

식중독 발생 위해인자로서 가정용 냉장고의 온도에 대한 확률분포 분석

박 경 진*

군산대학교 식품영양학과

Statistical Probability Analysis of Storage Temperatures of Domestic Refrigerator as a Risk Factor of Foodborne Illness Outbreak

Gyung-Jin Bahk*

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University

Abstract The objective of this study was to present the proper probability distribution model based on the data obtained from surveys on domestic refrigerator food storage temperatures in home. Domestic refrigerator temperatures were determined as risk factors in foodborne disease outbreaks for microbial risk assessment (MRA). The temperature was measured by directly visiting 139 homes using a data logger from May to September of 2009. The overall mean temperature for all the refrigerators in the survey was $3.53 \pm 2.96^\circ\text{C}$, with 23.6% of the refrigerators measuring above 5°C . Probability distributions were also created using @RISK program based on the measured temperature data. Statistical ranking was determined by the goodness of fit (GOF, i.e., the Kolmogorov-Smirnov (KS) or Anderson-Darling (AD) test) to determine the proper probability distribution model. This result showed that the LogLogistic (-10.407, 13.616, 8.6107) distribution was found to be the most appropriate for the MRA model. The results of this study might be directly used as input variables in exposure evaluation for conducting MRA.

Key words: MRA (microbial risk assessment), probability statistics, food storage, domestic refrigerator, temperature

서 론

전체적인 식품안전성 확보는 원료, 제조, 가공 유통 및 소비단계에서 식품내외에 존재하는 또는 존재할 수 있는 위해요소(hazards) 및 위해인자(risk factors)를 규명해 내고, 이들의 발생수준 및 현황을 바탕으로 위해수준(risk level)을 과학적이고 체계적으로 평가하는 것으로부터 시작된다(1).

특히, 소비단계는 Table 1(2)에서 보는 바와 같이 식중독 발생 등 식품안전과 관련된 많은 위해인자를 가지고 있다고 볼 수 있다. 미생물학적 위해요소에 있어, 제조, 가공과정에서 안전한 식품을 제공한다고 할지라도 최종 소비단계에서 안전하지 못한 식품취급이나 적절한 냉장 또는 보관이 이루어지지 않는다면 식품의 안전성 확보를 확신할 수 없다(3).

Table 1에서 제시한 소비단계 위해인자 중 가정에서 식품보관을 위한 냉장고 온도관리는 국제적으로도 수 년간 적정 온도(5°C)가 권장되어 왔으나, James 등(4)의 조사결과에 따르면 세계적으로도 평균 약 30% 정도는 적정온도이상에서 여전히 식품이 보관되는 것으로 나타났다. 이와 같이 적절하지 못한 가정에서의

식품보관 온도는 황색포도상구균의 성장 등 식품안전을 위협할 수 있는 상황이 발생할 수 있어, 가정에서의 냉장고 온도분포는 중요한 위해인자로 볼 수 있다(5).

국내 가정에서의 냉장고 보급율은 이미 2002년 104.8%(6)로 냉장고는 대부분의 가정에서 필수적인 식품보관용으로 절대적으로 사용되고 있다. 따라서 최종 식품 섭취전의 식품보관에 대한 가정내 냉장고 온도분포는 식중독 발생에 관여하는 중요한 위해인자로서 MRA(미생물 위해평가: microbial risk assessment)수행에 있어 절대적으로 반영해야 하는 아주 중요한 입력변수로 볼 수 있다.

본 연구의 목적은 국내에서의 가정내 냉장고 온도에 대한 조사를 수행하여 현 시점에서의 냉장고 식품보관 온도분포를 추정하고, 이를 MRA의 입력변수로 활용할 수 있도록 적정 확률분포 모델을 제시하는데 있다.

재료 및 방법

조사대상 가구 및 기간

가정내 냉장고 온도를 측정하기 위하여 전체 조사대상 가구는 총 139가구로, 지역별 분포는 수도권(서울, 경기, 인천 등) 11, 전북권(군산, 익산, 전주 등) 100, 전남권(광주 등) 8, 충청권(대전, 홍성, 논산 등) 20, 부산 1가구 등을 조사하였다. 조사기간은 MRA에서의 활용 효과를 최대로 하기 위하여 가정내 냉장고 온도에 대한 최악의 시나리오(the worst scenario)로, 연중 최고 더울 것으로 예상되는 여름을 중심으로 5월에서부터 9월까지 측정하였다.

