

양파껍질 분말의 항산화 활성, 수화 특성 및 양파크림수프 적용성 분석을 통한 업사이클 식품소재로서의 활용 가능성 평가

김주영^{1,2,*} · 최인석^{1,2,*} · 구효정¹ · 김우진¹ · 정소연¹ · 최민서¹ · 황수찬¹ · 이상길^{1,2} · 차오레이^{3,*}

¹국립부경대학교 식품영양학전공, ²국립부경대학교 스마트그린융복합공학전공, ³국립부경대학교 수해양국제개발협력연구소

Onion peel powder as an upcycled food ingredient: antioxidant, hydration, and soup application properties

Juyoung Kim^{1,2,*}, In-Seok Choi^{1,2,*}, Hyojeong Koo¹, Woojin Kim¹, Soyeon Jeong¹, Minseo Choi¹, Suchan Hwang¹, Sanggil Lee^{1,2} and Lei Cao^{3,*}

¹Major of Food Science and Nutrition, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Department of Smart Green Technology Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

³Ocean and Fisheries Development International Cooperation Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract

Onion peel is a phenolic-rich byproduct with potential to be upcycled into a food ingredient. This study compared onion peel powder (OPP) with laboratory-prepared onion flesh powder (OFP) and commercial onion powder (COP) for total phenolic content (TPC), antioxidant capacity, hydration properties, color, and rheological characteristics in both aqueous dispersions and onion cream soup. OPP had markedly higher TPC (52.68 mg GAE/g), DPPH radical-scavenging activity (115.22 mg VCE/g), ABTS radical-scavenging activity (100.82 mg VCE/g), FRAP (25.45 mg FeSO₄ eq/g), and quercetin content (60.42 μ g/g) compared with COP and OFP. OPP also exhibited the highest water absorption index (WAI) and the lowest water solubility index (WSI), indicating strong water absorption with limited solubilization. All aqueous dispersions and cream soups showed shear-thinning behavior. Across the measured shear-rate range, OPP generally produced the highest apparent viscosity in both systems, suggesting that its peel-derived, poorly soluble particulate matrix increased water binding and flow resistance. However, OPP had the lowest L* and highest a* values and imparted a pronounced reddish-brown color to the soup, which warrants further investigation into concentration optimization and sensory acceptability. Overall, these findings support the potential of OPP as a multifunctional upcycled ingredient for phenolic enrichment, water binding, and viscosity modification.

Keywords: Onion peel powder, Food upcycling, Phenolic compounds, Hydration properties, Apparent viscosity

서론

식품 업사이클링(food upcycling)은 식품 원료 이용 효율을 높이고 폐기물 발생을 줄이기 위한 식품 산업의 중요한 전략이다. 식품

업사이클은 단순한 폐기물 처리나 재활용을 넘어 식품가공 부산물에 함유된 단백질, 식이섬유, 다당류, 지질 및 생리활성물질을 회수해 식품원료, 기능성 소재 등 고부가가치 제품으로 전환하는 개념이다(Elleuch et al., 2011). 농림축산식품부는 식품부산물 중 연간

Received: Aug 5, 2026 / Revised: Aug 17, 2026 / Accepted: Aug 18, 2026 / Published: Sep 1, 2026

Corresponding author: Lei Cao, Ocean and Fisheries Development International Cooperation Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

E-mail: caolei0630@pknu.ac.kr

*These authors contributed equally to this work.

Copyright © 2026 Korean Society for Food Engineering.

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.

약 11만 6천 톤을 고부가가치 축산사료 원료로 활용할 수 있는 것으로 추정하였다. 또한 식품 업사이클을 통해 농산부산물 약 1만 2,730톤을 고부가가치 사료로 전환할 경우, 연간 약 1,426톤의 이산화탄소 환산량(CO₂-eq)을 감축할 수 있을 것으로 분석하였다. 세계 업사이클 식품 시장은 2023년 543억 달러에서 2029년 748억 달러로 확대되어 연평균 5.6%의 성장률을 기록할 것으로 전망되는 등 산업적 잠재력이 높은 것으로 평가된다. 우리나라는 음식물류폐기물의 사료화, 퇴비화 및 에너지화를 중심으로 높은 수준의 자원화 체계를 구축해 왔으나, 식품부산물을 고부가가치 식품 소재로 전환하는 업사이클링 실적은 여전히 미흡한 수준이다.

양파(*Allium cepa* L.)는 수선화과(Amaryllidaceae) 부추속에 속하는 비늘줄기 채소로, 생식본 아니라 볶음, 국, 소스 및 각종 가공식품의 향미 기반으로 폭넓게 이용되는 대표적인 조미채소이다. 국내 양파 생산량은 2025년 약 118만 2천 톤으로 전년 대비 소폭 증가하였으며(KOSIS, 2025), 세계적으로도 토마토에 이어 생산량이 많은 채소로 보고되어 있다(FAO, 2025). 양파에는 fructan 및 pectin 등의 다당류와 함께 케르세틴(quercetin)과 그 배당체를 주축으로 하는 flavonol, phenolic acid, 그리고 alliin 및 isoalliin 등의 유기황화합물이 함유되어 있으며(Fossen et al., 1998; Slimestad et al., 2007), 이들 성분은 항산화 및 항염증 활성을 비롯한 다양한 생리활성과 관련되는 것으로 보고되었다(Sharma et al., 2014; Nile et al., 2017).

