

식품의 품질평가를 위한 분석 및 예측 기술

Analysis and Prediction System for Quality Evaluation of Food

김지영 | 유통연구단

Ji-Young Kim | Food Marketing & Distribution Research Group

서론

국민의 생활수준 및 소득수준이 향상되고 생활 양식도 변화되어 관능적 기호만을 충족시킬 수 있는 제품보다는 품질이 우수하고 안전한 식품에 대한 소비자의 관심이 높아지고 있다. 날로 까다로워지는 소비자들의 요구와 엄격해지는 식품 관련 규정들은 식품 산업으로 하여금 안전성 확보는 물론 고품질 식품 생산을 위한 새로운 기술 개발을 요구하고 있다.

식품이 생산에서부터 섭취할 수 있는 품질수준까지 유지되는 기간을 흔히 식품의 저장수명(shelf-life, 품질수명, 안전기간, 유통기한)이라고 한다. 수확된 원료 식품이나 이를 제조 가공한 수많은 가공식품은 제조 후 시간이 경과됨에 따라 어느 시점에서는 먹을 수 없는 상태가 된다는 것은 이미 언급된 사실이다. 그러나 유통과정 중 노출되는 환경에 따라서 실제로 이 기간이 달라질 수 있으며 특히 저온저장을 유지해야 하는 식품의 경우

공장에서 도매상 또는 소매상을 거치면서 이동 운반되는 과정에서 상당히 높은 온도나 햇빛 등에 노출되어 이 기간이 달라진다. 유통기간 중 변질되는 식품의 품질은 식중독 등 식품사고의 발생을 일으키는 안전상의 중요한 문제이며, 이로 인해 발생하는 소비자 클레임 제기는 식품 기업 입장에서도 골칫거리이다.

소비자는 과거와 달리 제조업자에게서 직접 상품을 구매하지 않고, 다양한 유통과정을 거친 상품을 간접적으로 구매하므로 상품에 대한 정보와 위생 상태를 직접 확인할 수 없다. 따라서 먹을 수 있는 일정 수준의 품질을 유지할 수 있는 기간이 어느 정도 될 것인가를 사전에 예측하여 소비자에게 정보를 제공하는 것은 매우 중요하고 필요한 과제이다. 최근 이와 관련된 연구들이 다양하게 진행되고 있으며 그 중에서도 반응속도론, 근적외선 분광분석법, 전자코 분석법, 유비쿼터스와 RFID를 이용하여 품질을 예측하는 기술을 살펴보고 있다.

반응속도론

식품의 저장수명 판단은 실제 저장조건에서 저장실험을 수행하여 설정하는 것이 바람직하다고 할 수 있으나, 이 경우에는 경제적, 시간적 손실이 크기 때문에 고온에서 단기간에 수행하는 가속저장시험이 널리 이용되고 있다. 가속저장시험은 제품의 품질변화와 밀접한 상관관계가 있는 측정값을 품질변화의 지표로 사용하여 식품이 쉽게 변화할 수 있는 고온 다습한 조건에서 일정기간 동안 저장하면서 측정된 품질요인의 변화량에 대한 속도반응식을 구하여 일반저장조건에서의 저장수명을 예측하는 방법이다. 즉 훈련된 연구실의 관능검사 요원에 의한 검사 결과와 이화학적, 물리적 그리고 미생물 측정값의 변화량과의 상관관계를 분석하여 유통과정에서 일어나는 품질변화를 가장 잘 나타내는 객관적인 품질지표를 선정하는 것을 말한다.

일반적으로 모든 화학반응의 속도는 온도가 증가함에 따라 증가하고 이들의 관계는 Arrhenius식으로 설명 될 수 있다.

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

여기서 E_a 는 활성화 에너지, R 은 기체상수, T 는 절대온도, k_0 는 절대 속도상수를 나타낸다. 따라서 품질손실량을 예측하기 위해서는 품질지표에 대한 자료로서 유통기한을 결정하는 품질지표의 반응차수(n)와 활성화 에너지(E_a) 또는 Q_{10} 값을 알아야 한다. Q_{10} 값이란 활성화 에너지와 마찬가지로 온도 변화에 대한 반응의 민감도를 나타내는 척도이다.

