



BT분야 전문가가 바라본 분야별 동향을 소개합니다.

BioINpro

BioIN + Professional

3D 바이오프린팅 기술



Food tech, 식품 3D 프린팅 기술



생명공학정책연구센터
Biotech Policy Research Center

Food tech, 식품 3D 프린팅 기술



김범근 / 한국식품연구원 책임연구원

1. 푸드테크산업

푸드테크는 식품과 기술의 융합 분야로서, 인류 먹거리 식품 관련 식재료인 농림 축산물의 생산과 공급, 식품 제조·가공·조리·유통·판매·배달·소비에 이르는 밸류체인(Farm to Fork) 전 분야에 IoT, AI, 3D 프린팅, BT, 로봇틱스 등 ICT 혁신 기술을 접목하여 산업의 새로운 지평을 열어가는 분야이다. 특히, 푸드테크는 2015년부터 각광을 받기 시작하여 스타트업에 대한 세계적인 투자가 급증하고 있다. 우리나라에서도 이러한 푸드테크에 대한 관심이 확대되어 지난 2022년 12월 농림축산식품부에서도 ‘푸드테크 산업 발전방안’을 발표하여 농식품산업의 혁신성장을 견인하고 우리 기업의 국제경쟁력을 확보하기 위한 유니콘 기업, 혁신기업을 육성하기로 하였다. 식품 3D 프린팅 기술은 푸드테크 10대 핵심기술 분야 중 하나로서 맞춤형 식품, 대체육 등으로 적용 범위를 확대하기 위해 식품 프린팅용 잉크 소재 개발, 물성 제어기술, 카트리지 표준화 등에 대한 관심이 증대되고 있는 기술이다. 본 원고에서는 식품 3D 프린팅의 기술·산업 동향, 향후 연구 방향 등에 대해서 논하고자 한다.

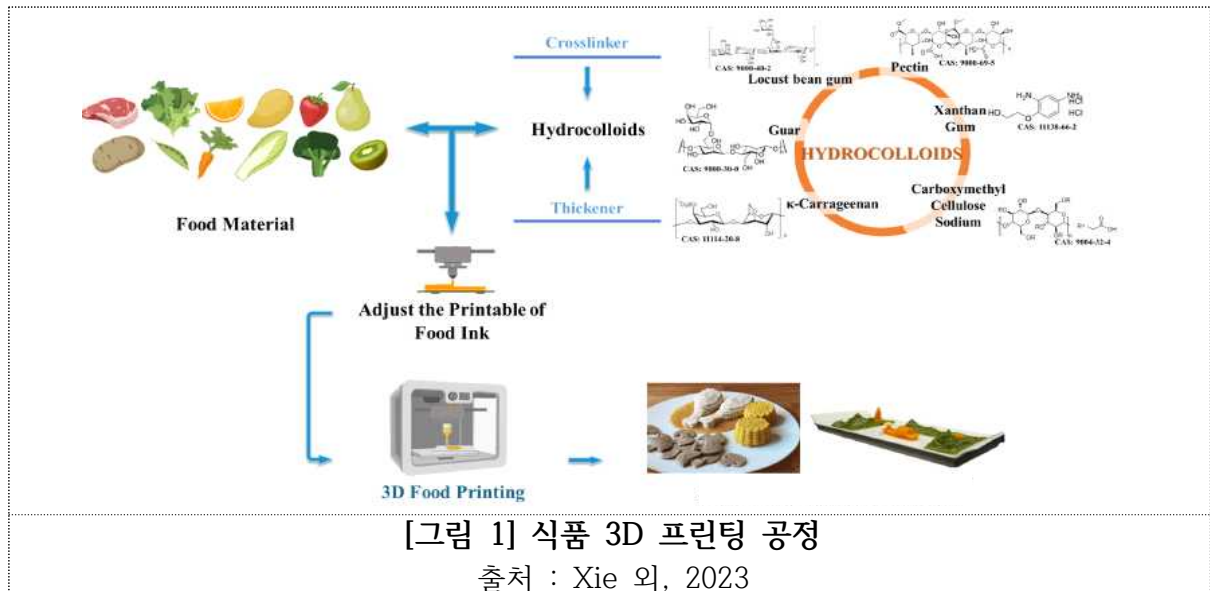
2. 식품 3D 프린팅 기술

가. 식품 3D 프린팅의 정의 및 특성

3D 식품 프린팅 기술은 CAD나 3D 스캐너를 통해 만들어진 3차원 디지털 디자인을 바탕으로 식품 원료를 한 층씩 적층하여 3차원으로 재구성하는 식품 제조 기술이다. 일반적인 3D 프린팅 기술과 마찬가지로 적층형 방식을 택하고



