Dynamic 식품 품질 안전 모니터링 기술

Dynamic Food Quality & Safety Monitoring Technology

김지영*

Ji-Young Kim*

한국식품연구원 스마트유통시스템연구단

Smart Food Distribution System Research Division, Korea Food Research Institute

1. 서론

최근 안전하고 좋은 먹거리를 섭취하려는 트렌드가 확산되면서 더 많은 소비자들이 식재료의 유통기한 및 품질에 대한 꼼꼼한 잣대를 들이대고 있다. 현 식품 공급체계는 대부분 소비자가 제조 및 생산 업자에게서 직접 상품을 구매하지 않고 다양한 유통과정을 거친 상품을 간접적으로 구매하므로 소비자가 식품 구매 전 상품에 대한 유통이력정보와 위생 상태를 명확히 확인하기는 어려운 실정이다. 따라서 소비자는 식품 구매 시 포장에 표기된 유통기한에만 의존하여 신선도를 판단할 수밖에 없는 상황이다. 그러나 유통기한이 아직 남아있는 식품이라도 생산-유통-판매 단계에 이르는 과정에서의 잘못된 보관으로 상할 우려가 있는 식품을 유통기한만 믿고 섭취하는 상황이 발생하기도 한다.

이러한 문제를 극복하기 위하여 유통업체에는 냉장 판매대의 온도관리 강화, 진열대에 적재할 수 있는 양에 대한 기준 설정 및 감독 등을 건의하였으며, 소비자에게는 냉장식품을 구입할 때에는 냉장 진열대의 온도를 확인하고 제품을 만져보아 제품의 표면에 10℃ 이하의 찬기가 느껴지는 제품을 선택하고, 장을 볼 때는 냉장보관이 필요한 식품이나 상하기 쉬운 식재료는 가능한 마지막에 구입하며, 장보기를 마친 후에는 최대한 빠른 시간 내에 집으로 가져와 냉장 보관해야하는 것을 습관화하도록 권하고 있다. 물론 소비자가 가정에서 제조사가 권장하는 식품 보관요령을 철저히 따르는 것은 매우 중요한 일이다. 그러나 생산 및 유통단계에서는 식품 납품 및 판매업소에서 식품의 안전성을 보증하고 동시에 소비자 스스로가 품질이 좋은 제품을 올바르게 선택하고 판단할 수 있도록 유통과정 중의 정확한 환경이력 정보를 제공하는 시스템을 강화시키는 기술이 필요하다.

따라서 먹을 수 있는 일정 수준의 품질을 유지할 수 있는 기간이 어느 정도 될 것인가를 사전에 예측하여 소비자에게 정보를 제공하는 것은 매우 중요하고 필요한 과제

* Correspondence to: Ji-Young Kim
Smart Food Distribution System Research Division, Korea Food Research Institute,
1201-62, Anyangpangyo-ro, Seongnam, Gyeonggi, 463-746, Republic of Korea
Tel: 82-31-780-9350 E-mail: jykim@kfri.re.kr

이다. 최근 이와 관련된 연구들이 다양하게 진행되고 있으며 그 중에서도 반응속도론, 예측미생물학, 정보통신기술(Information & Communication Technology)과 식품기술(Food Technology)을 융합하여 품질을 예측하는 dynamic 품질 모니터링 기술과 적용사례를 살펴보았다.

2. 식품 품질 안전 모니터링 기술 현황

미래의 IT 환경에서 국내 식품의 효율적인 냉장유통 관리를 위해서는 저장 및 유통 중 식품의 품질변화에 대한 정보(저장안정성 및 품질변화예측)가 체계적으로 구축 되어 있어야 한다. 현재까지 식품의 품질변화를 정량적으로 표현하고 예측하기 위하여 화학반응속도론이나 예측미생물과 같은 kinetic 이론이 적용되어 왔다. 또한 수학적인 모델링 기법을 적용함에 따라 식품 전주기 유통환경에서 품질변화를 표시하고 예측할 수 있는 dynamic 품질 모델도 개발되고 있다.

2-1. 화학반응속도론을 이용한 식품 유통기한 설정

우리나라의 식품 기한 표시는 유통기한(流通期限)을 중심으로 하고 있다. '유통기한'이란 제품의 제조일로부터 소비자에게 판매가 허용되는 기한을 말하는 것으로 법령상 유통기한은 판매기한으로 정의된다. 즉 식품을 판매할 수 있는 최종일을 나타내는 것으로 이 기한 내에 적정하게 보관, 관리된 식품은 안심하고 먹을 수 있다는 의미이며, 제조업체가 제품의 품질이나 안전성 등에 대해 소비자에게 책임지고 보증한다는 뜻이다. 일반적으로 식품의 유통기한을 산출하는 방법은 식품업체에서 실험을 통하여 식품이 정상적인 품질을 유지할 수 있는 기한을 계산하고, 여기에 안전계수(0.7~0.8)를 곱하여 유통기한을 설정한다. 예를 들어 실험을 통해 얻은 유통기한이 100일 이라면 결정되는 유통기한은 70-80일이 되는 것이다.

