

고령친화식품 제조를 위한 3D 식품 프린팅 기술의 적용 가능성과 실용화 과제

김지윤^{1,2} · 김정수^{2*}

¹한국식품연구원 스마트제조연구단, ²(주)푸드프로 3D식품프린팅기술연구소

Application potential and practical challenges of 3D food printing for elderly-friendly food manufacturing

Jiyeon Kim^{1,2} and Jung Soo Kim^{2*}

¹Smart Food Manufacturing Research Group, Korea Food Reserach Institute, Wanju, Korea

²3D Food Printing Technology Research Institute, FOODPRO CO., Ltd., Daegu, Korea

Abstract

As Korea enters a super-aged society, the need for foods that can support both safe intake and adequate nutrition in older adults is becoming increasingly important. This article reviews the current state of 3D food printing technology and discusses its application potential and practical challenges in elderly-friendly food manufacturing. Conventional elderly-friendly foods have contributed to improving ease of intake, but they still have limitations in reflecting individual differences in chewing and swallowing ability, diversifying meal forms, and supporting personalized nutritional design. In this context, 3D food printing has gained attention as a promising manufacturing technology because it allows simultaneous design of food shape, composition, and texture. In food applications, extrusion-based printing is mainly used, and the design of printable food inks is a key prerequisite. To achieve stable printing, food inks should exhibit appropriate rheological properties so that extrusion, layer formation, and shape retention can be secured in a balanced manner. In addition, process conditions should be optimized together with material properties to improve structural accuracy, reproducibility, and quality stability after post-processing. Recent studies have focused

Date Received: Apr. 09, 2026, 2025, **Date Revised:** May. 15, 2026, **Date Accepted:** May. 27, 2026

***Corresponding author:** Jung Soo Kim, Tel: +82-10-6283-6078, E-mail: ceo_js@foodpro.kr

Copyright © 2026 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

mainly on dysphagia-oriented food design, structural reproduction, and texture control, with gradual expansion toward nutritional enhancement. However, practical application still requires further work on quality reproducibility, post-processing stability, and evaluation systems linking process conditions, material properties, and intake suitability. These aspects will be critical for the industrial use of 3D food printing in elderly-friendly food manufacturing.

Key words: elderly-friendly foods, dysphagia diet, 3D food printing, food ink, practical application

1. 서론

지난 우리나라는 2025년 65세 이상 인구 비율이 20.3%에 이르러 공식적으로 초고령사회에 진입하였으며, 이에 따라 고령자의 식생활과 영양관리를 지원할 수 있는 식품 개발의 중요성이 더욱 커지고 있다(국가데이터처, 2025). 노화가 진행되면 치아 상실, 저작력 저하, 연하 기능 변화 및 소화기능 저하 등이 동반되어 음식 선택의 폭이 좁아지고, 이는 영양불균형과 삶의 질 저하로 이어질 수 있다. 국민건강영양조사 자료에서도 65세 이상 노인의 43.2%가 저작 곤란을 경험한 것으로 보고되었으며(Kim 등, 2023), 연하장애 또한 고령 인구에서 약 10~30% 수준으로 보고되고 있으며, 흡인성 폐렴, 탈수, 영양실조 및 삶의 질 저하와 밀접하게 관련되는 것으로 알려져 있다(Park 등, 2013; Im, 2020). 따라서, 고령자용 식품은 단순한 열량 공급을

넘어, 안전한 섭취, 충분한 영양 제공, 그리고 식사 만족도까지 함께 고려하여 설계될 필요가 있다. 이와 함께 고령인구 증가에 따라 의료비 부담도 빠르게 확대되고 있다. 실제로 65세 이상 노인의 총 진료비는 2020년 약 37조 원에서 2024년 약 52조 원으로 증가하였으며, 같은 기간 65세 이상 1인당 연평균 진료비도 약 487만 원에서 약 551만 원 수준으로 늘어난 것으로 보고되었다(그림 1). 이러한 추세는 고령자의 영양 관리와 섭취 지원이 개인의 건강 문제를 넘어 사회적 비용 절감과도 연결될 수 있음을 시사한다.

우리나라에서 고령친화식품은 고령자의 식품 섭취, 소화, 흡수 및 대사 등을 돕기 위해 식품의 물성 및 영양 성분 등이 일정 수준을 충족하도록 제조·가공한 식품으로 규정되며(e나라표준인증, 2026), 이는 고령친화식품이 단순한 연화식이 아니라, 물성 조절과 영양

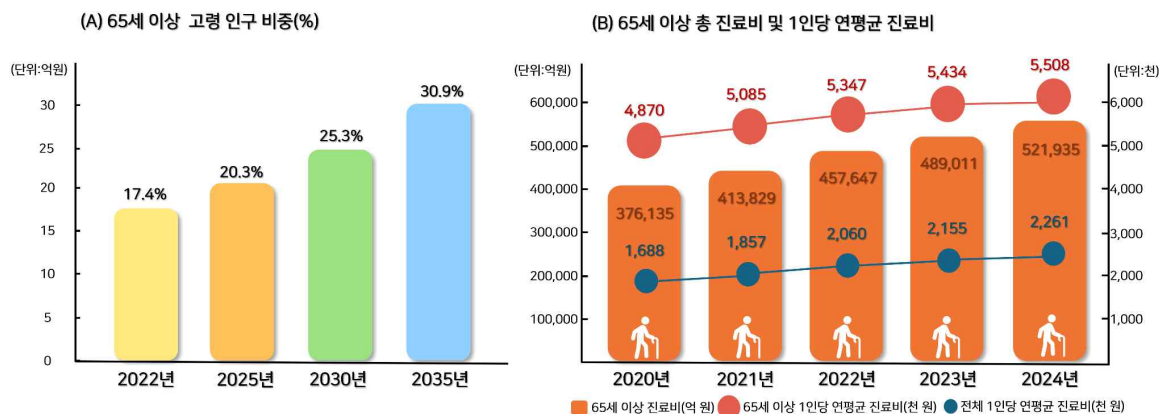


그림 1. (A) 고령인구 비중 전망 및 (B) 65세 이상 노인 진료비 증가 추이.

(출처: 국가데이터처, 2025; 국민건강보험공단, 2024).

