

농식품 콜드체인 관련 기술과 최근 기술 개발 동향

농식품 콜드체인 기술과 정보화 시대의 다양한 네트워크와 융합한 스마트 콜드체인(Smart Cold-Chain) 관련 기술 개발 현황을 소개하고자 한다.

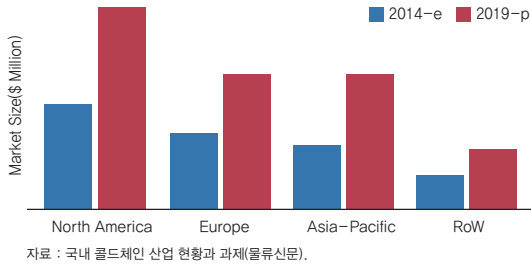
서론

콜드체인이란 농·축·수산물을 비롯한 식료품, 화훼류, 의약품, 가공식품 등 온도 민감성 제품의 생산, 저장, 운송, 판매, 배송, 소비에 이르기까지 유통 전 과정에 걸쳐 해당 품목마다 적정 온도관리를 하여 물품의 품질과 안전을 보장하는 저온유통시스템이라고 할 수 있다. 즉, 콜드체인시스템의 본질적인 목적은 이들 대상물을 적정 온도 하에서 일정하게 유지함으로써 생물학적 반응을 적절히 억제하여 대상물의 선도 및 본질적 가치를 연장시키는 것을 가리킨다.

국내외 콜드체인 시장

세계 식품 콜드체인의 시장 규모는 2013년 978억 4,000만 달러 수준에서 2019년 2,334억 8,000만 달러 수준으로 연평균 15.6% 성장할 것으로 전망된다.

지역별로 보면 2014년 기준으로 북아메리카, 유럽, 아시아·태평양, 기타 지역 순으로 시장 규모가 크다(그림 1). 2019년 이후에는 아시아·



[그림 1] 콜드체인 시장 규모 2014 vs 2019 (\$Million)

태평양 시장이 유럽 시장을 추월할 것으로 예상되며, 아시아에서는 중국 시장이 연평균 25% 성장하여 콜드체인 시장의 성장을 주도할 것이다. 그 결과 2017년 중국 콜드체인 시장 규모는 4,700억 위안 규모로 확대될 것으로 전망된다(표 1).

우리나라의 경우 식품의 냉장·냉동유통 비율이 평균 22.4%이다. 평균 이상으로 콜드체인 처리하는 품목은 쇠고기 98.3%, 돼지고기 98.1%, 닭고기 97.7%, 계란 76.4%, 명태 78.7%, 물오징어 88.6% 등으로 축산물과 수산물이 대부분이다. 반면 콜드체인을 하여야 하는 업체류, 채소류, 과일류, 과일류의 경우 콜드체인 하는 비율은 마늘 12.2%를 제외하고 모두 3~7%에 불과하여 농산물의 경우 아직 콜드체인이 미진함을 나타낸다.

콜드체인을 지원하는 물류설비 현황을 보면, 콜드체인 운송을 담당하는 냉장차량은 2014년 기준 총 11만 357대로 화물차량 335만 3,683대 중 3.3%

[표 1] 식품 콜드체인 시장 규모 : GDP vs 식품콜드체인 비용

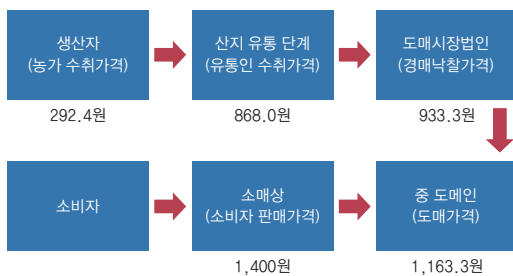
구 분	GDP	식품 콜드체인 비용	점유비
세계(2017)	70조 달러*	2,335억 달러	0.3%
한국(2012)	1,450조 원	6조~9조	0.4%~0.6%
중국(2017)	128,644억 위안	4,700억 위안	3.7%

*2013 세계은행 자료를 바탕으로 3% 성장을 가정하여 추정된 것임.
자료 : 국내 콜드체인 산업 현황과 과제(물류신문).

