냉동 간편식의 위해성 및 주요 위해요인 분석

Risk Assessment of Major Hazard Factors in Frozen Convenience Foods

봉유진, 우연진, 추의진, 정현우, 이선영

Yujin Bong, Yeonjin Woo, Euijin Choo, Hyunwoo Joung, Sun-Young Lee

중앙대학교 생명공학대학 식품영양학과

Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong 17546, Republic of Korea

Sun-Young Lee

Correspondence to

Sun-Young Lee

Tel:+82-31-670-4587

E-mail:nina6026@cau.ac.kr

서론

오늘날 우리는 신선식품, 냉동식품, 간편식 등 다양한 형태로 음식을 섭취하며 그 소비량 또한 증가하고 있다. 통계청 광업/제조업 조사 자료에 따르면, 국내 냉동식품의 생산 규모는 2023년에 약 63억 670만 달러의 매출을 기록했으며, 2030년에는 약 98억 5,900만 달러에 이를 것으로 전망하고 있다(Grand View Research, 2024). 그 중, 냉동 간편식의 시장 규모는 전 년 대비 4.4%p가 증가했으며 2030년까지 약 6.6%p의 성장률을 기록할 것으로 예상된다(통계청, 2024; Grand View Research, 2024). 2023년 매출 기준으로 한국은 세계 냉동식품 시장의 1.3%를 차지할 만큼 그 규모는 점차 커지고 있다(Grand View Research, 2024). 그러나 냉동식품 소비가 증가함에 따라 관련된 식품의 식중독 사고가 지속적으로 증가하는 경향을 보이면서 이에 대한 미생물학적 안전성 문제가 우려되고 있다. 냉동은 식품의 품질을 유지하고 저장성을 향상시키는 효과적인 방법이지만, 냉 · 해동 과정에서 얼음 결정 형성을 초래하여 식품 구조를 손상 및 품질 문제를 야기한다(Demirci et al., 2025). 나아가 이러한 식품의 물리적 구조 손상은 해동 과정에서 다량의 수분(Drip) 유출을 동반하며, 이는 식품 표면이나 내부에 존재하는 미생물에게 영양분을 제공하여 급격한 미생물의 증식을 유발하는 원인이 된다(Wu et al., 2021). 일반적으로 −20℃ 이하의 냉동 보관은 대부분의 미생물 생육과 증식을 억제하는 안전한 방법으로 인식되기 쉬우나, 실제로는 미생물의 대사 활동을 일시적으로 억제할 뿐 완전한 사멸은 되지 않는다(Kang et al., 2007). *Listeria monocytogenes*,

*Staphylococcus aureus*을 비롯해 *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7 등 주요 식중독균은 냉동이라는 극한의 온도 스트레스 조건에서도 강한 저항성을 보이며 장기간 생존할 수 있다(Liu et al., 2016).

특히, 냉동 간편식은 육류, 채소류, 소스 등 다양한 식재료가 혼합된 채로 제조 및 유통되기 때문에 단일 식품에 비해 미생물 오염에 쉽게 노출되고 복합적인 위해 요인이 내재되어 있다. 또한 소비자의 불충분한 가열 조리(전자레인지, 오븐 등)나 상온에서의 부적절한 해동 방식이 결합 될 경우, 동결 상태에서 장기간 생존해 있던 병원성 미생물들이 빠르게 활성을 회복하여 심각한 위해를 초래할 위험이 높다(Park et al., 2012).

따라서 냉동 간편식 시장의 양적 성장 이면에는 제품의 유통 및 보관, 소비 단계 전반에 걸친 엄격한 미생물학적 안전성 평가가 수반되어야 한다. 이에 본 원고에서는 냉동 간편식에서 발생할 수 있는 주요 식중독균의 발생 사례를 살펴보고, 냉 · 해동에 따른 미생물의 위해성을 종합적으로 분석하고자 한다.

본론

1. 냉동유통 제품의 식중독 발생현황

국내의 경우 식중독 발생 원인 식품을 비롯한 상세 정보

표 1. 미국에서 냉동유통 제품에서의 식중독 발생 사례(2010–2023)

원인식품	원인 병원균	환자수	입원 환자수	사망자수	연도
Raw frozen breaded stuffed chicken products	*S.* Enteritidis	36	12	0	2021
Frozen cooked shrimp	*S.* Weltevreden	9	3	0	2021
Frozen, ground tuna	*S.* Newport	15	2	0	2019
Frozen shredded coconut	*S.* Newport	27	6	0	2017
Frozen tuna products	*S.* Paratyphi B variant L(+) tartrate(+) (64 people), *S.* Weltevreden (1 person)	65	11	0	2015
Raw, frozen, stuffed and breaded chicken entrees produced	*S.* Enteritidis	5	2	0	2015
Frozen, raw turkey burger products	*S.* Hadar	12	3	0	2010–2011
Cheesy chicken, rice frozen entr□e	*S.* Chester	44	16	0	2010
Frozen falafel	*E. coli* O121	24	5	0	2022
Packaged salads (mix of leafy greens: organic spinach, mizuna, kale, chard)	*E. coli* O157:H7	10	4	1	2021
Frozen pizza	*E. coli* O157:H7	21	8	0	2007
Ice cream	*L. monocytogenes*	2	2	0	2023
Ice cream	*L. monocytogenes*	28	27	1	2021–2022
Frozen, fully cooked chicken products	*L. monocytogenes*	3	3	1	2021
Frozen vegetables	*L. monocytogenes*	9	9	3	2013–2016
Ice cream, frozen yogurt, sherbet, frozen snacks	*L. monocytogenes*	10	10	3	2010–2015
Frozen organic strawberries	Hepatitis A	10	4	0	2022–2023

