

고품질 수산가공품유통을 위한 슈퍼칠링과 패키징기술에 대한 고찰

양수정¹ · 최석² · 김종경^{3*}

¹엔로지스, ²TLK 코리아, ³한국건설생활환경시험연구원

Superchilling and Packaging Technology for High-quality Perishable Food Distribution: A Review

Su-jung Yang¹, Seok Choi², and Jongkyoung Kim^{3*}

¹N-Logis, ²TLK Korea, ³Korea Conformity Laboratories

Abstract This review outlines the past and current technology development and research trends on the superchilling technic along with packaging technology such as modified atmosphere packaging. A superchilling technic combined with appropriate packaging technologies such as Modified Atmosphere Packaging is beneficial and promising for fish and meat products in terms of freshness and shelf-life extension although there are many barriers for commercialization such as temperature control throughout supply chain.

Keywords Superchilling, Packaging, Cold chain, perishable foods, distribution

서론

신선식품은 제조부터 물류, 유통과정을 거쳐 소비자에게 이르기까지 적정 온도를 유지해야 한다. 물류과정 중 적정 온도를 유지하는 것은 제품의 유통기한(shelf life)을 결정짓는 중요한 요소이다¹⁾.

식품을 신선상태로 유지할 것인지 냉동시켜 유통할지는 제품과 시장수요에 따라 다르지만 일반적으로 신선식품의 가치가 더 높다. 특히 신선식품은 온도를 일정하게 유지시켜 식품을 신선하게 공급하는 기술이 중요하고 소비자들의 수요도 점점 높아지고 있기 때문에 가급적 제조나 생산과 일치시키고자 하는 노력이 계속되고 있다. 그러나 신선식품의 온도를 일정하게 유지시킨다고 하더라도 유통기한이 냉동식품에 비하여 매우 짧고 약간의 온도변화에도 제품손상이 심하여 물류비용이 크게 증가하는 단점이 있다.

식품의 온도를 낮추거나 얼려서 유통기한을 늘리는 기술은 인류의 역사와 함께 수천년전부터 있어왔다고 할 수 있

으나 상업적으로 판매되기 시작한 것은 1930년 미국에서부터였으며 캔이나 유리병 통조림에 의지하던 식품유통의 큰 혁명이었다. 특히 1950년대부터 1990년까지 냉동방식이나 조건, 해동 등에 대한 연구가 급격하게 진행되어 고르고 높은 품질의 제품을 소비자에게 전달하기 위한 노력이 계속되었다.

냉장냉동은 식품을 관능적으로나 물리적으로 가장 안전하게 보호하는 방법으로 인식되어 살균보다 완전하지는 않지만 온도의 저하는 미생물, 화학 및 효소활동을 감소시키고 0°C 이하에서는 거의 모든 곰팡이 및 병원 미생물의 발생을 저하시킨다. 결빙은 식품의 저장성을 높이는 가장 보편적이고 효과적인 방법이다. 결빙시 식품의 보존상태는 식품의 종류, 크기, 형태, 화학적 구조에 따라 달라지고 빙결속도와 저장온도에 따라서도 크게 다르다. 냉동식품의 품질은 얼음결정의 크기와 형태에 따라 크게 좌우되어 식품산업에서 이를 조절하는 것이 매우 중요한 부분이다²⁾.

물론 신선한 원재료와 식품이라야 높은 품질을 유지시킬 수 있고 콜드체인(저온유통)이 기술적으로 높은 수준으로 유지되어야 하지만 실제 유통에서는 쉽지 않다.

슈퍼칠링기술(supercooling, superchilling)을 활용한 포장 방법으로 신선식품의 유통을 원활하게하고 품질을 오랫동안 유지시키는 노력이 계속되고 있어 각광받고 있다. 본 논문

*Corresponding Author : Jongkyoung Kim
Korea Conformity Laboratories, 199, Gasan digital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul 08503, Korea
Tel : +82-2-2691-2328, Fax : +82-2-866-3641
E-mail : logiscodi@naver.com

문에서는 슈퍼칠링기술과 이를 산업화하기 위한 패키징기술에 대해 고찰하고자 한다.

슈퍼칠링기술 개발현황

슈퍼칠링(superchilling) 유통은 액체나 기체의 온도를 제품내 수분이 고체화되지 않을 정도로 온도를 낮추어 유통하는 것을 말한다³⁾. 슈퍼칠링은 슈퍼칠링은 얼음의 녹는점 바로 아래온도로 일정하게 유지하여 신선어류 등을 보관수명을 연장하는 기술로 슈퍼칠링은 제품의 초기 빙결온도보다 1~2°C 낮춘 것으로 표면에 아주 작은 얼은 얼음이 발생하여 ‘표면결빙(shell freezing)’이라고 하기도 한다. 대기 중에서 온도가 어는 점 이하인데도 물방울이 얼지 않는 상태로 남아있는 경우인 과냉각(subcooling)과는 구분된다.

슈퍼칠링기술은 냉각된 식품이 신선식품과 거의 유사한 품질과 특성을 가질 수 있는지 측정하고 입증하는 것이 중요하다. 최근 여러 문헌에서 슈퍼칠링기술을 상용화하기 위하여 다양한 제품의 품질 및 유통특성을 조사하여왔다. 슈퍼칠링은 superchilling 또는 supercooling 이라도 하며 여러 논문에 병행하여 사용되는 경향이 있다^{4,5)}. 공통점은 제품을 부분적으로 얼리는 것이 아니라 제품에 얼음결정이 생기지 않는 어는점부근의 온도로 유지시키는 기술이다.