우리나라의 유통기한 관련 설정 제도는 2000년부터 제조업자가 유통기한을 자율적으로 설정할 수 있도록 법이 개정되었으나 과학적 근거가 미흡한 가운데 자의적으로 설정하거나 제조공정 및 포장상태를 고려하지 않고 타사 비슷한 유형 제품의 유통기한을 따라 설정함으로써 유통기한의 신뢰도에 문제점이 발생하였다. 따라서 식품의약품안전처에서는 식품의 유통기한설정기준(고시 제2007-66호)을 최초로 고시하였으며, 유통기한 설정실험 가이드라인을 제시하였다. 이에 따르면 유통기한을 과학적으로 설정하기 위해서는 먼저 개별식품의 특성이 충분히 반영된 객관적인 품질지표를 설정해야 한다. 객관적인 품질지표란 일반세균, 병원성세균, 포자형성균 등과 같은 미생물학적 지표와 수분, 수분활성도, pH, 산가, 색도, 영양성분 등과 같은 이화학적 지표를 말한다. 주관적인 품질지표는 색, 향미, 기호도 등과 같은 관능적 품질지표를 말하는 것으로 이러한 품질지표들을 이용하여 유통기한을 설정한다(표 1). 실측 또는 가속실험 수행 시 저장온도는 제품의 제조 후 보관, 유통, 진열 및 소비단계에 이르는 전 과정에서 일어날 수 있는 온도조건을 고려하여 제품의 대표적인 유통온도와 극단적인 환경 및 여러 유통단계에서 소비된 시간을 참조한 남용온도를 설정한다. 상온유통제품의 경우 15-25℃ 유통조건을 설정하되 반드시 25℃가 포함되어야 하고, 실온유통제품의 경우 1-35℃ 유통조건을 설정하되 35℃가 포함되어야 한다. 냉장유통제품은 0-10℃ 유통조건을 설정하되 10℃가 반드시 포함되어야하며, 냉동유통제품은 -18℃ 유통조건을 설정하여야 한다(표 2).

표 1. 유통기한 설정 시 품질지표 실험을 위해 이용될 수 있는 실험항목

품질지표	실험항목
이화학적	수분, 수분활성도, pH, 산가, TBA가, 휘발성염기질소(VBN), 산도, 당도, 영양성분(비타민) 등
미생물학적	세균수, 대장균군, 곰팡이수, 진균수, 유산균수, 병원성균수(바실러스세레우스, 장염비브리오균, 살모넬라, 황색포도상구균 등)
물리학적	점도, 색도, 탁도, 용해도, 경도, 비중 등
관능적	외관(곰팡이, 드립, 침전물, 분리상태, 색택, 외형 등), 풍미(냄새, 산패취 등), 조직감(물성, 점성, 표면건조 등), 맛 등

(식품의약품안전청, 식품의 유통기한 설정 가이드라인, 2011)

표 2. 유통기한 설정을 위한 식품 저장온도

구분	유통온도	저장온도	상대습도
상온유통	15-25℃	유통온도: 25℃ 남용온도: 15℃	75%
실온유통	1-35℃	유통온도: 35℃ 남용온도: 25℃	90%
냉장유통	0-10℃	유통온도: 10℃ 남용온도: 15℃	90%이상
냉동유통	-18℃이하	유통온도: -18℃ 남용온도: -10℃	100%

(식품의약품안전청, 식품의 유통기한 설정 가이드라인, 2011)

실험 결과는 식품의 품질변화에 대해 시간과 반응속도 상수로 표현되는 화학반응식(Arrhenius 식)을 사용하여 해석하도록 하고 있다.

$$-\frac{dA}{dt} = k_0 \mathrm{Exp}(-\frac{E_a}{RT})A^n$$

여기서 E_a는 활성화 에너지, R은 기체상수, T는 절대온도, k_0는 절대 속도상수를 나타낸다. 따라서 품질손실량을 예측하기 위해서는 품질지표에 대한 자료로서 유통기한을 결정하는 품질지표의 반응차수(n)와 활성화에너지(E_a) 또는 Q_{10} 값을 알아야 한다. Q_{10} 값이란 활성화에너지와 마찬가지로 온도변화에 대한 반응의 민감도를 나타내는 척도이다.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T}$$

여기서 k_T는 임의의 온도 T에서의 반응속도상수이며, $k_{(T+10)}$는 임의의 T보다 10℃ 높은 온도에서의 반응속도상수를 나타낸다. Arrhenius 방정식은 식품의 저장수명과 관련된 많은 화학적 반응의 온도 의존성을 설명하는데 사용되어 왔으나, 미생물 증식은 유전인자 복제라는 화학 과정이므로 특정 온도범위에서 다른 모든 생태학적 요인이 일정할 경우에는 아레니우스 법칙을 따를 가능성이 있지만, 증식은 일련의 매우 복잡한 반응들의 상호작용에 기인하기 때문에 온도 증감에 따라 직선 형태에서 크게 벗어날 수 있으며 이를 통한 유통기한 예측은 잘못된 결과를 초래할 수 있다.

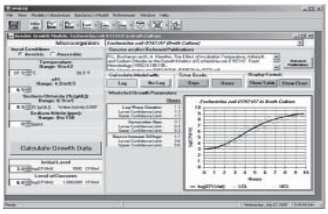
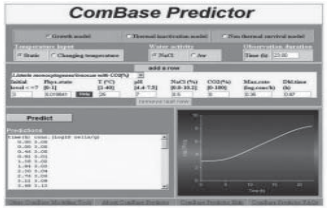
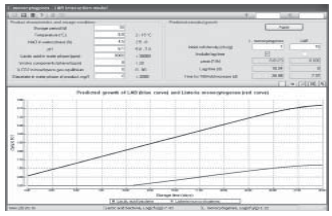
2-2. 미생물 성장 예측모델

예측미생물학(Predictive food microbiology)은 알고 있는 조건하에서 미생물을 생육시켜 얻은 데이터를 이용하여 수학식으로 모델링하여 예측하는 방법으로 1990년대부터 초반부터 시작되어 응용면에서 급성장 하였고, 최근에는 부패미생물의 성장과 사멸로부터 유통기한을 예측하는 수학적 모델 개발 및 이를 도입한 컴퓨터 프로그램으로 발전하였다.

