
근적외 분광법을 응용한 농업환경 및 농산물의 품질 평가 기술

조 례 광

경북대학교 농과대학 농화학과

I. 근적외 분광 분석법의 개요

1. 비파괴 분석법의 개념

농산물 품질 평가에 있어서 기술상의 개발목표는, 검출한계를 높여, 측정 정확도를 높이는 것에 중점을 두고, 분석에 필요한 시간이나 비용은 2차적인 것으로 여겨져 왔다. 그러나, 오늘날과 같이 생산 및 출하과정에서 품질관리가 중시되고, 원료에서 가공품에 이르기까지 철저한 품질관리가 요구될 때, 품질관리의 정확도를 높이기 위해서는, 단시간에 대량의 시료를 신속하게 분석할 수 있는 분석법이 필요하다.

비파괴 분석법은, 대상물에 전처리를 전혀하지 않은 상태로 분석하므로써 생길 수 있는 신속성을 최대로 중요시하는 측정법인데 대상물에 입력한 에너지가 출력되는 과정 중에 영향받은 정도 즉, 입력과 출력의 에너지 차이로부터 대상물의 이화학적 특성에 관한 정보를 알아내는 방법이다. 한편, 에너지의 입력을 필요로 하지 않고 대상물 자신이 발하는 에너지를 이용하는 적외방사나 화학발광 분석법(chemiluminescence)과 같은 것도 있다.

비파괴법은 사용되는 에너지의 종류에 따라 광학적 방법, 전자기학적 방법, 역학적 방법, 방사선법, 바이오센서 등으로 분류된다.

2. 비파괴 분석법의 역사 및 최근 동향

광학적 에너지를 구사하는 농산물의 비파괴법 중 가시광선에 관해서는 1960년대에 기초 연구가 끝나고, 1970년대 이후는 가공식품과 같은 혼합체를 대상으로 한 개발과 선별공정 등 실용화를 위한 연구가 주로 많았다. 적외광선 및 근적외광선에 대해서는 가시광선 보다 10년 정도 늦게 연구가 시작되었지만 급속히 진보되어 1970년대 전반에는 수분, 단백질, 지질 등 주요성분의 분석법이 확립되었다.

전자기학적 에너지를 이용하는 핵자기공명(NMR)이나 전자스핀공명(ESR) 등의 분석법은 1970년대 이후에 나타난 비교적 새로운 분석 방법이다. 이에 속하는 생체전기현상이나 인피턴스도, 과실이나 야채 등의 품질평가에 많이 활용되고 있어 앞으로도 기대되는 분야이다.

일본에서 비파괴법의 연구는 1970년 이후에 시작되어 역사가 짧기 때문에 당초에는 미국과의 사이에 기술적으로 상당한 차이가 있었지만, 최근에는 연구 및 실용의 양면에 있어서 일본 독자적인 기술도 상당히 보유하고 있으며, 근적외법에 관해서는 1978년에 대두의 단백질을 측정하는 보고가 보이지만 본격적인 연구는 1980년 이후부터 이루어졌다.

비파괴법이 주목받게 됨으로서 학회 활동도 활발해져 비파괴법을 동물, 식물, 미생물 등

생물체의 생명현상을 해명하기 위한 새로운 계측기술로써 위치를 잡고 학술적인 정보교환의 장을 제공하기 위해 1987년 연구회가 조직된 이래, 과학기술청 주최로 심포지움이 매년 개최되고 있다. 이 심포지움에서는 NMR, 초음파, 가시광선, 근적외광선 등을 사용한 in vivo 및 in site에서의 계측기술에 관해 각각 전문분야의 입장에서 발표를 하고, 대상물도 세포레벨에서 조직·생체레벨까지 광범위하다.

또한, 일본식품공업학회에서는 1985년부터 매년 "식품공업에 있어서 비파괴 계측법에 관한 심포지움"을 개최하고 있다. 연자도 이 심포지움은 비파괴법이 식품분야에 전파되는데 있어서 중요한 역할을 해왔는데 우리나라에 적극적으로 보급시키는데 있어 다소 늦어진 감이 없지 않다.

근적외법에 관해서는 세계적으로도 활발한 활동이 계속되고 있는데 1980년 이래, 2년마다 미국 펜실베이니아주 챔버스버그 윌슨칼리지에서 개최되는 국제 확산 분광 근적외 회의(IDRC, 국제확산분광분석대회)를 비롯해 세계 각국의 학회나 기기 회사가 주최하는 사용자 회의도 빈번히 개최되고 있다. 더욱이 1986년에는 국제근적외분광위원회(ICNIRS)가 조직되어, 제2회 대회는 ICNIRS와 일본식품공업학회가 공동 주최하여 1989년 5월 츠쿠바에서 열렸으며, 벨기에, 스코트랜드, 노르웨이, 호주, 캐나다, 독일에 이어 1999년 6월 이탈리아에서 개최된 대회로 9회에 달하고 있다. 2001년 6월에는 한국 경주에서 이 국제대회가 개최되는데 이 대회 준비를 계기로 한국 근적외 연구회가 학회 규모로 발돋움할 계획이다.