한편 양파의 수확 후 처리 및 가공 과정에서는 건조 외피, 뿌리 및 절단 잔사가 대량으로 발생하며, 이들 부산물은 대부분 폐기되거나 저부가 용도로 처리되고 있다(Benítez et al., 2011a). 그러나 양파의 flavonol은 인편의 바깥층으로 갈수록 축적되어 건조 외피에 집중적으로 분포하고(Fossen et al., 1998; Slimestad et al., 2007), 외피에는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 비롯한 불용성 세포벽 다당류도 다량 함유되어 있다(Jaime et al., 2002; Benítez et al., 2011a). 이러한 조성적 특징에 근거하여 양파 부산물은 항산화 및 피부 미백 기능을 갖는 식품 소재로서의 활용 가능성이 제시되어 왔다(Roldán et al., 2008).

현재까지 양파껍질을 분말 형태로 식품에 직접 적용한 연구는 일부 제과 및 제빵류에 한정적이며(Yeom & Hwang, 2020), 대부분의 양파껍질에 관한 연구는 용매 추출물을 대상으로 한 생리활성 평가와 기능성 성분 분석을 중심으로 수행되고 있다(Nile et al., 2017). 그러나 양파껍질을 추출물이 아닌 분말 형태로 식품에 직접 적용할 경우 케르세틴을 비롯한 페놀성 화합물뿐만 아니라 추출 과정에서 제외될 수 있는 불용성 세포벽 다당류 등을 함께 활용할 수 있으며, 별도의 추출 및 농축 공정을 줄이면서 부산물 전체를 활용할 수 있다는 점에서 자원순환과 공정 효율성 측면에서도 이점이 있다. 하지만 양파 껍질에 함유된 불용성 및 고분자 성분은 수분 흡수 및 보유, 점도, 유동 특성 및 색도 등 식품의 물리화학적 특성

에 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고, 양파껍질 분말의 직접 첨가가 실제 식품 매트릭스의 품질 특성에 미치는 영향을 종합적으로 평가한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 양파 과육 분말(onion flesh powder, OFP)과 양파껍질 분말(onion peel powder, OPP)을 제조하고, 시판 양파 분말(commercial onion powder, COP)을 상업적 비교 기준으로 하여, 총 폴리페놀 함량, 항산화 활성, 케르세틴 함량, 색도 및 수화 특성을 비교하였다. 또한 각 분말의 수분산액과 이를 약 1%(w/w) 수준으로 첨가한 양파크림수프의 겔보기 점도(apparent viscosity)를 측정함으로써, 분말의 이화학적 특성이 실제 식품 매트릭스의 유동 특성과 외관에 미치는 영향을 평가하고 양파껍질의 업사이클 식품 소재로서의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

양파 분말의 제조 및 추출물 조제

양파(*Allium cepa* L.)는 부산광역시 소재 대형마트에서 구입하였다. 양파를 과육과 건조 외피로 분리하고 흐르는 물로 세척하여 표면 이물을 제거한 후, 열풍건조기(WiseVen-50; Daihan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea)를 이용하여 70℃에서 7시간 동안 건조하였다. 건조된 시료는 분쇄기(SBL316ABD; Ningbo Kajafa Electric Appliance Co., Ltd., Ningbo, China)로 분쇄한 후 300 µm 표준체(Chung Gye Sang Gong Sa, Seoul, Korea)를 통과시켜 OFP와 OPP를 제조하였다. 제조된 분말은 밀폐용기에 담아 -80℃의 압조건에서 보관하면서 분석에 사용하였으며, 비교 시료로 국내산 양파(*Allium cepa* L.) 100%로 제조된 무 첨가물 양파분말 COP (B브랜드, Wonju, Korea)를 온라인에서 구매하여 사용하였다. 생리활성 성분 분석을 위한 추출물은 각 양파 분말 1 g에 60% (v/v) 에탄올 60 mL를 가한 후 초음파 추출기를 이용하여 20분간 추출 후 원심분리하여 상등액을 추출액으로 회수하였다. 얻어진 추출액은 총 폴리페놀 함량, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성, FRAP 환원력 및 케르세틴 정량에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량(total phenolic content, TPC)은 Folin-Ciocalteu 법(Singleton & Rossi, 1965)을 이용하여 측정하였다. 96-well plate에 추출액 10 µL, 증류수 130 µL 및 Folin-Ciocalteu 시약 10 µL를 순차적으로 가하여 혼합한 후 7분간 반응시켰다. 이후 7% 탄산나트륨 용액 100 µL를 첨가하고 실온의 압조건에서 90분간 반응시킨 후 마이크로플레이트 리더(Cytation 5; BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 gallic acid 표준곡선을 이용하여 정량하고 시료 g당 gallic acid equivalents (mg GAE/g)로 나타내었다.