를 점유한다. 그중 자가용이 9만 7,406대로 88.3%를 차지하고 영업용은 1만 2,472대에 불과하다. 냉장창고는 2013년 기준으로 기업체 232개사, 냉장창고의 면적은 야적장 포함하여 221만 8,213 m², 매출액은 4,826억 원이다.

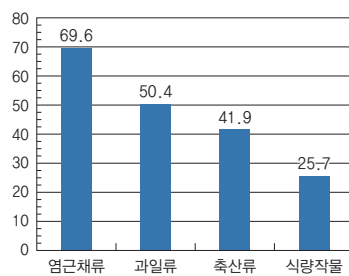
식품 콜드체인의 대상인 농산물은 다단계 유통 구조를 갖고 있어 유통이 효율적이지 못하다. 2012년 기준으로 유통비중이 53%인 전통적 경로인 도매시장의 경우 생산자→산지유통인(1)→산지유통인(2)→도매시장 법인→중도매인→소매점→소비자로 연결되어 유통단계가 7단계이며, 도매 유통비중이 28%인 생산자단체가 계열화한 경우도 생산자→산지 단체→농협 도매조직→소비자단체→소매점→소비자의 6단계에 이른다. 반면 직거래 비중은 4% 수준으로 미미하다. 그 결과 농축산물의 유통비용이 공산품에 비해 지나치게 높다(그림 2). 무, 배추 등 엽근채류는 69.6%에 이르고 과일류도 50.4%, 축산물도 41.9%에 이른다.

배추 한 포기 유통 과정과 가격



자료 : 한국농촌경제연구원 농산물 유통구조 개선 사업군 재정사업 심층 평가 2012년 기준.

주요 농축산물의 유통비용



자료 : 농수산식품유통공사 2011년 기준(단위 : %).

[그림 2] 주요 농축산물 유통비용

콜드체인시스템 주요 기술의 특징

예냉

- 청과물의 품질을 유지하기 위하여 수확 후 신속히 포장열(field heat)을 제거함으로써 품온을 낮추어 호흡작용을 억제시키는 작업을 말한다.
- 콜드체인의 시발점으로 그 방법에는 찬 공기를 이용하여 냉각하는 방법인 강제통풍식, 차압통풍식, 진공예냉, 냉수냉각, 빙냉이 있다(표 2). 예냉방식은 각각 장단점이 있기 때문에 품목, 유통 형태와 경제성을 고려하여 적정시설을 설치하는 것이 효율적이다.

포장

- 찬 공기를 이용한 차압예냉의 경우는 컨테이너 박스나 통기공이 있는 골판지 박스를 사용해야 한다. 통기공의 형태와 개공율, 발수도의 최적화가 필요하다. 골판지 박스는 수분함량에 따라

압축강도가 지수함수적으로 감소하며 통기공의 형태와 개공율에 따라 냉각속도가 다르다. 보통 장방형이 원형보다 동일 개공일 경우 압축강도가 크며 압축강도를 고려할 때 개공률은 3~5% 정도가 적절하다.

- 진공예냉처리를 할 경우는 플라스틱 필름과 골판지 박스로 포장을 하여도 냉각이 가능하며, 냉수 냉각된 청과물은 골판지 박스를 사용할 때 강도나 발수도 개선이 필요하다. 진공예냉은 예냉처리 후 냉기손실이 적도록 긴밀하게 설계해야 한다.
- 콜드체인의 초기 단계에서는 보냉효과를 위해서 스티로폼 박스를 결로 방지와 장단기 보관, 운반, 저장을 위해서는 컨테이너박스의 활용도 고려할 필요가 있다. 그리고 적재, 하역의 편의와 물류 코스트를 줄이기 위하여 단위화물 적재 시스템(Unit Load System)에 적합하도록 외포장 치수와 내포장 치수를 표준화할 필요가 있다.
- 장기적으로는 선진국처럼 단층 구조에 내용물이

