활어회에 대한 식품안전관리에서 정량적 미생물 위해평가 사례 – 광어회에서 *Vibrio parahaemolyticus*를 중심으로

Microbial Risk Assessment for Food Safety Management in Raw Fish: *Vibrio parahaemolyticus* in Sliced Raw Flatfish

박경진*

Gyung Jin Bahk*

군산대학교 식품영양학과

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, 1170 Daehakro, Gunsan, Jeonbuk, 573-701, South Korea

서 론

식품안전관리 차원에서의 MRA(Microbial Risk Assessment)는 식품을 통해 발생하는 미생물학적 위해요소와 관련된 자료를 수집, 분석하고, 이 결과를 이용하여 개인, 집단 혹은 국민전체에 대한 건강상의 영향을 결정짓는 일련의 과정이라 할 수 있다. 또한 그 결과는 미생물학적 위해요소의 발생 예방을 위한 적절한 정책적 조치를 취하는데 있어서도 결정적인 역할을 하게 된다. MRA는 과학적이고 객관적인 방법으로 식품과 관련한 안전성 평가 방법론을 나타낸 것으로, 이의 주목적은 소비자에게 노출될 수 있는 식품과 관련된 미생물학적 위해요소에 대한 인정 즉, 안전을 어느 수준에서 설정할 것인가에 대한 해답을 제공하는 것이라 할 수 있다[1].

지금까지 MRA의 많은 연구는 특정식품에서 특정 병원선미생물에 대한 위해수준을 추정하거나 이와 관련 세부 방법론에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 MRA은 3가지의 중요한 기능을 수행 할 수 있는데 첫째는 기본적인 기능으로 건강상의 위해수준의 추정이며, 둘째는 유통 및 소비를 포함하는 전체 식품제조공정에 있어 수학적 모델링을 제시할 수 있으며, 마지막으로 위해관리 차원에서 사회 · 경제적 분석에 대한 기초자료를 제공할 수 있다는 것이다[2]. 이는 곧 MRA는 위해수준에 대한 추정 외에 MRA의 무수한 활용 가능성을 보여 주고 있다고 할 수 있다.

본 논문에서는 MRA의 고유의 목적인 식품안전부분에서 미생물학적 위해요소에 대한 안전수준 평가에 대한 예를 활어회(광어회)와 장염비브리오(*Vibrio parahaemolyticus*)를 중심으로 설명하고자 한다.

1. MRA 수행절차 및 기본 자료 확보

MRA는 위해분석(Risk analysis)에 있어 위해평가 대상을 미생물학적 위해요소에 중심을 둔 것으로, 다른 위해평가 기법과 같이 유해확인, 노출평가, 양-반응 평가, 위해확인으로 4단계의 기본구성요소로 구성되어 있다[3].

* Correspondence to: Gyung Jin Bahk
Department of Food and Nutrition, Kunsan National University,
1170 Daehakro, Gunsan, Jeonbuk, 573-701, South Korea
Tel: 82-63-469-4640 E-mail: bahk@kunsan.ac.kr

