본 연구에서는 현재 재활용되고 있는 플라스틱 소재를 재활용할 수 있는 3D프린터 시스템의 기술개발과 응용서비스를 분석하였다.

Keyword : 폐플라스틱, 3D프린터, 재활용, 필라멘트, 팰릿, 업사이클링

* 한국과학기술정보연구원 책임연구원, ihlee@kisti.re.kr, 02-3299-6013

** 인포베이스 대표, hoseok.chung@gmail.com, 02-539-0547

*** 이조(주) 대표, 3dleejo@naver.com, 055-259-5463

I. 서론

1. 3D프린팅 개요

3D 프린터란 설계 데이터에 따라 액체 또는 파우더 형태의 폴리머, 금속 등의 재료를 가공해 적층 방식(Layer-by-layer)으로 쌓아올려 3차원으로 입체물을 제조하는 장비를 말한다. 지금까지는 재료를 기계나 레이저를 이용하여 자르거나 깎는 절삭가공 방식으로 입체물을 제조하는 절삭가공(Subtractive Manufacturing) 방식이나, 3D 프린팅은 새로운 층을 켜켜이 쌓아 만드는 적층가공(Additive Manufacturing) 방식이다.¹⁾

이 적층가공(Additive Manufacturing)은 2009년 ASTM이 기존의 rapid prototyping(쾌속 조형)을 보완 확장하는 개념으로 정립하였으며, “가공을 통해 원소재에서 제거하는 방식(Subtractive Manufacturing)과는 대조적으로, 3차원 모델 데이터로부터 제품을 한 층 한 층(Layer-by-layer) 쌓아가는 방식으로 제조하는 공정 기술”로 정의하였다.

3D프린팅은 모델링, 프린팅, 후처리, 소재 등의 분야에서 아래와 같은 핵심 요소 기술이 있다.²⁾

- ① 모델링 공정은 CAD 등의 컴퓨터 그래픽 설계 프로그램을 이용해 물체의 모양을 3차원으로 구성하는 단계로, 물체를 스캔하거나 디자인하여 데이터로 변환하는 기술이 필요하다.
- ② 프린팅 공정은 디지털화된 파일을 불러들여 무수히 많은 얇은 층으로 데이터를 분석하고 조형을 하는 단계로, 해상도 및 제조시간 등을 개선시키기 위해 필요한 기술이다. 원료를 데이터 분석에 따른 위치에 맞게 분사하고, 이를 경화시키기 위해 필요한 에너지원을 제어하는 난이도 높은 기술을 필요로 한다.
- ③ 후처리 공정은 표면의 불순물을 제거하거나 매끄럽게 하는 과정으로 코팅, 페인팅 과정을 거쳐 결과물로 완성되며, 최근 프린터에 후처리 공정을 일체화시킨 기술이 개발되고 있다.
- ④ 소재 분야는 프린팅 공정에서 사용되는 기술의 방식과 수요산업에서 필요로 하는 제품에 맞추어 개발이 필요하다.

3D 프린팅 소재 기술은 3D 프린팅 원료를 출력 가능한 형태로 가공하여 공정성 및 흐름성을 부여하고, 3차원 형상물 제조 공정 중 상변화가 용이하거나 고른 분산

1) 광기호(2014), 자동차 경제, 한국자동차산업연구소.

2) 「3D프린팅 기술 현황- 소재산업을 중심으로」, 산업은행.

성을 유지하여 강한 층간결합력 및 높은 해상도를 달성할 수 있도록 하는 소재 화학, 소재 가공, 프린팅 공정 기술이다.

3D 프린팅 산업은 다양한 산업분야에 적용되면서 적용제품의 특성에 따라 요구되는 소재들이 매우 다양하다. 따라서 사용되는 소재들은 최종제품의 특성에 지대한 영향을 주기 때문에 3D 프린팅 산업에서 소재의 역할은 매우 중요하다. 3)

특히, 3D 프린터 장비를 제조하는 업체에서는 자체적으로 개발한 소재를 공급하여 매출의 약 25~30%를 창출하는 산업구조를 형성하고 있어, 장비와 소재의 동시개발이 필수적인 상황이다.4)

2. 3D프린팅 소재

현재 사용하고 있는 주요 고분자 소재는 PLA, ABS, Nylon, Urethane, PLA/ABS Alloy, PC, PEI 그리고, UV Resin과 Photo-polymer 등이 있다. 이와 같은 폴리머 소재들은 강도가 약하고, 냄새가 나는 등의 문제점이 있다. 강도 개선을 위해 유리 섬유, 탄소섬유, 그래핀 등을 함침한 소재의 개발이 진행되고 있다.5)

현재 사용하는 3D 프린팅 소재는 제한적으로 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 3D 프린팅 주요 소재

소재 형태	3D 프린팅 소재	비고
Thermoplasti c	PLA	국내서 FDM용으로 가장 많이 사용하는 재료. 용융시 프린터를 끈적끈적하게 하여 작업하기 어렵고, 자연 분해되는 친환경 소재이나 재순환이 어려운 소재, 흡습이 높아 재료보관 주의
	ABS	세계적으로 가장 많이 사용하는 소재, 용융시 냄새 문제 큼.
	PVA, HIPS	출력 후 물과 Oil에 녹여내는 supporter로 주로 사용됨
	Polycarbonate, Nylon, Polyphenylsulfone ULTEM, PEEK와PAEK 등의 엔지니어링 플라스틱	열변형온도(HDT)가 100~150℃인 기능성 고분자로 열수축 주의 필요 열변형온도 150℃이상인 고강도 엔지니어링 재료. Utem 상용화
Powder	Polyamide	Nylon 12가 많이 사용되는 소재
	Alumide	회색의 aluminum powder와 polyamide의 blend
	Multi-color	미세 그래놀 분말로 제조
Resin(액체)	고정밀 UV 레진	Photo-polymer 액체

3) 인사이터스(2017), "3D 프린팅 소재 관련, 3가지 비즈니스 기회", (2017.04.03)

4) 「3D프린팅 기술 현황- 소재산업을 중심으로」, 산업은행

5) 남두현·조혜영·이수복·하종욱(2014), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, KEIT PD Issue Report

	페인트형 레진	매끈한 표면과 미관 형성
	투명레진	경화 가능한 액체 (광경화 아님)
금속	Titanium	경량 & 최고 강도 3DP 소재, 분말을 레이저로 소결시킴
	Stainless steel	동 함침 분말, 가장 저렴한 금속, 고강도
	동(Bronze)	분말
	Brass, Silver, Gold	
세라믹	유리, 알루미나, 실리카 분말 등	열저항성, 재순환 가능, 음식물 안전

출처 : 남두현·조혜영·이수복·하종욱(2014), 「3D 프린팅 고분자 소재의 현황과 연구방향」, KEIT PD Issue Report

현재 3D 프린팅 산업의 플레이어들은 장비 기술을 보유한 업체들이 소재기술도 동시에 보유하고 있는 형태가 대부분이다. 또한 플라스틱 재질의 고분자 소재들이 대부분을 구성하고 있으며 고난이도 기술이 요구되는 금속이나 세라믹 소재 등을 보유한 장비업체들은 최근에 많이 개발되고 있다.