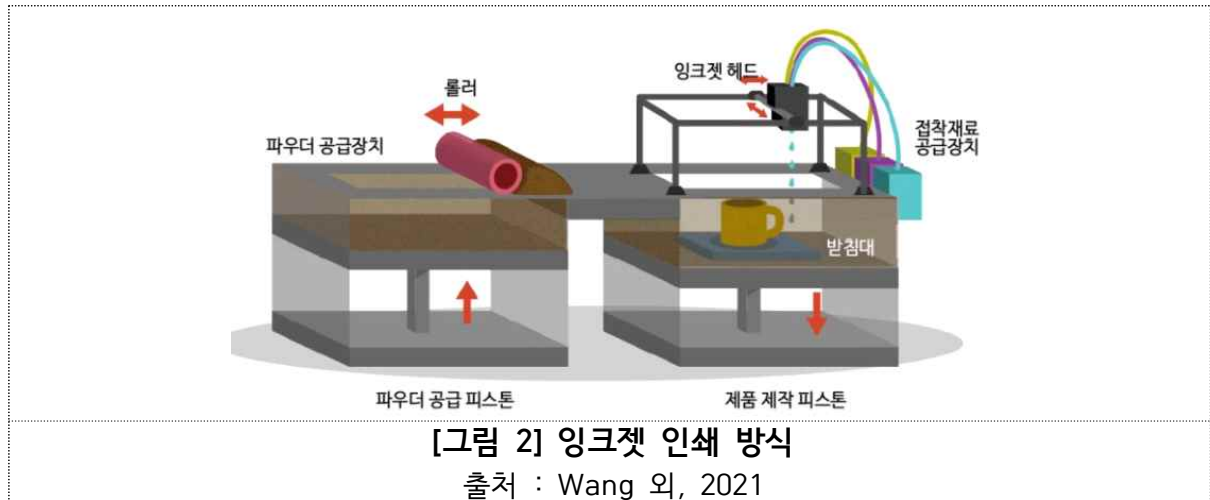
있어 식품 원료의 손실을 최소화할 수 있다는 장점이 있다.



식품 3D 프린팅 방식은 물리적 특성에 따라 크게 4가지, 즉, 소스와 같은 저점도 재료를 위한 **잉크젯 인쇄**(Color Jet Printing), 설탕 및 지방과 같은 전력 기반 재료를 위한 **선택적 레이저 소결**(Selective Laser Sintering), 단백질 및 전분과 같은 분말 재료 및 액체 결합제를 위한 **바인더 분사**(Binder jetting), **압출 인쇄**(Fused Deposition Modeling) 등으로 구분된다. 이중 압출 인쇄 방식은 다양한 식품 재료, 특히 고기 퓨레(meat puree), 반죽 및 곡물가루와 같은 반고체 식품에 성공적이기 때문에 이들 중 가장 광범위하게 사용되고 있다.

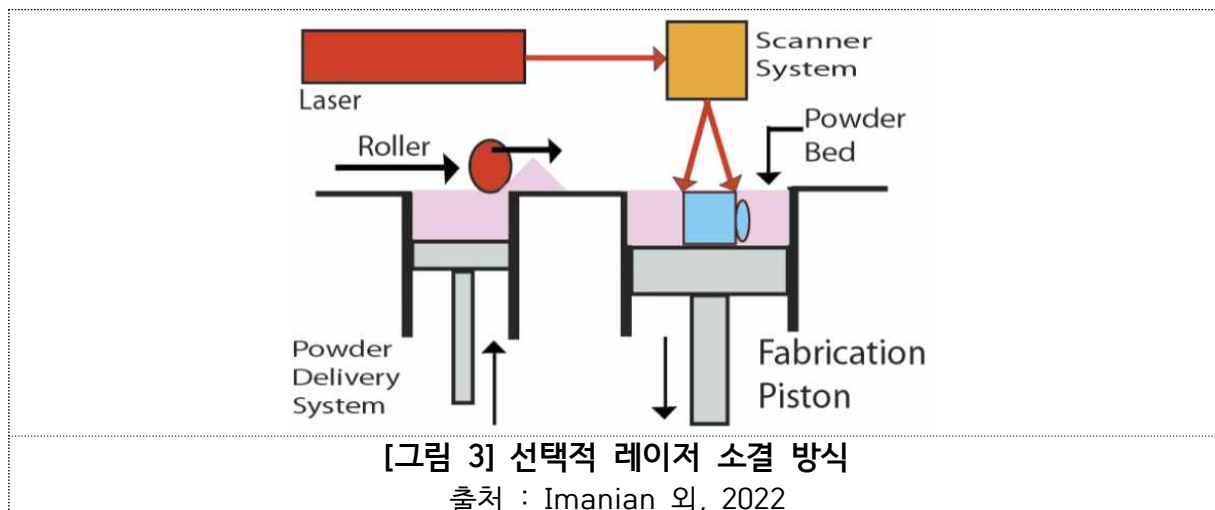
① 잉크젯 인쇄(Color Jet Printing)

