

세계 3D 식품 프린팅 기술 및 산업 동향과 미래 전망*

박 현 진 · 김 현 우

(고려대학교 생명공학과 교수 · 고려대학교 생명공학과 박사과정)

1. 머리말

최근 글로벌 산업계는 4차 산업혁명의 새로운 격변기를 맞이하고 있으며, 제조업과 정보통신기술(ICT), 첨단과학기술 등이 각 분야 간 전면적인 융·복합을 통해 4차 산업혁명을 주도하고 있다. 더 이상 한 분야의 전문성만으로는 급변하는 산업구조의 변화와 진화 앞에서 지금까지 쌓아놓은 한계를 넘기가 어려우며, 연관분야 간의 이종 결합을 통한 새로운 차원의 발전을 도모해야할 시점에 이르렀다.

식품·외식산업 또한 이와 같은 흐름에서 예외일수는 없으며, 이미 관련 기업들은 이 변화에 적응하지 못하면 낙후되어 기업의 존망을 위협받는다라는 것을 잘 인식하고 있다. 다양한 기업에서 융·복합을 통한 신기술 개발에 박차를 가하고 있으며, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 3D 프린터 등을 활용한 제품과 서비스가 등장하여 식품 생산과 유통구조에 큰 변화가 예상된다. 특히 식품 분야에서 신성장산업으로 발전할 가능성이 가장 높다고 평가되는 3D 프린팅 기술이 부각되고 있다. 무엇보다 정부에서 3D 프린팅 산업 육성에 앞장서고 있으며, 지난해 3D 프린팅 산업을 신시장 창출의 핵심기술로 본격 육성하기 위해 삼차원프린팅산업 진흥법¹⁾을 제정하고 기본계획을 수립

* (hjpark@korea.ac.kr).

1) 3D 프린팅 산업 진흥에 필요한 사항을 정함으로써 해당 산업 발전 기반 조성 및 국가경제 발전에 이바지함을 목적으로 함.

해 추진 중에 있다. 정부가 3D 프린팅 활용기술을 적극 지원함에 따라 식품을 원료로 하는 프린팅 기술도 발전할 전망이다.

이미 그 가능성에 주목하고 있는 외국에서는 산업 분야별 최적화된 다양한 3D 식품 프린팅 기술이 개발되고 있다. 일부에서는 3D 식품 프린터가 언젠가 전자레인지만큼이나 유비쿼터스적인 혁신을 가져올 것이라는 예측도 나오고 있다.²⁾ 기존의 3D 프린터 선도업체들만 해도 초콜릿, 설탕, 식품 페이스트를 활용한 다양한 형태의 3D 식품 프린터를 선보이고 있다. 일부 마니아층은 이미 인터넷을 통해 레시피와 디지털 디자인을 공유하고 자신만의 재료로 새로운 식품을 창조해내기에 이른다. 더 나아가 단순히 맛과 모양뿐 아니라 개인에 맞게 칼로리를 조절하여 식품을 프로그래밍 할 수 있는 단계까지 발전하였다. 이와 같이 3D 식품 프린팅이 활성화됨에 따라 기존 식품생산 형태에 획기적인 변화가 예상된다.

하지만 아직까지 3D 식품 프린팅 기술이 안착하여 연관 산업에 녹아들기 위해 해결되어야 할 과제 또한 만만치 않다. 음식을 3D 프린팅 하는데 있어 가장 큰 한계는 음식 재료 자체에 있다. 지금까지 개발된 기술들은 대부분 압출을 통해 식품을 증착하는 기술에 기반을 두고 있는데, 페이스트로 만들 수 있는 식품은 매우 제한적이기 때문에 추가적인 가공기술에 대한 연구가 필요하다. 또한 소비자가 일상적으로 사용하기 위해 준비과정에서의 번거로움 또한 해결되어야 할 것이다. 아직 초기단계에 있는 3D 식품 프린팅이 지속가능한 미래형 식품가공기술로 관련 산업에 안착하기 위해서, 개발 초기 단계에서부터 수요를 고려한 기술개발 방향이 명확히 제시되어야 할 것이다.

따라서 본고에서는 필연적이고 현실에 마주한 산업변화에 따라 요구되는 3D 식품 프린팅 산업의 동향과 앞으로의 전망을 살펴보고자 한다. 또한, 이 기술이 가져올 혜택과 적용분야를 제시하여 향후 개발 방향 설정에 도움이 되고자 한다. 더 나아가 식품관련 종사자, 정책당국의 이해를 도모하고 향후 정책수립 과정에 도움이 되기를 기대한다.

2) 헤럴드경제(2015. 5. 13.) 기사를 직접 인용함.

