

총 설

**바이러스에 의한 최근(2010-2019) 국내 식중독 사고와
검출법 및 제어법에 대한 동향 조사**

권승욱¹ · 김상순^{1,*}
¹단국대학교 식품공학과

**Recent (2010-2019) foodborne outbreaks caused by viruses in
the Republic of Korea along with their detection and inactivation methods**

Seung-Wook Kwon¹ and Sang-Soon Kim^{1,*}

¹Department of Food Engineering, Dankook University

Abstract In this review, recent foodborne outbreaks caused by viruses in the Republic of Korea (2010-2019) were analyzed. The human norovirus was found to be the major foodborne virus causing an average of 94.9% of the viral outbreaks. Reverse-transcription polymerase chain reaction (PCR) with electrophoresis has been widely used to detect viruses, but several rapid detection methods, including real-time PCR, multiplex PCR, and quantum dot assay, have also been suggested. For norovirus inactivation studies, surrogates such as murine norovirus and feline calicivirus have been widely used to identify the reduction rate owing to the limitations in laboratory cultivation. Conversely, direct cell infection studies have been conducted for other foodborne viruses such as adenovirus, astrovirus, rotavirus, and hepatitis A or E virus. Moreover, virucidal mechanisms using various physical and chemical treatments have been revealed. These recent studies suggest that rapid in situ detection and effective control are valuable for ensuring food safety against viral infections.

Keywords: food safety, foodborne virus, norovirus, detection, inactivation

서 론

최근 코로나바이러스 사태(COVID-19)로 인하여 바이러스 감염에 대한 사람들의 관심이 커지고 있다. 현재(2020년 12월) 문제가 되고 있는 코로나바이러스의 경우에는 주로 비말을 통하여 전파된다고 알려져 있다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 코로나바이러스의 음식을 통한 전파 가능성을 낮게 보고하고 있지만(WHO, 2020) 여전히 식품을 통한 전파 가능성이 논의되고 있다. 식품을 매개로 전파되는 식중독 바이러스는 노로바이러스(norovirus), 아데노바이러스(adenovirus), 로타바이러스(rotavirus), 아스트로바이러스(astrovirus), A형 및 E형 간염 바이러스(hepatitis A or E virus) 등이 알려져 있다. 이 중에서 가장 빈번하게 식중독을 유발한다고 알려져 있는 노로바이러스는 칼리시바이러스과(caliciviridae)에 속하며 RNA 단일 가닥(single-stranded RNA)을 가지고 있는 바이러스로 GI, GII 및 GIV genogroup이 급성 장염을 일으킨다고 알려져 있다(Kim 등, 2008). 노로바이러스와는 다르게 아데노바이러스는 이중 가닥 DNA (double-stranded DNA)를 가지고 있기 때문에 화학, 물리적 처리에 안정적이며 장기간 생존이 가능하다고 알려져 있다(Grøndahl-Rosado 등, 2014).

로타바이러스는 RNA 이중 가닥(double-stranded RNA)을 가지고 있는 바이러스로 개발도상국 및 선진국에서 영유아 급성 설사 증의 가장 중요한 원인체 중 하나로 인식되며 급성 장관염의 30-50%를 차지하여 매년 약 44만명의 아이가 로타바이러스 감염에 의해 사망한다고 알려져 있다. 또한 국내 장염 환자의 분변에서도 로타바이러스 검출 사례가 보고되고 있다(Hyeon 등, 2011; Oh 등, 2013). RNA를 유전체로 갖고 있는 아스트로바이러스는 영유아 장염의 주요 원인 바이러스로 보고되고 있으며 이 외에도 단일 가닥 RNA를 유전체로 갖고 있는 A형 및 E형 간염 바이러스에 의한 식중독 사고들이 최근까지 보고되고 있는 실정이다(CDC, 2006; Yin 등, 2019).

이러한 식중독 바이러스로부터 식품 안전을 확보하기 위해서는 신속하게 바이러스를 검출하고 제어하는 것이 중요하다. 식품에서 바이러스를 검출하기 위해 현재 가장 널리 이용되는 방법 중 하나는 중합효소연쇄반응(Polymerase chain reaction, PCR)을 이용하는 방법이며 대부분의 바이러스가 RNA를 유전물질로 갖고 있기 때문에 이를 역전사효소(Reverse transcriptase)를 이용하여 cDNA로 역전사(Reverse transcription; RT) 시킨 후 증폭하여 바이러스를 검출할 수 있다. 또한 이렇게 식품에서 검출되는 바이러스를 제어할 수 있는 여러 방법들이 제시되고 있다. 예를 들어, Yu 등(2016)은 굴을 정화(Depuration)함으로써 노로바이러스의 수를 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 하지만, 식품을 보다 안전하게 섭취하기 위해서는 직접적인 제어 공정의 적용이 필요하며 이를 위한 다양한 열처리 및 비가열 처리 방법들이 제시되고 있다. 열처리의 경우 끓는 물 등에 넣는 방식 등을 통해 바이러스

*Corresponding author: Sang-Soon Kim, Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan, 31116, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-3564

E-mail: ssk@dankook.ac.kr

Received October 16, 2020; revised December 24, 2020;

accepted December 28, 2020

스를 제어할 수 있지만(Park 등, 2015) 식품의 품질이 변질 될 수 있기 때문에 이를 대체하기 위한 다양한 방법들의 제시가 필요하다. 식중독 균 제어에 있어서는 식품의 품질을 보존하기 위한 신 가열 기술로 음가열(Ohmic heating), 전자기파 가열(Electromagnetic heating), 적외선 가열(Infrared heating), 과열 수증기 처리(Superheated steam) 등이 제시되고 있다(Ban 등, 2014; Jeong 등, 2019). 비가열 처리의 경우에는 초고압(High pressure), 자외선(Ultraviolet irradiation), 가스처리(gas treatment), 펄스전기장(Pulsed electric fields), 방사선 조사(Food irradiation), 콜드플라즈마(Cold Plasma) 처리 등이 적용되고 있는 실정이다(Han 등, 2020; Park 등, 2019b). 이러한 기술 중 일부는 바이러스 제어에 적용되고 있으나 현재까지는 식중독 균 제어 적용에 비해서는 활발하게 이용되고 있지 않다. 따라서, 바이러스 제어에 있어 현재까지 적용되고 있는 기술 및 앞으로 활용 가능한 기술들에 대한 논의가 필요한 실정이다.

식중독 바이러스에 대해 기존 여러 리뷰 논문이 보고되었으나 새로운 검출 및 제어 기술들이 보고됨에 따라 이를 포함한 최신의 리뷰 논문이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 최근 10년간(2010-2019) 국내에서 바이러스에 의해 발생한 식중독 사고를 분석하여 식중독 발생 건수와 이로 인한 환자수로 나누어서 나타냈다. 또한 이러한 바이러스를 검출하고 제어할 수 있는 방법들을 노로바이러스와 기타바이러스로 나누어서 정리하였다. 국내외에서 최근(2010-2019)에 보고된 논문들을 바탕으로 현재 식중독 바이러스로부터 식품안전을 확보하기 위한 방안들을 정리하였으며 이를 바탕으로 앞으로의 연구 방향에 대해서 논의하였다.

논문 검색 및 수집

바이러스에 의한 식중독 통계는 식품의약품안전처 산하 식품안전나라의 자료를 바탕으로 2010년부터 2019년까지의 집단식중독(동일한 식품의 섭취로 인하여 2인 이상의 사람이 유사한 질병을 경험한 사건) 통계를 정리하였다(MFDS, 2020). 최근의 연구 동향을 살펴보기 위해 2010년 이후에 작성된 국내외 논문을 구글학술검색에서 ‘바이러스 검출(virus detection)’, ‘식품(food sample)’, ‘바이러스 제어(virus inactivation)’, ‘노로바이러스(norovirus)’, ‘아데노바이러스(adenovirus)’, ‘간염 바이러스(hepatitis A or E)’, ‘아스트로바이러스(astrovirus)’, ‘로타바이러스(rotavirus)’ 등의 단어를 조합하여 검색하였다.