3. 비파괴 분석법으로서 중적외와 근적외 분석법의 적합성 비교

곡물, 청과물 등을 구성하는 유기물의 원자단은 적외영역에 흡수를 가진다. 적외영역은 근적외(0.7-2.5 μ m), 중적외(2.5-50 μ m), 원적외로 나눌 수 있는데, 종래 화학물질의 구조해석에는 거의 중적외영역의 분석정보를 그대로 이용할 수가 없다.

첫째로, 측정 대상물이 곡물이나 유량종자와 같은 농산물의 경우 건조물 또는 반건조물로서 대단히 고농도 상태이므로 중적외 영역에서는 입사광이 거의 흡수되어져 출력이 되지 않으므로 측정때마다 번번히 희석하여 측정해야 하기 때문에 비파괴 분석법으로서의 의의가 없어져 버리게 되지만 근적외 영역에서는 중적외 흡수 강도가 수십분의 일정도로 약하기 때문에 희석치 않고도 바로 측정 할 수 있다.

둘째 이유는 곡물의 경우 건조물이면 수분함량이 10-15%정도이며, 반건조품이라도 약 50%, 청과물이면 약 85%이상의 수분을 함유하고 있어 중적외영역에서 수분에 의한 흡수가 너무 커서 타성분 유래의 정보는 거의 얻어질 수가 없기 때문이다. 반면 근적외영역에서는 수분유래의 흡수가 중적외영역에 비해 아주 미약하며 단백질, 지방, 전분 등에 의한 흡수도 약하므로 시료의 건조 조작을 필요로 하지 않는 비파괴 측정이 가능하게 된다.

이렇게 근적외분석법은 각종 농산물을 구성하는 성분의 분자구조에 유래되는 흡수스펙트럼을 이용하는 측정방법이기 때문에, 가시광선을 이용하여 청과물의 당, 산 함량을 색소함량과의 상관으로부터 산출하는 간접적 측정방법과는 달리, 직접적으로 농산물이 구성성분에 근원을 둔 측정법이라고 할 수 있다.

다른 예로서, 부패된 계란이나 미생물에 오염된 곡물에 자외선을 조사하면 螢光을 발하

는 원리를 이용하는 비파괴 분석법도 있으나, 식용에 적합한지의 불가를 판정하는 경우가 아닌, 내용물의 성분함량을 직접 측정하거나 성분에 근거하여 종합적으로 등급을 분류하고자 할 때에는 적합한 방법이 되지 못한다.

4. 근적외 분석법의 원리

비파괴 분석법 중에 하나인 근적외 분석법은 광학적 분석법으로 가시광선과 적외 영역의 중간에 위치하는 700nm에서 2,500nm의 파장영역을 사용하는 분석법이다. 자외선과 가시광선은 200nm에서 800nm에서의 흡수에 의한 분자내의 전자 구조에 대한 분석을 주로 하는 반면, 농산물의 성분을 구성하는 O-H, N-H, C-H 등의 관능기는 그림 2와 같이 중적외 영역에 신축 또는 변각진동(그림2)의 1차배음은 1.1-1.8 μm 에, 2차배음은 0.7-1.1 μm , 이들의 서로 겹쳐진 결합음은 1.8-2.5 μm 에 압축되어(그림1) 나타나므로 근적외영역의 스펙트럼을 한번 측정하므로써 식품중의 수분, 단백질, 전분, 지방 등 복수의 품질성분이 동시에 신속하게 측정되는 것이다.

