

수확후 처리기술 개발연구 현황

농업기계화연구소 / 조 영 길

인류가 지구상에 존재하면서 먹거리를 수확(사냥, 채취 등)하여 비 수확기 또는 비상시를 대비하기 위하여 비축(저장) 하여야 할 당위성이 있어 왔다. 따라서 선별, 건조, 저장, 가공 등으로 대변되는 수확후 처리기술도 계속 발전되어 왔으며 현재는 그 영역이 넓어져 농산물의 생산직후부터 최종소비까지 판매와 관리, 즉 유통분야까지 담당하게 되었다. 축산물을 제외하면 대부분의 농산물(곡물, 채소, 과일 등)은 수확 후에도 계속 호흡하는 살아있는 유기물이면서 사람들의 먹거리로 연중 필요로 하고 있으나 수확은 단속적(계절적)으로 이루어지고 있으므로 농업생산물을 최대한 길게 적어도 소비가 이루어지는 시점까지 계속 품질을 유지할 필요가 있다.

1970년도 녹색혁명과 1980년대 백색(비닐하우스)혁명을 통하여 곡물의 수확량이 엄청나게 증가하고 원예작물은 주년 생산개념으로 발전되어 왔으나 상대적으로 수확후 처리기술에 대한 중요성은 소홀히 다루어 졌으며 90년대 와서부터 수확된 농산물의 부가 가치를 높이고 소비자의 고품질 농산물 요구가 증가함에 따라 수확후 처리기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 냉장유통(cold chain), CA(controlled atmosphere) 및 MA(modified atmosphere) 저장, 그리고 까다로운 소비자의 요구를 충족시키기 위한 농산물 품질측정과 판정을 비롯하여 심지어 미생물학적 손상과 부패에 대한 이해기술까지 요구하게 되었으며 그러한 기술개발로 사시사철 싱싱한 농산물(채소, 과일 등)을 먹을 수 있게 되었다. 비록 수확후 처리기술은 작물의 생육과 생산에 직접적인 관련은 없으나 우리는 수확전 생산요소에 대하여 많은 관심을 가져야 한다. 왜냐하면 수확된 생산요소들은 생산물의 수확 후 처리에 많은 중요한 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 그러나 여기에서는 육류, 유제품 그리고 곡물에 대해서는 언급하지 않고 신선하거나 조제 가공된 채소, 과일(청과물)에 대해서 수확후에 이루어지는 중요과정별 기술개발 현황을 소위 첨단기술 즉, 컴퓨터와 전자기술을 중심으로 소개하겠다.

1. 저 장

저장고 내에 온습도를 비롯한 환경제어 시스템의 오류로 저장물의 손실 특히 고가인 농산물인 경우에는 중대한 피해를 입을 수 있다. 따라서 다양한 환경에 대한 감시와 제어, 문제 발생시 경고를 발행하는 것은 필수 불가결하다. 전자제어 시스템의 개발 이전에는 저온 저장고의 관리가 매우 힘들고 부정확한 일이었으나 현재 선진국에서 개발되어 사용하고 있는 제어시스템은 온도를 소수점 이하까지 제어 할 수 있으며, PID(Proportional Integral Derivative) 또는 Self-turning control 기술은 온도를 항상 일정하게 유지하도록 해준다. 최근의 CA저장은 저장 공기중 이산화탄소의 비율을 높이고 산소의 비율을 2~3%까지 낮추어 저장물을 12개월 이상 장기저장 할 수 있지만 이러한 공기의 조건은 매우 정밀하게 제어되어야 한다. 또한 현재의 중앙처리장치를 가진 컴퓨터 시스템으로 온습도를 비롯한 환경제어 뿐만 아니라 원격지에서 저장고 내의 환경을 감시하고 저장물에 문제가 발생하면 경고를 하는 등의 최적저장이 이루어지도록 한다. 그러나 저장고내의 온습도를 비롯한 환경은 매우 정밀한 제어를 필요로 하고 있는데 반하여 청과물은 대부분 고수분(습도)에 저장하고 있어 실제로 고습도에서 완벽하게 정상작동하는 센서는 거의 없으므로 이 분야의 기술개발 연구가 이루어질 필요가 있다.

