한국환경보건학회지, 제46권 제3호(2020)
J Environ Health Sci. 2020; 46(3): 353-358

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2020.46.3.353

원 저 | Original articles

우리나라에서 병원성 대장균 식중독 발생과 기후요소의 영향

김 종 규†
계명대학교 자연과학대학 식품보건학부 공중보건학전공

Influence of Climate Factors on the Occurrence of Pathogenic *Escherichia coli* Food Poisoning in Korea

Jong-Gyu Kim†
Faculty of Food and Health Sciences, College of National Sciences, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: An outbreak of pathogenic *Escherichia coli* food poisoning in Korea was first reported in 1998. They have continued to occure since then. This study was performed to describe the long-term trend in pathogenic *E. coli* food poisoning occurrences in Korea and examine the relation with climate factors.

Methods: Official Korean statistics on food poisoning outbreaks and meteorological data for the period 2002-2017 were used. Pearson's correlation analysis was employed to establish the relationship between outbreaks of pathogenic *E. coli* food poisoning and meteorological factors. The influence of meteorological factors upon the outbreaks was analyzed by regression analysis.

Results: During the study period, pathogenic *E. coli* food poisoning ranked second for the number of outbreaks (excluding unknowns) and first for the number of cases. Average temperature, the highest and lowest temperatures, precipitation, number of days with rainfall, and humidity all had a significant correlation with monthly number of outbreaks of pathogenic *E. coli* food poisoning ($p<0.001$). It was found that the lowest and highest temperatures and precipitation had a significant influence on the monthly number of outbreaks of food poisoning ($p<0.001$). These variables together explained 42.1% of the total variance, with the lowest temperature having the greatest explanatory power.

Conclusion: These results show that food poisoning incidences may have been influenced by climate change, especially warming. The results also suggest that pathogenic *E. coli* infections are now an important public health issue in Korea since it is one of the countries where climate change is occurring rapidly.

Key words: Pathogenic *E. coli* food poisoning, climate factors, the lowest temperature, Korea

I. 서 론

우리나라는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 비교적 뚜렷하게 나타나는 편이다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.[1)]

이러한 기후 특성상 과거로부터 식중독 중 세균성 식중독이 가장 많이 발생하는 경향이었으며,[2,)] 특히 살모넬라균 식중독 또는 포도상구균 식중독이 우위를 점하였다.[3)] 미국, 일본 등에서 대장균 O157:H7에 의한 집단식중독 사건이 사회적으로 부각된 것은

†**Corresponding author:** Faculty of Food and Health Sciences, College of National Sciences, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Republic of Korea, Tel: +82-53-580-5469, E-mail: jgkim@kmu.ac.kr
Received: 1 June 2020, Revised: 19 June 2020, Accepted: 19 June 2020

1980년대이지만 우리나라에서는 1998년 국내 최초의 대장균 O157 환자가 공식 발표됨에 따라 2000년 7월부터 장출혈성대장균감염증이 법정전염병으로 다루어지게 되었다.[4,5] 현행 집단식중독 통계에 병원성 대장균 식중독의 발생이 보고된 것은 2002년으로, 당 연도에 2건이 집계되었다. 이후 병원성 대장균 식중독은 지속적으로 증가하고 있다.

식품매개병원체가 기후 변화로 인하여 더 성행할 수 있다고 지적한 보고들이 있다. 예를 들면 2012년 유럽 질병예방통제센터에서 발표한 보고에 의하면 식품매개병원체의 전파는 기후변화의 영향을 받을 수 있다고 하였다. 여기서는 수 종의 식품 및 물매개성 병원체의 생존 가능성을 기온, 수온 및 강수량과 같은 기후변수와 관련하여 나타난 실제 현상으로부터 관찰하였다. 이 결과에서 일부 세균들은 계절적 변동성이 강해 전 세계 기온 및 수온 상승에 따라 최고 감염률이 증가하거나 변화할 수 있으며, 또 일부 세균의 감염률이 기온과 밀접한 관련이 있었다.[6-8]