가 명시되지 않아 확인이 어려운 실정이며, 2024년 CDC 자료에 의한 미국에서의 냉동유통 제품에 의한 식중독 발생 현황은 표 1과 같다. 미국에서의 식중독 발생 사례에 의하면 냉동유통 제품에서의 식중독은 *Salmonella* spp., pathogenic 병원성 *E. coli*, *L. monocytogenes*에 의해 주로 발생하는 것으로 나타났으며, 냉동 치킨이나 참치 제품에 의해 식중독 환자가 가장 많이 발생하였다. 특히, 냉동 연어 제품에서 65명으로 환자 수가 가장 많이 발생하였으며, 냉동 채소류에 의해 가장 많은 사망자(3명)가 발생하였다. 따라서 환자 수나 사망자 수가 가장 많은 냉동 고기류나 채소류의 가공 과정에서 주의가 필요할 것으로 사료 된다. 표 1의 자료를 토대로 식중독 원인 병원체별 환자 비율 및 사망자 수를 정리한 결과는 그림 1과 같다. 냉동유통 제품과 관련된 식중독의 64.55%는 *Salmonella* spp.에 의해 발생한 것으로 보고 되었으나 사망 사례는 확인되지 않았다. 반면, *L. monocytogenes*에 의한 식중독에서는 총 8명의 사망자가 보고되어 원인 병원체 중 가장 높은 치명률을 보였다.

냉동 식품에서의 식중독 발생은 냉동 처리에도 불구하고 병원체가 생존할 수 있다는 점에서 기인한다. Doyle and Schoeni (1984)의 연구에서 *E. coli* O157:H7이 −20℃에서 장기간(9개월) 생존할 수 있으며, 이는 냉동 환경에서도 병원체가 안정적으로 유지될 수 있음을 뒷받침한다. 특히, 냉동 육류의 경우 가공 과정에서의 오염 가능성과 해동 시 미생물 증식 위험이 존재하며, 냉동 채소류는 가열 없이 섭취되는 경우가 많아 직접적인 감염 위험이 높다(Jha et al., 2025). 그 중, *L. monocytogenes*는 저온에서도 증식하는 psychrotrophic 특성을 가지며, 비교적 낮은 감염량(infection dose)을 가진다(WHO, 2018; Centers for disease control and Prevention, 2023). 2015–2018년 동안 유럽에서 *Listeria*에 의한 식중독이 냉동 채소류에서 53건이 발생하였으며, 사망자 수가 10명에 이른다(EFSA 2018; 2020).

2. 간편조리식 제품의 식중독 발생현황

간편조리식 제품 또한 냉동유통 제품과 마찬가지로 국내 식중독 자료에 대한 상세 정보가 명시되지 않아 확인이 어려운 실정이며, CDC 자료에 의한 미국에서의 간편조리식 제품의 식중독 발생 현황은 표 2와 같다. 주로 채소 및 과일류에 의해 식중독이 발생하였으며, 냉동유통 제품과 동일하게 간편조리식 제품에서의 식중독 주요 원인 병원체는 *Salmonella* spp., pathogenic *E. coli*, *L.*

