

TITLE PAGE

- Food and Life-

Upload this completed form to website with submission

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
Article Type	Article
Article Title (English)	Comparison of Quality Characteristics of Commercially Available Frankfurters in Korea with Synthetic Nitrite Addition or Natural Alternative Systems
Article Title (Korean) English papers can be omitted	국내 유통 합성 아질산염 첨가 및 천연 대체 시스템 적용 프랑크 소시지의 품질 특성 비교
Running Title (English, within 10 words)	Quality Comparison of Synthetic Nitrite and Naturally Cured Frankfurters
Author (English)	Yeongmi Yoo ^{1,2†} , Su Min Bae ^{1†} , Jong Youn Jeong ^{1,2,3*}
Affiliation (English)	¹ Department of Food Science & Biotechnology, Kyungshung University, Busan 48434, Korea ² Brain Busan 21 Plus Project Team, Kyungshung University, Busan 48434, Korea ³ Food & Life Science Research Institute, Kyungshung University, Busan 48434, Korea
Author (Korean) English papers can be omitted	유영미 ^{1,2†} , 배수민 ^{1†} , 정종연 ^{1,2,3*}
Affiliation (Korean) English papers can be omitted	¹ 경성대학교 식품생명공학과 ² 경성대학교 Brain Busan 21 Plus 프로젝트팀 ³ 경성대학교 식품생명연구소
Special remarks – if authors have additional information to inform the editorial office	[†] Yeongmi Yoo and Su Min Bae contributed equally to this work and share first authorship.
ORCID and Position(All authors must have ORCID) (English) https://orcid.org	Yeongmi Yoo (Graduate Student, https://orcid.org/0009-0005-4583-9218) Su Min Bae (Graduate Student, https://orcid.org/0000-0002-9367-4594) Jong Youn Jeong (Professor, https://orcid.org/0000-0001-5284-4510)
Conflicts of interest (English) List any present or potential conflict s of interest for all authors. (This field may be published.)	The authors declare no potential conflict of interest.
Acknowledgements (English) State funding sources (grants, funding sources, equipment, and supplies). Include name and number of grant if available. (This field may be published.)	This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Innovational Food Product and Natural Food Materials Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (119028-03-3-HD040). This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2022-NR069618). This research was supported by the BB21plus funded by Busan Metropolitan City and Busan Techno Park.
Author contributions (This field may be published.)	Conceptualization: Jeong JY. Data curation: Yoo Y, Bae SM. Formal analysis: Yoo Y, Bae SM. Methodology: Yoo Y, Bae SM, Jeong JY. Software: Yoo Y, Bae SM. Validation: Jeong JY. Investigation: Yoo Y, Bae SM. Writing - original draft: Yoo Y, Bae SM. Writing - review & editing: Yoo Y, Bae SM, Jeong JY.
Ethics approval (IRB/IACUC) (English) (This field may be published.)	This manuscript does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

CORRESPONDING AUTHOR CONTACT INFORMATION

For the <u>corresponding</u> author (responsible for correspondence, proofreading, and reprints)	Fill in information in each box below
First name, middle initial, last name	Jong Youn Jeong
Email address – this is where your proofs will be sent	jeongjy@ks.ac.kr

Secondary Email address	nexoxen@naver.com
Postal address	Department of Food Science & Biotechnology, Kyungsoo University, Busan 48434, Republic of Korea
Cell phone number	+82-10-9533-4032
Office phone number	+82-51-663-4711
Fax number	

Accepted

국내 유통 합성 아질산염 첨가 및 천연 대체 시스템 적용 프랑크 소시지의 품질 특성 비교

Abstract

This study examined the physicochemical characteristics of eight commercially available frankfurters in Korea, including four brands formulated with synthetic nitrite (Nitrite A–D) and four brands employing natural nitrite-alternative systems (Alternative A–D). These commercial products were further compared with two laboratory-manufactured frankfurters: one prepared with synthetic nitrite (Nitrite-Lab) and one in which nitrite derived from pre-converted solution based Chinese cabbage powder (Alternative-Lab). pH values ranged from 5.95 to 6.30, with the commercial Nitrite and Alternative groups spanning similar ranges, while Alternative-Lab showed the lowest value (5.95). Water activity ranged from 0.937 to 0.951 and salt content from 1.27 to 1.86%. CIE a^* values among commercial products varied widely (7.69–14.24), whereas Nitrite-Lab and Alternative-Lab did not differ significantly in CIE a^* ($p>0.05$). Residual nitrite content of Alternative-Lab was lower than that of Nitrite-Lab ($p<0.05$), and all products remained within the Korea regulatory limit (1.89–15.62 ppm). Cured pigment and total pigment contents showed no consistent pattern attributable to nitrite source. Alternative-Lab yielded the highest cured pigment content among all samples ($p<0.05$) and achieved a curing efficiency of 83.97%. Furthermore, Other products also exceeded 80% curing efficiency, indicating adequate curing regardless of nitrite source. These results demonstrate considerable variation in the physicochemical quality of commercially available frankfurters in Korea and indicate that Chinese cabbage powder-based pre-conversion technology can effectively reduce residual nitrite while maintaining cured color development comparable to that achieved of synthetic nitrite.

25 **Keywords:** clean-label, natural curing, pre-conversion, frankfurter, curing efficiency

Accepted

전통적으로 햄 및 소시지 제조 시 사용되는 아질산나트륨은 염지 육제품 특유의 육색과 풍미를 형성할 뿐만 아니라, 지방산화를 억제하고 *Clostridium botulinum*의 증식을 저해하여 제품의 미생물학적 안전성을 확보하는 등 중요한 역할을 한다(Sebranek, 2009; Yong et al., 2021).