설계를 함께 고려한 식품군임을 보여준다. 그러나 현재 국내 시장에서 유통되거나 개발되는 제품은 주로 죽, 국·탕류, 연화식, 균질화 식품과 같이 섭취 용이성 확보에 초점을 둔 유형에 집중되어 있다(Kim 등, 2024). 국내에서도 고령자용 식품 개발과 상품화가 확대되면서 전통음식을 기반으로 부드러운 식품과 고단백 영양 보충 제품이 출시되고 있으나, 제품의 형태와 선택 폭은 아직 제한적이며 다양한 식사 상황과 기능 수준을 충분히 반영하기에는 미흡한 실정이다. 특히 고령자는 저작 및 연하 능력, 건강 상태, 영양 요구 수준에 따라 필요한 식품의 물성, 조성, 제공 방식이 달라질 수 있음에도 불구하고, 현재의 제품군은 이러한 차이를 세분화하여 반영하는 데 한계를 보이고 있다. 또한, 기존 제조 공정은 균일한 품질의 대량생산에는 유리하지만 개별 섭취자의 기능 수준에 맞춘 유연한 설계와 구조적 다양성 확보에는 제약이 따른다. 최근 연구에서도 고령자용 식품 시장에서 이용 가능한 제품의 종류가 여전히 제한적이며, 향후에는 건강 상태와 생리적 특성이 서로 다른 고령자 하위집단의 요구를 반영한 식품 개발이 필요하다고 지적하고 있다(Qin 등, 2024). 이와 같은 요구는 기존 제조 방식만으로는 충족되기 어려우며, 보다 유연한 식품 설계와 제조가 가능한 기술적 접근을 필요로 한다.

이러한 한계를 보완할 수 있는 대안으로 3D 식품 프린팅이 최근 고령친화식품 제조 분야에서 주목받고 있다(Liu 등, 2024). 3D 식품 프린팅은 디지털 설계를 기반으로 식품의 형상, 조성 및 물성을 조절할 수 있어, 고령자의 기능 수준에 맞춘 맞춤형 식품 제조에 유리한 기술로 평가된다(Shen 등, 2025). 특히, 기존 제조 방식으로는 반영이 쉽지 않았던 형태 설계, 물성 조절 및 영양 조성의 조합을 보다 유연하게 구현할 수 있다는 점에서, 새로운 고령친화식품 제조 전략으로 검토될 수 있다. 그러나 실제 활용과 산업화를 위해서는 해결되어야 할 기술적 및 제도적 과제가 여전히 존재한다. 따라서 본 원고에서는 고령친화식품 제조 관점에서 3D 식품프린팅의 적용 가능성과 기술적 요구조건을 정리하

고, 최근 5년간 발표된 주요 학술 논문과 리뷰 문헌을 중심으로 관련 연구 동향, 적용 사례, 물성 제어 전략 및 제도적 한계를 종합적으로 고찰하고자 한다.

II. 본론

2.1. 고령친화식품의 산업적 현황과 기존 제조 방식의 한계

초고령사회에서 고령친화식품은 단순한 특수식을 넘어, 고령자의 기능 저하와 영양 요구 변화에 대응하는 산업적 식품군으로 인식될 필요가 있다. 특히 저작 및 연하 능력의 저하, 소화기능 변화, 만성질환 동반 가능성 등을 고려할 때, 섭취 안전성뿐만 아니라 영양성, 기호성, 식사 편의성까지 함께 반영하여 설계되어야 한다. 즉, 고령친화식품은 단순히 부드러운 식품이 아니라, 물성 조절과 영양 설계를 통해 고령자의 식사 수행을 지원하는 방향으로 개발되어야 한다.

우리나라에서 고령친화식품은 고령자의 식품 섭취, 소화, 흡수 및 대사 등을 돕기 위해 식품의 물성 및 영양 성분 등이 일정 수준을 충족하도록 제조·가공한 식품으로 정의된다(e나라표준인증, 2026). 이를 제도적으로 구현하기 위해 국내에서는 2017년 고령친화우수 식품에 관한 한국산업표준(KS H 4897)을 마련하고, 제품의 물성 및 영양 성분 기준을 제시해 왔다. 아울러 식품의 섭취 용이성에 따라 1단계, 2단계, 3단계로 구분하여 관리함으로써 고령자의 기능 수준에 적합한 제품 개발과 품질 관리의 기반을 제공하고 있다. 다만, 이러한 제도적 구분만으로는 실제 고령자의 다양한 섭취 특성을 충분히 반영하기 어렵다. 실제 고령자는 저작력, 연하 기능, 건강 상태 및 영양 요구 수준에서 개인차가 크기 때문에, 고령친화식품은 단일한 제형이나 기준보다는 섭취 능력과 목적에 따라 다양한 수준으로 설계될 필요가 있다(Gallego 등, 2022; Shin 등, 2023). 또한, 초고령사회 진입과 함께 자가 식사 유지, 영양불량 예방, 식사 만족도 향상에 대한 관심이 확대되면서, 고령친화식품은 복지와 의료의 보조 수단을 넘어 식품산업의 중요한 개발 영역으로 부상하고 있다.

국내 고령친화식품 시장은 고령인구 증가와 돌봄 및

급식 수요 확대를 배경으로 점차 성장하고 있으며, 최근에는 죽, 국·탕류, 연화식, 균질화 식품, 단백질 보충식 등 다양한 제품이 개발·유통되고 있다(Jang 등, 2024). 특히, 섭취 편의성과 영양 보완을 동시에 고려한 제품군이 확대되면서, 전통적인 연화식 중심의 제품 구성에서 고단백 식품, 간편식, 반찬류 등으로 범위가 넓어지는 양상이 나타나고 있다. 그러나 현재 시장에서 주로 확인되는 제품은 여전히 제한된 제형과 범주에 집중되는 경향이 있으며, 저작 및 연하 수준에 따른 단계적 세분화나 실제 식사 상황을 반영한 메뉴 다양성은 충분히 확보되지 못하고 있다.

이러한 편중은 인증 제품 구성에서도 확인되는데, 현재 국내 고령친화식품의 식품유형별 분포와 단계별 인증 현황은 그림 2와 같이 정리할 수 있다. 현재 고령친화우수식품으로 인증 받은 202개 품목을 식품유형별로 분류하면, 즉석식품류가 81품목(40.1%)으로 가장 높은 비중을 차지하였고, 식육가공품 및 포장육 45품목(22.3%), 농산가공식품류 29품목(14.4%), 알가공품류 13품목(6.4%), 과자·빵·떡류 또는 떡류 12품목(5.9%)이 그 뒤를 이었다. 반면 조미식품, 수산가공식품류, 절임·조림류 또는 조림류, 음료류, 특수영양식품, 유가공품류 등은 상대적으로 적은 비중을 보여, 인증 제품

이 일부 유형에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 단계별로는 1단계 제품이 115품목(56.9%)으로 가장 많았고, 3단계 제품은 79품목(39.1%)인 반면, 2단계 제품은 8품목(4.0%)에 불과하여 단계 간 분포 역시 불균형한 양상을 보였다. 이와 같은 현황은 현재의 고령친화식품이 일정 수준의 섭취 편의성 확보에는 기여하고 있으나, 보다 고도화된 맞춤형 식품 설계에는 여전히 한계를 가진다는 점을 보여준다. 기존 식품 제조 방식은 균일한 품질과 생산 효율 측면에서는 유리하지만, 고령자의 기능 수준 차이를 반영하여 식품의 형상, 물성, 조성 및 제공 방식을 유연하게 조절하는 데에는 제약이 따른다(Lee 등, 2024). 특히, 형태 복원형 식품, 정식형 식단, 개인 맞춤형 영양 설계와 같이 시각적 완성도와 구조적 다양성이 함께 요구되는 제품은 기존 공정만으로 구현하기 어렵다. 또한, 동일한 원료를 사용하더라도 저작 및 연하 단계에 따라 서로 다른 조직감과 섭취 특성을 부여해야 하는 경우가 많아, 단순한 연화 또는 균질화 중심의 접근만으로는 실제 수요를 충분히 반영하기 어렵다. 따라서, 향후 고령친화식품의 고도화를 위해서는 대량생산 중심의 기존 제조 방식에서 나아가, 보다 유연한 구조 설계와 맞춤형 제조가 가능한 기술적 접근이 필요하다.