그리고, 3D 프린팅에 대해 조형속도, 표면 해상도, 그리고, 광경화성 수지, 레이저 소결 수지, ABS 필라멘트 및 금속소재 일부만 활용가능하고 가공재료의 한계가 존재하고 있다.

이와 같은 3D프린팅용 소재 중에서 범용성으로 사용할 수 있는 소재가 많지 않기 때문에 본 고에서는 폐플라스틱을 재활용한 3D프린팅 기술에 대해 분석하고자 한다.

II. 폐플라스틱 산업동향

1. 폐플라스틱과 재활용

우리 생활에 널리 쓰이는 여러 가지 자원 중 플라스틱은 자동차, 각종 용기, 전기 및전자 제품, 포장재, 건축 등 산업계 거의 전 분야에 사용되는 유용한 소재이다.

플라스틱의 높은 활용도와 편리성 측면에서 플라스틱을 대체할 수 있는 신소재가 개발되지 않는 한 플라스틱의 재활용에 대한 문제에 대해서 중요하게 생각하지 않을 수 없다. 플라스틱의 경우 소각 시 다이옥신이 발생하고, 매립 시 토양오염이 발생하여 이것이 사회문제가 되는 등 폐플라스틱 처리 방법이 공해와 자연환경 오염의 관점에서 문제가 되었다.⁶⁾

6) 송수근(2016), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, Konetic Report, 한국환경산업기술

플라스틱은 필름, 음료수병, 섬유 등의 다양한 분야에서 그 활용도가 높다. 플라스틱의 성형가공이 천연물 금속이나 타 소재에 비하여 우위인 점은 다음과 같은 것이 언급된다.⁷⁾

- ① 제품설계·금형설계에 있어서 형상작업이 자유롭다.
- ② 접착·용접 등 2차 가공 작업이 용이하다.
- ③ 이상과 같은 결과로 부품의 모듈화가 용이한 것.
- ④ 저렴한 가격으로 안정된 제품의 대량생산이 가능한 것.
- ⑤ 금속과 비교하여 가공 온도가 낮고, 성형 때 에너지가 적은 것.
- ⑥ 성형가공에서 경량화가 용이한 것.

이로 인해 많은 양이 광범위하게 이용되고 있는데, 이에 반해 폐플라스틱의 재이용을 위한 회수율은 세계적으로 약 25% 수준에 머무르고 있다. 나머지 미회수 자원은 소각이나 매립 등의 방법으로 처리되고 있어서 환경오염을 유발할 뿐만 아니라 활용 가능한 자원의 최종 폐기에 의한 경제적 손실도 큰 것으로 분석되고 있다.⁸⁾

플라스틱의 사용과 관련하여, 미국, 일본, 독일 등의 선진국들은 경쟁력이 높은 신규 전략 산업의 육성을 목표로, 대량으로 발생하는 플라스틱 폐자원으로부터 재생 가능한 화학원료를 제조하고 이를 바탕으로 고부가가치의 응용 제품군을 개발하기 위해 많은 투자를 하고 있다.⁹⁾

폐플라스틱은 연간 약 1천만 톤 소진되고 절반가량이 일반폐기물(가정 및 소규모 사업장 유래), 나머지 절반이 산업 폐기물이다. 오염자 부담의 원칙에 따라 일반폐기물은 지방 자치단체가 처리하고, 산업 폐기물은 배출 기업이 자사 처리 또는 폐기물 업체에 위탁하여 처리하고 있다. 특히, 가전제품, 자동차, 용기 포장 등의 공장 폐기물과 유통, 소비에 발생하는 폐기물 중 플라스틱의 종류 및 자원화가 미흡하며 제품에서 그들의 함유율은 원천에 따라 크게 다르다.