〈표 2〉 예냉방식의 장단점

예냉방식	장점	단점
강제 통풍식 소요시간 12~20시간	<ul style="list-style-type: none"> • 설비비 저렴 • 모든 품목에 적용 가능 • 운전, 조작, 보수가 쉬움 • 예냉 후 저온저장고로 활용가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 냉각 속도가 느리고, 냉각 편차가 생기기 쉬움 • 냉각부하 변동에 약하며, 대용량 예냉 부적합 • 적재된 농산물의 표면에 결로가 생기기 쉬움 • 상대습도가 낮을 경우 수분 손실 발생
차압통풍식 소요시간 2~6시간	<ul style="list-style-type: none"> • 설비비가 진공식보다 저렴 • 모든 품목에 적용 가능 • 냉각편차가 적음 • 농산물 표면에 결로발생 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 강제통풍식 보다 설비비가 고가 • 공간 이용효율이 낮음 • 포장용기의 적재에 노력 많이 들 • 상대습도가 낮고 풍량이 클 경우 수분손실 발생
진공식 소요시간 20~40분	<ul style="list-style-type: none"> • 예냉 시간이 짧고 신선도 유지효과 탁월 • 균일냉각 가능 • 비 내리는 날 수확한 농산물의 예냉 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 과일류 예냉 부적합 • 설비비 고가 • 예냉 중 수분손실 발생에 대한 주의 필요 • 예냉 후 별도의 저온저장고 필요
냉수식 소요시간 30~60분	<ul style="list-style-type: none"> • 냉각능력에 비해 설비비 및 운전경비 저렴 • 냉각부하가 큰 과상 농산물의 신속한 냉각 가능 • 예냉 중 수분손실 없음 • 세척과 검용 가능 • 연속식 자동화 냉각 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 연약 채소류에 적용 어려움 • 냉각수의 살균·정화시설, 예냉 후 탈수시설 및 별도의 저온저장고 필요 • 골판지 포장상자 방수처리 필요
얼음식 소요시간 즉시	<ul style="list-style-type: none"> • 얼음 채움으로 작업 종료 • 수분손실 위험 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 골판지 포장상자 방수처리 필요 • 얼음이 녹은 후의 물 처리 불편 • 수송하중 증가

보이는 오픈 타입으로 그리고 적재하였을 때 냉기흐름이 좋게 설치할 필요가 있다. 소포장 유통이 증가 추세에 있으며 MAP¹ 포장의 경우 가스선택투과성(CO₂, O₂) 멤브레인 부착 포장, Active MAP, 기능성 포장재 적용 사례가 증가하고 있다. 그리고 물류비 절감과 품질 유지(잡은 접촉에 의한 손상 방지)를 위해 산지 포장 상자가 그대로 소비지 판매대에 진열될 수 있도록 고려할 필요가 있다.

수송과 배송

- 냉장차는 기계식 냉장차, 축냉식 냉장차, 액체질소 냉장차 및 얼음, 액체탄산가스, 드라이아이스를 이용한 냉장차 등이 있으나 기계식 냉장차가 주를 이루고 있다. 기계식 냉장차의 경우 냉동기를 부착하고 있으며, 보통 -20~15℃까지 온도 컨트롤이 가능하다. 대부분의 냉장차는 예냉 목적으로 사용이 어려우며 냉장 내지는 보냉 기능으로 사용한다.
- 보냉차는 보온용 단열재(폴리우레탄 등)가 충전된 알루미늄판 또는 FRP² 등으로 제작하여 외부 공기에 대하여 단열 기능만을 구비하고 있으며 단시간, 단거리 유통의 경우 주로 사용한다.
- 보통 냉장차나 보냉차는 보냉 기능이 주이기 때문에 적재 전에 미리 충분한 예냉처리를 할 필요가 있으며, 냉장차의 경우 냉기의 흐름을 고려한 적재가 필요하다.
- 수송 중 충격에 의한 손상을 방지하기 위하여 차체 하부에 충격흡수장치(Air Suspension)를 부착

하거나 컨테이너 내부에 버팀목(Brace)이나 에어백을 설치하기도 한다. 수송 중에는 정확한 온도관리와 함께 가스 컨트롤을 함으로써 저장성을 연장할 수 있으며, 장거리 수송도 가능하다.

