

신선식품 콜드체인 EPS 패키징 시스템의 택배 유통환경 계측

CHAROENSRI KORAKOT¹ · 김수연¹ · 신양재^{1*} · 정현모² · 박종민³

¹고려대학교 생명공학과

²경북과학대학교 물류패키징과

³부산대학교 바이오산업기계공학과

Measurement of Delivery Service Environment for Cold Chain EPS Packaging System of Fresh Food

CHAROENSRI KORAKOT¹, SY Kim¹, YJ Shin^{1*}, HM Jung², and JM Park³

¹Dept. of Biotechnology, Korea University

²Dept. of Logistics Packaging, Kyongbuk Science College

³Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University

Abstract The food cold chain refers to a technology and distribution supply chain applied to maintain a constant temperature suitable for the product from production (harvest) to delivery to consumers. In particular, in Korea, the insulation material used in the food cold chain is mostly EPS (Expanded Polystyrene), which is used as a transport container for various food cold chains. However, according to the government's eco-friendly policy, companies charge environmental contributions to the use of EPS, but due to its low price and convenience of handling, it is still used as a container for delivering food. In this study, in order to measure the domestic delivery environment of general refrigerated foods, changes in impact, temperature, and humidity during transport of the EPS packaging system containing foods and ice pack refrigerants were measured. As a result, there were 273 sections in which a high impact force of 40 G or more was generated during transport. This can cause damage to the product and EPS container. The difference in temperature and humidity changes by parcel transport routes is more than 30%, so it is necessary to present accurate standards for the domestic cold chain distribution environment. As a result of microbial experiments, the transportation period had a dominant effect on the increase in total viable count and *E. coli* count.

Keywords Cold Chain, EPS container, Distribution environment, Fresh food

서론

일반적으로 신선식품의 유통과정 중에 발생하는 다양한 환경강도로 인한 품질변화 손실률은 약 30~40%에 이르는 것으로 알려져 있으며 이중 상당부분을 차지하고 있는 콜드체인 유통과정중의 포장재 단열성능 부족으로 인한 품질 변화 손실을 줄이는 것은 더욱 중요한 부분으로 인식되고 있다¹⁾.

최근 몇 년 동안 전자상거래 기업들은 B2C(Business To

Consumer) 부분에서 신선 농축산물 시장을 개척하기 시작하였으며 전자상거래의 끊임없는 발전의 결과 신선 농축산물을 유통 경로 중 온라인이 중요한 역할을 수행하고 있다. 신선 농축산물을 온라인으로 구입하는 방식은 갈수록 인기가 많아지고 사용자가 신선 농축산물 전자상거래 플랫폼을 사용하는 횟수가 현저히 증가했다. 경제가 발전하고 시대가 변하면서 국내의 소비층은 점차 변화하고 있으며, 특히 코로나-19로 인한 소비자들의 구매행동에 제한을 받으면서 택배 등의 전자상거래를 활용한 신선 농축산물의 구입량이 급격히 증가하였다. 또한 최근의 개인의 소비 수준을 높여 삶의 질과 체험을 높이려는 욕구가 강해지면서 앞으로 모바일 가입자 규모, 모바일 네트워크 침투율의 지속적인 증가, 온라인 구매에 대한 인식이 확산되면서 온라인 구매에 대

*Corresponding Author: YJ Shin
Dept. of Biotechnology, Korea University
Tel: +82-2-3290-3759
E-mail: shinyj5912@gmail.com

한 소비자의 수요가 확대될 것으로 전망한다²⁾.

이와 함께 국내 신선 농축산물 유통량이 매년 급격히 증가하고 택배 등의 전자상거래가 급성장하면서 신선 농축산물에 대한 콜드체인(cold chain) 물류의 수요도 급증하고 있다. 신선 농축산물은 썩기 쉽고 변질되기 쉬우므로 더 높은 수준의 콜드체인 물류 수배송이 요구된다. 상품의 배송이 신속함과 화물의 품질이 신선함을 보증해야 한다. 방대한 온라인 거래량은 오프라인 물류 서비스의 뒷받침이 필요한 반면, 물류 업계는 여전히 일련의 문제에 대한 해결이 요구된다. 예를 들어 물류 업계는 제품 및 포장 파손, 배송 인력 서비스 자질 저하, 배송 효율성 저하 등에 대한 문제를 물류 서비스 품질을 향상시켜 소비자 만족도와 사업자의 경쟁력에 대한 어떻게 도움을 줄 수 있는가의 이슈에 직면하고 있다¹⁾.