(A) 고령친화식품 지정 품목 목록을 바탕으로 재분류한 식품유형별 품목 분포

식품유형	품목수	비율
즉석식품류	81	40.1%
식육가공품류 및 포장육	45	22.3%
농산가공식품류	29	14.4%
알가공품류	13	6.4%
과자·빵·떡류	12	5.9%
조미식품	7	3.5%
수산가공식품류	5	2.5%
절임·조림류	4	2.0%
음료류	3	1.5%
특수영양식품	2	1.0%
유가공품류	1	0.5%
Total	202	100%

(B) 단계별 지정 비율 및 고령친화우수식품 지정제품 인증 마크(3단계)

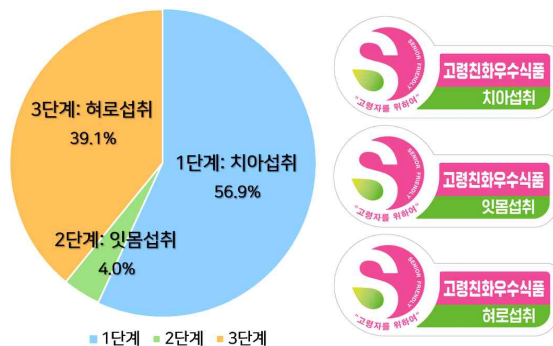


그림 2. (A) 국내 고령친화우수식품의 식품유형별 분포와 (B) 단계별 지정 구조.

(출처: 한국식품산업클러스터진흥원, 2026).

2.2. 3D 식품 프린팅 기반 고령친화식품 제조의 기술적 요구조건

2.2.1. 3D 식품 프린팅의 개요와 고령친화식품 분야에서의 활용 가능성

적층 제조(additive manufacturing) 원리를 기반으로 한 3D 프린팅은 디지털설계 데이터를 바탕으로 재료를 정밀하게 층층이(layer-by-layer) 적층하여 원하는 형상을 구현하는 기술이다(Yan 등, 2018). 플라스틱, 금속, 유리, 식품 등을 소재로 사용할 수 있어 3D 프린팅 기술은 다양한 산업 분야로 빠르게 확장되고 있다. 3D 프린팅은 공정 방식에 따라 1) 재료를 액화시키지 않고 온도를 높여 복잡하고 고해상도의 프로토타입을 제작하는 소결 방식, 2) 전자빔을 사용하여 분말을 녹이는 용융 방식, 3) 광중합 방법을 사용하는 스테레오리소그래피(stereolithography) 방식으로 나뉜다(Jandayl 등, 2022).

식품 분야에서는 주로 압출 기반 공정이 활용되며, 반고체 형태의 식품 소재를 노즐을 통해 적층하는 방식이 일반적이다. 압출 메커니즘에 따라 3D 식품 프린팅은 열간 압출, 공압 구동, 이중 노즐 프린팅, 연속 생산 방식 등으로 재료 이송 방식과 공정 특성에 의해 구분될 수 있다(그림 3). 이와 같은 압출 기반 3D 식품 프린팅은 식품의 형상, 조성 및 물성을 동시에 설계할 수 있다는 점에서, 개인의 섭취 능력과 영양 요구를 반영한 맞춤형 고령친화식품 제조에 적용 가능성이 높은 기술로 평가된다. 특히, 고령친화식품은 저작 및 연하 기

능 수준, 건강 상태, 영양 요구에 따라 필요한 식품의 물성, 조성 및 제공 형태가 달라질 수 있어, 획일적인 제조 방식만으로는 다양한 수요를 충분히 반영하기 어렵다. 이에 따라 3D 식품 프린팅은 고령자의 기능 수준에 맞춘 맞춤형 식품 제조에 유리하며, 기존 연화식이나 균질화 식품의 형태적 단조로움을 보완하면서 식사 만족도와 시각적 수용성까지 고려한 제품 설계가 가능하다는 점에서 활용 가치가 크다. 이러한 특성은 고령자 맞춤형 식품 설계와 연하 적합 식품 개발에서 3D 식품프린팅의 활용 가능성을 뒷받침하는 핵심 요소로 보고되어 왔다(Shigi와 Seo, 2024).

2.2.2. 식품 잉크 설계, 인쇄 적합 물성, 프린팅 공정 최적화 및 최종 품질 고려사항

3D 식품 프린팅에서 사용되는 소재는 일반적으로 식품 잉크(food-ink)로 정의되며, 단순한 분쇄 또는 혼합물이 아니라 프린팅 공정에 적합하도록 물성이 설계된 제형을 의미한다. 최근에는 이러한 기술의 적용 범위가 고령친화식품과 대체식품 가공 분야로도 확대되고 있다(Kim 등, 2024; Kim 등, 2025). 식품 잉크는 미세한 노즐을 통해 안정적으로 압출될 수 있어야 하며, 적층 후에는 무너지지 않고 구조를 유지할 수 있는 특성을 동시에 가져야 한다. 이를 위해서는 압출성(extrudability), 적층 안정성(layer stability), 형상 유지성(shape retention)이 함께 확보되어야 하며, 이러한 특성은 점도, 항복응력, 전단박화(shear-thinning) 거동과 같은 유변학적 특성에 의해 크게 좌우된다. 특

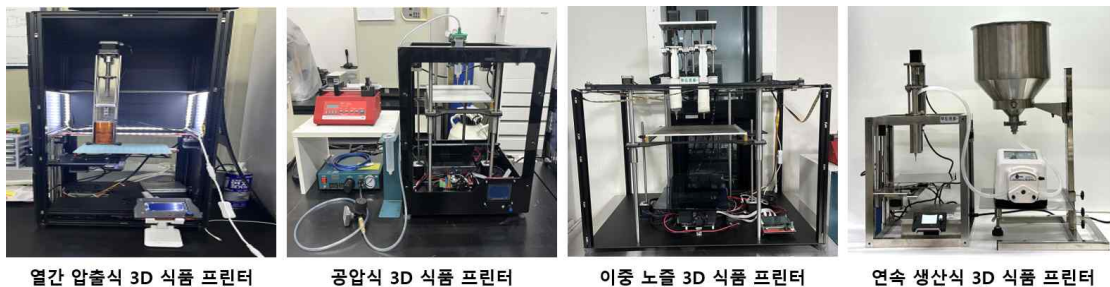


그림 3. 압출 메커니즘에 따른 3D 식품 프린터(출처: ㈜푸드프로, 3D식품프린팅기술연구소).

