pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 27, No. 4, pp. 432~441 (2012)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

돈육 가공공정 중 돈육에 오염된 *Listeria monocytogenes*의 전이율 분석

김성조[1] · 김광희[2] · 박중현[2] · 박보금[2] · 박명수[2] · 오덕환[2]*
[1]한국보건산업진흥원, [2]강원대학교 식품생명공학과

Analysis of Transfer Rate on *Listeria monocytogenes* Contaminated Pork Meat During Processing

Seong-Jo Kim[1], Gwang-Hee Kim[2], Joong-Hyun Park[2], Bo-Geum Park[2], Myoung-Su Park[2], and Deog-Hwan Oh[2]*
[1]*Department of HACCP Promotion, Korea Health Industry Development Institute, Cheongwon 363-951, Korea*
[2]*Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*
(Received July 24, 2012/Revised August 8, 2012/Accepted August 30, 2012)

ABSTRACT - In this study, the transfer rate of wild type *Listeria monocytogenes* (LM) was investigated to establish the standard of safety management during pork meat processing for meat to meat and meat to food contact surfaces contamination at 5 and 10°C. The transfer rate of LM from meat to meat during the processing increased from 0.02% after 30 min to 0.42% after 120 min at 5°C, while for conveyor belt and stainless steel, it decreased from 0.015% and 0.013% after 30 min to 0.002% and 0.0003% after 120 min at 5°C, respectively ($p < 0.05$). When temperature increased to 10°C, the transfer rates of LM from meat to meat, conveyor belt and stainless steel were the highest at 60 min exposure, and all decreased after 120 min. In reverse, the transfer rate from food contact surface to pork meat was significantly higher than that from pork meat to food contact surface ($p < 0.01$). Also, the transfer rate to conveyor belt was significantly higher than stainless steel ($p < 0.05$) and it was highest at 30 min exposure time in both 5 and 10°C. This study indicates that the transfer and adherence rates of LM are influenced by the contact time and temperature. Consequently, these results were utilized to develop a predictive model with a high level of confidence which can lead to prevent cross-contamination during pork meat processing.

Key words: *Listeria monocytogenes*, transfer rate, pork meat, conveyor belt, stainless steel

서 론

지난 10년간 우리나라 연간 돈육 소비량은 779,908톤('00)에서 915,534톤('10)으로 약 17.3%가 증가하였고, 1인당 육류 소비량도 16.5 kg('00)에서 19.24 kg('10)으로 약 16.6%가 증가한 것으로 나타났다[1]. 돈육 소비량은 우육이나 계육과 같은 다른 종류의 육류와 비교하였을 때 가장 높은 소비량 증가를 나타냈다. 축산물의 소비가 증가함에 따라 소비자의 무분별한 육류섭취로 인해 개인적 영양 문제 발생이 증가했으며, 축산물의 대량공급으로 인한 유통·가공·저장과정에서 위생관리 소홀로 소비자들의 식육에 대한 안전성 문제도 급진적으로 대두되고 있다[2].

*Correspondence to: Deog-Hwan Oh, Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
Tel: 82-33-250-6457, Fax: 82-33-241-0508
E-mail: deoghwa@kangwon.ac.kr

육류는 풍부한 영양소와 수분을 함유하고 있어 저온 유통과정 중에도 부주의하게 취급할 경우 미생물 성장에 의해 쉽게 부패가 일어나며, 오염된 미생물은 작업환경 내에 상존하면서 교차오염(cross contamination) 및 재오염원(re-contamination factor)으로 작용할 우려가 있기 때문에 도축장에서부터 도축처리, 가공, 유통 및 소비에 이르기까지 모든 공정에 있어서 Hazard analysis and critical control point (HACCP)을 적용하여 위해병원미생물관리를 하는 것이 효과적이다. 따라서 우리 나라에서는 축산식품의 안전성을 확보하기 위해 HACCP제도를 점차 확대 적용함과 동시에 의무적인 적용을 요구하고 있지만 허가 기준 및 관리는 효과적으로 이루지지 않고 있으며, 관련 식중독 발생으로 사회경제적 비용이 막대한 것으로 추정된다[3-5].

미국의 경우 매년 *Listeria monocytogenes*에 의한 식중독 건수는 1,591건에 달하며, 그 중 255명이 사망하는 것으로 보고되어 있다[6]. *L. monocytogenes*에 의해 발생되는 리스테리아증(Listeriosis)은 *Salmonella* spp.에 의한 살모넬

라증(Salmonellosis)에 이어 두 번째로 많은 것으로 보고 되어있고, 미국 식품의약품청(US Food and Drug Administration)에서는 즉석섭취식품에 의한 식중독 사고가 발생하기 때문에 소비자에게 주의를 요하고 있다[7].

*L. monocytogenes*는 사람에게는 심각한 식중독의 주된 병원균으로서 리스테리아증을 유발하는 매우 위험한 식중독균으로 감염의 결과로 20-30%의 사망률을 보이는 상당히 치명적인 식중독 병원균이다[8]. 특히 냉장 또는 냉동상태로 저장, 운반, 판매되는 돈육을 포함한 대부분의 축산물, 유제품 등에 오염된 *L. monocytogenes*는 일반적인 저온보존과정(4°C)에서 생존 및 증식이 가능한 특징으로 인해 축산물의 안전성을 위협하는 중요한 미생물학적 위해요인으로 인정되고 있다[9,10]. Doyle[11]등에 따르면, 식품사슬의 어떠한 단계에서도 오염될 수 있으며, 아이스크림과 같은 식품에서의 냉동 또는 냉장저장은 *L. monocytogenes*의 성장을 억제하지 못한다고 보고하였다.

한편, Sammarco 등[12]은 도축장 작업환경과 작업기구, 작업자, 작업자 손등에서 *Salmonella, Listeria, Yersinia*가 분리되었다고 보고하였고, 이는 또한 돈육에서도 분리될 가능성이 높으며 오염된 돈육은 다른 작업환경과 접촉부위에 재오염 가능성을 나타내는 연구결과이다. 돈육 포장육 제조공정은 15°C이하 유지가 기준이지만 규모에 따라 그 이상의 온도환경에서 작업이 이루어지고 있으며, 작업 시 환경과 도체간, 도체와 도체간 또는 도체에서 환경으로 식중독균의 오염 가능성이 있기 때문에 냉장유통으로 관리하여도 이들 미생물에 대한 오염을 관리하는 것은 쉽지 않다고 보고하였다[13]. 또한 Perez-Rodriguez 등[14]도 식중독 발생 원인에 대해서 교차오염과 전이(transfer)가 주요 원인으로 지적하였다. 유럽에서 WHO가 수행한 조사에 따르면 식중독 발생은 약 25%가 재오염에 의한 발생일 수 있으며 사람에 의한 오염(9.2%), 오염 장비(5.7%), 부적절한 장소에서의 가공 또는 저장(4.2%), 교차오염(3.6%), 불충분한 위생(1.6%)이 가공식품에 식중독균이 존재하게 되는 주요 원인이 될 수 있다고 보고하였다. 미국 FSIS (Food Safety and Inspection Service)에서 수행한 조사에 의하면 도축단계보다 가공식품 공정단계에서 *L. monocytogenes* 오염이 더 심한 것으로 나타났으며 그 원인으로 가공중의 교차오염을 지적하였다[15]. 교차오염과 관계가 있는 식중독 위험은 두 가지 요인에 좌우되며 그 하나는 접촉표면의 오염수준이고 다른 하나는 섭취되는 식품으로의 전이 가능성이다[16,17].