2. 3D 식품 프린팅의 개념 및 기술 분류

2.1. 3D 식품 프린팅 개요

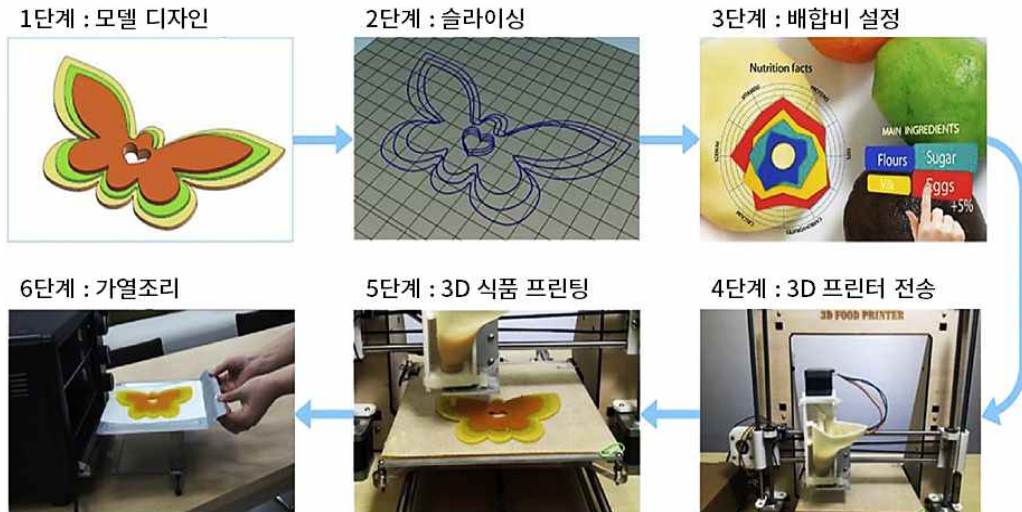
3D 식품 프린팅 기술은 CAD 나 3D 스캐너를 통해 만들어낸 3차원 디지털 디자인을 바탕으로 식품구성 비율, 영양학적 데이터 등을 반영한 후 식품원료를 한층 씩 적층하여 3차원으로 재구성하는 식품 제조 기술이다. 3D 프린터의 원리는 잉크젯 프린터의 원리와 유사하다. 2D 프린터라고 할 수 있는 잉크젯 프린터는 디지털화된 파일을 전송받아 잉크분사 노즐을 X축과 Y축으로 이동 시키면서 종이에 잉크를 분사하여 활자나 그림 등의 2D 이미지를 인쇄하는데, 3D 프린터는 여기에 Z축 방향의 움직임을 더하여 3차원 입체 형상을 구현한다.

3D 식품 프린팅 기술은 단순히 식품의 제조 공정에 집중하는 것이 아니라, 새로운 형태와 질감 그리고 완전히 개인에게 맞춰진 식품을 디자인하는 것과 관련된다. 다시 말해, 이 기술을 통해 곡류, 육류, 채소류와 같은 필수적인 식품과 3D 프린팅을 통한 새로운 구조적 특징을 결합하여 시너지 효과를 만들어 내는 것을 목적으로 하는 것이다. 3D 식품 프린팅은 기존 식품의 형태와 질감을 자유롭게 디자인할 수 있으며, 식품의 구성성분, 맛과 향미 등이 완전히 다른 개별적인 식품을 생산할 수 있어 다양한 식품 산업에 응용될 수 있다. 특히, 3D 식품 프린터에서 3차원 디자인만 수정하여 프린팅하면 다양한 식품을 저렴한 비용으로 신속하게 생산할 수 있어, 다품종 소량생산에 적합한 새로운 방식의 식품생산 시스템으로서 의미가 깊다.

3D 식품 프린팅의 기초공정은 모델링, 3D 프린팅, 후가공의 3단계로 구성된다. 우선 모델링 공정에서는 원하는 디자인을 CAD 등의 디자인 소프트웨어 또는 3D 스캐너를 통해 3차원 디지털 도면을 제작한다. 완성된 도면은 3D 프린터가 적층할 수 있도록 층별로 분리한 후 코드로 변환하는 슬라이싱(slicing) 작업을 거친 후에 3D 프린터로 전송된다. 이후 3D 프린팅 공정에서는 식품 소재를 소결, 용융하여 프린팅이 용이한 형태로 만들어 한층 한층 쌓아 입체적으로 재구성 한다. 이때 각 층별로 원하는 재료의 종류와 양을 조절하여 영양소와 향미를 제어하는 것이 가능하다. 3D 프린팅 공정은 토출 조건에 따라 크게 좌우되며, 특히 사용되는 노즐 사이즈가 정교할수록, 요구되는 배열 층이 많아질수록 추출 속도가 지연된다. 마지막으로 3D 프린팅 된 식품을 굳히거나 섭취할 수 있는 상태로 조리하는 후가공 공정을 거치게 된다. 식품을 완전히 경화시킬 필요는 없지만, 자체 무게에 변형되지 않을 수준의 강성을 확보하기 위한 건조,

냉각, 겔화 등의 추가공정이 요구된다. 흔히 섭취하는 곡류, 육류 등이 포함되는 식품 소재는 모양이 만들어진 후 삶거나 굽는 등의 가열조리를 통해 비로소 섭취 가능한 3D 프린팅 식품으로 탈바꿈 된다.

그림 1. 3D 식품 프린팅의 기초공정



자료: "Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control." Journal of Food Engineering(2017).

2.2. 3D 식품 프린팅 기술

초기의 3D 식품 프린팅은 치즈, 초콜릿 등으로 조형물을 출력하는 수준에 국한 되었지만, 최근에는 산업 분야 및 용도의 확장에 따라 다양한 유형의 3D 프린팅 기술이 등장하고 있다. 지금까지 개발된 3D 식품 프린팅 기술은 운용방식에 따라 크게는 압출 적층형과 파우더 베드형 시스템으로 분류할 수 있다. 또한 조형원리에 따라서 단순 압출방식, 겔화 압출방식, 용융 압출방식, 잉크젯 방식, 바이오 프린팅, 파우더 베드 방식 등으로 더욱 세분화된다. 각각의 조형 방식은 고유한 특성을 지니고 장단점이 상이하여, 사용하는 식품 소재의 목적과 제형에 따라 유리한 기술 유형이 존재한다. 보다 자세한 기술 유형별 특징과 조형 원리를 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1. 압출 기반 3D 프린팅

압출적층조형 방식들은 식품으로 구성된 잉크를 3차원 구동이 가능한 압출기에 충전하고 스크루, 피스톤, 유압 등으로 사출하면서 증착하는 원리이다. 이러한 방식은 사용

가능한 식품이 비교적 다양하고 유지보수가 쉽다는 장점이 있어, 현재 이를 채용한 3D 프린터가 주를 이루고 있다. 이에 사용되는 식품의 물리적 특성, 상변화 혹은 화학 반응에 의존한 적층 메커니즘에 따라 아래와 같이 세분화 할 수 있다.

