식품공전 알가공품의 열처리 동등성 평가

Evaluation of equivalent thermal processing conditions for egg products in Korea Food Code

강일병, 서건호*

Il-Byeong Kang, Kun-Ho Seo*

건국대학교

Konkuk University

서론

알가공품이라 함은 알 또는 알가공품을 원료로 하여 식품 또는 식품첨가물을 가한 것이거나 이를 가공한 전란액, 난황액, 난백액, 전란분, 난황분, 난백분, 알가열제품, 피단 등을 말한다(식품의약품안전처[이하 식약처], 2018). 미생물에 대한 기준의 경우 세균수, 대장균군수에 대한 정량 기준과 살모넬라, 리스테리아 모노사이토제네스 등의 주요 식중독균의 불검출 기준이 존재하며, 생산 공정상에 이를 위한 적절한 살균방법이 적용되어져야한다(식약처, 2018).

알가공품의 살균과 관련한 규정은 '식품공전' 중 '제4. 식품별 기준 및 규격 〉 17. 알가공품류 〉 17-1 알가공품 〉 3) 제조 · 가공기준'에서 제품 특성에 따라 살균에 대한 기준 온도와 시간 조건을 명시하고 있다. 특히 알가열성형제품에 있어서 90℃에서 20분간, 전란액은 64℃에서 2분 30초간, 난황액은 60℃에서 3분 30초간, 난백액은 55℃에서 9분 30초간 가열살균하거나 또는 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로 가열살균하여야 한다고 명시되어 있다. 액란(전란액, 난황액, 난백액)의 살균기준은 알가열성형제품 또는 다른 식품 유형의 기준보다 낮게 설정되어져 있는데 이는 액란을 구성하는 단백질들이 높은 온도에서 쉽게 변성 · 응고되기 때문이다(Froning et al., 2002). 특히 주요 난백단백질인 Ovalbumin, Ovotransferrin, Ovomucoid는 각각 84.0℃, 61.0℃, 79.0℃의 낮은 응고점을 가지고 있어 높은 온도에서 액란의 변성 · 응고에 크게 관여한다(표 1). 따라서 높은 온도에서 가열살균을 시행하는 식품 유형보다 액란에서의 가열살균 조건 선정은 과학적 근거를 바탕으로 보다 정확하게 이루어져야 한다.

국내 액란 살균기준은 명시 되어진 특정 온도-시간 기준 이외에 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로의 가열살균을 허락하여 액란 생산공정에 유연함을 제공하고 있다. "이와 동등이상의 효력이 있는 방법"이라 함은 기술된 방법 이외에 일반적으로 널리 통용되는 방법이나 과학적

* Corresponding author: Kun Ho Seo, Ph D.
Center for One Health, College of Veterinary Medicine, Konkuk University,
1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Republic of Korea.
Tel: +82-2-450-4121 Fax: +82-2-3436-4128 E-mail: bracstu3@konkuk.ac.kr.

표 1. 주요 난백단백질의 종류, 성분비율 및 응고점 (Froning et al., 2002)

난백 단백질	백분율 (%)	응고점 (℃)
Ovalbumin	54	84.0
Ovotransferrin	12	61.0
Ovomucoid	11	79.0
Ovomucin	3.5	–
Lysozyme	3.4	75.0
G2 Globulin	4.0	92.5
G3 Globulin	4.0	–
Ovoinhibitor	1.5	–
Ovoglycoprotein	1.0	–
Avidin	0.05	85

으로 충분히 입증된 것으로 위생학적 뿐만 아니라 영양학적, 관능적 품질의 유지가 가능한 방법을 의미한다(식약처, 2018). 즉, 정해진 살균 조건 이외의 온도와 시간으로 가열처리한 알가공품에도 동등성 여부가 인정되면 가열알가공품이 될 수 있음을 말한다(식약처, 2018).

해당 기준을 활용하여 최근 액란 생산업체들은 풍미 개선 및 차별화 정책 등을 위하여 자체적으로 검증된 고유의 열처리 기법을 사용하려는 경향이 있으며 이에 대해 명시된 기준과의 열처리 동등성 확인에 대한 지속적인 민원 제기가 발생되고 있다. 하지만 현실적으로 이와 관련된 과학적 근거의 부재로 살균 열처리 동등성 여부를 판단하는 것이 어려운 상황이다.