Kim 등[18]에 의해 돈육 가공공정에서 식중독균에 의해 오염된 돈육으로부터 식품접촉면으로의 부착가능성 및 그 수준을 분석하기 위한 부착율 분석에 관한 연구는 보고되었지만, 돈육 가공공정 중 돈육과 접촉 후 접촉된 조직에서의 잔류 및 생존가능성과 그 수준을 분석하기 위한 전이율 분석에 관한 연구는 보고된 바가 없음에 따라 본 연구를 진행하였다. 교차오염 전이율에 관한 자료는 축산물 작업장의 세부 위생관리기준 작성에 활용가능하며, 또한 미생물학적위해평가(MRA; Microbial Risk Assessment)에서 교차오염 모델 개발에 유용한 정보를 제공해 줄 수 있다[19,20].

따라서, 본 연구는 돈육포장육 공정 중 *L. monocytogenes*에 오염된 돈육으로부터 식품접촉면인 컨베이어벨트와 스테인리스 스틸의 접촉오염 또는 재오염에 대한 전이율을 돈육 가공공정 현장을 바탕으로 분석하였고 여기에 수학적 모델을 이용하여 수량화하였다. 이 모델은 돈육에 오염된 *L. monocytogenes*의 식품접촉면으로 전이되는 확률을 예측할 수 있을 것으로 예상되며, 이를 바탕으로 돈육 가공공정 및 유통단계에서의 과학적인 식품위생관리기준 설정 근거를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 냉장 돈육은 2012년 강원지역의 일반시장에서 유통되는 안심(red meat)으로 구입한 후, 냉장온도를 유지한 아이스박스를 이용하여 1시간 이내에 실험실로 운반하여 사용하였다. 운반한 돈육을 가능한 빠른 시간에 일정한 크기(5 × 5 × 2 cm)로 절단하고, 멸균팩으로 포장하여 5°C 냉장고(Sanyo MIR-533, Sanyo Co., Japan)에 보관하였다. 돈육포장공정 작업장에서 식품접촉표면으로 사용된 재질은 지육운반용 컨베이어벨트(Conveyor belt, SL Type), 스테인리스 스틸(Stainless steel, Type STS304)로 선정하였으며, 동일한 작업환경을 위해 해당 돈육식품 회사로부터 제공받아 사용하였다. 모든 시료는 각 5개씩 공정별로 3회 반복하여 수행하였다.

시험균주 및 배양

전이율 연구에는 *L. monocytogenes* KCL53 wild type을 사용하였다[18]. 이 균주를 10% glycerol이 첨가한 tryptic soy broth (TSB, Difco Co., Michigan, Detroit, USA) 배지에 넣어 −70°C 급속냉동고(DF8520, Ilshin lab Co. Ltd., Yangju)에 동결보존 하였고, 보관된 균을 냉장온도에서 녹인 후 trypic soy agar (TSA, Difco Co., Michigan, Detroit, USA)에 도말하여 35°C에서 24시간 전배양 하였다. 균주의 활성배양을 위하여 TSB에서 2회 계대를 실시한 후 다시 TSA에 도말접종하여 35°C에서 24시간 배양하였다. TSA상에 생육한 단일 colony를 멸균생리식염수에 현탁하여 초기균수(1.0-5.0 × 10^8/mL)를 조절하여 사용하였다.

돈육 및 식품접촉면 재질의 전처리

일정한 크기로 절단한 돈육을 10°C 배양기(Incubator MIR 252, Sanyo Electric Co., Japan)에서 70% ethanol (Junsei Chemical, Tokyo, Japan)에 담궈 주름진 곳도 살균

되도록 100 rpm으로 5분간 진탕배양기(Shaking Incubator J-SIL-R, Jeil Scientific Ind. Co., Goyang, Korea)로 살균처리하였다. 멸균증류수로 3회 세척한 후 실온에서 30분 동안 돈육표면의 수분이 완전히 제거될 때까지 건조시켰다. 돈육은 시험균의 활성배양액을 직접적으로 접종하여 다른 돈육에 전이를 시킬 수 있는 돈육(base tissue; source, 돈육-S)과 돈육-S에 접종된 시험균이 전이될 돈육(contact tissue; destination, 돈육-D)으로 구분하였다. 컨베이어벨트와 스테인리스 스틸은 실험전에 각각 20 × 70 × 1 mm로 절단하고, 컨베이어벨트와 스테인리스 스틸은 1 N NaOH (Yakuri Pure Chemicals, Tokyo, Japan) 용액에 각각 24, 6시간 침지하여 1차 세척한 후 증류수로 수회 충분히 세척하여 잔존되어 있는 NaOH 용액을 제거하였다. 1차 세척 후 식품접촉면 재질의 잔때(grease)를 제거하기 위한 2차 세척에는 acetone (Junsei Chemical)을 사용하여 1시간 침지하고, 증류수로 세척하여 실온에서 건조한 후 스테인리스 스틸은 고압증기멸균기(HICLAVETM HVE-50, Hilayama Co., Japan)에서 121°C, 15분 멸균하고, 컨베이어벨트는 70% ethanol에 담가두어 살균처리하여 사용하였다.