표 1. 압출 기반의 3D 식품 프린팅 기술

기술 분류	적층 메커니즘 및 특징	식품 소재
단순 압출성형	<ul style="list-style-type: none"> 상변이 일어나지 않음 식품 자체의 형상 유지능력에 의한 구조 형성 	치즈, 쿠키 생지
용융 압출성형	<ul style="list-style-type: none"> 용융 후 냉각에 의한 상변이 (액체→고체) 경화시간 단축을 위한 냉각장치 필요 	초콜릿, 캔디류
겔화 압출성형	<ul style="list-style-type: none"> 이온화 또는 효소에 의한 가교결합 UV 조사를 통한 광중합 	잔탄검, 젤라틴
잉크젯 방식	<ul style="list-style-type: none"> 식품 자체의 응집력 또는 건조에 의한 형상 유지 2D 프린팅에 가까움 	초콜릿 시럽, 딸기잼
조직배양 프린팅	<ul style="list-style-type: none"> 세포 자체 증식에 의한 조직 형성 바이오프린팅의 원리와 동일 	근세포, 미세 조류

자료: "3d printing technologies applied for food design: Status and prospects." Journal of Food Engineering(2016).

가장 보편적으로 사용되는 단순 압출조형 기술은 온도 조절이나 재료의 상변이 없이 식품을 단순 증착하여 성형하는 기술이다. 이에 사용되는 식품 소재는 미세노즐을 통해 사출이 가능할 정도로 부드러우면서, 3D 프린팅 후 자체 무게에 붕괴하지 않고 모양을 유지할 수 있는 적절한 점탄성을 보유해야 한다. 이와 같은 조건을 만족하는 식품은 많지 않기 때문에 잔탄검(Xanthan Gum), 구아검(Guar Gum)과 같은 증점제³⁾를 사용하여 물리적 특성을 조절하기도 한다. 하지만, 3차원 구조를 유지하기 위해 소재의 점도와 경도를 증가시킬수록 압출에 요구되는 출력 또한 필연적으로 높아지게 된다. 또한, 보다 정밀한 노즐을 사용할수록 요구되는 출력은 배가되기 때문에, 단순 압출형 3D 프린터에서 압출출력은 무엇보다 중요한 요소로 평가된다.

용융압출 성형기술은 가열을 통한 재료의 상변이에 의존하여 식품을 적층한다. 이는 기존에 ABS나 PLA등의 플라스틱 폴리머(Polymer)⁴⁾를 가열 후 상온에서 응고시키면서 적층하는 방식의 3D 프린터와 동일한 원리로 작동한다. 식품의 경우 설탕이나 초콜릿을 이용하여 장식용 조형물을 출력하는 데 주로 사용되며, 상온에서 경화되는 시간이 플라스틱 소재에 비해 길어 보다 세심한 조작이 요구된다. 또한 노즐의 크기, 사출속도,

3) 용액 따위의 점도를 증가시키는 물질(국방과학기술용어사전).

4) 한 종류 또는 수 종류의 구성 단위가 서로에게 많은 수의 화학결합으로 중합되어 연결되어 있는 분자로 되어 있는 화합물(도금 기술 용어사전).

노즐 이동속도에 따라 해상도가 달라지기 때문에 최적의 프린팅 조건을 설정하기가 까다롭다. 그럼에도 액상으로 토출되는 재료의 특성상 가장 정밀한 노즐을 사용할 수 있고, 경화된 후에는 형상 유지력이 매우 높기 때문에 복잡하고 정교한 디자인의 조형물을 출력할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다.

겔화 압출성형은 액상의 재료를 사출직전 또는 직후에 겔화시키면서 증착하는 원리로 화학적 가교결합, 또는 이온성 가교 결합 등의 겔화 메커니즘을 제어하여 상변이를 유도한다. 다시 말하면, 연속 증착 공정에서 초기에 사출된 층을 지지층 겔로 전환시키면서 형체를 구현하는 기술이다. 식품 자체만으로 이러한 반응을 유도하기엔 무리가 있으며, 알긴산(alginic acid)이나 잔탄검과 젤라틴의 혼합물 등의 겔화 소재에 식품을 일부 혼합하는 방법을 사용하고 있다.

잉크젯 방식은 노즐 분사장치를 사용하여 분사하고 용매를 증발 시킨 후 다시 분사하는 과정을 반복하여 입체물을 형성한다. 주로 시럽이나 소스를 활용하여 피자나 케이크 등에 낮은 입체감의 형상을 구현하는데 활용된다.

조직배양 프린팅 기술은 인공육 등을 제조하는 데 활용된다. 원재료인 동물 근육세포나 미세조류에 영양분이 포함된 지지체 겔을 혼합하여 증착한 후에 배양하는 방식이다. 이를 통해 용도에 맞는 고기조각을 만들어 낼 수 있다.