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

여기서 k_T 는 임의의 온도 T 에서의 반응속도상수이며, $k_{(T+10)}$ 는 임의의 T 보다 10°C 높은 온도에서의 반응속도상수를 나타낸다.

품질지표 선정과 관련된 연구 현황을 살펴보면 Baik 등은 인삼유화음료를 3가지 저장온도에서 저장하면서 품질변화를 측정된 결과 유의차를 나타내는 품질지표는 유화 안전성, 산도, 점도, yellowness로 선정하였다. Arrhenius식을 이용하여 판단한 결과, 점도의 Q_{10} 값이 가장 큰 것으로 나타나 점도를 이용하여 저장수명을 예측하는 것이 가장 신속한 결과를 얻을 것이라고 보고하였다. Lee 등은 김치의 품질지표로서 총 산 생성량을 사용하였으며 품질수명 예측결과 10°C 이상에서는 관능적으로 실측한 품질수명과 잘 일치되었으나 10°C 이하에서는 예측결과가 실제보다 길게 나타났다. 그 외에도 장류의 품질수명을 예측한 결과 쌈장 및 고추장은 표면색 측정값이 관능적 기호도와 높은 상관관계를 나타내 품질지표로 선정되었으며, 회귀방정식에 의하여 품질수명을 예측한 결과 저장일수와 저장온도에 따른 장류의 품질예측이 가능한 것으로 보고되었다. 복합가공품인 냉동만두의 경우 객관적인 품질지표는 산가, 과산화물가, 휘발성 염기질소, 미생물 생균수 등이며, 저장온도를 기준으로 실시한 관능검사 점수와 객관적 품질지표와의 상관성을 분석한 결과 과산화물가의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다.

반응속도론에 의한 식품의 저장수명 및 품질예측을 위해서는 무엇보다도 식품의 품질을 가장 잘

대표할 수 있는 품질지표를 선정하는 것이 매우 중요한 과제이다. 또한 현재까지는 주로 가공식품의 품질예측과 관련된 연구가 대부분이었으나 원재료 및 신선식품의 품질예측 기술과 관련된 연구가 수행되어져야 할 것으로 여겨진다.

근적외선 분광분석법 (Near Infrared Spectroscopy)

빛은 전자파의 일부로서 자외선, 가시광선, 적외선으로 나누어지며, 근적외선은 학자에 따라 정의가 다르지만 일반적으로 780 nm에서 2500 nm까지의 전자파를 말한다(Fig. 1). 근적외선 분광분석법은 이 근적외선을 여러 가지 파장의 조합으로 이루어진 스펙트럼의 형태로 만들어 물체의 구조나 이론적인 정량, 정성 분석에 이용하는 방법이라고 할 수 있다.

근적외선 분광분석법은 기존의 분석 방법인 HPLC나 UV 등에 비하여 분석 시간이 5초에서 10초 정도로 매우 짧다. 무엇보다 가장 큰 장점은 비

파괴적이고 공정에 방해가 되지 않는 분석 방법으로 다중성분 분석이 가능하다는 점이다. 또한 중적외선과 원적외선보다 파장이 짧고 진동수가 크기 때문에 투과력이 높아서 시료의 두께에 큰 영향 없이 스펙트럼 측정이 가능하다.