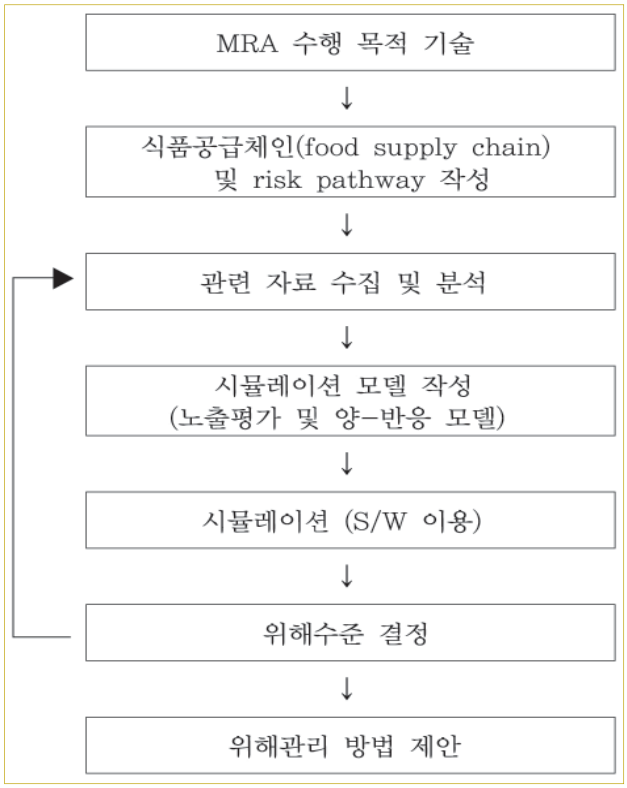

그림 1. MRA 수행 기본 절차

하지만 실제 운영은 그림 1에서 제시된 바와 같이 우선적으로 대상균과 대상식품을 결정하면서 수행 목적에 대한 기술을 한다. 다음으로 대상식품에 대한 식품공급체인망(food supply chain network) 또는 risk pathway 작성 및 관련 자료의 수집 및 분석. 노출평가와 양-반응 모델을 포함하는 시뮬레이션 모델 작성, 전문 소프트웨어(@RISK 등)를 이용한 시뮬레이션을 통해 위해수준을 결정한다. 이들 결과를 바탕으로 자료 수집 및 분석과정으로 피드백을 통해 최종적인 위해수준을 결정한다. 마지막으로 대상균과 대상식품에 대한 위해관리 방안을 제시하는 과정으로 이루어진다[4,5].

분 논문에서는 대상식품과 대상 식중독균으로 활어회와 장염비브리오(*Vibrio parahaemolyticus*)를 선정했으며, 식품공급체인망 또는 risk pathway는 그림 2와 같이 설정할 수 있다. 관련 자료로는 국내 모니터링 결과 (표 1)를 이용하여 통계적으로 오염수준을 추정하고, 국민건강영양조사 자료를 바탕으로 해당 활어회(광어회)에 대한 섭취량(표 2)을 분석하고, 장염비브리오에 대한 양-반응 모델(표 3), 노출평가를 위한 예측모델(표 4)을 활용하는 것이다.

표 1. 활어회에서의 *Vibrio parahaemolyticus* 오염수준 조사자료

식품	병원성미생물	오염수준	참고문헌
활어회	*Vibrio parahaemolyticus*	0/80	[6]
	Vibrio parahaemolyticus	0/79	[7]

표 2. 광어회 국내 섭취량 분석

Input				적정 probability distribution	
mean	S.D	max	95%	모델명	모델변수
59.55	64.27	500.00	166.33	Log Logistic	γ=0.20941, β=42.136, α=2.1464

* 2011 국민건강영양조사 자료로부터 추출

표 3. *Vibrio parahaemolyticus*의 양-반응 모델

Pathogens	Proper D-R model		참고문헌
	Model	Parameters	
Vibrio parahaemolyticus	Beta-Poisson	$\alpha=0.1713$, $\beta=1.182\times10^{5}$	[8]

표 4. *Vibrio parahaemolyticus*에 대한 주요 예측모델

식품	예측모델	참고문헌
broth, 굴	Gompertz, Davey model, Square root model	[9]
broth, oyster	modified Gompertz model, Davey model, Square-root model	[10]
Eastern oyster, Asian oyster	squre root model, Baranyi D-model	[11]

2. 시뮬레이션 모델 작성 및 수행

활어회에 대한 *V. paraheamolyticus*에 대한 위해수준(risk level) 추정을 위한 시뮬레이션 모델은 그림 2에서 제시한 식품공급체인망과 risk-pathway를 기본 바탕으로 수행될 수 있지만 현재수준에서의 국내 관련 자료 확보