이렇게 기후 변화와 관련하여 식중독 발생 및 증가는 어느 나라에서나 주요 관심사이며 공중보건에 중대한 위협을 주는 것으로 우려되고 있다. 온도와 강수량 패턴, 극한의 날씨 사건, 해양의 온난화 및 산성화를 포함한 기후 변수들이 특히 위험요인으로 지적되고 있다.[9] 이는 또 먹이사슬의 전체에 걸쳐 중요하고 복잡하며 상호 관련된 영향을 더욱 미칠 것이다.

실제로 우리나라에서 2016년에 평년기온이 2015년 대비 0.2°C 상승함에 따라 전체 식중독 환자수가 5,981명에서 7,162명으로 약 1.2배 증가하였다. 그 중 2,145명은 여름 폭염('16. 8~9)으로 인해 학교에서 발생한 식중독 사건에 연루된 것이었다.[10] 식품의약품안전처는 병원성 대장균 식중독에 대하여 여름철 식중독으로 각별히 주의할 것을 지시하고 있다.[11] 그렇지만 우리나라에서 병원성 대장균 식중독 발생과 기후요소와의 관련이 구체적으로 연구 보고되지는 않았다. 또 우리나라의 병원성 대장균 식중독 발생에 대한 장기간의 추이를 분석한 연구도 거의 없다.

이에 본 연구에서는 우리나라 집단식중독 공식 자료를 근거로 병원성 대장균 식중독의 장기간의 발생 추이를 살펴보고 기후요소와의 연관성을 분석하고자 하였다. 이로부터 본 연구는 기후변화에 의한 건강위험성을 나타내는 또 하나의 기초자료를 얻고자 하였다.

II. 연구 방법

자료원: 본 연구의 자료는 식품의약품안전처 및 질병관리본부에 신고된 집단식중독 자료에 근거한 통계청 통계자료를 이용하였다.[12-14] 이 식중독 통계는 2002년부터 작성되어 있다. 자료원으로부터 2002년부터 2017년까지의 병원성 대장균 식중독의 연도별 및 월별 자료를 추출하였다. 본 연구에서는 국가적으로 누구에게나 공개되는 이 자료들에 의거하여 분석을 수행하였으므로, 일반연구자에게 공개되지 않는 식중독 원인식품, 오염경로, 병원성 대장균 유형 등과 같은 항목에 대해서는 분석이 불가한 제한이 있음을 밝혀둔다. 동 기간의 기상자료는 기상청 자료를 이용하였다.[15] 분석에 포함된 기상요인은 평균기온(°C), 최고기온(°C), 최저기온(°C), 상대습도(%), 강수량(mm), 강수일수(day) 및 일조시간이었다.

자료 분석: 추출된 자료를 바탕으로 IBM SPSS Statistics Release 24를 활용하여, 16년간의 병원성 식중독 발생에 대한 통계적 분석을 수행하였다. 발생횟수(건수) 및 환례수(환자수)의 연도별 추세를 그래프로 나타내었다. 발생건수 및 환자수의 계절별 비율은 파이그래프로 나타내었다. 기후요소들과 식중독 발생 사이의 관련성을 알아보기 위하여 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 하였다. 주요 기후요소로는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 습도, 강수량, 강수일수, 일조시간을 고려하였다. 이러한 기후요소들을 고려한 것은, 16년간의 자료들에 대한 결손치가 없었기 때문이다. 기후요소들이 병원성 식중독 발생에 영향 미치는 정도를 알아보기 위하여 회귀분석을 수행하였다.