DPPH 라디칼 소거활성 측정

DPPH 라디칼 소거활성은 Brand-Williams et al. (1995)의 방법을 일부 수정하여 측정하였다. DPPH 1.97 mg을 80% 메탄올에 용해하여 0.1 mM 용액을 조제하고 암조건에서 3시간 이상 안정화한 후, 517 nm에서의 흡광도가 0.70 ± 0.02 가 되도록 조정하였다. 추출액 5 μ L와 DPPH 용액 245 μ L를 혼합하여 암조건에서 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, ascorbic acid 표준곡선을 이용하여 시료 g당 vitamin C equivalents (mg VCE/g)로 나타내었다.

ABTS 라디칼 소거활성 측정

ABTS 라디칼 용액은 1.0 mM 2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH), 2.5 mM ABTS 및 phosphate-buffered saline 50 mL를 혼합한 후 80°C에서 40분간 가열하여 조제하였다. 반응액을 실온에서 냉각하고 0.45 μ m polyvinylidene fluoride syringe filter로 여과한 다음, PBS를 이용하여 734 nm에서의 흡광도가 0.70 ± 0.02 가 되도록 희석하였다. 추출액 10 μ L와 ABTS 용액 240 μ L를 혼합하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 결과는 ascorbic acid 표준곡선을 이용하여 mg VCE/g으로 나타내었다.

FRAP 환원력 측정

Ferric reducing antioxidant power (FRAP)는 Benzie & Strain (1996)의 방법을 수정하여 측정하였다. 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 10 mM 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ), 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 및 증류수를 10:1:1:1.2의 비율로 혼합하여 FRAP 시약을 조제하였다. 추출액 7.5 μ L와 FRAP 시약 250 μ L를 37°C에서 4분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였으며, FRAP 환원력은 FeSO_4 표준곡선을 이용하여 mg FeSO_4 eq/g으로 나타내었다.

케르세틴 함량 분석

케르세틴 함량은 HPLC system (Agilent 1100 Series; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)에 Jupiter C18 300 Å column (250×6.0 mm, 5 μ m; Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 장착하여 분석하였다. 이동상은 0.5% (v/v) H_3PO_4 수용액(A)과 0.5% (v/v) H_3PO_4 를 함유한 acetonitrile (B)을 사용하였고, 유속은 1.0 mL/min, 컬럼 온도는 35°C로 설정하였다. Gradient 조건은 0~9분, 20% B; 9~10분, 20~70% B; 10~13분, 70% B; 13~14분, 70~40% B; 14~20분, 40% B; 20~21분, 40~20% B; 21~25분, 20% B로 하였다. 시료 주입량은 20 μ L, 검출파장은 360 nm로 하였으며, 표준물질의 retention time을 이용하여 정성하고 peak area에 대한 검량선으로부터 정량하여 $\mu\text{g/g dw}$ 으로 나타내었다.

색도 측정

양파 분말의 색도는 색차계(TES-135; TES Electrical Electronic Corp., Taipei, Taiwan)를 이용하여 측정하였다. 색도는 국제조명위원회(International Commission of the Illumination, CIE)의 L^* 값(명도), a^* 값(적색도) 및 b^* 값(황색도)으로 나타내었으며, 각 시료에 대하여 동일한 조건에서 3회 반복 측정하였다.

수분흡수지수 및 수분용해지수 측정

수분흡수지수(water absorption index, WAI)와 수분용해지수(water solubility index, WSI)는 Anderson et al. (1969)의 방법을 일부 수정하여 측정하였다. 각 분말 0.1 g을 증류수 10 mL에 분산하여 1분간 볼텍스 혼합한 후 25°C에서 30분간 정치하였으며, 이 과정에서 10분 간격으로 가볍게 재혼합하였다. 이후 시료를 3,000×g에서 20분간 원심 분리하고, 이어서 4,000×g에서 5분간 추가로 원심분리하였다. 상등액을 분리한 후 습윤 침전물의 무게를 측정하여 WAI를 산출하였으며, 회수한 상등액은 105°C에서 항량이 될 때까지 건조한 다음 상등액 유래 건조 고형분의 무게를 측정하여 WSI를 산출하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{WAI (g/g)} = (W_2 - W_1) / W_0 \quad (1)$$

$$\text{WSI (\%)} = [(W_4 - W_3) / W_0] \times 100 \quad (2)$$

W_0 =건조 시료의 무게; W_1 =원심분리 튜브의 무게; W_2 =원심분리 튜브와 습윤 침전물의 무게; W_3 =알루미늄 접시의 무게; W_4 =알루미늄 접시+상등액 유래 건조 고형분의 무게