식용 가능한 식품 분말이나 액체를 분사하는 방식으로 2D 잉크젯 프린터와 작동 원리가 비슷하며, 유사한 해상도 구현이 가능하다. 플라스틱 재질의 경우에는 inkjet print head를 이용하여 점착제를 적층면에 고착하는 방식으로 색상이 들어간 **점착제**와 여러 개의 **inkjet print head**를 사용하여 수만 가지의 색상을 구현할 수 있다. 식품 재료의 경우에는 파우더 상태의 식용재료와 액체 상태의 식용 점착제가 이용된다. 파우더 상태의 재료로 설탕 파우더, 설탕과 녹말의 혼합 파우더 등이 사용될 수 있고 액체 상태의 식용 점착제로는 다양한 색상과 맛을 지닌 점착제가 개발되고 있다. 잉크젯 인쇄 방식은 상대적으로 낮은 점도의 재료를 다루기 때문에 **표면을 채우는 방식**으로 이용되거나 **이미지 장식 분야**에서 주로 사용되고 있다.



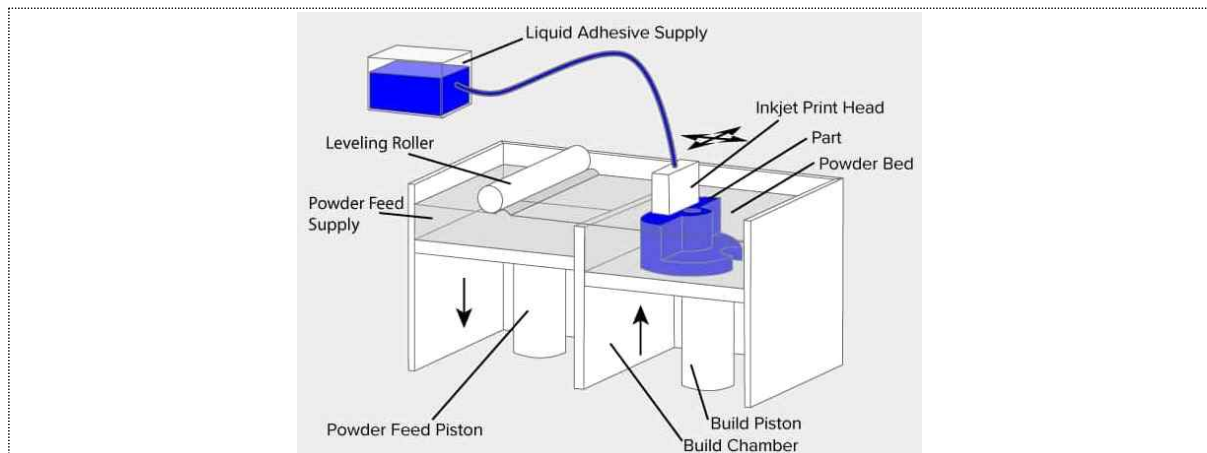
② 선택적 레이저 소결(Selective Laser Sintering)

선택적 레이저 소결(SLS)은 파우더 기반 3D 프린팅 기술로 분말가루 형태의 원료를 얇게 적층하고 그 위에 레이저 혹은 수지를 분사하여 굳혀가면서 적층시키는 방식이다. 레이저가 3D 설계 각 단면의 패턴을 추적해 파우더 베드에 구현하게 되고, 한 층의 레이어가 완성되면 제작 플랫폼이 낮아지고 다른 레이어가 이전 레이어 위에 제작되게 된다. 일반 분말 원료의 경우 열가소성 플라스틱류 분말, 금속류 분말, 세라믹 분말 등이 사용되고, 식품 분야에서는 설탕, 전분 등의 분말 원료가 주로 SLS 방식에 이용되며 인공색소, 향 등의 식품 첨가제를 더함으로써 다양한 색과 맛의 출력물을 만들어 낼 수 있다.