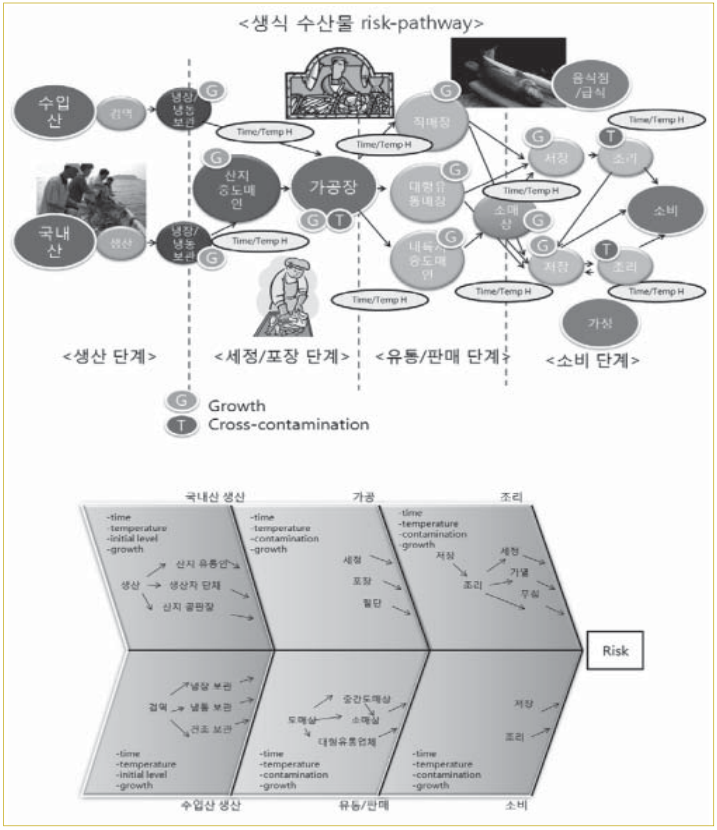

그림 2. 활어회에 대한 식품공급체인망 및 risk pathway

그림 3. 활어회 위해수준 추정을 위한 모델 기본 개념도

의 한계로로 그림 3과 같이 보다 단순한 식품공급망을 활용하였다. 원료에서의 오염수준과 활어회 특성을 반영하여 바로 조리를 통한 교차오염을 추가 하였으며, 이후 과정으로 섭취직전 오염수준 등으로 모델을 구성하였다.

활어회에 대한 *V. paraheamolyticus*에 의한 위해수준을 추정하기 위한 세부 시뮬레이션 모델은 표 5와 같다. 각각의 모델에서 원료 오염수준은 문헌조사 결과를 바탕으로 추정된 오염수준을 기본 자료로 하였으며, 유통 및 판매에서 오염수준의 증가는 활어회와 관련하여 한 *V. paraheamolyticus*의 식중독균 각각에 대해 보관온도에 따른 증가율을 계산할 수 있는 성장예측모델을 적용하였다. 교차오염에 대한 증가는 각 과정에 맞게 증가율 산술적으로 계산하였으며, 유통 및 판매단계에서의 온도와 시간 역시 조사 자료를 바탕으로 하였다. 섭취직전 최종 오염수준을 바탕으로 해당 식품의 섭취량과 섭취빈도는 국민건강영양조사 자료로부터 추출한 적절한 확률분포모델을 적용하였고, 해당 식중독 원인균에 대한 적정 용량-반응 모델을 활용하여 최종적으로 위해수준을 추정할 수 있는 엑셀 기반 모델을 개발하였다.