2. 선 별

전자식 중량 선별 시스템의 정확도는 비약적으로 발전하여 중량 편차를 줄여 시장과 소비자에게 확실한 신뢰를 주고 있을 뿐만 아니라 생산자에게도 5% 이상의 이익을 가져오는 것으로 보고되고 있다. 이러한 전자식 중량 선별기는 프로그램의 수정으로 여러 종류의 과일에 쉽게 적용될 수 있고 처리속도가 빠르며 수행자료의 즉각적인 피드백이 가능하고 선별과정을 모니터링함과 동시에 품질제어 문제를 빠르게 감지하고 빠른 수정이 가능한 장점이 있는 반면에 가격이 비싸고 운영전문가가 있어야 하는 단점이 있으므로 이러한 점을 보완한 완전 자동화된 선별시스템의 개발이 요구되고 있다.

청과물은 자라면서 그들의 크기와 모양이 변하는데 많은 청과물에서 수확전후 크기와 모양에 의하여 수확시기를 결정하는 방법은 가장 간단한 방법중 하나이다. 따라서 제초와 전정을 위하여 잡초와 잔가지를 구별할 수 있도록 개발된 영상 분석시스템을 과일이나 채소를 수확하는 로봇에 적용되고 있으며, 경도 색도 및 성장 중 화학적 특성을 측정하는 "전자손"(Electronic Hand)에 대한 연구가 수행되고 있으며 이것이 개발되면 과수원에서 직접 사용될 수 있을 것이고 인공위성 사진을 이용한 전체적인 속도 측정도 가능할 것이다.

또한 농산물의 저장기간, 맛 등과 같이 수확 후 물성은 수확시기에 크게 좌우되므로 농산물이 성숙되어 원하는 목적에 완전하게 사용될 수 있을 때 즉, 원예학적으로 성숙되었을 때 수확되어야 한다. 관행적인 방법은 채취자의 눈 등 감각기관을 통해 색상, 모양, 맛 및 조직감 등에 의거 판별하나 기상학적 자료(적상온도, 일조시간 등)에 의거 판별하기도 한다. 과수원에서 가장 이상적인 속도를 판정할 수 있는 기술은 측정 때마다 다른 시료를 채취하기보다는 같은 과일로 성숙되어 가는 정도를 비 파괴적으로 측정하는 것이다. 현재 이 기술이 수확 후 기술 개발 중 가장 중요한 과제로 부각되고 있다.

3. 수확 후 품질 판정

캘리포니아 대학교 Kader 교수는 청과물의 품질을 "인간의 식품으로 값어치를 갖는 복합적 특성"이라고 정의하고 ISO 9000규격에서는 보다 더 일반적으로 정의하여 "생산물이나 서비스가 필요요성이 충분히 설명되어 지거나 나타 낼 수 있는 총체적 특성"이라고 하였다. 그러나 속도 판정을 비롯한 여러 가지 관행적인 품질평가 방법이 있지만 청과물의 정확한 품질 평가는 오직 소비자의 반응에 달려 있다.

비파괴적인 품질평가 방법은 파괴적인 방법에 비하여 낭비되는 시료를 줄이고 같은 시료로 여러 번 재 실험 할 수 있으며, 성장 및 저장중인 시료를 임의로 샘플링 하여 오차를 줄 일 수 있는 등 여러 가지 장점이 있어 품질 판정 방법을 획기적으로 개선시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있으나 산업적으로 인정받는 데는 시간이 걸릴 것이며 새로운 방법에 대한 계속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

훈련된 패널에 의한 품질평가 방법은 값 비싸고, 느리고 또한 대부분의 경우 평가 시점이 먹기 직전에 있는 농산물을 평가하여야 신뢰성이 있지 너무 늦어지면 품질을 평가한 의미가 없으므로 생산 과정에서는 이용될 수 없다. 따라서 간단하면 더욱 좋지만 복잡하더라도 기구를 사용하여 즉석에서 평가 할 수 있는 방법이 절대적으로 필요하며 이 또한 신뢰성과 값어치는 과학적인 객관성 보다 소비자들의 요구와 잘 연결되는 가에 달려있다. 지금까지 민을 만한 간편한 평가방법에 대한 연구결과는 거의 없으며 전문가 시스템이 최적화 평가방법에 이용되고 있으며 최근에 과수

원에서 과일의 품질을 평가하기 위한 “기계손”(Instrumented Glove)에 대한 종합적인 연구가 이루어지고 있다.