③ 바인더 분사(Binder Jet)

바인더 분사 방식은 1993년 미국 메사추세츠공과대학(MIT)에서 ‘powder bed and inkjet head 3d printing’이라는 명칭으로 처음 개발된 기술로 잉크젯 헤드를 이용하여 액체상태의 바인딩물질(접착제)을 파우더 재료에 선택적으로 분사하여 한층을 굳히면 베드가 한층 아래로 내려가고, 새로운 파우더를 얇게 도포한 후 다시 바인딩 물질을 분사하는 과정을 반복하면서 조형물을 적층하는 방식이다. 바인더를 활용한다는 것을 제외하고는 앞에서 언급한 선택적 레이저 소결 방식과 유사하다고 볼 수 있다.



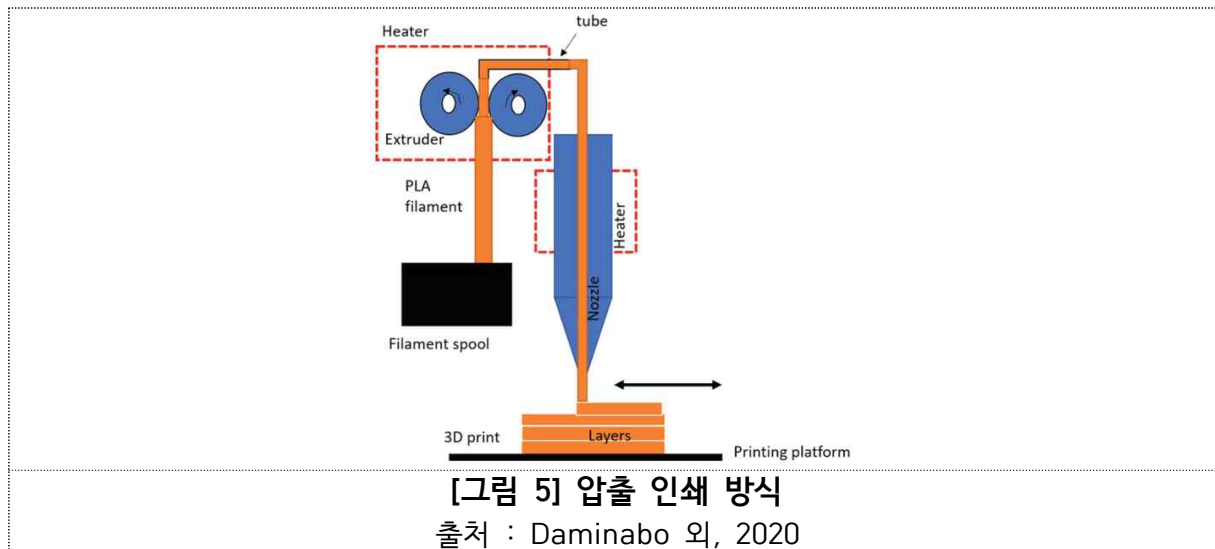
[그림 4] 바인더 분사 방식

출처 : Zhu 외, 2022

④ 압출 인쇄(Fused Deposition Modeling)

압출 인쇄 방식은 식품으로 구성된 잉크를 3차원 구동이 가능한 압출기에 충전하고 스크루, 피스톤, 유압 등으로 사출하면서 증착하는 원리이다. 고온과 고압으로 재료를 작은 구멍으로 밀어내서 한 층씩 쌓는 방식이며, 최근 보급형 3D 프린터에 사용되는 대부분의 방식으로 고분자의 경우 ABS, PLA, Nylon 등 열가소성 플라스틱류를 재료로 하여 출력한다. 식품의 경우, 초콜릿이나 반죽 처럼 점성이 있는 식재료를 출력하는 방식에 적절하며, 식품 3D 프린팅에 가장 많이 활용되고 있는 방식이다. 압출 인쇄 방식에 사용되는 식품 소재는 미세노즐을 통해 사출이 가능할 정도로 부드러우면서, 3D 프린팅된 후 자체 무게에 붕괴되지 않고 모양을 유지할 수 있는 적절한 물성을 가져야 한다. 또한, 3차원 구조를

유지하기 위해 소재의 점도와 경도를 증가시킬수록 압출에 요구되는 출력 또한 필연적으로 높아지게 되기 때문에, 3D 프린터에서 압출 및 출력은 무엇보다 중요한 요소이다.