또한 과거에 자급자족으로 소비되어지던 경향과 다르게 액란의 수출입이 활발해지면서 다른 액란 살균기준을 가지고 있는 제외국과의 국제 무역 시에 해당 국가의 살균 기준이 국내 살균 기준에 적합한지를 판단하기 위한 열처리 동등성 평가가 필요한 상황이다. 예를 들어 국내 기준을 포함한 총 13개 국가와 2개 국제기관의 액란 살균기준을 조사한 결과를 비교 및 분석할 때(표 2), 독일(65.5℃ 300초), 덴마크(68.0℃ 270초), 폴란드(66.1℃ 180초)의 전란액 살균기준처럼 국내 전란액 살균기준(64.0℃ 150초)보다 온도와 시간 조건이 모두 높게 설정된 경우에는 보다 높은 살균력을 가진다고 쉽게 판단할 수 있다. 그

표 2. 제외국 알가공품 (전란액, 난백액, 난황액) 살균조건

국가	분류	전란액		난백액		난황액	
		온도 (℃)	시간 (s)	온도 (℃)	시간 (s)	온도 (℃)	시간 (s)
대한민국	일반	64.0	150	55.0	570	60.0	210
일본	살균방법: 연속식	60.0	210	56.0	210	61.0	210
	살균방법: 배치식	58.0	600	54.0	600	59.0	600
중국	일반	63.3	150	–		–	
대만	일반	60.0	600	56.0	600	63.0	1200
미국	일반	60.0	210 210	56.7 55.6	210 372	61.1 60.0	210 372
캐나다	일반	60.0	210	54.0	210	61.0	210
	고형 (24% 미만)	61.0	210	–		–	
	고형 (24~38%)	62.0	210	–		–	
	고형 (38% 초과)	63.0	210	–		–	
호주/뉴질랜드	일반 일반	64.0 64.0	210 210	55.0 55.0	570 570	60.0 60.5	210 180
프랑스	일반	58.0	240	55.5	210	62.5	240
덴마크	일반	68.0	270	61.0	180	68.0	270
독일	일반	65.5	300	56.0	480	58.0	210
폴란드	일반	66.1	180	–		–	
영국	일반	64.0	150	57.2	150	64.4	150
OIE	일반 일반	60.0 60.0	188 188	55.6 56.7	870 232	66.2 66.2	138 138
WFLO	일반 일반	60.0 60.0	210 210	57.0 56.0	210 372	61.0 61.0	210 210

러나 미국의 난백액 살균기준(56.7℃ 210초 또는 55.6도 372초)과 같이 국내 난백액 살균기준(55.0℃ 570초) 보다 높은 살균온도를 사용하지만 더 짧은 살균시간을 가지고 있는 경우에는 제시된 온도-시간만으로 국가별 열처리 방법의 살균력 동등성을 과학적으로 비교 및 판단하기에 어려움이 있다. 대부분의 제외국 살균기준들이 온도-시간 관계를 고려하여 낮은 살균온도의 경우 보다 긴 살균

시간 또는 높은 살균온도의 경우 보다 짧은 살균시간을 적용하고 있기에 이들의 동등성 여부를 판단할 수 있는 과학적 방법이 필요한 상황이다.

따라서 본 논단에서는 액란의 과학적인 열처리 동등성 평가방법을 제시하고 도출된 결과를 활용하여 식품공전에 제시된 살균 온도-시간과 상이한 업체 고유의 열처리 기법을 사용하는 국내 액란 생산업체들의 민원을 해소하고 국제 무역 시 발생되는 살균 기준 동등성 판단의 어려움을 해소하기 위한 가이드라인을 제시하고자 한다.

본론

1. 동등성 평가방법 선정: D-value & Z-value

미생물의 제어가 목적인 열처리 방법의 동등성 평가는 해당 식품에서 주요한 미생물을 표준 세균으로 선정하여 다양한 살균 조건에서의 표준 세균의 D-value와 Z-value를 측정하는 방법이 주로 사용되어지고 있다. D-value(Decimal reduction time)란 특정 온도에서 가열처리 하였을 때 살아있는 미생물 또는 포자수를 초기 대비 90% 감소시키는데 필요한 시간을 의미하며, 동등성 평가에 많이 사용되는 지표이다(그림 1). Z-value란 D-value 값이 1/10 또는 10배로 변화하는데 필요한 온도 차이를 의미하는 지표로 온도에 따른 가열시간 변화로 동일한 미생물을 사멸시키는 효과를 나타낸다(그림1). Z-value를 구하는 이유는 현실적으로 모든 온도에서의 D-value값을 구할 수 없기 때문에 온도별 D-value값 변화 정도를 파악하여 미지의 온도에서의 D-value값을 추론하기 위함이다. Z-value값을 활용하면 열처리 온도-시간의 상관관계를 파악할 수 있어, 다양한 열처리 온도-시간 조합의 살균 강도를 측정 및 비교할 수 있는 기초 함수를 제공한다.

D-value와 Z-value 값은 일반 액체배지나 실험용액에 표준세균을 인위접종하여 측정할 수도 있지만 D-value는 표준 세균의 종류 외에 식품의 종류와 food matrix (식품의 조성, pH, 수분활성도 등)의 차이에 따라 그 측정값이 다를 수 있기에 해당 식품에서 실험하여 측정한 D-value와 Z-value 값을 활용하여 열처리 동등성 평가가 진행되어야한다.