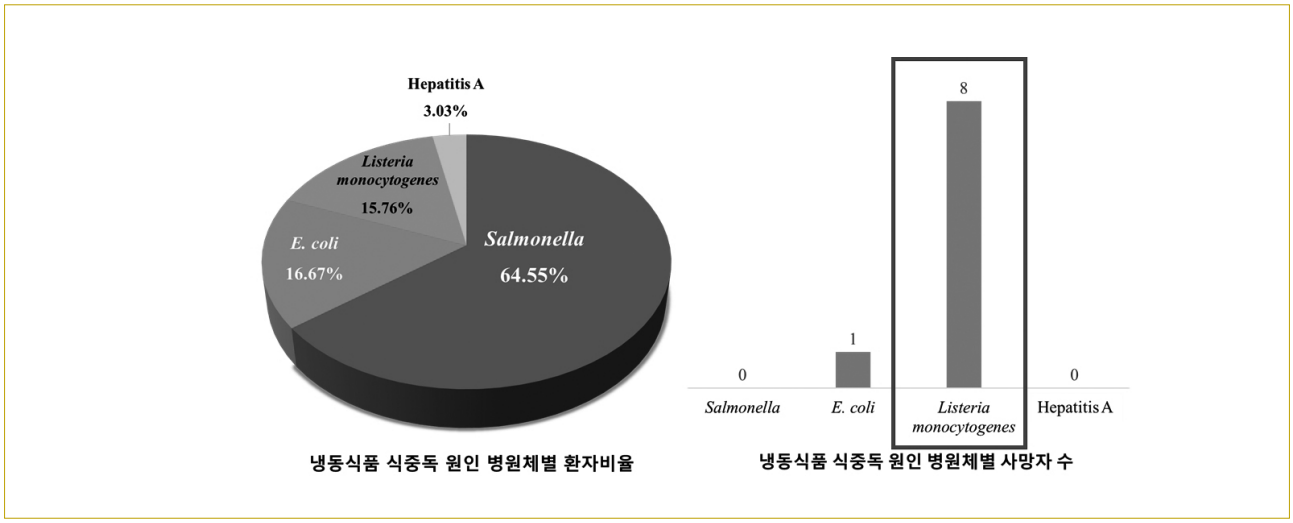

그림 1. 2010–2023년 미국 냉동유통 제품의 식중독 원인 병원체별 환자수 비율(좌) 및 사망자수(우)

표 2. 미국 간편조리식 제품에서의 식중독 발생 사례(2011–2024)

원인 식품	원인 미생물	환자수	입원 환자수	사망자수	연도
Chicken salad	*S.* Typhimurium	256	94	1	2018
Cut fruit (Fruit Luau cut fruit mix and cut honeydew melon, cut cantaloupe, cut pineapple products)	*S.* Javiana	165	73	0	2019–2020
Pre–cut melons	*S.* Carrau	137	38	0	2019
Spring pasta salad	*S.* Sandiego (92 people), *S. enterica* subspecies IIIb (7 people), or both (2 people)	101	25	0	2018
Fresh diced onion products	*S.* Thompson	80	18	1	2023
Pre–cut melons	*S.* Adelaide	77	36	0	2018
Alfalfa sprouts	*S.* Typhimurium	63	10	0	2022–2023
Fresh organic basil	*S.* Typhimurium	36	4	0	2024
Packaged salad greens	*S.* Typhimurium	31	4	0	2021
Costco rotisserie chicken salad	*E. coli* O157:H7	19	5	0	2015
Packaged salads	*L. monocytogenes*	18	16	3	2014–2022
RTE meat and poultry products	*L. monocytogenes*	11	9	1	2021–2024
Packaged salads	*L. monocytogenes*	10	10	1	2016–2021
RTE salad mix (4 salad green types: arugula, radicchio rosso, iceberg lettuce, endive)	*Yersinia enterocolitica* O:3 and O:9	21	–	0	2011

*monocytogenes*인 것으로 나타났다. 가장 많은 환자가 발생한 간편조리식 식중독 사고의 원인식품은 치킨 샐러드(256명)였으며, 샐러드에 의한 사망자 수는 5명으로 나타났다. 마찬가지로 간편조리식 제품의 식중독 원인 병원

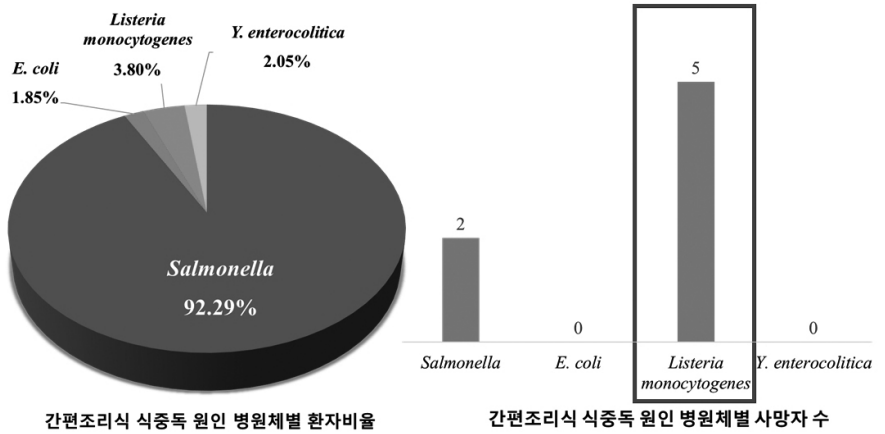

그림 2. 2011–2024 미국 간편조리식 제품의 식중독 원인물질별 환자수 비율(좌) 및 사망자수(우)