나. 식품 3D 프린팅을 위한 원료

식품 3D 프린팅 기술에 있어 카트리지의 토출 및 적층 안정성 극대화를 위해 사용되는 식품 원료의 선정 및 특성 정보는 매우 중요하다. 식품 3D 프린팅의 과정에서 원료는 흐름성을 갖는 액체 또는 고체 분말 상태로 공급되면서 프린팅 중 흐름성 유지를 위하여 열에 의한 가소화 또는 용융 상태로 냉각되어 형상이 유지된다. 3D 프린팅을 통해 제조된 식품의 자체 형태 유지는 가역적 가공, 겔화, 프린팅 온도 변화 및 첨가제 사용 등의 방법으로 가능하다. 또한, 식품은 다성분계 물질이기 때문에 단백질, 탄수화물 및 지방 성분의 조성비는 3D 프린팅 과정에서 3D 프린팅 식품의 용융 거동, 유리전이 및 가소화에 절대적으로 영향을 준다.

3D 프린팅 식품 제조 시 활용될 수 있는 식품 원료의 조건으로 가소성, 점착성, 형상 유지성 등을 들 수 있다. 가소성을 지닌 원료는 열가소성 고형물이거나 연질 고형물이어서 3D 프린터로 사출될 수 있어야 한다. 점착성을 지닌 원료는 bed와 먼저 사출된 물질이 잘 부착되는 성질을 지니고 있어 적층을 가능하게 하고, 형상 유지성은 사출된 뒤 무너짐 없이 그 형태가 유지되기 위한 아주 중요한

특성이다. 이러한 물성을 나타내는 원료의 예로는 밀, 쌀, 옥수수 분말 등의 전분류와 초콜릿, 설탕 등의 당류가 있다. 전분류는 식품 산업 전반에서 활용되는 대중적인 식품 원료이며 물과 열 등을 가하면 점성이 생기고 형상이 쉽게 무너지지 않는 성질을 구현할 수 있으며, 탁월한 결착 능력이 있어 형상이 오랫동안 유지되는 특징을 나타낸다. 당류는 가열에 의해 녹고, 냉각에 의해 소결되는 열가소성이 있어 형상을 만드는데 유리한 특성을 나타낸다. 이 외에도 재료로 사용되기 위한 식품이 앞서 언급한 3가지 조건을 만족한다면 식품 3D 프린팅용 원료로 사용될 수 있다.

3. 산업 동향

가. 세계 최초의 식품 3D 프린터(Fab@Home)

식품 3D 프린팅의 개발 현황을 살펴보면 약 20년 전으로 거슬러 올라가는데, 2006년 미국 코넬대학교 호드립슨 교수 연구실에서 초콜릿, 쿠키, 치즈를 원료로 하여 제작된 Fab@Home 모델이 세계 최초의 식품 3D 프린터이다. 이때 시린지에 식품을 넣고 출력하는 압출 기반의 3D 프린터가 현재까지 출시된 제품들의 모태라 할 수 있다. Fab@Home에서 세계 최초로 식품소재를 이용한 식품 3D 프린터가 개발된 이후로 식품 3D 프린팅 기술과 식품 원료는 지속적으로 연구개발이 이루어지고 있다. 현재까지 많은 회사가 식품 3D 프린팅 기술 개발에 참여하고 있으며 3D 프린터를 통해 다양한 식품들이 생산되고 있다. 식품을 활용한 3D 프린팅의 가능성에 영감을 얻은 각국의 3D 프린터 선도기업과 연구그룹들이 원천기술 확보와 기술 계량을 위해 다양한 시도를 하고 있으며, 개발 기술에 특화된 소재 개발 역시 활발히 진행 중에 있다.

나. 스페인의 식품 기계 제조업체인 내추럴머신스(natural machines)

스페인의 바르셀로나의 스타트업 회사인 네추럴머신스(Natural Machines)는 단순 압출 방식의 3D 식품 프린터인 푸디니(Foodini)를 개발하였다. 푸디니는 스테인리스스틸 캡슐에 재료를 넣어 압출하여 적층하는 방식으로 파스타, 쿠키, 햄버거 피자 등 다양한 종류의 식품 출력이 가능하다. 가장 큰 특징으로는 자체 내장된

조리법 중 하나를 선택하거나 내장된 조리법을 자신만의 조리법으로 수정하여 활용 가능하다는 점이다. 즉, 소비자가 직접 페이스트 형태로 식재료를 가공하고 식품 캡슐에 넣은 후 터치패드에서 디자인을 선택한 다음 여러 가지 식재료를 조합하여 한 끼 식사를 만들어 낼 수 있다. 현재 레스토랑이나 일반 가정에 1대당 6,000 USD에 판매하고 있으며, 실제로 ‘La Boscana’라는 레스토랑에서는 푸디니로 만든 음식을 판매하고 있다.