양파 분말 분산액의 겔보기 점도 측정

양파 분말의 농도에 따른 유동 특성을 평가하기 위하여 사전 실험 결과를 바탕으로 COP와 OFP는 1 및 5%(w/v), OPP는 1, 2, 3 및 5%의 농도로 각각 증류수에 분산하여 시료를 조제하였다. 분산액의 유변학적 특성은 평행판 지오메트리를 장착한 레오미터(MCR 92; Anton Paar GmbH, Graz, Austria)를 이용하여 25°C에서 측정하였다. 측정구와 하부 플레이트 사이의 간격은 0.5 mm로 설정하였으며, 전단속도를 1~100 s^{-1} 범위에서 연속적으로 증가시키면서 겔보기 점도를 측정하였다.

양파크림수프의 제조

양파크림수프는 Table 1에 제시한 배합비에 따라 제조하였다. 화이트 루(white roux)는 버터(Société Beurrière d'Isigny, Isigny-sur-Mer, France)와 중력분(Sajo DongA One Co., Ltd., Dangjin, Korea)을

Table 1. Formulation of onion cream soups added with different onion powders

Sample	Water (mL)	Milk (mL)	Powder (g)	White roux (g)
Control	20	20	0	10
COP	20	20	0.5	10
OFP	20	20	0.5	10
OPP	20	20	0.5	10

Control, cream soup without onion powder; COP, cream soup containing commercial onion powder; OFP, cream soup containing onion flesh powder; OPP, cream soup containing onion peel powder. Each sample contains 0.5 g of onion powder per batch, corresponding to approximately 1% (w/w) of the final formulation.

1:1(w/w)의 비율로 혼합하여 조제한 후 10 g씩 분취하였다. 양파 분말 첨가군은 증류수 20 mL에 COP, OFP 또는 OPP를 각각 0.5 g씩 분산시킨 후 우유(Maeil Dairies Co., Ltd., Gwangju, Korea) 20 mL를 첨가하여 조제하였다. 각 액상 혼합물을 예열한 다음 화이트 루에 3회에 나누어 첨가하면서 균일한 상태가 될 때까지 교반하였으며, 이때 양파 분말의 첨가량은 최종 배합물의 중량을 기준으로 1%(w/w)에 해당하였다. 대조군(control)은 양파 분말을 첨가하지 않고 증류수 20 mL, 우유 20 mL 및 화이트 루 10 g을 동일한 방법으로 혼합하여 제조하였다. 제조된 양파크림수프는 밀봉한 상태로 60℃ 항온수조에 보관한 후 분석에 사용하였다.

양파크림수프의 겉보기 점도 측정

양파크림수프의 겉보기 점도는 평행판 지오메트리를 장착한 레오미터(MCR 92; Anton Paar GmbH)를 이용하여 측정하였다. 시료를 60℃에서 온도 평형에 도달시킨 후 측정하였으며, 측정구와 하부 플레이트 사이의 간격은 0.5 mm로 설정하였다. 전단속도를 1~100 s⁻¹ 범위에서 연속적으로 증가시키면서 각 시료의 겉보기 점도를 측정하였다.

통계분석

모든 분석은 3회 반복하여 수행하였으며, 결과는 평균±표준편차로 나타내었다. 처리군 간 평균의 차이는 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)으로 검정하였고, 유의한 차이가 확인된 경우 Tukey's HSD test를 이용하여 사후 다중비교를 실시하였다. 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결과 및 고찰

양파 분말의 총 폴리페놀 함량 및 항산화 활성

양파 OPP의 TPC는 52.68 mg GAE/g으로 OFP (4.08 mg GAE/g)

및 COP (3.98 mg GAE/g)보다 약 13배 높았다(Table 2). DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성 역시 OPP에서 각각 115.22 및 100.82 mg VCE/g으로 가장 높았으며, FRAP 환원력도 25.45 mg FeSO₄ eq/g으로 다른 두 분말보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). 이러한 결과는 양파의 강력한 항산화 효능을 보여주는 폴리페놀이 외피의 껍질에 다량 포함되어 있기 때문으로 생각된다.

케르세틴은 COP에서 검출되지 않았으며, OFP와 OPP에서 각각 6.54 및 60.42 µg/g으로 정량되어 OPP가 OFP보다 약 9.2배 높은 값을 나타냈다(Fig. 1). 양파의 flavonol은 양파의 대표적인 폴리페놀 물질로서 과육의 바깥층으로 갈수록 축적되어 건조 외피에서 함량이 가장 높은 것으로 보고되어 있으며(Fossen et al., 1998; Slimestad et al., 2007; Sharma et al., 2014), 본 연구의 결과도 이와 유사한 경향을 보여주었다. 다만, COP에서 케르세틴이 검출되지 않은 것은 원료가 과육 위주로 구성되었고 건조 및 분쇄 이력 및 분말 가공 공정이 본 연구의 실험실 제조 분말과 상이하였기 때문으로 판단된다. OPP에서 TPC와 케르세틴 함량이 동시에 높게 나타난 결과는 케르세틴이 OPP의 총 항산화 능력에 주요하게 기여하였을 가능성을 보여준다(Nile et al., 2017).