슈퍼칠링은 전통적으로 포르투갈과 영국어선에서 적용하여 왔다⁶⁾. *Portuguese method*는 온도가 높은 대서양에서 포르투갈 어선들이 적용한 방법으로 온도가 유지되는 금속 선반 사이에 생선이나 생선박스를 가지런하게 채우고 선반 간의 간격이 16인치 이하가 되도록 하여 생선이 8인치 이상 차가운 금속선반으로부터 떨어지지 않도록 유지시킨다. 영국식 *cold air method*는 어선내 생선창고구조를 단순하게 하여 냉기를 생선선반이나 박스 사이로 불어주는 방법을 쓰고 있다 동일한 조건(온도, 시간, 생선량)을 유지한다면 약 12일간 유통기한을 연장할 수 있다. 해동시에도 슈퍼칠링된 생선의 표면은 약간 얼어있는 상태이므로 약간의 열풍을 불어주어도 냉동생선보다 빨리 해동되므로 2시간의 해동이면 충분하다.

슈퍼칠링은 중량감소, 조직파손 등 동결이 식품의 품질을 저하시키는 문제점을 개선하고 급냉각으로 얼음결정이 발생하지않도록 하며 냉동온도유지로 발생하는 에너지 및 환경부하를 줄이는 등 여러가지 장점이 있다. 냉각과정에서 냉각속도와 온도는 제품의 품질을 크게 좌우하는 요소이다

최고품질의 제품을 유지하고 최적의 슈퍼칠링프로세스를 구축하기 위해서는 제품에 따른 냉각속도 및 온도, 제품의 포장중량 등은 물론 포장 및 유통조건에 대한 정밀한 설계가 필요하다. 보통 슈퍼칠링온도는 -0.5에서 -4°C이다. 슈퍼칠링에 대한개념과 연구는 지난 20여년간 어류부터 육류에 이르기까지 이루어졌으며 연구결과와 제품특성에 따라 전

처리, 표면냉동후 슈퍼칠링 등 다양하게 적용된다.

실질적인 슈퍼칠링기법에 대한 연구는 냉각된 해수와 고속의 에어터널을 이용하여 제품을 원하는 온도로 냉각하고 저장 및 수송을 위하여 일정량의 얼음을 채우는 방법이다^{4,6)}. 온도가 슈퍼칠링온도에 이르면 더 이상의 얼음조각을 넣을 필요가 없다. 보통 신선어류수송포장의 경우 30% 이상의 얼음을 수송이나 보관중 채우게 되는데 얼음이나 물이 중량과 제품부피를 키워 환경이나 경제성이 떨어진다.

Nordtvedt⁵⁾, Duun¹⁾, Duun³⁾, Stevik 등⁷⁾은 슈퍼칠링이 식제품의 보관수명을 연장시키고 채소, 과일 뿐만 아니라 육제품의 선도유지에도 큰 도움이 된다고 보고하였다.

일반적으로 어류의 경우 녹지않게 하려면 소금, 피 등 다른 불순물이 함께 포함되어 있어 빙점인 0°C보다는 약간 아래의 온도로 유지시켜야 한다. 흰살생선의 경우 80%가 수분이지만 -1°C 정도로 유지시켜도 얼지않는다. 슈퍼칠링은 생선의 온도를 더욱 낮추어 약 -2°C로 유지시키는데 절반 정도의 물이 얼음으로 형성되며 박테리아 등 미생물증식을 억제하는 동시에 고품질의 식품을 오랫동안 보관할수 있게 된다. 그러나 온도의 변화는 생선의 품질에 막대한 영향을 주기 때문에 최소한으로 유지해야 한다. 또, 냉각시간이 길어질수록 얼음결정이 커지기 때문에 슈퍼칠링시 생선은 빠른 시간 내에 얼리는 것이 좋다⁸⁾.

백색생선은 얼음을 채워두면 15일 정도의 유통기한을 가진다. -1°C의 슈퍼칠링상태에 두면 20일 정도로 연장될 뿐만 아니라 얼음결정의 생성이 크게 저하된다. -2°C의 슈퍼칠링상태로 유지하면 유통기한은 26일로 늘어나고 얼음결정은 커지지만 품질에 큰 악영향은 없다. -3°C로 낮추면 35일까지 유통기한이 늘어나지만 얼음결정이 크게 발생하여 품질이 크게 저하된다. 명태의 경우 -2°C 이하의 온도로 낮추면 품질이 급격하게 저하되므로 바람직하지 않다. 슈퍼칠링을 유지하는 경우 일반적으로 얼음을 채우는 저장방식에 비하여 실험실에서는 약 11일, 상업적으로는 6일 정도 유통기한이 길어지는 것으로 보고되고 있다. 12일이 지나서는 품질차이가 크게 없는 것으로 보인다⁸⁾.

