

## 국내 식품냉동창고 온도분포 실태 및 확률분포모델 분석

박명수 · 김가람 · 박경진\*

군산대학교 식품영양학과

### Analysis of Temperature and Probability Distribution Model of Frozen Storage Warehouses in South Korea

Myoung-Su Park, Ga-Ram Kim, and Gyung-Jin Bahk\*

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan, Korea

(Received December 20, 2018/Revised January 29, 2019/Accepted April 5, 2019)

**ABSTRACT** - This study aimed to generate a probability distribution model based on temperature data of frozen food storage facility as input variables for microbial risk assessment (MRA). We visited 8 food-handling businesses to collect temperature data from their cold storage warehouses. The overall mean temperature inside the storage facilities was  $-20.48 \pm 3.08^\circ\text{C}$ , with 20.4% of the facilities having above  $-18^\circ\text{C}$ , with minimum and maximum temperature values of  $-10.3$  and  $-25.80^\circ\text{C}$  respectively. Temperature distributions by space locations of natural and forced convection were  $-22.57 \pm 0.84$  and  $-17.81 \pm 1.47^\circ\text{C}$ ,  $-22.49 \pm 1.05$  and  $-17.94 \pm 1.44^\circ\text{C}$ , and  $-22.68 \pm 1.03$  and  $-18.08 \pm 1.42^\circ\text{C}$  in the upper (2.4~4 m), middle (1.5~2.4 m), and lower (0.7~1.5 m) shelves, respectively. Probability distributions from the temperature data were obtained using the program @RISK. Statistical ranking was determined using goodness of fit to determine the probability distribution model. Our results show that a log-normal distribution [5.9731, 3.3483, shift (-26.4281)] is most appropriate for relative MRA conduction.

**Key words** : Frozen storage warehouse, Temperature distribution, Probability distribution model, MRA

식품의 특성에 따라 식품의 안전과 품질을 위해서 저온을 유지하여 식품의 화학적 변화 및 미생물의 증식을 억제하는 방법으로 저온저장 기술이 발전함에 따라<sup>1)</sup>, 현대인들의 식품 소비 형태가 간단한 가열만으로도 편리하게 섭취할 수 있는 냉동식품을 선호하는 경향이 증가하고 있다<sup>2)</sup>. 그러나, 이러한 냉동식품은 조리가 간편하고 장기 보존이 가능한 반면, 원재료의 종류가 많고 제조 공정이 복잡해 미생물에 오염되기 쉽다<sup>3)</sup>. 한국소비자보호원이 냉동식품에서의 미생물학적 오염도를 조사한 결과, 조사 대상 냉동식품 중 냉동전 비가열 만두류 중 1개 제품에서 대장균(기준 음성) 양성, 냉동전 가열 만두류 중 1개 제품에서 기준(g당 10 이하)을 약 1.5배 초과하는 대장균군이, 식중독균(기준 음성)은 돈가스류 중 3개 제품에서 *Salmonella*, 2개 제품에서 *Listeria monocytogenes*, 생선가스류 중 1개 제품에서 *L. monocytogenes*가 검출되었다고 보고하였다<sup>4)</sup>.

저온에서 저장 및 유통되는 냉동식품의 위생관리는 보관온도가 매우 중요한 요인으로서, 식품의약품안전처에서 보관온도 차이에 따른 황색포도상구균의 증가를 비교한 결과, 설정온도보다  $10^\circ\text{C}$  이상 보관된 식품에서 초기 균수가 20,000,000배 이상의 급격한 증식을 나타내어 부적절한 온도관리는 식중독 사고의 중요한 원인으로 규명되고 있다고 보고하였다<sup>5)</sup>. 특히, 부적절한 온도에 노출된 냉동식품은 화학적 변화와 얼음 결정의 수, 크기가 증가하는 등 식품의 품질뿐만 아니라 식중독 세균의 성장과 같은 안전성에도 많은 문제점을 발생 시킬 수 있으므로<sup>6)</sup>, 별도 규정으로 정해진 냉동식품 품목을 제외한 모든 냉동식품들은 저장 및 유통 중 식품의 중심온도를  $-18^\circ\text{C}$ 이하의 온도에서 보존하여 해동되지 않도록 관리되고 있다<sup>7,8)</sup>. 국내 식품안전사고에 대한 발생단계별 분석 결과를 보면 원료 생산 단계 및 제조공정에서 많은 원인을 제공하지만, 유통과정에서도 약 7.7%의 원인을 제공하여 이 부분에 대한 관리도 중요한 것으로 나타났다<sup>3)</sup>. 또한, Kang 등<sup>9)</sup>은 하절기 냉동창고 내부 온도와 외부 온도는 약  $40\sim 50^\circ\text{C}$  정도로 온도 차이가 매우 커 온도관리에 더욱 유의하여야 한다고 보고하였다.