특히 2020년 급격한 코로나-19에 대한 과장으로 택배 등의 물류량이 폭주하면서 물류업계의 신선 식품의 배송 시스템의 다양한 단열재료를 적용한 방법들을 제시하고 있다. 택배 등의 전자상거래에서 국내 신선 식품에 적용되는 단열재료는 EPS(Expanded Polystyrene)가 89% 이상을 차지하고 있으며, 그 외에는 다른 재료들(진공단열패드, 골판지패드 등)을 적용한 리턴어블 시스템에 적용되는 단열용기들이 사용되고 있다. EPS 보냉용기는 가격측면에서 매우 저렴하여 택배 등의 1회용으로 사용되고 있어 편리성은 있지만 최근 정부의 환경정책에 의해 기업체의 EPS 사용량에 따른 환경분담금을 내야 하는 어려움이 있다³⁾.

신선 식품의 콜드체인 택배유통을 위한 보냉용기 내부의 냉매에 의한 CFD (Computation Fluid Dynamics, 전산유체역학) 열유동해석에 관한 연구³⁾가 일부 진행되었으며, 농

산물에 대한 택배 및 수송 유통환경 계측에 대한 연구들이 진행되었다^{4,5,6,8,9,10)}. 이는 EPS 보냉용기를 사용한 것이 아니라 기존 골판지 포장상자 내부에 환경계측 센서를 부착하여 기계적 수송강도(진동, 충격)에 대한 계측시험이었다⁷⁾. 기존 연구들에서는 수송차량의 진동 및 충격 수준을 계측하는 것이 대부분이었다. 하지만, 택배 유통환경은 일반 제품 및 농산물과는 상이한 부분이 많다. 특히, 택배화물의 분류작업 시 사람의 작업에 의해서 낙하 등의 충격을 많이 받게 되는 유통환경을 가지고 있으며, 택배화물의 특성상 팔레트(pallet) 적재에 의한 지게차의 사용이 되지 못하고 있어 수송차량에 적재 및 하역시 인력에 의존하게 되며 이에 따른 충격손상을 많이 받게 된다^{11,12,13)}.

본 연구에서는 일반 냉장식품의 국내 택배 배송 환경을 측정하기 위해 식품 및 아이스팩 냉매가 포함된 EPS 단열 포장 시스템의 운송 시 충격, 온도, 습도 및 택배환경에 따른 신선 식품의 미생물 변화를 계측하여 신선식품 택배 배송 시 EPS 보냉용기의 진동, 충격 특성 및 냉장성능과 내부 신선식품의 미생물 번식에 대하여 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구를 위해 사용된 EPS 보냉용기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 국내 신선식품 택배 유통이 가장 많이 사용되고 있는 규격으로 선정하였으며, 크기는 355 × 285 × 250 mm이었으며, 두께는 25 mm인 EPS 상자(밀도 30 kg/m³, 탄성계수(Young's modulus) 13.9 MPa, 열전도율은 0.036 W/mK)이었다. 신선식품 택배 배송중 내부 환경을 계측하기 위해 Fig. 2와 같이 시험용 EPS 보냉용기 내부에 진동 및 충격 계



Fig. 1. EPS cooling packaging box for delivery service.



Fig. 2. Fresh foods and data logger in EPS cooling packaging box for delivery service.

측(Sampling time : 0.05 s)용 데이터 로거 (Slam stick, S4-R100D40-AL, enDAQ) 및 온·습도 계측(Sampling time : 1 min)용 데이터 로거 (Temp. & RH Data Logger, EM506B, aLL-SUN)을 바닥 모서리에 부위에 부착하였다. 또한, 선정된 택배용 신선식품은 살균우유(130°C 이상에서 2초 이상 살균, 900 ml) 2개와 진공포장된 냉동 고등어 제품(vacuum-packaged frozen mackerel) 2개이었으며, 상단에 냉매제로 아이스팩(ice pack, 12 cm × 17 cm) 2개를 적입하였다. 본 실험은 여름철을 기준으로 하였으며, 2021년 8월 27일부터 약 2주간 수행되었다.