근적외선 분광법을 이용한 대표적인 품질예측 연구는 과일의 비파괴적인 품질관정을 들 수 있으며, 그 종류도 사과, 멜론, 파인애플, 키위, 망고, 복숭아, 배 등으로 다양하게 연구되었다. 분광특성을 이용한 과실의 내부품질관정으로는 주로 가용성 고형분과 산도의 측정이 대부분이나 과실의 단단함이나 속도 및 내부의 갈변정도 등을 측정하는데도 이용되고 있다. Liu 등은 Fig. 2와 같이 FT-NIR 스펙트럼 측정장치를 구성하고 PLS(partical least square) 모델을 이용하여 사과의 당도를 예측한 결과 결정계수는 0.9185로 보고하였다. Son 등은 딸기의 당도 예측을 위하여 먼저 당도관정에 적합한 조명의 영향을 규명하고 당도예측모델을 개발하였다. 그 결과 광원램프의 반사면에 금 코팅된 할로겐 램프를 사용하고 OSC 전처리를 한 경우 결정계수가 0.891, SEP(standard error of prediction)는

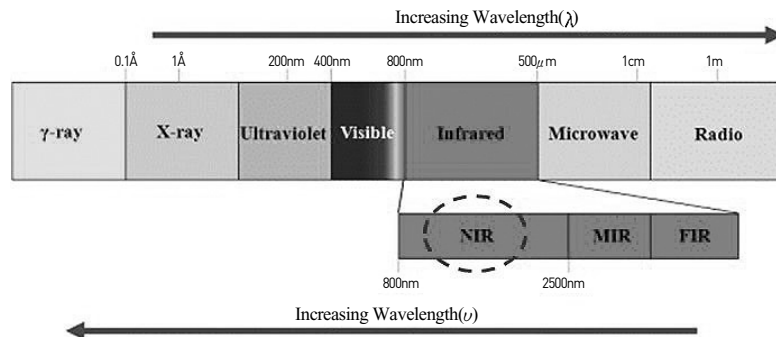


Fig. 1. NIR, MIR, FIR region

0.443°Bx로 가장 양호한 결과를 나타낸 것으로 보고하였다. Hwang 등은 복숭아의 당도 및 산도를 예측하기 위하여 투과 스펙트럼 장치를 개발하였으며, 측정결과 당도 및 산도의 SEP은 각각 0.558, 0.055°Bx이었고 결정계수는 0.819과 0.655로 보고되어 투과 스펙트럼에 의해 당도 및 산도의 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

그 밖에도 Cho 등은 식육에 대한 안전성을 객관적이고 신속하면서 비파괴적으로 측정할 수 있는 센서를 개발하기 위하여 NIR을 이용한 신선도 측정 시스템을 구축하였다. 이 결과 NIR 장비와 제작된 프로그램이 운영되고 있을 때 NIR 프루브를 식육에 접촉시켜 알고리즘을 통해 계산된 신선도 값을 very fresh, fresh, spoiled의 3단계의 표시를 통

해 쇠고기의 신선도를 예측하는 것으로 보고되었다. 그러나 스펙트럼의 측정에는 빛의 산란 영향이나 시료의 밀도, 입도, 온도, 표면상태 등 품질 인자와는 다른 요인이 반영되어 나타나게 된다. 특히 과일과 같은 고형물체의 경우 표면에서의 광산란이나 측정방식에 기인한 광경로 차이, 측정센서에서의 노이즈, 주변 측정환경의 변화(온도) 등이 있으며 이러한 요인은 측정된 스펙트럼의 변이에 주요한 영향을 미치게 된다. 따라서 품질예측모델 개발 시에 포함된 농산물의 상황과 다른 조건에서 생산된 농산물을 사용할 경우에 편차가 발생하는 것을 보정해 주어야 하고, 품종에 따른 다양한 예측모델의 개발이 필요하다.