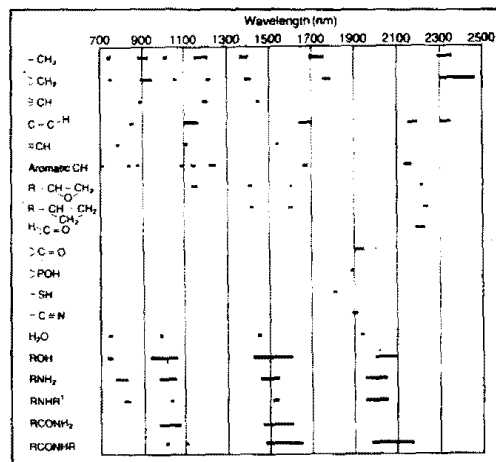


그림 1. Spectra-structure correlations in the NIR region

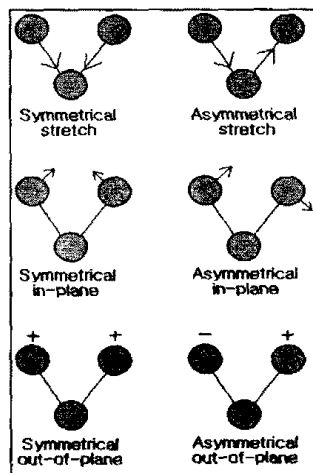


그림 2. Typical vibrations of a non-linear tri-atomic molecule.

II. 근적외 분석법을 응용한 농업환경 및 농산물 품질 평가 기술

1. 토양 이화학성 측정에 대한 응용

우리나라와 같이 집약적 토양관리에 의한 농업방법과 과거 논 토양의 비옥도 증진을 위한 농토배양사업, 환경 친화적 농업을 위한 밭 토양검정사업 및 토양 필지별 비옥도 관정에 따른 합리적 토양관리를 위한 bulk blend(BB)비료에 대한 작물별 시비처방에는 필지별로 1점의 토양시료를 채취한다고 하여도 1년에 수십만 내지 수백만 점의 토양시료를 분석 항목별로 분석해야하며, 기계화 농업과 더불어 필지별 또는 작업단위별로 비옥도를 조절하려면 토양시료는 이보다도 수배가 많은 수백만 점의 시료를 채취해야 한다. 또한 이들 토양시료를 전국의 시, 군 농촌지도소에서 분석을 한다고 해도 수 만점의 토양시료가 되어, 이러한 토양시료를 특히 작물재배시기에 맞추어 분석한다는 것은 이상적인 토양관리 방법인줄은 알지만 현존 분석 기술로는 이제까지 실현되고 있지 못한 실정이다.

따라서 이러한 이상적인 토양관리를 위해서는 토양 또는 농작업 단위별로 토양의이화학성을 매 작기마다 수백만 점의 토양시료를 채취하여 측정할 필요가 있는데, 기존의 분석방법으로는 토양 유기물, 수분 및 전질소와 같은 이화학 성분을 측정하는데 복잡한 분석조작을 거쳐 시간이 많이 소요되며, 분석에 종사하는 전문 인력과 여러 종류의 분석시약이 많이 필요하다. 또한 분석 시약은 공해를 유발하여 실험 폐기물 처리에 어려움이 있으며, 각각의 이화학 성분을 동시에 측정할 수 없어 결과 취득까지 많은 시간이 소요되어, 농업 현장에서 필요한 때 즉시에 토양의 이화학성분의 분석 결과를 알 수 없는 등 해결해야 할 어려움이 많이 남아있다.

이러한 여러 가지 문제점을 가지고 있는 현행 토양 이화학성분 측정 기술을 대폭 개선하여 단기가 내에 기술의 지도보급과 농가의 수익증대 및 국제 경쟁력을 향상시키기 위해서는 복잡한 분석조작을 거치지 않고, 여러 분석 결과를 단시간에 동시에 알 수 있는 방법이 필요하다.

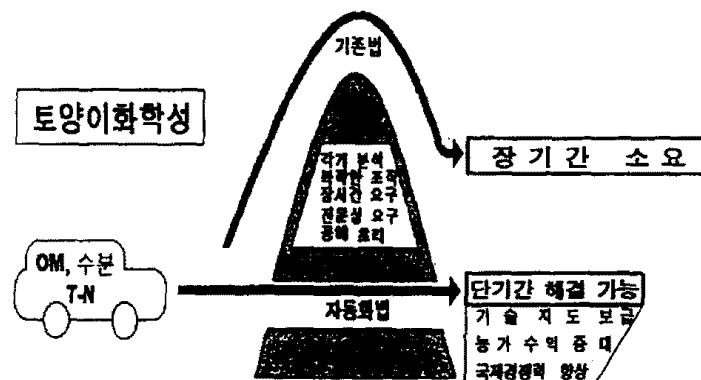


그림 3. NEeds for automatic analysis of soil properties.

현행 토양의 이화학 성분의 분석과정을 대폭 생략시킬 수 있으며 현지토양도 분석 가능한 실용적인 자동화 분석법을 개발하여 농업지도기관 및 생산자 단체들이 쉽게 활용할 수 있는 현장용 토양 이화학성 자동측정장치를 개발하여 보급함을 목표로 세우고 농촌진흥청의 지원을 받아 대형공동과제로 추진한 연구성과(총괄연구책임자 대구대 유관식 교수)의 일부를 소개하고자 한다.