III. 결 과

1. 병원성 대장균 식중독 발생 추이

연구기간 동안에 전체 식중독 발생 중에서 병원성 대장균 식중독은 발생건수 520건(19.7%), 환자수 26,923명(22.0%)이었다. 2002년에는 2건 발생에 환자수 63명이었지만, 이후 지속적으로 증가하여 2007년을 제외하고 환자수가 1,000명 이상이었다. 최근 2년 동안 연간 발생건수는 40~50건 이상, 환자수는 2,000명 이상을 기록하고 있다(Fig. 1). 이는 총 발

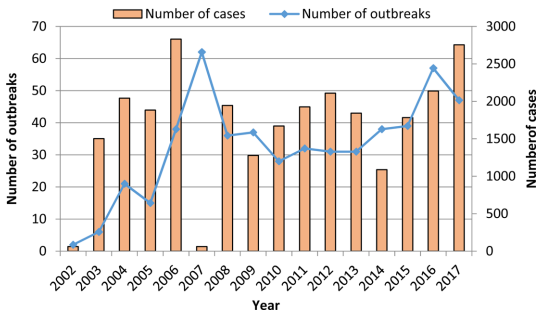

Fig. 1. Occurrence of pathogenic *E. coli* food poisoning in Korea from 2002 to 2017. Number of outbreaks (depicted by line graph) and number of cases (depicted by bar graph)

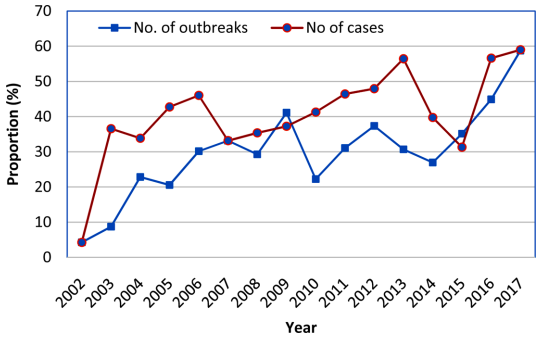

Fig. 2. Changes in the proportion of pathogenic *E. coli* food poisoning to the total bacterial food poisoning by year in Korea

생건수(원인물질 불명 제외) 중에서 2위(12.3%)이며, 세균성 식중독 발생건수 중에서 단연 1위를 차지하고 있다. 환자수에서는 총 환자수 중 1위이며 전체의 1/4 이상(25.1%)을 차지하여 상당하다. 연도별로 총 발생건수 중 병원성 대장균 식중독이 차지하는 비율은 2.6% (2002년)~16.2% (2009년)로, 2004년 이후 10% 이상으로 발생하고 있다. 연도별 총 환자수 중 병원성 대장균 식중독 환자수의 비율은 2.1% (2002년)~38.5% (2017년)로 넓은 범위에 있었다. 현행 식중독 작성 형태가 시작된 2002년에는 오직 2건으로 낮은 비율이나 2015년 23.9%, 2016년 35.7%, 그리고 2017년 38.5%로 증가 경향이다. 세균성 식중독 중 병원성 대장균 식중독이 차지하는 비율은 발생건수 4.3~58.8%, 환자수 4.2~59.0%이며, 모두 최근 2년간 50% 내외로 나타나고 있다(Fig. 2).

연구기간 동안에 기후요인이 변화하는 시간적 변동(월별)에 따라 병원성 대장균 식중독 발생을 살펴

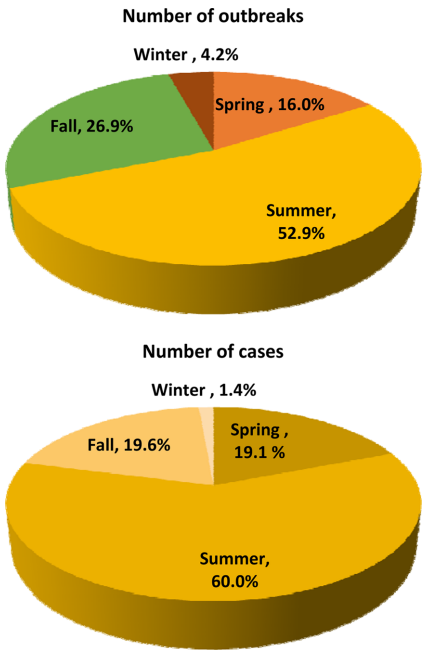

Fig. 3. Seasonal variation of pathogenic *E. coli* food poisoning in Korea from 2002 to 2017. Upper: number of outbreaks, lower: number of cases