표 3. 냉동유통 제품 및 간편조리식 제품에 대한 주요 미생물 오염도 평가

국가	원인 식품	원인 미생물	오염 수준 (log CFU/g)	오염도(%)	참고문헌
China	Cooked meats	*Staph. aureus*	2.38±0.61	3.3 (2/20)	B. XIE et al., 2020
	Fresh fruit and vegetables (including precut and/or prepeeled fruits and prepared mixed salads)	Total coliforms	3.88±1.35	43.1 (25/58)	
		Staph. aureus	3.19±1.13	20.7 (12/58)	
	Cooked foods subjected to post-cooking process	Total coliforms	4.68±1.01	71.7 (43/60)	
		Staph. aureus	4.76±1.02	83.3 (50/60)	
Canada	Fresh-cut fruit	*L. monocytogenes*	–	0.72 (24/3312)	H. Zhang et al., 2020
	Fresh-cut vegetable	*L. monocytogenes*		0.48 (12/2480)	
Portugal	RTE dairy products	Total plate count	6.83±3.35	–	R. Maio et al., 2020
		Enterobacteriaceae	1.37±2.24		
		Lactic acid bacteria	6.44±2.99		
		Moulds and yeast	2.21±2.25		
		Pseudomonads	2.30±2.54		
	RTE meat products	Total plate count	4.70±2.53	–	
		Enterobacteriaceae	1.02±1.40		
		Lactic acid bacteria	3.92±2.76		
		Mold and yeast	1.80±2.10		
		Pseudomonads	0.96±1.53		
		E. coli	0.04±0.20		
Slovakia	Kebab	Coliform	〈1.00–3.20	40 (12/30)	L. Lopašovský et al., 2016
	Gyros	Coliform	〈1.00–3.17	20 (2/10)	
		Yeast	〈1.00–2.14	10 (1/10)	
	Hamburger	Coliform	〈1.00–3.34	19 (10/54)	
		Yeast	〈1.00–2.91	2 (1/54)	
	Cheeseburger	Coliform	〈1.00–3.18	40 (2/5)	
	Hot-dog	Coliform	〈1.00–3.15	10 (3/31)	
		Yeast	〈1.00–3.32	3 (1/31)	
	Roasts	Coliform	〈1.00 – 2.32	7 (1/14)	
		Yeast	〈1.00 – 3.56	7 (1/14)	
		Microscopic filamentous fungi	〈1.00–2.51	7 (1/14)	

Turkey	Soup	Coliform	1.00–2.00	0.8 (1/120)	V. Öz et al., 2014
		E. coli	1.00–2.00	0.8 (1/120)	
		Staph. aureus	2.00–3.00	1.7 (2/120)	
		B. cereus	4.00–5.00	0.8 (1/120)	
	Rice	Coliform	5.00–6.00	3 (4/70)	
		E. coli	5.00–6.00	1.5 (1/70)	
		Staph. aureus	1.00–6.00	5.8 (4/70)	
		B. cereus	4.00–5.00	1.4 (1/70)	
	Turkish Kebab	Coliform	1.00–2.00	13 (3/23)	
		E. coli	1.00–2.00	4.4 (1/23)	
		Staph. aureus	1.00–3.00	4.4 (1/23)	
		B. cereus	2.00–4.00	13 (3/23)	
	Vegetable meals	Coliform	1.00–3.00	4.2 (4/100)	
		E. coli	1.00–3.00	2 (2/100)	
		Staph. aureus	2.00–4.00	5 (5/100)	
		B. cereus	2.00–3.00	3 (3/100)	
	Food legumes	*Staph. aureus*	2.00-3.00	5 (1/20)	
	Meatball	*Staph. aureus*	2.00-4.00	5.8 (3/52)	
		B. cereus	2.00–3.00	1.9 (1/52)	
	Chicken meals	Coliform	3.00–4.00	4.2 (2/48)	
		E. coli	3.00–4.00	4.2 (2/48)	
		Staph. aureus	1.00–3.00	6.3 (3/48)	
		B. cereus	2.00–4.00	4.2 (2/48)	
	Meat dishes	*Staph. aureus*	2.00–3.00	4.1 (4/98)	
		B. cereus	1.00–3.00	2 (2/98)	
	Pastry	Coliform	2.00–4.00	33.3 (4/12)	
		E. coli	1.00–3.00	33.3 (4/12)	
		Staph. aureus	2.00–5.00	33.3 (4/12)	
	Pudding	*E. coli*	1.00–3.00	2.4 (1/41)	
		Staph. aureus	2.00–3.00	4.9 (2/41)	
	Salad	Coliform	1.00–4.00	11.7 (14/120)	
		E. coli	1.00–4.00	5 (6/120)	
		Staph. aureus	2.00–5.00	4.2 (17/120)	
	Patty	Coliform	2.00–3.00	7.1 (1/14)	
	Pasta	Coliform	2.00–3.00	3.13 (1/32)	

체별 환자 비율과 사망자 수를 그림 2와 같다. *Salmonella* spp.로 인한 식중독이 9건으로 환자의 비율(92.29%)이 가장 높았지만, 사망자 수는 *L. monocytogenes*에서 5명으로 가장 많았다.