Food matrix와 더불어 실험방법 또한 D-value와 Z-value 값에 영향을 줄 수 있다. 열처리를 하는 식품의 양이나 식품을 담는 실험용 tube의 두께 등의 변수는 열전도율이나 열처리에 의한 세균의 사멸곡선에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 USDA에서 출판된 "International Egg Pasteurization Manual" 및 관

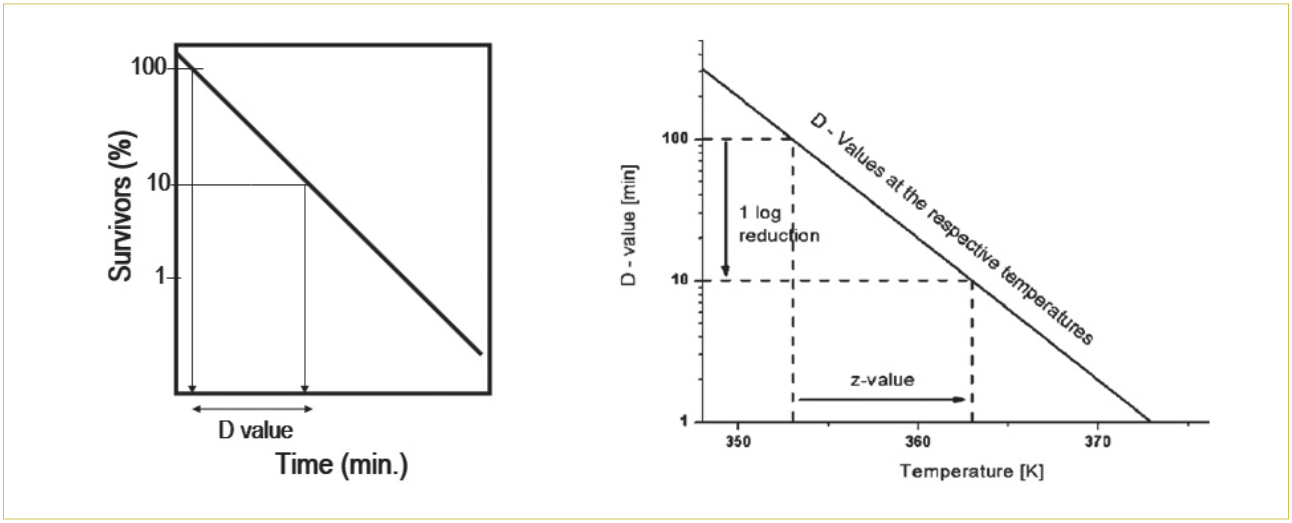

그림 1. D-value와 Z-value의 측정

련 논문에서는 capillary tube 실험법을 활용하고 있다. capillary tube는 다른 실험 tube에 비해 얇아 열전도율이 우수하고 투여량이 적어 목표 온도에 도달하는 시간(Come-up time)이 짧아 정확한 열처리 동등성 평가 실험을 가능하게 한다(그림 2).