슈퍼칠링과 식품의 품질

수산물에는 높은 단백질, 낮은 지방, 낮은 콜레스테롤로 신선식품에 대한 수요가 높다. 슈퍼칠링은 수산물을 가장 적절한 조건에서 오랫동안 보관할 수 있는 기법이나 상업적 유통으로는 기술적인 어려움이 많다. 특히 문제가 되는 빙결의 발생과 이를 줄이는 방법이 계속 연구되어야 한다⁹⁾.

소비자시장분석에 따르면 슈퍼칠링된 제품이 일반 냉장제품과 유사한 품질수준을 보이면서 최소 50% 이상 유통기한을 연장시키는 효과를 내는 것으로 나타났다. 슈퍼칠링되는 동안 얼음의 발생은 5~20% 수준으로 제품의 품질에

큰 영향을 끼치지 않는 반면 높은 품질과 안전성, 높은 수율과 친환경성으로 일반 냉장에서 슈퍼칠링으로 벨류체인이 이동하고 있다고 주장하였다¹⁰⁾.

Daniel 등은 부분적 결빙상태로 유지하는 슈퍼칠링기술의 기본원리와 저장 및 유통 중 활용성에 대해 설명하고 슈퍼칠링이 적용된 저장 중에도 어육의 보수성이 떨어지고 드립이 발생할 수 있어 적절한 장치와 장비가 필요하다고 주장하였다¹¹⁾.

슈퍼칠링의 가장 큰 장점은 식품의 빙결을 어느정도 막을 수 있는데 있다. 연어와 같은 신선어류 필렛의 경우 제품 내부의 얼음결정 크기가 제품의 품질을 크게 좌우한다. Lilian 등은 $-1.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 의 슈퍼칠링온도에 이르기까지 냉각속도를 비교한 결과 냉각이 느린 경우(-20°C , $153 \text{ W/m}^2\text{K}$, 4.2 min)보다 빠른 경우(-30°C , $227 \text{ W/m}^2\text{K}$, 2.1 min) 결빙얼음의 크기가 작아지는 것으로 보고하였다¹²⁾. Sman 등 역시 식품내 얼음결정의 크기는 냉각속도와 밀접한 관계가 있다고 보고하였다¹³⁾.

Lilian은 슈퍼칠링이 식품의 신선도와 품질을 높게 유지하지만 빙결이 발생하면 수분함수능력을 떨어뜨려 해동시 드립(drip)의 발생을 증가시켜 식품의 품질에 큰 영향을 미친다고 하였다¹⁴⁾. 또, Lilian 등은 슈퍼칠링 저장기간 동안 수분 손실(liquid loss (LL))과 드립 손실을 비교한 결과 초기 1~14일까지는 큰 변화가 없었으나 21일 이후 급격한 발생이 일어났다고 보고하였다¹⁵⁾. 신선 토끼육의 경우 일반적인 저온유통방식으로는 6일 정도 유통되던 것이 슈퍼칠링을 적용하면 -2.5°C 에서 20일, -4°C 에서 36일까지 저장이 가능하였다¹⁶⁾.

Kobayashi 등은 일반적인 냉동방법이 참치(tuna)의 얼음결정 형성에 영향을 미치는 요소를 X-ray CT (computed tomography, X선 전산화 단층촬영) 방법으로 분석하여 근섬유(myofiber)와 평행하게 막대기형태의 얼음결정이 발생함을 발견하였다. 일부 다른 연구에서 균질식품(두부 등)에서 균질한 형태의 얼음결정이 생긴다고 보고하고 있는데 이는 식품의 세포구조에 영향을 받는다고 판단하였으며 참치의 경우 얼음구조는 슈퍼칠링 온도의 강약과 관계없이 불균질적으로 발생하였다¹⁷⁾.

종합하면 일반적인 슈퍼칠링 상태의 생선은 신선육보다는 품질이 낮고 냉동육보다는 높은 수준이라고 볼 수 있다. 생선의 품질은 슈퍼칠링상태로 유통기간(15일 이내가 적합)과 관계가 있고 아이스의 품질(미생물로부터 안전할 것)과도 관계가 있다. 유통기한의 연장은 어중에 따라 다르나 명태의 경우 1주일 이상 유통기한을 연장시키는 효과가 있다. 단점 중 하나는 모든 생선을 슈퍼칠링할 수 없으므로 별도의 냉장(냉각)시설 필요하고 생산량이 적어도 시설비가 들어간다. 또 슈퍼칠링된 생선은 부분냉동상태로 완전냉동은 아니지만 활어도 아니므로 별도의 해동시간과 장소가 필요하며 정

확한 온도를 유지하는 것도 어려운 점이라 할 수 있다.

환경기체조절포장(MAP)의 적용

안전하고 고품질의 식품을 오랫동안 유지하는 방법을 연구하는 것은 모든 식품업체들의 희망으로 많은 연구가 되어 있다. 특히 신선식품에 대해서는 밀봉하기 전에 포장내 기체를 이산화탄소(CO_2)와 질소(N_2)의 혼합물로 대체하는 환경기체조절포장(MAP, Modified Atmosphere Packaging)을 비롯하여 콜드체인(냉각), 기체 충전, 소금, 산(pH), 훈연 및 방부제 처리 등을 할 수 있다. 관련 연구에 따르면 MAP에 포장된 신선한 생선은 동일한 온도에서 공기로 포장된 생선에 비해 저장 수명이 50% 증가하였으며 활성 포장재를 사용하여 포장량을 줄이거나 포장하기 전에 이산화탄소를 제품에 주입하여 포장하기도 한다. 특히, 날생선, 초밥 등과 같은 최소가공식품은 박테리아와 같은 미생물로부터 보호하기 위하여 생산 공정에서부터 제품을 안전하게 취급하여 오염원과 접촉을 방지하고 위생적으로 생산하여야 한다. 또, 안정적인 콜드체인의 유지는 이러한 제품의 긴 보관 수명과 안전을 보장하는 데 중요하다.