히, 전단 조건에서는 점도가 감소하여 원활한 압출이 가능하고, 압출 이후에는 점도가 회복되어 구조를 유지하는 특성이 요구된다(Kim 등, 2026). 따라서, 식품 잉크는 하이드로콜로이드, 단백질, 전분 등의 성분을 활용하여 이러한 유변학적 특성을 조절하는 방식으로 설계된다. 특히 압출 기반 3D 식품 프린팅에서는 식품 잉크의 점도와 항복응력에 대한 정량적 고려가 중요하다. 일반적으로 수십 Pa 이상의 항복응력과 10^2 – 10^5 Pa·s 수준의 겔보기 점도 범위는 적층 안정성과 형상 유지에 유리한 것으로 보고되어 왔으며(Kim 등, 2024), 전단속도 증가에 따른 점도 저하는 원활한 압출을 가능하게 하는 핵심 특성으로 간주된다(Liu 등, 2023; Pérez 등, 2019). 다만 이러한 범위는 식품 조성, 수분 함량, 노즐 조건 및 프린팅 방식에 따라 달라질 수 있으므로, 개별 시스템에 맞는 최적화가 필요하다.

프린팅 공정에서는 식품 잉크의 물성뿐만 아니라 공정 변수의 정밀한 제어가 함께 요구된다(Pérez 등, 2019). 주요 프린팅 파라미터로는 압출 압력, 노즐 직경, 프린팅 속도, 프린팅 온도, 내부 채움 구조, layer 높이 등이 있으며, 이들 변수는 식품 잉크의 점도와 항복응력 등 유변학적 특성과 밀접하게 연관된다. 예를 들어, 높은 점도와 항복응력을 갖는 식품 잉크는 보다 높은 압출 압력과 큰 노즐 직경, 낮은 프린팅 속도가 요구되는 반면, 상대적으로 낮은 점도의 잉크는 형상 유지가 어려워 적층 안정성이 저하될 수 있다. 원하는 형상 정확도와 구조 안정성을 확보하기 위해서는 식품 잉크의 물성과 공정 변수 간 상호작용을 함께 고려한 최적화가 필요하며, 최근에는 반응표면분석법(response surface methodology)을 활용한 접근도 보고되고 있다(Kim 등, 2024).

한편 고령친화식품 적용 측면에서는 단순히 프린팅이 가능한 수준을 넘어, 실제 섭취 환경을 고려한 품질 확보가 중요하다. 기존의 연화식이나 균질화 식품은 섭취 용이성은 확보할 수 있으나, 형태의 단순화로 인해 식욕 저하 및 기호성 감소로 이어질 수 있다(Kim 등, 2015). 이러한 한계를 보완하는 측면에서 3D 식품 프

린팅은 식품을 기존과 유사한 형태로 재구성할 수 있으며, 이는 고령자의 시각적 수용성과 기호성 향상으로 이어질 수 있다. 기존 연구에서도 형태 재현과 시각적 수용성은 고령친화식품 및 연하곤란식의 수용성 향상과 밀접하게 관련되는 요소로 제시된 바 있다(Molimi 등, 2025). 그러나 CAD 소프트웨어로 설계된 3D 모델과 높은 형상 정밀도를 위한 반복 적층 구조는 기존 식품과 다른 이질적인 외관을 유발할 수 있다. 이에 따라 최근 연구에서는 고령친화식품의 형태적 품질을 향상시키기 위해 3D 스캐닝을 활용한 역설계(reverse engineering) 방식도 적용되고 있다(그림 4). 다만 3D 형상 정밀도를 높일수록 층별 구조가 더욱 두드러져 이질감이 증가할



그림 4. 압출 기반 3D 식품프린팅을 이용한 식품의 구조 재현 및 디지털 제조 공정 개념도
(출처: Kim 등, 2026; Kim 등, 2025; Kim 등, 2024).

수 있고, 생산성 저하로도 이어질 수 있다. 따라서, 실제 적용을 위해서는 적층 구조에 따른 이질감과 프린팅 생산성 간의 균형을 고려한 공정 설계가 요구된다.

또한, 3D 프린팅으로 제조된 고령친화식품은 최종 섭취를 위해 조리 과정이 필요한 경우가 많다(Lee 등, 2025). 일부 3D 식품 프린팅은 시린지 부의 온도 제어를 통해 프린팅과 동시에 조리가 가능하지만, 별도의 온도 처리가 이뤄지지 않는 경우에는 일반 가공식품과 마찬가지로 후속 조리 후 섭취되어야 한다. 조리 이후에도 영양 적합성과 물성 적합성이 함께 유지되어야 하므로, 조리 공정은 고령친화식품의 최종 품질을 좌우하는 핵심 단계가 될 수 있다. 특히 열처리 방식에 따라 구조 안정성 유지 정도가 달라질 수 있으며, 기존 연구에서는 저온 가열 조건(수비드 조리)이 프린팅 구조의 붕괴를 최소화하는데 유리한 것으로 보고된 바 있다(Yang 등, 2024).

2.2.3. 3D 프린팅 기반 고령친화식품의 연구 현황 및 기술 적용 예시

현재까지의 3D 프린팅 기반 고령친화식품 연구는 주로 연하 적합 식품 개발을 중심으로 축적되어 왔으며, 이와 함께 형상 유지와 시각적 수용성 개선을 고려한 연구

가 병행되어 왔다. 사용 원료는 곡류·전분류와 동물성·식물성 단백질류가 높은 비중을 차지하고 있으며, 최근에는 과채류, 지방계 소재 및 기능성 부원료를 활용한 적용 사례도 점차 확대되고 있다. 또한, 일부 연구에서는 단백질 강화, 지방 대체, 프로바이오틱스 첨가, 기능성 소재 적용 등을 통해 영양 보완형 제형 설계까지 시도하고 있다. 이러한 연구 흐름은 3D 프린팅의 고령친화식품 적용 범위가 점차 확장되고 있음을 보여준다(Jia 등, 2026).