Table 2. Total phenolic content and in vitro antioxidant activities of onion powders

Sample	TPC (mg GAE/g)	DPPH (mg VCE/g)	ABTS (mg VCE/g)	FRAP (mg FeSO ₄ eq/g)
COP	3.98±0.35 ^b	0.59±0.23 ^b	3.64±0.15 ^c	1.14±0.08 ^b
OFP	4.08±0.59 ^b	1.37±0.30 ^b	4.24±0.17 ^b	1.58±0.10 ^b
OPP	52.68±2.58 ^a	115.22±6.60 ^a	100.82±0.24 ^a	25.45±0.99 ^a

Values are expressed as the mean±SD (n=3). TPC, total phenolic content; GAE, gallic acid equivalents; VCE, vitamin C equivalents; FRAP, ferric reducing antioxidant power; FeSO₄ eq, ferrous sulfate equivalents. Different superscript letters (a-c) within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's HSD test.

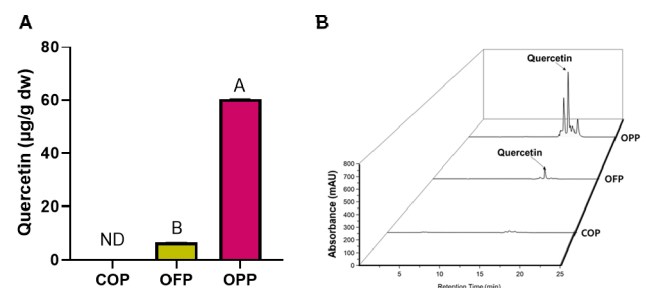


Fig. 1. A: Quercetin content and B: HPLC chromatograms of commercial onion powder (COP), onion flesh powder (OFP) and onion peel powder (OPP). ND means "not detected". Values are expressed as the mean±SD (n=3). Different letters above the bars indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's HSD test.

양파 분말의 수화 특성 및 분산액의 유동 특성

WAI는 OPP에서 가장 높았고 OFP, COP 순으로 낮아진 반면, WSI는 COP와 OFP에서 높고 OPP에서 현저히 낮았다(Fig. 2). OPP의 높은 WAI와 낮은 WSI의 조합은 OPP가 물에 쉽게 용해되는 저분자 성분보다 수분을 흡수·보유하는 저용해성 입자상 기질을 상대적으로 많이 함유하고 있음을 시사한다. 양파의 외피는 과육에 비해 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스 등 불용성 세포벽 다당류의 비율이 높은 것으로 보고되어 있고(Jaime et al., 2002; Benítez et al., 2011a), 불용성 식이섬유가 우세한 소재는 수화 시 팽윤하여 높은 수분보유력을 나타내는 것으로 알려져 있다(Robertson et al., 2000). 또한 양파 부산물은 건조 및 멸균 등 열처리 이력에 따라 식이섬유 조성 및 수화 특성이 변화하는 것으로 보고되어(Benítez et al., 2011b), 본 연구에서 관찰된 OPP의 수화 거동은 부위 차이에 따른 식이섬유 함량 및 건조 공정에 따른 식이섬유 조성 변화가 함께 작용한 것으로 생각된다(Elleuch et al., 2011).

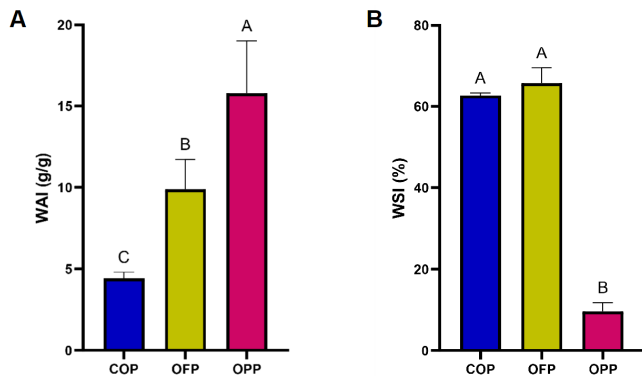


Fig. 2. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of commercial onion powder (COP), onion flesh powder (OFP), and onion peel powder (OPP). Values are expressed as the mean $\pm$ SD ($n=3$). Different letters above the bars indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's HSD test.