○ 조직감(썩는 맛) 측정

청과물의 경도를 측정(Firmness measurement)하여 품질(조직감)을 평가하는 방법은 60년 이상 이루어져 왔으나 측정자에 따라 측정오차가 200%이상 나는 경우도 있으므로 최근에는 컴퓨터 시스템을 이용하여 아주 정밀한 하중반응을 제어하고 자료를 기록할 수 있도록 하여 신뢰성과 측정의 재현성을 향상시켰다. 또한 과일은 짧은 거리에서 힘 변환기(force transducer) 위에 떨어뜨리거나 광 투과기에 의하여 손상 없이 저충격을 주도록 된 가속기(accelometer) 부착 저충격 기구가 개발되어 이용되고 있다.

○ 음향 및 진동에 의한 판별

1942년 Clark와 Mikelson에 의하여 주로 과일에 충격을 주었을 때 과일로부터 발생하는 음향 반응을 마이크로폰으로 얻어 FFT(Fast Fourier Transform)에 의하여 기본 진동수를 분석하여 과일의 속도를 측정하는 방법을 최초로 발표한 후 계속 발전되어 Cook와 Rand는 과일의 기하학적 형상과 질량 및 탄성률은 공명 진동수와 직접 관계가 있다는 수학적 모델($E = cf^2 m^{2/3} \rho^{1/3}$)을 개발하였다. 여기서 과일의 성숙도에 따라 변하는 탄성률 E는 이미 알고 있는 밀도와 질량의 요소에 의하여 구할 수 있다. 최근에 FFT기술의 발전으로 간편한 마이크로폰에 의하여 millisecond 단위로 주파수의 분포를 간단히 얻을 수 있어 여러 형태의 과일에서도 유용한 결과를 얻기 위한 연구가 진행되고 있으며 그밖에 20~4,000Hz 주파수 범위의 진동을 주고 가속기에 의하여 반응을 측정하거나 초음파 단층촬영과 진동전달 방법 등에 의하여 청과물의 속도를 판정하는 기술이 연구되고 있다.

○ 광센서 이용판별

과일의 표면 또는 과육의 색깔은 수확시기 결정이나 선별에 활용 될 뿐만 아니라 품질과 속도를 결정하는 중요한 인자이다. 과일에서 크로로필이 소멸되는 현상으로 나타나는 황화 현상은 화학 분석으로는 색깔을 추정하기가 어렵지만 주황 색소인 크산토필이나 카로틴은 시각적으로 보다 잘 나타낼 수 있다.

기계 시각 시스템(Machine Vision System)은 과일의 속도 판정에 있어서 작업속도나 정확성을 계속 향상시키고 있으며 영상 분석시스템은 상품적으로 뚜렷한 내부 결함인 사과와 작은 명까지 찾아내는데 성공하고 있다.

곡물에서 수분 함량과 마찬가지로 과일에서 당도, 경도, 탄수화물 및 산도와 같은 내부 품질에 관련되는 요인들이 자외선에서 적외선까지 전자기 방사율 즉, 근적외선 방사율과 상관관계가 있다는 것이 구명 되어지고 있으며 감마선 및 X선은 청과물의 내부 결함(감자의 동공, 복숭아 내부 갈라짐 등)을 찾는데 이용되고 있다.