미생물 성장 예측 모델은 크게 1차, 2차, 3차 모델로 나누어진다. 1차 모델은 시간의 변화에 따른 미생물의 성장이나 사멸을 예측하기 위한 것으로 대표적인 모델은 Gompertz model, Baranyi model 등이 있다. 2차 모델은 1차 모델에서 계산된 parameter(예, 유도기, 성장률 등)들이 저장온도, 수분활성도, pH등과 같은 요소에 따라 어떻게 변화는지를 예측하는 과정을 말하고 주로 사용되는 모델에는 Polynomial model, Arrhenius model 등이 있다. 3차 모델은 1, 2차 모델을 통합하여 사용자가 쉽게 이용 할 수 있도록 만든 상업화된 모델이다. 3차 모델은 현재 국가별로 식품의 미생을 성장을 예측하는 예측미생물과 관련된 다수의 모델이 개발되어 있다. 국내에서는 식품의약품안전처에서 식품의 유통기한 설정의 사용편의성을 높이기 위하여 소프트웨어에서 식품유형, 제품명, 품질지표, 실험온도, 실험결과 입력(초기미생물농도 등)을 입력하면 해당식품의 유통기한을 자동으로 설정해주는 프로그램이 개발되었다. 해외개발 기술은 미국 USDA에서 개발 및 운영하는 PMP(Pathogen Modelling Program) 프로그램, 영국 FSA와 IFR에서 개발 운영되어지는 Combase 프로그램 등이 있다. 사용법으로는 일단 균종을 지정하고 온도, pH, 식염농도, 수분활성도, 초기균수 등의 성장조건을 입력하면 예측 증식곡선과 신뢰 구간이 표시된다. 또한 동시에 lag-time, 세대시간 및 정지기에 도달하기까지의 시간도 나타내며 다른 균종의 증식

패턴과 비교도 가능하다. 미생물 예측 모델의 장점은 일단 모델이 관심 있는 미생물에 이용 가능해지면 시간과 비용이 많이 들어가는 실험을 진행 할 필요 없이 새로운 조성이나 새로운 저장조건이 평가 될 수 있다. 그러나 개발된 프로그램은 미생물이 증균배지(broth)에서 생육하기 때문에 실제 식품상태보다 생육이 빨라 식품 품질이 짧게 예측될 수 있어 반드시 실제 식품에 대한 실험과 병행하면서 활용해야 하며 식품의 실제 유통환경 변화에 따른 품질 및 잔류유통기한 등의 정보를 획득하기에는 어려움이 있다.

표 3. 미생물 예측모델 개발 사례

개발기술명(연도)	연구자(개발국)	핵심연구내용
식품유통기한 설정 프로그램(2011)	식약처	식품의약품안전처는 식품유형, 제품명, 품질지표, 실험온도, 실험결과 입력(초기미생물농도) 시 두부 등 6개 식품의 유통기한을 자동으로 설정해 주는 등 사용편의성을 높인 식품의 유통기한 설정 프로그램을 개발함
Pathogen Modelling Program (PMP, 2009)	USDA (USA) 	미국 USDA에서 개발 및 운영하는 프로그램으로 *L. monocytogenes*, *E. coli*등 식중독균을 대상으로 broth에서 성장을 예측하는 3차 모델 임. 소프트웨어에서 제품의 해당 균종을 지정하고 예측을 위해 보존 온도, pH, 염 농도, 수분활성도, 초기균수 등의 성장조건을 입력하면 미생물의 생육가능성에 대한 예측을 얻을 수 있음. 단, 변온조건에서는 예측이 어려움
Combase (2013)	Food Standards Agency & Institute of Food Reseaarch (UK) 	영국 FSA와 IFR에 의해 개발 운영되어지는 프로그램으로 *B. cereus*, *S. aureus* 등 식중독균을 대상으로 broth에서 성장을 예측하는 모델 임. 소프트웨어에서 제품의 해당 균종을 지정하고 예측을 위해 보존 온도, pH, 염 농도, 수분활성도, 초기균수 등의 성장조건을 입력하면 미생물의 생육가능성에 대한 예측을 얻을 수 있음. 유통기한 연구 초기단계 및 기존 제품에 대한 품질 기준 확인에 유용함
Seafood Spoilage and Safety Prediction (SSSP, 2008)	Danish Institute for Fisheries Research (Netherlands) 	네덜란드의 Danish Institute for Fisheries Research (DIFRES)에서 해산물의 부패를 예측하기 위하여 *Listeria monocytogenes*, *Lactic acid bacteria* 등을 대상으로 broth에서 성장을 예측하는 3차 모델 임. 소프트웨어에서 저장기간, 보관온도, 염농도, pH, 수분활성도 등의 성장조건을 입력하면 미생물의 생육가능성에 대한 예측을 얻을 수 있음. 단, 변온조건에서는 예측이 어려움

(한국식품연구원, 기술동향 및 중장기전략 보고서, 2016)