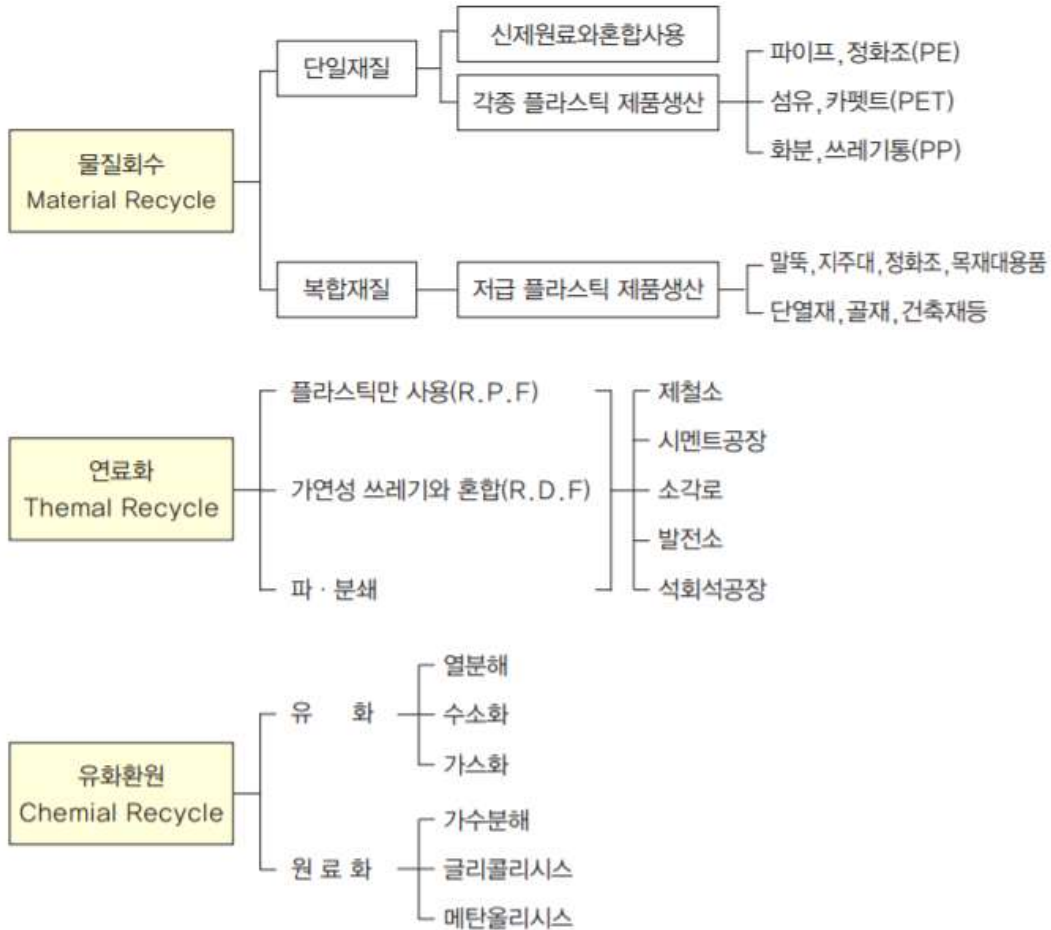
현재는 대량생산·대량소비·대량폐기형 경제 사회에서 자원의 소비를 억제하고 환경에 대한 부하가 적은 순환형 사회로 방향전환이 요구되고 있지만 미래 고갈될 화석 자원의 존명 및 플라스틱 제품의 원가 절감을 위해서도 재활용의 중요성이 증가하고 있어 지속 가능한 경제 성장이라는 면에서도 자원을 효율적으로 이용하는 재활용 추진의 필요성은 점점 증가하고 있다.¹⁰⁾

플라스틱은 자동차, 가전, OA기기에서 일상용품에 이르기까지 다양한 용도에 필수 불가결한 재료로써 대량으로 사용되고 있는데 이 재활용의 의의를 나열해 보면

원
 7) 플라스틱코리아(2014), "플라스틱의 지속 가능한 발전을 모색하다<4>", (2014.08.26.).
 8) 송수근(2016), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, Konetic Report, 한국환경산업기술원
 9) 송수근(2016), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, Konetic Report, 한국환경산업기술원
 10) 플라스틱코리아(2014), "플라스틱의 지속 가능한 발전을 모색하다<4>", (2014.08.26.).

① 자원·에너지 절약, ② 환경부하 저감, ③ 폐기물 감축, ④ 경제적 효과, ⑤ 지역 특성/산업 육성 효과 등 5가지로 정리된다.¹¹⁾

폐플라스틱에서 파생되는 대표적인 자원화 제품은 재생 수지와 연료이다. 시장 가치가 높은 제품으로 변환할 수 있는 성분이 다량으로 포함되어 있는 경우, 자원화를 실시한다. 각종 플라스틱이 혼합 폐기물의 경우, 혼합 폐플라스틱에서 얻을 수 있는 재생 수지는 강도 등에 문제가 있어 성형품 제조업체에 받아들여지지 않는다.



출처 : 「플라스틱 재활용」, 한국플라스틱포장용기협회

(그림 1) 플라스틱 리사이클 방법

폐플라스틱을 재활용하는 방법으로는 일반적으로 ① 물질회수(Meterial recycle), ② 연료화(Themal Recycle), ③ 유화환원(Chemical Recycle) 등이 있다. 폐플라스틱 재활용은 최초 단계에서 재질의 단일화 여부, 이물질 혼입의 정도 등이 매우 중요하며 산업계 폐플라스틱과 일반생활계 폐플라스틱의 성상에 따라 재활용법이 선택된다.¹²⁾

11) 플라스틱코리아(2014). "플라스틱의 지속 가능한 발전을 모색하다<4>", (2014.08.26.).

12) 「플라스틱 재활용」, 한국플라스틱포장용기협회

2. 국내 폐플라스틱 재활용 현황

우리나라에서 일반적인 폐플라스틱 재활용 기술은 제품생산공정에서 발생하는 격외품이나 성형불량품, 잉여제품 등 비교적 이물질이 혼합되지 않은 폐플라스틱이 매물(賣物)로 유통되어 전문 재생업체가 재생압출기로 Pellet화 한 것과 생활에서 발생되어 수집된 비료포대, 농업용 필름, 용기 일부가 세척과정을 거쳐 재생 Pellet로 생산된다. 재질 선별이 어렵고 비교적 양호한 상태의 PE계 플라스틱은 열로 녹여 일명 떡(떡 판매에 올려놓은 인절미 떡의 반제품 같은 모양)을 만들어 압축 성형하여 대형통, 정화조, 배수로 등을 만드는 기술로 대별할 수 있다. 주요 제품 등의 재활용 실태는 다음과 같다.¹³⁾

- ① 플라스틱 용기 재활용(일명 물랭이 재활용) : 대부분 PE 계열의 세제류, 식음료 등에 사용된 용기들은 선별장에서 재질별 분리 작업을 거쳐 분쇄, 세척, 건조 Pellet화 되어 재생원료로 유통된다.
- ② 기타 생활용 플라스틱 재활용(일명 딱딱 재활용) : PP 재질로 된 바가지, 쓰레기통, 세숫대야 등과 PS나 ABS 재질로 된 가전품케이스, 청소기 부품 등은 일명 딱딱이라고 한다. 별도로 선별장에서 분리작업 후 분쇄, 세척, 건조 과정을 거친후 Pellet화되어 재생원료로 유통된다.
- ③ 농촌의 폐비닐 재활용 : 한국환경자원공사가 농어촌의 폐비닐을 수집하여 대부분의 PE 재질은 매각 처리하고 멀칭용 HDPE 필름은 분쇄·세척·건조·Pellet 공정으로 재생원료화 한다.
- ④ 스티로폼 재활용 : 가전제품의 완충제나 어상자, 농산물상자 등 발포 폴리스티렌(EPS)은 지방자치단체가 수집하여 보유하고 있는 감용기로 잉고트화하여 매각한다. 잉고트된 PS수지는 재생사업자가 Pellet화하여 사진액자틀, 건축자재 등을 만드는데 사용한다.
- ⑤ PET 병 재활용 : PET 병이 예치금 대상품목으로 지정되자 삼양사 등 PET병 재생업체가 등장하게 되었으며 현재는 EPR 대상으로 전환 되었으며 Pellet으로 만들지 않고 후레이크 상태로 유통된 후 섬유 공장에서 각종 섬유를 생산하거나 수출된다.
- ⑥ 프레스를 이용한 압축성형 : 비교적 상태가 양호한 폴리올레핀 계통의 폐플라스틱은 정화조, 물통, 농약 통, 대야, 농수로, 지주목, 경제목 수도계량기 뚜껑 등 다양한 제품으로 생산된다.