그러나 최근 소득 수준의 향상과 건강에 대한 소비자 인식의 변화에 따라 합성 첨가물에 대한 거부감이 확대되고 있으며, 특히 아질산염이 2차 아민과 반응하여 발암성 물질인 N-니트로사민(N-nitrosamines)을 생성할 수 있다는 우려와 함께 가공육 섭취와 발암 위험 간의 상관성에 대한 논란이 제기되고 있다(Flores and Toldrá, 2021; Hur et al., 2015; Sebranek and Bacus 2007). 이에 따라 합성 첨가물을 천연 소재로 대체하려는 클린라벨(clean-label) 및 천연 염지(natural curing) 기술에 대한 식품산업계의 관심이 높아지고 있으며, 이러한 기술을 적용한 제품에 대한 소비자 수요 또한 지속적으로 증가하고 있다(Asioli et al., 2017; Yong et al., 2020). 이러한 요구에 부응하여 천연 소재를 활용한 합성 아질산염 대체 기술이 연구되고 있으며, 특히 질산염 함량이 높은 채소류와 질산환원균(starter culture)을 활용한 천연 염지 기술이 대표적이다(Jeong et al., 2020; Kim et al., 2025; Lee et al., 2023; Yong

et al., 2021).

일반적으로 천연 염지 기술은 식물성 원료와 질산환원균을 육제품에 직접 첨가하여 제품 내부에서 질산염을 아질산염으로 전환하는 간접 염지(indirect curing) 방식과, 식물성 원료의 질산염을 아질산염으로 전환한 후 육제품에 사용하는 사전 전환(pre-conversion) 방식으로 구분된다(Jeong, 2016; Sebranek et al., 2012). 특히 사전 전환 방식은 육제품 제조 시 목표 아질산염 농도를 보다 정밀하게 조절할 수 있으며, 제품 간 품질 편차를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다(Yong et al., 2021). 이러한 이유로 최근에는 사전 전환된 채소 분말(pre-converted vegetable powder)이 천연 유래 아질산염 공급원으로 널리 활용되고 있다(Kim et al., 2025).

한편, 천연 염지 기술은 식물성 원료의 질산염 함량, 아질산염 전환 효율 및 제조 공정 조건 등의 영향을 받아 실제 시판 제품에서는 기존 합성 아질산염 첨가 제품에 비해 품질 변동성이 크다는 기술적 한계가 지적되고 있다(Jeong, 2016; Sebranek and Bacus 2007; Sindelar et al., 2007). 또한 일부 제품에서는 부족한 육색 형성을 보완하기 위해 착색제를 추가적으로 사용하고 있으나(Andrade et al., 2026), 이는 원재료 및 첨가물의 단순화를 지향하는 클린라벨의 취지와 다소 상반될 수 있다. Jeong(2016)은 육가공 제품은 유형에 따라 크기, 형태 및 가공방법이 다양하므로, 천연 대체 소재의 합성 아질산염 대체 가능성을 평가하기 위해서는

59 최종 제품 수준에서의 품질 특성에 대한 모니터링이 필요하다고 보고하였다.
60 그럼에도 불구하고 국내 시판 제품을 대상으로 합성 아질산염 첨가 제품과 천연
61 유래 아질산염 적용 제품의 품질 특성을 직접 비교한 연구는 제한적인 실정이다.
62 이에 본 연구에서는 국내 유통 중인 합성 아질산염 첨가 프랑크 소시지와 천연
63 유래 아질산염 적용 프랑크 소시지의 이화학적 품질 특성을 비교하고자 하였다.
64 또한 자체 제조한 합성 아질산염 첨가 소시지와 천연 유래 아질산염 적용
65 소시지를 함께 평가하여 시판 제품과의 품질 특성을 비교하고, 천연 유래
66 아질산염 적용 제품의 품질 특성을 종합적으로 검토하고자 하였다.

67 68 재료 및 방법

69 소시지 제조 및 처리구 구성

70 자체 제조한 처리구는 합성 아질산염 첨가 처리구(Nitrite-Lab)와 천연 유래
71 아질산염 적용 처리구(Alternative-Lab)로 구성하였다. 원료육은 도축 후 24–48시간
72 경과한 돈육 후지(*M. semimembranosus*, *M. biceps femoris*, *M. semitendinosus*)와
73 등지방(back fat)을 사용하였으며, 이를 분쇄기(TC-22 Elegant plus, Tre Spade, Torino,
74 Italy)를 이용하여 각각 3 mm로 분쇄하여 준비하였다.

75 Nitrite-Lab은 돈육 70%, 등지방 15%, 냉수/얼음 15%를 기준으로 소금 1.5%,

76 인산염 0.3%, 설탕 1.0%, 아질산나트륨 0.007% 및 아스코르브산나트륨 0.05%를
77 첨가하였다. Alternative-Lab은 Nitrite-Lab의 배합비에서 아질산나트륨을 제외하고
78 냉수/얼음 첨가량의 약 84.73%를 pre-converted 용액(pre-converted solution; PCS)으로
79 대체하여 제조하였다(냉수/얼음 2.29%, PCS 12.71%). 두 처리구 모두 최종 아질산염
80 첨가량이 약 70 ppm이 되도록 배합하였다. PCS는 Kang(2023)의 방법에 따라
81 제조하였으며, 준비된 PCS의 pH는 5.45, 아질산염 및 질산염 함량은 각각 550.78
82 mg NaNO₂/L와 102.02 mg NaNO₃/L였다.