기술 적용 측면에서 이러한 연구는 주로 증점제, 하이드로콜로이드, 단백질, 전분 및 지방계 소재를 활용한 제형 설계와 다양한 물성 조절 전략을 통해 수행되어 왔다. 특히, 연하에 적합한 조직감을 구현하면서도 프린팅 적합성과 구조 안정성을 동시에 확보할 수 있도록 조성비, 첨가제 종류 및 공정 조건을 조절하는 방식이 주로 활용되었다. 일부 연구에서는 외형 구현과 구조 안정성 확보를 통해 기존 연하식의 시각적 한계를 보완하고자 하였으며, 최근에는 물성 제어를 넘어 영양 보완과 맞춤형 조성 설계를 함께 반영하려는 시도도 나타나고 있다(Molimi 등, 2025). 대표적인 기술 적용 사례는 사용 원료와 설계 전략을 기준으로 표 1에 정리하였다.

표 1. 식품 원료, 적용 목표 및 설계 전략에 따른 3D 프린팅 기반 고령친화식품 연구 사례

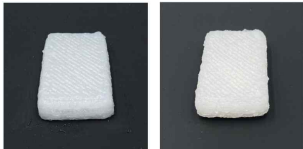
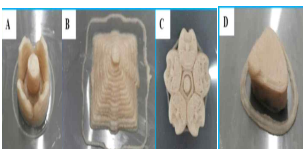
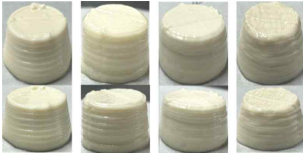
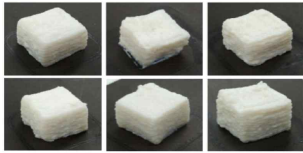
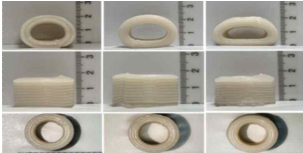
구분 및 식품원료	적용 목표	주요 설계 전략	3D 프린팅 대표 이미지	참고문헌
곡류·전분류	쌀가루	연하곤란 환자식단을 위한 떡 개발	증점제(카라기난, 커드란) 비율 조절에 따른 물성 조절	 Kim 등, 2025
	현미, 우유	노인 맞춤형 식품 개발(프로바이오틱스와 3D 프린팅 기술 결합)	다양한 프로바이오틱스 첨가에 따른 물성 조절	 Huang 등, 2024b
	흰 귀노아, 현미	연하곤란 및 제2형 당뇨병 위험 노인을 위한 통곡물 식품 개발	건열처리를 통한 전분개질에 따른 인쇄성 및 물성 조절	 Huang, 등, 2024a

표 1. 계속

구분 및 식품원료	적용 목표	주요 설계 전략	3D 프린팅 대표 이미지	참고문헌
동물성 단백질류	소고기	연하곤란 정도에 대응한 소고기 페이스트 개발	증점제(잔탄검, 구아검, 카라기난, 로커스트빈검) 비율 조절에 따른 물성 조절	Dick 등, 2021
	돼지고기	연하곤란 환자를 위한 돼지고기 유화겔 개발	고내상 피커링 에멀전 적용에 따른 물성 조절 및 지방 대체	Hou 등, 2025
	닭가슴살, 밀원단백질 분리물	연하곤란 환자를 위한 섬유상 구조의 닭고기 제품 개발	밀원단백질 대체에 따른 물성 조절	Chao 등, 2022
식물성 단백질류	완두 분리 단백질	연하곤란 환자를 위한 완두단백 기반의 식단 제품 개발	증점제(잔탄검) 첨가에 따른 물성 조절	Liu 등, 2023
	대두 분리 단백질, 밀납, 옥수수유	연하곤란 환자를 위한 단백질 기반 식품 개발	프린팅 노즐 크기에 따른 물성 조절	Qiu 등, 2024
	병아리콩단백질, 귀리 단백질	연하곤란 환자를 위한 육류 대체물 제조	선별된 식물성 단백질공급원과 비트 분말 첨가에 따른 물성 및 색상 개선	Şentürk 등, 2025
과채류	완두콩, 당근, 청경채	연하곤란 환자를 위한 채소 기반 식품 개발	다양한 증점제(잔탄검, 곤약, 로커스트빈검) 첨가에 따른 물성 조절	Pant 등, 2021
	사과, 장미분말	연하곤란 환자를 위한 식단 개발	증점제(바질시드검, 잔탄검) 첨가에 따른 물성 조절	Qiu 등, 2023
	오렌지, 수박주스	연하곤란 환자를 위한 주스 기반 식품 개발	변성전분 제조 조건 조절에 따른 물성 조절	Guedes 등, 2023

표 1. 계속

구분 및 식품원료		적용 목표	주요 설계 전략	3D 프린팅 대표 이미지	참고문헌
지방계 소재류	해바라기유	노인용 즉석식품 개발을 위한 유화액 설계	굴 식이섬유 및 변성전분의 첨가에 따른 물성 조절		Yang 등, 2024
	참기름	연하곤란 식품용 참기름 기반 시스템 개발	다양한 증점제(카라기난, 잔탄검, 아라비아검) 첨가에 따른 계면 및 구조 특성 조절		Yang 등, 2026
	대두유	연하곤란 식단에 적합한 나노에멀전 겔 개발	고압 균질화 및 젤라틴첨가에 따른 물성 조절		Herrera-Lavados 등, 2023
기타	인삼, 인삼추출물	연하곤란 환자를 위한 인삼 가공품 개발	증점제(완두단백) 첨가에 따른 물성 조절		Kim 등 2024
	목이버섯 분말	연하곤란 환자를 위한 목이버섯 가공품 개발	다양한 증점제(한천, 잔탄검, 곤약) 첨가에 따른 물성 조절		Xing 등, 2022
	마 분말, 올리브오일	연하곤란 환자를 위한 마 가공품 개발	증점제(로커스트빈검) 및 지방 비율에 따른 물성 조절		Li 등, 2025

그러나 현재까지의 연구는 주로 프린팅 적합성과 기초 물성 검증에 집중되어 있다는 한계를 가진다(Dong 등, 2025). 반면 실제 섭취성, 저장 안정성, 재가열 안정성, 급식 및 케어 푸드 현장 적용성까지 함께 검토한 사례는 많지 않다. 또한 연구마다 사용 원료, 조절 인자 및 평가 지표가 상이하여, 실험실 수준의 결과를 실제 제품 개발과 산업적 적용으로 확장하는 데에는 여전히 제약이 따른다. 향후에는 프린팅 적합성뿐만 아니라 실제 사용 환경과 섭취 조건을 함께 반영한 통합적 평가가 요구되며, 이는 이후 논의할 고령친화식품의 기준

및 인증 체계와도 긴밀하게 맞물린다.