\*Correspondence to: Gyung-Jin Bahk, Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan 54150, Jeonbuk, Korea

Tel : +82-63-469-4640, Fax : +82-63-466-2085

E-mail : bahk@kunsan.ac.kr

냉동식품의 저장 및 유통과정에서 일정한 냉동온도를 유지하지 못할 경우 냉동-해동 반복이 발생하고 병원성 미생물이 증식하여 식품의 안전을 위협할 수 있다<sup>10</sup>. 특히, 식중독의 주요 원인균 중 *Clostridium botulinum*은 3.3°C, *L. monocytogenes*는 5°C, *Salmonella spp.*는 6°C 이하의 저온에서도 성장 및 생육할 수 있는 식중독 세균으로 냉동보존을 요하는 제품 등에 오염가능성이 있고 냉동육 해동 중 생존 및 증식이 가능하여 식중독을 발생시킬 수 있다<sup>11-13</sup>. 따라서, 식품 저장 및 유통 중 식중독 원인균에 대한 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서는 생산 후 소비자에 이르는 과정에서 온도 관리에 대한 주의 깊은 관리가 무엇보다 중요하지만<sup>14</sup>, 아직까지 식품보관이나 유통에서는 여전히 많은 식품안전상의 문제를 가지고 있다고 볼 수 있다<sup>12</sup>.

최근 전체적인 식품의 안전성을 확보하기 위하여 원료에서부터 제조, 가공, 보관 및 유통 그리고 마지막 소비단계에서 식품 내·외에 존재할 수 있는 위해요소(hazards) 및 위해인자(risk factors)와 이들의 위해수준(risk level)을 과학적이고 체계적으로 평가하는 연구가 진행되고 있다<sup>15,16</sup>. 위해요소 또는 위해인자가 미생물학적 요인과 관련된다면 이는 미생물 위해평가(microbial risk assessment: MRA)로 수행될 수 있다<sup>17</sup>. MRA 수행과 관련하여 국내에서 가장 부족한 자료는 위해수준 추정을 위한 시뮬레이션 모델에서 입력변수로 활용되는 관련인자 및 환경(온도와 시간 등)에 대한 기초자료와 이를 바탕으로 결정된 적정 확률분포모델이다<sup>15,16</sup>. 이와 관련하여, 국외에서는 식품보관 중 냉장장치 효율성 등에 대한 연구<sup>18</sup>, 유통 과정 중 냉장 돈육<sup>19</sup> 및 포장육<sup>20</sup> 온도관리 문제점 분석 등이 있으며, 국내에서는 유통점 온도관리에 따른 식품 내 미생물 변화<sup>5</sup>, 식품 냉장·냉동창고 위생관리 수준 분석<sup>12</sup>, 전북권내 냉장·냉동식품 유통차량 온도관리 현황<sup>13</sup>, 주요 판매식품의 보관온도 현황 및 관리실태 조사<sup>21</sup> 등의 연구결과가 있으나 냉동식품의 보관온도 이력에 대한 실태조사가 미비하며 설정온도에 따른 실제온도, 저장 중 창고내부의 온도변화, 제상 중 냉동창고의 내부 온도변화에 대한 자료 또한 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 국내 여러 환경요인 중 유통·보관 단계에 해당되는 냉동식품 보관창고 온도 조사를 수행한 자료를 활용하여 조사 시점에서의 국내 냉동식품 보관 온도 분포를 추정하고, 이를 MRA의 입력변수로 활용할 수 있도록 적정확률분포 모델을 제시하여, MRA 수행을 통한 관련 식중독 미생물에 대한 위해수준 평가 및 냉장·냉동식품 온도관리 등 보관관리에 대한 안전성을 확보하는데 기여하고자 한다.

## Materials and Methods

### 조사대상 및 기간

국내 식품냉동창고의 온도분포 조사자료는 2010년 6월

부터 2011년 1월까지 전국 43개 식품냉동창고 소유업소에 요청을 의뢰하였고, 이중 온도측정을 허용한 식품보세창고업소 5곳, 식품제조가공업소 3곳에 대해 3회 이상 실제 현장 방문하여 측정된 냉동창고 온도자료를 활용하여 현재 시점에서의 냉동창고 온도분포 확률분포모델을 설정하였다.