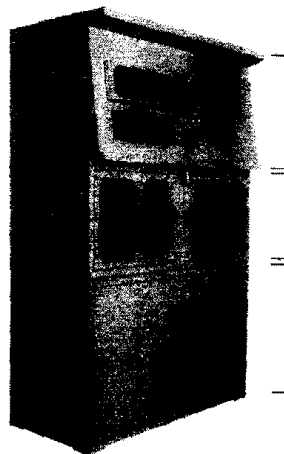
표 1. Comparison of prediction accuracy between closed cup, open cup and flow type NIR cell in the measurement of soil properties.

Soil properties	Instrument	Term	R	SEE(n)	SEP(n)	Range
OM	closed cup	8	0.908	0.257(84)	0.225(56)	0.10-4.09
	open cup	4	0.908	0.579(74)	0.765(48)	0.34-8.29
	rotating cup	8	0.806	0.523(242)	0.593(158)	0.36-4.56
	flow cell(dry)	8	0.789	0.546(242)	0.549(158)	0.33-4.51
	flow cell(field)	6	0.799	0.426(106)	0.439(68)	0.41-3.48
Moisture	closed cup	5	0.870	0.484(277)	0.508(182)	0.69-8.32
	open cup	6	0.798	0.491(225)	0.499(148)	0.31-4.57
	rotating cup	8	0.887	0.640(242)	0.633(158)	0.45-9.99
	flow cell(dry)	9	0.916	0.626(242)	0.618(158)	0.45-9.99
	flow cell(field)	7	0.885	2.206(106)	2.420(68)	0.60-12.9
T-N	closed cup	10	0.955	0.019(84)	0.023(54)	0.02-0.41
	open cup	3	0.731	0.038(98)	0.041(63)	0.02-0.29
	rotating cup	6	0.812	0.028(242)	0.028(158)	0.04-0.29
	flow cell(dry)	9	0.825	0.027(242)	0.028(158)	0.02-0.28
	flow cell(field)	6	0.774	0.031(106)	0.031(68)	0.04-0.27

R : Multiple correlation coefficient
SEP : Standard error of prediction

SEE : Standard error of estimate
Term : No. of wavelength

바파괴 근적외 분석장치



- 상위) Flow cell, 컴퓨터, 프린터탑재**
 - 광원 → 확산반사 → 센서
 - Flow cell을 통한 분석
 - 분석일지나 측정치 기록
- 중위) 회전드럼 입도조절장치, 적외선건조기**
 - 이물질제거
 - 입도조절
 - 수분건조
- 하위) 세척기, 건조기**
 - 사용한 용기세척
 - 압축공기로 샤워
 - 적외선 가온으로 건조

현재 측정 항목은 수분, 전질소, 유기물이며 이들을 동시에 하루 600점 정도 분석 처리할 수 있는 장치를 제작하여 (주)스펙트라 사이언스가 소비자에게 공급하게 되어있다. 장치의 특징은 풍건않된 상태의 흙 시료도 건조시켜 채질, 시료 조제 과정에 소요 용기의 세척 및 건조 측정후의 시료 회수, 측정 결과의 자동출력 및 자동 진단서 발급 등 모든 과정이 한 대의 장치로 처리된다.

1999년 11월부터 농림부 첨단기술과제로 부식질, CEC, 인산, 칼리, pH, 칼슘도 동시에 측정될 수 있도록 2년동안 추가연구(총괄연구책임자 영남대 김복진 교수)가 진행되고 있다.

2. 유산물 비료

현행 부산물비료(퇴비)의 품질 판정 요인은 원료 및 성상별 차이점과 부숙 정도의 차이를 충분히 고려치 않아 신뢰성이 결여된 것으로 지적되고 있어, 유기질비료(퇴비)의 품질 판정 요인을 검토하여 품질 판정 기준을 재정립하고 제조현장과 유통검사기관에서 신속·정확하게 객관적으로 품질을 평가할 수 있는 새로운 방법을 개발하며, 부식질 내부인자에 근거한 유기질비료(퇴비)의 품질 표준 기준을 만들어 품질 보증을 위한 판정 기술을 체계화할 필요가 있다. 또한 부숙도 판정방법으로는 현행의 간이 판정법은 객관성이 부족하며, 이화학적 분석에 의한 판정법 및 생물판정방법은 전문인력이 필요하며 장시간 및 소요경비가 큰 등의 단점이 있어 이를 객관적이면서도 신속·정확한 새로운 방법으로 개선하고자 근적외 분석법을 응용하여 부숙도와 다른 이·화학적 특성들이 함께 신속 정확히 평가될 수 있는지의 여부를 농림부 지원의 현장애로 과제로 연구한(총괄연구책임자 경북대 박우철 교수) 결과의 일부를 소개하고자 한다.