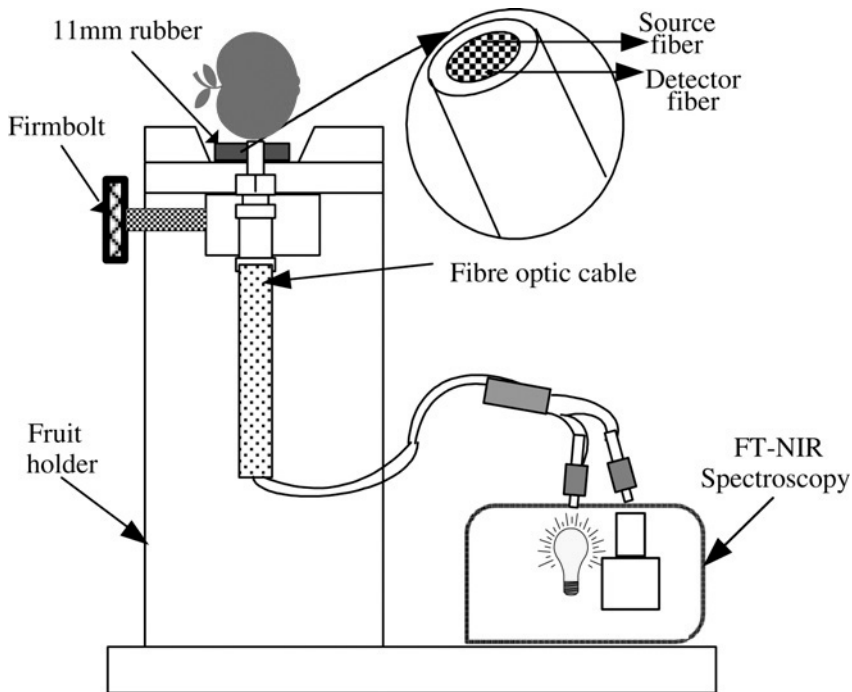


Fig. 2. Schematic diagram of the setup for FT-NIR measurement of apple fruit(Liu et al., 2007)

전자코를 이용한 품질예측

식품산업에서의 품질관리 및 특성 평가는 각 식품마다의 품질지표를 관리함으로써 이루어지고 있으며 일반적으로 식품의 관능적 품질요소 중 하나인 식품의 향미는 원재료에서부터 최종 제품까지 매우 중요한 품질요소로 작용한다. 전자코(electronic nose)는 인간 코의 기능을 디지털화 한 것으로 다중 센서배열(multi sensor arrays)을 이용해 특정 냄새 성분과 각각의 센서에서의 반응을 전기화학적 신호로 나타내며, 이 신호를 소프트웨어에서 데이터를 처리함으로써 각 냄새의 정성 및 정량 분석을 빠르게 수행 할 수 있다(Fig. 3). 즉 사람의 후각 인지 시

스템을 모방한 패턴인식 소프트웨어를 이용해 냄새를 감별하는 전자처리장치이다. 현재 향을 측정하는 방법으로는 GC/MS 등에 의한 기기분석 방법이 사용되고 있으나 GC/MS 분석법은 사람이 감지하는 것과 같이 전체의 향을 분석하는 것이 아니라 각각의 성분을 분리하여 분석하고 있으며 복잡한 전처리 과정을 거쳐야 하므로 숙련된 기술자가 요구되는 어려움을 가지고 있다. 전자코는 GC와 같이 성분 하나하나를 분석하는 것이 아니라 인간이 감지하는 것처럼 제품에 배합된 전체의 향을 감지하는 특성을 가지는 신속하고 편리한 비파괴적 분석방법이다. 따라서 지금까지 관능검사와 GC, GC/MS 분석법에 의존하여 오던 향기성분 분석 분