세 분말의 수분산액(aqueous dispersion)은 모두 전단속도가 증가함에 따라 겔보기 점도가 감소하는 전단박화(shear-thinning) 거동을 나타냈다(Fig. 3A). 이는 저전단 조건에서 형성된 수화 입자 및 고분자 성분 간의 상호작용이 전단에 의해 파괴되고 입자가 흐름 방향으로 배향되면서 유동저항이 감소하기 때문으로 해석된다. OPP 분산액은 농도가 증가함에 따라 다른 분말 분산액과 비교하여 겔보기 점도가 뚜렷하게 증가하였으며, 1 및 5%에서 동일 농도의 OFP 및 COP 분산액보다 높은 겔보기 점도를 나타냈다. 이러한 결과는 높은 WAI와 낮은 WSI의 특성을 갖는 OPP의 수화 거동이 분산액의 유동저항 증가로 연관이 있음을 보여준다.

양파크림수프의 유변학적 특성

양파 분말 1%를 첨가한 양파크림수프는 분말 종류와 관계없이 전단속도가 증가함에 따라 겔보기 점도가 감소하는 전단박화 거동을 나타냈다(Fig. 3B). 이는 루(roux)에 포함된 호화 전분과 밀 단백질이 형성한 연속상 구조가 전단에 의해 붕괴되었기 때문으로, 전분을 기반으로 하는 반유동성 식품에서 일반적으로 관찰되는 거동이다. OPP의 높은 WAI, 낮은 WSI 및 수분산액에서의 높은 겔보기 점도와 유사하게 루 기반 수프에서도 동일한 양상을 보였다. 측정 구간 전반에서 겔보기 점도는 OPP 첨가군에서 가장 높았으며, 그 뒤로 OFP, COP 첨가군, control의 순으로 높게 나타나, 동일한 첨가 수준에서 OPP 첨가군이 가장 큰 유동저항을 보였다. 이는 겹질 유래 저용해성 입자와 세포벽 다당류가 연속상의 수분을 경쟁적으로 흡수 및 보유함으로써 유효 고형분 분율과 입자 간 상호작용을 증가시켰기 때문으로 판단된다(Elleuch et al., 2011). 다른 연구에서도 식이섬유가 풍부한 부산물 분말을 첨가한 밀가루 기반 반죽에서 섬유질에 의한 수분 경쟁으로 반죽 내 자유수가 감소하고 물성이 변화한다고 보고되어, OPP의 높은 식이섬유 함량이 크림수프의 유변학적

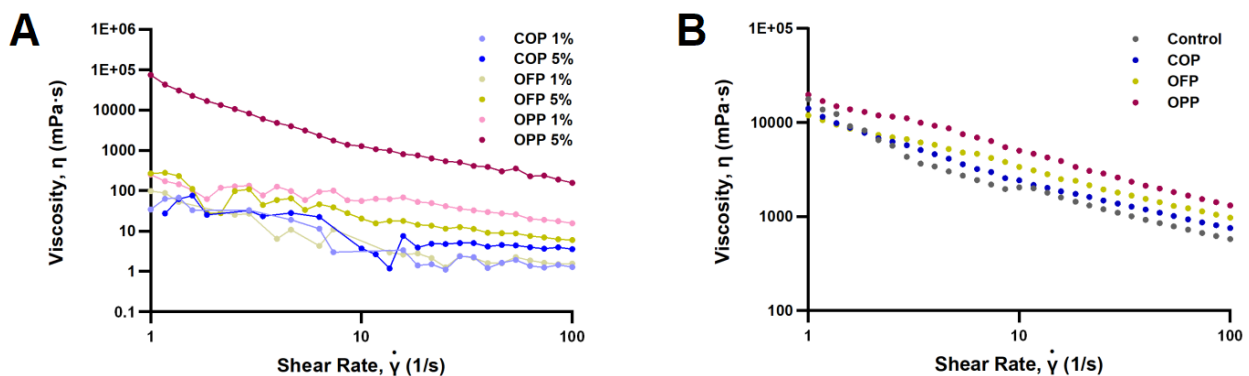


Fig. 3. Apparent viscosity as a function of shear rate for A: aqueous dispersions of onion powders at different concentrations and B: cream soups with 1% (w/w) onion powders. Concentrations in panel A are expressed as % (w/v). Measurements were performed at 25°C for the dispersions and at 60°C for the cream soups. COP, commercial onion powder; OFP, onion flesh powder; OPP, onion peel powder; Control, cream soup without onion powder.

특성에 영향을 미친 것으로 생각된다(Yeom & Hwang, 2020).

양파 분말 및 양파크림수프의 색 특성

분말의 L*값과 b*값은 COP, OFP, OPP의 순으로 감소한 반면, a*값은 동일한 순서로 증가하였다(Table 3). 즉 OPP는 세 시료 중 가장 어둡고 적색도가 높은 색 특성을 나타냈다. 이러한 차이는 외피에 축적된 flavonol 및 phenolic compound 자체의 색과 함께, 원료의 초기 색 및 열풍건조 과정에서 진행된 산화와 비효소적 갈변이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 이러한 OPP 첨가 제품의 색상 특징은 OPP를 첨가하여 제조한 쿠키에서도 첨가량이 증가함에 따라 L*값과 b*값은 감소하고 a*값은 증가하는 것으로 보고되어(Yeom & Hwang, 2020), 본 연구의 분말 색 특성과 동일한 경향을 나타냈다.