국내 택배 업체는 신선식품 배송에 많이 이용되고 있는 우체국 택배를 선정하였으며, 배송 경로는 대표적 지역 분포를 고려하여 서울 → 강릉, 서울 → 대전 및 서울 → 제주를 선정하였으며, 각 지역 도착후에는 바로 반송하는 과정을 거쳐 왕복에 대한 유통환경을 계측하였으며, 신선식품(멸균우유)의 배송전 및 반송후 수거된 시료(강릉, 제주)의 미생물 번식 변화(미생물수, *E. coli*, 3M사 건조필름)를 계

측하였다. 미생물 번식 변화 평가하기 위해 각 냉동 고등어(5 g), 우유(1 mL)를 시료로 사용하였다. 이후 채취한 시료는 멸균 생리식염수로 희석 처리한다. 희석된 일반세균 측정용 건조필름배지(petrifilm aerobic count plates, 3M Co., Saint paul, MI, USA)와 대장균 측정용 건조필름배지(petrifilm E.coli/Coliform plates 3M Co., Saint paul, MI, USA)에 37°C의 환경에서 접종했으며, 24시간 후에 콜로니의 수를 측정하여 CFU/g으로 표현하였다.

결과 및 고찰

1. 신선식품 EPS 보냉용기 택배 배송 유통환경

1.1. 온도 및 습도 변화

본 연구에서 각 지역(대전, 강릉, 제주)별 배송 및 반송 과정 중에 계측된 유통환경 중의 온도 및 습도에 대한 결과를 Fig. 3, 4와 5에 나타내었다. 일반적인 신선식품의 콜드체인 유통을 위해서는 10°C 이하의 온도 유지를 권장하고

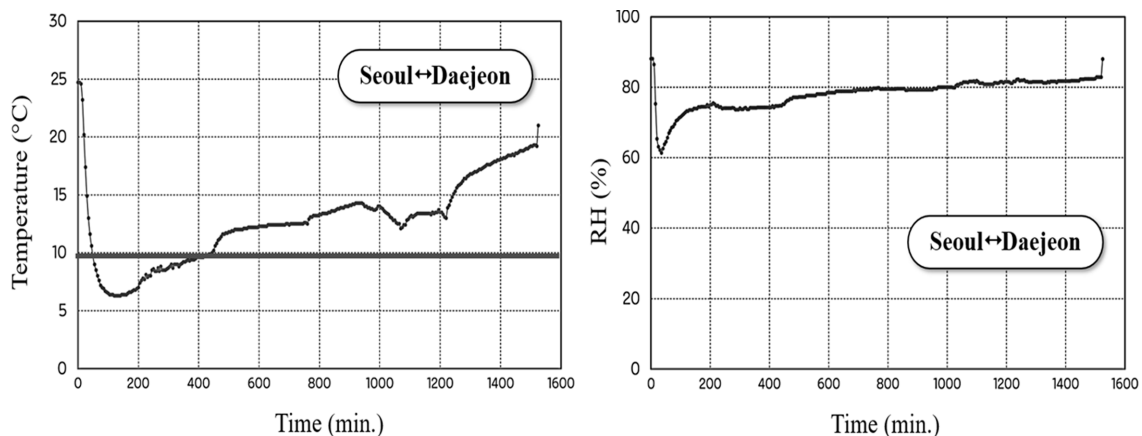


Fig. 3. Distribution of Temperature and RH of parcel delivery route (Seoul↔Daejeon).