*Corresponding author: Gyung-Jin Bahk, Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan, Jeonbuk 573-701, Korea

Tel: 82-63-469-4640

Fax: 82-63-466-2085

E-mail: bahk@kunsan.ac.kr

Received January 12, 2010; revised January 27, 2010;

accepted February 8, 2010

Table 1. Possible MRA input values in consumption step as risk factors in foodborne illness outbreak

Consumption step	MRA input values
Food purchasing	- Purchase places, method, time etc - Storage temperature
Food storing	(home refrigerator temperature) - Storage time etc
Food handling	- Hygiene knowledge and behaviors etc
Food cooking	- Proper heating and time etc
Food consuming	- Amount and Frequency etc

냉장고 온도 측정

가정내 냉장고 온도 측정은 실시간으로 일정간격을 중심으로 온도를 측정하고 저장할 수 있는 장치인 data logger(3M Temperature Logger TL20, 3M, St. Paul, MN, USA)를 이용하였으며, 각 가구별 온도 측정시간은 30분 간격으로 최소 48시간 이상에서 최대 96시간까지 각 가정의 환경에 따라 적절하게 조정하여 연속적으로 측정하였으며, 온도 측정 위치는 냉장고 냉장실의 중간부위에서 측정하였다.

통계분석 및 적정 확률분포모델의 선정

4개월간 139가구로부터 측정하여 수집된 13,458개의 온도자료는 @RISK(version 5.5, Palisade, Newfield, NY, USA)의 "Fit distributions function"을 이용하여 온도별 빈도분포를 분석하였고(Fig. 1), 또한 이 function에 있는 적합성 검정(Goodness-of-fitting; GOF, the Kolmogorov-Smirnov(KS)와 Anderson-Darling(AD) test)을 활용하여 최종적으로 MRA입력변수로 활용될 수 있는 적정 확률분포모델에 대한 추정 및 순위를 결정하였다(Table 2).

결과 및 고찰

국내 가정에서의 냉장고 온도분포

조사대상 총 139가구에서의 5월부터 9월까지 가정내 냉장고의 온도는 $3.53 \pm 2.96^\circ\text{C}$ (Table 2)이며, 그 분포는 Fig. 1에서 막대도표로 보는 바와 같이 최소 -5.1°C 에서 최대 14.4°C 로, 5°C 이상은 23.6%(Fig. 1에서 5라인 우측 빗금친 부분으로 %는 상단에 표시), 10°C 이상은 3.7%(Fig. 1에 따로 표시하지 않았으며, 10°C 라인 우측 빗금친 부분 면적 계산한 값)로 나타났다. 국제적으로 권장되고 있는 냉장고 온도는 5°C 이하(4)로, 국내 조사의 경우 약 76.4%가 권장온도 이하에서 식품을 보관하고 있지만, 본 조사가구의 23.6%의 냉장고 온도는 식중독 발생 등 식품 위해인자로 충분히 작용할 수 있음을 보여주고 있다.

세계 여러 나라에서의 가정내 냉장고 온도조사 결과(4)도 평균적으로 약 70% 정도는 권장온도인 5°C 이하를 유지하고 있으며, 최근의 조사결과로 2007년 미국 Koas 등(7)에 의해 보고된 web-based 조사에 의하면 가정 냉장고 온도는 70% 정도가 권장 온도를 준수하고 있는 것으로 조사 되었다. 하지만 2007년 스페인의 Carrasco 등(8)의 조사에 의하면 73.7%가 권장온도인 5°C 를 초과하는 것으로 나타났다. 스웨덴의 Markinder 등(9)은 대부분의 조사 대상자가 식품에서의 냉장고 최고 보관 온도를 10°C 로 알고 있고, 20% 이상의 식품이 10°C 이상에서 보관되고 있는 것으로 발표 하였고, 최대 18.2°C 에서도 보관되는 경우도 있다고 보고하여, 냉장고 온도에 대한 소비자의 인식 확대가 필요하다고 지적하였다. 아일랜드의 Kenndy 등(10)은 100가구를 대상으로 본 연구에서와 같이 72시간 연속으로 냉장고의 온도를 조사하였는데,