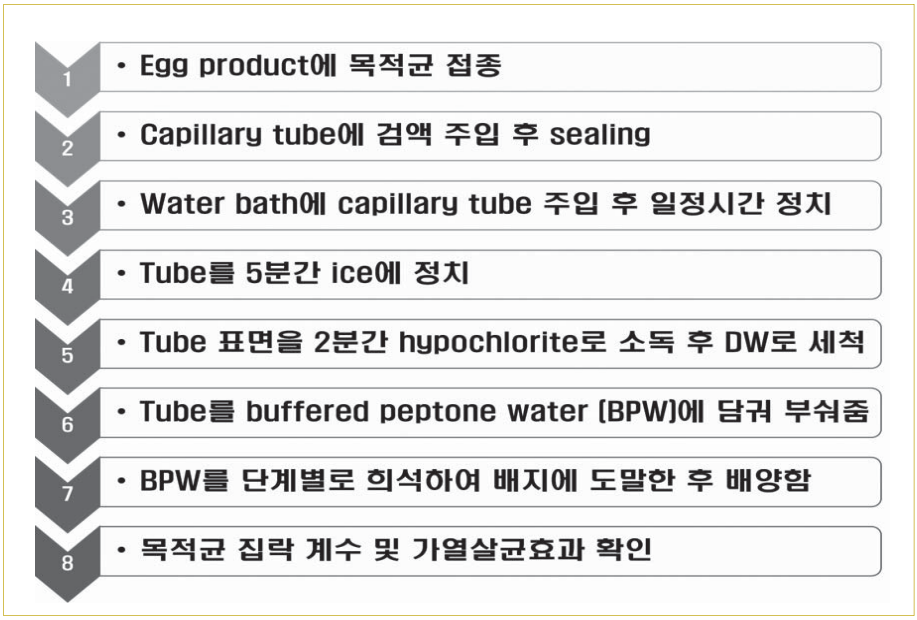

그림 2. Capillary tube 실험법을 활용한 열처리 동등성 평가 실험 순서

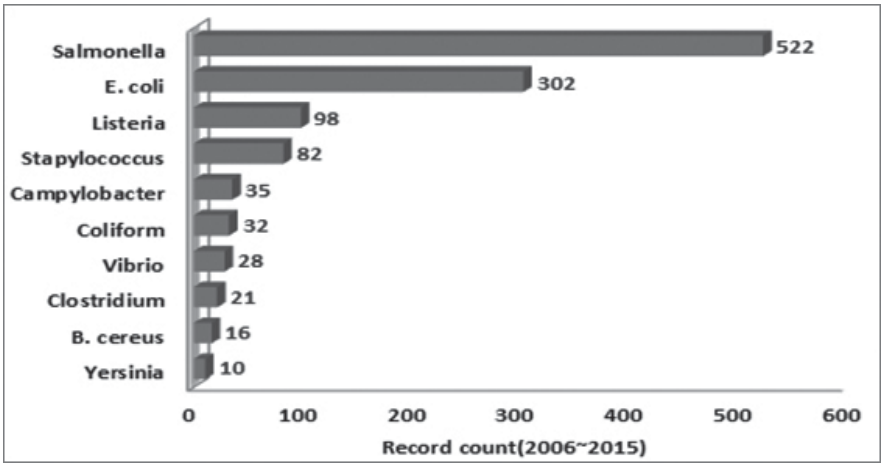

그림 3. 최근 10년(2006~2015)간 알가공품에 대한 식중독균 연구 현황, Web of Science

2. 표준 세균 선정: *Salmonella* Enteritidis

살모넬라는 계란과 알가공품에서 가장 큰 문제가 되어온 식중독균으로 연구 또한 가장 활발히 이루어지고 있다(그림 3). 특히 *Salmonella* Enteritidis는 알가공품 살균의 지표세균으로 사용된다. 국제 코덱스에서 규정하는 알가공품 가열처리기준(Code of Hygienic Practice for Eggs and Egg Products)에서는 알가공품 가열처리 시에 구체적인 온도와 시간은 언급되어 있지는 않았으나, 가열조건이 병원성 세균들을 충분히 사멸시킬 수 있는지에 대한 validation이 필요하며 식품의 품질에 지장을 주지 않는 범위 내에서 시행되어야 한다고 명시하고 있으며, 특히 병원성 세균 중 *Salmonella* Enteritidis를 제어하는 것이 중요하다고 언급하고 있어 액란에서의 열처리 동등성 평가에 사용할 표준 세균으로써 적합하다고 볼 수 있다. 국내 식품공전 상에도 일반 식품에 대한 기준에도 살모넬라 불검출 기준이 있음에도 알가공품에 대한 규격에서도 살모넬라에 대한 기준(n=5, c=0, m=0/25g)을 별도로 명시하고 있으며, "가공 · 가열처리하지 아니하고 그대로 사람이 섭취하는 용도의 식용란에서는 살모넬라균(*Salmonella* Enteritidis)이 검출되어서는 아니 된다"라고 명시하면서 *Salmonella* Enteritis의 알가공품에서의 중요성을 강조하고

있다. 동등성 평가 실험에 사용할 *Salmonella* Enteritidis 균주를 선정할 시에 균주별로 열저항성 등의 특성에 차이가 있을 수 있으므로 ATCC 균주와 같은 대표적인 균주을 사용하고 예비실험을 거쳐 열저항성이 높은 균주를 선별한다. 또한 실험결과의 범용성을 위하여 Cocktail 균주 실험도 추천되고 있다.

표 4. 제외국 가염,가당제품 살균기준 현황

국가	분류	전란액		난황액	
		온도 (℃)	시간 (s)	온도 (℃)	시간 (s)
일본	일반	60	210	61	210
	가염 · 가당 10%	–		63	210
	가당 20%	64	210	65	210
	가당 30%	–		68	210
미국	일반	60	210	61.1	210
				60.0	372
	가염 2% 이상	63.3	210	63.3	210
		62.2	372	62.2	372
	가당 2% 이상	61.1	210	63.3	210
		60	372	62.2	372
	2–12%첨가물	–		62.2	210
				61.1	372
캐나다	일반	60	210	61	210
	가염 · 가당 2% 미만	61	210	61	210
	가염 · 가당 2–12%	63	210	63	210
호주/뉴질랜드	일반	64	150	60	210
				60.5	180
	가염 · 가당	–		62	210