생선의 슈퍼칠링 온도는 생선의 종류, 염도와 지방함량에 따라 $-1 \sim -2^\circ\text{C}$ 를 유지하면 생선의 수명을 연장시켜 운송 및 보관기간을 연장시킬 수 있다. Fernández 등은 Atlantic Salmon (*Salmo salar*) 필렛의 유통 기한 연장을 위하여 자연산 첨가제, MAP 포장의 효과를 조사하였다. 분석된 변수는 가스 농도($\text{CO}_2 : \text{N}_2$), 가스와 제품부피 간의 비율 및 천연 첨가물의 유형이었다. 실험은 감각분석, 화학 및 미생물 분석에 의해 조사되었는데 천연 첨가물은 연어의 유통 기한 연장에 도움이 되지 못한 반면, 슈퍼칠링과 MAP의 조합은 높은 CO_2 농도(90%)와 2.5의 가스와 제품부피(g/p) 비율을 갖는 시험군이 22일로 대조군의 11일에 비하여 크게 향상된 저장수명을 보여주었다¹⁸⁾.

식품산업에서 신선식육의 저장기한을 연장하기 위한 기술 중 많이 활용되는 것이 환경기체조절포장(MAP: Modified Atmosphere Packaging)이다. 성공적인 MAP기술의 적용은 초기 식육의 품질은 물론 위생성, 적절한 패키징소재의 선택, 적절한 가스혼합비율과 포장기계의 선택, 포장시 적정 온습도의 유지 등이 중요하다. Singh 등은 이러한 다양한 주요 요소들이 상호간 식육의 품질에 어떻게 작용하는지 조사하였다¹⁹⁾.

수생물(생선 및 어패류 등)에 대한 진공 및 MAP 적용을 통한 저장성 향상 역시 지난 20여년간 활발하게 연구되어 왔다²⁰⁾. 신선 어류 및 어패류의 저장은 주로 냉동기술에 많이 의존하였으나 신선한 제품에 대한 소비자들의 요구와 에너지 절감에 대한 사회적 요구로 화학적 처리, 낮은 수준의 방사선처리, 초고압 처리, 환경기체조절포장(modified

atmosphere packaging: MAP) 등의 기술이 적용되어 왔다. Kaale과 Eikevik 은 연어의 슈퍼칠링저장에 있어 밀폐공간과 오픈공간의 방식을 비교하였는데 밀폐공간에서의 슈퍼칠링된 연어의 얼음결정이 더 일정하여 원하는 품질과 유통기한을 얻기위하여 아이스결정의 특성이 중요한 역할을 차지하고 있다고 보고하였다²¹⁾.

Zhu 등⁸⁾은 -0.7°C 로 조정된 슈퍼칠링조건이 메기에 미치는 영향을 살펴본 결과 고농도 이산화탄소포장을 통해 미생물증식을 억제시켜 메기필렛의 유통기한을 연장시킬 수 있었다. Zhu는 -0.7°C 의 온도에서 신선메기를 일반공기포장, 진공포장, 고농도 이산화탄소를 포함한 MAP ($60\% \text{CO}_2/40\% \text{N}_2$)를 하고 화학 및 미생물학적 변화를 살펴보고 관능평가를 실시하였는데 -0.7°C 에서 MAP로 저장한 시료의 품질이 가장 우수한 결과를 보였다. 화학적 변화는 미생물학적 변화와 일치하였으며 이 결과도 전통적인 보존방법보다 -0.7°C 에서 고농도 CO_2 MAP상태의 품질이 좋은 것으로 나타났다. 또, Kaale 등은 진공포장되어 -30°C (air temperature)와 $227 \text{ W/m}^2\text{K}$ (surface heat transfer coefficient, SHTC) 조건에서 2.1분간 동결된 후 $-1.7\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 의 슈퍼칠링 조건에서 28일간 저장된 연어필렛의 표면과 중심부의 얼음결정상태를 비교하였다. 중심부의 슈퍼칠링 필렛이 표면보다 3배 더 큰 얼음결정이 발생하였고 특히 초기 얼음결정 발생시 큰 차이가 발생함을 보고하였다. 첫날 이후 온도가 안정화되면 얼음결정의 크기는 저장시간에 따라 큰 변화가 없었다($p<0.05$)²²⁾.

한편, MAP기술은 다른 여러 기술들과 접목될 수 있으나 *Clostridium botulinum* type E와 같은 미생물로부터의 안전에 대한 우려는 항상 있어왔다²³⁾.