83 각 처리구는 총 10분간 혼합한 후, 직경 24 mm의 셀룰로오스 케이싱 (NOJAX®
84 Cellulose Casings, Viskase, Lombard, IL, USA)에 충전하였다. 충전된 시료는 90°C
85 항온수조에서 중심온도가 75°C에 도달할 때까지 가열한 후, 얼음물에서 20분간
86 급속 냉각하였다. 냉각된 시료는 케이싱을 제거하고 진공 포장하였다. 자체 제조
87 소시지는 시판 제품과의 분석 시점을 맞추기 위해 4°C에서 14일간 저장한 후
88 분석하였다.

89 시판 프랑크 소시지는 국내 주요 4개 제조사(A-D사)의 합성 아질산염 첨가
90 제품(Nitrite A-D) 및 천연 유래 아질산염 적용 제품(Alternative A-D) 총 8종을
91 선정하였으며, 각 제품의 세부정보는 Table 1과 같다. 모든 제품은 제조일로부터

92 14일 이내의 제품을 각 제조사의 온라인 직영 판매처를 통해 구매하였다. 본
93 연구에서 소시지 제조와 시판 프랑크 소시지 구매는 각각 상이한 일자에
94 독립적으로 3회 반복 수행하였다.

95

96 pH 측정

97 시료 5 g에 증류수 25 mL를 첨가한 후 균질기(DI25 basic, IKA, Staufen, Germany)를
98 이용하여 8,000 rpm에서 1분간 균질하였다. 이후 pH meter(Accumet® AB150, Thermo
99 Fisher Scientific, Singapore)를 사용하여 균질액의 pH를 측정하였다.

100

101 수분활성도 측정

102 시료 3 g을 시료 용기에 담아 25°C에서 평형 상태를 유지하면서 수분활성도
103 측정기(HP23-AW-A, Rotronic AG, Bassersdorf, Switzerland)로 수분활성도를 측정하였다.

104

105 식염 함량 측정

106 식염 함량은 Nielsen(2017)의 Mohr 적정법을 일부 변형하여 분석하였다. 시료 10
107 g을 증류수와 함께 균질한 후 여과하였으며, 여액에 5% potassium chromate 용액을
108 지시약으로 첨가하였다. 이후 0.02 N silver nitrate 용액으로 적정하여 식염

109 함량(%)을 산출하였다.

110

111 색도 측정

112 색도는 시료를 길이 방향으로 절단한 후 각 절단면에서 무작위로 선정한 3개
113 부위를 대상으로 색차계(CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japan; illuminant C, 2°
114 observer)를 이용하여 측정하였다. 색차계는 측정 전에 표준 백색판($L^*=94.90$, $a^*=-$
115 0.39 , $b^*=3.88$)으로 보정하여 사용하였으며, 결과는 CIE L^* (명도), a^* (적색도),
116 b^* (황색도) 값으로 나타내었다.

117

118 잔류 아질산염 함량 측정

119 잔류 아질산염 함량은 AOAC method 973.31에 따라 분석하였다(AOAC, 2016).
120 시료 5 g에 80°C의 증류수를 첨가하여 추출 및 여과한 여액에 sulfanilamide와 N-
121 (1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 시약을 혼합하였다. 혼합액은
122 분광광도계(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를
123 측정하였으며, sodium nitrite(S2252, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준물질로
124 하여 작성한 검량선을 통해 잔류 아질산염 함량을 정량하였다.

125

126 염지 육색소, 총 육색소 및 염지 효율 측정

127 염지 육색소(cured pigment) 및 총 육색소(total pigment) 함량은 Hornsey(1956)의
128 방법에 따라 분석하였다. 시료는 각각 80% 아세톤(acetone : distilled water = 40 : 3)
129 또는 산성 아세톤 용액(acetone : distilled water : HCl = 40 : 2 : 1)을 이용하여
130 추출하였다. 염지 육색소 및 총 육색소는 분광광도계로 각각 540 nm 및 640 nm
131 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 측정결과는 ppm(mg/kg) 단위로 산출하였다.
132 염지 효율(curing efficiency, %)은 총 육색소 대비 염지 육색소 함량의 비율로
133 산출하였다.

134

135 통계 분석

136 반복 실험을 통해 얻어진 데이터는 평균(mean) $\pm$ 표준오차(standard error; SE)로
137 나타내었다. 통계 처리는 SAS software(version 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA)의
138 GLM(General Linear Model) procedure를 이용하여 수행하였다. 처리구 간 유의성
139 검정은 Duncan's multiple range test를 통해 유의수준 5%에서 실시하였다($p < 0.05$).

140

141 결과 및 고찰

142 pH, 수분활성도 및 식염 함량

143 합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 프랑크 소시지 8종과
144 자체 제조한 소시지 2종의 pH, 수분활성도 및 식염 함량 측정 결과는 Table 2와
145 같다.