약 59%가 5°C 를 초과하는 것으로 조사되었고, 이들 냉장고에서 보관중인 식품에 대한 미생물 분석결과 일반세균수는 평균적으로 $7.1 \log \text{CFU}/\text{cm}^2$, 대장균군은 $4.0 \log \text{CFU}/\text{cm}^2$ 정도로 나타났다. 조사대상 식품중 황색포도상구균은 41%, *E. coli*는 6%, *Salmonella enterica*는 7%, *Listeria monocytogenes*는 6%가 양성 등으로 나타나 냉장 보관중인 많은 식품에 식중독 원인균이 발견되어 가정에서의 냉장고 온도 및 청소 등의 위생관리의 중요성을 강조하였다.

James 등(4)이 제시한 세계 여러 나라에서의 가정내 냉장고 온도조사 결과를 보면 최초 1987년부터 최근까지의 조사결과 가정에서의 식품보관 온도의 중요성이 지속적으로 강조되어 왔다. 하지만 본 연구에서의 결과와 같이 아직까지도 많은 개선이 이루어지지 않은 것이 사실이며, 이에 대한 소비자 계몽이 필요하다 하겠다.

본 연구는 가정집 방문에 대한 사전 협의의 어려움 및 연구자의 지역적 위치의 한계로 조사대상 가구에 대해 전국적으로 통계적 유의 할당추출법을 적용하지 못했다는 한계점을 가지고 있지만, 보다 과학적인 사전 예측적 식중독 예방관리를 위해서는 가정내 냉장고 식품보관 온도분포에 대한 보다 광범위하고 체계적인 전국적 조사가 추가로 필요하다.

적정 확률분포모델 선정

조사된 139가구에서의 측정 수집된 13,458개의 온도자료를 fitting한 결과는 Table 2와 Fig. 1에 제시하였다. 상위 ranked 확률분포 모델은 LogLogistic, Lognormal, Gamma 등의 확률분포 모델로 나타났으며(Fig. 1에서 3개 라인), 이중 LogLogistic(-10.407, 13.616, 8.6107)분포 모델(Fig. 1에서 직선 라인)이 A-D, K-S test 결과, 가장 적절한 국내에서의 가정내 냉장고 온도분포 모델로 나타났다(Table 2). 일반적으로 입력자료에 대한 적정 확률분포 모델 선정을 위한 적합성 검정(GOF)은 A-D 또는 K-S test 등의 결과를 활용하는데, 이 test의 결과값이 작을수록 적합성은 더 높다고 판단한다. 따라서 본 연구에서 추정된 LogLogistic(-10.407, 13.616, 8.6107)은 상위 ranked 확률분포모델 중 A-D, K-S test 모두 가장 낮은 값으로 나타나(Table 2) MRA적용에 있어 입력변수로서 성장예측모델 등과 조합으로 활용이 가능하다고 할 수 있겠다. 이 LogLogistic 모델에 의해 추정된 가정내 냉장고 온도의 평균은 $3.52 \pm 3.01^\circ\text{C}$ (Table 2, Fig. 1에 우측표시)이며, 5°C 이상은 25.7%(Fig. 1에서 상단에 표시)로 추정되었다.