2-3. ICT 융합 식품 품질 모니터링 기술

최근 EU, 미국, 일본 등 선진국은 식품의 생산, 안전관리, 유통분야에 ICT를 도입해 식품 유통의 투명성 확보는 물론 생산관리, 품질관리, 유통물류관리 등에 활용하고 있다. 미국 Infratab사의 FreshTime™은 식품의 온도에 따른 품질변화에 대한 간단한 모델을 개발하고, 신선도 유지가 필요한 식품의 이동시 물류관리 시스템에 적용하기 위해 Semi-passive형태의 Freshtime™ RFID 태그를 개발하여 매 15분마다 온도와 시간을 측정하여 누적된 온도 변화에 따라 식품 품질을 정상(Green), 상함(Red), 상하기전(Yellow) 등 3단계로 구분하여 부착된 LED를 통해 알려주는 시스템을 제시하였다. 팔레트나 상자에 단품으로 적용되어 사용되거나 재사용 컨테이너나 유통망에서 다중 사용이 가능하다. 그러나 개발된 기술은 유통 과정 중 실시간 모니터링 및 위치추적이 불가능하여 사전통제가 어려운 단점이 있다. 이스라엘 StePac의 품질모니터링 프로그램인 Xsense 기술은 개발된 RFID 태그를 이용하여 유통과정에서의 온 · 습도 등의 정보를 실시간 기록하여 통신망을 통해 화주와 물류 · 유통업체들이 모니터링할 수 있는 기술을 개발하였다. 그러나 식품의 품질정보에 대한 data 및 모델링 연구가 구축되어 있지 않아 유통과정 중 단순한 온 · 습도 모니터링만 가능한 단점이 있다.

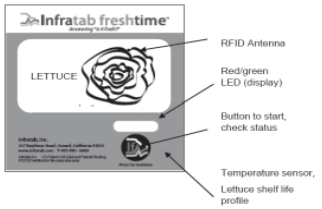
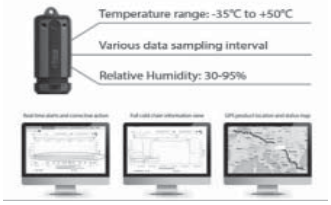
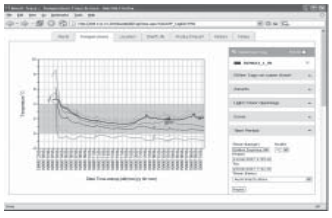
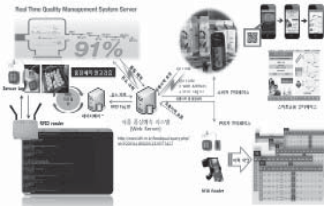
국내에서도 부정불량식품 근절 및 안전한 먹거리 안정공급을 위하여 보다 과학적이고 객관적인 식품 품질 및 안전관리 기술 개발에 대한 투자가 진행되고 있다. 현재 위해요소중점관리제도(HACCP), 우수농산물관리제도(GAP), 이력추적관리제도(Traceability) 등 사전 예방적인 안전관리제도 시스템의 구축이 진행되고 있으나 식품 유통 및 물류관리에 IoT 기술을 적용하여 표준화된 비즈니스 모델은 없다.

식품의 안전관리를 시스템적으로 해결하기 위하여 한국식품연구원에서는 소비자가 식품 구매 전 포장을 뜯지 않고 스마트폰을 이용하여 식품 생산 · 유통이력을 실시간으로 확인 할 수 있는 스마트 식품 품질 모니터링 시스템을 개발하였다. 식품 품질 모니터링 시스템은 ICT와 식품 품질예측기술을 융합하여 식품 유통 전 단계에 있어서 식품의 품질/안전 및 생산유통이력정보를 실시간 예측/모니터링/통제할 수 있는 차세대 지능형 식품유통시스템이다. 시스템 구성은 품질예측알고리즘이 탑재된 RQMS(Real-time Quality Monitoring System) 서버를 중심으로 RF 센서태그와 QR 코드, 통신유니트, 미들웨어, 스마트디바이스로 구성된다. 시스템 구현은 ① 식품 생산단계에서 생산이력정보와 초기 품질정보를 데이터베이스에 저장하고 포장단계에서 QR코드를 부착, ② QR코드가 부착된 물품에 박스 또는 롯드 단위로 RF 센서태그를 부착하고 QR코드와 RFID센서태그 간의 맵핑을 하고, 수배송, 보관 및 진열 과정에서 발생하는 온도, 위치, 시간 등의 유통이력 데이터를 CU (Communication Unit)에 의해 3G 통신망으로 Cloud 서버에 전달하여 저장, ③ Cloud 서버에 탑재되어있는 품질예측알고리즘을 이용하여 식품의 유통이력을 바탕으로 해당 식품의 품질을 예측, ④ 마지막으로 소비자 및 관리자의 스마트폰, 타블렛 PC, 키오스크를 통해 제품에 부착된 QR코드를 스캔하여 RQMS 서버에 접속함으로써 생산이력/유통이력/품질상태 등을 정량적으로 실시간 확인할 수 있도록 개발되었다. 식품 품질 모니터링 시스템은 유비쿼터스 식품 관리의 다양한 실현방안 중 하나이며, 소비자에게 식품에 대한 정확한 유통정보와 품질정보를 제공함으로써 식품의 신뢰도 재고에 도움이 될 것으로 생각된다. 현재 이 시스템은 학교급식분야에 시범운영 중에 있으며, 향후 K-Food 수출 및 혈액, 백신, 화장품 등 다양한 분야에 적용해 나갈 계획이다.

2-4. Dynamic 식품 품질예측 모델

Dynamic 품질예측 모델은 식품별 유통과정에서 변화하는 외부환경요인에 따른 품질변화를 분석하고 품질인자별 시간-온도 이력에 따른 품질모델과 모델상수를 결정하여 모델을 개발하고 모델개발에 이용하지 않은 조건(변온조건)에서 개발된 모델의 적합성을 검증하는 방식으로 개발하게 된다.