수프의 외관은 대조군, COP 첨가군 및 OFP 첨가군이 유사한 유백색을 나타낸 반면, OPP 첨가군은 뚜렷한 적갈색을 나타냈다(Fig. 4). 이는 분말 자체의 낮은 L*값과 높은 a*값이 약 1%(w/w)의 낮은 첨가 수준에서도 최종 제품의 외관에 그대로 반영되었음을 의미한다. 이러한 색 변화로 인해 밝은 외관이 중요한 백색 크림수프는 OPP의 첨가량이 제한될 것으로 판단된다. 실제로 양파 외피 분말을 첨가한 파스타 및 피자 베이스에서는 첨가량 증가에 따라 명도가 감소하고 제품이 어두워졌으나, 저 함량 첨가 시 관능적 수용성

이 확인된 바 있다(Michalak-Majewska et al., 2020; Sagar & Pareek, 2020). 반면, 갈색 또는 적갈색 등 제품 고유의 색으로 수용될 수 있거나 색상이 주요 품질 결정요인이 아닌 식품에서는 활용 가능성이 높을 것으로 사료된다. 또한 양파 외피 분말은 식이섬유 및 펙틴을 포함하며 수분 유능을 나타내므로, 수분결합 및 물성 조절이 요구되는 식품 매트릭스에서 물성조절 및 기능성 소재로 활용될 가능성이 있다(Bedmíček et al., 2020). 그러므로 향후 OPP의 식품 유형별 색 변화, 물성 및 감각 평가 등의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요약

본 연구에서는 양파껍질 분말의 총페놀함량, 항산화 특성, 수화 거동, 색도 및 유변학적 특성을 양파과육 분말 및 시판 양파 분말과 비교하여 OPP의 업사이클 식품소재로서의 활용 가능성을 평가하였다. 양파껍질 분말은 총 폴리페놀 함량, 총 항산화 및 케르세틴 함량이 건조 중량 대비 가장 높았다. 또한 양파껍질 분말은 가장 높은 수분흡수지수와 가장 낮은 수분용해지수를 보여, 물에 쉽게 용해되기보다는 수분을 흡수·보유하는 저용해성 입자상 기질이 풍부한 특성을 나타냈다. 측정된 전단속도 범위에서 양파껍질 분말 분산액과 양파껍질 분말 첨가 크림수프의 겔보기 점도가 양파 과육 및 시판 양파 분말 시료보다 높은 이유로 판단된다. 색도의 경우 양파껍질 분말 시료가 가장 낮은 L*값과 가장 높은 a*값을 나타냈고, 이를 첨가한 크림수프에 뚜렷한 적갈색을 보였다. 본 연구 결과는 양파껍질 분말이 높은 총 페놀함량 및 항산화, 수분결합 및 점도 조절 기능을 함께 제공할 수 있는 다기능성 업사이클 식품소재임을 입증한다. 양파껍질 분말의 어두운 색으로 인하여 활용 가능 제품군 및 첨가량에 제한이 있을 수 있으므로, 활용가능 식품군 발굴하고, 최적 첨가 수준을 설정하기 위해 식품 유형별 첨가 허용량과 이에 따른 소비자 기호도 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 3. Color values of onion powders

Sample	L*	a*	b*
COP	80.11±0.23 ^a	17.18±0.12 ^c	73.24±0.91 ^a
OFP	74.90±0.32 ^b	22.48±0.11 ^b	66.30±1.39 ^b
OPP	61.06±0.43 ^c	27.17±0.68 ^a	52.55±0.61 ^c

Values are expressed as the mean±SD (n=3). L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness. COP, commercial onion powder; OFP, onion flesh powder; OPP, onion peel powder. Different superscript letters (a-c) within the same column indicate significant differences (α 0.05) by Tukey's HSD test.