보았다. 병원성 대장균 식중독 발생은 월별로 비교적 뚜렷한 증감을 보였다. 대개 3월에 발생이 높아지며 4~5월에 계속 증가하여 6월에 첫 번째 피크를 보이다가 7월에 다소 감소하지만 8월에 다시 증가하여 두 번째 피크로 정점을 보였다. 9월에 다소 감소하다가 10월부터는 급격히 감소하였다. 이러한 양상은 발생건수와 환자수에 있어서 흡사하게 나타났다(Figure not shown). 계절별로 발생건수에 있어서는 여름(52.9%)>가을(26.9%)>봄(16.0%)>겨울(4.2%) 순이었다. 환자수에 있어서도 이러한 계절성은 유사하여 여름(60.0%)>가을(19.6%)>봄(19.1%)>겨울(1.4%) 순이었다(Fig. 3). 이렇게 병원성 대장균 식중독은 기온이 높은 여름철 발생이 우세하였다.

2. 기후요소와 병원성 대장균 식중독 발생의 관련성

병원성 대장균 식중독의 월별 발생건수와 주요 기후요소의 평균값과의 상관관계를 살펴본 결과는 Table 1과 같다. 평균기온(r=0.584), 최고 및 최저기온(r=0.577, r=0.589), 그리고 습도(r=0.493)가 유의한 양의 상관성을 보였으며, 강수량(r= –0.272)과 강수일수(r= –0.320)가 유의한 음의 상관성을 보였다($p<0.05$)

Table 1. Pearson's correlation coefficients between the climate factors and number of outbreaks of pathogenic *E. coli* food poisoning

	No. of outbreaks	Average temp.	Highest temp.	Lowest temp.	Precipitation	No. of days with rainfall	Daytime hours	Relative humidity
No. of outbreaks	1							
Average temp.	.584***	1						
Highest temp.	.577***	.996***	1					
Lowest temp.	.589***	.996***	.986***	1				
Precipitation	-.272***	.679***	.637***	.713***	1			
Number of days with rainfall	-.320***	.602***	.549***	.643***	.873***	1		
Daytime hours	-.035	-.041	.028	-.114	-.472***	-.578***	1	
Relative humidity	.493***	.788***	.747***	.829***	.737***	.725***	-.532***	1

***p<0.001

Table 2. Climate factors affecting the outbreaks of pathogenic *E. coli* food poisoning

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Seq MS	*F*-value	*P*-value
Regression	3	1,041.13	42.05%	1,041.13	347.044	45.48	0.000
Lowest temp.	1	857.95	34.66%	179.72	857.95	112.44	0.000
Precipitation	1	110.75	4.47%	181.87	110.747	14.51	0.000
Highest temp.	1	72.43	2.93%	72.43	72.435	9.49	0.002
Residual error	188	1,434.53	57.95%	1,434.53	7.631		
Total	191	2,475.67	100.00%				

(Table 1). 변수들 중 특히 평균기온, 최고기온 및 최저기온이 비교적 높은 상관계수를 나타내었다. 일조시간은 유의미하지 않은 음의 상관관계를 나타내었다.

병원성 대장균 식중독 발생에 영향을 미치는 기후요인에 대한 회귀분석 결과 최저 및 최고 기온, 그리고 강수량이 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다(β=0.767 p<0.001). 이들 세 가지 변수의 설명력은 42.1%였다. 그 중 최저기온이 34.7%로 대부분을 차지하였으며, 강수량은 4.5%, 그리고 최고기온은 2.9%의 설명력을 나타내었다(Table 2). 강수일수, 일조시간 및 습도는 유의미한 영향을 미치지 않았다.