표 4. ICT 융합 품질 모니터링 기술 개발 사례

개발기술명(연도)	연구자(개발국)	핵심연구내용
Freshtime (2004~현재)	Infratab (USA) 	미국 Infratab사는 식품의 온도에따른 품질변화에 대한 간단한 모델을 개발하고, 신선도 유지가 필요한 식품의 이동시 물류관리 시스템에 적용하기 위해 Semi-passive 형태의 Fresh-time™ RFID태그를 개발하여 매 15분마다 온도와 시간을 측정하여 누적된 온도 변화에 따라 정상(Green), 상함(Red), 상하기전(Yellow) 등 3단계로 구분하여 부착된 LED를 통해 알려주는 시스템을 구축하였음
Xsense system	StePac (Israel) 	이스라엘 StePac의 품질모니터링 프로그램인 Xsense 기술은 농산물의 유통과정에서의 온 · 습도 등의 정보를 실시간 기록하여 통신망을 통해 화주와 물류, 유통업체들이 모니터링 할 수 있는 RFID/USN 기술로 컨테이너, 트럭별 온도관리 뿐만 아니라 팔레트 및 박스 단위의 관리가 가능함. 주로 유통단계별 온습도 등의 data 사업(DB사업)과 온도센서 태그 사업으로 이윤을 창출하고 있음
Smart-Trace	Ceebron 	Ceeborn사는 식품 신선도 품질 모니터링을 위한 Smart-Trace 시스템을 개발하였음. Smart-Trace 시스템은 식품을 운반하는 파렛트에 명함크기의 태그를 부착 하고 무선 메쉬 네트워크를 통해 유통과정에서 위치와 온도데이터를 실시간으로 제공하는 사업화모델을 개발 함
u-Food 스마트 품질모니터링 시스템 (2014)	한국식품연구원 	한국식품연구원은 ICT 기술과 식품 품질예측 기술을 융합하여 식품 유통 전 단계에 있어서 식품의 품질/안전 및 생산유통이력 정보를 실시간 예측/모니터링/통제할 수 있는 u-Food 스마트 품질모니터링 시스템 원천기술을 개발함

(한국식품연구원, 기술동향 및 중장기전략 보고서, 2016)

1) 식품별 D/B 구축 및 품질지표 선정

식품 품목별 외부환경변화에 따른 식품의 화학적/미생물학적/관능적 변화(예: pH, 산도, 색소파괴, 영양소파괴, 미생물 성장, 부패취 등)에 대한 TTT(time-temperature-tolerance) 데이터를 분석하고, 분석된 데이터베이스를 이용하여 관능검사 결과와 상관계수가 높고, 외부환경인자(온도, 습도 등)에 의존성이 높은 적정 품질지표를 선정한다.

2) 시간-온도 이력에 따른 품질모델 및 모델상수 결정

선정된 품질 지표의 품질예측을 위한 수학적 모델(1, 2차 모델)을 선정한다. 1차 모델은 시간에 따른 품질지표의 변화를 기술하는 역할을 하고, 2차 모델은 온도변화에 따라 최대변화속도(μ_{max})가 어떻게 변화하는지 함수의 형태