우리나라에서 2010-2019년 사이의 바이러스 감염에 의한 식중독 사고

식품안전나라의 자료를 바탕으로 우리나라에서 최근(2010-2019)까지 바이러스에 의한 식중독 사고가 지속적으로 발생함을 확인할 수 있었다(Table 1). 식품안전나라에서는 국내 집단 식중독 사고(동일한 식품의 섭취로 인하여 2인 이상의 사람이 유사한 질병을 경험한 사건)에 대해서 발생 건수 및 환자수를 바탕으로 통계를 보고하고 있으며 바이러스에 의한 식중독 사고는 노로바이러스에 의한 것과 기타 바이러스에 의한 것으로 나뉘어있다. 먼저, 발생 건수를 기준으로 살펴보면 2010-2019년 10년 동안 바이러스에 의한 식중독 사고는 총 488건이 보고되었으며 이 중 노로바이러스에 의한 사고가 463건으로 94.9%를 차지하였고 기타 바이러스에 의한 사고가 25건으로 5.1%를 차지했다. 환자수를 기준으로 살펴보면, 10년동안 바이러스에 의한 식중독 환자는 13,696명이 보고되었으며 그 중 노로바이러스에 의한 환자수는 13,102명으로 95.7%를 기타 바이러스에 의한 환자수는 594명으로 4.3%를 차지했다. 연도별로 편차를 살펴보면 노로바이러스 경우 10년간의 발생 건수의 표준편차는 9.5건이었으며 최근 10년 기준으로는 2010년과 2011년에 31건으로 가장 적게 발생하였고 2018년에 57건으로 가장 많이 발생하였다. 기타 바이러스의 경우는 10년간 발생 건수의 표준편차는 2.2건으로 2016년에는 발생 건수가 보고되지 않은 반면 2019년에는 8건으로 가장 많은 발생 건수가 보고되었다. 환자수에 대한 연도별 편차를 살펴보면, 노로바이러스는 10년간 환자수의 표준편차는 383.9명이었으며 2014년에 739명으로 가장 적은 환자를 보고한 반면 2010년에 1,994명으로 가장 많은 환자를 보고하였다. 기타 바이러스에 대한 환자수 표준편차는 73.5명으로 2016년에 환자가 보고되지 않았고 2019년에 230명으로 가장 많은 환자가 보고되었다. 기타 바이러스에 의한 식중독 사고의 경우 발생 건수와 환자수가 비례하는 경향을 보였으나 노로바이러스의 경우에는 2010년에는 발생 건수가 적음에도 환자수가 많이 보고되는 예외적인 경우가 확인되었다. 이를 통해, 식중독 사고를 분석함에 있어서 발생 건수와 더불어 환자수에 대한 수치를 반드시 고려해야 함을 알 수 있다.

앞선 결과에서 살펴볼 수 있듯이 우리나라에서 바이러스에 의한 최근 식중독 사고는 노로바이러스에 의한 것이 대부분을 차지하였다. 따라서 지난 10년간 노로바이러스에 의한 식중독 사고

Table 1. Number of foodborne outbreaks and patients caused by virus infection in the Republic of Korea from 2010 to 2019

			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	SD ¹	
Outbreaks	Norovirus	Number	31	31	50	43	46	58	55	46	57	46	463	9.5	
		Ratio (%)	93.9	91.2	98.0	97.7	92.0	96.7	100.0	95.8	96.6	85.2	94.9	4.3	
	Other virus	Number	2	3	1	1	4	2	0	2	2	2	8	25	2.2
		Ratio (%)	6.1	8.8	2.0	2.3	8.0	3.3	0.0	4.2	3.4	14.8	5.1	4.3	
Patients	Norovirus	Number	1,994	1,524	1,665	1,606	739	996	1,187	968	1,319	1,104	13,102	383.9	
		Ratio (%)	99.6	98.6	98.7	98.6	87.9	99.1	100.0	94.9	91.2	82.8	95.7	5.9	
	Other virus	Number	8	21	22	22	102	9	0	52	128	230	594	73.5	
		Ratio (%)	0.4	1.4	1.3	1.4	12.1	0.9	0.0	5.1	8.8	17.2	4.3	5.9	

¹SD: Standard Deviation

Table 2. Number of foodborne outbreaks and patients caused by norovirus infection in the Republic of Korea from 2010 to 2019^{1,2}

	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwang-ju	Dae-jeon	Ulsan	Sejong	Gyeong-gi	Gang-won	Chung-buk	Chung-nam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju	Unknown	Total
2010	3	0	0	1	1	0	1	N.A	12	3	1	1	3	0	1	1	3	N.A	31
2011	5	1	0	3	1	1	1	N.A	8	2	1	2	3	1	1	0	1	N.A	31
2012	6	2	2	1	2	0	1	0	19	3	2	1	2	2	5	2	0	N.A	50
2013	5	1	1	1	1	1	2	1	7	4	0	0	9	7	0	0	0	3	43
2014	7	1	2	3	0	2	1	0	18	3	1	1	3	1	2	1	0	0	46
2015	6	1	4	2	1	0	1	0	18	4	3	5	4	2	1	5	0	1	58
2016	7	1	8	3	1	0	0	0	15	3	4	1	1	1	4	2	1	3	55
2017	1	3	3	3	0	2	0	1	20	6	1	2	0	0	1	1	0	2	46
2018	17	3	0	2	1	1	2	0	9	2	6	0	1	5	3	4	0	1	57
2019	4	2	0	2	0	0	0	1	16	1	6	3	1	3	1	5	0	1	46
Average	6.10	1.50	2.00	2.10	0.80	0.70	0.90	0.38	14.20	3.10	2.50	1.60	2.70	2.20	1.90	2.10	0.50	1.57	46.3
SD	4.25	1.00	3.32	0.55	0.55	0.89	0.89	0.55	4.16	1.92	2.12	1.92	1.52	1.92	1.41	1.82	0.45	0.89	5.94
	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwang-ju	Dae-jeon	Ulsan	Sejong	Gyeong-gi	Gang-won	Chung-buk	Chung-nam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju	Unknown	Total
2010	205	0	0	64	5	0	5	N.A	933	276	85	15	183	0	15	107	101	N.A	1,994
2011	140	19	0	226	45	31	16	N.A	689	96	7	33	161	15	22	0	24	N.A	1,524
2012	272	103	129	44	74	0	27	0	294	338	67	15	76	60	117	49	0	N.A	1,665
2013	94	2	40	35	9	4	67	26	170	412	0	0	562	139	0	0	0	46	1,606
2014	137	33	15	45	0	51	33	0	207	27	13	25	46	12	89	6	0	0	739
2015	268	6	41	24	20	0	6	0	243	45	85	49	129	12	19	40	0	9	996
2016	216	35	176	29	10	0	0	0	324	21	81	14	5	11	88	24	46	107	1,187
2017	12	44	19	11	0	179	0	3	378	185	21	7	0	0	2	32	0	75	968
2018	583	48	0	20	20	4	84	0	177	95	116	0	6	40	54	69	0	3	1,319
2019	102	66	0	268	0	0	0	5	222	4	113	137	5	72	5	95	0	10	1,104
Average	203	36	42	77	18	27	24	4	364	150	59	30	117	36	41	42	17	36	1310
SD	157	32	61	92	24	56	30	9	251	146	44	41	171	44	43	38	33	42	384

¹Unknown results were not indicated between 2010 and 2012

²Sejong is being designated as a city from 2012-

를 지역별로 나누어서 살펴보았다(Table 2). 발생 건수에 대한 통계를 살펴보면, 경기도에서 평균 14.2건의 노로바이러스 식중독 사고가 발생하여 가장 높은 수치를 기록하였으며 그 뒤를 이어서 서울(6.10), 강원(3.10), 전북(2.70), 충북(2.50) 등에서 높은 발생률을 기록하였다. 노로바이러스에 의한 식중독 사고를 환자수 기준으로 살펴보면 경기도에서 평균 364명으로 가장 많은 수의 환자가 보고되었으며 서울(203), 강원(150), 전북(117), 인천(77) 등이 뒤를 이었다. 추가적으로 통계청에서 공시하는 지역별 인구 통계(보충자료 1)를 바탕으로 식중독 사고를 분석하였다. 지역별 발생 건수를 지역별 인구수(단위: 천만명)로 나눈 결과, 세종이 22.7로 가장 높은 수치를 나타냈으며 강원(20.5)과 충북(15.8)이 뒤를 이었다. 마찬가지로, 지역별 환자수를 지역별 인구수로 나눈 결과 강원도가 9.9로 가장 높은 수치를 나타냈으며 전북(6.4)과 충북(3.7)이 뒤를 이었다. 세종의 경우 인구수가 다른 지역에 비해 현저하게 적기 때문에 발생건수가 상대적으로 크게 나타난 것으로 생각되며 강원도의 경우에 겨울철 해산물을 소비하는 관광객이 많아 식중독 사고 건수가 인구수에 비해 높게 나타나는 것으로 추정된다. 2020년에는 COVID-19로 인해 이전 연도에 비

해 관광객이 적었기 때문에 이를 본 논문에서의 통계와 비교한다면 앞선 가설을 검증할 수 있을 것이라 사료된다. 지역별 식중독 통계는 연도별로 큰 편차를 나타냈다. 단적인 예로, 전북의 경우 2013년에는 562명의 환자가 보고되었지만 2017년에는 환자가 보고되지 않아서 기존의 연도별 평균을 바탕으로 앞으로의 발생률이나 환자수를 예측하기에는 어려움이 있어 보인다. 해당 기간에 노로바이러스에 의한 집단 식중독 사고를 살펴본 결과 학교 급식에 의한 단체 식중독 사고가 많았다. 따라서 사람들이 밀집해 있는 서울 및 경기도 내 학교에서 단체 노로바이러스 식중독 사고를 방지하기 위한 노력이 절실히 필요하며 강원 등 겨울철 관광객이 많은 지역에서도 특별한 주의가 필요하다고 사료된다.