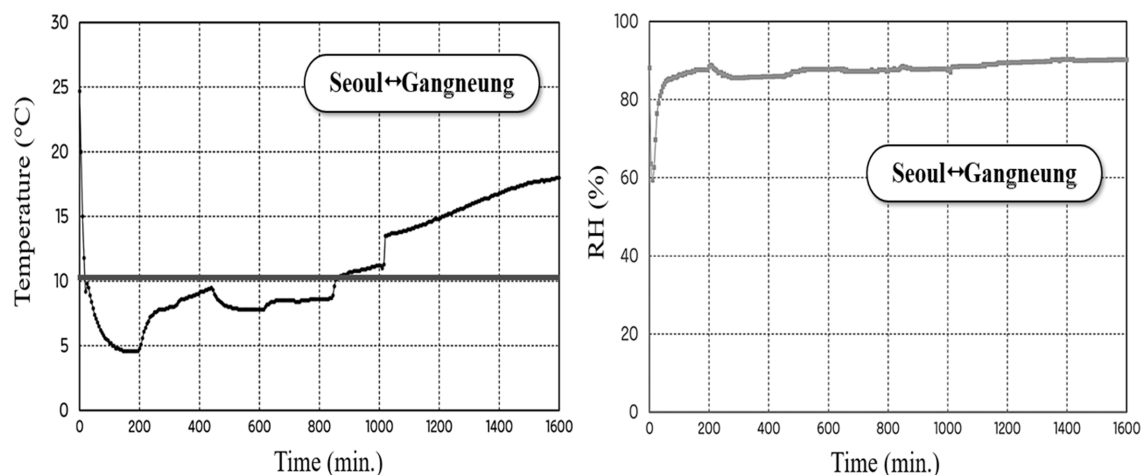


Fig. 4. Distribution of Temperature and RH of parcel delivery route (Seoul↔Gangneung).

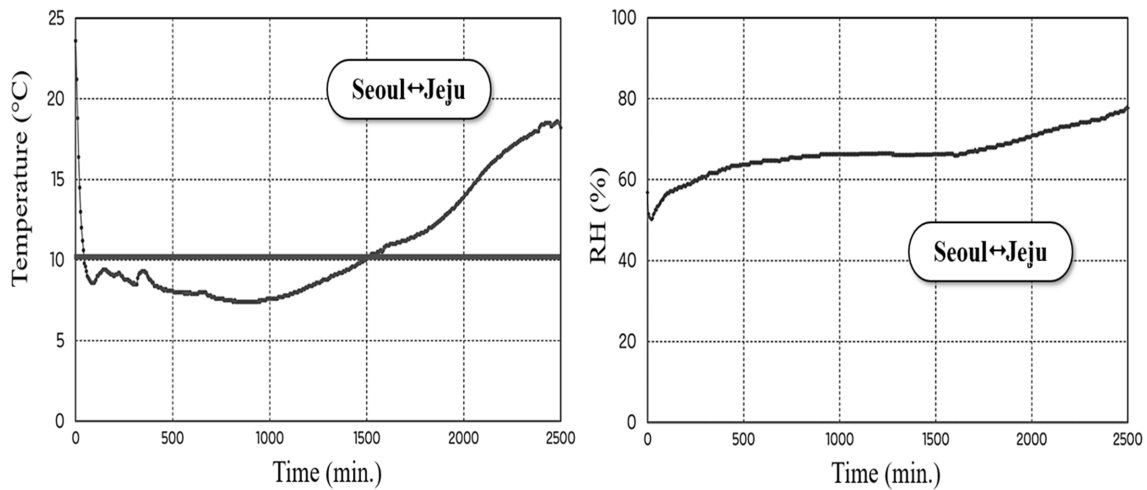


Fig. 5. Distribution of Temperature and RH of parcel delivery route (Seoul↔Jeju).

있으며, 본 연구에서도 배송기간에 따른 온도 기준을 10°C로 이하로 설정하여 EPS 보냉용기의 성능을 분석하였다. 각 지역별 택배 배송과정중의 온도분포를 보면 대전지역 배송의 경우 약 400분(6.6시간, 배송시간(30시간)) 후에 권장 냉장온도 범위를 초과하였으며, 강릉지역 배송의 경우 약 880분(14.6시간, 배송시간(33시간)), 제주지역 배송의 경우 약 1500분(25시간, 배송시간(37시간))후이었다. 각 지역별로 냉장 기준 온도를 초과하는 시간이 차이가 발생하였으며, 이는 대전지역 배송의 경우 택배 배송과정 중에 EPS 보냉용기의 파손이 발생되어 외부공기가 내부로 유입되어 다른 지역에 비해 빠른 온도상승 결과를 초래하였다. 모든 지역의 택배 배송에 의한 온도 변화를 분석하면, 총 택배 배송 시간 이내에 냉장 권장온도를 초과하는 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 각 지역별 배송 중 습도의 변화는 초기 환경 조건에서 30% 범위 내에서 증가 변화가 발생되었다.