2.2.2. 파우더 베드 기반 3D 프린팅

파우더 베드 방식은 베드 안에 미세한 두께로 식품 분말을 도포한 후 선택적으로 가열하거나 접착물질을 분사하여 소결 또는 용융시키면서 증착하는 원리이다. 압출조형방식과는 다르게 소결되지 않은 파우더 자체가 지지층 역할을 하기 때문에 높은 정밀도를 갖는 정교한 형태의 디자인을 쉽게 출력할 수 있다. 또한 출력 후에 베드 안에서 식품 조형물을 분리하고 파우더를 털어내면 바로 섭취가 가능하다. 식품 파우더의 소결방식에 따라 접착제 분사, 레이저 소결, 열풍 소결 방식으로 세분화 할 수 있다.

리퀴드 바인딩 기술은 파우더 베드에 점착제를 도포하여 인접한 파우더를 접착시키는 방식으로 기존 잉크젯 프린터와 같이 다양한 색감을 표현할 수 있다. 가열이나 화학 반응을 통한 재료의 상태변화에 의존하지 않기 때문에 적용 가능한 식품이 다양하다. 반면에 파우더 입자의 크기와 작고 고를수록 정밀도가 높아지는 기술의 특성상 가용 소재는 상대적으로 단가가 높게 되며, 점착된 부분에 인접한 파우더가 오염되기 쉬울 뿐더러 남은 파우더를 재사용 하는데 한계가 있다. 이와 같은 이유로 저렴하고 쉽게 오염되지 않으면서 색감을 자유롭게 표현할 수 있는 설탕 파우더가 주로 사용된다.

선택적 레이저 소결은 레이저를 열원으로 사용하여 분말 입자를 용융하여 소결 시킨다. 입력된 3차원 도면에 따라 레이저를 조사하여 특정영역의 파우더를 용융시킨다. 그 후, 파우더 베드를 단일층 두께 만큼 낮추고 새로운 입자를 도포하여 상기 공정을 반복하면서 조형물을 만들어낸다. 레이저 소결에서 출력물의 해상도와 질감(texture)은 가공변수에 의해 결정되는데, 레이저의 파장과 출력, 파우더의 종류 및 입자 크기 등 기계적 변수뿐만 아니라 파우더의 성질도 변수가 된다.

열풍 소결방식은 뜨거운 공기를 분사해 선택적으로 파우더를 용융시키는 방법이다. 기체상의 열원을 이용하기 때문에 리퀴드 바인딩 기술이나 레이저 소결방식에 비해 정교한 제어가 어려운 단점이 있다. 기체상의 열원을 이용하기 때문에 넓은 부위로 열이 전달되고 출력물의 표면이 매우 거칠게 된다. 또한 가용소재에도 한계가 있어 현재까지 설탕 파우더를 이용한 일부의 시도가 있을 뿐 실효성은 매우 낮다고 평가된다.

표 2. 파우더 베드 기반의 3D 식품 프린팅 기술

기술 분류	적층 메커니즘 및 특징	식품
리퀴드 바인딩	<ul style="list-style-type: none"> 결착제와 파우더간의 물리적인 접착 화학반응을 통한 접착력 형성 	파우더형 식품
레이저 소결 방식	<ul style="list-style-type: none"> 레이저로 재료를 가열하여 응고 조형물의 물리적 특성은 레이저의 파장과 출력에 의존 	설탕, 초콜릿 파우더
열풍 소결 방식	<ul style="list-style-type: none"> 열풍에 의한 파우더의 용해와 소결 정교한 제어 어려움 	설탕 파우더

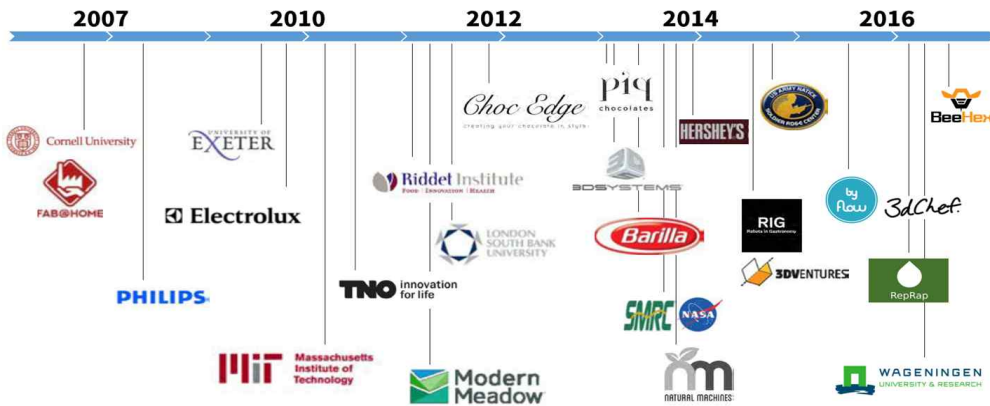
자료: "3d printing technologies applied for food design: Status and prospects." Journal of Food Engineering (2016).

3. 세계 3D 식품 프린팅 산업 동향

3.1. 3D 식품 프린팅 기술 개발 연역 및 주요 기업

2006년 미국 코넬대학교 호드립슨 교수 연구실은 초콜릿, 쿠키, 치즈를 원료로 하는 최초의 3D 식품 프린팅을 선보인다. 이에 사용된 3D 식품 프린터 Fab@Home 모델은 시린지에 식품을 넣고 출력하는 압출기반의 3D 프린터로 현재까지 출시된 제품들의 모태라 할 수 있다. 식품을 활용한 3D 프린팅의 가능성에 영감을 얻은 각국의 3D프린터 선도기업과 연구그룹들이 원천기술 확보와 기술계량을 위해 다양한 시도를 하고 있으며, 개발 기술에 특화된 소재 개발 역시 활발히 진행 중에 있다.