MRA에서 확률분포 모델을 이용하는 것은 조사된 자료의 불확실성 때문이다. 실제적인 연구대상인 모든 가정에 대해 전수조사를 실시하는 것은 시간 및 경제적으로 커다란 문제라 볼 수 있다. 따라서 확률적 접근 방법을 통해 MRA에서는 일부 조사된 자료를 바탕으로 전체를 추정할 수 있는 방법이 도입되고 있다. (1) 국제적으로 가정내 냉장고 온도에 대한 조사연구가 많이 이루어져 왔지만 본 연구에서와 같은 확률분포 모델로서의 표현은 최근에서야 이루어지고 있는 형편인데 이는 MRA의 적용에 있어 입력변수로서의 활용을 위한 것이라 볼 수 있다. 스페인의 Carrasco 등(8)은 리스테리아증 발생과 관련한 신선야채 샐러드에 대한 소비패턴과 더불어 냉장고에 대한 온도조사를 수행하였으며, 그 결과 온도분포가 Normal(6.62, 2.56)분포를 한다고 제시하여 9.3%가 10°C 를 초과하는 것으로 추정하였다. 하지만 확률분포 모델은 조사지역의 특성에 따라 차이가 나타날 수 있어, 외국에서 추정된 모델을 우리나라에서 바로 활용하기에는 어려움이 있다. 따라서 추후 보다 과학적인 MRA의 수행을 위해서는 식중독 발생과 관련되는 보다 많은 risk factors에 대한 조사와 이들에 대

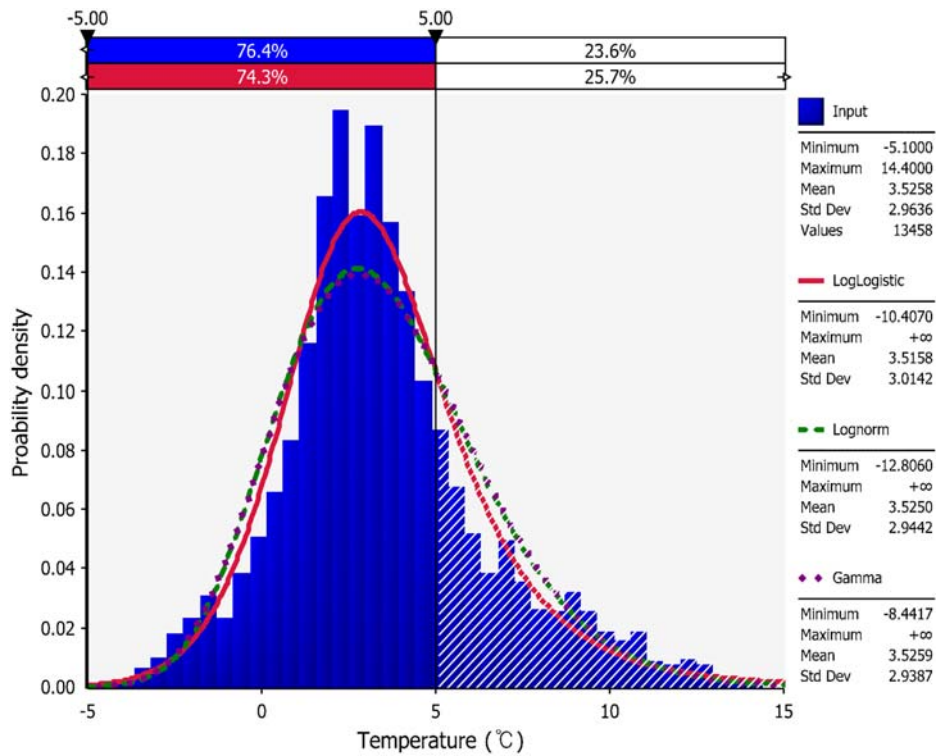


Fig. 1. The frequency distribution and fitting results (top three probability distributions) for food storage temperatures measured in surveys of domestic refrigerators in Korea.

Table 2. Statistical analysis for top three probability distribution models for food storage temperatures of domestic refrigerators in Korea

	Measured temperature (°C)	Probability distribution models		
		LogLogistic (-10.407, 13.616, 8.6107)	Lognormal (16.331, 2.9442)	Gamma (16.575, 0.72119)
Mean±SD	3.53±2.96	3.52±3.01	3.53±2.95	3.53±2.94
5% value (°C)	-1.00	-0.73	-0.83	-0.86
50% value (°C)	3.10	3.21	3.27	3.29
95% value (°C)	9.40	8.76	8.76	8.73
A-D statistic ¹⁾	-	24.1043	63.7784	70.3698
K-S statistic ¹⁾	-	0.0317	0.0524	0.0557

¹⁾For each of these statistics, the smaller the value, the better the fit.