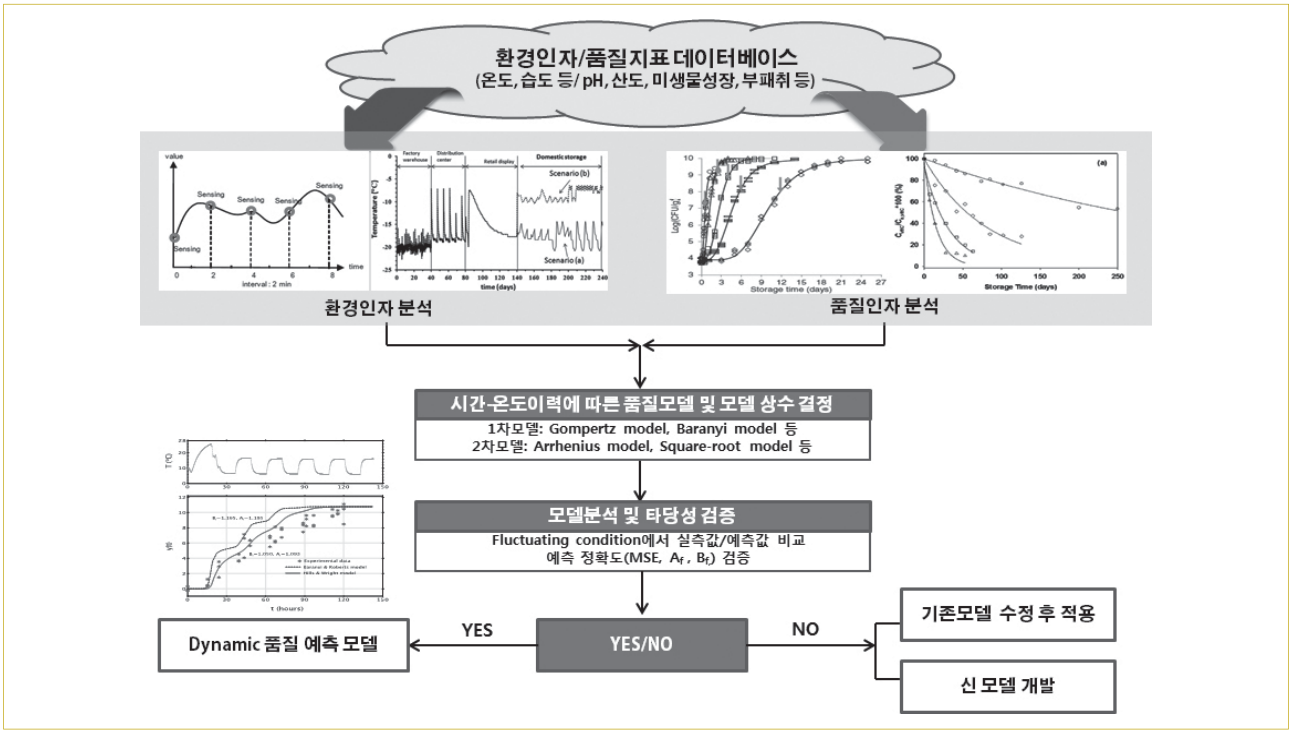


그림 1. Dynamic 품질 예측모델 개발 프로세스

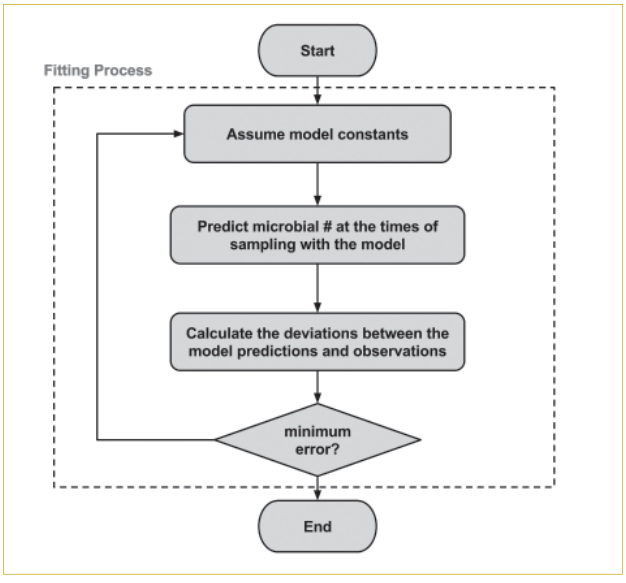


그림 2. 모델상수 결정 프로세스

로 나타내는 것을 의미한다. 모델상수 결정방법은 ① 모델상수를 가정하여 1,2차 모델을 구성하고, ② 이를 이용하여 시간별 품질변화를 예측하여, ③ 실측데이터와 비교하며 오차를 계산한다. ④ 오차를 분석하여 모델상수를 수정하여 ①~④번 단계를 반복하며 오차가 최소화 되는 모델상수를 찾는다.

표 5. 품질예측을 위한 수학적 모델

예측모델	
1차모델	Gompertz model, Baranyi & Roberts model, Hills & Wright model, Kinetic model 등
2차모델	Arrhenius model, Polynomial model, Ratkowsky model, Square root model 등

3) 모델 분석 및 타당성 검증

모델 검증단계는 개발된 모델의 예측값이 정확한지를 판단하는 과정으로 모델개발에 이용하지 않은 변온조건(Fluctuating condition)에서 분석된 품질지표의 실측값과 개발된 모델에 대입한 예측값의 Accuracy factor(A_f)

와 Bias Factor(B_f)를 비교하여 평가한다. Accuracy factor와 Bias Factor가 1에 가까울수록 모델의 정확도는 높다.

$$B_f = (\ln 10)\exp[\sum_{i=1}^{n} \frac{\log(predicted_i/observed_i)}{n}]$$

$$A_f = (\ln 10)\exp[\sum_{i=1}^{n} \frac{|\log(predicted_i/observed_i)|}{n}]$$

3. Dynamic 식품 품질 안전 모니터링 기술 개발 사례

3-1. 신선농산물 dynamic 품질예측 모델 개발

국내 친환경 급식 재료로 납품되는 상추(청상추, 4 kg단위 박스포장)를 생산지, 유통센터, 배송 및 물류보관 그리고 학교 운송까지의 품온을 data logger를 사용하여 5분 간격으로 측정하였다. 수집한 온도정보는 변온조건 기반 dynamic 품질 예측 모델 개발을 위한 정보로 사용하였다.

상추의 신선도는 관능검사(9점 항목척도 검사) 변화를 품질지표로 선정하고 정온 및 변온 조건에서 분석하였으며, 1차 모델은 kinetic model의 화학 반응식에 세포의 생리학적 상태(Q : Physiological state)를 적용하여 변형된 모델을 개발하였으며, 2차 모델은 Rathowsky model을 선정하였다.

(Primary model: Modified kinetic model)

$$P = [P_0^{1-m} \pm (1-m)\ln(\frac{1+Q}{1+Q_0})]^{\frac{1}{1-m}}$$

(Secondary model: Rathowsky model)

$$k(T) = [b \bullet (T - T_{\min})]^2$$

위의 식을 이용하여 관능적 기호도에 대한 모델 예측 결과, 정온실험의 경우 상추와 양파의 Accuracy factor(A_f)와 Bias Factor(B_f)는 각각 1.112~1.213, 0.962~1.057로 나타났으며, 변온환경에서는 1.114, 1.223의 정확성을 보였다.