그림 2. 3D 식품 프린팅 기술 개발 연혁 및 주요 기업



자료: TNO 홈페이지(<https://www.tno.nl>) 자료 가공.

네덜란드의 응용과학기술연구소(TNO)는 3D 프린팅 기술에 대한 전문 지식과 식품 과학을 결합하여 전혀 새로운 식품생산을 위한 초현대 기술개발을 목표로 스파이스 바이트 프로젝트를 추진하였다. 이는 레이저 소결방식을 이용해 밀가루, 설탕 및 유지를 기본으로 카레, 계피, 파프리카 등 향신료를 첨가하여 다양한 맛과 모양의 식품으로 재탄생시켰다. 특히 카레 맛 큐브에는 동결 건조된 밀웜(mealworm) 파우더를 밀가루 대신 사용하여 식재료의 선택에 제약이 없음을 강조했다. 기존에 조합이 어려웠던 다양한 영양성분을 하나의 식품으로 융합할 수 있다는 것이 가장 큰 특징이다.

또한 TNO는 식품회사와 협력하여 보다 창의적이고 효율성을 고려한 3D 프린터 개발에 노력하고 있다. 최근에는 이탈리아 파스타 제조업체인 바릴라(Barilla)와 협업하여 단순 압출방식을 사용한 파스타 제조에 성공하였다. 독특한 디자인으로 3D 프린팅된 파스타는

그림 3. 스파이스바이트 프로젝트 결과물(좌)와 3D 프린팅된 파스타(우)



자료: TNO 홈페이지(<https://www.tno.nl>).

단순히 아름답고 먹기 좋은 외관적 특징뿐만 아니라, 더 효율적으로 빠르게 조리되고 소스를 잘 머금어 맛과 식감까지 재구성 시킬 수 있다는 것이 업체의 설명이다.

3D 프린터 선도국인 미국에서도 다양한 형태의 3D 식품 프린터가 개발되고 있다. 그 중 가장 인기 있는 제품은 3D 시스템즈사(3D Systems)에서 출시한 셰프젯(Chefjet)으로 리퀴드 바인딩 방식의 3D 식품 프린터이다. 셰프젯은 원래 슈가랩(Sugar Lab)으로 불리는 웨딩소품용 설탕장식 제조업체에서 개발되었다. 이를 3D 시스템즈에서 매수하고 레스토랑과 전문 요리를 위한 조리장비로 다시 브랜드화 하였다. 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 원, 고급형은 옵션에 따라 약 561~1,123만 원에 판매되고 있다.

그 외에도 유명 초콜릿 제조회사인 허쉬(Hershey's)와 협력해 용융 압출방식의 코코젯(Cocojet)을 개발하여 운용 중이다. 화이트, 밀크, 다크 초콜릿을 재료로 사용하며, 3D 스캐너를 이용하여 자신의 얼굴 형태도 초콜릿으로 출력할 수 있다. 초콜릿은 온도에 매우 민감하고 냉각되는 시간이 상대적으로 길기 때문에, 현재까지는 시간당 한입 크기의 초콜릿을 5개 정도 출력하는 수준이다. 아직은 시작품 단계지만 3D 시스템즈는 이 제품을 전문 베이커리 업체를 대상으로 출시 계획을 준비 중이다.

그림 4. 셰프젯의 출력물(좌)과 코코젯 초콜릿 3D 프린터(우)

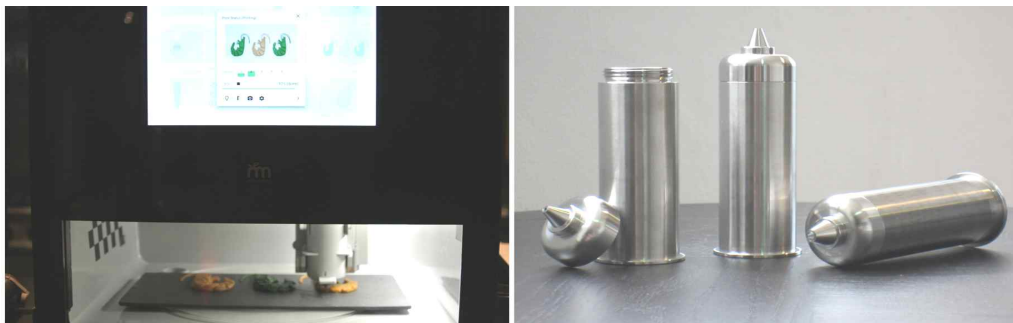


자료: 3D 시스템즈 홈페이지(<https://www.3dsystems.com>).

스페인의 바르셀로나의 스타트업 회사인 네추럴머신스(Natural Machines)는 단순 압출 방식의 3D 식품 프린터인 푸디니(Foodini)를 개발하였다. 케이터링(catering) 서비스가 가능한 것이 가장 큰 특징으로, 최초로 음식재료를 스테인리스로 된 캡슐에 투입하는 방식을 채용한다. 또한 최대 5개의 식품 캡슐을 넣을 수 있는 공간이 있고, 이는 프린팅 도중

자동으로 교체할 수 있다. 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 있게 된다. 현재까지 파스타, 쿠키, 햄버거, 피자 등 다양한 종류의 식품을 출력할 수 있으며, 자체 내장된 조리법 중 하나를 선택하거나 자신만의 조리법으로 수정하여 활용 가능하다. 푸디니의 가격은 약 170만 원으로 미국, 중국, 브라질, 러시아 및 북유럽 국가를 중심으로 판매가 이루어지고 있다.