146 pH는 Nitrite-A가 6.30으로 가장 높은 값을 나타낸 반면($p<0.05$), Alternative-Lab은
147 5.95로 가장 낮은 값을 보였다($p<0.05$). B 및 C사의 프랑크 소시지는 동일 제조사
148 내 합성 아질산염 첨가 제품과 천연 유래 아질산염 적용 제품 사이에 pH의
149 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 그러나, A사 제품의 경우 천연 유래 아질산염 적용
150 프랑크 소시지(Alternative-A)가 합성 아질산염 첨가 제품(Nitrite-A)보다 유의적으로
151 낮은 pH를 보였으며($p<0.05$), 이는 본 연구에서 자체 제조한 소시지에서도 동일한
152 결과를 나타내었다. 자체 제조한 천연 유래 아질산염 적용 제품(Alternative-
153 Lab)에서 나타난 낮은 pH는 PCS 자체의 낮은 pH가 최종 제품에 반영된 결과로
154 사료된다(Kang, 2023). 이러한 결과는 아질산염 대체 소재의 pH에 의해 최종
155 육제품의 pH가 영향을 받는다고 보고한 기존 선행연구들의 연구 결과와도 유사한
156 경향을 나타낸다(Hwang et al., 2018; Kim et al., 2019; Serdaroğlu et al., 2023).

157 수분활성도는 Nitrite-A를 제외하고 모든 처리구에서 유의적 차이가 나타나지
158 않았다($p>0.05$). 한편 Nitrite-A가 가장 낮은 수분활성도(0.937)를 보였으나, Nitrite-B,

Alternative-C 및 Alternative-D 제품과는 유의적 차이가 관찰되지 않았다($p>0.05$). 본 연구에서 측정된 수분활성도는 0.937–0.951 범위로, 이는 Sullivan 등(2012)이 보고한 미국 시판 프랑크 소시지의 수분활성도 범위(0.937–0.953)와 유사한 수준이었다.

식염 함량은 Alternative-Lab에서 1.86%로 가장 높게 나타났으며($p<0.05$), Nitrite-C가 1.27%로 가장 낮은 값을 보였다($p<0.05$). 합성 아질산염 첨가 제품군은 1.27–1.73%, 천연 유래 아질산염 적용 제품군에서 1.38–1.86% 범위의 식염 함량을 보였는데, 동일한 아질산염 공급원으로 제조된 제품군 내에서도 제품별 식염 함량의 차이가 크게 나타났다. 이러한 차이는 아질산염 공급원보다는 제품별 원료 배합 및 제조 공정상의 차이(Puolanne, 2010)에 기인한 것으로 판단된다.

169

170 색 도

합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 프랑크 소시지 8종과 자체 제조한 소시지 2종의 색도 측정 결과는 Table 3과 같다.

명도(CIE L^*)는 Nitrite-Lab, Nitrite-C, Alternative-Lab 및 Alternative-B에서 가장 높은 값을 나타내었으며($p<0.05$), 이들 사이에는 유의적 차이가 없었다($p>0.05$). 반면, Nitrite-A와 Alternative-A는 각각 합성 아질산염 첨가 제품군과 천연 유래

176 아질산염 적용 제품군 내에서 가장 낮은 CIE L* 값을 나타내었다($p<0.05$). Sindelar
177 등(2007)은 미국 내 판매되는 프랑크 소시지에서 합성 아질산염 첨가 제품이 합성
178 아질산염 무첨가 제품보다 높은 CIE L* 값을 나타낸다고 보고하였다. 그러나 본
179 연구에서는 아질산염 공급원에 따라 CIE L* 값의 차이는 없었으며, 이는 Sullivan
180 등(2012)이 보고한 결과와 유사하였다.

181 적색도(CIE a^*)는 합성 아질산염 첨가 제품군에서 7.69–14.24, 천연 유래
182 아질산염 적용 제품군에서 8.34–12.54 범위를 나타내었다. Nitrite-A가 가장 높은
183 CIE a^* 값을 나타낸 반면($p<0.05$), Nitrite-B는 가장 낮은 CIE a^* 값을
184 나타내었다($p<0.05$). 그러나 동일한 아질산염 공급원 내에서도 제품 간 편차가
185 크게 나타났으며, 아질산염 공급원에 따른 일관된 경향은 보이지 않았다. 한편,
186 자체 제조한 소시지들 간에는 아질산염 공급원에 따른 CIE a^* 값의 유의적 차이가
187 나타나지 않았다($p>0.05$). 이러한 결과는 PCS가 합성 아질산염과 유사한 수준의
188 발색 효과를 나타낼 수 있다는 것을 시사한다.

189 황색도(CIE b^*)는 Nitrite-C가 11.48로 가장 높은 값을 나타내었으며($p<0.05$),
190 Nitrite-Lab과 Nitrite-A에서 가장 낮은 값을 보였다($p<0.05$). 자체 제조한 소시지의
191 경우 Alternative-Lab이 Nitrite-Lab보다 유의적으로 높은 CIE b^* 값을

192 나타내었는데($p<0.05$), 이는 PCS 자체에 함유된 식물성 색소 성분이 최종 제품의
193 황색도에 일부 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 실제로 식물성 소재에 함유된
194 카로티노이드와 같은 색소 성분은 육제품의 황색도 증가에 영향을 미치는 것으로
195 보고된 바 있다(Bae et al., 2023; Hwang et al., 2018; Jeong et al., 2020; Kang 2023).

196 한편, 본 연구에서 분석된 대부분의 시판 제품은 치자적색소, 치자황색소,
197 코치닐추출색소 등 다양한 착색제를 함유하고 있었는데(Table 1), 제품의 색도는
198 아질산염에 의한 발색 이외에도 이들 착색제의 조성, 원료 배합 등의 차이에 어느
199 정도 영향을 받은 것으로 판단된다(Delgado-Vargas et al., 2000).