### 냉동창고 온도측정

냉동창고의 온도측정은 실시간으로 일정 간격을 두고 온도를 측정 및 저장할 수 있는 Data logger (3M Temperature Logger TL20, 3M Co., St. Paul, MN, USA)를 이용하였으며, 온도 측정시간은 15 분 간격으로 최소 48 시간에서 최대 72시간까지 각 업체의 조건에 따라 조정하여 연속적으로 반복 측정하였다. 온도 측정 위치는 1개 냉동창고에 대해 공간적으로 하단(0.7~1.5 m), 중단(1.5~2.4 m), 상단(2.4~4.0 m) 등 3단으로 구분하였고, 각 단에 대해 9곳에 Data logger를 설치하여, 최종적으로는  $3 \times 3 \times 3 = 27$  곳에 대한 공간별 온도를 측정하여 공간상의 온도분포를 추정하였다. 이와 같은 설치가 불가능한 냉동창고의 경우에는 식품의 적재가 많은 장소에 Data logger를 평면으로 설치하여 공간에 대한 온도 측정 및 각 냉동창고별 설정온도 동시에 조사하였다.

### 통계분석 및 확률분포모델 설정

Data logger를 통해 저장된 온도자료(23,350개)는 SPSS (Ver. 12.0, Statistical Package for the Social Sciences, Inc., USA)를 이용하여, 그룹별 평균과 표준편차를 산출하였고. 공간별 온도분포는 분산분석(Duncan's multiple range test,  $p < 0.05$ )을 실시하여 공간 위치별 온도차이를 분석하였다. 적정 확률분포모델은 @RISK(Ver. 5.5, Palisade, Newfield, NY, USA)의 "Fit distributions function"을 이용하여 온도별 빈도분포를 분석하였고, 적합성 검정[Goodness-of-fitting (GOF), Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D)]을 통해 설정하였다.

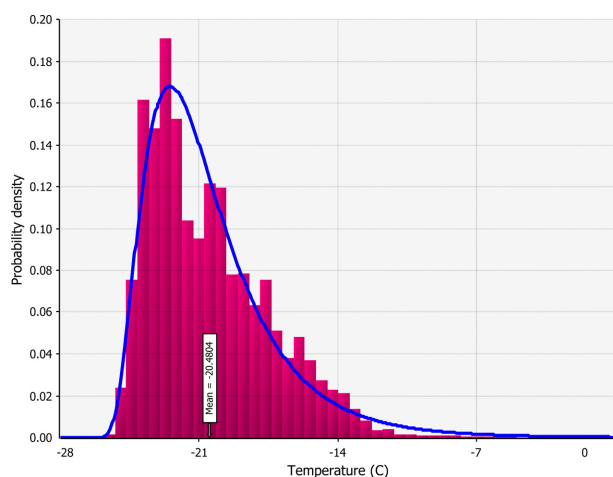
## Results and Discussion

### 냉동창고 설정온도 및 온도분포

국내 8개 업체 냉동창고의 설정온도와 실제 공간상에서 측정된 온도분포는 Table 1과 같으며, 온도에 대한 빈도분포는 Fig. 1과 같다. 2010년 6월부터 2011년 1월까지 조사된 냉동창고의 설정온도는 최고 -18°C에서 최저 -25°C, 평균값은  $-22.25 \pm 2.75^\circ\text{C}$ 로 생산 및 보관하는 식품의 종류에 따라 냉동창고의 온도는 약간 다르게 설정하는 것으로 조사되었다. 그러나, 조사에 참여한 업체 모두 설정온도보다 실제 측정된 보관온도가 약 2.2°C 낮은 것으로 조사되었는데(Table 1), 설정온도가 -18°C로 되어 있는 냉동창고의 실제 평균온도는  $-15.13 \pm 0.91^\circ\text{C}$ , 최대 -10.3°C, 최

**Table 1.** The distributions and differences between established and measured temperatures in the space of freeze storage warehouse in Korea

Established temperatures (°C)	No. of freeze storage warehouse	Measured minimum temperature (°C)	Measured maximum temperature (°C)	Measured temperature (Mean ± S.D. (°C))
-18	1	-17.9	-10.3	-15.13 ± 0.91
-20	3	-21.7	-12.9	-18.34 ± 2.16
-25	4	-25.8	-15.1	-22.59 ± 0.83
Total	8			-20.48 ± 3.08

**Fig. 1.** The frequency distribution and fitting result (lognormal probability distribution) of measured temperatures in the space of freeze storage warehouse in Korea.

저 -17.9°C로 식품공전에 규정된 냉동식품 보관온도 -18°C 이하가 유지되지 않고 있는 것으로 조사되었다. 따라서, 측정된 온도편차를 고려하였을 때 -18°C이하의 온도로 보관하기 위해서는 설정온도를 최소 -21°C이하로 설정해야 식품공전에 명시된 -18°C이하로 식품이 보관될 것으로 생각된다.