생대구포의 전처리와 슈퍼칠링조건에 따른 미생물의 증식도 연구되었는데 Reynisson 등은 비가염($0.4\% \text{NaCl}$)과 가염($2.5\% \text{NaCl}$) 전처리된 생대구포를 다른 온도조건 $0, -2, -3.6^{\circ}\text{C}$ 에서 다양한 MA 조건 $\text{CO}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$ 에서 시험하였다. 시험결과 초기 *Pseudomonas* spp. (59% 까지)가 증식하다가 추후 대표적 식육표지 미생물인 *Photobacterium phosphoreum* (100%)가 증식하는 것으로 나타났다²⁴⁾. Stammen 등은 냉장수산식품의 유통기한은 보통 어종, 장소, 계절 등의 조건에 따라 2일에서 14일이고 MAP가 수산식품의 유통기한연장에 도움이 된다고 하였다. 그러나 고농도의 이산화탄소 비율이 미생물생육을 저하시키지만 비단백분해성의 내한균인 *Clostridium botulinum* types B, E 및 F의 생육은 주의해야 한다고 하였다²⁵⁾.

Speranza는 $\text{O}_2:\text{CO}_2:\text{N}_2$ 의 MAP 농도를 $30:40:30$, $\text{O}_2:\text{CO}_2$ 농도를 $5:95$ 로 달리하고 4종의 수산식품의 품질을 비교하였다. 품질평가는 미생물과 미각분석으로 진행하였다. 연구결과 미생물증식에 의한 유통기한은 어종과 관련없이 14일 정도였으나 미각분석이 식품의 유통기한은 어종에 따

라 6일에서 11일까지 다양하여 상품성을 판단하는 주요 기준이 되었다. MAP 적용된 어종은 상당기간 (2.5배까지) 미각분석에 의한 상품성을 유지하고 있어 MAP가 신선어류에 가장 경제적이고 적합한 포장방법임을 증명하였다²⁶⁾.

Wang 등은 포장된 신선어포(대구)에 대하여 MAP연구도 진행되었는데 일반 스티로폼 포장상자와 MA 조건($\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{O}_2$: $50\%/45\%/5\%$), 저온(1.5°C)과 슈퍼칠링 조건(-0.9°C)에서 21일간 저장하여 물리, 화학 및 미생물적 변화를 각각 비교하였다. 슈퍼칠링 조건에서 일반 저온조건보다 9일에서 17일까지 유통기한이 증가하였고 MAP와 슈퍼칠링을 같이 하는 경우 최소 21일까지 유통기한을 연장시키는 효과가 나타났다. 다만 물성은 MAP 조건에 따라 다르게 나타났으며 MAP와 슈퍼칠링을 같이 진행한 경우가 최소 7일간 더 물성이 좋았다²⁷⁾.

MAP와 슈퍼칠링의 조합을 통해 저장품질을 유지시키기 위하여 다양한 MA 기체조성 ($\text{CO}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$)과 온도 조건($0, -2, -3.6^{\circ}\text{C}$)에서 4주간 시험을 진행하여 물리, 화학, 미생물학적 변화를 연구하였다. 시험결과 낮은 슈퍼칠링온도에서 MA조건 하에 저장된 신선 대구포의 품질이 더 우수하였으나 대구포의 가공조건(가염상태 또는 비가염상태)에 따라 달랐다. 비가염상태의 신선대구포는 MA조건에서 포장한 것이 유통기한이 길었으나 가염상태의 대구포는 MA조건에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다²⁸⁾.

Tsironi와 Taoukis는 염화나트륨(NaCl) 5% 처리하고 니신(nisin)을 항균제로 첨가한 후 MAP포장하여 저장한 신선 도미(gilthead seabream (*Sparus aurata*)) 필렛을 각각 다른 온도($0, 5, 10, 15^{\circ}\text{C}$)에서 저장하여 시험한 결과 대조구의 경우(10^6)보다 훨씬 긴 유통기간 (48 일)을 유지하였다²⁹⁾. Hansen 등은 3주간 진공포장되거나 MAP 포장된 양식 신선대구포에 적절한 저장조건을 시험한 결과 진공포장한 경우보다 MAP 포장한 시험구의 감각분석 결과가 더 높게 나타났으며 유통기한은 14일에서 21일까지 유지하였다³⁰⁾.

한편, Sun 등은 게(*Swimming Crab: Portunus trituberculatus*)에 대한 저장성을 시험한 결과 슈퍼칠링과 60% 의 CO_2 를 포함한 MAP 조건에서 15에서 20일의 저장성 향상을 보였으며 더 높은 CO_2 조건에서는 오히려 부정적 효과를 나타내어 이산화탄소의 함량이 중요한 요소라고 하였다³¹⁾. 유사한 논문에서 Sun 등은 수영 게(*swimming crab*)를 슈퍼칠링과 MAP(SCS+MAP) 포장한 결과 단백질과 지방의 산화를 방지하고 저장수명을 연장시키는 효과는 있으나 과도한 CO_2 와 너무 낮은 온도에서의 저장은 표면소수성과 드립에 의한 수분감소를 유발하는 것으로 나타났다³²⁾.

육류에 대한 연구는 수산물에 비하여 비교적 부족하다. Banerjee은 슈퍼칠링은 MAP나 진공포장기법을 조합하여 전통적인 냉장저장기법보다 1.5배에서 4배까지 제품수명을 연장시킬 수 있으며 냉동육보다 신선육의 빙결을 통한 드

립발생을 최소화하여 보다 신선하게 유통시킬 수 있다. 다만 대형가공시설을 통한 자동화가 관건이라고 주장하였다³³⁾.