3. PET용기 재활용 현황

13) 「플라스틱 재활용」, 한국플라스틱포장용기협회

플라스틱 중 PET용기는 1976년 미국에서 처음 개발하여 시판된 이래, 종래의 유리병 등 식/음료 용기의 대체용기로서 단기간에 전 세계적으로 선풍적인 인기를 모으며 성장하였다. 국내에서는 1979년 식용유 용기로서 처음 소개된 이후, 1980년대 경제발전과 더불어 음료 소비의 비약적인 증가에 힘입어 매년 큰 폭의 신장세를 유지하여 현재는 우리 생활 주변 어디에서나 접할 수 있으며, 없어서는 안 될 중요한 용기로 자리 매김 하고 있다.¹⁴⁾

최근 PET용기의 수요는 생활수준의 향상에 따른 소비문화의 변화 및 사회적 간편화 추세에 따라 기호음료 및 건강음료 등의 확산으로 늘어나고 있다. 한편 먹는 샘물 시장이 확대되면서 식음료 포장용기로서의 재질, 용량, 디자인 및 소비자의 다양한 요구 등의 빠른 속도로 변화됨에 따라, 이러한 소비추세에 부응하여 PET용기 시장은 대폭 성장하였다.¹⁵⁾

그러나, 페트병이 기후변화만큼이나 심각한 환경 위기를 야기할 수 있다는 분석이 나와 전 세계가 긴장하고 있다. 페트병은 가볍고 투명한 플라스틱 재질로 만들어졌는데요, 생수, 청량음료, 간장 등 조미료의 용기로 널리 사용하고 있다.¹⁶⁾

시장조사업체 유로모니터 인터내셔널은 최신 보고서를 통해 매초마다 2만 개의 페트병이 전 세계에서 생산되는데, 이 숫자가 2021년이면 더 증가해 심각한 환경위기가 발생할 것이라고 전망했다.¹⁷⁾

PET병의 수요가 성장하고 있는 것은 다음과 같은 PET용기의 여러가지 장점에 기인한 것으로 사료된다.¹⁸⁾

- ① 유리와 비교해서 93%의 무게절감 때문에 이동 및 보관 등 일상생활에 사용하기 편리함
- ② 2.5m의 추락높이까지의 파괴저항성을 가짐
- ③ 위생상 무해하여 인체에 해로움이 없음(식품접촉에 의해서 공인됨)
- ④ 산소와 이산화탄소에 대한 높은 차단성질
- ⑤ 훌륭한 투명성과 광택
- ⑥ 매우 높은 기계적인 성질들
- ⑦ 쇼크-저항성과 견고함¹⁹⁾

14) 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).

15) 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).

16) 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).

17) 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).

18) 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).

19) 자유아시아방송(2017), "차고 넘치는 페트병, 한반도도 예외 아냐", (2017.07.13.).

- ⑧ 매우 좋은 화학적인 저항성
- ⑨ 용기 사용 후 재활용이 가능함(분리수거 1호 품목이며, 눈에 잘 띄는 제품으로
분별수집이 용이함)

2016년 전 세계에서 팔린 페트병 음료병은 4천 8백 60억 개이며, 이는 10년 전의 3천억 개에 비해 50%이상 증가한 수치이다. 특히, 2015년 중국의 생수 소비량은 684억병에서 2016년 738억병으로 1년 만에 무려 54억병이 증가하였다.²⁰⁾

PET병은 그 재질이 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)로 재활용이 가능하다. 하지만 2016년에 재활용된 것은 전 세계적으로 전체 생산량의 3.5% 미만이다. 나머지는 쓰레기장에 매립되거나, 바다에 그대로 버려지고 있다. 쓰레기장에 매립되는 경우, 플라스틱이라 분해되긴 하지만 수백 년이 소요된다.

4. 폐플라스틱 재활용 필요성

이와 같이 재생 수지화된 플라스틱은 싼 일용 잡화 및 산업 자재로 활용되며, 섬유로 침구에 제품화되고 있다. 또한 폐플라스틱을 나무와 종이와 혼합하여 고품화한, RPF 라는 석탄 대체 연료로 주로 제지 공장의 열원으로, 석탄 보일러에서 이용되고 있다. 기타, 일반 화학 재활용이라는 열분해에 의한 자원화가 이루어지고 있다. 이것은 제철소의 코크스와 고로에서 석탄 대체 이용, 합성 가스의 제조, 유화하여 석유 대체 연료로 이용되고 있다.

따라서 이미 제조되고 있는 폐플라스틱 자원화 제품의 품질을 향상시키는 기술에 의해 시장 가치를 높일 필요가 있다.