전이율 분석

건조된 돈육-S을 petri dish 바닥에 놓고 전배양한 *L. monocytogenes*의 시험균 활성액 0.1 mL를 표면에 도포한 후 다른 살균 건조된 돈육-D 또는 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸을 부착시켰다. 고기가 포개어 있음을 가정하여 무게 약 300 g 정도의 물체를 올려놓고 압력을 가하여 부착된 돈육 및 식품접촉면의 초기균수가 약 5-6 log CFU/g or surface가 되게 하였다. 전이되어 배양 완료된 돈육-D, 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸에 약하게 부착된 시험균을 제거할 목적으로 멸균수로 3회 세척하고, clean bench의 제균된 깨끗한 공기로 표면의 물기가 마르도록 건조하였다. 돈육 무게 대비 10배 희석 멸균수를 stomacher bag (Pyxon-20, ELmex Co., Tokyo, Japan)에 돈육 및 식품접촉면과 함께 넣고 30초간 stomacher (Mastercator Silver Panoramic, IUL Instruments)로 균질화 한 후 *L. monocytogenes*의 균수를 측정하기 위하여 modified Oxford (MOX) agar (Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)를 이용하였고, MOX는 30°C에서 48시간 이상 standard plate 방법[22]을 이용하여 colony수를 측정하였으며, 3회 이상 반복하여 실시하였다. 돈육 및 스테인리스 스틸, 컨베이어벨트 등에서의 접종된 *L. monocytogenes*의 전이율은 제공된 조직(source)의 초기균수에 대하여 전이 후 잔류(destination)된 균수의 비율로서 다음 식[21]에 의해 산출하였다.

$$\text{Transfer rate}(\%) = (\text{CFU on destination} / \text{CFU on source}) \times 100$$

이때 돈육과 작업실 온도를 고려하여 5, 10°C로 설정하였다. 접촉시간은 작업물량을 고려하여 입고즉시 처리는 30분, 작업 시 적재되어 나중에 처리되는 60분, 작업물량이 많음을 산정한 120분의 접촉시간이 일어나는 것으로 설정하여 측정하였다.

통계분석

유의성 검증

오염된 돈육으로부터 돈육, 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸로 *L. monocytogenes*균의 전이율 분석은 3회 반복실험하였으며 이 값을 SPSS (Statistical Package for the Social Science, Ver. 10.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) package program[22]을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하고 차이 유무를 ANOVA로 분석한 뒤 $\alpha = 0.05$에서 유의적 차이를 Tukey법으로 검증하였다[23].

2차 회귀모형

독립변수로는 시간과 온도를, 종속변수를 전이율로 하여 5개의 선정된 조건에서 실험을 실시하였다. 이때 2개의 독립변수에 대한 2차 회귀모형은 다음과 같이 하였다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_1 X_2$$

여기서 Y는 종속변수로 전이율이고, X_1과 X_2는 독립변수로, 즉, 시간(X_1)과 온도(X_2)이며, β는 계수이다.

반응표면 회귀분석(Response Surface Method; RSM)

전이율에 대한 경향을 분석하기 위하여 실험계획에 따라 분석한 결과를 바탕으로 RSM program을 실시하였으며, 이는 Statistical Analysis System (SAS, version 8.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)프로그램을 이용하여 분석하였다.

모델 검증

모델들은 각각의 조건별 전이율 실험에 의한 결과값(obseved)과 모델에 의한 예측값(predicted)을 이용하여 상대오차(Relative error; RE)을 산출하여 검증하였고, RE는 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$RE = (Xp - Xo) / Xo$$

여기서 Xp는 예측치(the predicted value)이고, Xo는 관측치(the observed value)이다. 각각 모델의 정확성을 평가하기 위하여 상대오차 절대값 평균(Mean absolute relative error; MARE)을 산출하여 비교하였다[24].

결과 및 고찰

돈육에서 돈육으로의 전이율

돈육에서 돈육으로의 전이율을 조사하기 위하여 돈육포

Table 1. Transfer rate of *Listeria monocytogenes* from meat to meat, conveyor belt and stainless steel in processing room

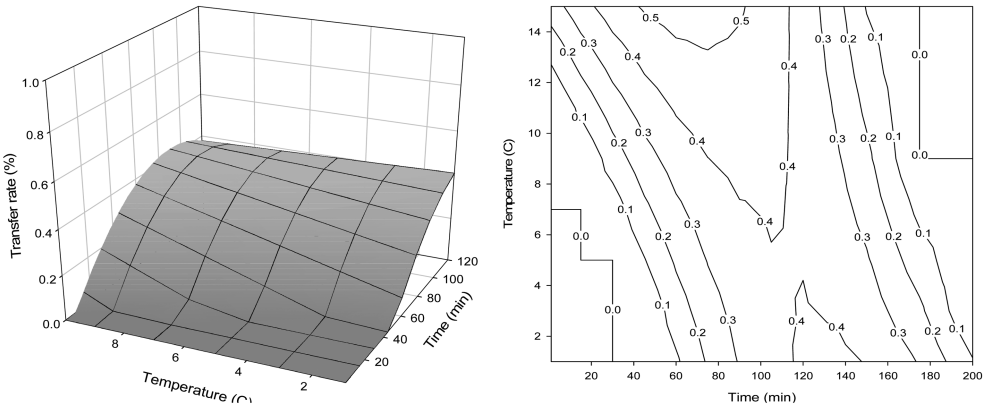
Time (min)	Transfer rate[1] (%)					
	5°C	10°C	5°C	10°C	5°C	10°C
	Meat to meat		Meat to conveyor belt		Meat to stainless steel	
30	0.02 ± 0.02[a2)]	0.15 ± 0.14[a]	0.015 ± 0.006[a]	0.006 ± 0.004[a]	0.013 ± 0.007[a]	0.004 ± 0.002[a]
60	0.16 ± 0.17[a]	0.44 ± 0.33[b]	0.015 ± 0.022[a]	0.006 ± 0.006[a]	0.007 ± 0.004[ab]	0.008 ± 0.007[a]
120	0.42 ± 0.39[b]	0.36 ± 0.30[b]	0.002 ± 0.001[a]	0.0007 ± 0.00003[a]	0.0003 ± 0.0002[b]	0.009 ± 0.006[a]

[1)]Value = mean ± S.D.
[2)]Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

장 가공실과 유사한 조건의 온도(5, 10°C) 및 작업시간(30, 60, 120분)을 고려하여 전이율을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 5°C에서 *L. monocytogenes*의 돈육에서 돈육으로의 전이율은 시간에 비례하여 점차적으로 증가하는 경향으로 나타났고, 평균적으로 120분에서 가장 높았으며 30분에서 가장 낮은 전이율을 나타내었다($p < 0.05$). 10°C에서 *L. monocytogenes*의 전이율은 5°C의 경우와 같은 경향으로 나타났으며, 평균적으로 60분에서 가장 높았으나 120분 후와 비교하여 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 이러한 온도별 시간에 대한 *L. monocytogenes*의 전이율은 초기에 낮았다가 점차 높아지는 경향이 있으며 반응표면 회귀분석(Fig. 1A)에서도 같은 결과를 나타내었는데, 이는 *L. monocytogenes*가 저온에 비교적 잘 적응하는 저온성의 특성인 것으로 사료된다[25]. 시간별 온도에 대한 전이율은 30분의 경우 10°C의 전이율은 0.15%로 5°C의 전이율 0.02% 보다 더 높은 경향을 나타냈으며, 5°C의 60분에서는 10°C의 30분의 전이율과 비슷한 경향으로 나타났지만, 120분에서는 5°C의 전이율이 0.42%로 10°C의 전이율 0.36% 보다 높았다.