1.2. 진동 및 충격 특성

포장화물의 유통환경 중에서 진동 및 충격에 대한 결과는 PSD(power spectral density)로 표현하는 것이 일반적이지만, PSD를 도출하기 위해서는 유통 중 랜덤 진동/충격에 의한 가속도(G) 분포가 rms-G로 평균화되면서 제품의 파손과 관련성이 있는 높은 가속도 값들이 상쇄되는 결과를 초래하게 된다⁴⁾. 따라서, 본 연구에서는 신선식품의 택배 유통환경중에서 받게 되는 진동 및 충격력의 분포를 분석하기 위하여 시간영역(time domain)의 가속도(G)의 분포 곡선을 나타내었다.

Fig. 6은 서울에서 대전까지의 시간에 따른 가속도 분포로, 특히 이 구간에서는 택배 발송시 제품 파손에 대한 주의를 요청하여 파손주의 문구 라벨이 부착한 상태로 배송된 시료이다. 그래프에서 알 수 있듯이 택배 배송 중에 포

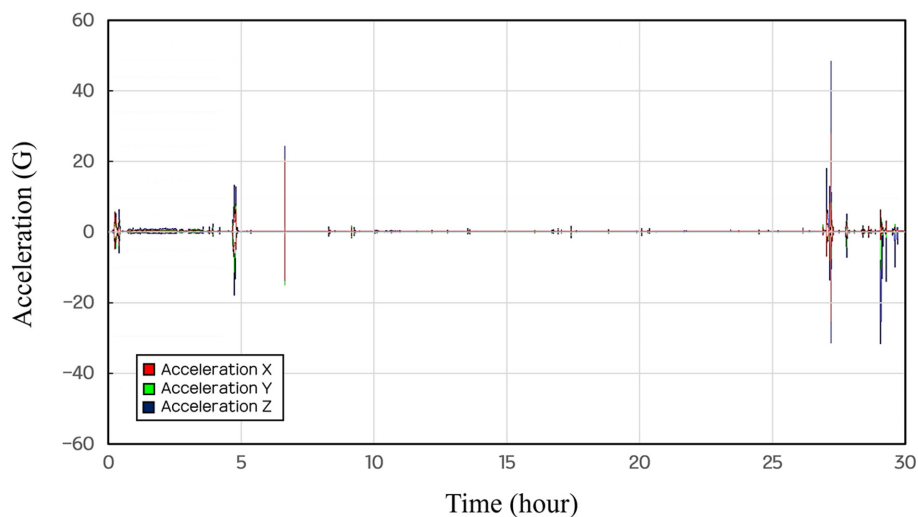


Fig. 6. Acceleration (G) distribution of delivery service route (Seoul→Daejeon).

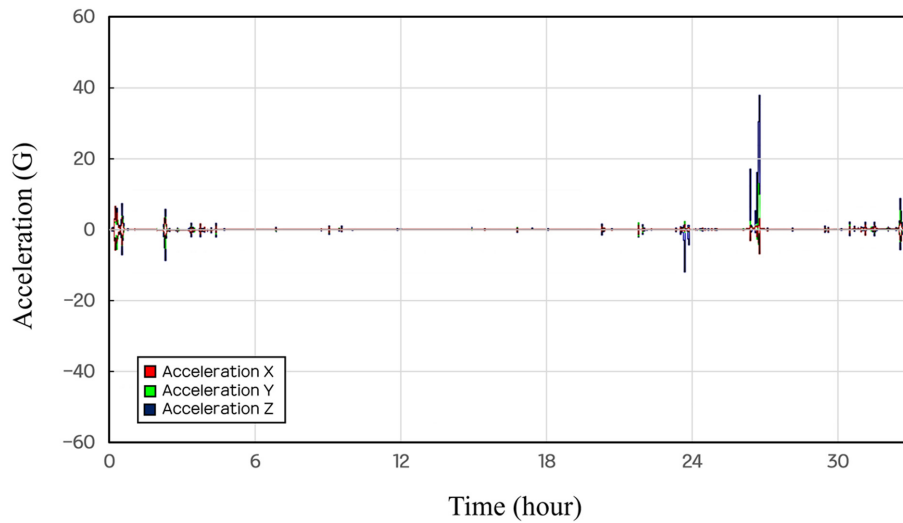


Fig. 7. Acceleration (G) distribution of delivery service route (Seoul↔Gangneung).