200

201 **잔류 아질산염 함량, 염지 육색소, 총 육색소 및 염지 효율**

202 합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 시판 프랑크 소시지 8종과
203 자체 제조한 소시지 2종의 잔류 아질산염 함량, 염지 육색소, 총 육색소 및 염지
204 효율 측정 결과는 Table 4와 같다.

205 잔류 아질산염 함량은 Nitrite-C가 15.62 ppm으로 가장 높은 값을
206 나타내었다($p<0.05$). 자체 제조한 소시지의 잔류 아질산염 함량은 Alternative-Lab이
207 Nitrite-Lab보다 유의적으로 낮았다($p<0.05$). 시판 합성 아질산염 첨가 제품군과
208 천연 유래 아질산염 적용 제품군의 잔류 아질산염 함량은 각각 3.83–15.62 ppm 및

209 1.89–5.47 ppm 범위로, 제품 간 변동 폭이 크게 나타났다. 이러한 결과는 Jackson
210 등(2011)이 보고한 미국 내에서 시판되는 합성 아질산염 첨가 및 천연 염지
211 프랑크 소시지 제품 간 잔류 아질산염 함량의 차이와 유사한 경향을 나타내었다.
212 한편, 국내 소시지류의 아질산 이온(NO_2^-) 잔류량은 70 ppm 미만으로 법적으로
213 규제되고 있으며(Ministry of Food and Drug Safety, 2026), 본 연구에서 분석한 모든
214 처리구는 해당 기준을 충족하는 것으로 나타났다.

215 염지 육색소는 아질산염 공급원에 관계없이 두 제품군 간 뚜렷한 차이를
216 나타내지 않았다. Alternative-Lab에서 가장 높은 염지 육색소 함량이
217 나타났으며($p < 0.05$), Alternative-C에서는 가장 낮은 값이 나타났다($p < 0.05$). 그러나
218 Alternative-C는 낮은 염지 육색소 함량에도 불구하고, 천연 유래 아질산염 적용
219 제품군 중 비교적 높은 CIE a^* 값(10.45)을 나타내었다. CIE a^* 값은 염지 육색소인
220 nitrosyl hemochrome뿐만 아니라 육제품의 적색에 관여하는 여러 색소의 영향을
221 함께 받으므로, 염지 육색소 함량과 반드시 동일한 경향을 나타내는 것은
222 아니다(Claus and Jeong, 2018; Schwarz et al., 1999). 또한 Alternative-C에는 착색제가
223 사용되었으며(Table 1), 이들 착색제가 제품의 CIE a^* 값에 일부 영향을 미쳤을
224 가능성이 있다.

225 총 육색소 함량은 합성 아질산염 첨가 제품군에서 32.64–49.41 ppm, 천연 유래
 226 아질산염 적용 제품군에서 29.58–47.45 ppm 범위를 나타내었다. 시료로 사용된
 227 제품들 중 Alternative-D가 유의적으로 가장 낮은 총 육색소 함량을
 228 나타내었으며($p<0.05$), Nitrite-A는 가장 높은 총 육색소 함량을 보였다($p<0.05$).
 229 한편, 자체 제조한 소시지 간 총 육색소 함량의 차이는 없었다($p>0.05$).

230 염지 효율은 총 육색소(total pigment) 중 염지 육색소(cured pigment)가 차지하는
 231 비율을 의미하며, 일반적으로 80% 이상일 경우 충분한 염지가 이루어진
 232 육제품으로 평가된다(Pearson and Tauber, 1984). 이전 연구에서, 무 분말 또는
 233 적근대 등과 같은 천연 아질산염 대체 소재를 사용한 육제품에서 80% 이상의
 234 염지 효율을 보였다고 보고된 바 있으며(Jeong et al., 2020; Kim et al., 2019), 이는
 235 아질산염의 공급원 차이에 관계없이 아질산염이 일산화질소로 전환되어
 236 myoglobin과 반응함으로써 염지 육색소를 형성하였다는 것을 의미한다(Flores and
 237 Toldrá, 2021; Yong et al., 2021). 본 연구에서는 Nitrite-C, Nitrite-D, Alternative-Lab,
 238 Alternative-B 및 Alternative-D가 80% 이상의 염지 효율을 나타내었다. 특히 Nitrite-
 239 C가 92.90%로 가장 높은 염지 효율을 나타내었으며($p<0.05$), Nitrite-D, Alternative-
 240 Lab, Alternative-B 및 Alternative-D는 80.93–83.97% 범위로 이들 처리구 간에는

241 염지 효율의 차이가 없었다($p>0.05$). 반면, Alternative-C는 61.98%로 가장 낮은 염지
242 효율을 나타내었는데($p<0.05$), 이는 염지 육색소 함량이 가장 낮았던 결과와
243 일치하였다. 한편, Nitrite-A(70.03%)와 Nitrite-B(74.20%)는 80% 미만의 염지 효율을
244 나타내었는데, 이는 합성 아질산염을 사용하더라도 제품별 원료 배합 및
245 제조공정에 따라 염지 효율에 상당한 차이가 발생할 수 있음을 시사한다.

246 시판 프랑크 소시지의 잔류 아질산염 함량, 염지 육색소 함량, 총 육색소 함량
247 및 염지 효율에서는 아질산염 공급원에 따른 차이보다 제품별 차이가 더 크게
248 나타났다. 시판 육제품의 품질 특성은 원료육의 특성, 배합 조성, 제조공정 및
249 생산 후 경과 시간 등의 차이에 의해 크게 영향을 받을 수 있다(Sullivan et al.,
250 2012). 또한 Sindelar 등(2007)은 시판 육제품의 총 육색소 함량의 차이가 원료육
251 및 배합비의 차이에 의해 영향을 받을 수 있다고 보고한 바 있다. 한편, 자체
252 제조한 소시지에서 Alternative-Lab은 Nitrite-Lab보다 낮은 잔류 아질산염 함량을
253 보였음에도 불구하고, 더 높은 염지 육색소 함량과 염지 효율을 나타내었다. 이는
254 투입된 아질산염이 잔류하기보다 발색 반응에 효과적으로 이용되었음을 시사한다.