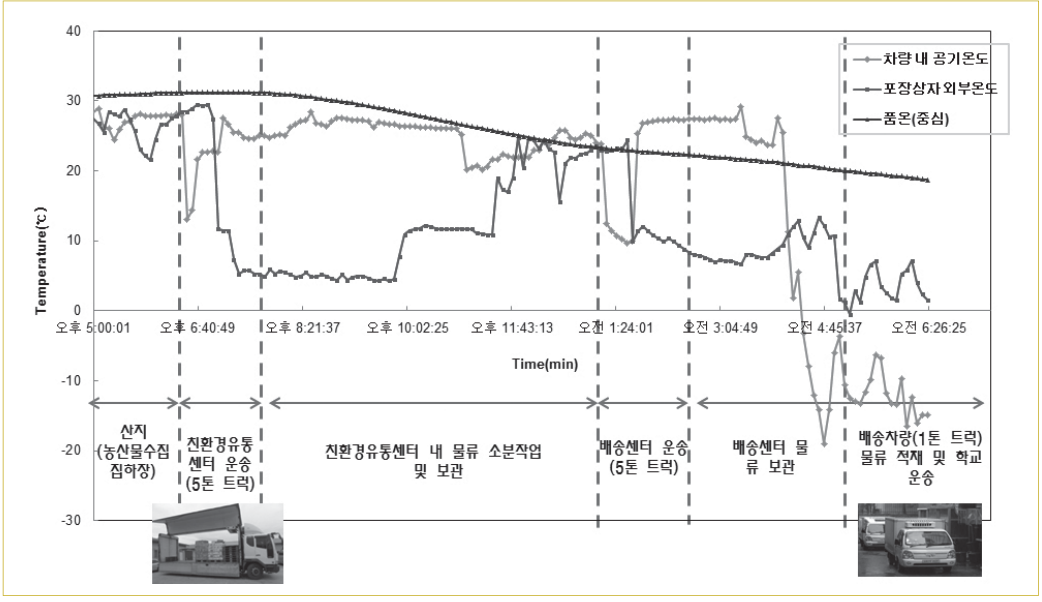


그림 3. 신선농산물 학교급식 식재료 유통온도 조사

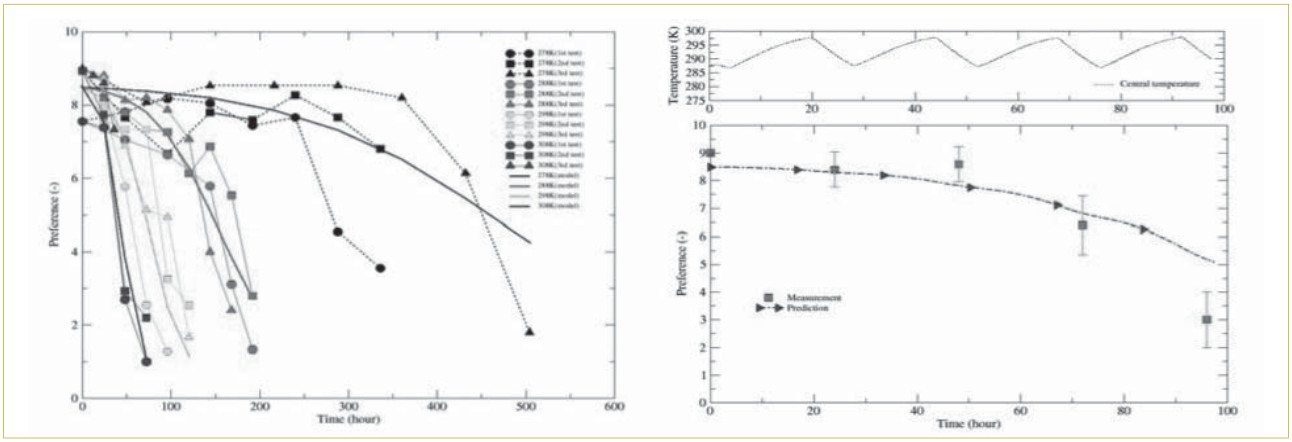


그림 4. 상추 신선도 변화 측정값과 예측값의 비교

3-2. 우유 dynamic 품질예측 모델 개발

국내 시판되는 저온살균우유를 생산 공장에서 구입한 후 정온 및 변온 조건에서 저장하면서 일반세균(Aerobic count plate)변화를 분석하였으며, 우유의 일반세균 예측 모델은 1차 모델로 Hills & Wright model, 2차 모델은 multi-zone Arrhenius model을 선정하였다.

(Primary model: Modified Hills & Wright model)

$$\frac{dN}{dt} = \frac{Q(t)}{1+Q(t)} \cdot \mu_{\max} \cdot \left[1 - \frac{N(t)}{N_{\max}}\right] \cdot N(t)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \mu_{\max} \cdot Q(t)$$

(Secondary model: multi-zone Arrhenius model)

$$\sqrt{\mu_{\max}} = b(T - T_{\min})\{1 - \exp[c(T - T_{\max})]\}$$

위의 식을 이용하여 관능적 기호도에 대한 모델 예측 결과, 정온실험의 경우 상추와 양파의 Accuracy factor(A_f)와 Bias Factor(B_f)는 각각 1.105~1.182, 0.936~1.031로 나타났으며, 변온환경에서는 1.114~1.145, 0.912~1.236의 정확성을 보였다.

표 6. Modified Hills & Wright model과 multi-zone Arrhenius model을 이용한 모델상수

Parameters	Value	Confidence interval (95%)	
		Lower	Upper
k_n(1/hour)	7.383×10^{-4}	2.687×10^{-4}	1.208×10^{-3}
T_c(℃)	10.2	9.6	10.8
A_1(log(1/hour))	76.7	70.1	83.3
B_1(K)	22,430	20,565	24,295
B_2(K)	12,600	12,231	12,969

식품별로 개발된 dynamic 품질예측모델은 식품 품질 모니터링 시스템의 food web sever에 탑재되어 RF 센서 태그로부터 수집된 유통이력정보를 바탕으로 실시간 연산하여 최종 소비자에 스마트디바이스를 이용하여 품질정보를 실시간 정략적으로 제공하는 기술로 활용된다.