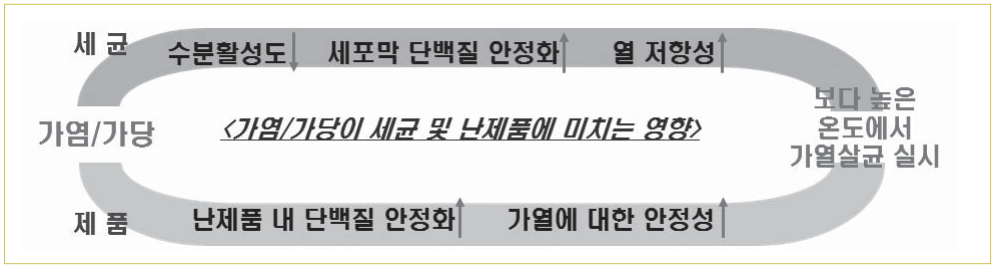

그림 4. 가염/가당이 식품과 존재하는 세균에 미치는 영향

3. 식품 유형 선정: 전란액, 난백액, 난황액, 10%가염 난황액

미국, 일본, 캐나다, 호주/뉴질랜드의 경우 가염, 가당 알가공품에 대한 별도 기준을 가지고 있다(표 4). 일본은 전란액의 경우 가당 20%, 난황액의 경우는 가염 10%, 가당 10%, 20%, 30%에 따라 별도의 살균기준을 가지고 있으며, 일반 기준에 비하여 2–7℃ 높은 온도로 살균 할 것을 명시하고 있다. 미국의 경우 전란액과 난황액의 경우 2% 이상의 가염 및 가당 시 일반 기준에 비하여 1~3℃ 높은 온도로 살균할 것을 명시하고 있으며, 난황액의 경우 2~12% 첨가물이 있을 시 별도 기준을 명시하고 있다.

많은 선행연구들에서 식품에 염분이나 당분 등을 첨가할 경우 식품 내에 존재하는 세균의 열에 대한 저항성이 높아진다는 보고가 있었으나, 정확한 매커니즘은 알려지지 않았다(Gurtler et al., 2013). 염/가당에 의해 세균의 열저항성이 높아지는 이유에 대한 가장 유력한 가설은 가염/가당이 수분활성도를 떨어뜨리는데 이는 세균의 세포막에 존재하는 막단밸질을 안정화시켜 열에 대한 저항성을 높일 수 있다는 것이다. 또한 이러한 가염/가당의 단백질–안정화 효과는 액란 내에 존재하는 열에 민감한 단백질들도 안정화시켜 보다 높은 온도 조건에서의 가열살균에서도 품질이 큰 영향을 받지 않을 수 있어 가염/가당 식품의 경우 보다 높은 온도 조건에서의 가열살균이 가능하다(그림 4).

국내 기준의 경우, 가염 · 가당 액란에 대한 별도 살균기준을 가지고 있진 않지만 일반 액란기준 자체를 높은 온도로 설정하여 안전성을 보장하고 있다. 단, 제외국의 사례를 보았을 때 정확한 동등성 평가를 바탕으로 전란액, 난황액의 기준

을 일반 기준과 가염 · 가당으로 구분한다면 낮은 온도에서의 효율적인 일반 액란 살균이 가능할 것으로 보인다. 따라서 액란에 대한 열처리 동등성 평가 시 식품 유형에 액란 3종(전란액, 난백액, 난황액) 외에 10% 가염 난황액 등의 가염/가당 제품을 포함시켜 가염/가당이 실제 액란과 세균의 D-value에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다면 추후 가염/가당 제품에 대한 기준 설정에 도움이 될 것으로 생각되어진다.

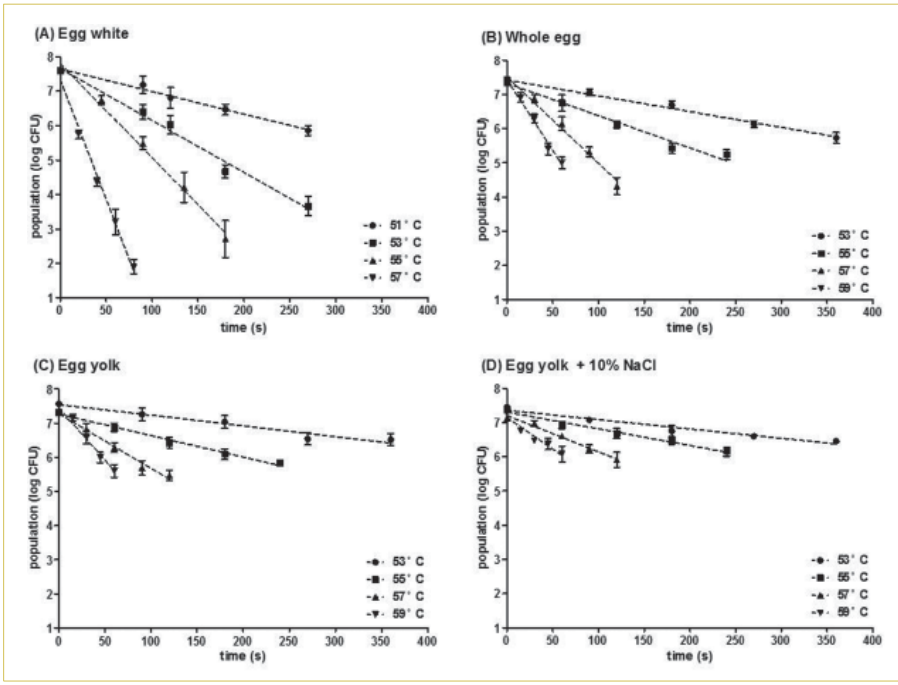

그림 5.