일부 과일은 밝은 빛에 노출된 후 짧지만 일정시간 동안 광이 방사되는데 이와 같은 지연 방사광(Delayed light emission)의 양으로 크로로필 잔재량을 측정할 수 있어 과일의 속도를 판정할 수 있을 것이다. 이 방법으로 토마토와 파파야의 속도를 측정한 사례가 있으며 광의 투과성과 반사특성을 이용하여 감귤의 속도 및 당도를 측정한 연구가 이루어지고 있다. 재방사 에너지(Re-radiated energy)는 방출되는 빛의 파장, 강도, 시료 두께, 자극 면적과 온도의 영향을 받는다. Cavallieri는 사과 내부의 수밀(Water core)를 찾아내는데 이 기술을 활용한 연구를 하였다.

○ 전기적 특성과 바이오 센서 이용 판별

전기 전도도에 의하여 청과물의 신선도를 측정하는 연구가 수행된 적은 있으나 품질을 비 파괴적으로 판정하는데 널리 이용된 적은 없으며 고주파 전기신호를 이용한 정전용량 및 유전량을 측정하여 청과물의 유전체적 성질에 의하여 작물의 성숙도를 알 수 있는 장치가 개발 되었으나 신뢰할 만한 충분한 연구는 이루어지지 않았다.

핵자기공명(NMR)을 이용하여 사과, 복숭아, 배, 양파, 자두와 올리브의 내부결합을 찾아 낼 수 있는 가능성이 밝혀졌으며 바나나, 감자, 포도와 당근 속의 당도 및 아모카도의 오일 함량을 측정하는데 이용된 바 있다. 또한 3차원 영상을 제공할 수 있는 자기공명영상(MRI)은 사과를 비롯한 다른 과일의 결합을 찾아내는데 활용되었다.

맛과 향을 본뜬 바이오 센서는 청과물의 품질을 평가하는데 유용한 가능성을 제공해 주고 있다. 포도주를 비롯한 식품의 품질검사 뿐만 아니라 마약탐지, 폭발물검사 등 코의 후각세포에 해당되는 "전자코"(Electronic nose)에 대한 연구가 수행되고 있으며 또한 이온을 선택적으로 취할 수 있는 유리전극을 갖는 바이오 센서는 효소나 항체 필름 피막을 가지고 있어 수소이온 수를 측정하여 맛과 향을 판별하는 연구가 진행되고 있다.

또한 식품에 대한 인간의 미각과 기호를 수량화하는 기술이 확립된다면 식품 원료인 농산물의 유효 이용, 신식품의 개발, 마케팅 전략에 많은 발전을 가져 올 것이다. 따라서 식품의 물리적인 요인과 사람의 심리학적 요인을 공학적인 방법으로 계측 평가하여 상호 관련성을 명확하게 할 소위 "식품 감성 공학"에 대한 연구가 앞으로 활발히 진행될 것이다.

4. 생산 및 유통관리 기술

농산물의 품질관리는 시장과 소비자를 확보하는데 절대적인 요소로 농산물의 신뢰성을 얻기 위하여 생산에 관련된 자료를 시장과 소비자에게 제공할 필요가 있다. 포장용기나 포장지에 부착되어 있는 바코드(Bar code)에는 생산자와 수확일, 유통기한 뿐만 아니라 성장 중 작물에 관계되는 모든 자료 심지어 농약살포 유무까지 기록되어 있어야 하며 또한 휴대형 바코드 리더(Bar-code reader) 및 데이터 수집장치들이 국내시장과 소비지뿐만 아니라 전 세계적으로 통용될 수 있도록 되어야 한다. 수확 후 손상되기 쉬운 청과물들은 빠른 속도로 품온을 낮출 것과 유통중에도 계속 저온 유지가 필요하므로 외국에서는 청과물 적재물 속에 자료 수집기를 설치하여 유통중 환경변화를 감지하고 손상 및 저품질 상품 발생을 줄여나가는 연구가 수행되고 있다.