소매로 유통되는 육류의 중앙 집중식 패키징방식은 경제성과 품질 유지, 안전성 향상, 신선육류의 유통 기한 연장의 장점이 있다. Tewari 등은 최대 15주 동안 중앙집중식 패키징으로 소매 절단된 신선육류의 경우 육류의 특성에 따라 조금씩 요구조건이 달라지는 것을 발견하였다. 장기보관이 필요한 경우 이산화탄소 함량을 높이고 낮은 잔류산소를 유지하는 것이 좋으며 온도는 $-1.5\sim-0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 유지하는 것이 좋고 소매 진열후 유통기한은 약 4일이 일반적이었다. 중앙 집중식 패키징을 적용한 경우 도매저장기간은 약 20~30일이며 가장 적합한 저장조건은 $-1.5\sim-0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 100% CO_2 로 치환된 경우였다³⁴⁾.

비슷한 연구에서 중앙집중식 패키징기술에 대한 장점은 낮은 온도에서 위생적이고 원하는 기체농도를 조절할 수 있다는 데 있다고 하였다. 이때 탈산조제 응용을 적용할 수 있고 최대 10주까지 저장하고 3일 정도 소매점에서 디스플레이할 수 있는 유통기한을 가지고 있었다³⁵⁾.

Bellés 등은 신선 양고기 편육을 MAP (40% O_2 /30% CO_2 /30% Ar) 및 진공포장을 적용하여 슈퍼칠링(-1°C)한 상태와 일반 저온유통상태(-4°C)와 물성, 미생물 및 감각분석을 비교하였다. 이때 슈퍼칠링한 편육이 미생물 발생도 적고 높은 육색 안정성과 산화도 감소시켜 최소한 2배 이상 유통기한을 연장시키는 효과를 관찰되었다³⁶⁾. Wang 등도 신선 양고기에 MAP를 적용하여 높은 이산화탄소 함량이 양고기의 유통기한을 연장시키는데 큰 도움이 된다고 보고하였다³⁷⁾. Yang 등은 쇠고기에 MAP를 적용하여 2°C 에서 20일간 저장한 결과 적절한 이산화탄소 함량에 따른 품질을 비교하였다³⁷⁾.

결 론

정온물류관리는 슈퍼칠링상태의 식품의 품질을 유지하는데 결정적인 역할을 하며 여기에는 재배, 가공, 포장, 수송 및 취급 등이 모두 포함된다. 온도는 가장 중요한 요소 중의 하나이며 미생물 증식억제를 위한 중요한 수단이 되고 있다. 신선식품은 부패하기 쉽고 온도에 민감한 점이 공통점이며 슈퍼칠링은 전 유통과정에 걸쳐 엄격한 온도관리를 통해 식품을 안전하고 신선하며 높은 품질을 유지한 채 소비자에게 전달하기 위한 기술이며 서비스이다. 그러나 Ndraha 등의 연구에서 보듯 육제품, 유제품, 어류, 과일 및 채소류에 대한 여러 국가의 콜드체인 운영실태를 조사한 결과 선진국에서도 콜드체인이 제대로 유지되지 못하고 급격한 온도변화가 발생하고 있는 것으로 나타났으며 개도국의 경우 실태조차 제대로 파악되지 못하고 있는 것이 현실이다³⁸⁾.

따라서 식품의 온도 모니터링과 연구를 통해 온도관리 수준을 높이고 식품폐기물의 발생을 사전에 차단하기 위한 노력은 계속되고 있다.

제품에 인쇄된 유통기한(best before dates)과 실제 유통기한 간의 차이를 좁히고 식품폐기물을 줄이기 위하여 제품생산에서부터 매장디스플레이에 이르기까지 신선식품유통관리(cold food supply chains (FSCs))가 중요하며 유통망 전체의 온도관리를 통하여 능동적 신선식품 유통기한 예측(dynamic shelf life prediction)과 식품공급망의 투명성을 높이고 인쇄된 유통기한과의 차이를 줄이는 노력이 필요하다³⁹⁾.

온도민감성신선식품(temperature sensitive and perishable products (TSPPs))에 대한 특수물류관리기법을 콜드체인관리(Cold Chain Management (CCM))로 하며 주로 식품의 안전과 품질이 목적이 된다. 반면 고비용도 수반되므로 물류관리자들은 다양한 형태의 온도관리시스템을 적용하고 있는데 이 논문은 다중온도점점유통시스템(Multi-Temperature Joint Distribution System, MTJD) 모델을 개발하여 대만의 유통전문사를 모델로 다양한 온도를 필요로 하는 제품을 연속적으로 배송할 수 있는 체계를 분석하였다⁴⁰⁾.

유럽은 2007년부터 2013년까지 Frisbee (Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers' Benefit, Environmental impact and Energy optimisation along the cold chain in Europe)라는 프로젝트를 통해 구매후 운송과 가정용 냉장고에서의 온도를 모니터링하고 시뮬레이션하는 프로그램을 개발하여 물류업체 뿐만 아니라 소비자들을 위해 보급하는 사업을 펼쳤으나 아직도 온도관리상의 문제점은 많은 것으로 파악되고 있다⁴¹⁾.