*L. monocytogenes*의 전이율을 온도와 시간을 독립변수로 하여 작업장에 대한 반응표면 회귀분석결과는 Fig. 1A와 같다. 2차 회귀모형식을 이용한 분석결과, 전이율의 경향은 초기에 상대적으로 낮은 경향에서 시간이 지남에 따라 온도의 상승에 비례하여 전이율이 상대적으로 높아지는 것으로 나타났다.

포장돈육 가공실에서 돈육에서 돈육으로 *L. monocytogenes*의 전이율에 대한 경향을 RSM program을 이용하여 개발된 모델에 시간과 온도인자를 각각 200분과 15°C까지 확장하여 예측한 등고선 지도는 Fig. 1B와 같다. 평균적으로 30분대(0.0~0.3%)에서 가장 낮은 전이율을 나타냈으며, 60분대(0.1~0.5%)에서 가장 높은 결과였으나 120분(0.4%)을 기점으로 0~120분의 추세와는 반대로 반비례하여 감소하는 경향으로 나타났다. 150분 경과 시에는 0.1%까지 하락하는 경향으로 15°C/150분, 10°C/165분, 5°C/185분이 해당된다. 돈육에서 돈육으로의 *L. monocytogenes*의 전이율은 도체간 접촉 후 접촉초기부터 120분대까지 전이율이 점차 증가하다가 그 이후 감소하여 10~15°C/180~200분대에는 0.0%의 전이율이 예측되어, 이 조건에서는 *L. monocytogenes*의 전이가 이루어지지 않을 것으로 판단된다. 즉, 예냉실에서 저장된 도체가 포장 가공실로 입고되어 가공공정 작업소요시간이 30분이 경과되면 *L. monocytogenes*는 약 10분 간격으로 0.1%씩 상승하는 것으로 예측된다. 그러므로 돈육 가공실에서 도체간 접촉된 상태에서 30분이상 경과되는 것을 지양하여야 하며, 특히 도체



(A) (B)

Fig. 1. Response surface and contour map of transfer rate of *L. monocytogenes* from meat to meat in pork processing room with time and temperature as independent variables(A: response surface, B: contour map).

Table 2. Transfer rate of Listeria monocytogenes from conveyor belt and stainless steel to meat in processing room

Time (min)	Transfer rate[1] (%)			
	5°C	10°C	5°C	10°C
	Conveyor belt to meat		Stainless steel to meat	
30	0.086 ± 0.026[a2]	0.079 ± 0.047[a]	0.119 ± 0.067[a]	0.133 ± 0.066[a]
60	0.096 ± 0.035[a]	0.055 ± 0.022[ab]	0.057 ± 0.024[b]	0.042 ± 0.021[b]
120	0.052 ± 0.027[b]	0.030 ± 0.017[b]	0.010 ± 0.004[c]	0.065 ± 0.026[b]

[1]Value = mean ± S.D.
[2]Means with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3. Validation results for predicted response surface models on transfer rate of *L. monocytogenes*

Model	Relative error(%)			
	MARE[1]	Median	Minimum	Maximum
Meat to meat	4.738	0.396	−2.409	30.781
Meat to conveyor belt	2.186	0.218	−11.873	10.784
Meat to strainless steel	5.006	−0.075	−0.923	70.381
Conveyor bet to meat	0.472	0.138	−0.589	2.577
Strainless steel to meat	0.499	0.143	−0.397	2.171

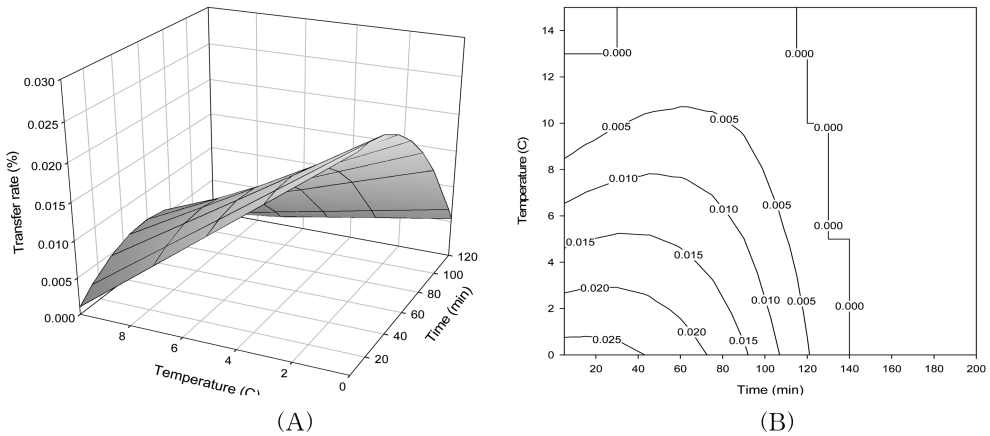
[1]MARE: Mean absolute relative error

를 작업대에 포개어 높이 쌓거나 옆으로 접촉하여 장시간 경과하는 작업방법은 지양하고, 선입선출 준수가 필요하며, 작업량을 고려한 작업대의 크기를 조정 또는 충분한 크기의 작업대에서 작업물량 대비 적정량의 돈육을 처리하는 시스템화가 요구된다.

포장실 포장공정 중에서 돈육으로 부터 돈육으로 *L. monocytogenes*의 전이율에서 개발된 예측모델을 이용하여 모델의 신뢰도를 확인하기 위하여 상대오차로서 산출한 전이율의 검증 결과는 Table 3과 같다. 상대오차는 평균값(median)은 0.396으로 나타났고, 상대오차 절대값 평균은 4.738으로 다른 예측 모델에 비하여 다소 신뢰도가 낮은 경향을 나타내었다.

돈육에서 컨베이어벨트 및 스테인리스 스틸로의 전이율

포장돈육 가공공정과 유사한 조건으로 소요시간을 30, 60, 120분으로 설정하고, 가공공정의 온도와 도체의 온도를 감안하여 5, 10°C를 설정하여 돈육에서 컨베이어벨트 및 스테인리스 스틸로의 전이율을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 5°C에서 전이율 평균값은 30분과 60분 후에에 0.015%로 나타났으나 120분 후에는 0.002%로 감소하는 경향을 나타냈다. 10°C에서 전이율 평균값은 30분 후에는 0.006%을 나타내었으나 60분 후에는 0.006%, 120분 후에는 0.0007%를 나타내어 시간이 경과함에 따라 점차적으로 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 5, 10°C 모두 평균적으로 30분에서 가장 높은 전이율을 보였고, 120분에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 시간에 대한 전이율은 통계적으로 유의성은 없었다($p < 0.05$). 온도별 시간에 대한 전이율은 초기에 높았다가 시간이 지나면서 점차 감소하는 경향이었으며, 시간별 온도에 대한 전이율은 온도가 높을수록 감소하였다. 이는 반응표면 회귀분석(Fig. 2A)의 결



(A) (B)

Fig. 2. Response surface and contour map transfer rate of *L. monocytogenes* from meat to Conveyor belt in pork processing room with time and temperature as independent variables (A: response surface, B: contour map).