2.3. 국내외 기준과 인증체계, 그리고 제도적 한계

국내에서는 고령친화식품과 관련하여 산업표준, 식품 기준·규격, 우수식품 지정제도가 함께 운영되고 있다. KS H 4897은 고령친화식품의 개념과 적용 범위를 제시하는 산업표준으로 활용되고 있으며(e나라표준인증, 2026), 식품의약품안전처는 고령자를 고려한 식품의 공통 기준과 일부 물성 관련 기준(경도, 점도)을 마련해 왔다(식품의약품안전처, 2026). 또한, 농림축산

식품부의 고령친화우수식품 지정제도는 제품의 물성, 영양성분, 고령자 배려 여부 등을 종합적으로 고려하여 제품을 평가하고, 섭취 용이성에 따라 단계별로 구분하여 관리하는 체계로 운영되고 있다(한국식품산업클러스터진흥원, 2026). 이러한 국내 기준과 지정체계는 고령자의 섭취 안전성과 식품 선택의 기준을 제시한다는 점에서 중요한 제도적 기반으로 기능한다.

또한 3D 식품프린팅 공정은 노즐, 시린지와 같이 식품과 직접 접촉하는 부위를 포함하고 있어 식품위생 관리 측면에서 중요한 고려가 필요하다. 현행 식품위생법 및 관련 고시에 따르면 식품에 직접 접촉하는 기구 및 용기·포장재는 식품용 기구·용기·포장 기준에 적합해야 하며, 재질 안전성 및 용출 기준을 충족하도록 규정되어 있다(식품의약품안전처, 2026). 그러나 이러한 기준은 주로 재질 안전성을 중심으로 설계되어 있어, 다중 노즐 구조, 반복 압출 공정, 내부 잔류물 관리와 같은 3D 식품프린팅 공정 특성을 충분히 반영하는 데에는 한계가 있을 수 있다(Godoi et al., 2016; Severini et al., 2016). 따라서 향후에는 3D 식품프린팅 장비 및 공정에 특화된 위생 관리 기준과 안전성 평가 체계의 정립이 필요하다.

또한 3D 식품프린팅에 사용되는 식품 잉크는 대부분 기존 식품 원료와 식품첨가물을 기반으로 제조되고 있으나, 향후 다양한 기능성 소재와 맞춤형 제형이 확대될 경우 현행 식품 기준·규격 체계 내 적용 가능성에 대한 검토가 함께 요구될 수 있다. 특히 증점제, 단백질 소재, 지방계 소재 및 기능성 부원료의 조합에 따라 제품 유형, 표시 기준 및 사용 가능한 식품첨가물의 적용 범위가 달라질 수 있으므로, 3D 프린팅 식품과 식품 잉크에 대한 기준·규격 해석 및 관리 체계에 대한 논의가 필요하다. 이는 3D 프린팅 식품의 시장 도입 가능성을 높이기 위해 기술적 적합성뿐 아니라 식품 기준·규격 적합성까지 함께 검토해야 함을 의미한다.

국제적으로도 고령자의 식품 섭취 개선과 연하곤란 대응 식품에 대한 기준과 지원 체계가 다양한 방식으로

마련되어 있다. 일본은 씹기와 삼키기에 어려움이 있는 소비자를 고려한 스마일 케어 푸드 체계를 운영하고 있으며(일본개호식품협회, 2026), 국제적으로는 IDDSI framework가 식품과 음료의 텍스처 수준을 구분하는 대표적 기준으로 활용되고 있다(International Dysphagia Diet Standardization Initiative, 2019). 또한, 미국은 Older Americans Act Nutrition Programs를 통해 고령자의 영양 지원과 식품 접근성 향상을 위한 공공 지원 체계를 운영하고 있다(한국보건산업진흥원, 2023). 이러한 사례는 고령자의 섭취 안전성과 영양 지원이 국내외적으로 공통된 정책 과제로 다뤄지고 있음을 보여준다.

그러나 3D 프린팅 기반 고령친화식품의 경우, 현행 기준과 지정체계를 그대로 적용하는 것만으로는 충분하지 않을 수 있다. 현재의 기준체계는 주로 최종 식품의 물성, 영양성분 및 섭취 적합성과 같은 결과 중심의 평가에 초점을 두고 있다. 반면, 3D 프린팅 식품의 제품화 과정에서는 최종적으로 섭취 가능한 물성을 확보하는 것과 함께 제조 단계에서 안정적으로 출력되고, 적층 구조를 유지할 수 있는지도 함께 고려되어야 한다. 즉, 현행 체계는 먹을 수 있는 식품에 대한 평가는 제공하지만, 안정적으로 제조될 수 있는 식품이라는 측면까지 직접적으로 반영하기에는 한계가 있다.

특히 3D 프린팅 식품의 경우, 프린팅이 가능한 조건에서 고령친화식품 기준을 충족하지 못하거나, 반대로 기준을 충족하는 제형이 실제 프린팅 공정에서 안정적으로 구현되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 이는 단순한 기술적 어려움에 그치지 않고, 실험실 수준의 결과를 실제 제품화와 인증 연계로 확장하는 과정에서 중요한 제약으로 작용할 수 있다. 따라서, 향후에는 최종 식품의 섭취 적합성 평가와 함께, 제조 공정에서의 구현 가능성과 구조 안정성을 함께 고려하는 통합적 접근이 필요하다. 다시 말해, 3D 프린팅 기반 고령친화식품은 프린팅이 가능한 조건에서 고령친화식품 기준을 만족하는지, 그리고 기준을 만족하는 제품이 실제 생산과

제공 과정에서도 품질을 유지할 수 있는지를 함께 검토할 수 있어야 한다. 이는 3D 프린팅 기반 고령친화식품의 산업적 활용과 인증 연계를 위해 중요한 과제가 될 것이다.

III. 결론

초고령사회로의 진입과 함께 고령자의 식사 수행 능력과 영양 요구를 동시에 고려한 식품 설계의 중요성은 더욱 증가하고 있다. 기존의 고령친화식품은 섭취 용이성 확보 측면에서는 일정 수준의 성과를 보였으나, 개인별 기능 수준 차이를 반영한 맞춤형 설계와 식사 형태의 다양성 확보에는 한계를 가진다. 이러한 한계를 보완할 수 있는 기술적 대안으로서 3D 식품프린팅은 식품의 형상, 조성 및 물성을 동시에 설계할 수 있는 맞춤형 제조 플랫폼으로 높은 활용 가능성을 지닌다. 현재까지 관련 연구는 주로 프린팅 적합성 확보와 기초 물성 제어를 중심으로 이루어져 왔으며, 일부 연구에서는 구조 재현과 영양 보완까지 확장되고 있다. 그러나 실제 식품 적용을 위해서는 프린팅 적합 물성 설계뿐만 아니라 공정 조건에 따른 품질 재현성 확보, 조리 및 저장 과정에서의 구조 안정성 유지, 그리고 기존 고령친화식품 인증 체계와의 정합성 확보가 동시에 요구된다. 따라서 향후에는 공정 조건, 물성 특성, 실제 섭취 적합성을 통합적으로 연결할 수 있는 평가 체계 구축이 필요하다. 이러한 평가 체계는 유변학적 특성(점도, 항복응력, 전단박화 거동), 구조 안정성(적층 유지성, 변형 저항성), 조리 및 저장 과정에서의 물성 변화, 그리고 삼킴 적합성(IDDSI 기준) 및 감각적 수용성을 포함하는 다차원적 지표를 기반으로 구성될 필요가 있다. 나아가 이러한 지표들은 개별적으로 평가되는 것을 넘어 공정 변수와 연계된 예측 모델 또는 통합 지표 형태로 정량화되어야 하며, 이를 통해 프린팅 조건 설정 단계에서부터 최종 섭취 적합성까지를 사전에 예측할 수 있는 방향으로 발전될 필요가 있다. 또한 해당 평가 체계는 고령친화식품 인증 기준과 연계될 수 있도록 표준