소비지 저온시설

- 소비지 도매시장, 물류센터에는 저온경매장, 저온매장(15℃ 이하)과 저온저장고(보냉고, 5~15℃)를 설치하여 예냉, 저온수송되어진 과일, 채소류의 품온 상승을 막음으로써 결로방지 및 고품질을 유지할 수 있다. 지나치게 저온에 보관하면 출고 후 결로가 생기므로 10℃ 내외에 보관하는 것이 적절하다.
- 판매는 가급적 가습시설이 구비된 냉장 쇼케이스에서 이루어지도록 해야 한다.
 - 선진국(미국, 프랑스, 호주 등)의 경우 쇼케이스의 온도는 보통 1~4℃를 유지
 - 열대 과일류 등 저온장해 대상 품목은 분리하여 판매
 - 선진국(예: 독일)의 경우 냉장 진열대의 관리 기준(온도, 습도) 제정
 - 일본 도매 시장의 저온매장 32,000 m², 도매시장의 저온·보냉시설 38,000 m² 구축

저장, 보관시설

- 적정 저장 온도는 빙결점 직전의 온도로서 저온장해를 피할 수 있는 온도로 한다.
- 품목의 특성을 고려하여 단순 저온저장, 가습, CA 저장³ 등의 방법을 취한다.
- 품목별 적정 저장 조건에 따라 저장하고 동일 품

1 MAP(modified atmosphere packaging) : 소정의 포장재를 이용하여 과일 및 과채류를 밀폐하여 저장하는 것이다. 저온과 더불어 과일 및 과채류에 적용하면 수확물의 호흡작용으로 인해 증가된 이산화탄소와 낮아진 산소농도로 인해 포장용기 내의 공기조성이 수확물의 보존에 적합한 상태로 변화되므로 저장, 유통기간 중 신선도를 유지하는 기술이다.

2 FRP(fiber reinforced plastics) : 유리 및 카본 섬유로 강화된 플라스틱 복합재료로 경량·내식성·성형성(成型性) 등이 뛰어난 고성능·고기능성 재료이다.

3 CA(cotrolled atmosphere storage) : 대기의 가스조성(산소 : 21%, 이산화탄소 : 0.03%)을 인공적으로 조절한 저장환경에서 청과물을 저장하여 품질보전 효과를 높이는 저장법으로 조절하는 가스에는 이산화탄소, 일산화탄소, 산소 및 질소가스 등이 있으나 통상 대기가스에 비해 이산화탄소를 증가시키고 산소의 감소 및 질소를 증대시킨다. 이것에 의해 청과물의 호흡 작용을 억제하여 저장력을 연장할 수 있다.

목이라도 국내산과 외국산 간에는 적정조건에 차이가 있을 수도 있다.

- 에틸렌가스 발생, 열대 원산 청과물의 경우 품목별 특성을 고려한 저장, 보관 기준을 준수한다 (에틸렌 제거용 자외선 키트, 오존 키트 등 고선도 저온저장고 등을 채용)
- 저온저장고의 경우 예냉시설의 미비로 과대 설계에 따른 전기료 부담이 생길 수 있다. 예냉시설 설치, 빙축열시스템 도입에 따른 전기료 절감, 멀티시스템으로 절전 운전이 가능하다.

보조기술

주요기술 이외에 전처리, 선별, 소포장, CA저장, MAP, 표면살균, HACCP, 배송, 판매, 물류, 정보, 기능성소재 그리고 그 외 선도유지관련기술 등 단계별 소프트웨어가 개발되어야 완벽한 품질을 유지할 수 있다. 이는 콜드체인 시스템이 하나의 연결된 사슬로서 생산자부터 소비자 손에 들어갈 때까지 Total Quality Management가 되어야 하기 때문이다.