과에서도 동일하게 나타났다.

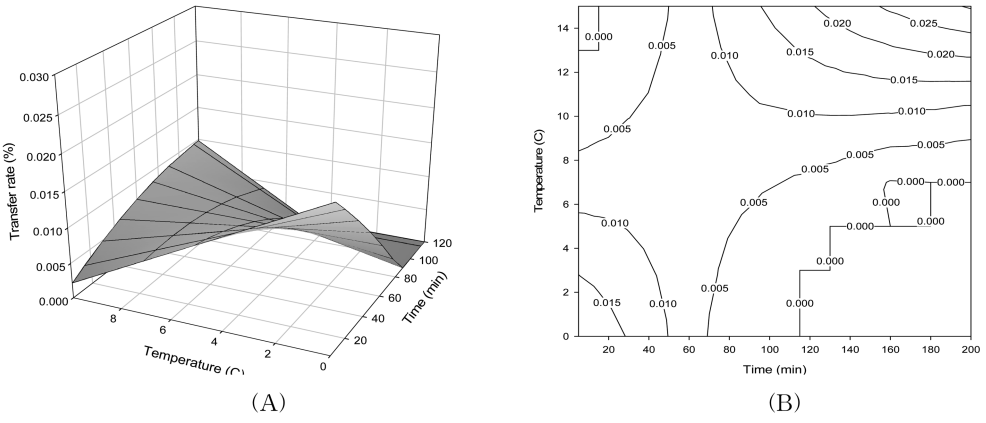
돈육 가공실에서 돈육으로부터 컨베이어벨트로의 *L. monocytogenes*의 전이율에 대한 경향을 RSM program을 이용하여 개발된 모델에 시간과 온도인자를 각각 200분과 15°C까지 확장하여 예측한 등고선 지도는 Fig. 2B와 같다. 10°C 이하/120분대까지의 전이율은 초기 0.025%에서 0.005%로 시간의 경과에 따라 반비례적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 13~15°C/0~35분, 13~15°C/115분 이후, 10~15°C/120분 이후, 5~15°C/130분 이후, 0~15°C/140분 이후의 시간과 온도 영역에서는 전이율이 0.0%로 예측되었고, 이 조건에서는 *L. monocytogenes*의 전이가 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

돈육에서 스테인리스 스틸로의 *L. monocytogenes*의 전이율은 5°C에서 전이율 평균값은 30분 후에 0.013%를 나타냈으나 60분 후에는 0.007%로 감소하였고, 120분 후에는 0.0003%로 감소하는 경향을 나타냈으며, 평균적으로 30분에서 가장 높은 전이율을 보였고, 120분에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 10°C에서 *L. monocytogenes*의 돈육에서 스테인리스 스틸로의 전이율의 평균값은 30분 후에 0.004%를 나타내었고, 60분 후에는 0.008%로 약간 증가하였고 120분 후에는 0.009%를 나타내어 시간이 경과함에 따라 5°C의 경우처럼 낮은 전이율이지만 점차 약간 증가하는 추세였다. 5°C에서 온도에 대한 시간별 전이율은 접촉초기에 높았다가 시간이 지나면서 점차 감소하는 경향이 있었지만, 10°C에서는 시간이 더욱 경과하였을 때는 약간 증가하는 것으로 나타났다. 시간별 온도(10°C)에 대한 전이율은 평균적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 반응표면 회귀분석(Fig. 3A)의 결과에서도 동일하게 나타났다.

포장돈육 가공실에서 *L. monocytogenes*의 돈육으로부터 스테인리스 스틸로의 전이율에 대한 경향을 RSM program을 이용하여 개발된 모델에 시간과 온도인자를 각각 200분과 15°C까지 확장하여 예측한 등고선 지도는 Fig. 3B와 같다. 0~5°C/50분까지의 전이율은 0.010%로 비교적 높은 수준이었고, 점차 감소하다가 10°C/90분부터 0.010%를 회복하여 13°C/120분(0.015%) 이후에서 0.025%로 증가할 것으로 예측되었고, 13°C이상/0~10분에서의 전이율은 0.0%이었으며, 0~3°C/110분, 0~5°C/130분, 0~7°C/160분 이후도 전이율이 0.0%로 예측되었다. 이 조건에서는 *L. monocytogenes*의 전이가 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

포장실 포장공정 중에서 돈육으로 부터 컨베이어벨트와 스테인레스 스틸로 *L. monocytogenes*의 전이율에서 개발된 예측모델을 이용하여 모델의 신뢰도를 확인하기 위하여 상대오차로서 산출한 전이율의 검증 결과는 Table 3과 같다. 상대오차 평균값은 컨베이어벨트와 스테인리스 스틸 각각 0.218, –0.075로 나타났고, 상대오차 절대값 평균은 각각 2.186, 5.006으로 다른 예측 모델에 비하여 다소 신뢰도가 낮은 경향을 나타내었다. *L. monocytogenes*균의 특성상 낮은 온도에서도 높은 전이율이 측정될 뿐만 아니라 본 연구 결과 10°C이상, 70분 이상의 조건에서 전이율이 다시 상승하므로 새로이 오염되는 경우의 수를 줄여야 하며, 이 조건 이하에서 관리가 필요할 것으로 사료된다.

본 실험에서 오염된 미생물이 전이된 돈육과 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸의 구성 성분은 서로 다르며 온도별 평균 전이율에도 돈육, 컨베이어 벨트, 스테인리스 스틸 순으로 전이율이 높아 구성성분에 따라 전이율의 차이가 있는 것으로 사료된다. Midelet 등[26]은 표면에 오염된 미생물이 식품으로 전이될 확률은 접촉표면의 미생물 농도, 표면 물질(재질)에 대한 미생물의 부착력에 좌우된다고 보고한 결과와 일치하였다. Mafu 등[27]은 *L. monocytogenes* Scott A가 고무, 유리, 스테인리스, 프로프로필렌 면에 접촉능력(adherence capabilities)을 조사한 결과 *L. monocytogenes*는 모든 표면 유형에 부착할 수 있다고 보고하였으며, 돈육은 컨베이어 벨트와 스테인리스 스틸 보다 수분 함량이 많고 특히 지방조직은 부착성이 높아 부착률 뿐만 아니라 전이율에서도 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.



(A) (B)

Fig. 3. Response surface and contour map of transfer rate of *L. monocytogenes* from meat to Stainless steel in pork processing room with time and temperature as independent variables (A: response surface, B: contour map).