모델 개념도 각각의 단계에서 이용된 수식과 입력변수는 Excel (Microsoft@ Excel 2000, Microsoft Corp., USA) spreadsheet 프로그램에서 작성하여 그림 31과 같이 모델화 하였으며, 이 모델에 대한 Simulation 구동은 @RISK (version 5.5, Palisade, Newfield, NY, USA)를 이용하였다. Sampling type은 Median Latin Hypercube sampling을, Generator seed는 1로 Fix 하였고, Iteration(반복시행 횟수) 100,000이상의 결과를 최종적인 시뮬레이션 결과로 이용하였다.

표 5. 생선회에서의 *V. parahaemolyticus*에 대한 위해수준 추정용 시뮬레이션 모델 예

단계	코드	모델식	단위	비고
원료				
양성수	R_{Beta}	=Beta(1,79)*i*	CFU/g	모니터링 결과(표 1)
	R_{LN}	=(−LN(1−Beta(1,79))/25)*i*	Log CFU/g	
오염수준	R_{con}	=LOG(R_{LN})*i*		
	R_{Beta}	=Beta(80,78)	CFU/g	
	R_{LN}	=−LN(1−Beta(80,78))/25	Log CFU/g	
원료오염수준	R_{raw_c}	=R_{con}*i*	Log CFU/g	
		=10^R_{raw_c}	CFU/g	
조리				
교차오염	C_{Cross}	=1−EXP(−0.1*R_{Beta}/(1−R_{Beta}))	CFU/g	
	C_{mean}	=Mean(C_{Cross})*i*	Log CFU/g	
조리 후 오염수준	$C_{_C}$	=C_{Cross}+C_{mean}	Log CFU/g	
소비				
시간	C_{time}	=Pert(1.0,5.0,12.0)	hr	
온도	C_{temp}	=Loglogistic(−10.407,13.616,8.6107)	℃	
성장	C_{LT}	=−31.24+(1006/Ctemp)+(4086/(Ctemp^2))		*V. parahaemolyticus* 성장예측모델(표 4)
	C_{SGR}	=0.00723*(Ctemp−20.31)^2		
	C_{Ymax}	=9.00		
	C_{growth}	=$P_{_C}$+C_{Ymax}*EXP(−EXP(2.718*(C_{SGR}/C_{Ymax})*(C_{LT}−C_{time})+1))		
섭취				
섭취량	I_{ump}	=Invgauss(50.665,52.005,RiskTruncate(0,150)	g	국민건강영양조사 (표 2)
1일섭취빈도	I_{day}	=3	%	
	I_{con}	=0		
	I_{Non-c}	=1		
	I_{1-CDf}	=0.969		
	$I_{CDf(\%)/100}$	=0.031		
	I_{Dis}	=Discrete(I_{con}:I_{Non-c},I_{1-CDf}:$I_{CDf(\%)/100}$)		
	I_{IF}	=IF(I_{Dis}=0,0,I_{ump})		
용량-반응모델	$D_{_R}$	10^C_{growth}*I_{IF}		*V. parahaemolyticus* 용량-반응모델 변수(표 3)
	D_a	=0.1713		
	D_b	=118200		
위해수준	Risk	=1−(1+$D_{_R}$/D_b)^−D_a	Probability of illness /person /day	

3. 위해수준 추정

활어회에서의 *V. parahaemolyticus* 오염수준 변화(표 6)에 있어 원료에서의 오염수준은 평균적으로 약 −3.54 Log CFU/g으로 추정되었으며, 최소 −6.65 Log CFU/g에서 최대 −2.48 Log CFU/g로 분포하였다. 이후 조리 과정에서 교차오염을 통해 약 0.6 Log CFU/g 정도 증가하였으며, 마지막 섭취직전에서의 오염수준은 −3.47 Log CFU/g로 큰 변화는 없었다. 하지만 시뮬레이션 결과 최종 섭취직전의 경우 최대 6.15 Log CFU/g까지 성장하는 것으로 나타나 이 경우 역시 식중독이 발생할 수 있을 것으로 추정되었다.