III. 플라스틱 재활용과 3D프린팅

1. 자원순환 정책 동향

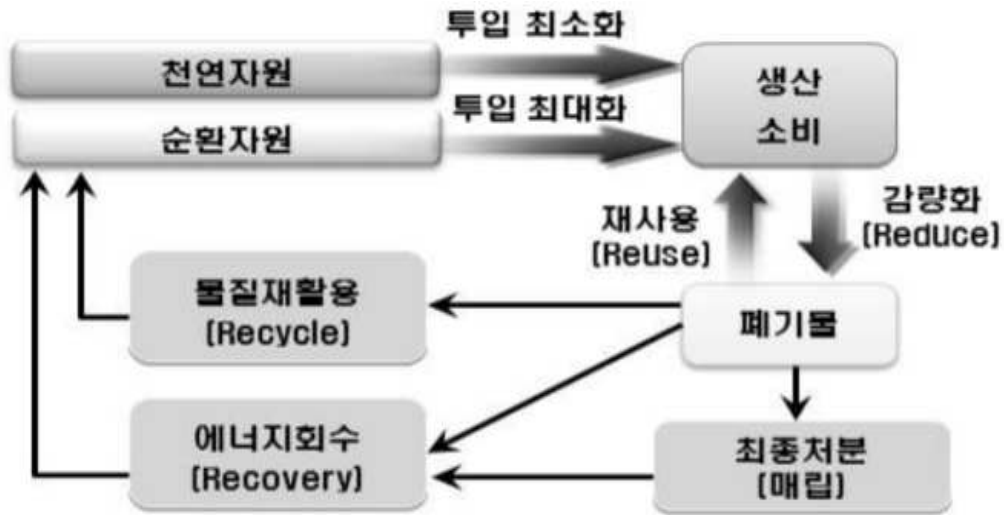
자원고갈, 온실가스로 인한 기후변화가 지구환경 위협 요인으로 등장하면서 자원순환형 사회 정착의 필요성 부각되면서 에너지와 자원문제 해결이 국가경제 미래를 결정하는 주요변수가 되고 있다. OECD, 독일, 일본 등은 자원 및 에너지를 확보하기 위한 수단으로 자원순환정책을 적극 추진하고 있다.²¹⁾

정부의 폐기물 관리정책은 시대적 상황 변화에 따라 안전처리(~'80년대)→ 재활

20) 자유아시아방송(2017), "차고 넘치는 페트병, 한반도도 예외 아냐". (2017.07.13.).

21) 관계부처 합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015).

용('90년대~'00년초) → 자원순환('00년 중반~)으로 발전하였다.²²⁾ 2000년대에 들어와 정부의 재활용정책은 자원순환정책으로서 보다 넓은 범위의 수단을 포괄하게 되었으며 이에 따라 단순히 재활용을 촉진하기 위한 정책으로부터 감량화와 자원사용 효율을 향상시키기 위한 정책으로까지 그 범위가 많이 넓어졌다. 따라서 현재의 재활용 관련 정책은 (그림 2)에서 보듯이 자원투입단계에 대한 개입부터 소비 후 재활용에 이르기까지 생산자와 소비자의 활동에 영향을 주고자 하는 모든 정책을 포괄하는 개념이 되었다.



출처 : 관계부처합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015)

(그림 2) 자원순환 개념도

자원순환은 폐기물 발생을 억제, 발생된 폐기물을 적정하게 재활용, 회수, 처리하는 등 자원의 순환과정을 환경친화적으로 관리하는 것이다. “폐기물=자원” 인식하에 인간의 활동에 필요한 자원(에너지 포함)을 소비 후 경제활동 싸이클에 재투입하는 것으로, 폐기되는 자원을 최소화하여 원자원(raw material)의 고갈시기를 늦추고, 폐기물로 인한 환경부하를 감소시키는 것이다.²³⁾

자원순환사회는 자원채취, 생산, 유통, 소비, 폐기 등 사회경제활동의 전 단계에서 자원을 순환적으로 이용하고 천연자원 소비를 줄이며 폐기물로 인한 환경부하를 가능한 한 줄이는 사회이다.²⁴⁾

이러한 정책환경에서 폐플라스틱은 파쇄한 후에 용융 압출한 후에 펠릿 형태로 커팅하여 폐플라스틱의 재활용 재료를 생산하고, 이렇게 생산된 폐플라스틱의 재활용 재료를 이용하여 재활용 플라스틱을 재생하고 있다.

22) 관계부처 합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015).

23) 관계부처 합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015)

24) 관계부처 합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015).

한편, 3D 프린터의 재료는 상술한 것과 같이 필라멘트라고 불리는 얇은 플라스틱 실을 이용하며, 필라멘트를 녹여 아래에서부터 위로 층층히 쌓아가는 방식으로 구현되게 된다.

이러한 필라멘트는 제조 회사별로 자체개발한 제품을 출시하여 상용화하고 있으며, 재료에 따른 그 품질이 상이하여 개별온도 조절을 해야 하는 등 매우 적용이 까다롭다.

특히, 우리나라의 경우에는 대부분 필라멘트 원료를 외산 3D프린터 도입과 함께 외국에서 수입하고 있는 실정으로, 저가의 필라멘트를 쉽게 구현할 수 있는 필요성이 커지고 있다.

2. 폐플라스틱과 3D프린터

인도 Protoprint라는 사회적 기업은 폐플라스틱으로 3D 프린터 필라멘트를 생산하는 저비용 기술을 제공하고 있으나, 이는 3D프린터와 일관된 공정을 제공하는 것은 아니다.