255 다. 육제품의 염지 과정에서 낮은 pH는 아질산염으로부터 일산화질소(nitric
256 oxide)가 생성되는 반응을 촉진하는 것으로 알려져 있으므로(Sebranek, 2009;

Sebranek, 2015), PCS에 의해 형성된 상대적으로 낮은 pH 조건이 염지 육색 발현에 일부 기여했을 가능성이 있다.

결론

본 연구는 국내 시판 합성 아질산염 첨가 및 천연 유래 아질산염 적용 프랑크 소시지 8종의 이화학적 품질 특성을 조사하고, 자체 제조 합성 아질산염 첨가 소시지 및 천연 유래 아질산염 적용 소시지와 비교하여 분석하였다. 시판 프랑크 소시지의 잔류 아질산염 함량(1.89–15.62 ppm)은 아질산염 공급원과 관계없이 모두 국내 법적 기준(아질산 이온 70 ppm 미만)을 충족하였다. 색도, 염지 육색소 및 염지 효율은 아질산염 공급원에 관계없이 제품 간 편차가 크게 나타났다. 특히 CIE a^* 값은 염지 육색소뿐만 아니라 여러 색소 및 첨가된 착색제의 영향을 받을 수 있어, 본 연구의 시판 제품에서 나타난 CIE a^* 값의 차이는 아질산염 공급원에 따른 결과로만 판단하기에는 한계가 있었다. 또한 일부 합성 아질산염 첨가 제품에서 80% 미만의 염지 효율을 보였는데, 이는 아질산염 공급원 자체보다 제조사의 제품별 제조 조건에 더 크게 영향을 받을 수 있음을 시사한다. 한편, 자체 제조 소시지는 시판 제품과 달리 착색제를 사용하지 않고, 동일한 제조 조건에서 제조하여 아질산염 공급원에 따른 염지 특성을 보다

274 명확하게 비교할 수 있었다. 이러한 조건에서 자체 제조한 천연 유래 아질산염
275 적용 소시지는 합성 아질산염 첨가 소시지와 유사한 수준의 CIE a^* 값을 보였으며,
276 더 높은 염지 효율을 나타내었다. 이는 사전 전환 기술이 잔류 아질산염을
277 저감하면서도 합성 아질산염에 상응하는 발색 품질을 확보할 수 있음을 나타내며,
278 고품질 clean-label 육제품 생산을 위한 학술적 기초 자료로 활용될 수 있을
279 것으로 사료된다.

280

281 References

- 282 Andrade BF, Carmo LRd, Filho RdAT, Fontes PR, Ramos AdLS, Ramos EM. 2026. Challenges
283 and prospects for nitrite substitution in processed meats. Food Sci Process 2:6.
- 284 AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC
285 International, Rockville, MD, USA.
- 286 Asioli D, Aschemann-Witzel J, Caputo V, Vecchio R, Annunziata A, Naes T, Varela P. 2017.
287 Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior
288 and discussion of industry implications. Food Res Int 99:58-71.
- 289 Bae SM, Jeong DH, Gwak SH, Kang S, Jeong JY. 2023. Effects of dongchimi powder as a
290 natural nitrite source on quality properties of emulsion-type sausages. Food Sci Anim
291 Resour 43:502-511.
- 292 Claus JR, Jeong JY. 2018. Processing conditions and endpoint temperature effects on
293 development of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey
294 breast. Poult Sci 97:667-675.

295 Delgado-Vargas F, Jiménez AR, Paredes-López O. 2000. Natural pigments: Carotenoids,
 296 anthocyanins, and betalains—Characteristics, biosynthesis, processing, and stability.
 297 Crit Rev Food Sci Nutr 40:173-289.

298 Flores M, Toldrá F. 2021. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite
 299 and nitrate from natural origin in meat products - Invited review. Meat Sci 171:108272.

300 Hornsey HC. 1956. The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem
 301 pigments. J Sci Food Agric 7:534-540.

302 Hur SJ, Jang A, Jeong JY, Jo C, Chin KB, Lee KT. 2015. Misunderstanding and truths for
 303 controversy of carcinogenic substances in meat products. Food Sci Anim Resour Ind
 304 4:7-22.

305 Hwang KE, Kim TK, Kim HW, Seo DH, Kim YB, Jeon KH, Choi YS. 2018. Effect of natural
 306 pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage.
 307 Asian-Australas J Anim Sci 31:1358-1365.

308 Jackson AL, Sullivan GA, Kulchaiyawat C, Sebranek JG, Dickson JS. 2011. Survival and
 309 growth of *Clostridium perfringens* in commercial naturally derived nitrite-based
 310 (natural and organic) frankfurters, hams, and bacon. J Food Prot 74:410-416.

311 Jeong JY. 2016. Alternative curing technology in meat products. Food Sci Anim Resour Ind
 312 5:77-84.

313 Jeong JY, Bae SM, Yoon J, Jeong DH, Gwak SH. 2020. Effect of using vegetable powders as
 314 nitrite/nitrate sources on the physicochemical characteristics of cooked pork products.
 315 Food Sci Anim Resour 40:831-843.