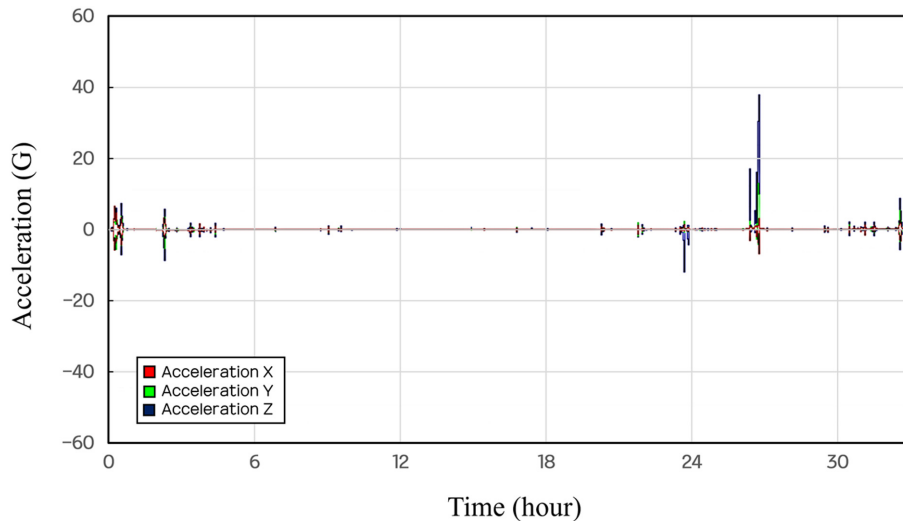


Fig. 8. Acceleration (G) distribution of delivery service route (Seoul↔Jeju).

장 제품의 파손과 관련 있는 높은 가속도(G) 값들이 대략 4~5군데 존재하는 것을 알 수가 있으며, 이 시간대를 추정해보면 트럭의 수송보다는 각 거점 물류센터의 적재/하역 작업 및 소비자에게 배송되는 단계에서 발생된다는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 배송 중 발생하는 최대 가속도(G)는 50 G 이상으로 신선식품에 대한 충격치가 매우 크다. 농산물의 경우 수송중 진동 및 충격 등의 스트레스에 의해 호흡량이 증가하게 되어 품질저하를 더욱 가속화시키는 결과를 초래하게 된다⁸⁾, 특히 택배 배송중 계측된 높은 가속도 충격이 일반 전자제품에 적용된다면 직접적인 파손을 발생시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 7 및 8은 강릉 및 제주의 시간영역에 대한 가속도(G) 분포를 보여주고 있으며, 강릉과 제주 택배 배송시 신

선식품이 적입된 EPS 보냉용기 시료들은 파손주의 라벨이 부착되지 않은 시료들이었다. 이 두가지 시료의 배송시 진동/충격력은 대전 발송 EPS 보냉용기 시료에 비해 시간영역에 대하여 낮은 가속도(G) 분포를 보여주고 있다. 대전지역 발송 EPS 보냉용기 시료에 대한 배송 중의 높은 충격 가속도로 인해 EPS 보냉용기의 파손(크랙)이 발생되어 외부공기가 유입되고 내부의 온도상승을 발생시키는 요인인 것으로 판단되었다.

1.3. 미생물 번식 변화

국내 배송 후 살균우유에 대한 미생물 검사 결과 총 생존수와 대장균을 조사하였다. 국내 배송 전에 살균 우유에서 분석한 대조군 샘플부터 시작하여 총 생존 수 또는 E.