2010-2019년 사이에 보고된 노로바이러스 검출법 및 사례

노로바이러스가 가장 주요한 식중독 바이러스로 꼽히는 만큼 이를 신속하고 정확하게 검출하기 위한 다양한 연구들이 수행된 것을 확인할 수 있었으며 노로바이러스를 검출하기 위해서는 주

Table 3. Methods for detection of noroviruses reported between 2010 and 2019

Year	Sample	Detection method	Main results	References
2012	Ground water	Reverse-transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)	GI genotype noroviruses were detected from three of four ground water and suspected to contaminate Kimchi	(Lee et al., 2012)
2013	Vegetables (sesame, carrot)	RT-PCR, RT-PCR combined nested PCR	Detection sensitivity was significantly higher for norovirus in sesame compared to that in carrot when elution buffer containing threonine and NaCl was used	(Moon et al., 2013)
2014	Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	Real-time PCR	Eight out of 21 oyster samples in Tongyeong were revealed as NoV-positive samples while inoculated NoVs were inactivated by heat treatment over than 60°C.	(Shin et al., 2014)
2014	Ground water	Onestep RT-PCR, semi-nested PCR	Noroviruses were detected from 2 ground water samples among 20 ground water sampled at 9 wells in Jeju.	(Kim et al., 2014b)
2017	Agricultural products, soil, human feces, animal feces, water samples	Semi-nested PCR, DNA sequencing	Eighteen genogroup I and 3 genogroup II noroviruses were detected in a total of 18 samples between January and November in Korea, 2015.	(Kang et al., 2017)
2017	Soft berries (whole raspberries 25%, currants 25%, blueberries 20%, whole blackberries 15%, blackcurrants 15%)	Onestep RT-droplet digital (dd) PCR	RT-dd PCR was validated as reliable alternative method to quantify enteric viruses in soft berries. Removal of PCR inhibitor increased the sensitivity of ddPCR.	(Fraisie et al., 2017)
2018	Vegetables (green onion, radishes, Romaine lettuce)	RT-PCR	Human Norovirus and Taurine virus can be internalized in hydroponically grown green onions but not in soil grown green onions. It was identified by RT-PCR that different types of plants have different susceptibility for viral internalization	(Yang et al., 2018)
2018	Oyster (<i>Ostrea edulis</i>)	Onestep RT-ddPCR	RT-ddPCR detected noroviruses in oysters more precisely than the RT-qPCR method suggested by ISO 15216-1	(Persson et al., 2018)
2019	Lettuce, raspberries	RT-PCR	GI or GII genotype noroviruses were detected by RT-PCR. Positive results among the samples were 30/568 of lettuce, 8/30 of fresh raspberries and 13/274 of frozen raspberries.	(Cook et al., 2019)

로 증합효소연쇄반응이 사용되었다(Table 3). 그 중에서도 역전사 증합효소연쇄반응을 기반으로 한 nested polymerase chain reaction (nested PCR)을 널리 활용하고 있음을 살펴볼 수 있었다. Moon 등(2013)은 채소에서 노로바이러스를 검출하는데 RT-PCR 및 nested PCR을 활용하였으며 이 때 식품 매트릭스(matrix)와 용출 버퍼(elution buffer)의 종류에 따라서 바이러스가 용출되는 정도가 달라짐을 밝혔다. 또한 Kim 등(2014b)은 RT-PCR 및 semi-nested PCR을 활용하여 2008-2010년 사이 제주지역에서 노로바이러스의 발생 특성을 확인하였으며 강우에 따른 지하수의 침투가 노로바이러스 오염과 연관이 있을 것이라고 보고하였다. Kang 등(2017) 또한 semi-nested PCR을 활용하여 농산물에 있어서 노로바이러스 모니터링 연구를 진행하였으며 총 321개의 샘플을 조사한 결과 18개의 샘플에서 노로바이러스가 검출되었다고 보고하였다. 또한 염기서열 분석(DNA sequencing) 기술을 이용하여 이렇게 검출된 노로바이러스가 GI-GV중 어느 genogroup에 속하는지를 밝혔다. 현재(고시 제 2010-45호; 식품제조용수 등의 노로바이러스 시험법 개정분) 식품 공전(일반시험법-미생물시험법-식품용수 등의 노로바이러스)에 one-step RT-PCR 및 semi-nested PCR을 활용한 방법이 노로바이러스 검출법으로 등재되어 있기 때문에 식품이나 용수 등에서 노로바이러스를 검출하는데 표준화된 방법으로 되고 있는 것으로 생각된다. 추가적으로 PCR 산물을 염기서열 분석 및 유전자 데이터베이스(NCBI blast등)와의 비교를 통해서 식중독을 일으키는 주된 genotype (GI 및 GII) 인지를 확인하고 유전자의 변이 정도를 판단할 수 있다. 하지만 식품 공전에 등재되어 있는 전통적인 방법은 전기 영동을 실시하는데 시간이 오래 걸리며 많은 노동력을 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서 식품 및 용수에서 노로바이러스를 보다 빠르게 검출할 수 있는 다양한 방법들이 제시되고 있으며 앞으로도 관련된 연구는 지속될 것으로 생각된다. 일례로, Shin 등(2014)은 양식굴(*Crassostrea gigas*)에서 노로바이러스를 검출하는데 있어 real-time PCR을 활용하였으며 21개의 샘플 중 GI형, GII형, GI 및 GII형을 동시검출 하여 각 유형의 바이러스가 5개, 6개, 3개 있다는 것을 보고하였다. 국외 연구에서도 마찬가지로 PCR을 활용한 검출 연구가 주로 보고되었다. Yang 등(2018)은 채소에서 노로바이러스를 선택적으로 검출하기 위해 RT-qPCR을 활용하였다. 해당 논문에서는 채소에 바이러스를 집중하고 다른 부위로 전이되는 정도를 규명하였는데, 야채의 종류에 따라 바이러스의 전이 정도가 상이했다. Cook 등(2019)은 영국 소매점에서 상추와 산딸기를 구입한 후 노로바이러스의 정성 검출을 위하여 RT-PCR을 진행하였다. 그 결과 상추는 568개의 샘플 중 30개의 샘플에서 노로바이러스 양성을 나타냈고, 얼리지 않은(fresh) 산딸기 30개의 샘플 중 8개 샘플에서 노로바이러스 양성을 나타냈으며 얼린(frozen) 산딸기 274개의 샘플 중 13개의 샘플이 노로바이러스 양성을 나타냈다. Fraisse 등(2017)은 soft berries (whole raspberries 25%, currants 25%, blueberries 20%, whole blackberries 15%, blackcurrants 15%)에서 노로바이러스를 검출하기 위해 RNA를 추출한 후 정제하였고 Digital PCR을 활용하여 높은 민감도로 노로바이러스를 검출할 수 있음을 확인하였다. 또한 Persson 등(2018)은 굴에서의 노로바이러스를 정량하기 위해 droplet digital PCR (ddPCR)을 활용하였고 이에 대한 민감도를 ISO15216-1에 명시된 RT-qPCR방법과 비교하였을 때 ddPCR의 민감도가 더 높은 것을 확인하였다. 하지만 ddPCR은 qPCR에 비해 시간이 많이 걸린다는 단점과 실험 도중의 실수 및 오염에 민감하다고 알려져 있기 때문에 다양한 연구를 통한 검증이 필요한 실정이다. 앞선 논문들을 살펴본 결과, 국내 및 국외의 연구에서 모두 con-

ventional RT-PCR 및 real-time PCR을 활용한 노로바이러스의 검출 연구가 가장 활발한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 real-time PCR의 적용을 통해 식품 및 용수에서 노로바이러스를 신속하게 정량 검출할 수 있을 것으로 기대되지만 아직까지는 이러한 방법을 통해 여러 식품에서 노로바이러스를 민감하고(sensitively) 선택적으로(selectively) 검출할 수 있는지에 대한 검증이 필요하다. Real-time PCR의 민감성 및 선택성을 높이기 위해서는 생물 정보학(bioinformatics)을 활용하여 지금까지 사람에게 식중독을 일으킬 수 있다고 보고된 노로바이러스의 다양한 염기서열을 비교하고 효과적인 primer를 구축할 수 있을 것으로 보인다.