Hsiao 등은 다양한 식품을 적정품질로 가장 낮은 물류비용을 지불하기 위해 BBO (Biogeography-based Optimization) 시뮬레이션으로 여러 샘플을 통해 비교하였다⁴²⁾. 또 Myo 등은 적정온도 유지를 위하여 무선센서네트워크(Wireless Sensor Network (WSN))를 적용하여 실시간 품질모니터링과 평가가 가능하다고 하였다⁴³⁾.

슈퍼칠링기술은 MAP 등 패키징기술과 접목되고 유통중 철저한 온도관리로 신선식품의 가치를 높일 수 있는 전망 있는 기술임은 틀림없다. 슈퍼칠링기술의 산업화를 위해서는 온도유지기술외에 이를 보완해줄 수 있는 환경기체조절 포장기술과 온도를 철저하게 모니터링할 수 있는 IT 기술이 병행되어야 할 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 산업통상자원부의 글로벌전문기술개발사업(디자인혁신역량강화)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

References

1. Duun, A. S., Hemmingsen, A. K. T., Haugland, A., and Rustad, T. 2008. Quality changes during superchilled storage of pork roast. *Food Science and Technology* 41: 2136-2143.
2. Biglia, A., Comba, L., Fabrizio, E., Gay, P., and Aimonino, D. R. 2016. Case studies in food freezing at very low temperature. *Energy Procedia* 101: 305-312.
3. Duun, A. S. and Rustad, T. 2007. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Food Chemistry* 105: 1067-1075.
4. Magnussen, O. M., Haugland, A., Hemmingsen, A. K. T., Johansen, S., and Nordtvedt, T. S. 2008. Advances in superchilling of food - Process characteristics and product quality. *Trends in Food Science & Technology* 19: 418-424.
5. Nordtvedt, T. S. 2003. Super chilling - State of the art review. In SINTEF Energy Research, Trondheim - Norway.
6. Waterman, J. J. and Taylor, D. H. Superchilling. Torry Advisory Note No. 32, Torry research station, Ministry of Technology, UK.
7. Stevik, A. M., Duun, A. S., Rustad, T., O'Farrell, M., Schulerud, H., and Ottestad, S. 2010. Ice fraction assessment by near-infrared spectroscopy enhancing automated superchilling process lines. *Journal of Food Engineering* 100: 169-177.
8. Zhu, Y., Ma, L., Yang, H., Xiao, Y., and Xiong, Y. L. 2016. Super-chilling (-0.7°C) with high-CO₂ packaging inhibits biochemical changes of microbial origin in catfish (*Clarias gariepinus*) muscle during storage. *Food Chemistry*, 206: 182-190.
9. Wu, C. H., Yuan, C. H., Ye, X. Q., Hu, Y. Q., Chen, S. G., and Liu, D. H. 2014. A critical review on superchilling preservation technology in aquatic product. *Journal of Integrative Agriculture* 13: 2788-2806.
10. Claussen, I. C. 2011. Superchilling concepts enabling safe, high quality and long term storage of foods. *Procedia Food Science* 1: 1907-1909.
11. Kaalea, L. D. and Eikevik, T. M. 2014. The development of ice crystals in food products during the superchilling process and following storage, a review. *Trends in Food Science and Technology*, 39: 91-103.
12. Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Rustad, T., Nordtvedt, T. S., Bardal, T., and Kjorsvik, E. 2013. Ice crystal development in pre-rigor Atlantic salmon fillets during superchilling process and following storage. *Food Control* 31: 491-498.
13. Van der Sman, R. G. M., Voda, A., Van Dalen, G., and Duijster, A. 2013. Ice crystal interspacing in frozen foods. *Journal of Food Engineering* 116: 622-626.
14. Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Rustad, T., and Nordtvedt, T. S. 2014. Changes in water holding capacity and drip loss of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during superchilled storage. *LWT-Food Science and Technology* 55: 528-535.
15. Lan, Y., Shang, Y., Song, Y., and Dong, Q. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Science* 117: 173-181.
16. Kobayashi, R., Kimizuka, N., Watanabe, M., and Suzuki, T. 2015. The effect of supercooling on ice structure in tuna meat observed by using X-ray computed tomography. *International Journal of Refrigeration* 60: 270-277.
17. Fernández, K., Aspe, E., and Roeckel, M. 2009. Shelf-life extension on fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) using natural additives, superchilling and modified atmosphere packaging. *Food Control* 20: 1036-1042.
18. Singh, P., Wani, A. A., Saengerlaub, S., and Langowski, H. C. 2011. Understanding critical factors for the quality and shelf-life of MAP fresh meat: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 51: 146-177.
19. Bouletis, A. D., Arvanitoyannis, I. S., and Hadjichristodoulou, C. 2017. Application of modified atmosphere packaging on aquacultured fish and fish products: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57: 2263-2285.
20. Kaale, L. D. and Eikevik, T. M. 2015. The influence of superchilling storage methods on the location/distribution of ice crystals during storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Control* 52: 19-26.
21. Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Bardal, T., and Kjorsvik, E. 2013. A study of the ice crystals in vacuum-packed salmon fillets (*Salmon salar*) during superchilling process and following storage. *Journal of Food Engineering* 115: 20-25.
22. Ashie, I. N. A., Smith, J. P., Simpson, B. K. and Haard, N. F. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36: 87-121.
23. Reynisson, E., Lauzon, H. L., Magnússon, H., Jónsdóttir, R., Olafsdóttir, G., Marteinsson, V., and Hreggvidsson, G. O. 2009. Bacterial composition and succession during storage of North-Atlantic cod (*Gadus morhua*) at superchilled temperatures. *BMC Microbiology* 9: 250.
24. Stammen, K., Gerdes, D., and Caporaso, F. 1990. Modified atmosphere packaging of seafood. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 29: 301-331.
25. Speranza, B., Corbo, M. R., Conte, A., Sinigaglia, M., and Del Nobile, M. A. 2009. Microbiological and sensorial quality assessment of ready-to-cook seafood products packaged under modified atmosphere. *J. Food Sci.* 74: M473-M478.
26. Wang, T., Sveinsdóttir, K., Magnússon, H., and Martinsdóttir, E. 2008. Combined application of modified atmosphere packaging and superchilled storage to extend the shelf life of fresh cod (*Gadus morhua*) loins. *J. Food Sci.* 73: S11-S19.
27. Lauzon, H. L., Magnússon, H., Sveinsdóttir, K., Guðjónsdóttir, M., and Martinsdóttir, E. 2009. Effect of brining, modified atmosphere packaging, and superchilling on the shelf life of cod (*Gadus morhua*) loins. *J. Food Sci.* 74: M258-M267.
28. Tsironi, T. N. and Taoukis, P. S. 2010. Modeling microbial spoilage and quality of gilthead seabream fillets: Combined effect of osmotic pretreatment, modified atmosphere packaging, and nisin on shelf life. *J. Food Sci.* 75: M243-M251.
29. Hansen, A. A., Mørkøre, T., Rudi, K., Olsen, E., and Eie, T. 2007. Quality changes during refrigerated storage of MA-packaged pre-rigor fillets of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) using traditional MAP, CO₂ emitter, and vacuum. *J. Food*