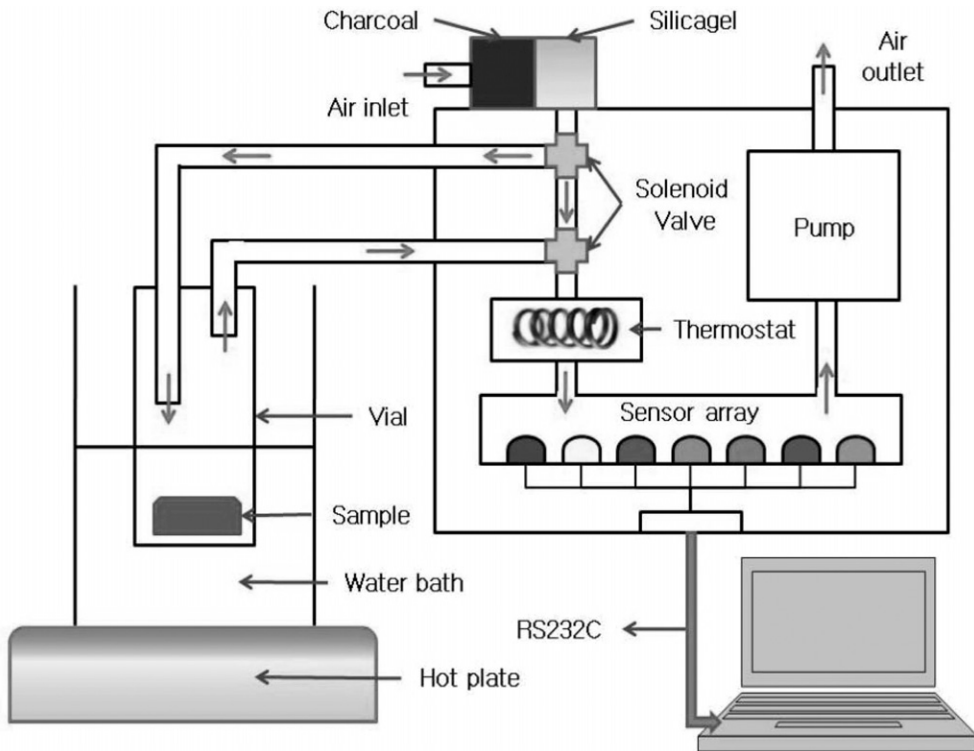


Fig. 3. Schematic diagram of electronic noses system(Lee et al., 2010)

야에 전자코 시스템의 개발로 한층 진보된 연구와 품질관리가 가능해졌다.

Yang 등은 휴대용 전자코를 이용하여 우유의 신선도 변화를 예측하기 위하여 저장온도(4, 15, 30℃) 조건별로 얻어진 휘발성 성분 데이터를 인공 신경망에 반복 학습시킨 후 분석한 결과, 15 및 30℃ 저장온도 조건에서 우유의 신선도 여부를 확인하는 것이 가능하였다. 또한 저장기간 및 저장온도 변화에 따른 두부의 품질변화를 분석한 결과 두부의 부패도가 증가할수록 센서의 반응정도가 높게 나타나 두부의 신선도를 예측할 수 있음을 시사하였다. 과실의 경우, 저장온도에 따라 영향을 받는 토마토의 향미를 분석한 결과 토마토의 저장온도나 저장기간이 동일한 시료를 분리하였으며, 전자코 시스템을 이용하여 배의 산도, 당도, 경도를 예측한 Zhang 등의 연구에 의하면 당도와 경도는 전자코 분석결과와 높은 상관성을 나타내어 전자코로부터 배의 물리, 화학적인 변화예측이 가능한 것으로 보고하였다. 이러한 시도는 여러 대상 식품에서 적용되었는데 쇠고기의 경우 미생물 활동에 기인한 이취를 전자코로 측정하여 저장수명을 예측하였고, 곡류의 경우 곰팡이의 이취 정도를 전자코로 분석하여 예측하는 것이 가능하였다. 그러나 전자코 시스템에서 가장 중요한 역할을 하는 것은 센서들인

데 센서의 선택범위가 매우 크므로 각 응용 분야마다 특정 목적에 맞는 센서를 사용하여야 하며, 다중 센서 배열의 사용으로 검출 성분에 대한 선택성을 높이고 더욱 다양한 종류의 성분과 정량적인 향지문(odour fingerprint)을 이끌어 내는 노력이 필요하다.