현재 수준에서의 원료, 조리 조건과 섭취량 등을 기준으로 활어회에서의 *V. parahaemolyticus*에 의해 추정된 위해수준은 표 7과 같다. 1인 1일 parahaemolyticus의 섭취수준은 평균적으로 약 2,920 CFU이었으며, 최대 1,327,100 CFU를 섭취할 수 있는 것으로 추정되었으며, 이로 인한 1인 1일 식중독 발생 가능성은 평균적으로 3.58×10^{-5}이며, 최대 7.00×10^{-1}로 추정되었다. 최종적으로 활어회에서의 *V. parahaemolyticus*에 대해 추정된 위해수준은 미생물에 대한 안전관리 기준 설정 등 위해관리(risk management) 방법 등에 활용할 수 있다.

4. 위해수준 추정 결과의 활용 및 한계

과거 국민건강의 향상과 식품안전관리 측면에서 식중독 발생과 관련한 미생물학적 위해요소에 대한 제조가공기준(process criteria)은 국가 중심으로 설정하였다. 하지만 최근 식품산업의 변화는 제조공정에 있어 많은 다양성과 신기술을 가지게 되었고[12], 국가 중심의 통합적 규정은 오히려 식품산업기술의 발달 저해로 작용하고 있다. 따라서 획일화 된 규정상의 문제에 대한 개선으로, 예로 살균규정에 대해 과거와 같이 시간과 온도를 규정하는 것이 아닌 특정식품 및 특정균에 대해 예로 7 log 이상의 감소만을 규정하고 있으며, 실제적 적용방법은 위와 같은 효과를 나타낼 수 있는 방법으로 식품산업체 스스로 결정하는 방향으로 진행되고 있다[13]. 이와 같은 방법은 위해평가의 결과를 기준으로 적용할 수 있으며, 이러한 위해에 기반한 기준은 식품제조환경에 따라 특성에 맞게 변경하여 수행할 수 있으므로 식품안전뿐만 아니라 품질에 대한 문제도 동시에 고려할 수 있다는 것이다. 또한 실제적인 식중독 원인균의 발생은 제로의 의미가 절대 아닌 아주 낮은 수준으로 나타나기 때문에 MRA에서는 정량적인 방법이 도입되고 있고, 대표적인 Monte-carlo simulation이라는 확률적 방법을 적용하고 있는 것이다.

미생물위해평가 모델 만을 활용하는 것은 과학적인 식품안전관리기준에 대한 근거를 확보할 수 있으며, 미국 FDA에서 개발한 iRISK와 같이 전산화 프로그램으로 개발하는 것이 바람직하며, 이 부분이 완성이 된다면 정부 중앙부서에서 뿐만 아니라 개별 식품산업체에서도 자체 제조, 생산되는 식품을 대상으로 활용할 수 있을 것이다.

하지만 아직까지도 MRA를 통한 안전관리 기준 설정 모델은 기본적으로 방법이나 운영 면에서는 큰 문제가 없을 것으로 보이지만 최상의 활용을 위해서는 기본 자료의 확보가 우선되어야 할 것이다. 첫 번째 한계는 모니터링 자료의 확보뿐만 아니라 자료간의 분석 등의 차이를 줄일 수 있는 표준화가 중요한 문제로 볼 수 있다. 두 번째는 보다 세부적인 관리기준 설정을 위한 정량적 미생

표 6. 생선회 처리 공정 및 단계별 *V. parahaemolyticus* 오염수준 변화 (Log CFU/g)

공정/단계	Min	5%	Mean	95%	Max
원료오염수준	−6.65	−4.26	−3.54	−2.99	−2.48
조리 후 오염수준	−6.31	−4.17	−3.48	−2.95	−2.43
섭취직전 오염수준	−6.03	−4.18	−3.47	−2.94	6.15