316 Kang S. 2023. Study on the production of natural pre-converted nitrite as a nitrite alternative
 317 and its application to emulsified pork sausages. MS Thesis, Kyungsung Univ., Busan,
 318 Korea.

319 Kim M, Bae SM, Yoo Y, Park J, Jeong JY. 2025. Clean-label strategies for the replacement of
 320 nitrite, ascorbate, and phosphate in meat products: A review. *Foods* 14:2442.

321 Kim TK, Hwang KE, Song DH, Ham YK, Kim YB, Paik HD, Choi YS. 2019. Effects of natural
 322 nitrite source from Swiss chard on quality characteristics of cured pork loin. *Asian-*
 323 *Australas J Anim Sci* 32:1933-1941.

324 Lee S, Jo K, Jeong SKC, Jeon H, Choi YS, Jung S. 2023. Recent strategies for improving the
 325 quality of meat products. *J Anim Sci Technol* 65:895-911.

326 Ministry of Food and Drug Safety. 2026. The Korea food code. Available from:
 327 <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/>. Accessed at May 21. 2026.

328 Nielsen SS. 2017. Sodium determination using ion-selective electrodes, Mohr titration, and test
 329 strips. In *Food analysis laboratory manual*. Nielsen SS (ed). pp 161-170. Springer, Cham,
 330 Switzerland.

331 Pearson AM, Tauber FW. 1984. Analytical methods. In *Processed meats*. 2nd ed. pp 351-388.
 332 AVI Publ., Westport, CT, USA.

333 Puolanne E. 2010. Cooked sausages. In *Handbook of meat processing*. Toldrá F (ed). pp 313-
 334 325. Wiley-Blackwell, Ames, IA, USA.

335 Schwarz SJ, Claus JR, Wang H, Marriott NG, Graham PP, Fernandes CF. 1999. Inhibition of
 336 pink color development in cooked, uncured turkey breast through ingredient
 337 incorporation. *Poult Sci* 78:255-266.

338 Sebranek JG. 2009. Basic curing ingredients. In *Ingredients in meat products*. Tarte R (ed). pp
 339 1-23. Springer, New York, NY, USA.

340 Sebranek, JG. 2015. An overview of functional non-meat ingredients in meat processing: The
 341 current toolbox. *Proceedings of the 68th Annual Reciprocal Meat Conference*,
 342 *University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, Nebraska*. pp. 42-46.

343 Sebranek JG, Bacus JN. 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite:
 344 what are the issues? *Meat Sci* 77:136-147.

345 Sebranek JG, Jackson-Davis AL, Myers KL, Lavieri NA. 2012. Beyond celery and starter
 346 culture: Advances in natural/organic curing processes in the United States. *Meat Sci*
 347 92:267-273.

348 Serdaroğlu M, Can H, Sarı B, Kavuşan HS, Yılmaz FM. 2023. Effects of natural nitrite sources
 349 from arugula and barberry extract on quality characteristic of heat-treated fermented
 350 sausages. *Meat Sci* 198:109090.

351 Sindelar JJ, Cordray JC, Olson DG, Sebranek JG, Love JA. 2007. Investigating quality
 352 attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial
 353 hams, bacons and frankfurters. *J Food Sci* 72:S551-S559.

354 Sullivan GA, Jackson-Davis AL, Schrader KD, Xi Y, Kulchaiyawat C, Sebranek JG, Dickson
 355 JS. 2012. Survey of naturally and conventionally cured commercial frankfurters, ham,
 356 and bacon for physio-chemical characteristics that affect bacterial growth. *Meat Sci*
 357 92:808-815.

358 Yong HI, Kim TK, Choi HD, Jang HW, Jung S, Choi YS. 2021. Clean label meat technology:
 359 Pre-converted nitrite as a natural curing. *Food Sci Anim Resour* 41:173-184.

360 Yong HI, Kim TK, Choi HD, Jung S, Choi YS. 2020. Technological strategy of clean label meat
 361 products. *Food Life* 2020:13-20.

Table 1. Information of commercially available and laboratory-manufactured frankfurters with synthetic or naturally derived nitrite used in this study

Treatments	Nitrite source	Ingredient label (major items)
Nitrite group (synthetic nitrite)		
Nitrite-Lab	Synthetic nitrite (lab-manufactured)	Pork 70%, back fat 15%, ice water 15%, NaCl 1.5%, STPP 0.3%, dextrose 1.0%, sodium nitrite 0.007% (70 ppm), sodium ascorbate 0.05%
Nitrite-A	Synthetic nitrite	Pork, purified water, refined salt, mixed preparations (dextrin, gardenia red, gardenia yellow), sodium nitrite, collagen casing
Nitrite-B	Synthetic nitrite	Pork, purified water, refined salt, sodium nitrite, collagen casing
Nitrite-C	Synthetic nitrite	Pork, purified water, refined salt, mixed preparations (cochineal extract, red cabbage pigment, dextrin), gardenia yellow, sodium nitrite
Nitrite-D	Synthetic nitrite	Pork, purified water, refined salt, lac pigment, sodium nitrite, collagen casing
Alternative group (naturally derived nitrite)		
Alternative-Lab	Pre-converted vegetable concentrate (lab-manufactured)	Pork 70%, back fat 15%, ice water 2.288%, PCS 12.712% (70 ppm NaNO ₂ equivalent), NaCl 1.5%, STPP 0.3%, dextrose 1.0%, sodium ascorbate 0.05%
Alternative-A	Vegetable concentrate + nitrate-reducing bacteria	Pork, purified water, refined salt, VegeStable502, mixed preparations (dextrin, gardenia red, gardenia yellow), vegetable fermentation bacteria, collagen casing
Alternative-B	Fruit mixed extract powder	Pork, purified water, refined salt, fruit mixed extract powder, collagen casing
Alternative-C	Vegetable concentrate	Pork, purified water, refined salt, sea salt, lactic acid bacteria-fermented plant extract, mixed preparations (cochineal extract, red cabbage pigment, dextrin), collagen casing
Alternative-D	Pre-converted vegetable concentrate	Pork, purified water, refined salt, celery powder, lac pigment

PCS, pre-converted solution; STPP, sodium tripolyphosphate.