한 우리나라 특성을 반영한 모델화가 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서와 같이 조사된 결과를 바탕으로 추정된 확률분포 모델은 MRA의 수행에 있어 특히, 노출평가에서 입력변수로 직접 활용할 수 있을 것이다. 또한 국내에서의 MRA 발전을 위해서는 본 연구에서와 같은 위험인자 관련 기초자료에 대한 분석이 필요하며, 조사된 자료를 바탕으로 확률통계적 접근방법론에 대한 연구가 반드시 수행되어야 할 것이다.

요약

본 연구는 국내에서의 가정내 냉장고 온도에 대한 조사를 수행하여, 현 시점에서의 냉장고에서의 식품보관 온도분포를 추정하였고, 이를 MRA(미생물 위해평가: Microbial risk assessment)의 입력변수로 활용할 수 있도록 적정 확률분포 모델을 제시하였다. 일반적으로 가정내 냉장고에서의 식품 보관온도는 식중독 발생

등에서 있어 중요한 위험인자로 작용하는 것으로 알려져 있다. 조사대상 가구는 총 139가구이었으며, 조사기간은 2009년 5월에서부터 9월까지 data logger를 이용하여 측정하였다. 조사된 냉장고 온도의 평균은 3.53±2.96°C로, 5°C 이상은 23.6%로 나타났다. 수집된 온도자료는 @RISK를 이용, 적합성 검정(GOF: K-S와 A-D test)을 수행하여 적정 확률분포모델에 대해 추정하였고, 이 중 LogLogistic(-10.407, 13.616, 8.6107)분포 모델이 가장 적절한 국내에서의 가정내 냉장고 식품보관 온도분포 모델로 나타났다. 이 확률분포 모델은 MRA적용에 있어 노출평가에서 입력변수로서 직접적 활용이 가능하다고 할 수 있겠다.

감사의 글

이 논문은 2008학년도 군산대학교 신입교수 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사 드립니다

문 헌

1. Oh DH, Rahman SME, Kim JM, Bahk GJ. The statistics probability analysis of pork-cutting processing conditions for microbial risk assessment. *J. Fd Hyg. Safety* 24: 63-68 (2009)
2. Brown M, Stringer M. *Microbiological Risk Assessment in Food Processing*. CRC Press, New York, USA. pp.105-108 (2002)
3. Bahk GJ. Present status and future prospects of quantitative microbial risk assessment (QMRA) application in Korea. pp. 157-177. In: *The 2nd KAST-USNA Symposium-the Science of Food Safety Risk Assessment*. August 24, The Korea Chamber of Commerce and Industry, Seoul, Korea. The Korean Academy of Science and Technology, Seoul, Korea (2009)
4. James SJ, Evans J, James C. A review of the performance of domestic refrigerators. *J. Food Eng.* 87: 2-10 (2008)
5. Kennedy J, Jackson V, Blair IS, McDowell DA, Cowan C, Bolton DJ. Food safety knowledge of consumers and the microbiological and temperature status of their refrigerators. *J. Food Protect.* 68: 142-1430 (2005)
6. Korean statistic information service (KOSIS). Statistical database-household. <http://www.kosis.kr>. Accessed Jan. 5, 2010.
7. Kosa KM, Cates SC, Karns SL, Chambers D. Consumer home refrigeration practice: results of a web-based survey. *J. Food Protect.* 70: 1640-1649 (2007)
8. Carrasco E, Perez-Rodriguez F, Valero A, Garcia-Gimeno RM, Zurera G. Survey of temperature and consumption patterns of fresh-cut leafy green salads: risk factors for listeriosis. *J. Food Protect.* 70: 2407-2412 (2007)
9. Marklinder IM, Liddblad M, Eriksson LM, Liddqvist R. Home storage temperature and consumer handling of refrigerated foods in Sweden. *J. Food Protect.* 67: 2570-2577 (2004)
10. Kennedy J, Jackson V, Blair IS, McDowell DA, Cowan C, Bolton DJ. Food safety knowledge of consumers and the microbiological and temperature status of their refrigerators. *J. Food Protect.* 68: 142-1430 (2005)