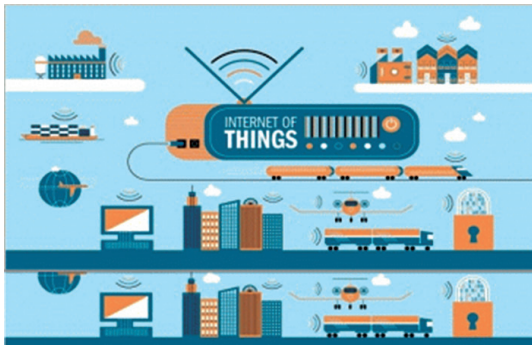
최신 콜드체인 관련 기술 현황

사물인터넷

영어 Internet of Things의 머리글자를 따서 ‘아이오티(IoT)’라 약칭하기도 한다. 이 용어는 1999년

매사추세츠공과대학교(MIT)의 오토아이디센터(Auto-ID Center) 소장 케빈 애시턴(Kevin Ashton)이 향후 RFID(전자식별)와 기타 센서를 일상생활에 사용하는 사물에 탑재한 사물인터넷이 구축될 것이라고 전망하면서 처음 사용한 것으로 알려져 있으며, 이후 시장분석 자료 등에 사용되면서 대중화되었다. 2014년 미래창조과학부에서 정의한 사물인터넷이란 ‘사람·사물·공간·데이터 등 모든 것이 인터넷으로 서로 연결되어, 정보가 생성·수집·공유·활용되는 초연결 인터넷이다’라고 하였다. 한마디로 사물인터넷은 기존의 유선통신을 기반으로 한 인터넷이나 모바일 인터넷보다 진화된 단계로 인터넷에 연결된 기기가 사람의 개입 없이 상호간에 알아서 정보를 주고받아 처리한다(그림 3).

기본적으로 IoT/M2M(Machine to Machine) 기술은 RFID(Radio Frequency Identification), NFC(Near Field Communication), Wi-Fi(Wireless Fidelity), Bluetooth, ZigBee, 3GPP 계열의 이동통신 기술(LTE 등), 위성통신 기술 등 다양한 네트워크 기술들을 활용하여 물리 공간 및 가상공간에 존재하는 진화된 사물들을 인터넷을 통해 서로 연결시켜 정보를 전송하고, 이를 기반으로 다양한 서비스를 제공할 수 있는 미래 인터넷 인프라 기술로 정의되고 있다. 특히 물류/유통, 환경 의료 등 SCC(Smart Cold-Chain)가 적용될 수 있는 산업분야와 밀접한 연관관



[그림 3] 사물인터넷(IoT)



[그림 4] u-Food 스마트 품질 모니터링 기술 개발



[그림 5] u-Food 스마트 품질 모니터링 시스템 개념도

계를 갖고 있기 때문에 특히 주목받고 있다.

신선물류 시스템 구축

신선물류는 일반적인 상온물류와 달리 적절한 온도관리를 통해 식품의 품질과 안전을 보장해야 하는 물류이다. 이러한 신선물류는 물류 전 과정에 걸쳐 온도를 유지해야 하며 냉장 제품의 경우 0~10℃, 냉동 제품의 경우 -18℃ 이하를 유지시켜야 하는 특징을 가지고 있다. 신선물류 서비스를 제공하기 위해 전국 냉장·냉동 물류센터를 보유하는 것은 물론 집하차량과 간선 수송차량, 배송차량까지 모든 네트워크가 콜드체인으로 운영되어야 하기 때문에 다른 산업보다 초기 투자비용이 높은 장차산업이기도 하다.

최근 들어 신선물류를 내장하고 있는 컨테이너 화물 및 일반 화물에 대한 위치 및 상태 파악, 투명성 제고 등을 위해 다양한 형태의 IoT 기술 도입이 검토되고 있다. 예를 들어, 신선 물류를 내장하고 있는 컨테이너 화물 및 일반 화물이 창고/항구/화물 하역 장소 등에 도착했을 때, 각종 센서와 통

신기기 등이 통합된 IoT 디바이스를 통해 자동으로 관련 플랫폼 혹은 서버로 정보를 전송하여 해당 신선 물류의 정확한 위치 및 상태를 파악할 수 있다면, 이는 해당 물류비용 및 안정성 제고에 커다란 역할을 담당할 수 있기 때문이다.

현재 냉장 배송차량에 온도기록장치와 GPS를 연동시켜 이를 추적·관리함으로써 보다 안전하고 정확한 온도관리를 수행하고 있으며, 스마트폰 어플리케이션을 통해 고객과 배송사원 모두 실시간으로 차량위치와 온도 정보를 제공하고 있다. 이러한 하드웨어와 소프트웨어를 통하여 식자재, 가공식품 등 각종 신선제품에 대한 배송서비스를 극대화하고 있다. 또한 사물인터넷 시대에 걸맞은 차세대 물류전산 시스템을 개발하기 위한 프로젝트를 계속 시행 중에 있다.