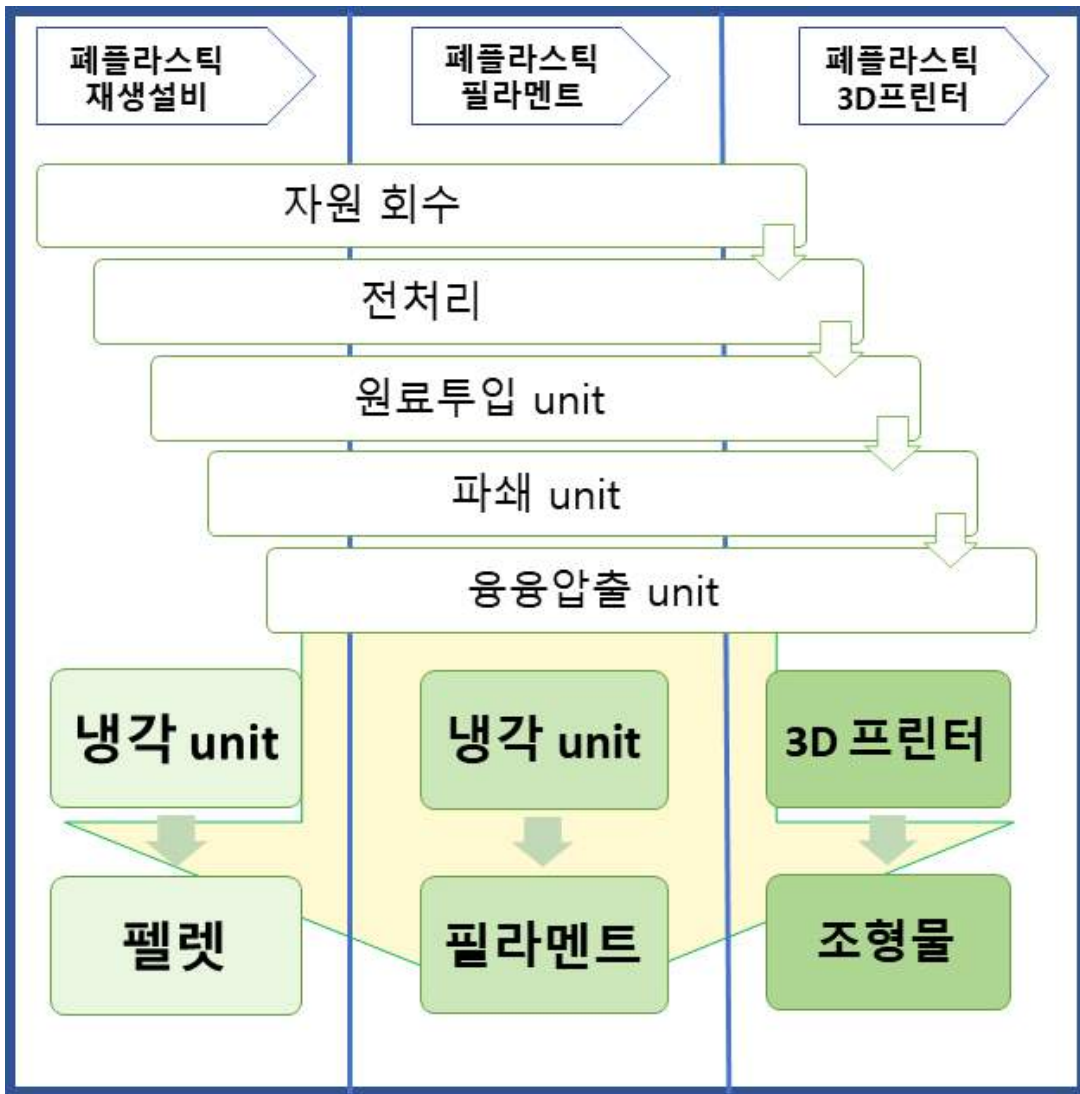
그리고, 코카콜라와 래퍼 윌아이엠(will.i.am)이 함께 론칭한 ‘에코사이클(Ekocycle)’은 생각지 못한 재료로 새로운 가치를 창출하는 세상을 실현하는 하나의 플랫폼을 지향한다. ‘에코사이클(Ekocycle)’은 친환경적이면서도 스타일리시한 에코 패션인 캡슐 컬렉션으로, 코카콜라 병에서 실을 뽑아 리사이클 캔버스 소재를 만들어 각 캡슐 컬렉션 제품을 제작하고 있다. 이 ‘에코사이클(Ekocycle)’의 일환으로 3D Systems는 EKOCYCLE Cube 3D 프린터를 2015년에 출시하였으며, 동 제품은 재활용된 플라스틱을 인쇄용 필라멘트로 사용하는 제품이다. 동 제품은 최소 적층피치도 70µm로 최대 6 인치 입방체 크기의 자료를 출력할 수 있다.



출처 : www. engadget.com

(그림 3) 3D Systems사의 EKOCYCLE Cube 제품 사진

이에 3D 프린터 원료인 필라멘트를 폐플라스틱을 용융하여 제조할 수 있도록 파쇄장치와 세척기능을 구비한 구조의 재생 필라멘트 제조장치를 3D 프린터와 일체화하여 구현함으로써, 저렴한 필라멘트를 제조 공급할 수 있도록 하는 리사이클 장치를 제공할 수 있다.



(그림 4) 폐플라스틱을 이용한 3D프린터

상기 (그림 4)와 같은 폐플라스틱 일체형 친환경 3D프린터는 아직 상용화단계는 아니기 때문에 해결해야할 다양한 기술적인 요소를 가지고 있다.

그렇지만, 폐플라스틱을 용융하여 3D 프린터에 적용되는 원료인 필라멘트로 공급 하므로써 저렴한 원료를 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 자원순환정책에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 시장 전망

1. 글로벌 플라스틱 및 PET용기 시장 전망²⁵⁾

아일랜드 더블린 소재 시장조사기관 리서치&마켓社가 최근 공개한 ‘글로벌 플라스틱 병/용기 시장: 2014~2020년 지역별·업체별 마켓 트렌드 및 전망’ 보고서에 따르면, 2014년 플라스틱 용기분야 글로벌 시장규모는 총 2,731억5,000만 달러 규모에서 연평균 6%의 고성장을 기록하면서 오는 2020년에는 3,883억5,000만 달러 규모로 확대될 것이라고 전망했다.

동 보고서에서 생산량 기준으로, 2014년 총 50.1메가미터톤(MMT: 1메가미터톤=100만톤)규모에 달했던 것이 2020년에는 67.9메가미터톤 규모로 확대되어 연평균 5.2%의 성장세를 나타낼 것으로 전망했다. 이는 포장재 용도로 헬스케어 업계 및 음용수(bottled water) 업계와 같은 최종소비자 업종들의 플라스틱 사용량이 갈수록 증가하고 있는 것으로 분석했다.

동 보고서에서 분야별로 차지하는 비중을 보면 식품 음료업계가 40~45%를 차지하고 있으며, 일용소비재(FMCG) 부문이 30%, 제약업계가 22%인 것으로 나타났다.

동 보고서에서는 탄소배출량이 줄어들고 인구가 확대되고 있는 추세에 힘입어 앞으로 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET) 용기 분야의 팽창속도에 가속도가 붙을 수 있을 것으로 내다봤다. 예를 들면 일찍이 유리를 주된 포장재로 사용해 왔던 화장품업계가 PET 용기로 대체하는 추세가 완만하지만 분명하게 눈에 띄고 있다는 것이다.

2. 국내 생수 시장 전망²⁶⁾

플라스틱 병/용기이 주요 사용처 중 하나인 생수 시장을 살펴보면, 닐슨코리아 조사에 따르면 국내 생수 시장은 2016년 7400억 원 규모로 전년보다 15.5% 성장했다. 또한, 생수 업계에 따르면 2020년에는 1조원대 시장이 될 것으로 보고 있다.