근적외 분석법에 의한 수분(성분 폭 : 17)의 측정 오차는 2%이고, 유기물(폭: 60)의 경우 측정오차 4%, 전질소(폭: 3)는 측정오차가 0.4%, pH(폭: 4)는 측정오차가 0.3%, 색깔을 나타내는 a값(폭: 3)의 측정오차는 0.3%이며, Humic acid(폭: 11)의 오차는 1.4%로서 결과를 활용함으로 유기질비료 생산업체 뿐만 아니라 고품질 생산을 희망하거나 재배농가들이 양질의 유기질비료 사용으로 고부가가치를 창출해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

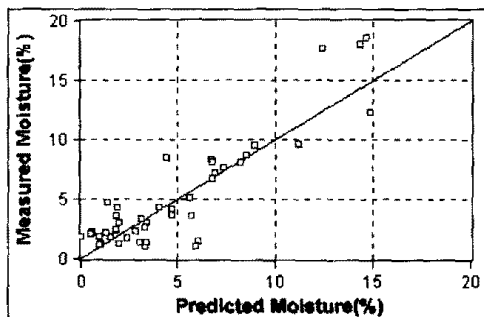


그림 4. 근적외분석법에 의한 퇴비의 수분함량 측정 결과

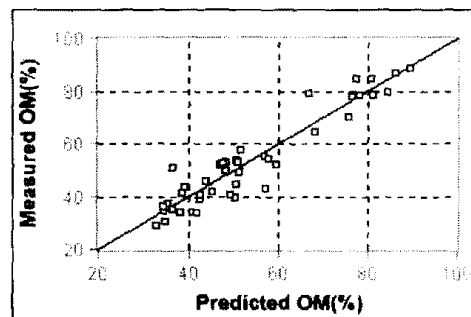


그림 5. 유기물함량 측정 결과

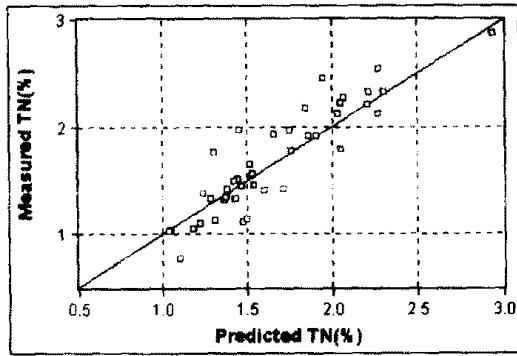


그림 6. 전질소함량 측정 결과

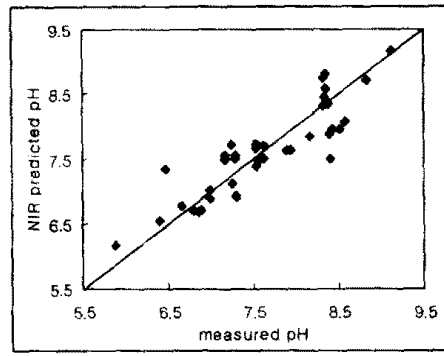


그림 7. pH함량 측정 결과

3. 인삼의 원산지 판별

한국산 인삼은 고려 인삼이라는 명칭으로, 국제 시장에서 가장 선호도가 높고 약효가 뛰어나다고 알려져 있다. 그러나, 국내뿐 아니라 국외에서도 외국산이 한국산 인삼으로 둔갑하여 불법 유통하는 사례가 빈번하게 발생함에 따라 이를 방지할만한 객관적 방법이 없어 한국산 인삼의 국제 경쟁력이 저하되고 있다. 한국산 인삼은 수확 후 박피, 건조하여 판매되고 있는데, 중국에서는 자체시장에서는 박피를 하지 않고 유통함에 따라 불구하고 국내로 밀수를 목적으로 박피, 건조하여 한국산 인삼과 유사한 형태로 가공 후 밀반입을 하고 있어 중국산 인삼과 한국산 인삼의 원산지 판별(그림 8) 결과를 범용적으로 활용할 수 있게 하기 위해 시료를 다양하게 수집하였는데, 한국산과 중국산을 합하여 총 2,627편이었다.