간편조리식은 추가적인 조리나 병원균을 비활성화하는 과정 없이 섭취하는 식품이며 리스테리아증 전파의 중요한 매개체로 작용한다(Yangchen et al., 2025). 실제로 2012년부터 2022년까지 호주, 유럽, 미국, 캐나다에서 발생한 미생물학적 식품 리콜의 주요 원인 중 하나가 *L. monocytogenes* 오염으로 보고되었다(USDA, 2025;FSANZ, 2004; NSW, 2009). 또한 미국의 리콜 자료와 호주의 국내 생산 및 수입 식품에 대한 규제 준수 자료에서도, RTE 식품은 주로 *L. monocytogenes* 오염으로 인해 리콜되는 것으로 나타났다(USDA, 2025; FSANZ, 2004; NSW, 2009). Codex에 의하면 고수분($a_w \geq 0.92$) 및 비교적 중성에 가까운 pH를 가지는 식품은 *L monocytogenes*가 증식되는 고위험 식품군으로 분류된다(Codex Alimentarius Commission, 2007). 이러한 특성은 샐러드와 같은 신선 채소류에서 흔히 관찰되며, 세척 및 절단 이후 추가적인 살균 공정이 적용되지 않아 교차오염이 빈번하게 발생된다.

3. 냉동유통제품 유해인자 오염현황 분석

1) 대상 미생물 및 원인식품 분석

냉장 및 냉동 간편식의 미생물 오염 실태에 관해 정리한 표이다(표 3). 주요 검출 미생물은 대장균군(coliforms), *E. coli*, *Staph. aureus*, *B. cereus*, 그리고 *L. monocytogenes*로 나타났다. 단순 조리육의 *Staph. aureus* 오염도는 3.3%로 비교적 낮았지만, 조리 후 추가 공정을 거친 식품의 경우 *Staph. aureus*와 대장균군의 오염도가 각각 83.3%, 71.7%로 증가하였다. 또한, 신선 절단 과일과 채소에서는 *Staph. aureus* (20.7%)와 대장균군(43.1%)이 높게 검출되었다. 포르투갈의 ready to eat (RTE) 유제품류에서 총균수가 6.83±3.35 log CFU/g으로 가장 높은 수준을 보였으며, 육고기 제품에서도 4.70±2.53 log CFU/g의 비교적 높은 수준의 총균수를 확인하였다. 한편, 캐나다 신선 절단 과일 및 채소에서는 *L. monocytogenes*가 0.1–3% 수준으로 낮았지만 지속적으로 검출되는 경향을 나타냈다.

본 결과는 냉동 및 간편조리식 식품에서 위생 지표 미생물과 병원성 미생물이 동시에 존재하며, 식품 유형 및 가공 공정에 따라 오염 수준이 크게 달라짐을 보여준다. 특히, 조리 후 추가적인 공정을 거친 식품에서 높은 오염도가 확인된 것은 열처리를 통해 미생물이 일차적으로 감소하더라도 이후 취급 과정에서 발생하는 2차 오염이 주요 원인으로 작용할 수 있음을 시사한다(ICMSF, 2022). 비가열 섭취 식품, 특히 샐러드나 신선 절단 식품에서 비교적 높은 검출률이 나타난 것은 원재료 오염과 세척 공정의 한계로 볼 수 있다. 실제로 신선 채소류나 RTE 식품은 추가적인 가열 공정이 없기에 미생물을 제거하기 어려우며, 세척 및 절단 과정에서 교차오염이 빈번하게 발생하는 것으로 보고되었다(Alreshoodi et al., 2024). 따라서 냉동 및 간편조리식 식품의 미생물 안전성 확보를 위해서는 원재료 관리뿐만 아니라 조리 후 공정, 유통 및 취급 단계 전반에 걸친 위생 관리가 필수적이며, 저온 환경에서도 생존하는 병원성 미생물에 대한 지속적인 관리가 필요하다.

2) 냉동제품의 냉 · 해동 조건에 따른 미생물 증식

냉 · 해동 조건은 냉동식품의 미생물 안전성에 직접적인 영향을 미치는 핵심 요인으로, 특히 해동 온도와 시간에 따라 미생물의 생존 및 증식 양상이 크게 달라지는 것으로 보고되고 있다(Park and Kim, 2024). 일반적으로 냉동 상태에서는 미생물의 대사 활동이 억제되지만 완전한 사멸은 이루어지지 않기 때문에, 해동 과정에서 환경 조건에 따라 빠른 증식이 가능하다 (Çal ı şkan Koç et al., 2025; Caballero et al., 2003).

한국, 이라크, 캐나다에서 돼지고기, 다진 육류 및 냉동 디저트류를 대상으로 수행된 연구에 따르면, 해동 온도가 높고 시간이 길어질수록 세균 수가 급격히 증가하는 경

향이 확인되었다(표 4). 특히 상온 해동은 냉장 해동에 비해 미생물 증식을 촉진하는 주요 요인으로 작용하였다. 돼지고기의 경우 실온에서 7시간 이상 해동 시 총호기성 세균 수가 냉장 해동(4℃, 24 h)보다 높은 수준(3.37±1.25 log CFU/g)을 나타냈다. 또한 다진 육류에서는 40℃에서 해동 시 총 세균 수가 6.04–7.90 log CFU/g로 증가하