Dickson 등[28]은 우육 조직표면에 *L. monocytogenes*을 접종한 후 접종하지 않은 조직표면과 접촉시킨 결과, 지방조직보다 살코기 조직으로부터 전이가 높았으며, 이는 수분함량의 부분적인 차이에 기인하는 것으로 살코기 조직은 대략 75%의 물을 포함하는 반면 지방조직은 단 20%만을 포함하여 접촉시간이 길어짐에 따라 살코기로부터 더 많이 전이 된다고 보고하였다.

식품접촉면에서 돈육으로의 전이율

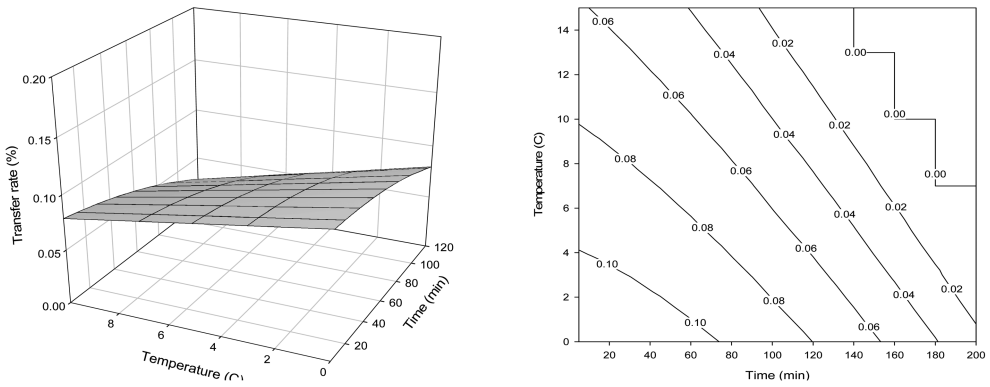
식품접촉면에서 돈육으로의 균의 전이율을 분석한 결과는 Table 2과 같다. 5ºC에서 전이율 평균값은 30분 후에 0.086%를 나타냈으나 60분 후에는 0.096%로 증가하였다가 120분 후에는 0.052%로 감소하는 경향을 나타냈으며, 10ºC에서 전이율의 평균값은 30분 후에 0.079%를 나타냈으나 60분 및 120분 후에는 각각 0.055%, 0.030%로 점차적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 온도별 시간에 대한 전이율은 초기에 높았다가 시간이 지나면서 점차 감소하는 경향이었으며, 시간별 온도에 대한 전이율은 온도가 높을수록 감소하다. 이는 돈육에서 식품접촉면으로의 전이율과 동일한 결과의 경향을 보였다. 또한 반응표면 회귀분석 Fig. 4A의 결과에서도 동일하게 나타났다.

돈육 가공실에서 컨베이어벨트부터 돈육으로의 *L. monocytogenes*의 전이율에 대한 경향을 RSM program을 이용하여 개발된 모델에 시간과 온도인자를 각각 200분과 15ºC까지 확장하여 예측한 등고선 지도는 Fig. 4B와 같다. 초기 전이율은 0.10%로 나타났으며, 시간의 경과와 온도의 상승에 반비례하여 점차 감소하는 추세로, 0~15ºC/10분, 0~6ºC/0~100분, 0ºC/155분 등은 0.04%로 예측되며, 0~12ºC/0~120분, 0~4ºC/0~175분, 0~2ºC/165분은 0.02%의 전이율을 나타냈다. 또한 13~15ºC/140~200분, 10~15ºC/160~200분, 7~15ºC/180~200분의 경우에는 전이율이 0.0%로 예측되었고, 이 조건에서는 *L. monocytogenes*의 전이가 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

결과에서 포장돈육 가공공정중에 컨베이어벨트에서 돈육으로의 *L. monocytogenes*의 전이율은 실제 작업 소요시간인 60분 이내, 작업실 온도인 10ºC이하에 높은 전이율을 나타내므로, 작업시간의 체계적 관리를 통한 시간단축 등의 개선과 작업 전후 상재 *L. monocytogenes*에 대한 세척 및 소독이 요구된다. Hong 등[29]은 소비자에게 공급 전 돈육의 최종 작업단계인 가공공장에서의 *L. monocytogenes* 오염실태 분석연구에서 돈육 작업환경, 기계, 기구 등 식품접촉면에서의 검출과 작업장 공기의 불검출 및 작업장에 반입되는 도체에 대한 연구 결과 반입육보다 오염도가 높게 나타나 작업과정에서 오염이 발생되고 있다는 보고와 같은 결과였다[30].

5ºC에서 스테인리스 스틸에서 돈육으로의 *L. monocytogenes*의 전이율의 평균값은 30분 후에 0.119%를 나타내었고 60분 및 120분 후에 각각 0.057%, 0.010%를 나타내어 시간경과에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 10ºC에서 전이율 평균값은 30분 후에 0.013%를 나타내었으나 60분 후에 0.057%, 120분 후에 0.065%로 점차적으로 증가하는 경향으로 나타났다. 온도별 시간에 대한 전이율은 초기에 높았다가 시간이 지나면서 점차 감소하는 경향이었으며, 시간별 온도에 대한 전이율은 120분을 제외하고 온도가 높을수록 감소하다. 이는 돈육에서 식품접촉면으로의 전이율과 비슷한 경향을 보였다. 또한 이는 반응표면 회귀분석(Fig. 5A)의 결과에서도 동일하게 나타났다. 초기에는 전이율이 상대적으로 높았지만 시간이 지나면서, 온도가 상승하면서 전이율은 상대적으로 낮아지는 경향을 나타냈다.

포장돈육 가공실에서 *L. monocytogenes*의 스테인리스 스틸로부터 돈육으로의 전이율에 대한 경향을 RSM program을 이용하여 개발된 모델에 시간과 온도인자를 각각 200분과 15ºC까지 확장하여 예측한 등고선지도는 Fig. 5B와 같다. 결과에서 보듯이 초기 0.2% 정도에서 전이율은 점차 감소하여 0~3.5ºC의 90분에서 120분까지는 전이율이 0.0%로 낮아지다가 140분대부터는 온도보다는 시간의 경과에



(A) (B)

Fig. 4. Response surface and contour map of transfer rate of *L. monocytogenes* from Conveyor belt to meat in pork processing room with time and temperature as independent variables (A: response surface, B: contour map).