조사된 냉동창고에 보관된 냉동식품에서 해동은 일어나지 않았지만, Leygonie 등<sup>19)</sup>은 돼지고기의 경우 중심온도 -15°C에서는 약 80일, 중심온도 -25°C에서는 약 800 일까지 품질 유지가 가능하며, 참치와 같은 냉동 수산식품은 초저온에서 동결하여 -60°C에서 보냉한다고 보고되었다<sup>22)</sup>. 이와 같이, 식품의 보관온도는 식품의 품질과 안전성에 매우 중요한 요인으로서 상관관계가 있는데, 동결온도와 보관온도가 높을수록 ice dendrite size가 작아져 식품 품질 유지가 어려우며, 저온에서 생존할 수 있는 리스테리아균은 보관온도가 설정온도보다 5°C만 높아도 약 435배 이상 증가하는 것으로 보고되었다<sup>21,22)</sup>. 또한, 국내 HACCP 규정에서는 온도 감응 장치의 센서 위치는 온도가 가장 높게 측정되는 곳에 위치하여야 한다고 규정되어있으나, 제품의 적재방법과 냉각기에서 나오는 냉기의 속도 등이 공기의 흐름에 영향을 주어 온도 감응 장치 센서에도 영향

을 주는 것으로 보고되었다<sup>23)</sup>. 따라서 냉기의 흐름을 방해하지 않고 냉동창고 내부에 균일한 온도를 유지할 수 있도록 냉동창고 내부의 적재방법에 대한 가이드라인을 제시할 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다.

평균 냉동온도가 상승되는 여러 요인 중 하나는 전열관에 부착된 서리를 제거하기 위하여 냉각기의 가동을 중지한 후 hot gas가 유입되거나, 증발기에 설치된 전기히터가 작동하여 일정한 간격으로 제상이 실시되는 것으로 보고되어 있다<sup>24)</sup>. 본 연구에서 조사된 냉동창고에서 제상이 실시되는 동안 냉동창고 내부 보관온도는 약  $4.2 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 가 상승되는 것으로 조사되었는데, 특히 제상 중 출입이 있을 경우 외부온도의 유입으로 식품은 높은 온도에 노출되어 부분 해동과 냉동이 주기적으로 반복이 일어날 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다. 특히, 냉동 저장 중 빙점 이상의 온도에 노출되면 얼음의 재결정화와 승화로 인하여 조직의 파괴, 식품 표면이 건조해지는 냉동상(freezer burn)이 일어나며, 제상주기가 짧고 온도 상승폭이 클수록 육류와 생선의 단백질 변성 정도가 크고, 얼음 결정이 수와 크기와 수가 증가하여 조직이 파괴되어 식품의 품질을 저하시키고 식품의 안전성에도 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다<sup>25)</sup>. 냉동창고의 온도도 중요하지만 창고 내 온도편차를 최소화하는 것 또한 보관하는 냉동식품에 대한 품질과 식품안전성 측면에서 중요한 요인이라 할 수 있겠다. 따라서, 이러한 보관온도 유지의 대처 방안으로 심야시간, 식사시간 등 출입이 적은 시간을 활용하여 제상을 실시하는 방법에 대한 고찰이 필요하다.

### 냉동창고 공간 위치 별 온도분포

조사된 냉동창고에서 냉기를 전달하는 방식에서 온도차이에 의한 자연대류(natural convection)를 이용하는 냉동창고와 창고 내 송풍기를 이용하여 강제대류(forced convection)를 이용하는 냉동창고로 나누어 공간 위치 별 온도분포를 분석하였다. 공간 위치별 온도분포는 Fig. 2와 3과 같으며, 수집한 온도 자료 23,350개 중 동일한 조건(출입문의 위치, 냉각기의 위치, 외부에 노출된 벽의 위치 등)의 냉동창고에서 측정된 자료 13,380개를 자연대류 8,169개, 강제대류 5,211개로 나누어 각각 SPSS(Ver. 12)를 이용하여 Duncan 검정한 결과 공간 위치가 높을수록 온도