유비쿼터스 기술을 이용한 품질 예측

네트워크의 발달로 정보의 교환이 온라인화 되고 이들 데이터를 활용한 자동처리 시스템 구현이 증가되고 있다. 유비쿼터스는 ‘도처에 널려 있다(보편적으로 존재한다)’ 라는 라틴어에서 유래된 용어로서 언제 어디서나 원하는 정보를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 즉 각종 센서에서 수집한 정보를 무선 네트워크를 통하여 실시간으로 수집하고 활용할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. RFID(radio frequency identification)는 무선 주파수를 이용하여 움직이는 물체와 리더기와의 데이터 통신을 통하여 개체를 식별하는 기술로서 우리 생활에서 바코드 시스템과 마그네틱 카드시스템 등으로 밀접하게 이용되고 있다. RFID 시스템의 기본 구성은 고유

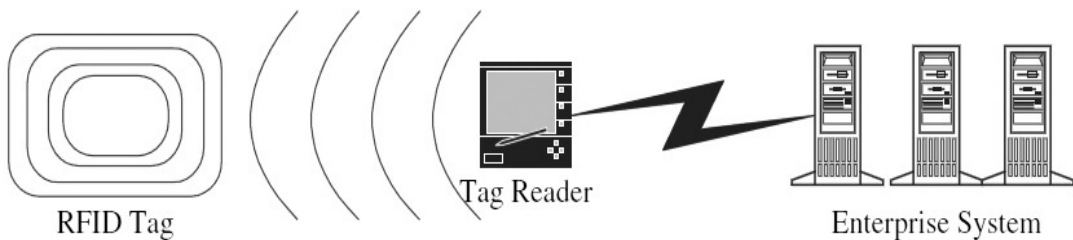


Fig. 4. RFID system(Roberts, 2006)

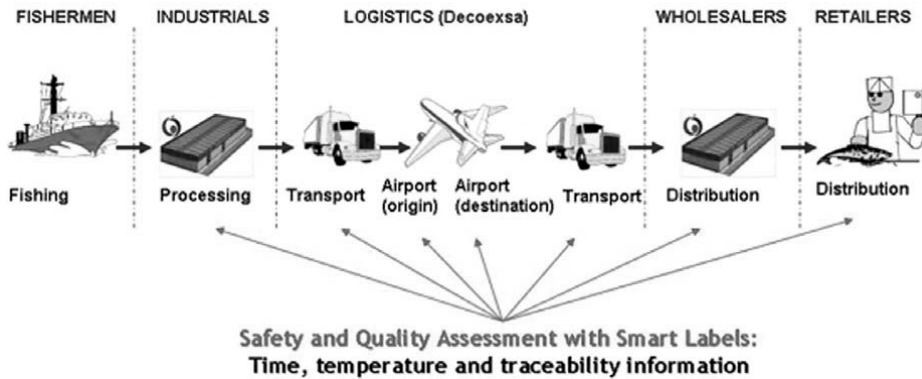


Fig. 5. Schematic representation of the fresh fish logistic chain selected for this demonstration: the South African fresh hake commercial chain for the European market(Abad et al., 2009)

정보를 저장하는 RFID 태그, 판독 및 해독 기능을 수행하는 RFID 리더, 태그로부터 읽어 들인 데이터를 처리할 수 있는 호스트컴퓨터, 응용소프트웨어 및 네트워크로 구성된다(Fig. 4). RFID의 장점은 직접 접촉을 하거나 조준선을 필요로 하지 않는 점이다. 또한 데이터를 읽는 속도가 매우 빠르며, 사용위치에 거의 영향을 받지 않아 유연성을 갖는다.

유비쿼터스 센서 네트워크(USN)는 시간과 공간의 제약으로 모니터링이 어려웠던 분야에도 적용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 현재 USN 기술 및 RFID 기술이 식품 품질 모니터링에 가장 많이 활용되고 있는 분야는 식품의 제조 가공에서부터 물류, 유통, 판매에 이르기까지 식품안전에 관련된 정보를 RFID 기술을 적용하여 보관, 관리하는 제도이다(Fig. 5). Abad 등은 RFID smart tag가 장착된 박스 안에 신선한 생선을 넣고 유통시키면서 실시간으로 변화하는 온도 및 습도를 기록한 결과 식품의 품질 및 안전관리가 가능한 것으로 보고하였다(Fig. 6, 7).