Table 1. Microbial breeding of sterilized milk after domestic delivery service

Route (days)	Sterilized milk		Vacuum-packaged frozen mackerel	
	Total viable count (cfu/mL)	<i>E. coli</i> (cfu/mL)	Total viable count (cfu/g)	<i>E. coli</i> (cfu/g)
Control	ND	ND	ND	ND
Seoul↔Gangneung (4)	2.23×10^6	4.50×10^4	2.37×10^6	2.60×10^4
Seoul↔Jeju (7)	30.00×10^6	7.81×10^4	70.00×10^6	5.10×10^4

※Count effectively used to calculate the result. ND = not detected

*coli*에서 미생물학적 검출이 없는 것으로 나타났다. 그러나 4일 및 7일의 국내 왕복 배송 기간 전반에 걸쳐 Table 1에서 입증된 바와 같이 살균 우유에서 미생물 발생하였다. 왕복 택배 배송 프로세스에서 총 생존 수는 2.23×10^6 cfu/mL이었다. 서울과 강릉 사이, *E. coli*는 4.50×10^4 cfu/mL였다. 또한 서울-제주 왕복 택배 배송에서 총 생존수 30.00×10^6 cfu/mL, 대장균 농도 7.81×10^4 cfu/mL로 변화를 관찰할 수 있었다. 일반적으로 *E. coli*와 같은 대장균군 증가는 오염의 징후이기 때문에 살균 우유에 없어야 한다⁽¹⁴⁾. 우유 내 총 대장균군 허용량은 1,000 cfu/mL 미만⁽¹⁵⁻¹⁷⁾이어야 하나, 본 시험에서 택배 유통 후의 살균 우유는 이러한 제한 비율을 초과함을 나타내었다. 또한 진공 포장된 냉동 고등어는 살균우유와 동일한 결과 패턴을 나타내어 배송 시간이 증가함에 따라 미생물 성장이 증가하였다. 서울-강릉 왕복의 경우 총 생존수는 2.37×10^6 cfu/g, 대장균 수는 2.60×10^4 cfu/g이었다. 또한 서울-제주 왕복 운송과정에서 총 생존균수는 70.00×10^6 cfu/g이었고 대장균은 5.10×10^4 cfu/g이었다. 수산물 부패의 주요 요인은 미생물이며 총 생존균수는 일반적으로 수산물의 신선도를 결정하는데 사용된다. 신선한 수산 품목은 일반적으로 총 생존 계수 값이 1,000-10,000 cfu/g 미만인 모든 수산품은 신선한 것으로 간주된다. 총 생존 수는 값이 1.00×10^5 cfu/g을 초과하면 물고기가 변질되기 시작한 것으로 간주한다⁽¹⁸⁾. 따라서 냉동되었던 고등어는 모두 변질된 것으로 나타났다.

결론적으로 EPS 용기에 저장된 살균우유와 냉동 고등어는 유통 후 포장재의 파손이 없었고 두 제품 모두 유통기한(살균우유: 10일, 냉동 고등어: 1개월) 내 이였으나, 변질된 것으로 보아 유통 중의 요구 냉장유통 온도 조건(살균우유: 0~10°C, 냉동 고등어: -20°C)을 초과하여 변질된 것으로 보여진다. 더욱이, 냉장조건에 유통되는 살균우유의 경우도 여름철 택배 유통으로 아이스팩을 2개 넣은 EPS 용기로는 충분한 단열성을 유지할 수 없다는 것을 보여준다.