		Ceiling		
Upper (2.4~4m)		-22.92 ± 0.07 <sup>1)cd2)</sup>	-22.34 ± 1.13 <sup>3)</sup>	-22.71 ± 0.77 <sup>defg</sup>
		-22.80 ± 0.88 <sup>cdef</sup>	-22.42 ± 1.16 <sup>hi</sup>	-22.70 ± 0.88 <sup>efg</sup>
		-21.87 ± 0.79 <sup>kl</sup>	-22.19 ± 0.72 <sup>b</sup>	-22.22 ± 0.62 <sup>l</sup>
Middle (1.5~2.4m)		-22.48 ± 1.06 <sup>hi</sup>	-22.79 ± 0.93 <sup>c</sup>	-22.61 ± 1.12 <sup>fgh</sup>
		-22.60 ± 1.21 <sup>gh</sup>	-22.59 ± 1.13 <sup>gh</sup>	-22.89 ± 1.28 <sup>cde</sup>
		-21.78 ± 1.30 <sup>kl</sup>	-21.75 ± 1.05 <sup>l</sup>	-22.87 ± 0.45 <sup>cde</sup>
Lower (0.7~1.5m)		-22.89 ± 1.21 <sup>kl</sup>	-22.91 ± 1.13 <sup>cd</sup>	-22.53 ± 0.85 <sup>a</sup>
		-22.90 ± 1.28 <sup>cd</sup>	-22.45 ± 1.19 <sup>hi</sup>	-22.97 ± 0.97 <sup>c</sup>
		-21.95 ± 0.80 <sup>k</sup>	-22.91 ± 0.80 <sup>cd</sup>	-22.70 ± 1.14 <sup>efg</sup>
		Gate		

<sup>1)</sup>Each value is mean ± SD.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts in the same row and column are significantly different at  $p < 0.01$  by Duncan's multiple range test.

**Fig. 2.** Temperature distribution depending on space-locations in freeze storage warehouse in Korea (natural convection).

		Ceiling		
		Air Convection system		Air Convection system
Upper (2.4~4m)		-18.09 ± 1.41 <sup>1)abcd2)</sup>	-17.98 ± 1.43 <sup>abcd</sup>	-18.23 ± 1.44 <sup>ab</sup>
		-17.60 ± 1.43 <sup>ef</sup>	-17.64 ± 1.40 <sup>ef</sup>	-17.39 ± 1.47 <sup>f</sup>
		-17.40 ± 1.51 <sup>f</sup>	-18.06 ± 1.50 <sup>abcd</sup>	-17.93 ± 1.58 <sup>bcd</sup>
Middle (1.5~2.4m)		-17.82 ± 1.38 <sup>cde</sup>	-17.78 ± 1.36 <sup>de</sup>	-18.33 ± 1.66 <sup>a</sup>
		-17.75 ± 1.33 <sup>de</sup>	-18.18 ± 1.38 <sup>ab</sup>	-17.79 ± 1.39 <sup>de</sup>
		-17.78 ± 1.36 <sup>de</sup>	-18.06 ± 1.50 <sup>abcd</sup>	-17.93 ± 1.58 <sup>bcd</sup>
Lower (0.7~1.5m)		-17.82 ± 1.38 <sup>cde</sup>	-18.14 ± 1.43 <sup>abc</sup>	-18.33 ± 1.66 <sup>a</sup>
		-18.00 ± 1.24 <sup>abcd</sup>	-18.06 ± 1.50 <sup>abcd</sup>	-17.99 ± 1.28 <sup>abcd</sup>
		-17.94 ± 1.38 <sup>bcd</sup>	-18.23 ± 1.44 <sup>ab</sup>	-18.15 ± 1.47 <sup>abc</sup>
		Gate		

<sup>1)</sup>Each value is mean ± SD.

<sup>2)</sup>Values with different superscripts in the same row and column are significantly different at  $p < 0.01$  by Duncan's multiple range test.

**Fig. 3.** Temperature distribution depending on space-locations in freeze storage warehouse in Korea (forced convection).

차이가 유의하게 나타났다( $p < 0.01$ ). 자연대류를 이용하는 냉동창고의 경우 상단(2.4~4 m)  $-22.57 \pm 0.84^\circ\text{C}$ , 중단(1.5~2.4 m)  $-22.49 \pm 1.05^\circ\text{C}$ , 하단(0.7~1.5 m)  $-22.68 \pm 1.03^\circ\text{C}$ , 강제대류를 이용하는 냉동창고의 온도분포는 상단(2.4~4 m)  $-17.81 \pm 1.47^\circ\text{C}$ , 중단(1.5~2.4 m)  $-17.94 \pm 1.44^\circ\text{C}$ , 하단(0.7~1.5 m)  $-18.08 \pm 1.42^\circ\text{C}$ 로 조사되었다. 또한, 자연대류를 이용하는 냉동창고의 최고온도는  $-21.75^\circ\text{C}$ , 최저온도는  $-23.53^\circ\text{C}$ 로 공간에 따른 온도차이는  $1.78^\circ\text{C}$  조사되었으며, 강제대류를 이용하는 냉동창고 27곳의 공간에서의 온도는 최고  $-17.39^\circ\text{C}$ , 최저  $-18.33^\circ\text{C}$ 로 공간에 따른 온도차이는  $0.94^\circ\text{C}$ 로 조사되었다, 이는 자연대류식 및 강제대류식 냉동창고 모두 공기 대류에 의해 밀도가 높은 저온의 공기가 바닥으로 내려가는 원리를 이용한 방법으로, 일반적으로 강제대류가 자연대류에 비해 더 높은 열

전달 계수를 나타내기 때문에 자연대류식보다 강제대류식 냉동창고가 상단에 비하여 하단의 온도가 더 낮다고 보고하였다<sup>26)</sup>.