Fig. 8은 와인의 물류, 유통, 판매관리에 적용된 연구로서 먼저 생산자는 생산정보가 입력된 RFID

태그를 와인병에 부착시키고, 부착된 태그는 유통 단계에서 빛, 습도, 온도 등의 환경정보를 수집하게 된다. 마지막으로 매장에 도착해서 판매대에 진열되며 소비자는 스마트폰을 통하여 태그에 인식된 정보(상품의 유통기한, 생산이력 등)를 제공받는 시스템을 보여주었다.

그 외 Laniel 등은 주파수 915 MHz 대역에서 컨테이너 안의 식품 내용물의 정보를 인식하는 장비를 구성하였다(Fig. 9). 보고에 따르면 컨테이너 안에 보관된 내용물의 종류와 적재량에 따라서 RFID 태그의 인식 여부가 달라지는 것으로 보고되었으며, RFID 태그의 부착 위치에 따라서도 다른 결과를 보여주는 것을 나타냈다.

현재 이러한 관리기술은 RFID와 USN의 기술의 지속적인 발전에 따라 적용 대상 농식품의 품목과 범위가 계속 증가될 것으로 전망된다. 이러한 기술이 효과적으로 적용되기 위해서는 식품 제조, 유통 단계에서의 각 주체가 상호 협력체계가 잘 구축되어야 할 것이며, 주고 받는 정보의 신뢰성을 확보할 수 있어야 한다.



Fig. 6. Smart tag placed inside a polystyrene box with the fish and the cooling gels. (Abad et al., 2009)

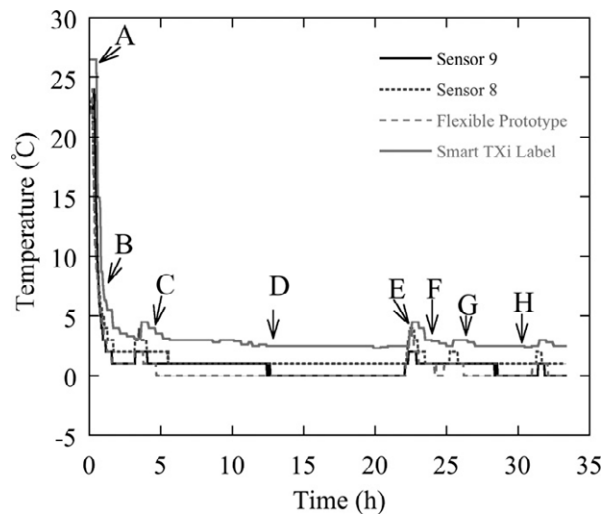


Fig. 7. Time dependence of the temperature measured by a flexible tag, two rigid tags (Sensor 8 and Sensor 9) and a commercial data logger(PakSense Smart TXi Label) during fish transport from Frankfurt to Vitoria in a refrigerated truck. (Abad et al., 2009)



Fig. 8. FTD for wine chain logistics: packaging, assembling, and application on a wine bottle (a) A moment of the sample preparation. (b) FTD data reading by using a HP iPAQ rw6815 Smartphone equipped with reading software. (Mattoli et al., 2009)