표 7. 생선회에서 *V. parahaemolyticus*에 대한 현재의 위해수준 추정

	Min	5%	Mean	95%	Max
1인 1일 균섭취량(CFU)	0	0	2,920	0	1,327,100
1인 1일 식중독 발생수준	0.00E+00	0.00E+00	3.58E−05	0.00E+00	7.00E−01

물위해평가(QMRA)용 식품공급체인망관련 세부자료 및 모델에 한계가 있어 이 부분에 국가적인 개발지원이 요구되며, 이를 바탕으로 본 연구에서 제시한 모델을 활용한다면 보다 세밀한 식품안전관련 관리기준 마련에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 원고는 2016년 국토 해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원(다소비 횟감의 위생 안전성 확보 및 소비촉진을 위한 식품위해인자 검출기술개발, 과제번호:20130281)을 받아 수행된 연구임에 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] Codex. 1998. Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. Codex Committee on Food Hygiene. Report of the thirty-first session, Orlando, United States.

[2] Arie H. Havelaar, Eric G. Evers, Maarten J. Nauta, 2008, Challenges of quantitative microbial risk assessment at EU level, Trends in Food Science & Technology, 19, S26-S23

[3] Notermans, S., Barendz, A.W., 2000, The evolution of microbiological risk assessment. In: Brown, M. and Stringer, M. Microbiological risk assessment in food processing, CRC press, New York, pp. 5-43

[4] 박경진, 2009. 5장-정량적 미생물 위해평가, 이철호 등 식품의 안전성 평가, 한국과학기술한림원출판부

[5] 식품의약품안전처, 미생물 위해평가 지침서, 2015.10

[6] 김하규, 이학태, 김종호, 이상선: 즉석 섭취 식품에 대한 미생물 오염 분석, 한국식품위생안전성학회지, 23(4), 285-290(2008)

[7] 조선경, 문보연, 박종현: 유통중인 생선초밥의 오염 미생물 분석, 한국식품과학회지, 41(3), 334-338 (2009)

[8] Iwahori, J. I., Yamamoto, A., Suzuki, H., Yamamoto, T., Tsutsui, T., Motoyama, K., Sawada, M., Matssushita, T., Hasegawa, A., Osaka, K., Toyofuku, H. and Kasuga, F. : Quantitative Risk Assessment of Vibrio parahaemolyticus in Finfish : A Model of Raw Horse Mackerel Consumption in Japan, Risk Analysis, 30(12), 1817-1832 (2010)

[9] Yoon, K.S., Min, K.J., Jung, Y.J., Kwon, K.Y., Lee, J.K. and Oh, S.W. : A model of the effect of temperature on the growth of pathogenic and nonpathogenic Vibrio parahaemolyticus isolated from oysters in Korea, Food Microbiology, 25, 635-641 (2008)

[10] Yanga, Z-Q., Jiaoa, X-A., Lic, P., Pana, Z-M., Huanga, J-l., Guc, R-X., Fangc, W-M. and Chaoa, G-X. : Predictive model of Vibrio parahaemolyticus growth and survival on salmon meat as a function of temperature, Food Microbiology, 26, 606-614 (2009)

[11] Parveen, S., Dasilva, L., Depaola, A., Bowers, J., White, C., Munasinghe, K.A., Brohawn, K., Mudoh, M. and Tamplin, M. : Development and validation of a predictive model for the growth of Vibrio parahaemolyticus in post-harvest shellstock oysters. International journal of food microbiology, 161, 1-6 (2013)

[12] Lopez-Gomez, A., Fernandez, P.S., Palop, A, Periago, P.M., Martinez-Lopez, A, Marin-Iniesta, F., Barbosa-Canovas, 2009, Food safety engineering: an emergent perspective, Food Eng. Rev. 1, 84-104

[13] Buchanan, R., Whiting, R.C., 2008. Using risk assessment principles in an emerging paradigm for controlling the microbial safety of foods, In: Microbial Risk Analysis of food, Eds. Schaffner, D.W., ASM Press, Washington, D.C., pp. 29-50