2010-2019년 사이에 보고된 노로바이러스 외 식중독 바이러스 검출법

앞서 살펴본 노로바이러스 검출 연구와 마찬가지로 기타 식중독 바이러스를 검출함에 있어서도 PCR을 활용한 방법들이 보고되고 있으며 이 외에도 다양한 신속검출법을 활용한 사례가 보고되었다(Table 4). 먼저, Cho (2018)는 Human Enteric Adenovirus (HuEAdV)를 검출하는 데 있어 nested PCR을 활용하였으며 이를 위한 PCR primer를 개발하였다. 앞서 노로바이러스 검출에서 기술하였던 것과 같이 이미 식중독을 일으킬 수 있는 식품 매개 바이러스 염기서열이 다양하게 보고되고 있으며 이를 분석할 수 있는 여러 방법들이 개발되어 있는 실정이다. Cho (2018)는 이러한 분석법을 활용하여 기존에 보고되어 있는 HuEAdV 염기서열을 바탕으로 새로운 primer를 개발하였으며 이에 대한 민감도 및 특이성을 검증하였다. 앞으로 다양한 신속검출법이 개발되어 적용되었지만 현재까지는 nested PCR을 활용한 방법이 주를 이루는 만큼 이러한 primer 개발 및 적용 연구 또한 중요한 것으로 사료된다. 한편, Hyeon 등(2011)은 채소류에서 로타바이러스를 검출하기 위해 real-time PCR을 활용하였으며 이 때 탈리액의 종류 및 농축 방법에 따라서 로타바이러스의 회수율에 큰 차이를 보인다고 보고하였다. 또한 로타바이러스에 감염되었을 경우에 세포의 병변이 나타나기 때문에 세포 배양 및 real-time PCR을 병합(integration)하여 채소류에서 로타바이러스의 오염을 신속하게 검출할 수 있을 것이라고 주장하였다. 이 밖에도 기타 식중독 바이러스를 신속하게 검출하기 위해 여러 primer를 동시에 사용하는 multiplex PCR을 활용한 사례들이 보고되었다(Kim과 Kim, 2013; Park 등, 2019a). Kang 등(2016)은 가정용 냉장고 내부 표면에서 급성위장관염을 유발할 수 있는 세균 및 바이러스를 multiplex PCR을 이용하여 검출하였으며 10개의 가정용 냉장고 중 5개의 냉장고에서 GI genotype의 로타바이러스가 검출되었다고 보고하였다. Kim과 Kim (2014)은 천안 단국대병원에서 수집한 환자 샘플을 대상으로 하여 multiplex PCR을 이용하여 주요 식중독 바이러스인 로타바이러스, 아데노바이러스, GI 및 GII형 노로바이러스, 아스트로바이러스에 대한 검사를 실시하여 총 788개의 샘플 중 270개의 샘플이 양성을 나타냄을 보고하였다. 식품 안전을 확보하기 위해서는 특정한 식중독균 또는 식중독바이러스만을 검사할 수 없기 때문에 이러한 multiplex PCR 방법을 활용한 다중 검사는 앞으로 현장에서 활용도가 높을 것으로 생각된다. 다만 앞서 보고된 두 논문의 경우에는 전기 영동을 실시하는 conventional PCR을 활용한 방법이었으며 이는 분명한 한계를 갖고 있기 때문에 앞으로는 multiplex real-time PCR을 활용하여 실시간 정량적 다중 검출이 가능할 수 있도록 다양한 시도가 필요하다.

이러한 검출 기술들을 식품에 적용할 때는 식품의 다양한 성

Table 4. Methods for detection of food poisoning viruses except norovirus reported between 2010 and 2019

Year	Target virus	Sample	Detection method	Main results	References
2011	Human rotavirus (HRV)	Vegetables (lettuce, Chinese cabbage)	Real-time PCR	Efficiency of HRV extraction from vegetables can be increased by changing the composition of elution buffer and adding filtration step was useful for PCR detection.	(Hyeon et al., 2011)
2012	Hepatitis A and E virus (HAV, HEV)	Swine feces	Immunomagnetic separation (IMS)-RT-PCR	IMS facilitated the isolation and concentration of HAV selectively from the swine feces containing both HAV and HEV which are further detected by RT-PCR analysis.	(Lee and Kim, 2012)
2014	Hepatitis A virus (HAV)	Fresh lettuce	IMS with quantum dots assay (IMS-QDs)	Developed IMS-QDs showed rapid and efficient detection of HAV with detection limit of 10 TCID ₅₀ /mL.	(Lee et al., 2014)
2014	Rotavirus, adenovirus, astrovirus, norovirus GI, GII	Clinical stool specimens	Multiplex PCR for five pathogens	Prevalence of rotavirus (36.6%), adenovirus (10.1%), norovirus GI (1.4%), norovirus GII (47.8%), and astrovirus (4.0%) was determined by multiplex PCR	(Kim and Kim, 2014a)
2016	Rotavirus	Inner surfaces of domestic refrigerators	Multiplex PCR	G1 genotype rotavirus was detected in five domestic refrigerators among 10 trials.	(Kang et al., 2016)
2017	Hepatitis A virus (HAV)	Soft berries (whole raspberries 25%, currants 25%, blueberries 20%, whole blackberries 15%, blackcurrants 15%)	Onestep RT-droplet digital (dd) PCR	RT-dd PCR was validated as reliable alternative method to quantify enteric viruses in soft berries. Removal of PCR inhibitor increased the sensitivity of ddPCR.	(Fraisse et al., 2017)
2017	Hepatitis E virus (HEV) and Rotavirus	Pork carcass	Real time RT-PCR	Rotavirus was detected in 98% of samples after bleeding, but subsequently in 0%, 1%, and 0% in samples after skinning, evisceration, washing, and retail pork, respectively.	(Jones et al., 2017)
2018	Human Enteric Adenovirus 41 (HuEAdV-41)	Ground water	Nested PCR	Newly developed primer set for PCR and nested PCR can be applied more effectively to detect HuEAdV-41 in ground water than previously reported primers.	(Cho et al., 2018)
2020	Hepatitis E Virus (HEV)	Pork	RT-PCR	Hepatitis E Virus were detected from 15 of 119 ground pork and 25 of 56 pork liver.	(Harrison et al., 2020)

분들에 의한 간섭 효과(inhibitory effect) 때문에 효율이 떨어진다 고 알려져 있다. 따라서 PCR을 포함한 검출 기술의 효율을 높이기 위해 식품 전처리 기술과 결합한 다양한 연구들이 보고되었다. 일례로, Lee와 Kim (2012)은 육성돈 분변으로부터 간염 A형 바이러스를 신속순수분리 및 검출하기 위해 RT-PCR방법을 자기면역 분리(immunomagnetic separation, IMS) 방법과 결합시켰다. 이 논문에서 Lee와 Kim (2012)은 자성비드결합 G 단백질을 간염 A형 바이러스 항체와 결합시켜 바이러스 탐침자를 제조함으로써 분변에서 간염 A형 바이러스와 간염 E형 바이러스를 분리하였으며 이후 RT-PCR 방법을 통해 분리한 간염 A형 바이러스를 검출하였다. 또한 후속 연구를 통해 상추에서 간염 A형 바이러스를 분리하기 위해 IMS 방법을 활용하였으며 검출을 위해서는 RT-PCR 방법 대신 퀀텀닷(quantum dot)을 이용하였다(Lee 등, 2014). 퀀텀닷(quantum dot)을 이용하는 경우 신속하게 정량 분석이 가능하기 때문에 전기 영동을 실시해야 하는 RT-PCR 방법보다 활용도가 높을 것으로 생각되지만 식품 샘플에 따라서 바이러스를 분리 능력 및 검출 효율이 달라질 수 있기 때문에 여러 식품을 대상으로 검증이 필요해 보인다. 특히, 기존 검출법을 적용하기 어렵다고 알려진 된장이나 고추장 등 점성이 높은 식품에 개발된 기술이 적용 가능한지 확인해야 할 필요가 있다. 국외에서도 PCR을 활용한 기타 식중독 바이러스 검출 논문이 보고되었다. Fraisse 등(2017)은 soft berry류에서 간염 A형 바이러스를 민감하게 검출하기 위해 PCR inhibitor reduction을 사용함과 동시에 digital RT-PCR을 사용하여 기존의 RT-qPCR 방법과 비교하였다. 그 결과, digital RT-PCR을 사용함으로써 표준 곡선 없이도 정확한 정량이 가능하고 민감도가 높은 결과를 도출할 수 있다고 설명하였다. Harrison 등(2020)은 RT-PCR과 plaque assay를 이용하여 돼지고기속에 존재하는 E형 간염바이러스를 검출하였다. 그 결과, 돼지고기 샘플 119개중 15개의 샘플에서 E형 간염