Ho 등<sup>26)</sup>은 식품 저장창고 강제대류에 따른 온도분포 모델에서도 통로 쪽과 바닥부분의 온도는 다른 곳에 비하여 낮고, 천장의 온도는 높은 것으로 추정하였고, 창고 내부 대류의 속도가 높을수록 창고 내부의 온도가 균일하다고 추정하였는데, 이는 본 연구결과와 어느 정도 유사한 결과로 볼 수 있다. Runsey<sup>27)</sup>는 자연대류식 냉동창고에 보관된 식품들이 약  $1.83^\circ\text{C}$ 의 온도차이가 있는 것으로 보고하였고, Chourasia와 Goswami<sup>28)</sup>은 강제대류식 냉동창고에 보관된 식품들마다 약  $1.4 \pm 0.98^\circ\text{C}$  차이를 가지는 것으로 보고하였는데, 이는 창고 공간별로 온도가 일정하게 유지되는 것이 아니라 편차나 변동성이 존재하는 것으로 볼 수 있다. 특히, 상단의 온도가 높은 것은 외벽을 통하여 들어오는 열에 의해 약 20~30% 열 상승이 일어나며, 실내동력(조명제외)에 의하여도 약 14~16% 열 상승이 일어나 냉각기 주변 공간의 온도가 상승할 수 있다고 보고하였다<sup>26-28)</sup>. 또한, Son 등<sup>18)</sup>과 Evans<sup>25)</sup>는 냉동창고 내에 식품 적재 시 냉각기, 벽, 바닥, 적재물간 사이에 거리를 두는 것을 권장하였고, Kang 등<sup>9)</sup>은 열 손실 비율이 높은 외벽에 의해 들어오는 열을 차단하기 위한 냉동창고의 단열재 두께는 공법과 상관없이 150 mm로 해야 한다고 보고하였다.

미생물에 의하여 오염된 식품을 냉동하게 되면 완전한 사멸은 이루어지지 않고 생존력을 감소시키거나 휴면상태를 유지하게 된다<sup>29)</sup>. Kang 등<sup>9)</sup>은 냉동수산물 21개 제품에서 1개의 제품이 일반세균검사 결과 부적합한 것으로 보고하였으며, 태국산 조개와 오징어, 중국산과 국산의 홍합에서 대장균이 검출되었다고 보고하였다. 이와 같이, 비위생적으로 관리된 냉동식품 또한 병원성 미생물의 위해성이 존재할 수 있으므로 미생물의 성장을 억제 할 수 있도록 보관 및 유통단계에서 철저한 온도관리가 필요하다.

**적정 확률분포모델 선정**

조사된 국내 8개 업체 냉동창고의 전체 온도자료를 이용하여 적정 확률분포 모델을 선정하기 위해 fitting 결과는 Fig. 1과 Table 2와 같다. 적정확률분포 모델 후보로는 Lognormal, LogLogistic, Logistic, Normal 등이 제시되었으나, 이중 Lognormal [5.9731, 3.3483, shift(-26.4281)] 분포모델(Fig. 1의 직선)이 적합성 검정(GOF)으로 이용된 A-D(데이터가 특정 분포를 얼마나 잘 따르는지 측정하는 통계적 방법으로, 일반적으로 기준값은 없으며, 분포가 데이터에 더 적합할수록 통계값이 작게 표시됨) 및 K-S(p-value 0.05를 기준으로 하여 유의수준을 나타냄) test 결과값(작을수록 적합성이 더 높음)<sup>6)</sup>이 다른 확률분포모델에 비하여 가장 작은 값을 나타내어(Table 2), 국내 냉장창고 온

**Table 2.** Statistic analysis results for selecting the best probability distribution model for temperature of food freeze warehouse space in Korea

	Measured temperature (°C)	Probability distribution models	
		Lognormal [5.9731, 3.3483, shift(-26.4281)]	LogLogistic (-25.8877, 4.6486, 2.8586)
Mean ± S.D.	-20.48 ± 3.08	-20.45 ± 3.35	-20.15 ± 5.08
5 percentile value(°C)	-24.20	-24.22	-24.23
50 percentile value(°C)	-21.16	-21.22	-21.24
95 percentile value(°C)	-14.80	-14.12	-12.87
A-D statistic <sup>1)</sup>	-	85.2843	134.8636
K-S statistic <sup>1)</sup>	-	0.0460	0.0511

<sup>1)</sup>For each of these statistics, the smaller the value, the better the fit.