IV. 고 찰

본 연구 결과 연구기간(2002~2017년) 중 병원성 대장균 식중독은 계절성이 비교적 뚜렷한 발생 형태를 보여 기후변화와 관련성이 높을 가능성을 보였다. 즉 계절적으로 여름철(6~8월)에 병원성 대장균 식중독의 발생건수와 환자수 모두 세균성 식중독의 50% 이상으로 나타났다. 이러한 가능성을 확인하기 위하여 기후요소들과 병원성 식중독 발생건수와의 상관분석을 시행한 결과에서 기후요소들 중 일조시간을 제외한 6가지 기상요인(평균기온, 최고 및 최저기온, 강수량, 강수일수, 습도)이 모두 유의한 상관관계를 보였으며, 특히 평균기온, 최고 및 최저기온이 비교적 큰 상관계수를 나타내었다. 또 기상요인들이 병원성 대장균 식중독 발생건수에 끼친 영향을 보기 위하여 회귀분석한 결과 최저기온(34.7%)이 가장 큰 영향을, 다음으로 최고기온, 그리고 강수량이 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났으며 이들 세가지 변수의 설명력은 42.1%이었다. 대장균의 생육조건이 유리한 여름철에 식중독 발생에 더욱 주의해야 함을 여실히 나타내었다. 우리나라의 무덥고 강수량이 비교적 많은 여름철은 병원성 대장균 식중독이 발생할 여건에 호적 조건일 가능성이 많은 것이다. 우리나라는 기후 변화가 빠른 나라 중 하나로, 특히 온난화는 식량 안보를 위협하고 미래의 사망 부담을 증가시킬 것이 이미 지적되어 있다.[16,17]

이상기온, 폭염 등과 같이 통제가 어려운 환경변화에 기인한 식중독 발생 및 증가는 소비자들에게 불안 요인으로 대두되고 있다 일부 자료에 의하면 평균기온이 1°C 상승할 때마다 식중독 발생률은 약 5.27%, 환자수는 6.18% 증가할 것으로 예측되며, 이러한 추세에 따르면 2090년에는 식중독의 발생건수가 최대 42% 증가할 것으로 내다보았다.[18] 병원성 식중독 발생의 병인론이 매우 다양한 만큼 본 연구의 자료에서 더 상세한 분석을 위해서는 감염경로와 원인식품을 따져 볼 필요가 있다. 왜냐하면 병원성 대장균 식중독의 원인식품 중 하나로 나타나는 것이 신선 채소류로서, 우리나라의 경우 여름철에 섭취가 비교적 많은 편이다. 이는 가축과 야생동물에 의한 토양 및 지하수 오염과 이에 따른 농작물의 오염으로 지적되어 있다.[19-21]

그렇지만 현행 우리나라 식중독 통계에는 이러한 정보를 제공하지 않고 있어 상세하게 파헤쳐 볼 수 없다는 제한점이 있다. 다만 7월에 병원성 대장균 식중독 발생이 약간의 소강 상태를 보이는 것은 이 시기에 각급 학교의 방학이 있음에 기인한다고 유추된다. 발생건수와 환자수가 모두 6월에 첫 번째 피크를 보이고 7월에 약간 감소하였다가 8월에 다시 증가하여 정점을 보이는 것이 이를 뒷받침한다.