5. 식품 안전

식품 안전은 농산물의 수확 후 처리기술에서 매우 중요하다. 모든 소비자는 식품의 품질 혹은 생물학적, 유전학적 화학적 및 오염 등에 대해서 안정성 여부를 걱정하고 깊은 관심을 갖는다. 이러한 소비자의 욕구를 만족시키기 위하여 생산에서 소비시점까지 안전과 품질을 보장시켜 주는 기술이 필요하다. 따라서 현재 저장 및 유통 관리 기술과 연계하여 시스템을 감시하는 기술과 관련 센서 개발이 이루어지고 있으며 농약을 적게 살포하기 위하여 컴퓨터 시스템을 이용한 정밀방제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

6. 결 론

앞으로 소비자들은 더 좋은 품질, 더 긴 저장기간, 그리고 확실한 식품의 안전성을 원한다. 치열

한 경쟁시장에서는 농산물의 생산자나 식품산업 관련자들은 이러한 요구에 부응하여야만 한다. 따라서 전자 및 컴퓨터 기술을 비롯한 첨단 기술을 활용하여 농산물과 식품의 품질과 안전성을 측정 할 수 있는 발전된 센서개발과 저장 및 유통관리 시스템 기술개발을 더욱 더 진전될 것이다.

7. 참 고 문 헌

1. Affeldt, H. A., Upchurch, B. L., Norris, K. H., Throop, J. A. 1989. Bruise Detection on 'Golden Delicious' Apples. American Society of Agricultural Engineers Technical paper 89-3011.
2. Bull, C. R., McFarlane, N. 1998. Sub surface imaging of low density materials by the detection of inelastically scattered X-rays. In: AgEng98, International Conference on Agricultural Engineering, Oslo, International Conference on Agricultural Engineering, Oslo. CIGR, Brussels paper 98-F-010.
3. Cavallieri, R. 1997. Detection of watercore in apples. Washington State Univ. Tree Fruit Postharvest J. 8(4):3-8.
4. Clarke, H. L., Mikelson, W. 1942. Fruit ripeness tester. US patent 2, 277-037.
5. Cooke, J. R., Rand, R. H. 1973. A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a 3-media elastic sphere model. J. Agric. Eng. Res. 18, 141-157.
6. Delwiche, M., de Baerdemaeker, J., Goddeeris, B., Decuypere, E., Sansen, W. 1998. A biosensor for detection of penicillin residues in food. In: AgEng98, International Conference on Agricultural Engineering, Oslo. CIGR, Brussels paper 98-B-015.
7. Duprat, F., Grotte, M. G., Pietri, E., Loonis, D. 1997. The acoustic response method for measuring the overall firmness on fruit. J. Agric. Eng. Res. 66, 251-259.
8. Guidetti, R., Oberti, R. 1998. Image analysis for chlorophyll fluorescence detection as maturity indicator of a fruit. In: AgEng98, International Conference on Agricultural Engineering, Oslo. CIGR, Brussels paper 98F-059.
9. Gunasekaran, S. 1990. Delayed light emission as a means of quality evaluation of fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 29(1):19-34.
10. Herold, B., Truppel, I., Siering, G., Geyer, M. 1996. A pressure measuring sphere for monitoring handling of fruit and vegetables. Comput. Electron. Agric. 15(1):73-88.
11. ISO. 1987. ISO 9000 Quality Management Systems. International Standards Organisation.
12. Kader, A. A. 1983. Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries. In: Postharvest Physiology and Crop Production. Plenum, New York, pp. 455-470.
13. Koto, K. 1987. Non-destructive measurements of fruit quality by electrical impedance. Kyoto University, Kyoto, Japan Agricultural Machinery Research Report No. 17.
14. Nelson, S. O., Forbus, W. R., Lawrence, K. C. 1995. Microwave dielectric properties of fruits and vegetables and possible use for maturity sensing. In: Conference Proceedings, International Conference on Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables, Mexico, pp. 497-504.
15. Pitts, M., Cavallieri, R., Drake, S., Fellman, J. 1997. Evaluating apple firmness sensors. Washington State Univ. Tree Fruit Postharvest J. 8(4):13-22.
16. Studman, C. J. 1999. Fruit and vegetable quality. In: Agricultural Engineering Handbook. ASAE, Michigan Section IV.3.1.