화되어야 하며, 산업적 적용을 위한 품질 관리 지표로 확장될 필요가 있다. 아울러 실제 산업화를 위해서는 품질 재현성뿐 아니라 생산 속도, 장비 운용성, 원료 및 공정 비용, 급식·케어푸드 현장 적용 가능성 등을 포함한 경제성 평가가 병행되어야 한다. 이러한 기술적·제도적·경제적 검토가 함께 이루어질 때 3D 식품프린팅 기반 고령친화식품의 시장 도입 가능성과 산업적 활용성이 보다 구체화될 수 있을 것이다.

감사의 글

작성 본 결과물은 (주)푸드프로 3D식품프린팅기술연구소의 재원으로 연구되었음.

Conflict of Interests

이 논문에 사용된 그림 3은 저자 소속 기관의 내부 연구 자료를 바탕으로 재구성하였으며, 본 연구의 해석 및 결론에 영향을 미치는 이해충돌은 없음.

ORCID

Jiyeon Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7995-360X>

Jung Soo Kim

<https://orcid.org/0000-0002-2952-1067>

참고문헌

- Chao C, Hwang JS, Kim IW, Choi RY, Kim HW, Park HJ. Coaxial 3D printing of chicken surimi incorporated with mealworm protein isolate as texture-modified food for the elderly. *J Food Eng.* 333, 111151 (2022)
- Dick A, Bhandari B, Prakash S. Printability and textural assessment of modified-texture cooked beef pastes for dysphagia patients. *Future Foods*, 3, 100006 (2021)
- Dong Y, Dai J, Zhang Y, Xu Z, Jiang L, Lan T, Sui X.

- Dysphagia foods: Current research, technological innovations, and future directions. *Trends Food Sci Technol*, 165, 105330 (2025)
- e-National Standards & Certification, Seniors friendly foods, KS H 4897: 2022. Available from: https://www.standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?ksNo=KSH4897&menuId=919&reformNo=04&tmprKsNo=KS_H_NEW_2017_1067&topMenuId=502&upperMenuId=503. Accessed Mar. 31, 2026.
- Gallego M, Barat JM, Grau R, Talens P. Compositional, structural design and nutritional aspects of texture-modified foods for the elderly. *Trends Food Sci Technol*, 119, 152-163 (2022)
- Godoi FC, Prakash S, Bhandari, BR. 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *J Food Eng*, 179, 44-54 (2016)
- Guedes JS, Bitencourt BS, Augusto PED. Modification of maize starch by dry heating treatment (DHT) and its use as gelling ingredients in fruit-based 3D-printed food for dysphagic people. *Food Biosci*, 56, 103310 (2023)
- Herrera-Lavados C, Tabilo-Munizaga G, Rivera-Tobar D, Carvajal-Mena N, Palma-Acevedo A, Moreno-Osorio L, Perez-Won M. Development of bean-based emulgels for 3D printing applications: Feasibility for dysphagia diets. *J Food Eng*, 358, 111687 (2023)
- Hou J, Liu M, Liu Y, Chuang R, Zhang H, Zheng L, Li H, Xia N, Ma Y, Rayan AM, Ghamry M. Strategy to kill two birds with one stone: High internal phase Pickering emulsions to modulate 3D printed pork texture as a dysphagia diet. *Food Chem*, 463, 141319 (2025)
- Huang J, Zhang M, Mujumdar AS, Li C. Modulation of starch structure, swallowability and digestibility of 3D-printed diabeticfriendly food for the elderly by dry heating. *Int J Biol Macromol*, 264, 130629 (2024a)
- Huang J, Zhang M, Mujumdar, AS, Wang Y, Li C. Improvement of 3D printing age-friendly brown rice food on rough texture, swallowability, and in vitro digestibility using fermentation properties of different probiotics. *Food Chem*, 460, 140701 (2024b)
- Im I. Chewing and speaking difficulties, quality of life and depression in elderly Koreans: A survey of the Korea National Health and Nutrition Examination from 2016~2018. *J Speech Lang Hear Dis*, 29, 121-130 (2020)
- International Dysphagia Diet Standardisation Initiative, 2019. Complete IDDSI framework. Detailed definitions 2.0. Licesed under the CreativeCommons attribution sharealike 4.0 license Available from: <https://creativecommons.org/licenses/>. Accessed Mar. 31, 2026.
- Jandyal A, Chaturvedi I, Wazir I, Raina A, Haq MIU. 3D printing-A review of processes, materials and applications in industry 4.0. *Sustain Oper Comput*, 3, 33-42 (2022)
- Jang EJ, Park YI, Joo NM. Analysis of consumption status according to purchase types of elderly-friendly foods among seniors. *Culi Sci & Hos Res*, 30, 99-111 (2024)
- Japan care food conference. Available from: <https://www.udf.jp/index.html>. Accessed Apr. 8, (2026)
- Jia Y, Chen B, Zhu X, Gao L, Ren H, Liu H. Recent advances in protein-based 3D printing: From printability regulation to dysphagia diet fabrication. *Food Hydrocoll*, 178, 112725 (2026)
- Kim BK, Chun YG, Lee SH, Park DJ. Emerging technology and institution of foods for the elderly. Final Report of FSI. *Food Sci Ind*, 48, 28-36 (2015)
- Kim J, Kim JS, Lim JH, Moon KD. Effects of isolated pea protein on honeyed red ginseng manufactured by 3D printing for patients with dysphagia. *LWT-Food Sci Technol*, 191, 115570 (2024)
- Kim J, Kim JS, Moon KD. 3D-printed rice cake for dysphagia diet: Effect of rice flour/ κ -carrageenan/curdlan complex gel on structure, swallowability, and storage. *Future Foods*, 11, 100537 (2025)