한편 연구기간 동안 우리나라에서 병원성 대장균 식중독은 발생건수 2위, 환자수 1위를 차지하였으며 연도별로 증가하는 추세를 보였다. 물론 이는 진단기술의 확립과 발전으로 과거에 비하여 병원성 대장균의 검출률이 높아졌음에 기인한 측면도 있을 것이다. 이를 감안하더라도 병원성 대장균 식중독의 환자수가 전체의 25%를 넘는 수준으로 공중보건학상 큰 주의와 예방이 절실하게 필요하다. 현재 우리나라는 기후변화가 빠르게 진행되는 나라로 꼽히고 있어 지금까지와 같은 추세로 우리나라의 기후변화가 진행되고 다른 개입이 없다면, 병원성 대장균 발생은 계속 증가할 수 있다는 바를 본 연구결과로부터 예상할 수 있다. 본 연구를 통하여 이와 같이 세균성 식중독 중 병원성 대장균 식중독의 비율이 우위를 차지함이 뚜렷하며 기후요소 변동의 영향이 나타났지만, 한편으로 2000년대에 국내에서도 병원성 대장균의 감별/진단 능력이 진일보한 측면도 전혀 무시할 수가 없다. 그러므로 앞으로 세균성 식중독과 바이러스성 식중독, 자연독 식중독 등의 발생 추이를 함께 비교 검토함 필요가 있다. 아울러 기후요소 변동에 따른 식중독 발생의 예측 모델이 만들어진다면 더욱 좋을 것이며. 이는 차기 연구에 기대한다.

본 연구에서는 몇 가지 개선안을 제시하고자 한다. 첫째, 우선적으로 식중독 역학조사에서 원인식품 자료를 확보하는 방안을 관련 행정 당국이 가능한 빨리 마련하기를 바란다. 우리나라에 세균성 식중독에 관한 위해기술서(risk profile)[22]가 작성되어 있다. 병원성 대장균의 경우 신선채소류 등 식재료 중 원자재의 오염이 문제가 되는 경우가 적지 않으므로[21] 조리 이전의 원자재부터 분석을 실시한다면, 병원성 대장균의 오염경로와 원인식품을 확실하게 규명할 수 있을 것으로 본다. 둘째, 원인식품 정보(비록 불분명이라 할지라도 유추되는 것)를 식중독 통계에 삽입 및 공개한다면 관련 종사자 및 연구자들에게 좋은 정보가 되어 식중독 발생을 낮출 수 있는 하나의 동기 유발이 될 것으로 본다. 셋째, 병원성 대장균 식중독에는 몇 가지 부류(EAEC, EHEC, EPEC, ETEC)가 있다. 현재 이것들이 분류되지 않은 채로 다만 병원성 대장균 식중독으로 일괄적 처리되어 통계가 작성되고 있으며, 각각의 병원성 대장균 식중독 사례에 대한 소수의 산발적 보문들만이 있다. 이를 분류하여 통계가 작성된다면 우리나라에서 가장 많은 환자수를 내고 있는 병원성 대장균 식중독의 발생 특징을 명료하게 알 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구는 우리나라에서 병원성 대장균 식중독 발생의 장기간 추이와 이에 대한 기후요소의 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 지난 십 수년간(2002~2017) 식중독 발생 및 기상 데이터에 관한 공식 통계를 이용하였다. 기후요인과 병원성 대장균 식중독 발생 사이의 관계를 알아보기 위해 피어슨 상관분석이 이용되었으며, 회귀분석을 통해 각 기후요인이 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 연구기간 동안 병원성 대장균 식중독은 발생건수에서 2위(불명을 제외하고), 환자수에서 1위를 차지하였다. 평균기온, 최고 및 최저 기온, 강수량, 강수일수 및 습도가 병원성 대장균 식중독의 월별 발생건수와 유의한 양의 상관관계를 나타내었다($p<0.001$). 또 3가지 기상 변수(최저 및 최고 기온 및 강수량)가 병원성 대장균 식중독

의 발생건수에 유의한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다 (p<0.001). 이 변수들은 전체 분산의 42.1%를 설명했으며, 최저기온은 가장 큰 설명력을 나타내었다 (34.7%). 본 연구결과, 병원성 대장균 식중독은 이제 한국에서 세균성 식중독 발생에 가장 우위를 점하고 있음을 나타내었다. 또 병원성 대장균 식중독의 발생이 주요 기상변수와 관련이 있고 특히 최저 및 최고기온과 강수량이 유의한 영향력을 보여, 이는 병원성 대장균 식중독 발생이 기후변화에 의해 영향을 받았을 수 있음을 강력히 시사한다. 또 이 결과는 병원성 대장균 감염 예방이 이제 우리나라에서 공중보건상 중요한 과제임을 시사한다. 특히 우리나라는 기후 변화가 빠르게 일어나고 있는 나라이므로 이에 대한 대응방안 마련이 시급하다고 본다.