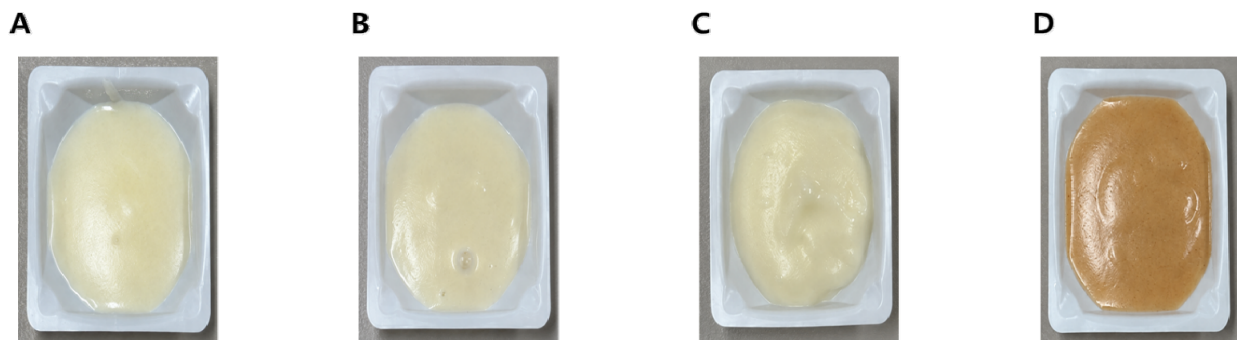


Fig. 4. Appearance of cream soups: A, Control, cream soup without onion powder; B, cream soup with 1% of COP; C, cream soup with 1% of OFP; D, cream soup with 1% of OPP.

ORCID

Sanggil Lee <https://orcid.org/0000-0001-8127-8132>
 Lei Cao <https://orcid.org/0000-0002-9676-7366>

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was supported by the Pukyong National University Research Fund in 2025 (202516290001).

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Cao L.
 Data curation: Kim J, Choi IS, Koo H, Kim W, Jeong S, Choi M, Hwang S.
 Formal analysis: Kim J, Choi IS.
 Methodology: Lee S.
 Software: Kim J, Choi IS.
 Validation: Cao L.
 Investigation: Kim J, Choi IS, Koo H, Kim W, Jeong S, Choi M, Hwang S.
 Writing - original draft: Kim J, Choi IS, Koo H, Kim W, Jeong S, Choi M, Hwang S, Lee S, Cao L.
 Writing - review & editing: Kim J, Choi IS, Koo H, Kim W, Jeong S, Choi M, Hwang S, Lee S, Cao L.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin EL. 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today* 14: 4-7, 11-12.
- Bednı́ček J, Kadlec J, Laknerová I, Mráz J, Samková E, Petrášková E, Hasoňová L, Vácha F, Kron V, Smetana P. 2020. Onion peel powder as an antioxidant-rich material for sausages prepared from mechanically separated fish meat. *Antioxidants* 9: 974.
- Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Cools K, Terry LA, Esteban RM. 2011a. Characterization of industrial onion wastes (*Allium cepa* L.): dietary fibre and bioactive compounds. *Plant Foods Hum. Nutr.* 66: 48-57.
- Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Esteban RM. 2011b. Effect of sterilisation on dietary fibre and physicochemical properties of onion by-products. *Food Chem.* 127: 501-507.
- Benzie IFF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chem.* 124: 411-421.
- FAO. 2025. FAOSTAT: crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fossen T, Pedersen AT, Andersen ØM. 1998. Flavonoids from red onion (*Allium cepa*). *Phytochemistry.* 47: 281-285.
- Jaime L, Mollá E, Fernández A, Martín-Cabrejas MA, López-Andréu FJ, Esteban RM. 2002. Structural carbohydrate differences and potential source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *J. Agric. Food Chem.* 50: 122-128.
- KOSIS. 2025. Crop production survey: onion. Korean Statistical Information Service, Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Michalak-Majewska M, Teterycz D, Muszyński S, Radzki W, Sykut-Domańska E. 2020. Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. *PLOS ONE* 15: e0227942.
- Nile SH, Nile AS, Keum YS, Sharma K. 2017. Utilization of quercetin and quercetin glycosides from onion (*Allium cepa* L.) solid waste as an antioxidant, urease and xanthine oxidase inhibitors. *Food Chem.* 235: 119-126.
- Robertson JA, de Monredon FD, Dysseler P, Guillon F, Amado R, Thibault JF. 2000. Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Sci. Technol.* 33: 72-79.

- Roldán E, Sánchez-Moreno C, de Ancos B, Cano MP. 2008. Characterisation of onion (*Allium cepa* L.) by-products as food ingredients with antioxidant and antibrowning properties. Food Chem. 108: 907-916.
- Sagar NA, Pareek S. 2020. Dough rheology, antioxidants, textural, physicochemical characteristics, and sensory quality of pizza base enriched with onion (*Allium cepa* L.) skin powder. Sci. Rep. 10: 18669.
- Sharma K, Assefa AD, Kim S, Ko EY, Lee ET, Park SW. 2014. Evaluation of total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of 18 Korean onion cultivars: a comparative study. J. Sci. Food Agric. 94: 1521-1529.
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic. 16: 144-158.
- Slimestad R, Fossen T, Vågen IM. 2007. Onions: a source of unique dietary flavonoids. J. Agric. Food Chem. 55: 10067-10080.
- Yeom MS, Hwang ES. 2020. Quality characteristics, antioxidant activities and acrylamide formation in cookies added with onion peel powder. Korean J. Food Preserv. 27: 299-310.