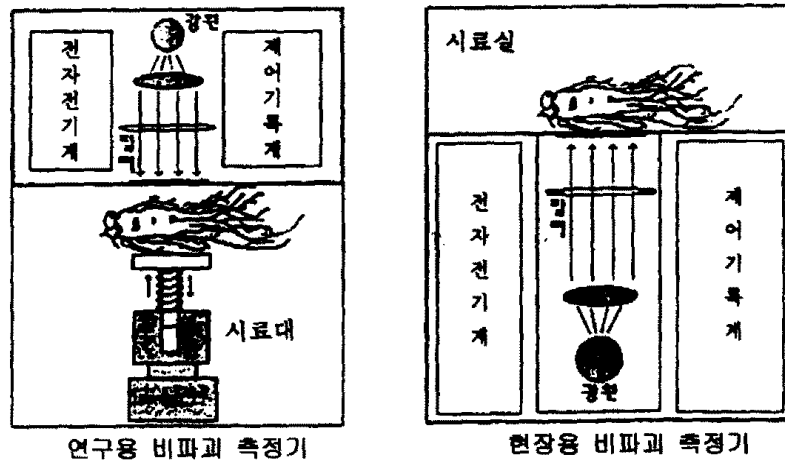


그림 8. 근적외 분광기를 이용한 인삼의 측정 개략도

그 결과, 중국산 인삼을 98% 이상의 정확도로 판별할 수 있었는데 개발된 장치를 활용하여 행정적으로 제도하거나 단속반들이 이동형으로 사용할 수 있게 소형으로 개발한다면 밀수 인삼을 근절시켜 나갈 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 참깨의 원산지 판별

값싼 수입산 참깨 또는 밀수된 외국산 참깨가 국산 참깨로 둔갑하여 판매되는 등 농산물의 유통질서가 문란해지고 있어 이를 바로 잡기 위해 수행된 연구로서 전국의 각 지역별로 수집한 한국산 참깨와 국립농산물검사소에서 각 수입항구별로 수집한 중국산 참깨를 대상으로 원산지 판별을 수행하였다.

그 결과 표 2와 같이, 한국산 참깨와 중국산 참깨의 경우 근적외 영역의 3 또는 4군데의 정보를 토대로 작성한 판별식으로 100% 판별이 가능함을 알 수 있었다.

표 2. 한국산과 중국산 참깨간의 원산지 판별 결과

판별에 사용한 파장	원산지	판별결과			정확도
		시료수	판별시료수	오판시료수	
2010, 2024	한국산	19	18	1	95%
	중국산	10	2	8	80%
1716, 1730, 2206	한국산	19	19	0	100%
	중국산	10	0	10	100%
1716, 1730, 2206, 2430	한국산	19	19	0	100%
	중국산	10	0	10	100%

5. 비파과 과실 선별기

지금까지 국내에서 사용되는 과일 분류는 대부분 시각에 의해 크기, 색깔, 흠집 여부를 선별하는 수준으로 실제 소비자들이 원하는 당도, 신선도, 산미 등의 내부품질은 등급을 나누는 것이 사실상 불가능하였다. 뿐만 아니라 상품의 흠집 등은 사람이 직접 전수검사를 해야 하기 때문에 속도와 인건비 측면에서 문제가 있었다. 그러나 이번 비파과 과일선별기의 개발로 과일원형을 보존하며 내부품질인 당도, 산도, 경도, 수분 등과 외부품질인 색깔, 크기, 모양, 흠집 여부 등의 선별이 가능해진 것이다.

비파과 선별기의 경우 일본, 이스라엘, 네덜란드 등에서는 실용화가 상당 부분 진행되어 있는 기술. 특히 일본은 현재 사과, 감귤, 복숭아, 배 등의 과실에 있어서 색채, 당도, 속도, 크기 등에 따른 등급과 규격이 설정되어 있으며 이를 통한 품질자동선별이 이루어지고 있다.

표 3. 청과물 비파과 계측 원리

확산 반사방식	투과방식
과실 품은 변화에 정확도 영향이 크다	과실 품은에 안정적이다.
당도 측정 가능함	당도 측정 가능함
갈변, 밀병 등의 내부 품질 정보를 알기 어렵다	내부 갈변, 밀병(Watercore)까지도 판별할 수 있다.
정확도에 대한 과피 두께의 영향이 크다	과피 두께의 영향을 받지 않는다.

최근 국내 소비자들도 고급농산물에 대한 선호도가 높아지고 있다. 소비자의 신뢰를 회복하고 외국 과일과 경쟁에서 살아남기 위해 필요한 것이 고품질 과일의 생산과 함께 비파괴 과일 선별기를 이용하여 농산품을 용도별로 구분하여 등급화, 규격화하는 것이다. 즉, 과일 수확시 고급품만 저온저장을 하여 보관비용을 줄이면서 장기 출하시켜 부가가치를 높이고 하품은 가공용, 가식성 식이섬유 공급원 등으로 용도에 맞게 출하처를 개발, 판매하여 상품가치를 높이는 것이다. 이러한 용도별 판매가 구조를 이루어 농업인은 과일의 상품성을 높일 수 있고 소비자는 신뢰를 가지고 기호와 경제사정에 맞게 상품을 구매할 수 있게 유통구조를 변화시켜 나가야 할 것이다.