결론

최근 친환경 정책으로 사용에 대한 규제를 받고 있지만 코로나-19로 인해 택배 등의 전자상거래 물량이 급격하게

증가하면서 신선식품의 택배 상자로 사용되고 있는 EPS 보냉용기의 사용도 증가하고 있는 실정으로 본 연구에서는 국내 택배 배송 단열 보냉용기로 사용되고 있는 EPS 상자에 대한 신선식품 택배 배송 유통환경 시험을 진행하였다. 그 결과, 국내 콜드체인 온도범위인 10°C 유지는 택배 배송 전체기간을 유지하지는 못했으며, 일부 구간에서는 6시간대로 신선식품의 냉장 배송에 문제가 발생할 수 있음을 알 수가 있었다. 또한, 내부 공기의 온도가 상승하면서 습도도 증가하는 경향으로 30% 범위의 변경이 발생되었다. 만약, 택배 포장된 제품이 수분에 의한 품질변화가 발생할 수 있는 식품이라면 택배 과정 중 수분흡수로 인해 품질변화를 가속시키는 역할을 할 것으로도 판단되었다. 신선식품의 택배유통중 가속도(G) 분포는 예상하기 힘든 높은 충격 가속도가 발생되어 EPS 보냉용기의 파손을 초래하여 포장된 신선식품의 품질에도 영향을 미칠 수 있어 국내 콜드체인 유통환경에 대한 정확한 분석을 통해 파손이 발생하는 물류센터 취급 환경 개선의 노력이 필요하다. 또한, 미생물 실험 결과로 부터 외부 온도, 포장재의 단열 성능 및 택배 수송 기간이 총 생존 가능 수와 *E. coli* 수의 증가에 지배적인 영향을 미침을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2021년 산업통상자원부의 클린팩토리 기술개발 사업 (과제번호: 20015687)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. 임지현. 2019. 텍스트마이닝을 활용한 콜드체인 연구동향 분석. 중앙대학교 글로벌인적자원개발대학원 석사학위 논문.
2. 이승호, 박철순, 정종운, 김지관. 2013. 회수용 접이식 다단 플라스틱 상자의 개발 및 경제성 분석에 관한 연구. 대한설비관리학회지 18(2): 23-32.
3. 김수현, 박상훈, 이민아, 정현모. 2021. 이론적 열유통 및 랜덤 진동 해석을 적용한 EPS 보냉용기의 포장설계. 한국포장학회지 27(3): 175-180.
4. Park, J., Choi, S. and Jung, H.M. 2020. Measurement and analysis of vibration levels for truck transport environment in Korea. Applied Sciences 10(19): 6754.

5. 박종민, 최동수, 황성욱, 정현모. 2019. 적정 포장설계를 위한 수출용 배의 공진특성. 한국포장학회지 25(3): 125-130.
6. 정현모, 김수일. 2015. 국내 과실의 택배 유통환경 특성. 한국포장학회지 21(2): 61-65.
7. ASTM D4728-06. 2012. Standard test method for random vibration testing of shipping containers. American Society for Testing Materials.
8. Chesson, J. H. and O'Brien. M. 1971. Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. Trans. of the ASABE 14(2): 222-224.
9. Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. Trans. of ASABE 36(4): 1039-1042.
10. Jarimopas, B., Singh, S. P. and Saengnil, W. 2005. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. Packaging Technol. Sci. 18: 179-188.
11. Kim, G. S., Jung, H. M., Kim, K. B. and Kim, M. S. 2007. Estimation of the allowable bio-shock fragility index of fruits for optimum packaging design. J. Biosyst. Eng. 32(6): 416-421.
12. Singh, S. P. and Marcondes, J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. Journal of Testing and Evaluation 20(6): 466-469.
13. Singh, S. P., Antle, J. R., and Burgess, G. 1992. Comparison between lateral, longitudinal, and vertical vibration levels in commercial truck shipments. Packaging Technol. Sci. 5(2): 71-75.
14. Pyz-Lukasik, R., et al. "Microbiological quality of milk sold directly from producers to consumers." Journal of Dairy Science 98.7 (2015): 4294-4301.
15. Berhe, Gebretsadik, et al. "Milk-borne bacterial health hazards in milk produced for commercial purpose in Tigray, northern Ethiopia." BMC Public Health 20.1 (2020): 1-8.
16. Doll, Etienne V., Siegfried Scherer, and Mareike Wenning. "Spoilage of microfiltered and pasteurized extended shelf life milk is mainly induced by psychrotolerant spore-forming bacteria that often originate from recontamination." Frontiers in Microbiology 8 (2017): 135.
17. Anderson, Melisa, et al. "The microbial content of unexpired pasteurized milk from selected supermarkets in a developing country." Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 1.3 (2011): 205-211.
18. Zheng, R., Xu, X., Xing, J., Cheng, H., Zhang, S., Shen, J., & Li, H. (2020). Quality evaluation and characterization of specific spoilage organisms of Spanish mackerel by high-throughput sequencing during 0 C cold chain logistics. Foods, 9(3), 312.

투고: 2022.04.07 / 심사완료: 2022.04.09 / 게재확정: 2022.04.15