4. 결론

최근 안전하고 좋은 먹거리를 섭취하려는 트렌드가 확산되면서 식품의 안전성을 보증하고 동시에 소비자 스스로가 품질이 좋은 제품을 올바르게 선택하고 판단할 수 있도록 유통과정 중의 정확한 환경이력 정보를 제공하는 시스템을 강화시키는 기술이 필요하다. EU, 미국, 일본 등

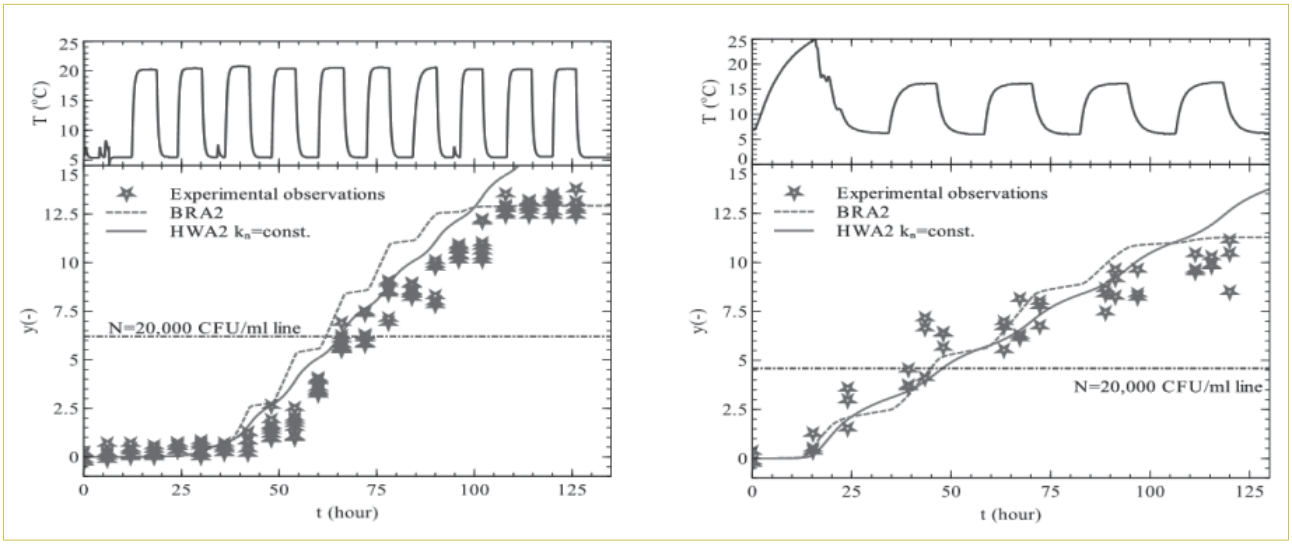


그림 5. 저온살균우유의 일반세균 변화 측정값과 예측값의 비교

선진국은 식품의 생산, 안전관리, 유통분야에 ICT를 도입해 식품 유통의 투명성 확보는 물론 생산관리, 품질관리, 유통물류관리 등에 활용하고 있다. 국내에서도 식품의 안전관리를 시스템적으로 해결하기 위하여 ICT와 식품 품질예측기술을 융합하여 식품 유통 전 단계에 있어서 식품의 품질/안전 및 생산유통이력정보를 실시간 예측/모니터링/통제할 수 있는 기술이 개발되고 있다. Dynamic 식품 품질 예측 모델링 기술은 식품 전주기 유통프로세스에서 실시간으로 변화되는 외부 환경요인(온도, 습도 등)과 식품 품질지표 분석 및 품질정보에 대한 대용량 데이터베이스를 구축하고, 구축된 D/B에 근거하여 수학적/기계학습 방법으로 모델을 개발하는 기술이다. 개발된 D/B 및 dynamic 품질예측모델은 식품 품질 모니터링 시스템의 food web sever에 탑재되어 RF 센서태그로부터 수집된 유통이력정보를 바탕으로 실시간 연산하여 최종 소비자에 스마트디바이스를 이용하여 품질정보를 실시간 정략적으로 제공하는 기술로 활용이 가능하다.

Dynamic 품질 예측 모델 기술은 아직까지 다양성 및 완성도 측면에서 한계점이 있으나, 산업체의 제품개발, 기존 제품의 품질기준 확인, 식별된 품질문제의 모니터링 및 관리기준 설정을 위한 기초자료로 제공 될 뿐만 아니라 시간과 비용 측면에서 식품 업계에 주요한 이익을 주고, 검증 연구가 수행 될 경우 관련 산업체가 생산하는 제품의 품질 안전성에 신뢰도를 향상 시킬 수 있는 매우 중요한 기술이라 할 수 있다. 향후 개발된 모델의 지속적인 개선, 유지, 보수, 평가를 통해 점진적으로 진화하여 식품산업분야에 품질과 안전을 보증할 수 있는 상용모델로 적용될 수 있기를 기대해 본다.

참고 문헌

1. 식품의약품안전처, 식품의 유통기한 설정실험 가이드라인 (2011)
2. 식품의약품안전처, 미생물 위해평가 매뉴얼 (2010)
3. 한국식품연구원, 기술동향 및 중장기전략 보고서 (2016)
4. Angela M., Gibson N., Bratchell., Roberts T. A., Predicting microbial growth. Int. J. Food Microbiology (1988) 6, pp.155-178.
5. Kim, B.S., Lee, M., Kim, J.Y., Jung, J.Y. Koo, J. Development of a freshness-assessment model for a real-time online monitoring system of packaged commercial milk in distribution. LWT-Food Science and

Technology (2016) 68, pp.532-540.

6. Koseki, S., Isobe, S. Prediction of pathogen growth on iceberg lettuce under real temperature history during distribution from farm to table. Int. J. Food Microbiology (2005) 104, pp.239-248.

7. Labuza T and Fu B. Growth kinetics for shelf-life prediction: theory and practice. Journal of International Microbiology (1993) 12, pp.309-323.

8. Ratkowsky, D.A., Lowry, R.K., McMeekin, T.A., Stokes, A.N., Chandler, R.E. Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. Journal of Bacteriology (1983) 154, pp.1222-1226.