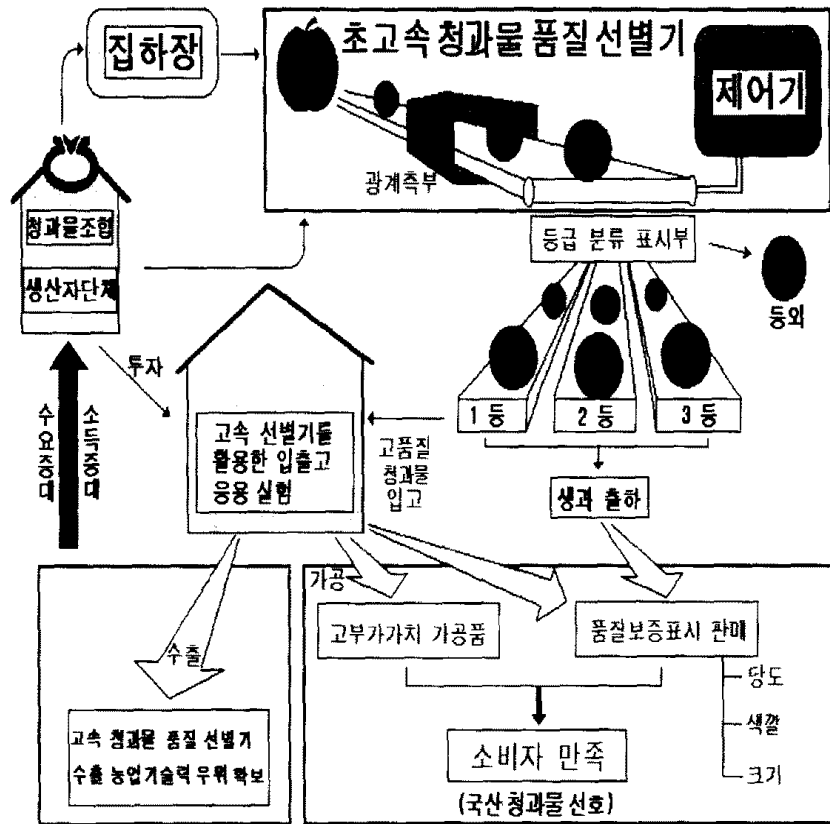


그림 9. 비파괴 계측 기술을 응용한 컴퓨터 제어 선과 시스템



그림 10. 사과 Watercore(밀병) 현상



그림 11. 사과 Browning(갈변) 현상

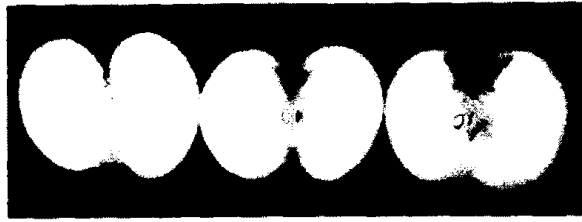


그림 12. 사과 코르크 현상

농림부의 현장애로기술개발사업 “비파괴 측정법에 의한 사과 품질평가 및 용도판정” 연구 성과(총괄연구책임자 경북대 박우철 교수)와 농림부기획과제 “사과 품종 선발 및 품질 고급화 기술 개발”의 제5세부과제 “사과 자동화 일관처리 품질 판정 기술 개발”책임자 조래광 교수의 연구 성과를 기초로하여 (주)스펙트라 사이언스가 국내외 첨단 기술력을 응용, 소화하여 개발한 비파괴 과실선별기에 대해 간단히 소개하자면 크게 광계측부, 제어부, 운반·선별장치의 세부분으로 나눌 수 있다. 가장 중요한 광계측부는 과일의 내부 품질 성분(당도, 산도 등)을 측정할 수 있는 광원 및 NIR 센서와 과일의 외부품질성분(크기, 색깔 등)을 측정하는 CCD 카메라로 구성되어 있다. 여기에서 수집된 정보는 기계의 제어부(controller)에 보내진다. 이곳에서는 광계측부로부터 받은 자료에 대한 분석뿐만 아니라 운반·선별장치까지 제어 관리한다. 세 번째 부분은 운반·선별 장치는 과일을 초당 4~6개씩 광계측부를 통과시키고 이곳에서 발생한 자료에 의해 제어부에서 분석한 결과에 따라 해당 과일을 등급별로 분류하게 되는 것이다.