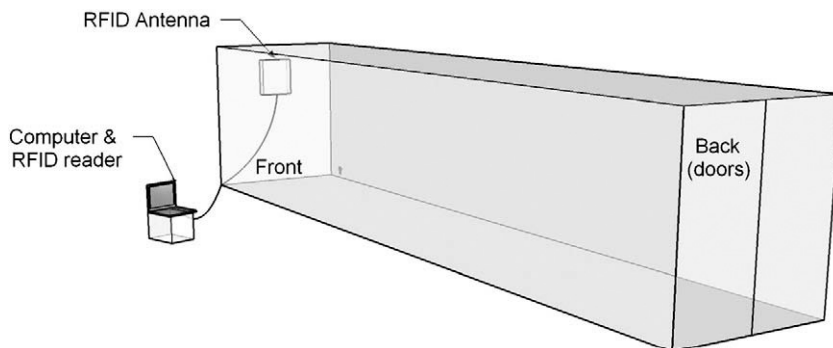


Fig. 9. Overview of the testing site and equipment setup: computer and RFID reader outside the container, and antenna inside. (Laniel et al., 2010)

● 참고문헌 ●

1. Roberts CM, Radio frequency identification (RFID), *Computers & Security*, **25**, 18-26, 2006
2. Baik EK, Seo YK, Lee G, Baik MY, Quality factor determination and shelf-life prediction of emulsified ginseng drink, *Korean J Food Sci Technol*, **37**, 597-602, 2005
3. Abad E, Palacio F, Nuin M, Gonzalez de Zarate A, Juarros A, Gomez JM, Marco S, RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain, *Journal of Food Eng*, **93**, 394-399, 2009
4. Carlomagno G, Capozzo L, Attolico G, Distante A, Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry, *Infrared Physics and Technology*, **46**, 23-29, 2004
5. Dull GG, Leffler RG, Birth GS, Smittle DA, Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons, *Trans ASAE*, **35**, 735-737, 1992
6. Hwang IG, Noh SH, Lee HY, Yang SB, Nondestructive determination of the soluble solid and acid contents of peach using VIS/NIR real-time transmission spectra, *Korean Society for Agricultural Machinery*, 457-463, 2000. 2
7. Lee HS, Chung CH, Kim KB, Cho BK, Evaluation of freshness of chicken meat during cold storage using a portable electronic nose, *Korean J Food Sci Ani Resour*, **30**, 313-320, 2010
8. Zhang H, Wang J, Ye S, Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique, *Journal of Food Eng*, **86**, 370-378, 2008
9. Son JY, Lee KJ, Kang SW, Yang GM, Seo YW, Development of Prediction Model for Sugar Content of Strawberry Using NIR Spectroscopy, *Food Eng Pro*, **13**, 297-301, 2009
10. Lee KJ, Kang SW, Choi KH, Nondestructive quality measurement of fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy, *Food Eng Pro*, **8**, 158-169, 2004
11. Lee KH, Yong HY, Pyun YR, Kinetic modelling for the prediction of shelf-life of Kimchi based on total acidity as a quality Index, *Korean J Food Sci Technol*, **23**, 306-310, 1991
12. Laniel M, Émond JP, Mapping of RFID tag readability in relation to the food content in a refrigerated seacontainer at 915 MHz, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010
13. Labuza TP, Shelf-life dating of food, *Food & Nutrition Press Inc.*, Westport, 1982
14. Liu YD, Ying YB, Fu X, Lu H, Experiments on predicting sugar content in apples by FT-NIR Technique, *Journal of Food Eng*, **80**, 986-989, 2007
15. Kim YK, Kim SJ, Chang KS, The prediction of shelf-life of ssamjang, *Food Eng Pro*, **9**, 104-111, 2005
16. Cho SI, Kim YY, Park TS, Hwang KY,

- Development of beef freshness sensor using NIR spectroscopy, J of Biosystems Eng, **29**(6), 539-543, 2004
17. Yang YM, Noh BS, Hong HK, Prediction of freshness for milk by the portable electronic nose, Food Eng Pro, **3**, 45-50, 1999
18. Mattoli V, Mazzolaia B, Mondinia A, Stefano Zampollic, Dario P, Flexible tag datalogger for food logistics, Sensors and Actuators A, **162**,

316-323, 2010

김 지 영 공학석사

소 속 : 한국식품연구원 유통연구단

전문분야 : 식품의 저장 유통 기술

E-mail : jykim@kfri.re.kr

T E L : 031-780-9350