- Kim J, Kim JS, Moon KD. Ultrasound-assisted 3D printing of pork emulsions: A hybrid strategy for structural fidelity and industrial scalability. *Food Res Int*, 226, 118123 (2026)
- Kim JS, Kim J, Seong GU, Kang JW, Moon KD. 3D printability and structural properties of plant-based scallop adductor muscles: Effect of amylose content and pasting properties by rice cultivars. *Curr Res Food Sci*, 11, 101165 (2025)
- Kim S, Kwon YS, Hong KH. What is the relationship between the chewing ability and nutritional status of the elderly in Korea? *Nutrients*, 15, 2042 (2023)
- Kim YJ, Ryu JH, Lee JY, Kim YS, Kim D, Kwon Y. What is the difference between laboratoryscale and pilot-scale grape-based products for older adults with chewing difficulties? *Foods*, 13, 3844 (2024)
- KHIDI. Country Report Age-friendly industry : USA. Korea Health Industry Development Institute, Cheongju, Korea, p 9 (2023)
- Korea Institute for Food Industry Cluster. Available from: <https://www.foodpolis.kr/seniorfood/useExam>. Accessed Apr. 8, 2026.
- Lee CKW, Xu Y, Yuan Q, Chan YH, Poon WY, Zhong H, Chen S, Li MG. Advanced 3D food printing with simultaneous cooking and generative AI design. *Adv Mater*, 37, 2408282 (2025)
- Lee GS, Lee JC. Quality analysis in food manufacturing process using reinforcement learning. *J Korea Acad-Ind Cooper Soc*, 25, 122-128 (2024)
- Li Z, Ye Z, Luo J, Deng Y, Wang J, Jiang X, Yi Y. Yam whole powder-based food for dysphagia: effects of locust bean gum-olive oil compound on swallowing adaptability and multiscale structure-property relationships. *LWT-Food Sci Technol*, 118821 (2025)
- Liu Z, Chen X, Dai Q, Xu D, Hu L, Li H, Hati S, Chitrakar B, Yao L, Mo H. Pea protein-xanthan gum interaction driving the development of 3D printed dysphagia diet. *Food Hydrocoll*, 139, 108497 (2023)
- Liu Z, Chen X, Li H, Chitrakar B, Zeng Y, Hu L, Mo H. 3D printing of nutritious dysphagia diet: Status and perspectives. *Trends Food Sci Technol*, 147, 104478 (2024)
- Ministry of Data and Statistics. 2025 Elderly Statistics. Available from: https://www.kostat.go.kr/board.es?act=view&bid=10820&list_no=438832&mid=a10301010000&ref_bid=&tag=. Accessed Mar. 31, 2026.
- Ministry of Food and Drug Safety, Korea Food Code. Foods Labelled and Sold as Those Intended for Elderly Available from: <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%EA%B3%A0%EB%A0%B9%EC%B9%9C%ED%99%94%EC%8B%9D%ED%92%88&itemCode=FC0A004001002A022>. Accessed Apr. 8, 2026.
- Ministry of Food and Drug Safety. Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packaging. Available from: <https://impfood.mfds.go.kr/CFBDD02F02?active=00049&cntntsSn=652802&cntntsMngId1=00049&cntntsMngId2=00049>. Accessed Apr. 21, 2026.
- Molimi MB, Egan P, Adebo OA. Progress in three-dimensional (3D) printed foods for dysphagia patients: Food sources, processing techniques, printability, nutrition, acceptability, and safety aspects. *Food Res Int*, 202, 115629 (2025)
- National Health Insurance Service, 2024 National Health Insurance Statistical Yearbook. Available from: <https://www.hira.or.kr/bbsDummy.do?brdBltno=2322&brdScnBltno=4&pgmid=HIRAA020045020000>. Accessed Apr. 8, 2026.
- Pant A, Lee AY, Karyappa R, Lee CP, An J, Hashimoto M, Tan UX, Wong G, Chua CK, Zhang Y. 3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients. *Food Hydrocoll*, 114, 106546 (2021)
- Park JE, An HJ, Jung SU, Lee Y, Kim CI, Jang YA. Characteristics of the dietary intake of Korean elderly by chewing ability using data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2007-2010. *J Nutr Health*, 46, 285-295 (2013)
- Pérez B, Nykvist H, Brøgger AF, Larsen MB, Falkeborg MF. Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A

- review. *Food Chem*, 287, 249-257 (2019)
- Qin Y, Pillidge C, Harrison B, Adhikari B. Pathways in formulating foods for the elderly. *Food Res Int*, 186, 114324 (2024)
- Qiu L, Zhang M, Bhandari B, Chitrakar B, Chang L. Investigation of 3D printing of apple and edible rose blends as a dysphagia food. *Food Hydrocoll*, 135, 108184 (2023)
- Qiu R, Wang G, Zhao P, Liu L, Awais M, Fan B, Huang Y, Tong L, Wang L, Accoroni C, Wang F. Modification of the texture of 3D printing soy protein isolate-based foods with proper nozzle sizes: A swallowing oriented strategy for dysphagia diet. *Int J Biol Macromol*, 282, 136694 (2024)
- Şentürk PK, Stone AK, Candoğan K, Nickerson MT. Assessment of various protein concentrates for suitability in 3D printed plant-based meat analogs for dysphagia diets. *J Food Meas Charact*, 19, 9909-9923 (2025)
- Severini C, Derossi A, Azzollini D. Variables affecting the printability of foods. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 38, 281-291 (2016)
- Shen D, Zhang M, Mujumdar AS, Li C, Lin J. Additive manufacturing technology in the development of easy to swallow and digest foods for the elderly. *Food Res Int*, 199, 115421 (2025)
- Shigi R, Seo Y. Acceptance of 3D printed foods among senior consumers in Japan. *Food Qual Prefer*, 118, 105213 (2024)
- Shin DM, Kim DH, Keum DH, Han SG. Current state and future trend of the elder-friendly food industry. *Food Sci Anim Resour*, 12, 26-34 (2023)
- Xing X, Chitrakar B, Hati S, Xie S, Li H, Li C, Liu Z, Mo H. Development of black fungus-based 3D printed foods as dysphagia diet: Effect of gums incorporation. *Food Hydrocoll*, 123, 107173 (2022)
- Yan Q, Dong H, Su J, Han J, Song B, Wei Q, Shi Y. A review of 3D printing technology for medical applications. *Engineering*, 4, 729-742 (2018)
- Yang F, Jiang D, Hu Q. Citrus fibers improve rheology of OSA starch-based high internal phase emulsion for 3D printed elderly foods. *Food Res Int*, 197, 115215 (2024)
- Yang Y, Yang R, Wang W, Fang Y, Zhao L. Polysaccharides reinforced sesame oil body interface as 3D printing inks for dysphagia food: focusing on structural characteristics and rheological properties. *Food Chem X*, 35, 103711 (2026)
- Yang Z, Lu K, Zhao Y, Shi X, Mao W, Zheng B, Xu Y, Gao P, Zhou R. Effects of different heat-induced setting methods on the structural stability and properties of 3D-printed surimi gels. *LWT-Food Sci Technol*, 198, 115957 (2024)