u-Food 스마트 품질 모니터링 시스템 개발

최근 '한국식품연구원'에서는 IoT(사물인터넷)와 식품 품질예측 기술을 융합해 언제 어디서나 포장을 뜯지 않고도 스마트폰으로 식품의 생산이력,

신선도와 유통온도 이력, 잔여 유통기한 등을 정량적으로 확인 가능한 신개념 식품 유통 기술을 개발하였다(그림 4). 'u-Food System'은 RFID(radio frequency identification)/ USN(ubiquitous sensor network) 기술을 활용하는 식품과 u-IT 기술을 융합한 차세대 유통시스템이다. 부연하면 u-Food 시스템은 식품의 원료 생산부터 가공, 유통, 판매, 소비자에 이르기까지 전 단계에 걸쳐 품질, 공정, 정보 등을 실시간으로 관리할 수 있는 첨단 유통 시스템이다.

실시간 식품 유통과정 모니터링 및 품질 예측을 위해서 그림과 같이 u-Food 시스템을 구축하였다(그림 5). 식품 유통과정에서 RFID 센서 태그는 온도를 수집 후 리더를 통해 온도를 서버에 전송하고 서버는 미들웨어를 통해 전송된 온도와 위치 정보인 식품 유통이력을 수집하여 데이터베이스에 저장한다. 저장된 온도 이력은 식품 품질 예측 알고리즘을 통해 식품의 현재 예측 품질이 계산되어 저장된다. 저장된 품질 예측 결과와 유통이력을 결합하여 소비자가 식품에 부착된 QR코드를 인식하여 식품의 정보를 요청하면 제공한다. 또한 관리자가 식품의 품질이나 유통이력을 모니터링을 위해 제공한다.

결론

미국의 정보 기술 연구 및 자문 회사인 가트너(Gartner)는 차후 10대 미래 전략 기술 중 가장 중요한 기술로 사물 인터넷을 선정한 바 있으며 2014년, 2015년 그리고 앞으로도 IoT는 주요 키워드가 될 것으로 보인다. 2014년이 IoT에 대한 아이디어 확산의 시기였다면 2015~2016년은 IoT 시장의 진화 방향이 구체화되는 시기이다. 이미 선진국에서는 농수산물, 냉동냉장 육류, 청과물, 유제품 및 의약품 등의 식료품 유통이 콜드체인(Cold Chain)을 통

해 이루어지고 있다. 현재 자동화된 스마트 콜드체인 모니터링 시스템 구축 시 필요한 사물 인터넷 기반 스마트 콜드체인 모니터링 자동화 시스템에 대한 설계 기법 연구를 진행 중에 있다. 그러나 아직까지 신선물류의 상태 및 위치 정보의 전송 시 어느 정도의 실시간성을 제공해야 하는지에 대한 좀 더 집중적인 연구가 필요하고, 이러한 연구결과를 기반으로 하는 실제 시스템 구현 방안 및 구현에 대한 향후 연구가 더 필요하다. 스마트 시대에 콜드체인이 ICT 융·복합 활성화에 기반한다면 다양한 분야에서 성장 동력원을 창출하여 첨단산업을 구현 할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. 김병삼, 2011, 한국의 농산물 콜드체인시스템 현황과 발전방향, 설비저널, Vol. 20, No. 3, pp. 24-33.
2. 김병삼, 2008, 농산물유통개선과 저온유통시스템, (사)한국포장협회, No. 180, pp. 114-135.
3. 최시영, 2015, 국내 콜드체인 산업 현황과 과제, 물류신문.
4. 김석훈, 2014, 사물 인터넷 기반 스마트 콜드체인 모니터링 자동화 시스템 구조, 한국디지털정책학회, Vol. 12, No. 12, pp. 351-356.
5. 두산백과.
6. 한국식품연구원, 2015, u-Food System 기반 구축 연구 사업 보고서.
7. 농촌진흥청.
8. Hay veasna 등 5인, 2012, 1-Methylcyclopropene 과 이산화탄소 제거제 처리에 의한 가지(Solanum melongena L.) 과실의 MAP 저장 중 저온장해 경감, 생물환경조절학회, Vol. 21, No. 1, pp. 50-56.
9. 첨단산업기술사전. 