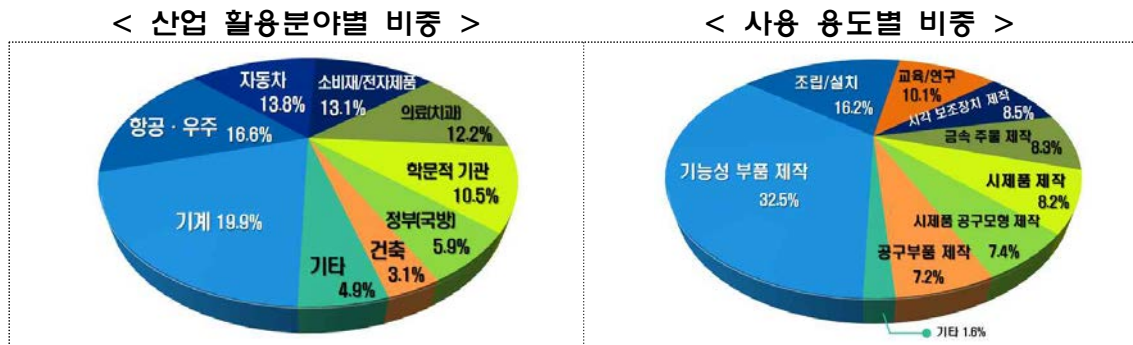
생수 시장 규모는 2010년까지 3000억 원 대였으나 2012년에 5016억 원으로 5000억 원을 돌파했다. 이후 2014년 6040억 원, 2015년 6408억, 2016년 7403억 원으로 가파르게 성장하고 있다. 연 매출 5000억 원을 처음 넘은 2012년과 비교하면 2016년 매출은 4년 만에 47.6% 증가했다. 이는 1인 가구가 구조적으로 늘어나고 있고 미세먼지 등 환경오염에 따라 건강에 대한 관심이 커진 점도 소비자들이 생수를 많이 사는 요인이다.

25) 플라스틱타임즈(2016)."플라스틱 용기시장, 향후 5년간 연평균 6%씩 성장", (2016.04.22.).

26) 데일리한국(2017)."생수 소비 급증세...2020년 1조원대 시장 전망", (2017.06.14.).

3. 국내외 3D프린팅 시장 전망

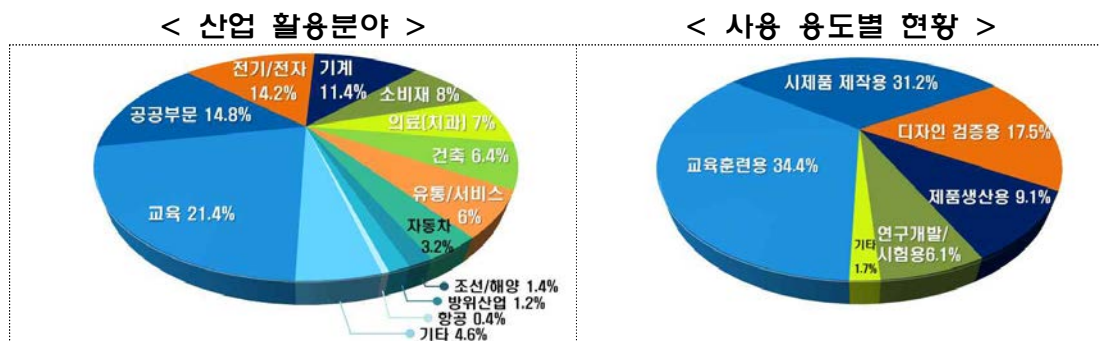
글로벌 3D프린팅이 산업별로는 기계(19.9%), 항공·우주(16.6%), 자동차(13.8%), 소비재(13.1%) 분야 등에서 주로 활용되고 있으며, 사용용도는 부품·시제품 등의 제작용도가 전 세계 매출의 50%이상 차지하고 있다.²⁷⁾



출처 : Wohlers Associates(2016)

(그림 5) 국내 3D프린팅 산업활용분야 및 용도

국내 3D프린팅이 산업별로는 주로 ▲ 교육(21.4%), ▲ 공공 부문(14.8%), ▲ 전기 전자(14.2%) 분야, ▲ 기계(11.4%) 분야에서 활용되고 있다. 용도별로는 ▲교육훈련용(34.4%), ▲시제품 제작용(31.2%) 등에서 활용되고 있다.²⁸⁾



출처 : 3D프린팅산업 실태조사(NIPA, 2015)

(그림 8) 국내 3D프린팅 산업활용분야 및 용도

국내외 3D프린팅 산업활용분야 및 용도에서 보듯이 현재 3D프린터는 시제품의 제작비용 및 시간 절감, 다품종 소량 생산, 제조공정 간소화 등 많은 장점을 보유하고 있다. 그러나, 시제품이 아닌 일반제품의 생산과 관련하여 긴 제조시간 및 고비

27) 관계부처 합동(2017), 「2017년 3D프린팅산업 진흥 시행계획」.

28) 관계부처 합동(2017), 「2017년 3D프린팅산업 진흥 시행계획」.

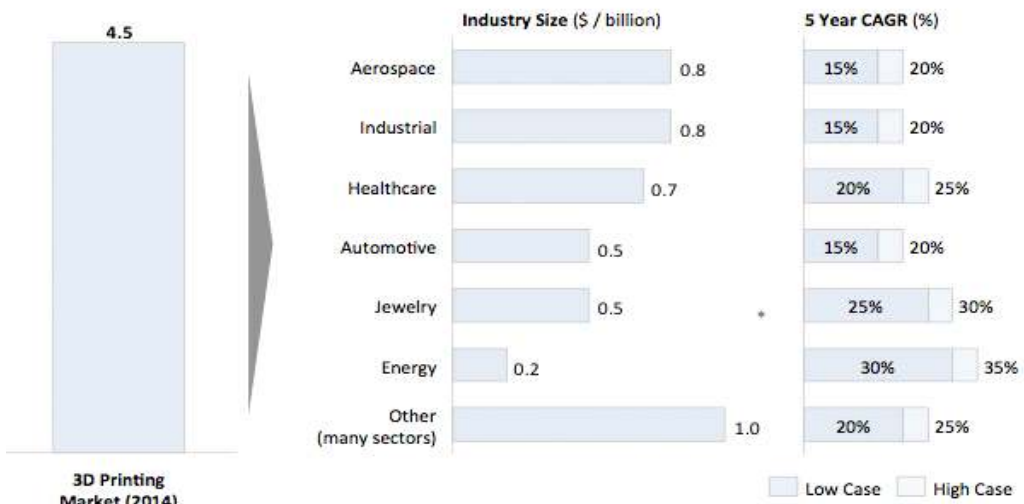
용 등의 한계로 일반제품의 대량생산을 대체하기는 어려울 것으로 보인다.²⁹⁾

한편, AT Kearney사의 "3D Printing : A Manufacturing Revolution" 보고서에 따르면, CAGR이 약 25 % 성장하면서 2020년까지 172억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다.