다. ChefJet Pro의 제조업체인 3D Systems

3D 프린터 선도국인 미국에서도 다양한 형태의 3D 식품 프린터가 개발되어 왔는데, 그 중 가장 인기 있는 제품은 3D 시스템즈사(3D Systems)에서 출시한 셰프젯(Chefjet)으로 리퀴드 바인딩 방식을 사용하고 있다. 셰프젯은 원래 슈가랩(Sugar Lab)으로 불리는 웨딩소품용 설탕 장식 제조업체에서 개발되었으나, 이를 3D 시스템즈에서 매수하고 레스토랑과 전문 요리사를 위한 조리 장비로 다시 브랜드화하였다.

ChefJet Pro는 설탕 가루와 식재료를 수화하여 사탕이나 빵, 초콜릿을 만들고 있으며 4개의 printhead를 갖고 있어 다양한 색을 첨가할 수 있고, 시간당 100개의 사탕을 만들 수 있는 성능을 가지고 있다. 셰프젯은 일반용과 전문가용의 두 가지 종류가 있는데 전문가용은 다양한 색감의 출력물에 초콜릿, 바닐라, 박하, 체리 맛 등 여러 가지 향료로 맛을 더할 수 있다. 가격은 일반형이 약 112만 원이고, 고급형은 옵션에 따라 약 500만원에서 천만원이 넘는 제품도 있다.





[그림 7] 3D Systems의 ChefJet Pro

출처 : <https://www.3dsystems.com>

라. 네덜란드 응용과학기술연구소(TNO)

네덜란드의 응용과학기술연구소(TNO)는 3D 프린팅 기술에 대한 전문 지식과 식품과학을 결합하여 특성화된 식품 생산에 앞장서 왔다. 기존의 액상 및 페이스트상 원료 기반으로 활용되었던 장비와는 달리, **파우더베드 플랫폼**을 통해 다양한 액체 및 분말 클래스를 연구하고 인쇄하도록 제작되었으며, **레이저 소결** 기능을 통해 밀가루, 설탕 및 유지를 기본으로 카레, 계피, 파프리카 등 향신료를 첨가하여 다양한 맛과 모양의 식품 생산이 가능하다. 특히 카레 맛 큐브에는 동결 건조된 밀웜(mealworm) 파우더를 밀가루 대신 사용하여 식재료의 선택에 제약이 없음을 강조하였으며, 기존에 조합이 어려웠던 다양한 영양성분을 하나의 식품으로 **융합할 수 있다는 것이 가장 큰 특징** 중 하나이다. 최근에는 이탈리아 파스타 제조업체인 바릴라(Barilla)와 협업하여 단순 압출방식을 사용한 파스타 제조에 성공하였다. 독특한 디자인으로 3D 프린팅된 파스타는 단순히 아름답고 먹기 좋은 외관적 특징뿐만 아니라, 더 효율적으로 빠르게 조리되고 소스를 잘 머금어 맛과 식감까지 재구성시킬 수 있는 장점이 있다.



마. Redefine Meat(이스라엘)

이스라엘의 리디파인미트(Redefine Meat)는 3D 프린터를 이용하여 식물성 고기를 제조하였으며, 실제 고기와 유사한 구조를 구현하기 위해 인공 지방, 인공 혈액, 인공 단백질의 3가지 성분을 원료로 활용하였다. 식물과 곤충으로부터 단백질, 지질 그리고 섬유소 등을 분리하여 이들 성분의 조성 and 농도를 달리한 페이스트를 활용하여 3D 프린팅된 대체식품을 제조하고 있다. 리디파인미트는 동물 고기의 외형, 질감, 풍미가 동일한 동물성 고기를 자연적이고 지속 가능한 성분으로부터 생산한다고 설명하고 있다. 3D 고기 모델링, 식품 제조 및 식품 인쇄 기술을 결합하여 비용 효율적이고 확장 가능한 방식으로 ‘육류’ 시장의 새로운 범주를 제공한다는 것이다. 또한, 일반 육류 고기에 비해 환경적 영향이 95%가 적고 콜레스테롤이 없으며 동물성 육류에 비해 가격이 저렴한 장점이 있다.