4. 동등성 평가 절차

(1) D-value 측정

표준세균(*Salmonella* Enteritidis)를 액란(전란액, 난백액, 난황액, 10%가염 난황액)에 인위접종한 후 접종액란을 capillary tube에 투여한 후 밀봉하여 다양한 온도-시간에서 열처리를 실시하여 표준세균의 사멸그래프를 구한다(그림 5). 이 사멸그래프의 추세선의 기울기를 활용하여 액란 유형별 및 온도별 D-value를 계산한다(표 5).

표 5. 액란 유형별 및 온도별 D-value

액란 유형	D-value (s)				
	51℃	53℃	55℃	57℃	59℃
Egg white	151.52	66.23	36.63	16.75	–
Whole egg	–	217.39	105.26	39.37	24.15
Egg yolk	–	312.50	136.99	62.50	32.57
Egg yolk +10% NaCl	–	370.37	204.08	94.34	54.05

(2) Z-value 측정

다양한 온도에서 측정된 D-value를 잇는 추세선을 사용하여 Z-value와 온도-시간 함수를 구한다. 이를 통해 실험하지 않은 온도군에서의 D-value 또한 추정할 수 있다(그림 6).

(3) 살균력 평가

조사된 Z-value와 온도-시간 함수를 활용하여 계산된 각 온도별 D-value를 활용하여 특정 열처리 조건(온도-시간)의 살균력(Performance)을 평가할 수 있다. Dt-value란 해당 온도(t)에서의 표준 세균이 1 log 감소(1/10)되어지는 시간을 의미하므로 특정 열처리 조건의 시간으로 Dt-value로 나눈 값이 특정 열처리 조건의 log reduction 값 즉 살균력이라고 판단할 수 있다(그림 7).

(4) 결과활용

제시된 동등성 평가 방법을 사용한다면 미국의 난백액 살균기준(56.7℃ 210초 또는 55.6℃ 372초)과 국내 난백액 살균기준(55.0℃ 570초)간의 동등성 평가가 가능하다(표 6). 예를 들어 식약처의 난백액 살균기준 온도인 55.0

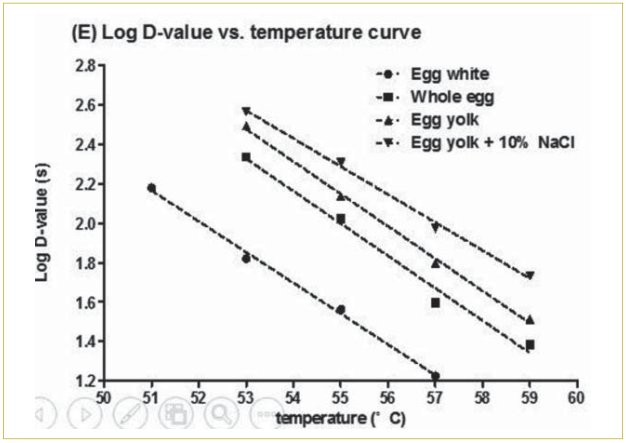

그림 6. 액란(전란액, 난백액, 난황액, 10%가염 난황액)에서의 Salmonella Enteritids의 Z-value

$$\text{Performance (log reduction)} = \frac{\text{Heating time (s)}}{D_{\text{Heating temp}(^{\circ}C)}\text{-value}}$$

그림 7. 측정된 D-value를 활용한 열처리방법의 살균력(Performance) 평가식

표 6. 식품의약품안전처(MFDS)와 USDA의 액란 기준의 살균력 평가

Egg products	Pasteurization protocols			D-value (s)	Performance (log reductions)
	[1]Reference	Temperature (℃)	Time (s)		
Egg white	MFDS	55.0	570	34.87	16.34
	USDA	55.6	372	28.10	13.24
		56.7	210	18.91	11.10
Whole egg	MFDS	64.0	150	3.30	45.51
	USDA	60.0	210	15.00	14.00
Egg yolk	MFDS	60	210	21.38	9.82
	USDA	60	372	21.38	17.40
		61.1	210	14.10	14.89
Egg yolk + 10% NaCl	MFDS	60	210	38.02	5.52
	USDA	62.2	372	18.51	20.10
		63.3	210	12.91	16.26

℃에서의 D-value값으로 살균기준 시간(570초)을 나눈 값이 살균력(16.34 log reductions) 값이 된다. 미국의 난백액 살균기준의 값은 13.24 log와 11.10 log reductions로 평가되어 식약처 기준이 USDA보다 높은 살균력을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 위와 같은 방법으로 세계 각국의 살균기준들 간의 상대적 평가 즉 동등성 평가가 가능하다.