출처 : Consultancy.uk analysis, data from A.T.Kearney, Wohlers Report, Credit Suisse and Smart Tech Markets
(그림 9) Global 3D Printing Market(단위 : 십억 달러)

AT Kearney사의 "3D Printing : A Manufacturing Revolution" 보고서에 따르면, 보석 분야가 향후 15년 동안 30% ~ 35%, 에너지 분야가 25~30%의 CAGR로 성장할 것으로 전망하였다. 가장 느리게 성장하는 분야는 항공 우주, 자동차 및 산업 분야는 20~25% 증가할 전망이다.



출처 : Consultancy.uk analysis, data from A.T.Kearney, Wohlers Report, Credit Suisse and Smart Tech Markets
(그림 10) 산업분야별 Global 3D Printing Market(단위 : 십억 달러)

29) 관계부처 합동(2017), 「2017년 3D프린팅산업 진흥 시행계획」

국내 3D프린팅 시장은 2014년 1,815억 원에서 2015년 2,230억 원으로 증가하였고, 2019년까지 5,082억 원 규모로 성장(CAGR 22.9%)할 전망이다.³⁰⁾

〈표 4〉 3D프린팅 시장 규모 및 성장률(단위 : 억 원)

구분	'14	'15	'16	'17	'18	'19	CAGR(%)
국내	1,815	2,230	2,740	3,366	4,136	5,082	22.9%

출처 : 3D프린팅산업 실태조사(NIPA, 2015)

V. 결론

폐플라스틱은 종이, 유리, 금속 등 다른 폐기물과 비교하여 배출 원래 업종과 플라스틱의 용도에 대해 조성 및 성상의 차이가 크고, 자원 순환의 대상 확대 및 제품의 시장 가치의 향상으로 연결 기술 혁신이 필요하다. 또한 플라스틱의 처리 자원화에서 환경 부하의 저감과 사회 비용 사업비용 절감의 양립이 요구된다. 플라스틱 자원화율을 향상시키기 위해 혼합 폐플라스틱을 저렴한 비용으로 시장 가치가 높은 제품으로 자원화하는 것이 중요하다.³¹⁾

3D프린팅은 다품종 소량생산과 개인 맞춤형 제작이 용이한 산업으로, 규모의 경제와 저임 노동비 우위를 가진 전통적인 방식과 다른 형태의 생산/유통/소비 방식을 탄생시키고 있다.

3D프린팅을 통한 제조방식은 미리 재고를 확보해둘 필요 없이 맞춤형 주문생산이 가능하며, [생산 → 유통 → 소비]의 산업체계를 [소비 → 생산 → 유통]의 순서로 바꾸어 선주문, 후생산하는 방식으로 제조업을 확장시키고 있다.³²⁾

또한, 상술한 바와 같이 일반제품의 대량생산보다는 시제품, 교육용 등으로 많이 사용하기 때문에 3D프린터의 범용 소재에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

그리고, 3D프린팅은 기업에 파괴적 혁신을 가져다 줄 것으로 전망되며 이러한 파괴적 혁신은 ① 제조 프로세스의 효율성(Efficiency) 증대, ② 기업의 가치사슬 및 가치전달 네트워크의 변화로 나타날 것으로 예상된다. 또한, 세계 3D프린터 시장은 제품 관련된 직접적인 시장 외에도 △ 출력서비스, △ 저작물, △ 컨설팅 등을 포함하는 서비스 시장도 함께 지속적인 성장이 전망된다.

30) 관계부처 합동(2017), 「2017년 3D프린팅산업 진흥 시행계획」

31) 송수근(2016), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, Konetic Report, 한국환경산업기술원

32) 「3D프린팅 기술 현황- 소재산업을 중심으로」, 산업은행.

폐플라스틱을 활용한 3D프린터의 기술개발은 3D프린팅으로 인한 다양한 가치사슬과 가치전달 네트워크 이외에 자원순환체계에서 환경적, 경제적, 산업적으로 새로운 가치사슬을 제공할 것으로 분석된다.

참 고 문 헌

(1) 단행본(각종 정부간행물 및 연구보고서 포함)

- 관계부처 합동(2011), 제1차 자원순환기본계획(2011~2015).
- 관계부처 합동(2017), 「2017년 3D프린팅산업 진흥 시행계획」
- 곽기호(2014), 「자동차 경제」, 한국자동차산업연구소.
- 김상훈·심우중(2016), 「제조혁신과 소재산업」, 산업연구원
- 남두현·조혜영·이수복·하종욱(2014), 「3D 프린팅 고분자 소재의 현황과 연구방향」, KEIT PD Issue Report.
- 송수근(2016), 「폐플라스틱의 처리와 재활용을 위한 기술 동향」, Konetic Report, 한국환경산업기술원.
- 「플라스틱 재활용」, 한국플라스틱포장용기협회.
- 「폐플라스틱 재활용-PET 중심」, DICER(Digital Information Center for Environment Research).
- 「3D프린팅 기술 현황- 소재산업을 중심으로」, 산업은행.

(2) 신문 기사

- 중앙일보(2017), "페트병 사용 1초 당 2만 개 '플라스틱 공해, 기후변화보다 위험'", (2017.06.29.).
- 인사이터스(2017), "3D 프린팅 소재 관련, 3가지 비즈니스 기회", (2017.04.03.).
- 자유아시아방송(2017), "차고 넘치는 페트병, 한반도도 예외 아냐", (2017.07.13.).
- 데일리한국(2017), "생수 소비 급증세...2020년 1조원대 시장 전망", (2017.06.14.).
- 플라스틱타임즈(2016), "플라스틱 용기시장, 향후 5년간 연평균 6%씩 성장", (2016.04.22.)
- 플라스틱코리아(2014), "플라스틱의 지속 가능한 발전을 모색하다<4>", (2014.08.26)