그림 5. 푸디니의 출력 모습(좌)과 스테인리스 카트리지 캡슐(우)



자료: 네츄럴머신스 홈페이지(<https://www.naturalmachines.com>).

독일 프라이징(Freising) 지역의 연구팀에서 개발한 보쿠시니(Bocusini)는 가열된 프린터 헤드에 재료를 밀어 넣는 용융압출방식의 3D 식품 프린터용 카트리지이다. 다시 말해 기존에 상용화된 플라스틱용 3D 프린터의 카트리지 헤드부분을 보쿠시니로 교체하면 바로 3D 식품 프린터로 사용이 가능하다는 것이다. 현재까지는 미국의 “프린터봇(Printrbot)”과 네덜란드 “얼티메이커 2(Ultimaker 2)” 등에 교체가 가능하다. 보쿠시니의

그림 6. 보쿠시니 프린터 헤드(좌)와 1회용 식품 카트리지 캡슐(우)



자료: 보쿠시니 홈페이지(<https://www.naturalmachines.com>).

헤드부분은 1회용 캡슐로 구성되어 있어 사용이 편리하다는 장점이 있다. 또한 누구나 손쉽게 사용할 수 있게 와이파이 유저 인터페이스를 지원하는 인터넷 플랫폼과, 식품 재료 공급, 마지막으로 식품 디자인을 다운 받을 수 있는 디지털 디자인까지 제공한다. 가격은 약 3,750만원으로 상대적으로 고가이다.

3.2. 3D 식품 프린팅 활용 사례

3.2.1. 전투식량

미국 육군은 전투식량을 원격으로 생산할 수 있는 방법을 모색하였다. 전장으로 수천 마일을 운송하는 전투식량의 공급 여건상 다양성은 물론 맛과 영양을 보장하기란 쉽지 않았기 때문이다. 이를 해결하기 위한 대안으로 미국 육군 네이틱솔져(Natick) 연구센터는 3D 프린팅 기술에 주목하였다. 병사들의 전투복에 생리학적 또는 영양적 상태를 측정할 수 있는 장치를 부착한 후 데이터를 베이스캠프로 전송하여 이를 기반으로 식품을 출력한다. 아직 연구 초기단계이지만 기본적인 식품 구성요소를 출력할 수 있으며, 향후 10년 내에 전장에서 활용될 수 있을 것이라는 전망이다.

3.2.2. 우주식품

3D 프린터는 우주공간에서 식사를 제공하는 데도 유용하게 사용된다. 텍사스주 오스틴에 위치한 시스템즈 앤 메테리얼 리서치 코퍼레이션(SMRC)은 미국 항공우주국(NASA)의 지원을 받아 우주식품용 3D 프린터를 개발하였다. 이에 사용되는 식품은 완전히 분말화된 상태로 공급되며 출력 직전에 물과 기름을 혼합하여 다양한 음식을 만들어낸다. 분말형태의 식재료는 우주공간에 오래 두어도 문제가 되지 않도록 최장 30년까지 보존할 수 있다. 또한 3D 프린팅의 장점은 음식물 찌꺼기가 남지 않는다는 점인데 이는 정밀한 장비로 가득한 우주선내에 필수적 요소가 된다.

3.2.3. 고령자용 물성연화식품

한편 고령친화식품을 연구하는 독일의 식품회사 바이오존(Biozoon)은 고령자가 쉽게 씹을 수 있으면서 시각적으로도 아름다운 식품을 제조하는 방안으로 3D 프린팅에 주목하고 있다. 현재 유럽에서 고령자 5명 중 1명은 씹는 것과 삼키는 것이 어려운 섭식장애로 고통 받고 있다. 이러한 고령자들에게는 분쇄된 형태의 음식물이 제공되는데, 맛이 없을 뿐더러 외관적으로 식욕을 저하시켜 2차적인 영양문제까지 발생하게 된다. 이와 같은 분쇄형 식품을 3D 프린터를 이용하여 다시 당근, 닭다리, 스테이크 모양으로 재구성하면

섭식장애 고령자들도 식사를 즐길 수 있다는 것이 업체의 설명이다. 실제로 독일의 일부 요양원에서 시범운용 결과, 지금까지 제공되던 죽이나 푸레형의 식품보다도 훨씬 더 좋은 평가를 받고 있다고 한다. 현재는 양배추, 완두콩, 닭고기, 당근, 감자 등을 이용하고 있지만 앞으로는 더욱 다양한 음식을 프린팅 할 수 있을 것이라고 한다.

3.2.4. 레스토랑

지난해(2016년) 영국 런던에는 푸드 잉크(Food Ink)라는 3D 프린팅 레스토랑이 오픈해 주목을 끌었다. 이 레스토랑은 애플타이저에서 디저트까지 모두 3D 프린터로 출력된 코스요리를 제공한다. 뿐만 아니라 의자나 테이블, 식기에서 주방도구에 이르는 모든 것들이 3D 프린터로 인쇄된 물건들이라는 것이 특징이다. 음식들은 출력된 후 요리사가 그릇에 내어 손님들에게 제공하는데, 3D 프린팅 과정을 손님들이 직접 볼 수 있다는 것이 매력이다. 고객들은 완벽한 나선형과 정확히 대칭을 이루는 정교한 디자인의 음식을 출력하는 과정을 보며 음식을 즐길 수 있다. 총 9가지로 구성된 코스 요리 가격은 1인당 약 37만 원으로 높은 편이다. 팝업스토어 형태로 운영되는 레스토랑이지만 뜨거운 호응으로 세계 각지에서 추가적으로 오픈할 예정이다. 처음으로 일반에 공개된 3D 프린팅 식품에 대한 사람들의 뜨거운 관심과 호응 속에서 먹고, 공유하고, 살아가는 방식을 얼마나 바꿀 수 있을지는 조금 더 지켜보아야 할 것이다.