바. 3D 프린터를 활용한 음식 판매

2016년 7월 영국 런던에서는 독특한 팝업 레스토랑이 선보였는데, 에피타이저부터 메인 음식, 디저트에 이르기까지 3D 프린터로 음식을 만들어 제공하는 '푸드 잉크(Food Ink)' 레스토랑이 바로 그 주인공이다. 네덜란드를 기반으로 하는 3D 프린터 식품 제조 업체인 바이플로우(byFlow)가 기획한 푸드 잉크 레스토랑은 다양한 식자재를 페이스트 형태로 만들어 노즐을 통해 압출되는 형식으로 음식을 제조하는데, 레스토랑 측은 사람의 손보다 3D 프린터의 로봇팔이 높은 정밀도를 가지고 있고 더 섬세한 분자요리가 가능하다고 설명하고 있다. 또한, 식기, 인테리어소품, 조명, 의자, 테이블도 3D 프린터를 통해 제작하고 있다.



[그림 10] Food ink의 식품 3D 프린터

출처 : <http://foodink.io/london>

4. 향후 연구 분야

가. 3D 프린팅용 소재 발굴

앞에서 언급한 바와 같이 3D 프린팅이 가능한 식품원료의 선정 및 원료특성 정보는 매우 중요한 요소이다. 소재가 한정적일 경우 그 활용 범위에도 제한적인 요소로 작용할 수 있으므로 소재 발굴은 지속적으로 연구가 진행되어야 한다. 일반적으로 3D 식품 프린팅의 토출·적층 안정성 극대화를 위해 검류 등의 고분자들이 많이 활용되나, 영양을 고려한 대체 원료 발굴 연구가 필요하다. 예를 들어 곤충의 경우 미네랄, 단백질 함량이 식육이나 식물에 비해 높으며, 특히 소화능도 식육 단백질에 비해 우수하기 때문에 동물 단백질을 곤충 단백질로 대체하는 연구와 함께 이를 식품 3D 프린팅 분야로 접목하는 것이 필요할 것이다. 이와

더불어 곤충과 함께 3D 식품 프린팅 원료로 활용될 수 있는 **광범위한 원료 발굴 및 가공적성 최적화 연구**가 필요하다.

나. 수요자 중심의 개인맞춤형 식품 설계

식품 3D 프린팅 기술은 식품 산업에 많은 변화를 몰고 올 것으로 전망된다. 특히 요즘과 같이 대량생산으로 똑같은 식품을 쏟아내는 시대에서 **3D 식품 프린팅은 개인맞춤형 식품 산업을 활성화시킬 수 있을 것으로 예상되는데**, 단순히 식품의 맛과 외형 뿐만 아니라, **물성, 영양학적 요구와 신체 능력에 부흥하는 궁극적인 의미의 맞춤형 식품을 디자인할 수 있는 연구개발이 필요할 것이다**. 또한, 일반적으로 양산되고 있는 보충제나 기능성 식품들이 가지고 있는 제한적인 요소들을 개선함으로써 수요자 개개인의 요구를 충족시킬 수 있는 방향으로 연구가 진행되어야 한다. 이를 통해 음식을 씹거나 삼키기 어려운 섭식장애 환자나 영유아 및 고령층을 위한 영양식품을 개발하는 등 다양한 산업 분야에 활용될 수 있다고 판단된다.

다. 전투식량

위에서 언급한 수요자 중심의 맞춤형 설계를 통해 군인들의 전투식량 보급에도 3D 프린팅 기술이 활용될 수 있다. 단순 식품 3D 프린팅 기술뿐 아니라 **병사들의 전투복에 생리학적 또는 영양적 상태를 측정할 수 있는 장치를 부착한 후 데이터를 베이스캠프로 전송하여 이를 기반으로 식품을 출력하는 등 일련의 공정 개선 관련 연구가 필요하다**. 보급로 차단 시의 원활한 대응과 식량 운송비 절감, 각 병사의 취향별 식품 선택권 부여, 음식쓰레기 발생량 저하, 전투식량의 유통기한 연장 등의 효과를 기대할 수 있을 것이다. 전투식량의 경우 군 내 보안 유지 등으로 인해 연구 개발에 다소 애로사항이 있을 것으로 판단되나, 국방부, 농식품부 등 범부처적인 협력체계 구축이 선행되어야 할 필요가 있다.