Table 2. pH, water activity, and salt content of commercially available and laboratory-manufactured frankfurters with synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		pH	Water activity	Salt content (%)
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	6.25±0.01 ^B	0.948±0.002 ^A	1.73±0.02 ^B
	Nitrite-A	6.30±0.01 ^A	0.937±0.004 ^B	1.53±0.03 ^D
	Nitrite-B	6.24±0.01 ^B	0.944±0.003 ^{AB}	1.55±0.02 ^D
	Nitrite-C	6.13±0.01 ^{DE}	0.950±0.002 ^A	1.27±0.01 ^F
	Nitrite-D	6.17±0.02 ^{CD}	0.951±0.003 ^A	1.59±0.04 ^{CD}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	5.95±0.01 ^F	0.950±0.001 ^A	1.86±0.02 ^A
	Alternative-A	6.24±0.03 ^B	0.949±0.002 ^A	1.57±0.04 ^{CD}
	Alternative-B	6.21±0.02 ^{BC}	0.947±0.001 ^A	1.64±0.02 ^{BC}
	Alternative-C	6.11±0.02 ^E	0.945±0.004 ^{AB}	1.38±0.02 ^E
	Alternative-D	6.17±0.03 ^{CD}	0.944±0.006 ^{AB}	1.69±0.03 ^B

All values are mean ± SE.

^{A-F} Different letters within the same column indicate significant differences (p<0.05).

Table 3. CIE color values (L*, a*, b*) of commercially available and laboratory-manufactured frankfurters with synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		CIE L*	CIE a*	CIE b*
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	67.76±0.13 ^A	10.20±0.08 ^D	6.41±0.03 ^F
	Nitrite-A	61.57±0.29 ^F	14.24±0.11 ^A	6.62±0.07 ^F
	Nitrite-B	64.87±0.39 ^D	7.69±0.26 ^G	9.13±0.17 ^B
	Nitrite-C	67.89±0.20 ^A	13.33±0.15 ^B	11.48±0.04 ^A
	Nitrite-D	65.49±0.44 ^{CD}	10.38±0.21 ^D	9.04±0.15 ^{BC}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	67.35±0.12 ^A	10.19±0.09 ^D	7.00±0.03 ^E
	Alternative-A	62.80±0.27 ^E	12.54±0.13 ^C	8.81±0.06 ^C
	Alternative-B	67.87±0.36 ^A	8.34±0.17 ^F	8.12±0.12 ^D
	Alternative-C	66.41±0.60 ^B	10.45±0.27 ^D	9.19±0.16 ^B
	Alternative-D	65.78±0.17 ^{BC}	9.55±0.28 ^E	9.27±0.14 ^B

All values are mean ± SE.

^{A-G} Different letters within the same column indicate significant differences (p<0.05).

Table 4. Residual nitrite content, cured pigment, total pigment, and curing efficiency of commercially available and laboratory-manufactured frankfurters with synthetic or naturally derived nitrite

Treatments		Residual nitrite (ppm)	Cured pigment (ppm)	Total pigment (ppm)	Curing efficiency (%)
Nitrite group (synthetic nitrite)	Nitrite-Lab	13.20±0.60 ^B	35.86±0.46 ^B	45.82±0.44 ^B	78.32±0.83 ^C
	Nitrite-A	3.83±0.37 ^{DE}	34.61±0.75 ^B	49.41±0.97 ^A	70.03±0.59 ^E
	Nitrite-B	5.44±0.35 ^D	29.77±0.41 ^C	40.12±0.24 ^D	74.20±0.83 ^D
	Nitrite-C	15.62±0.15 ^A	30.21±0.24 ^C	32.64±0.73 ^E	92.90±1.49 ^A
	Nitrite-D	13.83±0.30 ^B	26.58±0.34 ^D	32.87±0.37 ^E	80.95±1.11 ^{BC}
Alternative group (naturally derived nitrite)	Alternative-Lab	8.61±0.53 ^C	39.76±0.37 ^A	47.45±0.56 ^B	83.97±0.67 ^B
	Alternative-A	5.37±0.08 ^D	31.13±0.89 ^C	43.75±1.06 ^C	71.07±0.43 ^{DE}
	Alternative-B	1.89±0.12 ^F	27.79±0.53 ^D	34.34±0.20 ^E	80.93±1.46 ^{BC}
	Alternative-C	2.79±0.10 ^{EF}	21.32±0.96 ^F	34.23±0.63 ^E	61.98±1.70 ^F
	Alternative-D	5.47±0.10 ^D	24.36±0.20 ^E	29.58±0.31 ^F	82.49±1.33 ^B

All values are mean ± SE.

^{A-F} Different letters within the same column indicate significant differences (p<0.05).