지난 3월 29일 제주도 서귀포(칠십리감귤영농법인조합)에서 열린 감귤선별기 시연회와 5월 25일 경북대 사과연구센터에서 개최한 시연회에서 품질을 인정 받았으며 특히 지자체 및 생산자 조합으로부터 호평을 받은바 있다. 가격면에서는 외국제품의 3분의 1선의 가격 경쟁력을 가지고 있고, 설치 및 운영교육, 유지·보수면에서 월등한 장점을 갖고 있으며 국내의 대규모 생산단지를 대상으로 공급을 추진하고 있다.

현재 선진국의 경우 개별 과일에 대한 엄격한 등급기준과 표준화가 시행되고 있어서 자연히 비파괴 과실선별기에 대한 개발 및 보급이 상당한 수준에 이르고 있으나 우리나라의 경우 아직까지 정부나 생산자들의 인식이 결여되어 있는 상황이다. 그러나 최근 소비자들의 고급 농산물에 대한 선호가 형성되면서 등급화·규격화가 빠른 속도로 정착되어 나가고 있는 것도 사실이다. 이는 결국 생산자, 유통업체, 소비자 모두에게 이익을 가져다 줄 수 있는 방향인 만큼 이 부분에 대한 개발 및 관련 정책 정비에 국민 모두가 관심을 가져야 할 것이다.

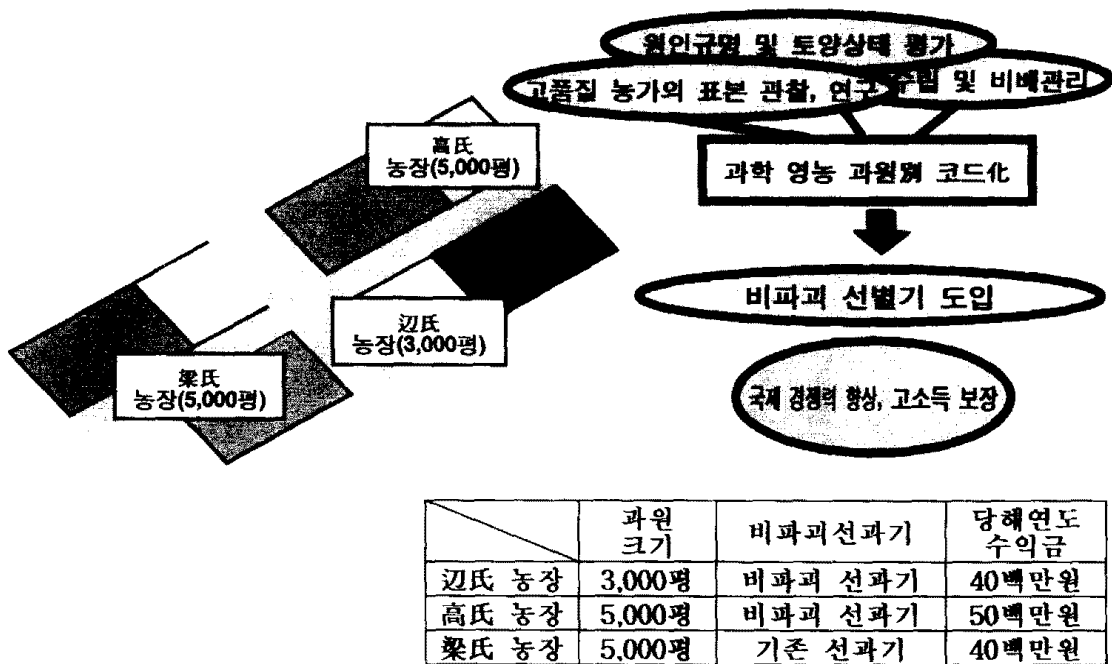


그림 13. 비파괴 光선과기 도입 생산자 단체 기대 수익 현황

III. 참고문헌

- 1) 한국농산물저장유통학회 - 농산물저장유통기술핸드북 p967(1999)
- 2) 농촌진흥청 - 전자파의 표면조사에 의한 토양 유기물 수분 및 전질소의 비파괴 측정기 개발, (1998)
- 3) 농경과 원예, p192 1999년 10월호
- 4) 농림부 - 유기질비료(퇴비)의 객관적 품질 평가 기술 개발 연차보고서(1999)
- 5) 권영길 - 참깨의 원산지 및 참기름의 진위판별을 위한 근적외 분광법의 응용(1999) 경북대학교 박사논문