도분포에 대한 가장 적합한 모델로 Lognormal [5.9731, 3.3483, shift(-26.4281)]를 선정하였다. 선정된 확률분포 모델에 의해 추정된 국내 냉동창고 평균온도는 실제 측정된 평균값(-20.48 ± 3.08°C)보다 약간 높은 -20.15 ± 5.08°C로 추정되었다. 따라서, 본 연구를 통해 선정된 확률분포모델은 국내에서 냉동식품 보관관련 미생물 위해평가(MRA) 수행 시 식품냉동창고 온도분포 모델로 바로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

MRA 연구 시 확률분포 모델을 이용하는 이유는 실제 모든 냉동창고를 방문하여 일정시간 동안 온도를 측정한다는 것은 불가능하기 때문에 확률론적 접근 방식을 통해 조사된 자료를 바탕으로 MRA 연구를 한다<sup>16)</sup>. 국외에서도 MRA의 활용을 위한 냉동창고의 온도에 대한 확률분포 모델이 최근에 많이 이루어지고 있지만, 각 나라의 냉동보관 관리 규정, 기후, 보관하는 제품의 특성 등의 이유로 국내 활용하는 것은 어려움이 있다. 따라서 국내에서 보다 과학적이고 국내 현실을 반영한 MRA의 수행을 위해서는 우리나라 식품공급체인망 환경에서 저장 및 유통단계에서의 보관온도 등 식중독 발생과 관련되는 위해인자(risk factors)에 대한 조사와 우리나라 식품특성을 반영한 모델화 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2017R1E1A1A03070895)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 국문요약

본 연구는 국내 냉동보관창고 보관온도에 대한 조사자료를 활용하여, 온도분포를 추정하였고 이를 미생물 위해평가(microbial risk assessment; MRA)의 입력변수로 활용할 수 있도록 적정 확률분포 모델을 제시하였다. 조사에 참

여한 8곳의 냉동보관창고에서 측정된 공간상의 온도는 최저 -25.8°C, 최고 -10.3°C, 평균 -20.48 ± 3.08°C이었으며, -18°C이상의 냉동창고 비율은 20.4%로 조사되었다. 공간별 온도분포는 자연대류를 이용하는 냉동창고의 경우 상단(2.4~4 m) -22.57 ± 0.84°C, 중단(1.5~2.4 m) -22.49 ± 1.05°C, 하단(0.7~1.5 m) -22.68 ± 1.03°C, 최고온도차이는 1.78°C이었으며, 강제대류를 이용하는 냉동창고의 온도분포는 상단(2.4~4 m) -17.81 ± 1.47°C, 중단(1.5~2.4 m) -17.94 ± 1.44°C, 하단(0.7~1.5 m) -18.08 ± 1.42°C, 최고온도차이는 0.94°C로 조사되었다. 보관온도는 냉동창고 모든 공간에서 온도가 일정하게 유지되는 것이 아니라 편차가 존재하는 것으로 나타났다. 이상의 수집된 온도자료는 @RISK를 이용, 적합성 검정(GOF: A-D, K-S test)을 수행하여, MRA에서 활용할 수 있는 국내 냉동보관창고 온도분포에 대한 가장 적합한 확률분포모델로 Lognormal [5.9731, 3.3483, shift(-26.4281)]이 선정하였다.

## References

1. Koo, K.H.: Recent technology of refrigeration and thawing method in food industry. *Bull. Food Technol.*, **4**, 731-741 (2009).
2. Park, S.H., Kim, K.S., Yoo, Y.A., Lee, J.K., Jung, S.K., Han, K.Y., Kim, M.S.: Antibiotic resistance patterns of *Enterococcus* spp. isolated from commercial frozen foods. *J. Fd Hyg. Safety.*, **25**, 122-128 (2010).
3. Bahk, G.J.: The analysis of food safety incidents from 1998 to 2008 in Korea. *J. Fd Hyg. Safety.*, **24**, 162-168 (2009).
4. Korea Consumer Agency.: Frozen food hygiene is inadequate. (2001).
5. Ministry of Food and Drug Safety.: The monitoring for microbial changes in food by temperature control at retail shop. (2007).
6. Choi, E.J., Chung, Y.B., Kim, J.S., Chun, H.H.: Effects of freezing and thawing treatments on natural microflora, inoculated *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter jejuni* on the chicken breast. *J. Fd Hyg. Safety.*, **31**, 42-50 (2016).