3.2.5. 식용곤충

기후 변화와 폭발적인 인구증가로 인해 식량문제가 더욱 심화될 것으로 예상되는 가운데, 이를 해결하기 위한 수단 중 하나로 식용곤충이 주목받고 있다. 우리나라에서도 번데기와 메뚜기 등의 곤충을 즐겨먹는 경우도 일부 있지만, 세계적으로 보면 곤충은 매우 귀중한 단백질원으로서 활용되고 있다. 그러나 아무리 영양가가 높고 안전하게 가공되었다고 하더라도 곤충의 모습 그대로는 좀처럼 수용하기 쉽지 않다. 이에 식용으로 사육된 곤충을 3D 프린터 재료로 가공하여 보다 식용에 적합한 디자인으로 재가공 하는 방법이 이슈가 되고 있다. 건조된 곤충 분말에 향신료를 넣고 버터와 크림, 물이나 증점제를 섞어 3D 프린팅 재료로 가공한다. 식(食)에 대한 의식이 높아지는 현대에 식품 자체의 외형도 중요하지만, 세계적으로 심각해지는 식량 부족 문제에 대응하는 곤충 음식과 관련된 3D 식품 프린팅 기술 개발은 향후 중요한 연구 분야로 성장할 것으로 기대된다.

4. 양우 발전 방향 및 시사점

4.1. 개인 맞춤형 식품 디자인

이처럼 3D 식품 프린팅 기술은 식품산업에 많은 변화를 몰고 올 것이 분명하다. 특히 요즘과 같이 대량생산으로 똑같은 식품을 쏟아내는 시대에서 3D 식품 프린팅은 개인 맞춤형 식품산업을 활성화 시킬 수 있을 것으로 예상된다. 단순히 식품의 맛과 외형 뿐만 아니라, 영양학적 요구와 신체 능력에 부응하는 궁극적인 의미의 맞춤형 식품을 디자인할 수 있다는 것이다.

우선, 3D 식품 프린터가 네트워크에 연결되는 순간이 이 같은 변혁의 시발점이 될 것이다. 스마트폰 및 IoT 기반의 웨어러블 기기 등의 스마트 헬스케어 시스템과 융합하여 우리 몸의 다양한 데이터를 수집하고, 거기서 얻은 정보를 분석하여 개인이 섭취해야 할 영양소를 산출하게 된다. 이를 기반으로 스마트기기에서 출력버튼만 누르면 완전한 맞춤형 식품이 만들어지게 된다. 일반적으로 양산되고 있는 보충제나 기능성 식품들은 개인의 요구를 만족시키지는 못하는 반면, 3D 식품 프린터는 자신만의 영양사가 되어줄 수 있을 것이다. 더 나아가 식품을 완전히 분쇄하여 재구성하는 3D 식품 프린팅은 기능성 성분을 강화하는 것뿐만 아니라 특정 물질을 제거하는 것도 가능하다. 예를 들어 유당불내증이나 글루텐 알레르기 같이 특정 성분에 민감한 사람들은 이를 제거하거나 다른 물질로 대체할 수 있게 된다.

또한 3D 식품 프린팅은 식품의 고유한 본질 때문에 변화되기 힘들었던 식품의 형태와 물성을 소비자의 신체능력에 따라 자유롭게 조절할 수 있다. 이와 같은 장점을 이용하여 음식을 씹거나 삼키기 어려운 연하장애 환자나 저작이 어려운 영유아 및 고령층을 위한 영양식품을 개발하는 등 다양한 산업분야에 활용될 수 있을 것이다.

4.2. 유통구조의 변화

우리가 일반적으로 섭취하는 식품의 대부분은 대량생산을 기반으로 공급되어 왔지만, 개인의 취향을 최대한 반영시킨 맞춤형 주문제작 서비스 또한 이미 존재하고 있다. 하지만, 이러한 맞춤형 식품들은 소비자에게 전달하는데 걸리는 시간과 비용이 상당히 높아 하나의 사치로 간주되기도 하였다. 이런 상황이 3D 식품 프린팅 기술에 의하여 식품을 만드는 행위가 디지털 영역으로 이행해 감에 따라 크게 바뀌어 가고 있다. 종래의 대량생산과 소량생산이라는 이항 대립을 넘어 소비자 개인취향에 대응 가능한 초다

품종 소량생산이라는 개인에 특화된 식품생산을 가능하게 한다는 것이다. 또한 이러한 식품생산의 디지털화는 식품의 생산뿐만 아니라 유통, 외식업을 포함한 모든 산업 구조와 생활방식에 큰 변화를 가져올 수 있다. 예를 들어 온라인 플랫폼에 공유된 동일한 음식 설계를 바탕으로 시공간의 제약 없이 누구라도 완벽하게 동일한 맛과 식감의 음식을 생산할 수 있다. 이를 통해 원하는 사람은 누구나 자신만의 레시피를 업로드하여 공유하거나 다운받아 식품을 제조하는 등 식품공급 체인이 완전히 바뀌게 될 것이다. 즉 소비자와 생산자의 경계가 모호해진다는 것이다.