단, 계산된 살균력 값은 D-value와 Z-value 측정에 사용한 식품 유형과 표준 세균에 대한 값으로 다른 식품 유형이나 표준 세균에 적용할 수는 없다. 또한 열처리 방법이나 실험 환경에 따라 달라질 수 있으므로 열처리 조건의 절대적 살균력 평가라기 보단 열처리 조건들 간의 상대적 평가 즉 동등성 평가를 위한 것이다. 본 연구팀은 연구결과를 활용하여 식품 동등성 평가를 위한 소프트웨어 및 어플을 개발하였으며 사용방법은 아래와 같다. 1) 안드로이드 Play 스토어에서 다운로드 가능하다(현재는 관리자만 사용 가능). 2) 유형선택란에서 동등성 평가할 식품 유형 또는 살균기준을 선택한다. 3) 실제 현장 조건과 come-up time을 고려하여 살균기준에 따른 온도변화 수치를 입력한다. 4) 유형선택란에서 선택한 살균기준과 비교분석한 결과(기준 이상 또는 이하)를 확인한다. (그림 8)

결론

알가공품의 열처리 동등성 평가 절차를 확립함으로써 1) 각 축산가공품의 열처리 동등성에 대한 행정상의 효율적인 검사 및 평가가 가능해지고 2) 이에 따라 업체별 열처리 조건에 객관성이 부여되며 3) 이러한 검증은 소비자의 국내 제품에 대한 신뢰 및 국가 간 무역마찰 해소에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

더불어 제시된 열처리 동등성 평가 방법을

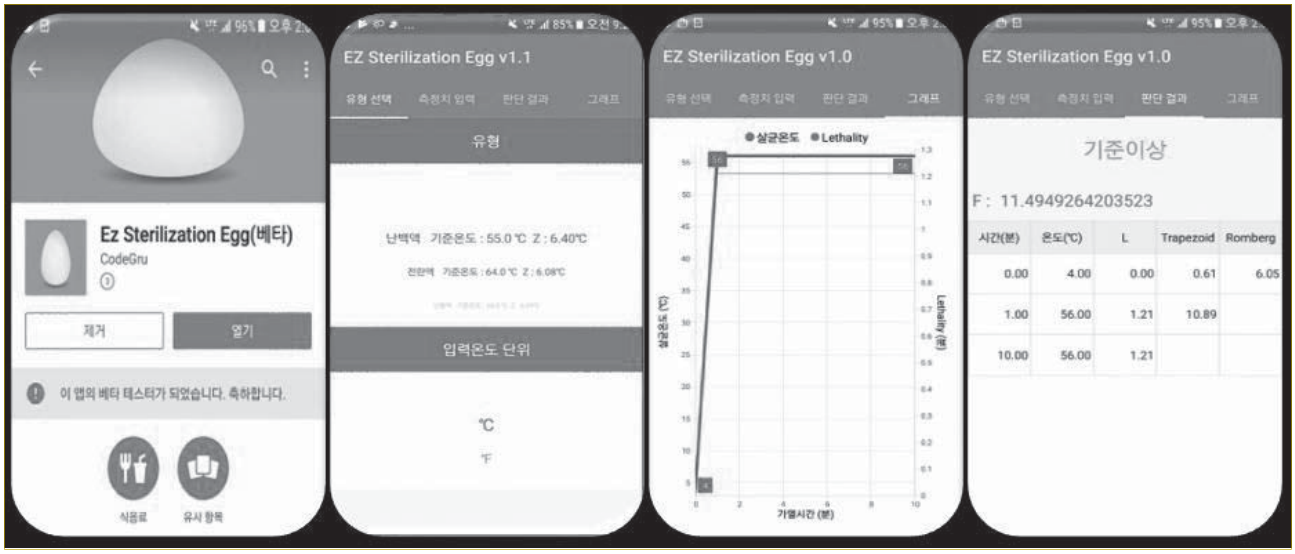

그림 8

적용할 수 있는 알가공품 이외에 다른 액상 식품에 대한 열처리 동등성 평가도 가능할 것으로 보이며 활용성도 높을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 식품의약품안전처의 연구개발비(16162MFDS581)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 식품의약품안전처. (2018). 식품공전

2. Acosta, O., Usaga, J., Churey, J. J., Worobo, R. W., & Padilla-Zakour, O. I. (2017). Effect of water activity on the thermal tolerance and survival of *Salmonella* enterica serovars Tennessee and Senftenberg in goat milk caramel. *Journal of Food Protection*, *80*, 922-927.