바이러스가 검출되었다. Jones 등(2017)은 2개의 캐나다에 있는 돼지 가공 공장에서 각각의 가공공정에서의 돼지고기샘플을 채취한 후 real-time RT-PCR을 이용하여 E형간염바이러스 및 rotavirus를 검출하였다. 그 결과, E형간염바이러스는 모든 가공공정에서 검출되지 않았지만 로타바이러스는 Bleeding 과정에서 98-100% 확률로 검출되었다. 또한 가공 과정이 진행됨에 따라 검출되는 로타바이러스가 줄어드는 것이 확인되었다. 이러한 연구 논문의 경향으로 미루어 볼 때 앞으로의 노로바이러스 및 기타바이러스 검출 연구는 크게 두 가지로 나뉠 것으로 사료된다. 한 가지는, 기존 RT-PCR을 활용함에 있어서 식품에서 특정 바이러스를 효과적으로 분리하고 농축하는 방법에 대한 연구들이 수행될 것으로 생각된다. 다른 한편으로는 RT-PCR을 대체할 수 있는 검출 기술에 대한 연구가 이루어질 것으로 생각되며 이러한 연구 결과가 충분히 검증된다면 현장에서 새로운 기술들을 활용하여 식품 내 바이러스를 신속하게 검출할 수 있도록 점차적으로 식품 공정이 개정될 것으로 전망된다.

2010-2019년 사이에 보고된 노로바이러스 제어법 및 사례

노로바이러스 제어 연구를 수행하는데 있어 가장 큰 어려움 중 하나는 노로바이러스를 실험실에서 배양하기 어렵다는 점이다. 최근 줄기세포를 활용하여 노로바이러스를 실험실에서 배양할 수 있다는 연구가 보고되었지만(Ettayebi 등, 2016) 여전히 대부분의 연구실에서는 노로바이러스를 직접 배양하는데 어려움을 느끼고 있다. 따라서 노로바이러스 제어 연구는 대부분 murine norovirus (MNV), feline calicivirus (FCV) 등의 대체제(surrogate)를 이용한 실험이 보고되고 있다(Table 5). 일례로, Feng 등(2011)은 여러 종류의 신선 식품(시금치, 상추, 딸기)에 노로바이러스의 대체제인

Table 5. Methods for inactivation of norovirus (surrogates) between 2010 and 2019

Year	Sample	Control method	Main results	References
2011	Oyster	High hydrostatic Pressure Processing (HPP)	Human noroviruses were completely inactivated by HPP with 600 MPa at 6 or 25°C	(Leon et al., 2011)
2011	Fresh produce (green onions and lettuce)	Ozone	More than 2 log reduction was achieved by 5 min ozone treatment (6.25 ppm) for feline calicivirus (FCV) inoculated on lettuce or green onions whereas 1 min ozone treatment was needed for murine norovirus (MNV)	(Hirneisen et al., 2011)
2011	Fresh produce (spinach, lettuce, strawberry)	Gamma irradiation	Gamma irradiation treatment (5.6 kGy) showed 1.7-2.4 log reduction for MNV inoculated on fresh produce	(Feng et al., 2011)
2011	Food-contact surfaces (stainless steel, PVC)	Pulsed light	Pulsed light treatment (2 s) showed 3 log and >5 log reduction for MNV inoculated on food-contact surfaces with and without 5% fetal bovine serum, respectively.	(Jean et al., 2011)
2016	Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	Depuration	Norovirus loaded in oysters (> 3 log) decreased to detection limit (1 log) after 12days by defecation	(Yu et al., 2016)
2016	Strawberries, blueberries, raspberries and in their purees	High hydrostatic Pressure Processing (HPP)	HuNoV GI.1 strain became more sensitive to HHP treatment as the temperature decreased from 20 to 0°C.	(Huang et al., 2016)
2017	Salsa sauce	Ohmic heating with essential oil components	Synergistic virucidal effects were observed when ohmic heating was combined with citral or thymol	(Kim and Kang, 2017b)
2017	Blueberries	Cold plasma	Tulane virus (TV) was significantly reduced 1.5 PFU/g compared to the control after treatment time of 45 s. MNV was reduced by 0.5 log PFU/g compared to the control after 15 s treatment.	(Lacombe et al., 2017)
2018	Fresh raspberries	Ozone	More than 3.3 log reduction was achieved by 1 min ozone treatment (3 ppm) for MNV inoculated on fresh raspberries.	(Brie et al., 2018)

MNV를 접종하여 감마선(Gamma irradiation) 처리하였으며 US-FDA에서 허용된 4 kGy의 감마선 처리(US FDA, 1999)로는 신선 식품에서 MNV를 2 log 정도 밖에 감소시킬 수 없다고 보고하였다. Lacombe 등(2017)은 Cold plasma를 처리하여 블루베리에서 노로바이러스 대체제인 MNV와 Taurine Virus (TV)의 감소를 확인하였다. 그 결과 Cold plasma를 45초간 처리한 블루베리에서 TV는 1.5 log PFU/g의 감소가 나타났고 MNV는 15초 처리하였을 때 0.5 log PFU/g의 감소가 나타났다. Hirneisen 등(2011)은 오존 처리를 이용하여 물과 신선 식품(과, 상추)에서 노로바이러스 대체제인 MNV와 FCV를 저감시키는 연구를 진행하였으며 전반적으로 물보다 신선 식품에서 노로바이러스를 제어하기 어렵다고 밝혔다. 반면 Brie 등(2018)은 산딸기에 노로바이러스 대체제인 MNV를 접종후 오존처리를 하여 MNV를 저감시키는 연구를 진행하였으며 오존 3 ppm 1분처리에서 3.3 log 이상의 감소효과가 나타났다고 보고하였다. 앞선 연구를 통해 살펴본 것처럼 노로바이러스의 저항성을 예측하기 위해 MNV 및 FCV가 대체제로서 가장 많이 사용되지만 이러한 대체제 또한 세포를 배양해서 감염(infection)시켜야 한다는 어려움을 갖고 있다. 따라서 보다 간단하게는 대장균(*E. coli*)을 숙주로 하는 박테리오파지인 MS-2 bacteriophage를 노로바이러스 대체제로 사용하는 연구들도 보고되고 있다(Kim 등 2017). 일례로, Kim과 Kang (2017a와 b)은 살사 소스에 MS-2 bacteriophage를 접종 시킨 후 옴 가열 처리 및 에센셜 오일 성분과의 조합 처리를 통해 노로바이러스의 저감 정도를 예측하였으며 시너지 효과를 확인하였다. 이 외에도 MS-2 bacteriophage에 대한 자외선과 TiO₂ 등의 광활성 물질의 제어 효과에 대한 연구가 보고되었다(Cho 등, 2011; Lee와 Ko, 2013). 이렇듯 노로바이러스에 있어서 다양한 대체제가 존재하기 때문에 Cromeans 등(2014)은 여러 살균 처리에 있어 노로바이러스 대체제인 AiV, FCV, MNV, TuV 및 PEC의 저항성을 비교하였다. 먼저 극한의 pH (pH 2 또는 pH 10)에서 FCV가 가장 취약한 것을 확인하였으며 이러한 조건에서 MNV 및 TuC의 감염력은 0.5 이하로 감소하였다. 열처리(56°C)의 경우에는 PEC의 저항성이 가장 컸으며 이외의 바이러스들은 10분 처리 후 대부분 감염력이 소실 되었다. 다양한 농도의 알코올로 처리하였을 경우에는 MNV와 PEC가 가장 취약한 반면 염소 처리에 있어서는 FCV가 가장 취약한 경향을 나타냈다. 이 결과를 통해서 노로바이러스 대체제를 이용하여 실험을 진행하였을 때 살균 처리의 종류에 따라서 대체제로 쓰인 바이러스의 저항성이 다르다는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 대체제를 이용한 실험 결과를 노로바이러스의 저항성을 확인하는데 있어 간접적인 지표로 사용할 수 있지만 이를 바탕으로 노로바이러스의 저감 정도를 직접적으로 예측하는 데는 무리가 있어 보인다.