라. 우주식품

현재까지 우주에서의 3D 프린팅 기술이라고 하면 발사체, 현지 부품 등을 연상케 하였으나, 우주에서 장기간 체류하는 것을 고려한다면 식량 생산에 대한 필요성도 매우 크다고 볼 수 있다. 이에 대한 수요를 반영하여 미국 시스템즈 앤 메테리얼 리서치 코퍼레이션(SMRC)은 미국 항공우주국(NASA)의 지원을 받아 우주식품용 3D 프린터를 개발한 바 있다. 가까운 시기에 상용화가 되기 쉽지는 않을 수 있으나 오랜 기간 저장성 향상을 위한 분말 소재 개발 및 하드웨어 구축 등은 장기간 운행되는 우주선 내에서도 활용될 수 있을 것이며, 또한 3D 프린팅의 장점은 음식물 찌꺼기가 남지 않는다는 점인데 이는 정밀한 장비로 가득한 우주선 내에 필수적 요소가 될 수 있다.

마. 대체식품(배양육)

대체식품은 기존 육류 생산에 비해 지속가능하고 환경오염 등의 문제가 적다는 점에서 앞으로 더욱 더 주목받을 것으로 예상되며 이에 대한 연구도 활발히 되어왔다. 그 결과 국내에서도 신규 단백질 원료 발굴 및 다양한 가공기술을 이용하여 상당한 품질개선이 이루어지고 있으나 실제 식육과의 식감·풍미 차이를 극복하기 위한 연구개발이 지속적으로 이루어져야 한다. 실제 고기와 유사한 구조를 구현하기 위해 인공 지방·혈액·단백질의 3가지 성분을 3D 프린팅에 활용한 배양육 생산 연구도 필요할 것이다.



참고문헌

1. 김민정 외, 2020. 식품 3D 프린팅 기술과 3D 프린팅 식품 소재, Clean Technology, 26(2), 109-115.
2. Xie 외, 2023. Advances in the Potential Application of 3D Food Printing to Enhance Elderly Nutritional Dietary Intake. Foods, 12, 1842.
3. Sun 외, 2015. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication, Procedia Manufacturing, 1, 308-319.
4. 박현진, 김현우, 2017. 세계 3D 식품 프린팅 기술 및 산업동향과 미래 전망, 세계 농식품산업 동향, 202, 1-16.
5. Esqaran 외, 2023. Perspective approaches of 3D printed stuffs for personalized nutrition: A comprehensive review, Annals of 3D Printed Medicine, 12, 100125.
6. 이해구, 2017. 3D 프린팅 기술과 미래식품 산업, 식품저장과 가공산업, 16(2), 24-28.
7. 홍연아 외, 2023. 푸드테크 산업의 혁신 트렌드와 미래전망, 한국농촌경제연구원 정책연구보고서, P290.
8. Imanian 외, 2022. Modeling and prediction of surface roughness and dimensional accuracy in SLS 3D printing of PVA/CB composite using the central composite design, Journal of Manufacturing Processes, 75, 154-169.
9. Li 외, 2023. Extrusion-based 3D printing of high internal phase emulsions stabilized by co-assembled β -cyclodextrin and chitosan, Food Hydrocolloids, 134, 180036.
10. Pereira 외, 2021. Food Texture Design by 3D Printing: A Review, Foods, 10, 320.
11. Wang 외, 2021. Innovative color jet 3D printing of levetiracetam



- personalized paediatric preparations, Asian Journal of Pharmaceutical Sciences, 16(3), 374-386.
12. Yang 외, 2018. Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters, LWT, 87, 67-76.
 13. Zhu 외, 2022. Creating protein-rich snack foods using binder jet 3D printing, Journal of Food Engineering. 332, 111124.
 14. Daminabo 외, 2020. Fused deposition modeling-based additive manufacturing (3D printing): techniques for polymer material systems, Materials Today Chemistry, 16, 100248.



2024년
BioINpro

- 발 행 호 : Vol.134
- 발 행 처 : 한국생명공학연구원 국가생명공학정책연구센터
- 온라인 서비스 : <http://www.bioin.or.kr>

◇ BioINpro는 생명공학 주요 기술별 관련 전문가의 시각에서 작성된 보고서이며,
생명공학정책연구센터의 공식 견해는 아닙니다.

◇ 본 자료는 생명공학정책연구센터 홈페이지(<http://www.bioin.or.kr>)에서 다운로드가
가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

34141 대전광역시 유성구 과학로 125(어은동) | Tel. 042-879-8368