7. Codex: Standard for quick frozen blocks of fish fillet, minced fish flesh and mixtures of fillets and minced fish flesh. (2014).
8. Ministry of Food and Drug Safety.: Korean Food Code, Korea. (2018).
9. Kang, S.J., Kim, O.S., Son, S.H., Yoo, H.M., Lee, J.W., Jung, S.Y., Cho, A.Y., Yoon, K.S.: A study on consumer's recognition of frozen processed food and contamination levels of frozen seafoods. *J. East Asian Soc. Dietary Life.*, **18**, 873-883 (2008).
10. Shim K.B., Hong G.P., Choi M.J., Min S.G.: Effect of high pressure freezing and thawing process on the physical properties of pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.*, **29**, 736-742 (2009).
11. Tiganitasa, A., Zeakia, N., Gounadakib, A.S., Drosinosa, E.H., Skandamis, P.N.: Study of the effect of lethal and sub-lethal pH and aw stresses on the inactivation or growth of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium. *Food microbiol.*, **134**, 104-112 (2009).
12. Choi M.S., Choi J.A., Kim M.H., Bahk G.J.: The comparison and distribution of temperatures established in display stands and food surfaces for cold and frozen foods in large discount stores in Korea. *J. Fd Hyg. Safety.*, **26**, 308-314 (2011).
13. Park, M.S., Bahk, G.J.: Current state for temperature management of cold and frozen food transportation vehicles in Jeonbuk province. *J. Fd Hyg. Safety.*, **32**, 107~113 (2017).
14. Ackerley, N., Sertkaya, A., Lange, R.: Food transportation safety: characterizing risks and controls by use of expert opinion. *Food Prot. Trends.*, **30**, 212-222 (2010).
15. Oh, D.H., Rahman, S.M.E., Kim, J.M., Bahk, G.J.: The statistics probability analysis of pork-cutting processing conditions for microbial risk assessment. *J. Fd Hyg. Safety.*, **24**, 63-68 (2009).
16. Bahk, G.J.: Statistical probability analysis of storage temperatures of domestic refrigerator as a risk factor of food-borne illness outbreak. *Kor. J. Food Technol.*, **42**, 373-376 (2010).
17. Franz, E., Tromp, S.O., Rijgersberg, H.: Quantitative microbial risk assessment for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in leafy green vegetables consumed at salad bars. *J. Food Prot.*, **73**, 274-285 (2010).
18. Son, H., Luis, R., Muhammad, M.: Numerical simulation of temperature and velocity in a refrigerated warehouse. *Int. J. Refrig.*, **33**, 1015-1025 (2010).
19. Leygonie, C., Britz, T.J., Hoffman, L.C.: Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Sci.*, **91**, 93-98 (2012).
20. Cardoso, G.P., Dutra, M.P., Fontes, P.R., Ramos, A.L.S., Gomide, L.A.M., Ramos, E.M.: Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. *Meat Sci.*, **114**, 85-94 (2016).
21. Lee, Y.S., Ha, J.H., Park, K.H., Lee, S.Y., Choi, Y.J., Lee, D.H., Park, S.H., Moon, E.S., Ryu, K., Shin, H.S., Ha, S.D.: Survey on storage temperature of domestic major chilled foods in refrigerator. *J. Fd Hyg. Safety.*, **23**, 304-308 (2008).
22. Kobayashi, R., Kimizuka, N., Watanabe, M., Suzuki, T.: The effect of supercooling on ice structure in tuna meat observed by using X-ray computed tomography. *Int. J. Refrig.*, **60**, 270-277 (2015).
23. Ministry of Food and Drug Safety.: Pre-request programs in HACCP. (2011).
24. Kim, J.D.: Effect of frost and Defrost on the operating characteristics of refrigeration system. *The J. of the Koeran Soc. for Power Syst. Eng.*, **14**, 5-10 (2010).
25. Evans, J.A.: Frozen food science and technology. Blackwell Publishing. Oxford, UK. (2008).
26. Ho, S.H., Rosario, L., Rahman, M.M.: Numerical simulation of temperature and velocity in a refrigerated warehouse. *Int. J. Refrig.*, **29**, 692-699 (2010).
27. Runsey, I.: Temperature and air distribution in refrigerated warehouses - A new dimension to energy savings. Food safety, Food supply, Food solutions 213. GDS Publishing. (2008).
28. Chourasia, M.K., Goswami, T.K.: Simulation of effect of stack dimensions and stacking arrangement on cool-down characteristics of potato in a cold store by computational fluid dynamics. *Biosyst. Eng.*, **96**, 503-515 (2007).
29. Kim, T.W., Choi, J.H., Bahk, G.J., Oh, D.H.: Exposure assessment of microbiological risk factors from edible ices. *J. Fd Hyg. Safety.*, **24**, 226-231 (2009).