이렇듯 노로바이러스 대체제를 사용하는데 한계가 있기 때문에 다양한 방법으로 human norovirus (HuNoV)의 저감 정도를 직접적으로 평가한 논문들이 보고되었다. Kingsley 등(2014)은 염소(chlorine), 이산화염소(chlorine dioxide) 및 과초산(per-acetic acid) 처리하였을 때 HuNoV의 저감 정도를 porcine gastric mucin binding magnetic bead (PGM-MB) assay를 통해서 확인하였다. Huang 등(2016)은 High Hydrostatic Pressure (HHP)를 이용하여 딸기, 블루베리, 산딸기 및 산딸기 퓨레에 노로바이러스를 접종해서 각 처리 조건에 따른 저감 조건을 확인하였다. 그 결과 대표적으로 딸기퓨레에서 HHP를 500 Mpa 조건으로 하였을 때 0°C에서 2.5 log의 감소를 보였고 4°C에서 2.2 log, 20°C에서 1.0 log의 감소를 보였다. 이를 통해 노로바이러스는 낮은 온도에서 HHP에 더 민감하다는 것을 확인하였다. Leon 등(2011)은 HHP를 이

용하여 굴에서 노로바이러스를 저감 시켰으며 98명의 지원자 중 44명을 선별하여 굴을 섭취(Challenge)시키는 연구를 진행하였다. 이를 통해 6°C에서 600 MPa HPP로 5분간 굴을 처리하였을 때 HuNoV가 완전히 불활성(inactivation) 된다는 것을 확인하였으며 과립성 백혈구의 수치 증가(WBC shift)를 통해 노로바이러스의 감염 여부를 확인할 수 있음을 밝혔다. 이러한 인체를 대상으로 한 연구는 HuNoV의 감염력을 직접적으로 평가할 수 있다는 장점이 있지만 윤리적인 측면에서 주의를 기울여야 하며 또한 사람에게 따라 면역력이 다를 수 있기에 다양한 배경(인종, 나이, 성별 등)을 가진 지원자를 대상으로 연구가 진행되어야 한다. 따라서, 실험실에서 HuNoV를 쉽게 배양할 수 있는 보다 간편하고 효율적인 방법이 개발된다면 다양한 식품에서 노로바이러스 제어를 위한 연구가 더 활발하게 진행되어 국내외의 노로바이러스에 의한 식중독 사고를 예방하는데 큰 도움을 줄 것이라 사료된다.

2010-2019년 사이에 보고된 노로바이러스 외 식중독 바이러스 제어법 및 사례

앞서 노로바이러스 제어법은 대체제를 사용한 연구가 주로 보고되었다면 기타 식중독 바이러스 제어 연구에 있어서는 해당 바이러스를 직접 사용한 논문들이 보고되었다(Table 6). Sarah 등(2012)은 지하수에 UV조사(UV irradiation)와 H₂O₂를 같이 처리했을 때 아데노바이러스의 저감 양상을 살펴보았다. 그 결과 80 mJ/cm²의 UV의 dose와 10 mg/L H₂O₂를 동시에 처리하였을 때 1.7 log 정도의 감소가 나타났다. UV의 dose가 커질수록 H₂O₂의 농도가 높을수록 아데노바이러스의 저감 정도가 높아지는 것을 확인하였다. 또한 UV만 처리한 것보다 H₂O₂를 동시에 처리한 것이 바이러스 저감에 효과적인 것을 나타냈다. Jean 등(2011)은 광펄스(Pulsed light)를 이용하여 노로바이러스(대체제인 MNV를 사용)와 A형 간염바이러스의 저감 양상을 살펴보았다. 인산완충염수(Phosphate buffer saline, PBS)에 A형 간염바이러스를 접종하여 광펄스 처리한 결과 0.059 또는 0.091 W/cm²의 세기로 2초간 처리하였을 때 최대 4.8 log가 저감되는 것이 관찰되었으며 PBS에 소태아혈청(Fetal Bovine Serum, FBS)을 넣었을 때는 저감 정도가 2.1-2.4 log 정도로 낮아지는 것이 관찰되었다. 이는 식중독균의 저감양상에서와 유사하게 단백질, 탄수화물, 지방 등이 바이러스 저감에 있어 저해 효과를 나타낼 수 있다는 것을 의미한다. 더불어, 식품 가공 설비의 표면 재질로 쓰일 수 있는 스테인리스스틸(SS)과 폴리염화비닐(PVC)에 광펄스를 적용하여 A형 간염 바이러스를 제어할 수 있음을 밝혔다. 식품 가공설비에서의 미생물의 교차 오염(cross-contamination)에 의한 식중독 사고가 빈번하게 보고되기 때문에 이러한 표면 처리에 대한 연구도 중요한 분야 중 하나라고 할 수 있다. Fuzawa 등(2016)은 일 표면의 왁스 농도가 다른 세 종류의 케일에 로타바이러스를 접종하여 oxidant-based 또는 surfactant-based sanitizer로 처리하였다. 그 결과, surfactant-based sanitizer (0.25% malic acid with 0.025% TDS) 처리에 있어서는 케일의 왁스 농도가 로타바이러스 저감에 유의적인 영향을 나타내지 않지만 oxidant-based sanitizer 처리시에는 왁스 농도가 낮을 때 로타바이러스 저감 정도가 낮아진다는 경향을 보고하였다. 이러한 결과는 같은 종류의 식품을 비슷한 살균 방법으로 처리하더라도 특정 물질의 농도에 따라 바이러스의 저항성이 매우 다를 수 있으며 식품 적용에 있어서 다양한 요인을 고려한 종합적인 실험이 필요하다는 것을 의미한다. 또한 다양한 물리적, 화학적 처리에 대한 바이러스의 저감 메커니즘을 밝혀낸다면 특정한 조건에서 바이러스가 얼마나 저항성을 나타

Table 6. Methods for inactivation of foodborne virus except noroviruses between 2010 and 2019

Year	Target virus	Sample	Control method	Main results	References
2011	Hepatitis A virus (HAV)	Food-contact surfaces (stainless steel, PVC)	Pulsed light	The presence of organic matter (fetal bovine serum) inhibited the efficacy of pulsed light for inactivation of HAV	(Jean et al., 2011)
2012	Adenovirus	Ground water	UV with H ₂ O ₂	4 log reduction of adenovirus was achieved with a dose of 122 mJ/cm ² UV treatment with 10 mg/L H ₂ O ₂ .	(Bountry et al., 2012)
2012	Hepatitis E virus (HAE)	Pâté (Filled pastry, French cuisine)	Heat	Complete inactivation of HEV was reported by heating food to an internal temperature of 71°C for 20 min	(Barnaud et al., 2012)
2012	Human adenovirus (HAdV)	Water and cell culture medium (CCM)	High Hydrostatic Pressure (HHP)	Six hundred MPa HHP treatment in CCM resulted in 6.5 log reduction of HAdV infectivity within 4s	(Kovac et al., 2012)
2015	Hepatitis A virus (HAV)	Spinach	Heat	The blanching of spinach in water at 100°C for 120-180 s under atmospheric conditions would show more than 6 log reduction of HAV when predicted by mathematical modeling	(Bozkurt et al., 2015)
2016	Porcine rotavirus (PRV)	Leaf surface (Kale with high or low wax content)	Sanitizer (oxidant or surfactant-based sanitizer)	Surface wax content had significant effect on the inactivation of PRV by oxidant-based sanitizer but not for surfactant-based sanitizer	(Fuzawa et al., 2016)

별지 예측하는데 도움이 될 것이다.

미생물의 저감 양상을 이해할 수 있는 효과적인 방법 중 하나는 수학적 분석법을 이용하는 것이다. Bozkurt 등(2015)은 시금치에서 간염 A형 바이러스를 제어하기 위해 항온 수조를 이용했으며 이에 대한 결과를 바탕으로 D값과 z값을 구하였다. 또한 수학적 분석법을 통해 결과를 나타냈다. 초기모델값으로 50-72°C에서 D값은 34.40±4.08에서 0.91±0.12분으로 나타났고 z값은 13.92±0.87°C였다. 수학적 분석법을 바탕으로 100°C 조건에서 120초에서 180초 동안 열처리하면 A형 간염 바이러스가 6 log 이상의 감소될 것으로 예측했다. Kovac 등(2012)은 아데노바이러스를 제어하기 위해 초고압처리를 적용하였으며 이 때 아데노바이러스의 저감 양상을 수학적으로 분석하였다. 압력 및 시간에 따른 아데노바이러스의 저감 양상을 수학적으로 분석하여 1 log 또는 6 log 저감되는 시간을 추정하여 나타냈으며 그 결과를 통해 압력을 600 MPa까지 높여서 처리하였을 때 아데노바이러스가 6 log 저감되는데 3.7초가 걸린다는 것을 예측하였다. 이러한 수학적 분석의 적용은 실험에 들어가는 노동력 및 시간을 최소화하면서도 살균 처리 조건을 확립할 수 있다는 장점이 있고 앞으로도 식품 안전 분야에 있어 널리 활용될 것이라 예상된다. 현재까지 식중독 균 저감에 대한 시뮬레이션 논문들은 보고되고 있지만(Kim 등, 2020; Choi 등, 2020) 바이러스 저감에 대한 시뮬레이션 연구는 미미한 실정이다. 앞선 논문에서 바이러스가 특정한 정도 저감 되는데 필요한 처리 시간을 수학적 모델을 통해 구했다면 앞으로는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 보다 다양한 조건에서 바이러스의 저감 정도를 세밀하게 예측할 수 있을 것이라 기대된다. 마지막으로, 앞선 노로바이러스 제어 부분에서 인체를 대상으로 한 연구와 비슷하게 E형 간염 바이러스를 열처리로 제어하여 돼지에 감염시킨 연구가 보고되었다. Barnaud 등(2012)은 프랑스 식품인 파테(Pâté)를 열처리하여 HEV가 저감 되는 양상을 확인하였으며 열처리한 HEV를 돼지에 감염시킴으로써 HEV의 감염력 및 돼지의 면역력 획득 여부를 확인하였다. 그 결과, 파테를 71°C에서 20분간 열처리 한 후 돼지에 감염시켰을 때에는 감염된 돼지가 없다고 보고하였다. 이러한 동물 실험의 결과는