3. Farid, M. & Alkhafaji, S. (2012). Determination of an effective treatment temperature of chemical and biological reactions. *Food Bioprocess Technology*, *5*, 147-154.

4. Favier, G. I., Escudero, M. E., De Guzmen, A. N. A., & Stefanini, M. (2008). Thermal inactivation of *Yersinia enterocolitica* in liquid egg products. *Journal of Food Protection*, *28*, 157-169.

5. Froning, G. W., Peters, D., Muriana, P., Eskridge, K., Travnicek, D., & Sumner, S. S. (2002). International egg pasteurization manual. Illinois: AEB.

6. Gurtler, J. B., Marks, H. M., Bailey, R. B., Juneja, V., & Jones, D. R. (2013). Kinetics model comparison for the inactivation of *Salmonella* serotypes Enteritidis and Oranienburg in 10% salted liquid whole egg. *Foodborne Pathogens and Disease*, *10*, 492-499.

7. Gurtler, J. B., Marks, H. M., Jones, D. R., Bailey, R. R., & Bauer, N. E. (2011). Modeling the thermal inactivation kinetics of heat-resistant *Salmonella* Enteritidis and Oranienburg in 10 percent salted liquid egg yolk. *Journal of Food Protection*, *74*, 882-892.

8. Gurtler, J. B. & Jin, T. Z. (2012). Propylparaben sensitizes heat-resistant *Salmonella* Enteritidis and *Salmonella* Oranienburg to thermal inactivation in liquid egg albumen. *Journal of Food Protection*, *75*, 443-448.

9. Goulter, R. M., Dykes, G. A., & Small, A. (2008). Decontamination of knives used in the meat industry: Effect of different water temperature and treatment time combinations on the reduction of bacterial numbers on knife surfaces. *Journal of Food Protection*, *71*, 1338-1342.

10. Humphrey, T. J., Chapman, P. A., Rowe, B., & Gilbert, R. J. (1990). A comparative study of the heat resistance of salmonellas in homogenized whole egg, egg yolk or albumen. *Epidemiology and Infection, 104*, 237-241.

11. Jin, T., Zhang, H., Boyd, G., & Tang, J. (2008). Thermal resistance of *Salmonella* Enteritidis and *Escherichia coli* K12 in liquid egg determined by thermal-death-time disks. *International Journal of Food Engineering*, 84, 608-614.

12. Mañas, P., Pagán, R., Alvarez, I., & Usón, S. C. (2003). Survival of *Salmonella* Senftenberg 775W to current liquid whole egg pasteurization treatments. *Food Microbiology*, *20*, 593-600.

13. Manas, P., Pagan, R., Leguérinel, I., Condon, S., Mafart, P., & Sala, F. (2001). Effect of sodium chloride concentration on the heat resistance and recovery of *Salmonella typhimurium*. *International Journal of Food Microbiology, 63*, 209-216.

14. McCormick, K., Han, I. Y., Acton, J. C., Sheldon, B. W., Dawson, P. L. (2003). D and z-values for *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in packaged low-fat ready-to-eat turkey bologna subjected to a surface pasteurization treatment. *Poultry Science*, *82*, 1337-1342.

15. Michalski, C. B., Brackett, R. E., Hung, Y. C., & Ezeike, G. O. I. (1999). Use of capillary tubes and plate heat exchanger to validate US Department of Agriculture pasteurization protocols for elimination of *Salmonella* Enteritidis from liquid egg products. *Journal of Food Protection*, *62*, 112-117.

16. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). (2016). Processing Standards and Ingredient Specifications for Livestock Products.

17. Palumbo, M. S., Beers, S. M., Bhaduri, S., & Palumbo, S. A. (1995). Thermal resistance of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* in liquid egg yolk and egg yolk products. *Journal of Food Protection, 58*, 960-966.

18. Peña-Meléndez, M., Perry, J. J., & Yousef, A. E. (2014). Changes in thermal resistance of three *Salmonella* serovars in response to osmotic shock and adaptation at water activities reduced by different humectants. *Journal of Food Protection*, *77*, 914-918.

19. Robertson, W. R., & Muriana, P. M. (2004). Reduction of Salmonella by two commercial egg white pasteurization methods. *Journal of Food Protection, 67*, 1177-1183.

20. Schuman, J. D. & Sheldon, B. W. (1997). Thermal resistance of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* in liquid egg yolk and egg white. *Journal of Food Protection*, *60*, 634-638.

21. Silva, F. V. & Gibbs, P. A. (2012). Thermal pasteurization requirements for the inactivation of Salmonella in foods. *Food Research International, 45*, 695-699.

22. Tadapaneni, R. K., Syamaladevi, R. M., Villa-Rojas, R., & Tang, J. (2017). Design of a novel test cell to study the influence of water activity on the thermal resistance of Salmonella in low-moisture foods. *Journal of Food Engineering, 208*, 48-56.