표 4. 해동 조건에 따른 냉동제품에서의 미생물 증식 평가

국가	냉동식품	대상 미생물	냉동 조건	해동 조건	오염도 (CFU/g)	참고문헌
Korea	Pork	Total Aerobic Bacteria	−18°C, 3 day	Fresh meat	1.89±0.63	M. H. Park et al., 2012
				Refrigerator (4°C, 24 h)	1.71±0.00	
				Cold water (2 h)	1.97±0.55	
				Room temperature (25°C, 3.5 h)	2.08±1.44	
				Microwave (700 W, 8 min)	2.28±1.80	
				Refrigerator II (48 h)	2.16±0.00	
				Cold water II (4 h)	3.31±1.80	
				Room temperature II (25°C, 7 h)	3.37±1.25	
Iraq	Minced Red Meats	Total Bacterial Count	−18°C	Tap water (18°C, 2 h)	4.84–6.00	R. A. Ismail et al., 2016
				Room temperature (37°C, 2 h)	4.84–6.00	
				Refrigerator (4°C, 20 h)	4.90–5.94	
				Hot water (40°C, 1.5 h)	6.04–7.90	
Canada	Classic profiteroles (inoculated)	*Salmonella enterica*	−20°C, 4 day	None (frozen)	2.10±0.20	S. Tamber et al., 2021
				Room temperature (22°C, 1.5 h)	2.20±0.20	
				Room temperature (22°C, 6 h)	2.70±0.10	
				Room temperature (22°C, 24 h)	5.80±0.20	
				Refrigerated (4°C, 24 h)	2.20±0.20	
				Refrigerated (10°C, 24 h)	2.20±0.20	
	Passion fruit profiterols (inoculated)			None (frozen)	2.00±0.20	
				Room temperature (22°C, 1.5 h)	2.00±0.30	
				Room temperature (22°C, 6 h)	2.00±0.10	
				Room temperature (22°C, 24 h)	3.50±0.60	
				Refrigerated (4°C, 24 h)	1.80±0.40	
				Refrigerated (10°C, 24 h)	1.90±0.40	
	Egg nogprofiteroles (inoculated)			None (frozen)	2.20±0.40	
				Room temperature (22°C, 1.5 h)	2.20±0.30	
				Room temperature (22°C, 6 h)	2.30±0.20	
				Room temperature (22°C, 24 h)	5.10±0.20	
				Refrigerated (4°C, 24 h)	1.90±0.20	
				Refrigerated (10°C, 24 h)	2.10±0.10	

여, 냉장 해동(4℃, 20 h)에 비해 큰 증식이 나타났다.

이러한 결과는 냉동제품의 종류에 따라 미생물 증식 속도에는 차이가 존재하지만, 전반적으로 고온 또는 장시간 해동 조건이 미생물, 특히 병원성 미생물의 증식을 가속화할 수 있음을 시사한다.

3) 냉 · 해동 반복에 따른 미생물 오염 위험 분석

반복되는 냉 · 해동 주기는 미생물의 생존과 증식을 촉진하는 동시에 식품의 품질 저하를 유발하는 중요한 위해요인이다(Mohammed et al., 2021). 중국의 냉동 새우와 터키의 멸치를 대상으로 한 연구 결과, 냉동과 해동이 반

표 5. 냉 · 해동 조건 및 횟수에 따른 냉동제품에서의 미생물 오염도 평가

국가	냉동 식품	대상 미생물	냉동 조건	해동 조건	오염 수준 (CFU/g)	참고문헌
China	Pre-pack-aged shrimp	Total plate count	−20 ℃, 12 h, 0 cycle	Refrigerater (1℃, 12 h)	〈 5.00	S. Liu et al., 2024
			−20 ℃, 12 h, 9 cycle		5.18	
			−20 ℃, 12 h, 21 cycle		6.07	
Korea	Hanwoo	Total aerobic bacteria	Before freezing		4.19±0.18	H. H. Chun et al., 2016
			Air blast freezing (−20℃)	Air blast (4℃)	4.74±0.15	
				Air blast (4℃, 3 freeze-thaw cycle)	2.90±0.16	
				Water bath (4℃)	4.45±0.12	
				Water bath (4℃, 3 freeze-thaw cycle)	3.02±0.09	
		Total aerobic bacteria	Ethanol immersion freezing (−70℃)	Air blast (4℃)	4.50±0.16	
				Air blast (4℃, 3 freeze-thaw cycle)	3.19±0.02	
				Water bath (4℃)	4.45±0.24	
				Water bath (4℃, 3 freeze-thaw cycle)	3.41±0.04	
Turkey	Anchovy	Total meso-philic aerobic bacteria	Before freezing		4.95±0.00	K. Nilgun et al., 2013
			−30℃, 15 day, 1 cycle	Refrigerator (4±1℃, 13h)	4.96±0.01	
			−30℃, 15 day, 2 cycle		5.79±0.00	
			−30℃, 15 day, 3 cycle		6.49±0.01	
			−30℃, 15 day, 4 cycle		6.60±0.00	
		Total meso-philic aerobic bacteria	−30℃, 15 day, 1 cycle	Microwave (900 W, 17 min)	4.93±0.01	
			−30℃, 15 day, 2 cycle		5.48±0.00	
			−30℃, 15 day, 3 cycle		5.72±0.02	
			−30℃, 15 day, 4 cycle		6.41±0.02	