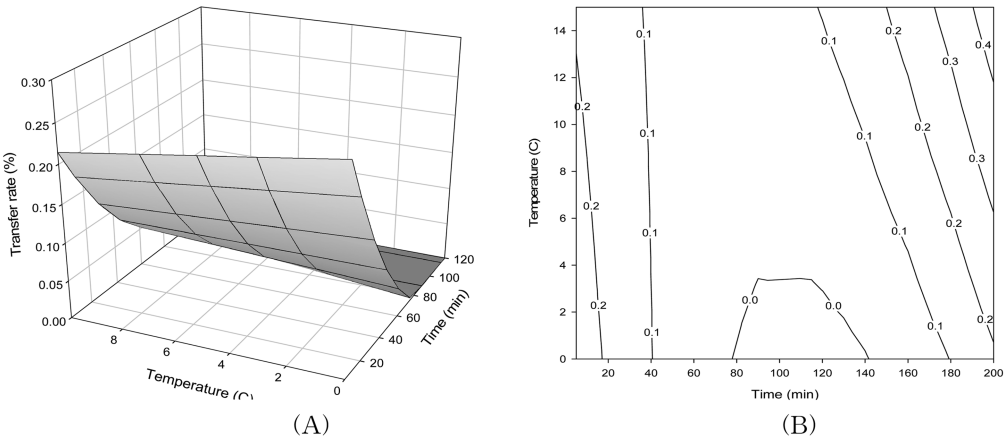


Fig. 5. Response surface and contour map of transfer rate of *L. monocytogenes* from Stainless steel to meat in pork processing room with time and temperature as independent variables (A: response surface, B: contour map).

따라 전이율이 증가하는 경향으로 나타났다. 즉 140분대 이후 오염수준이 높아지므로 작업량의 조정과 휴식시간 등의 대기시간을 감안하여 작업소요시간을 140분 이내에 마칠 수 있도록 시간관리가 필요하다.

포장실 포장공정 중에서 컨베이어벨트와 스테인레스 스틸로부터 돈육으로 *L. monocytogenes*의 전이율에서 개발된 예측모델을 이용하여 모델의 신뢰도를 확인하기 위하여 상대오차로서 산출한 전이율의 검증 결과는 Table 3과 같다. 상대오차 평균값(median)은 컨베이어벨트와 스테인레스 스틸 각각 0.138, 0.143으로 나타났고, 상대오차 절대값 평균은 각각 0.472, 0.499으로 다른 예측 모델에 비하여 높은 신뢰도의 경향을 나타내었다.

본 연구결과는 오염된 *L. monocytogenes*가 돈육에서 식품접촉면으로 오염된 후 다시 돈육으로 오염될 전이율에 대한 결과로 Lunden 등[31]의 육제품용 dicing machine에 의한 식품가공공장간의 지속적인 *L. monocytogenes* 오염의 전이 연구에서 A장소에서 B장소로 옮겨진 후 다시 C장소로 옮겼을 때, A장소에서 발견되었던 *L. monocytogenes* PFGE type I 이 B와 C장소에도 발견되어 지속성의 오염을 일으켰다는 보고와 같은 경향임을 시사한다.

Kim 등[32]은 가공공정 중 돈육과 작업자의 손과의 *L. monocytogenes*의 교차오염 전이율에 대한 연구결과에서 면장갑은 상대적으로 다른 식품접촉면보다 흡수성이 높기 때문에 오염미생물 전이율에 큰 영향을 미치고 있다고 보고 하였으며, 이는 Jimenez 등[33]과 Gill 등[34]의 수행한 *L. monocytogenes* 와 *E. coli*의 육류로 부터의 전이율이 면장갑에서 가장 높은 전이율을 보였다. 이 결과는 가공공정 중 컨베이어벨트나 스테인리스 스틸로 돈육이 운반되기 전에 작업자의 손으로부터 최초 오염미생물의 전이가 이루어질 수 있음을 의미하며, 최초 미생물 오염방지에 많은 억제방안이 필요하다고 사료된다.

식품에 의한 listeriosis는 고위험집단에 크게 영향을 미치는 임상적으로 중증인 질병으로 환경에서도 잘 적응하여 성장하기 때문에 *L. monocytogenes*의 근본적 오염방지에는 많은 어려움이 있으나 식품을 제조하거나 취급하는 자가 위생적으로 처리・취급한다면 이로 인한 위해를 줄일 수 있다.