References

1. KMA. Weather nuri. https://www.weather.go.kr/weather/climate/average_south.jsp [assessed April 20, 2019].
2. Lee YW, Kim JG. A review study of food poisoning in Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety.* 1989; 4: 199-255.
3. Lee YW, Kim JG. A study on the trend of food poisoning outbreaks, reported cases in Korea. *Korean Journal of Food Hygiene*. 1987; 2: 215-237.
4. Kim JG. Food Hygiene and Sanitation. Seoul: Shinkwang Publishing Co. 2018.
5. Heo YJ. Current status and countermeasures of food poisoning in Korea. *Monthly Industrial Hygiene* 1999; 136: 4-14.
6. Marketwatch, JP. Climate change could be poisoning your food. New York Post February 1, 2018. https://nypost.com/2018/02/01/climate-change-could-be-poisoning-your-food/ [assessed April 20, 2020].
7. Andrews J. Climate Change May Impact Outbreaks April 2, 2012. https://www.foodsafetynews.com/2012/04/european-study-climate-change-may-impact-foodborne-illness-outbreaks/#.WnHZ566nHmH [assessed April 20, 2020].
8. European Centre for Disease Prevention and Control. https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data?f%5B0%5D=output_types%3A1244&ID=848 [assessed April 20, 2020].
9. Smith BA, Fazil A. How will climate change impact microbial foodborne disease in Canada? *CCDR*. 2019; 45(4): 108-113.
10. Ko HJ. Analysis and evaluation of food poisoning safety management. Seoul: National Food Safety Information Service & MFDS Report. 2017.
11. Anonymous. 2 August 2019. Beware of pathogenic *E. coli* food poisoning in summer. [KFDA press release].
12. Statistics Korea (SK). The numbers of food poisoning outbreaks and cases, 2006~2015. Daejeon: SK. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2761 [assessed April 20, 2019].
13. Ministry of Food and Drug Safety of Korea (MFDS): Food Poisoning Outbreak Statistics 2002~2017. Osong: MFDS.
14. Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC). Development of operating system for food poisoning monitoring (K-CaliciNet) & gene analysis module. 2010. Daejeon: KCDC.
15. Korea Meteorological Administration (KMA). Climate of Korea. https://web.kma.go.kr/eng/biz/climate_01.jsp [assessed April 20, 2019].
16. Kim JG, Kim JS. Impact of climate change on food safety: a mini-review. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2016; 42(6): 465-477.
17. Yang J, Ha J. Estimation of future death burden of high temperatures from climate change. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2013; 39(1): 19-31.
18. Jeong GH. International trends in food safety management due to climate change and forecast of food poisoning in Korea, *Climate Change and Health Forum*. 2009; 6: 81.
19. Semenov AV, van Bruggen AHC, van Overbeek L, Termorshuizen AJ, Semenov AM. Influence of temperature fluctuations on *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* in cow manure. *FEMS Microbiology Ecology.* 2007; 60(3): 419-428.
20. Semenov AV, van Overbeek L, van Bruggen AHC. Percolation and survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteric* serovar *typhimurium* in soil amended with contaminated dairy manure or slurry. *Applied and Environmental Microbiology.* 2009; 75(10): 3206-3215.
21. Farber JM. Everything you need to know about fresh produce and *E. coli*. The Conversation. January 23, 2018. https://theconversation.com/everything-you-need-to-know-about-fresh-produce-and-e-coli-90230 [assessed April 20, 2020].
22. Ministry of Food and Drug Safety. Microbial Risk Profile. *Pathogenic E. coli*. Osong: MFDS. 2015; 163-197.

<저자정보>

김종규(교수)