세포 배양을 통한 감염 실험보다는 직접적으로 바이러스의 저감 정도를 평가할 수 있다는 장점이 있지만 앞서 서술한 것과 같이 윤리적인 문제 등이 결부되어 있기 때문에 앞으로 어떻게 하면 바이러스의 저감과 관련된 연구를 효과적으로 수행할 수 있을지에 대한 고민은 여전히 남아있다고 볼 수 있다.

요 약

본 논문에서는 최근 10년간(2010-2019년) 바이러스에 의한 식중독 통계 및 바이러스 검출법과 제어법에 대한 자료를 정리하여 나타냈다. 국내에서 지난 10년 동안 바이러스에 의해 발생한 식중독 사고 488건 중 94.9%가 노로바이러스에 의한 것으로 확인되어 노로바이러스가 국내에서 가장 주요한 식중독 바이러스로 생각된다. 노로바이러스를 검출하는 방법으로는 PCR을 이용한 방법이 주로 보고되고 있으며 현재(2020년 12월) 식품 공전에 등록된 방법(고시 제 2010-45호)에 따라 전기 영동을 기반으로 한 one-step RT PCR 및 semi-nested PCR 방법이 널리 이용되고 있다. 또한 최근 DNA sequencing 기술이 발달됨에 따라서 검출된 바이러스의 서열을 분석하여 이미 보고된 바이러스의 서열과 비교한 논문들이 많이 보고되었다. 이 외에도 real-time PCR을 적용한 논문들도 보고되고 있으며 앞으로는 전기 영동을 실시하는 conventional PCR을 대신하여 신속하게 정량 검출이 가능한 real-time PCR의 활용이 늘어날 것으로 생각한다. 기타 바이러스의 검출에 있어서도 역시 PCR을 활용한 방법이 주로 보고되고 있으며 multiplex PCR을 활용하여 여러 종류의 바이러스를 동시에 검출하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 더 나아가서, 자기 면역력 분리와 퀴턴달 분석 방법 등을 이용한 신속 검출법이 제시되고 있어 앞으로 여러 식품에 오염된 바이러스를 현장에서 신속 분리 및 검출하는데 이용할 수 있을 것으로 전망된다.

한편, 노로바이러스는 실험실에서 배양하기가 어렵기 때문에 노로바이러스 제어 연구는 대체재를 이용한 방법들이 주를 이루었다. 음 가열을 포함한 여러 종류의 열처리와 초고압, 오존, 감마선, 광펄스 등의 비가열 처리를 이용하여 노로바이러스의 저감

정도를 살펴본 연구들이 최근 보고되었다. 일반적으로 물이나 완충액보다는 식품 샘플에서 바이러스의 저감 정도가 낮게 관찰되었는데 식품 matrix가 이러한 물리적 처리에 간섭 효과를 나타내기 때문으로 생각되며 이를 극복하기 위해서는 여러 물리적, 화학적 처리를 조합하여 처리할 필요가 있다. 기타 바이러스 제어 연구에 있어서는 열, 광필스, 고압력 등의 물리적 처리와 더불어 살균제(sanitizer)를 적용한 논문들이 보고되고 있으며 식중독 바이러스의 저감 메커니즘에 대한 체계적인 연구가 수행되고 있는 것을 확인하였다. 여러 물리적, 화학적 처리에 대해서 식중독 바이러스가 저항성을 갖는 이유와 사멸되는 메커니즘을 정확하게 이해한다면 추후 여러 식품에서의 바이러스에 대한 안전성을 확보하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NR) grant funded by the Korea government (NRF-2019R1G1A1094005).

References

- Ban GH, Yoon H, Kang DH. A comparison of saturated steam and superheated steam for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* biofilms on polyvinyl chloride and stainless steel. *Food Control*. 40: 344-350 (2014)
- Barnaud E, Rogée S, Garry P, Rose N, Pavio N. Thermal inactivation of infectious hepatitis E virus in experimentally contaminated food. *Appl. Environ. Microb.* 78: 5153-5159 (2012)
- Bozkurt H, Ye X, Harte F, D'Souza DH, Davidson P.M. Thermal inactivation kinetics of hepatitis A virus in spinach. *Int. J. Food Microbiol.* 193: 147-151 (2015)
- Brie A, Boudaud N, Mssihid A, Loutreul J, Bertrand I, Gantzer C. Inactivation of murine norovirus and hepatitis A virus on fresh raspberries by gaseous ozone treatment. *Food Microbiol.* 70: 1-6 (2018)
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Prevention of hepatitis A through active or passive immunization: recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP). *MMWR Recomm. Rep.* 55: 1-23 (2006)
- Cho KB. Construction of improved PCR primer set for the detection of human enteric adenovirus 41. *Biomed. Sci. Lett.* 24: 230-238 (2018)
- Cho M, Cates EL, Kim JH. Inactivation and surface interactions of MS-2 bacteriophage in a TiO₂ photoelectrocatalytic reactor. *Water Res.* 45: 2014-2110 (2011)
- Choi W, Kim SS, Park SH, Ahn JB, Kang DH. Numerical analysis of rectangular type batch ohmic heater to identify the cold point. *Food Sci. Nutr.* 8: 648-658 (2020)
- Cook N, Williams L, D'Agostino M. Prevalence of Norovirus in produce sold at retail in the United Kingdom. *Food Microbiol.* 79: 85-89 (2019)
- Cromeans T, Park GW, Costantini V, Lee D, Wang Q, Farkas T, Lee A, Vinje J. Comprehensive comparison of cultivable norovirus surrogates in response to different inactivation and disinfection treatments. *Appl. Environ. Microb.* 80: 5743-5751 (2014)
- Ettayebi K, Crawford SE, Murakami K, Broughman JR, Karandikar U, Tenge VR, Neill FH, Blutt SE, Zeng XL, Qu L, Kou B, Opekun AR, Burrin D, Graham DY, Ramani S, Atmar R, Estes M. Replication of human noroviruses in stem cell-derived human enteroids. *Science*. 353:1387-1393 (2016)
- Feng K, Divers E, Ma Y, Li J. Inactivation of a human norovirus surrogate, human norovirus virus-like particles, and vesicular stomatitis virus by Gamma irradiation. *Appl. Environ. Microb.* 77: 3507-3517 (2011)
- Fraisse A, Coudray-Meunier C, Martin-Latil S, Hennechart-Collette C, Delannoy S, Fach P, Perelle S. Digital RT-PCR method for hepatitis A virus and norovirus quantification in soft berries. *Int. J. Food Microbiol.* 243: 36-45 (2017)
- Fuzawa M, Ku KM, Palma-Salgado, SP, Nagasaka K, Feng H, Juvik JA, Sano D, Shisler JL, Nguyen TH. Effect of leaf surface chemical properties on efficacy of sanitizer for rotavirus inactivation. *Appl. Environ. Microb.* 82: 6214-6222 (2016)
- Grøndahl-Rosado RC, Yarovitsyna E, Trettenes E, Myrmet M, Robertson LJ. A one year study on the concentrations of norovirus and enteric adenoviruses in wastewater and a surface drinking water source in Norway. *Food Environ. Virol.* 6: 232-245 (2014)
- Han JY, Song WJ, Kang JH, Min SC, Eom S, Hong EJ, Ryu S, Kim SB, Cho S, Kang DH. Effect of cold atmospheric pressure plasma-activated water on the microbial safety of Korean rice cake. *LWT-Food Sci. Technol.* 120: 108918 (2020)
- Harrison L, Ramos TDM, Wu X, DiCaprio E. Presence of hepatitis E virus I commercially available pork products. *Int. J. Food Microbiol.* 339: 109033 (2021)
- Hirneisen KA, Markland SM, Kniel KE. Ozone inactivation of norovirus surrogates on fresh produce. *J. Food Protect.* 74: 836-839 (2011)
- Huang R, Ye M, Li X, Ji L, Karwe M, Chen H. Evaluation of high hydrostatic pressure inactivation of human norovirus on strawberries, blueberries, raspberries and in their purees. *Int. J. Food Microbiol.* 223: 17-24 (2016)
- Hyeon JY, Chon JW, Song KY, Hwang IG, Kwak HS, Lee JS, Kim MS, Lee JB, Seo KH. Rapid detection method for human rotavirus from vegetables by a combination of filtration and integrated cell culture/real-time reverse transcription PCR. *Korean J. Food Sci. Tech. Mys.* 47: 117-123 (2011)
- Jean J. Morales-Rayas R. Anoman MN, Lamhoujeb S. Inactivation of hepatitis A virus and norovirus surrogate in suspension and on food-contact surfaces using pulsed UV light (pulsed light inactivation of food-borne viruses). *Food Microbiol.* 28: 568-572 (2011)
- Jeong SG, Ryu S, Kang DH. Salt content dependent dielectric properties of pistachios relevant to radio-frequency pasteurization. *Sci. Rep.* 9: 2400 (2019)
- Jones TH., Muehlhauser V. Frequency of hepatitis E virus, rotavirus and porcine enteric calicivirus at various stages of pork carcass processing in two pork processing plants. *Int. J. Food Microbiol.* 259: 29-34 (2017)
- Kang G, Kim HS, Kim HS., Kim JS., Song W, Park JY, Cho HC. Detection of rotavirus from the inner surfaces of domestic refrigerators. *Lab. Med. Online* 6: 93 (2016)
- Kang JH, Shim HM, Kim KY. Monitoring of norovirus and indicator microorganisms from agricultural products and environmental samples in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 123-131 (2017)
- Kim DW, Kim SR, Moon JH, Kim SJ, Oh MJ. Foodborne virus diseases and detection methods. *Food Sci. Ind.* 41: 53-57 (2008)
- Kim JK, Kim JW. Molecular epidemiologic trends of diarrhea-causing virus infection from clinical specimens in Cheonan, Korea, in 2010-2012. *J. Clin. Lab. Anal.* 28: 47-51 (2014a)
- Kim K, Kim DA. The comparison between serologic tests and Magicplex HepaTrio Real-time PCR in the diagnosis of viral hepatitis. *Lab. Med. Online.* 3: 23-28 (2013)
- Kim SS, Choi W, Kang DH. Application of low frequency pulsed ohmic heating for inactivation of foodborne pathogens and MS-2 phage in buffered peptone water and tomato juice. *Food Microbiol.* 63: 22-27 (2017)
- Kim SS, Choi W, Kang DH. Mathematical modeling of ohmic heating for inactivation of acid-adapted foodborne pathogens in tomato juice. *Int. J. Food Eng.* 16: 1-11 (2020)
- Kim SS, Kang DH. Synergistic effect of carvacrol and ohmic heating for inactivation of *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*, and MS-2 bacteriophage in salsa. *Food Control.* 73: 300-305 (2017a)
- Kim SS, Kang DH. Combination treatment of ohmic heating with various essential oil components for inactivation of food-borne pathogens in buffered peptone water and salsa. *Food Control.* 80:

- 29-36 (2017b)
- Kim YJ, Lee MG, Kam SK. Characteristics of Norovirus Occurrence in Jeju. *J. Environ. Sci. Int.* 23: 219-229 (2014b)
- Kingsley DH, Vincent EM, Meade GK, Watson C, Fan X. Inactivation of human norovirus using chemical sanitizers. *Int. J. Food Microbiol.* 171: 94-99 (2014)
- Kovač K, Bouwknecht M, Diez-Valcarce M, Raspor P, Hernández M, Rodríguez-Lázaro D. Evaluation of high hydrostatic pressure effect on human adenovirus using molecular methods and cell culture. *Int. J. Food Microbiol.* 157: 368-374 (2012)
- Lacombe A, Niemira BA, Gurtler JB, Sites J, Boyd G, Kingsley DH, Li X, Chen H. Nonthermal inactivation of norovirus surrogates on blueberries using atmospheric cold plasma. *Food Microbiol.* 63: 1-5 (2017)
- Lee H, Kwon J, Choi J, Won Y, Kim ES, Chung J, Jee M, Kim D, Lee H, Kwon J, Choi J, Won Y, Kim E, Chung J, Kim M, Kim D. Rapid detection of the hepatitis A virus from fresh lettuce using immunomagnetic separation and quantum dots assay. *Korean J. Food Preserv.* 21: 170-174 (2014)
- Lee HM, Kim D. Use of IMS-RT-PCR for the rapid isolation and detection of hepatitis A virus from the swine feces. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 638-642 (2012)
- Lee JE, Ko G. Norovirus and MS2 inactivation kinetics of UV-A and UV-B with and without TiO₂. *Water Res.* 47: 5607-5613 (2013)
- Lee MJ, Kim WH, Cho HG, Lee SS. Epidemiological Study of Ground-waterborne norovirus GI.3-associated Gastroenteritis Outbreaks in Gyeonggi Province of South Korea in May 2011. *J. Bacteriol. Virol.* 42: 232-241 (2012)
- Leon JS, Kingsley DH, Montes JS, Richards GP, Lyon GM, Abdulhafid GM, Seitz SR, Fernandez ML, Teunis PF, Flick GJ, Moe CL. Randomized, double-blinded clinical trial for human norovirus inactivation in oysters by high hydrostatic pressure processing. *Appl. Environ. Microb.* 77: 5476-5482 (2011)
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Foodborne disease outbreak. Available from: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/main.do>, Accessed Oct. 13, 2020
- Moon A, Ahn J, Choi WS. Elution buffers for human enteric viruses in vegetables with applications to norovirus detection. *J. Food Hyg. Saf.* 28: 287-292 (2013)
- Oh SA, Park SH, Ham HJ, Seung HJ, Jang JI, Suh SW, Jo SJ, Choi SM, Jeong HS. Molecular characterization of norovirus and rotavirus in outbreak of acute gastroenteritis in Seoul. *J. Bacteriol. Virol.* 43: 307-316 (2013)
- Park JO, Jeon JS, Kim JK. Epidemiologic trends of diarrhea-causing virus infection analyzed by multiplex reverse transcription PCR in Cheonan, Korea, 2010-2018. *Microbiol. Biotechnol. Lett.* 47: 317-322 (2019a)
- Park K, Park YS, Kwon JY, Yu HS, Lee HJ, Kim JH, Lee TS, Kim PH. Effect of heat treatment on male specific coliphage and norovirus concentrations in norovirus contaminated oyster *Crassostrea gigas*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 898-903 (2015)
- Park Sh, Cho W, Kim SS, Kang DH. CFD simulation for designing a chlorine gaseous sanitizer treatment system. *Food Bioprod. Process.* 117: 388-395 (2019b)
- Persson S, Eriksson R, Lowther J, Ellström P, Simonsson M. Comparison between RT droplet digital PCR and RT real-time PCR for quantification of noroviruses in oysters. *Int. J. Food Microbiol.* 284: 73-83 (2018)
- Sarah B, Roberto A, Rodriguez, Karl G, Linden. Inactivation of adenovirus using low-dose UV/H₂O₂ advanced oxidation. *Water Res.* 46: 6273-6278 (2012)
- Shin SB, Oh EG, Lee HJ, Kim YK, Lee TS, Kim JH. Norovirus quantification in oysters *Crassostrea gigas* collected from Tongyeong, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 501-507 (2014)
- US FDA. Irradiation in the production, processing and handling of food. Ionizing radiation for the treatment of food. Code of Federal Regulations 21CFR179.26 (1999)
- World Health Organization (WHO). Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 5 Jun 2020. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332293>. Accessed Oct. 15, 2020
- Yang Z, Chambers H, DiCaprio E, Gao G, Li J. Internalization and dissemination of human norovirus and Tulane virus in fresh produce is plant dependent. *Food Microbiol.* 69: 25-32 (2018)
- Yin W, Han Y, Xin H, Liu W, Song Q, Li Z, Gao S, Jiang F, Cao J, Bi S, Liu H. Hepatitis E outbreak in a mechanical factory in Qingdao City, China. *Int. J. Infect. Dis.* 86: 191-196 (2019)
- Yu H, Park YS, An S, Park K, Shim KB, Song KC, Lee TS. Defecation of norovirus from the oyster *Crassostrea gigas* by depuration following translocation of the growing area. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 109-115 (2016)