- Sci. 72: M423-M430.
30. Sun, B., Zhao, Y., Yu, J., Ling, J., Shang, H., and Liu Z. 2017. The combined efficacy of superchilling and high CO₂ modified atmosphere packaging on shelf life and quality of swimming crab (*Portunus trituberculatus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology* 26: 655-664.
 31. Sun, B., Zhao, Y., Ling, J., Yu, J., Shang, H., and Liu, Z. 2017. The effects of superchilling with modified atmosphere packaging on the physicochemical properties and shelf life of swimming crab. *J. Food Sci. Technol.* 54: 1809-1817.
 32. Banerjee, R. and Maheswarappa, N. B. 2017. Superchilling of muscle foods: Potential alternative for chilling and freezing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 5: 1-8.
 33. Tewari, G., Jayas, D. S., and Holley, R. A. 1999. Centralized packaging of retail meat cuts: A review. *J. Food Prot.* 62: 418-425.
 34. Jeyamkondan, S., Jayas, D. S., and Holley, R. A. 2000. Review of centralized packaging systems for distribution of retail-ready meat. *J. Food Prot.* 63: 796-804.
 35. Bellés, M., Alonso, V., Roncalés, P., and Beltrán, J. A. 2017. The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb. *Meat Sci.* 133: 126-132.
 36. Wang, T., Zhao, L., Sun, Y., Ren, F., Chen, S., Zhang, H., and Guo, H. 2016. Changes in the microbiota of lamb packaged in a vacuum and in modified atmospheres during chilled storage analysed by high-throughput sequencing. *Meat Sci.* 121: 253-260.
 37. Yang, X., Niu, L., Zhu, L., Liang, R., Zhang, Y., and Luo, X. 2016. Shelf-life extension of chill-stored beef longissimus steaks packaged under modified atmospheres with 50% O₂ and 40% CO₂. *J. Food Sci.* 81: C1692-C1698.
 38. Ndraha, N., Hsiao, H. I., Vlajic, J., Yang, M. F., and Lin, H. T. V. 2018. Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations. *Food Control* 89: 12-21.
 39. Göransson, M., Nilsson, F., and Jevinger, Å. 2018. Temperature performance and food shelf-life accuracy in cold food supply chains - Insights from multiple field studies. *Food Control* 86: 332-341.
 40. Kuo, J. C. and Chen, M. C. 2010. Developing an advanced multi-temperature joint distribution system for the food cold chain. *Food Control* 21: 559-566.
 41. Derens-Bertheau, E., Osswald, V., Laguerre, O., and Alvarez, G. 2015. Cold chain of chilled food in France [Chaîne du froid des denrées réfrigérées en France]. *International Journal of Refrigeration* 52: 161-167. Last accessed on November 20, 2018 at <http://frisbeetool.eu/FrisbeeTool/about.html>
 42. Hsiao, Y. H., Chen, M. C., and Chin, C. L. 2017. Distribution planning for perishable foods in cold chains with quality concerns: Formulation and solution procedure. *Trends in Food Science and Technology* 61: 80-93.
 43. Aung, M. M. and Chang, Y. S. 2014. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control* 40: 198-207.

투고: 2018.11.28 / 심사완료: 2018.12.17 / 게재확정: 2018.12.29