4.3. 기술 표준화 및 기준/규격

현재 세계 각국의 다양한 업체와 기관에서 3D 식품 프린터와 소재들이 개발되고 있지만, 사용하는 식품소재는 물론 3D 프린터 자체도 표준화가 되어있지 않다. 3D 프린터용 소재는 자체 무게에 의해 붕괴되지 않고 형상을 유지할 수 있는 충분한 강성을 보유하면서 노즐을 통해 쉽게 압출될 수 있는 유동성이 있어야 한다. 하지만, 다양한 성분으로 구성된 식품의 경우, 인쇄 후 변형거동을 정량화 하고 예측하는 것이 매우 어려워 지금 까지도 이것을 명확히 평가할 수 있는 기술이 없다. 또한 식품 산업 중 3D 프린팅 기술이 적용될 수 있는 세부 분야는 매우 다양하고, 적용분야에 따라 요구되는 소재의 성질은 매우 상이하다. 따라서 3D 프린터용 식품의 가공방법을 연구하는 것과 동시에 적용 분야를 구체화하고 각 분야에 특화된 식품 소재개발 연구가 진행되어야 할 것이다. 이를 위해서 소재의 3D 프린팅 적합성에 대한 평가기준이 될 수 있는 표준물질의 선정과 이를 정량화하고 예측할 수 있는 유변학적 특성 규명이 필수적이다. 또한 적용 분야에 따른 특성, 적층 허용 범위, 색상, 물성 등에 대한 표준/규격을 설정하여 3D 프린터에 사용되는 ‘식품잉크’의 표준화를 통한 개발 가이드라인이 제시되어야 할 것이다.

5. 요약 및 결론

지금까지 소재된 3D 식품 프린팅에 대한 접근들은 대부분 별다른 가공 없이 그 자체로 적층 가능한 식품을 이용해 단순히 3차원으로 형상화하는 수준에 머물고 있다. 3D 프린팅 기술의 식품과의 융합에서는 외형적 형상화뿐만 아니라 출력된 식품의 기능성이 중요하지만, 현 기술 수준에서의 성급한 시도와 제품화로 인해 오히려 제대로 된 개발 방향이 훼손되고 있는 실정이다. 이를 타개하기 위하여 기존 식품이 갖고 있는 특성과 영양

등을 유지한 상태로 3D 프린팅에 적합하게 소재화하는 기술의 확보가 무엇보다 중요할 것이다.

또한 식품 산업 중 3D 프린팅 기술이 적용될 수 있는 세부 분야는 매우 다양하고, 적용 분야에 따라 요구되는 식품소재의 성질은 매우 상이하다. 따라서 3D 프린터용 소재기술을 연구하는 것과 동시에 적용분야를 구체화 하고 해당분야의 니즈에 특화된 개발이 진행되어야 할 것이다. 예를 들면 식품을 완전히 연화시켜 원하는 경도(硬度)와 형태로 재구성할 수 있는 3D 프린팅의 장점은 기존의 고령자용 물성연화식품 제조기술의 한계를 타개할 수 있는 미래 식품기술로서 파급력이 매우 클 것이다. 이와 같은 특정 산업군을 타깃으로 하여 최적화된 소재기술 개발을 개발한다면 관련 산업으로의 성공적인 안착과 파급효과를 높일 수 있을 것이라 기대된다.

하지만 일상생활 속에서 식사를 준비하고 섭취하는 행위에 걸리는 시간이 그렇게 길고 번거롭지만은 않다. 따라서 기술적으로 진보된 디지털 요리 기구를 통해 모두가 식품을 스스로 디자인하고 요리할 수 있게 되었다 하더라도 기술적인 실현 가능성이 반드시 사회적인 적용으로 직결되는 것은 아니다. 또한 3D 프린팅은 원래 플라스틱, 금속, 세라믹 등의 소재로 3차원 조형물이나 부품을 제조하는데 이용되었기 때문에 식품산업에 적용하기 위해서는 기술적 보완, 관련 정책 및 법규 마련 등 넘어야 할 난관들도 많다.

그럼에도 새로운 가치를 창출하여 사회적, 환경적 난제를 해결하기 위한 기술이라는 점과 우리의 기대를 뛰어넘는 새로운 기술이 지속적으로 도입되고 있는 것을 볼 때, 식품 3D 프린팅에 관심을 가져야 할 이유는 충분하다.

참고문헌

- 박진우. 2015. 미래 식생활의 변화 - 3D 음식 프린팅. KB금융지주 경영연구소.
- 신태수. 윤석현. 이경석. 안태혁. 2015. 고령자의 건강, 미래기술로 지키다. LG첼린저스.
- 윤형선. 이미현. 김현연. 김수진. 이소윤. 김연비. 유영선. 이진규. 2016. 3D 프린팅 기술과 미래식품산업의 응용. 식품과학과 산업 12월호.
- Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. 2016. *3d printing technologies applied for food design: Status and prospects*. Journal of Food Engineering, 179, 44-54.
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y., Hong, G. S., & Chiu, A. 2015. *A review on 3D printing for customized food fabrication*. Procedia Manufacturing, 1, 308-319.
- Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D., & Lin, L. Y. 2017. *Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control*. Journal of Food Engineering xxx. 1-11.

참고사이트

- LG엔시스 (http://www.lgnsys.com/front/webzine_new/itstory_trend.do?y=16&m=04)
- 3D printing industry (<https://3dprintingindustry.com/food>)