요 약

Wild type *Listeria monocytogenes* 균주에 오염된 돈육으로부터 다른 돈육, 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸로 일정시간(30, 60, 120분)동안 접촉시킨 후 5°C와 10°C에서 각각의 전이율을 조하였다. 5°C에서 돈육에서 돈육으로 *L. monocytogenes*의 평균 전이율은 30분에서 120분으로 시간이 지남에 따라 0.02%에서 0.42%로 증가하였고, 평균 전이율은 0.284%로 나타났다. 돈육에서 컨베이어 벨트와 스테인리스 스틸로의 평균 전이율은 30분 후 각각 0.05%, 0.002%의 전이율을 나타냈으나 120분 후에는 더욱 감소하여 0.013%, 0.0003%를 나타내었다($p < 0.05$). 두 조건 모두 30분에서 가장 높은 전이율을 보였으나 120분 후에는 감소하였다. 10°C에서 돈육, 컨베이어벨트, 스테인리스 스틸 모두 60분에서 가장 높은 전이율을 나타냈지만 120분에서는 감소하였다. 반면에 식품접촉면에서 돈육으로의 전이율은 돈육에서 식품접촉면으로의 전이율 보다 높게 나타났다($p < 0.01$). 시간대별로는 30분이 가장 높았으며, 시간의 경과에 따라 감소하였고 컨베이어벨트가 스테인리스 스틸보다 전이율이 높았다($p < 0.05$). 상기의 결과로부터 돈육 공정과정의 오염원에 대한 미생물학적 계량모델을 제시하여 예측모델을 검증한 결과, 대부분의 전이율 예측모델이 신뢰도가 높게 나타났으며, 개발된 예측 모델은 교차오염 발생을 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kim, Y.G.: Consumption of meet and human health. *J. East Asian Soc*., The 2005 spring conference, pp. 21-34.
2. Korea Meat Trade Association: Information of Meat Consumption. Available at: http://www.kmta.or.kr. (2011).
3. 곽창근, 김태균, 박성훈, 장종근: 도축장 HACCP 제도의 경제적 타당성. 한국축산경영학회, **29**, 1-17 (2002).
4. Lee, J.Y., Suk, H.J., Paik, J.K., Hwang, H.S., Park, D.S., Paik, H.D. and Hong, W.S.: Analysis on the demands for HACCP system at meat retailors. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour*., **32**, 330-338 (2012).
5. Rho, M.J., Chung, M.S., Lee, J.H. and Park, J.Y.: Monitoring of microbial hazards at farms, slauhterhouses, and processing lines of swing in Korea. *J. Food Prot*., **64**, 1388-1391 (2001).
6. Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.A., Roy, S.L., Jones, J.L. and Griffin, P.M.: Foodborne illness acquired in the United States-Major pathogens. *Emerg. Infect. Diseases*, **17**, 7-15 (2011).
7. Kim, K.H., Kim, K.S. and Tak, R.B.: The Distribution of *Salmonella* in Mammals in Dalsung Park (Daegu) and Genetic Investigation of Isolates. *Korean J. Vet. Public Health,* **26**, 31-37 (2002).
8. Hwang, Y.M., Kwok, S.K., Kim, J.M., Yoon, H.S., Ju, J.H., Park, K.S., Park S.H. and Kim, H.Y.: Listeria monocytogenes meningitis presenting with bilateral abducens nerve palsy in a patient with systemic lupus erythematosus. *J. Korean Rheum. Assoc*., **16**, 333-337 (2009).
9. Gandhi, M. and Chikindas, M.L.: Listeria: A foodborne pathogen that knows how to survive. *Inter. J. Food Microbiol.,* **113**, 1-5 (2007).
10. Hong, C.H., Sim, W.C., and Oh, D.H.: Predictive Growth Model of Native Isolated *Listeria monocytogenes* on Raw Pork as a Function of Temperature and Time. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **37**, 850-855 (2005).
11. Doyle, M,P., Beuchat, L,R., and Montille, T,J. : Food Microbiology-Fundamentals and Frontiers. *ASM press*, (1997).
12. Sammarco, M.A., Ripabelli, G., Ruberto, A., Iannitto, G. and Grasso, G.M.: Prevalence of *Salmonella, Listeria, Yersinia* in the Slaughterhouse Environment and on Work Surface, Equipment, and Workers. *J. Food Prot*., **60**, 367-371 (1997).
13. Kang, H.H., Kim, J.S., Suk, J.M., Lee, S.M. and Son, W.G.: Prevalence of *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in Fresh Feces and in Drinking Water of Feedlots. *Korean J. Vet. Public Health*, **22**, 195-200 (1998).
14. Perez-Rodriguez, R.,A., Carrasco, E., Garcia, R.M., and Zurera, G: Understanding and Modelling Bacterial Transfer to Foods; a review. *Trends Food Sci. Technol.,* **19**, 131-144 (2008).
15. WHO (World Health Organisation): Surveillance Programme. Sixth Report of WHO Surveillance Programme for Control of Foodborne Infections and Intoxications in Europe. FAO/WHO Collaborating Centre for Research and Training in Food Hygiene and Zoonoses, Berlin (1995).
16. Todo, E.C.D., Michaels, B.S., Greig, J.D., Smith, D. and Bartleson, C.A.: Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 8. Gloves as barriers to prevent contamination of food by workers. *J. Food Prot.,* **73**, 1762-1773 (2010).
17. Kusumaningrum, H.D., Riboldi, G., Hazeleger, W.C., and Beumer, R.R.: Survival of Food-borne Pathogens on Stainless Steel Surfaces and Cross-contamination to Foods. *Int. J. Food Microbiol.,* **85**, 227-236 (2003).
18. Kim, S.J., Bahk, G.J., and Oh D.H. : Adherence Rate of *Listeria monocytogenes* Contaminated from Pork Meat during Pork Meat Processing. *J. Fd Hyg. Safety*, **22**, 332-337 (2007).
19. Schaffiner, D.W.: Models-what Comes after the Next Generation?. In: Modeling Microbial Responses in Food, McKellar, R. C. and Lu, X.(3eds), CRC Press, New York, USA. pp. 304-307 (2004).
20. Hong, C.H. and Bahk, G.J.: Comparison of Cross-contamination of *Salmonella* spp. on Pork Meat and Workers' Hands during Pork Cutting Processing. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.,* **28**, 562-566 (2008).
21. Montville, R., Chen, Y. and Donal W.S.: Glove Barriers to Bacterial Cross-contamination between Hands to Food. *J. Food Prot*., **64**, 845-849 (2001).
22. SPSS. Statistical Package for Social Sciences for Windows. Rel. 10.0. SPSS Inc. Chicago, MD, USA. (1999).
23. Jung, C.Y. and Choi, L.G. : SPSSWIN for Statistics Analysis, Ver. 10.0, 4th ed. Muyok Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 276-283 (2002).
24. Oscar, T.P.: Response Surface Models for Effects of Temperature, pH, and Previous Growth pH on Growth Kinetics of *Salmonella Typhimurium* in Brain Heart Infusion Broth. *J. Food Prot*., **62**, 106-111 (1999).
25. Junttila, J., Niemela, S. and Hirn, J. : Minimum Growth Temperatures of *Listeria monocytogenes* and non-haemolytic *Listeria*. *J. Appl. Bacteriol.*, **65**, 321-327 (1998).
26. Midelet, G. and Carpentier, B.: Transfer of Microorganisms, Including *Listeria monocytogenoes*, from Various Materials to Beef. *Appl. Environ. Microbiol*.., **68**, 4015-4024 (2002).
27. Mafu, A.A., Roy, D., Goulet, J. and Magny, P.: Attachment of *Listeria monocytogenes* to stainless steel, glass, polypropylene, and rubber surfaces after short contact times. *J. Food Prot.,* **53**, 742-746 (1990).
28. Dickson, J.S.: Transfer of *Listeria monocytogenoes* and *salmonella* Typhimurium between Beef Tissue Surfaces. *J. Food Prot.,* **53**, 51-53 (1990).
29. Hong, J,H. and An, S,C.: Isolation and Serotyping of *Listeria monocytogenes* in Pork Fabrication Processing Environment. *J. Fd. Hyg. Safety*, **13**, 425-429 (1998).
30. Vatanyoopaisarn, S., Nazli, A., Christine E.R.D., Catherine E.D.R. and Will M.W.: Effect of Flagella on Initial Attachment of *Listeria monocytogenoes* to Stainless Steel. *Appl. environ. Microbiol*., **66**, 860-863 (2000).
31. Lunden, J.M., Maria K.M., Tiina, J.A. and Hannu J.K.: Persistent *Listeria monocytogenes* Strains Show Enhanced Adherence to Food Contact Surface after Short Contact Times. *J. Food Prot.,* **63**, 1204-1207 (2000).
32. Kim, S.J., Park M.S., Bahk G.J., Rahman S.M.E., Park J.H.

and Oh, D.H.: Transfer Rate of Cross Contamination of *Listeria monocytogenoes* between Pork Meat and Worker's Hands during Pork Meat Processing. *J. Fd Hyg. Safety*, **26**, 330-335 (2011).

33. Jimenez, M., Siller, J.H. and Valdez, J.B.: Bidirectional *Salmonella enterica serovar Tphimurium* Transfer between Bare/Glove Hands Green Bell Pepper and its Interruptions. *Int. J. Environ. Health Res*., **17**, 381-338 (2007).
34. Gill, C,O. and Jones, T.: Effects of Wearing Knitted or Rubber Gloves on the Transfer of *Escherichia coli* between Hans and Meat. *J. Food Prot*., **65**, 1045-1048 (2002).