복될수록 미생물 수가 증가하는 경향이 나타났다(표 5). 특히 멸치의 경우 초기 총균수가 4.93 log CFU/g에서 시작하여, 냉 · 해동 4회 반복 후 6.41 log CFU/g까지 증가하여 약 1.5 log 이상의 증가가 관찰되었다. 또한 냉동 새우에서도 냉 · 해동 반복 횟수가 증가함에 따라 총균수가 〈5.00 log CFU/g에서 6.07 log CFU/g 수준까지 증가하는 경향을 보였다. 이는 해동 과정에서 세포 손상이 발생해 재 냉 · 해동 과정에서 남아있는 미생물이 빠르게 증식할 수 있다는 것을 시사한다.

반복적인 냉 · 해동 과정은 얼음 결정의 재결정화로 인한 조직 손상을 누적시키고 drip 생성을 증가시켜, 미생물 증식에 더욱 유리한 조건을 제공하는 것으로 보고되었다(Wu et al., 2021). 특히 해동 시 발생하는 drip은 미생물 성장에 필요한 수분과 영양분을 공급하여 증식을 더욱 촉진하는 환경을 형성한다(Wu et al., 2021). 따라서 냉동식품의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서는 냉 · 해동 반복을 최소화하는 것이 중요하며, 유통 및 소비 단계에서 일정한 온도 상태를 유지할 수 있는 체계적인 관리가 필요하다.

결론

냉동식품 및 간편조리식 식품의 소비가 증가함에 따라 관련된 식중독 발생 또한 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 따른 미생물학적 안전성 문제가 중요한 이슈로 대두되고 있다. 냉동유통 제품에서는 *Salmonella* spp., 병원성 *E. coli*, *L. monocytogenes*, *Staph. aureus* 등 주요 식중독 유발 미생물이 냉동 상태에서도 생존하며, 특히 조리 후 취급 과정 및 비가열 섭취 식품에서 높은 오염 위험이 확인되었다. 또한 해동 온도 및 시간이 증가할수록 미생물 증식이 촉진되었으며, 냉 · 해동의 반복은 미생물 수를 더욱 증가시키는 주요한 위해 요인으로 작용하였다. 현재 냉동식품은 저온 저장을 통한 안전성이 확보된 것으로 인식되기 쉬우나, 실제로는 미생물의 생육을 억제할 뿐 완전한 사멸이 이루어지지 않고 있다. 해동 및 유통 과정에서 병원성 미생물이 빠르게 증식할 수 있는 위험이 존재하지만, 냉동식품의 해동 및 취급 과정에 대한 구체적인 관리 기준과 소비자 인식은 여전히 미흡한 실정이다. 따라서 냉동 간편식의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서는 유통 및 해동 과정에 이르는 전 단계에서의 체계적인 위생 관리가 필요하며, 특히 적절한 해동 방법과 냉 · 해동 반복 최소화에 대한 관리 기준이 보다 강화되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)의 연구비 지원(RS-2024-00404614)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Alreshoodi, F. M., Alsuliman, B., Alotaibi, N. M., Althobaiti, A., Mukhtar, L. E., Alsaleh, S., Alajlan, A.A., Alakeel, S.I., Alshabrmi, F.M., Sarwar, & Alajel, S. M. (2024). Impact of various washing protocols on the mitigation of *Escherichia coli* contamination in raw salad vegetables. *Microorganisms*, 12(10), 2103.

2. Caballero, B., Trugo, L., & Finglas, P. (2003). Encyclopedia of food sciences and nutrition: Volumes 1-10 (No. Ed. 2, pp. 6601-pp).

3. Çal ı şkan Koç, G., Özkan Karabacak, A., Süfer, Ö., Adal, S., Çelebi, Y., Delikanl ı K ı yak, B., & Öztekin, S. (2025). Thawing frozen foods: A comparative review of traditional and innovative methods. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 24(2), e70136.

4. CDC. (2023). *Listeria* (Listeriosis). https://www.cdc.gov/listeria/index.html.

5. Chun, H. H., Choi, E. J., Han, A. R., Chung, Y. B., Kim, J. S., & Park, S. H. (2016). Changes in quality of Hanwoo bottom round under different freezing and thawing conditions. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, *45*(2), 230–238.

6. Codex Alimentarius Commission. (2007). Guidelines on the Application of General Principles of Food Hygiene to the Control of *Listeria monocytogenes* in Foods (CAC/GL 61–2007).

7. Demirci, K., Bayraktar, B., Özdemir, E. E., Görgüç, A., & Yılmaz, F. M. (2025). The potential of nanoscale polysaccharides for the cryoprotection of deep-frozen food products. *Food Bioscience*, 68, 106381.

8. Doyle, M. P., & Schoeni, J. L. (1984). Survival and growth characteristics of *Escherichia coli* associated with hemorrhagic colitis. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(4), 855–856.

9. EFSA. (2018). *Listeria Monocytogenes*: Update on Foodborne Outbreak. https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/180703.

10. EFSA. (2020). The public health risk posed by *Listeria monocytogenes* in frozen fruit and vegetables including herbs, blanched during processing. *EFSA Journal* 18, no. 4: e06092. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6092.

11. Food Standards Australia New Zealand. (2004). *Listeria monocytogenes* in Cooked Prawns, Food Standards Australia New Zealand

12. Grand View Research. South Korea Frozen Food Market Size & Outlook, 2023–2030. https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/frozen-food-market/south-korea.

13. ICMSF. (2022). Microorganisms in foods 7: Microbiological testing in food safety management. Springer.

14. Jha, P. K., Hanin, A., Tiwari, B. K., & Dallagi, H. (2025). Microbial safety in cold-preserved foods: risks, regulatory gaps, and mitigation strategies. *Food Control*, 111869.

15. Kang, S. M., Kang, C. G., & Lee, S. K. (2007). Comparison of quality characteristics of Korean native black pork and modern genotype pork during refrigerated storage after thawing. *Food Science of Animal Resources*, 27(1), 1–7.

16. Krsteski, R. and Rockliff, S. (2015). Microbiological Quality of Ready-to-Eat Foods: July 2014–June 2015. ACT Health Protection Service.

17. Łepecka, A., Zielińska, D., Szymański, P., Buras, I., & Kołożyn-Krajewska, D. (2022). Assessment of the microbiological quality of ready-to-eat salads are there any reasons for concern about public health?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1582.

18. Liu, C., Mou, J., & Su, Y. C. (2016). Behavior of *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* in raw yellowfin tuna during cold storage. *Foods*, 5(1), 16.

19. Liu, S., Zhang, L., Chen, J., Li, Z., Liu, M., Hong, P., Zhong, S., & Li, H. (2024). Effect of freeze-thaw cycles on the freshness of prepackaged *Penaeus vannamei*. *Foods*, 13(2), 305.

20. Maio, R., García-Díez, J., & Saraiva, C. (2020). Microbiological quality of foodstuffs sold on expiry date at retail in portugal: a preliminary study. *Foods*, 9(7), 919.

21. Mena, C., Almeida, G., Carneiro, L., Teixeira, P., Hogg, T., & Gibbs, P. A. (2004). Incidence of *Listeria monocytogenes* in different food products commercialized in Portugal. *Food microbiology*, 21(2), 213–216.

22. Mohammed, H. H. H., He, L., Nawaz, A., Jin, G., Huang, X., Ma, M., Abdegadir, W. S., Elgasim, E. A., & Khalifa, I. (2021). Effect of frozen and refrozen storage of beef and chicken meats on inoculated microorganisms and meat quality. *Meat Science*, 175, 108453.

23. New South Wales Food Authority. (2009). Microbiological Quality of Packaged Sliced Ready-to-Eat Meat Products; New South Wales (NSW) Food Authority: Silverwater, Australia.

24. Obaidi, D. A. (2016). Influence of best thawing method to reduce microbial load in red meats. *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 40(1), 157–160.

25. Park, M. H., & Kim, M. (2024). Effects of thawing conditions on the physicochemical and microbiological quality of thawed beef. *Preventive nutrition and food science*, 29(1), 80.

26. Park, M. H., Kwon, J. E., Kim, S. R., Won, J. H., Ji, J. Y., Hwang, I. K., & Kim, M. R. (2012). Physicochemical

and microbiological properties of pork by various thawing methods. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 22(2), 298–304.

27. Rao, M., & Tamber, S. (2021). Microbiological analysis of frozen profiteroles and mini chocolate eclairs implicated in a national salmonellosis outbreak. *Food microbiology*, *100*, 103871.

28. USDA Food Safety and Inspection Service. (2025). Annual Recall Summaries. https://www.fsis.usda.gov/food-safety/recalls-public-health-alerts/annual-recall-summaries.

29. World Health Organization. (2018). Listeriosis fact sheet. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/listeriosis.

30. Wu, J., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. H. (2021). Drip loss control technology of frozen fruits and vegetables during thawing: a review. *International Agrophysics*, 35(3), 235–250.

31. Xie, B., Li, S., Chen, M., Wang, F., & Chen, D. (2020). Microbial Quality of Ready-to-Eat Foods Sold in School Cafeterias in Chongqing, China. *Journal of Food Protection*, 83(5), 890–895.

32. Yangchen, J., Sarkar, D., Rood, L., Vaskoska, R., & Kocharunchitt, C. (2025). *Listeria monocytogenes*: A Continuous Global Threat in Ready-to-Eat (RTE) Foods. *Foods*, 14(21), 3664.

33. Zhang, H., Yamamoto, E., Murphy, J., & Locas, A. (2020). Microbiological safety of ready-to-eat fresh-cut fruits and vegetables sold on the Canadian retail market. *International Journal of Food Microbiology*, 335, 108855.

34. 통계청. (2024), 광업 · 제조업조사. https://kosis.kr/index/index.do.